

واسنجی فیلترهای رقومی برگشتی به منظور تفکیک جریان پایه، مطالعه

موردی: حوضه کرخه

رحیم کاظمی^{۱*} و جهانگیر پرهت^۲

^۱ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ^۲ استاد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۲

چکیده

تعیین سهم جریان‌های زیرسطحی در جریان رودخانه، می‌تواند در تحلیل جریان رودخانه، مدل‌سازی بارش-رواناب و واسنجی مدل‌ها، مدیریت آب در شرایط کم‌آبی و تعیین میزان ذخیره آبخیز مفید باشد. در این پژوهش، تعداد ۲۲ ایستگاه آب‌سنجی با آمار مناسب و دوره مشترک آماری سال‌های آبی ۱۳۹۱-۱۳۶۱ انتخاب شدند. روند تغییرات جریان در طی ماه‌های سال برای کلیه ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقه پژوهش ترسیم و خشک‌ترین ماه سال تعیین شد. سپس، واسنجی شش الگوریتم رقومی برگشتی با استفاده از داده‌های دراز مدت خشک‌ترین ماه سال انجام و پس از به دست آوردن پارامترهای بهینه مدل‌ها، تفکیک جریان پایه برای کل دوره انجام و ارزیابی کارایی مدل‌ها با استفاده از شاخص ریشه میانگین مربعات خطا انجام شد. نتایج نشان داد که قسمت اعظم جریان رودخانه در منطقه مورد پژوهش، مربوط به جریان پایه است و کمینه، بیشینه و میانگین سالانه شاخص جریان پایه در کل دوره به ترتیب برابر 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 است. نتایج ارزیابی کارایی مدل‌ها با استفاده از شاخص ریشه میانگین مربعات خطا نشان داد که متوسط خطا در منطقه پژوهش، برای هر شش روش در محدوده ۰/۲۵ تا ۰/۴۴ است که کمترین آن متعلق است به روش لینه و هالک و بیشترین خطا، مربوط به فیلتر رقومی تک‌پارامتره می‌باشد. جمع‌بندی کلی نتایج فرایند واسنجی و بررسی روابط همبستگی بین داده‌های محاسباتی و اندازه‌گیری شده، نشان داد که بین داده‌های محاسباتی و اندازه‌گیری شده، همبستگی با ضریب تبیین بیش از ۰/۸۰ وجود دارد و روش واسنجی با داده‌های فصل خشک در غیاب روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها، به‌عنوان مناسب‌ترین روش واسنجی فیلترهای رقومی تفکیک جریان در منطقه مورد پژوهش پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پارامتر فیلتر، جریان زیرسطحی، فصل خشک، منابع آب، واسنجی

مقدمه

اعتماد اجزاء آب‌نمود، می‌تواند ضمن تهیه مولفه‌های اصلی برای مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی در بهینه سازی مدیریت منابع آب حوضه بسیار موثر باشد. در این میان، یکی از مهمترین بخش‌های شناخت و تفکیک مولفه‌های جریان، مربوط به استفاده از

تفکیک جریان عبارت است از فرایند جداسازی اجزاء آب‌نمود با استفاده از روش‌های مختلف گرافیکی، الگوریتم‌های رقومی و یا روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها (Brodie و Hostette، ۲۰۰۵). تفکیک دقیق و قابل

مشخصه‌های هیدرولوژیکی حوضه محسوب می‌شود و بیانگر اطلاعاتی در خصوص مشارکت آب‌های زیرسطحی در آب‌های سطحی است. اطلاع از میزان دقیق جریان پایه در دسترس و شاخص مربوطه، برای مدیریت کیفی و کمی منابع آب، مورد نیاز است. برآورد میزان جریان پایه در یک حوزه آبخیز در فعالیتهای گسترده‌ای از جمله برای برنامه‌ریزی زمان‌های کم‌آبی و خشکسالی، بررسی وضعیت اکوسیستم، برنامه‌ریزی نیازمندی‌های آب‌شرب، مباحث آلودگی آب رودخانه و چگونگی پخش آلودگی، کاربرد دارد (Cyr و همکاران، ۲۰۱۱؛ Brauman و همکاران، ۲۰۰۷). تاریخچه تحلیل آبنمود جریان منظور جداسازی اجزاء جریان و تعیین سهم جریان های زیرسطحی در جریان رودخانه‌ها، به‌عنوان جریان پایه به کارهای تجربی (Boussinesq، ۱۹۰۴) بر می‌گردد. به‌دنبال ایشان، الگوریتم‌های دیگری به‌وسیله Maillet (۱۹۰۵)، Horton (۱۹۳۳)، Hall (۱۹۶۸) و Nathan (۱۹۷۱) و McMahon (۱۹۹۰)، Tallaksen (۱۹۹۶) و Smakhtin (۲۰۰۱a و ۲۰۰۱b) و Gonzales (۲۰۰۹) ارائه شده است. با توجه به نامشخص بودن مقدار واقعی جریان پایه، مطالعات متعددی در خصوص واسنجی مدل‌ها و ارزیابی روش‌های مختلف استخراج جریان پایه انجام پذیرفته است. برخی از مطالعات انجام شده در خصوص واسنجی مدل‌های مختلف تفکیک جریان با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری و مشاهداتی و مبتنی بر ردیاب‌ها انجام شده است. مانند مطالعات انجام شده به‌وسیله Nejadhashemi و همکاران (۲۰۰۷ و ۲۰۰۹) که از داده‌های مبتنی بر ردیابی ایزوتوپ‌ها برای واسنجی الگوریتم‌های تفکیک جریان استفاده کردند. نتایج مطالعات انجام‌شده به‌وسیله Gonzales و همکاران (۲۰۰۹) برای واسنجی مدل‌های تفکیک جریان به وسیله ردیاب‌ها که در حوضه‌های واقع در زمین‌های پست کشور هلند انجام شده است، نشان داد که روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها، مطابقت مناسبی با مشاهدات و برداشت‌های صحرائی دارد، ولی به‌دلیل غیر عملی و غیر اقتصادی بودن و عدم امکان کاربرد آن در آمار دبی‌های گذشته، استفاده از روش‌های غیر ردیاب را پیشنهاد دادند. Zhang و همکاران (۲۰۱۸)،

الگوریتمی قابل اعتماد به‌منظور تفکیک جریان است. یکی از چالش‌های مهم در استفاده از الگوریتم‌های جدایش آب‌نمود، یافتن پارامترهای بهینه الگوریتم‌های تفکیک جریان در فرایندی با عنوان واسنجی است (Gonzales و همکاران، ۲۰۰۹). هدف از واسنجی، کمینه کردن اختلاف بین خروجی پیش‌بینی شده و مشاهده شده است و این کار ممکن است، به‌وسیله روش‌های بهینه‌سازی انجام شود (Duan و همکاران، ۲۰۰۴). ایده‌آل آن است که مدل تا حد امکان واقعیت را منعکس کند. چنانچه مدل برای یک محل ناشناخته به‌کار رود (به‌طور مثال یک حوزه آبخیز بدون ایستگاه) مقادیر پارامترها باید از طریق اندازه‌گیری خواص فیزیکی سامانه تعیین شوند. چنین پارامترهایی را پارامترهای فرایندی می‌نامند و ممکن است از پارامترهای بهینه شده^۱ که معمولاً به‌طور خودکار با استفاده از برنامه‌های رایانه‌ای تعیین می‌شوند، تفاوت داشته باشند. بنابراین، برای واسنجی مدل روش‌های متفاوتی وجود دارد که می‌توان از آن‌ها استفاده کرد و یا در خود مدل این روش‌ها تعبیه شده است. اگر مدل ریاضی با پایه فیزیکی^۲ باشد، مقادیر پارامترها را می‌توان از طریق اندازه‌گیری‌های صحرائی و یا نقشه‌های موجود و یا با استفاده از امکانات GIS تعیین کرد. در این حالت، پارامترهای فرایند بر اساس مشخصات واقعی قابل اندازه‌گیری در صحرا و یا نقشه بوده، مفهوم واقعی فیزیکی دارند و چه بسا نیازی به واسنجی مدل هم نباشد. به‌طور معمول سه روش عمومی واسنجی که در بیشتر مدل‌ها به‌کار می‌رود، واسنجی مدل به‌وسیله آزمون و خطا (روش دستی)، واسنجی مدل به‌صورت خودکار (اتوماتیک) و به‌صورت ترکیبی از دو حالت فوق می‌باشند.

