



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گاجان

نشریه حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی

جلد ششم، شماره دوم، ۱۳۹۶

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

DOI: 10.22069/ejang.2019.11706.1327

مقایسه روش‌های جداسازی جریان پایه رودخانه و تغییرات فصلی آن در تعدادی از آبخیزهای استان اردبیل

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

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه محقق اردبیلی،

^۲استادیار گروه آموزشی منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی،

^۳دانشیار گروه آموزشی منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۷/۱

چکیده

سابقه و هدف: آب پایه یکی از اجزاء مهم هیدروگراف جریان است، که از جریان‌های زیرزمینی یا ذخایر کم‌عمق زیرسطحی نشأت می‌گیرد. تفکیک جریان پایه از موارد مهم در بهره‌برداری از جریان، مدل‌سازی هیدرولوژی و افزایش دقت واسنجی مدل‌های بارش رواناب است. هدف از این پژوهش، تعیین مناسب‌ترین روش تفکیک جریان و ارزیابی تغییرات زمانی دبی پایه و رواناب سطحی در فصول مختلف سال در یک دوره ۲۱ ساله از سال ۱۳۶۸-۱۳۸۹ در ۲۲ حوزه آبخیز در استان اردبیل است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، کارایی روش‌های ترسیمی (محدوده زمانی ثابت، محدوده زمانی جابه‌جاشونده و حداقل محلی) و روش‌های فیلتر دیجیتال برگشتی شامل (الگوریتم یک‌پارامتره، الگوریتم دو پارامتره باگتون، الگوریتم سه‌پارامتره IHACRES، لین و هولیک، الگوریتم چاپمن و ایما فیلتر) در تفکیک دبی جریان پایه مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه مقدار متوسط رواناب کل و دبی پایه در فصول مختلف محاسبه و تغییرات فصلی دبی پایه نیز به‌صورت نمودار تهیه گردید.

یافته‌ها: مقایسه نتایج، روش‌های ترسیمی و فیلتری با تحلیل فروکش نشان داد که روش تفکیک فیلتری الگوریتم یک‌پارامتره با ضریب کارایی ۰/۸۴ مناسب‌ترین روش در برآورد دبی پایه می‌باشد. مقایسه دبی پایه در بین ایستگاه‌ها، نشان داد که کم‌ترین مقدار دبی پایه و رواناب مربوط به ایستگاه‌های مناطق شرقی استان اردبیل و بیش‌ترین مقدار دبی پایه مربوط به غرب و جنوب‌غربی استان است. هم‌چنین تغییرات دبی پایه در فصول مختلف نشان داد که بیش‌ترین مقدار دبی پایه مربوط به فصل زمستان و بهار و به‌ترتیب در ایستگاه‌های دوست‌بیگلو، سامیان و فیروزآباد می‌باشد. در حالی که در سایر ایستگاه‌ها در تمام فصول مقادیر دبی پایه و رواناب کاهش پیدا کرده، ولی در فصل تابستان دارای کم‌ترین مقدار بوده است. به‌عبارتی می‌توان گفت که بین دبی پایه و رواناب رابطه مستقیم وجود دارد.

* مسئول مکاتبه: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

نتیجه‌گیری: روش‌های جداسازی هیدروگراف نشان دادند که دبی پایه در طول یک سال آبی نیز در فصول پربارش افزایش و سپس در تابستان به کم‌ترین مقدار خود می‌رسد. به‌طور کلی می‌توان گفت که تغییرات زمانی در رواناب سطحی و جریان پایه در هر کدام از ایستگاه‌ها و هم‌چنین فصول مختلف متفاوت بوده است. بنابراین تفکیک دبی و تعیین سهم آن یکی از مواردی است که می‌تواند در برنامه‌ریزی حفاظت رودخانه و استفاده از آب‌های سطحی مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات فصلی، تفکیک جریان، توزیع زمانی دبی پایه، فیلتر عددی برگشتی

مقدمه

پایه^۱ یکی از اجزاء مهم در تشکیل هیدروگراف جریان است، که از جریان‌های زیرزمینی یا ذخایر کم‌عمق زیرسطحی ناشی می‌شود. تعیین سهم آب پایه جریان، امکان ارزیابی واکنش آبخیز و برنامه‌ریزی بهتر استراتژی‌های مدیریت کمی و کیفی منابع آب در مقیاس آبخیز را فراهم می‌نماید (۹ و ۲۳). تفکیک هیدروگراف جریان، فرآیند جداسازی دبی پایه، رواناب زیرقشری و رواناب مستقیم است که با شناسایی نقطه شروع و خاتمه رواناب مستقیم قابل محاسبه است (۲۳). اگرچه مطالعات زیادی در خصوص مقایسه عملکرد نسبی فیلترهای مختلف صورت گرفته است. اما به‌طور قطعی نمی‌توان ارزیابی برای دوره‌های انتخاب شده انجام شود. با توجه به عملکرد متفاوت هر کدام از روش‌های فیلتری، اندازه‌گیری جریان پایه و انتخاب فیلتر مناسب برای دوره‌های مطالعاتی به‌سختی انجام می‌شود (۱۸). یوسفی و همکاران (۲۰۱۱)، تغییرپذیری زمانی و مکانی جریان رودها را با استفاده از آمار ۱۹ ایستگاه واقع در استان مازندران مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که بیش‌ترین دبی ماهانه در رودهای استان در فصل بهار و پاییز اتفاق افتاده است (۲۷). تیموری و همکاران (۲۰۱۱)، به‌منظور تشخیص مناسب‌ترین روش تفکیک هیدروگراف

رودخانه‌ها جزء مهم‌ترین منابع آب‌های سطحی هستند و با توجه به محدودیت منابع آب سطحی و زیرزمینی در کشور، ارزیابی دبی پایه رودخانه‌ها و بررسی کیفیت آب‌های سطحی برای مصارف شرب، صنعت و کشاورزی امری ضروری به‌نظر می‌رسد و می‌تواند در مدیریت بهینه منابع آب مؤثر باشد (۴) و (۱۷). جریان رودخانه‌ها دارای تغییرپذیری زیادی در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی می‌باشند. به‌طور کلی تغییرات زمانی در رودخانه‌هایی که منبع اصلی تأمین آب آن‌ها بارندگی است، بیش‌تر و در رودخانه‌هایی که آب آن‌ها از آب زیرزمینی تأمین می‌گردد، کم‌تر است (۲۰). به‌عبارتی جریان رودخانه در فصل بارندگی از رواناب سطحی و در مواقع غیربارندگی از جریان‌های زیرسطحی کم‌عمق و تخلیه آب‌های زیرزمینی به رودخانه تأمین می‌شود (۲۲). درصد مشارکت این منابع در حوضه‌های مختلف بسته به سطح زهکشی، پارامترهای آب و هوایی، وضعیت زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و فعالیت‌های انسانی متفاوت می‌باشد (۱۳). بنابراین بررسی دبی پایه رودخانه‌ها که خود متأثر از جریان آب‌های زیرزمینی و آب حاصل از ذوب برف می‌باشد دارای اهمیت ویژه‌ای است (۴). جریان

