دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست ودوم، شماره‌ی ۷۸
تابستان ۱۴۰۱، صفحات ۱۶۳-۱۴۷

DOI:10.52547/GeoSpa.22.2.147

*رحیم کاظمی[۱]
فرود شریفی[۲]
رضا بیات[۳]

بررسی و ارزیابی پاسخ جریان پایه به مؤلفه‌های بارش در اقلیم‌های مختلف ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۰۳/۱۷

چکیده

پاسخ جریان پایه به مولفه‌های بارش در اقلیم‌های مختلف متفاوت است و شناخت برهم‌کنش بین مولفه‌های مختلف بارش با جریان پایه می‌تواند منجر به بهبود و توسعه پیش‌بینی‌ها در حوضه‌های فاقد آمار شود. در این تحقیق ابتدا حوضه‌های واقع در هر منطقه اقلیمی با استفاده از تقاطع نقشه اقلیم و لایه مرز حوضه‌های رتبه هفت کشور، تفکیک شد. با بررسی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های آب‌سنجی، تعداد حداقل ۳۰ ایستگاه از هر منطقه اقلیمی با آمار مناسب و دوره مشترک آماری سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۹۰ انتخاب شد. سپس با بررسی داده‌های بارش، بارش متوسط سالانه و متوسط تعداد روزهای بارانی هر حوضه محاسبه شد. شاخص جریان پایه با استفاده از داده‌های روزانه جریان به روش فیلتر رقومی بی فلو-لینه و هالیک تعیین شد. روابط بین شاخص جریان پایه و تعداد روزهای بارانی و بارش متوسط سالانه در اقالیم مختلف محاسبه و نتایج تحلیل و تفسیر شد. نتایج نشان داد که در بیش از ٦٦ درصد حوضه‌های مناطق اقلیمی مختلف، میانگین شاخص جریان پایه بیش از ۵۰ درصد است. همچنین بیش‌ترین فراوانی حوضه‌ها با شاخص جریان پایه کم‌تر از ۰/۵ مربوط به حوضه‌های اقلیم "مرطوب"، "نیمه‌مرطوب" و "بسیار مرطوب" و بیش‌ترین فراوانی در محدوده بالاتر از ۰/۵ مربوط به حوضه‌های منطقه "خشک" و "نیمه-خشک" است. در مناطق اقلیمی "بسیار مرطوب"، "مرطوب"، "نیمه‌مرطوب" و "مدیترانه‌ای"، همبستگی بین بارش

*۱- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول).
E-mail: Kazemi@alumni.itc.nl
۲- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
۳- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.5.4]

متوسط سالانه با جریان پایه یک رابطه مثبت و در مناطق "خشک" و "نیمه‌خشک" یک رابطه منفی را به نمایش گذاشته است. همبستگی پارامتر تعداد روزهای بارانی با جریان پایه در حوضه‌های منتخب در تمامی مناطق اقلیمی یک رابطه مناسب با روند مثبت را نشان داد. بالاترین ضریب تبیین بین تعداد روزهای بارانی و شاخص جریان پایه، به میزان ۰/۵۷ متعلق به مناطق "نیمه‌خشک" و کم‌ترین ضریب تبیین به میزان ۰/۱٤ به حوضه‌های منطقه اقلیمی "خشک" تعلق دارد. این رابطه برای حوضه‌های منطقه "مرطوب" و "نیمه‌مرطوب" تقریبا مساوی و حدود ۰/۳٤ است.

کلید واژه‌ها: بارش سالانه، پاسخ هیدرولوژیک، شاخص جریان پایه، فیلتر رقومی برگشتی، مناطق اقلیمی.

مقدمه

پاسخ هیدرولوژیک یک حوضه، متأثر از مشخصه‌های خاک (نفوذپذیری، تخلخل، رطوبت، عمق خاک و ...)، مشخصه‌های ژئومورفولوژیک (مساحت، شیب، جهت، طول حوضه، چگالی زهکشی (Mohamoud, 2004: 1)، زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی و ساختمانی) (Kazemi & Eslami, 2013: 85; Kazemi et al., 2013: 1)، عوامل اقلیمی و هیدرولوژیکی (توزیع زمانی–مکانی بارش، دما، تبخیر و ...) و پوشش زمین و کاربری است (Peña-Arancibia et al., 2010: 2193; Tague et al., 2008:189). پاسخ رواناب سطحی و جریان پایه به تغییر مؤلفه‌های اقلیم مانند بارش، دما و تبخیر توسط محققین مختلفی مورد بررسی قرارگرفته است و متناسب با تغییرات مؤلفه‌های مختلف حوضه، پاسخ‌های مختلف و گاه متناقض را گزارش کرده‌اند. برای مثال نتایج تحقیقات Zhang & Nearing (2005) نشان داد که با کاهش ۷–۱٤ درصد در میزان بارش، رواناب ٦۷–۸۲ درصد افزایش خواهد یافت. که این تفاوت را عمدتاً در نتیجه تفاوت در مشخصه‌های توپوگرافی، تغییرات پوشش جنگل، شرایط خاک، درجه حرارت و سایر مؤلفه‌های حوضه، تفسیر کرده‌اند. برعکس پژوهش فوق‌الذکر، نتایج تحقیقات Chaplot (2007) که رابطه بارش و رواناب را در حوضه‌های واقع در آمریکا مورد بررسی قرار داده است، نشان داد که افزایش ٤۰ درصدی در میزان بارش، موجب ۱۷۰ درصد افزایش در رواناب شد. نتایج بررسی پاسخ هیدرولوژیک حوضه گرگانرود به پدیده اقلیمی خشکسالی توسط Mostafazadeh et al (2018) نشان داد که بین شدت وقوع و تداوم خشکسالی رابطه عکس وجود دارد. تاثیر مولفه‌های موثر بر تداوم جریان توسط Kazemi et al (2018b) در حوضه کرخه مطالعه شده و جریان پایه و بارش متوسط سالانه به‌عنوان مهم‌ترین عوامل معرفی شدند. تأثیرات تغییر اقلیم و کاربری‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی بر جریان پایه توسط Zhang et al (2016) در حوضه‌های دریاچه پویانگ[4] چین به انجام نتایج ایشان نشان داد که میزان تأثیر اقلیم بر روی جریان به میزان ۷۳ درصد و تأثیر فعالیت‌های انسانی به میزان ۲٦ درصد است. نتایج تحقیقات Ouyang et al (2018) بر روی تأثیرات کمی بارش بر روی جریان پایه در یک حوضه کوچک در چین نشان داد که میزان تأثیر بارش بر جریان پایه در فصل‌های مختلف متفاوت است و این میزان را به

4- Poyang

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.5.4]

