

تفکیک جریان پایه از رواناب سطحی با الگوریتم IHACRES در تعدادی از زیر حوضه‌های کرخه

۱- *رحیم کاظمی^۱

۱-مریی پژوهشکده تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

(ra_hkazemi@yahoo.com)

چکیده

شناخت جریان پایه به عنوان سهم جریان‌های زیرسطحی در جریان رودخانه می‌تواند در تحلیل جریان رودخانه، مدل‌سازی بارش-رواناب و کالیبره کردن مدل‌ها، مدیریت آب در شرایط کم‌آبی و تعیین میزان ذخیره آبخیز مفید باشد. در این تحقیق تعداد ۶ ایستگاه آسنجی با آمار مناسب و دوره مشترک آماری سال‌های آبی ۱۳۶۱-۱۳۹۱ انتخاب شد. روند تغییرات جریان در طی ماه‌های سال برای کلیه ایستگاه‌های آسنجی منطقه پژوهش ترسیم و خشک‌ترین ماه سال تعیین شد. سپس کالیبراسیون الگوریتم رقومی برگشتی سه پارامتره IHACRES با استفاده از داده‌های دراز مدت خشک‌ترین ماه سال انجام و پس از به‌دست آوردن پارامترهای بهینه مدل، تفکیک جریان پایه برای کل دوره انجام شد. نتایج نشان داد که قسمت اعظم جریان رودخانه در منطقه مورد پژوهش، مربوط به جریان پایه است و حداقل، حداکثر و میانگین سالانه شاخص جریان پایه در کل دوره به ترتیب برابر است با ۰/۴۸، ۰/۶۲ و ۰/۵۶ می‌باشد. که نشان‌دهنده مشارکت بیش از ۵۰ درصدی منابع آب‌های زیرسطحی در آب‌های سطحی حوضه‌های مورد پژوهش می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که مقادیر مستخرج از روش سه پارامتره نسبت به روش دو پارامتره دارای کم‌برآوردی است.

واژه‌های کلیدی: فیلتر رقومی، کالیبراسیون، کرخه، جریان پایه، رواناب.

مقدمه

مدیریت موفق منابع آب در حوضه‌ها نیازمند دسترسی به داده‌های قابل اعتماد از جریان‌های سطحی، زیرزمینی و جریان پایه است. برآورد جریان پایه در دسترس و شاخص مربوطه، به‌عنوان سهم مشارکت آب‌های زیرسطحی در جریان‌های سطحی، همواره یکی از موضوعات مهم در مدیریت منابع آب بوده و برای توسعه استراتژی مدیریت کیفی و کمی منابع آب، مورد نیاز است. برآورد میزان مشارکت آب‌های زیرسطحی در آب‌های سطحی در یک حوزه آبخیز برای فعالیت‌های گسترده‌ای از جمله برنامه‌ریزی زمان‌های کم‌آبی و خشک‌سالی، بررسی وضعیت اکوسیستم، برنامه‌ریزی نیازمندی‌های آب شرب، مباحث آلودگی آب رودخانه و چگونگی پخش

* ra_hkazemi@yahoo.com مسئول مکاتبه:

آلودگی از این طریق مورد نیاز است (استاکی، ۲۰۰۶). به طور کلی آب رودخانه از دو منبع تامین می‌شود: رواناب سطحی و بارندگی یا جریانهای زیرسطحی کم عمق سریع، تخلیه آب های زیرزمینی به داخل رودخانه. درصد مشارکت این منابع در حوضه‌های مختلف بسته به سطح زهکشی، پارامترهای آب و هوایی، وضعیت زمین‌شناسی و خاکشناسی و فعالیت‌های انسانی متفاوت می‌باشد. به طور کلی تغییرات فصلی در رودخانه‌هایی که منبع اصلی تأمین آب آنها بارندگی است، بیشتر و در رودخانه‌هایی که آب آنها از آب زیرزمینی تأمین می‌گردد، کمتر است (اوگرین و همکاران، ۲۰۰۸). جریان پایه حسب تعریف اسماختین (۲۰۰۱) 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. شاخص جریان پایه^۱ یک نسبت بدون بعد است که اولین بار توسط لوویج توسعه یافته و توسط پژوهشکده هیدرولوژی انگلستان به کار رفته است. این شاخص از تقسیم جریان پایه به کل رواناب برای هر سال یا کل دوره آماری به دست می‌آید. این شاخص می‌تواند بیانگر اطلاعاتی در خصوص نسبت رواناب مشتق شده از منابع ذخیره‌ای حوضه آبخیز باشد. همچنین به عنوان یکی از ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز در مطالعات و پژوهش‌های منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد، قنبرپور و همکاران (۱۳۸۷). روش‌های متعددی برای جداسازی جریان پایه از جریان رودخانه توسعه یافته است که عمدتاً در گروه‌های ذیل قابل طبقه‌بندی است (بروید و هاستل، ۲۰۰۵).

