

تغییرات زمانی و مکانی شاخص جریان پایه در رودخانه‌های استان اردبیل

سونیا مهری^۱، رثوف مصطفی‌زاده^{۲*}، اباذر اسمعیلی عوری^۳ و اردوان قربانی^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

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

۳. دانشیار، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(دریافت: ۹۵/۲/۶، پذیرش نهایی: ۹۵/۱/۵)

چکیده

جریان رودخانه‌ای یکی از مهم‌ترین منابع آبی است که برای مصارف مختلف حائز اهمیت بوده و روند تغییرات آن در مدیریت منابع آب ضروری است. هدف تحقیق حاضر، ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی جریان سطحی و جریان پایه رودخانه‌های حوضه استان اردبیل در ۲۲ ایستگاه هیدرومتری است. بدین منظور از آمار دبی روزانه و بارندگی با دوره آماری مشترک از سال ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۰ استفاده شد. پس از محاسبه رواناب کل، دبی پایه به روش حداقل محلی و مقادیر شاخص جریان پایه (BFI)، محاسبه و تغییرات آن‌ها درون‌یابی شد. سپس دوره‌های آماری موجود به دوره‌های پنج‌ساله، تقسیم و تغییرات مقادیر جریان پایه و BFI و نیز ارتباط آن با مقادیر رواناب کل و بارندگی تحلیل شد. براساس نتایج، تغییرات کاهشی دبی در تعداد بیشتری از ایستگاه‌ها مشاهده شد. مقایسه مقادیر بارش با تغییرات دبی پایه، حاکی از تأثیر اندک بارش بر روند کاهشی دبی ایستگاه‌ها است. دامنه تغییرات شاخص BFI، از ۰/۰۵ تا ۰/۸۸ متغیر است. علاوه بر این الگوی تغییرات مکانی رواناب کل، دبی پایه و شاخص BFI مشابه بوده و بیشترین مقادیر در هر متغیر به محدوده غرب و جنوب غرب استان مربوط است. براساس مقایسه دبی پایه، رواناب کل و شاخص جریان پایه، بیشترین دبی پایه با مقدار ۳۰ متر مکعب بر ثانیه به ایستگاه دوست بیگلو و بیشترین مقدار شاخص دبی پایه به ایستگاه گیلانده مربوط است. در مجموع در دوره‌های مورد مطالعه مقدار جریان پایه و BFI کاهش یافته و شدت کاهش جریان پایه در سه ماه فصل پاییز بیشتر بوده است.

واژه‌های کلیدی: استان اردبیل، تغییرات مکانی دبی پایه، تغییرات فصلی، دبی پایه، شاخص جریان پایه.

۱. مقدمه

تغییر در شرایط اقلیمی یک منطقه را مشخص کند (معروفی و وطبری، ۱۳۹۰؛ گاربرتچ و همکاران، ۲۰۰۴). 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. رودخانه‌ها معمولاً در طول فصول خشک و کم‌باران از سفره آب زیرزمینی تغذیه می‌کنند، جریان‌های کم معمولاً ناشی از تخلیه آب زیرزمینی یا دریاچه‌ها و مرداب‌ها و یا یخچال‌ها است (اسماختین، ۲۰۰۱). تغییرات مؤلفه‌های جریان رودخانه‌ها و بارش (که به میزان زیادی جریان رودها متأثر از آن است)، آثار اقتصادی بسیاری دارد و این تغییرپذیری در مقیاس‌های مختلف زمانی علت اصلی سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها به حساب می‌آیند (حجام، ۱۳۸۷). به واسطه تغییرپذیری این عوامل و نقش آن در بسیاری از مخاطرات طبیعی و مشکلات اقتصادی توجه

رودخانه‌ها یکی از منابع آب مصرفی هستند. برای مدیریت بهتر این منابع، اطلاع از روند دبی آن‌ها و عوامل ایجادکننده آن ضروری است. جریان پایه (Base Flow) نیز بخشی از جریان کلی رودخانه است که به بارندگی واکنش نشان می‌دهد و به‌طور معمول با آب تخلیه‌شده از ذخیره آب زیرزمینی مرتبط است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۱؛ بایزیدی و ثقفیان، ۱۳۹۰). جریان رودها دارای تغییرپذیری زیادی در مقیاس زمانی و مکانی مختلف هستند. بخش عمده این تغییرات در اثر عوامل جوی است، بنابراین تغییرپذیری جزئی ذاتی جریان رودهاست (یوسفی، ۱۳۹۰). جریان رودخانه‌ای به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم در هیدرولوژی با منابع آب در ارتباط متقابل است. بنابراین، تغییرات عوامل اقلیمی می‌تواند بر آب‌دهی رودخانه مؤثر باشد. از این رو بررسی تغییرات دبی رودخانه در طول زمان می‌تواند آثار تغییر یا عدم

پژوهشگران زیادی، به آن معطوف شده است. شاخص جریان پایه (Base Flow Index) می‌تواند راهنمای مناسبی در تغییرات جریان پایه رودخانه باشد. مقدار شاخص جریان پایه با رواناب کل به دست می‌آید. محققان بسیاری درباره تغییرات اقلیمی و تغییرات زمانی و مکانی جریان رودها مطالعه کرده‌اند. از جمله مساح‌بوانی و مرید (۱۳۸۴) با بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر دما، بارندگی و رواناب در حوضه رودخانه زاینده‌رود به این نتیجه دست یافتند که بارندگی، به مقدار ۱۰ و ۱۶ درصد و دما به مقدار ۴/۶ و ۳/۲ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است. همچنین نتایج پژوهش آن‌ها کاهش ۵/۸ درصدی جریان رودخانه‌ای و افزایش ضریب تغییرات جریان تا ۳ برابر را برای دوره‌های آبی نشان می‌دهد. یوسفی و همکاران (۱۳۹۰) تغییرپذیری زمانی و مکانی جریان رودها را، با استفاده از آمار ۱۹ ایستگاه واقع در استان مازندران ارزیابی کردند. در این راستا نتایج تحقیق آنها نشان داد که بیشترین دبی ماهانه در رودهای استان در فصل بهار و پاییز اتفاق افتاده است. همچنین بیشترین توضیح واریانس در هارمونیک اول در ایستگاه کلیسیان به مقدار ۶۰ درصد مشاهده شد. حسنی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به بررسی کارایی برخی از روش‌های جداسازی جریان پایه در رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک در حوزه آبخیز حبله‌رود پرداختند. در تحقیق ایشان، از روش عددی برگشتی یک پارامتره و دو پارامتره و حداقل محلی استفاده شد و نتایج نشان داد که در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه نمرود روش حداقل محلی (Local Minima)، روش مناسبی برای برآورد دبی پایه از جریان کلی رودخانه است. بهرمنند و همکاران (۱۳۹۲) در غرب دریاچه ارومیه روند تغییرات بلندمدت دبی و بارندگی را با استفاده از نرم‌افزار R و روش‌های آماری ناپارامتریک تحلیل کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که دبی در اکثر ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی است ولی بارندگی در یک‌سری از ایستگاه‌ها بدون روند است و در بعضی دیگر روند کاهشی داشته است. این روند کاهشی دبی و بارندگی در ایستگاه‌های مختلف با

