Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر

فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست و چهارم، شماره‌ی۸۷

پاییز ۱۴۰۳، صفحات۶۹-۴۹

رئوف مصطفی‌زاده [*۱]

فریبا اسفندیاری درآباد [۲]

معصومه قلی‌زاده آقبلاغ [۳]

علی نصیری خیاوی [٤]

تغییرات شاخص‌های جریان پایه و منحنی تداوم جریان رودخانه‌های دامنه کوهستان سبلان تحت تأثیر تغییر مؤلفه‌های اقلیمی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۱۰/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۰۳/۲٤

چکیده

مؤلفه‌های بارش و دبی از پارامترهای مهم در بین پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی هستند که شناسایی رفتار آن‌ها برای مدیریت منابع آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پژوهش حاضر با هدف تحلیل تغییرات شاخص‌های جریان در کمّی‌سازی جریان پایه و منحنی تداوم جریان در رودخانه‌های دامنه کوهستان سبلان صورت پذیرفته است. ابتدا بر اساس تغییر در شاخص‌های دبی جریان و یا مولفه‌های اقلیمی بارش و دما، مقادیر دبی روزانه در ایستگاه‌های آب‌سنجی به دو دوره قبل و بعد از تغییر تقسیم شدند. آماره‌های کلی، شاخص‌های جریان پایه و منحنی تداوم جریان با استفاده از نرم‌افزار RAP محاسبه شدند. بر اساس نتایج، مقادیر آماره بیشینه جریان در ایستگاه‌های لای، نیر و پل‌سلطانی کاهش چشم‌گیری داشته است. شاخص جریان پایه در اکثر ایستگاه‌ها روند افزایشی داشته که این امر را می‌توان با تداوم احتمالی ذوب برف در دامنه سبلان مرتبط دانست. در ایستگاه‌های اهل‌ایمان، لای، نیر، پل‌سلطانی و ویلادرق، در دوره قبل از تغییر، دبی در ۵۰ درصد روزهای سال به‌ترتیب مساوی یا بیش‌تر از ۰/۰۸۱ و ۰/۱۰۸، ۰/۱ و ۰/۱۲۵، ۱/۳ متر مکعب بر ثانیه و این ارقام برای دوره بعد از تغییر به‌ترتیب ۰/۸۸٤، ۰/۷۱ و ۰/۳۷۲،

*۱- گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران،(نویسنده مسئول) Email: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳-دانش آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی- آمایش محیط، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

٤- بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025

۰/۰۷ و ۰/۰۵۵ متر مکعب بر ثانیه برآورد شده است. به‌طور کلی تغییر مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما بر شاخص‌های جریان رودخانه‌ای تأثیرگذار بوده است.

کلیدواژه‌ها: الگوی جریان فصلی، تحلیل نقاط تغییر، تغییرپذیری دبی جریان، رژیم جریان رودخانه‌ای، شاخص لین

مقدمه

در سراسر جهان مدیریت منابع آب، یک شرط اساسی برای توسعه اجتماعی و اقتصادی محسوب می‌شود. با افزایش جمعیت و پیشرفت فناوری و نیاز روزافزون به آب، مشکل کم‌بود آب جدی بوده و برای مقابله با این مشکل باید مدیریت مناسبی در منابع آب داشت (Nasiri Khiavi et al., 2019). هم‌چنین اهمیت و افزایش تقاضای آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب، صنعت و نیز نیازهای محیط‌زیستی، لزوم مدیریت منابع آب را بیش از پیش آشکار نموده است (Asiabi-Hir et al., 2015). امروزه به‌طور گسترده‌ای درک شده است که تامین جریان زیست محیطی یکی از موارد ضروری در تامین تداوم جریان و حفظ اکوسیستم رودخانه رودخانه است. به‌صورتی‌که تأمین جریان محیط‌زیستی در رودخانه‌ها به‌منظور حفظ تنوع‌زیستی آب‌های شیرین و نیز تأمین نیاز آبی جوامع انسانی در بسیاری از بوم‌سازگان رودخانه‌ای ضروری است (Ripl, 2003؛ Gao et al., 2009). جریان رودخانه‌ها دارای تغییرپذیری زیادی در مقیاس مختلف بوده و بخش عمده این تغییرات در اثر عوامل جوی است، بنابراین تغییرپذیری جزء ذاتی جریان رودخانه‌هاست (Yousefi et al., 2011؛ Nasiri Khiavi et al., 2018). از این‌رو بررسی تغییرات دبی رودخانه در طول زمان می‌تواند آثار تغییر یا عدم تغییر در شرایط اقلیمی یک منطقه را مشخص کند (Marofi and Tabari, 2011؛ Mehri et al., 2017؛ Garbrecht et al., 2004) و تغییرات متغیرهای اقلیمی بارش و دما می‌تواند بر آب‌دهی رودخانه مؤثر باشد. مؤلفه‌های بارندگی و دبی از پارامترهای مهم در بین پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی هستند که شناسایی رفتار آن‌ها برای مدیریت منابع آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های توسعه انسانی منجر به تغییر منابع آب در حوزه‌های آبخیز می‌شود و این مورد تغییرات باعث تغییرات هیدرولوژیکی و بوم‌شناختی رودخانه‌ها و در نتیجه کاهش کیفیت آب و مشکل در دستیابی به منابع آبی پایدار می‌شود (IPCC, 2007[5]؛ Piao et al., 2010؛ Lee et al., 2019). جریان پایه بخشی از جریان کل رودخانه است که به بارندگی واکنش نشان می‌دهد و به‌طور معمول با آب تخلیه شده از ذخیرهٔ آب زیرزمینی مرتبط است (Hasani et al., 2012؛ Bayazidi and Saghafian, 2011). از نظر بوم‌شناسان، آب پایه نقش اساسی در پایداری جریان در طول دوره‌های خشک، تنظیم سطوح آب زیرزمینی، انتقال مواد غذایی و حفظ عملکرد بوم‌سازگان ایفا می‌کند (Bayat et al., 2018؛ Li et al., 2013). تعیین تغییرات جریان دبی پایه و تحلیل رفتار آن در فصول مختلف در تعیین میزان بهره‌برداری از آب های سطحی و نیز ارزیابی وضعیت محیط زیستی دارای اهمیت است (Mehri et al., 2017b& Yousefi 2011 ., et al). هم‌چنین مؤلفه رواناب مستقیم نشان‌دهنده جریان اضافی حاصل از جریان

5- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025

زیرسطحی و جریان سطحی است، در حالی‌که مؤلفه جریان پایه نشان‌دهنده مشارکت جریان آب زیرزمینی در دبی جریان رودخانه‌ای است (Mohammed and Scholz, 2016؛ Kelly et al., 2019). برآوردهای مبتنی بر منحنی تداوم جریان (FDC[6]) به‌عنوان پیش‌نیاز برای طرح‌های مدیریت منابع آب از قبیل طراحی سدها، نیروگاه‌های برق‌آبی، اجرای عملیات آبخیزداری، ارزیابی خطر خشک‌سالی و بررسی سلامت زیست‌بوم رودخانه مورد نیاز است (Zare-Chahooki et al., 2012). یکی از مهم‌ترین پیامدهای تغییرات اقلیم تأثیر بر تعادل هیدرولوژیکی جریان سطحی از جمله تغییر در رژیم‌های جریان، توزیع فصلی جریان و به‌ویژه زمان وقوع جریان‌زیاد و جریان‌کم است که برای محیط زیست و اقتصاد اهمیت ویژه دارد (Karasovskaia and Gottschalk, 1992). هم‌چنین به‌دلیل رابطه بین سیستم اقلیمی و چرخه آب‌شناختی هرگونه تغییری در اقلیم منجر به تغییرات در رژیم آب‌شناختی، رژیم بارش، میزان رواناب، شدت سیلاب و خشکی در سطح جهان می‌شود (Ghasemi et al., 2013) در مناطق کوهستانی که تجمع و ذوب پوشش برف فصلی برای تولید رواناب مهم است، زمان و مقدار تأمین آب می‌تواند تحت تأثیر تغییرات اقلیمی از جمله رژیم‌های دمایی و بارش قرار گیرد (Rang o et al., 1996). ذوب برف در حوضه‌های کوهستانی عامل مهم تغییرات رژیم جریان به حساب می‌آید که نقشی مهم در تولید جریان و منابع آب دارد (Ghorbanizadeh-Kharazi et al., 2007). دبی رودخانه که یکی از پارامترهای هیدرولوژی است که رابطه متقابل با عناصر اقلیمی دارد و هر گونه تغییر در بارش و دما می‌تواند به تغییرات دبی رودخانه‌ها منجر شود. استمرار کمبود بارش منجر به کمبود رطوبت خاک شده و می‌تواند آب‌های سطحی و زیرزمینی را تحت تأثیر قرار دهد که سرانجام باعث خشکسالی هیدرولوژیکی و جریان‌های کمینه می‌شود (Foulon et al., 2018).

