

بررسی تاثیر گام زمانی داده‌ها در تفکیک جریان پایه در حوضه کرخه

رحیم کاظمی^{۱*}، امیر صفاری^۲، امیر کرم^۳ و جهانگیر پرهمت^۴

^۱ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، ^۲ دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی و ^۳ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۱۴

چکیده

برآورد شاخص جریان پایه، همواره یکی از موضوعات مهم در هیدرولوژی بوده و اطلاع از میزان آن نقش مهمی در مدیریت بهینه منابع آب دارد. فرایند جداسازی جریان پایه، اغلب با استفاده از داده‌های جریان روزانه انجام می‌شود. عدم پوشش کامل سری زمانی داده‌های روزانه برای کل کشور محدودیت‌هایی را برای برآورد جریان پایه و شاخص مربوطه ایجاد می‌کند. در این تحقیق، شاخص جریان پایه با استفاده از جریان روزانه و ماهیانه، به روش‌های حداقل محلی، فواصل ثابت، فواصل متحرک، فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره، فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره، و فیلتر رقومی برگشتی لینه و هالیک در تعدادی از زیرحوضه‌های کرخه استخراج شد، نتایج با استفاده از معیارهای مختلف آماری، از جمله، انحراف معیار، میانگین مطلق خطا، خطای نسبی و سایر آماره‌های توصیفی تحلیل شد. نتایج نشان داد که حداقل خطای نسبی داده ماهانه نسبت به روزانه در منطقه پژوهش، به روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره با ۲/۴۵ درصد خطا و بیشینه آن به روش لینه و هالیک با ۸۴/۱۹ درصد خطا تعلق دارد. در جمع‌بندی کلی، روش فیلتر رقومی دو پارامتره به دلیل خطای نسبی کم، کمینه میانگین مطلق خطا و ریشه میانگین مربعات خطا به‌عنوان روش‌های مناسب برای استخراج جریان پایه با استفاده از داده‌های ماهانه در غیاب داده‌های مناسب روزانه، شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: تفکیک هیدروگراف، داده‌های روزانه، داده‌های ماهانه، شاخص جریان پایه، فیلترهای رقومی، مؤلفه‌های هیدروگراف، واسنجی

مقدمه

وضعیت اکوسیستم، برنامه‌ریزی نیازمندی‌های آب شرب، مباحث آلودگی آب رودخانه و چگونگی پخش آلودگی از این طریق مورد نیاز است. یکی از مهمترین مشخصه‌های هیدروژئولوژیکی که در پژوهش‌های مختلف بر آن تأکید شده، شاخص جریان پایه (BFI)^۱ است. شاخص جریان پایه، یک

اطلاع از میزان جریان پایه در دسترس و شاخص مربوطه، به‌عنوان سهم مشارکت آب‌های زیرسطحی در جریان‌های سطحی، 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

¹ Base Flow Index (BFI)

یک حوضه کوچک جنگلی با استفاده از داده‌های با گام زمانی ۱۰ دقیقه، یک ساعت و یک روزه اجرا کردند. نتایج نشان داد که مقادیر واسنجی شده پارامترهای مرتبط به فرایندهای پاسخ سریع به گام‌های زمانی مورد استفاده وابسته است، در صورتی که پارامترهای مرتبط با فرایندهای پاسخ آهسته، به گام زمانی داده‌ها وابسته نیستند. Li و همکاران (۲۰۱۱) اثرات تفکیک زمانی منحنی تداوم جریان را بر روی میزان برآورد بار رسوبی در هشت ایستگاه واقع در جنوب غرب ایالات متحده و بر اساس گام‌های زمانی ۱۵ دقیقه و میانگین جریان روزانه به دست آوردند و بار رسوبی را بر اساس هر دو نوع منحنی محاسبه کردند. نتایج ایشان نشان داد که مقادیر برآوردی هر دو گام زمانی همبستگی بسیار زیادی با یکدیگر دارند و قابل جایگزینی با یکدیگر هستند.

برای تحلیل‌های هیدرولوژیکی، سری‌های زمانی تا حد ممکن باید طولانی باشد. داده‌های با تداوم سی‌ساله یا بیشتر، اغلب به‌عنوان حداقل طول داده ثبت شده توصیه می‌شود، اما عملاً هیدرولوژیست‌ها مجبور هستند، داده‌های با تداوم کوتاه‌تر را مدیریت کنند و در این خصوص معمولاً کمینه طول دوره آماری پنج‌ساله توصیه می‌شود (Tallaksen, ۱۹۹۵؛ Lanen و Tallaksen, ۲۰۰۴).

برای بررسی، پیش‌بینی و تحلیل‌های هیدرولوژیکی، داده‌های با طول دوره آماری مناسب ضروری است، این در حالی است که کمبود آمار و اطلاعات هیدرومتری، از جمله مشکلات و معضلات اساسی در برآوردهای هیدرولوژیکی جهت اجرای برنامه‌های عمرانی و آبخیزداری به شمار می‌آید.

بنابراین، روش‌هایی که نواقص آمار پایه را مرتفع ساخته و داده‌های به‌مراتب صحیح‌تری را جهت اجرای پروژه‌های آبی در اختیار قرار دهد، همواره مورد نیاز کارشناسان بوده است. تاکنون بررسی‌های زیادی در رابطه با بازسازی دبی‌های متوسط روزانه، ماهانه و سالانه انجام پذیرفته است. استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی برای شبیه‌سازی داده‌ها گسترش زیادی یافته است (Vahidiyan و Tareghiyan, ۲۰۰۹). مروری بر پژوهش‌های انجام شده این مسئله را روشن می‌سازد که توسعه روش‌های جدید، امکان

نسبت بدون بعد است که از نسبت دبی پایه به دبی کل جریان سطحی برای هر مقطع زمانی یا کل دوره آماری به دست می‌آید. مشخصه‌های هیدرولوژیکی حوضه‌ها مانند جریان پایه، یا سایر مؤلفه‌های جریان توسط پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی و فیزیکی مختلف، قابل برآورد است (Nathan و McMahon, ۱۹۹۰). مشخصه‌های هیدروکلیماتولوژیکی عمدتاً شامل بارش، دما و تبخیر و تعرق است و عوامل فیزیکی شامل پارامترهای فیزیوگرافی و ثابت حوضه بوده و ممکن است، پارامترهای زمین‌شناسی و خاکشناسی از دیدگاه هیدروژئولوژی نیز مورد استفاده قرار گیرد. در این میان شاخص جریان پایه، بیانگر اطلاعاتی در خصوص مشارکت آب‌های زیرسطحی در آب‌های سطحی است که ممکن است تحت تأثیر زمین‌شناسی حوضه قرار داشته باشد (Nathan و McMahon, ۱۹۹۲). اطلاع از رژیم جریان پایه برای مقاصد متعددی مانند مدیریت منابع آب، حفاظت اکوسیستم‌های آبی، تولید انرژی، حمل و نقل و پیش‌بینی جریان‌های کمینه اهمیت دارد (Brauman و همکاران، ۲۰۰۷؛ Cyr و همکاران، ۲۰۱۱).

