مقایسه شاخص جریان پایه در روش‌های مختلف تجزیه هیدروگراف جریان در تعدادی از رودخانه‌های استان آذربایجان غربی

مهدی تیموری[۱*]، محمدرضا قنبرپور[۲]، محمد بشیر گنبد[۳]، مریم ذوالفقاری[۴] و سمیه کاظمی کیا[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۳/۲۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۲/۲۴)

چکیده

تفکیک دبی پایه همواره یکی از موضوعات مهم در هیدرولوژی بوده و در مناطق خشک و نیمه خشکی مثل ایران نقش حیاتی در مدیریت منابع آب دارد. در این مقاله، مقایسه بین روش‌های متداول خودکار تجزیه هیدروگراف جریان شامل روش تجربی حداقل محلی و روش فیلتر رقومی یک پارامتره با پارامترهای فیلترینگ مختلف ۰/۹ تا ۰/۹۷۵ و دو پارامتره بر اساس شاخص جریان پایه برای برآورد دبی پایه صورت گرفت. بدین منظور از بررسی جریان روزانه تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری استان آذربایجان غربی در یک دوره ۳۱ ساله استفاده شد. برای انجام این مقایسه از روش گرافیکی و مطابقت با جریان مشاهداتی روزانه و ضریب هم‌بستگی بین آنها به همراه شاخص دبی پایه استفاده شد. هدف اصلی این تحقیق، تشخیص مناسب‌ترین روش تفکیک هیدروگراف جریان و برآورد دبی پایه است. نتایج نشان داد که جریان پایه در روش‌های مختلف بخش زیادی از کل جریان را تشکیل داده و دارای نوسانات زیادی نیز می‌باشد. اگرچه روش فیلتر رقومی دو پارامتره از لحاظ هیدرولوژیک انعطاف پذیرتر از دیگر روش‌هاست، ولی روش فیلتر رقومی یک پارامتره نیز مشروط به انتخاب پارامتر فیلترینگ مناسب - که در این منطقه ۰/۹۲۵ است - دارای صحت برآورد مناسب می‌باشد. هم‌چنین شاخص دبی پایه نیز در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه با استفاده از روش منتخب فیلتر رقومی دو پارامتره بین ۰/۵۴ تا ۰/۷۸ متغیر است.

واژه‌های کلیدی: دبی پایه، تجزیه هیدروگراف، شاخص جریان پایه، فیلتر رقومی برگشتی، استان آذربایجان غربی

۱. مربی مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه فردوسی مشهد
۲. به ترتیب استادیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری
۳. مربی مرتع و آب‌خیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر
۴. دانشجوی دکترای علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.teimouri@yahoo.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.16.8]

مقدمه

به دلیل اهمیت دبی پایه در فرایندهای هیدرولوژیک و دارا بودن نقش حیاتی در مدیریت منابع آب، برآورد جریان پایه یکی از موضوعات مورد علاقه هیدرولوژیست‌ها بوده (۱۱ و ۱۹) و برای رفع مشکلات متعدد تعیین دبی پایه به صورت مستقیم، روش‌های متفاوتی در اقلیم‌های مختلف و شرایط توپوگرافی و زمین‌شناسی گوناگون به این منظور توسعه داده شده است. مثلاً دولزال و کویتک (۸) در تحقیق خود به جداسازی مؤلفه‌های رواناب مستقیم، جریان زیرزمینی و جریان پایه از جریان رودخانه به منظور برآورد سهم نیترات در هر مؤلفه از کل بار نیترات رودخانه پرداختند. شیلینگ و ژانگ (۱۸) نیز برنامه کامپیوتری را برای برآورد نیترات در جریان پایه رودخانه راکون نوشته و با تجزیه هیدروگراف ترکیب نمودند و به این نتیجه رسیدند که حدود دو سوم بار نیترات سالانه در جریان پایه حوضه وجود دارد. از جمله روش‌های مستقیم تعیین جریان پایه می‌توان به استفاده از ایزوتوپ‌ها اشاره کرد که به عنوان ردیاب به بررسی روابط متقابل جریان سطحی و آب‌های زیرزمینی می‌پردازد (۱۴) و جریان پایه را از رواناب سطحی یا جریان سالانه رودخانه مجزا می‌سازد (۲۰). از آنجایی که استفاده از روش مذکور با خطا همراه است و هزینه‌های زیادی نیز در بر دارد، روش‌های گرافیکی و شبیه‌سازی‌های عددی جایگزینی مناسب برای بررسی سهم دبی پایه از کل جریان هستند که تمام آنها بر اساس تحلیل سری زمانی جریان رودخانه و تعیین مؤلفه‌های آنها استوارند. روش تجزیه گرافیکی هیدروگراف بر اساس خطی که از برخورد ابتدای شاخه صعودی و انتهای شاخه نزولی به وجود می‌آید تعریف شده که قسمت زیرین خط را جریان پایه می‌نامند. در مقابل آن اساس روش‌های فیلترینگ تجزیه کل هیدروگراف جریان برای تعیین جریان پایه است (۴ و ۱۲). در مجموع روش‌های گرافیکی ساده‌تر بوده و قادر به برآورد اولیه از دبی پایه‌اند و روش‌های فیلترینگ علاوه بر سهولت دارای قدرت تشخیص بسیار زیادی در تعیین دبی پایه هستند؛ اگرچه از نقاط ضعف آنها باید به فقدان مبنای هیدرولوژیکی قانع کننده و حساسیت بالای پارامترهای آنها نیز اشاره کرد (۹). مثلاً چن و همکارانش (۷) برای تعیین جریان پایه در سرشاخه‌های حوضه رودخانه زرد، روش دو پارامتره کالینین را بررسی و نشان دادند که جریان پایه نقش بیشتری را نسبت به جریان سطحی در رودخانه ایفا می‌کند و تغییرات نسبتاً کمتری نیز دارد. هم‌چنین آنها به تحلیل حساسیت پارامترهای این روش پرداخته و حساسیت جریان پایه به ثابت خشکیدگی را تأیید نمودند. از جمله سایر روش‌ها می‌توان به روش حداقل محلی (Local Minimum, LM) (۱۲)، روش خودکار فیلتر عددی (با ۴ ضریب فیلترینگ) (۱۶) و روش فیلتر رقومی برگشتی (Recursive Digital Filter, RDF) (۹) اشاره کرد. از آن جایی که شاخص دبی پایه (Base Flow Index, BFI) (۱۲) می‌تواند به عنوان یکی از ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیز استفاده شود از مقایسه این شاخص در روش‌های مختلف نیز می‌توان به بررسی کارایی آنها پرداخت. این شاخص که از تقسیم دبی پایه به کل رواناب محاسبه می‌شود، بیانگر اطلاعاتی در مورد نسبت رواناب مشتق شده از منابع ذخیره‌ای حوزه آبخیز است (۲). مثلاً نف و همکاران (۱۷) در تحقیق خود به منظور برآورد جریان پایه و توسعه مدل‌های رگرسیونی در حوضه‌های فاقد ایستگاه اندازه‌گیری از شاخص BFI استفاده نمودند. اکهارت (۱۰) در مقاله خود به مقایسه شاخص BFI با نتایج به دست آمده از آنالیز شاخه خشکیدگی با چند روش تفکیک جریان پرداخت. قنبرپور و همکاران (۲) نیز به مقایسه روش‌های برآورد دبی پایه با روش تحلیل شاخه خشکیدگی و بررسی شاخص جریان پایه آنها پرداختند. از آن جایی که طبق تحقیقات قبلی انجام شده روش خودکار فیلتر عددی با پارامتر۰/۹۲۵ روش مناسبی در تفکیک دبی پایه است (۲ و ۱۶)، در این مقاله به بررسی روش RDF با سایر روش‌های مذکور از طریق مقایسه شاخص دبی پایه آنها با مبنا قرار دادن پارامتر ۰/۹۲۵ در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری استان آذربایجان غربی به منظور یافتن روشی مناسب در بررسی جریان‌های حداقل و

