



انجمن مهندسی منابع آب

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و هفتم، شماره چهارم، ۱۳۹۹
۶۷-۸۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2020.17941.3353

مقاله کامل علمی - پژوهشی

بررسی رابطه شاخص جریان پایه با شاخص‌های منحنی تداوم جریان در مقیاس ملی

* رحیم کاظمی^۱، جهانگیر پرهمت^۲ و فرود شریفی^۲

^۱ استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران،

^۲ آستاد سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۵

چکیده

سابقه و هدف: شناخت و درک رابطه بین مؤلفه‌های مختلف حوضه می‌تواند به بهبود و توسعه پیش‌بینی‌ها در حوضه‌های فاقد آمار کمک کند. مقدار واقعی جریان پایه نامشخص است و نظر به این‌که منحنی تداوم جریان با استفاده از داده‌های مشاهداتی تهیه می‌شود، بنابراین شناخت و تحلیل روابط بین شاخص‌های منحنی تداوم جریان با شاخص جریان پایه منجر به دستیابی به اطلاعاتی برای استفاده بهینه از شاخص‌های منحنی تداوم جریان به‌عنوان پارامتر برآوردکننده شاخص جریان پایه، خواهد شد. هدف از این پژوهش، بررسی و شناخت رابطه شاخص جریان پایه با شاخص‌های منحنی تداوم جریان، به‌منظور توسعه پارامترهای برآوردکننده جریان پایه در اقلیم مختلف کشور ایران می‌باشد.

مواد و روش‌ها: ابتدا با تهیه نقشه اقلیم کشور و تقاطع آن با مرز حوزه‌های آبخیز رتبه چهار، حوضه‌های واقع در هر منطقه اقلیمی تفکیک شد. سپس تعداد حداقل سی ایستگاه با آمار مناسب و دوره مشترک آماری سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۹۰ در هر منطقه اقلیمی انتخاب شد. منحنی تداوم جریان با استفاده از داده‌های دبی روزانه بلندمدت، ترسیم و شاخص‌های Q_2 ، Q_5 ، Q_{10} ، Q_{15} ، Q_{20} ، Q_{50} ، Q_{75} و Q_{90} استخراج شد. شاخص آخرین نقطه عطف منحنی تداوم جریان (Q_{Final}) در محل شیب صفر منحنی با استفاده از کدنویسی در محیط متلب، استخراج شد. سپس شاخص جریان پایه با استفاده از الگوریتم فیلتر رقومی برگشتی تک‌پارامتره با استفاده از داده‌های دبی روزانه بلندمدت محاسبه شد. سرانجام روابط رگرسیونی بین شاخص‌های منحنی و میانگین سالانه شاخص جریان پایه در مناطق مختلف اقلیمی استخراج و تحلیل شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بیش‌ترین همبستگی بین شاخص‌های منحنی تداوم جریان با شاخص جریان پایه در حوضه‌های منطقه بسیار مرطوب با ضریب تبیین ۰/۸۴ مربوط به شاخص‌های بخش اول منحنی، موسوم به دوره پرآبی است. ولی در دو منطقه مرطوب و نیمه‌مرطوب، بیش‌ترین همبستگی مربوط به شاخص دوره کم‌آبی با ضریب تبیین

* مسئول مکاتبه: ra_hkazemi@yahoo.com

۰/۶۳ و ۰/۶۹ است. بیش‌ترین ضریب تبیین بین شاخص منحنی در نقطه شیب صفر با شاخص جریان پایه، مربوط به منطقه بسیارمرطوب به میزان ۰/۸۵ است. در جمع‌بندی کلی نتایج قابل ذکر است که روابط همبستگی بین شاخص‌های بخش انتهایی منحنی تداوم جریان با میانگین سالانه شاخص جریان پایه، در حوضه‌های اقلیم مرطوب، نیمه‌مرطوب، مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک، یک رابطه قوی و قابل توصیه برای مقاصد تحلیل منطقه‌ای و پیش‌بینی و برآورد می‌باشد. ولی در حوضه‌های منطقه خشک این رابطه دارای استثناء است و شاخص‌های بخش پرآبی منحنی این نقش را به عهده دارند. در حوضه‌های منطقه بسیارمرطوب، ضریب تبیین همه شاخص‌های منحنی تداوم جریان با شاخص جریان پایه، قابل اعتماد و استفاده است.

نتیجه‌گیری: در جمع‌بندی کلی نتایج، قابل ذکر است که روابط همبستگی بین شاخص‌های بخش انتهایی و موسوم به کم‌آبی منحنی تداوم جریان با میانگین سالانه شاخص جریان پایه، در حوضه‌های اقلیم مرطوب، نیمه‌مرطوب، مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک، یک رابطه قوی و قابل اعتماد و توصیه برای تحلیل منطقه‌ای و پیش‌بینی و برآورد می‌باشد. ولی در حوضه‌های منطقه خشک این رابطه دارای استثناء است و شاخص‌های بخش پرآبی منحنی، این نقش را به عهده دارند و بیش‌ترین همبستگی را به خود اختصاص داده‌اند. در حوضه‌های واقع در منطقه بسیارمرطوب نیز ضریب تبیین همه شاخص‌ها با شاخص جریان پایه دارای قابلیت اعتماد و استفاده است. نتایج کلی در حوضه‌های تمامی مناطق اقلیمی، پارامتر شاخص‌های منحنی تداوم جریان را به‌عنوان پارامتر قابل اعتماد و پیش‌بینی‌کننده شاخص جریان پایه، نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: برآورد، تفکیک هیدروگراف جریان، شاخص جریان پایه، شاخص منحنی تداوم جریان

مقدمه

آگاهی از روابط بین مؤلفه‌های مختلف هیدرولوژیک در سطح حوزه‌های آبخیز کشور، می‌تواند به توسعه روش‌های برآورد و پیش‌بینی مؤلفه‌های جریان کمک کند. با توجه به نامشخص بودن میزان واقعی جریان پایه در بسیاری از حوضه‌ها و یا زیرحوضه‌ها و نظر به عدم قطعیت بالای روش‌های مختلف تفکیک جریان پایه از هیدروگراف جریان، شناخت روابط بین مؤلفه‌های هیدرولوژیک مبتنی بر داده‌های اندازه‌گیری شده، با جریان پایه، می‌تواند به برآورد جریان پایه به‌عنوان یک روش جدید و جایگزین روش‌های مرسوم تفکیک جریان، کمک کند (۲۳). جریان پایه حسب تعریف عبارت است از بخشی از جریان رودخانه که از منابع آب زیرزمینی و زیرسطحی تأخیری مانند مخازن ساحلی رودها، دریاچه‌ها،

تالاب‌ها و ذوب برف و یخ، سرچشمه می‌گیرد. شاخص جریان پایه^۱ (BFI) یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های هیدروژئولوژیکی و یک نسبت بدون بعد است که از نسبت دبی پایه به کل رواناب برای هر مقطع زمانی یا کل دوره آماری به‌دست می‌آید (۳۱). از نظر ناتان و مک‌ماهون (۱۹۹۰، ۱۹۹۲) مشخصه‌های هیدرولوژیک حوضه‌ها مانند جریان پایه، به‌وسیله پارامترهای فیزیکی، اقلیمی و هیدرولوژیک حوضه‌ها، قابل برآورد است (۳۲ و ۳۶). از نظر تاگو و همکاران (۲۰۰۸) و چوی و همکاران (۲۰۰۹) تغییر اقلیم، شامل ترکیبی از افزایش حرارت و کاهش یا افزایش بارش است که پاسخ ویژه جریان پایه به تغییرات در بارش و درجه حرارت را به همراه دارد (۸ و ۳۹). پژوهش‌های بسیاری برای بررسی تأثیر اقلیم بر روی

1- Base Flow Index

وقوع به دست می‌آید و درصد جریان روزانه، ماهانه یا دیگر گام‌های زمانی مربوط به یک دوره تاریخی رودخانه معینی را بیان می‌کند (۱). حسب کاستلارینا و همکاران (۲۰۰۴) قدیمی‌ترین موارد استفاده از منحنی تداوم جریان به پژوهش‌های هرشل برمی‌گردد (۶). البته امروزه استفاده از این منحنی در گرایش‌های مختلف هیدرولوژی و علوم وابسته فراگیر شده است که از جمله می‌توان به پژوهش‌های رایشل و هک (۲۰۱۷) در ارتباط با تولید انرژی برق‌آبی و طراحی سامانه‌های آبی اشاره کرد (۳۵). کاربرد در برآورد جریانات زیست‌محیطی (۴۱) و مدیریت آلودگی در رودخانه و رسوب‌گذاری و فرسایش (۳۸) نیز از جمله موارد کاربرد این پارامتر هیدرولوژیک است. استفاده در برنامه‌ریزی منابع آب، از جمله تأمین آب شرب، کشاورزی و پرورش ماهی توسط (۳، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۲۹ و ۳۰) مورد استفاده قرار گرفته است. یکی دیگر از موارد کاربردهای منحنی تداوم جریان، استفاده در کالیبراسیون مدل‌های هیدرولوژیکی است که به وسیله وستریگ و همکاران (۲۰۱۱) و کاستا و همکاران (۲۰۱۴) مورد آزمون قرار گرفته و نتایج مناسبی در خصوص مرتفع کردن مشکلات ناشی از عدم قطعیت داده‌ها و تفاوت حساسیت به اندازه داده‌های مورد استفاده، ارائه شده است (۱۰ و ۴۴). از جمله پژوهش‌های کاربردی انجام شده در داخل کشور می‌توان به پژوهش‌های انجام شده توسط شمعی‌زاده و سلطانی (۲۰۱۱)؛ زارع چاهوکی و همکاران (۲۰۱۳)؛ خسرویگی و وفاخواه (۲۰۱۷)؛ کاظمی و غیائی (۲۰۱۶) و کاظمی و همکاران (۲۰۱۸، ۲۰۱۹) اشاره کرد، این پژوهش‌ها متمرکز بر تحلیل منطقه‌ای، شناخت عوامل مؤثر و برآورد در حوضه‌های فاقد آمار با استفاده از مشخصه‌های حوضه و روش‌های آماری تعمیم نتایج است (۲۱، ۲۲، ۲۵، ۲۷، ۳۶ و ۴۵).

