

ارزیابی روش‌های جداسازی آب پایه در حوزه آبخیز سد کرج

عادل سلطانی و میلاد سلطانی

دوره ۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، صفحات ۲۱۶ - ۲۲۸

Vol. 4(3), Autumn 2018, 216 – 228

DOI: 10.22034/jewe.2018.63434

Assessment of Base Flow Separation Methods in  
Karaj Dam Watershed

Soltani A. and Soltani M.



[www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله: سلطانی ع. و سلطانی م. (۱۳۹۷). ارزیابی روش‌های جداسازی آب پایه در حوزه آبخیز سد کرج. مجله محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۴، شماره ۳، صفحات: ۲۱۶ - ۲۲۸.

**Citing this paper:** Soltani A. and Soltani M. (2018). Assessment of base flow separation methods in Karaj dam watershed. J. Environ. Water Eng., 4(3), 216 – 228. DOI: 10.22034/jewe.2018.63434

## ارزیابی روش‌های جداسازی آب پایه در حوزه آبخیز سد کرج عادل سلطانی<sup>۱\*</sup> و میلاد سلطانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>عضو هیأت علمی گروه مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، اسلام‌آباد، ایران  
<sup>۲</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران  
\*نویسنده مسئول: [soltani@pnu.ac.ir](mailto:soltani@pnu.ac.ir)

### مقاله اصلی

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۷/۰۳/۰۸]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۷/۰۲/۲۷]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۶/۱۰/۰۱]

### چکیده

ارزیابی منابع آب موجود در امتداد مسیرهای مختلف رودخانه در یک حوزه آبخیز برای استفاده بهینه از آن، حفاظت و همچنین برای پیش‌بینی سیل و جریان حداقل ضروری است. علاوه بر این، شناخت فرآیندهای تولید رواناب برای ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی برای پاسخ هیدرولوژیکی حوضه نیز با اهمیت می‌باشد. روش‌های مختلفی برای جداسازی دبی پایه وجود دارد که در این مطالعه از روش‌های حداقل محلی، بازه‌ی زمانی متحرک، بازه‌ی زمانی ثابت، فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره و روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره برای جداسازی دبی پایه در چهار ایستگاه هیدرومتری حوضه رودخانه کرج با دوره‌ی آماری ۲۲ ساله (۱۳۹۰-۱۳۶۹) استفاده شد. سپس نتایج آن‌ها به‌منظور تعیین مناسب‌ترین روش مقایسه شدند. نتایج نشان داد که در ایستگاه‌های سیرا-کلوان و نشتارود روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقادیر آلفای ۰/۹۲۵ و ۰/۹۵ به‌دلیل عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها و همچنین مقادیر حداقل انحراف استاندارد می‌تواند روش مناسبی در برآورد دبی پایه باشد. در ایستگاه‌های مورد و سیرا نیز روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقادیر آلفای ۰/۹۵ و ۰/۹۷۵ به‌دلیل عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین نتایج آن‌ها و همچنین مقادیر حداقل انحراف استاندارد روش مناسبی در جداسازی دبی پایه تعیین شد. بنابراین، روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره از سرعت بالا در تفکیک هیدروگراف جریان برخوردار بوده و مقادیر پیوسته دبی پایه را می‌توان به کمک آن بهتر استخراج کرد.

**واژه‌های کلیدی:** آب پایه؛ تفکیک هیدروگراف؛ فیلتر عددی برگشتی؛ منابع آب.

## ۱- مقدمه

است؛ چون اغلب نتایج به‌دست آمده از این روش نیز بین محققان مختلف یکسان نیست (White and Slot 1993). Ghanbarpuor et al. (2008) به مقایسه روش‌های برآورد دبی پایه در حوزه آبخیز کارون با روش تحلیل شاخه خشکیدگی<sup>۲</sup> و بررسی شاخص جریان پایه آن‌ها پرداختند و نشان دادند که روش فیلتر عددی بازگشتی با ضریب ۰/۹۲۵ به‌عنوان دقیق‌ترین روش به‌منظور استخراج دبی پایه در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. (Hasani et al. 2012) نیز از روش فیلتر عددی برگشتی یک و دو پارامتره و روش PART و روش کمینه موضعی<sup>۳</sup> از داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه نمود، روش کمینه موضعی و در ایستگاه نمود روش فیلتر عددی برگشتی یک پارامتره با مقدار  $\alpha$  برابر ۰/۹۷۵ به دلیل پایین بودن انحراف استاندارد (SD=0.04)، روش مناسبی برای تفکیک جریان پایه از جریان کلی رودخانه است. Rahimi et al. (2013) نیز با استفاده از داده‌های دبی جریان اندازه‌گیری شده در یک دوره ۳۵ ساله ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه در رودخانه چهل‌چای، سری زمانی به دست آمده از دبی رودخانه را مورد مطالعه قرار دادند و مدل‌های سری زمانی فصلی بر داده‌های دبی کل، دبی پایه و رواناب مستقیم را ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که دبی کل حاصل شده از مجموع پیش‌بینی دبی پایه و رواناب مستقیم مقدار واقعی تری نسبت به دبی کل پیش‌بینی شده از مدل (۱,۰,۰) (۰,۰,۱) ARIMA<sup>۴</sup> ارائه می‌دهد. (Taiemori 2014) نیز به ارزیابی روش‌های مختلف تفکیک دبی پایه بر اساس آنالیز شاخه خشکیدگی در استان آذربایجان غربی پرداخته است که روش فیلتر دیجیتالی برگشتی با پارامتر ۰/۹۲۵ به‌عنوان دقیق‌ترین روش در تفکیک دبی پایه در منطقه مورد مطالعه شناخته شد.