ترتیب برای بهار، تابستان، پاییز و زمستان، به میزان تقریبی ۳۳؛ ۳۹؛ ٤٠ و ٢٤ درصد گزارش کردند. نتایج بررسی تغذیه آب‌های زیرزمینی در نتیجه بارش‌های سیل‌آسا توسط Wittenberg et al (2019) و با استفاده از تفکیک و تحلیل جریان پایه انجام و ارتباط نزدیک آن‌ها گزارش شد. اطلاعات مربوط به جریان پایه از دیدگاه کاربرد در مدیریت منابع آب، حفاظت اکوسیستم‌های آبی، تولید انرژی، حمل‌ونقل و پیش‌بینی جریان‌های کمینه اهمیت دارد (Tallaksen et al., 2004: 3; Gustard et al., 2004: 455; Nathan & McMahon,1992: 85). در دهه گذشته پژوهش‌های فراوانی برای ایجاد مدل‌های برآورد جریان پایه، با استفاده از مشخصه‌های هیدرولوژیکی، کلیماتولوژی و فیزیوگرافی حوزه‌های آبخیز انجام شده است که از جمله می‌توان به پژوهش‌های انجام شده توسط Santhi et al (2008); Van Dijk et al (2013); Beck et al (2013); Miller et al (2016) اشاره کرد. این پژوهش‌ها برهم‌کنش بین جریان پایه و مؤلفه‌های مختلف حوضه و اقلیم را بررسی و به منظور محاسبات مربوط به برآورد در حوضه‌های فاقد آمار مورد استفاده قرار داده‌اند. جریان پایه حسب تعریف Smakhtin (2001) عبارت است از بخشی از جریان رودخانه که از منابع آب زیرزمینی و زیرسطحی تاخیری مانند مخازن ساحلی رودها، دریاچه‌ها، تالاب‌ها و ذوب برف و یخ، سرچشمه می‌گیرد. در مرور منابع معمولاً یک ناسازگاری در استفاده از ترمینولوژی جریان پایه و جریان کمینه مشاهده می‌شود و به‌طور اشتباهی و جایگزین مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این پژوهش، جریان پایه، نمایانگر بخشی از جریان رودخانه است که از منابع زیرسطحی عمیق و زیرسطحی تاخیری ناشی از بارش یا ذوب برف تامین می‌شود. یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های هیدروژئولوژیکی که در پژوهش‌های مختلف بر آن تأکید شده، شاخص جریان پایه[5] است. بر اساس Nathan & Mac Mahon (1990) شاخص جریان پایه، نسبت بدون بعدی است که از نسبت دبی‌پایه به کل رواناب برای هر مقطع زمانی یا کل دوره آماری به‌دست می‌آید. جریان پایه به‌طور معمول از سری زمانی داده‌های جریان روزانه رودخانه‌ها و با استفاده از تکنیک‌های تفکیک جریان استخراج می‌شود (Rorabaugh.,1964:432). این تکنیک‌ها به‌طور کلی عبارت‌اند از: روش‌های ترسیمی یا گرافیکی[6]، روش‌های منحنی افت[7]، روش‌های تجزیه‌ای[8]، جرم مضاعف[9] و روش‌های فیلتر رقومی جریان پایه[10] (Tallaksen,1995: 349) (He et al., 2019: ؛ (Hoeg et al., 2000: 1199)؛ (Line & White., 2007: 185)؛ (Namara et al.,1997: 1707) 441) و (Ghanbarpor et al., 2008: 1). بسیاری از این تکنیک‌ها قابلیت برنامه‌نویسی کامپیوتری و اتوماتیک شدن دارند که موجب تسهیل و افزایش سرعت و دقت تفکیک جریان می‌شود. به‌دلیل پیچیدگی و نامشخص بودن میزان واقعی مشارکت دبی‌پایه در رواناب و همچنین هزینه‌بر بودن روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها، محققان بسیاری نسبت به ارزیابی و مقایسه روش‌های مختلف تفکیک هیدروگراف جریان اقدام نموده‌اند و الگوریتم‌های رقومی مختلفی را پیشنهاد داده‌اند. در این پژوهش از روش فیلتر رقومی بی فلو–لینه و هالیک برای استخراج شاخص جریان پایه

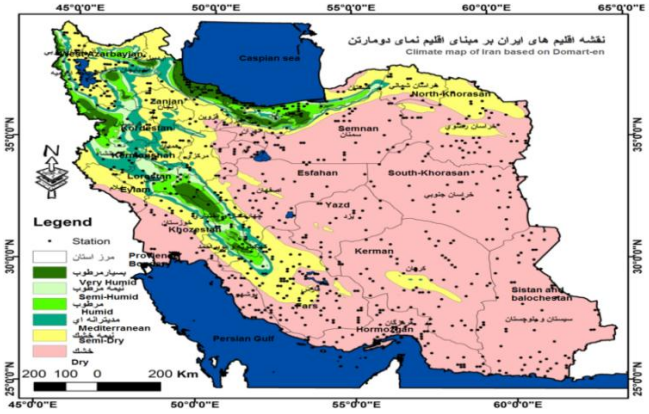
5- Base Flow Index
6- Graphical methods
7- Recession-curve methods
8- Analytical methods
9- Mass-balance methods
10- Digital base flow filter methods

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.5.4]

استفاده شده است. این روش به‌وسیله محققان مختلفی از جمله Tamaskani et al (2013)؛ Novita & Wahyuningsih (2016) استفاده و توصیه شده است. با بررسی‌های به‌عمل آمده تاکنون مطالعات جامعی در خصوص بررسی و تحلیل پاسخ جریان پایه به مؤلفه‌های بارش در اقلیم‌های مختلف و در سطح ملی در کشور ایران مشاهده نشد. شاخص جریان پایه به‌علت تأثیرات عوامل مختلف مانند اقلیم، کاربری اراضی، خاک، پوشش، توپوگرافی و زمین‌شناسی از نظر زمانی و مکانی متغیر است. لذا شناخت و تحلیل زمانی و مکانی عوامل موثر بر جریان پایه در اقالیم مختلف و در سطح ملی، موجب دست‌یابی به اطلاعاتی برای تفسیر دقیق‌تر شرایط هیدرولوژیکی حوضه و استفاده در طرح‌های مرتبط با استحصال، بهره‌برداری و مدیریت منابع مبتنی بر آمایش منابع آب خواهد شد.

منطقه مورد مطالعه

تعداد ۳۱٤ حوضه‌ی رتبه هفت کشور از شش منطقه اقلیمی در گستره کشور ایران که دارای آمار مناسب جریان روزانه و بارش بودند، به‌عنوان منطقه مورد پژوهش انتخاب شدند. موقعیت مکانی ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد پژوهش در شکل (۱) ارائه شده است. حوضه‌های منتخب شامل حوضه‌های منطقه بسیار مرطوب (ارتفاع متوسط ۱۰٤۲ متر؛ مساحت متوسط حوضه ٤۲۹ کیلومتر مربع، شیب متوسط حوضه ۲۳/۵۸ درصد و بارش متوسط سالانه ۱٤٦٤ میلی‌متر)، حوضه‌های منطقه مرطوب (ارتفاع متوسط ۱۷۹٤ متر؛ شیب متوسط ۲۵/٤۰ درصد؛ مساحت متوسط ۷٤۹ کیلومتر مربع و بارش متوسط سالانه ٦۵۷ میلی‌متر)، حوضه‌های منطقه اقلیمی نیمه‌مرطوب (متوسط ارتفاع ۲۰۸۷ متر و مساحت ۷٦۵ کیلومتر مربع؛ شیب متوسط حوضه ۲۵/۲۵ درصد و بارش ۵۷۱ میلی‌متر) حوضه‌های منتخب منطقه اقلیمی خشک (ارتفاع متوسط ۱۹۱٦ متر و مساحت ۲۹۳۵ کیلومتر مربع و شیب متوسط ۱٦/٦۱ درصد و بارش متوسط سالانه ۱۸٤ میلی‌متر)، منطقه نیمه‌خشک (ارتفاع متوسط ۲۰۳٦ متر؛ مساحت ۸٤۹ کیلومترمربع؛ شیب ۱۷/٤۸ درصد و بارش متوسط سالانه ۳۸۱ میلی‌متر) و حوضه‌های منطقه مدیترانه‌ای (ارتفاع متوسط ۲۰٤۱ متر؛ مساحت ۸٤٦ کیلومتر مربع؛ شیب ۲٤/۵ درصد و بارش ٤۱۰ میلی‌متر) بودند.



شکل ۱: نقشه اقلیم منطقه مورد پژوهش بر اساس روش دومارتن (Kazemi et al., 2018a)

Figure 1: Climate zone map of study area based on De Martonne method (Kazemi et al., 2018a)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.5.4]

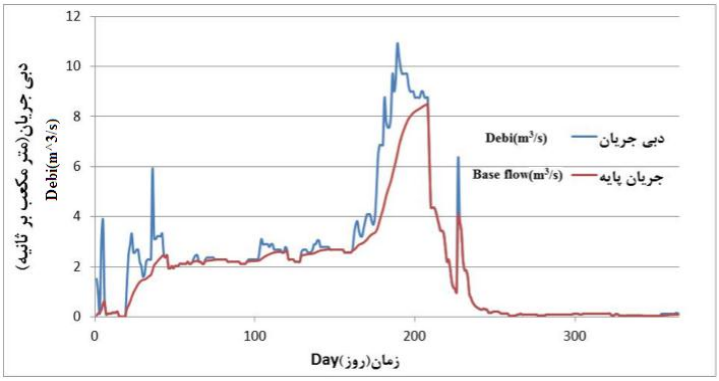
مواد و روش‌ها

ابتدا نقشه مناطق اقلیمی کشور به روش دومارتن با لایه مرز حوضه‌های رتبه هفت کشور تقاطع داده و حوضه‌های واقع در هر منطقه اقلیمی تفکیک شد. تعداد ۳۱٤ حوضه با دوره مشترک آماری سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۹۰ انتخاب شد. سپس با بررسی داده‌های بارش، تعداد روزهای بارانی و بارش متوسط سالانه هر حوضه محاسبه شد. شاخص جریان پایه با استفاده از داده‌های روزانه جریان به روش فیلتر رقومی بی فلو-لینه و هالیک[11] استخراج شد. روابط بین شاخص جریان پایه و تعداد روزهای بارانی و بارش متوسط سالانه در اقالیم مختلف محاسبه و نتایج با روش کارشناسی تحلیل و تفسیر شد.

