



دانشگاه گواران، منابع آب و خاک

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و ششم، شماره چهارم، ۱۳۹۸
۹۵-۱۱۳

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

DOI: 10.22069/jwsc.2019.10737.2514

مقایسه روش‌های ترسیمی و فیلترهای عددی برگشتی در تفکیک جریان پایه در تعدادی از رودخانه‌های استان اردبیل

سونیا مهری^۱، * رؤف مصطفی‌زاده^۲، ابانر اسمعیلی عوری^۳ و اردوان قربانی^۳

^۱ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس،

^۲ استادیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی،

^۳ دانشیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۲

چکیده

سابقه و هدف: جریان پایه یکی از اجزاء مهم در تشکیل هیدروگراف جریان است، که از جریان‌های زیرزمینی یا ذخایر کم‌عمق زیرسطحی ناشی می‌شود. تعیین سهم جریان پایه از جریان امکان ارزیابی واکنش آبخیز و برنامه‌ریزی بهتر استراتژی‌های مدیریت کمی و کیفی منابع آب در مقیاس آبخیز را فراهم می‌نماید. هم‌چنین، تفکیک جریان پایه از موارد مهم در مدل‌سازی هیدرولوژی و افزایش دقت کالیبراسیون در مدل‌سازی بارش- رواناب است. مقایسه حوضه‌های مختلف از نظر ویژگی‌های فروکش جریان می‌تواند اطلاعات ارزشمندی از خصوصیات ذخیره و تغذیه در آبخیز فراهم نماید. هم‌چنین تعیین سهم جریان پایه می‌تواند در تحلیل جریان زیست‌محیطی و شرایط سلامت رودخانه مؤثر واقع گردد. مولفه جریان پایه به‌شدت تحت تأثیر بهره‌برداری از چاه‌ها در دشت‌های سیلابی است که می‌تواند در روش‌های عددی تفکیک جریان پایه، منشاء بروز عدم قطعیت باشد. هدف از این مطالعه مقایسه روش‌های ترسیمی و فیلتر عددی در تفکیک جریان پایه و انتخاب روش مناسب برای برآورد دبی پایه در تعدادی از رودخانه‌های منتخب استان اردبیل است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش تفکیک جریان پایه روزانه علاوه بر روش‌های مرسوم (محدوده زمانی ثابت، محدوده زمانی جابه‌جاشونده و حداقل محلی)، با روش‌های فیلتر دیجیتال برگشتی شامل (الگوریتم یک‌پارامتره، الگوریتم دوپارامتره باکتون، الگوریتم سه‌پارامتره IHACRES، لین و هولیک، الگوریتم چاپمن و ایما فیلتر) نیز انجام گرفته است. نتایج روش‌های مذکور با روش تحلیل فروکش به‌عنوان روش مبنا مورد مقایسه قرار گرفته است. تحلیل‌ها و مقایسه نتایج روش‌های تفکیک جریان، براساس آمار دبی روزانه جریان با طول دوره آماری ۲۲ سال در پنج ایستگاه هیدرومتری استان اردبیل با داده‌های در دسترس و مقادیر مختلف دبی جریان صورت گرفته است.

* مسئول مکاتبه: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

یافته‌ها: براساس نتایج و مقایسه روش‌های ترسیمی و فیلتری در تفکیک دبی پایه جریان، مشخص شد که دقت روش‌های ترسیمی با مقادیر پایین ضریب نش-ساتکلیف، قابل قبول نیست. در این راستا، روش محدوده زمانی ثابت با ضریب کارایی ۰/۰۴- در شرایط منطقه مورد مطالعه نتایج مناسبی ارائه نداده است. این در حالی است که روش‌های تفکیک فیلتری الگوریتم یک پارامتره و دو پارامتره باگتون (Boughton two parameter algorithm) با ضرایب کارایی ۰/۸۸ و ۰/۸۶ به ترتیب به عنوان مناسب‌ترین روش‌ها برای برآورد دبی پایه در رودخانه‌های استان اردبیل بوده است.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش نشان داد که روش‌های ترسیمی تقریباً نتایج قابل قبولی ارائه نمی‌دهند و روش‌های فیلتری با رفع محدودیت‌های روش‌های گرافیکی و مبتنی بر تئوری پردازش سیگنال در تفکیک جریان به دو مؤلفه جریان سریع و جریان پایه از صحت و دقت بیشتری برخوردار می‌باشند. در مجموع می‌توان گفت که روش‌های فیلتر عددی با ماهیت غیرخطی و تبعیت از توالی سری‌های زمانی در داده‌های دبی، دارای دقت بالاتری نسبت به روش‌های خطی و ترسیمی است. معرفی روش‌های مناسب تفکیک جریان دبی روزانه در مدل‌سازی هیدرولوژیک، تحلیل منطقه‌ای جریان‌های حداقل و تعیین سهم جریان پایه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تفکیک جریان، جریان پایه، جریان زیرزمینی، روش گرافیکی، فیلتر عددی برگشتی، هیدروگراف روزانه

مقدمه

جریان زیر قشری^۲ پس از نفوذ در خاک و رسیدن به لایه غیرقابل نفوذ، در عمق کمی از سطح زمین به صورت مایل تا افقی حرکت کرده و در شبکه زهکشی تخلیه می‌گردند. این جریان با اشباع لایه‌های فوقانی خاک، در جهت شیب زمین شروع به حرکت کرده و در قسمت‌های پایین دست حوضه به آب‌های سطحی می‌پیوندد. این حرکت اصولاً در میان لایه‌های خاک و یا در سطح مشترک میان لایه خاک و لایه سنگی زیرین روی می‌دهد. بخشی از جریان که دارای عکس‌العمل کند است، آب پایه^۳ است که با نفوذ عمقی عمقی خود به سفره‌های آب زیرزمینی در طی مدت زمان طولانی، که گاهی چند ماه مور دنیا است تخلیه می‌شوند. با افزایش ذخیره در سفره‌های آزاد و بالا آمدن سطح سفره نسبت به سطح جریان در رودخانه، تخلیه جریان موجب افزایش دبی خروجی از حوضه می‌گردد. این مؤلفه تحت عنوان آب زیرزمینی، در

تحلیل هیدروگراف جریان و نیز تعیین سهم آب‌های سطحی و زیرزمینی در منابع آب یک منطقه دارای اهمیت قابل توجهی است. در یک تقسیم‌بندی می‌توان براساس سرعت عکس‌العمل هیدرولوژیک، سه بخش سریع، متوسط و کند را در یک هیدروگراف مشخص نمود. رواناب مستقیم یا جریان سطحی^۱ به سرعت توسط شبکه زهکشی تخلیه و از حوضه خارج می‌شوند که مشخصه اصلی این جریان، حرکت آبی و بلافاصله پس از بارش، بر روی سطح زمین است. تأثیر این مؤلفه بر روی دبی خروجی از حوضه پس از آغاز بارش به سرعت قابل مشاهده است و همچنین پس از گذشت زمان نسبتاً کوتاهی از اتمام بارندگی مقدار این مؤلفه به شدت کاهش می‌یابد و مؤلفه‌های دیگر نقش آشکارتری را ایفاء می‌کنند (۱۸ و ۲۲).

2- Inter Flow, Sub-surface flow

3- Base Flow

1- Overland flow, Surfaceflow

فیلتر عددی در یک دوره ۲۱ ساله استفاده نمودند و نتایج آن‌ها با سه معیار میانگین مطلق خطا، مجذور مربعات خطا و ضریب کارایی نش- ساتکلیف^۳ با منحنی خشکیدگی مقایسه شد و نتایج نشان داد که روش فیلتر عددی با $\alpha=0/9$ مناسب‌ترین روش برای برآورد دبی پایه در آبخیز مورد مطالعه است و شاخص خشکیدگی با این روش ۸۹٪ به دست آمده است (۲۳). تالارم و الهه (۲۰۰۸) در مطالعه روش‌های جداسازی جریان پایه و تأثیرشان در برآورد ضریب رواناب سطحی از هیدروگراف جریان، از دو آبریز Tenhill و Bremer در استرالیا استفاده نمودند. به این نتیجه رسیدند که روش فیلتری با انتخاب مقدار مناسب ضریب α ، بهترین روش برای برآورد دبی پایه است (۲۱).