شاخص دبی پایه با این روش ۸۹ درصد به دست آمد (۲۳). ناتان و مک‌ماهان (۱۹۹۰)، از دو روش فیلتر عددی برگشتی و ساده برای مقایسه روش‌های تفکیک جریان پایه در انگلستان استفاده و به برتری روش فیلتری نسبت به سایر روش‌ها و تطابق بیش‌تر آن با شرایط انگلستان دست یافتند (۱۹). تولارام و ایلاهی (۲۰۰۸)، در مطالعه روش‌های جداسازی جریان پایه و تأثیر آن در برآورد ضریب رواناب سطحی از تفکیک جریان پایه از هیدروگراف جریان و با انتخاب مقدار مناسب ضریب α ، روش فیلتر به‌عنوان بهترین روش معرفی شد (۲۶). می و آناگنستو (۲۰۱۵)، 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 می‌باشد، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که تفکیک آب‌پایه 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 می‌باشد (۱۸). مطالعات متعددی در خصوص ارزیابی روش‌های تفکیک جریان صورت گرفته است اما تعیین سهم جریان و تغییرات آن در فصول مختلف نیازمند مطالعات بیش‌تری است. جریان پایه که بخش عمده‌ای از جریان رودخانه‌ای را در استان اردبیل تشکیل می‌دهد، ناشی از وجود رودخانه‌های متعدد و پرآب می‌باشد که از ارتفاعات ییلاقی، بارش برفی و ذوب تدریجی برف سرچشمه می‌گیرند. بنابراین تعیین تغییرات جریان دبی پایه و تحلیل رفتار آن در فصول مختلف دارای اهمیت است.

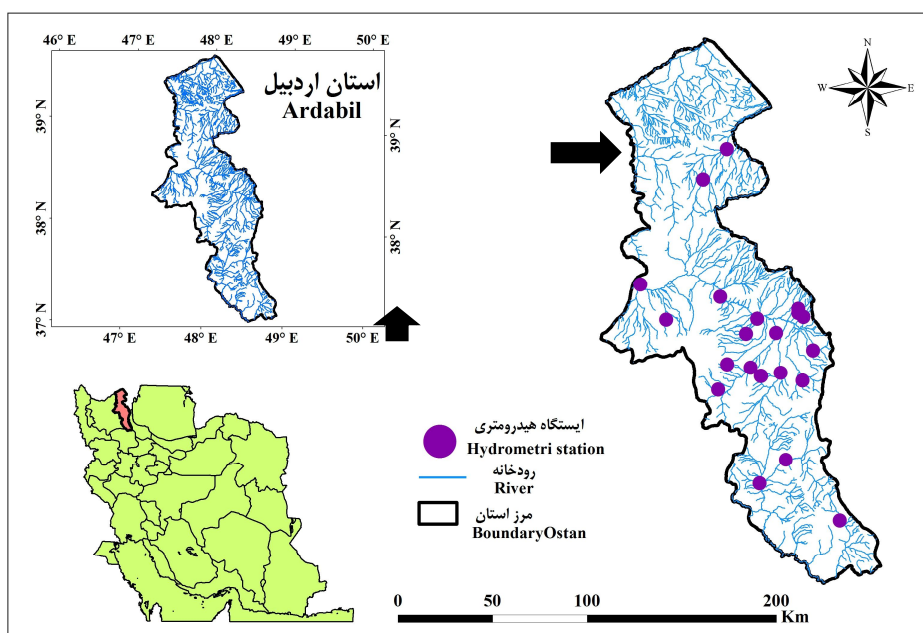
جریان و برآورد دبی پایه در تعدادی از رودخانه‌های استان آذربایجان غربی، روش‌های متداول تفکیک هیدروگراف جریان شامل روش تجربی حداقل محلی و روش فیلتر رقومی یک‌پارامتره با پارامترهای فیلترینگ ۰/۹۷۵ و دوپارامتره براساس شاخص جریان پایه برای برآورد دبی پایه را مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که جریان پایه در روش‌های مختلف بخش زیادی از کل جریان را تشکیل داده و دارای نوسانات زیادی نیز می‌باشد. اگرچه روش فیلتر رقومی دوپارامتره از لحاظ هیدرولوژیک انعطاف‌پذیرتر از دیگر روش‌هاست، ولی روش فیلتر رقومی یک‌پارامتره نیز مشروط به انتخاب پارامتر فیلترینگ ۰/۹۲۵، دارای صحت برآورد مناسب می‌باشد (۲۵). روش‌های جداسازی جریان پایه در رودخانه‌های حوزه آبخیز حبله‌رود توسط حسنی و همکاران (۲۰۱۲)، مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس در پژوهش از روش عددی برگشتی یک‌پارامتره، دوپارامتره و حداقل محلی استفاده شد. بنابراین نتایج نشان داد که در همه ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه نمرود روش حداقل محلی، روش مناسبی برای برآورد دبی پایه از جریان کلی رودخانه است (۹). تمسکنی و همکاران (۲۰۱۳)، در پژوهشی مقایسه روش‌های جداسازی دبی پایه از هیدروگراف روزانه جریان در حوضه بالادست سد بوستان در استان گلستان را مورد مطالعه قرار دادند. ایشان به‌منظور تشخیص مناسب‌ترین روش تفکیک هیدروگراف جریان و برآورد دبی پایه، روش‌های ترسیمی (محدوده زمانی ثابت، جابه‌جاشونده و حداقل محلی) و هم‌چنین روش فیلتر عددی برگشتی را با ضرایب ۰/۹، ۰/۹۲۵، ۰/۹۵، ۰/۹۷۵ و ۰/۹۹ تفکیک نمودند. نتایج نشان داد که روش فیلتر عددی برگشتی با ضریب ۰/۹ مناسب‌ترین روش برای برآورد دبی پایه در حوضه مورد مطالعه است و

زنجان و از غرب با استان آذربایجان شرقی هم‌جوار است. میزان نزولات جوی به‌طور متوسط بین ۲۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در سال در بخش‌های مختلف از استان اردبیل نوسان دارد (۱۷). در این مطالعه از آمار دبی جریان روزانه تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری با دوره آماری ۲۱ ساله از سال آبی ۱۳۶۹-۱۳۶۸ تا ۱۳۹۰-۱۳۸۹ واقع در آبخیزهای استان اردبیل استفاده شده است. بعد از بررسی آمار و رفع نواقص آماری، از متوسط مقادیر دبی برای تحلیل تغییرات دبی پایه حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه استفاده گردید. در شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه و در جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های انتخابی ارائه شده است.