شاخص جریان پایه، یک نسبت بدون بعد است که از نسبت دبی پایه به کل رواناب برای هر مقطع زمانی یا کل دوره آماری به‌دست می‌آید و اولین بار به‌وسیله Lvovich (۱۹۷۲) پیشنهاد و سپس به‌وسیله پژوهشکده هیدرولوژی انگلستان (۱۹۸۰) توسعه یافته و به‌کار رفته است. این شاخص به‌عنوان یکی از

¹ Optimized

² Physically based

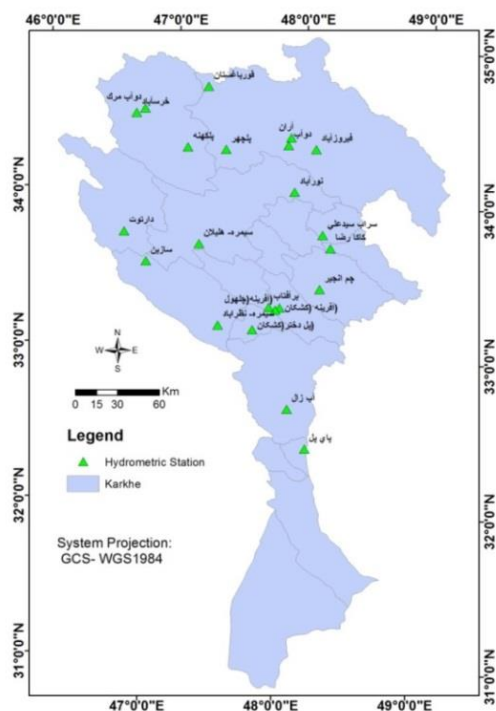
است. منطقه مورد پژوهش، متأثر از آب و هوای خشک، نیمه‌خشک، مرطوب و نیمه‌مرطوب است. در مجموع ۴۵/۱ درصد از منطقه دارای اقلیم خشک، ۲۸ درصد نیمه‌خشک و ۲۶/۹ درصد مرطوب و نیمه مرطوب است. بیشینه بارش سالانه در دوره آماری مورد پژوهش به میزان ۵۵۶ میلی‌متر متعلق به حوضه کشکان و کمینه آن مربوط به حوضه کرخه در پای پل با ۴۵۳ میلی‌متر است. بیشینه پوشش سطحی سازندهای کربناته کارستی، متعلق به حوضه دوآب مرک با پوشش سطحی ۲۶ درصد و کمینه آن مربوط به حوضه فیروزآباد با پوشش دو درصد می‌باشد. بیرون زدگی سازندهای سخت غیر کربناته عمدتاً شامل سنگ‌های دگرگونی زون سندنج-سیرجان، ولکانیک‌ها و توف‌های همراه، شیست‌های همدان، سازندهای متعلق به گروه بنگستان، گورپی و امیران، بختیاری، پابده، شهبازان، تله زنگ، کشکان و بیرون‌زدگی‌های میان لایه‌های آهکی و ماسه‌سنگ‌های آهک‌دار گروه فارس است که به‌طور متوسط ۴۲ درصد پوشش سطحی حوضه‌های مورد پژوهش را تشکیل داده‌اند. در این خصوص، بیشینه پوشش سطحی آن در حوضه فیروزآباد با ۵۷ درصد پوشش سطحی و کمینه 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 (Kazemi و Porhemmat, ۲۰۱۸). ویژگی‌های پایه حوضه‌های مورد پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

روش پژوهش: برای انجام این پژوهش، ابتدا با بررسی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های آب‌سنجی، تعداد ۲۲ ایستگاه با آمار مناسب و دوره مشترک آماری سال‌های آبی ۱۳۶۱-۱۳۹۱ انتخاب شدند (جدول ۱). با توجه به اهمیت صحت و دقت آمار، ایستگاه‌های دارای آمار کامل و بدون نیاز به بازسازی انتخاب شدند. روند تغییرات دراز مدت جریان در طی ماه‌های سال برای کلیه ایستگاه‌های آب‌سنجی ترسیم و خشک‌ترین ماه سال تعیین شد. سپس واسنجی مدل با استفاده از داده‌های دراز مدت خشک‌ترین ماه سال، در محدوده منطقی ارائه شد.

چهار روش تفکیک جریان پایه را در برابر روش مبتنی بر ردیاب، در پنج حوضه شرق استرالیا مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که مقادیر پارامترهای ارائه شده در مدل‌ها، به‌طور مستقیم قابل استفاده نیستند و لازم است که پارامترهای بهینه با استفاده از واسنجی با داده‌های واقعی به‌دست بیاید و سپس برای کل داده‌ها تفکیک انجام شود. از جمله پژوهش‌های انجام شده در داخل کشور، می‌توان به مطالعات Golpayeghani و همکاران (۲۰۰۸)، Ghanbarpour و همکاران (۲۰۰۹) و Teimouri و همکاران (۲۰۱۱) اشاره کرد که از روش تحلیل شاخه خشکیدگی برای واسنجی و سپس انتخاب روش مناسب جداسازی جریان استفاده کرده‌اند. همچنین، پژوهش انجام شده به‌وسیله Samiei و Malekiyan (۲۰۱۰)، Kazemi و Ghermez Cheshmeh (۲۰۱۶) نیز با استفاده از شاخص‌های منحنی تداوم جریان و مبتنی بر تحلیل آماری برای استخراج جریان پایه انجام شده است. در جمع‌بندی مرور منابع، قابل استنتاج است که نتایج روش‌های مختلف تفکیک جریان پایه بدون واسنجی با داده‌های واقعی قابل اعتماد و استفاده نیست و نظر به این‌که واسنجی مدل‌ها با داده‌های اندازه‌گیری شده مبتنی بر ردیاب‌ها، نیازمند زمان و هزینه زیادی است. لذا، هدف از این پژوهش واسنجی روش‌های فیلتر رقومی برگشتی تفکیک جریان با داده‌های جریان فصل خشک سال به‌عنوان جایگزین داده‌های جریان پایه اندازه‌گیری شده، می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌ها و موقعیت منطقه: محدوده این پژوهش، شامل تعداد ۲۲ زیرحوضه واقع در حوضه کرخه است که بین عرض جغرافیایی ۳۰° ۴۹' تا ۳۴° ۰۴' شمالی و طول جغرافیایی ۴۶° ۰۶' تا ۳۴° ۱۰' 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 (Porhemmat و همکاران، ۲۰۱۱). زیرحوضه‌های اصلی کرخه شامل سیمره، کشکان و زیرحوضه میانی منتهی به سد کرخه