ژانک و لی (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای جهت تخمین تغذیه آب‌های زیرزمینی در حوضه‌های کوچک New Brunswick، کانادا از دو روش فیلتر عددی بازگشتی و ترکیبی استفاده نموده‌اند. با توجه به ۱۹ سال آمار مربوط به دبی در آبخیز Black Brook جهت تفکیک جریان پایه و ارزیابی تأثیر پارامترهای مربوط به فصول مختلف استفاده کرده‌اند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که جفت پارامترهای مورد استفاده برای روش RDF و ترکیبی برای فصول مختلف هیدرولوژیکی کم‌ترین میزان BFI برای فصل یخبندان (۰/۵۵) و بیش‌ترین آن برای فصل ذوب برف (۰/۷) می‌باشد و هم‌چنین میزان نرخ تغذیه سالانه برای این حوضه را ۲۲۳ میلی‌متر در طی ۲۰ سال گذشته بیان نموده‌اند (۲۴).

سنگرور و همکاران (۲۰۱۴) عملکرد روش‌های جداسازی جریان رودخانه را در دو رودخانه Buyuk Melen و Aksu با ویژگی‌های مختلف (متوسط جریان، حوزه، ارتفاع متوسط) در ترکیه مورد

دوره‌های خشک بخش عمده‌ای از آب جاری رودخانه را تأمین می‌کند (۳ و ۱۴).

جریان پایه یکی از اجزاء مهم در تشکیل هیدروگراف سیلاب است، که از جریان‌های زیرزمینی یا ذخایر کم‌عمق زیرسطحی ناشی می‌شود. روش‌های تفکیک هیدروگراف، جریان آبراهه را به مؤلفه سریع و مؤلفه تأخیری تفکیک می‌کنند. تفکیک هیدروگراف جریان، فرآیند جداسازی دبی پایه و رواناب مستقیم است، که با شناسایی نقطه شروع و خاتمه رواناب مستقیم قابل محاسبه است (۷ و ۱۱)، نقطه‌ای شروع جریان دارای روند افزایشی است و شاخه صعودی^۱ به وجود می‌آید، در حالی که نقطه خاتمه معمولاً زمانی است که لگاریتم شاخه نزولی^۲ در برابر زمان به خط راست تبدیل می‌شود. تاکنون مطالعات زیادی با هدف تفکیک هیدروگراف، تعیین دبی پایه و رواناب مستقیم صورت گرفته است که در این زمینه می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

تیموری و همکاران (۲۰۱۱) روش‌های تفکیک هیدروگراف جریان شامل روش‌های حداقل محلی و روش فیلتر عددی یک‌پارامتره و دوپارامتره به منظور برآورد دبی پایه جریان روزانه تعدادی از رودخانه‌های استان آذربایجان غربی در یک دوره ۳۱ ساله مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که روش فیلتر عددی دوپارامتره از لحاظ هیدرولوژیکی انعطاف‌پذیرتر از دیگر روش‌هاست، در مطالعه ایشان روش فیلتری یک‌پارامتره با $\alpha=0/925$ دارای صحت برآورد مناسب می‌باشد (۲۰).

هم‌چنین ذاکری‌نیا و همکاران (۲۰۱۲) با هدف دستیابی به روش مناسب برآورد دبی پایه در آبخیز بالادست سد بوستان در استان گلستان از روش‌های محدود زمانی ثابت، جابه‌جاشونده، حداقل محلی و

1- Rising Limb
2- Falling Limb

3- Nash & Sutcliffe

خصوص مقایسه عملکرد نسبی فیلترهای مختلف صورت گرفته است، اما ارزیابی برای دوره‌های انتخاب شده به‌طور قطعی دشوار است. با توجه به عملکرد متفاوت هر کدام از روش‌های فیلتری، اندازگیری جریان پایه و انتخاب فیلتر مناسب برای دوره‌های مطالعاتی به‌سختی انجام می‌شود (۲ و ۸). از آن‌جا که محاسبه مقادیر جریان پایه در مطالعات مربوط به برآورد رواناب و جریان‌های سیلابی ضروری است، بنابراین نیاز به روشی دقیق برای جداسازی جریان پایه احساس می‌شود (۱). هدف از این مطالعه مقایسه روش‌های ترسیمی و روش‌های مختلف فیلتر عددی در تفکیک جریان پایه از هیدروگراف جریان روزانه و انتخاب روش مناسب برای برآورد دبی پایه در تعدادی از رودخانه‌های منتخب استان اردبیل است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها: استان اردبیل در شمال‌غرب ایران بین مختصات $۳۷^{\circ} ۴۵'$ تا $۳۹^{\circ} ۴۲'$ عرض شمالی و $۴۷^{\circ} ۳'$ تا $۴۸^{\circ} ۵۵'$ طول شمالی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. از شمال با جمهوری آذربایجان همسایه بوده و از قسمت شرق با استان گیلان از جنوب با استان زنجان و از غرب با استان آذربایجان شرقی هم‌جوار است. میزان نزولات جوی در استان اردبیل به‌طور متوسط بین ۲۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در سال نوسان دارد. در این مطالعه آمار دبی جریان روزانه پنج ایستگاه هیدرومتری با دوره آماری ۲۲ ساله از سال آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۰ واقع بر روی رودخانه‌های استان استفاده شده است. قابل ذکر است که پس از تحلیل آمار دبی ایستگاه‌های استان، جهت ارزیابی توانایی روش‌های تفکیک دبی پایه در مقادیر مختلف دبی رودخانه تعداد پنج ایستگاه منتخب براساس موقعیت، متوسط مقادیر دبی روزانه در دوره

ارزیابی قرار دادند. به این منظور از دو روش، فیلترهای دیجیتالی^۱ (DFM) با ضریب فیلتری $۰/۸۳$ و هیدرولوژی^۲ (UKIH) با تعداد نقاط تعیین نقطه عطف ($N=5$) برای تفکیک جریان کل استفاده نمودند. نتایج این پژوهش شباهت قابل‌قبولی را در نتایج هر دو روش جداسازی جریان سطحی و جریان پایه نشان داد ولی جریان سطحی با $(R^2 > ۰/۷۶)$ در هر دو روش در مقایسه با جریان پایه $(R^2 > ۰/۶۳)$ بهتر تفکیک شده است. هم‌چنین نشان داد در زمانی‌که مقدار جریان کل رودخانه کاهش پیدا می‌کند (رودخانه‌های با جریان کم) نتایج تفکیک جریان سطحی برای هر دو روش به‌هم نزدیک‌تر بود ولی برای جریان پایه متفاوت است در نهایت به این نتیجه دست یافتند که روش‌های مذکور جریان سطحی را بهتر از جریان پایه تفکیک می‌کنند (۱۹). می و آناگستو (۲۰۱۵) در پژوهشی به‌منظور تفکیک هیدروگراف از اطلاعات ثبت شده بارش و رواناب استفاده نمودند. روش‌های فیزیکی که ترکیبی از جریان پایه و جریان‌های یکنواخت با داده‌های کم، مورد ارزیابی قرار گرفتند. داده‌های ورودی متوسط زمان بارش حوضه و سری‌های زمانی تخلیه و خروجی شامل دبی پایه و زمان جاری شدن رواناب می‌باشد. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که ارزیابی صحیح باید براساس داده‌های ماهانه و سالانه صورت گیرد و هم‌چنین تفکیک جریان پایه در مدت زمان طولانی و تغییرات آن وابسته به تغییرات آبخیز مورد مطالعه است. تحلیل رخدادهای نشان داد که پارامترهای وابسته به زمان با افزایش زمان و تغییرپذیری آبخیز در منطقه افزایش می‌یابد و پارامترهای وابسته به بیلان آب برای یک تحلیل معین شامل بارش، حجم آب پایه و شاخص آب پایه می‌باشند (۱۳). اگرچه مطالعات زیادی در

1- Digital Filter Method

2- United Kingdom Institute of Hydrology Method

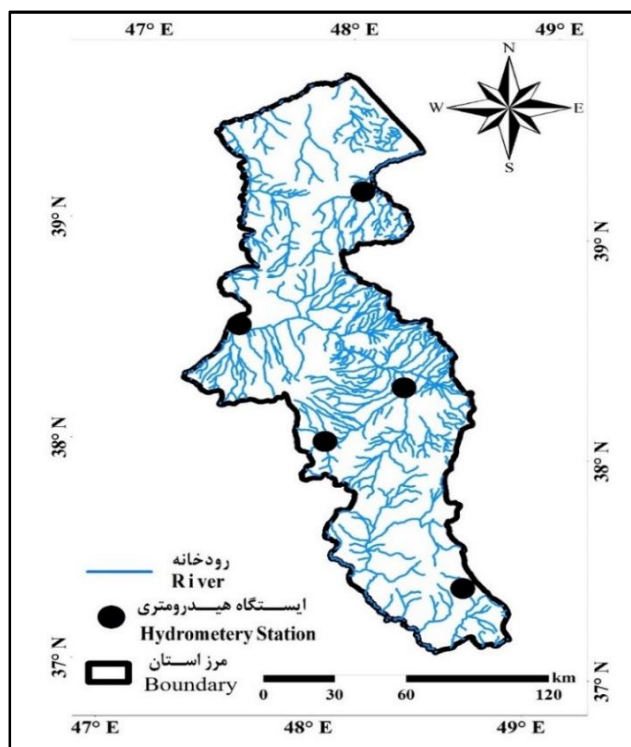
مقادیر متوسط دبی خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم جهت ارزیابی انتخاب گردید. در جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه و در شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان اردبیل ارائه شده است.

