مقایسه روش‌های برآورد دبی پایه بر اساس تفکیک هیدروگراف جریان (مطالعه موردی حوزه آبخیز کارون)

محمدرضا قنبرپور[۱*]، مهدی تیموری[۱] و شعبانعلی غلامی[۲]

(تاریخ دریافت: ۸۵/۲/۲۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۷/۳)

چکیده

برآورد میزان مشارکت آب‌های زیرزمینی در دبی جریان در یک حوزه آبخیز یکی از مهم‌ترین مباحث مدیریت منابع آب و هیدرولوژی می‌باشد. در این مقاله سهم آب‌های زیرزمینی در کل رواناب به‌عنوان شاخص جریان پایه در تعدادی از حوزه‌های آبخیز در جنوب غرب ایران بر اساس روش‌های تفکیک هیدروگراف جریان تعیین گردید. هدف اصلی در این تحقیق تشخیص مناسب‌ترین روش اتوماتیک تفکیک هیدروگراف جریان و برآورد دبی پایه می‌باشد. روش‌های اتوماتیک مرسوم در تفکیک هیدروگراف جریان شامل روش حداقل محلی و روش فیلتر عددی برگشتی با ضرایب فیلتر ۰/۹ تا ۰/۹۷۵ در مقایسه با روش تحلیل شاخه خشکیدگی جریان به صورت عددی و گرافیکی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داده است که روش اتوماتیک فیلتر عددی برگشتی با ضریب ۰/۹۲۵ به‌عنوان دقیق‌ترین روش به‌منظور استخراج مقادیر دبی پایه جریان در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این تحقیق نشان می‌دهد که شاخص دبی پایه در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه که با استفاده از روش انتخابی محاسبه شده، بین ۰/۷۹ تا ۰/۸۸ متغییر است.

واژه‌های کلیدی: دبی پایه، تفکیک هیدروگراف، فیلتر عددی برگشتی، حوزه آبخیز کارون

مقدمه

یکی از کاربردی‌ترین مباحث مربوط به هیدرولوژی مهندسی، بررسی هیدروگراف جریان می‌باشد که امکان مطالعه دبی حداکثر سیلاب، حجم سیلاب و میزان ذخیره حوزه پس از قطع بارندگی و نیز سهم آب‌های زیرزمینی در رواناب را فراهم می‌سازد. برآورد میزان مشارکت دبی پایه در رواناب ماهانه و سالانه در یک حوزه آبخیز در برنامه‌ریزی آبیاری، کشاورزی، مدیریت خشک‌سالی، کاهش تلفات آب، تولید انرژی برق- آبی، بررسی تغذیه سفره‌های آب زیر زمینی کاربرد دارد (۱، ۳، ۱۴ و ۱۵). دبی پایه (Base flow) بخش مهمی از جریان در رودخانه‌ها را تشکیل می‌دهد که آن را می‌توان تقریبی از جریان آب‌های زیرزمینی قلمداد نمود (۴، ۱۲و ۱۶). از سوی دیگر برخی از محققین نشان دادند که دبی پایه می‌تواند برای تخمین میزان متوسط تغذیه آب‌های زیرزمینی نیز به‌کار رود (۵، ۸ و ۱۱).

۱. به ترتیب استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه مازندران، ساری

۲. عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، وزارت جهادکشاورزی، تهران

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m_ghanbarpour@yahoo.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.1.6]

علاوه بر این مقادیر دبی پایه در تحلیل بیلان آبی و بررسی پاسخ هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز حائز اهمیت می‌باشد.

به‌دلیل پیچیدگی نحوه مشارکت دبی پایه در رواناب تنها راه دقیق در برآورد سهم دبی پایه جریان استفاده از ردیاب‌های رادیواکتیو و شیمیایی می‌باشد (۲). البته این روش به‌دلیل محدودیت اجرایی و اقتصادی آن در عمل در سطوح وسیع امکان‌پذیری اندکی دارد. بنابراین در تحقیقات روش‌های گرافیکی برای تعیین نقطه شروع و خاتمه رواناب مستقیم و تفکیک اجزای هیدروگراف جریان (Hydrograph separation) توسعه یافته است. از بین روش‌های گرافیکی می‌توان روش تحلیل شاخه نزولی(Recession analysis) هیدروگراف را نام برد (۹). البته این روش‌ها نیز به‌دلیل صرف وقت زیاد و عدم پیوستگی در دوره‌های زمانی طولانی کارایی چندانی ندارند و به‌جای آن الگوریتم‌های عددی به صورت روش‌های اتوماتیک توسعه یافته است (۱۰). ژیلاگی در تحقیقی روش‌های تفکیک هیدروگراف جریان بر اساس روش اتوماتیک فیلتر عددی برگشتی و مدل فیزیکی را با هم مقایسه نموده است (۱۴). در این تحقیق نشان داده که روش فیلتر نتایج قابل قبولی را در مقایسه با مدل فیزیکی ارائه می‌کند و این روش را به‌منظور مقاصد کاربردی توصیه نموده است.