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصه‌های حوزه‌های مورد پژوهش

ایستگاه هیدرومتری	کد ایستگاه	مساحت (km ²)	ارتفاع متوسط (m)	شیب متوسط حوزه (%)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
فیروزآباد	۲۱-۱۰۹	۸۶۹	۱۹۵۲	۱۷/۳	۳۴° ۲۱'	۴۷° ۰۷'
آران	۲۱-۱۱۳	۲۲۹۸	۱۷۸۰	۱۵/۵	۳۴° ۲۵'	۴۷° ۵۵'
دوآب	۲۱-۱۱۵	۸۰۲۶	۱۸۹۵	۱۵/۱	۳۴° ۲۲'	۴۷° ۵۴'
پل چهر	۲۱-۱۲۷	۱۰۲۰۸	۱۸۹۱	۱۷/۳	۳۴° ۱۹'	۴۷° ۲۵'
خرس آباد	۲۱-۱۳۱	۱۴۳۴	۱۵۲۷	۸/۷	۳۴° ۳۱'	۴۶° ۴۳'
دوآب مرک	۲۱-۱۳۳	۱۲۹۴	۱۵۴۴	۱۳/۷	۳۴° ۳۳'	۴۶° ۴۶'
قورباغستان	۲۱-۱۴۳	۵۳۰۹	۱۵۶۲	۱۴/۱	۳۴° ۴۳'	۴۷° ۱۵'
نورآباد	۲۱-۱۴۵	۶۲۱	۲۰۴۳	۱۶/۸	۳۴° ۰۴'	۴۷° ۵۸'
سیمره-هلیلان	۲۱-۱۴۷	۱۹۹۷۷	۱۷۵۲	۱۷/۵	۳۴° ۴۲'	۴۷° ۱۵'
سازین	۲۱-۱۵۹	۲۶۱۲۸	۱۳۶۵	۲۰	۳۴° ۳۴'	۴۶° ۵۱'
کاکا رضا	۲۱-۱۶۹	۱۱۳۰	۲۰۲۷	۲۴/۱	۳۴° ۴۳'	۴۸° ۱۶'
سراب سیدعلی	۲۱-۱۷۱	۷۸۶	۲۱۰۴	۲۷/۴	۳۳° ۴۸'	۴۸° ۱۳'
کشکان (پل)	۲۱-۱۷۳	۳۷۲۹	۱۰۰۰	۲۵/۲	۳۳° ۳۰'	۴۷° ۴۸'
چم انجیر	۲۱-۱۷۵	۱۶۳۰	۱۶۵۰	۲۰/۵	۳۳° ۲۷'	۴۸° ۱۳'
آفرینه (کشکان)	۲۱-۱۷۷	۶۸۴۲	۱۷۱۸	۲۳/۴	۳۳° ۱۹'	۴۷° ۵۴'
آفرینه (چلهول)	۲۱-۱۷۹	۸۰۸	۱۶۴۷	۲۳/۷	۳۳° ۱۸'	۴۷° ۵۲'
برآفتاب	۲۱-۱۸۱	۱۱۳۶	۱۳۷۳	۹/۳	۳۳° ۱۹'	۴۷° ۴۹'
پل دختر (کشکان)	۲۱-۱۸۳	۹۲۶۷	۱۶۳۲	۲۲/۴	۳۳° ۱۰'	۴۷° ۴۳'
جلوگیر (ماژین)	۲۱-۱۸۵	۳۹۴۷۹	۳۵۰	۱۴/۳	۳۲° ۵۸'	۴۷° ۴۸'
آب زال	۲۱-۱۸۹	۶۰۰	۱۴۰۵	۳۴/۳	۳۲° ۴۰'	۴۸° ۰۴'
پای پل	۲۱-۱۹۱	۴۲۱۹۱	۱۵۴۴	۱۹/۲۷	۳۲° ۲۵'	۴۸° ۰۹'
سیمره-نظرآباد	۲۱-۴۱۱	۲۸۲۸۱	۱۶۳۰	۱۳/۱	۳۳° ۱۱'	۴۷° ۲۶'

فیلتر رقومی برگشتی بی-فلو-لینه و هالیک^۳:
الگوریتم به‌وسیله Lyne و Hollick (۱۹۷۹) با رابطه (۳) معرفی شده و 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.

فیلتر رقومی برگشتی EWMA^۴: این الگوریتم به‌وسیله Tularam و Ilahee (۲۰۰۸) با رابطه (۴) به کار برده و توصیه شده است. مدل میانگین متحرک وزنی نمایی (EWMA) همان‌طور که در رابطه (۴) نشان داده شده است، برای هر دوره زمانی t جریان پایه qbt از یک مجموعه سری زمانی را به‌دست می‌دهد.

فیلتر رقومی برگشتی چاپمن^۵: این فیلتر، پیرو نقد تئوریک الگوریتم لینه و هالیک و ادعای غیرصحیح بودن نتایج آن، با رابطه (۵) به‌وسیله Chapman (۱۹۹۱)، معرفی شد. ایشان تعیین کردند که روش فیلتر لینه و هالیک با تئوری فرود متداول ناسازگار است، به‌دلیل این‌که زمانی‌که رواناب سطحی وجود نداشته باشد، جریان پایه پیش‌بینی شده ثابت است. بنابراین، آن‌را با یک فیلتر واقعی‌تر از لحاظ فیزیکی اصلاح کرد. فیلتر ابتدا به جلو، عقب و سپس جلو در طول زمان برای متوسط داده‌های جریان روزانه به‌کار برده شد و برآورد جریان پایه از این فیلتر به‌طور مطلوبی با داده‌های جریان پایه مقایسه شد. بنابراین، معادله چاپمن اصلاح شده به شکل رابطه (۵) است.

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، به‌وسیله Jakeman و Hornberger (۱۹۹۳) با الگوریتم رابطه (۶) پیشنهاد شده است.

برای شش الگوریتم رقومی برگشتی، 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 شد. پارامتر مربوطه به‌عنوان پارامتر بهینه برای سری زمانی کل داده‌ها اجرا و جریان پایه برای کل دوره مورد پژوهش، با استفاده از نرم‌افزار BFI ارائه شده به‌وسیله Gregor (۲۰۱۵) تفکیک شد. برای اطمینان از صحت پارامترهای به‌دست آمده، همبستگی بین داده فصل خشک و داده حاصل از خروجی مدل بررسی شد. ارزیابی کارایی مدل‌ها با استفاده از شاخص ریشه میانگین مربعات خطا انجام شد. در این پژوهش، به دلیل پیچیدگی و نامشخص بودن میزان واقعی مشارکت دبی پایه در رواناب و همچنین به‌دلیل عدم اعتماد به نتایج استخراج جریان پایه از روش‌های غیرمبتنی بر روش‌های ردیاب و اندازه‌گیری، شش روش مختلف به شرح زیر برای واسنجی با داده‌های اندازه‌گیری شده و به‌دست آوردن پارامترهای بهینه الگوریتم‌ها استفاده شد. نمایش گرافیکی روش‌های مورد استفاده در شکل ۲ ارائه شده است.

روش فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره^۱: روش فیلتر رقومی برگشتی برای تحلیل و پردازش سیگنال‌های با فرکانس بالا از فرکانس پایین معرفی شده است. فیلتر رقومی یک پارامتره با الگوریتم ۱ مندرج در جدول ۲ اولین بار به‌وسیله Chapman و Maxwell (۱۹۹۶) معرفی شد.

روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره^۲: الگوریتم فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره به‌وسیله Boughton (۱۹۹۳ و ۱۹۸۸) با رابطه (۲) مندرج در جدول ۲ معرفی شده که قابلیت عبور یک‌باره از داده‌های جریان و همچنین، قابلیت واسنجی با داده‌های دیگر روش‌ها مانند روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها با تغییر پارامتر C را دارد.

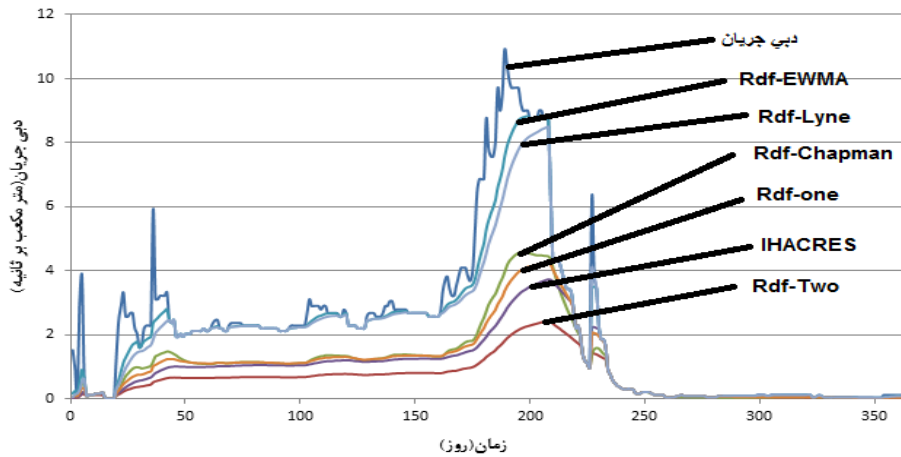
³ B-Flow-Lynie and Holick (Rdf-Lyne-Holick)

⁴ Exponentially Weighted Moving Average

⁵ Chapman Recursive digital filter (Rdf-Chapman)

¹ One parameter Recursive digital filter (Rdf-One)

² Two parameter Recursive digital filter (Rdf-Two)



شکل ۲- نمایش گرافیکی روش‌های مورد استفاده در بخشی از دوره مطالعه در ایستگاه آب‌سنجی با کد ۱۰۹-۲۱