آماره‌ی مساحت حوضه بالادست ایستگاه و همچنین تعدد ایستگاه‌های در منطقه مورد مطالعه سعی شده است ایستگاه‌ها به گونه‌ای انتخاب شود که دامنه دبی‌های کم تا زیاد را شامل گردد، که ایستگاه‌های دوست‌بیگللو، دورود، نیرچای، اکبرداود و گیلانده با

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در استان اردبیل.

Table 1. Characteristics of river gauge stations in the Ardabil Province.

متوسط دبی Average Discharge	محدوده نسبی دبی Discharge Range	مساحت حوضه km^2 Area (km^2)	نام رودخانه River	نام ایستگاه Station	ردیف Row
53.93	خیلی زیاد Very high	7311	قره‌سو Gharesou	دوست‌بیگللو Dostbeiglou	1
33.9	زیاد High	1638	بالخلوچای Blekhlou chai	گیلانده Gilandeh	2
39.1	متوسط Medium	256	نیرچای Nir chai	نیر Nir	3
7.72	کم Low	158	شاهرود Shahrud	دورود Doroud	4
1.42	خیلی کم Very low	710	ساریقمیش Sarighamish	اکبرداود Akbardavoud	5



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در استان اردبیل.

Figure 1. Location of the selected hydrometric stations in the Ardabil Province.

بلندتر و رواناب مستقیم دارای فراوانی بیشتری می‌باشد. فرض کلی در الگوریتم‌ها عددی فیلتری بر این اساس است که جریان خروجی از آبخوان در دوره‌های بدون تغذیه رابطه خطی با ذخیره آن دارد. در پژوهش حاضر، روش‌های مختلفی در تفکیک دبی پایه از دبی روزانه جریان مورد ارزیابی قرار گرفته که در ادامه هر کدام از آن‌ها تشریح شده است (۵ و ۶). برای تفکیک هیدروگراف به دو مؤلفه رواناب مستقیم و جریان پایه می‌توان روش‌های را که در آن‌ها از محدوده زمانی ($2N^*$) برای ترسیم منحنی جدایش هیدروگراف استفاده می‌شود به کار گرفت برای به دست آوردن این محدوده زمانی، ابتدا زمان پایه (N) براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$N=A^{0.2} \quad (1)$$

که در آن، N زمان پایه رواناب مستقیم بر حسب روز، A مساحت حوضه آبریز در بالادست ایستگاه آب‌سنجی بر حسب کیلومتر مربع یا (مایل مربع) است. سپس نزدیک‌ترین عدد صحیح به ($2N$) به عنوان مقدار ($2N^*$) در نظر گرفته می‌شود.

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

که در آن، Δt گام زمانی اندازه‌گیری دبی در ایستگاه آب‌سنجی است.

طبق بررسی‌های انجام گرفته، در صورتی که مقدار ($2N^*$) در محدوده دو عدد صحیح ۱۱ و ۳ قرار گیرد نتایج به دست آمده در مقایسه با دیگر روش‌ها دقیق‌تر خواهد بود. این روش با سه محدوده زمانی انجام می‌شود:

- روش محدوده زمانی ثابت: در این روش کم‌ترین دبی در هر محدوده زمانی ($2N^*$) برای تمامی روزهای آن محدوده در نظر گرفته شده و با اتصال

روش تحقیق: از آنجایی که استفاده از روش‌های ایزوتوپی و ردیاب‌های شیمیایی 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 براساس تحلیل سری زمانی جریان رودخانه و تعیین مؤلفه‌های آن‌ها استوارند (۹ و ۱۶). روش تجزیه گرافیکی هیدروگراف براساس 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 تفکیک فیلتری تجزیه کل هیدروگراف جریان برای تعیین جریان پایه است. در مجموع روش‌های گرافیکی ساده‌تر بوده و قادر به برآورد اولیه از دبی پایه هستند و روش‌های تفکیک فیلتری علاوه بر سهولت دارای قدرت تشخیص بسیار زیادی در تعیین دبی پایه هستند اگرچه از نقاط ضعف آن‌ها باید به فقدان مبنای هیدرولوژیکی قانع‌کننده و حساسیت بالای پارامترهای آن‌ها اشاره کرد (۱۷ و ۲۰).

روش‌های فیلتری در حال حاضر برای برآورد جریان پایه به‌طور گسترده استفاده می‌شود. تعدادی از این روش‌های فیلتری شامل لین و هولیک، ۱۹۹۹؛ ناتان و مک‌ماهان، ۱۹۹۹، الگوریتم یک پارامتره چاپمن^۱ (چاپمن و ماکسول، ۱۹۹۶)، الگوریتم دو پارامتره باگتون^۲ (چاپمن، ۱۹۹۹) و الگوریتم سه پارامتره IHACRES^۳ (چاپمن، ۱۹۹۹) می‌باشند (۴، ۸، و ۱۰). رواناب مستقیم و جریان پایه دو مؤلفه اصلی جریان رودخانه‌ها را تشکیل می‌دهند. جریان پایه در ارتباط با ذخیره آب زیرزمینی است که در بررسی طیف فراوانی هیدروگراف، دارای طول موج

- 1- Chapman
- 2- Boughton
- 3- Identification of unit Uhydrographs and Component flows from Rainfall, Evapotranspiration and Streamflow

دارای فرکانس پایین، از هیدروگراف جریان استخراج می‌شود (۹ و ۱۲).

- الگوریتم یک پارامتره^۱: فیلتر یک پارامتره فقط نیاز به تعیین پارامتر ثابت فروکش (k) دارد که در رابطه زیر ارائه شده است:

$$Q_b(i) = \frac{k}{2-k} Q_b(i-1) + \frac{1-k}{2-k} \quad (3)$$

- الگوریتم دو پارامتره باگتون^۲: در سال ۱۹۹۳، باگتون الگوریتمی با قابلیت بیش‌تر، شامل پارامتر تغییر شکل‌پذیری جدایش (C) را تعریف کرد. معادله فیلتر به صورت زیر است:

$$Q_b(i) = \frac{k}{1+c} Q_b(i-1) + \frac{c}{1+c} Q(i) \quad (4)$$

- الگوریتم سه پارامتره IHACRES^۳: در سال ۱۹۹۳ چاپمن و هوربزرگر الگوریتم دو پارامتری باگتون را توسعه دادند و به منظور جدایش جریان الگوریتمی که بارش مؤثر را به اجزای سریع و آهسته تقسیم کرده است را تعریف کردند. در این الگوریتم که به ترتیب معرف جریان رواناب مستقیم و جریان پایه است، الگوریتم اکهارت به شکل زیر ارائه می‌شود، می‌توان گفت که روش توسعه داده شده فیلتر باگتون با یک پارامتر اضافی است.

$$Q_b(i) = \frac{k}{1+c} Q_b(i-1) + \frac{c}{1+c} (Q(i) + \alpha_q Q(i-1)) \quad (5)$$

- الگوریتم لین و هولیک^۴: این روش در ابتدا توسط لین و هولیک (۱۹۷۹) پیشنهاد شد. معادله فیلتر جریان پایه از کل جریان را به صورت معادله زیر ارائه نمودند برای فیلتر کردن رواناب سطحی سه مرتبه در جهت‌های مختلف از رابطه زیر استفاده می‌شود.

