



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و سوم، شماره دوم، ۱۳۹۵

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

## بررسی روش‌های مختلف استخراج جریان پایه با استفاده از شاخص منحنی تداوم جریان (مطالعه موردی: ناحیه خزری)

\* رحیم کاظمی<sup>۱</sup> و باقر قرمز چشمه<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> مری گروه مهندسی حفاظت آب و خاک، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری،

<sup>۲</sup> استادیار گروه هیدرولوژی و توسعه منابع آب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ دریافت: ۹۴/۱/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۱۸

### چکیده

**سابقه و هدف:** استخراج جریان پایه و شاخص مربوطه، همواره یکی از موضوعات مهم در هیدرولوژی بوده و اطلاع از میزان آن نقش مهمی در مدیریت بهینه منابع آب دارد. توسعه روش‌های آنالیز جریان پایه از هیدروگراف جریان، یک تاریخچه طولانی مدت دارد که به پژوهش‌های تئوری و تجربی هورتون، برمی‌گردد. در این خصوص، مرور منابع متعدد و مفیدی برای نشان دادن روند پیشرفت ارائه شده است. روش‌های مختلف آنالیز جریان با استفاده از روش همبستگی، توسط ناتان و مک‌ماهون مورد بررسی قرار گرفت، آن‌ها روش ساده فیلتر رقومی یک پارامتره با ضریب پارامتر ۰/۹۲۵ را پیشنهاد دادند روش‌های مختلف گرافیکی، رقومی و روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها توسط گونزالس و همکاران در حوزه‌های واقع در زمین‌های پست کشور هلند، مورد پژوهش قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها، مطابقت مناسبی با مشاهدات و برداشت‌های صحرائی دارد، آن‌ها نتیجه گرفتند که روش اکهارد روش مناسبی برای حوزه‌های واقع در زمین‌های پست می‌باشد. با بررسی‌های انجام شده، مشخص شد که در رابطه با مقایسه روش‌های مختلف استخراج جریان پایه در اقالیم مختلف در سطح کشور پژوهش کافی انجام نشده است. هدف از این پژوهش، بررسی روش‌های مختلف استخراج جریان پایه با استفاده از شاخص منحنی تداوم جریان، به منظور انتخاب مناسب‌ترین روش است.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش، جریان پایه و شاخص آن با استفاده از جریان روزانه بیست ایستگاه هیدرومتری واقع در ناحیه خزری و الگوریتم‌های حداقل محلی، فواصل ثابت، فواصل متحرک، فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره، فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره، فیلتر رقومی برگشتی B-Flow و فیلتر رقومی برگشتی چاپمن استخراج شد. ضرایب فیلترهای استفاده شده در محدوده مورد نیاز هر روش و با توجه به بهترین پاسخ داده شده به تغییرات ضرایب و با استفاده از قابلیت نمایش گرافیکی نرم‌افزار Hydro Office و مقایسه چشمی انتخاب شد. منحنی تداوم جریان همه ایستگاه‌ها ترسیم و شاخص‌های  $Q_{90}$ ,  $Q_{50}$  و نسبت هیدرولوژیکی  $Q_{90}/Q_{50}$  استخراج شد. مقادیر شاخص جریان پایه به دست آمده با استفاده از معیارهای میانگین مطلق خطا، انحراف معیار، خطای برآورد استاندارد و ضریب تعیین و

\* مسئول مکاتبه: [ra\\_hkazemi@yahoo.com](mailto:ra_hkazemi@yahoo.com)

روابط همبستگی با نسبت هیدرولوژیکی  $Q_{90}/Q_{50}$  تحلیل شد. با توجه به این که شاخص‌های مستخرج از منحنی تداوم جریان با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری و مشاهده‌ای محاسبه می‌گردد و این شاخص به‌عنوان شاخص مربوط به مشارکت منابع آب‌های زیرزمینی در جریان رودخانه شناخته شده است، بنابراین به‌عنوان نماینده جریان واقعی برای بررسی و مقایسه مدل‌های استخراج آب پایه از هیدروگراف جریان رودخانه استفاده شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد، میانگین سالیانه شاخص مربوطه در کل دوره، بین حداقل  $0/56$  و حداکثر  $0/91$  نوسان می‌کند که به ترتیب متعلق به روش فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره و فیلتر رقومی برگشتی B-Flow می‌باشد. این مقدار نشان‌دهنده مشارکت بالای آب‌های زیرسطحی در تامین جریان رودخانه در منطقه پژوهش است. ماتریس همبستگی بین میانگین سالیانه طولانی مدت حاصل از تمام روش‌ها در منطقه مورد پژوهش با شاخص حاصل از منحنی تداوم جریان نشان داد که بالاترین ضریب تعیین، بین روش‌های مختلف با شاخص منحنی تداوم جریان به میزان  $0/82$  بین روش‌های B-Flow و  $Q_{90}/Q_{50}$  بود و کم‌ترین آن به روش چاپمن و فواصل ثابت تعلق گرفت. مقایسه انحراف معیار روش‌ها، نشان داد که روش B-Flow کم‌ترین انحراف معیار را دارد. در ضمن این روش، بالاترین همبستگی را با شاخص منحنی تداوم جریان دارد، بنابراین با توجه به این دو شاخص، روش فیلتر رقومی برگشتی B-Flow نسبت به روش‌های دیگر، گزینه مناسب‌تری تشخیص داده شد. با توجه به معیار میانگین مطلق خطا و خطای برآورد استاندارد، روش یک پارامتره بهترین برآورد را دارد.

**نتیجه‌گیری:** در جمع‌بندی کلی نتایج تحلیل آماری، روش فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره به دلیل حداقل میانگین مطلق خطا، کم‌ترین میزان خطای برآورد استاندارد و همبستگی مناسب با ضریب تعیین  $0/71$  با شاخص تداوم جریان، مناسب‌ترین روش برای استخراج جریان پایه و شاخص آن به دست آمد. این روش در غیاب روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها، به‌عنوان مناسب‌ترین روش در منطقه مورد پژوهش، تشخیص داده شد.