پیشینه پژوهش

در ارتباط با تحلیل آب‌پایه و منحنی تداوم جریان مطالعات مختلفی صورت پذیرفته است. در پژوهشی، Mehri et al 2017b)، به بررسی تغییرات زمانی و مکانی شاخص جریان پایه در رودخانه‌های استان اردبیل با استفاده از شاخص جریان پایه پرداختند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد تغییرات کاهشی دبی در تعداد بیش‌تری از ایستگاه‌ها مشاهده شده است. دامنه تغییرات شاخص BFI ، از ۰/۰۵ تا ۰/۸۸ متغیر است. Bayat et al (2018)، به بررسی تعیین جریان پایه رودخانه لیقوان به‌منظور ارزیابی جریان محیط‌زیستی پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد، فیلتر لین-هالیک، به دلیل بالاترین مقادیر ضریب تعیین، کمینه میانگین مطلق خطا و ریشه میانگین مربعات خطا به‌عنوان روش مناسب برای جداسازی آب پایه از جریان روزانه این رودخانه است. در پژوهشی دیگر، Esfandyari Darabad et al (2020)، به بررسی اثر احداث سد بوکان بر شاخص‌های هیدرولوژیک رودخانه زرینه رود براساس منحنی تداوم جریان پرداختند. براساس نتایج ۵۰ درصد زمان تداوم جریان در مدت پس از احداث سد میزان دبی ۴۰ درصد بیش‌تر شده است، که تأثیر سد بر روی دبی جریان رودخانه زرینه‌رود را نشان می‌دهد. هم‌چنین Khosravi et al (2019)، به طبقه‌بندی و تعیین تغییرات رژیم جریان آب رودخانه با استفاده از شاخص‌های هیدرولوژیکی در

6- Flow Duration Curve (FDC)

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025

خروجی حوضه آبخیز تیل‌آباد پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد الگوی رژیم جریان آب سالانه طی دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳٦٤ از طبقه رواناب دائمی"PR" به دائمی با سیلاب ناگهانی"PF" تغییر کرده است. در پژوهشی Mohemmad and Scholz (2016)، تأثیر تغییرات اقلیمی و جریان رودخانه‌ای بر سطح آب زیرزمینی و جریان پایه رودخانه زاب پایین (ایران و عراق) را با استفاده از منحنی تداوم جریان مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش قابل‌توجهی در سهم آب زیرزمینی در طول سال‌های هیدرولوژیکی بین ۲۰۰۱-۱۹۹۸ و ۲۰۰۸-۲۰۰٦ کاهش شدید میانگین بارش مشاهده شده است. در پژوهشی Lee et al (2019)، تأثیر کاهش جریان بر سامانه‌های آبی در پایین‌دست سد کومگانگسان[۷] در کره‌جنوبی در شرایط خشک را با استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیکی مورد تحلیل قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد که تخلیه سد کومگانگسان تأثیر گسترده‌ای بر مناطق پایین‌دست واقع در منطقه دارد. در پژوهشی Kelly et al (2019)، کمّی‌سازی تغییرات زمانی در شاخص جریان پایه را با استفاده از داده‌های رودخانه حوزه آبریز بوآ[۸] در مالاوی به‌عنوان یک پژوهش، مورد تحلیل قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد که جریان پایه نقش مهمی در منطقه داشته است. میانگین سالانه شاخص جریان پایه ۰/۷٤ برآورده شده است. با توجه به پیشینه‌های پژوهش ارائه شده در جمع‌بندی کلی می‌توان گفت که به‌دلیل اهمیت دبی پایه در فرآیندهای هیدرولوژیک و دارا بودن نقش حیاتی در مدیریت منابع آب، برآورد جریان پایه یکی از موضوعات مورد علاقه هیدرولوژیست‌ها بوده است (Tallaksen, 1995 ؛Hall, 1968).

کوهستان سبلان با ارتفاع ٤۸۱۱ متر از سطح دریا در ۳۵ کیلومتری غرب شهر اردبیل قراردارد. رودهایی ازجمله قره‌سو، بالیخلوچای، اهرچای و به‌لحاظ پرآبی و وجود تنوع گیاهی و زیبایی طبیعی در مناطق بالادست تأثیر مستقیم بر زندگی بهره‌برداران از آن دارد. رودخانه بالیخوچای که از ارتفاعات شرق سبلان منشاء می‌گیرد و سرشاخه‌های مهمی نظیر برجلوچای، سقرچی‌چای، آغلاغان، جوراب‌چای، درویش‌چای، لاطران‌چای، در مسیر به این رودخانه پیوسته و آن را پرآب می‌کنند در شمال به رودخانه قره‌سو تخلیه می‌شود. به‌دلیل اراضی گسترده و حاصل‌خیز، این منطقه نیاز مبرم به آب دارد که در اثر کم‌آبی، خشکسالی یا تغییر رژیم جریان محیط زیست رودخانه، اراضی موجود در منطقه و هیدرولوژی رودخانه بالیخوچای و قره‌سو دچار آسیب‌های جدی خواهد شد. سد یامچی که در بالا دست شهر اردبیل بر روی این رودخانه قراردارد منبع آب شرب شهر، تأمین حق‌آبه دریاچه شورابیل در فصل کم‌آبی و تغذیه کننده شبکه آبیاری و زهکشی اراضی شمال شهر اردبیل است که به‌عنوان شاهرگی برای حیات منطقه محسوب می‌شود در اثر تغییر رژیم جریان و کم‌آبی دچار مشکلات جدی شده است. به‌دلیل اهمیت و جدی بودن مشکلات حاصل از تغییر رژیم رودخانه در منطقه بررسی این موضوع ضرورت دارد. هم‌چنین رودخانه خیاوچای در شهرستان مشگین‌شهر، یکی از منابع اصلی تأمین آب شرب و اراضی باغات پایین‌دست در مشگین‌شهر است. مطالعات متعددی در ارتباط با رژیم جریان رودخانه‌ای صورت گرفته است این در حالی است که جریان رودخانه‌ای

7- Kumgangsan
8- Bua

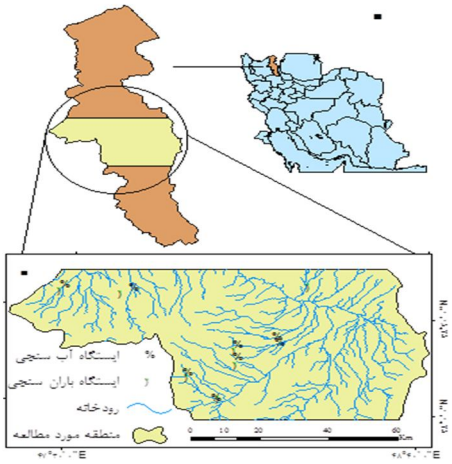
Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025

در مناطق کوهستانی که از رژیم برفی تغذیه می‌شوند، کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. از طرفی در پژوهش‌های پیشین از منحنی‌های تداوم جریان سالانه برای بررسی رفتار جریان رودخانه‌ای استفاده شده است این در حالی است که در پژوهش حاضر به تحلیل منحنی‌های تداوم جریان فصلی نیز پرداخته شده است. علاوه بر این، به‌جای پرداختن به روند کلی در سری زمانی داده‌ها، تحلیل‌ها در دوره‌های مختلف بر اساس نقاط تغییر نیز مدنظر قرار گرفته است. پژوهش حاضر با هدف تحلیل جریان رودخانه‌ای در کمّی‌سازی جریان پایه (BFI) و منحنی تداوم جریان (FDC) تحت تأثیر متغیرهای اقلیمی در برخی از رودخانه‌های دامنه سبلان در استان اردبیل صورت پذیرفته است.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

استان اردبیل با مساحت ۱۷۹۵۳ کیلومترمربع و در محدوده مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ٤٥ دقیقه تا ۳۹ درجه و ٤۲ دقیقه عرض شمالی و ٤۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ٤۸ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی در شمال‌غرب کشور ایران قرار دارد. در شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. دمای بیشینه و کمینه ثبت شده در ایستگاه‌های تبخیرسنجی آبیاری مشگین‌شهر، آتشگاه، سامیان، لای و نیر به‌ترتیب ۲٦ و ٦/٤-، ۲۰/۵ و ۹/۱-، ۲۱ و ۱۳/٤-، ٤٤/۸ و ۱۱-، ۲٦/۱ و ۱٦/۳- درجه سانتی‌گراد است. هم‌چنین کاربری اراضی غالب در منطقه اراضی مرتعی است و توسط عشایر بومی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. در این پژوهش از داده دبی هشت ایستگاه آب‌سنجی، شش ایستگاه باران‌سنجی و پنج ایستگاه تبخیرسنجی با دوره‌های آماری منتخب (مندرج در جدول ۱) که از شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل و هم‌چنین سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است، استفاده شد. مشخصات کلی ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌صورت مختصر در جدول (۱) ارائه شده است.



شکل ۱: موقعیت کشوری و استانی منطقه مورد مطالعه، استان اردبیل، ایران

Figure 1: Country and provincial location of the study area, Ardabil province, Iran

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025

جدول ۱- برخی از مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان اردبیل

Table 1- Some characteristics of the studied stations in Ardabil province

ردیف	نام رودخانه	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	دوره آماری موجود
۱	آق امام چای	آتشگاه	آب‌سنجی	۱۳۹۵-۱۳۷۷
۲	هندالوچای	اهل‌ایمان	آب‌سنجی	۱۳۹۵-۱۳۸۲
۳	خیاوچای	پل‌سلطانی	آب‌سنجی	۱۳۹۵-۱۳٤۸
٤	بولیک‌چای	عموقین	آب‌سنجی	۱۳۹۵-۱۳۸۰
٥	لای‌چای	لای	آب‌سنجی	۱۳۹۵-۱۳٥۹
٦	نوران‌چای	نوران	آب‌سنجی	۱۳۹۵-۱۳۸۰
۷	نیرچای	نیر	آب‌سنجی	۱۳۹۵-۱۳٥۳
۸	ویلادرق	ویلادرق	آب‌سنجی	۱۳۹۵-۱۳۷۰
۹	قره‌سو	آبیاری مشگین‌شهر	باران‌سنجی	۱۳۹٤-۱۳٤۸
۱۰	قره‌سو	آتشگاه	باران‌سنجی	۱۳۹٤-۱۳۷۷
۱۱	بالخلوچای	اردبیل	باران‌سنجی	۱۳۹٤-۱۳٦۱
۱۲	اهل‌ایمان	اهل‌ایمان	باران‌سنجی	۱۳۹٤-۱۳۷۸
۱۳	قره‌سو	سرعین	باران‌سنجی	۱۳۹۲-۱۳٦۹
۱٤	لای‌چای	لای	باران‌سنجی	۱۳۹٤-۱۳٥۷
۱٥	نیرچای	نیر	باران‌سنجی	۱۳۹٤-۱۳٥۱
۱٦	قره‌سو	آبیاری مشگین‌شهر	تبخیرسنجی	۱۳۹۸-۱۳۷٤
۱۷	قره‌سو	آتشگاه	تبخیرسنجی	۱۳۹۸-۱۳۷۷
۱۸	قره‌سو	سامیان	تبخیرسنجی	۱۳۹۸-۱۳٥۰
۱۹	لای‌چای	لای	تبخیرسنجی	۱۳۹۸-۱۳٥۷
۲۰	نیرچای	نیر	تبخیرسنجی	۱۳۹۸-۱۳٥٤

