



دانشگاه گورگان و منابع طبیعی گورگان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیستم، شماره ششم، ۱۳۹۲

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

مقایسه روش‌های جداسازی دبی پایه از هیدروگراف روزانه جریان (مطالعه موردی حوضه بالادست سد بوستان در استان گلستان)

احمد تمسکنی^۱، * مهدی زاکری‌نیا^۱، ابوظالب هزارجریبی^۲ و امیراحمد دهقانی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۲

چکیده

دبی پایه بخشی از جریان رودخانه است که از طریق آب زیرزمینی تأمین می‌گردد. این بخش از جریان نقش مهمی در مدیریت منابع آبی و مطالعات هیدرولوژیکی مانند مدل‌سازی کمی بارش-رواناب، مدل‌سازی و ارزیابی کیفیت آب دارد و همچنین در کالیبراسیون و اعتبارسنجی این مدل‌ها به کار می‌رود. از تقسیم حجم دبی پایه بر حجم کل جریان، شاخص دبی پایه (BFI) به دست می‌آید که نشان دهنده میزان مشارکت آب زیرزمینی در کل جریان رودخانه است. هدف از این پژوهش انتخاب روش مناسب برای برآورد دبی پایه در حوضه بالادست سد بوستان در استان گلستان است. به این منظور هیدروگراف آورد روزانه ایستگاه تمر در بالادست سد بوستان بر روی رودخانه گرگان رود در یک دوره ۲۱ ساله با روش‌های Hysep1، Hysep2، Hysep3 و BFLOW با ضرایب ۰/۹، ۰/۹۲۵، ۰/۹۵، ۰/۹۷۵ و ۰/۹۹ تفکیک شد و نتایج آن‌ها با سه معیار میانگین مطلق خطا (MAE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب کارایی نش-ساتکلیف (۱۹۷۰) (Nash&Sutcliffe) با منحنی خشکیدگی آب‌خوان مقایسه شد. نتایج نشان داد که روش BFLOW با ضرایب ۰/۹ مناسب‌ترین روش برای برآورد دبی پایه در حوضه مورد مطالعه است و شاخص دبی پایه با این روش ۸۹ درصد به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: دبی پایه، الگوریتم BFLOW، Hysep1، Hysep2، Hysep3

* مسئول مکاتبه: a_zakerinia@yahoo.com

مقدمه

افزایش بی‌رویه جمعیت در سه دهه اخیر و محدودیت منابع آب سطحی و زیرزمینی باعث شده است که مدیریت بهره‌برداری از رودخانه‌های کشور به‌عنوان یکی از اولویت‌های پژوهشی بخش اجرایی قرار گیرد. در این میان باتوجه به عدم امکان احداث سد در هر رودخانه و عدم تنظیم آب آن، بهره‌برداری از آورد روزانه رودخانه از اهمیت بیشتری برخوردار خواهد بود.

جداسازی اجزای جریان از طریق آنالیز هیدروگراف جریان، اطلاعاتی راجع به خصوصیات ذخائر طبیعی که رودخانه را تغذیه می‌کند در اختیار قرار می‌دهد. جریان پایه جزئی از جریان رودخانه می‌باشد که نسبت به بارندگی واکنش نشان می‌دهد و به‌طور معمول مرتبط با آب تخلیه شده از ذخیره آب زیرزمینی می‌باشد. از نقطه نظر تاریخی، تفکیک هیدروگراف به اجزای تشکیل دهنده آن، از دو جهت دارای اهمیت بوده است: الف- به‌منظور کاربرد در روش‌های آنالیز سیلاب که تنها با مؤلفه رواناب سطحی سروکار دارند؛ مثال‌هایی از چنین روش‌هایی عبارتند از: هیدروگراف‌های واحد و مدل‌های روندیابی رواناب (باتس و دیویس، ۱۹۸۸؛ پونک و شتی، ۱۹۹۵)، ب- به‌منظور انجام مطالعاتی که دبی پایه نقش منبع اصلی تأمین آب را به‌عهده دارد مانند مطالعات مربوط به توسعه روش‌های مدیریت حوضه، بررسی ارتباط میان موجودات زنده آبی و محیط‌زیست آن‌ها، تخمین منابع تأمین آب، مدیریت کیفیت آب و شوری آب، تخمین میزان تخلیه سفره‌های آب زیرزمینی و مطالعه احتمال آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی (ارنلد و آلن، ۱۹۹۹؛ اسماختین، ۲۰۰۱؛ پیرس، ۲۰۰۴).

برآورد میزان مشارکت آب‌های زیرزمینی در دبی جریان حوضه آبخیز یکی از مهم‌ترین مباحث مدیریت منابع آب و هیدرولوژی می‌باشد. رودخانه‌ها معمولاً در طول فصل‌های خشک و کم باران از سفره آب زیرزمینی تغذیه می‌کنند، جریان‌های کم معمولاً ناشی از تخلیه آب زیرزمینی یا دریاچه‌ها و مرداب‌ها و یا آب شدن یخچال‌ها می‌باشد (اسماختین، ۲۰۰۱). روش‌های تجزیه هیدروگراف، معمولاً جریان آبراهه را به مؤلفه سریع و مؤلفه تأخیری تفکیک می‌کنند. مؤلفه جریان تأخیری که به آن جریان پایه گویند، مقدار جریانی است که از منابع ذخیره آبخیز سرچشمه می‌گیرد (WMO-NO. ۱۰۲۹، ۲۰۰۸).

شاخص دبی پایه، یک نسبت بدون بعد است که اولین بار توسط لوویچ توسعه یافته و توسط پژوهشکده هیدرولوژی به‌کار رفته است. این شاخص از تقسیم حجم جریان پایه بر کل رواناب برای هر سال یا کل دوره آماری به‌دست می‌آید و بیانگر اطلاعاتی در مورد نسبت رواناب مشتق شده از

منابع ذخیره‌ای حوضه آبخیز است (اسماختین، ۲۰۰۱). اولین قدم در برآورد این شاخص تفکیک هیدروگراف جریان و برآورد دبی پایه است.

$$BFI = \frac{V_{base}}{V_{total}} \quad (1)$$

که در آن BFI شاخص جریان پایه، V_{base} حجم جریان پایه و V_{total} حجم کل زیر هیدروگراف است.