نقاطی که به این ترتیب تعیین شده است، منحنی جدایش هیدروگراف به دست خواهد آمد (که در آن N معادل تعداد روزها از زمان اوج تا پایان رواناب مستقیم در هیدروگراف جریان است). (کم‌ترین مقدار در فاصله زمانی انتخاب شده).

- روش محدوده زمانی جابه‌جاشونده: در این روش برای تعیین جریان پایه یک روز معین، حداقل دبی در محدوده زمانی $[0.5(2N^*-1)]$ روز قبل و بعد از آن روز مشخص می‌شود با اتصال نقاطی که به این ترتیب تعیین شده است، منحنی جدایش هیدروگراف به دست می‌آید (که در آن N معادل تعداد روزها از زمان اوج تا پایان رواناب مستقیم در هیدروگراف جریان است (کم‌ترین مقدار در فاصله زمانی انتخاب شده)).

- روش حداقل محلی: در این روش، ابتدا بررسی می‌شود که آیا دبی جریان در یک روز معین، در مقایسه با دبی جریان در روز قبل و بعد از آن کم‌ترین مقدار است یا خیر. اگر 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 که در آن N برای زمان پایه (تعداد روز در فاصله معین) بر حسب روز است.

(ب) روش‌های فیلتر عددی برگشتی: فیلترهای عددی برگشتی که عمدتاً در آب‌های سطحی به کار برده شده است، ابزار معمولی در آنالیز و پردازش سیگنال است، که با انتخاب سیگنال‌های دارای فرکانس بالا را از سیگنال‌های دارای فرکانس پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جداسازی جریان پایه از جریان‌های سریع با فیلتر دیجیتال بازگشتی، سیگنال‌های جریان سریع دارای فرکانس بالا حذف و سیگنال‌های جریان پایه

- 1- One-parameter Algorithm
- 2- Boughton Two Parameter Algorithm
- 3- IHACRES Three Parameter Algorithm
- 4- Lynne- Hollick Algorithm

هیدروگراف با روش‌های مذکور با فرمول‌نویسی در نرم‌افزار صفحات گسترده (Excel) انجام گردید.

$$Q_b = Q_0 \cdot k^t \quad (9)$$

که در آن، Q_b دبی پایه Q_0 مقدار ورودی جریان پایه، k ثابت خشکیدگی و t زمان است. برای محاسبه مقدار k ، مقادیر دبی روزانه (Q_{t-1}) به‌ازای مقادیر دبی در زمان (Q_t) رسم شد و شیب خط برازش به‌عنوان مقدار k در نظر گرفته شد (۸). مقادیر مذکور برای طول دوره آماری ۲۲ سال برای هر ایستگاه محاسبه شد. ناتان و مک‌ماهان، (۱۹۹۰) مقدار پارامتر فیلتر را در محدوده ۰/۹ تا ۰/۹۵ قابل قبول دانسته‌اند. پارامتر فیلتر دیجیتال ۰/۹۲۵ صحت بیشتری را در مقایسه با نتایج صاف کردن منحنی برای آن‌ها نشان داد؛ آن‌ها دریافتند که نتایج به‌دست آمده تطابق زیادی با روش‌های گرافیکی دارد. به‌عنوان یک قاعده کلی، ضریب فیلتری ۰/۹۲۵ بیش‌تر برای جداسازی جریان پایه مناسب است. برای انتخاب روش مناسب و بررسی آن از ضریب کارایی نش- ساتکلیف استفاده شد (۱۴، ۱۵ و ۱۹).

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_0^t - Q_m^t) 2}{\sum_{t=1}^n (Q_0^t - Q_0) 2} \quad (10)$$

که در آن، Q_0^t دبی مشاهداتی در زمان t ، \bar{Q}_0 مقدار میانگین دبی مشاهداتی و n تعداد مشاهدات است. ضریب کارایی نش- ساتکلیف که مقداری است بین ۱ تا منفی بی‌نهایت؛ هرچه 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 مدل با میانگین داده‌های مشاهداتی برابر است و اگر مقدار آن کم‌تر از صفر باشد پیش‌بینی مدل مناسب نیست.

$$q_{f(i)} = \alpha q_{(i-1)} + (q_{(i)} - q_{(i-1)}) \frac{1+\alpha}{2} \quad (6)$$

در این الگوریتم، q_i جریان سریع فیلتر شده برای i مین زمان نمونه‌برداری جریان سریع فیلتر شده و $q_{(i-1)}$ جریان سریع فیلتر شده در زمان قبل از زمان i می‌باشد و α ثابت فیلتری است.

- الگوریتم چاپمن^۱: چاپمن (۱۹۹۱) الگوریتم لین و هولیک را جهت ارائه نتایج درست معادله فیلتر دیگری ارائه نمود:

$$b_k = \frac{3a-1}{3-a} \cdot b_{k-1} + \frac{2}{3-a} \cdot (y_k - a \cdot y_{k-1}) \quad (7)$$

- فیلتر میانگین متحرک وزنی نمایی^۲: مدل میانگین متحرک وزنی نمایی (EWMA) زمانی که با دیگر مدل‌ها مقایسه می‌شود، ساده‌تر به‌نظر می‌رسد و نتایج مناسبی را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال برای هر دوره زمانی t جریان پایه $q_b(t)$ از یک مجموعه سری زمانی با معادله ذیل به‌دست آمده است (۴ و ۲۰).

$$q_{b(i)} = \alpha q_{(i)} + (1 - \alpha) q_{b(i-1)} \quad (8)$$

ارزیابی و مقایسه روش‌های تفکیک جریان پایه: شاخه نزولی هیدروگراف و یا منحنی فروکش جریان به ویژگی‌های حوضه آبریز بستگی دارد و وضعیت بارش در آن نقشی ندارد. شاخه نزولی در واقع بیانگر روند تخلیه رواناب‌های سطحی پس از قطع بارندگی از نقطه عطف منحنی فروکش جریان، انبارش جریان بین‌لایه‌ای و انبارش سفره‌های آب‌زیرزمینی را در بر می‌گیرد. بنابراین منحنی برگشت را می‌توان منطبق بر شروع منحنی جریان پایه‌ای رودخانه دانست و برای تعیین دبی جریان در منحنی برگشت از رابطه زیر استفاده می‌شود که در پژوهش حاضر تجزیه

- 1- Chapman Algorithm
- 2- Expone Weghtd Moving Algorithm

نش - ساتکلیف انجام شد و مناسب ترین روش فیلتری انتخاب گردید.

نتایج

جریان پایه ایستگاه های انتخاب شده برای دوره آماری ۲۲ ساله با روش های محدود زمانی ثابت، محدوده زمانی جابه جاشونده، حداقل محلی و روش های فیلتری با ضریب فیلتری ۰/۹ برآورد گردید. نتایج مقادیر ضریب کارایی نش - ساتکلیف به تفکیک روش و حوضه، برای پنج ایستگاه انتخابی در جدول ۲ نشان داده شده است.

همانگونه که اشاره شد استفاده از روش های مبتنی بر ایزوتوب و ردیاب های شیمیایی به دلیل محدودیت در اجراء و هزینه ها دشوار بوده و در این پژوهش روش تحلیل فروکش براساس داده های مشاهداتی، مبنا قرار گرفته است. پس از بررسی روش های فیلتری در دوره آماری و جداسازی منحنی خشکیدگی، ایستگاه های انتخابی با روش های نام برده تجزیه و مقایسه روش های ترسیمی و فیلتری به کار رفته در این پژوهش با نتایج تحلیل شاخه نزولی (منحنی خشکیدگی) هیدروگراف توسط ضریب کارایی