وضعیت جهانی تغییر اقلیم در نیمکره شمالی و عرض‌های ۳۰ درجه که عمدتاً خشک‌تر شدند، مطابقت دارد. فرخ‌نیا و مرید (۱۳۹۳) اثر تغییرات بارش و دما را بر روی روند جریان رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از روش‌های مختلفی بررسی کردند و نتیجه گرفتند که روند کاهشی دبی در همه ایستگاه‌ها مشاهده شده و در ۹ ایستگاه از آن‌ها روند معنادار بوده است. همچنین دما و بارش تأثیر مستقیمی بر وجود روند معنادار در دبی‌ها داشته است. وال و توتورلی (۱۹۹۶) روند احتمالی در جریان رودخانه‌ای را در غرب اوکلاهما در کانادا مطالعه کردند و نتیجه گرفتند که جریان رودخانه‌ای دارای روند کاهشی معناداری بوده است. کیلی (۱۹۹۸) تغییر اقلیم در ایرلند را با استفاده از داده‌های بارش و دبی، بررسی و نتیجه‌گیری کرده است که افزایش در بارش و دبی در رودخانه‌های ایرلند با نوسان فشار هوا در سطح اقیانوس اطلس شمالی ارتباط دارد. اسماختین (۲۰۰۱) در آفریقای جنوبی به توصیف عملکرد الگوریتم تفکیک فیلتر عددی برگشتی (Recursive Digital Filter) ارائه‌شده توسط لین و هولیک (Hollick & Lynne) در جداسازی جریان پایه با استفاده از داده‌های ماهانه جریان رودخانه پرداختند. چالیس و همکاران (۲۰۰۳) با تحلیل منطقه‌ای جریان کم‌آبی به روش معادله همبستگی چند متغیره و استفاده از مشخصات حوزه و داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در هیمالیا دریافتند که میانگین بارش سالانه از عامل‌های مؤثر بر جریان کم‌آبی و دبی‌های پایه رودخانه است. جیانگ و همکاران (۲۰۰۷) روند تغییرات بارندگی و دبی رودخانه را در حوضه رودخانه یانگ‌تسه در دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ تجزیه و تحلیل کردند. نتایج آن‌ها روندی مثبت و معنادار را در داده‌های بارندگی فصل تابستان نشان داد. همچنین نشان دادند که دبی رودخانه در بیشتر ایستگاه‌ها در دوره آماری ۴۰ ساله به‌طور معناداری افزایش یافته است. کالیک و همکاران (۲۰۰۹) به تحقیق درباره وجود روند به ترتیب در دبی و رژیم رودخانه‌ها در کانادا پرداختند که نتایج، وجود روند

باشد؛ بنابراین بررسی تغییرات دبی رودخانه می‌تواند تأثیرات ناشی از تغییرات را مشخص کند. تعیین تغییرات جریان دبی پایه و تحلیل رفتار آن در فصول مختلف در تعیین بهره‌برداری از آب‌های سطحی و نیز ارزیابی وضعیت زیست‌محیطی دارای اهمیت است (همتی، ۱۳۹۱ و یوسفی، ۱۳۹۰). در تحقیق حاضر تغییرات زمانی و مکانی رواناب کل، جریان پایه و شاخص BFI و ارتباط متغیرهای مذکور ارزیابی شده است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی دبی پایه، ارتباط دبی پایه و رواناب کل و مقایسه مقادیر دبی پایه، دبی کل و شاخص جریان پایه در مقیاس زمانی ماهانه در رودخانه‌های استان اردبیل انجام گرفته است. در همین راستا، تغییرات دبی پایه در ماه‌های مختلف، تغییرات شاخص جریان پایه و تعیین تأثیر بارندگی در حوزه‌های آبخیز در تغییرات دبی استان اردبیل ارزیابی شد. در خصوص تغییرات مکانی تفاوت بین رفتار حوزه‌ها براساس آمار مشاهداتی ایستگاه‌های مورد مطالعه مدنظر بوده است.

۲. مواد و روش

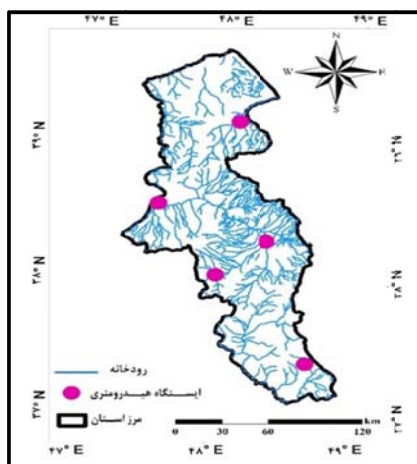
۲-۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

استان اردبیل در شمال غربی فلات ایران بین مختصات ۴۵' ۳۷° تا ۴۲' ۳۹° عرض شمالی و ۳' ۴۷° تا ۵۵' ۴۸° طول شمالی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است که از شمال با جمهوری آذربایجان همسایه است و از قسمت شرق با استان گیلان، از جنوب با استان زنجان و از غرب با استان آذربایجان شرقی هم‌جوار است. استان اردبیل جزو نواحی سردسیر کوهستانی محسوب می‌شود و مقدار نزولات جوی در استان اردبیل به‌طور متوسط بین ۲۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در سال در بخش‌های مختلف استان نوسان دارد. با توجه به وجود رودخانه‌های متعدد و پرآب که از ارتفاعات ییلاقی سرچشمه می‌گیرند، جریان پایه، بخش عمده‌ای از جریان رودخانه‌ای را در استان اردبیل تشکیل می‌دهد. جریان پایه یکی از شاخص‌های مهم، در ارزیابی، بهره‌برداری و مدیریت رودخانه خصوصاً در شرایط

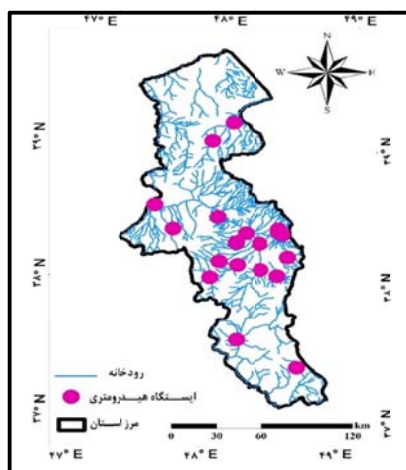
کاهش در دبی رودخانه‌های کانادا را نشان داد. آران‌سیبا و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی، نقش متغیرهای اقلیمی و حوزه‌ای را در برآورد جریان پایه بررسی کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که مشخصه‌های حوزه شامل شکل، شیب، پوشش گیاهی و متغیرهای اقلیمی نظیر میانگین بارش سالیانه نقش مؤثری در تغییرات جریان پایه دارند. وان‌لن و همکاران (۲۰۱۵) در یک مطالعه کنترل شدت خشکسالی هیدرولوژیکی را در ۴۴ حوزه کشور اتریش با سری‌های زمانی طولانی از داده‌های هواشناسی (۵۰ ساله) و ویژگی‌های فیزیوگرافی حوزه آبریز با استفاده از روش سطح آستانه متغیر بررسی کردند. همچنین از روش‌های مختلف آماری از جمله تجزیه و تحلیل همبستگی و مدل‌های رگرسیون یک و چند متغیره استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مدت زمان خشک‌سالی هیدرولوژیکی در رودخانه در درجه اول مربوط به کنترل مقدار ذخیره‌سازی در رودخانه، اندازه‌گیری شاخص جریان پایه و ترکیبی از ویژگی‌های مربوط به ذخیره آب‌های زیرزمینی است. علاوه بر این، در طول دوره خشکی مقدار بارش عواملی مانند ذخیره آب در خاک، سفره‌های آب زیرزمینی و دریاچه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در نهایت به این نتیجه دست یافتند که شدت خشکی هیدرولوژیکی به‌شدت به فرایندهای هیدرولوژیکی زمینی وابسته است. براساس مرور منابع، تحلیل‌های انجام گرفته در خصوص تغییرات جریان رودخانه‌ای صرفاً بر اساس داده‌های رواناب کل بوده است و تفکیک مقدار دبی پایه و تحلیل جداگانه و همزمان آن صورت نگرفته است و کمبود مطالعات در خصوص تغییرات شاخص جریان پایه، لزوم اجرای تحقیق حاضر را توجیه می‌کند. تفکیک دبی پایه جریان و ارزیابی تغییرات رواناب کل، دبی پایه و تغییرات BFI و ارتباط آن با رواناب از مواردی است که تحقیق حاضر را از سایر موارد متمایز می‌سازد. عوامل متعددی در اندازه جریان پایه و روند تغییرات آن نقش دارند. تغییرات عوامل اقلیمی و دخالت‌های انسانی می‌تواند بر آب‌دهی رودخانه مؤثر