جدول ۲- فیلترهای رقومی مورد استفاده در این پژوهش

نام فیلتر	الگوریتم
فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره	$q = \frac{k}{2-k} q_{b(i-1)} + \frac{1-k}{2-k} q_i$ (۱)
فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره	$q_{b(i)} = \frac{k}{1+C} q_{b(i-1)} + \frac{C}{1+C} q_i$ (۲)
فیلتر رقومی برگشتی بی‌فلو-لینه و هالیک	$q_{f(i)} = \alpha q_{f(i-1)} + (q_i - q_{(i-1)}) \frac{1+\alpha}{2}$ (۳)
فیلتر رقومی برگشتی EWMA	$q_{b(i)} = \alpha q_i + (1+\alpha) q_{b(i-1)}$ (۴)
فیلتر رقومی برگشتی چاپمن	$q_{f(i)} = \frac{3\alpha-1}{3-\alpha} q_{f(i-1)} + \frac{2}{3-\alpha} (q_i - \alpha q_{(i-1)})$ (۵)
فیلتر رقومی برگشتی IHACRES	$q_{b_i} = \frac{K}{1+C} q_{b(i-1)} + \frac{C}{1+C} (q_i + \alpha q_{(i-1)})$ (۶)

نتایج و بحث

همان‌طور که از شکل ۲ قابل دریافت است، روش‌های مختلف تفکیک جریان پایه، مقادیر مختلفی را به‌عنوان سهم جریان پایه از جریان کل معرفی می‌کنند که تفاوت خروجی هر روش مربوط به ماهیت الگوریتم مربوطه است. با تفسیر چشمی نیز قابل مشاهده است که برخی از این روش‌ها نسبت به دیگری کم‌برآوردی و یا بیش‌برآوردی دارند. این تفاوت، لزوم توجه به واسنجی مدل با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده و یا مقایسه و انتخاب روش مناسب و مقرون به‌صحت را دیکته می‌کند. با توجه به این‌که مقدار واقعی جریان پایه و شاخص مربوطه ناشناخته است، بدون واسنجی مدل‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده، نتایج تفکیک هیدروگراف از قابلیت اعتماد

که در آن‌ها، K پارامتر فیلتر، قابل تعیین به‌وسیله ثابت افت منحنی هیدروگراف، $q_{b(i)}$ جریان پایه فیلتر شده، برای زمان t_i ، q_i جریان اصلی رودخانه برای زمان t_i ، رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی $i-1$ است. α پارامتر فیلتر مرتبط با حوضه و C پارامتری است که اجازه می‌دهد، شکل تفکیک تغییر کند.

شاخص ارزیابی: به‌منظور ارزیابی کارایی مدل‌ها از

شاخص ریشه میانگین مربعات خطا استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}} \quad (۷)$$

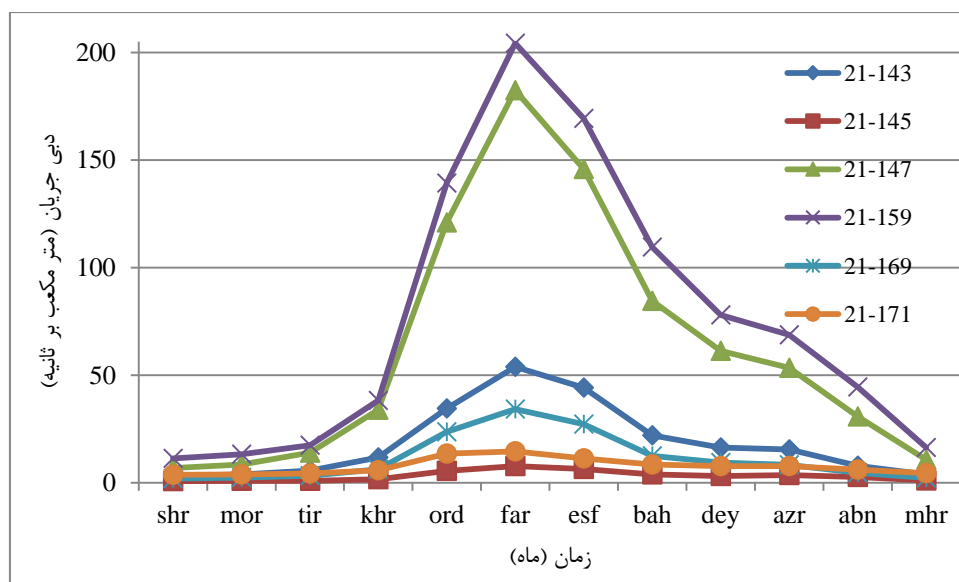
که در آن، $X_{obs,i}$ داده‌های مشاهداتی و $X_{model,i}$ داده‌های شبیه‌سازی شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

همسان شوند، اجرای مدل متوقف و پارامتر مربوطه به‌عنوان پارامتر بهینه برای سری زمانی کل داده‌ها اجرا و جریان پایه برای کل دوره مورد پژوهش، تفکیک شد. این فرایند برای هر ایستگاه به‌طور مجزا تکرار شد. شکل ۴، نمونه‌ای از تفکیک مؤلفه‌های جریان دوره خشک به روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره و تعیین پارامترهای بهینه مدل به‌وسیله نرم افزار BFI را برای ایستگاه شماره ۱۲۷-۲۱ نشان می‌دهد.

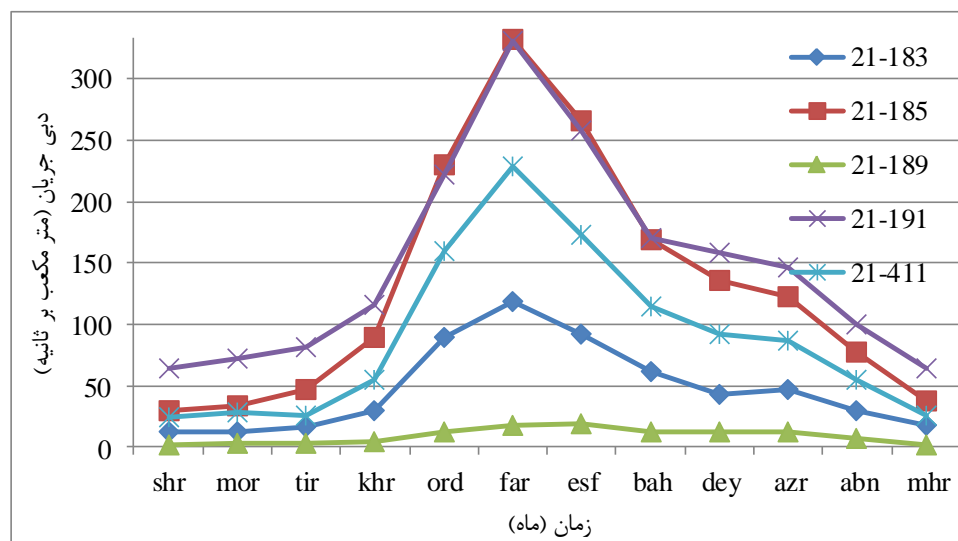
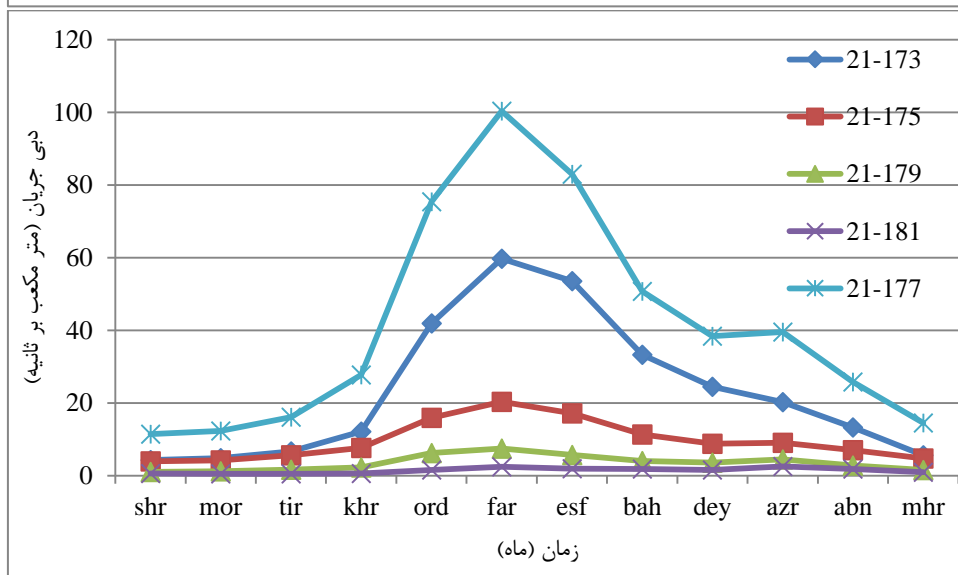
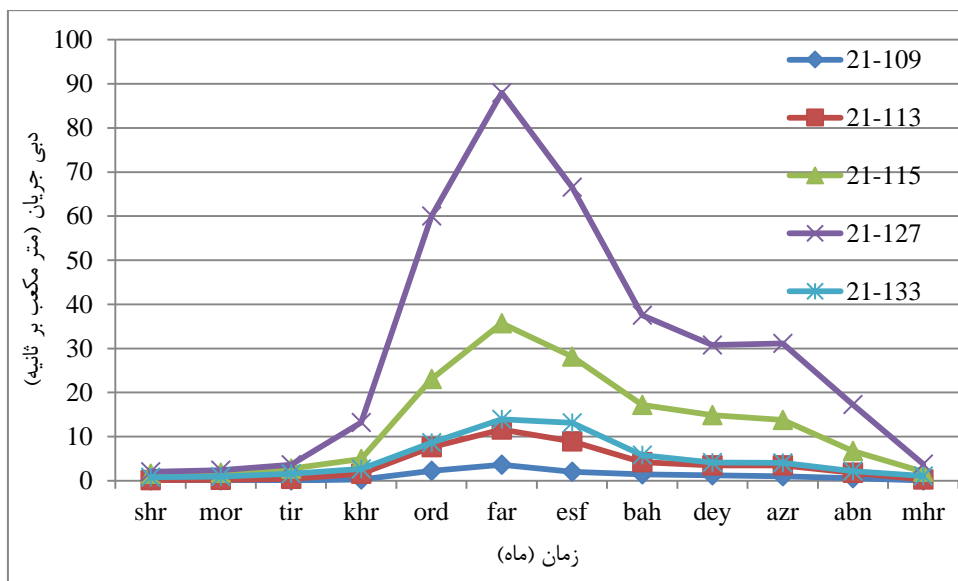
به‌منظور بررسی صحت فرض تقارن داده‌های فصل خشک سال با دبی پایه محاسباتی مستخرج از الگوریتم‌های رقومی، روابط همبستگی بین داده‌های اندازه‌گیری شده فصل خشک سال (ماه‌های تیر، مرداد و شهریور) با دبی پایه محاسباتی مربوط به ماه‌های نظیر آن بررسی شد. نتایج نشان داد که همبستگی بالایی بین این داده‌ها وجود دارد و فرض اولیه مبنی بر امکان جایگزینی داده‌های فصل خشک با داده مربوط به دبی پایه اندازه‌گیری شده برای واسنجی مدل‌های تفکیک جریان را ثابت می‌کند. رابطه همبستگی مربوط به ایستگاه آب‌سنجی با کد ۱۰۹-۲۱ به‌عنوان نمونه در شکل ۵ ارائه شده است.