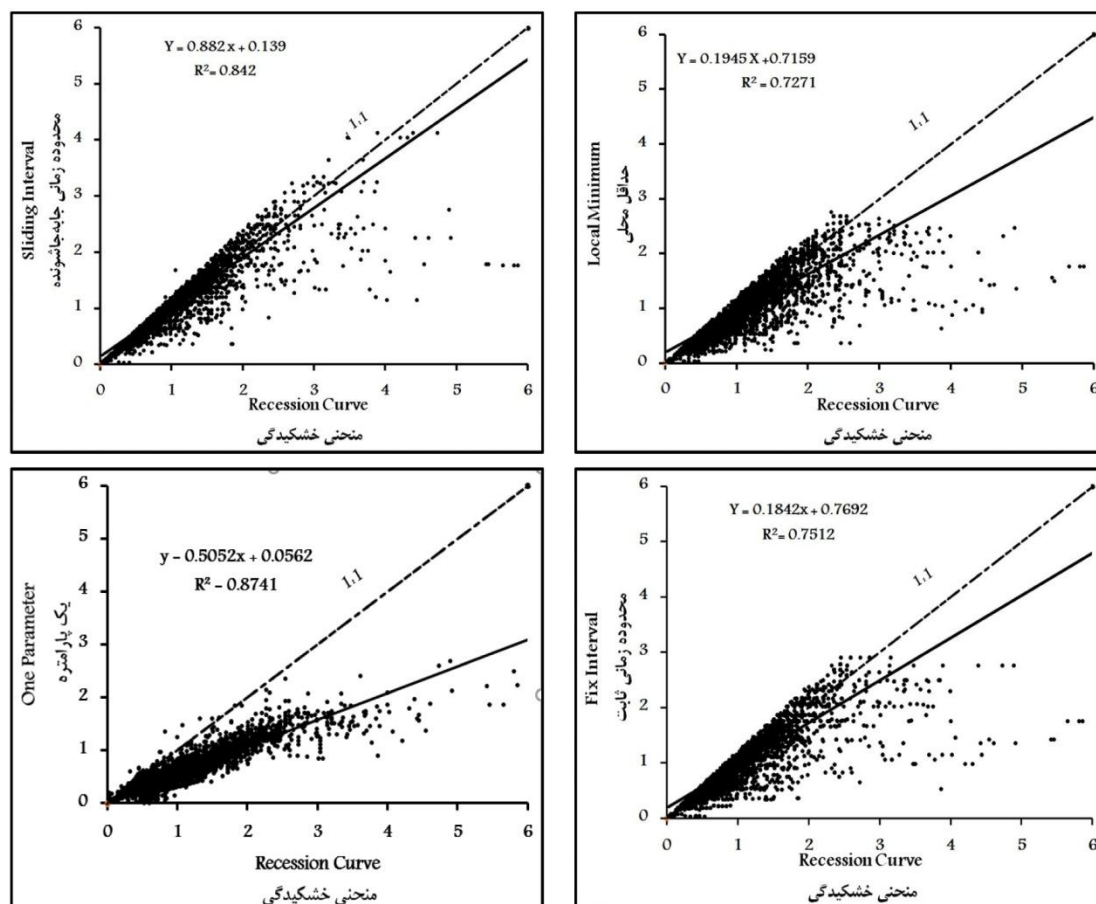
جدول ۲- نتایج مقایسه روش های ترسیمی و فیلتری تفکیک جریان پایه با منحنی خشکیدگی با استفاده از ضریب کارایی نش - ساتکلیف.

Table 2. The efficiency assessment of graphical and digital filter base flow separation techniques compared with recession curve method using Nash-Sutcliffe efficiency criteria.

ضریب نش - ساتکلیف Nash & Sutcliffe Coefficient	دوست بیگلو Dostbeiglou	دورود Doroud	اکبر داوود Akbardavoud	گیلانده Gilandeh	نیر Nir	ایستگاه Station	روش Method
0.1	0.25	0.44	-0.09	0.39	-1.45	محدوده زمانی ثابت Fix Interval	
-0.09	0.14	0.33	-0.08	0.31	-1.45	محدوده زمانی جابه جاشونده Sliding Interval	
0.12	0.35	0.54	0.01	0.42	-0.69	حداقل محلی Local Minima	
0.21	0.56	0.45	0.12	0.62	-0.68	لین و هولیک Lynne- Hollick	
0.56	0.55	0.53	0.34	0.64	0.48	چاپمن Chapman	
0.86	0.82	0.82	0.82	0.91	0.78	الگوریتم یک پارامتره One Parameter Algorithm	
0.88	0.83	0.83	0.83	0.92	0.80	الگوریتم دو پارامتره Two Parameter Algorithm	
0.85	0.81	0.81	0.74	0.81	0.79	الگوریتم سه پارامتره Three Parameter Algorithm	
-0.80	-0.38	-0.28	-0.29	-0.09	-2.67	میانگین متحرک وزنی نمایی Exp. Weighted Moving Average	

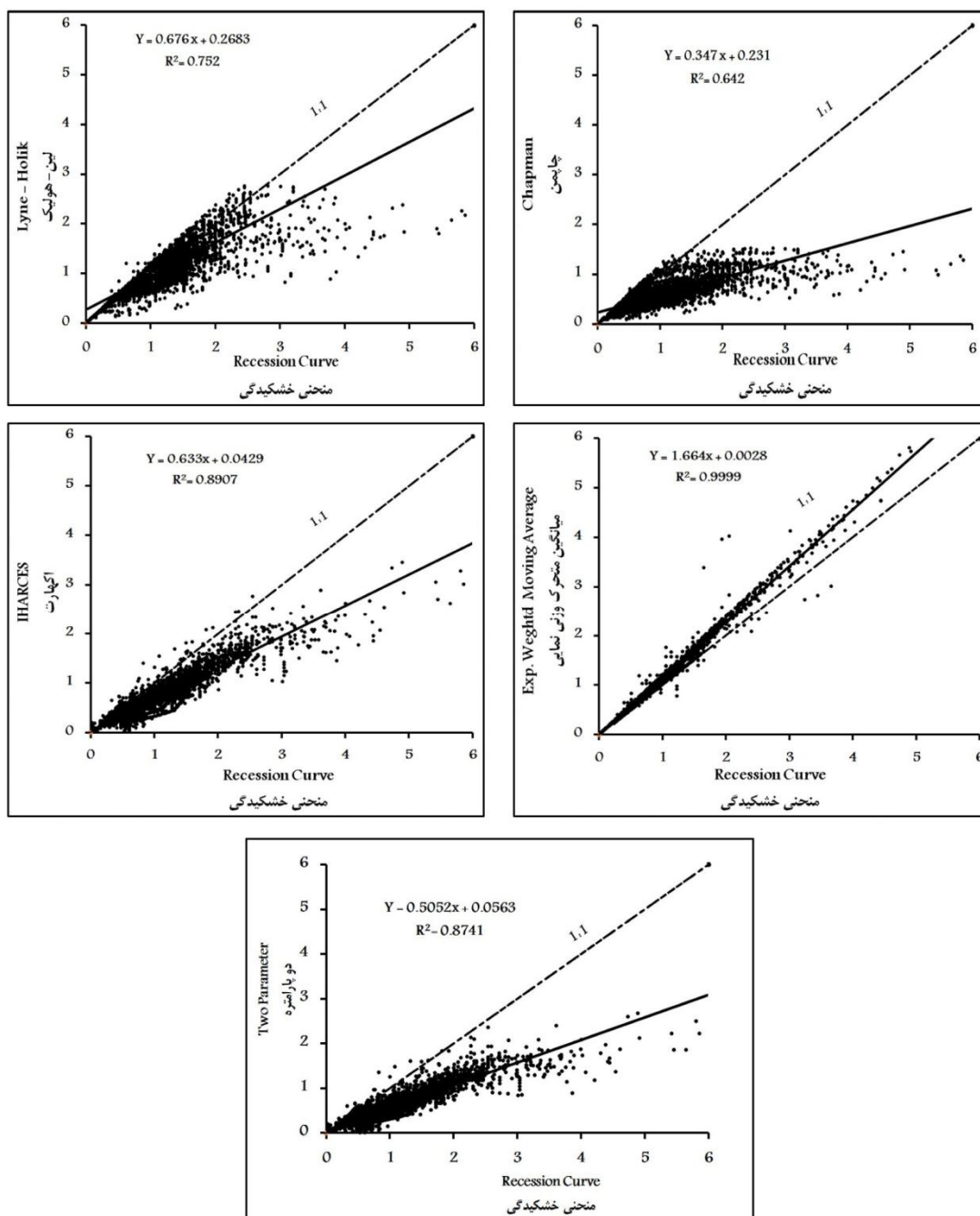
می‌باشد. از سوی دیگر به منظور مقایسه بهتر و همبستگی بین روش‌های گرافیکی و فیلتری تفکیک جریان پایه رودخانه‌های مورد مطالعه، در ایستگاه نیر با دامنه دبی متوسط به‌عنوان نمونه در شکل ۲ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، دقت روش‌های تفکیک جریان در ایستگاه‌های مورد مطالعه متفاوت بوده و در مواردی قابل قبول نیست. بیش‌ترین مقدار ضریب کارایی نش- ساتکیف ۰/۸۶ و ۰/۸۸ به‌ترتیب مربوط به الگوریتم یک‌پارامتره و دوپارامتره



شکل ۲- نتایج مقایسه روش‌های ترسیمی و فیلتری تفکیک جریان پایه با منحنی خشکیدگی در ایستگاه نیر.