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.16.8]

حداکثر و تعمیم آن به حوضه‌های فاقد آمار پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

دریاچه ارومیه درشمال غرب ایران، بین استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی واقع شده است. حجم آب دریاچه ارومیه در مساحت ۵۸۲۲ کیلومتر مربع و با عمق متوسط ۴/۵ متر بالغ بر ۲۶ میلیارد مترمکعب تخمین زده می‌شود. بارش متوسط حوضه دریاچه نیز حدود ۳۳۵ میلی‌متر بوده و اقلیم آن نیمه خشک و خشک سرد است. در این تحقیق از آمار دبی جریان روزانه تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در رودخانه‌های مهم استان آذربایجان غربی و به خصوص رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه استفاده شده است (جدول ۱)؛ این رودخانه‌ها دارای جریان دائمی و رژیم نامنظم بوده که ناشی از میزان نوسانات بارش آن می‌باشد. لازم به توضیح است که سهم آب ورودی به دریاچه ارومیه از رودخانه‌های استان آذربایجان غربی به میزان ۸۵ درصد واز رودخانه‌های استان آذربایجان شرقی ۱۵ درصد می‌باشد (۱). جدول ۱ به برخی از مشخصات مهم ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی پرداخته است. لازم به ذکر است که طول دوره آماری در ایستگاه‌های منتخب ۳۱ سال و بین سال های ۱۳۵۳ تا ۱۳۸۳ بوده است.

تفکیک جریان پایه

رواناب مستقیم و جریان پایه دو مولفه اصلی جریان رودخانه‌ها را تشکیل می‌دهند (معادله ۱):

$$y_k = f_k + b_k \qquad [۱]$$

که y جریان کل رودخانه، fرواناب مستقیم، b جریان پایه و k شماره گام زمانی می‌باشد. جریان پایه در ارتباط با ذخیره آب زیرزمینی است که در بررسی طیف فراوانی هیدروگراف، دارای طول موج بلندتر و رواناب مستقیم دارای فراوانی بیشتری می‌باشد. فرض کلی در الگوریتم‌های فیلترینگ بر این اساس است که جریان خروجی از آبخوان در دوره‌های بدون تغذیه رابطه خطی با ذخیره آن دارد (۱۰).

$$b_t = b_0 k^t \qquad [۲]$$

که b_t و b_0 جریان در زمان t و صفر و k ثابت خشکیدگی (Recession Constant) برای واحدهای زمانی مختلف می‌باشد.

اولین روشی که در این تحقیق استفاده شده روش حداقل محلی است. در این روش ابتدا حداقل مقادیر دبی در طول مقاطع زمانی مجزای ۵ روزه تعیین می‌شود. سپس در بین این مقادیر آنهایی که ۱/۱۱ برابر کمتر یا مساوی (برای رودخانه‌های با جریان غیر دائمی) مقادیر قبل و بعد است انتخاب می‌شوند. این مقادیر انتخابی به عنوان نقاط کنترلی در نظر گرفته شده و دبی پایه جریان با وصل کردن نقاط مذکور برای همه روزهای بین نقاط کنترل با استفاده از درون‌یابی خطی برآورد می‌شود (۲ و ۱۶).