جریان پایه طراحی و اجرا شده است. نتایج پژوهش‌های متعدد تجربی و شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیک و اقلیمی، پیش‌بینی می‌کنند که افزایش جریان فصلی در کنار گرم شدن درجه حرارت در تابستان منجر به کاهش شدید جریان پایه در تابستان بعدی خواهد شد. تفسیر بسیار مهمی را جاکمن و همکاران (۲۰۰۸) در نتیجه آنالیز تجربی تغییرات جریان پایه در حوضه رودخانه کیکاپو در ایالت ویسکانسن آمریکا ارائه دادند و نتیجه گرفتند که تغییر اقلیم، به‌طور غالب بر روی جریان پایه تأثیر دارد، ولی تغییر کاربری میزان بزرگی این تأثیر را تشدید می‌کند (۸، ۱۸، ۱۹ و ۳۹). روابط و توابع بین مؤلفه‌های جریان از نظر زمانی و مکانی متغیر است و حسب نظر واگنر و همکاران (۲۰۱۳) به‌علت این تغییرات، پیش‌بینی‌های هیدرولوژیک در حوضه‌های فاقد آمار با عدم قطعیت‌های بالایی همراه است (۴۲). در دو دهه گذشته، پژوهش‌ها و مطالعات مرتبط با کاربرد تحلیل جریان پایه در مطالعات منابع آب، به موضوعات مختلفی پرداخته است. این موضوعات عمدتاً شامل تعیین سهم منابع زیرسطحی در جریان‌های سطحی (۹)؛ ملاحظات زیست‌محیطی (۳۷)؛ مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب (۱۲)؛ بررسی و تعیین میزان تغذیه منابع آب زیرزمینی (۳۴) و ارزیابی روند تغییرات ذخایر منابع آب زیرزمینی (۴۶)، کاربرد در مطالعات سیل (۲۸)؛ تحلیل منطقه‌ای خشک‌سالی هیدرولوژیک و پیش‌بینی و برآورد میزان جریان پایه در حوضه‌های فاقد آمار (۴)، کیفیت و سلامت منابع آب از منظر مؤلفه‌های موردنظر برای شرب و اکوسیستم (۴۷)، است.

منحنی تداوم جریان، ابزار بسیار مفیدی در هیدرولوژی کاربردی است و اطلاعات دقیق، شفاف و با جزئیات را درباره جریان در دسترس رودخانه‌ها و تغییرات آن ارائه می‌دهد. این منحنی از رسم تجمعی دبی رودخانه نسبت به زمان و یا برحسب احتمال

به معرفی روش مناسب تفکیک کرده‌اند. نظر به ناشناخته بودن مقدار واقعی جریان پایه و شاخص مربوطه، بدون واسنجی با مقادیر واقعی، نتایج تفکیک از قابلیت اعتماد بالایی برخوردار نیست. از این رو در این پژوهش، سعی بر ارائه روشی جدید به‌عنوان جایگزین روش‌های فرآوری داده، برای تعیین شاخص جریان پایه است. بدین منظور روابط همبستگی شاخص جریان پایه که با داده‌های واقعی، کالیبره شده است، با شاخص‌های تداوم جریان بررسی می‌شود. با بررسی‌های به‌عمل‌آمده، پژوهشی در خصوص روابط همبستگی بین شاخص‌های مختلف منحنی تداوم جریان با شاخص جریان پایه برای برآورد و پیش‌بینی جریان پایه در سطح و مقیاس کشوری، مشاهده نشده است. با توجه به این‌که، منحنی تداوم جریان با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده محاسبه می‌شود، بنابراین شناخت این روابط و تحلیل رفتار آن در اقلیم مختلف، منجر به دستیابی به اطلاعاتی برای استفاده بهینه از شاخص‌های منحنی تداوم جریان به‌عنوان پارامتر برآوردکننده شاخص جریان پایه، خواهد شد. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی و تحلیل رابطه بین شاخص جریان پایه با شاخص‌های مستخرج از منحنی تداوم جریان در سطح حوضه‌های کشور است.

مواد و روش‌ها

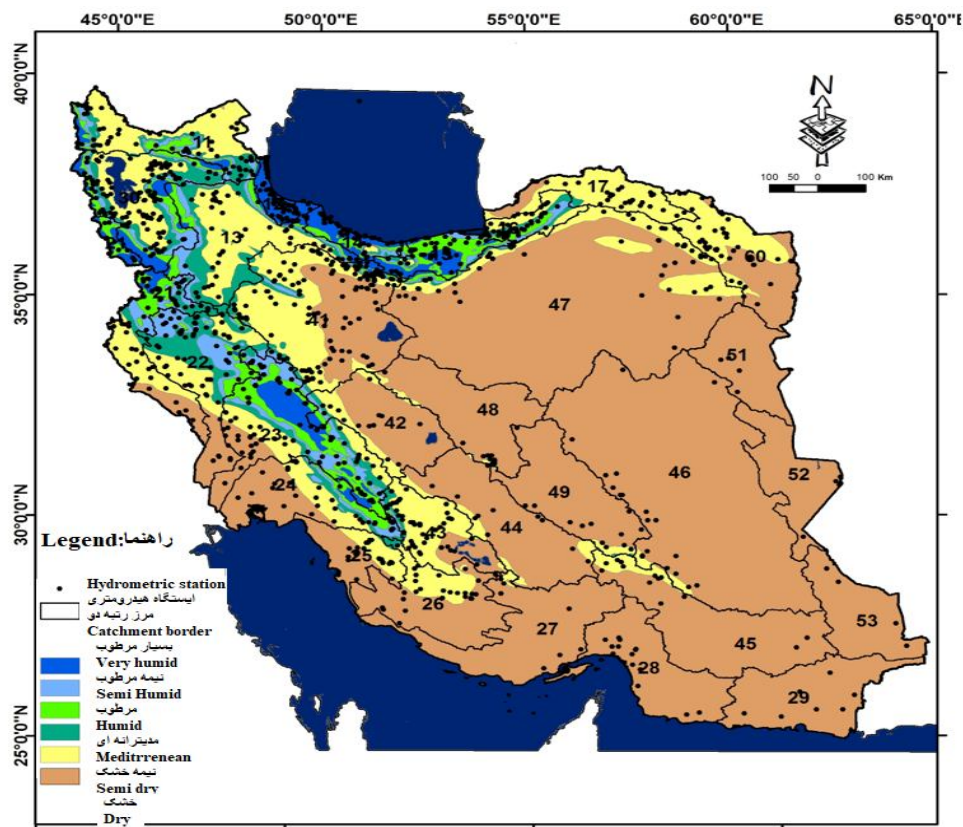
منطقه مورد پژوهش: در حوضه‌های رتبه چهار در گستره کشور ایران و در شش منطقه اقلیمی (شکل ۱) شامل: ۷۴ حوضه واقع در اقلیم خشک، ۴۷ حوضه واقع در اقلیم نیمه‌خشک، ۵۶ حوضه واقع در اقلیم مدیترانه‌ای، ۴۵ حوضه واقع در اقلیم مرطوب، ۳۸ حوضه واقع در اقلیم نیمه‌مرطوب و ۵۴ حوضه واقع در اقلیم بسیار مرطوب قرار دارد. مشخصات حوضه‌های مورد استفاده در هر منطقه اقلیمی در جدول ۱ ارائه شده است.

روش‌های جداسازی جریان پایه از جریان رودخانه، عمدتاً در سه گروه روش‌های گرافیکی، فیلترینگ و مبتنی بر ردیاب‌ها قابل طبقه‌بندی است (۵). از دیدگاه قابلیت اعتماد به نتایج این روش‌ها، قابل‌ذکر این‌که جداسازی جریان پایه به روش گرافیکی زمان‌بر و غیردقیق است و نتایج به‌دست‌آمده به‌وسیله متخصصین مختلف یکسان نیست. روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها، علی‌رغم دقت و قابلیت اعتماد بالا، زمان‌بر و مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی است. روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های رقومی و فیلترینگ، علاوه بر سهولت و قابلیت تشخیص مناسب در تعیین دبی پایه، حساسیت بالایی نسبت به پارامترها دارند. همچنین، به دلیل قابلیت خودکار کردن، مشکلات ناشی از عدم هم‌خوانی نتایج تا حدودی برطرف شده است. به دلیل پیچیدگی و نامشخص بودن میزان واقعی مشارکت دبی پایه در رواناب و همچنین، هزینه‌بر بودن روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها، پژوهشگران بسیاری نسبت به ارزیابی و مقایسه روش‌های مختلف تفکیک هیدروگراف جریان اقدام نموده‌اند و همکاران (۲۰۱۹) مختلفی را پیشنهاد داده‌اند. بهرامی و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر روش‌های تفکیک جریان و بارش مازاد را در برآورد هیدروگراف جریان، مورد بررسی قرار دادند و روش تلفیقی، مرکب از دو مدل شیب ثابت و مقدار ثابت را برای برآورد مناسب تشخیص دادند (۲). در این پژوهش از روش فیلتر رقومی برگشتی یک‌پارامتره^۱ برای استخراج شاخص جریان پایه استفاده شده است. این روش به‌وسیله پژوهشگران مختلفی از جمله نف و همکاران (۲۰۰۵)؛ قنبرپور و همکاران (۲۰۰۸)؛ ولد رافایل و ویسا (۲۰۱۰)؛ تیموری و همکاران (۲۰۱۱) و کاظمی و قرمز چشمه (۲۰۱۶) استفاده و توصیه شده است (۱۶، ۲۰، ۳۳، ۴۰ و ۴۳). پژوهشگران فوق‌الذکر از روش مقایسه و تحلیل آماری نتایج روش‌های مختلف، بدون واسنجی با داده اندازه‌گیری شده، اقدام