روش‌شناسی پژوهش

در پژوهش حاضر با استفاده از نرم‌افزار بسته تحلیل رودخانه مقادیر شاخص جریان پایه و منحنی‌های تداوم جریان سالانه و فصلی در برخی رودخانه‌های دامنه سبلان تجزیه و تحلیل شدند. بر این اساس، ابتدا ایستگاه‌های آب‌سنجی مربوط به رودخانه‌های امام‌چای، هندالوچای، خیاوچای، بولیک‌چای، لای‌چای، نوران‌چای، نیرچای و ویلادرق با دوره‌های آماری مختلف انتخاب شد. سپس به‌منظور بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی بارش و دما و بر اساس موقعیت مکانی ایستگاه‌های آب‌سنجی، ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی متناظر انتخاب شدند. جدول (۲) نشان‌دهنده ایستگاه‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر در دامنه کوهستان سبلان است. نمودار جریانی روش‌شناسی پژوهش در شکل (۲) ارائه شده است.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025

جدول ۲-ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی متناظر با ایستگاه‌های آب‌سنجی در منطقه مورد مطالعه، استان اردبیل

Table 2- Rainfall and evaporation stations corresponding to hydrometric gauge stations in the study area,Ardabil province

ردیف	ایستگاه آب‌سنجی	باران‌سنجی متناظر	ردیف	ایستگاه آب‌سنجی	تبخیرسنجی متناظر
۱	آتشگاه	آتشگاه	۱	آتشگاه	آتشگاه
۲	اهل‌ایمان	اهل‌ایمان	۲	اهل‌ایمان	آبیاری مشگین‌شهر
۳	پل‌سلطانی	آبیاری مشگین‌شهر	۳	پل‌سلطانی	آبیاری مشگین‌شهر
٤	عموقین	اردبیل	٤	عموقین	سامیان
٥	لای	لای	٥	لای	لای
٦	نوران	اردبیل	٦	نوران	سامیان
۷	نیر	نیر	۷	نیر	نیر
۸	ویلادرق	سرعین	۸	ویلادرق	آتشگاه

به‌منظور بررسی تأثیرپذیری دبی جریان از مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما و نیز تقسیم مقادیر دبی به دوره‌های دارای تغییرات، از نرم‌افزار Change Point Analyzer استفاده شد (Arif et al., 2017). نرم‌افزار مذکور یک بسته محاسباتی برای تجزیه و تحلیل داده‌ها برای تعیین تغییرات رخ داده است که تغییرات متعدد را در ماهیت داده‌ها تشخیص داده و سطوح اطمینان برای هر تغییر را معین می‌کند (Taylor, 2000). تغییرات متعددی را در سری داده‌ها شناسایی کرده و سطح قابلیت اطمینان را برای هر تغییر تعیین می‌کند. CPA سری‌های زمانی داده‌ها را از نظر روندها و تغییرات قابل توجه تجزیه و تحلیل می‌کند (Palaniswami and Muthiah, 2018). برای هر تغییر شناسایی شده در سری‌های زمانی، یک سطح اطمینان و احتمال وقوع نشان داده و زمان تغییرات را نیز نمایش می‌دهد. خروجی‌های این نرم‌افزار به‌صورت نمودار و جدول ارائه می‌شود. این نرم‌افزار شامل یک رابط صفحه‌گسترده برای مدیریت داده‌ها است که بر اساس روش‌های پیشرفته‌ای مانند نمودارهای CUUM است (Guo et al., 2018). بر این اساس با استفاده از نرم‌افزار مذکور، تحلیل نقطه تغییر در داده‌های دبی (Asgari et al., 2019) بر اساس روند داده‌های بارش و دما در هر ایستگاه باران‌سنجی متناظر با ایستگاه آب‌سنجی مورد سنجش کمّی قرار گرفت. سال‌های نقطه تغییر به‌عنوان مبنایی برای تقسیم دوره‌ها استفاده شد. بر این اساس، روند بارش و داده‌های دما در هر ایستگاه باران‌سنجی و تبخیرسنجی متناظر با ایستگاه آب‌سنجی مشخص شد. بر اساس تحلیل روند داده‌های بارش و دما، دو دوره قبل و بعد از تغییر متغیرهای اقلیمی شناسایی شد. به‌منظور بررسی تأثیر تغییر مؤلفه‌های اقلیمی بر شاخص‌های جریان رودخانه‌ای، سال‌های تغییر تعیین شد و داده‌های دبی جریان رودخانه‌ای به دوره‌های قبل و بعد از تغییر تقسیم شدند.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025

شکل ۲: نمودار جریانی روش‌شناسی پژوهش

Figure 2: Flow diagram of the research methodology

پس از تقسیم مقادیر دبی در ایستگاه‌های آب‌سنجی به دو دوره قبل و بعد از تغییر مؤلفه‌های اقلیمی، متغیرهای اصلی مربوط به آماره‌های کلی، شاخص‌های جریان پایه و منحنی تداوم جریان کلی و فصلی با استفاده از نرم‌افزار RAP محاسبه و کمّی‌سازی شدند (Stewardson and Marsh, 2003; Marsh et al., 2005). شایان ذکر است که تأثیرپذیری دبی جریان و تقسیم مقادیر به دو دوره به‌صورت جداگانه براساس مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما صورت پذیرفت. به‌نحوی‌که در ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی متناظر و دارای روند تغییر معنادار این تقسیم‌بندی صورت پذیرفت. بسته تحلیل رودخانه (RAP) جعبه ابزاری از تکنیک‌های کمّی برای مدیریت جریان محیط‌زیستی است. نرم‌افزار 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 (Marsh, 2004). با استفاده از این نرم‌افزار و با استفاده از داده‌های دبی تقسیم شده در دوره‌های قبل و بعد از تغییر مؤلفه‌های اقلیمی، شاخص‌های جریان پایه و منحنی تداوم جریان مربوط به جریان رودخانه‌ای کمّی‌سازی شد (Nasiri Khiavi et al., 2020). مشخصات مربوط به متغیرهای اصلی جریان رودخانه‌ای مورد مطالعه در دامنه کوهستان سبلان در جدول (۳) ارائه شده است. در ادامه هیستوگرام‌های مربوط به شاخص‌های ضریب تغییرات، تغییرپذیری، شاخص Lanes، شاخص BFI[9]، شاخص FFI[10] و شاخص MDBF[11] به‌منظور مقایسه مقادیر تغییرات شاخص‌ها در دوره‌های قبل و بعد از تغییر مؤلفه‌های اقلیمی ترسیم شد. شاخص Lane از مجموع لگاریتم‌های مربوط به دبی‌های Q5 تا Q95 با استفاده از رابطه (۱) به‌دست آمد (Gordon et al., 2004). هرچه انحراف معیار داده‌ها بزرگ‌تر باشد داده‌ها در آن نمونه ناهمگون‌تر بوده و پراگندگی بیش‌تر است و برعکس.

9- Base Flow Index (BFI)
10- Flood Flow Index (FFI)
11- Mean Daily Base Flow (MDBF)

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025

$$\text{Lanes variability index} = \frac{logQ_5 - logQ_{95}}{3.29}$$ رابطه ۱)

در ادامه به‌دلیل کامل بودن دوره‌های آماری دبی روزانه در ایستگاه‌های آب‌سنجی پل‌سلطانی و نیر، نمودار تغییرات دبی متوسط سالانه در دوره‌های قبل و بعد از تغییر مؤلفه‌های اقلیمی نیز ارائه شد. سپس درصد اختلاف شاخص‌های مربوط به آماره‌های کلی و نیز شاخص‌های جریان پایه در دوره‌های قبل و بعد از تغییر مؤلفه‌های اقلیمی محاسبه شد. در نهایت منحنی‌های تداوم جریان کلی برای ایستگاه‌های آب‌سنجی اهل‌ایمان، لای، نیر، پل‌سلطانی و ویلادرق در دوره‌های قبل و بعد از تغییر مؤلفه‌های اقلیمی ترسیم شدند. هم‌چنین و با استفاده از نرم‌افزار بسته تحلیل رودخانه، منحنی‌های نداوم جریان فصلی در دوره‌های قبل و بعد از تغییر مؤلفه‌های اقلیمی مربوط به ایستگاه آب‌سنجی نیر (به‌صورت نمونه) ارائه شد.