روش خودکار فیلتر عددی موسوم به BFLOW (۵) در ابتدا توسط لین و هالیک (۱۵) پیشنهاد شد. آنها معادله فیلتر جریان پایه از کل جریان را به صورت معادله (۳) ارائه نمودند:

$$q_t = \alpha . q_{t-1} + \frac{(1+\alpha)}{2}(Q_t - Q_{t-1}) \qquad [۳]$$

که q_t و q_{t-1} جریان سطحی در گام‌های t و $t-1$، Q_t و Q_{t-1} کل جریان در گام‌های زمانی مذکور و α پارامتر فیلتر می‌باشد که عمدتا بین ۰/۹ تا ۰/۹۵ تغییر می‌کند (۲، ۳ و ۱۶). چاپمن (۶) با کاربرد الگوریتم لین و هالیک اظهار داشت که در صورت اتمام جریان مستقیم ($q=0$)، جریان کل یا جریان پایه به سمت عدد ثابتی میل می‌کند و الگوریتم جدیدی را (معادله۴) توسعه داد.

$$b_t = \frac{\alpha}{2-\alpha} b_{t-1} + \frac{1-\alpha}{2-\alpha} Q_t \qquad [۴$$

که b_t و b_{t-1} دبی پایه فیلتر شده در گام‌های زمانی t و $t-1$ است.

اکهارت (۹) نیز فیلتر رقومی برگشتی خود را به صورت معادله ۵ ارائه نمود و نشان داد که فیلتر چاپمن نوع خاصی از شکل عمومی فیلتر رقومی او می‌باشد.

$$b_t = \frac{(1-BFI_{\max})ab_{t-1} + (1-\alpha)BFI_{\max}Q_t}{1-\alpha BFI_{\max}} \quad b_t \le Q_t \qquad [۵]$$

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.16.8]

جدول ۱. جزئیات مربوط به حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه

حوضه	رودخانه	ایستگاه مورد مطالعه	کد ایستگاه	سطح حوضه (کیلومترمربع)	حجم رواناب سالانه (میلیون مترمکعب)
دریاچه ارومیه	زرینه رود	ساریقمیش	۳۳-۰۲۳	۱۱۸۹۷	۱۶۴۲
	سیمینه رود	داشبند	۳۳-۰۳۵	۳۶۵۶	۵۰۳
	مهاباد چای	کوثر	۳۴-۰۰۳	۱۵۲۲	۳۵۱
	گدار چای	پل بهراملو	۳۴-۰۲۱	۲۱۳۷	۴۲۵
	باراندوز چای	دیزج	۳۵-۰۰۵	۱۳۱۸	۲۷۶
		هاشم آباد	۳۵-۰۰۳	۱۲۰۸	۲۵۳
ارس	قطور چای	پل یزدکان	۱۹-۰۲۷	۹۲۰۸	۱۷۵
	زنگمار	ماکو	۱۹-۰۱۳	۵۶۰۲	۱۷۱

که $BFI_{\max}$ حداکثر مقدار نسبت دبی پایه به کل جریان در طول دوره آماری می‌باشد. هم‌چنین ایشان این شاخص را برای رودخانه‌های دائمی با آبخوان‌های متخلخل ۰/۸، برای رودخانه‌های فصلی با آبخوان‌های متخلخل ۰/۵ و برای رودخانه‌های دائمی با آبخوان‌های با بستر سنگی معادل ۰/۲۵ پیشنهاد کرد.

شاخص دبی پایه

این شاخص یک نسبت بدون بعد است که از تقسیم دبی پایه به کل رواناب برای هر سال یا کل دوره آماری به دست می‌آید (۲، ۱۳ و ۱۶) و با شناخت مناسب‌ترین روش تفکیک هیدروگراف و دبی پایه امکان محاسبه دقیق‌تر این شاخص را فراهم می‌سازد و می‌تواند به عنوان یکی از ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیز در مطالعات، استفاده شود.

