

بررسی کارایی برخی از روش‌های جداسازی جریان پایه در رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حبله رود)

۱- مهدی حسنی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشگاه سمنان

۲- آرش ملکیان، استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

malekian@ut.ac.ir

۳- محمد رحیمی، استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه سمنان

۴- مسعود سمیعی، کارشناس ارشد منابع طبیعی، اداره کل منابع طبیعی استان فارس

۵- محمد رضا خاموشی، کارشناس ارشد منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان

دریافت: ۱۳۹۱/۰۳/۲۱

پذیرش: ۱۳۹۱/۰۹/۲۱

چکیده

جریان پایه جزئی از جریان رودخانه بوده که نسبت به بارندگی واکنش نشان می‌دهد و به طور معمول با آب تخلیه شده از ذخیره آب زیر زمینی مرتبط است. کمیت و کیفیت جریان پایه در رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه خشک تأثیر بسیاری در زیست بوم‌ها و تنوع اکولوژیکی دارد. جداسازی اجزای جریان پایه از طریق تجزیه و تحلیل هیدروگراف جریان، اطلاعاتی راجع به ویژگی ذخایر طبیعی که رودخانه را تغذیه می‌کند، در اختیار قرار می‌دهد. ویژگی‌های جریان پایه در ارزیابی کیفیت آب و کمیت جریان مفید بوده و می‌تواند برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌های هیدرولوژی به کار رود. روش‌های گوناگون به منظور تفکیک هیدروگراف جریان به دو بخش رواناب مستقیم و جریان پایه، وجود دارد. در این تحقیق، از روش فیلتر عدد برگشتی یک و دو پارامتره و روش PART و روش کمینه موضعی (Local minimum) با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری فیروزکوه، نمرود، سیمین دشت و بن کوه واقع بر رودخانه حبله رود استفاده گردید. نتایج نشان داد که در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه نمرود، روش کمینه موضعی، و در ایستگاه نمرود روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار برابر ۰/۹۷۵ به دلیل پایین بودن انحراف استاندارد ($SD=0.04$)، روش مناسبی برای تفکیک جریان پایه از جریان کلی رودخانه است.

واژگان کلیدی: جریان پایه؛ مناطق خشک؛ PART؛ Local minimum؛ فیلتر عدد برگشتی.

مقدمه

تواند واکنش جدی در پایداری آب زیست محیطی ایجاد کند (Parsons & Abrahams 1994). در این مناطق فشار بر منابع آب و دیگر منابع طبیعی در حال افزایش و تقاضا برای آب مورد استفاده برای انسان به سرعت در حال رشد است (Newman et al., 2006). یکی از کاربردی‌ترین بحث‌های مربوط به هیدرولوژی مهندسی، بررسی هیدروگراف جریان است که امکان مطالعه دبی جریان پایه، حداکثر سیلاب، حجم سیلاب و میزان ذخیره حوزه آبخیز پس از قطع بارندگی و نیز سهم آب‌های زیرزمینی در جریان پایه را فراهم می‌سازد. از طرف دیگر، جریان پایه

آب به عنوان حیاتی‌ترین ماده بقای انسان است. با توجه به جهانی بودن بحران آب، لزوم برنامه‌ریزی در حفظ و بقای آب و استفاده بهینه از این منابع از مهم‌ترین برنامه‌های توسعه هر کشور است. بدون داشتن اطلاعات صحیح از منابع آب، برنامه‌ریزی در مورد آن مفهومی ندارد (Sadatinezhad, 2006) و این مهم در مناطق خشک و نیمه خشک بیش از هر منطقه دیگر احساس می‌شود. نواحی خشک و نیمه خشک، نواحی دارای محدودیت آب زیست محیطی نامیده می‌شوند که در حدود نیمی از سطح جهان را اشغال کرده‌اند و تغییر در آب در دسترس می

Ghanbarpoor et al. (2008) با مقایسه روش‌های برآورد جریان پایه بر اساس تفکیک هیدروگراف جریان در حوزه آبخیز کارون، ثابت نمود که روش خودکار فیلتر عدد برگشتی با ضریب برابر ۰/۹۲۵ به عنوان دقیق‌ترین روش به منظور استخراج مقادیر دبی پایه جریان در آن منطقه بوده و شاخص جریان پایه محاسبه شده به روش انتخابی، بین ۰/۷۹ تا ۰/۸۸ متغیر است.

Samee & Malekian (2010) با مقایسه روش‌های جداسازی جریان پایه با استفاده از فیلتر عدد برگشتی و مدل PART در رودخانه دهکده سفید استان فارس، نشان داد که در برآورد جریان پایه روش فیلتر عددی با روش PART همبستگی بالائی (r = ۰/۸۲) دارند.

Esmali & Samee (2011) با مقایسه روش‌های مختلف تفکیک هیدروگراف جریان (فیلتر عددی Lyne & Eckhardt, Chapman, Hollick و مدل PART) در رودخانه حنیفان نتیجه گرفتند که نتایج روش PART و Eckhardt در برآورد جریان پایه نزدیکی بیشتری با هم دارند. مقایسه نتایج، تطابق بسیار خوب این روش‌ها را به وضوح نشان می‌دهد.