مختلف و در دوره‌های زمانی متوالی در استان اردبیل دارای اهمیت است. در این مطالعه از آمار دبی جریان روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری و آمار بارش روزانه ایستگاه باران‌سنجی با دوره آماری بیست‌ودو ساله از سال آبی ۱۳۶۸-۱۳۶۹ تا ۱۳۸۹-۱۳۹۰ واقع در آبخیزهای استان اردبیل استفاده شده است. بعد از بررسی آمار و رفع کردن نواقص آماری، از متوسط مقادیر دبی ماهانه و بارندگی برای تحلیل عوامل مؤثر در دبی پایه حوزه‌های مورد مطالعه استفاده گردید. در شکل‌های ۱ و ۲ موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در استان اردبیل نشان شده است. همچنین در جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های انتخابی ارائه شده است.

کم‌آبی است. بنابراین، در منطقه شمال‌غرب کشور و استان اردبیل نیز طی سال‌های اخیر با ناهنجاری‌های اقلیمی و پایین آمدن سطح آب‌های زیرزمینی بر اثر برداشت‌های غیراصولی از منابع آب و غیره روبه‌رو بوده است. این رخدادها منطقه را به‌سوی بحران کمبود آب در آینده به پیش می‌برد. همچنین در استان اردبیل طی ۱۵ سال گذشته (۱۳۷۴ تا ۱۳۹۰) حدود ۳۰۰ بلای جوی و اقلیمی رخ داده، و روند این بلاها در سطح منطقه افزایشی است. از طرفی تعیین تغییرات دبی پایه جریان و تحلیل رفتار آن در فصول مختلف می‌تواند در برنامه‌ریزی بهره‌برداری از آب‌های سطحی و نیز برآورد و تخصیص جریان زیست‌محیطی استفاده شود. بنابراین تعیین تغییرات جریان دبی پایه و تحلیل رفتار آن در فصول



شکل ۱. موقعیت پنج ایستگاه هیدرومتری مورد استفاده در تحلیل تغییرات زمانی در استان اردبیل.



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده در تغییرات مکانی در استان اردبیل.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب و مورد استفاده در تحلیل‌ها در استان اردبیل.

| ردیف | نام محدوده مطالعاتی | نام رودخانه | نام ایستگاه | سطح حوضه (کیلومتر مربع) |
|------|---------------------|--------------|---------------|-------------------------|
| ۱ | اردبیل | بالخوچای | پل الماس | ۱۰۷۰ |
| ۲ | | قره‌سو | سامیان | ۴۰۰۴ |
| ۳ | | نیرچای | نیر | ۲۵۶ |
| ۴ | | قره‌سو | آلادیزگه | ۲۲ |
| ۵ | | نمینچای | نمین | ۴۴ |
| ۶ | مشکین شهر | قره‌سو | دوست بیگلو | ۷۳۱۱ |
| ۷ | | قره‌سو | اریاب کندی | ۴۸۰۰ |
| ۸ | خلخال | فیروزآبادچای | فیروزآباد | ۱۵۱۵ |
| ۹ | اردبیل | قوریچای | کوزه‌تیراچی | ۸۱۲/۵ |
| ۱۰ | | بالخوچای | گیلانده | ۱۶۳۸ |
| ۱۱ | | هیرچای | هیر | ۱۷۸ |
| ۱۲ | اردبیل | ویلادرقچای | ویلادرق | ۹۴ |
| ۱۳ | | شهریورچای | باروق | ۹۶ |
| ۱۴ | | سقزچیچای | ایریل | ۸ |
| ۱۵ | | نرگسچای | ننه کران | ۴۰ |
| ۱۶ | | سولاچای | سولا | ۴۴ |
| ۱۷ | | یدی بولیکچای | عموقین | ۱۱۰ |
| ۱۸ | | آغچای | شمس‌آباد | ۱۲۸ |
| ۱۹ | | مشکین شهر | خیابوچای | پل سلطانی |
| ۲۰ | مغان | برزندچای | حاجی احمدکندی | ۱۵۷ |
| ۲۱ | | ساریقمیش | اکبرداود | ۷۱۰ |
| ۲۲ | خلخال | شاهرود | دورود | ۱۵۸ |

۲-۲. روش تحقیق

۲-۲-۱. داده‌های مورد استفاده

مقادیر دبی جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری و بر روی رودخانه‌های اصلی اندازه‌گیری می‌شود. دبی جریان رودخانه‌ای از رواناب سطحی، جریان تأخیری و دبی پایه تغذیه می‌شود و برآیند آن‌ها در محل خروجی حوضه‌های آبخیز در رودخانه جریان می‌یابد. مقادیر دبی در مقیاس زمانی روزانه اندازه‌گیری شده و برای مطالعات آب‌دهی جریان، مدیریت مصارف و برنامه‌ریزی استفاده از منابع آب سطحی استفاده می‌شود. برای پژوهش حاضر، از داده‌های دبی روزانه ثبت شده در ۲۲ ایستگاه هیدرومتری با طول دوره آماری بیست‌و دو ساله، از سال ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۰

استفاده شده است. در ادامه براساس دامنه مقادیر آب‌دهی جریان، پنج ایستگاه هیدرومتری دوست بیگلو، اکبرداود، گیلانده، نیرچای و دورود با مقادیر دبی خیلی کم تا خیلی زیاد به‌عنوان شاخص انتخاب شد.