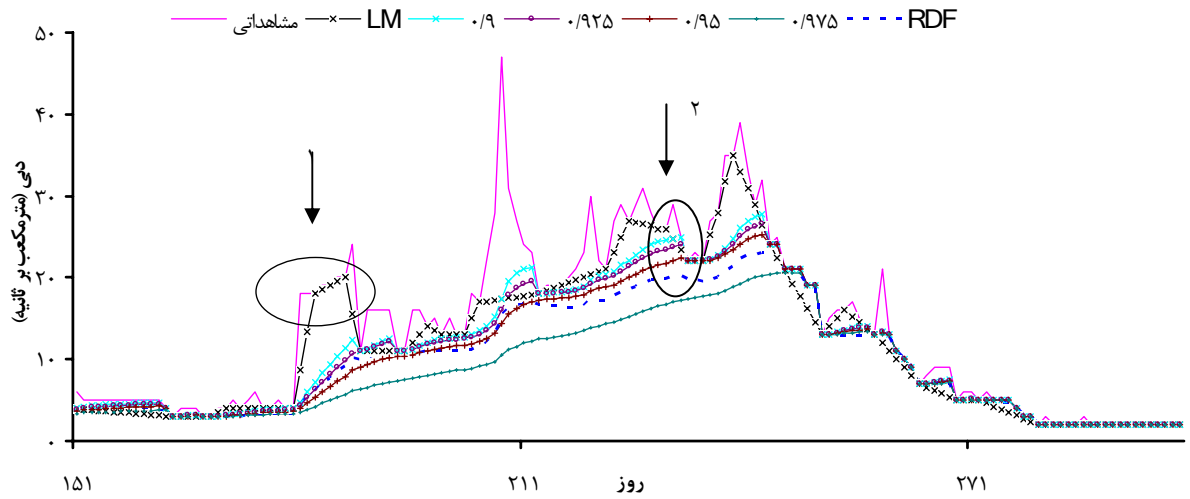
نتایج و بحث

جریان پایه ایستگاه‌های مورد نظر برای دوره آماری ۳۱ ساله با استفاده از روش‌های حداقل محلی، روش BFLOW (با ضرایب ۰/۹، ۰/۹۲۵، ۰/۹۵ و ۰/۹۷۵) و روش RDF برآورد گردید. شکل (۱) نمونه‌ای از تفکیک دبی پایه توسط روش‌های مختلف در ایستگاه ماکو در بخشی از سال ۵۵-۱۳۵۴ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در بخش ۱ شکل مذکور نشان داده شده روش LM در برآورد دبی پایه با مشکل مواجه شده و دبی پایه را بیش از حد برآورد نموده است. این روش برآورد خوبی از شاخه صعودی هیدروگراف دارد ولی در برآورد انتهای رواناب سطحی با مشکل مواجه می‌شود. فیلتر ۰/۹ و ۰/۹۷۵ نیز به ترتیب دبی پایه را خیلی بیشتر و کمتر از حد واقعی برآورد می‌نمایند که یافته‌های فوق با نتایج ناتان و مک ماهون (۱۶) و قنبرپور و همکاران (۲) مطابقت دارد. ضرایب ۰/۹۲۵، ۰/۹۵ و روش RDF هم به صورت موردی برآورد خوبی از دبی پایه را نشان می‌دهند که بستگی به زمان و فاصله بین وقایع داشته و به همین دلیل تصمیم‌گیری کلی در مورد انتخاب روش مناسب‌تر را با مشکل مواجه می‌سازد. با بررسی اجمالی کلیه وقایع به همراه برآورد دبی پایه آنها می‌توان این طور استنباط نمود که علی‌رغم این‌که روش RDF به خاطر انعطاف‌پذیری پارامترهای آن برآورد معقولانه‌ای در انتهای رواناب سطحی دارد (بخش۲ شکل ۱) ولی نتایج به دست آمده از فیلتر ۰/۹۲۵ نیز طبق تحقیقات قبلی انجام شده در حوضه‌های مختلف (۲ و ۱۶) با نتایج حاصل از آنالیز شاخه خشکیدگی انطباق قابل قبولی دارد.

مقایسه مقادیر میانگین، حداقل، حداکثر و انحراف معیار شاخص BFI روش‌های مورد نظر در ایستگاه ماکو در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به این جدول، روش RDF دارای

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.16.8]



شکل ۱. تفکیک جریان با روش‌ها و ضرایب مختلف فیلتر در ایستگاه ماکو در بخشی از سال آبی ۵۵-۱۳۵۴

جدول ۲. برخی از مشخصه‌های آماری شاخص BFI در ایستگاه هیدرومتری ماکو

روش تفکیک	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
LM	۰/۷۵	۰/۳۹	۰/۸۷	۰/۱۱
فیلتر عددی با ضریب ۰/۹	۰/۷۵	۰/۵۴	۰/۸۳	۰/۰۶
فیلتر عددی با ضریب ۰/۹۲۵	۰/۷۱	۰/۴۶	۰/۸۱	۰/۰۷
فیلتر عددی با ضریب ۰/۹۵	۰/۶۶	۰/۳۶	۰/۷۸	۰/۰۹
فیلتر عددی با ضریب ۰/۹۷۵	۰/۵۵	۰/۲۲	۰/۷۰	۰/۱
RDF	۰/۶۵	۰/۴۴	۰/۷۳	۰/۰۶

انحراف معیار بسیار کمی نسبت به سایر روش‌هاست، هرچند فیلتر ۰/۹۲۵ نیز انحراف معیار قابل قبولی دارد.

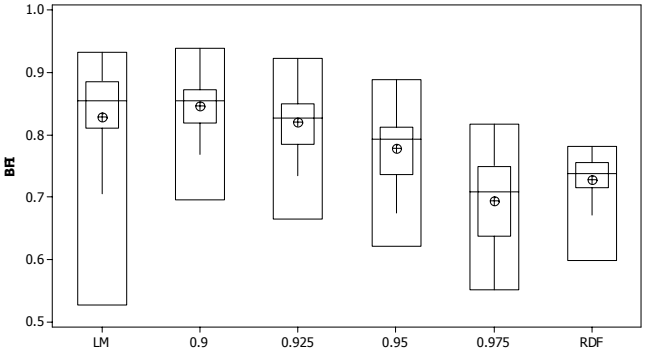
در جدول ۳ به مقایسه میانگین و انحراف معیار در تمامی ایستگاه‌ها پرداخته شده است. با دقت در این جدول می‌توان دریافت که انحراف معیار روش RDF نسبت به سایر روش‌ها دارای کمترین مقدار و فیلترهای ۰/۹ و ۰/۹۲۵ در رتبه‌های بعدی قرار دارند و می‌توان به عنوان معیاری موقتی جهت معرفی روش بهینه نام برد. محدوده مقادیر شاخص BFI در روش‌های مختلف در نمودار مستطیلی به همراه چارک‌ها و میانگین‌های آنها برای ایستگاه ماکو در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود محدوده شاخص جریان پایه روش LM دارای گستردگی بیشتر و در روش RDF کمتر است. با توجه به دست‌یابی با نتایج مشابه تحقیق اکهارت (۱۰) می‌توان اظهار داشت که احتمالاً فیلتر RDF تمایل دارد که مقادیر زیاد این شاخص را در حد کمتر و مقادیر کم آن را بیشتر از سایر روش‌ها برآورد کند، بنابراین مقدار این شاخص تغییرات کمتری نسبت به سایر روش‌ها دارد. یکی از دلایل آن را می‌توان به استفاده از پیش فرض ارائه شده توسط اکهارت (۹) دانست که حداکثر شاخص دبی پایه را در رودخانه‌های دائمی با آبخوان‌های متخلخل ۰/۸ پیشنهاد نموده بود. در نتیجه در روش RDF شاخص دبی پایه حداکثر، کمتر از ۰/۸ بوده و احتمالاً در صورت افزایش آن به مقادیر بالاتر به نتایج