در این مقاله از دو روش تفکیک اتوماتیک دبی پایه شامل روش‌های حداقل محلی(Local minimum) و فیلتر عددی برگشتی(Recursive digital filter) با ضرایب مختلف در ۶ ایستگاه هیدرومتری در حوزه آبخیز کارون در جنوب غرب کشور استفاده شده است. روش حداقل محلی به‌عنوان یکی از ساده ترین روش‌های تفکیک هیدروگراف می‌باشد (۱۰) و روش فیلتر عددی در تحقیقات گذشته بیشتر مورد توجه قرار گرفته است (۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۴). در این تحقیق نتایج حاصل از روش‌های مذکور با نتایج آنالیز شاخه نزولی و بررسی گرافیکی آنها مورد مقایسه قرار گرفته است. آنالیز شاخه خشکیدگی با توجه به این‌که شکستگی در شاخه نزولی هیدروگراف جریان را نشان می‌دهد را می‌توان به‌عنوان معیاری برای تعیین نقطه شروع دبی پایه و خاتمه رواناب مستقیم به‌کار برد (۱۰). مقایسه نتایج حاصل از روش‌های اتوماتیک تفکیک هیدروگراف با نتایج آنالیز شاخه نزولی و بررسی گرافیکی و انتخاب مناسب‌ترین روش هدف اصلی این مقاله را دربر می‌گیرد. در این مقاله سهم مشارکتی آب‌های زیرزمینی به کل رواناب به‌عنوان شاخص دبی پایه (BFI), (Base Flow Index) و تغییرات زمانی آن در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی بر اساس روش انتخابی تعیین گردید. محاسبه مقادیر دبی پایه و شاخص دبی پایه در مطالعات مربوط به تحلیل منطقه‌ای سیلاب و جریان‌های حداقل و تعمیم داده‌ها به حوزه‌های فاقد آمار ضروری می‌باشد.

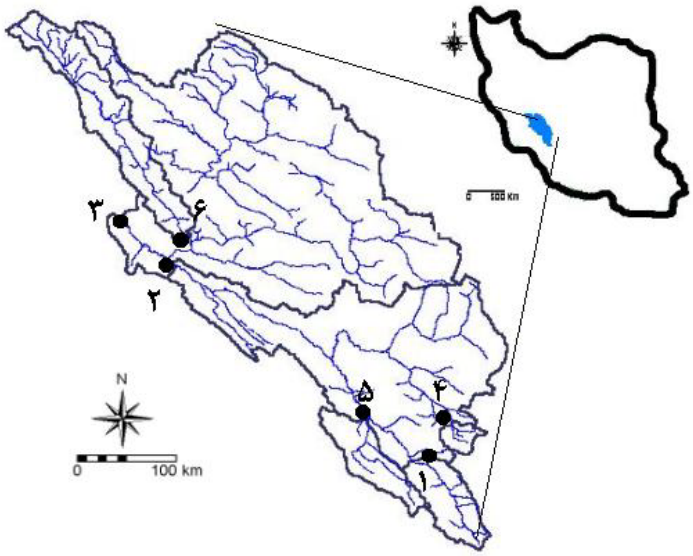
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه حوزه آبخیز کارون با شش زیر حوزه آن در جنوب غرب ایران تا محل ایستگاه پل شالو به مساحت تقریبی ۲۴۱۴۱ کیلومتر مربع انتخاب گردیده است. این حوزه بخشی از پنج استان کشور شامل استان‌های چهارمحال بختیاری، اصفهان، کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان و فارس را شامل می‌شود. حوزه آبخیز کارون از شمال به حوزه رودخانه‌های زاینده‌رود و کر، از غرب به حوزه رودخانه‌های دز و کرخه، از شرق به حوزه رودخانه‌های زاینده رود و از جنوب به حوزه رودخانه‌های زهره، مارون، علا و جراحی محدود می‌شود. در این مطالعه از آمار دبی جریان روزانه در شش ایستگاه هیدرومتری در حوزه آبخیز کارون با دوره آماری ۳۰ ساله از سال ۱۳۴۸ تا ۱۳۷۷ استفاده شده است. شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز کارون و ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. حوزه‌های آبخیز مورد بررسی از ویژگی‌های فیزیوگرافی متفاوتی برخوردار می‌باشند. جزئیات مربوط به حوضه‌های مورد مطالعه شامل متوسط رواناب سالانه، مساحت و ارتفاع ایستگاههای هیدرومتری در جدول ۱ آمده است. همان‌گونه که در جدول ۱ نشان داده شده است، مساحت حوزه‌ها از ۲۰۰ تا ۲۴۱۴۱ کیلومترمربع و

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.1.6]



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز کارون و ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی

جدول ۱. جزئیات مربوط به حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه

ردیف	نام حوزه	مساحت (کیلومتر مربع)	میانگین رواناب سالانه (متر مکعب بر ثانیه)	ارتفاع ایستگاه (متر)
۱	بتاری	۸۸۵	۱۶/۶	۱۵۶۰
۲	بارز	۸۹۹۹	۱۲۶/۸	۸۱۵
۳	پل شالو	۲۴۱۴۱	۳۴۱/۹	۸۰۰
۴	دهکده	۲۰۰	۵/۳	۲۲۲۰
۵	شاه مختار	۱۱۸۷	۲۲/۲	۱۷۳۰
۶	مرغک	۲۱۴۶	۷۴/۳	۸۶۰