با توجه به این‌که ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود و بیش‌تر رودخانه‌ها در مناطق خشک قرار گرفته‌اند و همچنین وضعیت بحرانی برداشت آب‌های زیرزمینی و لزوم توجه بیش‌تر به آب‌های سطحی، آگاهی از وضعیت رواناب، دبی پایه و بیلان آبی حوزه‌های آبخیز کشور،

امروزه در دنیا شناخت منابع آبی موجود در برنامه‌ریزی منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. محدودیت منابع آب و افزایش نیاز به آب که ناشی از افزایش جمعیت، توسعه شهرها و سیاست‌های جدید مدیریت جوامع بشری است و نیز استفاده بی‌رویه و غیراصولی از این منابع، باعث بروز مشکلات و اختلافات روزافزونی در خصوص مدیریت منابع آب گردیده است. برای بهینه‌سازی مصرف آب، اطلاع از بیلان آبی حوزه‌های آبخیز ضروری می‌باشد (Hosseini 2014). آب به‌عنوان حیاتی‌ترین ماده برای بقای انسان به شمار می‌آید. بحران آب یک بحران جهانی است، بنابراین لزوم برنامه‌ریزی در حفظ و بقای آب و استفاده بهینه از این منابع از مهم‌ترین برنامه‌های توسعه هر کشور می‌باشد. بدون داشتن اطلاعات صحیح از منابع آب، برنامه‌ریزی در مورد آن مفهومی ندارد و این مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیش از هر منطقه دیگر احساس می‌شود (Saadatinezhad et al. 2006). به دلیل اهمیت دبی پایه<sup>۱</sup> در فرآیندهای هیدرولوژیک و دارا بودن نقش حیاتی در مدیریت منابع آب، برآورد جریان پایه یکی از موضوعات مورد علاقه هیدرولوژیست‌ها می‌باشد (Hall 1968; Tallaksen 1995). برای رفع مشکلات متعدد تعیین دبی پایه به‌صورت مستقیم، روش‌های متفاوتی در اقلیم‌های مختلف و شرایط توپوگرافی و زمین‌شناسی گوناگون به این منظور توسعه داده شده است. جداسازی جریان پایه نقش مهمی در مطالعات هیدرولوژی مانند مدل‌سازی‌های کمی بارش رواناب، مدل‌سازی کیفیت آب، بررسی تأثیر مدیریت‌های مختلف اراضی در جریان آب زیرزمینی و غیره دارد که الگوریتم‌های متفاوتی نیز برای آن پیشنهاد شده است (Ghanbarpuor et al. 2008).

روش‌های تحلیلی متعددی برای تجزیه جریان پایه از کل رواناب توسعه داده شده است و علی‌رغم اینکه بیشتر آن‌ها مبنای فیزیکی دارند، انتخاب اجزای آن‌ها اختیاری است (Arnold et al. 1995). تجزیه نظری هیدروگراف جریان به‌عنوان ساده‌ترین روش مطرح است که غیردقیق و وقت‌گیر

3. Local minimum

4. Autoregressive integrated moving average

1. Base flow

2. Recession curve

کندوان، کسپل‌نسا، آسارا، سپهسالار تشکیل شده است که همگی از ارتفاعات البرز سرچشمه می‌گیرد. کمترین مقدار بارندگی متوسط سالانه در ایستگاه سد امیرکبیر با ارتفاع ۱۵۸۸ m از سطح دریا، ۴۱۸ mm محاسبه شده است. بیشترین مقدار بارندگی متوسط سالانه نیز مربوط به ایستگاه نسا با ارتفاع ۲۸۰۰ m از سطح دریا و ۶۶۷ mm می‌باشد. ضریب تغییرات بارندگی متوسط سالانه کمتر از ۰.۲۵ بوده است که نشان از تغییرات نسبتاً کم بارش از سالی به سال دیگر است. رودخانه کرج دارای اشکال مختلفی است و از لحاظ ریخت‌شناسی در گروه‌های مختلفی قرار می‌گیرد. در اکثر مسیر، رودخانه دارای بستر شنی بوده و فرم کلی در گروه رودخانه‌های با بستر شنی قرار می‌گیرد. از نظر ریخت‌شناسی، یک رودخانه سینوسی با تیپ کوهستانی می‌باشد. این رودخانه پس از خروج از کوهستان و ورود به دشت به تیپ شریانی یا نیمه شریانی تبدیل می‌شود (Hosseini 2014). شکل (۱) نمایی از منطق مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

## ۲-۲- روش کار

در این مطالعه از داده‌های دبی روزانه ۴ ایستگاه هیدرومتری با دوره‌ی آماری ۲۲ ساله (۱۳۶۹-۱۳۹۰) استفاده شد. همچنین برای جداسازی آب‌پایه و محاسبه شاخص جریان پایه (BFI<sup>۲</sup>) از نرم‌افزار BFI نسخه ۳ و از روش‌های حداقل محلی<sup>۳</sup>، روش بازه‌ی زمانی متحرک<sup>۴</sup>، روش بازه‌ی زمانی ثابت<sup>۵</sup>، فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره<sup>۶</sup> و روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره<sup>۷</sup> استفاده شد.

همچنین در این تحقیق جهت بررسی نرمال بودن داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های مورد استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف و برای بررسی اینکه آیا بین نتایج روش‌های مختلف تفکیک جریان پایه از جریان کلی رودخانه اختلاف معنی‌داری وجود دارد یا نه، از آزمون من - ویتنی<sup>۸</sup> استفاده شد.

در کمترین زمان و با دقت مناسب، یکی از راهکارهای مؤثر در مدیریت منابع آب با توجه به شرایط کمبود آب است. بنابراین، می‌توان از برآورد میزان مشارکت جریان پایه در جریان کلی ماهانه و سالانه در یک حوزه آبخیز به‌ویژه در حوزه‌های آبخیز مناطق خشک و نیمه‌خشک در برنامه‌ریزی آبیاری، کشاورزی، مدیریت خشکسالی، کاهش تلفات آب، تولید برق آبی، تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و غیره استفاده کرد. برآورد جریان پایه به روش‌های مختلف در حوزه آبخیز کرج، یکی از اهداف این مطالعه است. همچنین مشخص کردن بهترین روش برآورد جریان پایه و نیز محاسبه شاخص جریان پایه و بررسی تغییرات زمانی آن بر اساس روش انتخاب شده از دیگر اهداف این پژوهش است.