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.16.8]

جدول ۳. انحراف معیار و میانگین شاخص BFI در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	LM	۰/۹	۰/۹۲۵	۰/۹۵	۰/۹۷۵	RDF	LM	۰/۹	۰/۹۲۵	۰/۹۵	۰/۹۷۵	RDF
	میانگین						انحراف معیار					
ساریقمیش	۰/۸۱۰	۰/۸۱۳	۰/۷۷۹	۰/۷۲۸	۰/۶۳۲	۰/۷۰۱	۰/۱۱۶	۰/۰۹۰	۰/۰۹۵	۰/۱۰۵	۰/۱۱۶	۰/۰۷۳
داشبند	۰/۷۴۰	۰/۷۵۰	۰/۷۱۸	۰/۶۶۷	۰/۵۶۷	۰/۶۷۹	۰/۰۶۳	۰/۰۳۰	۰/۰۳۲	۰/۰۳۸	۰/۰۵۴	۰/۰۲۶
کوثر	۰/۷۱۸	۰/۷۱۳	۰/۶۷۹	۰/۶۲۹	۰/۵۲۴	۰/۶۴۵	۰/۰۹۲	۰/۰۵۹	۰/۰۶۲	۰/۰۶۵	۰/۰۷۴	۰/۰۴۷
پل بهراملو	۰/۸۱۴	۰/۸۰۱	۰/۷۶۵	۰/۷۱۲	۰/۵۹۵	۰/۷۰۱	۰/۰۵۶	۰/۰۴۶	۰/۰۵۳	۰/۰۶۳	۰/۰۷۵	۰/۰۴۱
هاشم آباد	۰/۸۲۷	۰/۸۲۴	۰/۷۹۹	۰/۷۶۰	۰/۶۶۹	۰/۷۳۰	۰/۰۵۹	۰/۰۴۶	۰/۰۴۷	۰/۰۴۹	۰/۰۵۱	۰/۰۳۲
دیزج	۰/۸۴۲	۰/۸۴۳	۰/۸۱۸	۰/۷۷۵	۰/۶۸۲	۰/۷۳۷	۰/۱۱۴	۰/۰۳۵	۰/۰۳۹	۰/۰۴۳	۰/۰۵۲	۰/۰۲۸
ماکو	۰/۷۵۰	۰/۷۵۱	۰/۷۱۴	۰/۶۵۹	۰/۵۵۳	۰/۶۵۸	۰/۱۱۰	۰/۰۵۸	۰/۰۶۹	۰/۰۸۵	۰/۱۰۴	۰/۰۵۹
پل یزدکان	۰/۸۲۹	۰/۸۴۶	۰/۸۲۰	۰/۷۷۸	۰/۶۹۵	۰/۷۲۹	۰/۰۹۳	۰/۰۵۱	۰/۰۵۴	۰/۰۵۹	۰/۰۶۷	۰/۰۳۸



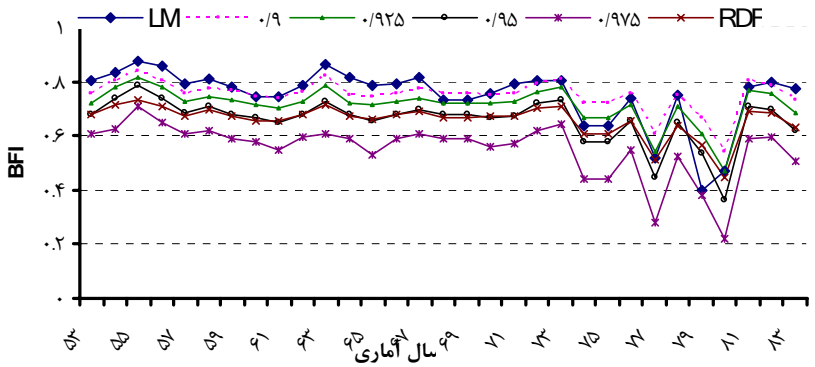
شکل۲. محدوده مقادیر شاخص BFI روش‌های مختلف به همراه چارک‌ها و میانگین آنها در ایستگاه پل یزدکان