ارتفاع آنها بین ۸۰۰ متر در خروجی حوزه آبخیز کارون در محل ایستگاه هیدرومتری پل شالو تا ۴۴۰۰ متر در سرشاخه‌های حوزه متغیر است. حوزه‌های آبخیز انتخابی از نظر شرایط اقلیمی و توپوگرافی در یک وضعیت نسبتاً همگنی قرار دارند. در کلیه حوزه‌ها رژیم بارانی- برفی حاکم می‌باشد. میانگین بارش منطقه در حدود ۶۵۰ میلی‌متر می‌باشد. دوره کم آبی معمولاً از تیر ماه شروع و در آبان ماه خاتمه می‌یابد که در این دوره دبی پایه عمده رواناب موجود در رودخانه‌ها را در بر می‌گیرد. از سوی دیگر دبی پایه جریان سهم قابل توجهی از جریان را در زمان وقوع سیلاب در بر می‌گیرد. میانگین ارتفاع رواناب سالانه در حوزه‌های مورد بررسی همان‌گونه که در جدول ۱ نشان داده شده است، حداقل در حوزه شماره ۴ و حداکثر آن در محل ایستگاه پل شالو به ترتیب معادل ۵/۳ و ۳۴۱/۹ میلی‌متر می‌باشد.

تفکیک هیدروگراف جریان

تفکیک هیدروگراف جریان که شامل فرایند جداسازی دبی پایه و رواناب مستقیم است، با شناسایی نقطه شروع و خاتمه رواناب مستقیم قابل انجام می‌باشد. نقطه شروع نقطه‌ای است که جریان روند افزایشی پیدا کرده و شاخه صعودی (Rising limb) به‌وجود

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.1.6]

می‌آید، در حالی‌که نقطه خاتمه معمولاً زمانی است که لگاریتم شاخه نزولی (Falling limb) در برابر زمان به خط راست تبدیل می‌شود.

روش‌های متعددی به‌منظور تفکیک هیدروگراف در تحقیقات گذشته توسعه و مورد استفاده قرار گرفته است. در این مقاله به‌منظور تفکیک هیدروگراف جریان به دو بخش رواناب مستقیم و دبی پایه از دو روش اتوماتیک فیلتر عددی برگشتی با ضرایب فیلتر ۰/۹، ۰/۹۲۵ ، ۰/۹۵ و ۰/۹۷۵ و روش حداقل محلی استفاده گردید. روش فیلتر عددی برگشتی که اساساً برای تحلیل و پردازش سیگنال‌ها و فرایند جداسازی سیگنال‌ها با فرکانس بالا از فرکانس پایین توسعه یافته است، اولین بار توسط ناتان و مک ماهان (۱۰) به‌منظور تفکیک هیدروگراف جریان به‌کار رفته است:

$$f_k = \alpha . f_{k-1} + \frac{(1+\alpha)}{2}(y_k - y_{k-1}) \qquad [1]$$

که در آن f_k رواناب مستقیم در زمان kام، y_k رواناب کل، و α ضریب فیلتر و $(y_k - y_{k-1})$ مقدار دبی پایه فیلتر شده را نشان می‌دهد. رابطه ۱ سه بار روی داده‌ها اعمال می‌شود. بدین شکل که در مرتبه اول از ابتدای سری داده‌ها تا انتها و مرتبه دوم برعکس از آخرین داده به سمت اول و بار سوم از ابتدا تا انتها رابطه مذکور به‌کار برده می‌شود. تعداد تکرار باعث افزایش نرم‌شدگی منحنی حاصله می‌شود. حرکت از انتهای سری داده‌ها به اولین داده به‌منظور کنترل و برطرف کردن هر گونه خطای احتمالی در مرتبه اول به مورد اجرا قرار می‌گیرد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که ضریب فیلتر عمدتاً بین ۰/۹ تا ۰/۹۵ تغییر می‌کند (۱۰).

روش دیگر که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است روش حداقل محلی می‌باشد. در این روش که توسط پژوهشکده هیدرولوژی توسعه یافته است (۶)، ابتدا حداقل مقادیر دبی در طول مقاطع زمانی مجزای ۵ روزه تعیین می‌شود. در مرحله بعد در بین این مقادیر، آنها که ۱/۱۱ برابر کمتر از مقادیر قبل و بعد است، انتخاب می‌شوند. این مقادیر انتخابی به‌عنوان نقاط کنترلی در نظر گرفته شده و دبی پایه جریان با وصل کردن نقاط مذکور برای همه روزهای بین نقاط کنترل با استفاده از درون یابی خطی برآورد می‌شود (۱۰). این روش به‌عنوان یکی از ساده‌ترین روش‌های اتوماتیک تفکیک هیدروگراف بوده و عملکرد آن به طبیعت جریان هیچ بستگی ندارد. یکی از نقاط ضعف این روش این است که همواره نتیجه حاصله از این روش لزوماً کمتر از کل جریان نمی‌شود که عمدتاً در شرایطی که هیدروگراف نوک تیز و سیلابی باشد، چنین حالتی قابل انتظار است. در این مقاله به‌منظور تشخیص مناسب‌ترین روش تفکیک هیدروگراف جریان از بررسی‌های گرافیکی و آنالیز شاخه خشکیدگی در حوزه‌های آبخیز مورد نظر استفاده شده است. منحنی خشکیدگی جریان، اطلاعات با ارزشی را در مورد جریان آب زیرزمینی و نقاط شروع و خاتمه رواناب مستقیم را در اختیار می‌گذارد که به‌طور گسترده‌ای در مدل‌های هیدرولوژیکی کاربرد دارد. مقادیر دبی روزانه Q_n و دبی روزانه روز بعد از آن Q_{n+1} در مقابل یکدیگر ترسیم شده و پایین‌ترین خطی که همه نقاط را پوشش می‌دهد، به‌عنوان مقدار k در نظر گرفته می‌شود که ثابت خشکیدگی حوزه محسوب می‌شود. معادله شاخه نزولی هیدروگراف به صورت زیر می‌باشد:

$$Q_b = Q_0 . k^t \qquad [2]$$

که Q_b دبی پایه، Q_0 مقدار ورودی جریان پایه ، k ثابت خشکیدگی و t زمان است. ابتدا هیدروگراف‌های رواناب به صورت نیمه لگاریتمی که در آن جریان لگاریتمی و زمان به صورت نرمال است ترسیم می‌شوند. نقاط شروع وخاتمه رواناب سطحی با استفاده ازتغییر ثابت خشکیدگی (k) یا شیبهای منحنی نیمه لگاریتمی مشخص می‌شوند. این روش در اغلب موارد که تعداد زیادی ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه انتخاب شده باشد غیر عملی است. بنابراین کاربرد روش‌های اتوماتیک تفکیک هیدروگراف ضروری می‌باشد. مقایسه روش‌های به کار رفته در این تحقیق با نتایج تحلیل شاخه نزولی هیدروگراف توسط دو آزمون میانگین مطلق خطا (Mean Absolute Error) (MAE) و مجذور میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error) (RMSE) انجام شده است:

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.1.6]

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}[z(xi) - \hat{z}(xi)] \quad [3]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}[z(xi) - \hat{z}(xi)]^2} \quad [4]$$

که در آن n: تعداد مشاهدات

$z(xi)$: مقادیر مشاهده شده حاصل از تحلیل منحنی خشکیدگی

$\hat{z}(xi)$: مقادیر برآورد شده با استفاده از روش‌های اتوماتیک است.

شاخص دبی پایه

شاخص دبی پایه یک نسبت بدون بعد است که اولین بار توسط لوویچ توسعه یافته و توسط پژوهشکده هیدرولوژی به‌کار رفته است (۶ و ۷). این شاخص از تقسیم دبی پایه به کل رواناب برای هر سال یا کل دوره آماری به‌دست می‌آید. این شاخص می‌تواند بیانگر اطلاعاتی در مورد نسبت رواناب مشتق شده از منابع ذخیره‌ای حوزه آبخیز باشد. اولین قدم در برآورد این شاخص، تفکیک هیدروگراف جریان و برآورد دبی پایه است. شاخص دبی پایه می‌تواند به‌عنوان یکی از ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز در مطالعات و تحقیقات مورد بهره‌برداری قرار گیرد. شناخت مناسب‌ترین روش تفکیک هیدروگراف و برآورد دبی پایه امکان محاسبه دقیق‌تر شاخص دبی پایه را فراهم می‌سازد که در این مقاله به آن پرداخته شده است.

نتایج

در این تحقیق دو روش فیلتر عددی برگشتی با ضرایب فیلتر ۰/۹ تا ۰/۹۷۵ و روش حداقل محلی به‌منظور تفکیک هیدروگراف جریان و برآورد دبی پایه در شش ایستگاه هیدرومتری در حوزه آبخیز کارون مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۲ نمونه‌ای از تفکیک هیدروگراف جریان در ایستگاه پل شالو با استفاده از روش حداقل محلی در سال آماری ۵۹-۱۳۵۸ را نشان می‌دهد. شکل ۳ نتایج تفکیک هیدروگراف جریان و برآورد دبی پایه در همان ایستگاه به روش فیلتر عددی برگشتی با ضرایب مختلف را نشان می‌دهد. شکل‌های ۲ و ۳ را می‌توان به‌عنوان روش مقایسه‌ای گرافیکی برای ارزیابی عملکرد روش‌های فوق مورد استفاده قرار داد. همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، روش حداقل محلی تا حدودی دبی پایه را بیش از حد برآورد می‌کند. این روش برآورد خوبی از شاخه صعودی هیدروگراف دارد ولی در برآورد انتهای رواناب سطحی با مشکل مواجه می‌شود. هم‌چنین این روش در وقایع با چند دبی اوج و در بین دو واقعه که تحت تأثیر یکدیگر می‌باشند، جریان پایه را خیلی بیشتر از حد واقعی نشان می‌دهند. از طرف دیگر همان‌گونه که در شکل ۳ نشان داده شده روش فیلتر عددی برگشتی با ضریب فیلتر ۰/۹۷۵ دبی پایه را کمتر از حد نشان می‌دهد. برآورد کمتر دبی پایه در طول فصول با جریان‌های زیاد که معمولاً انتهای زمستان و در بهار می‌باشند مشهود و واضح است. برآورد کمتر از حد دبی پایه جریان هنگامی که مقدار ضریب فیلتر ۰/۹۵ انتخاب می‌شود نیز در شکل ۳ مشهود است. مقایسه گرافیکی روش فیلتر عددی برگشتی با ضرایب مختلف و روش حداقل محلی نشان می‌دهد که روش فیلتر عددی با ضرایب ۰/۹ و ۰/۹۲۵ نتایج نسبتاً قابل اعتمادتری را ارائه می‌کند.