**واژه‌های کلیدی:** تداوم جریان، تفکیک هیدروگراف، حوضه خزر، فیلترهای رقومی، BFI

#### مقدمه

اطلاع از میزان جریان پایه در دسترس و شاخص مربوطه، به‌عنوان عامل مشارکت آب‌های زیرسطحی در آب‌های 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 در فعالیت‌های گسترده‌ای از جمله برای برنامه‌ریزی زمان‌های کم‌آبی و خشک‌سالی، بررسی وضعیت اکوسیستم، برنامه‌ریزی نیازمندی‌های آب شرب، مباحث آلودگی آب رودخانه و چگونگی پخش آلودگی، کاربرد دارد (۴، ۸). توسعه روش‌های

آنالیز جریان پایه از هیدروگراف جریان، یک تاریخچه طولانی مدت دارد که به پژوهش‌های تئوری و تجربی هورتون، بر می‌گردد (۵). در این خصوص، مرور منابع متعدد و مفیدی برای نشان دادن روند پیشرفت ارائه شده است (۱۴، ۲۵، ۲۷). با توجه به نامشخص بودن مقدار واقعی جریان پایه، مطالعات متعددی در خصوص ارزیابی روش‌های مختلف استخراج جریان پایه انجام پذیرفته است. روش‌های مختلف آنالیز جریان با استفاده از روش همبستگی، توسط ناتان و مک‌ماهون (۱۹۹۰) مورد بررسی قرار گرفت، آن‌ها روش ساده فیلتر رقومی یک پارامتره با ضریب پارامتر

روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها، مطابقت مناسبی با مشاهدات و برداشت‌های صحرائی دارد، ولی به دلیل غیرعملی و غیراقتصادی بودن و عدم امکان کاربرد آن در آمار دبی‌های گذشته، روش‌های غیرردیاب را پیشنهاد دادند. همچنین آن‌ها توصیه نمودند که با توجه به مقادیر متفاوت حاصله از این روش‌ها، نتایج آن با نتایج روش ردیاب واسنجی شود. آن‌ها نتیجه گرفتند که روش فیلتر رقومی اکهارد روش مناسبی برای حوزه‌های واقع در زمین‌های پست می‌باشد (۱۲).

از جمله پژوهش‌های انجام شده در داخل کشور، می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد. در پژوهشی، مقایسه‌ای بین روش‌های ساده مقعر، دبی ثابت و شیب ثابت و نیز روش تحلیل شاخه خشکیدگی که توسط گلپایگانی و همکاران (۲۰۰۸) به انجام رسیده است، روش شاخه خشکیدگی را دقیق‌ترین روش دانسته‌اند (۱۰). در پژوهشی که در حوضه سفیدرود، توسط سمیعی و ملکیان (۲۰۱۰) به انجام رسیده است، مدل PART با روش فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره، با استفاده از تحلیل آماری مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین روش‌های برآورد مورد نظر در سطح اطمینان ۹۹ درصد مشاهده نگردید (۲۲). دو روش حداقل محلی و فیلتر رقومی برگشتی با ضرایب مختلف توسط گلپایگانی و قنبرپور (۲۰۰۸) و تیموری و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از آنالیز شاخه نزولی هیدروگراف مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. آن‌ها نتیجه گرفتند که استفاده از فیلتر رقومی برگشتی با ضریب ۰/۹۲۵ مناسب‌تر است (۱۸، ۲۸).

با بررسی‌های به عمل آمده، به نظر می‌رسد در رابطه با مقایسه روش‌های مختلف استخراج جریان پایه و شاخص مربوطه در اقالیم مختلف در سطح

۰/۹۲۵ را پیشنهاد دادند و نتایج حاصل از این روش را با روش‌های قدیمی و گرافیکی متناسب دانسته‌اند (۱۸). روش جدید جداسازی جریان پایه با استفاده از مانیتورینگ سطح آب‌های زیرزمینی توسط مشگی و همکاران (۲۰۱۴) و پتر و همکاران (۲۰۰۵) مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن را با داده‌های حاصل از ردیاب‌ها مقایسه و این روش را قابل اعتماد دانستند (۱۷، ۲۳). روش‌های مبتنی بر فیلترهای رقومی، با استفاده از هدایت جریان الکتریکی توسط اسماختین (۲۰۰۱) مورد پژوهش و ارزیابی قرار گرفت. ایشان این روش را برای واسنجی روش‌های رقومی مناسب تشخیص دادند و به‌طور خاص کاربرد روش HYSEP را برای تمام حوزه‌ها نادرست دانسته و کالیبره کردن آن را با این روش جدید پیشنهاد داده‌اند (۲۵، ۲۶).

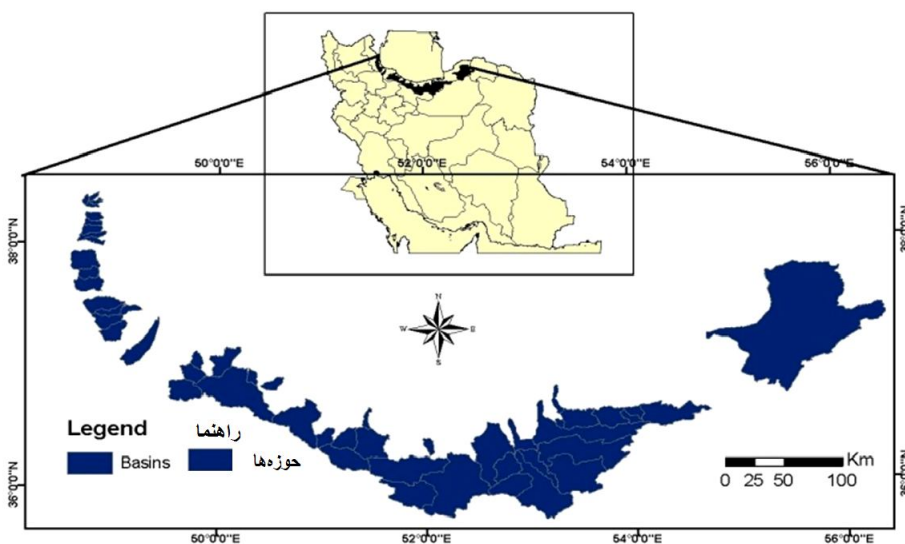
روش‌های مختلف خودکار استخراج جریان پایه، توسط نژادهاشمی و همکاران (۲۰۰۷، ۲۰۰۹) با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در یک دوره ۱۲ ساله و در یک حوزه کوچک ۰/۳۴ هکتاری مورد پژوهش قرار گرفت. ایشان روش فیلتر رقومی بوتون را مناسب دانسته ولی واسنجی با داده‌های اندازه‌گیری شده را لازم دانستند (۱۹، ۲۰). هفت روش مختلف استخراج جریان پایه با استفاده از تحلیل آماری و روش همبستگی توسط اکهارد (۲۰۰۸) مقایسه و تحلیل شده است. در نتایج پژوهش‌های منتشر شده توسط نام‌برده، الگوریتم پیشنهادی تحت عنوان فیلتر رقومی برگشتی اکهارد، مناسب‌ترین روش شناخته شد (۹). روش‌های مختلف گرافیکی، رقومی و روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها توسط گونزالس و همکاران (۲۰۰۹) در حوزه‌های واقع در زمین‌های پست کشور هلند، مورد پژوهش قرار گرفت. نتایج نشان داد که

(شکل ۱). منطقه مورد پژوهش، متأثر از آب و هوای خزری و مدیترانه‌ای است و عمدتاً دارای کاربری جنگل، مرتع و کشاورزی می‌باشد. حداکثر بارش سالیانه در دوره مورد پژوهش (۱۳۶۵-۱۳۷۵) با میزان ۱۱۳۱ میلی‌متر متعلق به حوضه خطبه‌سرا و حداقل آن مربوط به حوضه نور با ۵۰۵ میلی‌متر است. حدود ۲۸ درصد سطح منطقه مورد پژوهش، توسط سازندهای سخت کربناته پوشیده شده است و حداکثر پوشش سطحی سازندهای کربناته متعلق به حوضه سموش هراتبر با پوشش سطحی ۷۵ درصد می‌باشد. به‌طور متوسط ۶۴ درصد پوشش سطحی منطقه پژوهش توسط سازندهای سخت غیرکربناته پوشیده شده است. لیتولوژی این سازندها عمدتاً شامل، ماسه‌سنگ، شیل، آندزیت و توف‌های بازالتی است. پوشش سطحی سازندهای دوران چهارم، بسیار اندک و عمدتاً شامل نهشته‌های پادگانه و مخروط افکنه‌های جوان و قدیم و نهشته‌های ماسه بادی است. ویژگی‌های پایه حوضه‌های مورد پژوهش در جدول (۱) ارائه شده است.