برآورد جریان پایه به روش‌های مختلف در حوزه آبخیز حبله رود، یکی از اهداف این مطالعه است. همچنین مشخص کردن بهترین روش برآورد جریان پایه و نیز محاسبه شاخص جریان پایه^۵ و بررسی تغییرات زمانی آن بر اساس روش انتخاب شده از دیگر اهداف این تحقیق است. در این تحقیق فرض شده است که بین روش‌های مختلف تفکیک جریان پایه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز حبله رود با مختصات جغرافیایی "۵۲ ۲۵'۰۸" تا "۵۲ ۴۲'۲۵" طول شرقی و "۳۵ ۴۳'۰۴" تا "۳۵ ۴۴'۰۶" عرض شمالی یکی از زیرحوزه‌های مهم حوضه آبریز کویر نمک است. این حوزه آبخیز که مناطقی از استان‌های تهران (شامل شهرستان‌های فیروزکوه و دماوند) و استان سمنان (شهرستان‌های

بخش مهمی از جریان رودخانه‌ها را به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک تشکیل می‌دهد که آن را می‌توان بخشی از جریان آب‌های زیرزمینی در نظر گرفت (Ghanbarpoor et al., 2008). بنابراین، می‌توان از برآورد میزان مشارکت جریان پایه در جریان کلی ماهانه و سالانه در یک حوزه آبخیز به ویژه در حوزه‌های آبخیز خشک و نیمه خشک در برنامه‌ریزی آبیاری، کشاورزی، مدیریت خشکسالی، کاهش تلفات آب، تولید برق آبی، تغذیه سفره‌های آب زیر زمینی و غیره استفاده کرد.

در برآورد میزان جریان پایه دو روش کلی وجود دارد؛ روش‌های ردیاب محور و روش‌های غیر ردیاب محور. به دلیل پیچیدگی مشارکت جریان پایه در جریان کلی رودخانه، دقیق‌ترین روش در برآورد میزان جریان پایه، روش‌های ردیاب محور (استفاده از ردیاب‌های شیمیایی و رادیواکتیو) است (Chapman & Maxwell 1996). ولی به دلیل وقت‌گیر و هزینه‌بر بودن، اجرای این روش در گستره‌های وسیع با مشکل رو به رو است. از روش‌های غیر ردیاب محور، می‌توان روش‌های گرافیکی و اتوماتیک را نام برد. روش‌های گرافیکی به علت دقت پایین و صرف وقت زیاد کارآیی خوبی نداشته، بنابراین روش‌های اتوماتیک برای برآورد جریان پایه توسعه یافته است.

Mul et al. (2008) در تفکیک هیدروگراف با استفاده از ردیاب‌های شیمیایی در حوزه آبخیز مکنایا^۱ تانزانیا به این نتیجه دست یافت که ۹۵٪ از دبی مربوط به رواناب زیر سطحی بوده، در حالی که باقی مانده معلول فرآیند سریع تر، رواناب سطحی است.

Arfaenia & Samani (2005) با ترسیم منحنی جدایش هیدروگراف رودخانه در حوزه آبخیز کارستی زاینده رود و با به کارگیری سه روش محدوده زمانی ثابت^۲، محدوده زمانی متحرک^۳ و حداقل محلی^۴ و مقایسه نتایج، تطابق بسیار خوب این روش‌ها را نشان داد، به طوری که اختلاف میان نتایج بلند مدت همواره کمتر از ۲/۷٪ می‌باشد.

1-Makanya

2- Fixed-interval method

3- Sliding-interval method

4- Local minimum

روش کار

در این مطالعه از داده‌های دبی روزانه در دوره آماری ۲۴ ساله (۱۳۸۵-۱۳۶۲) استفاده گردید. با به کار گیری روش‌های HYSEP PART و فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره و دو پارامتره که در زیر شرح داده می‌شود، به تفکیک جریان کلی رودخانه پرداخته شد.

روش PART

این نرم افزار رایانه‌ای توسط روتیج و بر اساس روش مقعر که جزو روش‌های ساده گرافیکی است، ارائه شده است. این برنامه مبتنی بر تشخیص آخرین نقطه یال نزولی قبل از نقطه اوج و تعیین نقطه‌ای از یال نزولی بعدی از نقطه اوج که دارای فاصله‌ای برابر با زمان پایه حوزه بوده است (Rutledge, 1992).

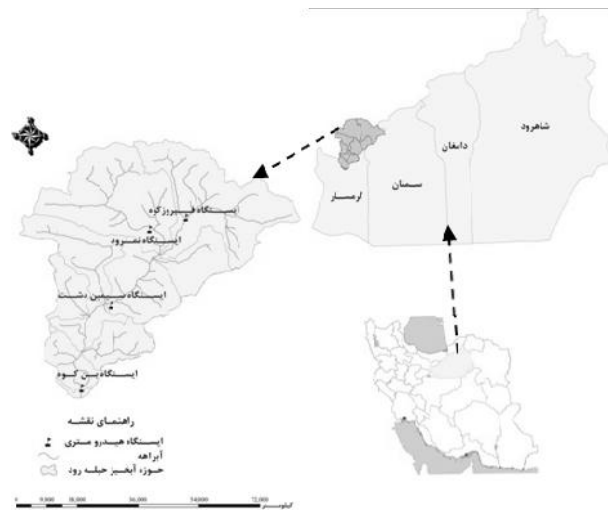
روش HYSEP^۱

این برنامه رایانه‌ای توسط سلوتو و کروس در سال ۱۹۹۶ مورد آزمایش قرار گرفت. اساس کار این برنامه بر پایه روش‌های ترسیمی است که توسط پتی‌جان و هنینگ در سال ۱۹۷۹ ارائه گردیده، که در آن از محدوده زمانی^۲ برابر $2N^*$ برای ترسیم منحنی جدایش هیدروگراف استفاده می‌گردد. برای به دست آوردن این پارامتر با استفاده از فرمول تجربی $(N=0.8A^{0.2})$ زمان پایه (N) و سپس دو برابر زمان پایه $(2N^*)$ در نظر گرفته می‌شود و در مرحله بعد نزدیک ترین عدد صحیح به عنوان مقدار $(2N^*)$ در نظر گرفته می‌شود.