1- One parameter recursive digital filter

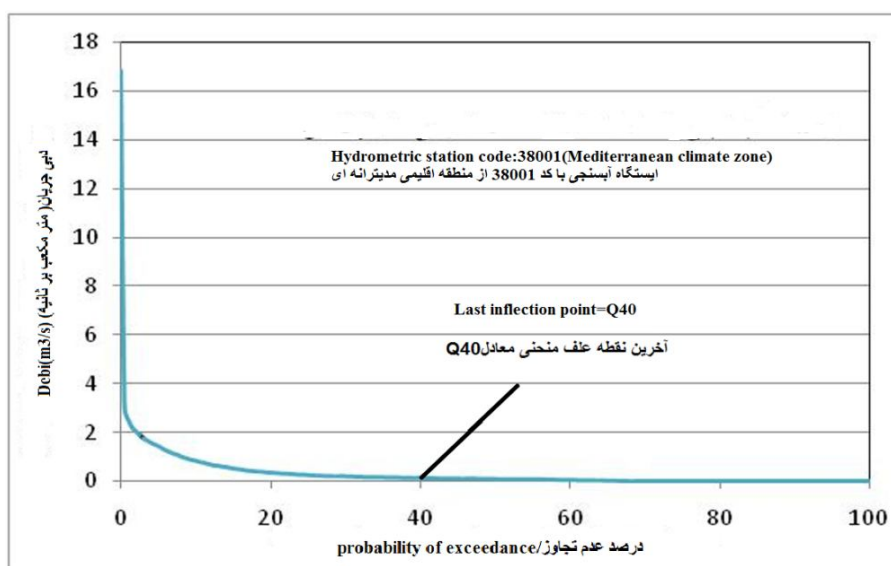
عطف منحنی تداوم جریان (Q_{Final}) به عنوان شاخص، با استفاده از کدنویسی در محیط برنامه نویسی متلب^۱ و تعیین شیب منحنی در نقاط عطف، محاسبه شد (شکل ۲). این شاخص، مکان هندسی نقطه‌ای بر روی منحنی تداوم جریان می‌باشد که در آن نقطه، شیب برابر صفر است. این نقطه به عنوان بخشی که دارای ثبات و پایداری جریان است شناخته می‌شود و عموماً برابر با میزان مشارکت جریان‌های زیرسطحی در جریان رودخانه در نظر گرفته می‌شود.

روش پژوهش: در این پژوهش ابتدا با تهیه نقشه اقلیم کشور و تقاطع آن با مرز حوزه‌های آبخیز رتبه چهار، حوزه‌های واقع در هر منطقه اقلیمی تفکیک شد (۲۶). سپس ایستگاه‌های با آمار دبی روزانه و دوره مشترک سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۹۰ در هر منطقه اقلیمی انتخاب شد. منحنی تداوم جریان با استفاده از داده‌های دبی روزانه بلندمدت ترسیم و شاخص‌های Q₂، Q₅، Q₁₀، Q₁₅، Q₂₀، Q₅₀، Q₇₅ و Q₉₀ استخراج شد. درصد احتمال عدم تجاوز، معادل آخرین نقطه



شکل ۱- نقشه پهنه‌های اقلیمی منطقه مورد پژوهش بر اساس روش دومارتن (۲۴).

Figure 1. Map of climatic zones of the study area based on Domarten method.



شکل ۲- طرح شماتیک آخرین نقطه عطف منحنی تداوم جریان.

Figure 2. Schematic diagram of the last inflection point of the flow duration curve.

جدول ۱- مشخصه‌های عمومی حوضه‌های هر منطقه اقلیمی.

Table 1. General characteristics of the catchments of each climatic zones

بارش متوسط سالانه (میلی‌متر) Annual rainfall(mm)	شیب حوضه (درصد) Slope	طول آبراه اصلی (کیلومتر) Length of main River	ضریب گراویوس Gravelios coefficient	مساحت (کیلومتر مربع) Area	محیط (کیلومتر) Perimeter	ارتفاع (متر) Height	مشخصات عمومی General characteristics	
							میانگین Average	حداکثر Maximum
881	23.58	227	1.46	429	99	1044	میانگین Average	بسیار مرطوب Very humid
1464	48.12	774	2.16	2125	238	3224	حداکثر Maximum	
214	0.24	39	1.12	42	30	17	حداقل Minimum	
657	25.20	360	1.49	749	138	1794	میانگین Average	مرطوب Humid
1078	49.92	1100	2.17	4117	274	3067	حداکثر Maximum	
308	0.43	60	1.14	80	40	6	حداقل Minimum	
571	25.25	376	1.51	765	142	2087	میانگین Average	نیمه مرطوب Semi humid
1430	46.86	1058	2.10	2316	350	2824	حداکثر Maximum	
207	1.04	85	1.20	109	52	88	حداقل Minimum	
410	24.50	389	1.45	846	141	2041	میانگین Average	مدیترانه‌ای Mediterranean
804	44.58	1252	1.77	3461	333	2798	حداکثر Maximum	
211	1.68	52	1.12	74	36	812	حداقل Minimum	
184	16.61	963	1.55	2932	260	1916	میانگین Average	خشک Arid
373	30.98	5096	2.34	26113	791	3105	حداکثر Maximum	
70	0.21	156	1.22	288	75	543	حداقل Minimum	
381	17.48	408	1.53	849	152	2036	میانگین Average	نیمه خشک Semi-arid
752	25.45	1115	2.04	2905	319	2769	حداکثر Maximum	
159	2.00	121	1.12	163	64	1147	حداقل Minimum	

اکهارد، (۲۰۰۸) اولین بار توسط چاپمن و ماکسول (۱۹۹۶) معرفی شد (۷ و ۱۳).

$$q_{b(i)} = \frac{K}{2-K} q_{b(i-1)} + \frac{1-K}{2-K} q_i \quad (1)$$

توسط $q_{b(i)} \leq q_i$ ، پارامتر فیلتر، قابل تعیین توسط ثابت افت منحنی هیدروگراف، $q_{b(i-1)}$ جریان پایه فیلتر شده برای زمان قبل از i ، $q_{b(i)}$ جریان کل رودخانه برای زمان i ، $q_{b(i)}$ جریان پایه فیلتر شده، برای زمان i ام.

نتایج و بحث

نتایج استخراج شاخص جریان پایه و شاخص‌های مستخرج از منحنی تداوم جریان، به صورت خلاصه، در جدول ۲ ارائه شده است؛ که شامل: متوسط درازمدت مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین شاخص‌ها در کل حوضه‌های واقع در هر منطقه اقلیمی است. تشریح و تفسیر نتایج این جدول، به علاوه نتایج روابط همبستگی بین شاخص جریان پایه با شاخص‌های تداوم جریان، به تفکیک مناطق اقلیمی در ادامه ارائه شده است.

جداسازی جریان آب پایه: جداسازی جریان پایه، طی فرآیند تفکیک هیدروگراف جریان و با شناسایی نقطه شروع و خاتمه رواناب مستقیم قابل انجام است. نقطه شروع، نقطه‌ای است که جریان، روند صعودی پیدا می‌کند و نقطه خاتمه، زمانی است که لگاریتم شاخه نزولی در برابر زمان به خط راست تبدیل می‌شود. در این پژوهش، تفکیک هیدروگراف جریان و محاسبه شاخص جریان پایه با استفاده از الگوریتم فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره، به وسیله نرم‌افزار Hydro Office، (۲۰۱۵) و پس از بررسی و آماده‌سازی داده‌های روزانه جریان به روش توصیه شده توسط کاظمی و پر همت (۲۰۲۰) انجام شد (۲۴). مطابق با این روش با استفاده از قابلیت نمایش گرافیکی نرم‌افزار و به کار بردن مقادیر مختلف پارامتر و واسنجی آن با مقادیر دبی مشاهداتی فصل خشک، مقدار پارامتر بهینه الگوریتم تعیین و میزان آب پایه و شاخص مربوطه استخراج شد.

فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره: روش فیلتر رقومی برگشتی برای تحلیل، پردازش و فیلتر کردن رواناب سطحی (سیگنال‌های با فراوانی بالا) از جریان پایه (سیگنال‌های با فراوانی پایین) معرفی شده است. فیلتر رقومی یک پارامتره با الگوریتم ذیل رابطه ۱، به نقل از

جدول ۲- مشخصات عمومی شاخص‌های منتخب در حوضه‌های مناطق مختلف اقلیمی.

Table 2. General characteristics of selected indices in the catchments of different climatic zones.