یافته‌های پژوهش

نتایج بررسی وقوع تغییر معنادار ایستگاه‌های متناظر

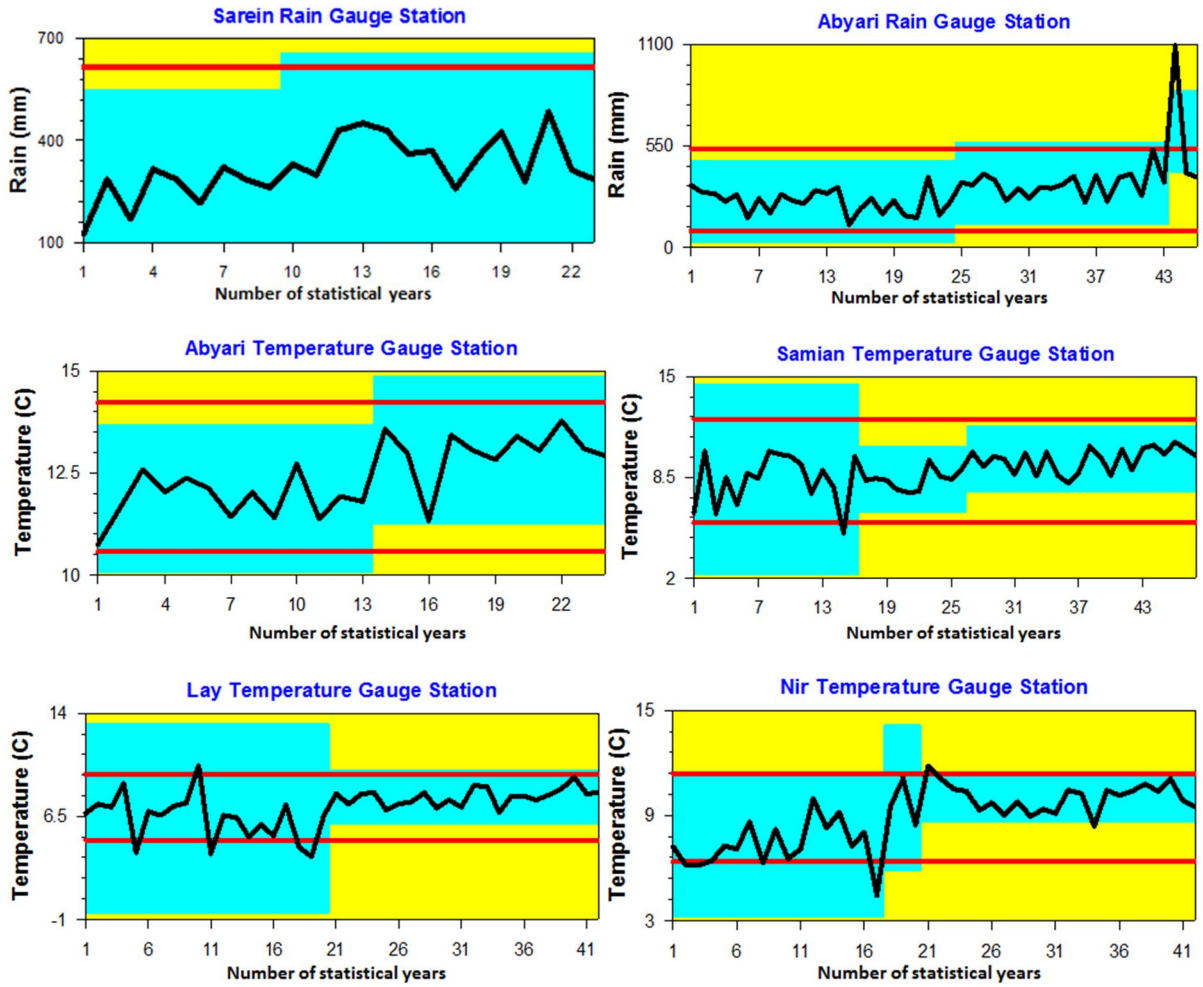
نتایج مربوط به بررسی روند متغیرهای اقلیمی بارش و دما در ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی متناظر با ایستگاه‌های آب‌سنجی در استان اردبیل با استفاده از نرم‌افزار Change Point Analyzer در جدول (٤) ارائه شده است. نتایج مربوط به ایستگاه‌های دارای روند معنادار از لحاظ متغیرهای اقلیمی بارش و دما در هر ایستگاه در شکل (۳) ارائه شده است. هم‌چنین جدول (۵) نشان‌دهنده نتایج تقسیم داده‌های دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی بر اساس نتایج روند ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی متناظر با آن‌ها به دوره‌های قبل و بعد از تغییر مؤلفه‌های اقلیمی برای ورود داده دبی روزانه به نرم‌افزار RAP است.

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

Table 3- Results of the study of the trend of climatic variables of precipitation and temperature in the studied stations in the foothills of Sabalan, Ardabil province

آب‌سنجی	باران‌سنجی متناظر	معناداری	آب‌سنجی	تبخیرسنجی متناظر	معناداری
آتشگاه	آتشگاه	غیرمعنی‌دار	آتشگاه	آتشگاه	غیرمعنی‌دار
اهل‌ایمان	اهل‌ایمان	غیرمعنی‌دار	اهل‌ایمان	آبیاری مشگین‌شهر	**معنادار***
پل‌سلطانی	آبیاری مشگین‌شهر	**معنادار***	پل‌سلطانی	آبیاری مشگین‌شهر	**معنادار***
عموقین	اردبیل	غیرمعنی‌دار	عموقین	سامیان	غیرمعنی‌دار
لای	لای	غیرمعنی‌دار	لای	لای	**معنادار***
نوران	اردبیل	غیرمعنی‌دار	نوران	سامیان	غیرمعنی‌دار
نیر	نیر	غیرمعنی‌دار	نیر	نیر	**معنادار***
ویلادرق	سرعین	**معنادار***	ویلادرق	آتشگاه	غیرمعنی‌دار

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025



شکل ۳: خروجی مربوط به نرم‌افزار Change Point Analyzer **در ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی دارای روند معنادار در**

Figure3: Output related to Change Point Analyzer software in rain gauge and evaporator stations with a significant trend in Sabalan range in Ardabil province

جدول ۴- نتایج مربوط به سال تغییر دبی جریان و تقسیم‌بندی دوره‌های قبل و بعد از اثر مؤلفه‌های اقلیمی در ایستگاه‌های دارای روند معنادار در دامنه سبلان، استان اردبیل

Table 4- Results of the year of flow change and division of periods before and after the effect of climatic components in stations with a significant trend in the foothills of Sabalan, Ardabil province

ایستگاه آب‌سنجی	ایستگاه متناظر مؤثر	سال تغییر	دوره قبل از اثر	دوره بعد از اثر
پل‌سلطانی	آبیاری مشگین‌شهر	۱۳۷۳	۱۳۴۸-۱۳۷۳	۱۳۷٤-۱۳۹۵
ویلادرق	سرعین	۱۳۷۸	۱۳۷۰-۱۳۷۸	۱۳۷۹-۱۳۹۵
اهل‌ایمان	آبیاری مشگین‌شهر	۱۳۸۸	۱۳۸۲-۱۳۸۸	۱۳۸۹-۱۳۹۵
لای	لای	۱۳۷۷	۱۳۵۹-۱۳۷۷	۱۳۷۸-۱۳۹۵
نیر	نیر	۱۳۷۳	۱۳۵۳-۱۳۷۳	۱۳۷٤-۱۳۹۵

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025

ایستگاه‌های آب‌سنجی پل‌سلطانی، ویلادرق، اهل‌ایمان، لای و نیر با توجه به وقوع تغییر معنادار موجود در ایستگاه‌های باران‌سنجی یا تبخیرسنجی متناظر به‌ترتیب آبیاری مشگین‌شهر، سرعین، آبیاری مشگین‌شهر، لای و نیر تحت تأثیر روند معناداری هستند. این در حالی است که ایستگاه‌های آب‌سنجی آتشگاه، عموقین و نوران که تحت تأثیر ایستگاه‌های متناظر و متفاوت باران‌سنجی و تبخیرسنجی هستند، فاقد وقوع تغییر معنادار هستند (جدول ٤). در مورد این سه ایستگاه آب‌سنجی می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما در این سه منطقه فاقد وقوع تغییر معنادار هستند و بنابراین داده‌های این سه ایستگاه آب‌سنجی وارد نرم‌افزار RAP نشد.