تا کنون از این مدل در حوزه‌های مختلف به صورت گسترده استفاده شده است. این روش خود شامل سه روش محدوده زمانی ثابت، روش محدوده زمانی جابجا شونده و روش کمینه موضعی بوده که در این مطالعه از روش حداقل موضعی استفاده شده است.

سمنان و گرمسار) را شامل می‌شود، در شمال غربی حوزه آبریز دشت کویر قرار داشته و به زیرحوضه کویر سمنان و گرمسار تعلق دارد که مساحت آن تا ایستگاه بن کوه ۳۲۰۹ کیلومتر مربع است.

شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز حبله رود و ایستگاه‌های مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری انتخاب شده در حوزه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. رژیم بارندگی در این حوزه از نوع مدیترانه‌ای بوده و بر اساس تقسیم بندی آمبرژه، دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است. کم‌ترین دبی جریان روزانه با $1/0.98$ مترمکعب بر ثانیه مربوط به ایستگاه فیروزکوه و بیش‌ترین مقدار $(7/44)$ مترمکعب بر ثانیه) مربوط به ایستگاه بن کوه است.



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز حبله رود و ایستگاه‌های مورد استفاده.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری انتخابی در حوزه مورد مطالعه

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	دبی متوسط روزانه (m^3/s)	ارتفاع از سطح دریا (m)
فیروزکوه	۳۵ ۴۴'	۵۲ ۴۵'	۱/۰۹۸	۱۹۱۰
نمروود	۳۵ ۴۳'	۵۲ ۳۹'	۴/۲۵	۱۸۱۰
سیمین دشت	۳۵ ۳۱'	۵۲ ۳۰'	۵/۷۲	۱۴۳۵
بن کوه	۳۵ ۱۸'	۵۲ ۲۵'	۷/۴۴	۱۰۰۰

1 - Hydrograph Separation

2 - Interval

روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره^۱

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

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

که در آن:

b_k : جریان پایه فیلتر شده در مرحله زمانی k (متر مکعب بر ثانیه)

b_{k-1} : جریان پایه فیلتر شده در مرحله زمانی $k-1$ (متر مکعب بر ثانیه)

: پارامتر فیلتر مرتبط با حوزه آبخیز

y_k : جریان کل در مرحله زمانی k (متر مکعب بر ثانیه)

y_{k-1} : جریان کل در مرحله زمانی $k-1$ (متر مکعب بر ثانیه).

در این تحقیق از پارامتر فیلتر () برابر $0/900$ ، $0/925$ ، $0/950$ و $0/975$ استفاده شد. بیشترین نتایج قابل قبول هنگامی است که پارامتر فیلتر () در دامنه $0/900 - 0/950$ باشد، مقدار بهینه آن $0/925$ است (Nathan & McMahon 1990).

فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره^۲

این روش اولین بار توسط Eckhardt (2005) ارائه شد که در آن باید دو پارامتر ثابت بازگشت () و ماکزیمم شاخص جریان پایه (BFI_{max})^۳ تعیین گردد. معادله این فیلتر به صورت زیر است (به شرطی که بر $b_k \geq y_k$):

$$b_k = \frac{(1-BFI_{max})\alpha \cdot b_{k-1} + (1-\alpha)BFI_{max} \cdot y_k}{1-\alpha BFI_{max}} \quad (2)$$

که در آن:

b_k : جریان پایه فیلتر شده در مرحله زمانی k (متر مکعب بر ثانیه)

b_{k-1} : جریان پایه فیلتر شده در مرحله زمانی $k-1$ (متر مکعب بر ثانیه)

: پارامتر فیلتر مرتبط با حوزه آبخیز

y_k : جریان کل در مرحله زمانی k (متر مکعب بر ثانیه)

BFI_{max} : ماکزیمم شاخص جریان پایه.

در این روش نیاز است تا دو پارامتر BFI_{max} و را تعیین گردد. بر اساس مطالعات (Eckhardt, 2005) مقادیر BFI_{max} در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. مقادیر BFI_{max} برای حوزه‌های آبخیز با خصوصیات متفاوت

BFI_{max}	ویژگی حوزه آبخیز و رودخانه
۰/۸	رودخانه‌های دائمی با حوزه آبخیز متخلخل
۰/۵	رودخانه‌های غیر دائمی با حوزه آبخیز متخلخل
۰/۲۵	رودخانه‌های دائمی با حوزه آبخیز سخت و سنگی

بر این اساس، مقدار پارامتر BFI_{max} برای ایستگاه‌های فیروزکوه، نمرود و بن کوه برابر $0/8$ و برای ایستگاه سیمین دشت برابر $0/25$ خواهد بود. پارامتر نیز برای همه ایستگاه‌ها برابر $0/980$ است.

در این تحقیق جهت بررسی نرمال بودن داده‌های مورد استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف^۴ و برای بررسی این که آیا بین نتایج روش‌های مختلف تفکیک جریان پایه از جریان کلی رودخانه اختلاف معنی داری وجود دارد یا نه، از آزمون من - ویتنی^۵ استفاده شده است.

نتایج

نتایج این تحقیق را می‌توان به تفکیک ایستگاه‌ها به صورت زیر بیان نمود:

ایستگاه فیروزکوه

با توجه به نتایج آزمون من - ویتنی (جدول ۳) می‌توان چنین گفت که روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار برابر $0/925$ و $0/950$ با روش PART در سطح اطمینان ۹۵٪ اختلاف معنی داری ندارد ($P > 0.05$). همچنین روش کمینه موضعی با روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار برابر $0/900$ و نیز روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره با نتایج فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار برابر $0/975$ در سطح اطمینان ۹۵٪ اختلاف معنی داری ندارد ($P > 0.05$).