پائینی برخوردار است. بنابراین، در این پژوهش برای واسنجی مدل‌ها و به‌دست آوردن مقادیر صحیح پارامترهای هر روش، با این فرض که داده‌های جریان مربوط به ماه‌های خشک سال (تیر، مرداد و شهریور) در منطقه پژوهش، به‌دلیل عدم وجود بارندگی و عدم تاثیر ذوب برف در جریان رودخانه، تقریباً معرف جریان پایه است، ابتدا با رسم روند تغییرات دبی جریان دراز مدت، کمینه جریان ماه‌های خشک سال به‌دست آمد و سپس، از این داده به‌عنوان داده اندازه‌گیری شده برای واسنجی و به‌دست آوردن پارامترهای بهینه مدل‌های تفکیک جریان استفاده شد. شکل ۳، روند تغییرات دراز مدت جریان در ماه‌های سال برای ایستگاه‌های آب‌سنجی در منطقه پژوهش را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودار قابل دریافت است، کمینه جریان در کلیه ایستگاه‌های منطقه پژوهش، مربوط به ماه‌های تیر، مرداد و شهریور می‌باشد.

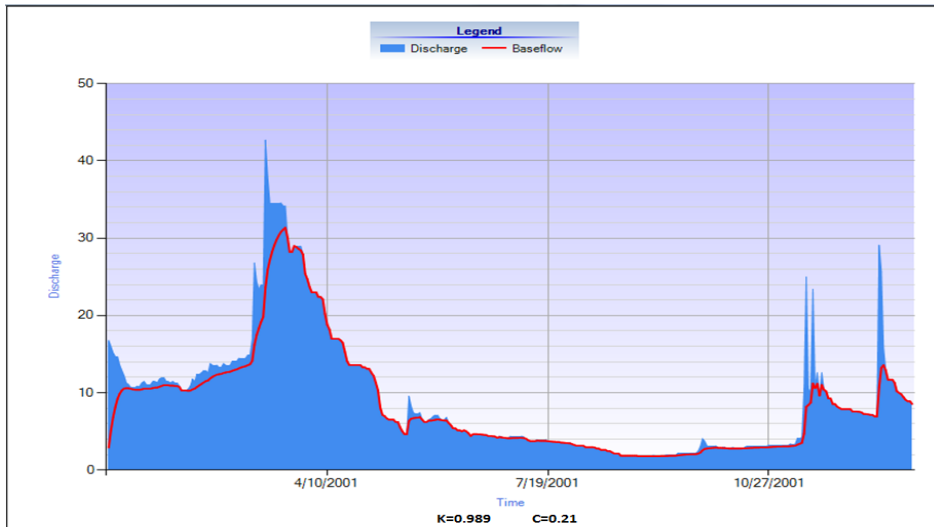
پس از شناخت خشک‌ترین ماه سال، مدل‌ها در محدوده مورد نیاز هر روش با استفاده از داده‌های واقعی و اندازه‌گیری شده مربوط به خشک‌ترین ماه سال برای هر ایستگاه اجرا شد. سپس، با روش سعی و خطا و تغییر دادن پارامترها تا زمانی که هیدروگراف جریان پایه با هیدروگراف جریان کل از نظر گرافیکی



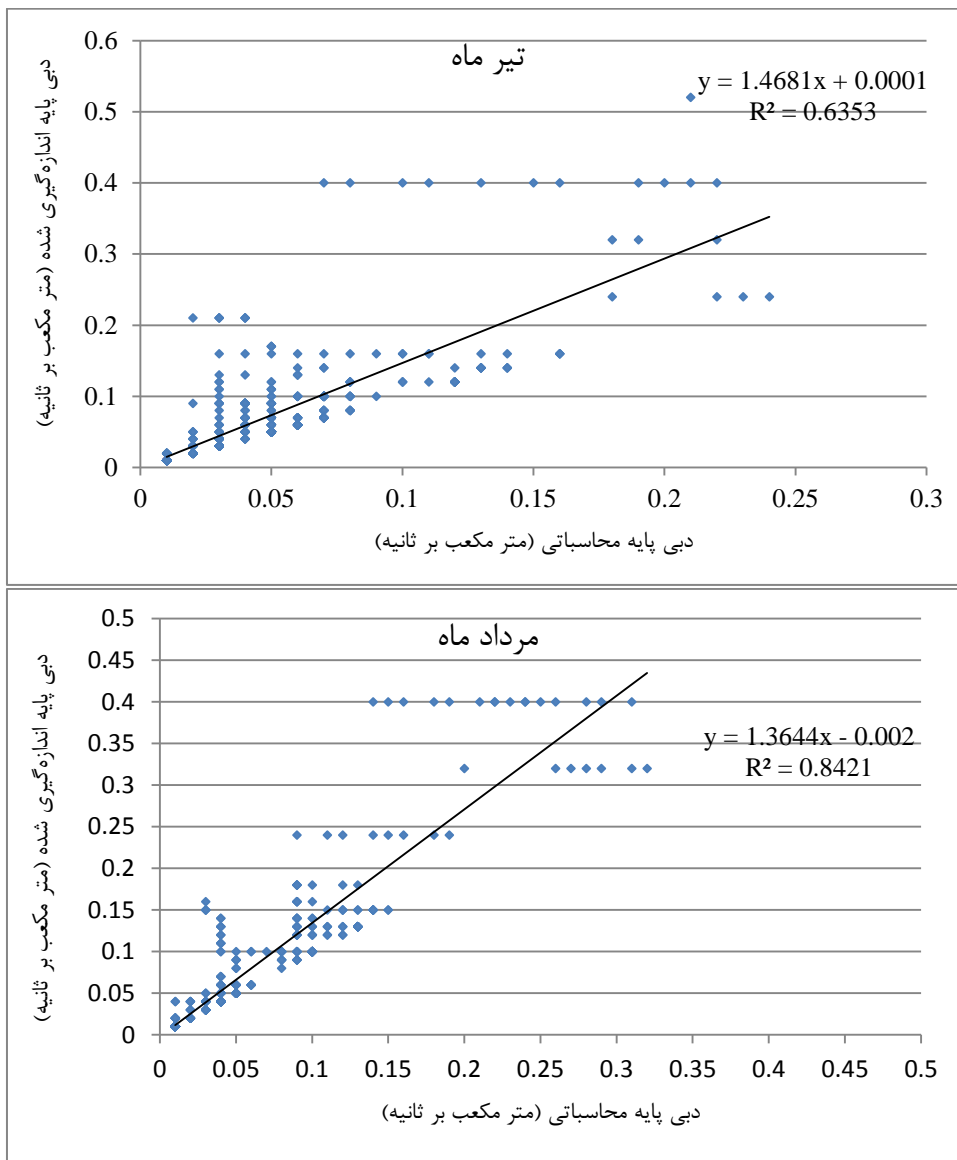
شکل ۳- روند تغییرات دراز مدت جریان در طی ماه‌های سال برای کلیه ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقه پژوهش