یافته‌های کمّی آماره‌های کلی و شاخص‌های جریان پایه

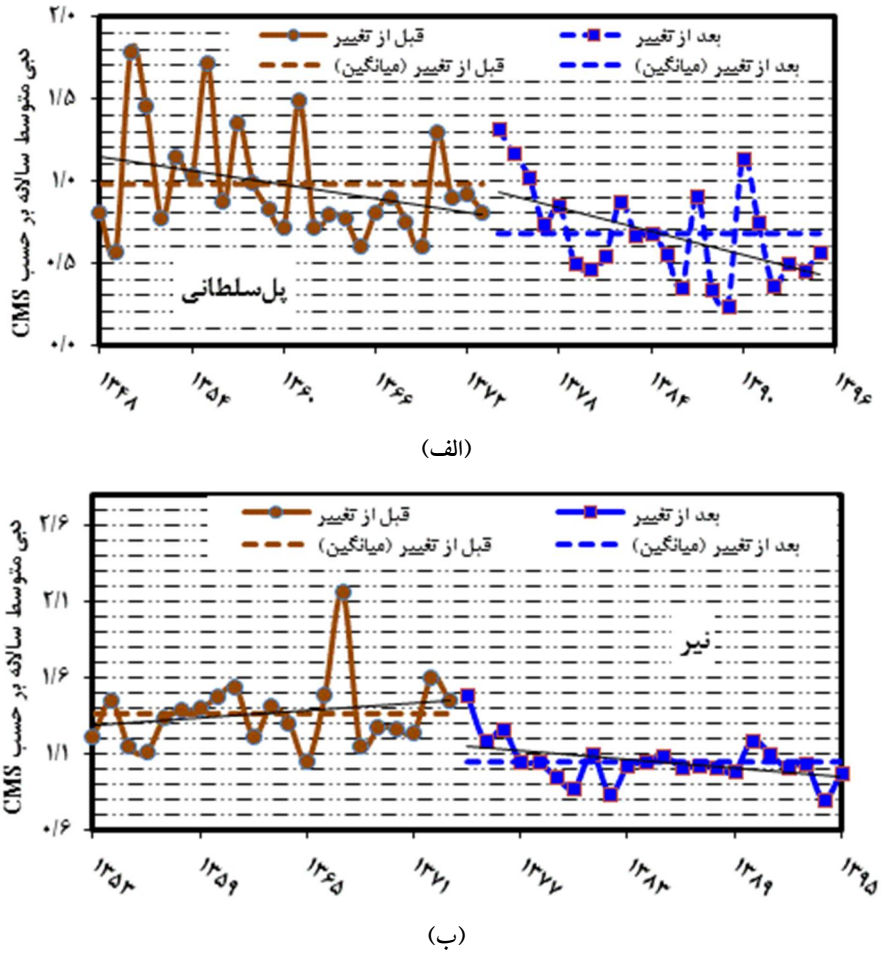
یافته‌های کمّی شاخص‌های مورد مطالعه در ایستگاه‌های آب‌سنجی دامنه کوهستان سبلان در جدول (٦) ارائه شده است. نمودار تغییرات مقادیر دبی متوسط سالانه در دوره‌های قبل و بعد از تغییر مؤلفه‌های اقلیمی در ایستگاه‌های پل‌سلطانی و نیر در دامنه سبلان در استان اردبیل در شکل (٤ الف و ب) ارائه شده است. هم‌چنین هیستوگرام مربوط به مقادیر شاخص‌های CV، Var، Lanes، BFI، FFI و MDBF در دوره‌های قبل و بعد از تغییر مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما در ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد مطالعه در استان اردبیل در شکل (۵) ارائه شده است.

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

Table 5- Quantified values of the studied variables in hydrometric gauge stations of Ardabil province

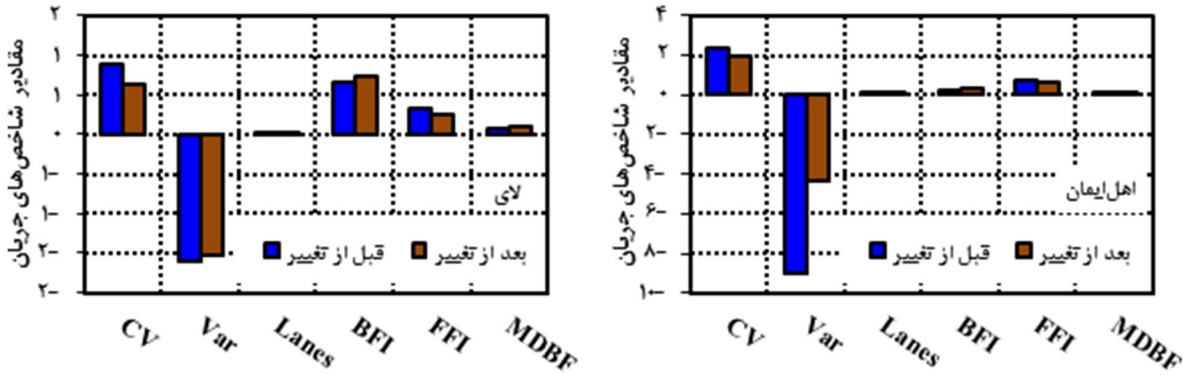
متغیرهای اصلی	شاخص‌ها	اهل‌ایمان		لای		نیر		پل‌سلطانی		ویلادرق	
		قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد
آماره‌های کلی	min	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰
	max	۷/۰۱	۹/۵۸	۵/۲۷	۱/۲۸	۷۴/۰۰	۷/۹۱	۱۱۶/۰۰	۲۱/۶۰	۰/۶۹	۰/۹۵
	Q10	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۴۸	۰/۴۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۳
	Q90	۰/۷۴	۰/۴۷	۰/۲۰	۰/۲۴	۲/۲۱	۱/۷۲	۱/۵۰	۱/۳۱	۰/۱۲	۰/۱۰
	Mean	۰/۳۰	۰/۲۱	۰/۱۱	۰/۱۴	۱/۳۴	۱/۰۴	۰/۸۳	۰/۶۱	۰/۰۸	۰/۰۷
	Median	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۳	۱/۳۰	۰/۸۸	۰/۷۱	۰/۳۷	۰/۰۷	۰/۰۶
	CV	۲/۳۵	۱/۹۲	۰/۸۹	۰/۶۳	۰/۸۹	۰/۵۸	۲/۱۴	۱/۷۵	۰/۸۵	۰/۷۷
	StD	۰/۷۰	۰/۴۱	۰/۱۰	۰/۰۹	۱/۱۹	۰/۶۰	۱/۷۹	۱/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۵
	Skw	۳/۷۰	۱/۹۶	۱/۰۸	۱/۱۱	۱/۰۳	۱/۱۸	۱/۱۷	۱/۶۴	۱/۱۴	۱/۱۸
	Var	-۹/۰۶	-۴/۳۶	-۱/۶۰	-۱/۵۴	-۱/۳۳	-۱/۴۷	-۲/۱۱	-۳/۵۱	-۱/۲۹	-۱/۲۲
	Lanes	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۰۱
جریان پایه	BFI	۰/۲۵	۰/۳۶	۰/۶۷	۰/۷۴	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۴۴	۰/۳۷	۰/۶۵	۰/۷۴
	FFI	۰/۷۵	۰/۶۵	۰/۳۴	۰/۲۶	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۵۶	۰/۶۳	۰/۳۵	۰/۲۶
	MDBF	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۸۹	۰/۷۲	۰/۳۷	۰/۲۳	۰/۰۵	۰/۰۵

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025



شکل ٤: تغییرات دبی متوسط سالانه در دوره‌های قبل و بعد از تغییر مؤلفه‌های اقلیمی در ایستگاه‌های (الف) پل‌سلطانی و (ب) نیر

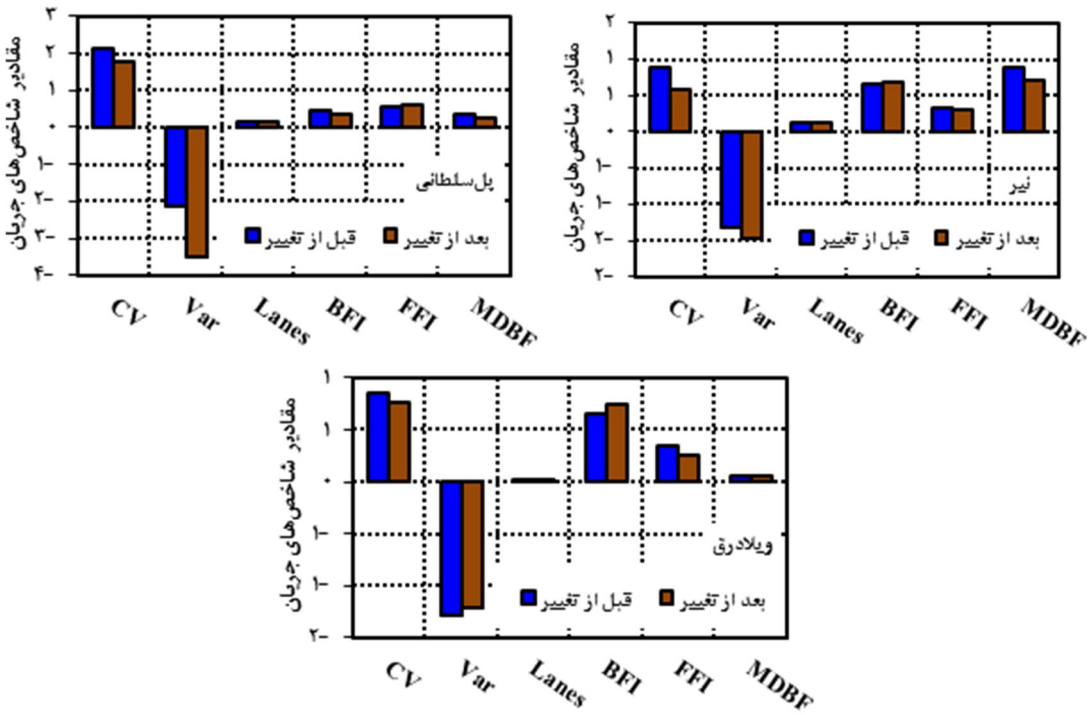
Figure 4: Changes in the average annual discharge in the periods before and after



شکل ۵:هیستوگرام مقادیر برخی از شاخص‌های مورد مطالعه در دوره‌های قبل و بعد از تغییر در استان اردبیل

Figure 5: Histogram of the values of some studied indicators in the periods before and after the change in Ardabil province

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025



ادامه شکل ۵: هیستوگرام مقادیر برخی از شاخص‌های مورد مطالعه در دوره‌های قبل و بعد از تغییر در استان اردبیل

Continue of figure 5: Histogram of the values of some studied indicators in the periods before and after the change in Ardabil province

جدول ۶- مقادیر درصد اختلاف آماره‌های کلی و شاخص‌های جریان پایه در ایستگاه‌های آب‌سنجی دامنه کوهستان سبلان