کشور پژوهش کافی انجام نشده است. با توجه به این‌که جریان پایه به‌علت تأثیرات عوامل مختلف مانند کاربری اراضی، خاک، آب و هوا، پوشش، توپوگرافی و زمین‌شناسی از نظر زمانی و مکانی متغیر است. پژوهش روش‌های مختلف استخراج در اقالیم مختلف، موجب دستیابی به اطلاعاتی برای استفاده در مدیریت منابع آب حوزه آبخیز خواهد شد. در این پژوهش، شاخص جریان پایه در یک دوره زمانی مشترک و در تعدادی از حوضه‌های جنگلی شمال کشور، بر اساس روش‌های مختلف، استخراج و بر اساس تحلیل شاخص‌های آماری و با مقایسه با شاخص‌های تداوم جریان مورد پژوهش و بررسی قرار گرفته است.

### مواد و روش‌ها

**معرفی منطقه مورد مطالعه:** محدوده این پژوهش شامل تعداد بیست حوضه واقع در نوار ساحلی دریای خزر است که بین ۳۶ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقه طول شرقی واقع شده است



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی.

Figure 1. Geographical location.

روش پژوهش: برای انجام این پژوهش، ابتدا با بررسی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری، تعداد بیست ایستگاه با آمار مناسب و دوره مشترک سال‌های ۱۳۶۵-۱۳۷۵ انتخاب گردید. با توجه به اهمیت صحت و دقت آمار در مطالعات هیدرولوژی، ایستگاه‌های دارای آمار کامل و بدون نیاز به بازسازی انتخاب شدند. سپس با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و تعیین موقعیت ایستگاه‌ها، محدوده هر یک از حوضه‌های بالادست ایستگاه‌ها مشخص شد و پارامترهای اولیه حوضه در محیط رقومی و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، شبکه هیدروگرافی و کاربری اراضی استخراج گردید. جریان پایه و شاخص مربوطه در ایستگاه‌های مورد نظر با استفاده از سری زمانی روزانه و به روش‌های مختلف فیلترینگ و الگوریتم‌های رقومی برگشتی محاسبه گردید. ضرایب فیلترهای استفاده شده در محدوده مورد نیاز هر روش و با توجه به بهترین پاسخ داده شده به تغییرات ضرایب و با استفاده از قابلیت نمایش گرافیکی نرم‌افزار Hydro Office و مقایسه چشمی انتخاب شد. شاخص منحنی تداوم جریان با استفاده از داده‌های روزانه جریان محاسبه شد. روش‌های مختلفی برای بررسی نتایج و مقایسه روش‌ها، مورد استفاده قرار گرفت که شامل بررسی روند تغییرات حداقل، حداکثر و میانگین شاخص مربوطه در هر ایستگاه، میانگین مطلق

خطا، انحراف معیار، خطای برآورد استاندارد، نسبت خطای برآورد استاندارد به انحراف معیار و بررسی همبستگی مقادیر به‌دست آمده از روش‌های مختلف می‌باشد.

**شاخص جریان پایه:** این شاخص 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 توسط لوییج، توسعه یافته است. این شاخص به‌عنوان یکی از مشخصه‌های هیدرولوژیکی حوزه محسوب می‌شود و بیانگر اطلاعاتی در خصوص مشارکت آب‌های زیرزمینی در آب‌های سطحی می‌باشد (۱۸).

**جداسازی جریان آب پایه:** روش‌های متعددی برای جداسازی جریان پایه از جریان رودخانه توسعه یافته است که به‌طور عمده در گروه‌های ذیل قابل طبقه‌بندی است (۲۵).

**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.

**روش ردیاب‌های شیمیایی:** این روش‌ها مبتنی بر ردیابی و آنالیز فراوانی مواد تزریق شده قبل، بعد و در طی واقعه سیل می‌باشند.

جدول ۱- مشخصه‌های حوزه‌های مورد مطالعه.

Table 1. Properties of study area catchments.

نسبت هیدرولوژیکی $Q_{90}/Q_{50}$	تراکم زمینش Drainage density km/km <sup>2</sup>	دبی مسایانه Annual Debi (m <sup>3</sup> /s)	بارش Precipitation (mm)	کشاورزی % Agriculture%	مرغ % Rangeland%	جنگل (%) Forest %	شیب (%) Slope %	مساحت Area (km <sup>2</sup> )	ارتفاع (متر) Height (m)	پارامتر حوزه Parameter Catchment	کد ایستگاه Code
0.08	2.61	12.41	680	3	35	28	2.85	2703	2014	ریگ چشمه تجن Rig-Cheshme	12-025
0.63	2.67	7.07	657	18	21	60	3.9	1329	2095	سلیمان تنگه - تجن Soleyman Tange	13-019
0.30	2.7	3.29	979	2	00	98	5.46	352	1831	شیرگاه (کسیلیان) Shirgah	14-005
0.64	2.93	2.97	971	6	3	91	7.74	434	1692	بابل رود (قران تالار) Babol Rod	14-011
0.60	3.51	6.6	505	3	95	1	3.21	1181	2722	نور Nor	15-015
0.72	2.79	28.26	536	4	79	14	2.91	3941	2989	کره سنگ Kore sang	15-017
0.22	1.91	15.12	544	0	7	87	15.1	98.10	2378	لاویچ Lavich	16-003
0.66	2.47	16.88	625	1	47	51	5.49	1622	3030	چالوس Chalos	16-021
0.45	2.92	3.4	620	0	82	16	11.3	191	2410	سردابرو (کلاردشت) Sardabrod	16-023
0.71	2.84	22.5	1019	1	43	56	7.11	772.40	1866	چشمه گیله (هراتبر) Cheshme gile	16-041
0.38	2.53	2.64	657	0	27	73	15.9	99.50	2095	سموش (هراتبر) Samosh	16-059
0.38	3.16	4.77	427	1	40	59	4.5	233	1440	توتکابن Totkabon	17-045
0.22	3.43	8.18	727	2	4	95	5.63	228	1413	زیلکی (شهر بیجار) Zilaki	17-051
0.19	2.47	4.91	1080	4	0	96	4.87	127.71	735	دیشام (پاشاکی) Disham	17-055
0.43	2.58	2.12	1110	0	3	97	6.69	125.83	1364	رودبارسرا - چافارود Rodbarsara	18-019
0.43	2.55	5.89	1074	0	15	85	5.72	342.10	1504	شفارود (بونل) Shafarod	18-021
0.49	2.95	7.53	845	0	12	88	6.25	585	1639	کرکانرود (گرگانرود) Karkanrod	18-029
0.25	3.04	1.48	942	3	2	95	11.2	8619	1551	شیرآباد Shir Abad	18-035
0.18	2.91	1.48	1015	0	0	100	12.2	70.03	1203	چوبر (بالامحله) Chobar	18-039
0.27	3.05	0.94	1131	0	0	100	11.3	67.58	1190	خطبه سرا Khotbesara	18-055

فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره<sup>۴</sup>: 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، اولین بار توسط چاپمن و ماکسول (۱۹۹۶) معرفی شد (۷).