در خصوص تأثیر گام زمانی داده‌ها در دقت برآورد مدل‌های هیدرولوژیکی، تحقیقات مختلفی انجام شده است. از جمله این تحقیقات می‌توان به تحقیقات انجام شده توسط Ostrowski (۱۹۹۱) و Ostrowski و Wolf (۱۹۸۴)، در خصوص وابستگی زمانی برآورد پارامترهای نفوذ در خاک اشاره کرد. آن‌ها یک رابطه سیستماتیک بین گام‌های زمانی و پارامترهای رطوبت خاک شناسایی کردند و نشان دادند که هدایت هیدرولیکی عمودی و جانبی و همچنین، حداکثر نفوذ در خاک خشک، به‌صورت غیرخطی با افزایش فواصل زمانی کاهش می‌یابد. Hughe و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از داده‌های ماهانه مدل‌های تفکیک جریان را در تعدادی از حوضه‌های آفریقای جنوبی واسنجی کردند و توصیه‌هایی برای استفاده از داده‌های ماهانه در غیاب داده‌های مناسب روزانه برای تفکیک جریان پایه ارائه دادند. Wang و همکاران (۲۰۰۹)، اثرات گام زمانی داده‌ها بر روی مقادیر پارامترهای یک مدل گسسته را به منظور پیش‌بینی جریان رودخانه مورد پژوهش قرار دادند. آن‌ها یک مدل ۱۸ پارامتره را در

محسوب می‌شود و بیانگر اطلاعاتی در خصوص مشارکت آب‌های زیر سطحی در جریان‌های سطحی می‌باشد (Smakhtin, ۲۰۰۱a).

جداسازی جریان آب پایه: روش‌های متعددی برای جداسازی جریان پایه از جریان رودخانه، توسعه یافته است که عمدتاً در گروه روش‌های گرافیکی، روش‌های فیلترینگ و روش ردیاب‌های شیمیایی قابل طبقه‌بندی می‌باشد (Chapman, ۱۹۹۹؛ Smakhtin, ۲۰۰۱b). جداسازی جریان پایه به روش گرافیکی اغلب زمان‌بر و غیردقیق است و نتایج به‌دست آمده توسط متخصصین مختلف متفاوت است. روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها دقیق‌تر و قابل اعتمادتر است، ولی زمان‌بر 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 پارامتر-ها دارد و به دلیل قابلیت اتوماتیک کردن، مشکلات ناشی از عدم همخوانی نتایج را تا حدودی بر طرف کرده است. به دلیل پیچیدگی و نامشخص بودن میزان واقعی مشارکت دبی پایه در رواناب و جریان‌های سطحی و همچنین، هزینه بر بودن روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها، محققین بسیاری نسبت به ارزیابی و مقایسه روش‌های مختلف تفکیک هیدروگراف جریان اقدام نموده‌اند و الگوریتم‌های رقومی مختلفی را پیشنهاد داده‌اند، ولی با توجه به استقلال این روش‌ها، از ماهیت جریان و نامشخص بودن مقدار واقعی جریان پایه، در این تحقیق به منظور بررسی نتایج استخراج دبی پایه از داده‌های روزانه و ماهانه، از روش‌های مختلف فیلترینگ و الگوریتم‌های رقومی برگشتی استفاده شده است.

منطقه پژوهش: محدوده این پژوهش شامل تعداد ۲۲ زیرحوضه واقع در حوضه کرخه است که بین عرض جغرافیایی $30^{\circ} 49'$ تا $34^{\circ} 04'$ شمالی و طول جغرافیایی $46^{\circ} 06'$ تا $49^{\circ} 10'$ 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 شامل می‌شود (Porhemmat و همکاران، ۲۰۱۱). زیرحوضه‌های اصلی کرخه شامل سیمره، کشکان،

آشکارسازی بهتر ارتباط بین پارامترهای مرتبط با جریان رودخانه را به‌طور چشمگیری امکان‌پذیر کرده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به استفاده از روش‌های محاسباتی با عملیات تکراری فراوان، چون خوارزمیک، ژنتیک، شبکه عصبی مصنوعی و روش‌های عصبی فازی فرایند غیرخطی و غیرایستای جریان رودخانه، که بدون نیاز به عوامل محیطی مؤثر بر جریان رودخانه، مدل‌سازی می‌شود اشاره کرد (Nath و Abraham, ۲۰۰۱). اما نکته‌ای که همچنان به‌عنوان یک چالش فراروی هیدرولوژیست‌ها قرار دارد، عدم قطعیت ناشی از این شبیه‌سازی‌ها است، که این موضوع در داده‌های روزانه بسیار حائز اهمیت است. از جهت دیگر عدم پوشش کامل داده‌های روزانه در کشور و تاکید و تعریف تحلیل‌های هیدرولوژیکی مبتنی بر داده‌های روزانه، اهمیت بررسی تحلیل‌های مبتنی بر داده‌های ماهانه و مقایسه آن با نتایج تحلیل مبتنی بر داده‌های روزانه را نمایان می‌سازد.

با بررسی‌های به‌عمل آمده، به‌نظر می‌رسد در رابطه با مقایسه نتایج روش‌های مختلف استخراج جریان پایه و شاخص مربوطه با استفاده از داده‌های جریان روزانه و ماهانه در اقالیم مختلف در سطح کشور تحقیق کافی انجام نشده است. با توجه به این‌که داده‌های روزانه در کشور فاقد سری زمانی طولانی و پوشش کامل می‌باشد و نظر به اهمیت جریان پایه و شاخص مربوطه در مطالعات منابع آب، مطالعه روش‌های مختلف استخراج در اقالیم مختلف و مقایسه نتایج حاصله از هر دو نوع داده، موجب دستیابی به دانشی برای استفاده از داده‌های ماهانه در استخراج جریان پایه خواهد شد. در این تحقیق، سهم مشارکت آب‌های زیرسطحی به کل رواناب به‌عنوان شاخص جریان پایه به روش‌های مختلف، استخراج شد و بر اساس تحلیل شاخص‌های آماری، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

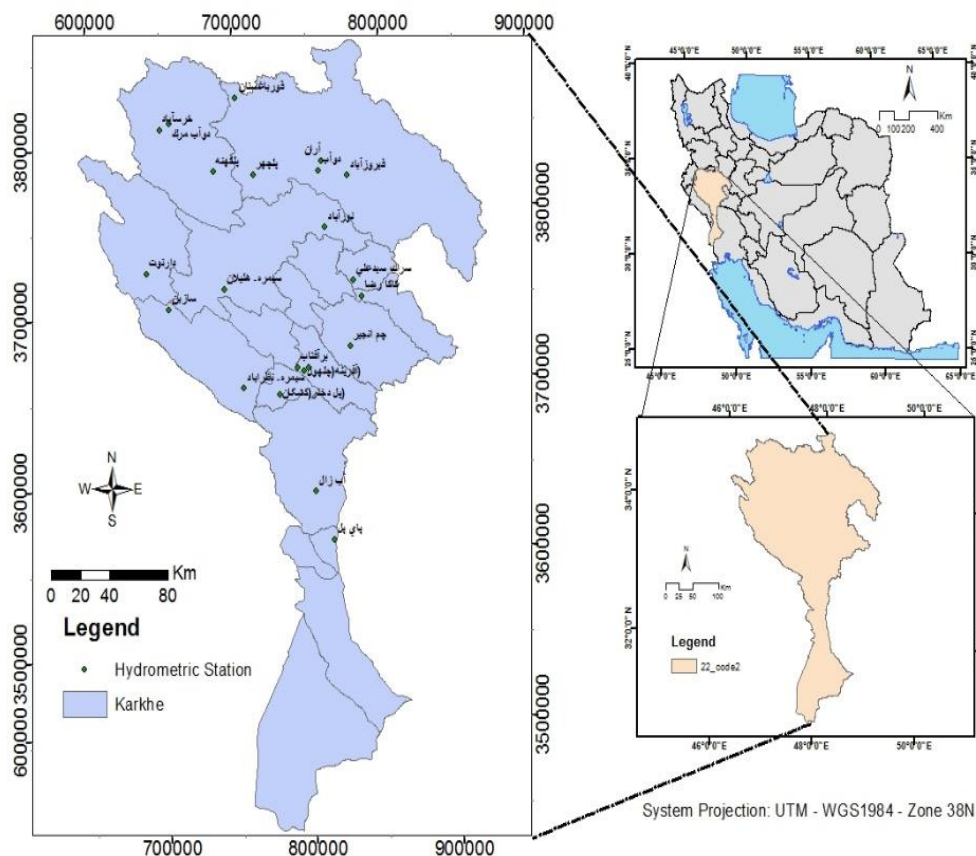
شاخص جریان پایه: این شاخص یک نسبت بدون بعد است که از نسبت دبی پایه به کل جریان سطحی برای هر مقطع زمانی یا کل دوره آماری به‌دست می‌آید و اولین بار توسط موسسه هیدرولوژی انگلستان (۱۹۸۰) معرفی و توسعه یافته است. این شاخص به‌عنوان یکی از مشخصه‌های هیدرولوژیکی حوضه

مربوط به حوضه فیروزآباد با پوشش دو درصد می‌باشد. سازندهای سخت غیرکربناته 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 گروه فارس است و به‌طور متوسط ۳۲ درصد پوشش سطحی منطقه پژوهش را تشکیل داده‌اند.