1 - One - Parameter Filter

2 - Two - Parameter Filter

3 - Base Flow Index Maximum

4 - Kolmogorov-Smirnov Test

5 - Mann-Whitney Test

با توجه به خصوصیات آماری شاخص جریان پایه (BFI) (جدول ۵)، روش PART و فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار برابر ۰/۹۷۵ به دلیل بیش‌تر بودن انحراف استاندارد به طور متوسط در برآورد شاخص جریان پایه نسبت به سایر روش‌ها تغییر پذیری بیشتری دارند.

با توجه به شکل ۲ بیش‌ترین برآورد جریان پایه مربوط به روش کمینه موضعی با ۰/۸۸/۳۱ و کم‌ترین برآورد مربوط به روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار برابر ۰/۹۰۰ با ۰/۷۷/۶۶ است.

یک خصوصیت بارز جریان کم نسبت Q_{90} به Q_{50} می‌باشد که پیشتر به وسیله Nathan & McMahon (1990) برای مقایسه روش‌های مختلف تفکیک جریان پایه استفاده شده است. Q_{90} به Q_{50} مقادیر جریان روزانه با احتمال تجاوز به ترتیب، ۹۰ و ۵۰٪ است (جدول ۴). با توجه به این ویژگی جریان‌های کم، روش‌های فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقادیر برابر ۰/۹۲۵ و ۰/۹۵۰ و روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره دارای نزدیکی زیادی در نتایج هستند.

جدول ۳. نتایج آزمون من - ویتنی داده‌های جریان پایه در ایستگاه فیروزکوه

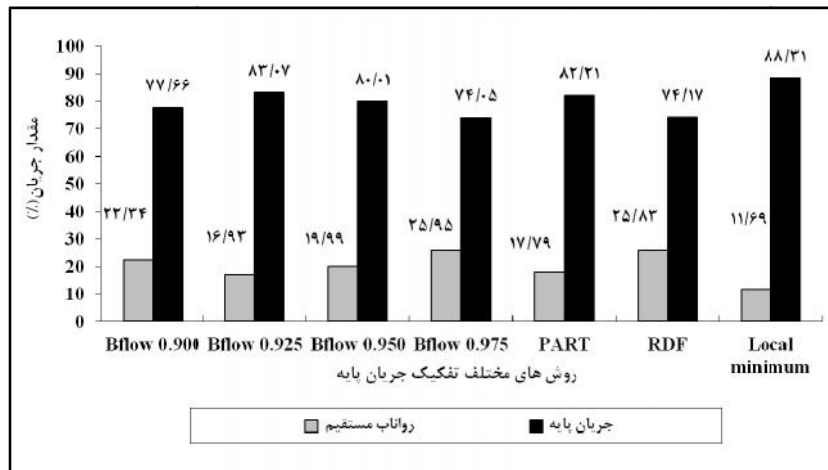
فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره				Local minimum	PART	روش‌های تفکیک جریان پایه	
= 0.975	= 0.950	=0.925	=0.900			Local minimum	فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره
				0.113	0.004	=0.900	
		0.006	0.033	0.001	0.229	=0.925	
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.240	=0.950	
				0.000	0.000	=0.975	
0.673	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره
* مقدار P-value							

جدول ۴. خصوصیات آماری روش‌های مختلف تفکیک جریان پایه در ایستگاه فیروزکوه

Q_{90}/Q_{50}	Q_{90} (m^3/s)	Q_{50} (m^3/s)	چولگی	ضریب تغییرات	انحراف استاندارد (m^3/s)	متوسط (m^3/s)	روش‌های تفکیک جریان پایه	
0.459	0.466	1.016	-0.218	0.364	0.328	0.901	PART	
0.432	0.484	1.119	-0.237	0.369	0.357	0.968	Local minimum	
0.469	0.469	0.501	1.068	-0.178	0.373	0.350	0.937	فیلتر عدد
0.473	0.473	0.485	1.024	-0.165	0.378	0.344	0.910	برگشتی یک
0.478	0.478	0.462	0.968	-0.139	0.388	0.340	0.877	پارامتره
0.481	0.481	0.423	0.881	-0.112	0.394	0.320	0.812	
0.479	0.439	0.917	-0.175	0.367	0.299	0.813		فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره

جدول ۵. خصوصیات آماری شاخص جریان پایه (BFI) در ایستگاه فیروزکوه

Local minimum	فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره	PART	فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره				روش‌های تفکیک جریان پایه
			= 0.975	= 0.950	=0.925	=0.900	
0.88	0.74	0.81	0.74	0.80	0.83	0.85	متوسط
0.04	0.03	0.07	0.10	0.04	0.04	0.04	انحراف استاندارد
0.89	0.74	0.84	0.73	0.80	0.84	0.86	میانه
-1.25	-1.98	-0.80	3.33	-0.95	-1.09	-1.42	ضریب چولگی
0.93	0.78	0.92	1.20	0.87	0.89	0.90	حداکثر
0.74	0.61	0.64	0.58	0.66	0.70	0.72	حداقل



شکل ۲. برآورد جریان پایه و رواناب مستقیم به صورت درصدی از جریان کل در ایستگاه فیروزکوه.