Figure 2. Correlation analysis graphical and digital filtering methods with recession curve in Nir station.

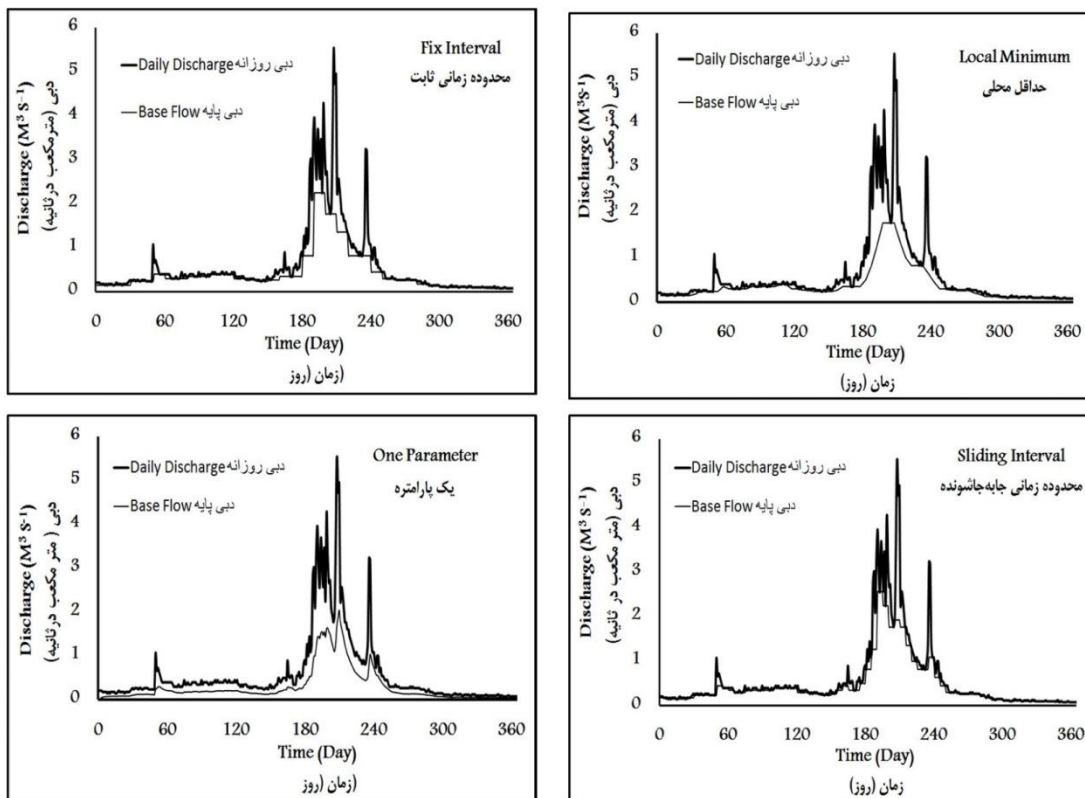


ادامہ شکل ۲-

Continue Figure 2.

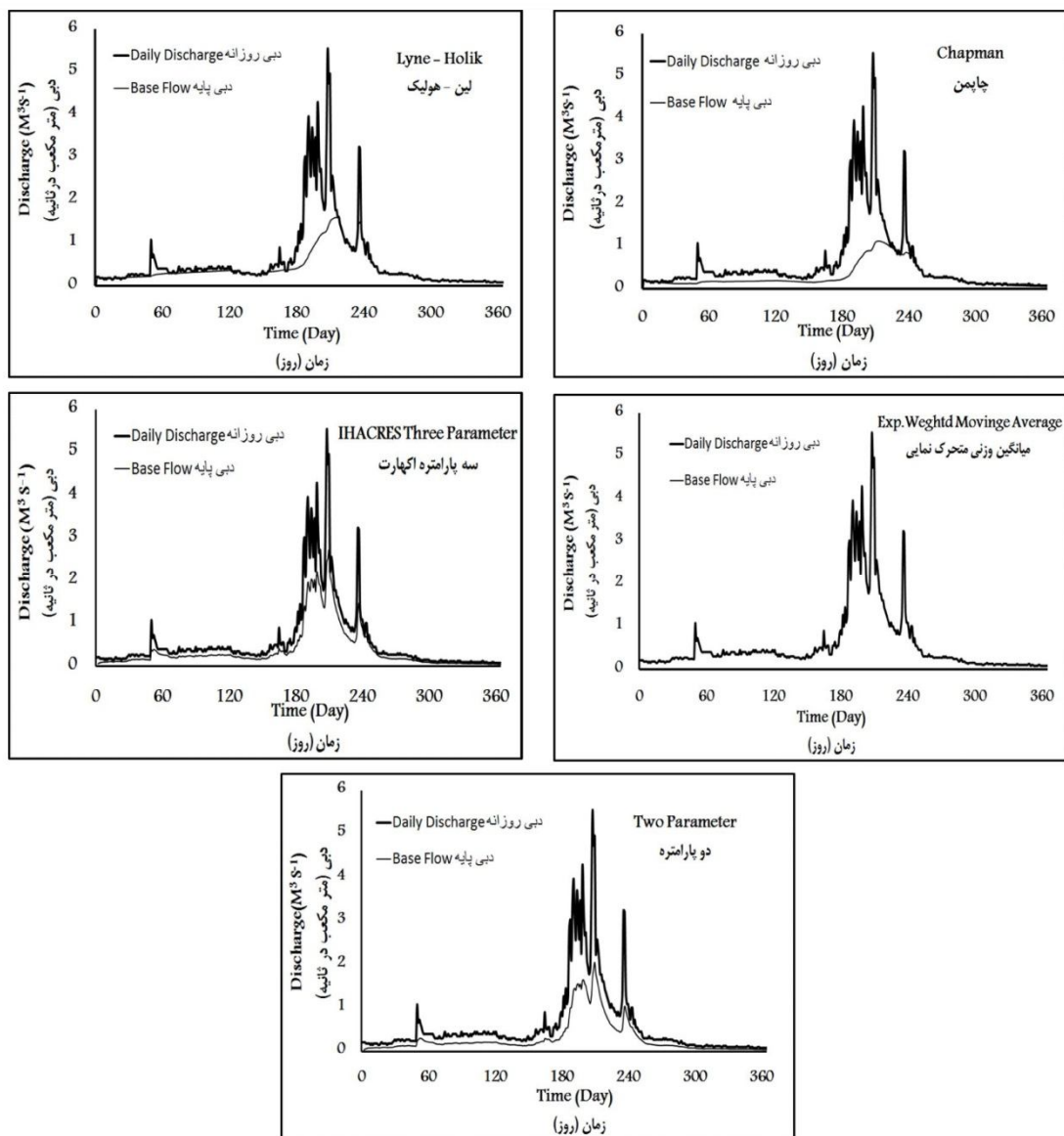
روش‌های مختلف در دوره آماری مورد استفاده با ضریب فیلتری ۰/۹ به‌عنوان نمونه در ایستگاه دورود در شکل ۳ نشان داده شده است.

بالاترین همبستگی بین روش‌های مذکور، ۰/۹۹۹ و ۰/۸۹ به‌ترتیب در روش‌های EWMA و روش اکهارت مشاهده شده است. تفکیک هیدروگراف با



شکل ۳- نتایج مقایسه روش‌های ترسیمی و فیلتری تفکیک جریان پایه با منحنی خشکیدگی در ایستگاه دورود.

Figure 3. Visual comparison of graphical and digital filtering methods in separation of base flow hydrograph in Doroud station.