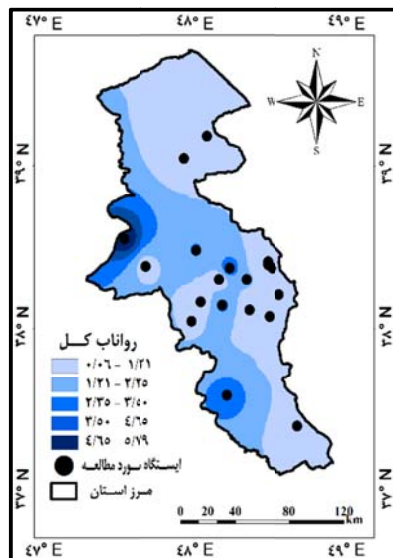
۲-۲-۲. محاسبه دبی پایه و شاخص جریان پایه

ابتدا دبی پایه از هیدروگراف روزانه جریان با روش حداقل محلی (Local Minima) و فرمول‌نویسی در نرم‌افزار اکسل محاسبه شد. در روش حداقل محلی، مقادیر دبی جریان در یک روز معین با مقادیر دبی در روز قبل و بعد از آن مقایسه می‌شود. با اتصال نقاط انتخابی به هم، منحنی جدایش هیدروگراف به دست می‌آید که در آن N برای زمان پایه (تعداد روز در فاصله معین) برحسب روز است.

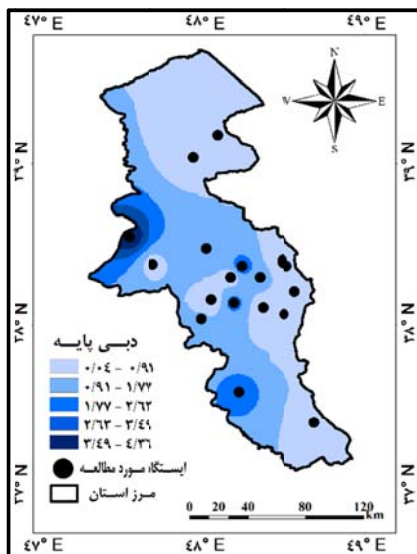
جریان پایه در ماه‌های سال تحلیل شد (وال و توتورلی، ۱۹۹۶). همچنین تأثیر تغییرات بارندگی ماهانه بر تغییرات دبی پایه در ماه‌های مختلف تفسیر شد.

۳. نتایج

نتایج تغییرات مکانی رواناب کل، دبی پایه و شاخص جریان پایه با استفاده از روش وزنی معکوس فاصله برای ۲۲ ایستگاه هیدرومتری استان اردبیل به ترتیب در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ ارائه شده است.



شکل ۳. تغییرات مکانی رواناب کل در آبخیزهای استان اردبیل.



شکل ۴. تغییرات مکانی دبی پایه در آبخیزهای استان اردبیل.

پس از محاسبه مقادیر جریان پایه، مقدار شاخص جریان پایه محاسبه گردید. شاخص جریان پایه (Base Flow Index) یک نسبت بدون بعد است که اولین بار توسط پژوهشکده هیدرولوژی انگلستان به کار گرفته شد. این شاخص از تقسیم حجم دبی پایه بر رواناب کل در هر سال یا کل دوره آماری به دست می‌آید و بیانگر اطلاعاتی در مورد نسبت رواناب مشتق شده از منابع ذخیره‌ای حوزه آبخیز است (اسماختین، ۲۰۰۱). شاخص جریان پایه به منظور منشاء‌یابی جریان رودخانه‌ای و تعیین سهم هر بخش از جریان و یافتن منشاء تغییر کیفیت آب رودخانه، مورد نیاز است (حسنی و همکاران، ۱۳۹۱؛ اسماختین، ۲۰۰۱).

۲-۲-۳. درونیابی تغییرات شاخص جریان پایه،

رواناب کل و دبی پایه

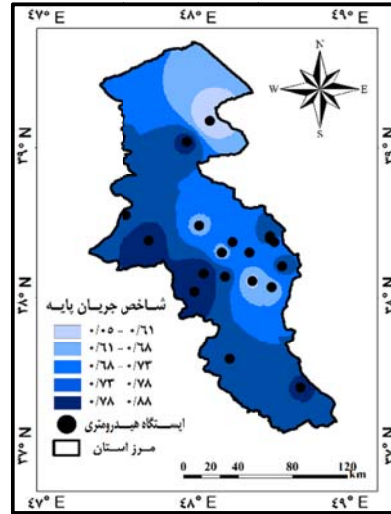
پس از محاسبه شاخص جریان پایه براساس آمار طولانی‌مدت در ۲۲ ایستگاه هیدرومتری در منطقه مورد مطالعه، مقادیر مذکور به روش وزنی معکوس فاصله (IDW) درونیابی گردید. همچنین به منظور ارزیابی تغییرات مکانی رواناب کل، دبی پایه و شاخص جریان پایه به صورت نقشه تهیه گردید (آهیتا و ویلیمس، ۲۰۱۵). در خصوص داده‌های بارندگی، فقط از آمار بارش ماهانه مربوط به پنج ایستگاه مذکور استفاده شده است. سپس متوسط فراوانی مقادیر دبی و بارندگی ایستگاه‌های منتخب در مقیاس ماهانه محاسبه شد.