روش‌های گرافیکی: این روش‌ها مبتنی بر تمرکز روی تعیین نقاطی هستند که جریان پایه شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف را قطع می‌کند.

روش‌های فیلترینگ: این روش‌ها مبتنی بر فرآوری و آنالیز سیگنال داده‌های هیدروگراف جریان می‌باشند. و برای تحلیل، پردازش و فیلتر کردن رواناب سطحی (سیگنال‌های با فراوانی بالا) از جریان پایه (سیگنال‌های با فراوانی پایین) معرفی شده اند.

روش ردیاب‌های شیمیایی: این روش‌ها مبتنی بر ردیابی و آنالیز فراوانی مواد تزریق شده قبل، بعد و در طی واقعه سیل می‌باشند. جدا سازی جریان پایه به روش گرافیکی اغلب زمان بر و غیر دقیق است و نتایج بدست آمده توسط متخصصین مختلف غیر مشابه می‌باشد. روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها دقیق و قابل اعتماد است ولی زمان بر و مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی می‌باشد. ولی روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های رقومی و فیلترینگ، علاوه بر سهولت و قابلیت تشخیص مناسب در تعیین دبی پایه، حساسیت بالایی نسبت به پارامترها دارد و به دلیل قابلیت اتوماتیک کردن، مشکلات ناشی از عدم همخوانی نتایج را تا حدودی بر طرف کرده است.

توسعه روش‌های آنالیز جریان پایه از هیدروگراف جریان، به نقل از هال (۱۹۹۹) یک تاریخچه طولانی مدت دارد که به پژوهش‌های تئوری و تجربی هورتن (۱۹۳۳) بر می‌گردد. در این خصوص، مرور منابع متعدد و مفیدی برای نشان دادن روند پیشرفت توسط (بروید و هاستل، ۲۰۰۵، اسماختین ۲۰۰۱، تالاکسن، ۱۹۹۵) ارائه شده است. به دلیل پیچیدگی و نامشخص بودن میزان واقعی مشارکت دبی پایه در رواناب و همچنین هزینه بر بودن روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها، محققین بسیاری نسبت به ارزیابی و مقایسه روش‌های مختلف تفکیک هیدروگراف جریان اقدام نموده و الگوریتم‌های رقومی مختلفی را پیشنهاد داده‌اند. از جمله کاظمی و قرمز چشمه (۱۳۹۵) روش‌های مختلف استخراج جریان پایه را با استفاده از شاخص منحنی تداوم جریان در ناحیه خزری مورد بررسی قرار داده و روش فیلتر رقومی تک پارامتره را مناسب تشخیص داده‌اند. این روش به وسیله محققین دیگری از جمله، قنبرپور و همکاران (۱۳۸۷)، و تیموری و همکاران (۱۳۹۰) نیز توصیه شده است. با توجه به اینکه نتایج روش‌های مختلف تفکیک جریان پایه بدون کالیبراسیون با داده‌های واقعی قابل اعتماد و استفاده نیست. لذا هدف از این پژوهش تفکیک جریان پایه به روش فیلتر رقومی برگشتی سه پارامتره IHACRES^۲ و کالیبراسیون آن با داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد.