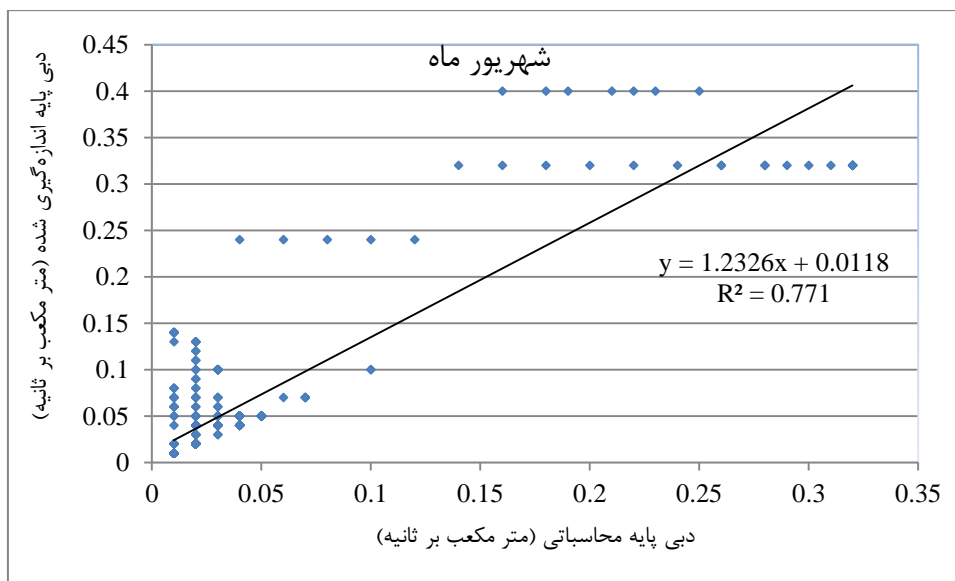
ادامه شکل ۳- روند تغییرات دراز مدت جریان در طی ماه‌های سال برای کلیه ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقه پژوهش



شکل ۴- نمایش گرافیکی تفکیک جریان پایه دوره خشک با استفاده از داده‌های روزانه، به روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره در ایستگاه ۲۱-۱۰۹



شکل ۵- رابطه بین دبی پایه محاسباتی با الگوریتم کمینه محلی با دبی پایه اندازه‌گیری شده فصل خشک سال در ایستگاه ۲۱-۱۰۹



ادامه شکل ۵- رابطه بین دبی پایه محاسباتی با الگوریتم کمینه محلی با دبی پایه اندازه‌گیری شده فصل خشک سال در ایستگاه ۱۰۹-۲۱

واسنجی پیشنهادی و نتایج مستخرج از مدل‌ها با استفاده از پارامترهای واسنجی شده دارد. پس از اطمینان از صحت فرض انجام شده مبنی بر استفاده از داده‌های دراز مدت فصل خشک سال برای واسنجی فیلترهای رقومی تفکیک جریان، ادامه فرایند برای تمام ایستگاه‌های آب‌سنجی انجام شد و پارامترهای بهینه برای آن‌ها به دست آمد. محدوده پارامترهای بهینه برای تمام ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقه پژوهش، در جدول ۳ و جزئیات پارامترهای هر الگوریتم در هر ایستگاه در جدول ۴ ارائه شده است.

همان‌طور که از شکل ۵ قابل دریافت است، ضریب تعیین بین دبی محاسباتی با دبی اندازه‌گیری شده در تیر ماه ۰/۶۳، مرداد ماه ۰/۸۴ و در شهریور ماه برابر با ۰/۷۷ به دست آمده است. بیشترین همبستگی در ایستگاه اشاره شده مربوط به داده‌های دراز مدت مرداد ماه می‌باشد که برای ادامه فرایند واسنجی و به دست آوردن پارامترهای بهینه فیلترها از آن استفاده شده است. فرایند بررسی همبستگی داده‌های محاسباتی با اندازه‌گیری شده برای واسنجی الگوریتم‌ها در هر ایستگاه به‌طور مجزا تکرار شده است. این میزان از همبستگی، نشان‌دهنده قابلیت اعتماد به روش

جدول ۳- محدوده پارامترهای به دست آمده برای واسنجی مدل‌ها

پارامتر			
a	C	k	
-----	-----	۰/۹۵۳-۰/۹۸۵	فیلتر رقومی برگشتی تک پارامتره
	۰/۰۱۷-۰/۰۲۲	۰/۹۶۱-۰/۹۸۹	فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره
۰/۹۰۰-۰/۹۶۱	-----	-----	فیلتر رقومی برگشتی لینه و هالیک
۰/۰۱۳-۰/۰۱۷	-----	-----	فیلتر رقومی برگشتی EWMA
۰/۹۳۷-۰/۹۹۶	-----	-----	فیلتر رقومی برگشتی چاپمن
۰/۹۰۰-۰/۹۸۶	۰/۰۱۱-۰/۰۱۷	۰/۹۵۵-۰/۹۸۳	فیلتر رقومی برگشتی سه پارامتره IHACRES