۲-۲-۴. ارزیابی تغییرات زمانی مؤلفه‌های جریان

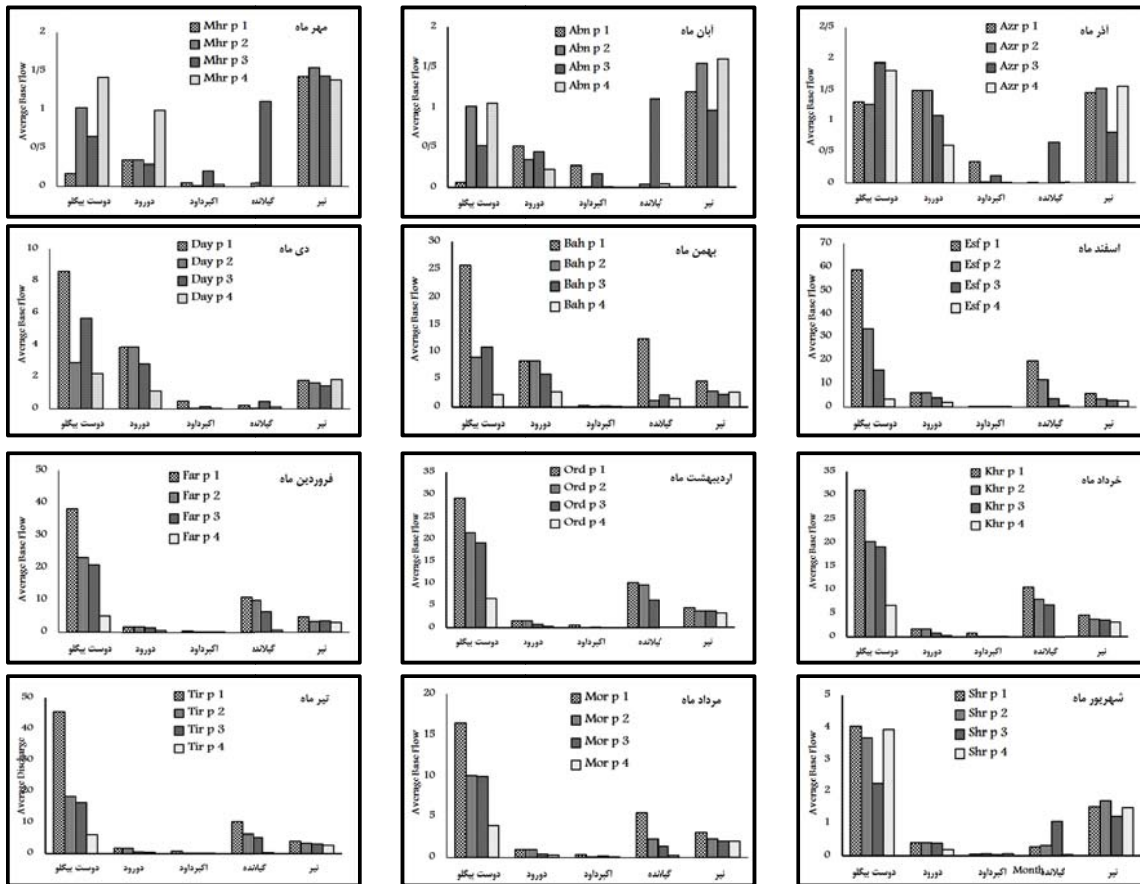
رودخانه‌ای

با تقسیم‌بندی آمار موجود به دوره‌های پنج‌ساله، تغییرات زمانی مقادیر بارش، رواناب، دبی پایه، شاخص جریان پایه آن در ماه‌های مختلف با همدیگر مقایسه و ارزیابی شد. همچنین همبستگی میان مقادیر دبی پایه و شاخص جریان پایه با مقادیر رواناب کل ارزیابی گردید. در ادامه، ارتباط میان فراوانی مقادیر دبی کل، دبی پایه و نیز شاخص

محدوده‌های شمال‌شرقی و شرق استان مشهود است که این امر را می‌توان با توجه به مجاورت ایستگاه‌های موجود در مناطق مذکور با عرصه‌های جنگلی استان گیلان و در نتیجه بیشتر بودن شیب و بالابودن رواناب سطحی توجیه کرد. این در حالی است که محدوده‌های واقع در قسمت‌های غرب و جنوب غربی استان و منطقه سبلان، مشرف به کوهستانی و برف‌گیر هستند و در نتیجه مقادیر دبی پایه در مناطق مذکور بیشتر است و عمدتاً رودخانه‌هایی را که جزو سرشاخه‌های اصلی و پُرآب موجود در منطقه مورد مطالعه است، در بر می‌گیرند. در مجموع تغییرات مکانی مقادیر رواناب، دبی پایه و شاخص جریان پایه دارای الگوی یکسانی از تغییرات مکانی است. مقادیر دبی پایه ماهانه با یک دوره آماری پنج‌ساله مشترک در بین ایستگاه‌ها در ماه‌های مختلف محاسبه و نتایج در شکل ۶ ارائه شده است.



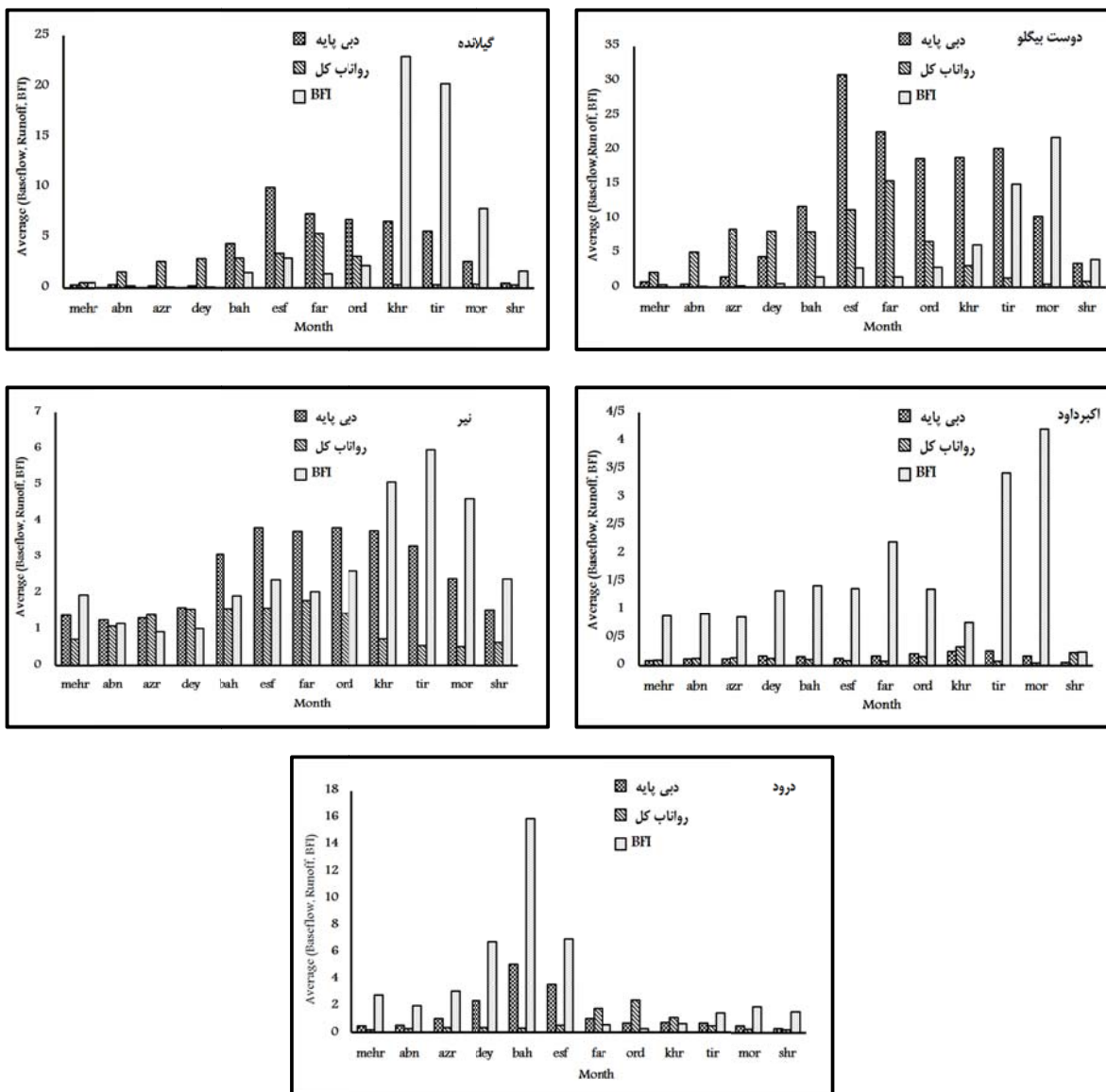
شکل ۵. تغییرات مکانی شاخص جریان پایه در آبخیزهای استان اردبیل. براساس اطلاعات نقشه تغییرات مکانی شاخص جریان پایه، متوسط مقدار شاخص جریان پایه محاسباتی در استان اردبیل برابر ۰/۷۲ است. همچنین با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۳ کمترین مقادیر شاخص جریان پایه در