ایستگاه نمود

روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره به دلیل کم‌تر بودن انحراف استاندارد، به طور متوسط در برآورد شاخص جریان پایه نسبت به سایر روش‌ها تغییرپذیری کم‌تری دارد. بر اساس شکل ۳، بیش‌ترین برآورد جریان پایه مربوط به روش PART (۰/۹۱/۶۲) و کم‌ترین برآورد مربوط به روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره (۰/۷۷/۹۵) است.

بر اساس نتایج آزمون من-ویتنی (جدول ۶) روش کمیته موضعی با روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار برابر ۰/۹۰۰ و همچنین روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره با روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار برابر ۰/۹۷۵ در سطح اطمینان ۰/۰۵٪ اختلاف معنی داری ندارند ($P > 0.05$).

همان‌طور که گفته شد یک خصوصیت بارز جریان کم نسبت Q_{90} به Q_{50} است (جدول ۷). با توجه به این ویژگی نتایج روش‌های کمیته موضعی، فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقادیر برابر ۰/۹۰۰ و ۰/۹۲۵ و ۰/۹۵۰ و با توجه به خصوصیات آماری شاخص جریان پایه (جدول ۸)

جدول ۶. نتایج آزمون من - ویتنی در ایستگاه نمود

فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره				Local minimum	PART	روش‌های تفکیک جریان پایه	
= 0.975	= 0.950	= 0.925	= 0.900			Local minimum	فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره
				0.113	0.000*	= 0.900	فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره
			0.033	0.001	0.000	= 0.925	
		0.006	0.000	0.000	0.000	= 0.950	
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	= 0.975	
0.673	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره

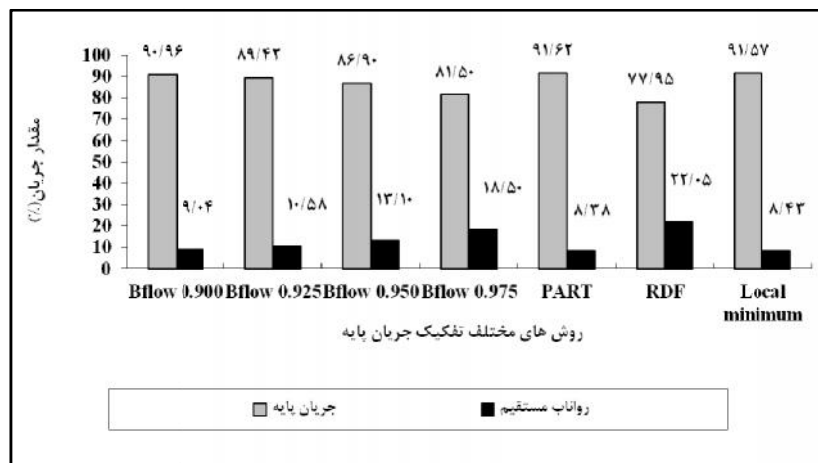
* مقدار P-value

جدول ۷. خصوصیات آماری روش‌های مختلف تفکیک جریان پایه در ایستگاه نمود

Q_{90}/Q_{50}	Q_{90} (m^3/s)	Q_{50} (m^3/s)	چولگی	ضریب تغییرات	انحراف استاندارد(m^3/s)	متوسط (m^3/s)	روش‌های تفکیک جریان پایه
0.877	3.081	3.512	1.183	0.252	0.988	3.913	PART
0.869	3.030	3.486	1.304	0.272	1.064	3.911	Local minimum
0.862	2.995	3.474	1.159	0.283	1.099	3.885	=0.900 فیلتر عدد
0.862	2.967	3.441	1.120	0.278	1.064	3.819	=0.925 برگشتی یک
0.864	2.921	3.381	1.043	0.271	1.005	3.712	=0.950 پارامتره
0.850	2.728	3.210	0.800	0.253	0.881	3.481	=0.975 پارامتره
0.867	2.554	2.947	1.146	0.293	0.974	3.329	فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره

جدول ۸. خصوصیات آماری شاخص جریان پایه (BFI) در ایستگاه نمود

Local minimum	فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره	PART	فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره				روش‌های تفکیک جریان پایه
			= 0.975	= 0.950	= 0.925	= 0.900	
0.92	0.78	0.92	0.82	0.87	0.90	0.91	متوسط
0.04	0.01	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	انحراف استاندارد
0.92	0.78	0.93	0.82	0.88	0.90	0.91	میانه
-2.82	-1.07	-1.08	-0.65	-0.36	-0.38	-0.43	ضریب چولگی
0.97	0.80	0.97	0.88	0.92	0.94	0.95	حداکثر
0.75	0.74	0.83	0.71	0.81	0.85	0.86	حداقل



شکل ۳. برآورد جریان پایه و رواناب مستقیم به صورت درصدی از جریان کل در ایستگاه نمود.

ایستگاه سیمین دشت

یک پارامتره با مقدار برابر ۰/۹۰۰ با روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار برابر ۰/۹۲۵ و همچنین روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار برابر ۰/۹۲۵ با روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار برابر ۰/۹۵۰ در سطح اطمینان ۰/۹۵ اختلاف معنی داری ندارند ($P>0.05$).

با توجه به نتایج آزمون من-ویتنی (جدول ۹) می‌توان چنین استنباط کرد که روش PART با روش‌های کمینه موضعی و همچنین روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقادیر برابر ۰/۹۰۰، ۰/۹۲۵ و ۰/۹۵۰ و روش کمینه موضعی با روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار برابر ۰/۹۰۰ و ۰/۹۲۵ در سطح اطمینان ۰/۹۵ اختلاف معنی داری ندارند ($P>0.05$). روش فیلتر عدد برگشتی

روش PART با روش فیلتر عددبرگشتی یک پارامتره با مقادیر برابر ۰/۹۲۵ و ۰/۹۵۰ و نیز روش فیلتر عددبرگشتی یک پارامتره با مقدار برابر ۰/۹۲۵ با روش فیلتر عددبرگشتی یک پارامتره با مقادیر برابر ۰/۹۰۰ و ۰/۹۵۰ در سطح اطمینان ۹۵٪ اختلاف معنی داری ندارند ($P > 0.05$).