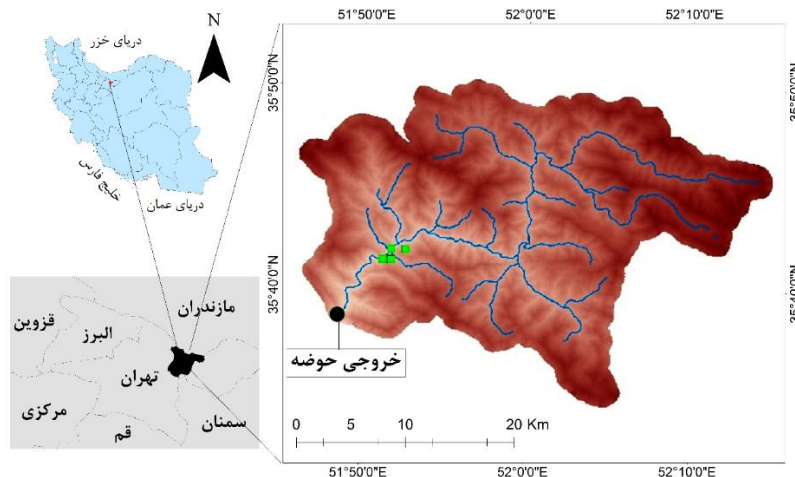
## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز بالادست سد کرج که دامنه جنوبی ارتفاعات البرز را شامل می‌شود، در شمال غرب استان تهران و بین طول شرقی ۳۸° و ۵' تا ۵۷° و ۳۰' و عرض شمالی ۵۶° و ۵۲' تا ۴° و ۱۱' واقع شده است. این حوزه در تقسیم‌بندی حوزه‌های آبخیز کشور جزئی از بزرگ‌ترین حوزه‌های دریاچه نمک می‌باشد. مساحت کل محدوده مورد مطالعه ۷۲۸/۸۳ km<sup>۲</sup> می‌باشد. حوزه مورد مطالعه از نظر توپوگرافی، کوهستانی و از دامنه‌های پرشیب و قله‌های بلند تشکیل شده است. ارتفاع در این حوزه از بلندترین نقطه آن در دیزین با ارتفاع ۴۳۰۷ m تا خروجی به ارتفاع ۱۸۶۴ m از سطح دریا متغیر است. متوسط ارتفاع حوزه با توجه به ارقام نقشه راقومی ارتفاع (DEM<sup>۱</sup>) ۲۸۲۷ m از سطح دریا محاسبه شد. تراکم زهکشی حوزه کرج ۷/۱ km<sup>۲</sup>/km<sup>۲</sup> می‌باشد. حوزه آبخیز سد کرج از شمال به حوزه آبخیز چالوس - هراز - طالقان رود، از غرب به حوزه آبخیز کردان، از شرق به حوزه‌های دربرگیرنده رودخانه‌های منتهی تهران و رودخانه جاجرود محدود می‌شود. رودخانه‌های کرج از شاخه‌های ولایت رود (کاجره)، وارنگه‌رود، شهرستانک، ارنکه، آزادبر،

5. Fixed-interval method
6. One -parameter Recursive digital filter
7. Two -parameter Recursive digital filter
8. Mann-Whitney U test

1. Digital elevation model
2. Base flow index
3. Local minimum
4. Sliding-interval method



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه  
Fig. 1 Location of the study area

#### ۲-۲-۴- فیلتر عددی بازگشتی یک پارامتره

این روش اولین بار توسط Lyne and Hollick (1979) ارائه گردید که فقط نیاز به تعیین پارامتر ثابت بازگشت دارد. رابطه (۱) این فیلتر در زیر ارائه شده است:

$$B_k = (a \times B_k - 1) + \frac{(1-a)}{2} \times (Y_k + Y_k - 1) \quad (1)$$

که در این رابطه  $B_k$  جریان پایه فیلتر شده در مرحله زمانی  $K$  (متر مکعب بر ثانیه)،  $a$  پارامتر فیلتر مرتبط با حوزه آبخیز،  $Y_k$  جریان کل در مرحله زمانی  $K$  (متر مکعب بر ثانیه) و  $Y_{k-1}$  جریان کل در مرحله زمانی  $K-1$  (متر مکعب بر ثانیه). در این تحقیق نیز برای  $a$  مقادیر ۰/۹۰، ۰/۹۲۵، ۰/۹۵۰ و ۰/۹۷۵ در نظر گرفته شد. مناسب‌ترین محدوده برای پارامتر فیلتر بین ۰/۹۰-۰/۹۵ می‌باشد و مقدار بهینه‌ی آن ۰/۹۲۵ است (Nathan and McMahon 1990).

#### ۲-۲-۵- فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره

این روش اولین بار توسط Eckhardt (2008) ارائه شد که در آن ابتدا باید دو پارامتر ثابت بازگشت ( $\alpha$ ) و ماکزیمم شاخص جریان پایه ( $BF_{Imax}$ ) تعیین شود. رابطه (۲) شاخص  $BF_{Imax}$  را نشان می‌دهد.

#### ۲-۲-۱- روش بازه‌ی زمانی ثابت

در روش بازه‌ی زمانی ثابت (Hysep) کمترین دبی در هر محدوده‌ی زمانی ( $N$ ) برای تمامی روزهای آن بازه در نظر گرفته می‌شود و با اتصال نقاطی که به این ترتیب تعیین می‌شوند، جدایش هیدروگراف صورت می‌گیرد.

#### ۲-۲-۲- روش بازه‌ی زمانی متحرک

در روش بازه‌ی زمانی متحرک (Hysep) برای تعیین دبی جریان پایه یک روز معین، حداقل دبی در محدوده زمانی  $[0.5(2N^* - 1)]$  روز قبل و بعد آن روز مشخص می‌شود. با اتصال نقاطی به این ترتیب تعیین شده، جدایش هیدروگراف صورت می‌گیرد.

#### ۲-۲-۳- روش حداقل محلی

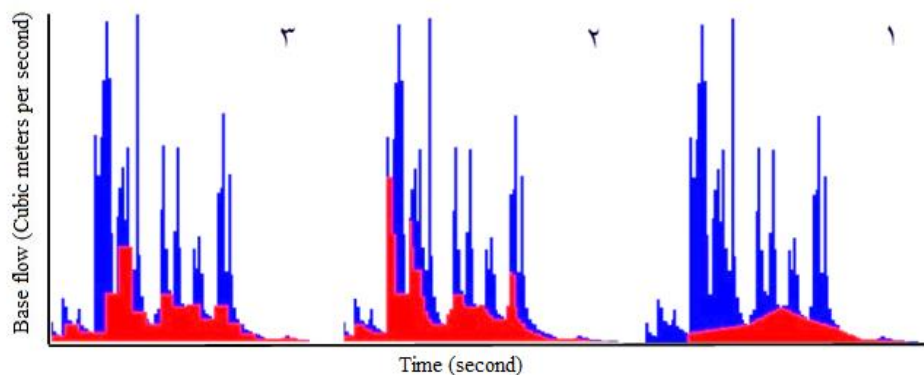
در روش حداقل محلی (Hysep) ابتدا بررسی می‌شود که آیا جریان در یک روز معین در مقایسه با دبی جریان در  $[0.5(2N^* - 1)]$  روز قبل و بعد از آن کمترین مقدار است یا خیر. اگر کمینه بود انتخاب و در غیر این صورت آن روز حذف و عملیات برای روز بعد انجام می‌شود. با اتصال نقاط انتخابی به هم منحنی جدایش هیدروگراف استخراج می‌گردد (Sloto and Crouse 1996). شکل (۲) نمایی از این سه روش را نشان می‌دهد.