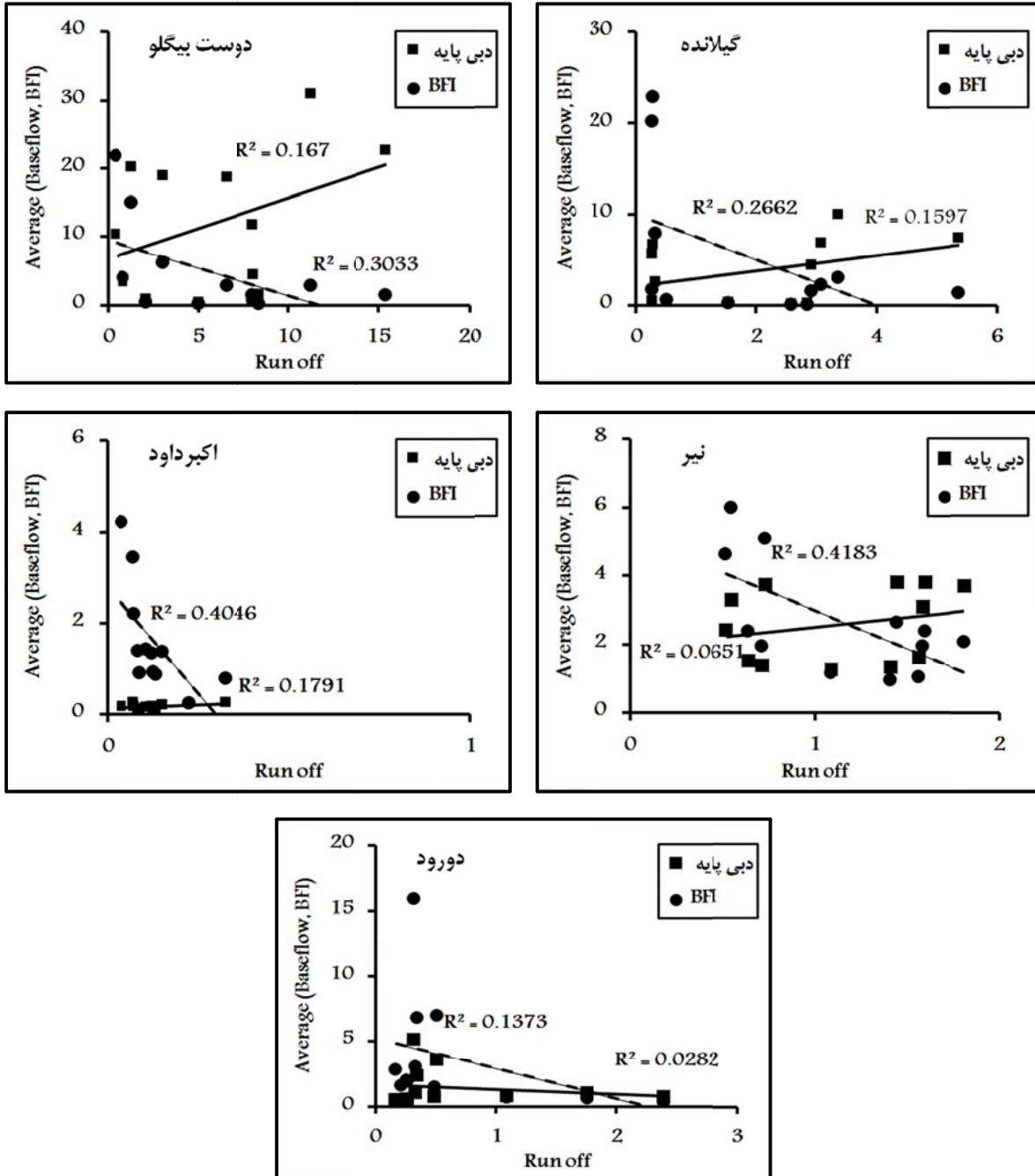
شکل ۶. تغییرات دبی پایه در دوره‌های آماری پنج ساله در ایستگاه‌ها و ماه‌های مختلف در حوزه‌های استان اردبیل.

بیشترین مقدار دبی پایه و BFI، به ترتیب مربوطه به ایستگاه‌های دوست بیگلو و گیلانده برابر با مقادیر ۳۰ مترمکعب در ثانیه و ۲۳ است. همچنین مقادیر دبی پایه در همه ایستگاه‌های دوست بیگلو، گیلانده، اکبر داود درود به جز نیر در سه ماهه فصل پاییز بسیار کم بوده است. نتایج مقایسه همبستگی بین مقادیر دبی پایه و شاخص جریان پایه با رواناب کل به صورت نمودار ترسیم گردیده و نتایج آن در شکل ۸ ارائه شده است.

بیشترین مقدار دبی پایه در اکثر ایستگاه‌ها مربوطه به دوره اول یا (پنج ساله اول) است. این در حالی است که در سه ماه پاییز تغییرات مقادیر دبی پایه در دوره‌های پنج ساله دارای روند مشخصی نبوده است. برای مقایسه سهم مشارکت جریان در ماه‌های مختلف، مقادیر دبی پایه از رواناب کل کسر شد و سپس از تقسیم مقادیر دبی پایه به دبی کل جریان، مقدار شاخص جریان پایه محاسبه گردید که نتایج آن در شکل ۷ ارائه شده است.



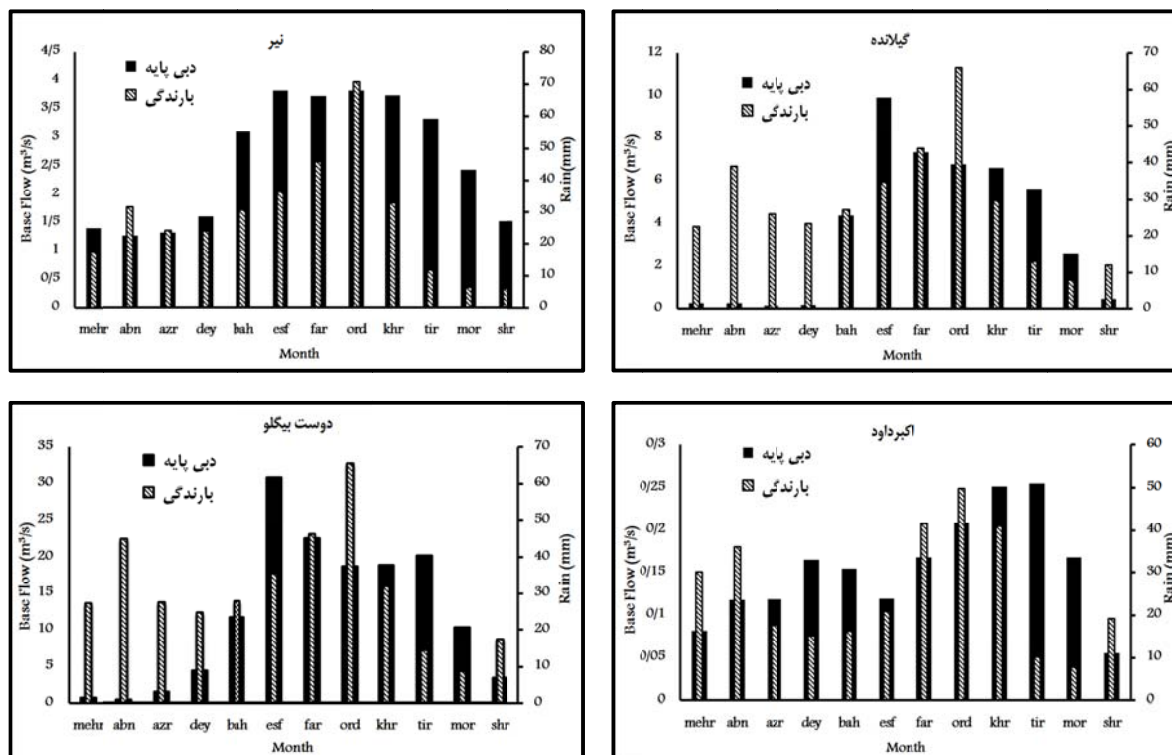
شکل ۷. مقایسه دبی پایه، دبی کل و شاخص جریان پایه در ماه‌های مختلف در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل.