به‌عنوان مقایسه عددی بین نتایج روش‌های حداقل محلی و روش فیلتر عددی برگشتی با نتایج روش تحلیل شاخه نزولی هیدروگراف، سه سال آماری از داده‌های دبی از سال‌های آبی ۷۶-۱۳۷۵ تا ۷۸-۱۳۷۷ انتخاب و دبی پایه و رواناب مستقیم با استفاده از تحلیل شاخه نزولی هیدروگراف در کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی محاسبه گردید. در این مقاله مقادیر حاصل به‌عنوان یک مبنای مقایسه بین روش‌های مختلف تفکیک هیدروگراف در نظر گرفته شد.

در روش تحلیل شاخه نزولی هیدروگراف انتخاب نقطه‌ای در شاخه نزولی که رواناب مستقیم در آن خاتمه یافته است ضروری می‌باشد. طبق نظر مک کوئین (۹) این نقطه به‌عنوان نقطه عطف شاخه نزولی هیدروگراف بوده که آن را می‌توان با

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.1.6]

روش گرافیکی تشخیص داد. نقطه عطف با تغییر شیب در منحنی نیمه لگاریتمی مشخص می‌شود. در این روش ابتدا هیدروگراف‌های رواناب به صورت نیمه لگاریتمی که در آن جریان لگاریتمی و زمان به صورت حسابی است، ترسیم می‌شوند. نقاط شروع و خاتمه رواناب سطحی با استفاده از تغییر ثابت خشکیدگی (k) یا شیب‌های منحنی نیمه لگاریتمی مشخص می‌شوند. روش‌های مختلفی برای تعیین شکل هیدروگراف جریان پایه وجود دارند. در این مورد تجزیه جریان پایه از رواناب مستقیم با ترسیم خط مستقیمی از نقطه شروع رواناب در منحنی بالا رونده تا خاتمه آن در انتهای شاخه پایین رونده انجام شده است. شکل (۴-الف) نحوه تعیین نقطه عطف در شاخه نزولی هیدروگراف را نشان می‌دهد.

در این تحقیق محل نقطه عطف شاخه نزولی هیدروگراف و چگونگی تعیین آن در روش‌های اتوماتیک تفکیک هیدروگراف به‌عنوان یکی دیگر از معیارهای مقایسه مورد استفاده قرار گرفت. شکل (۴- ب) عملکرد هر یک از روش‌های تفکیک هیدروگراف در تعیین دقیق نقطه عطف شاخه نزولی را در یک واقعه نمونه نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل (۴- ب) مشاهده می‌شود، روش حداقل محلی و روش فیلتر عددی برگشتی با ضرایب فیلتر ۰/۹۵ و ۰/۹۷۵ از دقت پایینی در تعیین نقطه خاتمه رواناب مستقیم برخوردار می‌باشند. در حالی‌که روش فیلتر عددی برگشتی با ضرایب فیلتر ۰/۹۲۵ و ۰/۹ در تشخیص نقطه عطف در مقایسه با نتایج تحلیل شاخه نزولی هیدروگراف از دقت بالاتری برخوردارند. در حالی‌که روش فیلتر با ضریب ۰/۹ برآورد بیشتر از حد در مقایسه با روش تحلیل شاخه نزولی هیدروگراف را ارائه می‌کند.

معیارهای برآورد خطا شامل میانگین مطلق خطا و مجذور میانگین مربعات خطا برای مقایسه نتایج روش‌های اتوماتیک تفکیک هیدروگراف و برآورد دبی پایه با نتایج روش تحلیل شاخه نزولی هیدروگراف به‌کار گرفته شدند. جدول ۲ مقایسه روش‌های مذکور را در ایستگاه پل شالو در سال‌های آبی ۷۶-۱۳۷۵ تا ۷۸-۱۳۷۷ نشان می‌دهد. همان‌گونه که در جدول ۲ نشان داده شده، روش فیلتر عددی برگشتی با ضریب پارامتر ۰/۹۲۵ از دقت بیشتری نسبت به روش‌های دیگر در مقایسه با تحلیل شاخه نزولی هیدروگراف دارد.

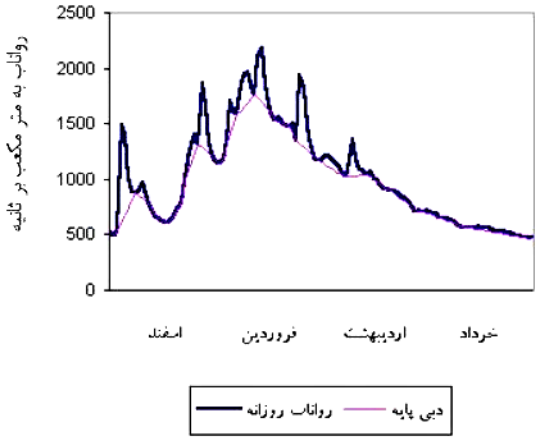
با توجه به انتخاب روش فیلتر عددی برگشتی با ضریب ۰/۹۲۵ به‌عنوان مناسب‌ترین روش اتوماتیک در تفکیک هیدروگراف و برآورد دبی پایه، مقادیر ماهانه و سالانه شاخص دبی پایه در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی با محاسبه سری زمانی دبی پایه به روش مذکور در طول دوره آماری ۳۰ ساله از سال‌های آبی ۴۹-۱۳۴۸ الی ۷۸-۱۳۷۷ محاسبه گردید. شکل ۵ محدوده تغییرات مقادیر میانگین، حداقل و حداکثر شاخص دبی پایه در حوزه‌های آبخیز مورد بررسی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، محدوده تغییرات میانگین سالانه شاخص دبی پایه در منطقه مورد مطالعه از ۰/۷۹ تا ۰/۸۸ متغیر است. این امر مؤید این است که بیشتر از ۸۰ درصد رواناب سالانه می‌تواند به‌عنوان جریان پایه یا تخلیه آب زیرزمینی در حوزه‌های آبخیز مورد بررسی در نظر گرفته شود.