#### 1. Maximum base flow index

از آنجا که روش فیلتر عددی برگشتی با ضرایب  $0/9$  و  $0/925$  در تشخیص نقطه عطف در مقایسه با نتایج تحلیل شاخه نزولی هیدروگراف از دقت بالاتری برخوردارند (Ghanbarpour et al. 2008)، از این روش، در این پژوهش مقدار  $a$  برای ایستگاه‌های معرف با توجه به شرایط حوضه؛  $0/98$  و مقدار  $BFI_{max}$  نیز  $0/8$  در نظر گرفته شد که بدین ترتیب نتایج قابل قبولی را ارائه داد.

$$B_k = \frac{(1-BFI_{MAX})abk-1(1-a)BFI_{MAX.Y_K}}{(1-aBFI_{MAX})} \quad (2)$$

در این رابطه:  $B_k$  جریان پایه فیلتر شده در مرحله زمانی  $K$  ( $m^3/s$ )،  $a$  پارامتر فیلتر مرتبط با حوزه آبخیز،  $Y_k$  ( $m^3/s$ )،  $B_{k-1}$  جریان کل در مرحله زمانی  $K$  ( $m^3/s$ ) و  $BFI_{max}$ : ماکزیمم شاخص جریان پایه می‌باشند. جدول (۱) مقادیر  $BFI_{max}$  را برای شرایط مختلف محیط رودخانه نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمونه‌ای از روش‌های اصلی جداسازی دبی پایه: ۱-روش بازه‌ی زمانی ثابت، ۲-روش بازه‌ی زمانی متحرک و ۳-روش حداقل محلی

Fig. 2 An example of the main methods of base flow separation: 1. Fixed-interval method; 2. Sliding-interval method; and 3. Local minimum method

این شاخص‌ها نشان دهنده جریان پایه بیشتر و پایداری جریان است (Smakhtin 2001).

### ۳- یافته‌ها و بحث

Hasani et al. (2012) طی تحقیق خود در جداسازی آب‌پایه برای ۴ ایستگاه روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره را مناسب‌ترین روش برای تفکیک جریان پایه از جریان کلی رودخانه معرفی کردند. روش‌های بر پایه فیلتر دیجیتال بازگشتی از تئوری پردازش سیگنال اقتباس شده‌اند، و صرفاً تحلیلی می‌باشند و براساس فرایندهای فیزیکی در حوضه جریان نمی‌باشند. برخی از این فیلترها هیچ اساس هیدرولوژیکی ندارند، بنابراین ارزیابی دقت، صحت و روند فیلتر را دشوار می‌سازد (Daulatabadi et al. 2012). از آنجا که مقادیر واقعی از شاخص دبی پایه ناشناخته است، با اطمینان نمی‌توان گفت که کدامیک از روش‌ها بهترین تخمین را در

جدول ۱- مقادیر  $BFI_{max}$  برای حوزه‌های آبخیز با خصوصیات متفاوت (Eckhardt 2005)

Table 1  $BFI_{max}$  values for watersheds with different characteristics (Eckhardt 2005)

$BFI_{max}$	ویژگی حوزه آبخیز و رودخانه
0.8	رودخانه‌های دائمی با حوزه آبخیز متخلخل
0.5	رودخانه‌های غیر دائمی با حوزه آبخیز متخلخل
0.25	رودخانه‌های دائمی با حوزه آبخیز سخت و سنگی

### ۲-۲-۶- شاخص‌های تداوم جریان

یکی از خصوصیات مهم جریان که از طریق منحنی تداوم جریان حاصل می‌شود  $Q_{50}$  و  $Q_{90}$  است که این دو شاخص مقدار جریانی با احتمال تجاوز به ترتیب ۵۰ و ۹۰ درصد از بازه‌ی زمانی می‌باشد. نسبت  $Q_{90}$  به  $Q_{50}$  گاهی به‌عنوان شاخص جریان پایه مورد استفاده قرار می‌گیرد که مقادیر بالاتر

همچنین در روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره بین مقادیر  $a$  برابر ۰/۹۵ و ۰/۹۰ و مقادیر ۰/۹۵ و ۰/۹۲۵ در سطح اطمینان ۹۵ درصد، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ). نتایج نسبت  $Q_{90}$  به  $Q_{50}$  برای روش‌های مختلف جداسازی دبی پایه نشان داد که این نسبت در روش‌های روش بازه‌ی زمانی متحرک، روش حداقل محلی و روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره و همچنین در روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقادیر آلفای ۰/۹۰ و ۰/۹۲۵ مشابه به دست آمد.

جداسازی آب پایه انجام می‌دهد (Eckhardt 2008). با این-حال، مطالعه حاضر با استفاده از روش‌های آماری سعی در تعیین مناسب‌ترین روش جداسازی دبی پایه در حوزه آبخیز سد کرج داشت. نتایج پژوهش در ایستگاه‌های معرف در ادامه ارائه می‌شوند.

### ۳-۱- ایستگاه سیرا-کلوان

طی بررسی آزمون من-ویتنی در روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره، بین مقادیر  $a$  برابر ۰/۹۲۵ و ۰/۹۰ در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ).