بنابراین هدف از پژوهش حاضر مقایسه روش‌های ترسیمی و فیلتر عددی در تفکیک جریان پایه، انتخاب روش مناسب برآورد دبی پایه و همچنین تحلیل تغییرات فصلی آن در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در استان اردبیل است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: استان اردبیل در محدوده جغرافیایی $37^{\circ} 45'$ تا $39^{\circ} 42'$ عرض شمالی و $47^{\circ} 30'$ تا $48^{\circ} 55'$ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ در شمال‌غربی فلات ایران واقع شده است. استان اردبیل از شمال با جمهوری آذربایجان همسایه بوده، از قسمت شرق با استان گیلان، از جنوب با استان



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده در ایران و استان اردبیل.

Figure 1. Location of the selected hydrometric stations in Iran and Ardabil province.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب و مورد استفاده در استان اردبیل.

Table 1. Characteristics of selected stream gauge stations in the Ardabil province.

ردیف	نام رودخانه	نام زیرحوزه	مساحت حوزه km ²	ردیف	نام رودخانه	نام زیرحوزه	مساحت حوزه km ²
Row	River	Sub-Basin	Area (km ²)	Row	River	Sub-Basin	Area (km ²)
1	سارقمیش	اکبرداود	710	12	بالخوچای	پل الماس	1070
	Sarighamish	Akbardavoud			Blekhlou chai	Pole almas	
2	قره‌سو	آلادیزگه	22	13	خیاوچای	پل سلطانی	98
	Gharesou	Aladizgeh			Khiav chai	Pole soltani	
3	یدی بولیک‌چای	عموقین	110	14	قره‌سو	سامیان	4004
	Yadibolikchai	Amoghin			Gharesou	Samian	
4	سقرچی چای	ایریل	8	15	آغ‌چای	شمس‌آباد	128
	Saghizchai	Iril			Agh chai	Shamsabad	
5	شهریورچای	باروق	96	16	ویلادرق‌چای	ویلادرق	94
	Shahrivar chai	Baroogh			Viladaraghchai	Viladaragh	
6	قره‌سو	دوست‌بیگللو	7311	17	سولاچای	سولا	44
	Gharesou	Doostbiglou			Sola chai	Sola	
7	شاهرود	دورود	158	18	برزندچای	احمدکندی	157
	Shahrud	Dorood			Brzndchai	Ahmadkandi	
8	فیروزآبادچای	فیروزآباد	1515	19	بالخوچای	گیلانده	1638
	Firouzabad chai	Firouzabad			Blekhlou chai	Gilandeh	
9	قوری‌چای	کوزه‌تپراقی	812.8	20	نمین‌چای	نمین	44
	Forychai	Koozetopraghi			Naminchai	Namin	
10	نرگس‌چای	ننه‌کران	40	21	قره‌سو	ارباب‌کندی	4800
	Nargischai	Nanekaran			Gharesou	Arbabkandi	
11	نیرچای	نیر	256	22	هیرچای	هیر	178
	Nir chai	Nir			Hirchai	Hir	

$$Q_{b(i)} = \frac{k}{2-k} Q_{b(i-1)} + \frac{1-k}{2-k} Q(i) \quad (1)$$

- الگوریتم دو پارامتره باگتون^۳: باگتون (۱۹۹۳) الگوریتمی نیز با قابلیت بیش‌تر که شامل پارامتر تغییر شکل‌پذیری جداسازی^۴ (C) بود را به صورت رابطه (۲) ارائه داد (۳ و ۵).

$$Q_{b(i)} = \frac{k}{1+c} Q_{b(i-1)} + \frac{c}{1+c} Q(i) \quad (2)$$

- الگوریتم سه پارامتره IHACRES^۵: چاپمن و هوربزرگر (۱۹۹۳) الگوریتم دو پارامتره باگتون را نیز توسعه دادند و به منظور جداسازی جریان، از الگوریتمی

روش تحقیق: جهت انجام پژوهش حاضر، از داده‌های دبی روزانه ثبت شده در ۲۲ ایستگاه هیدرومتری با طول دوره آماری ۲۱ ساله استفاده شده است. فیلترهای عددی برگشتی^۱ که عمدتاً در آب‌های سطحی به کار برده شده است، در حال حاضر برای برآورد جریان پایه به طور گسترده استفاده می‌شوند (۱ و ۱۲). در پژوهش حاضر، روش‌های مختلفی در تفکیک دبی پایه از دبی روزانه جریان مورد ارزیابی قرار گرفته که در زیر به هر کدام از آن‌ها اشاره شده است.

- الگوریتم یک پارامتره^۲: فیلتر یک پارامتره بر اساس تعیین پارامتر ثابت فروکش (k)، که در رابطه ۱ ارائه شده است، به دست آمد (۵ و ۸).

3- Boughton Two Parameter Algorithm
4- Plasticity Separation
5- IHACRES Three Parameter Algorithm

1- Recursive Digital Filter, RDF
2- One Parameter Algorithm

به نام الگوریتم اکهارت^۱ که بارش مؤثر را به اجزای سریع و آهسته تقسیم نموده، استفاده کردند. الگوریتم اکهارت که به صورت رابطه ۳ نشان داده شده، معرف جریان رواناب مستقیم و جریان پایه است (۸ و ۱۰).

$$q_{b(i)} = \alpha q_{(i)} + (1 - \alpha)q_{b(i-1)} \quad (6)$$

به نام الگوریتم لین و هولیک^۲: لین و هولیک (۱۹۷۹) معادله فیلتر جریان پایه از کل جریان را به صورت رابطه ۴ ارائه نمودند و برای فیلتر کردن رواناب سطحی سه مرتبه در جهت‌های مختلف استفاده شده است (۱۴ و ۱۹).

$$q_{b(i)} = \frac{k}{1+c} q_{b(i-1)} + \frac{c}{1+c} (q_{(i)} + \alpha q_{(i-1)}) \quad (3)$$

معادله فیلتر جریان پایه از کل جریان را به صورت رابطه ۴ ارائه نمودند و برای فیلتر کردن رواناب سطحی سه مرتبه در جهت‌های مختلف استفاده شده است (۱۴ و ۱۹).

$$q_{f(i)} = \alpha q_{f(i-1)} + (q_{(i)} - q_{(i-1)}) \frac{1+\alpha}{2} \quad (4)$$

که در آن، $q_{(i)}$ جریان سریع فیلترشده در زمان i ، $q_{(i-1)}$ جریان سریع فیلترشده در زمان قبل از زمان i می‌باشد و α ثابت فیلتری است. ناتان و مک‌ماهان در سال ۱۹۹۰ مقدار پارامتر فیلتر را در محدوده ۰/۹ تا ۰/۹۵ قابل قبول دانستند. بنابراین پارامتر ۰/۹۲۵ به عنوان یک قاعده کلی، بیش‌تر برای جداسازی جریان پایه مناسب می‌باشد.