QFinal	BFI	Q90	Q75	Q50	Q20	Q15	Q10	Q5	Q2	شاخص Indices	اقلیم Climate
43	0.57	49	57	60	81	84	87	83	87	Average میانگین	بسیار مرطوب Very humid
56	0.77	62	79	73	97	98	98	98	98	Maximum حداکثر	
19	0.36	22	34	30	56	54	55	37	60	Minimum حداقل	
43	0.54	49	60	64	76	84	91	91	90	Average میانگین	مرطوب Humid
56	0.86	74	78	86	97	97	97	98	98	Maximum حداکثر	
19	0.36	30	26	29	30	28	40	51	55	Minimum حداقل	
45	0.59	50	62	68	79	90	94	92	92	Average میانگین	نیمه مرطوب Semi humid
56	0.84	74	81	86	98	98	98	98	98	Maximum حداکثر	
19	0.35	23	41	38	30	63	63	64	53	Minimum حداقل	
40	0.55	47	56	59	71	81	87	86	84	Average میانگین	مدیترانه‌ای Mediterranean
55	0.83	69	76	85	97	98	98	98	98	Maximum حداکثر	
18	0.36	21	24	27	26	36	35	31	27	Minimum حداقل	
42	0.61	50	52	58	85	87	87	84	88	Average میانگین	خشک Arid
52	0.84	68	80	79	98	98	98	98	98	Maximum حداکثر	
31	0.33	27	23	30	57	51	52	38	58	Minimum حداقل	
35	0.56	39	33	41	65	90	91	89	90	Average میانگین	نیمه خشک Semi-arid
55	0.81	65	52	96	95	95	98	97	97	Maximum حداکثر	
26	0.42	25	24	31	40	75	71	66	67	Minimum حداقل	

(Q₅₀) یک شکست عمده در شیب منحنی مشاهده می‌شود و دو نقطه عطف عمده دیگر نیز در محل (Q₇₅) و (Q₉₀) قابل مشاهده است. رابطه بین شاخص منحنی تداوم جریان در مکان هندسی نقطه شیب صفر منحنی با شاخص جریان پایه در شکل ۳ نشان داده شده است. ضریب تبیین ۸۵ درصدی این رابطه، نمایانگر قابلیت امکان برآورد جریان پایه با استفاده از این شاخص است. روابط همبستگی شاخص‌های منحنی تداوم جریان با شاخص جریان پایه در جدول ۳ و روند تغییرات ضریب تبیین آن‌ها در شکل ۴ ارائه شده است. همان‌طور که از جدول ۳ قابل دریافت

حوضه‌های منطقه اقلیمی بسیار مرطوب: نتایج حاصل از تفکیک هیدروگراف جریان و محاسبه شاخص جریان پایه (جدول ۲) نشان داد که میانگین بلندمدت سالانه حداقل شاخص جریان پایه برابر با ۰/۳۶، حداکثر ۰/۷۷ و متوسط آن ۰/۵۷ است. این میزان نشان‌دهنده سهم بیش از ۵۰ درصدی جریان‌ات زیرسطحی در جریان رودخانه‌های این منطقه اقلیمی است. میانگین درازمدت سالانه شاخص‌های منحنی تداوم جریان در بخش موسوم به پرایمی منحنی تداوم جریان (Q₂ الی Q₂₀) حدود ۸۰ مترمکعب بر ثانیه است و درگذر از این بخش به بخش نرمال منحنی

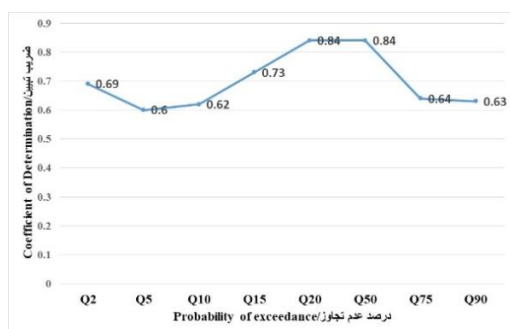
شاخص‌های بخش پربابی و نرمال برای برآورد و پیش‌بینی در حوضه‌های فاقد آمار قابل توصیه است. نزدیکی میزان همبستگی شاخص‌های پربابی و درصد عدم تجاوز منحنی در شیب صفر با یکدیگر، نشان‌دهنده این است که در حوضه‌های این منطقه در احتمال مابین Q_{20} و Q_{50} جریان رودخانه‌ها به پایداری می‌رسند. همچنین قابل توصیه است که شاخص منحنی در محل شیب صفر، قابل استفاده برای برآورد شاخص جریان پایه در این منطقه اقلیمی است.

است، محدوده ضریب همبستگی این شاخص‌ها بین 0.60 تا 0.84 است و حداقل همبستگی، مربوط به بخش کم‌آبی منحنی تداوم جریان (Q_{75} و Q_{90}) و حداکثر نیز به میزان 0.84 و 0.82 مربوط به رابطه شاخص جریان پایه با شاخص‌های Q_{20} و Q_{50} ، موسوم به قسمت پربابی و نرمال منحنی تداوم جریان است. این بدین معنی است که در حوضه‌های این منطقه اقلیمی اعتبار شاخص‌های بخش کم‌آبی منحنی تداوم جریان برای پیش‌بینی جریان پایه کم‌تر از شاخص‌های بخش پربابی و نرمال منحنی است و

جدول ۳- روابط همبستگی شاخص‌های منحنی تداوم جریان با شاخص جریان پایه در حوضه‌های منطقه اقلیمی بسیار مرطوب.

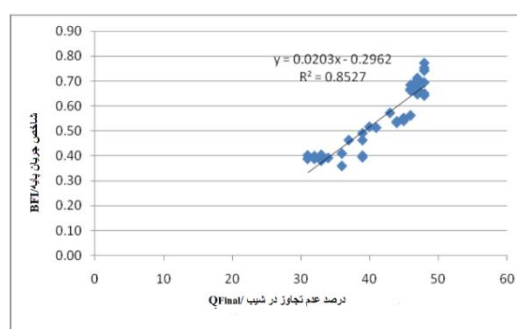
Table 3. Correlation relationships of FDC with BFI in catchments of very humid climate zones.

شاخص Index	رابطه رگرسیونی Relation of regression	ضریب تبیین Coefficient of determination (R^2)
Q_2	$Y=89.24X+36.144$	0.685
Q_5	$Y=133.59X+7.0675$	0.605
Q_{10}	$Y=94.953X+32.634$	0.619
Q_{15}	$Y=108.89X+22.32$	0.727
Q_{20}	$Y=91.079X+29.94$	0.837
Q_{50}	$Y=99.977X+2.5301$	0.816
Q_{75}	$Y=64.79X+20.498$	0.637
Q_{90}	$Y=52.715X+18.732$	0.626



شکل ۴- شاخص جریان پایه و درصد عدم تجاوز در شیب صفر.

Figure 4. Relationship of BFI and Q_{Final} .



شکل ۳- تغییرات ضریب تبیین رابطه شاخص‌های منحنی و جریان پایه.

Figure 3. Changes of R^2 , of Probability of exceedance.

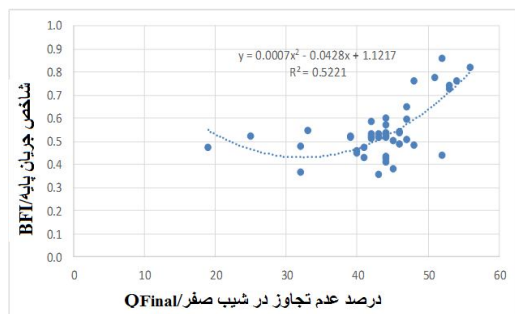
در شکل ۵ و رابطه بین میانگین بلندمدت سالیانه شاخص جریان پایه و درصد عدم تجاوز در نقطه شیب صفر منحنی در شکل ۶ نشان داده شده است. هم‌چنین روابط همبستگی شاخص‌های منحنی تداوم جریان با شاخص جریان پایه در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که از جدول ۴ قابل دریافت است، بالاترین ضریب تبیین بین شاخص جریان پایه و شاخص‌های منحنی تداوم جریان مربوط به بخش کم‌آبی (Q₉₀) است و بخش پرآبی منحنی فاقد همبستگی با شاخص جریان پایه است. رابطه شاخص جریان پایه و درصد عدم تجاوز در نقطه شیب صفر منحنی برابر با ۰/۵۲ می‌باشد.

حوضه‌های منطقه اقلیمی مرطوب: نتایج استخراج شاخص جریان پایه، نشان داد که میانگین بلندمدت این شاخص برابر با ۰/۵۴ و میزان مشارکت ذخایر زیرسطحی در جریان رودخانه حوضه‌های این منطقه اقلیمی، مشابه حوضه‌های منطقه اقلیمی بسیار مرطوب است. تغییر شیب و نقاط عطف منحنی تداوم جریان در شاخص‌های (Q₂ الی Q₇₅) به‌طور بارزی مشاهده می‌شود ولی بزرگ‌ترین شکست در شیب منحنی در محل گذر از شاخص Q₇₅ به Q₉₀ اتفاق افتاده است. میزان درصد عدم تجاوز در نقطه شیب صفر منحنی، نیز تقریباً برابر با میزان Q₉₀ است. روند تغییرات ضریب تبیین رابطه شاخص‌های منحنی و جریان پایه

جدول ۴- روابط همبستگی شاخص‌های منحنی تداوم جریان با شاخص جریان پایه حوضه‌های منطقه اقلیمی مرطوب.

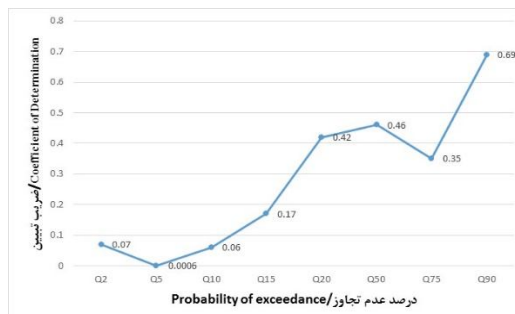
Table 4. Correlation relationships of FDC with BFI in catchments of humid climate zones.

شاخص Index	رابطه رگرسیونی Relation of regression	ضریب تبیین Coefficient of determination (R ²)
Q ₂	Y=22.151X + 77.957	0.0752
Q ₅	Y=1.7768X + 90.305	0.0006
Q ₁₀	Y=20.139X + 80.422	0.619
Q ₁₅	Y=43.617X + 60.653	0.0625
Q ₂₀	Y=79.581X + 32.642	0.4235
Q ₅₀	Y=64.633X + 29.224	0.4685
Q ₇₅	Y=46.953X + 34.823	0.351
Q ₉₀	Y=67.754X + 12.002	0.6944



شکل ۶- شاخص جریان پایه و درصد عدم تجاوز در شیب صفر.