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

$$q_{b(i)} \leq q_{(i)}$$

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  $i$  ام است.

پارامتر فیلتر بهینه ( $k$ ) مورد استفاده در این روش برابر  $0/925$  به دست آمده است.

فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره<sup>۵</sup>: الگوریتم معرفی شده با رابطه ۲ قابلیت عبور یکباره از داده‌های جریان و همچنین قابلیت واسنجی با داده‌های دیگر روش‌ها مانند روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها را با تغییر پارامتر  $C$  را دارد (۳).

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

پارامتر فیلتر بهینه مورد استفاده در این روش برابر  $\alpha=0/975$  و  $C=0/5$  انتخاب شده است.

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

جداسازی جریان پایه، به روش گرافیکی اغلب زمان‌بر و غیردقیق است و نتایج به دست آمده توسط متخصصین مختلف یکسان نمی‌باشد. روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها دقیق و قابل اعتماد است ولی زمان‌بر و مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی است 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 خودکار کردن، مشکلات ناشی از عدم همخوانی نتایج را تا حدودی برطرف کرده است. در این پژوهش از هفت الگوریتم جداسازی به شرح ذیل استفاده شده است.

روش حداقل محلی<sup>۱</sup>: این روش به عنوان یکی از ساده‌ترین روش‌های تفکیک هیدروگراف بوده و عملکرد آن به طبیعت جریان بستگی ندارد و از حداقل مقادیر دبی در دوره‌های پنج‌روزه بدون همپوشانی استفاده می‌کند (۲۴).

روش فواصل ثابت<sup>۲</sup>: 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. پارامتر فیلتر بهینه در این روش برابر  $0/9$  با گام زمانی پنج‌روزه تشخیص داده شد.

روش فواصل متحرک<sup>۳</sup>: این روش بر اساس پایین‌ترین دبی یافت شده در قبل و بعد از یک روز خاص در یک دوره زمانی ثابت  $[0.5(2N-1)\text{days}]$ ، به هر رکورد روزانه در هیدروگراف، یک جریان پایه نسبت می‌دهد. گام زمانی پنج‌روزه برای این روش، بهینه تشخیص داده شد.

4- One parameter Recursive Digital Filter (Rdf-One)  
5- Two Parameter Recursive Digital Filter (Rdf-Two)

1- Local Minimum Method  
2- Fixed Interval method  
3- Sliding Interval Method

مرحله زمانی  $i$ ،  $q_{(i-1)}$  جریان کل در مرحله زمانی  $i-1$  می‌باشد.

در این روش پارامتر فیلتر بهینه مورد استفاده برابر  $0/925$  تشخیص داده شد.

**شاخص‌های تداوم جریان:** از دیگر روش‌های کسب اطلاع در خصوص جریان‌های پایه، تحلیل منحنی تداوم جریان و استخراج شاخص‌های مرتبط با آن می‌باشد. شاخص‌های متعددی برای نمایش مشخصه‌های رژیم جریان کمینه یک رودخانه معرفی شده‌اند که عمومی‌ترین آن‌ها شامل  $Q_{90}$ ،  $Q_{95}$ ،  $Q_{90}/Q_{50}$  می‌باشد. در میان آن‌ها  $Q_{90}/Q_{50}$  یک نسبت معمولی است که برای نشان دادن مشارکت جریان آب زیرسطحی در جریان رودخانه استفاده می‌شود (۱۸). با توجه به این‌که شاخص‌های مستخرج از منحنی تداوم جریان بر مبنای داده‌های اندازه‌گیری شده و مشاهداتی می‌باشد. از این شاخص برای مقایسه شاخص‌های جریان پایه مستخرج از روش‌های مختلف و ارزیابی آن‌ها استفاده شده است.

### نتایج و بحث

با توجه به این‌که مقدار واقعی جریان پایه و شاخص مربوطه ناشناخته است، بدون واسنجی با مقادیر اندازه‌گیری شده نمی‌توان گفت، کدام روش مناسب‌ترین برآورد را دارد. در خصوص روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها نیز با وجود دقیق بودن، به دلیل زمان‌بر و هزینه‌بر بودن و عدم امکان کاربرد آن در مورد داده‌های زمان‌های قبل، محدودیت وجود دارد. بنابراین در این پژوهش از معیارهای مختلف آماری برای مقایسه نتایج مستخرج از روش‌های مختلف با شاخص  $Q_{90}/Q_{50}$  حاصله از منحنی تداوم جریان استفاده شد. با توجه به این‌که شاخص‌های مستخرج

برای زمان  $i$ ،  $q_{b(i-1)}$  رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی  $i-1$  است.

**فیلتر رقومی برگشتی لینه و هالیک<sup>۱</sup>:** الگوریتم معرفی شده با رابطه ۳ به‌وسیله لینه و هالیک (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 استفاده‌کننده قابلیت انعطاف‌پذیری در جدایش دقیق‌تر دبی پایه را می‌دهد. بیش‌ترین نتایج قابل‌قبول زمانی است که پارامتر فیلتر در دامنه  $0/95-0/90$  باشد. پارامتر فیلتر بهینه مورد استفاده در این روش برابر  $0/925$  تشخیص داده شد (۱۶).

$$q_{f(i)} = \alpha q_{f(i-1)} + (q_{(i)} - q_{(i-1)}) \frac{1+\alpha}{2} \quad (3)$$

که در آن،  $q_{f(i)} \geq 0$ ، رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی  $i$ ،  $q_{f(i-1)}$  رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی  $i-1$ ،  $\alpha$  پارامتر فیلتر مرتبط با حوزه،  $q_{(i)}$  جریان کل در مرحله زمانی  $i$ ،  $q_{(i-1)}$  جریان کل در مرحله زمانی  $i-1$  و  $q_b = q - q_f$  جریان پایه می‌باشد.