شاخص دبی پایه می‌تواند به‌عنوان یکی از ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز در مطالعات و پژوهش‌های مربوط به تحلیل منطقه‌ای سیلاب و جریان‌های حداقل و تعمیم داده‌ها به حوضه‌های فاقد آمار مورد بهره‌برداری قرار گیرد. همچنین برای منشأیابی جریان رودخانه‌ای و تعیین سهم هر بخش از جریان و یافتن منشأ تغییر کیفیت آب رودخانه، نیاز به محاسبه شاخص دبی پایه است. شناخت مناسب‌ترین روش تفکیک هیدروگراف و برآورد دبی پایه، امکان محاسبه دقیق‌تر این شاخص را فراهم می‌سازد. روش‌های زیادی برای تفکیک هیدروگراف جریان وجود دارد که هر کدام دارای مشکلاتی هستند بعضی از آن‌ها مانند روش ردیاب‌های ایزوتوپی و شیمیایی و روش منحنی خشکیدگی هیدروگراف^۱ مشکل اجرایی دارند به‌ویژه در مواردی که تعداد هیدروگراف‌ها یا سال‌های آماری مورد بررسی زیاد باشد (قنبرپور و همکاران، ۲۰۰۸؛ ناتان و مک ماهان، ۱۹۹۰) و بعضی دیگر مانند روش‌های دبی ثابت، شیب ثابت و مقعر دارای مشکلات ذاتی هستند و بسیار وقت گیرند (گلپایگانی، ۲۰۰۸؛ مک کوئین، ۱۹۸۹). تلاش هیدرولوژیست‌ها برای رفع این مشکلات منجر به ارائه روش‌های Hysep شد اما آن‌ها نیز دبی پایه را بیشتر از حد واقعی آن تخمین می‌زنند (لیم کیونگ جانه و همکاران، ۲۰۰۵). امروزه فیلترهای عددی بازگشتی^۲ گسترش یافته است زیرا هم مشکلات روش‌های پیشین را ندارد و هم خیلی سریع به نتیجه می‌رسند (لین و هالیک، ۱۹۷۹). این پژوهش به دنبال به دست آوردن فیلتر عددی است که بتواند با دقت قابل قبولی دبی پایه را از هیدروگراف جریان جدا کند و مشکل اجرایی نداشته باشد و سریع به نتیجه برسد. به این منظور روش‌های Hysep و الگوریتم BFLOW با منحنی خشکیدگی هیدروگراف مقایسه و بهترین فیلتر تفکیک هیدروگراف برای منطقه مورد مطالعه انتخاب شد.

1- Recession Curve

2- Recursive Digital Filter (RDF)

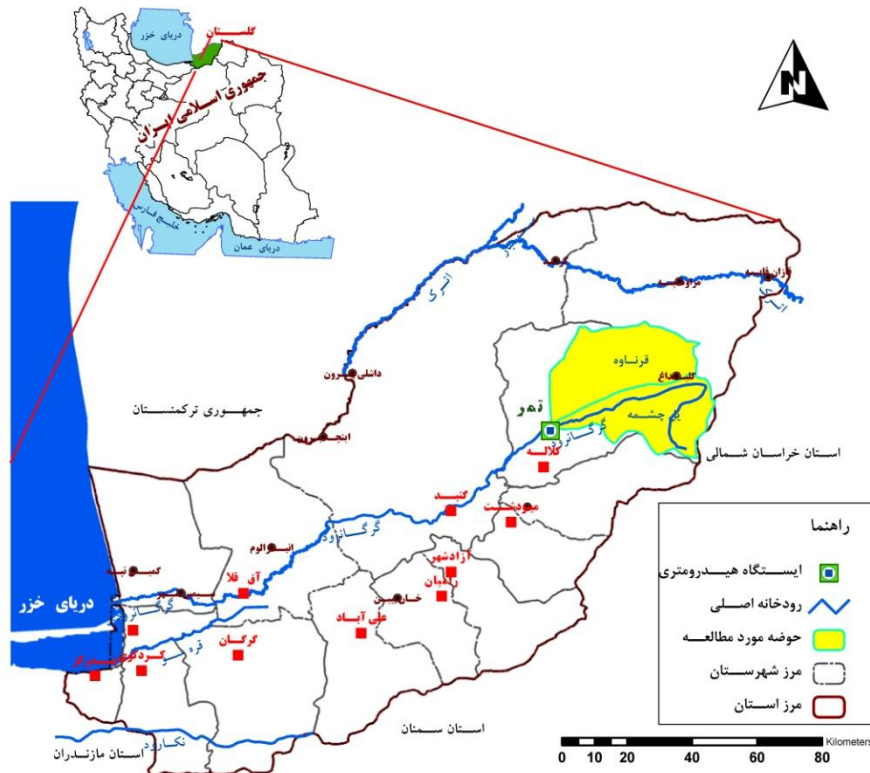
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز گرگان‌رود ۴۸ درصد سطح استان گلستان را با مساحت ۱۰۱۲۰ کیلومتر مربع تشکیل می‌دهد. بخش عمده این حوضه در استان گلستان واقع گردیده و بخش‌های بسیار کوچکی از آن در استان‌های خراسان شمالی و سمنان قرار دارد. حوضه آبریز گرگان‌رود از شمال به حوضه آبریز اترک سفلی در استان گلستان، از جنوب به حوضه آبریز اصلی ایران مرکزی در استان سمنان، از جنوب‌غرب به حوضه آبریز قره سو در استان گلستان و از غرب به دریای خزر محدود می‌شود.

در این مطالعه از یک دوره ۲۱ ساله آمار دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری تهر استفاده شده است. دوره آماری آن از سال آبی ۶۶-۶۷ تا سال آبی ۸۶-۸۷ است (شکل ۱). این ایستگاه در خروجی دو زیر حوضه یل چشمه و قرناوه از زیرحوضه‌های گرگان‌رود و بالادست سد بوستان قرار دارد (جدول ۱).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های ایستگاه و حوضه.

نام ایستگاه	مساحت حوضه (کیلومتر مربع)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین بارش سالانه (میلی متر)	میانگین رواناب سالانه (میلیون مترمکعب)
تهر	۱۵۲۴	۱۳۲	۵۸۴	۵۴/۲۴



شکل ۱- موقعیت حوضه و ایستگاه مورد مطالعه.