جدول ۲- خصوصیات آماری شاخص جریان پایه (BFI) در ایستگاه سیرا-کلوان

Table 2 Basic characteristics of the base flow index (BFI) at Sierra-Kalvan station

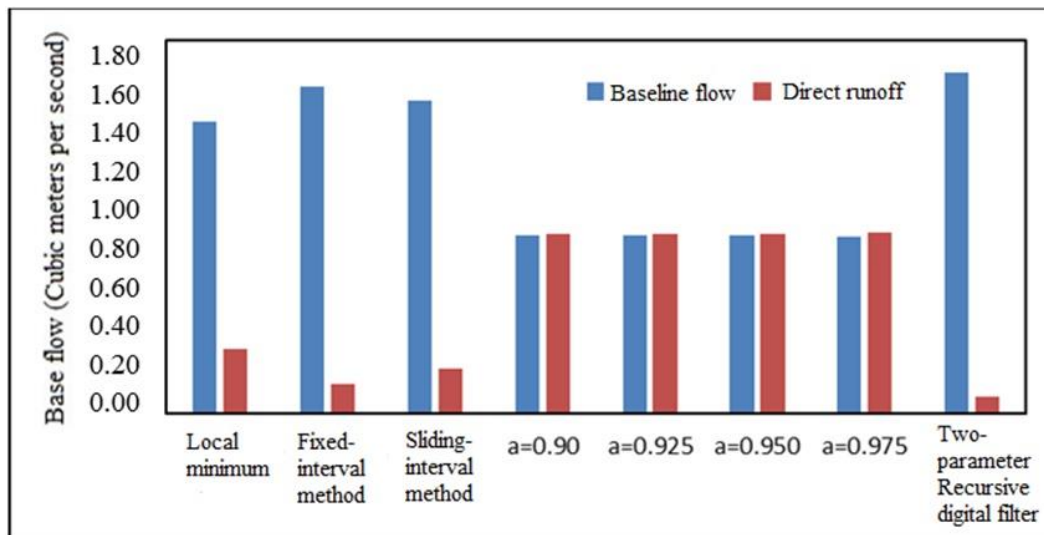
روش‌های تفکیک جریان پایه	فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره ( $\alpha$ )				بازه‌ی زمانی متحرک	بازه‌ی زمانی محلی	بازه‌ی زمانی ثابت	متوسط
	۰.۹۷۵	۰.۹۵۰	۰.۹۲۵	۰.۹۰۰				
استاندارد انحراف	0.199	0.138	0.114	0.099	0.169	0.171	0.185	0.06
میانه	0.54	0.53	0.520	0.52	0.97	0.92	0.95	0.99
چولگی ضریب	0.38	0.63	0.87	1.05	-4.07	-1.97	-3.18	-3.59
حداکثر	1	1	1	1	1	1	1	1
حداقل	0.02	0.05	0.07	0.09	0	0	0	0.44

### ۳-۲- ایستگاه مورد

بر اساس نتایج آزمون من - ویتنی برای بررسی روش‌های مختلف جداسازی آب پایه در ایستگاه مورد در روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره بین مقادیر  $a$  با ضرایب ۰/۹۲۵، ۰/۹۵۰ و ۰/۹۷۵ در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود ( $P > 0/05$ ). طی آزمون مقدار  $Q_{90}$  و در نتیجه نسبت  $Q_{90}$  به  $Q_{50}$  برای تمامی روش‌های مورد استفاده صفر به دست آمد.

با توجه به شاخص آماری جریان پایه (BFI)، بیشترین و کمترین انحراف استاندارد به ترتیب برای روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار  $a$  برابر ۰/۹۷۵ و روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره محاسبه شد. همچنین بیشترین ضریب چولگی داده‌های شاخص جریان پایه برای روش حداقل محلی مشاهده شد (جدول ۳).

با توجه به خصوصیات آماری شاخص جریان پایه (BFI) (جدول ۲)، روش‌های بازه‌ی زمانی ثابت و حداقل محلی با مقادیر انحراف استاندارد ۰/۱۸۵ و ۰/۱۷۱ بیشترین تغییرات را نشان دادند. بیشترین ضریب چولگی نیز برای روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره مشاهده شد. مقادیر حداقل شاخص جریان پایه (BFI) نیز در روش‌های بازه‌ی زمانی ثابت، روش حداقل محلی و روش بازه‌ی زمانی متحرک بدون تغییر می‌باشد. بر اساس شکل (۳) نیز بیشترین آب پایه برای روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره و کمترین مقدار برای روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار  $a$  برابر ۰/۹۷۵ محاسبه شد. علاوه بر این، آب پایه و رواناب مستقیم در روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقادیر  $a$  مختلف مقادیر بسیار نزدیک به هم به دست آمد.



شکل ۳- برآورد جریان پایه و رواناب مستقیم از جریان کل در ایستگاه سیرا-کلوان

Fig. 3 Estimated baseline flow and direct runoff from the total flow at Sierra-Kalvan Station

جدول ۳- خصوصیات آماری شاخص جریان پایه (BFI) در ایستگاه مورد

Table 3 Characteristics of the base flow index (BFI) at Mavred of the station

روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره	فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره ( $\alpha$ )				روش بازه‌ی زمانی ثابت	روش حداقل محلی	روش بازه‌ی زمانی متحرک	روش‌های تفکیک جریان پایه
	0.975	0.950	0.925	0.900				
متوسط	0.647	0.605	0.574	0.555	0.877	0.820	0.922	متوسط
استاندارد انحراف	0.302	0.24	0.198	0.169	0.198	0.239	0.151	استاندارد انحراف
میانه	0.59	0.54	0.52	0.51	1	0.94	1	میانه
چولگی ضریب	-0.27	0.3	0.59	0.83	-2.23	-04.1	-3.22	چولگی ضریب
حداکثر	1	1	1	1	1	1	1	حداکثر
حداقل	0.44	-0.05	0.05	0.07	0	0	0	حداقل

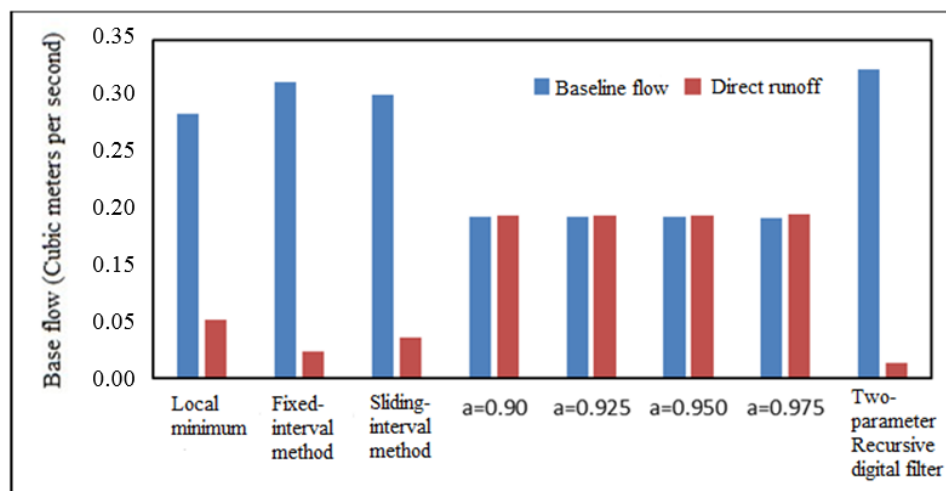
برگشتی یک پارامتره بین مقدار  $a$  ۰/۹۰ و ۰/۹۲۵ و همچنین بین مقدار  $a$  ۰/۹۲۵ و ۰/۹۵۰ در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌شود. اما در بین سایر روش‌ها مانند روش بازه‌ی زمانی متحرک، روش بازه‌ی زمانی ثابت و روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده شد. همچنین با توجه به نسبت  $Q_{50}$  به  $Q_{90}$  (جدول ۴)، نتایج روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقادیر آلفای ۰/۹۲۵، ۰/۹۵۰ و ۰/۹۷۵ و روش بازه‌ی زمانی متحرک با روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره مشابه محاسبه شد.