فیلتر رقومی برگشتی بی فلو-لینه و هالیک: الگوریتم معرفی‌شده توسط Lyne & Hollick (1979) با رابطه (۱) معرفی شده است. این فیلتر قابلیت عبور سه باره از داده‌های جریان را دارد و چند بار عبور از داده‌های جریان باعث پایین آوردن جریان پایه می‌شود و به استفاده کننده، قابلیت انعطاف‌پذیری در جدایش دقیق‌تر دبی پایه را می‌دهد. بیش‌ترین نتایج قابل قبول زمانی است که پارامتر فیلتر در دامنه ۰/۹۰- ۰/۹۵ باشد. پارامتر فیلتر بهینه مورد استفاده در این روش پس از واسنجی مدل رقومی تفکیک جریان، برابر ۰/۹۲۵ تشخیص داده شد. نمایش گرافیکی تفکیک جریان پایه با الگوریتم بی فلو-لینه و هالیک در شکل (۲) ارائه شده است.

$$q_{f(i)} = \alpha q_{f(i-1)} + (q_i - q_{(i-1)})\frac{1+\alpha}{2} \qquad q_{f(i)} \geq 0$$ رابطه (۱)

که در آن: $q_{f(i)}$ (رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی i) ؛ $q_{f(i-1)}$ (رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی (i-1) ؛α= پارامتر فیلتر مرتبط با حوضه و $q_{(i)}$ =جریان کل در مرحله زمانی i؛ $q_{(i-1)}$ = جریان کل در مرحله زمانی i-1 می باشند.



شکل ۲: نمایش گرافیکی تفکیک جریان پایه با الگوریتم بی فلو- لینه و هالیک

Figure 2: Graphical representation of the base flow separation with the Lynie and Holick algorithm

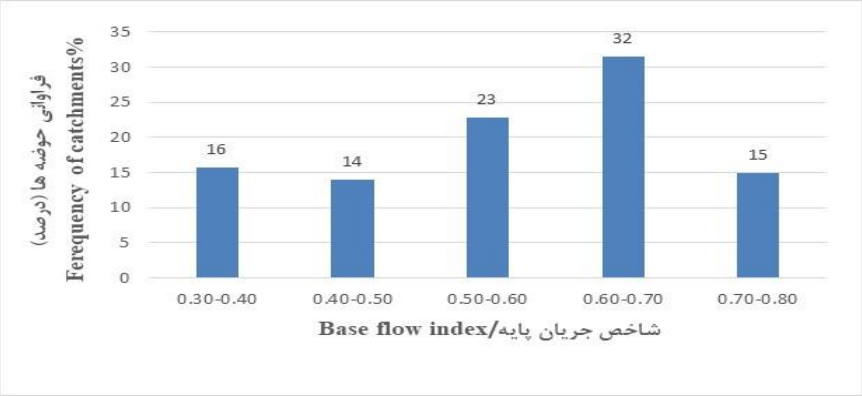
11- B-Flow-Lynie & Holick

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.5.4]

یافته‌ها و بحث

حوضه‌های منتخب از منطقه بسیار مرطوب: نتایج تفکیک جریان پایه در حوضه‌های این منطقه نشان داد که حداکثر شاخص جریان پایه در حوضه‌های این منطقه اقلیمی برابر با ۰/۷۷ است که مربوط به ایستگاه آب‌سنجی با کد ۱۲۲۳ و مختصات جغرافیایی به عرض ۳۷/۳۵ درجه و طول ٤۹/۱۸ درجه و حداقل آن برابر با ۰/۳٦ که به ایستگاه با کد آب‌سنجی ۱۲۱۵ و عرض ۳۷/۷۱ درجه و طول ٤۹/۰۰ درجه در محدوده استان گیلان تعلق دارد. میانگین شاخص جریان در حوضه‌های منتخب این منطقه اقلیمی برابر با ۰/۵۷ است و بیانگر این واقعیت است که تقریباً بیش از نیمی از جریان رودخانه‌ها در این منطقه اقلیمی از منابع آب زیرسطحی تأمین می‌شود. توزیع فراوانی شاخص جریان پایه در حوضه‌های این منطقه اقلیمی در شکل (۳) ارائه شده است. برای سهولت استنتاج و امکان مقایسه، شاخص جریان پایه در گام‌های با فواصل ۰/۱ نمایش داده شده است. میزان ۷۰ درصد از حوضه‌ها دارای شاخص جریان پایه بالای ۰/۵ هستند. این میزان از حوضه‌های با پتانسیل ظرفیت آبی پایدار، نیازمند توجه از منظر طرح‌های مرتبط با استحصال و مدیریت و بهره‌برداری از جریان پایدار است. حداکثر بارش متوسط در دوره مطالعه در حوضه‌های این منطقه اقلیمی ۱٤٦٤ میلی‌متر و متعلق به حوضه با کد ۱۲۲٦ و مختصات جغرافیایی عرض ۳۷/۱٤ درجه و طول ٤۹/۳۳ درجه و حداقل نیز به حوضه با کد ۱۲۱٦ و مختصات جغرافیایی عرض ۳۷/۷۱ درجه و طول ٤۹/۰۰ درجه به میزان ۸٤٤ میلی‌متر در استان گیلان تعلق دارد. حسب گزارش Kazemi et al (2018 a) تقریباً ۵/۸۰ درصد از حوزه‌های آبخیز کشور در این اقلیم واقع شده و گستره جغرافیایی آن مناطق شمال و غرب کشور و مناطقی از استان‌های گیلان، مازندران، کردستان، اردبیل، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویر احمد را پوشش داده است. هرچند فراوانی حوضه‌های واقع در این اقلیم به نسبت سایر مناطق کم است، ولی بالا بودن سهم جریان پایه و پایدار، لزوم توجه به این پتانسیل را یادآور می‌شود. برای بررسی تأثیر پراکنش زمانی بارش بر روی جریان پایه رودخانه، رابطه بین تعداد روزهای بارانی در حوضه با شاخص جریان پایه مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که از شکل (٤) مشخص است، این ارتباط یک رابطه با روند صعودی با ضریب تعیین ۰/٤۳ است. رابطه بین بارش متوسط سالانه و شاخص جریان پایه در حوضه‌های این منطقه (شکل ۵) یک رابطه ضعیف با روند نزولی است.



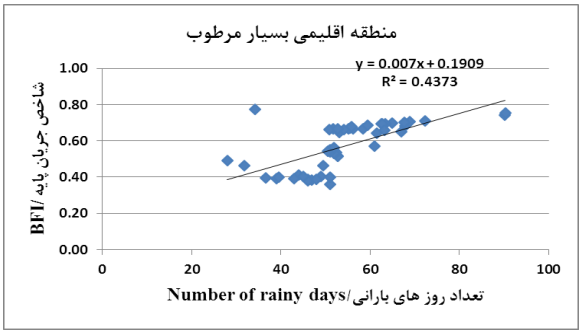
شکل ۳: توزیع فراوانی شاخص جریان پایه سالانه در حوضه‌های اقلیم بسیار مرطوب

Figure 3: Frequency distribution of annual base flow index in the catchments of very humid climate

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

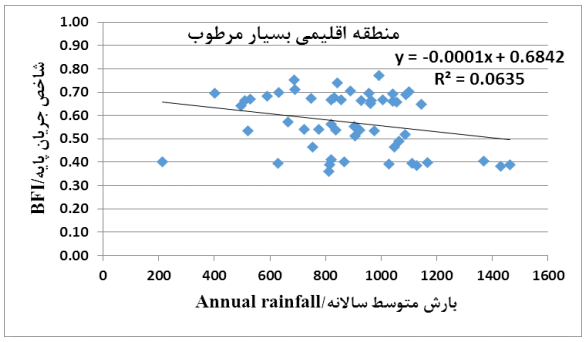
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.5.4]

منطقه بسیار مرطوب عمدتاً در نواحی شمالی و غربی کشور و با پوشش جنگلی واقع شده است که این نتیجه هم‌راستا با نتایج منتشر شده توسط Brown et al (2005) و Bruijnzeel (2004) مبنی بر رابطه منفی کاربری جنگل با جریان پایه رودخانه‌ها در پاسخ به بارش است.