^۱ Base Flow Index

^۲ (IHACRES) Three parameter Recursive Digital Filter

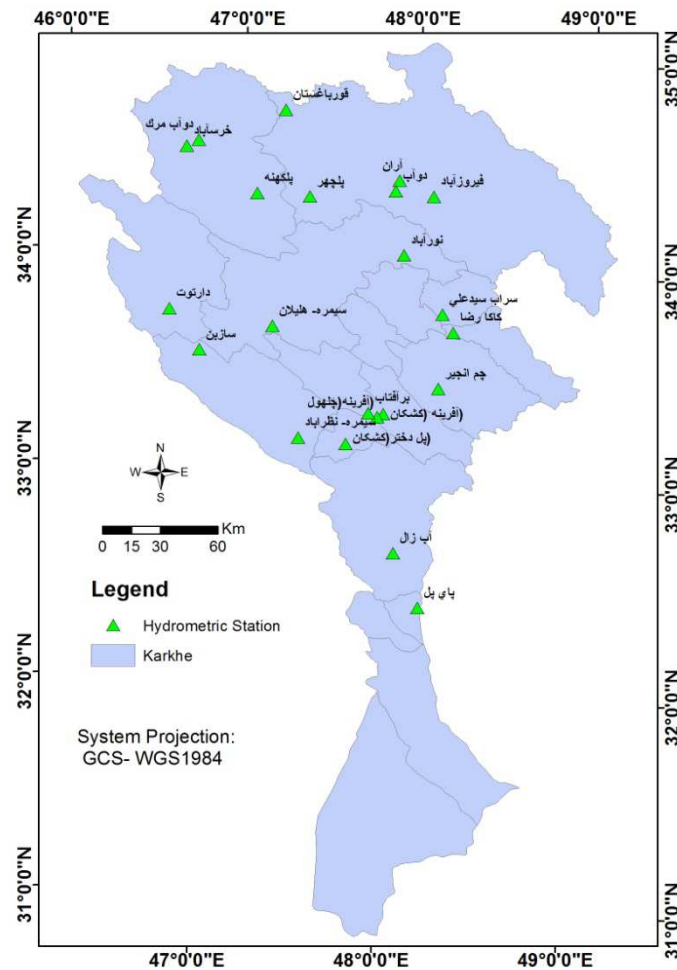
مواد و روش‌ها

ویژگی‌ها و موقعیت منطقه: محدوده این پژوهش شامل تعداد ۶ زیرحوضه واقع در حوضه کرخه است که بین عرض جغرافیایی ۳۰°، ۳۴° تا ۰۴°، ۳۴° شمالی و طول جغرافیایی ۴۶°، ۴۹° تا ۱۰°، ۴۹° شرقی واقع شده است (شکل ۱). حوضه رودخانه کرخه یکی از رودخانه‌های رتبه دوم کشور است و مساحت آن برابر با ۵۱۸۰۶ کیلومتر مربع است که ۳/۲ درصد از مساحت ایران را پوشش داده است (پر همت و همکاران، ۱۳۹۰). زیر حوضه‌های اصلی کرخه شامل سیمره، کشکان و زیر حوضه میانی منتهی به سد کرخه می‌باشد. منطقه مورد پژوهش متأثر از آب و هوای خشک، نیمه خشک، مرطوب و نیمه مرطوب است. در مجموع ۴۵/۱ درصد از منطقه دارای اقلیم خشک، ۲۸ درصد نیمه خشک و ۲۶/۹ درصد مرطوب و نیمه مرطوب می‌باشد. حداکثر بارش سالانه در دوره آماری مورد پژوهش به میزان ۵۵۶ میلی‌متر متعلق به حوضه کشکان و حداقل آن مربوط به حوضه کرخه در پای پل با ۴۵۳ میلی‌متر است. حداکثر پوشش سطحی سازندهای کربناته کارستی، متعلق به حوضه دوآب مرک با پوشش سطحی ۲۶ درصد و حداقل آن مربوط به حوضه فیروزآباد با پوشش دو درصد می‌باشد. سازندهای سخت غیرکربناته عمدتاً شامل سنگ‌های دگرگونی زون سنندج- سیرجان، ولکانیک‌ها و توف‌های همراه، شیبست‌های همدان، سازندهای متعلق به گروه بنگستان، گورپی و امیران، بختیاری، پابده، شهبازان، تله زنگ، کشکان و گروه فارس است و به‌طور متوسط ۴۲ درصد پوشش سطحی حوضه‌های مورد پژوهش را تشکیل داده‌اند. در این خصوص حداکثر پوشش سطحی آن در حوضه فیروزآباد با ۵۷ درصد پوشش سطحی و حداقل آن مربوط به حوضه دوآب مرک با پوشش سطحی ۲۵ درصد است. سازندهای دوران چهارم عمدتاً شامل نهشته‌های آبرفتی، پادگانه‌های آبرفتی، مخروط‌افکنه‌ها و رسوبات رودخانه‌ای است. ویژگی‌های پایه حوضه‌های مورد پژوهش در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصه‌های حوضه‌های مورد پژوهش