Figure 6. Relationship of BFI and Q_{Final}.



شکل ۵- تغییرات ضریب تبیین شاخص‌های منحنی و جریان پایه.

Figure 5. Changes of R², of Probability of exceedance.

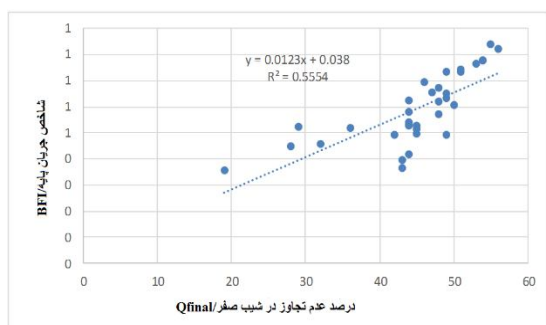
جریان برابری می‌کند. روند تغییرات ضریب تبیین رابطه شاخص‌های منحنی و جریان پایه در شکل ۷ و رابطه شاخص جریان پایه و درصد عدم تجاوز در نقطه شیب صفر در شکل ۸ ارائه شده است. هم‌چنین نتایج روابط همبستگی شاخص‌های منحنی تداوم جریان با شاخص جریان پایه در جدول ۵ ارائه شده است. همان‌طور که از جدول ۵ قابل دریافت است؛ بیش‌ترین همبستگی بین شاخص‌ها در محدوده Q_{20} تا Q_{90} مشاهده می‌شود. ضریب همبستگی رابطه شاخص جریان پایه و درصد عدم تجاوز در نقطه شیب صفر (شکل ۷) به میزان ۰/۵۵ و معادل ضریب همبستگی Q_{75} با شاخص جریان است.

حوضه‌های منطقه اقلیمی نیمه‌مرطوب: همان‌طور که از نتایج مندرج در جدول ۲ قابل دریافت است، میانگین بلندمدت سالانه شاخص جریان پایه برابر با ۰/۵۹ است که در مقایسه با دو منطقه اقلیمی بسیار مرطوب و مرطوب، میزان مشارکت جریانات زیرسطحی در جریان رودخانه‌ها بیش‌تر است. روند تغییرات شاخص‌های منحنی تداوم جریان نشان می‌دهد که اولین شکست بارز در شیب منحنی در محل (Q_{20}) اتفاق افتاده است و به‌ترتیب در شاخص‌های دیگر تا Q_{90} نیز همین روند با میزان تقریباً مشابه مشاهده شد. در این منطقه شاخص منحنی در محل شیب صفر تقریباً با میزان Q_{90} بر روی منحنی تداوم

جدول ۵- روابط همبستگی شاخص‌های منحنی تداوم جریان با شاخص جریان پایه حوضه‌های منطقه اقلیمی نیمه‌مرطوب.

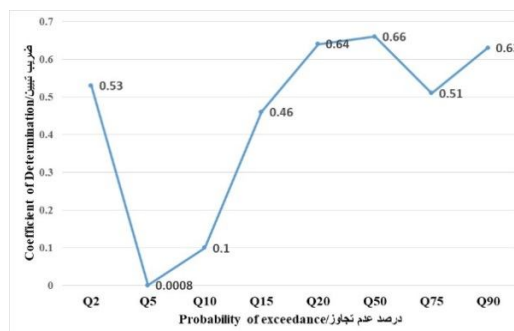
Table 5. Correlation relationships of FDC with BFI in catchments of semi humid climate zones.

شاخص Index	رابطه رگرسیونی Relation of regression	ضریب تبیین Coefficient of determination (R^2)
Q_2	$Y=19.257X+81.706$	0.5265
Q_5	$Y=0.8841X+93.209$	0.0008
Q_{10}	$Y=6.098X+90.891$	0.1048
Q_{15}	$Y=28.425X+74.038$	0.4553
Q_{20}	$Y=102.13X+19.743$	0.6405
Q_{50}	$Y=64.806X+30.27$	0.658
Q_{75}	$Y=52.899X+31.076$	0.5052
Q_{90}	$Y=74.054X+6.7142$	0.6332



شکل ۸- شاخص جریان پایه و درصد عدم تجاوز در شیب صفر.

Figure 8. Relationship of BFI and Q_{Final} .



شکل ۷- تغییرات ضریب تبیین شاخص‌های منحنی و جریان پایه.

Figure 7. Changes of R^2 , of Probability of exceedance.

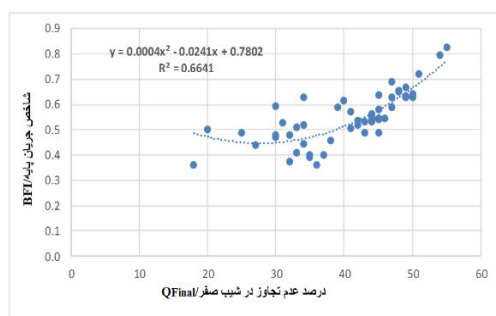
مدیرانه‌ای در شکل ۹ و روند تغییرات ضریب تبیین بین شاخص جریان پایه و شاخص‌های منحنی تداوم جریان در شکل ۱۰ نشان داده شده است. روابط همبستگی شاخص‌های منحنی با شاخص جریان پایه نیز در جدول ۶ ارائه شده است. بیشترین همبستگی بین شاخص جریان پایه و شاخص‌های منحنی تداوم جریان، مربوط به شاخص نرمال (Q₅₀) با ضریب تبیین ۰/۵۸ و کم‌ترین نیز به شاخص‌های بخش پراپی تعلق دارد. ضریب تبیین رابطه شاخص منحنی تداوم جریان در معادل نقطه شیب صفر با شاخص جریان پایه، به میزان ۰/۶۶ است که در این منطقه اقلیمی بیش‌ترین همبستگی را دارد و قابلیت استفاده و توصیه برای برآورد در حوضه‌های فاقد آمار را نسبت به سایر شاخص‌ها دارا است.

حوضه‌های منطقه اقلیمی مدیرانه‌ای: نتایج فرایند تفکیک جریان پایه، نشان داد که متوسط درازمدت شاخص جریان پایه، در حوضه‌های این منطقه اقلیمی برابر با ۰/۵۵ است. بدین معنی که میزان تقریبی مشارکت جریانات زیرسطحی بیش از ۵۰ درصد است. تحلیل نتایج شاخص‌های منحنی تداوم جریان، مندرج در جدول ۲ نشان می‌دهد که اولین نقطه عطف منحنی در Q₂₀ اتفاق افتاده و نقطه عطف بارز دیگر در Q₅₀ مشاهده می‌شود و مهم‌ترین نقطه شکست نیز درگذر از Q₇₅ به Q₉₀ قابل مشاهده است. معادل درصد عدم تجاوز در محل شیب صفر منحنی نیز تقریباً برابر با Q₉₀ است. رابطه بین میانگین سالیانه بلندمدت شاخص جریان پایه و درصد عدم تجاوز در نقطه معادل شیب صفر منحنی در منطقه اقلیمی

جدول ۶- روابط همبستگی شاخص‌های منحنی تداوم جریان با شاخص جریان پایه حوضه‌های منطقه اقلیمی مدیرانه‌ای.

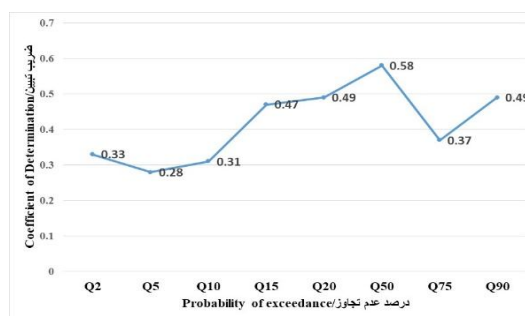
Table 6. Correlation relationships of FDC with BFI in catchments of Mediterranean climate zones.

شاخص Index	رابطه رگرسیونی Relation of regression	ضریب تبیین Coefficient of determination (R ²)
Q ₂	Y=84.897X +37.699	0.3254
Q ₅	Y=75.753X +44.123	0.2775
Q ₁₀	Y=71.371X +47.429	0.3096
Q ₁₅	Y=106.91X +22.186	0.4716
Q ₂₀	Y=128.24X +0.5744	0.4904
Q ₅₀	Y=102.86X +2.8234	0.5822
Q ₇₅	Y=69.841X +17.179	0.3694
Q ₉₀	Y=65.489X +11.257	0.4935



شکل ۱۰- شاخص جریان پایه و درصد عدم تجاوز در شیب صفر.

Figure 10. Relationship of BFI and Q_{Final}.



شکل ۹- تغییرات ضریب تبیین شاخص‌های منحنی و جریان پایه.

Figure 9. Changes of R², of Probability of exceedance.