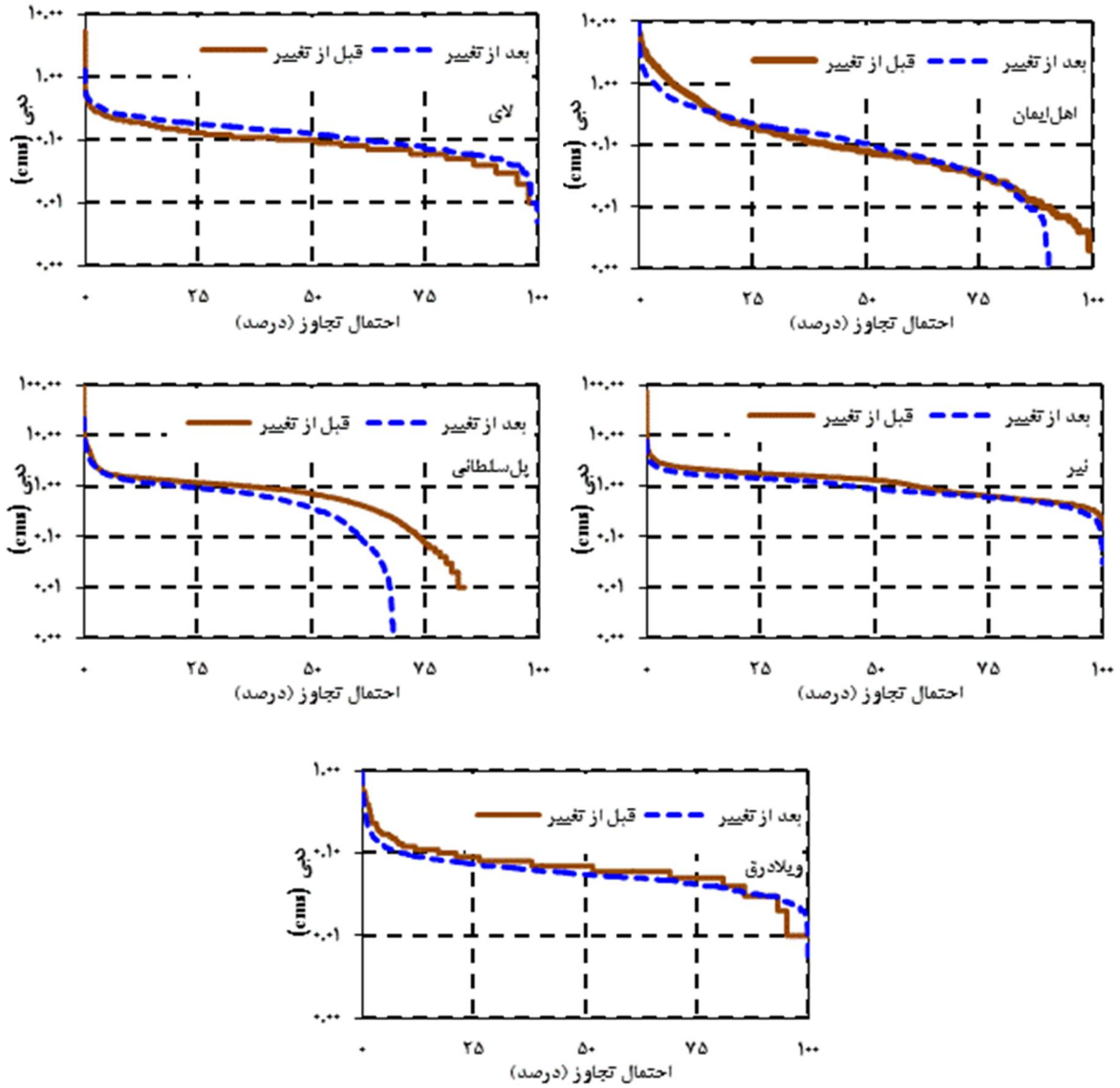
Table 7-Percentage values of general statistics and base flow indices in Sabalan mountain range hydrometric gauge stations

ردیف	متغیرهای اصلی	درصد اختلاف در متغیرهای اصلی جریان (٪)				
		اهل ایمان	لای	نیر	پل‌سلطانی	ویلادرق
۱	max	۳۶/۷	-۷۵/۷	-۸۹/۳	-۸۱/۴	۳۷/۵
۲	Q10	-۸۰/۰	۲۷/۵	-۱۲/۷	-	۳/۳
۳	Q90	-۳۶/۴	۲۱/۵	-۲۲/۲	-۱۲/۷	-۱۸/۳
٤	Mean	-۲۹/۳	۲۸/۷	-۲۲/۰	-۲۶/۷	-۱۷/۷
٥	Median	۳۳/۳	۲۵/۰	-۳۲/۰	-۴۷/۵	-۲۱/۴
٦	CV	-۱۸/۴	-۲۹/۰	-۳۵/۴	-۱۸/۲	-۹/۲
۷	StD	-۴۲/۲	-۸/۴	-۴۹/۶	-۳۹/۹	-۲۵/۴
۸	Skw	-۴۶/۹	۳/۱	۱۴/۷	۳۹/۶	۳/۷
۹	Var	-۵۱/۸	-۳/۹	۱۰/۶	۶۶/۲	-۵/۳
۱۰	Lanes	-۳۸/۰	۲۰/۸	-۱۶/۱	-۱/۸	-۳۵/۳
۱۱	BFI	۴۲/۰	۱۱/۷	۳/۶	-۱۵/۲	۱۴/۹
۱۲	FFI	-۱۴/۰	-۲۳/۳	-۷/۲	۱۲/۰	-۲۷/۱
۱۳	MDBF	۰/۰	۴۳/۱	-۱۹/۲	-۳۷/۹	-۵/۹

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025

نتایج مربوط به منحنی‌های تداوم جریان

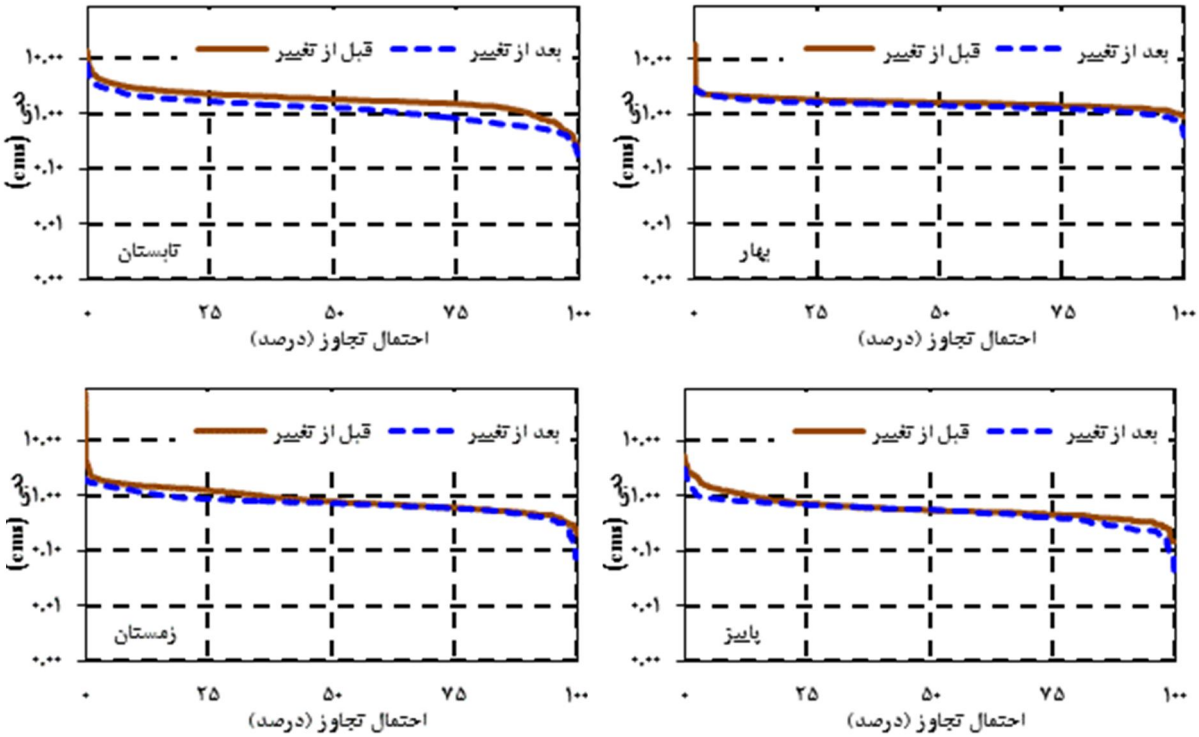
منحنی تداوم جریان سالانه و فصلی (بهار، تابستان، پاییز و زمستان) در ایستگاه‌های آب‌سنجی اهل‌ایمان، لای، نیر، پل‌سلطانی و ویلادرق مربوط به دوره‌های قبل و بعد از تغییر مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما در شکل‌های (٦) و (٧) ارائه شد.



شکل ٦: منحنی‌های تداوم جریان ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد مطالعه در استان اردبیل

Figure 6: Flow Duration Curves of hydrometric gauge stations studied in Ardabil province

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025



شکل ۷: منحنی‌های تداوم جریان فصلی در ایستگاه آب‌سنجی نیر در استان اردبیل

Figure 7: Seasonal flow duration curves at Nir hydrometric gauge station in Ardabil province

نتیجه‌گیری کلی

رودخانه‌ها یکی از منابع آب مصرفی هستند که برای مدیریت بهتر این منابع، اطلاع از روند دبی آن‌ها و عوامل ایجاد کننده تغییرات آن ضروری 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. از این‌رو در پژوهش حاضر، تحلیل جریان پایه، منحنی‌های تداوم جریان و نیز برخی از شاخصه‌های مهم جریان رودخانه‌ای تحت تأثیر مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما با استفاده از نرم‌افزار بسته تحلیل رودخانه در رودخانه‌های دامنه کوهستان سبلان ارزیابی شد. یافته‌ها نشان داد که بر اساس آماره‌های مختلف، جریان رودخانه‌ای از نقطه نظر شاخص‌ها و متغیرهای مختلف از قبیل منحنی تداوم جریان و جریان پایه از وقوع تغییر معنادار مؤلفه‌های بارش و دما تأثیرپذیر بوده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که ٦٣ درصد رودخانه‌های دامنه سبلان در استان اردبیل (هندالوچای، خیاوچای، لای چای، نیر چای و ویلادرق) تحت تأثیر مؤلفه‌های اقلیمی بارش و یا دما بوده‌اند. این در حالی است که رودخانه‌های امام‌چای، بولیک‌چای و نوران‌چای در دوره آماری مورد مطالعه (در سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۷۷) تحت تأثیر مؤلفه‌های اقلیمی نبوده و جریان طبیعی در این رودخانه‌ها بدون تغییر روندی معنادار، تداوم داشته است.