مختصات جغرافیایی	طول جغرافیایی	طول اصلی رودخانه (کیلومتر)	شیب متوسط حوضه (درصد)	ارتفاع متوسط (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)	کد ایستگاه	هیدرومتری ایستگاه
۴۸°-۰۷'	۳۴°-۲۱'	۴۸/۹	۱۷/۳	۱۹۵۲	۸۶۹	۲۱-۱۰۹	فیروزآباد
۴۷°-۵۵'	۳۴°-۲۵'	۶۱/۴	۱۵/۵	۱۷۸۰	۲۲۹۸	۲۱-۱۱۳	آران
۴۷°-۵۴'	۳۴°-۲۲'	۱۲۱/۸	۱۵/۱	۱۸۹۵	۸۰۲۶	۲۱-۱۱۵	دوآب
۴۷°-۲۵'	۳۴°-۱۹'	۱۶۱/۷	۱۷/۳	۱۸۹۱	۱۰۲۰۸	۲۱-۱۲۷	پل چهر
۴۶°-۴۳'	۳۴°-۳۱'	۷۷/۸	۸/۷	۱۵۲۷	۱۴۳۴	۲۱-۱۳۱	خرس‌آباد
۴۶°-۴۶'	۳۴°-۳۳'	۴۶	۱۳/۷	۱۵۴۴	۱۲۹۴	۲۱-۱۳۳	دوآب مرک

روش پژوهش: برای انجام این پژوهش، ابتدا با بررسی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های آب‌سنجی، تعداد ۶ ایستگاه با آمار مناسب و دوره مشترک آماری سال‌های آبی ۱۳۶۱-۱۳۹۱ انتخاب شد. با توجه به اهمیت صحت و دقت آمار ایستگاه‌های دارای آمار کامل و بدون نیاز به بازسازی انتخاب شدند. همچنین با استفاده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تعیین موقعیت ایستگاه‌ها، محدوده مورد پژوهش مشخص و پارامترهای اولیه حوضه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، استخراج شدند. روند تغییرات جریان در طی ماه‌های سال برای کلیه ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقه پژوهش ترسیم و خشک‌ترین ماه سال تعیین شد. سپس کالیبراسیون مدل با استفاده از داده‌های دراز مدت خشک‌ترین ماه سال انجام و پس از به‌دست آوردن پارامترهای بهینه مدل، تفکیک جریان پایه برای کل دوره انجام شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.