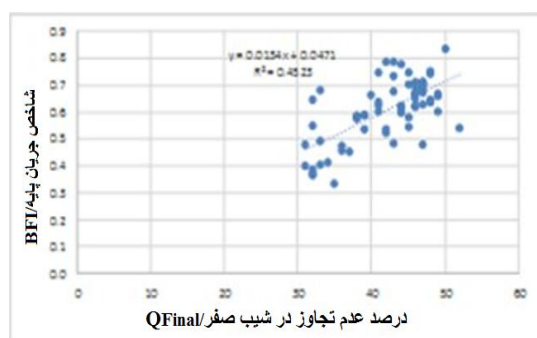
در شکل ۱۲ ارائه شده است. روابط همبستگی شاخص‌های منحنی با شاخص جریان پایه در جدول ۷ ارائه شده است. همان‌طور که از جدول ۷ قابل دریافت است، بیش‌ترین همبستگی بین شاخص جریان پایه و شاخص‌های منحنی تداوم جریان، به‌میزان ۰/۶ مربوط به شاخص‌های بخش پرآبی منحنی (Q₂ الی Q₂₀) و کم‌ترین نیز به شاخص‌های بخش کم‌آبی تعلق دارد. از شکل ۱۱ قابل دریافت است که روند تغییرات ضریب همبستگی از سمت شاخص‌های پرآبی به سمت شاخص‌های کم‌آبی، نزولی با شیب تند است. ضریب تبیین رابطه شاخص منحنی تداوم جریان در نقطه معادل شیب صفر منحنی با شاخص جریان پایه، به‌میزان ۰/۴۵ است و با ضریب همبستگی شاخص‌های بخش کم‌آبی تناظر دارد. در این منطقه اقلیمی شاخص‌های بخش پرآبی منحنی تداوم جریان، به‌دلیل همبستگی بالا با شاخص جریان پایه، قابلیت استفاده و توصیه برای برآورد شاخص جریان پایه را دارا می‌باشد.

حوضه‌های منطقه اقلیمی خشک: نتایج محاسبه شاخص جریان پایه مندرج در جدول نشان می‌دهد که متوسط درازمدت شاخص جریان پایه سالانه برابر با ۰/۶۱ است که از سایر حوضه‌های مناطق اقلیمی بسیار مرطوب، مرطوب، نیمه‌مرطوب و مدیترانه‌ای، بالاتر است. بدین معنی که در مناطق خشک، به‌دلیل سهم کم بارش، میزان مشارکت جریانات زیرسطحی در جریان رودخانه‌ها بیش‌تر از سایر مناطق است. از تحلیل شاخص‌های منحنی تداوم جریان، قابل دریافت است که مهم‌ترین نقطه شکست در منحنی این مناطق در محل شاخص Q₅₀ است و نقطه عطف مهم دیگری مشاهده نمی‌شود. بدین معنی که جریان پس از Q₅₀ به حالت تقریباً پایدار درمی‌آید. هم‌چنین درصد عدم تجاوز در شیب صفر منحنی در این منطقه نیز تقریباً نزدیک و برابر Q₉₀ است. روند تغییرات ضریب تبیین رابطه همبستگی بین شاخص جریان پایه و شاخص‌های منحنی تداوم جریان در شکل ۱۱ و رابطه بین میانگین سالیانه بلندمدت شاخص جریان پایه و درصد عدم تجاوز در نقطه شیب صفر منحنی

جدول ۷- روابط همبستگی شاخص‌های منحنی تداوم جریان با شاخص جریان پایه حوضه‌های منطقه اقلیمی خشک.

Table 7. Correlation relationships of FDC with BFI in catchments of arid climate zones.

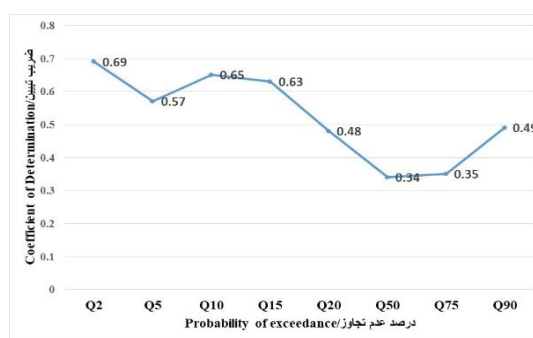
شاخص Index	رابطه رگرسیونی Relation of regression	ضریب تبیین Coefficient of determination (R ²)
Q ₂	Y=89.112X +33.589	0.689
Q ₅	Y=127.11X +5.8169	0.5706
Q ₁₀	Y=102.42X +24.585	0.647
Q ₁₅	Y=103.9X +23.461	0.6541
Q ₂₀	Y=77.043X +37.335	0.6358
Q ₅₀	Y=87.081X +4.5741	0.4834
Q ₇₅	Y=70.64X +9.0229	0.3444
Q ₉₀	Y=46.813X +21.263	0.3463



شکل ۱۲- شاخص جریان پایه و درصد عدم تجاوز در شیب صفر.

Figure 12. Relationship of BFI and Q_{Final} .

شاخص جریان پایه در جدول ۸ ارائه شده است. از مندرجات جدول ۸ قابل دریافت است که بیش‌ترین همبستگی بین شاخص جریان پایه و شاخص‌های منحنی تداوم جریان، به میزان ۰/۷۵ مربوط به دو شاخص بخش پرآبی و کم‌آبی منحنی (Q₂₀ و Q₉₀) و کم‌ترین میزان نیز به شاخص‌های بخش پرآبی (از Q₂ الی Q₁₅) تعلق دارد. روند کلی تغییرات منحنی ضریب همبستگی از سمت شاخص‌های پرآبی به سمت شاخص‌های کم‌آبی، صعودی با شیب بسیار ملایم است (شکل ۱۳). همان‌طور در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود، ضریب تبیین رابطه شاخص منحنی تداوم جریان در نقطه شیب صفر با شاخص جریان پایه، به میزان ۰/۷۱ است و با ضریب همبستگی شاخص‌های (Q₂₀ و Q₉₀) تناظر دارد. در این منطقه اقلیمی شاخص Q_{Final} ، قابلیت استفاده برای برآورد شاخص جریان پایه را نسبت به سایر شاخص‌ها دارا می‌باشد و توصیه می‌شود.



شکل ۱۱- تغییرات ضریب تبیین شاخص‌های منحنی و جریان پایه.

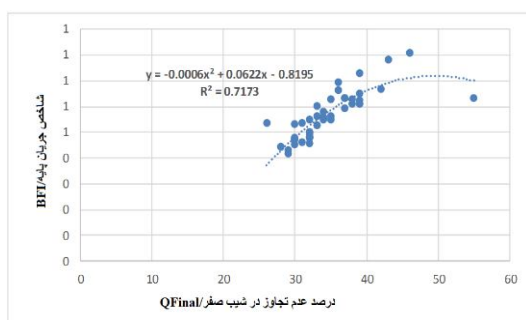
Figure 11. Changes of R^2 , of Probability of exceedance.

حوضه‌های منطقه اقلیمی نیمه‌خشک: نتایج خروجی مدل تفکیک جریان پایه نشان داد که متوسط درازمدت شاخص جریان پایه در حوضه‌های این منطقه برابر با ۰/۵۶ است و نسبت به منطقه خشک، درصد مشارکت جریانات زیرسطحی کم‌تر است. تحلیل شاخص‌های منحنی تداوم جریان مندرج در جدول ۲ نشان می‌دهد که سه نقطه عطف مهم در گذر از شاخص Q₁₅ به Q₂₀ و Q₂₀ به Q₅₀ و Q₅₀ به Q₇₅ اتفاق افتاده و بعد از این، نقطه عطف بارزی مشاهده نمی‌شود. درصد عدم تجاوز در شیب صفر برابر با Q₇₅ است. روند تغییرات ضریب تبیین بین شاخص جریان پایه و شاخص‌های منحنی تداوم جریان در شکل ۱۳ و رابطه بین میانگین سالیانه بلندمدت شاخص جریان پایه و درصد عدم تجاوز در نقطه شیب صفر منحنی در منطقه اقلیمی نیمه‌خشک در شکل ۱۴ نشان داده شده است. همچنین روابط همبستگی شاخص‌های منحنی تداوم جریان با

جدول ۸- روابط همبستگی شاخص‌های منحنی تداوم جریان با شاخص جریان پایه حوضه‌های منطقه اقلیمی نیمه‌خشک.

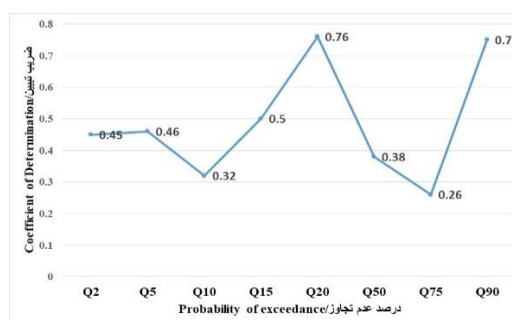
Table 8. Correlation relationships of FDC with BFI in catchments of semi-arid climate zones.

شاخص Index	رابطه رگرسیونی Relation of regression	ضریب تبیین Coefficient of determination (R ²)
Q ₂	Y=55.35X +58.347	0.4477
Q ₅	Y=57.19X +56.888	0.4584
Q ₁₀	Y=41.84X +67.465	0.329
Q ₁₅	Y=45.411X +64.818	0.5054
Q ₂₀	Y=123.22X -4.2642	0.7628
Q ₅₀	Y=77.446X -2.1213	0.3788
Q ₇₅	Y=39.162X +11.24	0.2687
Q ₉₀	Y=72.132X -2.0653	0.7501



شکل ۱۴- شاخص جریان پایه و درصد عدم تجاوز در شیب صفر.

Figure 14. Relationship of BFI and Q_{Final}.



شکل ۱۳- تغییرات ضریب تبیین شاخص‌های منحنی و جریان پایه.

Figure 13. Changes of R², of Probability of exceedance.