شکل ٤: رابطه تعداد روزهای بارانی و شاخص جریان پایه

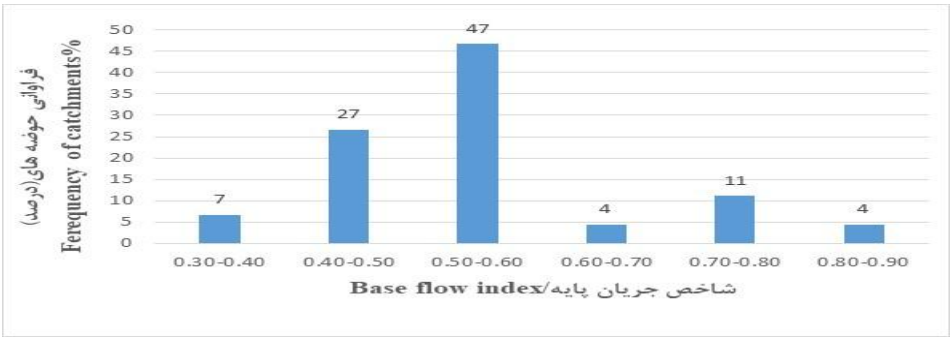
Figure 4: Relation of rainy days and BFI



شکل ٥: رابطه بارش متوسط سالانه و شاخص جریان پایه

Figure 5: Relation of annual rainfall and BFI

حوضه‌های منتخب از منطقه مرطوب: محدوده حوضه‌های این منطقه نیز همانند منطقه اقلیمی بسیار مرطوب در شمال، غرب و شمال‌غرب کشور گسترش دارد و عمدتاً در استان‌های مازندران، کردستان، چهارمحال بختیاری و کهگیلویه و بویر احمد واقع شده است. حدود ۳/۸۷ درصد از حوضه‌های رتبه هفت کشور در این اقلیم قرار گرفته‌اند که از میان آن‌ها تعداد ٤٥ حوضه با آمار مناسب و دوره مشترک مورد آزمون و تحلیل قرارگرفته است. در این منطقه اقلیمی حداکثر بارش متوسط سالانه به میزان ۱۰۷۸ میلی‌متر مربوط به حوضه با کد ۱۵۲۲۲ و مختصات جغرافیایی عرض ۳٦/۵۳ درجه و طول ۵۲/۵۹ درجه و حداقل نیز به میزان ۳۰۸ میلی‌متر مربوط به حوضه ٤۱۵۳٤۳ و مختصات جغرافیایی عرض ۳۵/٦۳ درجه و طول ۵۱/۷۸ درجه در محدوده مرزی استان تهران و مازندران است.



شکل ٦: توزیع فراوانی شاخص جریان پایه سالانه در حوضه‌های اقلیم مرطوب

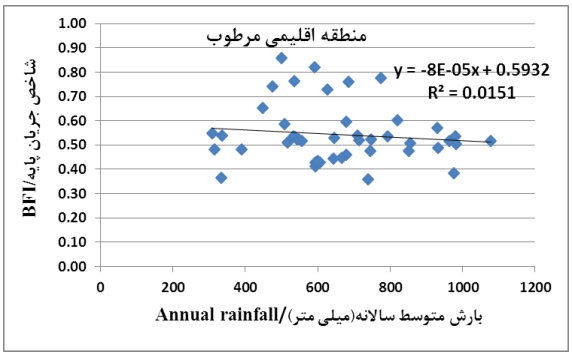
Figure 6: Frequency distribution of annual base flow index in the catchments of humid climate

حداقل جریان پایه به میزان ۰/۳٤ مربوط است به ایستگاه آب‌سنجی با کد ۲۳۳۳۱۵ در محدوده استان لرستان و مختصات جغرافیایی عرض ۳۳/۲۱ درجه و طول ٤۸/۸۸ درجه و حداکثر آن به میزان ۰/۸٦ مربوط به ایستگاه با کد آب‌سنجی ۲۳۲۳۱ در محدوده استان کهگیلویه و بویراحمد و مختصات جغرافیایی عرض ۳۱/۱۱ درجه و طول

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

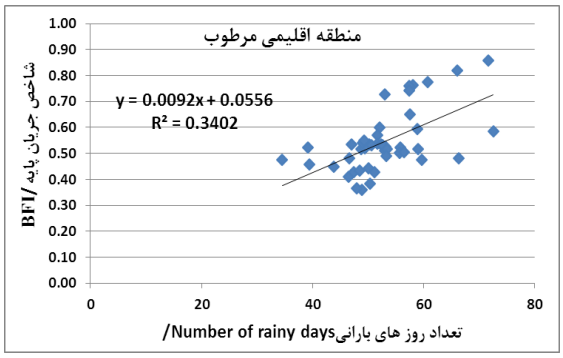
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.5.4]

۵۰/۱۵ درجه است. میانگین شاخص در این منطقه به میزان ۰/۵٤ می‌باشد و نشان‌دهنده این است که در این منطقه اقلیمی نیز بیش از ۵۰ درصد جریان‌های رودخانه‌ای از جریان‌های زیرسطحی و زیرزمینی منشأ می‌گیرد. توزیع فراوانی شاخص جریان پایه حوضه‌ها در این منطقه بدین صورت است که ٦٦ درصد حوضه‌ها دارای شاخص جریان پایه بیش از ۰/۵۰ هستند و حداکثر فراوانی متعلق به حوضه‌های با محدوده شاخص جریان پایه (٤۰/ تا ۰/۵۰) و حداقل نیز مربوط به حوضه‌های با شاخص جریان بالاتر از ۰/۸۰ است (شکل ٦). بیش‌ترین فراوانی حوضه‌ها مربوط به کلاس (۰/۵ تا ۰/٦) با فراوانی ۰/٤۷ درصد است و کم‌ترین نیز مربوط به کلاس (۰/۸ تا ۰/۹) است. رابطه بین بارش متوسط سالانه و شاخص جریان پایه در این منطقه نیز یک رابطه ضعیف با روند نزولی است ولی نسبت به منطقه اقلیمی "بسیار مرطوب" خط روند، شیب کم‌تری دارد (شکل ۷). رابطه بین تعداد روزهای بارانی با شاخص جریان پایه یک روند صعودی با ضریب تعیین ۰/۳٤ است که کم‌تر از منطقه اقلیمی بسیار مرطوب است (شکل ۸). رابطه مثبت تعداد روزهای بارانی با میزان بارش، نشان دهنده تداوم جریان ناشی از توزیع زمانی روزهای بارانی است که منجر به افزایش شاخص جریان پایه می‌شود، این نتیجه منطبق با نتایج Pathak and Dodamani (2020) مبنی بر رابطه همبستگی ۹۰ تا ۹۷ درصدی بین روزهای بارانی با بارش است و تاثیر بر تداوم جریان است.



شکل ۷: رابطه بارش متوسط سالانه و شاخص جریان پایه

Figure 7: Relation of annual rainfall and BFI



شکل ۸: رابطه تعداد روزهای بارانی و شاخص جریان پایه

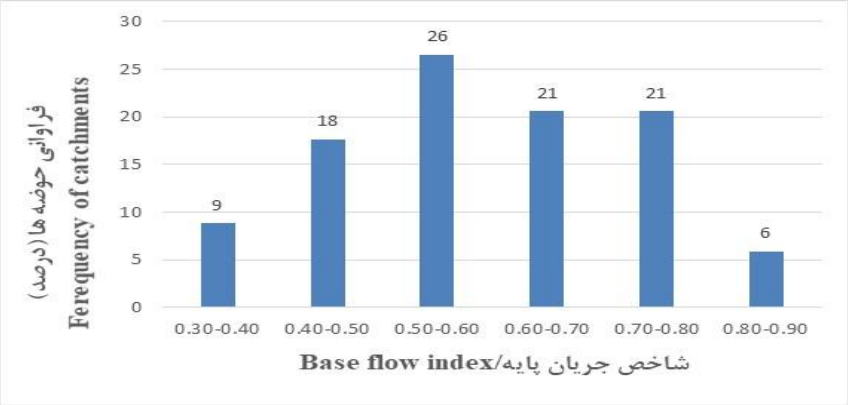
Figure 8: Relation of rainy days and BFI