جدول ۴- پارامترهای به‌دست آمده برای واسنجی مدل‌ها در ایستگاه‌های مورد پژوهش

فیلتر لینه و هالیک	فیلتر دو پارامتره		فیلتر تک پارامتره	فیلتر EWMA	فیلتر چاپمن	فیلتر رقومی برگشتی سه پارامتره IHACRES			
α	k	C	k	α	α	k	α	c	
۰/۹۶۰	۰/۹۶۵	۰/۰/۰۱۷	۰/۹۵۳	۰/۰۱۴	۰/۹۳۹	۰/۹۵۷	۰/۹۸۲	۰/۰۱۱	۲۱-۱۰۹
۰/۹۵۹	۰/۹۶۷	۰/۰۱۷	۰/۹۷۲	۰/۰۱۳	۰/۹۳۸	۰/۹۷۰	۰/۹۸۲	۰/۰۱۱	۲۱-۱۱۳
۰/۹۵۵	۰/۹۸۰	۰/۰۱۷	۰/۹۷۰	۰/۰۱۳	۰/۹۹۰	۰/۹۷۰	۰/۹۸۶	۰/۰۱۳	۲۱-۱۱۵
۰/۹۵۴	۰/۹۸۰	۰/۰۲۰	۰/۹۸۵	۰/۰۱۶	۰/۹۹۵	۰/۹۷۹	۰/۹۸۶	۰/۰۱۳	۲۱-۱۲۷
۰/۹۵۵	۰/۹۸۹	۰/۰۱۷	۰/۹۸۵	۰/۰۱۴	۰/۹۴۲	۰/۹۸۲	۰/۹۸۵	۰/۰۱۳	۲۱-۱۳۱
۰/۹۶۱	۰/۹۸۷	۰/۰۲۱	۰/۹۸۰	۰/۰۱۴	۰/۹۴۷	۰/۹۸۰	۰/۹۰۰	۰/۰۱۱	۲۱-۱۳۳
۰/۹۶۰	۰/۹۸۸	۰/۰۲۲	۰/۹۸۰	۰/۰۱۳	۰/۹۵۸	۰/۹۸۳	۰/۹۷۳	۰/۰۱۷	۲۱-۱۴۳
۰/۹۶۱	۰/۹۶۹	۰/۰۲۲	۰/۹۵۵	۰/۰۱۶	۰/۹۸۰	۰/۹۳۵	۰/۹۲۴	۰/۰۱۶	۲۱-۱۴۵
۰/۹۵۹	۰/۹۸۰	۰/۰۱۹	۰/۹۵۷	۰/۰۱۶	۰/۹۸۷	۰/۹۷۹	۰/۹۳۷	۰/۰۱۱	۲۱-۱۴۷
۰/۹۵۸	۰/۹۸۵	۰/۰۲۲	۰/۹۸۵	۰/۰۱۵	۰/۹۹۶	۰/۹۷۸	۰/۹۸۳	۰/۰۱۷	۲۱-۱۵۹
۰/۹۶۰	۰/۹۸۷	۰/۰۲۲	۰/۹۸۵	۰/۰۱۵	۰/۹۹۶	۰/۹۸۳	۰/۹۶۸	۰/۰۱۱	۲۱-۱۶۹
۰/۹۶۰	۰/۹۸۹	۰/۰۱۹	۰/۹۷۹	۰/۰۱۳	۰/۹۹۶	۰/۹۷۹	۰/۹۷۸	۰/۰۱۲	۲۱-۱۷۱
۰/۹۶۰	۰/۹۸۸	۰/۰۱۹	۰/۹۷۸	۰/۰۱۳	۰/۹۹۱	۰/۹۶۸	۰/۹۸۴	۰/۰۱۲	۲۱-۱۷۳
۰/۹۳۵	۰/۹۸۸	۰/۰۱۷	۰/۹۸۹	۰/۰۱۴	۰/۹۹۰	۰/۹۹۰	۰/۹۸۶	۰/۰۱۶	۲۱-۱۷۵
۰/۹۳۹	۰/۹۸۹	۰/۰۱۷	۰/۹۸۹	۰/۰۱۷	۰/۹۹۶	۰/۹۸۲	۰/۹۸۶	۰/۰۱۷	۲۱-۱۷۷
۰/۹۶۰	۰/۹۸۷	۰/۰۲۲	۰/۹۶۰	۰/۰۱۳	۰/۹۹۲	۰/۹۸۳	۰/۹۷۹	۰/۰۱۱	۲۱-۱۷۹
۰/۹۶۰	۰/۹۸۱	۰/۰۲۲	۰/۹۶۹	۰/۰۱۷	۰/۹۹۰	۰/۹۸۳	۰/۹۷۹	۰/۰۱۷	۲۱-۱۸۱
۰/۹۶۱	۰/۹۸۵	۰/۰۲۱	۰/۹۸۰	۰/۰۱۶	۰/۹۴۸	۰/۹۷۷	۰/۹۷۸	۰/۰۱۱	۲۱-۱۸۳
۰/۹۵۸	۰/۹۸۵	۰/۰۱۹	۰/۹۸۰	۰/۰۱۴	۰/۹۵۸	۰/۹۷۹	۰/۹۷۷	۰/۰۱۷	۲۱-۱۸۵
۰/۹۵۷	۰/۹۸۰	۰/۰۱۹	۰/۹۸۲	۰/۰۱۴	۰/۹۹۶	۰/۹۸۰	۰/۹۷۷	۰/۰۱۶	۲۱-۱۸۹
۰/۹۵۸	۰/۹۸۷	۰/۰۲۱	۰/۹۸۰	۰/۰۱۶	۰/۹۹۲	۰/۹۶۶	۰/۹۶۵	۰/۰۱۱	۲۱-۱۹۱
۰/۹۶۰	۰/۹۸۹	۰/۰۲۱	۰/۹۸۰	۰/۰۱۳	۰/۹۹۰	۰/۹۷۸	۰/۹۸۳	۰/۰۱۱	۲۱-۴۱۱

جدول ۵- میانگین سالانه دراز مدت شاخص جریان پایه

IHACHRES	EWMA	چاپمن	فیلتر رقومی برگشتی لینه و هالیک	فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره	فیلتر رقومی برگشتی تک پارامتره	ایستگاه هیدرومتری	
۰/۶۲	۰/۸۵	۰/۴۲	۰/۶۲	۰/۴۱	۰/۵۶	۲۱-۱۰۹	فیروزآباد
۰/۵۷	۰/۹۳	۰/۵۶	۰/۹۳	۰/۸۰	۰/۵۲	۲۱-۱۱۳	آران
۰/۴۸	۰/۹۴	۰/۵۳	۰/۹۲	۰/۸۲	۰/۵۲	۲۱-۱۱۵	دوآب
۰/۵۷	۰/۹۲	۰/۶۲	۰/۹۱	۰/۸۲	۰/۵۲	۲۱-۱۲۷	پل چهر
۰/۶۰	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۸۱	۰/۵۵	۰/۵۱	۲۱-۱۳۱	خرس آباد
۰/۵۵	۰/۹۳	۰/۵۳	۰/۸۷	۰/۸۳	۰/۵۳	۲۱-۱۳۳	دوآب
۰/۵۶	۰/۹۴	۰/۶۰	۰/۹۴	۰/۸۵	۰/۵۲	۲۱-۱۴۳	قورباغستا
۰/۵۵	۰/۹۴	۰/۵۴	۰/۹۲	۰/۶۷	۰/۵۱	۲۱-۱۴۵	نورآباد
۰/۵۷	۰/۹۴	۰/۷۶	۰/۹۱	۰/۹۴	۰/۵۹	۲۱-۱۴۷	سیمره-
۰/۵۶	۰/۹۴	۰/۵۲	۰/۹۲	۰/۸۷	۰/۵۲	۲۱-۱۵۹	سازین
۰/۵۶	۰/۹۴	۰/۵۳	۰/۹۲	۰/۷۰	۰/۸۸	۲۱-۱۶۹	کاکا رضا
۰/۵۱	۰/۹۶	۰/۵۳	۰/۹۴	۰/۸۲	۰/۵۱	۲۱-۱۷۱	سراب
۰/۵۷	۰/۹۵	۰/۵۴	۰/۹۳	۰/۸۳	۰/۵۲	۲۱-۱۷۳	کشکان
۰/۵۲	۰/۹۶	۰/۵۲	۰/۹۴	۰/۶۷	۰/۵۱	۲۱-۱۷۵	چم انجیر
۰/۵۴	۰/۹۴	۰/۵۳	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۵۱	۲۱-۱۷۷	آفرینه
۰/۶۱	۰/۹۶	۰/۶۴	۰/۹۴	۰/۴۳	۰/۵۱	۲۱-۱۷۹	آفرینه
۰/۵۶	۰/۹۶	۰/۵۴	۰/۹۴	۰/۵۰	۰/۵۱	۲۱-۱۸۱	برآفتاب
۰/۵۵	۰/۹۵	۰/۵۴	۰/۹۴	۰/۷۳	۰/۵۰	۲۱-۱۸۳	پل
۰/۵۴	۰/۹۵	۰/۵۳	۰/۹۳	۰/۱۸	۰/۵۳	۲۱-۱۸۵	جلوگیر
۰/۵۲	۰/۹۵	۰/۵۸	۰/۹۴	۰/۷۰	۰/۵۲	۲۱-۱۸۹	آب زال
۰/۵۴	۰/۹۵	۰/۵۳	۰/۹۲	۰/۲۹	۰/۵۳	۲۱-۱۹۱	پای پل
۰/۵۳	۰/۹۵	۰/۵۲	۰/۹۲	۰/۲۸	۰/۵۳	۲۱-۴۱۱	سیمره-

جدول ۶- ریشه میانگین مربعات خطا برای روش‌های مختلف در کل ایستگاه‌ها

IHACHRES	EWMA	چاپمن	لینه و هالیک	دو پارامتره	تک پارامتره	
۰/۰۳۷	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۲۵	۰/۰۳۱	۰/۰۴۴	RMSE
۰/۸۸	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۸۴	R ²

R² متوسط ضریب تعیین بین داده‌های محاسباتی و اندازه‌گیری در کل ایستگاه‌ها و RMSE متوسط ریشه میانگین مربعات خطا در کل ایستگاه‌ها

نتیجه‌گیری

البته روش فیلتر رقومی لینه و هالک به دلیل کمترین ریشه میانگین مربعات خطا و بیشترین همبستگی بین داده‌های محاسباتی و اندازه‌گیری شده قابلیت اعتماد بیشتری دارد. در جمع‌بندی کلی نتایج فرایند واسنجی و بررسی روابط بین داده‌های محاسباتی جریان پایه و داده‌های اندازه‌گیری شده جریان فصل خشک، روش

نتایج واسنجی شش روش رقومی نشان داد که در کلیه روش‌ها همبستگی بالایی بین داده‌های محاسباتی و مشاهداتی وجود دارد و کلیه روش‌های مورد مطالعه پس از واسنجی به‌وسیله داده‌های فصل خشک قابلیت استفاده و اعتماد را دارند. در این میان،

سپاسگزاری

این پژوهش، با استفاده از امکانات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است. از همراهی و مساعدت مسئولین محترم، تشکر می‌شود.