الگوریتم چاپمن^۳: چاپمن (۱۹۹۱) الگوریتم لین و هولیک را توسعه نمود و به صورت رابطه ۵ ارائه داد (۸ و ۴).

$$q_{f(i)} = \frac{3\alpha-1}{3-\alpha} \cdot b_{f(i-1)} + \frac{2}{3-\alpha} \cdot (q_{(i)} - \alpha \cdot q_{(i-1)}) \quad (5)$$

میانگین متحرک وزنی نمایی^۴: میانگین متحرک وزنی نمایی (EWMA) در مقایسه با دیگر مدل‌ها، ساده‌تر به نظر می‌رسد و نتایج مناسبی را ارائه داده است. به عنوان مثال برای هر دوره زمانی i ، جریان پایه

$$Q_b = Q_0 \cdot k^t \quad (7)$$

که در آن، Q_b دبی پایه، Q_0 مقدار ورودی جریان پایه، k ثابت خشکیدگی و t زمان است. نقاط شروع و خاتمه رواناب سطحی با استفاده از تغییر ثابت خشکیدگی (k)، شیب‌های منحنی نیمه‌لگاریتمی مشخص شدند. برای انتخاب روش مناسب، نتایج روش‌های تفکیک فیلتری با روش تحلیل فروکش (به عنوان روش مبنا) مقایسه شدند و از ضریب کارایی نش-ساتکلیف^۵ به صورت رابطه ۸ استفاده شد (۶ و ۱۵).

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_0^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^n (Q_0^t - \bar{Q}_0)^2} \quad (8)$$

که در آن، Q_0^t دبی پایه مربوط به روش تحلیل فروکش در زمان t ، Q_m^t مقدار جریان پایه برآوردی، \bar{Q}_0 مقدار میانگین دبی پایه روش تحلیل فروکش و n تعداد داده‌های دبی روزانه است. مقدار ضریب کارایی نش-ساتکلیف بین منفی بی‌نهایت تا یک متغیر است

- 1- Eckhardt
- 2- Lyne & Hollick Algorithm
- 3- Chapman Algorithm
- 4- Exponential Weighted Moving Average (EWMA)

5- Nash-Sutcliffe

گرفت. هم‌چنین فراوانی متوسط دبی روزانه و دبی پایه در مقیاس فصلی محاسبه و تغییرات زمانی آن در فصل‌های مختلف نیز مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت (۷ و ۱۳). بنابراین روش آماری مورد استفاده در این پژوهش، تحلیل واریانس یک‌طرفه با استفاده از آزمون توکی می‌باشد. هم‌چنین جهت محاسبات و تجزیه و تحلیل داده‌ها و نیز آزمون آماری از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید.

نتایج

جریان پایه ایستگاه‌های منتخب در استان اردبیل برای دوره آماری ۲۱ ساله با روش‌های ترسیمی و فیلتری با پارامتر فیلتری ۰/۹ برآورد گردید. نتایج مقایسه روش‌ها با ضریب کارایی نش- ساتکلیف برای ۵ ایستگاه انتخابی در جدول ۲ نشان داده شده است.

و هرچه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد نشان از کارایی بهتر روش مذکور در تفکیک دبی پایه دارد (۲۱ و ۲۳). پس از بررسی روش‌های فیلتری در دوره آماری، ایستگاه‌های انتخابی با روش‌های نامبرده تفکیک و با روش منحنی خشکیدگی مقایسه و در نتیجه مناسب‌ترین روش فیلتری جداسازی دبی پایه مشخص شد. در ادامه، دبی پایه از هیدروگراف روزانه جریان با روش الگوریتم یک‌پارامتره و برنامه‌نویسی در نرم‌افزار اکسل محاسبه شد. روش الگوریتم یک‌پارامتره، فقط نیاز به تعیین پارامتر ثابت فروکش (k) دارد که در این پژوهش با استفاده از تحلیل شاخه فروکش جریان محاسبه شده است (۶). سپس متوسط مقادیر دبی پایه ایستگاه‌های منتخب در مقیاس فراوانی سالانه محاسبه گردید. در ادامه، ارتباط میان فراوانی مقادیر دبی کل و دبی پایه در ایستگاه‌های مختلف مورد تحلیل قرار

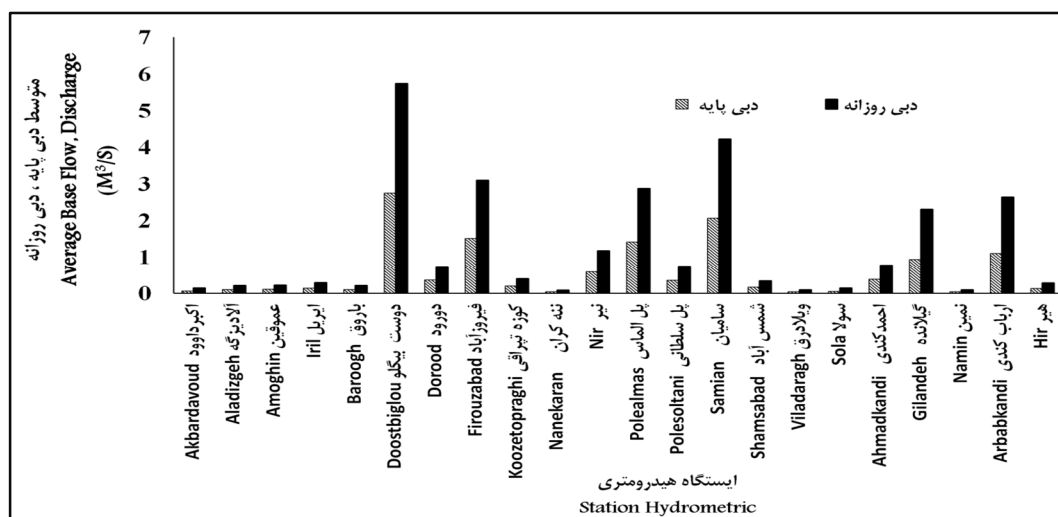
جدول ۲- مقایسه روش‌های ترسیمی و فیلتری تفکیک جریان پایه با منحنی خشکیدگی با استفاده از ضریب کارایی نش- ساتکلیف.

Table 2. Comparison of graphical and digital filter base flow separation techniques with respect to recession curve method using Nash-Sutcliffe efficiency criteria.