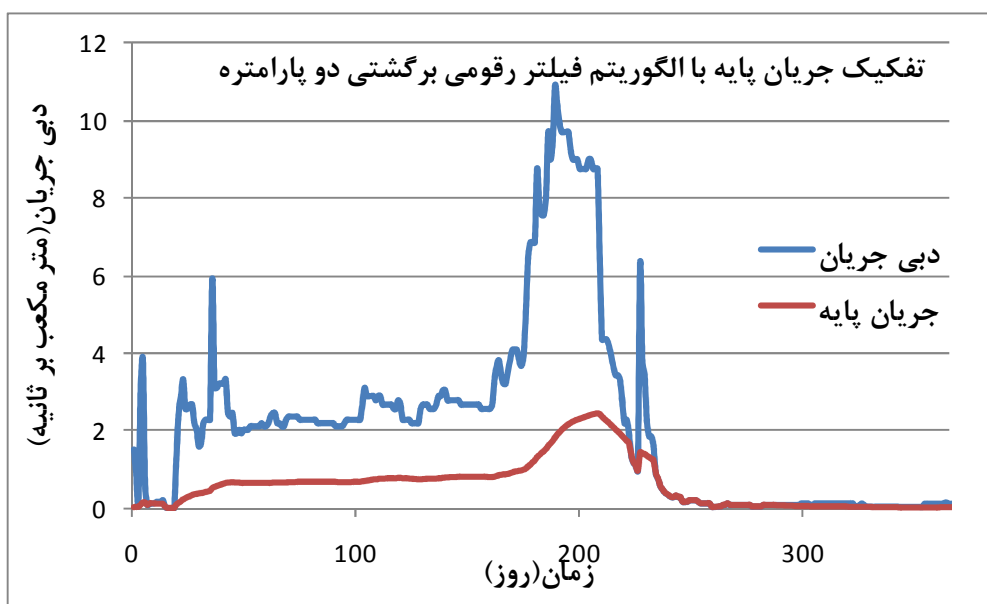
فیلتر رقومی برگشتی سه پارامتره IHACRES

الگوریتم IHACRES یک فیلتر رقومی برگشتی سه پارامتره است که در واقع در نتیجه توسعه فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره بوتون، رابطه (۱) توسط جک من و هورنبرگر (۱۹۹۳) با الگوریتم رابطه (۲) پیشنهاد شده است.

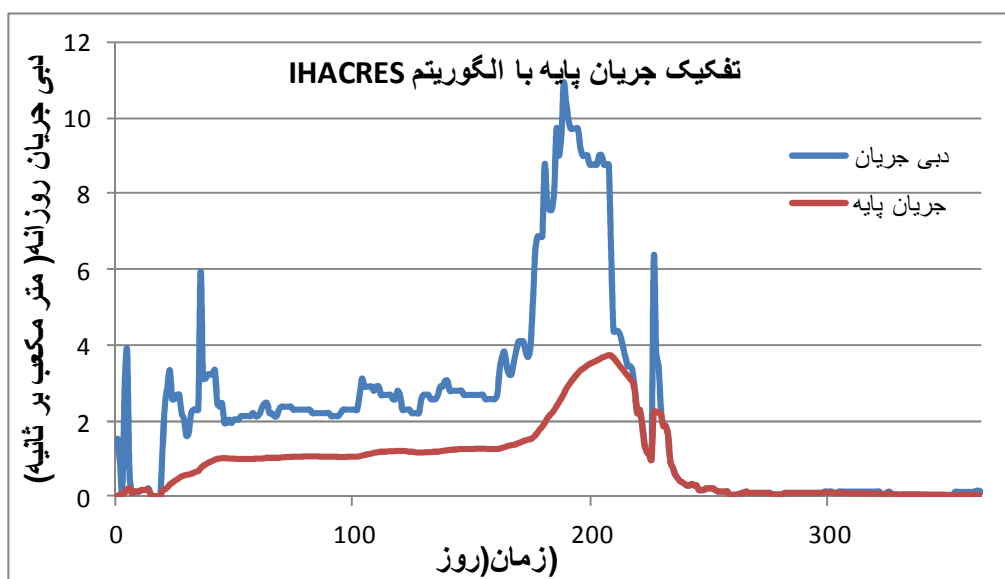
$$q_{b_i} = \frac{K}{1+C} q_{b_{(i-2)}} + \frac{C}{1+C} q_{(i)} \quad (1)$$

$$q_{b_i} = \frac{K}{1+C} q_{b_{(i-1)}} + \frac{C}{1+C} (q_{(i)} + \alpha_q q_{(i-1)}) \quad (2)$$

که در آن، K پارامتر فیلتر، قابل تعیین توسط ثابت افت منحنی هیدروگراف، $q_{b(i)}$ جریان پایه فیلتر شده، برای زمان t ام، q_i جریان اصلی رودخانه برای زمان t ، $q_{b(i-1)}$ رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی $t-1$ می‌باشد. α پارامتر فیلتر مرتبط با حوزه و C پارامتری است که اجازه می‌دهد شکل تفکیک تغییر کند. نمایش گرافیکی تفکیک جریان پایه با الگوریتم فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره بوتون و فیلتر رقومی برگشتی سه پارامتره IHACRES در شکل (۲ و ۳) ارائه شده است.