با توجه به نسبت Q_{90} به Q_{50} (جدول ۱۳)، نتایج روش‌های کمینه موضعی و فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقادیر برابر ۰/۹۰۰ و ۰/۹۲۵ و همچنین روش‌های PART و فیلتر عددبرگشتی یک پارامتره با مقدار برابر ۰/۹۵۰ بسیار به هم نزدیک است.

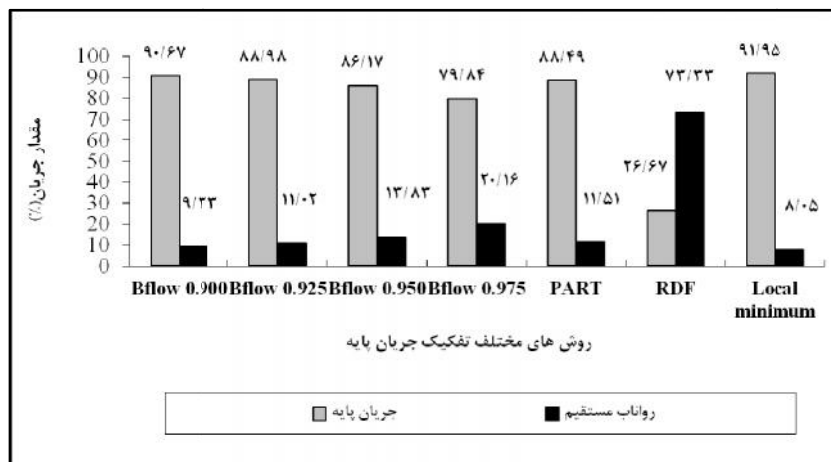
با توجه به خصوصیات آماری شاخص جریان پایه (جدول ۱۴)، روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره به دلیل کم‌تر بودن انحراف استاندارد، به طور متوسط در برآورد شاخص جریان پایه نسبت به سایر روش‌ها تغییرپذیری کم‌تری دارد.

با توجه به خصوصیت بارز جریان کم یعنی نسبت Q_{90} به Q_{50} (جدول ۱۰) ویژگی نتایج روش‌های کمینه موضعی و فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقادیر برابر ۰/۹۰۰ و ۰/۹۲۵ بسیار به هم نزدیک است. با توجه به خصوصیات آماری شاخص جریان پایه (جدول ۱۱) روش PART به دلیل بیش‌تر بودن انحراف استاندارد، به طور متوسط در برآورد شاخص جریان پایه نسبت به سایر روش‌ها تغییرپذیری بیشتری دارد.

بر اساس شکل ۴، بیش‌ترین برآورد جریان پایه مربوط به روش کمینه موضعی (۰/۹۱/۹۵) و کم‌ترین برآورد مربوط به روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره (۰/۲۶/۶۷) است.

ایستگاه بن‌کوه

با توجه به نتایج آزمون من-ویتنی (جدول ۱۲)، روش کمینه موضعی با روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقادیر برابر ۰/۹۰۰ و ۰/۹۲۵ و همچنین روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره با روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار برابر ۰/۹۷۵ در سطح اطمینان ۹۵٪ اختلاف معنی داری ندارند ($P > 0.05$).



شکل ۴. جریان پایه و رواناب مستقیم به صورت درصدی از جریان کل در ایستگاه سیمین دشت.

جدول ۹. نتایج آزمون من - ویتنی در ایستگاه سیمین دشت

روش‌های تفکیک جریان پایه	PART	فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره				Local minimum
		=0.975	=0.950	=0.925	=0.900	
	0.212*					Local minimum
فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره	0.473				0.571	0.473
	0.878			0.332	0.140	0.878
	0.087		0.105	0.016	0.003	0.087
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.119	0.000	0.000	0.000	0.000

* مقدار P-value

جدول ۱۰. خصوصیات آماری روش‌های مختلف تفکیک جریان پایه در ایستگاه سیمین دشت

روش‌های تفکیک جریان پایه	متوسط (m ³ /s)	انحراف استاندارد (m ³ /s)	ضریب تغییرات	چولگی	Q _{min} (m ³ /s)	Q ₅₀ (m ³ /s)	Q ₉₀ (m ³ /s)	Q _{max} (m ³ /s)	Q ₉₀ /Q ₅₀
PART	5.150	1.363	0.265	0.455	3.068	5.107	3.418	8.241	0.669
Local minimum	5.347	1.597	0.299	0.766	3.120	5.171	3.384	9.247	0.655
فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره	5.273	1.573	0.298	0.602	2.104	5.113	3.366	9.016	0.658
	5.175	1.533	0.296	0.520	2.104	5.057	3.310	8.730	0.654
	5.013	1.462	0.292	0.399	2.104	4.998	3.229	8.173	0.646
	4.647	1.291	0.278	0.164	2.104	4.821	3.047	7.124	0.632
فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره	1.550	0.277	0.179	0.385	0.916	1.512	1.184	2.117	0.783