روش‌های جداسازی هیدروگراف: رواناب مستقیم و جریان پایه دو مؤلفه اصلی جریان رودخانه را تشکیل می‌دهند (معادله ۱):

$$y_k = f_k + b_k \quad (2)$$

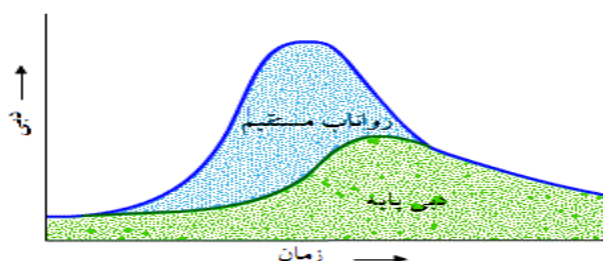
که y جریان کل رودخانه، f رواناب مستقیم، b جریان پایه و k شماره گام زمانی است.

جریان پایه در ارتباط با ذخیره آب زیرزمینی است که در بررسی طیف فراوانی هیدروگراف، طول موج بلندتر و رواناب مستقیم فراوانی بیشتری دارد (شکل ۲). فرض کلی در الگوریتم‌های فیلترینگ براین اساس است که جریان خروجی از آب‌خوان در دوره‌های بدون تغذیه رابطه خطی با ذخیره آن دارد (اکهارت، ۲۰۰۸).

$$b_t = b_0 k^t \quad (۳)$$

که b_0 و b_t به ترتیب جریان در زمان t و صفر و k ثابت خشکیدگی^۱ برای واحدهای زمانی مختلف است.

در مبحث مدیریت منابع آب و مهندسی رودخانه جداسازی جریان پایه از هیدروگراف از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. از طرفی تعیین دقیق آن امکان‌پذیر نیست و برای برآورد هر چه بهتر و دقیق‌تر آن روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است.



شکل ۲- مؤلفه‌های هیدروگراف جریان.

روش منحنی خشکیدگی^۲: این روش براساس تحلیل سری زمانی جریان رودخانه و تعیین مؤلفه‌های آن استوار است. در این روش ابتدا هیدروگراف جریان به صورت نیمه لگاریتمی (که در آن محور جریان لگاریتمی و محور زمان به صورت نرمال است) ترسیم می‌شود. نقاط شروع و خاتمه رواناب سطحی با استفاده از تغییر ثابت خشکیدگی (k) یا شیب‌های منحنی نیمه‌لگاریتمی مشخص می‌شوند (شکل ۳).

معادله شاخه نزولی هیدروگراف به صورت‌های زیر است:

$$Q_b = Q_0 e^{(-t/c)} \quad (۴)$$

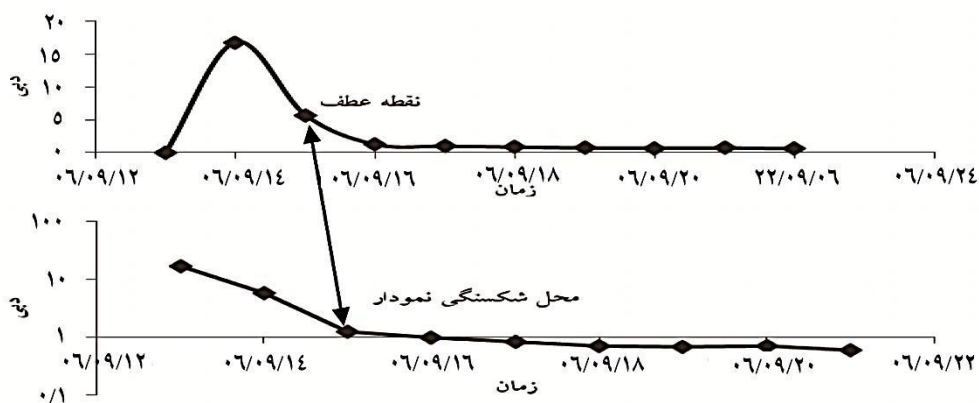
$$Q_b = Q_0 K^t \quad (۵)$$

$$\ln K = -\frac{1}{c} \quad (۶)$$

1- Recession Constant

2- Recession Curve

که در آن Q_b دبی پایه در زمان t ، Q_0 دبی در زمان شروع پسروری جریان، K ثابت خشکیدگی هیدروگراف و C ضریب مربوط به خصوصیات فیزیکی حوضه آبخیز است. در هیدروگراف سیلاب، نقطه شروع نقطه‌ای است که جریان روند افزایشی پیدا کرده و شاخه صعودی به وجود می‌آید، در حالی که نقطه خاتمه را جایی در نظر می‌گیرند که لگاریتم شاخه نزولی در برابر زمان به خط راست تبدیل می‌شود که در واقع همان نقطه عطف هیدروگراف است. از نقطه عطف به بعد جریان پایه شروع شده و تا شروع سیلاب بعدی و افزایش دبی ادامه دارد. از نقطه عطف به بعد را منحنی خشکیدگی هیدروگراف نامند. این روش نتیجه قابل قبولی می‌دهد اما از مشکلات آن، سختی کار، صرف وقت زیاد، مشکلات اجرایی و تعداد بسیار زیاد سیلاب‌های رخ داده در سال است. به همین دلیل باید از روش‌های دیگری که این محدودیت‌ها را نداشته باشد، استفاده نمود (قنبرپور و همکاران، ۲۰۰۸).



شکل ۳- روش یافتن نقطه عطف هیدروگراف.

روش‌های **Hysep**: به دلیل مشکلات زیاد روش‌های گرافیکی و به دست آمدن نتایج متفاوت از چنین روش‌هایی توسط متخصصین مختلف، تلاش‌هایی برای اتوماتیک کردن روش‌های دستی و گرافیکی با برنامه‌های کامپیوتری انجام شد که هم بعضی محدودیت‌های ذاتی این روش را رفع کرده و هم زمان مورد نیاز برای جداسازی هیدروگراف را کاهش داده است (وایت و اسلوتو، ۱۹۹۰).

پتی‌جان و هنینگ (۱۹۷۹)؛ اسلوتو و کراوس (۱۹۹۶)، برای ترسیم منحنی جدایش هیدروگراف، محدوده زمانی $2N^*$ را تعریف کردند. به این ترتیب که برای به دست آوردن این محدوده زمانی، ابتدا زمان پایه N از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$N = 0.8 A^{0.2} \quad (۷)$$

این رابطه توسط لینسلی و همکاران (۱۹۷۵) پیشنهاد گردید که در آن N زمان بین پیک هیدروگراف تا پایان رواناب مستقیم بر حسب روز و A مساحت بالادست ایستگاه آب‌سنجی بر حسب کیلومتر مربع است.

سپس نزدیک‌ترین عدد فرد صحیح به $2N$ به عنوان $2N^*$ در نظر گرفته می‌شود.

$$2N^* = 2 \left[\frac{N}{\Delta t} \right] + 1 \quad (۸)$$

در این رابطه Δt گام زمانی اندازه‌گیری دبی در ایستگاه آب‌سنجی است.