متفاوت‌تری (و شاید بهبود نتایج) بتوان دست یافت. نکته قابل توجه در شکل ۳ مربوط به نوسانات میزان شاخص دبی پایه از سال ۱۳۷۴ است که مستقیماً با میزان دما و تبخیر حوضه ارتباط دارد. بررسی میانگین سالانه دمای سه گانه (حداقل، حداکثر و میانگین) ایستگاه‌ها درحوزه آبریز دریاچه ارومیه نشان‌دهنده نوسانات سالانه دما در حول و حوش میانگین دوره آماری تا سال ۱۳۷۴ است. به طوری‌که در بعضی از سال‌ها میانگین دماها از میانگین دوره آماری بیشتر ودربعضی سال‌ها کمتر بوده است. از این سال به بعد سیر صعودی دماهای سالانه نسبت به میانگین دوره آماری شروع شده است. البته تا سال ۱۳۷۶ افزایش دما بطئی بوده، ولی از سال آبی ۷۷-۱۳۷۶ به بعد افزایش شدید دما در کلیه ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود به طوری‌که این افزایش در سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ در حدود ۶/۹ درصد نسبت به میانگین دراز مدت است. میانگین متوسط سالانه دما در سال آبی ۷۹-۱۳۷۸ نسبت به میانگین درازمدت در حدود۱۲/۲ درصد افزایش یافته و این افزایش تا سال آبی ۸۰-۱۳۷۹ ادامه داشته است. میانگین دمای متوسط سالانه در سال آبی ۸۱-۱۳۸۰ به میزان ۱۲/۸ و در سال آبی ۸۲-۱۳۸۱ به میزان ۱۲/۲ و سال آبی ۸۳-۱۳۸۲ به میزان ۱۲/۴ درجه سانتی‌گراد بوده است.

برای مشخص شدن وضعیت مقادیر شاخص مزبور در روش‌های مختلف در شکل ۳ به وضعیت نوسان آن در ایستگاه ماکو پرداخته شده است. همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد روش RDF با پارامتر ۰/۹۵ تقریبا منطبق‌اند که با دید

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.16.8]



شکل ۳. مقادیر BFI در روش‌های مختلف در ایستگاه ماکو در دوره آماری ۸۳-۱۳۵۳

گرافیکی شکل ۱ همخوانی دارد. البته این مورد دلیل بر صحت روش‌های مذکور نمی‌باشد. با توجه به مقادیر عددی شکل ۳ می‌توان بیان نمود که دبی پایه به طور متوسط بخش زیادی از کل جریان را در برگرفته است و به طور متوسط ۶۸٪ از کل رواناب در ایستگاه مزبور توسط دبی پایه تأمین می‌شود. جدول ۴ به بررسی مقادیر شاخص جریان پایه در کل ایستگاه‌های مورد نظر پرداخته است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود جریان پایه بین ۵۴ تا ۷۸ درصد از جریان رودخانه را به خود اختصاص داده‌اند که حداقل آن مربوط به ایستگاه کوثر و حداکثر آن مربوط به ایستگاه‌های ساریقمیش، پل یزدکان و دیزج است.

شکل ۴ پراکنش نقاط شاخص BFI از طریق هم‌بستگی بین روش RDF و سایر روش‌ها و تعیین ضرایب تبیین مربوط به آنها در ایستگاه ساریقمیش را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود شاخص مزبور بین روش RDF و فیلتر ۰/۹۲۵ دارای ضریب تعیین بیشتری بوده که ناشی از نزدیک بودن نتایج این دو روش است. جدول ۵ نیز به بررسی میانگین ضرایب هم‌بستگی تمامی روش‌ها پرداخته است که از بررسی مقادیر آن می‌توان به این نتیجه رسید که اگرچه روش RDF به دلیل تعدد پارامترهای آن، معادله انعطاف‌پذیرتری نسبت به معادله روش BFLOW دارد (۱۰)، ولی پارامتر ۰/۹۲۵ روش BFLOW علی‌رغم سادگی (تک پارامتره بودن) نتایج بسیار مناسبی را ارائه می‌کند که با نتایج ناتان ومک ماهون (۱۶)، قنبرپور و همکاران (۲) و اکهارت (۱۰) مطابقت دارد.

جدول ۶ نیز به بررسی هم‌بستگی شاخص BFI در روش‌های مختلف به صورت نمونه در ایستگاه کوثر پرداخته است. طبق اطلاعات این جدول، در این ایستگاه روش LM انطباق و هم‌بستگی کمتری با پارامترهای روش BFLOW و RDF دارد. هم‌بستگی بین پارامترهای ۰/۹۲۵ و ۰/۹۵ با روش RDF نیز نسبت به سایر روش‌ها بیشتر است که این نیز با نتایج شکل ها و جداول قبلی منطبق است.