مدیرانه‌ای، خشک و نیمه‌خشک است. بیش‌ترین همبستگی بین شاخص‌های منحنی تداوم جریان با شاخص جریان پایه در منطقه بسیارمرطوب با ضریب تبیین ۰/۸۴ مربوط به شاخص‌های بخش پرآبی منحنی است. ولی در حوضه‌های دو منطقه مرطوب و نیمه‌مرطوب، بیش‌ترین همبستگی مربوط به شاخص بخش کم‌آبی با ضریب تبیین ۰/۶۳ و ۰/۶۹ است. این بدین معنی است که برای برآورد شاخص جریان پایه از روی شاخص‌های تداوم جریان، برای حوضه‌های منطقه بسیارمرطوب، شاخص‌های بخش پرآبی منحنی و برای منطقه مرطوب و نیمه‌مرطوب شاخص‌های کم‌آبی قابل‌توصیه هستند. با مقایسه ضریب همبستگی

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش روابط همبستگی شاخص‌های منحنی تداوم جریان با شاخص جریان پایه در حوضه‌های مناطق مختلف اقلیمی بررسی شد. نتایج نشان داد که موقعیت نقاط عطف منحنی تداوم جریان در حوضه‌های اقلیم مختلف، به‌طور مستقل از هم و متناسب با منطقه اقلیمی که حوضه‌ها در آن واقع شده‌اند؛ تغییر می‌کند. مقایسه میانگین بلندمدت شاخص جریان پایه سالانه در منطقه بسیارمرطوب، مرطوب و نیمه‌مرطوب، نشان‌دهنده نزدیکی این شاخص در این سه منطقه اقلیمی و هم‌چنین نزدیکی تقریبی این شاخص در حوضه‌های سه منطقه اقلیمی

شاخص جریان پایه، در حوضه‌های اقلیم مرطوب، نیمه‌مرطوب، مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک، یک رابطه قوی و قابل‌اعتماد و توصیه برای تحلیل منطقه‌ای و پیش‌بینی و برآورد است. ولی در حوضه‌های منطقه خشک این رابطه دارای استثناء است و شاخص‌های بخش پرآبی منحنی، این نقش را به عهده دارند و بیش‌ترین همستگی را به خود اختصاص داده‌اند. در حوضه‌های واقع در منطقه بسیار مرطوب نیز ضریب تبیین همه شاخص‌ها با شاخص جریان پایه دارای قابلیت اعتماد و استفاده است. نتایج کلی در حوضه‌های تمامی مناطق اقلیمی، پارامتر شاخص‌های منحنی تداوم جریان را به‌عنوان پارامتر قابل‌اعتماد و پیش‌بینی‌کننده شاخص جریان پایه، نشان می‌دهد.

تقدیر و تشکر

این پژوهش با حمایت مالی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است. بدین‌وسیله از همراهی و مساعدت مسئولین محترم پژوهشکده تشکر می‌شود.

داده‌ها و اطلاعات

این پژوهش مستخرج از بخشی از نتایج طرح تحقیقاتی ملی با عنوان ارزیابی پارامترهای هیدرولوژیکی با کد طرح: ۹۰۰۰۳-۹۰۱۵-۲۹-۲۹-۰۱۴ است که در قالب پروژه‌های ملی و استانی و در بیش از ۱۰۰۰ ایستگاه آبخیزداری و در حوضه‌های رتبه ۴ و ۷ با مسئولیت طرح ملی آقای دکتر فرود شریفی، پروژه ملی آقای دکتر جهانگیر پرهت و مسولیت استانی آقای دکتر رحیم کاظمی در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

بین شاخص منحنی در نقطه معادل شیب صفر با شاخص جریان پایه در سه منطقه اقلیمی بسیار مرطوب، مرطوب و نیمه‌مرطوب؛ قابل دریافت است که بیش‌ترین ضریب تبیین مربوط به منطقه بسیار مرطوب به میزان ۰/۸۵ می‌باشد. این رابطه در حوضه‌های دو منطقه مرطوب و نیمه‌مرطوب با ضریب تبیین تقریبی ۰/۵۰ مشابه هستند. بنابراین برای برآورد شاخص جریان پایه در منطقه اقلیمی بسیار مرطوب، این شاخص قابل توصیه است ولی در دو منطقه اقلیمی مرطوب و نیمه‌مرطوب، برتری ویژه‌ای بر سایر شاخص‌های منحنی تداوم جریان ندارد. مقایسه مؤلفه‌های حوضه‌های منطقه مدیترانه‌ای به دلیل تشابه اقلیمی کم‌تر با حوضه‌های واقع در سایر مناطق، دارای منطق علمی و استوار نیست و باید به‌طور مستقل مورد تحلیل قرار گیرد. در این منطقه بیش‌ترین همستگی بین شاخص جریان پایه و شاخص‌های منحنی تداوم جریان، مربوط به شاخص نرمال (Q_{50}) با ضریب تبیین ۰/۵۸ است. ضریب تبیین رابطه شاخص منحنی تداوم جریان در نقطه معادل شیب صفر با شاخص جریان پایه، به میزان ۰/۶۶ است که بیش‌ترین همستگی را دارد و قابلیت توصیه و استفاده برای برآورد در حوضه‌های فاقد آمار را نسبت به سایر شاخص‌ها دارا است. از مقایسه روابط همستگی دو منطقه اقلیمی خشک و نیمه‌خشک قابل دریافت است که بیش‌ترین همستگی بین شاخص جریان پایه و شاخص‌های منحنی تداوم جریان، در هر دو منطقه اقلیمی مربوط به شاخص‌های بخش پرآبی منحنی است. مقایسه نتایج خروجی مدل تفکیک جریان پایه در دو منطقه خشک و نیمه‌خشک، نشان داد که متوسط درازمدت شاخص جریان پایه در حوضه‌های منطقه نیمه‌خشک کم‌تر از منطقه خشک است. در جمع‌بندی کلی نتایج، قابل‌ذکر است که روابط همستگی بین شاخص‌های بخش انتهایی و موسوم به کم‌آبی منحنی تداوم جریان با میانگین سالانه

منابع

1. Alizadeh, A. 2007. Principal of Applied Hydrology, 14th Edn. Mashhad. Emamreza University Press, 807p. (In Persian)
2. Bahrami, E., Mohammadrezapour, O., Salarijazi, M., and Jou, P.H. 2019. Effect of base flow and rainfall excess separation on runoff hydrograph estimation using gamma model (case study: Jong catchment). *KSCE J. Civil Engin.* 23 :3. 1420-1426.
3. Blumenfeld, S., Lu, C., Christophehersen, T., and Coates, D. 2009. Water, wetlands and forests: a review of ecological, economic and policy linkages. Secretariat of the Convention on Biological Diversity and Secretariat of the Ramsar Convention on Wetlands, Montreal and Gland. CBD Technical Series. 47: 1-38.
4. Bosch, D.D., Arnold, J.G., Allen, P.G., Lim, K.J., and Park, Y.S. 2017. Temporal variations in baseflow for the Little River experimental watershed in South Georgia, USA. *J. Hydrol: Reg. Stud.* 10: 110-121.
5. Brodie, R.S., and Hostette, S. 2005. A review of techniques for analyzing base-flow from stream hydrographs. Proceedings of the NZHS-IAH-NZSSS Conference, Auckland, New Zealand. 28: 1-13.
6. Castellarina, A., Galeatib, G., Brandimarte, L., Montanaria, L., and Bratha, A.A. 2004. Regional flow-duration curves: reliability for ungauged basins, *J. Adv. Water Resour.* 27: 953-965.
7. Chapman, T.G., and Maxwell, A.I. 1996. Baseflow separation-comparison of numerical methods with tracer experiments, Hydrology and Water Resources Symposium, Institution of Engineers, Australia, Hobart, 5: 539-545.
8. Choi, W., Rasmussen, P.F., Moore, A.R., and Kim, S.J. 2009. Simulating stream flow response to climate scenarios in central Canada using a simple statistical downscaling method. *Climate Research*, 40: 1. 89-102.
9. Cook, P.G., Lamontagne, S., Berhane, D., Clark, J.F. 2006. Quantifying groundwater discharge to Cockburn River, southeastern Australia, using dissolved gas tracers ²²²Rn and SF₆. *Water Resour. Res.* 42: 10. 1-12.
10. Costa, V., Fernandez, W., and Naghettini, M. 2014. Regional models of flow-duration curves of perennial and intermittent streams and their use for calibrating the parameters of a rainfall-runoff model. *Hydrol. Sci. J.* 59: 2. 262-277.
11. Dario, P., Noto, L.V., and Viola, F. 2013. Eco hydrological modeling of flow duration curve in Mediterranean river basins, *J. Adv. Water Resour.* 52: 314-327.
12. Deitch, M.J., and Dolman, B. 2017. Restoring summer base flow under a decentralized water management regime: Constraints, opportunities and outcomes in Mediterranean-climate California. *Water.* 9: 1. 1-21.
13. Eckhardt, K. 2008. A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods. *J. Hydrol.* 352: 1-2. 168-173.
14. Eslami, A.R., and Shokohi, A. 2013. Analysis of river flow, using Hydrological and environmental index, *J. Water. Engin. Manage.* 5: 2. 125-133. (In Persian)
15. Eslamian, S.S., Ghasemi, M., and Soltani-Gerdefaramarzi, S. 2012. Computation and Regionalization of Low Flow Indices and Determination of Hydrological Drought Durations in Karkhe Watershed, *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water Soil Sci.* 16: 59. 1-14. (In Persian)
16. Ghanbarpor, M., Teymori, M., and Gholami, Sh.A. 2008. Comparison of Base Flow Estimation Methods Based on Hydrograph Separation (Case study: Karun Basin). *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water Soil Sci.* 1: 1-10. (In Persian)
17. Hisdal, H., Tallaksen, L.M., Clausen, M.B., Peters, E., and Gus-tard, A. 2004. Hydrological drought characteristics, in: Hydrological Drought - Processes and estimation methods for streamflow and groundwater, edited by: Tallaksen, L.M. and van Lanen, H.A.J., Developments in Water Science, Elsevier Science. 48: 139-198.