در این خصوص حداکثر پوشش سطحی آن در حوضه فیروزآباد با ۵۷ درصد پوشش سطحی 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 (Porhemmat و همکاران، ۲۰۱۱).

زیرحوضه میانی منتهی به سد کرخه و زیرحوضه میانی پایاب سد می‌باشد. منطقه مورد پژوهش متأثر از آب و هوای خشک، نیمه‌خشک، مرطوب و نیمه-مرطوب است. در مجموع ۴۵/۱ درصد از منطقه مورد پژوهش دارای اقلیم خشک، ۲۸ درصد نیمه‌خشک و ۲۶/۹ درصد مرطوب و نیمه‌مرطوب می‌باشد. حداکثر بارش سالیانه 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.

سازندهای سخت کربناته دارای گسترش مناسب می‌باشند و حدود ۴۸ درصد سطح منطقه مورد پژوهش را پوشش می‌دهند. حداکثر پوشش سطحی سازندهای کربناته کارستی متعلق به حوضه‌های کاکا رضا و آب‌زال با پوشش سطحی ۴۵ درصد و حداقل آن



شکل ۱- منطقه مورد پژوهش

در منطقه، تعداد ۲۲ ایستگاه با آمار مناسب و دوره مشترک آماری سال‌های آبی ۶۲-۱۳۶۱ تا ۹۲-۱۳۹۱

روش پژوهش: برای انجام این تحقیق، ابتدا با بررسی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری موجود

که در آن‌ها، Y_H آستانه داده‌های پرت بالا به صورت لگاریتمی، Y_L آستانه داده‌های پرت پایین به صورت لگاریتمی و K_n ضریبی است که از جداول مربوط به تعداد داده‌ها انتخاب می‌شود، S_y انحراف از معیار داده‌ها می‌باشند.

در سال‌هایی که داده‌های دبی ثبت نشده بود، با استفاده از ماتریس همبستگی و رابطه همبستگی با ایستگاه‌های دیگر نواقص دبی کلیه ایستگاه‌ها تا ۳۰ سال آماری مشترک تکمیل شد.

جداسازی جریان آب پایه: جداسازی جریان پایه، طی فرایند 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. روش‌های مختلفی به منظور تفکیک هیدروگراف جریان توسعه یافته و در پژوهش‌های گذشته مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش، تفکیک هیدروگراف جریان و استخراج جریان پایه و محاسبه شاخص مربوطه با استفاده از سه الگوریتم ساده و سه الگوریتم فیلتر رقومی برگشتی به شرح ذیل و پس از بررسی و آماده‌سازی داده‌های روزانه و ماهانه جریان و به وسیله نرم‌افزار Hydro Office (۲۰۱۲) انجام شد. با استفاده از قابلیت نمایش گرافیکی نرم‌افزار و به کار بردن مقادیر مختلف پارامتر و واسنجی آن با مقادیر مشاهداتی، مقدار پارامتر بهینه مورد نیاز هر روش، تعیین و میزان آب پایه و شاخص مربوطه به روش‌های ذیل استخراج شد.

روش حداقل محلی: این روش به‌عنوان یکی از ساده‌ترین روش‌های تفکیک هیدروگراف بوده و عملکرد آن به طبیعت جریان بستگی ندارد و از حداقل مقادیر دبی در دوره‌های پنج روزه بدون همپوشانی استفاده می‌کند. در این روش، ابتدا حداقل مقادیر دبی در طول مقاطع زمانی پنج روزه تعیین می‌شود، سپس در بین این مقادیر، آن‌هایی که $1/11$ برابر کمتر یا مساوی مقادیر قبل و بعد است انتخاب می‌شوند. این مقادیر انتخابی به‌عنوان نقاط مبنا در نظر گرفته شده و دبی پایه جریان با وصل کردن نقاط مذکور و با

انتخاب شد. با استفاده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تعیین موقعیت ایستگاه‌ها، محدوده مورد پژوهش و هر کدام از زیرحوضه‌ها مشخص و پارامترهای اولیه حوضه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، استخراج شد. با توجه به اهمیت صحت و دقت آمار در مطالعات هیدرولوژی، کوشش شده است، ایستگاه‌های دارای آمار روزانه کامل و بدون نیاز به بازسازی انتخاب شود. سپس شاخص جریان پایه با استفاده از داده‌های روزانه و ماهانه جریان، پس از کنترل سری زمانی و واسنجی روش‌های تفکیک جریان با داده‌های اندازه‌گیری مشاهداتی، با استفاده از شش الگوریتم حداقل محلی^۱، فواصل ثابت^۲، فواصل متحرک^۳، فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره^۴، فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره^۵ و فیلتر رقومی برگشتی لینه و هالیک^۶ با استفاده از نرم‌افزار Office Hydro (۲۰۱۲) استخراج شد. تحلیل آماری مقادیر مستخرج، در محیط نرم‌افزار SPSS انجام شد.

بررسی و آماده‌سازی اطلاعات: در بسیاری از مطالعات هیدرولوژیکی، آگاهی از سری زمانی داده‌های هیدرولوژیکی از موارد ضروری می‌باشد، این در حالی است که در اکثر موارد با فقدان و یا کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری مواجه بوده و نیز عوامل بسیاری وجود دارند که باعث از دست رفتن آمار برخی ایستگاه‌ها می‌شوند، از این رو در ابتدا اقدام به جمع‌آوری، اصلاح، و بازسازی آمار دبی در منطقه پژوهش شد. به‌منظور شناسایی داده‌های پرت، از آزمون داده‌های پرت استفاده شد. آزمون مربوطه برای هر دو وضعیت داده‌های بالا و پایین، انجام شد که برای تعیین آستانه داده‌های پرت بالا از رابطه (۱) و برای تعیین آستانه داده‌های پرت پایین از رابطه (۲) استفاده شد.

$$Y_H = Y + K_n S_y \quad (1)$$

$$Y_L = Y - K_n S_y \quad (2)$$

¹ Local Minimum

² Fixed Interval

³ Sliding Interval

⁴ One Parameter Recursive digital filter (Rdf-One)

⁵ Two parameter Recursive digital filter (Rdf-Two)

⁶ Lynie and Hollick

استفاده از درون‌یابی خطی برآورد می‌شود (Stewart و همکاران، ۲۰۰۷).
روش فواصل ثابت: این روش حداقل مقادیر دبی در هر گام زمانی را به تمام روزهای آن گام نسبت می‌دهد و از پیوستگی مقادیر نسبت داده شده، هیدروگراف جریان پایه را تعیین می‌کند.