Nash & Sutcliffe	دوست‌بیگلو Dostbeiglou	دورود Doroud	اکبرداود Akbardavoud	گیلانده Gilandeh	نیر Nir	ایستگاه	روش Method
						Station	
0	0.2	0.4	-0.1	0.4	-1.2	محدوده زمانی ثابت Fix Interval	
-0.2	0.1	0.3	-0.1	0.3	-1.6	محدوده زمانی جابه‌جاشونده Sliding Interval	
0.1	0.3	0.5	0	0.4	-0.8	حداقل محلی Local Minima	
0.18	0.5	0.4	0.1	0.6	-0.8	لین و هولیک Lyne- Hollick	
0.53	0.5	0.5	0.3	0.6	0.5	چاپمن Chapman	
0.84	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	الگوریتم یک‌پارامتره One Parameter Algorithm	
0.86	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	الگوریتم دوپارامتره Two Parameter Algorithm	
0.82	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	الگوریتم سه‌پارامتره Three Parameter Algorithm	
-0.83	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-2.8	میانگین متحرک وزنی نمایی Exponential Weighted Moving Average	

(۰/۸۲) می‌باشد. همچنین نتایج تغییرات فراوانی متوسط رواناب کل و دبی پایه برای ۲۲ ایستگاه هیدرومتری در استان اردبیل به صورت شکل ۲ ارائه شده است.

براساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، مشاهده می‌شود که بیش‌ترین مقدار ضریب کارایی نش-ساتکلیف به ترتیب مربوط به الگوریتم دوپارامتره (۰/۸۶)، الگوریتم یک پارامتره (۰/۸۴) و الگوریتم سه پارامتره



شکل ۲- مقایسه متوسط دبی پایه و رواناب کل در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل.

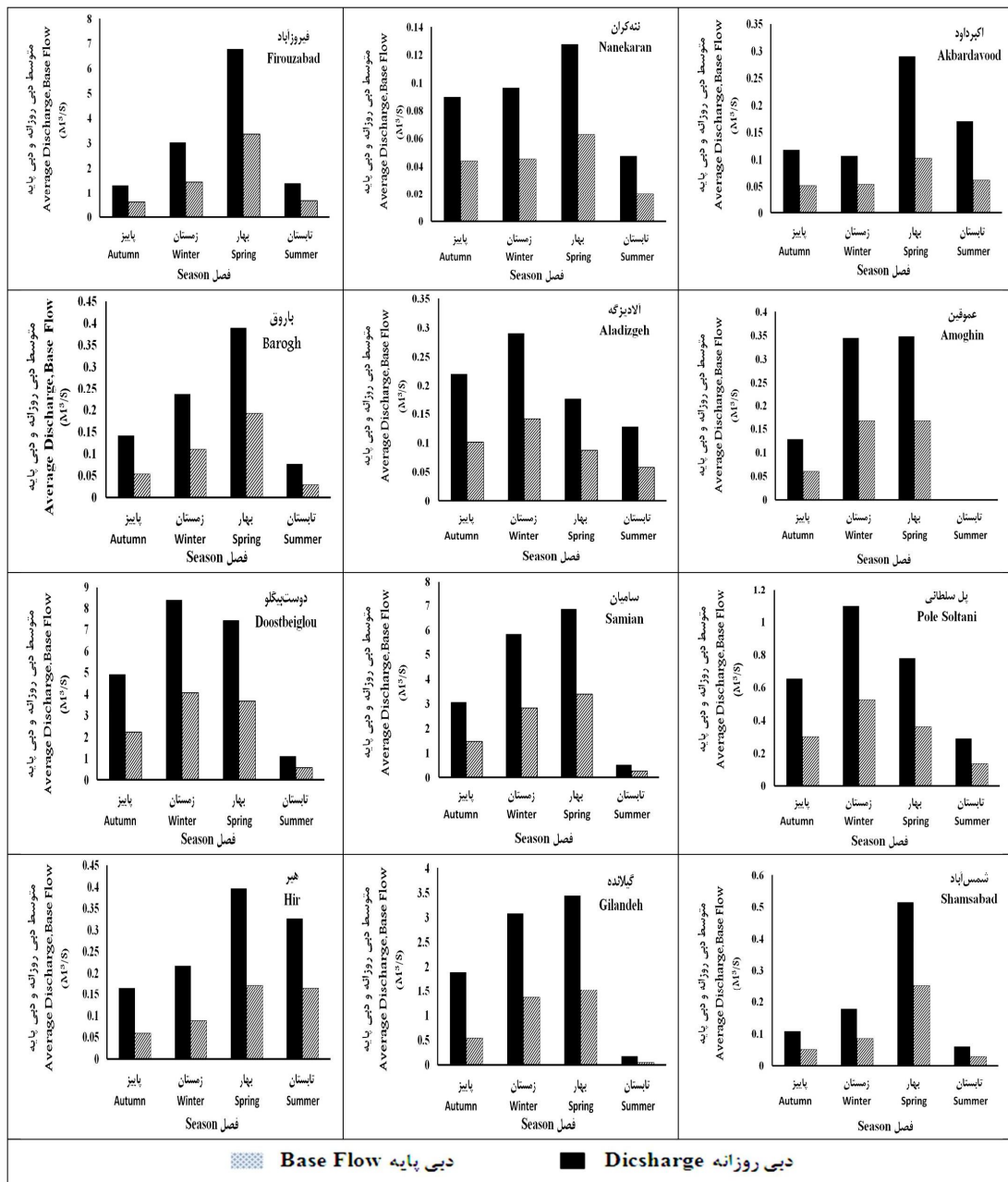
Figure 2. Comparison of base flow and total runoff average in hydrometric stations of Ardabil province.

فصل زمستان و بهار می‌باشد. به عبارتی می‌توان گفت که بین دبی پایه و رواناب سطحی رابطه مستقیم وجود دارد. بنابراین دلیل افزایش دبی پایه و رواناب سطحی می‌تواند ناشی از بارش زیاد و ذوب برف تدریجی در فصل بهار باشد. در حالی که سایر ایستگاه‌ها در هر چهار فصل از سال دارای مقادیر دبی پایه و رواناب سطحی بسیار کم بوده‌اند، اما کم‌ترین مقادیر دبی پایه و رواناب سطحی در ایستگاه‌های عموقین، نمین، ویلادرق، باروق، ننه کران، سولا و شمس‌آباد مربوط به فصل تابستان است، که می‌تواند بیانگر بارندگی کم، نفوذپذیری زیاد و نوع خاک در ایستگاه‌های مذکور باشد. همچنین به منظور اختلاف معنی‌داری دبی پایه در فصول مختلف از آنالیز واریانس یک طرفه و آزمون توکی به صورت جدول ۳ و شکل ۴ استفاده شد.