بر طبق بررسی‌های انجام گرفته بر روی آبخیزهای مختلف، در صورتی که مقدار $2N^*$ بین دو عدد ۳ و ۱۱ قرار گیرد، نتایج به دست آمده دقیق‌تر خواهند بود. این روش با سه محدوده زمانی انجام می‌شود: محدوده زمانی ثابت^۱ یا **Hysep1**: در این روش کم‌ترین دبی در هر محدوده زمانی $2N^*$ برای تمامی روزهای آن محدوده در نظر گرفته شده و با اتصال نقاطی که به این ترتیب تعیین شده است، منحنی جدایش هیدروگراف به دست می‌آید.

محدوده زمانی جابه‌جا شونده^۲ یا **Hysep2**: در این روش 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 که به این ترتیب تعیین شده است، منحنی جدایش هیدروگراف به دست می‌آید.

حداقل محلی^۳ یا **Hysep3**: در این روش، ابتدا بررسی می‌شود که آیا دبی 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

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

کمینه بود، آن نقطه انتخاب و در غیر این صورت آن روز حذف و عملیات برای روز بعدی انجام می‌شود. با اتصال نقاط انتخابی به هم، منحنی جدایش هیدروگراف به دست می‌آید (ناتان و مک ماهان، ۱۹۹۰؛ ارفع‌نیا و سامانی، ۲۰۰۵).

روش فیلتر عددی برگشتی یا الگوریتم **BFLOW**: این روش در ابتدا توسط لین و هالیک پیشنهاد شد. آن‌ها معادله فیلتر جریان پایه از کل جریان را به صورت معادله زیر ارائه نمودند:

$$q_t = \alpha q_{t-1} + \frac{1+\alpha}{2} (Q_t - Q_{t-1}) \quad (9)$$

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 نام‌برده و α پارامتر فیلتر است.

(ناتان و مک‌ماهان، ۱۹۹۰) مقدار پارامتر فیلتر را در محدوده $0/9$ تا $0/95$ قابل قبول دانسته‌اند. پارامتر فیلتر دیجیتال $0/925$ صحت بیشتری را در مقایسه با نتایج صاف کردن^۱ منحنی برای آن‌ها نشان داد؛ آن‌ها دریافتند که نتایج به دست آمده تطابق زیادی با روش‌های گرافیکی سنتی دارد. اسماخترین و واتکینز (۱۹۹۷) دریافتند که مقادیر پارامتر فیلتر بهینه به طور نرمال بین $0/995$ تا $0/985$ در نوسان است و مقدار $0/995$ توصیه نمودند که برای جداسازی جریان پایه روزانه مناسب است. به عنوان یک قاعده کلی، پارامتر فیلتر $0/925$ بیشتر برای جداسازی جریان پایه ماهانه مناسب است.

برای فیلتر کردن رواناب سطحی سه مرتبه در جهت‌های مختلف از رابطه (۹) استفاده می‌شود. به این صورت که در مرتبه اول از داده‌های ابتدایی شروع شده و به سمت داده‌های انتهایی حرکت می‌کنیم (پیش‌رو) و در مرتبه دوم عمل مرتبه اول را به صورت برعکس یعنی از انتها به اول انجام می‌دهیم (پس‌رو) و مرتبه سوم همانند مرتبه اول به کار برده می‌شود (پیش‌رو) (مک کوئین، ۱۹۸۹).

ساختار کلی الگوریتم فیلترینگ بر این فرض استوار است که جریان خروجی از آب‌خوان‌ها رابطه مستقیم خطی با ذخیره آن دارند. روش فیلتر عددی در آنالیز پردازش سیگنال (جدایش سیگنال با فراوانی بالا از سیگنال با فراوانی کم) مورد استفاده قرار می‌گیرد (لین و هولیک، ۱۹۷۹). این روش را می‌توان در جدایش جریان پایه به کار برد زیرا طول موج با فراوانی بالا نشان دهنده رواناب مستقیم و طول موج با فراوانی کم نشان دهنده جریان پایه است (ایکهارت، ۲۰۰۸). چند بار عبور فیلتر از

داده‌های جریان به‌طور سیستماتیک فرکانس داده‌های هیدروگراف را کاهش داده و در هر عبور مقداری از جریان رواناب سطحی حذف شده و در نهایت جریان پایه باقی می‌ماند (رسول اسدی و فرزاد حسن‌پور، ۱۳۸۹).

تجزیه هیدروگراف با روش‌های بالا را هم با فرمول نویسی در نرم‌افزار صفحات گسترده (Excel) و هم با نرم‌افزار HydroOffice می‌توان انجام داد.

با بررسی کل هیدروگراف‌های دوره آماری ۲۱ ساله، ۵۰ هیدروگراف سیلاب با ویژگی‌های زیر انتخاب شد:

۱- با توجه به استفاده از روش فیلتر خودکار عددی و مساحت حوضه بالادست ایستگاه، هیدروگرافی مناسب است که فاصله زمانی بین رسیدن آن به نقطه پیک تا شروع سیلاب بعدی حداقل ۴ روز باشد. زیرا با جایگذاری مساحت حوضه ($A=1524 \text{ Km}^2$) در رابطه ۷ مقدار $N=3/46$ به دست می‌آید که با تقریب، ۴ روز در نظر گرفته شد.

۲- هیدروگراف سیلاب‌هایی که تنها دارای یک نقطه پیک یا یک قله است. زیرا در هیدروگرافی که دارای چند قله است انتخاب نقطه عطف نمودار به‌علت وجود چند شکستگی در منحنی نیمه لگاریتمی ممکن نیست.