بر اساس شکل (۴) بیشترین و کمترین دبی پایه به ترتیب برای روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره و فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره (با مقدار  $a$  برابر ۰/۹۷۵) شد. همچنین لازم به ذکر است که در روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقادیر  $a$  ۰/۹۰ و ۰/۹۲۵ نتایج نسبتاً مشابهی از دبی پایه و رواناب مستقیم ارائه کردند.

### ۳-۴- ایستگاه نشتارود

نتایج آزمون من-ویتنی نشان داد که در میان روش‌های جداسازی آب‌پایه در ایستگاه نشتارود در روش فیلتر عدد





شکل ۴- برآورد جریان پایه و رواناب مستقیم از جریان کل در ایستگاه مورد

Fig. 4 Estimated baseline flow and direct runoff from the total current at Mavred station

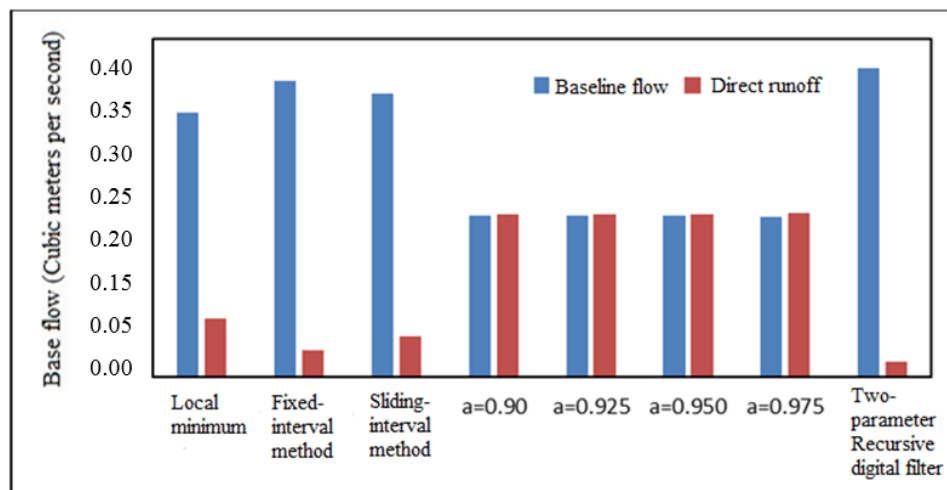
بیشترین ضریب چولگی BFI نیز با مقدار  $0.3/9$ - برای بازه‌ی زمانی متحرک محاسبه شد. با توجه به شکل (۵) بیشترین برآورد آب پایه مربوط به روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره و کمترین برای روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار  $a$   $0.975/9$  محاسبه شد. در صورتی که بیشترین و کمترین رواناب مستقیم به ترتیب برای روش‌های فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار  $a$   $0.975/9$  و روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره به دست آمد.

با توجه به خصوصیات آماری شاخص جریان پایه (BFI) در ایستگاه نشتارود روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره به دلیل کمتر بودن انحراف استاندارد نسبت به سایر روش‌ها در برآورد شاخص جریان پایه (BFI) تغییرپذیری کمتری داشته دارد. همچنین مقدار انحراف استاندارد برای روش‌های روش حداقل محلی و روش بازه‌ی زمانی ثابت مقدار مشابهی حاصل شد. شاخص روش بازه‌ی زمانی ثابت برای روش‌های روش بازه‌ی زمانی متحرک، روش حداقل محلی و روش بازه‌ی زمانی ثابت مقدار صفر به دست آمد (جدول ۴).

جدول ۴- خصوصیات آماری شاخص روش بازه‌ی زمانی ثابت (BFI) در ایستگاه نشتارود

Table 4 Statistical characteristics of the fixed time method (bfi) index at Nashtarod station

روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره	فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره ( $\alpha$ )				روش بازه‌ی زمانی ثابت	روش حداقل محلی	روش بازه‌ی زمانی متحرک	روش‌های تفکیک جریان پایه
	0.975	0.950	0.925	0.900				
0.96	0.64	0.58	0.56	0.54	0.85	0.81	0.89	متوسط
0.06	0.27	0.20	0.16	0.14	0.23	0.23	0.21	استاندارد انحراف
0.98	0.60	0.54	0.52	0.52	0.97	0.91	1	میان
-3.41	-0.01	0.45	0.72	0.94	-2.27	-1.34	-9.03	چولگی ضریب
1	1	1	1	1	1	1	1	حداکثر
0.44	0.02	0.05	0.07	0.09	0	0	0	حداقل



شکل ۵- برآورد جریان پایه و رواناب مستقیم از جریان کل در ایستگاه نشتارود

Fig. 5 Estimated baseline flow and direct runoff from the total current at the Nashtarod station

پارامتره با مقدار آلفای ۱/۱۵ تعیین شد. همچنین مانند سایر ایستگاه‌ها مقدار حداقل شاخص جریان پایه (BFI) برای روش‌های روش بازه‌ی زمانی متحرک و روش بازه‌ی زمانی متحرک صفر به دست آمد. بیشترین ضریب چولگی برای روش بازه‌ی زمانی متحرک با مقدار ۴/۹۸- و کمترین ضریب چولگی نیز برای روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار آلفای ۰/۹۵۰ حاصل شد (جدول ۵).