بحث و نتیجه‌گیری

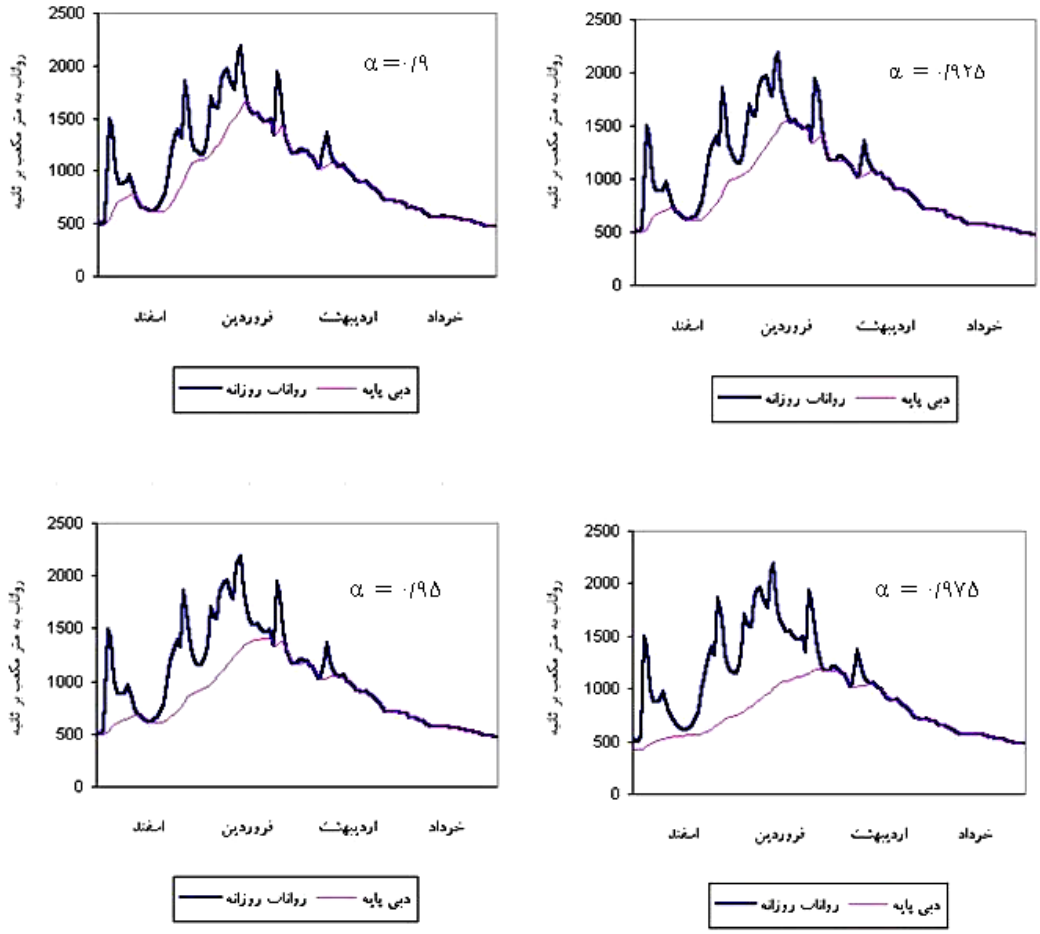
در این تحقیق روش‌های اتوماتیک تفکیک هیدروگراف جریان و برآورد دبی پایه شامل روش حداقل محلی و فیلتر عددی برگشتی با ضرایب پارامتر ۰/۹، ۰/۹۲۵، ۰/۹۵ و ۰/۹۷۵ به‌منظور برآورد دبی پایه جریان در شش ایستگاه هیدرومتری در حوزه آبخیز کارون مورد استفاده قرار گرفت. بررسی مقایسه‌ای روش‌های مذکور و روش تحلیل شاخه نزولی هیدروگراف که از روش‌های دقیق اما وقت‌گیر در تفکیک هیدروگراف محسوب می‌شود، نشان می‌دهد که روش فیلتر عددی برگشتی با ضریب پارامتر ۰/۹۲۵ از دقت بیشتری برخوردار بوده و نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد. با بررسی‌های گرافیکی روش‌های اتوماتیک در تعیین دقیق نقطه عطف شاخه نزولی هیدروگراف که زمان پایان رواناب مستقیم را نشان می‌دهد نیز برتری روش مذکور را تأیید می‌کند. دبی پایه حاصل از این روش به‌صورت یک سری زمانی پیوسته قابل

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.1.6]