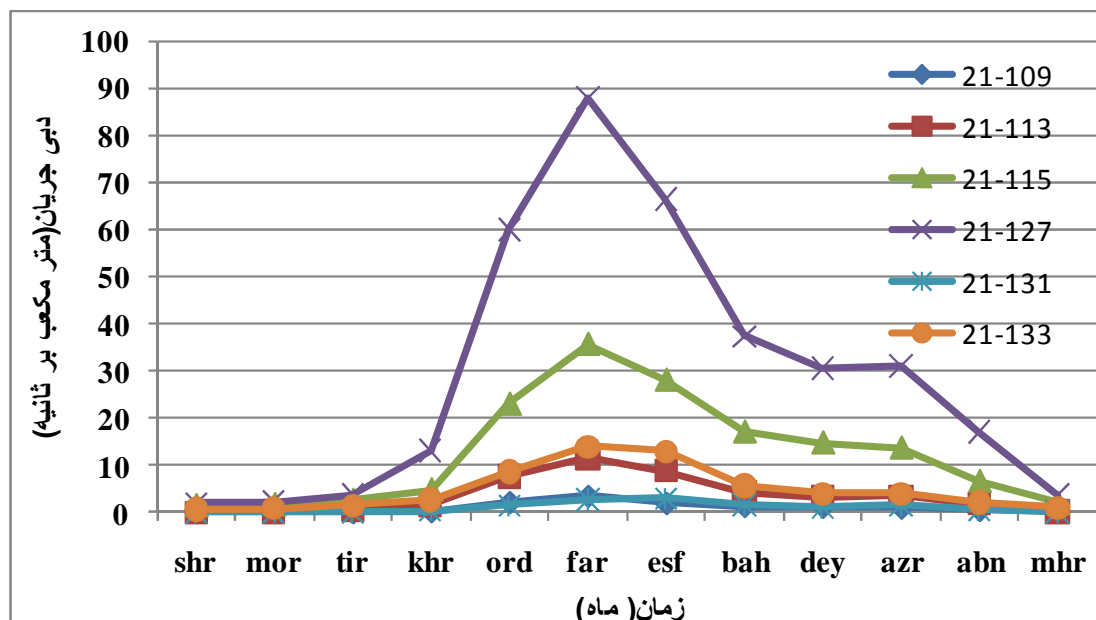
شکل ۲- نمایش گرافیکی تفکیک جریان پایه با الگوریتم فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره بوتون



شکل ۳- نمایش گرافیکی تفکیک جریان پایه با الگوریتم فیلتر رقومی برگشتی سه پارامتره IHACRES

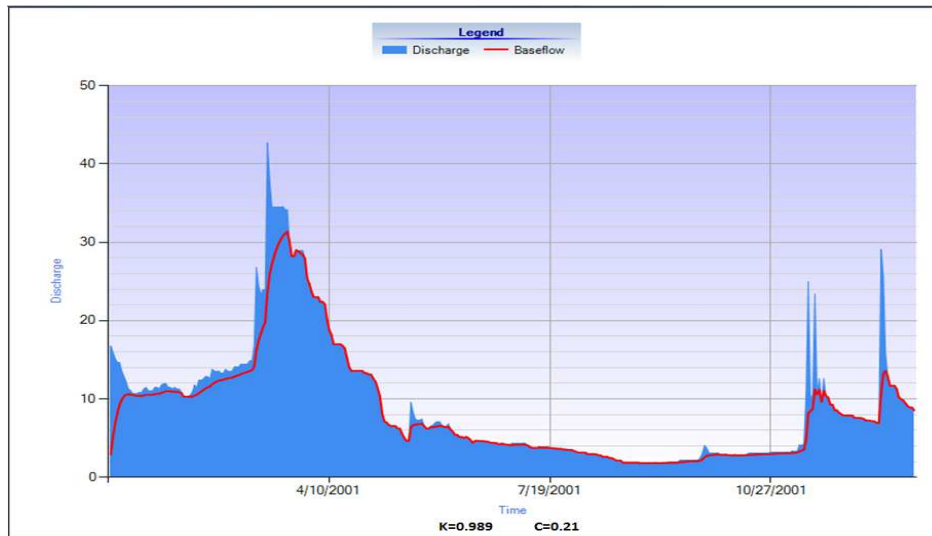
نتایج و بحث

با توجه به این که مقدار واقعی جریان پایه و شاخص مربوطه ناشناخته است، بدون واسنجی مدل‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده، نتایج تفکیک هیدروگراف از قابلیت اعتماد پائینی برخوردار است. بنابراین در این پژوهش برای کالیبراسیون الگوریتم فیلتر رقومی سه پارامتره و به دست آوردن مقادیر صحیح پارامترهای آن، با این فرض که داده‌های جریان مربوط به ماه‌های خشک سال (تیر، مرداد و شهریور) به دلیل عدم وجود بارندگی و عدم تاثیر ذوب برف در جریان رودخانه، تقریباً برابر با جریان پایه است. ابتدا با رسم روند تغییرات دبی جریان دراز مدت، حداقل جریان ماه‌های خشک سال مشخص شد. شکل (۴) روند تغییرات دراز مدت جریان در ماه‌های سال برای ایستگاه‌های آبسنجی در منطقه تحقیق را نشان می‌دهد. همانطور که از نمودار قابل دریافت است، حداقل جریان در کلیه ایستگاه‌های منطقه پژوهش، مربوط به ماه‌های تیر، مرداد و شهریور می‌باشد.