براساس شکل ۲ می‌توان گفت که با افزایش رواناب کل، مقدار دبی پایه نیز افزایش یافته است. بیش‌ترین مقدار رواناب کل و دبی پایه مربوط به ایستگاه دوست بیگلوی می‌باشد، به عبارتی رابطه میان دبی پایه و رواناب کل مستقیم است، ولی مقادیر قابل توجه دبی پایه در همه ایستگاه‌ها کاهش یافته، که بیش‌ترین کاهش یا کم‌ترین مقدار دبی پایه مربوط به ایستگاه‌های اکبرداود، ننه کران، نمین، ویلادرق و سولا می‌باشد.

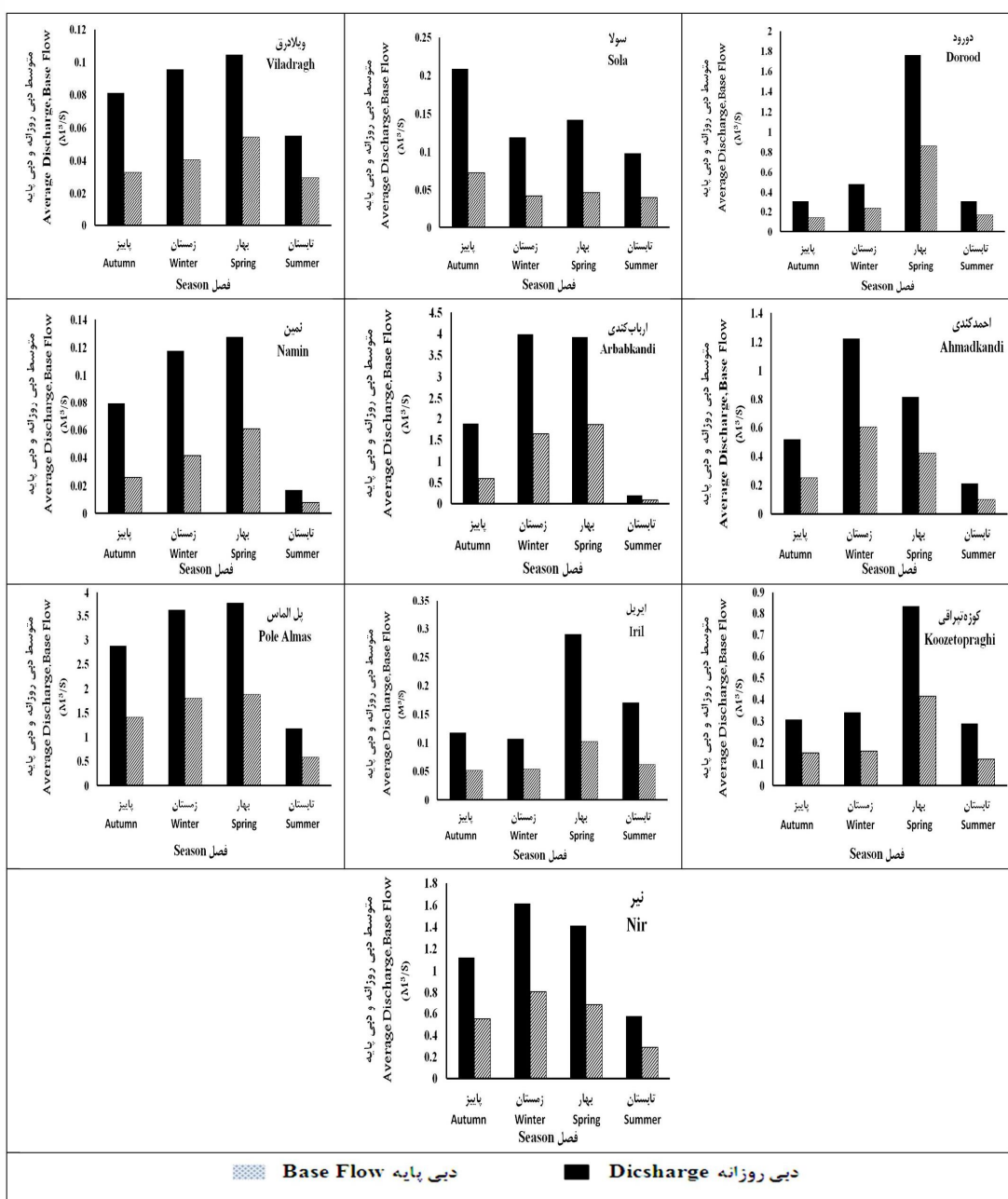
تغییرات متوسط دبی پایه و رواناب سطحی در ۲۲ ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه در فصول مختلف از سال در شکل ۳ ارائه شده است.

براساس نتایج نشان داده شده در شکل ۳، بیش‌ترین مقادیر دبی پایه و رواناب سطحی به ترتیب در ایستگاه‌های دوست بیگلوی، سامیان و فیروزآباد در تمام فصول بوده است ولی بیش‌ترین مقادیر آن در



شکل ۳- تغییرات متوسط دبی رواناب سطحی در ایستگاه‌ها و فصول مختلف در حوزه‌های استان اردبیل.

Figure 3. Changes average the base flow and runoff variant stations and seasonal in the basin of Ardabil province.



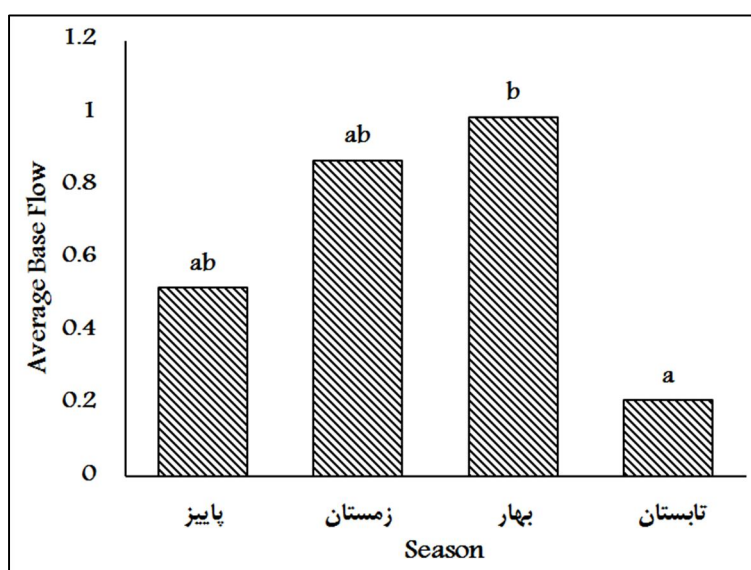
ادامه شکل ۳-

Continue Figure 3.

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس یک طرفه برای مقایسه مقادیر دبی پایه جریان در فصول مختلف در سطح معنی داری ۵ درصد.

Table 3. The one-way analysis of variance of base flow values in different seasons (P<0.05).