برای انتخاب روش مناسب و بررسی آن، سه معیار میانگین مطلق خطا (MAE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب کارایی نش- ساتکلیف (Nash&Sutcliffe) انتخاب شد.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Q_o^t - Q_m^t) \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Q_o^t - Q_m^t)^2} \quad (11)$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_o^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^n (Q_o^t - \bar{Q}_o)^2} \quad (12)$$

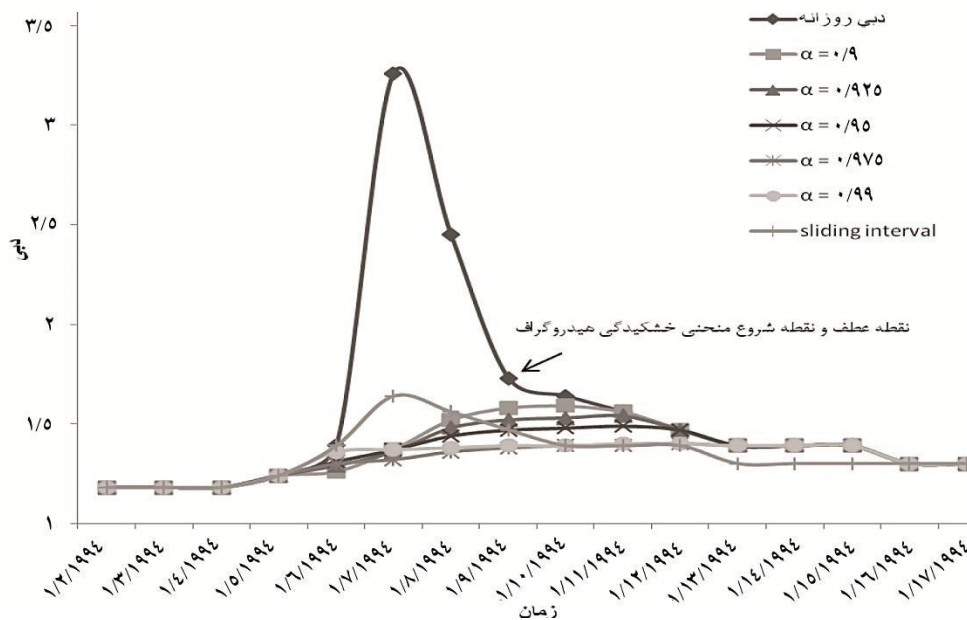
که در آن Q_o^t دبی مشاهداتی در زمان t ، Q_m^t دبی برآوردی توسط مدل در زمان t ، \bar{Q}_o مقدار میانگین دبی مشاهداتی و n تعداد مشاهدات است. برطبق این معیارها، مدلی مناسب است که میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات آن کمترین مقدار را داشته باشد و اما ضریب کارایی نش- ساتکلیف

که مقداری است بین ۱ تا منفی بینهایت؛ هر چه مقدار آن به یک نزدیکتر باشد نشان از کارایی بهتر مدل دارد. اگر مقدار ضریب برابر یک باشد یعنی مدل به خوبی پیش‌بینی می‌کند، اگر برابر صفر باشد یعنی میانگین مدل با میانگین داده‌های مشاهداتی برابر است و اگر مقدار آن کمتر از صفر باشد پیش‌بینی مدل مناسب نیست.

پس از بررسی سیلاب‌های رخ داده در دوره آماری و جداسازی منحنی خشکیدگی آن‌ها با روش گرافیکی، هیدروگراف سیلاب‌های انتخابی با روش‌های نامبرده تجزیه و با معیارهای بالا مقایسه و مناسب‌ترین مدل انتخاب شد و پس از آن مقدار شاخص دبی پایه محاسبه گردید.

نتایج و بحث

جریان پایه ایستگاه مورد نظر برای دوره آماری ۲۱ ساله با روش‌های محدوده زمانی ثابت، محدوده زمانی جابه‌جا شونده، حداقل محلی و BFLOW با ضرایب ۰/۹، ۰/۹۲۵، ۰/۹۵، ۰/۹۷۵ و ۰/۹۹ برآورد گردید. شکل ۴ تفکیک دبی پایه از هیدروگراف سیلاب با روش‌های مختلف را در ایستگاه تمر نشان می‌دهد.



شکل ۴- تفکیک هیدروگراف سیلاب ایستگاه تمر با روش‌های مختلف.

برای مقایسه بهتر بین مدل‌ها ابتدا روش‌های Hysep با هم مقایسه و بهترین مدل انتخاب شد سپس آن را با مدل‌های BFLOW مقایسه نموده و با توجه به نتایج به دست آمده، مناسب‌ترین روش انتخاب شد.

پس از مقایسه سه روش Hysep با دو معیار MAE و RMSE، نتایج نشان داد که روش Hysep2 بهتر از Hysep1 و Hysep3 است. معیار انتخاب مدل، داشتن مقدار کمتر برای MAE و RMSE است. با این معیارها اختلاف بین دبی پایه محاسباتی مدل‌ها در مقایسه با منحنی خشکیدگی هیدروگراف که همان دبی پایه مشاهداتی است، اندازه‌گیری می‌شود. از ۵۰ رویداد سیل و هیدروگراف منفرد استفاده شده، مدل محدوده زمانی جابه‌جا شونده در ۵۸ درصد موارد مقدار MAE کمتر و در ۶۸ درصد موارد مقدار RMSE کمتری را داشت پس از آن با ضریب کارایی نش-ساتکلیف این سه روش بررسی شد که آن هم برتری روش محدوده زمانی جابه‌جا شونده را در ۷۰ درصد موارد نشان داد. نتایج مقایسه روش‌های Hysep با این معیارها برای ۵۰ رویداد سیل انتخابی در جدول ۲ نشان داده شده است.

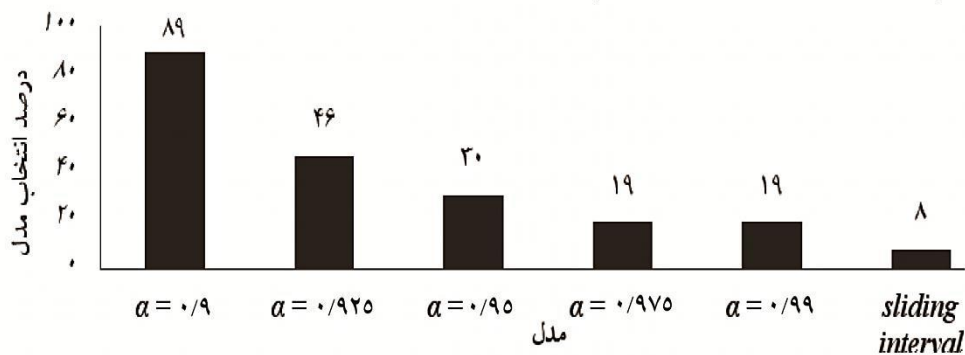
جدول ۲- نتایج مقایسه روش‌های Hysep با معیارهای MAE و RMSE و E

روش	درصد مواردی که MAE مقدار کمتری را داشته است	درصد مواردی که RMSE مقدار کمتری را داشته است	درصد مواردی که E مقدار بیشتری را داشته است
Hysep 1	۳۲	۲۴	۲۲
Hysep 2	۵۸	۶۸	۷۰
Hysep 3	۱۰	۸	۸