جدول ۱۱. خصوصیات آماری شاخص جریان پایه (BFI) در ایستگاه سیمین دشت

روش‌های تفکیک جریان پایه	فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره				PART	فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره		Local minimum
	=0.975	=0.950	=0.925	=0.900		فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره	Local minimum	
متوسط	0.89	0.86	0.89	0.91	0.89	0.27	0.27	0.92
انحراف استاندارد	0.02	0.03	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02
میانه	0.90	0.86	0.89	0.90	0.90	0.27	0.27	0.92
ضریب چولگی	0.12	0.25	0.21	0.12	-1.43	0.92	0.92	-0.35
حداکثر	0.94	0.91	0.93	0.94	0.94	0.34	0.34	0.96
حداقل	0.88	0.83	0.86	0.88	0.75	0.23	0.23	0.87

جدول ۱۲. نتایج آزمون من - ویتنی در ایستگاه بن کوه

روش‌های تفکیک جریان پایه	PART	فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره				Local minimum
		=0.975	=0.950	=0.925	=0.900	
	0.010*					Local minimum
فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره	0.033				0.572	=0.900
	0.217			0.304	0.153	=0.925
	0.653		0.082	0.012	0.003	=0.950
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	=0.975
فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.119	0.000	0.000	0.000	0.000

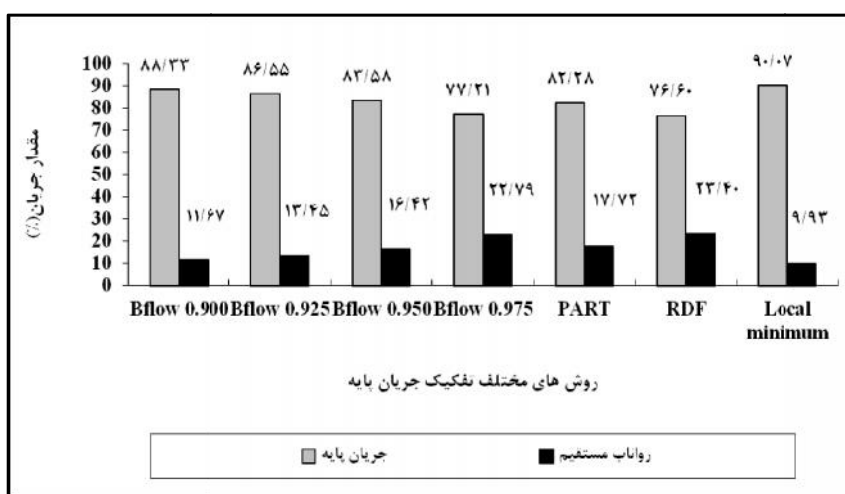
* مقدار P-value

جدول ۱۳. خصوصیات آماری روش‌های مختلف تفکیک جریان پایه در ایستگاه بن کوه

Q_{90}/Q_{50}	Q_{max} (m^3/s)	Q_{90} (m^3/s)	Q_{50} (m^3/s)	Q_{min} (m^3/s)	چولگی	ضریب تغییرات	انحراف استاندارد (m^3/s)	متوسط (m^3/s)	روش‌های تفکیک جریان پایه
0.554	9.329	3.485	6.285	3.290	0.031	0.291	1.763	6.054	PART
0.561	12.979	3.603	6.422	3.129	0.757	0.371	2.461	6.626	Local minimum
0.569	12.172	3.628	6.380	2.355	0.629	0.365	2.369	6.498	=0.900
0.563	11.802	3.555	6.309	2.355	0.579	0.363	2.310	6.368	=0.925
0.556	11.140	3.450	6.202	2.355	0.498	0.359	2.206	6.149	=0.950
0.545	9.762	3.238	5.940	2.355	0.342	0.344	1.953	5.681	=0.975
0.591	10.699	3.210	5.431	2.355	0.721	0.365	2.056	5.635	فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره

مربوط به روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره (۰/۷۶/۶۰) است.

با توجه به شکل ۵ بیش‌ترین برآورد جریان پایه مربوط به روش کمینه موضعی (۰/۹۰/۰۷) و کم‌ترین برآورد



شکل ۵. برآورد جریان پایه و رواناب مستقیم بصورت درصدی از جریان کل در ایستگاه بن کوه.

بحث و نتیجه‌گیری

در بررسی فرضیه تحقیق (بین روش‌های مختلف تفکیک جریان پایه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد)، می‌توان بیان نمود که در تمام ایستگاه‌ها به جز ایستگاه نمودار نتایج روش PART با نتایج روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقادیر برابر ۰/۹۲۵ و ۰/۹۵۰ در سطح اطمینان ۰/۰۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند ($P>0.05$). در همه ایستگاه‌ها نتایج روش کمینه موضعی با نتایج روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار برابر ۰/۹۰۰ در سطح اطمینان ۰/۰۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارد ($P>0.05$). همچنین در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه سیمین دشت، نتایج روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره با نتایج فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار برابر

یکی از اهداف این تحقیق برآورد جریان پایه به روش‌های مختلف بوده که نتایج زیر به دست آمده است: در ایستگاه‌های فیروزکوه و سیمین دشت نتایج روش PART نسبت به سایر روش‌های مورد استفاده تغییرپذیری بیشتری داشته است، در حالی که در ایستگاه‌های نمودار و بن کوه نتایج روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره نسبت به دیگر روش‌های مورد استفاده از تغییرپذیری کم‌تری برخوردار است. روش کمینه موضعی، به جز در ایستگاه نمودار، دارای بیش‌ترین برآورد جریان پایه نسبت به سایر روش‌های مورد استفاده است، در حالی که در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه فیروزکوه روش فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره دارای کم‌ترین برآورد جریان پایه نسبت به سایر روش‌های مورد استفاده است.