**فیلتر رقومی برگشتی چاپمن<sup>۲</sup>:** این فیلتر، پیرو نقد الگوریتم لینه و هالیک و ادعای غیرصحیح بودن نتایج به‌صورت تئوریک، با رابطه ۴ توسط چاپمن (۱۹۹۱)، معرفی شد (۶).

$$q_{f(i)} = \frac{3\alpha-1}{3-\alpha} q_{f(i-1)} + \frac{2}{3-\alpha} (q_{(i)} - \alpha q_{(i-1)}) \quad (4)$$

که در آن،  $q_b = q - q_f$  جریان پایه،  $q_{f(i)}$  رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی  $i$ ،  $q_{f(i-1)}$  رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی  $i-1$ ،  $\alpha$  پارامتر فیلتر مرتبط با حوزه،  $q_{(i)}$  جریان کل در

1- B-Flow-Lynie & Holick  
2- Recursive Digital Filter (Chapman algorithm)



از منحنی تداوم جریان با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری و مشاهده‌ای محاسبه می‌گردد و این شاخص به‌عنوان شاخص مربوط به مشارکت منابع آب‌های زیرزمینی در جریان رودخانه توسط ناتان و مک‌ماهون (۱۹۹۰) معرفی شده است، بنابراین می‌تواند، معیار مناسبی برای بررسی مدل‌های استخراج آب پایه از هیدروگراف جریان رودخانه باشد.

شاخص جریان پایه از روش‌های مختلف، استخراج و میانگین سالیانه محاسبه و میانگین سالیانه آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که از جدول، 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، بین حداقل ۰/۵۶ و حداکثر ۰/۹۱ نوسان دارد که به‌ترتیب متعلق به روش فیلتر رقومی برگشتی تک‌پارامتره و روش B-Flow است.

این مقدار نشان‌دهنده مشارکت بالای آب‌های زیرسطحی در تامین جریان رودخانه در منطقه پژوهش است. همچنین نشان‌دهنده یک آستانه حداقلی و حداکثری برای شاخص جریان پایه در منطقه است. بدین معنی که با فرض عدم اعتماد به نتایج یک روش، می‌توان میانگین سالیانه طولانی‌مدت 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 بر روی جریان پایه و شاخص مربوطه تأثیر بگذارند (جدول ۱)، مانند تراکم زهکشی، پوشش گیاهی، بارش و سایر مؤلفه‌های فیزیوگرافی و زمین‌شناسی مؤید مقدار بالای شاخص موردنظر بود. همبستگی بین پارامترهای بارش، درصد

پوشش جنگل، در صد پوشش زمین‌های کشاورزی، چگالی آبراهه و مساحت کل حوزه با شاخص جریان پایه، مثبت است. از سوی دیگر، همبستگی بین درصد پوشش مرتع و شاخص جریان پایه، منفی است. بنابراین استخراج روابط بین متغیرهای حوزه و شاخص جریان پایه، مستلزم تحلیل آماری دقیق در غالب روابط چندمتغیره است که موضوع بحث اصلی این پژوهش نیست (کاظمی و اسلامی، ۲۰۱۳). همچنین تفاوت مقادیر شاخص جریان پایه مستخرج از یک روش در حوزه‌های مختلف نیز انعکاسی از مشخصه‌های حوزه بود. این ارتباط در تطابق با نتایج منتشر شده، توسط سانتی و همکاران (۲۰۰۸)، بلوم‌فیلد و همکاران (۲۰۰۹) و کرول و همکاران (۲۰۱۳) می‌باشد (۲، ۱۳، ۱۵، ۲۳).

تغییرات مقادیر حاصله از روش‌های مختلف در تمام حوزه‌ها، از یک روند مشابه پیروی کرد و فراز و فرودهای تقریباً مشابه را تجربه کردند (شکل ۲-الف، ۲-ب). این تطابق روندها می‌تواند نشان‌دهنده تشابه مبانی روش‌های مختلف و استقلال این روش‌ها از ماهیت جریان باشد. همچنین قابلیت اعتماد به نتایج کلی این روش‌ها را مستقل از میزان آن نشان می‌دهد. بدین معنی که مقادیر مستخرج از همه روش‌های مورد پژوهش، صرف‌نظر از برآورد کم‌تر یا بیش‌تر از حد تا حدود زیادی می‌تواند نماینده جریان واقعی باشد.

از نظر محدوده تغییرات میانگین شاخص جریان پایه، دو دسته جداگانه قابل تشخیص بود. یک دسته شامل مقادیر حاصل از چهار روش حداقل محلی، فواصل ثابت، فواصل متحرک و فیلتر رقومی برگشتی B-Flow با محدوده تغییرات بین ۰/۷۸ تا ۰/۹۱ می‌باشد که به‌ترتیب مربوط به روش حداقل محلی و

سادگی محاسبه، برآورد بیش‌تر از حد دارند و قابلیت اعتماد کم‌تری دارند. ولی بر مبنای اندازه حوزه می‌توان، گام‌های زمانی مربوطه را در مدل تغییر داد تا به نتایج مناسب‌تری دست یافت.

آزمون خطای برآورد استاندارد، برای تشخیص یکسان بودن میانگین برآورد شده نمونه‌ای، با میانگین جامعه استفاده شد. اگر تفاوت کم باشد، این تفاوت معلول تغییرپذیری نمونه‌ای شناخته می‌شود، ولی اگر زیاد باشد، نتیجه گرفته می‌شود که برآورد نمونه‌ای با پارامتر جامعه یکسان نیست. این معیار خطای برآورد استاندارد ( $S_e$ ) اغلب معیار مناسبی برای برآورد دقت مدل‌ها است و با رابطه ۵ محاسبه می‌شود. بنابراین مقدار کم‌تر ( $S_e$ ) می‌تواند، نشان‌دهنده دقت بالاتری در برآورد مربوطه باشد (۱).

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y')^2}{N}} \quad (5)$$

که در آن،  $Y'$  مقدار پیش‌بینی شده،  $Y$  مقدار واقعی و  $N$  تعداد است.

نتایج مندرج در جدول ۳ نشان‌دهنده این است که روش یک‌پارامتره و چاپمن، کم‌ترین میزان خطای برآورد استاندارد را نشان می‌دهند و بیش‌ترین خطا نیز مربوط به روش‌های حداقل محلی و فواصل ثابت می‌شود. در ضمن نسبت بین خطای برآورد استاندارد و انحراف معیار ( $S_e/S_d$ )، توسط ایوب و مک‌کوئین (۲۰۱۱) نیز به‌عنوان معیار مقایسه مدل‌ها معرفی شده است، بدین صورت که هرچه این نسبت کم‌تر باشد، نشان‌دهنده برآورد مناسب‌تر آن مدل است. این نسبت برای روش چاپمن کم‌ترین میزان را نشان داده و این روش را به‌عنوان مناسب‌ترین روش معرفی می‌کند (۱).