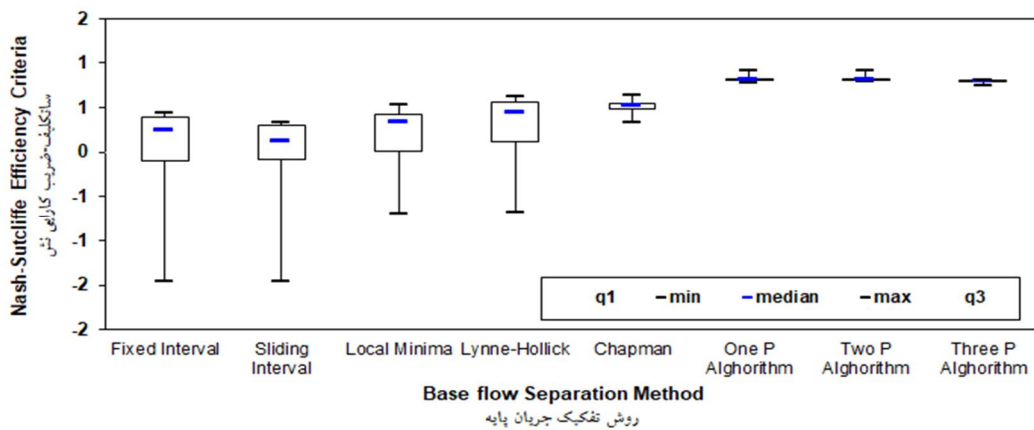


ادامه شکل ۳-

Continue Figure 3.

تفکیک هیدروگراف و برآورد دبی پایه در ایستگاه دورود است. دامنه تغییرات مقادیر ضریب کارایی روش‌های مختلف تفکیکی جریان پایه در شکل ۴ ارائه شده است.

با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که روش‌های فیلتری از دقت بالاتری نسبت به روش‌های ترسیمی در برآورد دبی پایه برخوردار می‌باشند. همچنین روش‌های دوپارامتره و یکپارامتره بهترین روش‌های



شکل ۴- نمودار جعبه‌ای مقایسه روش‌های ترسیمی و فیلتری تفکیک جریان پایه.

Figure 4. Boxplot of graphical and digital filtering methods in separation of base flow hydrograph.

این پژوهش با هدف مقایسه روش‌های ترسیمی و تفکیک فیلتری در پنج رودخانه منتخب استان اردبیل، معرفی و روش مناسب انتخاب شده است. روش‌های جداسازی هیدروگراف نیز نشان دادند دبی پایه پس از هر بارش افزایش و سپس کاهش می‌یابد. برای مقایسه روش‌های مختلف، ابتدا روش‌های محدوده زمانی ثابت، جابه‌جاشونده و حداقل محلی باهم مقایسه و بهترین روش انتخاب شد و سپس آن را با روش‌های فیلتری مقایسه نموده، در همین راستا، معیار مقایسه و انتخاب بهترین روش ضریب کارایی نش- ساتکلیف انتخاب شد که ضریب کارایی نش- ساتکلیف مقداری است بین ۱ تا منفی بی‌نهایت؛ هرچه 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 مدل با میانگین داده‌های مشاهداتی برابر است و اگر مقدار آن کم‌تر از صفر باشد پیش‌بینی مدل مناسب نیست. پس از مقایسه سه روش با ضریب کارایی نش- ساتکلیف این نتایج نشان داد که روش حداقل محلی بهتر از دو روش محدوده زمانی ثابت و جابه‌جاشونده است. در این راستا قنبرپور و همکاران (۲۰۰۸) نیز در حوضه

بحث و نتیجه‌گیری کلی

تنها راه دقیق برآورد سهم دبی پایه البته، جریان، استفاده از ردیاب‌های رادیواکتیو و شیمیایی است. این روش به دلیل محدودیت اجرایی و اقتصادی آن در عمل در سطح وسیع امکان‌پذیری اندکی دارد. بنابراین در پژوهش‌ها روش‌های گرافیکی برای تعیین نقطه شروع و خاتمه رواناب مستقیم و تفکیک اجزای هیدروگراف جریان توسعه یافته است. روش‌های گرافیکی برای تعیین نقطه شروع و خاتمه رواناب مستقیم و تفکیک اجزای هیدروگراف جریان توسعه یافته است. البته این روش‌ها نیز به دلیل صرف وقت زیاد و عدم پیوستگی در دوره‌های زمانی طولانی کارایی چندانی ندارند و به جای آن الگوریتم‌های عددی به صورت روش‌های اتوماتیک توسعه یافته است. در جداسازی جریان پایه از جریان‌های سریع با فیلتر بازگشتی، سیگنال‌های جریان‌های سریع دارای فرکانس بالا حذف و سیگنال‌های جریان پایه دارای فرکانس پایین، از هیدروگراف استخراج می‌شود. این روش را می‌توان در جدایش جریان پایه به کار برد زیرا طول موج با فراوانی بالا نشان‌دهنده رواناب مستقیم و طول موج با فراوانی کم نشان‌دهنده جریان پایه است.

و تأخیری تقسیم می‌کنند و از صحت و دقت بیش‌تری در برآورد دبی پایه برخوردار می‌باشند. تحلیل نتایج نشان داد که صحت روش‌های تفکیک جریان متأثر از مساحت بالادست ایستگاه هیدرومتری و نیز مقادیر متوسط دبی رودخانه نیست و به‌عبارتی ارتباط مشخصی میان صحت مدل و میزان مساحت و دبی ایستگاه وجود ندارد. در این مطالعه برای جداسازی دبی پایه از هیدروگراف روزانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه از ضریب فیلتر ۰/۹۲۵ استفاده شد که براساس مطالعه ناتان و مک‌ماهان (۱۹۹۰) و نیز قنبرپور و همکاران (۲۰۰۸) مقدار ضریب فیلتری مناسب بین ۰/۹ تا ۰/۹۵ پیشنهاد شده است. قابل ذکر است که بخشی از خطای موجود در روش‌های مذکور را می‌توان به جریان تنظیمی رودخانه‌ها و یا وجود منابع ذخیره‌ای نسبت داد. هر چند در پژوهش حاضر اثر ذخیره جریان و نوع تشکیلات زمین‌شناسی به‌طور غیرمستقیم با استفاده از پارامتر ضریب ذخیره در نظر گرفته شده است، ولی تحلیل تغییرات مکانی مقادیر دبی پایه متأثر از ذخایر آب‌های زیرزمینی و نیز مطالعه اثر نوع کاربری اراضی بر میزان جریان پایه از موارد پیشنهادی در پژوهش‌های آتی است. اطلاع از جریان پایه در ارزیابی کیفیت آب و شرایط جریان کم مفید است و می‌تواند برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل‌های هیدرولوژی به‌کار گرفته شود. در مجموع نتایج پژوهش می‌تواند در برآورد سهم جریان پایه و نیز انتخاب روش مناسب تفکیک جریان در مدل‌سازی هیدرولوژی در رودخانه‌های با دامنه مختلف مقادیر دبی جریان در استان اردبیل مورد استفاده قرار گیرد.

کارون نشان دادند که از بین روش‌های محدوده زمانی ثابت، جابه‌جاشونده و حداقل محلی، روش حداقل محلی بهترین برآورد از دبی پایه را در حوزه آبخیز مذکور داشته است. با توجه به جدول ۲ نتایج مقایسه روش‌های ترسیمی و فیلتری نشان داد که روش‌های ترسیمی با مقدار ضریب نش- ساتکلیف کم‌تر از یک (مقادیر منفی) از دقت کم‌تری برای تفکیک هیدروگراف برخوردارند. هم‌چنین مقدار دبی پایه را کم‌تر برآورد می‌کنند که دلیل آن، انتخاب کم‌ترین مقدار دبی و مقادیر حداقل جریان به‌عنوان دبی پایه است. اما نتیجه مقایسه روش‌های مختلف تفکیک هیدروگراف با ضریب کارایی نش- ساتکلیف نشان داد که دو روش الگوریتم عددی دوپارامتره و یک‌پارامتره با ضرایب ۰/۸۸ و ۰/۸۶ به‌ترتیب مناسب‌ترین روش‌ها در برآورد دبی پایه در رودخانه‌های استان اردبیل بوده است، که نتایج این پژوهش با یافته‌های تیموری و همکاران (۲۰۱۱) در تعدادی از رودخانه‌های استان آذربایجان غربی مبنی بر برتری روش دوپارامتره در تفکیک دبی پایه هم‌خوانی دارد. هم‌چنین در پژوهش تالارم و الهه (۲۰۰۸) برتری روش‌های فیلتری با ضریب فیلتری ۰/۹۲۵ نسبت به روش‌های ترسیمی گزارش شده است. براساس نتایج، دقت روش‌های ترسیمی قابل‌قبول نبوده و علاوه بر آن بر فرض اتصال نقاط حداقل دبی در سری زمانی استوار بوده که با ماهیت وقوع جریان پایه تطابق ندارد، این در حالی است که روش‌های تفکیک فیلتری بر فرض غیرخطی بودن جریان پایه بنا نهاده شده‌اند. از دیگر مزیت‌های روش‌های فیلتری افزایش دقت در فرمول‌نویسی روابط است که از تئوری پردازش سیگنال اقتباس شده‌اند و جریان را به دو مؤلفه سریع