شکل ۸ همبستگی بین مقادیر دبی پایه و شاخص جریان پایه با رواناب کل در پنج ایستگاه منتخب در استان اردبیل.

تغییرات آن در ماه‌های مختلف به صورت نمودار رسم شده و نتایج در شکل ۹ آمده است. شایان ذکر است که مقادیر بارندگی در ایستگاه دورود به علت نبود ایستگاه باران‌سنجی و نیز نبود امکان محاسبه بارش به روش‌های درون‌یابی به علت موقعیت آن در مرز حوضه، ارائه نشده است.

براساس اطلاعات شکل ۸ رابطه میان دبی پایه و رواناب کل مستقیم است، در حالی که رابطه میان شاخص جریان پایه و رواناب کل معکوس است. بیشترین همبستگی مثبت میان رواناب کل و دبی پایه به مقدار ۰/۱۷ درصد مربوط به ایستگاه اکبرداود است. به منظور تعیین اثر بارندگی در تغییرات دبی پایه، ارتباط بین مقادیر دبی و بارندگی و



شکل ۹. ارتباط بین مقادیر بارندگی و دبی پایه در ماه‌های مختلف در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل.

پایه و تعیین اثر بارندگی در تغییرات دبی جریان در ماه‌های مختلف، از سری‌های زمانی دبی روزانه جریان در ۲۲ ایستگاه هیدرومتری و آمار بارندگی پنج ایستگاه باران‌سنجی واقع در آبخیزهای استان اردبیل استفاده شده است. ابتدا مقادیر دبی پایه از هیدروگراف روزانه استخراج گردید و سپس نقشه تغییرات مکانی آن درون‌یابی شد. ارتباط دبی پایه با مؤلفه‌های دبی کل و بارندگی تجزیه و تحلیل شد. براساس نتایج، مقدار دبی پایه در دوره‌های مختلف در برخی ایستگاه‌ها روند کاهشی و در برخی دیگر روند افزایشی داشته است که در ایستگاه‌های مورد مطالعه استان اردبیل روند کاهشی آن بیشتر مشهود است؛ این با نتایج پژوهش فرخ‌نیا و مرید (۱۳۹۳) درباره ارزیابی اثر تغییرات بارش و دما بر روند جریان رودخانه‌های دریاچه ارومیه، مبنی بر وجود روند کاهشی دبی پایه در ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه مطابقت دارد. تغییرات مکانی BFI بیشتر در مناطق غرب و جنوب غربی و شمال شرق و شرق مشاهده شده است.

براساس اطلاعات ارائه شده در شکل ۹ می‌توان به وجود یک تأخیر زمانی میان بارندگی در ماه‌های مختلف و مقادیر دبی پایه رودخانه اشاره کرد. به صورتی که در بیشتر ایستگاه‌ها، مقادیر دبی پایه در ۲ تا ۳ ماه پس از وقوع بارش اتفاق افتاده است؛ بر این اساس می‌توان گفت که در دو ایستگاه دوست ییگلو و گیلانده، اثر بارش‌های پاییز در سه ماهه زمستان مشاهده شده است. همچنین مقادیر قابل توجه دبی پایه در همه ایستگاه‌ها در ماه‌های تیر و مرداد و شهریور، علیرغم مقادیر کم بارندگی، ناشی از وقوع بارش در فصل بهار است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات زمانی و مکانی مقادیر دبی پایه، امکان برنامه‌ریزی بهتر برای استفاده بهینه از منابع آب سطحی رودخانه‌ها را فراهم می‌کند. در این پژوهش، تغییرات جریان رودخانه‌ای در حوضه‌های آبخیز استان اردبیل بررسی شد. برای بررسی تغییرات دبی پایه، تغییرات شاخص جریان

زمین‌های کشاورزی بیشتر، سعی در بهره‌وری و مهار بیشتر آب‌های جاری نموده است. در مجموع در دوره‌های مورد مطالعه روند کاهشی مشاهده شده در مقادیر دبی پایه و شاخص جریان پایه نیز در همه ایستگاه‌ها در ماه‌های تیر و مرداد و شهریور، علیرغم مقادیر کم بارندگی، ناشی از وقوع بارش در فصل بهار است. در کل بیشترین تغییرات مربوط به مقادیر دبی پایه در سه ماهه فصل پاییز است.

مراجع

بهرمند، ع.، همدمی، ق. و صنیعی، ا.، ۱۳۹۲، تحلیل روند تغییرات بلندمدت بارندگی و دبی در غرب دریاچه ارومیه، پاییز و زمستان ۱۳۹۲، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۴، ۸، ۴۳-۵۷.

بایزیدی، م. و ثقفیان، ب.، ۱۳۹۰، تجزیه و تحلیل منطقه‌ای خشکسالی جریان رودخانه در مناطق جنوب غرب کشور، بهار ۱۳۹۰، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۵، ۱۴، ۳۷-۵۲.

حسنی، م.، ملکیان، آ.، رحیمی، م.، سمعی، م. و خاموشی، م.، ر.، ۱۳۹۱، بررسی کارایی برخی از روش‌های جداسازی جریان پایه در رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حله‌رود)، پاییز و زمستان ۱۳۹۱، خشک بوم، ۲، ۲، ۱۱-۲۱.

حجرام، س.، خشخو، ی. و وتدی، ر. ش.، ۱۳۸۷، تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری، پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۴، ۱۵۷-۱۶۸.

فرخ‌نیا، ا. و مرید، س.، ۱۳۹۳، ارزیابی اثر تغییرات بارش و دما بر روند جریان رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مرداد و شهریور ۱۳۹۳، آب و فاضلاب، ۳، ۸۶-۹۷.

معروفی، ص. و طبری، ح.، ۱۳۹۰، آشکارسازی روند

بیشترین مقدار تغییرات به غرب و جنوب غربی استان مربوط است. تغییرات مکانی مقادیر رواناب کل، دبی پایه و شاخص جریان پایه نشان داد که مقادیر مؤلفه‌های مذکور در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه از الگوی یکسانی پیروی می‌کنند. در همه دوره‌های پنج‌ساله منتخب بیشترین کاهش دبی پایه متوسط، مربوط به دوره‌های اولیه (۵ سال اول) بوده است و این تغییرات در دوره‌های اخیر کمتر بوده است که با نتایج وال و توتورلی (۱۹۹۶) و معروفی و طبری (۱۳۹۰) در خصوص وجود روند کاهشی در دبی پایه هم‌راستاست. ارتباط بین مقادیر دبی پایه و شاخص جریان پایه با رواناب کل نشان داد که ارتباط بین رواناب و دبی پایه از نوع مستقیم و بیشترین مقدار همبستگی مثبت در ایستگاه اکبرداود مشاهده شد، از طرفی رابطه میان رواناب کل و شاخص جریان پایه از نوع معکوس است. تحلیل نتایج ارتباط بین دبی پایه و بارندگی نشان داد که با افزایش مقادیر بارندگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه کاهش قابل توجهی در میزان دبی پایه وجود دارد که وجود تأثیر بارندگی بر تغییرات مقدار دبی پایه با یک تأخیر دو تا سه‌ماهه را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در مجموع در دوره‌های مورد مطالعه روند کاهشی در مقادیر دبی پایه و شاخص جریان پایه نیز مشاهده شد. در مجموع بیشترین تغییرات به مقادیر دبی پایه در سه ماهه فصل پاییز مربوط است که نتایج آن با پژوهش وفاخواه و همکاران (۱۳۹۱) در خصوص نبود ارتباط معنادار بین مقدار دبی پایه با مقدار بارندگی مطابقت دارد. ولی با یافته‌های فرخ‌نیا و مرید (۱۳۹۳) مبنی بر تغییرات بارش و تأثیر مستقیم و معنادار آن در تغییرات دبی جریان، در یک راستا نیست. بر این اساس می‌توان گفت که در دو ایستگاه دوست بیگلو و گیلانده، اثر بارش‌های پاییز در سه‌ماهه زمستان مشاهده شده است. به احتمال زیاد وجود روند کاهشی در جریان روخانه‌های استان ناشی از افزایش برداشت و استفاده از آب رودخانه‌هاست. با افزایش جمعیت نیاز به استفاده از آب رودخانه‌ها نیز افزایش یافته است. در نتیجه انسان با ایجاد سد و زیر کشت بردن