حوضه‌های منتخب از منطقه نیمه‌مرطوب: گسترش حوضه‌های این منطقه عمدتاً در بخش‌های کوهستانی شمال و غرب کشور در محدوده استان‌های لرستان، کردستان، کرمانشاه و مازندران واقع شده و کم‌ترین تعداد حوضه‌ها به میزان ۳/۳٤ درصد از کل حوضه‌های کشور را شامل می‌شود. حداکثر بارش متوسط سالانه در این منطقه به میزان ۱٤۳۰ میلی‌متر به حوضه با کد ۲٤۲٦۳ واقع در محدوده استان فارس و مختصات جغرافیایی عرض ۳۰/۱۷ درجه و طول ۵۱/٦۳ درجه، تعلق دارد و حداقل نیز به میزان ۲۰٦ میلی‌متر مربوط به حوضه با کد ۱۵٤۲۱ در استان مازندران و مختصات جغرافیایی عرض ۳٦/۷۳ درجه و طول ۵۳/۳٦ درجه است، متوسط بارش سالانه نیز به میزان ۵۷۱ میلی‌متر است. حداقل جریان پایه در این منطقه به میزان ۰/۳۵ مربوط به حوضه با کد ۲٤۲٦۳ و مختصات جغرافیایی طول ۵۱/٦۳ درجه و عرض ۳۰/۱۷ درجه واقع در استان فارس و حداکثر آن به میزان ۰/۸٤ مربوط به حوضه با کد

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.5.4]

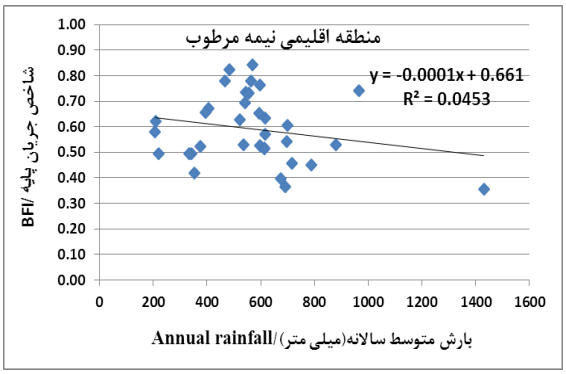
۲۳۲۴۳ و مختصات جغرافیایی عرض ۳۱/۶۳ درجه و ۵۰/۴۷ طول درجه واقع در استان چهارمحال و بختیاری است. میانگین شاخص جریان پایه در این منطقه اقلیمی به میزان ۰/۵۹ مؤید سهم بالای جریانات زیرسطحی در تأمین جریان پایه رودخانه‌ای در این منطقه است. توزیع فراوانی شاخص جریان پایه در شکل (۹) ارائه شده است. همان‌طور که از شکل قابل دریافت است، ۷۳ درصد از حوضه‌ها دارای شاخص جریان پایه بیش از ۰/۵ هستند.



شکل ۹: توزیع فراوانی شاخص جریان پایه سالانه در حوضه‌های اقلیم نیمه مرطوب

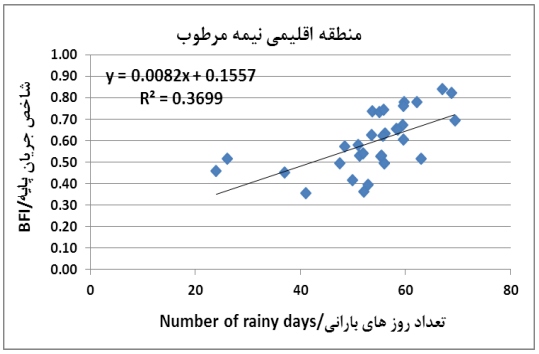
Figure 9: Frequency distribution of annual base flow index in the catchments of semi humid climate

رابطه بین پراکنش زمانی بارش‌ها با شاخص جریان پایه، صعودی با ضریب تعیین ۰/۳۶ است (شکل های ۱۰ و ۱۱).



شکل ۱۰: رابطه بارش متوسط سالانه و شاخص جریان پایه

Figure 10: Relation of annual rainfall and BFI



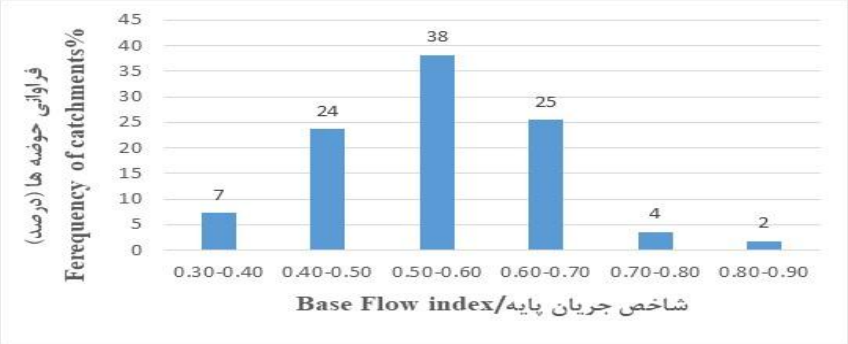
شکل ۱۱: رابطه تعداد روزهای بارانی و شاخص جریان پایه

Figure 11: Relation of rainy days and BFI

حوضه‌های منتخب از منطقه مدیترانه‌ای: نتایج نشان داد که حداکثر بارش متوسط سالانه به میزان ۸۰۴ میلی‌متر مربوط به حوضه ۴۲۱۹ در استان چهارمحال و بختیاری و حداقل آن مربوط به حوضه ۳۰۵۶۱ به میزان ۲۱۱ میلی‌متر و مختصات جغرافیایی عرض ۳۷/۹۱ درجه و طول ۴۷/۴۶ درجه در استان آذربایجان‌شرقی تعلق دارد و متوسط حوضه‌های این منطقه نیز به میزان ۴۱۰ میلی‌متر است. نتایج تفکیک جریان نشان داد که حداکثر شاخص جریان پایه در این منطقه برابر با ۰/۸۳ در حوضه با کد ۲۳۲۴۴۳ و مختصات جغرافیایی عرض ۳۱/۶۴ درجه و طول ۵۱/۲۶ درجه در استان چهارمحال و بختیاری و حداقل به میزان ۰/۳۶ در حوضه با کد ۴۲۱۸۲۴ و مختصات جغرافیایی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.5.4]

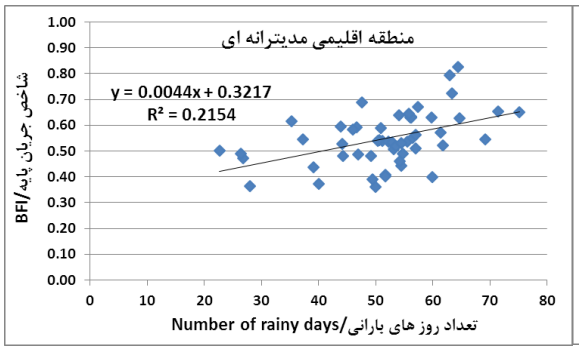
عرض ۳۷/۳۵ درجه و طول ٤۹/۱۸ درجه در محدوده استان اصفهان است. میانگین شاخص نیز به میزان ۰/۵۵ است که تأکیدی بر سهم بالای تأمین آب‌های سطحی از منشأ زیرسطحی و زیرزمینی است. توزیع فراوانی شاخص جریان پایه در این منطقه در شکل (۱۲) نشان داده شده است، همان‌طور که از شکل قابل دریافت است، ٦۹ درصد از حوضه‌ها دارای شاخص جریان پایه بیش از ۰/۵۰ هستند.



شکل ۱۲: توزیع شاخص جریان پایه سالانه در حوضه‌های اقلیم مدیترانه‌ای

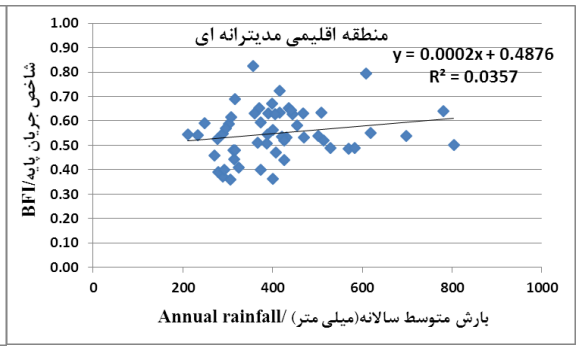
Figure 12: Frequency distribution of annual base flow index in the catchments of Mediterranean climates

در این منطقه اقلیمی نیز توزیع زمانی بارش تأثیر مثبت بر شاخص جریان پایه دارد و روند صعودی پارامتر تعداد روزهای بارانی با شاخص جریان پایه، همبستگی با ضریب تعیین ۰/۲۱ را نشان می‌دهد (شکل های ١٤ و ١٣).