منابع

1. Aksoy, H., Kurt, I., and Ersi, E. 2009. Filtered smoothed minima base flow separation method. *J. Hydrol.* 372: 94-101.
2. Alizadeh, A. 2010. Principles of Applied Hydrology. Astan Quds Razavi. Press, 911p. (In Persian)
3. Arfania, R., and Samani, N. 2005. Construction of stream flow hydrograph separation curve in Zayndeh-roud Karstic watershed. *Tarbiat Moalem Univ. J. Sci.* 5: 585-600. (In Persian)
4. Chapman, T.G., and Maxwell, A. 1996. Base flow separation comparison of numerical methods with tracer experiments. In 23rd Hydrology and Water Resources Symposium, Hobart, Institution of Engineering Australia. Pp: 539-545.
5. Eckhardt, K. 2005. How to construct recursive digital filters for base flow separation. *Hydrology Process.* 19: 507-515.
6. Eckhardt, K. 2008. A comparison of base flow indices which were calculated with seven different base flow separation methods. *J. Hydrol.* 352: 168-173.
7. Ghanbarpour, M.R., Teimouri, M., and Gholami, S.H. 2008. Comparison of base flow estimation methods based on hydrograph separation (Case study: Karun Basin). *J. Water Soil Sci.* 12: 1-13. (In Persian)
8. Gustard, A., and Demuth, S. 2009. Manual on Low-flow Estimation and Prediction. Operational Hydrology Report No. 50, WMO-No. 1029.
9. Li, L., and Maier, H.R. 2013. Framework for assessing and improving the performance of recursive digital filter for base flow estimation with application to the Lynne and Hollick filter. *Environmental Modelling & Soft word.* 41: 163-175.
10. Lynne, V., and Hollick, M. 1979. Stochastic time variable rainfall runoff modeling. In: Hydrology and Water Resources Symposium Perth 1979 Proceedings. National Committee on Hydrology and Water Resources of the Institution of Engineers. 79: 89-92.
11. Mahdavi, M. 2007. Applied Hydrology. Tehran University. Press, 437p. (In Persian)
12. Mali, S., and Mohammadi, Z. 2015. Assessment of base flow separation methods in Krastic springs (Case study: Pirghar and Dimeh springs). *Advanced Applied Geology.* 14: 22-37. (In Persian)
13. Mei, Y., and Anagnostou, E.N. 2015. A hydrograph separation method based on information from rainfall and runoff records. *J. Hydrol.* 523: 636-649.
14. Mirbagheri, S.A. 1998. Engineering Hydrology. Shiraz University. Press, 562p. (In Persian)
15. Mostafazadeh, R., and Bahremand, A. 2009. Simulation of direct run-off hydrograph using nash linear reservoir model in Jafar-Abad watershed Golestan Province. *Iran. J. Water. Manage. Sci.* 3: 9-16. (In Persian)
16. Mehry, S., Mostafazadeh, R., Esmali Ouri, A., and Ghorbani, A. 2017. Spatial and Temporal Variations of Base Flow Index (BFI) the Ardabil Province river. *Iran. Earth and Space Physics.* 43: 623-634. (In Persian)
17. Nathan, R.J., and Mc Mahon, T.A. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analysis. *Water Resources Research.* 26: 1465-1473.
18. Raghunath, H.M. 2006. Hydrology: Principles, Analysis and Design. New Age International, 476p.
19. Sengorur, B., Dede, C., and Dogan, E. 2014. The examination of the performances of methods used in separating the total stream flow in different rivers. *GEOFIZIKA.* 31: 1-12.
20. Teimouri, M., Ghanbarpour, M.R., Bashirgonbad, M., Zolfaghari, M., and Kazemikia, S. 2011. Comparison of base flow index in hydrograph separation with different method in some rivers of west Azerbaijan Province). *J. Water Soil Sci.* 15: 219-229. (In Persian)
21. Tularam, G.A., and Ilahee, M. 2008. Exponential smoothing method of base flow separation and its impact on continuous loss estimates. *Amer. J. Environ. Sci.* 4: 136-144.
22. Wittenberge, H. 1999. Base flow recession and recharge as nonlinear storage processes. *Hydrology Process.* 13: 715-762.

23. Zakernia, M., Tamaskani, A., Hezarjaribi, A., and Dehghani, A.A. 2013. Comparison of base flow separation methods from daily flow hydrograph (Case study: Upstream of Boustan dam catchment in Golestan Province). *J. Water Soil Cons.* 20: 127-145. (In Persian)
24. Zhange, R., and Li, Q. 2012. Baseflow separation in a small watershed in New Brunswick Canada, using a recursive digital filter calibrated with the conductivity mass balance method. *J. Hydrol.* 27: 2659-2665.



Graphical and recursive digital filter techniques in the separation of base flow, A comparison in Ardabil Province rivers

S. Mehri¹, *R. Mostafazadeh², A. Esmali-Ouri³ and A. Ghorbani³

¹Ph.D. Student of Watershed Management Science and Engineering, Tarbiat Modares University,

²Assistant Prof., Dept. of Natural Resources and Member of Water Management Research Institute, University of Mohaghegh Ardabili, ³Associate Prof., Dept. of Natural Resources and Member of Water Management Research Institute, University of Mohaghegh Ardabili

Received: 03.05.2016; Accepted: 03.03.2019

Abstract

Background and Objectives: Base flow is an important component of flow hydrograph, which feeds by ground water or shallow subsurface flow, Sub surface flow and plays an important role in ecological function of a river. Identification of base flow contribution provides a basis to assess the watershed response and information on base flow availability and contributions is needed to develop water quantity and water quality management strategies in watershed scale. Also, the separation of the base of the important factors in hydrologic modeling and increase the accuracy of the model calibration in rainfall-runoff prediction. Comparison of different watersheds based on flow recession and low flow components can provide useful information regarding the storage characteristics and flow recharge. Also, the base flow contribution amount can be used in the analysis of environmental flow assessment and river flow health condition. Base flow component strongly affected by flow extraction through the flood plain wells which can be a source of uncertainty in the base flow separation by well-known numerical methods. The aim of this study was to compare graphically and recursive digital filtering techniques in base flow separation and selection of appropriate methods to estimate the base flow contribution in number of rivers over Ardebil Province.

Materials and Methods: The base flow was estimated on daily basis using three graphical methods, including, 1) Fixed time interval, 2) Sliding time interval, 3) Local minima and six recursive digital filters including, 1) One-parameter algorithm, 2) Boughton two-parameter algorithm, 3) IHACRES three parameter method, 4) Lynne and Hollick, 5) Chapman algorithm and 6) Exponentially Weighted Moving Average methods. The results of these methods were compared with the recession analysis method as a reference. Estimated and analysis the results of base flow methods were compared for a 22-year period (1989-2011) for which stream flow data were available in 5 river gauge station in different ranges of flow rates over Ardabil Province.

Results: According to the results and the comparison of graphical and filtering methods of base flow separation, it was found that the accuracy of graphical methods is not acceptable (with negative and less than unity values) according to Nash-Sutcliffe efficiency criteria. Accordingly, the performance of Fixed time interval method according to Nash-Sutcliffe efficiency criteria - 0.04 did not give a good result in the study area. While, Two-parameter Boughton and One-parameter algorithms are most suitable methods in estimating the base flow component of hydrograph with 0.88 and 0.86 efficiency criteria respectively in the study area.

* Corresponding Author; Email: raofmostafazadeh@uma.ac.ir

Conclusion: The results showed that graphical methods had not satisfactory results, but the digital filtering techniques based on signal processing theory had high accuracy in separating the flow hydrograph to speed and delayed components. The estimated base flow hydrographs by recursive digital filter methods showed good agreement overall with the recession analysis method. As a concluding remark, the recursive digital filters are more suitable methods in the study area with nonlinear nature complying the sequence of discharge data time series with respect to linear graphical methods. The suggested appropriate methods can be used to low flow regional analysis, hydrologic modelling and determination of the base flow contribution in daily flow hydrograph data in the study region.

Keywords: Base flow, Daily flow hydrograph, Flow separation, Graphical methods, Recursive digital filters, Surface flow

Arc