Sig.	F آماره	میانگین مربعات Sum of Squares	درجه آزادی df	مجموع مربعات Mean Square	شاخص Index
		2.744	3	8.23	بین گروهی Between Groups
0.027	3.20	0.856	84	61.8	درون گروهی Within Groups
			87	80.0	کل Total



شکل ۴- نتایج مقایسه میانگین مقادیر دبی پایه جریان در فصول مختلف با استفاده از آزمون توکی.

Table 4. The results of compare mans of base flow values in different seasons using Tukey-test.

و فیلتری تفکیک جریان پایه با هم مقایسه شدند، سپس تغییرات فصلی جریان پایه و فراوانی رواناب کل و دبی پایه در ۲۲ ایستگاه هیدرومتری در استان اردبیل مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا، از سری‌های زمانی دبی روزانه جریان استفاده شد. در جداسازی جریان پایه از جریان‌های سریع با فیلتر دیجیتال بازگشتی، سیگنال‌های جریان سریع حذف شده و سیگنال‌های جریان پایه دارای فرکانس پایین از هیدروگراف جریان استخراج می‌شود (۶ و ۹). برای مقایسه روش‌های مختلف، ابتدا روش‌های محدوده زمانی ثابت، جابه‌جاشونده و حداقل محلی با هم مقایسه و روش

براساس نتایج در جدول ۳ مشاهده می‌شود که $P < 0.05$ است، هم‌چنین با توجه به نمودار شکل ۴ نشان داد که بین فصل تابستان و بهار از نظر مقدار دبی پایه اختلاف معنی‌داری وجود دارد ولی بین فصول پاییز و زمستان با بهار و تابستان اختلاف معنی‌دار نیست.

بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات مقادیر دبی پایه، امکان برنامه‌ریزی بهتر برای استفاده بهینه از منابع آب سطحی رودخانه‌ها را فراهم می‌کند. در این پژوهش، ابتدا روش‌های ترسیمی

حالی که کم‌ترین مقدار دبی پایه نیز در ایستگاه‌های مناطق شرق و نزدیک استان گیلان مشاهده شد. همچنین کم‌ترین دبی پایه و رواناب مربوط به ایستگاه‌های اکبرداود، ننه‌کران، نمین، ویلادرق و سولا می‌باشد. در همین راستا، تحلیل تغییرات مقادیر دبی پایه و رواناب سطحی در فصول مختلف نشان داد که در ایستگاه‌های دوست‌بیگلو، سامیان و فیروزآباد بیش‌ترین مقادیر دبی پایه و رواناب سطحی در فصل زمستان و بهار مشاهده شده است. در حالی که در سایر ایستگاه‌ها در تمام فصول این روند کاهش یافته ولی بیش‌ترین کاهش نیز مربوط به فصل تابستان و در ایستگاه‌های عموقین، نمین، ویلادرق، باروق، ننه‌کران، سولا و شمس‌آباد مشاهده شد، که علت آن می‌تواند مقدار کم بارندگی در فصل تابستان و ناشی از وقوع بارش در فصل بهار باشد. علاوه بر این به‌نظر می‌رسد که نفوذپذیری بالا و نفوذ آب حاصل از بارش و تأخیر در پیوستن به جریان سطحی، در ایستگاه‌های مذکور تأثیر داشته باشد. بنابراین براساس نتایج آزمون توکی نشان داد که بین فصل تابستان و بهار از نظر مقدار دبی پایه اختلاف معنی‌داری وجود دارد ولی بین فصول پاییز و زمستان با بهار و تابستان اختلاف معنی‌دار نیست. در مجموع در دوره‌های مورد مطالعه مقادیر دبی پایه کاهش یافته ولی بیش‌ترین تغییرات و کاهش مربوط به مقادیر دبی پایه در فصل تابستان می‌باشد، جریان پایه تقریبی از جریان آب‌های زیرزمینی است و تغییرات بالقوه در رواناب سطحی و دبی پایه بین فصول مختلف در هر کدام از ایستگاه‌ها دارد.

رهیافت‌های ترویجی

رودخانه‌ها از مهم‌ترین منابع آب قابل‌استفاده هستند که اطلاع از عوامل مؤثر بر میزان دبی رودخانه و جریان پایه می‌تواند اطلاعات با ارزشی در خصوص میزان و زمان بهره‌برداری از آن‌ها را ارائه دهد. عوامل

حداقل محلی به‌عنوان بهترین روش انتخاب شد و سپس نتیجه آن را با روش‌های فیلتری مقایسه نمود، نتایج نشان داد که روش‌های فیلتری نسبت به روش‌های ترسیمی نتایج بهتری را ارائه داد، که با نتایج حسنی و همکاران (۹)، جهت روش حداقل محلی به‌عنوان بهترین روش و همچنین تولارام و ایلاهی (۲۶) و تمسکنی و همکاران (۲۳)، مبنی بر برتری روش فیلتری در تفکیک جریان پایه مطابقت دارد. نتایج مقایسه روش‌های ترسیمی و فیلتری نشان داده 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 بیش‌ترین مقدار در برآورد دبی پایه به‌ترتیب مربوط به الگوریتم دوپارامتره (۰/۸۶)، الگوریتم یک‌پارامتره (۰/۸۴) الگوریتم سه‌پارامتره (۰/۸۲) در رودخانه‌های استان اردبیل بوده است، سپس مقادیر دبی پایه از هیدروگراف روزانه با روش الگوریتم یک پارامتره که از لحاظ بصری به‌عنوان مناسب‌ترین روش انتخاب شد، استخراج گردید که نتایج با یافته‌های تیموری و همکاران (۲۵) در تعدادی از رودخانه‌های استان آذربایجان غربی مبنی بر برتری روش یک پارامتره در تفکیک دبی پایه هم‌خوانی دارد. بنابراین ارتباط دبی پایه با رواناب کل در ایستگاه‌های هیدرومتری در مقیاس سالانه و همچنین در فصول مختلف مورد تحلیل قرار گرفت. براساس نتایج مقدار دبی پایه و رواناب کل در طول دوره آماری نشان داده شد که بیش‌ترین مقدار دبی پایه مربوط به غرب و جنوب‌غربی استان می‌باشد که با کوهستانی بودن و داشتن رودخانه‌های پرآب قابل تفسیر است. در

مهم، در ارزیابی، بهره‌برداری و مدیریت رودخانه به‌خصوص در شرایط کم‌آبی است. بنابراین مناسب‌ترین روش در برآورد دبی پایه در رودخانه‌های استان اردبیل روش الگوریتم یک‌پارمتره می‌باشد.