جدول ۱- مشخصه‌های حوضه‌های مورد پژوهش

ایستگاه هیدرومتری	کد ایستگاه	مساحت (km ²)	ارتفاع متوسط (m)	شیب متوسط حوضه (%)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
فیروزآباد	۲۱-۱۰۹	۸۶۹	۱۹۵۲	۱۷/۳	۳۴°-۲۱'	۴۸°-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'
خرس‌آباد	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	۳۳°-۴۲'	۴۷°-۱۵'
سازین	۲۱-۱۵۹	۲۶۱۲۸	۱۳۶۵	۲۰	۳۳°-۳۴'	۴۶°-۵۱'
کاکا رضا	۲۱-۱۶۹	۱۱۳۰	۲۰۲۷	۲۴/۱	۳۳°-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 (مازین)	۲۱-۱۸۵	۳۹۴۷۹	۳۵۰	۱۴/۳	۳۳°-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'

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

$$q_{b(i)} \leq q_i \quad (3)$$

که در آن، K پارامتر فیلتر، قابل تعیین توسط ثابت افت منحنی هیدروگراف، $q_{b(i-1)}$ جریان پایه فیلتر شده برای زمان قبل از i ، q_i جریان اصلی رودخانه برای زمان i و $q_{b(i)}$ جریان پایه فیلتر شده، برای زمان نام می‌باشد.

فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره: الگوریتم معرفی شده با رابطه (۴) قابلیت عبور یک‌باره از داده‌های جریان و همچنین قابلیت واسنجی با داده‌های دیگر

روش فواصل متحرک: این روش بر اساس پایین‌ترین دبی یافت شده در قبل و بعد از یک روز خاص $[0.5(2N-1)\text{days}]$ در یک دوره زمانی ثابت، به هر رکورد روزانه در هیدروگراف، یک جریان پایه نسبت می‌دهد.

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 (۳))، اولین بار توسط Chapman و Maxwell (۱۹۹۶) معرفی شد (به نقل از Eckhardt، ۲۰۰۸).

روش‌ها مانند روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها را با تغییر پارامتر C را دارد (Hostetler و Brodie، ۲۰۰۵).

$$q_b(i) = \frac{K}{1+C} q_b(i-1) + \frac{C}{1+C} q_i \quad (4)$$

که در آن، K پارامتر فیلتر، قابل تعیین توسط ثابت افت منحنی هیدروگراف، $q_b(i)$ جریان پایه فیلتر شده، برای زمان i ام، q_i جریان اصلی رودخانه برای زمان i ، $q_b(i-1)$ و اناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی $i-1$ می‌باشد.

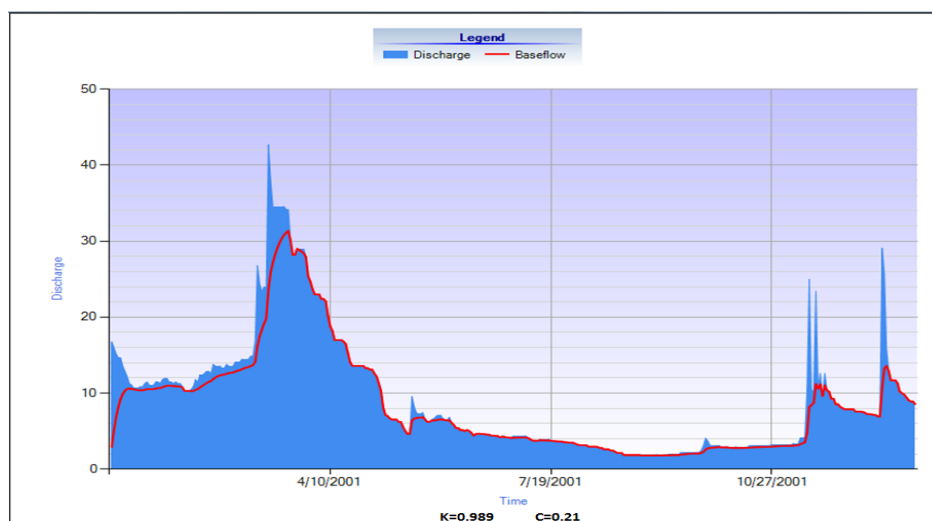
فیلتر رقومی برگشتی لینی و هالیک: الگوریتم معرفی شده با رابطه (۵) به وسیله Hollick و Lyne (۱۹۷۹) معرفی شده که قابلیت عبور سه‌باره از داده‌های جریان را دارد و چند بار عبور از داده‌های جریان باعث پایین آوردن جریان پایه می‌شود و به استفاده کننده قابلیت انعطاف‌پذیری در جدایش دقیق‌تر دبی پایه را می‌دهد.

$$q_f(i) = \alpha q_f(i-1) + (q(i) - q(i-1)) \frac{1+\alpha}{2} \quad (5)$$

$$q_f(i) \geq 0$$

که در آن، $q_f(i)$ رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی i ، $q_f(i-1)$ رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی $i-1$ ، α پارامتر فیلتر مرتبط با حوضه،

می‌باشد. **واسنجی مدل‌ها و محاسبه پارامتر فیلتر:** برای واسنجی مدل‌ها و به‌دست آوردن مقادیر صحیح پارامترهای هر روش، با این فرض که داده‌های جریان مربوط به ماه‌های خشک سال (تیر و مرداد) به‌دلیل عدم وجود بارندگی و عدم تاثیر ذوب برف در جریان رودخانه، تقریباً برابر با جریان پایه است. ابتدا مدل‌ها در محدوده مورد نیاز هر روش با استفاده از داده‌های واقعی و اندازه‌گیری شده مربوط به ماه‌های تیر و مرداد 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 به‌عنوان پارامتر بهینه برای سری زمانی کل داده‌ها اجرا و جریان پایه برای کل دوره مورد پژوهش، تفکیک شد. شکل ۲ 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.



شکل ۲- نمایش گرافیکی تفکیک جریان پایه دوره خشک با استفاده از داده‌های روزانه و به روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره

نتایج و بحث

با توجه به این که مقدار واقعی جریان پایه و شاخص مربوطه ناشناخته است. بدون واسنجی مدل‌ها

با مقادیر واقعی، نتایج تفکیک هیدروگراف از قابلیت اعتماد پائینی برخوردار است. لذا، به این منظور ضرایب فیلترهای استفاده شده در محدوده موردنیاز هر روش و با توجه به بهترین پاسخ داده شده به

گرافیکی نرم‌افزار Hydro Office 12 و مقایسه چشمی انتخاب شد. محدوده پارامترهای به‌دست آمده برای واسنجی روش‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

تغییرات ضرایب و واسنجی مدل‌ها با استفاده از داده‌های ماه‌های خشک سال به‌عنوان داده‌های اندازه‌گیری شده و با استفاده از قابلیت نمایش

جدول ۲- محدوده پارامترهای به‌دست آمده برای واسنجی مدل‌ها

f	N	α	c	k	روش تفکیک
-----	-----	-----	-----	۰/۹۵۳-۰/۹۸۵	فیلتر رقومی برگشتی تک پارامتره
-----	-----	-----	۰/۰۱۷-۰/۰۲۲	۰/۹۶۱-۰/۹۸۹	فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره
-----	-----	۰/۹۶۱-۰/۹۰۰	-----	-----	فیلتر رقومی برگشتی لینه و هالیک
۰/۹۰۰-۰/۹۵	۵-۱۴	-----	-----	-----	حداقل محلی
-----	۵-۱۴	-----	-----	-----	فواصل ثابت
-----	۵-۱۴	-----	-----	-----	فواصل متحرک