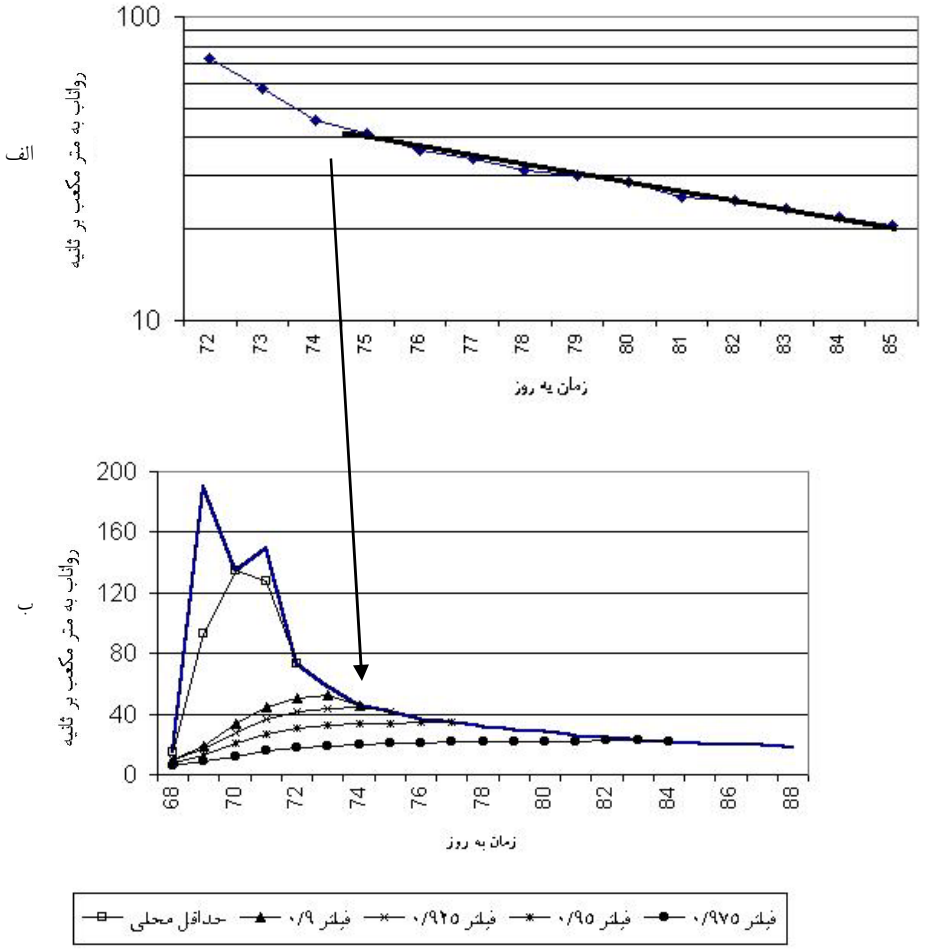
شکل۲. تفکیک هیدروگراف جریان به روش حداقل محلی در ایستگاه هیدرومتری پل شالو در بخشی از سال آبی ۵۹-۱۳۵۸



شکل۳. تفکیک هیدروگراف جریان به روش فیلتر عددی برگشتی با ضرایب فیلتر مختلف در ایستگاه هیدرومتری پل شالو در بخشی از سال آبی ۵۹-۱۳۵۸

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.1.6]



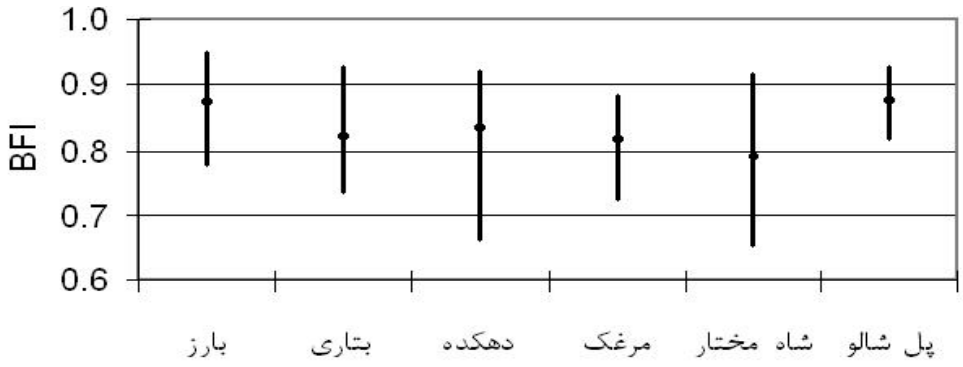
شکل۴. نحوه تعیین نقطه عطف در شاخه نزولی هیدروگراف و مقایسه روش‌های اتوماتیک در یک واقعه انتخابی در ایستگاه هیدرومتری پل شالو

جدول۲. مقایسه روش‌های تفکیک هیدروگراف و برآورد دبی پایه با روش تحلیل شاخه نزولی هیدروگراف

روش تفکیک	مجذور میانگین مربعات خطا	میانگین مطلق خطا
حداقل محلی	۱۳/۹۲	۸/۳۴
فیلتر عددی با ضریب ۰/۹	۱۹/۰۷	۸/۷۷
فیلتر عددی با ضریب ۰/۹۲۵	۱۵/۱۰	۸/۱۹
فیلتر عددی با ضریب ۰/۹۵	۱۷/۸۳	۱۰/۳۷
فیلتر عددی با ضریب ۰/۹۷۵	۴۷/۱۸	۲۷/۰۲