نتایج کلی این تحقیق نشان می‌دهد که در حوزه آبخیز سد کرج از بین روش‌های موجود در جداسازی آب‌پایه روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقادیر آلفای ۰/۹۲۵ و ۰/۹۵۰ و ۰/۹۷۵ از جمله مناسب‌ترین روش‌ها هستند (شکل ۶).

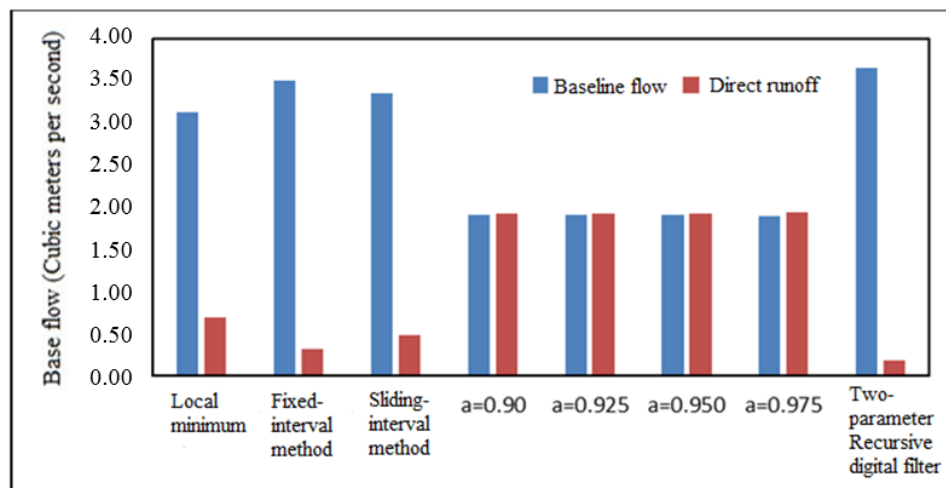
### ۵-۳- ایستگاه سیرا

نتایج آزمون من-ویتنی در بین روش‌های مختلف جداسازی آب‌پایه نشان داد که بین روش‌ها روش بازه‌ی زمانی متحرک و روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است ( $P > 0.05$ ). همچنین نتایج نشان داد که در این ایستگاه در روش‌های فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار آلفای ۰/۰۹، ۰/۹۲۵ و ۰/۹۷۵ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است ( $P > 0.05$ ). با توجه به خصوصیات آماری شاخص جریان پایه (BFI)، کمترین انحراف استاندارد مربوط به روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره و بیشترین آن برای روش فیلتر عدد برگشتی یک

جدول ۵- خصوصیات آماری شاخص جریان پایه (BFI) در ایستگاه سیرا

Table 5 Basic characteristics of the base flow index (BFI) at Sierra station

روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره	فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره ( $\alpha$ )				روش بازه‌ی زمانی ثابت	روش بازه‌ی زمانی متحرک	روش بازه‌ی زمانی متحرک	روش‌های تفکیک جریان پایه
	0.975	0.950	0.925	0.900				
0.97	0.54	0.51	0.50	0.50	0.91	0.96	0.94	متوسط
0.03	1.15	0.09	0.07	0.06	0.14	0.07	0.11	استاندارد انحراف
0.98	0.02	0.52	0.51	0.51	0.98	0.99	0.98	میانه
-3.75	0.14	-0.01	0.20	0.51	-0.87	-7.52	-4.98	چولگی ضریب
1	1	1	1	1	1.15	1	1	حداکثر
0.44	0.02	0.05	0.07	0.09	0.01	0	0	حداقل



شکل ۶- برآورد جریان پایه و رواناب مستقیم از جریان کل در ایستگاه سیرا

Fig. 6 Estimated base flow and direct runoff from the total flow at Sierra station

روش حداقل محلی، روش بازه‌ی زمانی متحرک، روش بازه‌ی زمانی ثابت، فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با ضریب آلفای ۰/۹۰، ۰/۹۲۵، ۰/۹۵۰ و ۰/۹۷۵ و روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره بود. بدین ترتیب موارد زیر به دست آمد:

۱- در ایستگاه سیرا-کلوان روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقادیر آلفای ۰/۹۲۵ و ۰/۹۵۰ به دلیل عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها و همچنین مقادیر حداقل انحراف استاندارد با مقادیر ۰/۹۰ و ۰/۸۸ می‌توانند روش‌های مناسبی در برآورد دبی پایه باشند. کمترین ضریب چولگی با مقدار ۱/۴۲ نیز برای روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار آلفای ۰/۹۵۰ بود.

۲- برای ایستگاه مورد نیز روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقادیر آلفای ۰/۹۵۰ و ۰/۹۷۵ به دلیل کم بودن انحراف استاندارد (به ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۲۵)، ضریب تغییرات و همچنین عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها، روش‌های مناسبی برای تفکیک جریان پایه از جریان کلی دانست.

۳- نتایج برای ایستگاه نشتارود برای جداسازی آب پایه در طول دوره آماری ۲۱ ساله در روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقادیر آلفای ۰/۹۲۵ و ۰/۹۵۰ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و این روش نیز در این ایستگاه دارای حداقل انحراف استاندارد بودند (به ترتیب ۰/۳۰ و ۰/۲۹)، از این رو روش‌ها مناسبی در تفکیک جریان پایه معرفی می‌شوند.

نتایج این تحقیق با مطالعات (Dingman؛ Arnold (1995)؛ Ghanbarpour et al. and Chen (2008)؛ (2002)؛ Taiemori و Hasani et al. (2012)؛ Aksoy (2009) (2014) مطابقت دارد. ایشان نیز در پژوهش خود گزارش کردند که روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقادیر آلفای ۰/۹۲۵ و ۰/۹۵۰ نتایج قابل اعتمادتر و دقیقتری ارائه می‌کند. (McMahon and Nathan (1990) و Szilagyi (2004) نیز در تحقیق بر این موضوع تأکید کردند که روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره از سرعت بالا در تفکیک هیدروگراف جریان برخوردار بوده و مقادیر پیوسته دبی پایه را می‌توان به کمک آن استخراج کرد. (Smakhtin and Watkins (1997)؛ Tamaskony et al. (2013) نیز در تحقیق خود ضریب فیلتر مناسب را بین ۰/۹۰ تا ۰/۹۵ پیشنهاد کردند که به نتایج تحقیق حاضر نزدیک است. با کاهش ضریب آلفا به کمتر از ۰/۹۰ توانایی مدل در برآورد شاخه خشکیدگی هیدروگراف بیشتر شده اما مقدار پیک دبی منحنی دبی پایه به دست آمده از مقدار دبی در نقطه عطف هیدروگراف نیز بیشتر می‌شود که این موضوع نشان دهنده‌ی بیش تخمینی مدل در برآورد دبی پایه است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، روش‌های مختلف جداسازی دبی پایه از داده‌های دبی روزانه در ۴ ایستگاه هیدرومتری حوزه آبخیز سد کرج در یک دوره آماری ۲۱ ساله بررسی شد. این روش‌ها شامل

استاندارد بودند (به ترتیب ۱/۹۵ و ۱/۸۲) و در میان سایر روش‌ها مناسب می‌باشند.