نتایج به دست آمده از سه معیار بالا نشان می‌دهد که روش Hysep2 به عنوان بهترین روش از بین روش‌های Hysep است و مقدار میانگین شاخص دبی پایه با این روش در طول دوره آماری مورد بررسی برابر ۰/۸۷ است که نمایانگر سهم زیاد آب زیرزمینی در تأمین آب رودخانه گرگان رود در ایستگاه تمر است. همچنین نتایج نشان داد که روش Hysep3 مقدار دبی پایه را خیلی کم برآورد می‌کند و دلیل آن انتخاب کمترین مقدار دبی به عنوان دبی پایه، به ویژه در شاخه بالارونده هیدروگراف است. اما نتیجه پژوهش قنبرپور و همکاران (۲۰۰۸) در حوضه کارون نشان داد که از بین روش‌های Hysep روش حداقل محلی یا Hysep3 بهترین برآورد را در آن حوضه آبخیز دارد.

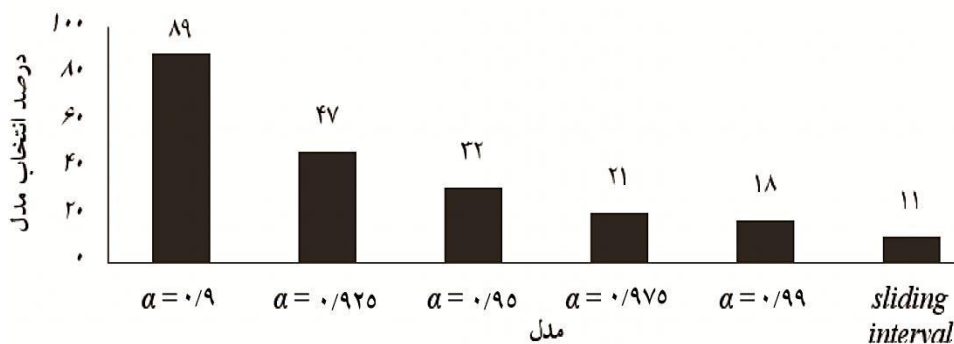
پس از این، روش محدوده زمانی جابه‌جا شونده با مدل‌های BFLOW مقایسه شد. ضریب فیلتر این روش با توجه به تجربیات هیدرولوژیست‌ها و پژوهش‌های انجام شده $0/9$ ، $0/925$ ، $0/95$ ، $0/975$ و $0/99$ در نظر گرفته شد و با هر یک از این ضرایب به‌طور جداگانه جریان پایه برآورد شد (قنبرپور و همکاران، ۲۰۰۸؛ سمیعی و ملکیان، ۲۰۰۸؛ تیموری و همکاران، ۲۰۱۰).

بر اساس معیار MAE، در شکل (۵)، مدل BFLOW با ضریب فیلتر $0/9$ با داشتن بیشترین تعداد مواردی که کمترین مقدار MAE را در بین مدل‌های دیگر داشت، مناسب‌ترین است.



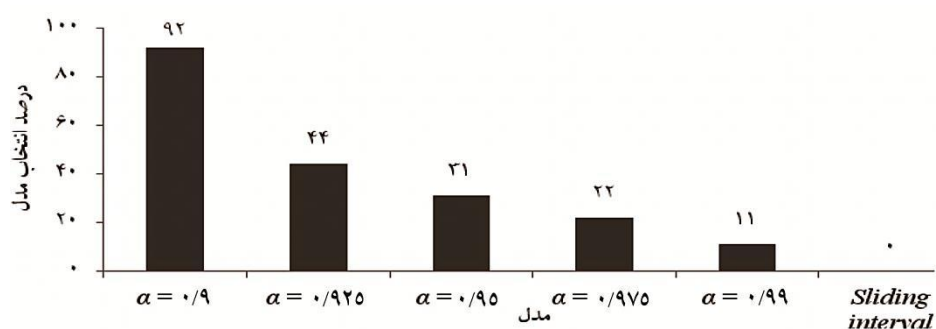
شکل ۵- نمودار نتیجه معیار MAE برای روش BFLOW

همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است، بر اساس معیار RMSE مدل با ضریب $0/9$ در ۸۹ درصد موارد مقدار RMSE کمتری داشت. در نتیجه با این معیار نیز مدل BFLOW با ضریب $0/9$ مناسب‌تر از دیگر مدل‌هاست.

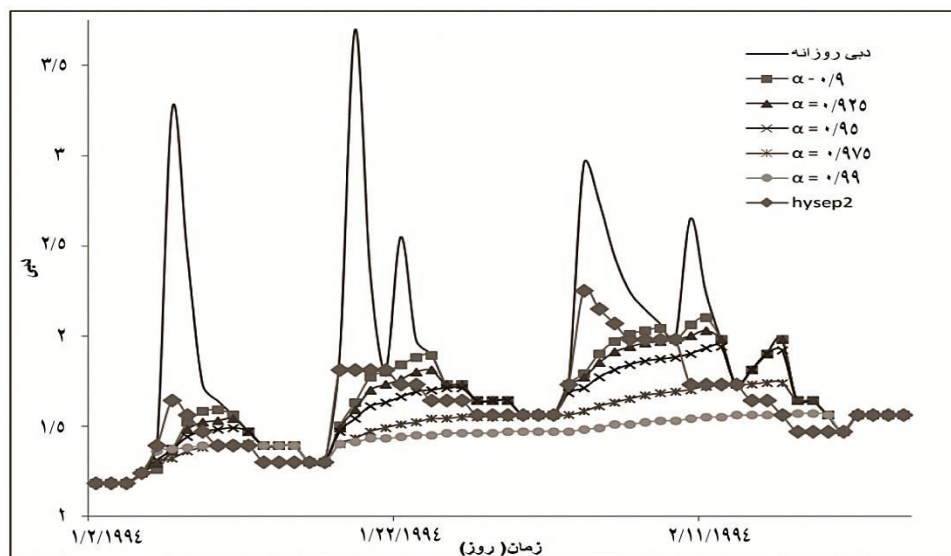


شکل ۶- نتیجه مقایسه بر اساس RMSE

براساس معیار E نیز نتایج نشان داد که مدل با ضریب ۰/۹ بهترین است. این مدل در ۹۲ درصد موارد بیشترین E را داشته که نشان از برتری آن نسبت به بقیه است. در شکل ۷ نتایج این مقایسه آمده است.