واسنجی با داده‌های فصل خشک در غیاب روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها، به‌عنوان مناسب‌ترین روش واسنجی فیلترهای رقومی تفکیک جریان در منطقه مورد پژوهش، پیشنهاد می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Boughton, W.C. 1988. Partitioning streamflow by computer. Australian Civil Engineering Transactions, 5: 285-291.
2. Boughton, W.C. 1993. A hydrograph-based model for estimating the water yield of ungauged catchments. In: Hydrology and Water Resources Conference, Institution of Engineers, Australia, National Conference Publication, 93(14): 317-324.
3. Boussinesq, J. 1904. Recherches théoriques sur l'écoulement des nappes d'eau infiltrées dans le sol et sur le débit des sources. Journal De Mathématiques Pures Et Appliquées, 10: 5-78.
4. Brauman, K.A., G.C. Daily, T.K. Duarte and H.A. Mooney. 2007. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. Annual Review of Environment and Resources, 32: 67-98.
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 (Vol. 28), Auckland, New Zealand.
6. Chapman, T.G. 1991. Comment on evolution of automated techniques for base flow and recession analyses. Journal of Water Resources Research, 27(7): 1783-1784.
7. Chapman, T.G. and A.I. Maxwell. 1996. Base flow separation-comparison of numerical methods with tracer experiments. Hydrological and Water Resources Symposium, Institution of Engineers Australia, Hobart, 539-545.
8. Cyr, J., M. Landry and Y. Gagnon. 2011. Methodology for the large-scale assessment of small hydroelectric potential: application to the province of New Brunswick (Canada). Journal of Renewable Energy, 36: 2940-2950.
9. Duan, Q., H.V. Gupta, S. Sorooshian, A.N. Rousseau and R. Turcotte. 2004. Calibration of watershed models. American Geophysical Union, ISBN: 978-0-875-90355-2.
10. Ghanbarpour, M., M. Teimouriand and S. Gholami. 2008. Comparison of base flow estimation methods based on hydrograph separation, case study: Karun Basin. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 12(44): 1-13 (in Persian).
11. Golpayeghani, M. and M.R. Ghanbarpour. 2008. Investigation of hydrograph separation methods and its application in hydrology. 4th National Watershed Management Science and Engineering Conference, Iran (in Persian).
12. Gonzales, A.L., J. Nonner, J. Heijkers and S. Uhlenbrook. 2009. Comparison of different base flow separation methods in a lowland catchment. Journal of Hydrology and Earth System Sciences, 13(11): 2055-2068.
13. Hall, A.J. 1971. Baseflow recessions and the baseflow hydrograph separation problem: hydrology papers. The Institution of Engineers, Australia, 159-170 pages.
14. Hall, F.R. 1968. Base flow recessions a review. Journal of Water Resources Research, 4(5): 973-983.
15. Horton, R.E. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. Eos, Transactions American Geophysical Union, 14(1): 446-460.
16. Institute of Hydrology. 1980. Low flows studies report. Three volumes, Institute of Hydrology, Wallingford, United Kingdom.
17. Jakeman, A.J. and G.M. Hornberger. 1993. How much complexity is warranted in a rainfall runoff model? Water Resources Research, 29(8): 2637-2649.
18. Kazemi, R. and J. Porhemmat. 2018. Investigating the effect of hierarchical clustering methods on accuracy modeling of runoff coefficient in Karkheh Basin. Journal of Watershed Engineering and Management, 10(1): 81-94 (in Persian).
19. Kazemi, R. and B. Ghermez Cheshmeh. 2016. Investigation of different base flow separation methods using flow duration indices, case study: Khazar region. Journal of Water and Soil Conservation, 23(2): 131-146 (in Persian).
20. Lvovich, M.I. 1972. Hydrologic budget of continents and estimate of the balance of global fresh water resources. Journal of Soviet Hydrology, 4: 346-360.
21. Lyne, V. and M. Hollick. 1979. Stochastic time-variable rainfall-runoff modeling. In Institute of Engineers Australia National Conference, Barton, Australia, 89-93.

22. Maillet, E. 1905. *Essais d'Hydraulique Souterraine et Fluviale*. Hermann Paris, 218 pages.
23. Nathan, R.J. and T.A. McMahon. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Journal of Water Resources Research*, 26(7): 1465-1473.
24. Nejadhashemi, A.P., J.M. Sheridan, A. Shirmohammadi and H.J. Montas. 2007. Hydrograph separation by incorporating climatologically, factors: application to small experimental watersheds. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 43(3): 744-756.
25. Nejadhashemi, A.P., A. Shirmohammadi, J.M. Sheridan and H.J. Montas. 2009. Evaluation of stream flow partitioning methods. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 135(6): 791-801.
26. Porhemmat, J., R. Kazemi and B. Ghermezcheshme. 2011. Regional analysis of water yield and runoff coefficient in Karkheh Basin. Final Report of Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Registration Number: 90.627 (in Persian).
27. Samiei, M. and A. Malekiyan. 2010. Comparison of base flow separation methods using recursive digital filter and PART model. 6th National Watershed Management Science and Engineering Conference, Iran (in Persian).
28. Smakhtin, V.U. 2001a. Estimating continuous monthly base flow time series and their possible applications in the context of the ecological reserve. *Journal of Water SA*, 27(2): 213-218.
29. Smakhtin, V.U. 2001b. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, 240(3): 147-186.
30. Tallaksen, L.M. 1995. A review of base flow recession analysis. *Journal of Hydrology*, 165(1-4): 349-370.
31. Teimouri, M., M.R. Ghanbarpour, M. Bashirgonbad, M. Zolfaghari and S. Kazemikia. 2011. Comparison of base flow index in hydrograph separation with different methods in some rivers of West Azarbaijan Province. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 15: 219-228 (in Persian).
32. Tularam, G.A. and M. Ilahee. 2008. Exponential smoothing method of base flow separation and its impact on continuous loss estimates. *American Journal of Environmental Sciences*, 4(2): 136-144.
33. Zhang, J., Y. Zhang, J. Song and L. Cheng. 2017. Evaluating relative merits of four base flow separation methods in Eastern Australia. *Journal of Hydrology*, 549: 252-263.

Calibration of recursive digital filters to separate the base flow, case study: Karkheh Basin

***Rahim Kazemi¹, Jahangir Porhemmat²**

¹ Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran and ² Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

Abstract

Understanding the base flow can be useful in river flow analysis, rainfall-runoff modeling, calibration of models, water resource management in low flow conditions and determination of the amount of water storage in watershed. In this research, 22 stations were selected with the appropriate data and common period of the years of 1982-2012. The trend of flow changes during the months of the year was determined for all hydrometric stations in the study area and the driest month was determined. Then, the calibration of six recursive digital algorithms was performed using the long-term data of the driest month of the year and after obtaining optimal parameters of the models, the base flow separation for the whole period was performed. The performance evaluation of the models was done using root mean square error. The results showed that the major part of the river flow in the study area was related to the base flow and the minimum, maximum and average annual base flow index for the whole period was equal to 0.48, 0.62 and 0.56, respectively, representing more than 50% of ground water contribution to stream flow of the studied watersheds. Results of the evaluation of the models using the root mean square error showed that the mean error in the research area for all the methods ranged from 0.025 to 0.044. The minimum was related to Lynie and Holick, and the maximum related to the One-parameter digital filter. Over all, conclusion of the results of the calibration process and investing the correlation between calculated and measured data showed that there was a correlation with a coefficient of explanation of more than 80%. Calibration method with dry season data in the absence of tracer-based methods is suggested as the most suitable method for calibrating digital separation filters in the study area.

Keywords: Base flow, Calibration, Dry season, Filter parameter, Water resources

* Corresponding Author: ra_hkazemi@yahoo.com