18. Hosseini-Doki, S.R., Seyedian, S.M., Rouhani, H., and Farasati, M. 2019. Investigation of the relationship between base flow index with temperature and rainfall using wavelet coherence (Case study: Gorganroud watershed), *J. Water Soil Cons.* 26: 1. 1-25. (In Persian)
19. Juckem, P.F., Hunt, R.J., Anderson, M.P., and Robertson, D.M. 2008. Effects of climate and land management change on streamflow in the driftless area of Wisconsin. *J. Hydrol.* 355: 1. 123-130.
20. Kazemi, R., and Ghiasi, N. G. 2016. Investigation of the Role of Physiographical and Hydrological Parameters on the Shape of Flow Duration Curve (Case Study: Khazar Region), *J. Water. Manage. Res.* 7: 14. 119-127. (In Persian)
21. Kazemi, R., and Sharifi, F. 2019. Investigation and analysis of factors affecting base flow in different climates of Iran, *J. Water. Engin. Manage.* 10: 4. 645-658. (In Persian)
22. Kazemi, R., Ghermez-Cheshmeh, B. 2016. Investigation of Different Base Flow Separation Methods Using Flow Duration Indices, case study: Khazar region, *J. Water Soil Cons.* 23: 2. 131-146. (In Persian)
23. Kazemi, R., Karam, A., Saffari, A., and Porhemmat. 2018. Modeling of flow duration curve deformation in Karkheh Basin. *J. Geographic. - Space.* 17: 60. 131-147. (In Persian)
24. Kazemi, R., and Porhemmat, J. 2020. Calibration of recursive digital filters to separate the base flow, case study: Karkheh Basin, *J. Water. Engin. Manage.* 12: 1. 30-43. (In Persian)
25. Kazemi, R., Porhemmat, J., and Sharifi, F. 2018. Investigation and determination of factors affecting the shape of the flow duration curve in different climates of Iran, *J. Water. Manage. Res.* 25: 1. 85-105. (In Persian)
26. Kazemi, R., Porhemmat, J., and Sharifi, F. 2019. Investigating and presenting regional relationships of flow duration curve indices in semi-arid regions, *J. Water. Engin. Manage.* 11: 3. 676-690. (In Persian)
27. Khosrobeygi-Bozcheloei, S., and Vafakhah, M. 2017. Regional Analysis of Flow Duration Curve in Namak Lake Basin, Iran. *J. Water. Manage. Res.* 7: 14. 236-228. (In Persian)
28. Kinkela, K., and Pearce, L. 2014. Assessment of baseflow seasonality and application to design flood events in southwest Western Australia. *Aust. J. Water Resour.* 18: 1. 27-38.
29. Lee, S., Kim, J., and Hur, J.W. 2013. Assessment of ecological flow rate by flow duration and environmental management class in the Geum River, Korea, *J. Environ. Earth Sci.* 68: 4. 1107-1118.
30. Lee, T.H., Lee, M.H., and Yi, J. 2016. Development of Regional Regression Model for Estimating Flow Duration Curves in Ungauged Basins. *J. Korea. Soc. Civil Engin.* 36: 3. 427-437.
31. Nathan, R.J., and McMahon, T.A. 1992. Estimating low flow characteristics in ungauged catchments. *J. Water Resour. Manage.* 6: 85-100.
32. Nathan, R.J., and McMahon, T.A. 1990. Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analysis. *Water Resour. Res.* 26: 7. 1465-1473.
33. Neff, B.P., Day, S.M., Piggott, A.R., and Fuller, L.M. 2005. Base flow in the Great Lakes basin. Scientific Investigations Report, No. 2005-2517. Reston, VA: US Geological Survey.
34. Niazi, A., Bentley, L.R., and Hayashi, M. 2017. Estimation of spatial distribution of groundwater recharge from stream baseflow and groundwater chloride. *J. Hydrol.* 546: 380-392.
35. Reichl, F., and Hack, J. 2017. Derivation of flow duration curves to estimate hydropower generation potential in data-scarce regions. *J. Water.* 9: 8. 572.1-15.
36. Shamaee-Zadeh, M., and Soltani, S. 2011. Regional analysis of low flow in North Karoon basin, *J. Sci. Technol. Agric. Resour. Water and Soil Science.* 18: 70. 231-242. (In Persian)
37. Sun, W., Song, X., Zhang, Y., Chiew, F., Post, D., Zheng, H., and Song, S. 2020. Coal mining impacts on baseflow detected using paired catchments. *Water Resources Research.* 56: 2. 257-270.

38. Swain, J.B., and Patra, K.C. 2017. Streamflow estimation in ungauged catchments using regional flow duration curve: comparative study. *J. Hydrol. Engin.* 22: 7. 04017010.
39. Tague, C., Grant, G., Farrell, M., Choate, J., and Jefferson, A. 2008. Deep groundwater mediates streamflow response to climate warming in the Oregon Cascades. *Climatic Change.* 86: 1. 89-210.
40. Teimouri, M., Ghanbarpour, M.R., Bashirgonbad, M., Zolfaghari, M., and Kazemikia, S. 2011. Comparison of Base Flow Index in Hydrograph Separation with Different Methods in Some Rivers of West Azarbaijan Province. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water and Soil Science.* 15: 219-228. (In Persian)
41. Verma, R.K., Murthy, S., Verma, S., and Mishra, S.K. 2017. Design flow duration curves for environmental flows estimation in Damodar River Basin, India. *Applied Water Science,* 7: 3. 1283-1293.
42. Wagener, T., Blöschl, G., Goodrich, D., Gupta, H., Sivapalan, M., Tachikawa, Y., Troch, P., and Weiler, M. 2013. A synthesis framework for runoff predictions in ungauged basins, in: chapt. 2, *Runoff Predictions in Ungauged Basins*, edited by: Blöschl, G., Sivapalan, M., Wagener, T., Viglione, A., and Savenije, H., Cambridge University Press, Cambridge, UK, Pp: 11-28.
43. Welderufael, W.A., and Woyessa, Y.E. 2010. Stream flow analysis and comparison of base flow separation methods, Case Study of the Modder River Basin in central South Africa. *J. Europ. Water.* 31: 3-12.
44. Westerberg, I.K., Guerrero, J.L., Younger, P.M., Beven, K.J., Seibert, J., Halldin, S., Freer, J.E., and Xu, C.Y. 2011. Calibration of hydrological models using flow-duration curves. *J. Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15: 2205-2227.
45. Zare Chahouki, A., Salajegheh, A., Mahdavi, M., Khalighi, Sh., and Asadi, S. 2013. Regional flow duration curve in arid regions for ungauged basins (Case study: Central Iran). 66: 2. 251-265. (In Persian)
46. Zhang, L., Brutsaert, W., Crosbie, R., and Potter, N. 2014. Long-term annual groundwater storage trends in Australian catchments. *Adv. Water Resour.* 74: 156-165.
47. Zhu, Y., Chen, L., Wang, K., Wang, W., Wang, C., and Shen, Z. 2019. Evaluating the spatial scaling effect of baseflow and baseflow nonpoint source pollution in a nested watershed. *J. Hydrol.* 579: 12.42-21.



Investigation of relationship between base flow index and flow duration curve indices at national scale in Iran

*R. Kazemi¹, J. Porhemmat² and F. Sharifi²

¹Assistant Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran,

²Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

Received: 04.22.2020; Accepted: 08.26.2020

Abstract

Background and Objectives: Recognizing and understanding the relationship between the different components of the catchments can help improvement and development of predictions in ungauged catchments. The true value of the base flow is unknown and since the flow duration curve (FDC) is generated using observational data, therefore recognizing and analyzing the relationships between FDC and the base flow index (BFI) will lead to the acquisition of information for optimal use of FDC indices, as the estimating parameter of BFI. The purpose of this study is to investigate and identify the relationship between BFI and FDC indices in order to develop BFI estimating parameters in different climates of Iran.

Materials and Methods: First, by preparing the climate map of the country and its intersection with the border of the 4th order of watersheds, the catchments located in each climatic zone were separated. Then, at least 30 stations with appropriate data and the common period of 1976-2011 were selected in each climatic zone. The FDC was prepared using long-term daily stream flow data, and indices of, Q_2 , Q_5 , Q_{10} , Q_{15} , Q_{20} , Q_{50} , Q_{75} and Q_{90} , extracted. The index of the last inflection point of FDC at the point of zero slope was extracted by coding in MATLAB. Then BFI was calculated using one parameter recursive digital filtering algorithm and long-term daily stream flow data. Finally, regression relationships between FDC indices and average annual BFI in different climatic zones were computed and analyzed.

Results: The results showed that the highest correlation between FDC and BFI, in the catchments of very humid region with the coefficient of determination of 0.84 were related to the first part of FDC (considered high flow rates), but in both humid and semi-humid regions, the highest correlation were related to the last part of FDC (considered low flow rate) with 0.63 and 0.69. The highest coefficient of determination (0.85) between FDC index at the point of zero slope (Q_{Final}) and BFI were related to the catchments of very humid region. Correlation between last part of FDC indices with BFI in catchments of humid, semi-humid, Mediterranean and semi-arid climate zones were strong relation and could be recommended for regional analysis, forecasting and estimating purposes in ungauged catchment. However, in the arid zone catchments, this relationship has an exception and the indices of high flow rates part of FDC play this role. In very humid region catchments, the coefficient of determination of all FDC indices with BFI was reliable and usable.

* Corresponding Author; Email: ra_hkazemi@yahoo.com

Conclusion: Overall, it is noteworthy that the correlation between the last part of FDC indices (considered low flow rate) with the average annual BFI in the humid, semi-humid, Mediterranean and semi-arid climate zones were strong, reliable and could be recommended for regional analysis, forecasting and estimation in ungagged catchments. However, in the arid zone catchments, this relationship has an exception and the indices of high flow rates part of FDC play this role and have the highest correlation. In catchments located in very humid region, the coefficient of determination of all indices with BFI were reliable and usable. The overall results in the catchments of all climatic zones show FDC indices as a reliable and predictive parameter of BFI.

Keywords: Base flow index, Estimation, Flow duration curve Index, Hydrograph separation