نتیجه‌گیری

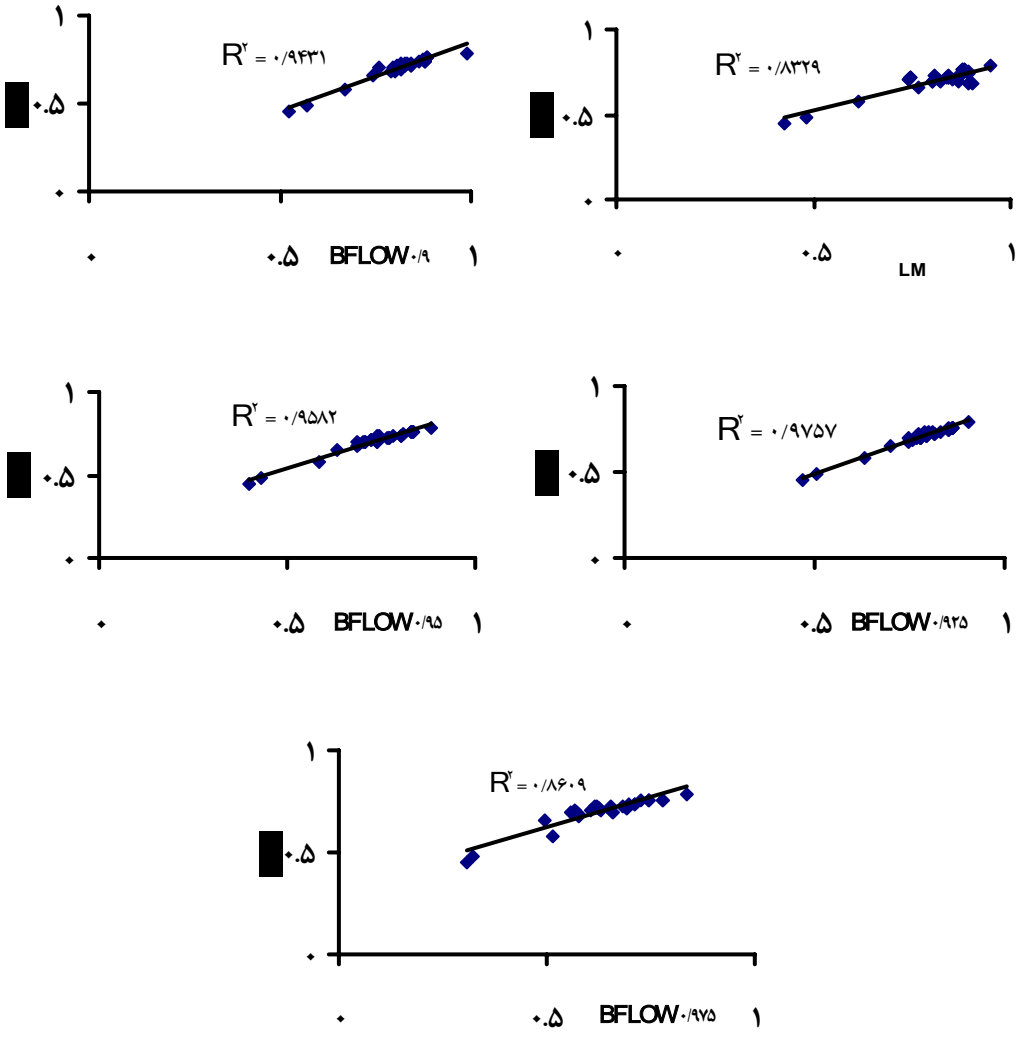
در این تحقیق، روش‌های مختلف جداسازی دبی پایه از داده‌های روزانه جریان در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری آذربایجان غربی در یک بازه ۳۱ ساله بررسی شد. روش‌های فوق شامل روش حداقل محلی و فیلتر خودکار یک پارامتره برگشتی با ضریب ۰/۹، ۰/۹۲۵، ۰/۹۵ و ۰/۹۷۵ و دوپارامتره برگشتی است. جهت بررسی روش‌های فوق از مقایسه آنها با روش گرافیکی و هم‌چنین بررسی شاخص جریان پایه استفاده شد. مشکل موجود در بررسی روش‌های مذکور، نامشخص بودن مقادیر شاخص جریان پایه واقعی است که برای تعیین دقیق آنها بایستی از ردیاب‌های شیمیایی و روش‌های میدانی پرهزینه و زمان بر استفاده کرد. به منظور رفع این مشکل از مقادیر حداکثر شاخص فوق که توسط اکهارت (۲۰۰۵) پیشنهاد شده است استفاده گردید. نتایج نشان داد که

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.16.8]

جدول ۴. مشخصات آماری مقادیر شاخص جریان پایه در ایستگاه‌های مورد بررسی

نام ایستگاه	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
ساریقمیش	۰/۷	۰/۵۸	۰/۷۸	۰/۰۷
داشبند	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۷۲	۰/۰۲
کوثر	۰/۶۵	۰/۵۴	۰/۷	۰/۰۴
پل بهراملو	۰/۷	۰/۶	۰/۷۷	۰/۰۴
دیزج	۰/۷۴	۰/۶۶	۰/۷۸	۰/۰۲
هاشم آباد	۰/۷۳	۰/۶۲	۰/۷۷	۰/۰۳
پل یزدکان	۰/۷۳	۰/۶	۰/۷۸	۰/۰۳
ماکو	۰/۶۸	۰/۵۶	۰/۷۳	۰/۰۵



شکل ۴. گراف پراکندگی مقادیر روش RDF با سایر روش‌ها در ایستگاه ساریقمیش

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.16.8]

جدول ۵. مقادیر ضریب هم‌بستگی متوسط بین تمام ایستگاه‌ها در روش‌های مختلف

	LM	فیلتر۰/۹	فیلتر۰/۹۲۵	فیلتر۰/۹۵	فیلتر۰/۹۷۵	RDF
LM	۱					
فیلتر۰/۹	۰/۷۶	۱				
فیلتر۰/۹۲۵	۰/۷۵	۰/۹۸	۱			
فیلتر۰/۹۵	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۹۸	۱		
فیلتر۰/۹۷۵	۰/۶۳	۰/۸۷	۰/۹۱	۰/۹۵	۱	
RDF	۰/۷۳	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۲	۱