## Reference

- Aksoy H. K. (2009). Filtered smoothed minima base flow separation method. *J. Hydrol.*, 327, 94-101.
- Arnold J., Allen P., Muttiah R. and Bernhardt G. (1995). Automated base flow separation and recession analysis techniques. *Ground Water*, 33(6), 1010-1018.
- Chen L. H. (2008). Baseflow separation in the source region of the Yellow River. *J. Hydrol. Eng.*, 13, 541-548.
- Dingman S. (2002). *Physical hydrology*, Prentice Hall.
- Daulatabadi N. K., Faridhosseini A., Davari K and Mosaedi A. (2012). Estimation of base flow using recursive digital filter methods and BFI\_3.0 software (Case study: part of Maharlou-Bakhtegan watershed). Third National Conference on the Comprehensive Management of Water Resources, Sari, University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Sari, Iran.
- Eckhardt K. (2005). How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrol. Process.*, 19(2), 507-515.
- Eckhardt K. (2008). A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods. *J. Hydrol.*, 352, 168–173.
- Ghanbarpuor M., Timuri M. and Sha'ani G. (2008). Comparison of base flow methods based on hydrograph flow separation (case study of Karun watershed). *Sci. Technol. Agri. Nat. Resour.*, 12(44), 1-10.
- Hall F. R. (1968). Base flow recessions—A review. *Water Resour. Res.*, 4(5), 973–983.
- Hasani M., Malekian A., Rahimi M., Samee M. and Khamoushi M. R. (2012). Study of efficiency of various base flow separation methods in arid and semi-arid rivers (Case study: Hablehroud basin). *Arid Biome Sci. Res. J.*, 2(2), 10-22.
- Hosseini M. (2014). Simulation of hydrocarbon discharge of Qaraosso basin of Kermanshah Province using SWAT model. *J. Eng. Watershed Manag.*, 1 (6), 63-73.
- Lyne V. and Hollick M. (1979). Stochastic time-variable rainfall-runoff modeling. Institute of Engineers Australia National Conference. Pub, 89-93.
- Nathan R. and McMahon T. (1990). Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Water Resour. Res.*, 26(7), 1465-1473.
- Rahimi L., Dehghani A. A., Ghorbani Kh. and Abdolhosseini M. (2013). Comparative analysis of time series models for total flow, base-flow and runoff (Case study: Chehelchai River, Golestan Province). *J. Water Soil Conserv.*, 21(3), 55-77.
- Saadatinezhad S., Abdollahi K., Fatahi R., Shayannezhad M., Jafari A., Asadibrojeni A. and Rozbahani R. (2006). National water resources network: necessity and challenge. First National conference optimum utilization of water resources watersheds Karon and Zayande-rood, University of Shahrekord, Shahrekord [In Persian].
- Sloto R. and Crouse M. (1996). HYSEP: A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis. U.S. Geological Survey. *Water-Resources Investigations Report 96-4040*.
- Smakhtin V. and Watkins D. (1997). Low flow estimation in South Africa. WRC Report No 494/1/97.
- Smakhtin V. (2001). Low flow hydrology: a review. *J. Hydrol.*, 240, 147–186.
- Szilagyi J. (2004). Heuristic continuous baseflow separation. *J. Hydrol. Eng. (ASCE)*, 9(4), 311-318.
- Taiemori M. (2014). Estimation of base discharge separation methods based on analysis of drying branch. *Quart. J. Geogr. Res.*, 29 (4), 57-66.
- Tallaksen L. M. (1995). A review of baseflow recession analysis. *J. Hydrol.*, 165(1-4), 349–370.

Tamaskony A., Zakirinia M., Hazrazhribi A. and Dehghani A. (2013). Comparison of base flow separation methods from daily flow hydrograph (Case study: upstream of Boostan dam catchment in Golestan province). *Water Soil Conserv.*, 20(6), 127-145.

White K. and Slot R. (1993). Base flow frequency characteristics of selected Pennsylvania Streams. U. S. Geological Survey Water Resources Investigation. Report, 90-416: 66p.

Archive of SID

## Assessment of Basin Flow Separation Methods at Karaj Dam Watershed

Adel Soltani<sup>1\*</sup> and Milad Soltani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assist. Professor, Department of Agricultural Technology and Engineering, Payam Noor University, Islam Abad, Iran

<sup>2</sup>M.Sc. Alumini, Department of Watershed Management Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

\*Corresponding author: [soltani@pnu.ac.ir](mailto:soltani@pnu.ac.ir)

### Original Paper

**Received:** December 22, 2017

**Revised:** May 17, 2018

**Accepted:** May 29, 2018

### Abstract

Assessing existing water resources along with different routes of the river in a watershed is essential for its optimum use, conservation, and predicting flood and minimum flow. In addition, identification of runoff production processes is also important for assessing the effects of climate change and landuse on the hydrologic response of the watershed. There are several methods for separating base flow. In this study, the minimum local methods, sliding intervals, fixed intervals, one-parameter recursive digital filter and two-parameter recursive digital filter method were used for separating base flow at four hydrometric stations of Karaj River basin with a statistical period of 22 years (1991-2012). Then, the results were compared to determine the most appropriate method. The results showed that at Sierra-Kalvan and Nashtarod stations, the one-parameter recursive filter method with alpha of 0.925 and 0.950 could be a suitable method for estimating the base flow, due to the lack of significant differences between their results, as well as the minimum standard deviation. For Mored and Sierra stations, the one-parameter recursive digital filter with alpha values of 0.950 and 0.975 was considered as a suitable method in separating base flow because of the lack of significant differences between their results as well as the standard deviation. The one-parameter recursive digital filter, therefore, has high speed in separating the flow hydrograph and can determine the continuous values of base flow.

**Keywords:** Base Flow; Hydrograph Separation; Recursive Digital Filter; Water Resources.