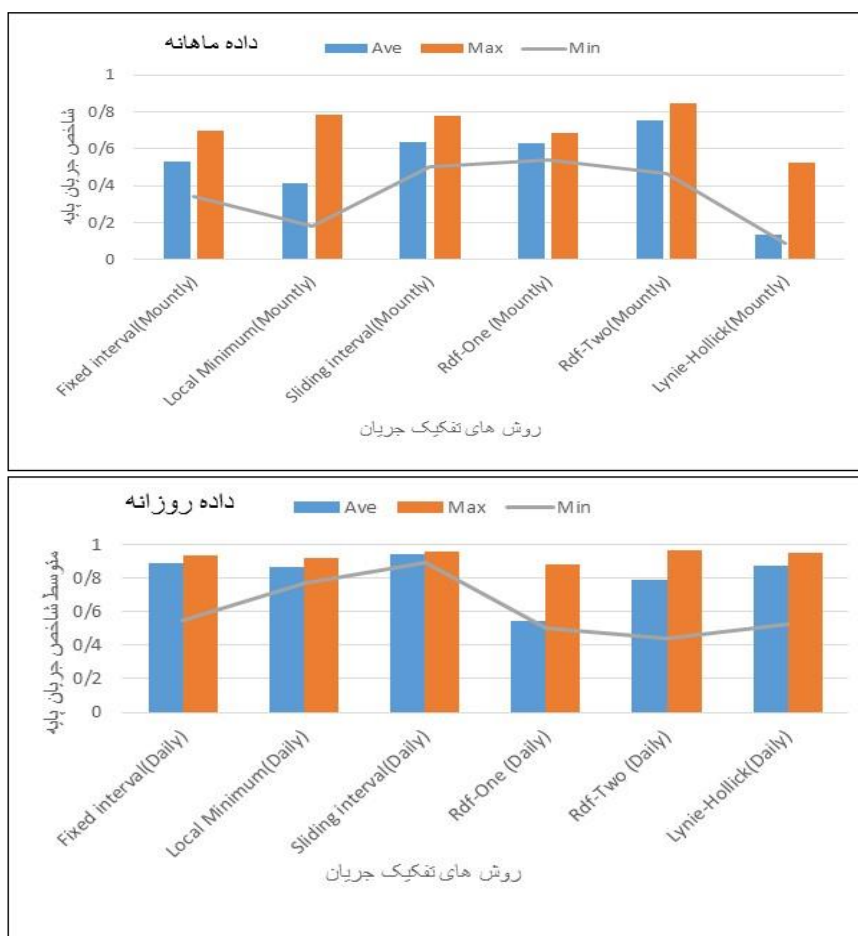
تغییرات حداقل، حداکثر و میانگین شاخص جریان پایه مستخرج از داده‌های روزانه و ماهانه به روش‌های مختلف در کل ایستگاه‌های منطقه پژوهش در شکل ۳ (الف و ب) ارائه شده است. همانگونه که از نمودار مشخص است، آماره‌های حداقل، حداکثر و میانگین شاخص جریان پایه به‌دست آمده از داده‌های روزانه در روش‌های مختلف، نزدیکی بسیاری با هم دارند، ولی این موضوع در خصوص داده‌های ماهانه صدق نمی‌کند. این امر نشانگر این است که روش‌های استفاده شده برای استخراج شاخص جریان از داده‌های روزانه دارای اعتبار و قابلیت اعتماد نزدیک به هم هستند، ولی در خصوص داده‌های ماهانه تمام روش‌ها دارای ارزش یکسانی نیستند. از این رو لازم است با تحلیل سایر آماره‌ها، روش مناسب تفکیک جریان از داده‌های ماهانه را شناسایی نمود.

مقایسه تغییرات میانگین سالیانه شاخص جریان پایه مستخرج از داده‌های روزانه و ماهانه در ایستگاه‌های مورد پژوهش در شکل ۴ ارائه شده است. همانگونه که مشخص است، مقادیر مستخرج از داده‌های روزانه و ماهانه در روش‌های تک و دو پارامتره در کلیه ایستگاه‌ها، مقادیر نزدیک به هم را نمایش می‌دهند، ولی در روش رقومی برگشتی لینه و هالیک مقادیر ماهانه نسبت به روزانه، میزان بسیار زیاد کم‌برآوردی را نشان می‌دهد که عدم امکان اعتماد به این روش برای استفاده در داده‌های ماهانه را نمایان

بعد از به‌دست آوردن پارامترهای مدل‌ها، تفکیک جریان پایه انجام و مقادیر میانگین شاخص جریان پایه در طول دوره مطالعه، به سه روش ساده حداقل محلی، فواصل ثابت، فواصل متحرک و سه روش مبتنی بر فیلترهای رقومی برگشتی یک پارامتره، دو پارامتره و روش لینه و هالیک و با استفاده از داده‌های روزانه و ماهانه محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. خلاصه‌ای از نتایج تحلیل آماری شاخص جریان پایه مستخرج از داده‌های روزانه و ماهانه در جدول ۳ ارائه شده است. پارامتر k که قابل تعیین به‌وسیله ثابت افت منحنی هیدروگراف است، در روش فیلتر رقومی تک پارامتره بین ۰/۹۵۳-۰/۹۸۵ متغیر است و دامنه تغییر این پارامتر برای روش فیلتر رقومی دو پارامتره از حداقل ۰/۹۶۱ تا حداکثر ۰/۹۸۹ در حوضه‌های مختلف متفاوت است.

این مقادیر در مقایسه با میزانی که مستقیماً از روی شیب منحنی افت هیدروگراف به‌دست می‌آید، تطابق نزدیکی دارد و انعکاسی از سرعت بالای فروکش منحنی در حوضه‌های منطقه می‌باشد. در روش فیلتر رقومی لینه و هالیک پارامتر مرتبط با حوزه آبخیز در محدوده ۰/۹۶۱-۰/۹۰۰ برای حوضه‌های مختلف بهینه تشخیص داده شد. در روش‌های ساده فواصل ثابت، متحرک و حداقل محلی گام‌های پنج تا ۱۴ روزه بهینه تشخیص داده شد که این تشابه می‌تواند انعکاسی از نزدیکی مبانی الگوریتم این روش‌ها باشد.