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.1.6]



شکل۵. تغییرات میانگین، حداکثر و حداقل شاخص دبی پایه در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه

استخراج بوده که می‌تواند در مدل سازی پیوسته جریان و نیز کالیبراسیون مدل‌های بارش – رواناب و بیلان آبی به‌کار رود. نتایج این تحقیق با نتایج مقایسه‌های انجام شده توسط ناتان و مک ماهان هم‌خوانی دارد (۱۰). اسماکتین و واتکینز به‌منظور تفکیک دبی پایه از جریان ماهانه مناسب‌ترین ضریب فیلتر را بین ۰/۹۸۵ تا ۰/۹۹۵ تشخیص داده‌اند (۱۳). همان‌گونه که ناتان و مک ماهان و ژیلاگی تأکید کرده‌اند، روش فیلتر عددی برگشتی از سرعت بالا در تفکیک هیدروگراف جریان برخوردار بوده و مقادیر پیوسته دبی پایه را می‌توان به کمک آن استخراج نمود (۱۰ و ۱۴). در این روش خطاهای قضاوت کارشناسی در تفکیک هیدروگراف جریان به‌خصوص در شرایطی که طول دوره آماری زیاد و حوزه‌های متعدد مورد تحقیق قرار می‌گیرد، حذف می‌گردد. از طرفی خصوصیات فوق کاربرد دبی پایه را به‌عنوان یک متغیر هیدرولوژیکی برای مدیریت منابع آب در طول فصول کم آبی و دیگر مطالعات تسهیل می‌کند.

مقادیر شاخص دبی پایه جریان و محدوده حداکثر و حداقل آن در کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی محاسبه گردید. تغییرات این شاخص در حوزه‌های آبخیز مختلف نشان می‌دهد که این نسبت بی بعد در حوزه‌ها با مساحت‌های مختلف متغیر بوده، که این مطلب نقش اساسی دیگر عوامل مؤثر از مانند خصوصیات زمین شناسی، خاک شناسی و شرایط پوشش گیاهی را نشان می‌دهد که می‌بایست در تحقیق جداگانه‌ای به آن پرداخت. شاخص دبی پایه را اصولاً می‌توان یک ویژگی ژئوهیدرولوژیکی حوزه آبخیز دانست. نتایج این تحقیق نشان داده است که دبی پایه به‌طور میانگین بیشتر از ۸۰ درصد از کل جریان سالانه در ایستگاه‌هایی هیدرومتری منطقه را تشکیل می‌دهد. این مطالب ضرورت و اهمیت مدیریت تلفیقی آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی به‌عنوان منابع مرتبط به هم را نشان می‌دهد.

منابع مورد استفاده

1. Brutsaert, W. and J.L. Nieber. 1977. Regionalized drought flow hydrographs from a mature glaciated plateau. Water Resour. Res. 13(3): 637-643.
2. Chapman, T.G. and Al. Maxwell. 1996. Base flow separation comparison of numerical methods with tracer experiments. Hydrological and Water Resources Symposium, Institution of Engineers Australia, Hobart.
3. Dingman, S.L. 1994. Physical Hydrology. Prentice-Hall Pub., Englewood Cliffs, N.J.
4. Holtschlag, D.J. and J.R. Nicholas. 1998. Indirect ground-water discharge to the Great Lakes. U.S. Geological Survey Open-File Report 98-579.
5. Hoos, A.B. 1990. Recharge rates and aquifer hydraulic characteristics for selected drainage basins in middle and east Tennessee. U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 90-4015.
6. Institute of Hydrology. 1980. Low flow studies research report. Institute of Hydrology, Wallingford, U.K.
7. Lvovich, M.I. 1979. World water resources and their future. American Geophysical Union, Washington DC.
8. Mau, D.P. and T.C. Winter. 1997. Estimating ground-water recharge from stream flow hydrographs for a small mountain watershed in a temperate humid climate, New Hampshire, USA. Groundwater 35(2): 291-304.

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.1.6]

9. McCuen, R.H. 1998. Hydrologic Analysis and Design. 2nd ed., Prentice-Halling, USA.
10. Nathan, R.J. and T.A. McMahon. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. Water Resour. Res. 26: 1465-1473.
11. Rutledge, A.T. and C.C. Daniel. 1994. Testing an automated method to estimate ground-water recharge from stream flow records. Groundwater 32(2): 180-189.
12. Smakhtin, V.U. 2001. Estimating continuous monthly baseflow time series and their possible applications in the context of the ecological reserve. Water SA, 27(2): 213-217.
13. Smakhtin, V.U. and D.A. Watkins 1997. Low flow estimation in South Africa. WRC Report no 494/1/97.
14. Szilagyi, J. 2004. Heuristic continuous baseflow separation. J. Hydrol. Eng. ASCE. 9(4): 311-318.
15. Troch, P.A., F.P. DeTroch and W. Brutsaert. 1993. Effective water table depth to describe initial conditions prior to storm rainfall in humid regions. Water Resour. Res. 29(2): 427-434.
16. White, K.A. and R.A. Sloto. 1990. Base-flow frequency characteristics of selected Pennsylvania Streams. U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 90-4160.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.1.6]