شکل ١٤: رابطه تعداد روزهای بارانی و شاخص جریان پایه

Figure 14: Relation of rainy days and BFI



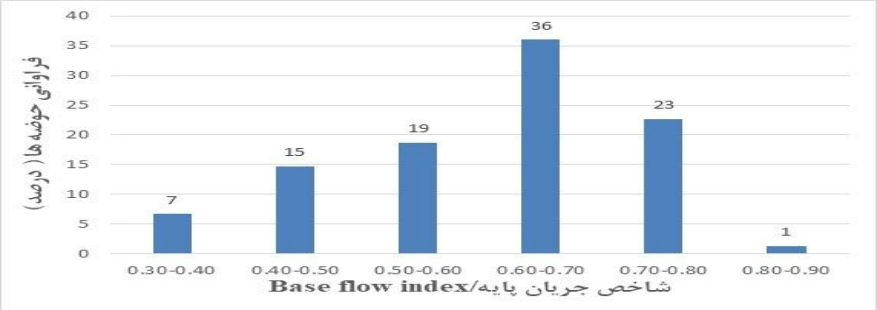
شکل ١٣: رابطه بارش متوسط سالانه و شاخص جریان پایه

Figure 13: Relation of annual rainfall and BFI

حوضه‌های منتخب از منطقه خشک: بیش‌ترین فراوانی حوضه‌ها در این منطقه اقلیمی قرار دارد که سهم تقریباً ۵۸/۳۱ درصد از حوزه‌های آبخیز درجه هفت کشور را شامل می‌شود. همچنین حداکثر بارش متوسط سالانه به میزان ۳۷۳ میلی‌متر، مربوط به حوضه با کد ٤٥١٢٢ و مختصات جغرافیایی عرض ۲۸/٦۲ درجه و طول ۵۷/۷۸ درجه و حداقل به میزان ۷۰ میلی‌متر، مربوط به حوضه با کد ٤٦۹ و مختصات جغرافیایی عرض ۳۱/۰۰ درجه و طول ۵۸/۲٦ درجه در محدوده استان کرمان است. متوسط بارش سالانه نیز به میزان ١٨٤ میلی‌متر است. نتایج تفکیک جریان نشان داد که حداکثر شاخص جریان پایه در این منطقه برابر با ۰/٨٤ و متعلق به ایستگاه ٢٨٢٤٥ و مختصات

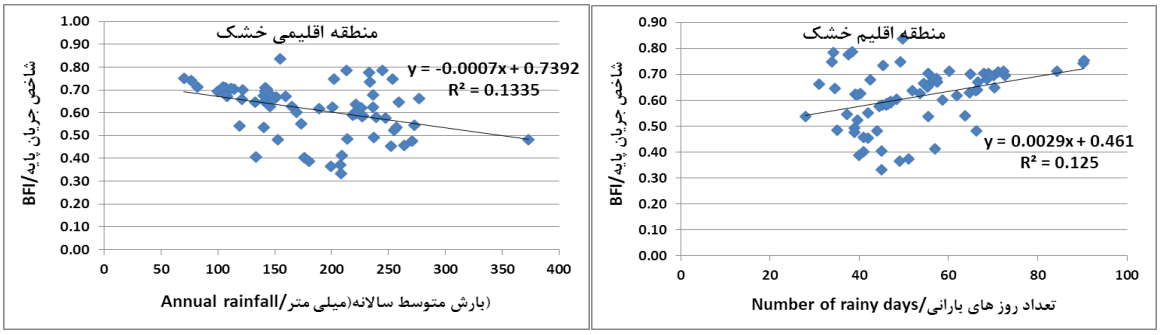
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.5.4]

جغرافیایی عرض ۲۸/۰۰ درجه و طول ۵۷/۲ درجه منطقه رستم کرمان و حداقل آن نیز به میزان ۰/۳۳ به ایستگاه ٤٥١٣٢ و مختصات جغرافیایی عرض ۲۸/۸٦ درجه و طول ۵۷/۲۳ درجه در منطقه دهرود کرمان مربوط است. میانگین شاخص جریان پایه در این منطقه به میزان ۰/٦١ است و نشان‌دهنده این است که ٦۰ درصد آب‌های سطحی در این منطقه از آب‌های زیرزمینی و زیرسطحی منشأ می‌گیرد. توزیع مقادیر شاخص جریان پایه سالانه مستخرج از روش تفکیک استفاده شده در این پژوهش در حوضه‌های اقلیم خشک، در شکل (۱۵) نشان داده شده است، همان‌طور که از شکل قابل دریافت است، شاخص جریان پایه بیش از ۳٦ درصد حوضه‌ها در محدوده (۰/٦–۰/۷) و حداقل فراوانی نیز به میزان یک درصد نیز بالاتر از ۰/۸ واقع شده‌اند. در مجموع حدود ۷۸ درصد از حوضه‌ها دارای شاخص جریان پایه بیش از ۰/۵۰ هستند. بالا بودن میانگین این شاخص بیانگر این است که در حوضه‌های واقع در اقلیم خشک، آب‌های زیرسطحی نقش بیش‌تری در تأمین جریان‌های سطحی دارند. رابطه همبستگی بین بارش متوسط سالانه با شاخص جریان پایه در حوضه‌های این اقلیم یک همبستگی ضعیف با روند منفی را به نمایش گذاشته است (شکل ١٦). همچنین رابطه بین پارامتر تعداد روزهای بارانی به‌عنوان نماینده پراکنش زمانی بارش‌ها با شاخص جریان پایه در این اقلیم یک رابطه ضعیف ولی صعودی است (شکل ۱۷). این دو رابطه مؤید نقش و رابطه متفاوت و غیر قابل پیش‌بینی بین پارامترهای بارش با جریان پایه نسبت به سایر اقالیم است و تفسیر کارشناسی، نقش بیش‌تر آب‌های زیرزمینی در تأمین جریان‌های سطحی را تقویت و تائید می‌کند.



شکل ۱۵: توزیع فروانی شاخص جریان پایه سالانه در حوضه‌های اقلیم خشک

Figure 15: Frequency distribution of annual base flow index in the catchments of dry climate



شکل ١٦: رابطه بارش متوسط سالانه و شاخص جریان پایه

Figure 16: Relation of annual rainfall and BFI

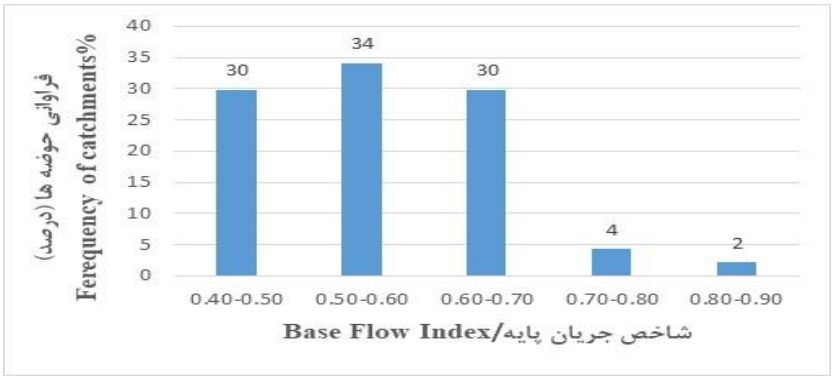
شکل ۱۷: رابطه تعداد روزهای بارانی و شاخص جریان پایه

Figure 17: Relation of rainy days and BFI

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.5.4]