مقادیر آماره بیشینه جریان رودخانه‌ای در ایستگاه‌های آب‌سنجی لای، نیر و پل‌سلطانی کاهش چشم‌گیری داشته است که میزان کاهش این آماره در این ایستگاه‌ها به‌ترتیب ۷۵/۷، ۸۹/۳ و ۸۱/٤ درصد بوده است که با نتایج Nasiri

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025

Khiavi et al (2020) مبنی بر تأثیر ترکیبی احداث سد یامچی و نیز روند کاهشی بارش و روند افزایشی دما بر کاهش متغیر حداکثر جریان در استان اردبیل هم‌خوانی دارد. هم‌چنین میانگین دبی جریان رودخانه‌ای در اکثر ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد مطالعه در دوره بعد از تغییر نسبت به دوره قبل از تغییر کاهش یافته است. با توجه به کاهش مقادیر دبی متوسط و دبی بیشینه در اکثر ایستگاه‌ها، آماره ضریب تغییرات نیز در تمامی ایستگاه‌ها در دوره‌های بعد از تغییر مؤلفه‌های اقلیمی کاهش یافته است و شاخص تغییرپذیری نیز مؤید این مورد را تائید می‌نماید. از طرفی آماره انحراف معیار جریان رودخانه‌ای در تمامی ایستگاه‌ها روند کاهشی داشته است که در همین راستا، Esfandyari Darabad et al (2020) نیز کاهش انحراف معیار در جریان رودخانه‌ای را تحت تاثیر اثر تنظیمی سد گزارش نموده اند.

در ارتباط با شاخص تغییرپذیری Lane می‌توان بیان کرد که برخلاف شاخص‌های ضریب تغییرات و تغییرپذیری، مقادیر این شاخص انحراف زیادی نداشته است و درصد اختلاف مقادیر این شاخص در هر دوره در ایستگاه‌های آب‌سنجی اهل‌ایمان، لای، نیر، پل‌سلطانی و ویلادرق به‌ترتیب ۳۸-، ۲۰/۸، ۱۶/۱، ۱/۸- و ۳۵/۳- بوده است. برخلاف کاهش مقادیر دبی میانگین و دبی بیشینه، شاخص جریان پایه در اکثر ایستگاه‌ها روند افزایشی داشته است و فقط در ایستگاه پل‌سلطانی این شاخص ۱۵/۲ درصد کاهش داشته است که این امر را می‌توان با تداوم ذوب برف از مناطق بالادست کوهستان سبلان مرتبط دانست. می‌توان گفت جریان رواناب سطحی تأثیر آن‌چنان زیادی در مقادیر جریان پایه نداشته است که با نتایج Nasiri Khiavi et al (2018) در ایستگاه‌های آب‌سنجی آلادیزگه، ارباب‌کندی، سامیان و گیلانده در ارتباط با کاهش قابل‌توجه مقادیر جریان پایه هم‌خوانی ندارد. شاخص میانگین جریان پایه روزانه در اکثر ایستگاه‌ها سیر نزولی داشته است و فقط در ایستگاه آب‌سنجی لای حدود ٤٣/١ درصد نسبت به دوره قبل از تغییر افزایش داشته است. نتایج شاخص جریان سیلاب نیز مانند شاخص قبلی، در اکثر ایستگاه‌ها روند کاهشی داشته است. در منحنی‌های FDC کلی که بر اساس کل دوره‌های قبل و بعد از تغییر مؤلفه‌های اقلیمی ارائه شده است، تغییرات به‌صورت کلی نشان داده شده است و درصد اختلاف در دوره‌های قبل از تغییر و بعد از تغییر، چندان مشهود نیست. به‌طوری‌که در ایستگاه‌های آب‌سنجی اهل‌ایمان، لای، نیر، پل‌سلطانی و ویلادرق در دوره‌های قبل و بعد از تغییر، دبی در ۵۰ درصد روزهای سال به‌ترتیب مساوی یا بیش‌تر از ۰/۰۸۱ و ۰/۱۰۸، ۰/۱ و ۰/۱۲۵، ۱/۳ و ۰/۸۸٤، ۰/۷۱ و ۰/۳۷۲، ۰/۰۷ و ۰/۰۵۵ متر مکعب بر ثانیه برآورد شده است. این در حالی است که در منحنی‌های تداوم جریان فصلی که به‌تفکیک فصول در ایستگاه آب‌سنجی نیر ترسیم شده است، مقادیر نشان‌دهنده FDC در اکثر فصول کاهش بوده است که با نتایج Esfandyari Darabad et al (2020) مبنی بر کاهش تداوم جریان در دوره بعد از اثر (البته احداث سد) در یک راستاست. البته در فصل پاییز فقط روند افزایشی مشاهده شده است که مقدار آن در حدود ٤ درصد بوده است. بر اساس منحنی تداوم جریان فصلی، در ایستگاه نیر در دوره قبل از تغییر مؤلفه‌های اقلیمی، دبی در ۵۰ درصد روزهای سال، به‌ترتیب مساوی یا بیش‌تر از ۱/٦۳، ۱/٤۵، ۱/۸٤ و ۱/۲۹ متر مکعب بر ثانیه و این ارقام در دوره بعد از تغییر مؤلفه‌های اقلیمی ۰/۵۵، ۰/۵۷۲، ۰/۷۹ و ۰/۷۲۲ متر مکعب بر ثانیه برآورد شده است که نشان از تأثیر وقوع تغییر معنادار مؤلفه‌های بارش و یا دما بوده است. به‌طور کلی می‌توان گفت که تغییر

متغیرهای اقلیمی بارش و دما به‌صورت نسبی در اکثر شاخص‌های جریان رودخانه‌ای در رودخانه‌های دامنه سبلان تأثیرگذار بوده است. باید اشاره شود که در بالادست رودخانه‌های مورد مطالعه برداشت‌های انسانی حداقل است و سازه‌های ذخیره و یا انحراف برای بهره‌برداری وجود ندارد. هم‌چنین در سایر رودخانه‌های پایین دست، علاوه بر تأثیر مؤلفه‌های اقلیمی، تغییر دبی جریان رودخانه نیازمند تحلیل دقیق فعالیت‌های انسانی، اثرات تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین، انحراف آب، برداشت آب از چاه‌های اطراف رودخانه و دیگر فعالیت‌های مرتبط با منابع است. در همین راستا، Amini et al (۲۰۱۹) به اثر تنطیمی احداث سد سبلان بر رژیم جریان رودخانه قره‌سو در استان اردبیل اشاره نموده‌اند. شناخت دگرگونی‌های اقلیمی و رفتار متغیرهای اصلی بارش و دما و اثرات آن‌ها در آبخیزهای مختلف به‌خصوص در برنامه‌ریزی استفاده از آب در آینده از اهمیت خاصی برخوردار است.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025

References

- Arif, S.N.A.M., Mohsin, M.F.M., Bakar, A.A., Hamdan, A.R., & Abdullah, S.M.S. (2017), Change point analysis: a statistical approach to detect potential abrupt change. ***Jurnal Teknologi***, 79(5): 147-159.
- Asgari, E., Mostafazadeh, R.,& Haji, K. (2019).Change point analysis of discharge time series in some hydrometric stations in Golestan Province. ***International Journal of Environmental Science and Technology***, 21: 81–93. [In Persian]
- Asiabi-Hir, R., Mostafazadeh, R., Raoof, M., Esmali-Ouri, A. (2015). Water poverty index and its importance in water resources management. ***Extension and Development of Watershed Management***, (11),17-22 [in Persian].
- Bayat, F., Fakheri Fard, A.,& Asadi, E. (2018).Determining the base flow of the Liqvan river in order to assess the environmental flow. Proceedings of the International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Development Management in Iran, 1-12 [in Persian].
- Bayazidi, M., and Saghafian, B. (2011). Regional analysis of river flow drought in the southwestern regions of the country. ***Iranian Watershed Management Science and Engineering***, (14), 37-52. [in Persian].
- Esfandyari Darabad, F., Mostafazadeh, R., Shahmoradi, R., &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].
- Foulon, E., Rousseau, A., and Gagnon, P. (2018). Development of a methodology to assess future trends in low flows at the watershed scale using solely climate data. ***Journal of Hydrology***, 557,774-790.
- Gao, Y., Vogel, R.M., Kroll, C.C., Poff, N.L., and Olden, J.D. (2009). Development of representative indicators of hydrologic alteration. ***Journal of Hydrology***, 374,136-147.
- Garbrecht, J., Liew, M.V., & Brown, G.O. (2004). Trend in precipitation stream flow and evapotranspiration in the Great Plains of the United States. ***Journal of Hydrology***, 9(5): 360-367.
- Ghasemi, E., Fattahi, E., &Babaiei, O. (2013).Estimating the impact of climate change on snowmelt runoff on feature. ***Climatological research***, (13), 111-122 [in Persian].
- Ghorbanizadeh-Kharazi, H., Sedghi, H., Saghafian, B., & Pourhemmat, J. (2007). Investigating the effect of climate change on the maximum runoff time due to snowmelt (Case study: Karun and Dez rivers as the main sources of agricultural water in northern Khuzestan). ***Palnt and Ecosystem***, (11), 38-50. [in Persian].
- Gordon, N.D., McMahon, T.A., Finlayson, B.L., Gippel, Ch.J., & Nathan, R.J. (2004). **Stream hydrology An introduction for ecologists**,London: John Wiley & Sons pub.
- Guo, L.P., Yu, Q., Gao, P., Nie, X.F., Liao, K.T., Chen, X.L., Hu, J.M., Mu, X.M. (2018).Trend and change-point analysis of streamflow and sediment discharge of the Gongshui River in China during the last 60 years. ***Water (Switzerland)*** 10, 1–19. https://doi.org/10.3390/W10091273
- Hall, F.R. (1968), Base flow recessions-A review. ***Water Resource Research***, 5(4): 973–983.
- Hasani, M., Malekian, A., Samee, M., & Khamoush, M.R. (2012). Study of efficiency of various base flow separation methods in arid and semi-arid rivers (Case study: Hablehroud basin). ***Journal of Arid Biome***, 2(2),10-22 [in Persian].
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC: Geneva, Switzerland, 2007: 104pages.
- Karasovskaia, I., and Gottschalk, L.(1992). Stability of river flow regimes. ***Nordic Hydrology***, 23,137-154.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025