متعددی در میزان جریان پایه و روند تغییرات آن نقش دارند. تغییرات عوامل اقلیمی و دخالت‌های انسانی می‌تواند بر آبدهی رودخانه مؤثر باشد، بنابراین بررسی تغییرات دبی رودخانه می‌تواند اثرات ناشی از تغییرات را مشخص نماید. جریان پایه یکی از شاخص‌های

منابع

1. Aksoy, H., and Wittenberg, H. 2011. Nonlinear baseflow recession analysis in watersheds with intermitten stream flow. *Hydrol. Sci. J.* 56: 2. 226-237.
2. Alizadeh, A. 2010. Applied hydrology. Astan Quds Razavi, Edition 30, 911p. (In Persian)
3. Boughton, W.C. 1993. A hydrograph-based model for estimating water yield of ungauged catchments. Institute of Engineers Australia National Conference, Pub. 93/14, 317-324.
4. Chapman, T.G. 1991. Comment on evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses, by R.J. Nathan and T.A. McMahon. *Water Resources Research*, 27: 7. 1783-1784.
5. Chapman, T.G., and Maxwell, A.I. 1996. Baseflow separation-comparison of numerical methods with tracer experiments. In 23rd Hydrology and Water Resources Symposium, Hobart, Institution of Engineering Australia, Pp: 539-545.
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. Farokhnia, A., and Morid, S. 2013. Assessment of the effects of temperature and precipitation variations on the trend of river flows in Urmia Lake watershed. *J. Water Wastewater.* 3: 86-97. (In Persian)
8. Gregor, M. 2010. User Manual How to use Hydro office 2010. 21p.
9. Hasani, M., Malekian, A., Rahimi, M., Same, M., and Khamoushi, M.R. 2011. Study of efficiency of various base flow separation methods in arid and semi-arid rivers (Case study: Hablehroud Basin). *Arid Biome*, 5: 2. 11-21. (In Persian)
10. Jakeman, A.J., and Hornberger, G.M. 1993. How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model *Water Resources Research*, 29: 2637-2649.
11. Jiang, T., Su, B., and Hartmann, H. 2007. Temporal and spatial of precipitation and river flow in the Yangtze River Basin, 1961-2000. *Geomorphology.* 85: 143-154.
12. 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 and Softword*, 41: 163-175.
13. Lins, H.F., and Slack, J.R. 2005. Seasonal and regional characteristics of US stream flow trends in the United States from 1940 to 1999. *Physical Geography*, 26: 6. 489-501.
14. Lyne, V., and Hollick, M. 1979. Stochastic time-variable rainfall-runoff modeling. Institute of Engineers Australia National Conference, Pub. 79/10, 89-93.
15. 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)
16. Mau, D.P., and Winter, T.C. 1997. Estimating ground-water recharge from streamflow hydrographs for a small mountain watershed in a temperate humid climate, New Hampshire, USA. *Ground Water*, 35: 2. 291-304.
17. Mehri, S., Mostafazadeh, R., Esmali-Ouri, A., and Ghorbani, A. 2016. Watershed grouping based on effective parameters on base flow using different clustering algorithms in Ardabil province. *Extension and Development of Watershed Management*, 4: 15. 31-41. (In Persian)

18. Mei, Y., and Anagnostou, E.N. 2015. A hydrograph separation method based on information from rainfall and runoff records. *J. Hydrol.* 523: 636-649.
19. Nathan, R.J., and Mc Mahon, T.A. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analysis. *Water Resources Research*, 26: 7. 1465-1473.
20. Ogrinc, N., Kanduc, T., Stichler, W., and Vreca, P. 2008. Spatial and seasonal variations in $(\Delta) 180$ and $(\Delta) D$ values in the river Sava in Slovenia. *J. Hydrol.* 359: 303-312.
21. 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. 1-12.
22. Smakhtin, V.U. 2001. Estimating continuous monthly baseflow time series and their possible application in the context of the ecological reserve. *Water Soil Air*, 27: 2. 213-217.
23. Tamaskani, A., Zakerinia, M., Hezarjeribi, A., and Dehghani, A.A. 2013. Comparison of base flow separation methods from daily flow hydrograph (Case study: upstream of Boostan dam catchment In Golestan province). *J. Water Soil Cons.* 20: 6. 127-145. (In Persian)
24. Teimouri, M. 2015. Evaluation of base flow separation methods based on recession analysis, *Quarterly Geographical Research*, 29: 4. 57-66. (In Persian)
25. 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.* 57: 219-229. (In Persian)
26. Tularam, G.A., and Ilahee, M. 2008. Exponential smoothing method of base flow separation and its impact on continuous loss estimates. *Amer. J. Environmental Sciences*, 4: 2. 136-144.
27. Yousefi, Y., Roradeh, H., and Razavi, S.M. 2011. Spatial and temporal variability of river flow in Mazandaran province. *Geograph. Plan. Space Quar. J.* 1: 2. 75-88. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Conservation and Utilization of Natural Resources, Vol. 6 (2), 2017

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

DOI: 10.22069/ejang.2019.11706.1327

Comparison of base flow separation techniques and its seasonal variations in some watersheds of Ardabil Province

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

¹M.Sc. Graduate of Watershed Engineering, University of Mohaghegh Ardabili,

²Assistant Prof., Dept. of Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili,

³Associate Prof., Dept. of Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

Received: 08.30.2016; Accepted: 09.23.2017

Abstract

Background and Objectives: Base flow is an important component of flow hydrograph which originates from groundwater flow or shallow subsurface reserves. The base flow separation has a crucial role in water resources utilization, hydrological modeling and increasing the accuracy of rainfall-runoff models through the calibration processes. 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. Also, temporal changes of base flow and surface runoff through months of the year were analyzed in a 21-year period from 1989 to 2010 over 22 watersheds in the Ardabil Province.

Materials and Methods: Therefore, the performance graphical methods (fixed and displacement time methods and local minima) and digital filtering techniques, (including One parameter algorithms, Boughton two parameters algorithm, IHACRES Three parameter algorithm, Lynn and Hollick, Chapman method and Exponentially Weighted Moving Average method) were evaluated in base flow separation.

Results: The comparison of separated base flow amounts with recession analysis method indicates that the One-parameter algorithm with the efficiency criteria value of 0.84 was the best method in separation of base flow. The comparison of average values of total runoff and base flow discharge among the stations indicates that the lowest amount of base flow were observed in the eastern part of the study area, while the west and southwest parts of the Ardabil Provinces had the highest base flow component. Also the maximum amount of the base flow is observed in winter and spring seasons in Dostbeiglou, Samian and Firoozabad stations. While, the amount of base flow and surface runoff were decreased in other stations, with lowest contribution in summer season, which proves the direct relationship between base flow and surface runoff.

Conclusion: The comparison of base flow separation methods indicates that the base flow amount increases in wet seasons and then decreases to its lowest amount in summer season. In general, the seasonal variations of runoff and base flow varied in different stations as well as different seasons. Therefore, base flow separation and determining its contribution can be considered in maintaining river flow regime and surface water utilization.

Keywords: Base flow temporal distribution, Flow separation, Recursive digital filter, Seasonal variations

* Corresponding author: raofmostafazadeh@uma.ac.ir