- همتی، ر.، محمدی، س.، اصلانیان، ل. و نیکجو، ب.، ۱۳۹۱، نقش سامانه هشدار سریع با بستر مخابراتی وایرلس (HVF) در مدیریت ریسک بلایای جوی استان اردبیل، ۳۰-۳۱ خرداد ۱۳۹۱، کنفرانس ملی مدیریت بحران، ۱-۸.
- یوسفی، ی.، رورده، ه. و رضوی، س. م.، ۱۳۹۰، تغییرپذیری زمانی و مکانی جریان رودهای استان مازندران، زمستان ۱۳۹۰، ف. جغرافیا و آمایش سرزمین، ۱، ۲، ۷۶-۸۸.
- Arancibia, J. L. P., Van Dijk, A. I. J. M., Mulligan, M. and Bruijnzeel, A. L. 2010, The role of climatic and terrain attributes in estimating base flow recession in tropical catchments, *Hydrology and Earth System Sciences*, 14: 2193-2205.
- Chalise, S. R., Kansakar, S. R., Rees, G., Croker, K. and Zaidman, M. 2003, Management of water resources and low flow estimation for the Himalayan basins of Nepal, *Journal of Hydrology*, 282: 25-35.
- Garbrecht, J., Liew, M. V. and 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.
- Jiang, T., Su, B. and Hartmann, H., 2007, Temporal and spatial of precipitation and river flow in the Yangtze River Basin, 1961-2000, *Geomorphology*, 85: 143-154.
- Keily, G., Alberman, J. D. and Parlange, M. B., 1998, Recent trend in diurnal variation of precipitation at Valentia on the West Coast of Ireland, *Journal of Hydrology*, 207(3-4): 270-279.
- Khaliq, M. N., Ouarda, T. B. M. J., Gachon, P., Sushama, L. and St-Hilaire, A., 2009, Identification of hydrological trends in the presence of serial and cross correlations: A review of flow selected methods and their application to annual regimes of Canadian rivers, *Journal of Hydrology*, 368 (1-4): 117-130.
- Ohyutha, C. and Willems, P., 2015, Identification of the main attribute of river flow temporal variations in the Nile Basin, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 12: 12467-12214.
- Smakhtin, V. U., 2001, Estimating continuous monthly base flow time series and their possible application in the context of the ecological reserve, *Water SA*, 27(2): 213-217.
- Van Loon, A. F. and Laaha, G., 2015, Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics, *Journal of Hydrology*, 526: 3-14.
- Wahl, K. and Tortorelli, R. L., 1996, Changes in flow the Beaver – North Canadian river basin upstream from Canton lake, Western Oklahoma., U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Reports (USGS), 96-4306.
- تغییرات دبی رودخانه مارون با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری، تابستان ۱۳۹۰، تحقیقات جغرافیایی، ۲۶، ۲، ۱۲۵-۱۴۶.
- مساح‌بوانی، ع. ر. و مرید، س.، ۱۳۸۴، اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود اصفهان، زمستان ۱۳۸۴، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۹، ۴، ۱۷-۲۸.
- وفاخواه، م.، بخشی تیرکانی، م. و خزائی، م.، ۱۳۹۱، تحلیل روند بارندگی و دبی در حوزه آبخیز کشف رود، زمستان ۱۳۹۱، جغرافیا و توسعه، ۲۹، ۷۷-۹۰.

Spatial and Temporal Variations of Base Flow Index (BFI) for the Ardabil Province river, Iran

Mehri, S.¹, Mostafazadeh, R.^{2*}, Esmali-Ouri, A.³ and Ghorbani, A.³

1. M.Sc. Graduated, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

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

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

(Received: 25 Apr 2016, Accepted: 24 Jan 2017)

Summary

River flow is one of the most important water resources for uses in agriculture, industry and sanitary sectors. In this regard, analysis of temporal trend in river flow is essential in management of water resource. Better understanding of base flow can be used in analysis of river flow pattern and discharge regime and management of water resources in the low flow periods. Water withdrawals alter the natural patterns of stream flow regime and flow conditions. The main aim of the present research is to investigate the spatio-temporal variations of surface flow and base flow over Ardabil Province through 22 river gauge stations considering rainfall variability. Therefore, the daily discharge and rainfall records were analyzed over the period 1989-2012. A common approach to quantify the base flow components of stream flow is to use a graphical hydrograph separation approach, as the discharge data is the only requirement. The stream discharge records are widely available, and therefore, the graphical approach can be employed in different spatial scales. The base flow component of the hydrograph was estimated at a daily time step for the period of record at each station. The amount of surface run off was calculated and the local minima technique was used to separate the base flow contribution and then the base flow index (BFI) values were calculated in each station and were interpolated to detect the spatial variation pattern. The recorded data length were divided into 5-year periods and the variations of base flow and BFI were analyzed and its relationship with total runoff and rainfall amounts was investigated to detect the temporal changes in the base flow amount and base flow index. The results showed that the decreasing changes was dominant through study area. Also relationships of monthly precipitation and base flow amount indicated that the precipitation variations had low impact on the base flow decreasing pattern. Based on the results, the spatial pattern of total runoff, base flow and base flow index follows a similar regime and the highest values in three variables is related to West and South-west parts of the Ardabil Province and the South-East parts of the study area had the lowest values of interpolated amounts. The highest values of base flow index varies from 0.05 to 0.88 in the study area and highest values are concentrated in the West part of the study area. It was determined that the highest values of base flow is related to the amount of 30 cubic meter per second in the Doost Beigloo station. Also, it can be concluded that the maximum of base flow was observed in Gilandeh station. It can be noted that the West parts of the study area is snowmelt-dominated rivers where there is a persistent flow discharge during snowmelt in late spring or early summer and low-flow periods. The impacts of rainfall variations and water uses on the river flow is clearly reflected in the timing and quantity of river flow. It should be noted that the base flow and base flow amount have decreased and the rate of decreasing intensity was more intense in three months of autumn season.

Keywords: Base Flow, Spatial variations, Base Flow Index, Seasonal Change, Ardabil Province.

*Corresponding author:

raoofmostafazadeh@uma.ac.ir