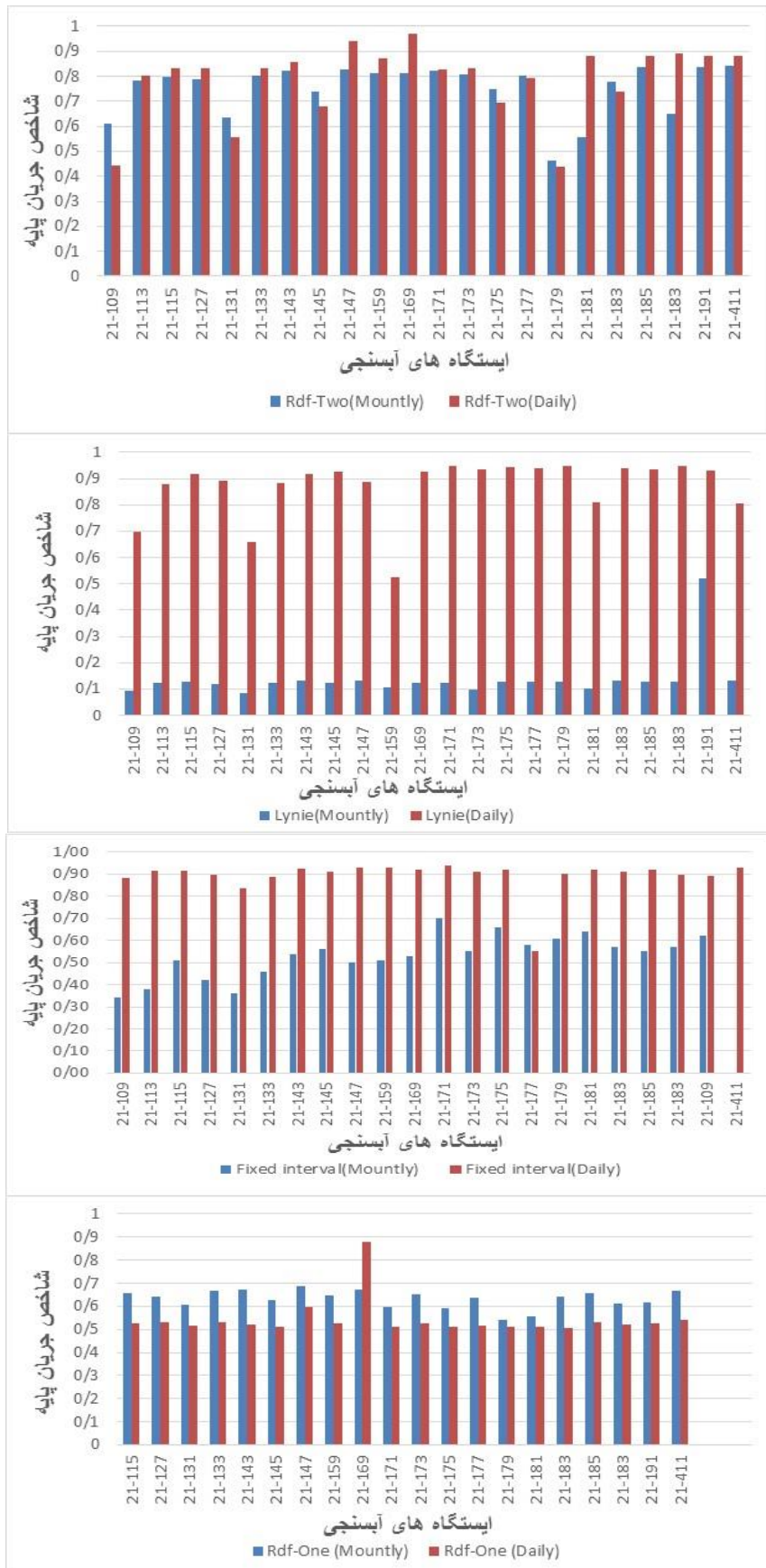
می‌کند. در روش‌های ساده حداقل محلی، فواصل ثابت و فواصل متحرک داده‌های ماهانه در کلیه ایستگاه‌ها، نشان می‌دهند. مقادیر کم‌برآوردی نسبت به داده‌های روزانه را از خود نشان می‌دهند.

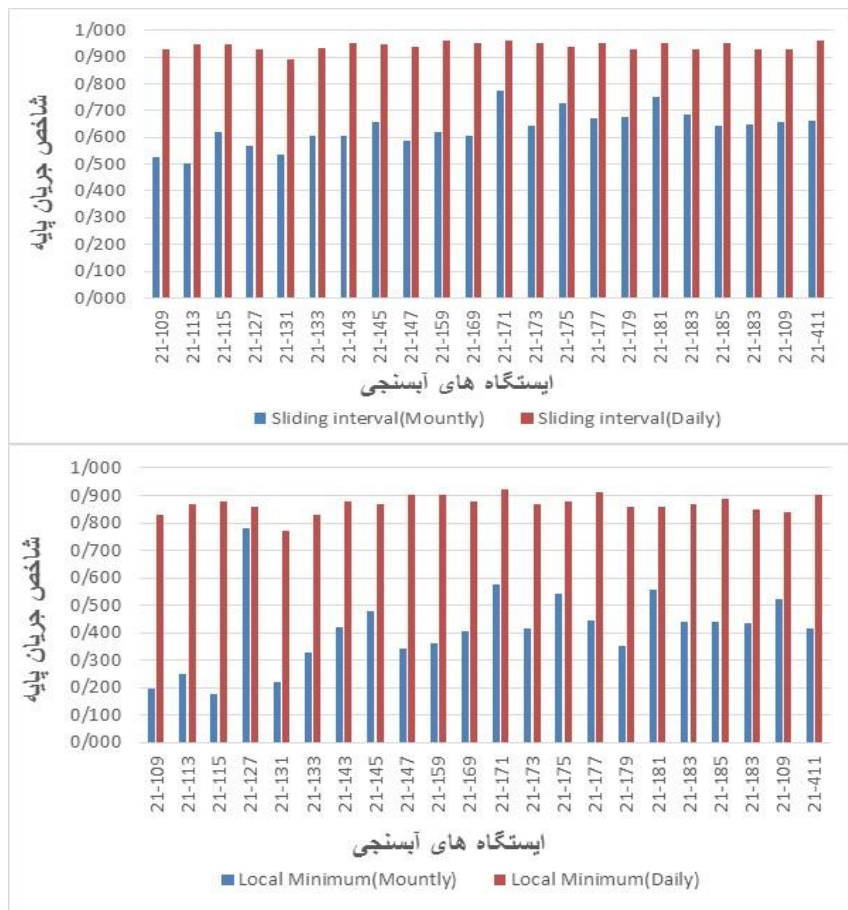


شکل ۳- الف) تغییرات حداقل، حداکثر و میانگین سالیانه شاخص جریان پایه مستخرج از داده‌های ماهانه در کل ایستگاه‌ها و ب) تغییرات حداقل، حداکثر و میانگین سالیانه شاخص جریان پایه مستخرج از داده‌های روزانه در کل ایستگاه‌ها

همچنین، نشان‌دهنده یک آستانه حداقلی و حداکثری برای شاخص جریان پایه در منطقه پژوهش است. بدین معنی که با فرض عدم اعتماد به نتایج یک روش، می‌توان میانگین سالیانه طولانی مدت حداقل و حداکثر به‌دست آمده از چند روش را نیز به‌عنوان مقادیر با قابلیت اعتماد بیشتر برای مطالعات منابع آب در نظر گرفت. مقادیر بالای مشخصه‌های حوزه‌های آبخیز که می‌توانند تاثیر مثبت بر روی جریان پایه و شاخص مربوطه بگذارند، مانند تراکم زهکشی، پوشش گیاهی، بارش و سایر مؤلفه‌های فیزیوگرافی، مؤید مقدار بالای شاخص مورد نظر است. این ارتباط در تطابق با نتایج منتشر شده، توسط Santhi و همکاران (۲۰۰۸) و Bloomfield و همکاران (۲۰۰۹) می‌باشد.

همان‌طور که از مندرجات جدول ۳، قابل دریافت است، قسمت اعظم جریان رودخانه‌ها در منطقه مورد پژوهش مربوط به جریان پایه است و میانگین سالیانه شاخص مربوطه در کل دوره از روش‌های مختلف، با استفاده از داده‌های روزانه بین حداقل ۰/۵۴۴ و حداکثر ۰/۹۴۱ نوسان دارد که به‌ترتیب متعلق به روش تک پارامتره و روش فواصل متحرک است. حداقل مقدار برآوردی با استفاده از داده‌های ماهانه به میزان ۰/۱۳۸ برآورد شده است که به روش لینه و هالیک تعلق دارد و حداکثر آن نیز با مقدار ۰/۷۵۴ به روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره مربوط است. این مقادیر نشان‌دهنده مشارکت بالای آب‌های زیرسطحی در تامین جریان رودخانه می‌باشد.