ماتریس همبستگی بین میانگین سالیانه طولانی‌مدت حاصل از تمام روش‌ها در منطقه مورد پژوهش با

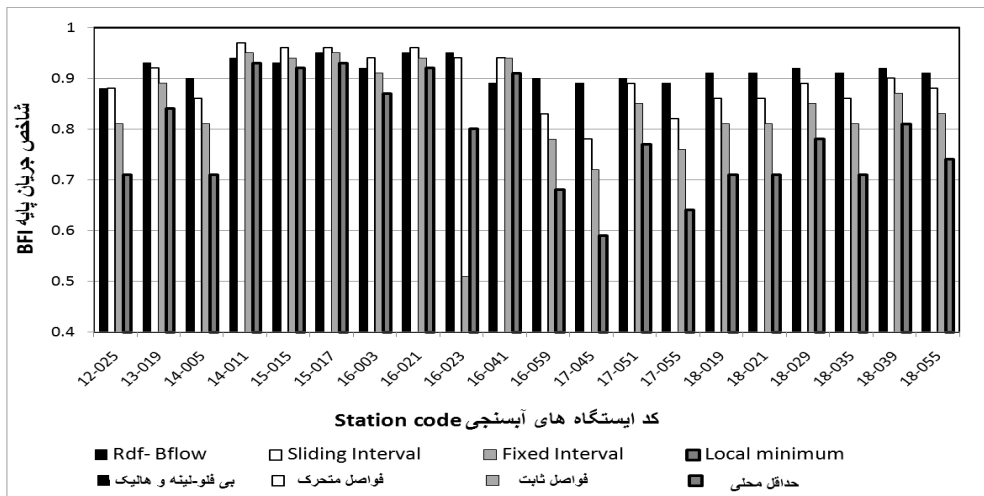
B-Flow بود (شکل ۲- الف). دسته دیگر، با محدوده تغییرات بین ۰/۵۷ تا ۰/۶۱ شامل روش‌های مبتنی بر فیلترهای رقومی یک و دوپارامتره و الگوریتم چاپمن است، که به‌ترتیب مربوط به فیلتر یک‌پارامتره و دوپارامتره بود (شکل ۲- ب). تطابق روند تغییرات و نزدیکی محدوده تغییرات، بدین معنی است که میانگین طولانی‌مدت شاخص جریان پایه به‌دست آمده از این روش‌ها نزدیکی زیادی به هم دارند و همچنین روند مشابهی را تجربه می‌کنند. این تشابه نشان‌دهنده این است که استفاده از یکی از این روش‌ها می‌تواند انتظارات موردنظر مطالعات منابع آب را برآورد کند.

خلاصه‌ای از نتایج تحلیل آماری مقادیر شاخص جریان پایه سالیانه روش‌های مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که از جدول مذکور قابل دریافت است، تفکیک جریان به روش رقومی یک‌پارامتره با میزان ۰/۲۵۴ کم‌ترین میانگین مطلق خطا و فیلتر رقومی برگشتی B-Flow با ۰/۵۶۲ بیش‌ترین میانگین مطلق خطا را نسبت به شاخص تداوم جریان از خود نشان می‌دهند. این مورد با نتایج منتشر شده، توسط قنبرپور و همکاران (۲۰۰۹) و تیموری و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد (۱۰، ۲۸).

آماره انحراف معیار، نشان داد که به‌طور میانگین داده‌ها چه مقدار از مقدار متوسط فاصله دارند، هرچه این میزان به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده این است که داده‌ها به میانگین نزدیک‌تر هستند. انحراف معیار مقادیر حاصله از روش‌های هفت‌گانه نشان‌دهنده این است که روش B-Flow کم‌ترین انحراف معیار را از خود نشان می‌دهد. بیش‌ترین انحراف معیار مربوط به روش‌های حداقل محلی و فواصل ثابت است. این دو روش اخیر علی‌رغم

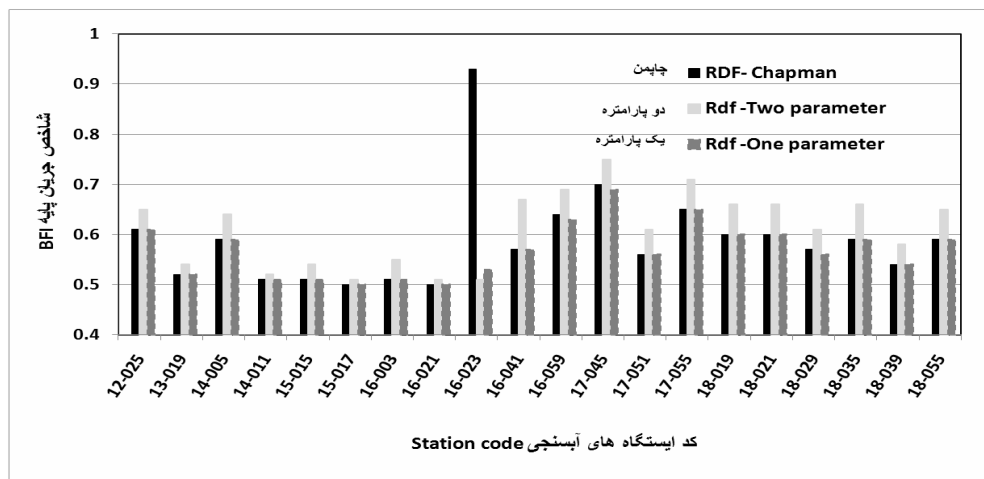
یک و دو پارامتره، B-Flow و فواصل متحرک و حداقل محلی، همبستگی مناسبی با شاخص منحنی تداوم جریان دارند. این میزان همبستگی، نشان‌دهنده این است که در صورت عدم امکان استفاده از روش‌های مبتنی بر ردیاب، استفاده از هر کدام از این روش‌ها می‌تواند، حداقل انتظارات مورد نظر یک پژوهشگر منابع آب را برآورده کند.

شاخص حاصل از منحنی تداوم جریان در جدول (۴) ارائه شده است. همان‌طور که از نتایج مندرج در جدول فوق مشخص است، بالاترین ضریب تعیین، بین روش‌های مختلف با شاخص منحنی تداوم جریان به میزان ۰/۸۲ بین روش‌های B-Flow و  $Q_{90}/Q_{50}$  به دست آمده است و کم‌ترین آن مربوط به روش چاپمن و فواصل ثابت است. در مجموع روش‌های



شکل ۲- الف- هیستوگرام شاخص جریان پایه در حوزه‌های مورد پژوهش.

Figure 2a. Histogram of base flow index in catchments of study area.



شکل ۲- ب- هیستوگرام شاخص جریان پایه در حوزه‌های مورد پژوهش.

Figure 2b. Histogram of base flow index in catchments of study area.

جدول ۲- میانگین سالیانه شاخص جریان پایه.

Table 2. Mean annual of base flow index.