حوضه‌های منتخب از منطقه نیمه‌خشک: حوزه‌های واقع در این منطقه، از منظر فراوانی حوضه‌ها، بعد از منطقه خشک حائز اهمیت است و در مرتبه دوم قرار دارد. همچنین از دیدگاه منابع آب پایه به دلیل نوع اقلیم و میزان کم بارش شایان توجه است. نتایج نشان می‌دهد که فراوانی حوضه‌های واقع در این منطقه با حدود ۲۳/۷۵ درصد از کل حوضه‌های کشور قرار دارد و بخش‌هایی از استان‌های خراسان شمالی و رضوی، گلستان، فارس، مرکزی، همدان، قزوین، زنجان، آذربایجان‌شرقی و غربی، ایلام، لرستان و کرمانشاه را در برگرفته است. حداکثر بارش متوسط سالانه به میزان ۷۵۱ میلی‌متر مربوط به حوضه با کد ۲٤۲٦۲ و مختصات جغرافیایی عرض ۳۰/۳ درجه و طول ٥۱/٤ درجه و حداقل به میزان ۱٥۸ میلی‌متر مربوط به حوضه با کد ۲٦۱۷۲ و مختصات جغرافیایی عرض ۲۸/۷ درجه و طول ٥۳/۲ درجه در استان فارس است. متوسط بارش سالانه این منطقه نیز ۳۸٤ میلی‌متر است. حداکثر شاخص جریان پایه در این منطقه به میزان ۰/۸۱ مربوط به حوضه ۲٦۱٦٦۱ و مختصات جغرافیایی عرض ۲۸/۸ درجه و طول ٥۳/۸ درجه و حداقل مربوط به حوضه با کد ٤۳۲۳ و مختصات جغرافیایی عرض ۲۹/٥ درجه و طول ٥۲/۹ درجه و به میزان ۰/٤۲ واقع در محدوده استان فارس است. میانگین شاخص جریان پایه به میزان ۰/٥۷ نشان‌دهنده سهم بیش از ٥۰ درصدی منابع زیرزمینی و زیرسطحی در تأمین جریان‌های سطحی در این منطقه اقلیمی است. توزیع فراوانی مقادیر شاخص جریان پایه در حوضه‌های منطقه نیمه‌خشک در شکل (۱۸) ارائه شده است.



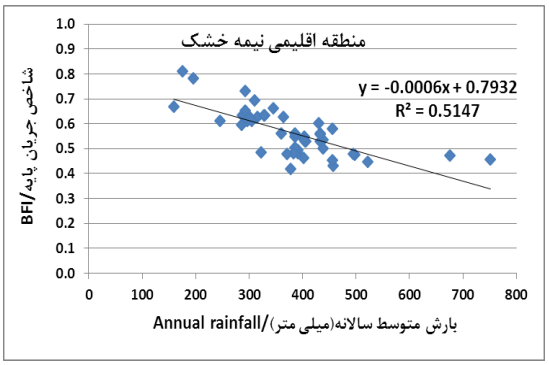
شکل ۱۸: توزیع شاخص جریان پایه سالانه در حوضه‌های اقلیم نیمه‌خشک

Figure 18: Frequency distribution of annual base flow index in the catchments of semi dry climate

حدود ۳۰ درصد از کل حوضه‌های منتخب در این منطقه اقلیمی در بازه (۰/٤–۰/٥) و ۳٤ درصد در بازه (۰/٥–۰/٦) و ۳۰ درصد در بازه (۰/۷–۰/٦) و مابقی بالاتر از ۰/۷ قرار دارند و درمجموع حدود ۷۰ درصد حوضه‌ها دارای شاخص جریان پایه بالاتر از ۰/٥ هستند. رابطه همبستگی بین بارش متوسط سالانه با شاخص جریان پایه در حوضه‌های واقع در این منطقه اقلیمی یک روند نسبتاً شدید نزولی است (شکل ۱۹) و نشان‌دهنده این است که در این منطقه بارش متوسط سالانه شاخص مناسبی برای تحلیل روند جریان پایه نیست و در تفسیر روابط باید به نقش و سهم منابع آب زیرزمینی و زیرسطحی بیش‌تر توجه شود. ولی رابطه بین تعداد روزهای بارانی با جریان پایه یک رابطه مناسب با ضریب تعیین ۰/٥۷ بیانگر این است که پراکنش زمانی بارش‌ها و تعداد روزهای بارانی، پارامتر مناسبی برای تحلیل وضعیت جریان پایه در این منطقه است (شکل ۲۰).

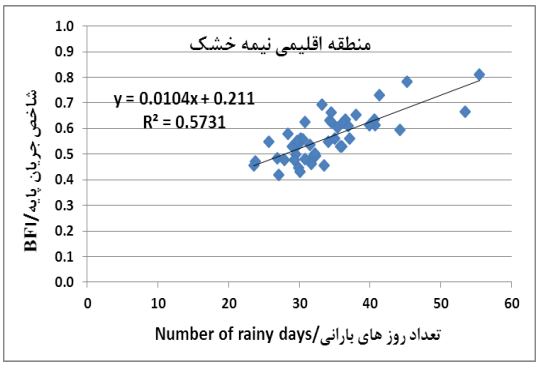
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.5.4]



شکل ۱۹: رابطه بارش متوسط سالانه و شاخص جریان پایه

Figure 19: Relation of annual rainfall and BFI



شکل ۲۰: رابطه تعداد روزهای بارانی و شاخص جریان پایه

Figure 20: Relation of rainy days and BFI

نتیجه‌گیری

جمع‌بندی کلی نتایج در مناطق مختلف اقلیمی کشور نشان داد که در تمامی حوضه‌های واقع در مناطق اقلیمی مختلف، میانگین سهم مشارکت جریان‌های زیرسطحی و زیرزمینی در جریان‌های رودخانه‌ای بیش از ۵۰ درصد است. همچنین بیش از ٦٦ درصد از حوضه‌ها در تمامی مناطق اقلیمی دارای شاخص جریان پایه بیش از ۰/۵۰ هستند. بیش‌ترین فراوانی حوضه‌ها با شاخص جریان پایه محدوده (۰/۳–۰/٤) مربوط به حوضه‌های واقع در اقلیم بسیار مرطوب است. همچنین بالاترین فراوانی حوضه‌ها در محدوده (۰/٤–۰/۵ و ۰/۵–۰/٦) مربوط به حوضه‌های واقع در اقلیم مرطوب و بیش‌ترین فراوانی حوضه‌ها در محدوده (۰/٦–۰/۷ و ۰/۷–۰/۸) مربوط به حوضه‌های منطقه خشک است. نتیجه مقایسه فراوانی شاخص جریان پایه حوضه‌ها، بر بالا بودن شاخص جریان پایه در حوضه‌های منطقه خشک و نیمه‌خشک نسبت به سایر حوضه‌ها تأکید دارد و نشان‌دهنده سهم بیش‌تر آب‌های زیرسطحی و زیرزمینی در تأمین جریان پایه رودخانه‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. همچنین بالا بودن فراوانی شاخص جریان پایه در محدوده‌های کم‌تر از ۰/۵ در مناطق "مرطوب" و "نیمه‌مرطوب" و "بسیار مرطوب" بیانگر نقش بیش‌تر بارش در تولید جریان پایه رودخانه‌ها در این منطقه اقلیمی است. بالا بودن فراوانی حوضه‌هایی که دارای شاخص جریان پایه بالاتر از ۵۰٪، نشان‌دهنده پتانسیل بالای جریان پایدار و قابل‌برنامه‌ریزی در حوزه‌های آبخیز کشور است و لزوم توجه به آن از منظر طرح‌های مرتبط با استحصال، بهره‌برداری و مدیریت حوزه آبخیز و مدیریت مبتنی بر آمایش منابع آب را گوشزد می‌کند. رابطه همبستگی بین بارش متوسط سالانه با جریان پایه در مناطق اقلیمی "بسیار مرطوب"، "مرطوب"، "نیمه‌مرطوب" و "مدیترانه‌ای"، یک رابطه مثبت ولی ضعیف است. ولی در مناطق خشک و نیمه‌خشک برعکس سایر مناطق، یک رابطه منفی را به نمایش گذاشته است. علی‌رغم رابطه متفاوت بارش متوسط سالانه با جریان پایه، رابطه تعداد روزهای بارانی با جریان پایه در حوضه‌های منتخب در تمامی مناطق اقلیمی یک رابطه با همبستگی مناسب و با روند مثبت است و نشان‌دهنده این است که پارامتر تعداد روزهای بارانی می‌تواند به‌عنوان یک پارامتر پیش‌بینی کننده جریان پایه در تحلیل‌های منطقه‌ای شاخص جریان پایه در اقالیم مختلف

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.5.4]