شکل ۴- روند تغییرات جریان در طی ماه‌های سال برای کلیه ایستگاه‌های آبسنجی منطقه پژوهش

سپس مدل در محدوده مورد نیاز با استفاده از داده‌های واقعی و اندازه‌گیری شده مربوط به ماه‌های تیر و مرداد و شهریور هر ایستگاه اجرا شد. سپس با روش سعی و خطا و تغییر دادن پارامترها تا زمانی که هیدروگراف جریان پایه با هیدروگراف جریان کل از نظر گرافیکی همسان شوند، اجرای مدل متوقف و پارامتر مربوطه به عنوان پارامتر بهینه برای سری زمانی کل داده‌ها اجرا و جریان پایه برای کل دوره مورد پژوهش، تفکیک شد. شکل (۵) نمونه‌ای از تفکیک مؤلفه‌های جریان دوره خشک به روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره و تعیین پارامترهای بهینه مدل را برای ایستگاه شماره ۱۲۷-۲۱ نشان می‌دهد. محدوده پارامترهای بهینه به دست آمده برای الگوریتم **IHACRES** در جدول (۲) ارائه شده است.



شکل ۵- نمایش گرافیکی تفکیک جریان پایه دوره خشک با استفاده از داده‌های روزانه و به روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره

جدول ۲- محدوده پارامترهای به دست آمده برای کالیبراسیون مدل‌ها

پارامتر	k	c	α
روش تفکیک			
فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره	۰/۹۶۱-۰/۹۸۹	۰/۰۱۷-۰/۰۲۲	-----
فیلتر رقومی برگشتی سه پارامتره IHACRES	۰/۹۶۲-۰/۹۸۲	۰/۰۱۳-۰/۰۱۵	۰/۹۲۴-۰/۹۴۲

بعد از به دست آوردن پارامترهای مدل‌ها، تفکیک جریان پایه برای کل دوره مورد پژوهش انجام و مقادیر میانگین جریان پایه و شاخص آن، محاسبه شد. جدول (۳) میانگین سالانه دراز مدت شاخص جریان پایه مستخرج از دو روش فیلتر رقومی برگشتی دو و سه پارامتره را نشان می‌دهد.

جدول ۳- میانگین سالانه دراز مدت شاخص جریان پایه مستخرج از دو روش فیلتر رقومی برگشتی دو و سه پارامتره

فیلتر رقومی برگشتی سه پارامتره IHACRES	فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره	ایستگاه هیدرومتری	روش / کد ایستگاه
۰/۶۲	۰/۴۱	فیروزآباد	۲۱-۱۰۹
۰/۵۷	۰/۸۰	آران	۲۱-۱۱۳
۰/۴۸	۰/۸۲	دوآب	۲۱-۱۱۵
۰/۵۷	۰/۸۲	پل چهر	۲۱-۱۲۷
۰/۶۰	۰/۵۵	خرس‌آباد	۲۱-۱۳۱
۰/۵۵	۰/۸۳	دوآب مرک	۲۱-۱۳۳

نتایج تفکیک انجام شده، نشان داد که قسمت اعظم جریان رودخانه در منطقه مورد پژوهش، مربوط به جریان پایه است که نماینده‌ای از مشارکت آب‌های زیرسطحی در آب‌های سطحی است. حداقل، حداکثر و میانگین سالانه شاخص جریان پایه در کل دوره مورد نظر تفکیک شده به روش فیلتر رقومی سه پارمتره به ترتیب برابر است با ۰/۴۸، ۰/۶۲ و ۰/۵۶ به دست آمد. که نشان‌دهنده مشارکت بیش از ۵۰ درصدی منابع آب‌های زیرسطحی در آب‌های سطحی حوضه می‌باشد. نسبت بالای سهم جریان‌های زیر سطحی در منطقه مورد پژوهش، اهمیت مطالعه و پژوهش در خصوص جریان پایه را نمایان می‌کند.