چاپمن Chapman	فیلتر رقمی بی‌فلو B-Flow	فیلتر رقمی برگشتی دوپارامتره Rdf-Two	فیلتر رقمی برگشتی یک پارامتره Rdf-One	فواصل متحرک Sliding Interval	فواصل ثابت Fixed Interval	حداقل محلی Local Minimum	روش Method گیره Catchment	کد ایستگاه Code
0.61	0.88	0.65	0.61	0.88	0.81	0.71	ریگ چشمه تجن Rig-Cheshme	12-025
0.52	0.93	0.54	0.52	0.92	0.89	0.84	سلیمان تنگه - تجن Soleyman Tange	13-019
0.59	0.90	0.64	0.59	0.86	0.81	0.71	شیرگاه (کسیلیان) Shirgah	14-005
0.51	0.94	0.52	0.51	0.97	0.95	0.93	بابل رود (قران تالار) Babol Rod	14-011
0.51	0.93	0.54	0.51	0.96	0.94	0.92	نور Nor	15-015
0.50	0.95	0.51	0.50	0.96	0.95	0.93	کره سنگ Kore sang	15-017
0.57	0.89	0.67	0.57	0.94	0.94	0.91	لاویچ Lavich	16-003
0.93	0.95	0.51	0.53	0.94	0.51	0.80	چالوس Chalos	16-021
0.51	0.92	0.55	0.51	0.94	0.91	0.87	سردابروود (کلاردشت) Sardabrod	16-023
0.50	0.95	0.50	0.50	0.90	0.90	0.92	چشمه گیله (هراتبر) Cheshme gile	16-041
0.64	0.90	0.69	0.63	0.83	0.78	0.68	سموش (هراتبر) Samosh	16-059
0.56	0.90	0.61	0.56	0.89	0.85	0.77	توتکابن Totkabon	17-045
0.65	0.89	0.71	0.65	0.82	0.76	0.64	زیلکی (شهر بیجار) Zilaki	17-051
0.70	0.89	0.75	0.69	0.78	0.72	0.59	دیشام (پاشاکی) Disham	17-055
0.59	0.91	0.65	0.59	0.88	0.83	0.74	رودبارسرا - چافرود Rodbarsara	18-019
0.57	0.92	0.61	0.56	0.89	0.85	0.78	شفارود (پونل) Shafarod	18-021
0.54	0.92	0.58	0.54	0.90	0.87	0.81	کرکانرود (گرگانرود) Karkanrod	18-029
0.60	0.91	0.66	0.60	0.86	0.81	0.71	شیرآباد Shir Abad	18-035
0.60	0.91	0.66	0.60	0.86	0.81	0.71	چوبر (بالامحله) Chobar	18-039
0.59	0.90	0.60	0.50	0.80	0.81	0.71	خطبه سرا Khotbesara	18-055

جدول ۳- خلاصه‌ای از نتایج تحلیل آماری.

Table 3. Summary of the result of statistical analysis.

میانگین مطلق خطا (MAE)	خطای برآورد استاندارد $S_e$	انحراف معیار ( $S_d$ )	$S_0/S_d$	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Mean	شاخص آماری
							Statistical Indicators
							روش
							Method
0.431	0.07	0.10	0.740	0.93	0.5	0.78	حداقل محلی Local minimum
0.492	0.86	0.10	0.860	0.95	0.83	0.88	فواصل ثابت Fixed Interval
0.543	0.95	0.50	0.900	0.97	0.51	0.89	فواصل متحرک Sliding Interval
0.254	0.38	0.05	0.760	0.69	0.50	0.56	فیلتر رقومی یک پارامتره Rdf-One
0.292	0.048	0.07	0.868	0.78	0.61	0.75	فیلتر رقومی دو پارامتره Rdf-Two
0.562	0.099	0.020	4.950	0.95	0.51	0.91	بی‌فلو- لینه و هالیک B-Flow
0.270	0.040	0.90	0.444	0.93	0.58	0.59	چاپمن Chapman

جدول ۴- ماتریس همبستگی روش‌های مختلف و شاخص  $Q_{90}/Q_{50}$ .

Table 4. Correlation matrix of different methods and  $Q_{90}/Q_{50}$  index.

نسبت هیدرولوژیکی $Q_{90}/Q_{50}$	چاپمن Chapman	فیلتر رقومی بی‌فلو B-Flow	فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره Rdf-Two	فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره Rdf-One	فواصل متحرک Sliding Interval	فواصل ثابت Fixed Interval	حداقل محلی Local Minimum	
0.64	0.33	0.49	0.71	0.88	0.96	0.88	1	حداقل محلی Local Minimum
0.08	0.94	0.005	0.005	0.15	0.16	1		فواصل ثابت Fixed Interval
0.78	0.20	0.45	0.71	0.84	1			فواصل متحرک Sliding Interval
0.71	0.26	0.69	0.91	1				فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره Rdf-One
0.78	0.12	0.81	1					فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره Rdf-Two
0.82	0.05	1						فیلتر رقومی بی‌فلو B-Flow
0.04	1							چاپمن Chapman
1								نسبت هیدرولوژیکی $Q_{90}/Q_{50}$

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج برآورد جریان پایه به روش‌های مختلف، نشان داد که سهم مشارکت آب‌های زیرسطحی در جریان رودخانه بین حداقل ۰/۵۶ و حداکثر ۰/۹۱ نوسان دارد که به ترتیب، متعلق به برآورد روش فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره و روش B-Flow بود. این مقدار شاخص جریان در منطقه پژوهش، بیانگر مشارکت بالای آب‌های زیرسطحی در تامین آب رودخانه‌های منطقه پژوهش است. در جمع‌بندی کلی نتایج تحلیل آماری، فیلتر رقومی یک پارامتره به دلیل حداقل میانگین مطلق خطا، کم‌ترین میزان خطای

برآورد استاندارد، انحراف معیار کم و همچنین میزان همبستگی مناسب با ضریب تعیین ۰/۷۱ با شاخص منحنی تداوم جریان، در غیاب روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها، به‌عنوان مناسب‌ترین روش در منطقه مورد پژوهش، تشخیص داده شد.

### سپاسگزاری

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

### منابع

1. Ayyub, B.M., and McCuen, R.H. 2011. Probability, statistics, and reliability for engineers and scientists. 3 Editions, Boca Raton, FL: CRC Press, 605p.
2. Bloomfield, J.P., Allen, D.J., and Griffiths, K.J. 2009. Examining geological controls on base flow Index (BFI) using regression analysis: An illustration from the Thames Basin, UK. J. Hydrol. 373: 164-176.
3. Boughton, W.C. 1993. A hydrograph-based model for estimating the water yield of ungauged catchments. Hydrology and Water Resources Conference, Institution of Engineers, Australia, National. Conference Publication no. 93/14: 317-324.
4. Brauman, K.A., Daily, G.C., Duarte, T.K., and Mooney, H.A. 2007. The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services. Annu. Rev. Environ. Resour. 32: 67-98.
5. Brodie, R.S., and Hostetler, S. 2005. A review of techniques for analyzing base-flow from stream hydrographs. The NZHS-IAH-NZSSS conference, 28 November–2 December, Auckland, New Zealand.
6. Chapman, T.G. 1991. Comment on evolution of automated techniques for base flow and recession analyses. J. Water Resour. Res. 26: 1783-1784.
7. Chapman, T.G., and Maxwell, A.I. 1996. Base flow separation-comparison of numerical methods with tracer experiments. Hydrological and Water Resources Symposium, Institution of Engineers Australia, Hobart, Pp: 539-545.
8. Cyr, J., Landry, M., and Gagnon, Y. 2011. Methodology for the large-scale assessment of small hydroelectric potential: Application to the province of New Brunswick (Canada), Renew. Energy. 36: 2940-2950.
9. Eckhardt, K. 2008. A comparison of base flow indices, which were calculated with seven different base flow separation methods. J. Hydrol. 352: 168-173.
10. Ghanbarpour, M., Teimouri, M., and Gholami, S. 2009. Comparison of base flow estimation methods based on hydrograph separation (Case study: Karun Basin). J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 12: 44. 1-13. (In Persian)
11. Golpayeghani, M., and Ghanbarpour, M.R. 2008. Investigation of hydrograph separation methods and its application in hydrology. 4<sup>th</sup> national watershed management science and engineering conference, Iran. (In Persian)
12. Gonzales, A.L., Nonner, J., Heijkers, J., and Uhlenbrook, S. 2009. Comparison of different base flow separation methods in lowland catchment. J. Hydrol. Earth Syst. Sci. 13: 2055-2068.