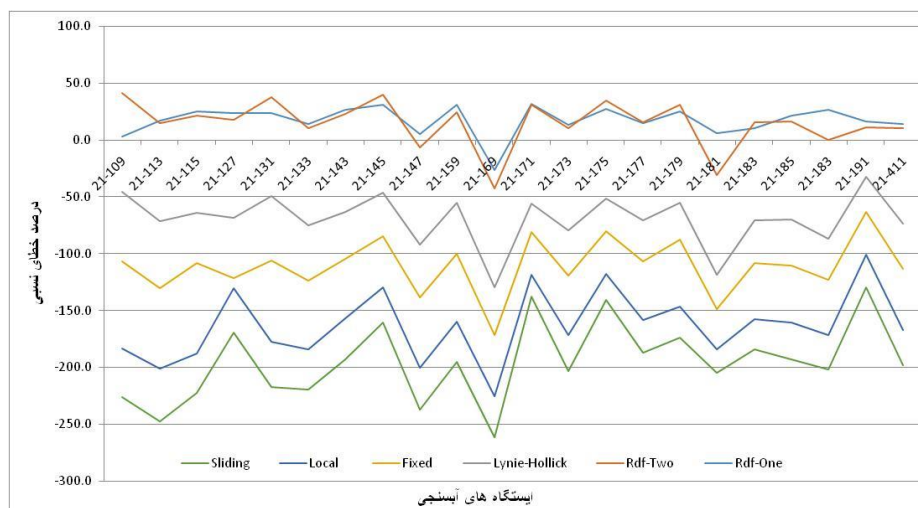
شکل ۴- تغییرات میانگین سالیانه شاخص جریان پایه مستخرج از داده‌های روزانه و ماهانه به روش‌های مختلف در ایستگاه‌های مورد پژوهش

جدول ۳- خلاصه‌ای از نتایج تحلیل آماری شاخص جریان پایه مستخرج از داده‌های روزانه و ماهانه

گام زمانی	فواصل ثابت		فواصل متحرک		حداقل محلی		تک پارامتره		دو پارامتره		لینه و هالیک	
	روزانه	ماهانه	روزانه	ماهانه	روزانه	ماهانه	روزانه	ماهانه	روزانه	ماهانه	روزانه	ماهانه
میانگین	۰/۵۳۳	۰/۹۰۸	۰/۶۳۶	۰/۹۴۱	۰/۴۱۴	۰/۸۶۹	۰/۶۳۰	۰/۵۴۴	۰/۷۵۴	۰/۷۸۸	۰/۱۳۸	۰/۸۷۲
انحراف معیار	۱/۶۴۷	۰/۱۵۴۸	۰/۱۲۵۳	۰/۱۱۶۲	۰/۲۷۸۳	۰/۲۷۷۸	۰/۱۱۳۲	۰/۱۱۰۰	۰/۰۱۱۲	۰/۰۹۰۲	۰/۱۷۳۱	۰/۱۹۳۲
چولگی	-۲/۳۳۲	-۲/۷۴۵	-۲/۸۷۴	-۳/۹۹۲	۴/۲۲۳	۵/۲۸۴	۱/۵۷۳	۱/۶۸۳	۱/۵۷۲	۱/۶۲۱	۲/۳۶۱	-۲/۴۱۹
ریشه میانگین مربعات خطا	۰/۰۲	---	۰/۳۴	---	۰/۰۵	---	۲/۸۱۵	---	۲/۰۱۲	---	۰/۱۲۲	---
میانگین مطلق خطا	۰/۵۳	---	۰/۶۳	---	۰/۴۱	---	۰/۶۳	---	۰/۷۵	---	۰/۱۴	---
خطای نسبی	-۴۱/۴۷	---	-۳۲/۴۵	---	-۵۲/۵۴	---	۱۷/۳۱	---	-۲/۴۵	---	-۸۴/۱۹	---

ثابت، فواصل متحرک و حداقل محلی دارای مقادیر برآوردی کمتر نسبت به داده‌های روزانه می‌باشند. صرف نظر از میزان کم یا بیش برآوردی، روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره، حداقل خطای نسبی به میزان ۲/۴۵ درصد را به خود اختصاص داده است و حداکثر خطای نسبی متعلق به روش لینه و هالیک با ۸۴/۱۹ درصد است. همچنین، روش فیلتر رقومی برگشتی تک پارامتره با میزان خطای نسبی ۱۷/۳۱ درصد در مرتبه دوم قرار دارد. نزدیکی مقادیر برآوردی از داده‌های ماهانه با مقادیر مستخرج از داده‌های روزانه در روش‌های فیلترینگ مورد تایید نتایج به‌دست آمده در پژوهش‌های هاگز در سال ۲۰۰۳ در آفریقای جنوبی است. البته ایشان تنها یک روش فیلترینگ معرفی شده توسط Smakhtin (۲۰۰۱) را مورد پژوهش قرار داده‌اند، در حالی که در این پژوهش شش روش مورد بررسی قرار گرفته است.

تغییرات خطای نسبی شاخص جریان پایه مستخرج از داده‌های ماهانه نسبت به روزانه در ایستگاه‌های منطقه پژوهش حاصله از روش‌های مختلف، از یک روند مشابه پیروی کرد و فراز و فرودهای تقریباً مشابه را تجربه کردند (شکل ۵). این تطابق روندها می‌تواند نشان‌دهنده تشابه مبانی روش‌های مختلف و استقلال این روش‌ها از ماهیت جریان می‌باشد. همچنین، قابلیت اعتماد به نتایج کلی این روش‌ها را مستقل از میزان آن نشان می‌دهد. بدین معنی که مقادیر مستخرج از کلیه روش‌های مورد پژوهش، صرف نظر از برآورد کمتر یا بیشتر از حد تا حدود زیادی می‌تواند نماینده جریان واقعی باشند. همان‌گونه که از نمودارهای شکل (۴) قابل دریافت است، روش‌های فیلتر رقومی تک پارامتره و دو پارامتره دارای میزان بیش برآوردی نسبت به داده‌های روزانه هستند و چهار روش لینه و هالیک، فواصل



شکل ۵- روند تغییرات خطای نسبی شاخص جریان پایه مستخرج از داده‌های ماهانه نسبت به روزانه در ایستگاه‌های منطقه پژوهش

شاخص جریان پایه به روش حداقل محلی و با استفاده از داده‌های روزانه به میزان ۰/۸۶۱ برآورد شده است که دارای انحراف معیاری برابر با ۰/۲۷۷۸ می‌باشد. میانگین همین شاخص با استفاده از داده‌های ماهانه دارای کم برآوردی بسیاری است و مقدار ۰/۴۱۴ را به نمایش گذاشته است، ولی انحراف معیار آن با انحراف معیار مربوط به داده‌های روزانه تقریباً برابر است. همین روند در خصوص روش فواصل متحرک و فواصل ثابت نیز دقیقاً تکرار شده است. بدین صورت که در

با توجه به اینکه مبانی الگوریتم سه روش ساده فیلترینگ فواصل ثابت، حداقل محلی و فواصل متحرک از یک سو و سه روش فیلترینگ رقومی برگشتی تک پارامتره، دو پارامتره و لینه و هالیک دارای تشابه هستند، از این رو مقایسه تمام روش‌ها با هم فاقد منطق علمی است. لذا، برای احتراز از نتیجه-گیری غیرمنطقی، نتایج معیارهای مختلف آماری را به‌طور جداگانه برای این دو گروه مقایسه می‌کنیم. همان‌طور که جدول ۳ نشان می‌دهد، میانگین سالانه

حداکثر آن متعلق به روش تک پارامتره است. همچنین، حداقل ریشه میانگین مربعات خطا نیز به روش لینه و هالیک و حداکثر آن به روش تک پارامتره مربوط است.