حداقل، حداکثر و میانگین سالانه شاخص جریان پایه در کل دوره مورد نظر تفکیک شده به روش فیلتر رقومی دو پارمتره در حوضه های مختلف به ترتیب برابر با ۰/۴۱، ۰/۸۳ و ۰/۷۰ می باشد. بیشترین سهم مشارکت جریان های زیر سطحی در جریان رودخانه به روش فیلتر رقومی برگشتی سه پارمتره ب ه حوضه فیروزآباد با میزان شاخص ۰/۶۲ و کمترین آن به حوضه دوآب با میزان ۰/۴۸ می باشد. همانطور که از جدول (۳) و همچنین نمایش گرافیکی تفکیک جریان در اشکال (۲ و ۳) قابل دریافت است، مقادیر مستخرج از روش توسعه یافته فیلتر رقومی سه پارمتره IHACRES نسبت به روش دو پارمتره بوتون دارای کم برآوردی است.

نتیجه گیری

جمع‌بندی کلی نتایج نشان‌دهنده مشارکت بیش از ۵۰ درصدی منابع آب‌های زیرسطحی در آب‌های سطحی حوضه‌های مورد پژوهش می‌باشد. همچنین مقادیر شاخص جریان پایه مستخرج از روش توسعه یافته الگوریتم رقومی سه پارمتره IHACRES نسبت به روش دو پارمتره بوتون دارای کم برآوردی است. همچنین کالیبراسیون مدل‌های تفکیک با استفاده از داده‌های ماه‌های خشک سال در غیاب داده‌های حاصل از ردیاب‌ها به‌عنوان روش مناسب کالیبراسیون مدل‌های تفکیک جریان پیشنهاد می‌شود.

منابع

۱. کاظمی، ر.، قرمز چشمه، ب. ۱۳۹۵. بررسی روش های مختلف استخراج جریان پایه با استفاده از شاخص منحنی تداوم جریان (مطالعه موردی: ناحیه خزری)، پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد بیست و سوم، شماره دوم، ۱۳۱-۱۴۶
۲. قنبرپور، م.، تیموری، م.، غلامی، ش. ۱۳۸۷. مقایسه روش‌های برآورد دبی پایه بر اساس تفکیک هیدروگراف جریان (مطالعه موردی حوزه آبخیز کارون). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(۴۴) ص ۱-۱۳.
۳. تیموری، م.، قنبرپور، م.، بشیر گنبد، م.، ذوالفقاری، م.، کاظمی، کیاس. ۱۳۹۰. مقایسه شاخص جریان پایه در روش های مختلف تجزیه هیدروگراف جریان در تعدادی از رودخان ههای استان آذربایجان غربی (. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۶(۵۷) ص ۲۱۹-۲۲۸.
۴. پرهمت، ج.، کاظمی، ر.، قرمز چشمه، ب. ۱۳۹۰. آنالیز منطقه ای جریان و ضریب رواناب در حوضه کرخه. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. شماره ثبت ۹۰/۶۲۷.
5. Brodie, R.S. and S. Hostetle. 2005. A review of techniques for analyzing base-flow from stream hydrographs. Proceedings of the NZHS-IAH-NZSSS Conference, 28 November to 2 December, Auckland, New Zealand.
6. Hall, M. J. & Minns, A. W. (1999) The classification of hydrologically homogenous regions. Hydrol. Sci. J. 44(8), 693–704.
7. JAKEMAN, A., J., HORNBERGER, G., M., 1993: How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model? Water Resources Research 29:2637-2649.
8. Ogrinc, N., Kanduc, T., Stichler, W. and P. Vreca. 2008. Spatial and seasonal variations in (delta)18O and (delta)D values in the river Sava in Slovenia. Journal of Hydrology, 359: 303-312.
9. Smakhtin, V.Y. 2001. Low flow hydrology: a review. Journal of Hydrology. 240: 147-186.

10. Tallaksen, L.M. 1995. A review of base flow recession analysis. J. Hydrol. 165: 1-4. 349-370.
11. Stuckey, M. 2006. Low flow, base flow and mean flow regression equations for Pennsylvania streams. Pennsylvania: Us Geological Survey Scientific Investigations Report 2006-5130.