جدول ۶ . هم‌بستگی بین روش‌های مختلف در ایستگاه کوثر

	LM	فیلتر۰/۹	فیلتر۰/۹۲۵	فیلتر۰/۹۵	فیلتر۰/۹۷۵	RDF
LM	۱					
فیلتر۰/۹	۰/۸۰۳	۱				
فیلتر۰/۹۲۵	۰/۷۶۶	۰/۹۹۴	۱			
فیلتر۰/۹۵	۰/۷۰۵	۰/۹۶۶	۰/۹۸۷	۱		
فیلتر۰/۹۷۵	۰/۵۹۶	۰/۸۹۳	۰/۹۲۵	۰/۹۶	۱	
RDF	۰/۶۹	۰/۹۶۲	۰/۹۸	۰/۹۸۶	۰/۹۳۶	۱

روش یک پارامتره فیلتر خودکار برگشتی با ضریب ۰/۹۲۵ نیز دارای کارایی مناسبی در روش‌های مختلف تفکیک است که با نتایج تحقیق ناتان و مک ماهون (۱۶) و قنبرپور و همکاران (۲) هم خوانی دارد؛ هم‌چنین این روش سرعت بالایی در تفکیک هیدروگراف جریان داشته و مقادیر پیوسته دبی توسط آن قابل استخراج است که ناتان و مک ماهون (۱۶) نیز بدان اشاره داشته‌اند. البته لازم به ذکر است که با توجه به تطابق بیشتر معادله (۵) با ردیاب‌ها در تعیین شاخص دبی پایه (۱۰)، این روش به عنوان مبنا انتخاب شد که حتی قادر به بررسی سری‌های زمانی با گام های Δt به جای استفاده از فواصل یک روزه نیز می‌باشد (۱۰). با استفاده از روش فوق، مشکل طراحان و مدیران منابع آب در تخمین دبی پایه در حوضه‌های متعدد و در دوره‌های طولانی برطرف گردیده و هم‌چنین از شاخص جریان پایه می‌توانند به عنوان یک متغیر مهم در مطالعات سال‌های خشک و مسائل اکولوژیک و هیدرولوژیک مرتبط با آن استفاده نمایند. با توجه به تعیین شدن محدوده این شاخص در تمام ایستگاه‌ها، مشخص شد که دبی پایه حدود ۷۰ درصد از کل جریان سالانه را به خود اختصاص می‌دهد و سهم زیادی را در جریان منطقه به عهده دارد که اهمیت نحوه بهره‌برداری و مدیریت آبخوان‌ها و مسائل زیست محیطی مرتبط با آنها را آشکار می‌سازد.

منابع مورد استفاده

۱. شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی (وب سایت)، www.agrw.ir

۲. قنبرپور م. ر.، م. تیموری و ش. غلامی. ۱۳۸۷. مقایسه روش‌های برآورد دبی پایه بر اساس تفکیک هیدروگراف جریان (مطالعه

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.16.8]

موردی حوزه آبخیز کارون). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴۴: ۱-۱۱.

3. Aksoy, H., N. Erdem Unal and A.O. Pektas. 2008. Smoothed minima baseflow separation tool for perennial and intermittent streams. Hydrol. Proc. 22: 4467-4476.
4. Arnold, J.G. and P. M. Allen. 1999. Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records. J. Amer. Water Resour. Assoc. 35(2): 411-424.
5. Arnold, J.G., P.M. Allen, R. Muttiah and G. Bernhardt. 1995. Automated base flow separation and recession analysis techniques. Ground Water 33(6): 1010-1018.
6. Chapman, T.G. 1991. Comment on ''Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses'' by R.J. Nathan and T.A. McMahon. Water Resour. Res. 27: 1783–1784.
7. Chen, L., H. Zheng, Y.D. Chen and C. liu. 2008. Baseflow separation in the source region of the yellow river. J. Hydrol. Eng. 13: 541-548.
8. Dolezal, F. and T. Kvitek. 2004. The role of recharge zones, discharge zones, springs and tile drainage systems in peneplains of central European highlands with regard to water quality generation processes. Phys. and Chem. Earth 29: 775-785.
9. Eckhardt, K. 2005. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. Hydrol. Proc. 19(2): 507–515.
10. Eckhardt, K. 2008. A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods. J. Hydrol. 352: 168-173.
11. Hall, F. R. 1968. Base flow recessions—A review. Water Resour. Res. 4(5): 973–983.
12. Hughes, D. A., H. Pauline and D. Watkins. 2003. Continuous baseflow separation from time series of daily and monthly streamflow data. Water SA, 29(1): 43-48.
13. Institute of Hydrology, 1980. Low Flow Studies Research Report. Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
14. Jaime, P. A. and K.N. Oxtobee. 2002. A field investigation of groundwater/surface water interaction in a fractured bedrock environment. J. Hydrol. 269(3–4): 169–193.
15. Lyne, V.D. and M. Hollick. 1979. Stochastic time-variable rainfall runoff modeling. Hydrology and Water Resources Symposium, Institution of Engineering, Australia, Perth, pp: 89–92.
16. Nathan R. J. and T.A. Mc Mahon. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analysis. Water Resour. Res. 26: 1465-1473.
17. Neff, B.P., S.M. Day, A.R. Piggott and L.M. Fuller. 2005. Base Flow in the Great Lakes Basin. US Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5217, 23 p.
18. Schilling, K. and Y. Zhang. 2004. baseflow contribution to nitrate nitrogen export from a large, agricultural watershed, USA. J. Hydrol. 295: 305-316.
19. Tallaksen, L. M. 1995. A review of baseflow recession analysis. J. Hydrol. 165(1–4): 349–370.
20. Zhang, Y.-K. and K.E. Schilling. 2006. Increasing streamflow and baseflow in Mississippi River since the 1940s: Effect of land use change. J. Hydrol. 324(1–4): 412–422.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.16.8]