- Kelly, L., Kalin, R.M., Bertram, D., Kanjaye, M.,& Nkhata. Sibande, M. H., (2019), Quantification of temporal variations in base flow index using sporadic river data: Application to the Bua Catchment, Malawi. ***Water***, 901(11), 1-17.
- Khosravi, Gh., Sadodin, A., Ownegh, M., & Behremand, Mostafavi, A. H. (2019). Classification and identification of changes in river flow regime using the Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) Case study: (The Khormarud River- Tilabad Watershed-Golestan Province). ***Ecohydrology***, 6(3): 651-671 [in Persian].
- Lee, G., Lee, W.H., Lee, Lee, Y.S., Choi, J.H., Jung, J.E. Yang, K.J. L., Kim, J., (2019). The Effect of Reduced Flow on Downstream Water Systems Due to the Kumgangsan Dam under Dry Conditions. ***Water***, 11(739), 1-20.
- Li, L., Maier, H.R., Lambert, M.F., Simmons, C.T. &Partington, D. (2013), Framework for assessing and improving the performance of recursive digital filters for baseflow estimation with application to the Lyne and Hollic filter. ***Environmental Modeling and Software***, 41,163-175.
- Marofi, S., and Tabari, H., (2011). Detection of Marun river discharge trend using parametric and non-parametric methods. ***Quarterly Journal of Geographical Research***, 26(2), 125-146 [in Persian].
- Marsh, N. (2004). River analysis package- User Guide. 1-51.
- 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, pp 1-9.
- Mehri, S., Mostafazadeh, R., Esmali-Ouri, A. and Ghorbani, A. (2017). Spatial and temporal variations of base flow index (BFI) for the Ardabil Province river, Iran. ***Journal of the Earth and Space Physics***, 43(3),623-634. [in Persian].
- Mehri, S., Mostafazadeh, R., Esmaliouri, A.,& Ghorbani, A. (2017), Spatial and temporal variations of base flow index (BFI) for the Ardabil province river, Iran. **Journal of Earth and Space Physics**, 43,623–634
- Mohemmad, R., and Scholz M. (2016).Impact of climate variability and streamflow alteration on groundwater contribution to the base flow of the Lower Zab River (Iran and Iraq). ***Environmental Earth Sciences***, 75,1-11.
- Nasiri Khiavi, A., Mostafazadeh, R.,& Esmali-Ouri, A. (2018). Changes in river base flow index values in four consecutive hydrometric gauge stations located on Qareh-Sou river in Ardabil Province. First National Conference on Water Resources Management Strategies and Environmental Challenges, 30-31 April 2018, Sari-Iran, 1-9 [in Persian].
- Nasiri Khiavi, A., Mostafazadeh, R., Esmali-Ouri, A., Ghafarzadeh, O., and Golshan, M. (2019), Changes in environmental flow components under the effect of Sabalan dam in the Qarehsou river of Ardebil Province. ***Journal of Watershed Management Research***, 19, 85-94 .[in Persian].
- Nasiri Khiavi, A., Mostafazadeh, R., Esmali-Ouri, A., Ghafarzadeh, O., and Golshan, M. (2020).Alteration of hydrologic flow indicators in Ardabil Balikhlouchai 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].
- Palaniswami, S., & Muthiah, K. (2018). Change point detection and trend analysis of rainfall and temperature series over the vellar river basin. ***Polish Journal of Environmental Studies***. 27,1673–1682. https://doi.org/10.15244/pjoes/77080
- Piao, S., Ciais, P., Huang, Y., Shen, Z., Peng, S., Li, J., Zhou, L., Liu, H., Ma, Y., and Ding, Y., (2010). The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. ***Nature***, 467,43-51.
- Rango, A. (1996). Spaceborne remote sensing for snow hydrology applications. ***Hydrological Sciences Journal***, 41, 477–94

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025

- Ripl, W. (2003). Water: the bloodstream of the biosphere. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London.** Series B: Biological Sciences, 358(1440), 1921–1934. https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1378
- Stewardson, M., & Marsh, N. (2003). Using the river analysis package (RAP) for Environmental Flow Studies. In 28th International Hydrology and Water Resources Symposium: About Water; Symposium Proceedings. Institution of Engineers, Australia. pp. 2-65. https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.356816695018416
- Tallaksen, L.M. (1995). A review of baseflow recession analysis. ***Journal of Hydrology***, 165(1–4), 349–370.
- Taylor WA (2000) Change-point analysis: a powerful new tool for detecting changes. Available at: http://www.variation.com/cpa/tech/changepoint.html (accessed 4 February 2014).. Taylor Enterp. 1–19.
- Yousefi, Y., Roradeh, H., and Razavi, S.M. (2011). Spatial and temporal variability of river Flow in mazandaran Province. ***Geographical Planning of Space Quarterly Journal***, 1(2): 75-88 [in Persian].
- Zare-Chahooki, A., Salajegeh, A., Mahdavi, M., Khalighi-Sigaroudi, Sh., and Asadi, S. (2012).Regional model of flow duration curve of watershed flow without arid regions (Case study: Central Iran). ***Range and Watershed***, 66(2), 251-256 [in Persian].

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 7:42 IRST on Tuesday January 21st 2025

Changes in Base Flow Indicators and Flow Duration Curves of Rivers Originated From Sabalan Mountain Under the Influence of Climatic Variables

Raoof Mostafazadeh[1*], Fariba Esfandyari Darabad[2], Maasoomeh Gholizadeh Aghbelagh[3], Ali Nasiri Khiavi[4]
[1]Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
[2]Department of Natural Geography, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
[3]M.Sc. of Geomorphology- Environmental Management, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
[4]Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran
Email: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir(Corresponding Author)

Abstract
Rainfall and discharge components are important parameters among climatic and hydrological parameters that identifying their behavior for water resources management is of particular importance. The aim of this study was to analyze the changes in river flow indicators in quantifying Basal Flow Index (BFI) and Flow Duration Curve (FDC) in the Sabalan mountain rivers. Therefore, first, the daily flow discharge in river gauge stations were divided into two periods pre and post the change based on changes in flow indicators or climatic components. Then, general statistics, BFI and FDC were calculated using River Analysis Package (RAP) software. The results showed that the maximum statistical values of river flow in Lay, Nir and Pol-e-Soltani stations have significantly decreased. BFI in most stations had an increasing trend, which can be related to the possible continuation of snowmelt in the foothills of Sabalan. In Ahl-e-Iman, Lay, Nir, Pol-e-Soltani and Viladaraq stations in the periods pre- and post-change, flow discharge in 50% of the days of the year was equal to or more than 0.081 and 0.108, 0.1 and 0.125, 1.3 and 0.884, 0.71 and 0.372, 0.07 and 0.055 cms were estimated. In general, the change in river flow indicators has been affected by the occurrence of significant changes in rainfall and temperature components.

Introduction
Rainfall and discharge components are important parameters among climatic and hydrological parameters that identifying their behavior for water resources management is of particular importance. The aim of this study was to analyze the changes in river flow indicators in quantifying Basal Flow Index (BFI) and Flow Duration Curve (FDC) in the Sabalan mountain rivers.

Methodology
Therefore, first, the daily flow discharge in river gauge stations were divided into two periods pre and post the change based on changes in flow indicators or climatic components. Then, general statistics, BFI and FDC were calculated using River Analysis Package (RAP) software.

Discussion
The results showed that the maximum statistical values of river flow in Lay, Nir and Pol-e-Soltani stations have significantly decreased. BFI in most stations had an increasing trend, which can be related to the possible continuation of snowmelt in the foothills of Sabalan. In Ahl-e-Iman, Lay, Nir, Pol-e-Soltani and Viladaraq stations in the periods pre- and post-change, flow discharge in 50% of the days of the year was equal to or more than 0.081 and 0.108, 0.1 and 0.125, 1.3 and 0.884, 0.71 and 0.372, 0.07 and 0.055 cms were estimated.

Conclusion
As a conclusion, the change in river flow indicators has been affected by the occurrence of significant changes in rainfall and temperature components. It is worth noting that in the upstream of the studied rivers, human abstractions are minimal, and there are no storage structures or diversions for exploitation. Therefore, with a high degree of confidence, changes in river flow components can be attributed to the influence of climatic factors.

Keywords: Seasonal Flow Pattern, Change Point Analysis, Flow Discharge Variability