حداقل خطای نسبی این سه روش، به روش دو پارامتره با $2/45$ درصد خطا و حداکثر آن به روش لینه و هالیک با $84/19$ درصد خطا تعلق دارد. از منظر چولگی داده‌های روزانه و ماهانه، مقدار مشاهده شده برای هر سه روش ساده گرافیکی، حداقل محلی، فواصل ثابت و فواصل متحرک، خارج از محدوده (۲)، (۲-) است که نشان‌دهنده عدم تبعیت از توزیع نرمال است. چولگی روش‌های فیلتر رقومی برگشتی تک پارامتره و دو پارامتره در محدوده (۲، ۲-) قرار دارد. این بدین معنی است که از لحاظ چولگی متغیر شاخص جریان پایه در روش‌های ذکر شده نرمال بوده و از توزیع متقارن برخوردار می‌باشد. داده‌های مربوط به روش لینه و هالیک به دلیل اینکه مقدار چولگی آن خارج از بازه (۲، ۲-) قرار دارد، از توزیع نرمال برخوردار نیست. برای اطمینان از توزیع نرمال داده‌ها، پس از بررسی چولگی توزیع داده‌ها، آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در سطح پنج درصد انجام و نتایج نشان داد که فقط در روش‌های تک پارامتره و دو پارامتره به علت اینکه آماره این آزمون در خصوص آن‌ها بزرگ‌تر از $0/05$ است، نشان‌دهنده نرمال بودن توزیع داده می‌باشد.

در جمع‌بندی کلی نتایج، با در نظر گرفتن مقادیر آماره انحراف معیار، میانگین مطلق خطا، ریشه میانگین مربعات خطا، خطای نسبی، نحوه چولگی و نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، از میان روش‌های مورد بررسی، روش دو پارامتره به دلیل خطای نسبی کم، میانگین مطلق خطای کم و ریشه میانگین مربعات خطای کمتر به عنوان روش مناسب برای استخراج جریان پایه با استفاده از داده‌های ماهانه در غیاب داده‌های مناسب روزانه، پیشنهاد می‌شود.

این دو روش اخیر نیز مقادیر مستخرج از داده‌های ماهانه کمتر از مقادیر مربوط به داده‌های روزانه است، ولی انحراف معیار داده‌های ماهانه کمی بیشتر از انحراف معیار داده‌های روزانه است. آماره میانگین مطلق خطا در روش‌های سه گانه فوق در یک محدوده $0/41$ تا $0/63$ است و همچنین، میزان ریشه میانگین مربعات خطا در حد $0/02$ تا $0/34$ می‌باشد. حداقل خطای نسبی در این دسته به روش فواصل متحرک با 32 درصد خطا می‌باشد و حداکثر آن به روش حداقل محلی با 52 درصد خطا می‌باشد.

نظر به اینکه ماهیت الگوریتم این سه روش، مبتنی بر گام‌های زمانی روزانه (اغلب پنج روزه) است، لذا به هنگام استفاده از داده‌های ماهانه این گام زمانی عملاً به گام‌های پنج ماهه تبدیل می‌شود که منجر به افزایش امکان خطا و ایجاد کم برآوردی نسبت به داده‌های روزانه شده است و همان‌طور که از مندرجات جدول ۳ مشخص است، نتایج داده‌های ماهانه در هر سه روش دارای کم برآوردی نسبت به داده‌های روزانه می‌باشد.

روش‌های فیلترینگ رقومی برگشتی تک پارامتره، دو پارامتره و لینه و هالیک به دلیل ماهیت عملکرد الگوریتم مربوطه که مبتنی بر تحلیل، پردازش و فیلتر کردن رواناب سطحی با سیگنال‌های با فراوانی بالا از جریان پایه با سیگنال‌های با فراوانی پایین است با همدیگر قابل مقایسه هستند. همان‌طور که از جدول ۳ مشخص است، میانگین سالیانه شاخص جریان پایه با استفاده از داده‌های ماهانه در روش‌های تک پارامتره و دو پارامتره، مقادیر بیش برآوردی را نسبت به داده‌های روزانه نشان می‌دهد. انحراف معیار داده‌های ماهانه در این دو روش نسبت به داده روزانه بیشتر است، ولی این مورد در خصوص روش لینه و هالیک صدق نمی‌کند.

حداقل میانگین مطلق خطای داده‌های ماهانه نسبت به روزانه، مربوط به روش لینه و هالیک و

منابع مورد استفاده

1. Abraham, A. and B. Nath. 2000. Optimal design of neural nets using hybrid algorithms. In Proceedings of The 6th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence (PRICAI 2000- Australia), Lecture Notes in Artificial Intelligence 1886, Mizoguchi R. and J. Slaney (Eds.), Springer Verlag, Germany, ISBN 3540679251, Melbourne, pp. 510-520.

2. Bloomfield, J.P., D.J. Allen and K.J. Griffiths. 2009. Examining geological controls on base flow Index (BFI) using regression analysis: An illustration from the Thames Basin, UK. *Journal of Hydrology*, 373(1-2): 164-176.
3. 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.
4. Brodie, R.S. and S. Hostetler. 2005. A review of techniques for analyzing base-flow from stream hydrographs. The NZHS-IAH-NZSSS, conference, 28 November to 2 December, Auckland, New Zealand.
5. 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), *Renew. Energy*, 36: 2940-2950.
6. 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.
7. Chapman, T. 1999. A comparison of algorithms for stream flow recession and base flow separation. *Hydrological Processes*, 13: 710-714.
8. Li, C., R. Schumer, A. Knust and W. Forsee. 2011. Impact of temporal resolution of flow-duration curve on sediment load estimation. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 48(1): 145-155.
9. Eckhardt, K. 2008. A comparison of base flow indices, which were calculated with seven different base flow separation methods. *Journal of Hydrology*, 352: 168-173.
10. Hughe, D.A., P. Hannart and D. Watkins. 2003. Continuous base flow separation from time series of daily and monthly stream flow data. *Water SA*, 29(1): 43-48.
11. Lyne, V. and M. Hollick. 1979. Stochastic time-variable rainfall-runoff modeling. *Institute of Engineers Australia National Conference Publication*, 89-93.
12. 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.
13. Nathan, R.J. and T.A. McMahon. 1992. Estimating low flow characteristics in ungauged catchments. *Water Resources Management*, 6: 85-100.
14. Porhemmat, J., R. Kazemi and B. Ghermezcheshme. 2011. Regional analysis of water yield and runoff coefficient in Karkhe Basin. Final research project report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 627 pages (in Persian).
15. Santhi, C., P.M. Allen, R.S. Muttiah, J.G. Arnold and P. Tuppad. 2008. Regional estimation of base flow for the conterminous United States by hydrologic landscape regions. *Journal of Hydrology*, 351: 139-153.
16. Smakhtin, V.U. 2001a. Estimating continuous monthly base flow time series and their possible applications in the context of the ecological reserve. *Water SA*, 27(2): 213-217.
17. Smakhtin, V.U. 2001b. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, 240: 147-186.
18. Stewart, M., J. Cimino and M. Ross. 2007. Calibration of base flow separation methods with stream flow conductivity. *Ground water*, 45(1): 17-27.
19. Tallaksen, L.M. 1995. A review of base flow recession analysis. *Journal of Hydrology*, 165(1-4): 349-370.
20. Tallaksen, L.M. and H.A.J. Lanen. 2004. Hydrological drought-processes and estimation methods for stream flow and groundwater. *Developments in Water Sciences* 48. Elsevier B.V., the Netherlands, 580 pages.
21. Vahidiyan, K. and H. Tareghiyan. 2009. An introduction of fuzzy logic for practical applications. Ferdowsi University of Mashhad Press, 220 pages (in Persian).
22. Wang, Y., B. He, and K. Takase. 2009. Effects of temporal resolution on hydrological model parameters and its impact on prediction of river discharge. *Hydrological Sciences Journal*, 54(5): 886-898.
23. Ostrowski, M. and U. Wolf. 1984. Effects of temporal decomposition on parameter estimation for 24 hydrological models (in German). *Gewässerkundliche Mitteilungen*, 28(2): 37-40.
24. Ostrowski, M. 1991. The effect of data accuracy on the results of soil moisture modelling. *International Association of Hydrological Sciences (IAHS) Publications*.