مورداستفاده قرار گیرد. همچنین نتایج این تحقیق در حوزه شناخت فراوانی و توزیع جریان پایه و پایدار می‌تواند، به‌عنوان پیش‌نیاز طرح‌های آمایش سرزمین، مبتنی بر شناخت منابع آبی مورد استفاده قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از بخشی از نتایج طرح تحقیقاتی با عنوان ارزیابی پارامترهای هیدرولوژیکی با کد طرح: ۹۰۰۰۳-۹۰۱۵-۲۹-۲۹-۰۱٤ است که در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است. بدین‌وسیله از همراهی و مساعدت مسئولان محترم پژوهشکده تشکر می‌شود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.5.4]

References

- Beck, H. E., Van Dijk, A. I., Miralles, D. G., De Jeu, R. A., Bruijnzeel, L. A., McVicar, T. R., Schellekens, J., (2013), "Global patterns in base flow index and recession based on streamflow observations from 3394 catchments", ***Water Resources Research***, 49 (12): 7843-7863.
- Brown, A. E., Zhang, L., McMahon, T. A., Western, A. W., Vertessy, R. A., (2005), "A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation", ***Journal of Hydrology***, 310 (1): 28-61.
- Bruijnzeel, L. A., (2004), "Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?", ***Agriculture, Ecosystems & Environment***, 104 (1): 185-228.
- Chaplot, V., (2007), "Water and soil resources response to rising levels of atmospheric CO2 concentration and to changes in precipitation and air temperature", ***J. Hydrol***, 337: 159-171.
- Ghanbarpor, M., Teymori, M., Gholami, S. H. A., (2008), "Comparison of base flow estimation methods based on hydrograph separation (Case study: Karoon basin)", ***Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science,*** 1:1-10. [In Persian].
- Gustard, A., Young, A. R., Rees, G., Holmes, M. G. R., (2004), "Operational hydrology", In: Tallksen, l., Van Lanen, h. a. j., (eds), ***Hydrological drought: Processes and estimation methods for stream flow and groundwater***", Elsevier: Amsterdam, pp. 455-484.
- He, S., Hao, Y., Wu, J. Lu, J., (2020), "Estimation of base flow nitrate loads by a recursive tracing source algorithm in a rainy agricultural watershed", ***Hydrological Processes***, 34 (2): 441-454.
- Hoeg, S., Uhlenbrook, S., Leibundgut, C., (2000), "Hydrograph separation in a mountainous catchment-Combining hydrochemical and isotopic tracers", ***Hydrological Processes***, 14(7): 1199-1216.
- Kazemi, R., Davoodi, H., Soltani, M. J., Sarreshtedari, A., (2013), "Investigation of land use change on base flow index, case study: Taleghan catchment", ***Journal of Watershed Engineering and Management***, 5 (1): 1-8. [In Persian].
- Kazemi, R., Eslami., A. R., (2013), "Investigation on the role of geological formation and hydrological parameter on base flow index, case study: Khazar region", ***Journal of Watershed Engineering and Management***, 5 (2): 85-93. [In Persian] .
- Kazemi, R., Porhemmat, J., Sharifi, F., (2018a), "Investigation and determination of factors affecting the shape of the flow duration curve in different climates of Iran", ***Journal of Water and Soil Conservation***, 25 (1): 85-105. [In Persian] .
- Kazemi, R., Karam, A., Safari, A., Porhemmat, J., (2018b), "Modeling of flow duration curve deformation in Karkheh basin", ***Journal of Geographical-space***, 60 (17): 131-147.[In Persian] .
- Line, D. E., White, N. M., (2007), "Effects of development on runoff and pollutant export", ***Water Environment Research***, 79 (2): 185-190.
- Lyne, V., Hollick, M., (1979), "Stochastic time-variable rainfall-runoff modeling", Engineers National Conference, Barton, Australia, 1-2 may 1979.
- McNamara, J. P., Kane, D. L., Hinzman, L. D., (1997), "Hydrograph separations in an Arctic watershed using mixing model and graphical techniques, "***Water Resources Research***, 33 (7): 1707-1719.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.5.4]

- Miller, M. P., Buto, S. G., Susong, D. D., Rumsey, C. A., (2016),"The importance of base flow in sustaining surface water flow in the upper colorado river basin", ***Water Resources Research***, 52 (5): 3547-3562.
- Mohamoud, Y., (2004), "***Comparison of Hydrologic Responses at Different Watershed Scales, Research Triangle Park, North Carolina***", United States Environmental Protection Agency: New Yourk.
Mostafazadeh, R., Haji, K., Esmali-Ouri, A., (2018), "Determining the severity and duration of hydrological drought by using power laws analysis in Gorganroud watershed rivers", ***Journal of Geographical-Space***, 62 (18): 237-253. [In Persian].
- Nathan, R. J., McMahon, T. A., (1990), "Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses", ***J. Water Resour. Res***, 26: 1465-1473.
- Nathan, R. J., McMahon, T. A., (1992), "Estimating low flow characteristics in ungauged catchments", ***Water Resources Management***, 6: 85-100.
- Novita, E., Wahyuningsih, S., (2016), "Preliminary study on baseflow separation at watersheds in East Java regions", ***Agriculture and Agricultural Science Procedia***, 9: 538-550.
- Ouyang, L., Liu, S., Ye, J., Liu, Z., Sheng, F., Wang, R., Lu, Z., (2018), "Quantitative assessment of surface runoff and base flow response to multiple factors in Pengchongjian small watershed", ***Forests***, 9 (9): 553-569.
- Pathak, A. A., Dodamani, B. M., (2020), "Trend analysis of rainfall, rainy days and drought: A case study of Ghataprabha river basin, India", ***Modeling Earth Systems and Environment***, 6 (3): 1357-1372.
- Peña-Arancibia, J. L., Van Dijk, A. I. J. M., Mulligan, M., Bruijnzeel, L. A., (2010), "The role of climatic and terrain attributes in estimating baseflow recession in tropical catchments", ***Hydrology and Earth System Sciences***, 14: 2193-2205.
- Rorabaugh, M. I., (1964), "Estimating changes in bank storage and ground-water contribution to streamflow", ***Int. Assoc. Sci. Hydrol***, 63: 432-441.
- Santhi, C., Allen, P. M., Muttiah, R. S., Arnold, J. G., Tuppad, P., (2008), "Regional estimation of base flow for the conterminous United States by hydrologic landscape regions", ***Journal of Hydrology***, 351: 139-153.
- Smakhtin, V. U., (2001), "Low flow hydrology: Review", ***Journal of Hydrology***, 240 (3): 147-186.
- Tague, C., Grant, G. E., Farrell, M., Choate, J., Jefferson, A., (2008), "Deep groundwater mediates stream flow response to climate warming in the Oregon Cascades", ***Climate Change***, 86: 189-210.
- Tallaksen, L. M., (1995), "A review of base flow recession analysis", ***Journal of Hydrology***,165 (1-4): 349-370.
- Tallaksen, L. M., Madsen, H., Hisdal, H., (2004), "Frequency analysis", In: Tallaksen, ***L.*** M., Van Lanen, H. A. J., (eds), ***Hydrological Drought–Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater***", Elsevier: Amsterdam, Netherland, pp. 199-271.
- Tamaskani, A., Zakerinia, M., Hezarjeribi, A., Dehghani, A. A., (2013), "Comparison of base flow separation methods from daily flow hydrograph (Case study: Upstream of Boostan dam catchment in Golestan province)", ***Journal of Water and Soil Conservation***, 20 (6): 1-273. [In Persian].
- Van Dijk, A. I. J. M., Peña-Arancibia, J. L., Wood, E. F., Sheffield, J., Beck, H. E., (2013), "Global analysis of seasonal streamflow predictability using an ensemble prediction

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.5.4]

system and observations from 6192 small catchments worldwide", ***Water Resources Research***, 49 (5): 2729-2746.
- Wittenberg, H., Aksoy, H., Miegel, K., (2019), "Fast response of groundwater to heavy rainfall", ***Journal of Hydrology***, 571: 837-842.
- Zhang, Q., Liu, J., Singh, V. P., Gu, X., Chen, X., (2016), "Evaluation of impacts of climate change and human activities on streamflow in the Poyang Lake basin, China", ***Hydrological Processes***, 30 (14): 2562-2576.
- Zhang, X. C., Nearing, M. A., (2005), "Impact of climate change on soil erosion, runoff, and wheat productivity in central Oklahoma", ***Catena***, 61 (2-3): 185-195.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.5.4]