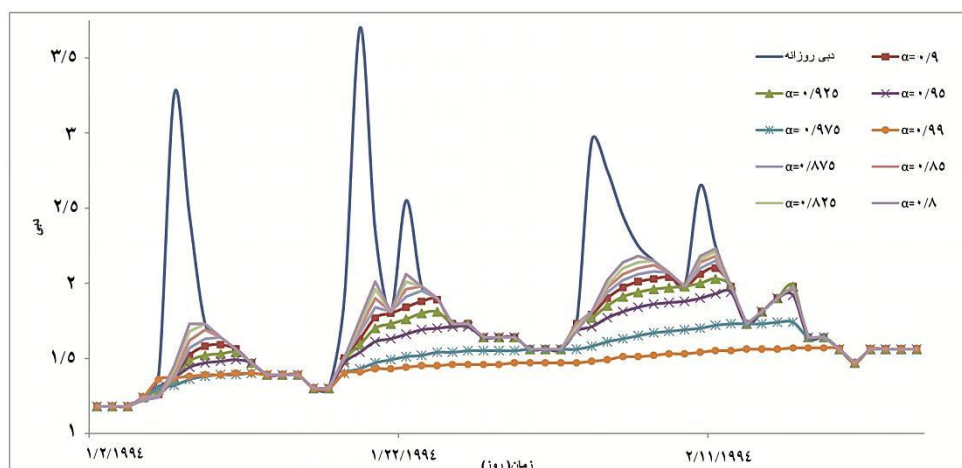
شکل ۷- نتیجه مقایسه روش‌ها براساس ضریب کارایی.



شکل ۸- تفکیک هیدروگراف سیلاب ایستگاه تمر با روش‌های مختلف در بخشی از دوره آماری مورد استفاده.

شکل ۸ تفکیک هیدروگراف یک دوره ۵۰ روزه ایستگاه تمر را نشان می‌دهد. در این شکل به روشنی پیداست که مدل محدوده زمانی جابه‌جا شونده با صعود هیدروگراف روند افزایشی تندی را دارد که علت آن وابستگی شدید این مدل به اختلاف مقادیر دبی است و این مسئله باعث ایجاد خطا در برآورد با این مدل می‌شود. اما مدل‌های دیگر تأخیر فاز جریان زیرزمینی را نسبت به رواناب مستقیم به خوبی دارند و در زمانی که هیدروگراف به نقطه عطف می‌رسد منحنی دبی پایه نیز در اوج قرار دارد که نشان می‌دهد برآورد آن‌ها دقیق‌تر است اما با افزایش ضریب فیلتر از دقت برآورد کم می‌شود و همان‌طور که شکل ۸ نشان می‌دهد از منحنی خشکیدگی هیدروگراف دور می‌شوند. علت برتری مدل‌های BFLOW نسبت به Hysep، هموار کردن منحنی دبی پایه در سه مرحله با الگوریتم BFLOW است که باعث می‌شود وابستگی آن‌ها به مقدار اختلاف مقادیر دبی روزانه کمتر شود. نتیجه به دست آمده با نتایج ناتان و مک ماهان (۱۹۹۰)، اسماختین (۲۰۰۱)، قنبرپور و همکاران (۲۰۰۷)، همخوانی دارد.

تفکیک هیدروگراف سیلاب ایستگاه تمر با روش‌های مختلف در بخشی از دوره آماری مورد استفاده با ضرایب کمتر از ۰/۹ در شکل ۹ نمایش داده شده است. با توجه به آن مشاهده می‌شود که با کاهش ضریب فیلتر به مقادیر کمتر از ۰/۹ نیز از دقت مدل در برآورد دبی پایه کاسته می‌شود. با این تفاوت که در این حالت توانایی مدل در برآورد شاخه خشکیدگی هیدروگراف بیشتر شده اما مقدار پیک منحنی دبی پایه به دست آمده از مقدار دبی در نقطه عطف هیدروگراف (که نقطه شروع دبی پایه در هیدروگراف است) نیز بیشتر می‌شود؛ به عبارت دیگر سهم دبی پایه از کل رواناب بیشتر می‌شود که به معنی آن است که مدل خطای بیش برآورد دارد.



شکل ۹- تفکیک هیدروگراف سیلاب ایستگاه تمر با روش‌های مختلف در بخشی از دوره آماری مورد استفاده با همه ضرایب.

نتیجه‌گیری

عامل تغذیه رودخانه در زیرحوضه‌های گرگان‌رود، چشمه‌سارهایی است که در مناطق کوهستانی و جنگلی جاری‌اند. این چشمه‌ها در اثر بارش پر آب شده و دبی رودخانه را افزایش می‌دهند و چون در مناطق با نفوذپذیری بالا قرار دارند، این تأثیر خیلی زود نمایان شده و دبی چشمه و به تبع آن دبی رودخانه افزایش می‌یابد. روش‌های جداسازی هیدروگراف نیز به‌خوبی نشان دادند که دبی پایه پس از هر بارش افزایش و سپس کاهش می‌یابد و همچنین در طول یک سال آبی نیز در فصول پر بارش افزایش و سپس در تابستان به کمترین مقدار خود می‌رسد. اما نتیجه مقایسه روش‌های مختلف تفکیک هیدروگراف با معیارهای میانگین مطلق خطا و مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب کارایی نش‌سانتکلیف نشان داد که روش BFLOW با ضریب فیلتر ۰/۹، مناسب‌ترین روش برآورد دبی پایه در حوضه بالادست سد بوستان در استان گلستان است و مقدار شاخص دبی پایه با این روش در حوضه مورد مطالعه برابر ۰/۸۹ به‌دست آمد که نشانگر سهم بالای آب زیرزمینی در دبی رودخانه است و اهمیت توجه به مدیریت منابع آب زیرزمینی و همچنین نقش آن در کیفیت آب رودخانه را برجسته می‌نماید. نکته دیگر این است که با کاهش ضریب فیلتر به مقادیر کمتر از ۰/۹ نیز از دقت مدل در برآورد دبی پایه کاسته می‌شود. با این تفاوت که در این حالت توانایی مدل در برآورد شاخه خشکیدگی

هیدروگراف بیشتر شده اما مقدار پیک منحنی دبی پایه به دست آمده از مقدار دبی در نقطه عطف هیدروگراف نیز بیشتر می شود؛ به عبارت دیگر سهم دبی پایه از کل رواناب بیشتر می شود که به معنی آن است که مدل خطای بیش برآورد دارد. ناتان و مک ماهان (۱۹۹۰) و اسماختین و واتکینز (۱۹۹۷) ضریب فیلتر مناسب را بین ۰/۹ تا ۰/۹۵ پیشنهاد کردند، در این مطالعه نیز نشان داده شد که برای جداسازی دبی پایه از هیدروگراف جریان روزانه در حوضه بالادست سد بوستان ضریب فیلتر مناسب بین ۰/۹ و ۰/۹۵ قرار دارد.