13. Kazemi, R., and Eslami, A.R. 2013. Investigation of geologival formation and hydrological parameter on base flow index, case study: Khazar region Watershed Engineering and Management. 5: 85-93. (In Persian)
14. Klaus, J., and McDonnell, J.J. 2013. Hydrograph separation using stable isotopes: Review and evaluation. *J. Hydrol.* 505: 47-64.
15. Kroll, C.N., Luz, J.G., Allen, T.B., and Vogel, R.M. 2004. Developing a watershed characteristics database to improve low stream flow prediction. *J. Hydrol. Engin. ASCE.* 9: 116-125.
16. Lyne, V., and Hollick, M. 1979. Stochastic time variable rainfall runoff modeling. Hydrology and Water Resources Symposium Berth, National Committee on Hydrology and Water Resources of the Institution of Engineers, Australia, Pp: 89-92.
17. Meshgi, A., Schmitter, P., Vladan, B., and May Chui, T.F. 2014. An empirical method for approximating stream base flow time series using groundwater table fluctuations. *J. Hydrol.* 519: 1031-1041.
18. Nathan, R.J., and McMahon, T.A. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *J. Water Resour. Res.* 26: 1465-1473.
19. Nejadhashemi, A.P., Sheridan, J.M., Shirmohammadi, A., and Montas, H.J. 2007. Hydrograph separation by incorporating climatologically, factors: Application to small experimental watersheds. *J. Amer. Water Resour. Assoc. (JAWRA).* 43: 744-756.
20. Nejadhashemi, A.P., Shirmohammadi, A., Sheridan, J.M., and Montas, H.J. 2009. Case study: Evaluation of stream flow partitioning methods. *J. Irrig. Drain. Engin.* 135: 6. 791-801.
21. Peters, E., and Van Lanen, H.A.J. 2005. Separation of base flow from stream flow using groundwater levels-illustrated for the Pang catchment (UK). *J. Hydrol. Proc.* 19: 921-936.
22. Samiei, M., and Malekiyan, A. 2010. Comparison of base flow separation methods using recursive digital filter and PART model. 6<sup>th</sup> national watershed management science and engineering conference, Iran. (In Persian)
23. Santhi, C., Allen, P.M., Muttiah, R.S., Arnold, J.G., and Tuppard, P. 2008. Regional estimation of base flow for the conterminous United States by hydrologic landscape regions. *J. Hydrol.* 351: 139-153.
24. Sloto, R.A., and Crouse, M.Y. 1996. HYSEP: A computer program for stream flow hydrograph separation and analysis. U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations, Pennsylvania. Report 96-4040, 46p.
25. Smakhtin, V.Y. 2001. Low flow hydrology: a review. *J. Hydrol.* 240: 147-186.
26. Stewart, M., Cimino, J., and Ross, M. 2007. Calibration of base flow separation methods with stream flow conductivity. *Ground water.* 45: 17-27.
27. Tallaksen, L.M. 1995. A review of base flow recession analysis. *J. Hydrol.* 165: 1-4. 349-370.
28. 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 Azerbaijan Province. *J. Sci. Technol. Agric. Resour. Water and Soil Science.* 15: 219-228. (In Persian)



## **Investigation of different base flow separation methods using flow duration indices (Case study: Khazar region)**

**\*R. Kazemi<sup>1</sup> and B. Ghermez Cheshmeh<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instructor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute,

<sup>2</sup>Assistant Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Received: 04/18/2015; Accepted: 12/09/2015

### **Abstract**

**Background and Objectives:** Extraction of the base flow index (BFI) has been one of the most important issues in hydrology and plays a key role in the optimal water resources management. Development of the base flow analysis from the hydrograph has a long-term history which date back to the theoretical and experimental research of Horton. In this regard, numerous and useful literature review is presented to show progress. Different methods of hydrograph separation were examined using correlation analysis by Nathan and McMahon. They suggested a simple one parameter digital filter with 0.925 coefficients. Different graphical, digital and tracing methods were studied in the catchments of the lowlands of the Netherlands by Gonzalez. Results showed that Eckhart algorithm is a good method in the lowlands. Literature review showed that In relation to the comparison of different base flow separation methods on the basis of different climates, enough research has not been done in the country. The aim of this study is investigation of different base flow separation methods using flow duration curve indices In order to select the most appropriate method.

**Materials and Methods:** In this research, the base flow and BFI were extracted using daily flows of twenty gauging station located in the Khazar region. Seven algorithms were selected, four based on recursive digital filter (One-parameter algorithm, Boughton two parameter algorithm, B-Flow and Chapman algorithm) and the others on simple smoothing (Local minimum, Fixed interval, Sliding interval). Filter coefficients selected in the range required for each method according to the best response to changes in the coefficients and using the graphical display of Hydro Office software. Flow duration curve of all the stations traced and their indices were extracted. Results were evaluated using different statistical methods (Mean absolute error, Standard deviation and Standard error of estimate, Coefficient of determination and Correlation Matrix) with respect to flow duration indices. Since the parameters extracted from the flow duration curve is calculated using the measured and observational data and this index known as an indicator of the groundwater contribution to the steam flow. Therefore, as representative of the actual flow were used for comparison of hydrograph separation models.

**Results:** The results showed that the average annual of BFI, fluctuate between 0.56 and 0.91, which related to one parameter recursive digital filter and B-Flow algorithms. This value represents a high ground water contribution in stream flow in the study area. Correlation matrix between different set of BFI values and flow duration curve indices showed high value of coefficient of determination between B-Flow method and  $Q_{90}/Q_{50}$  and the lowest were identified between Chapman and Fixed intervals. Comparison of Standard deviation of different methods showed that B-Flow has the lowest standard deviation. In addition, this method has the highest correlation with the flow duration curve index. On the basis of these two criteria's, B-Flow recursive digital filter compared to other, was diagnosed as a better option. According to the Mean absolute error and Standard error of estimate, one parameter method had the best estimate.

**Conclusions:** The overall conclusion obtained using different statistical tests were found to yield suitable estimation of base flow index by one parameter algorithm because of low Mean absolute error, the lowest Standard error of estimate and 0.71 coefficient of determination with flow duration curve index. This method in the absence of tracing methods, were diagnosed as the most appropriate method in the study area.

**Keywords:** BFI, Digital filter, Flow duration, Hydrograph separation, Khazar basin

---

\* Corresponding Author; Email: ra\_hkazemi@yahoo.com