منابع

1. Arfae Nia, R., and Samani, N. 2005. Hydrograph separation in Zayanderood Karsts catchment. *Tarbiat Moalem, J. Sci.* 5: 3, 585-600. (In Persian)
2. Arnold, J.G., and P.M., Allen, 1999. Validation of Automated Methods for Estimating Baseflow and Groundwater Recharge From Stream Flow Records. *J. of American Water Resources Association*, 35: 2, 411-424.
3. Asadi, R., and Hasanpur, F. 2010. Comparison of Recursive Digital Filter method with PART model for hydrograph separation (Case study: Doroudzan dam catchment). 2th water resource management conference, Shahid Bahonar Uni, Kerman, Iran. (In Persian)
4. Boughton, W.C. 1988. Partitioning streamflow by computer. *Inst. Eng. Civ. Eng. Trans. CE* 30: 5, 285-291.
5. Eckhart, K. 2008. A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods. *J. Hydrol.* 352: 168-173.
6. Burns, D.A. 2002. Stormflow-hydrograph separation based on isotopes: the thrill is gone-what's next? *Hydrological Processes* 16: 7, 1515-1517.
7. Combalicer, E.A., S.H., Lee, S. Ahan, D.Y., Kim and S., Im, 2008. Comparing ground water recharge and Base flow in The Bukmoongol Small-Forested Watershed, Korea, *J. Earth Syst. Sci.* 117, No. 5, 553-566.
8. Ghanbarpur, M.R., Teymuri, M., and Gholami, Sh.A. 2008. Comparison of hydrograph separation methods (Case study: Karun catchment). *J. Agri. Sci. and Natur. Resour.* 12: 44. 1-10. (In Persian)
9. Lim, K.J., Engel, B.A., Tang, Z.J. Choi, K.S., Kim, S. Muthukrishnan, and D., Tripathy. 2005. River flow forecasting through conceptual models, 1. A discussion of principles, *J. Hydrology*, 1407-1416.
10. Lyne, V., and Hollick, M. 1979. Stochastic time-variable rainfall-runoff modeling, *Inst. of Eng. Aust. Natl. Conf. Publ.* 79/10, Pp: 89-93.

11. McCuen, R.H. 1989. Hydrologic Analysis and Design, Prentice Hall, Pp: 355-360.
12. Nathan, R.J., and T.A., McMahon. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. Water Resource Res. 26: 1465-1473
13. Nash, J.E., and J.V., Sutcliffe, 1970. River flow forecasting through conceptual models, 1. A discussion of principles, J. Hydrology, V. 10, Pp: 282-290.
14. Pettyjohn, W.A., and R., Henning. 1979. Preliminary estimate of ground-water recharge rate, related stream flow and water quality in Ohio: Ohio state university water resources center project completion report number 552. 323.
15. Samiee, M., and Malekian, A. 2010. Comparison of Recursive Digital Filter method with PART model for hydrograph separation. 6th watershed engine and sciences conference. Tarbiat Modares Uni, Tehran, Iran. (In Persian)
16. Sloto, R.A., and M.Y., Crouse. 1997. HYSEP: A Computer Program for Stream flow Hydrograph Separation and Analysis, U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report No 96-4040.
17. Smakhtin, V.U. 2001. Estimating continuous monthly base flow time series and their possible applications in the context of the ecological reserve, ISSN 0378-4738., Water SA. Vol. 27: 2, 213-217.
18. Smakhtin, V.U., and Watkins, D.A. 1997. Low Flow Estimation in South Africa. WRC Report No 494/1/97.
19. Su. N. 1995. The unit hydrograph model for hydrograph separation. Environment International, 21: 5, 509-515.
20. Tallaksen, L.M. 1995. A review of baseflow recession analysis. J. Hydrology, 165: 1995, 349-370
21. Teymuri, M., Ghanbarpur, M.R., Bashir Gonbad, M., Zolfaqari, M., Kazemi Nia, S. 2011. Comparison of base flow index in hydrograph separation methods in some river of west Azarbayjan province. J. Agri. Sci. and Natur. Resour. 15: 57, 219-228. (In Persian)
22. Ponce, V.M., and Shetty, A.V. 1995. A conceptual model of catchment water balance: 2. Application to runoff and baseflow modeling. J. Hydrology. 173: 41-50
23. White, K.A., and Slot, R.A. 1990, Base flow frequency characteristics of selected Pennsylvania Streams, U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 90-4160, 66p.
24. Williams, J.B., and Pinder, J.E. 1990. Groundwater Flow and Runoff in Coastal Plain Stream. Water Resources Bulletin. 16: 2, 343-352.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 20(6), 2013
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Comparison of Base Flow separation methods from daily flow hydrograph (Case study: Upstream of Boostan dam catchment In Golestan province)

A. Tamaskani¹, *M. Zakerinia², A. Hezarjeribi² and A.A. Deghani²

¹M.Sc. Student in Water Resource, Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Assistant Professor, Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

Received: 11/14/2012 ; Accepted: 03/12/2013

Abstract

Base flow is a part of flow that comes from aquifer. This section of flow is important in water resource management and hydrologic researches for e.g. in precipitation-runoff modeling and water quality evaluation. Also base flow is used calibration and validation of these models. By dividing base flow on total flow, the Base Flow Index (BFI) is derived, that shows the amount of ground water portion in total flow. The aim of this research was to choose the best method of hydrograph separation and estimating base flow. 21 years daily recharge data of Tamar station in upstream of Bustan dam in Gorganrood river catchment was separated by Local minimum, fixed interval, Sliding interval and Recursive Digital Filter (RDF) or BFLOW algorithm by filter coefficients same as 0.9, 0.925, 0.95, 0.975, 0.99. Results were compared with recession curve by MAE, RMSE and Nash & Sutcliffe coefficient (E). This comparison showed that RDF by filter coefficient of 0.9 was the most suitable method for hydrograph separation in this region and 89% of total flow was base flow.

Keywords: Base flow, BFLOW algorithm, Hysep1, Hysep2, Hysep3

*Corresponding author; E-mail: a_zakerinia@yahoo.com