د) در ایستگاه بن کوه، روش‌های کمینه موضعی و فیلتر عددبرگشتی یک پارامتره با مقادیر برابر ۰/۹۰۰ و ۰/۹۲۵ به دلیل پایین بودن انحراف استاندارد (SD=0.02) و عدم اختلاف معنی‌دار بین نتایج آن‌ها، روش‌های مناسبی برای تفکیک جریان پایه از جریان کلی رودخانه بوده که به نتایج مطالعه Arnold & Allen (1999) نزدیک است. در مجموع می‌توان گفت که در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه نمرود روش کمینه موضعی و در ایستگاه نمرود روش فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار برابر ۰/۹۷۵ روش مناسبی برای تفکیک جریان پایه از جریان کلی رودخانه است.

با توجه به این که برآورد میزان جریان پایه در برنامه-ریزی توسعه شهری، آبیاری، کشاورزی، مدیریت خشکسالی، کاهش تلفات آب، تولید برق آبی و غیره مهم و ضروری است، بنابراین نتایج این تحقیق می‌تواند مورد استفاده برنامه‌ریزان در سازمان‌ها مسکن و شهرسازی، جهاد کشاورزی، منابع طبیعی، آب منطقه‌ای، مدیریت بحران، سد سازی و دیگر اداره‌ها و مؤسسه‌های مرتبط با مدیریت و بهره‌برداری از منابع آب قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق به شماره ۹۱۰۰۴۴۸۸ با حمایت‌های صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (Iran National Science Foundation) انجام گرفته است.

References

- Arfaenia, R., & Samani, N. (2005). Depict curve river hydrograph separation in Zayandeh-Rood watershed. *Journal of sciences University of Tarbiat Moallem*, 5(3), 21-29, (in Farsi).
- Arnold, J. G., & Allen, P. M. (1999). Validation of automated methods for estimating base flow and groundwater recharge from stream flow records. *Journal of American Water Resources Association*, 35(2), 411-424.
- Chapman, T. G, Maxwell, A. I. (1996). Base flow separation-comparison of numerical methods with tracer experiments. Institute

۰/۹۷۵ در سطح اطمینان ۹۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارد (P>0.05).

در انتخاب بهترین روش برآورد جریان پایه در ایستگاه‌های مورد مطالعه:

الف) برای ایستگاه فیروزکوه، روش‌های کمینه موضعی و فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار برابر ۰/۹۰۰ به دلیل پایین بودن انحراف استاندارد (SD= 0.04) و نبود اختلاف معنی‌دار بین نتایج آن‌ها، می‌توان روش‌های مناسبی برای تفکیک جریان پایه از جریان کلی رودخانه دانست که با نتایج مطالعه Ghanbarpoor et al. (2008) همخوانی دارد.

ب) برای ایستگاه نمرود می‌توان روش‌های فیلتر عدد برگشتی یک پارامتره با مقدار برابر ۰/۹۷۵ و فیلتر عدد برگشتی دو پارامتره به دلیل پایین بودن انحراف استاندارد (SD=0.01) و عدم اختلاف معنی‌دار بین نتایج آن‌ها، روش‌های مناسبی برای تفکیک جریان پایه از جریان کلی رودخانه دانست که به نتایج مطالعه Arnold & Allen (1999) شبیه است.

ج) برای ایستگاه سیمین دشت، روش‌های کمینه موضعی و فیلتر عددبرگشتی یک پارامتره با مقادیر برابر ۰/۹۰۰، ۰/۹۲۵ و ۰/۹۵۰ به دلیل پایین بودن انحراف استاندارد (SD=0.02) و عدم اختلاف معنی‌دار بین نتایج آن‌ها روش‌های مناسبی برای تفکیک جریان پایه از جریان کلی رودخانه هستند که به نتایج مطالعه Arnold & Allen (1999) نزدیک می‌باشد.

- Engineers Australia National Conference. Publ. 96/05, 539-545.
- Eckhardt, K. (2005). How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes*, 19(2), 507-515.
- Esmali, A., & Samee, M. (2011). Comparison of different base flow separation methods (Case study: Hanifghan staiton in Fars province), 4th Iran Water Resources Management Conference, University of Industrial Amirkabir, (in Farsi).
- Ghanbarpoor, M. R., Timori, M., & Gholami, Sh. (2008). Comparison estimation method by separation stream flow hydrograph

- (Case study: Karoon basin). *Journal of Agriculture & Natural Resources Sciences & Technology*, 44, (in Farsi).
- Gonzales, A. L., Nonner, J., Heijkers, J., & Uhlenbrook, S. (2009). Comparison of different base flow separation methods in a lowland catchment. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 2055 - 2068.
- Lyne, V. D., & Hollick, M. (1979). Stochastic time-variable rainfall- runoff modeling, In: hydro. and water Resour. Symp. Institution of Engineers Australia, Perth, Australia, pp. 89-92.
- Mul, M. L., Mutiibwa, R. K., Uhlenbrook, S., & Savenije, H. H. G. (2008). Hydrograph separation using hydrochemical tracers in the Makanya catchment, Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33, 151-156.
- Nathan, R. J., & McMahon, T. A. (1990). Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Water Resources Research*, 26(7), 1465-1473.
- Newman, B. D., Wilcox, B. P., Archer, S. R., Breshears, D. D., Dahm, C. N., Duffy, C. J. (2006). Ecohydrology of water-limited environments: A scientific vision. *Water Resources Research*, 42, W0 6302. doi:10.1029/2005WR004141.
- Parsons, A. J., Abrahams, A. D. (1994). Geomorphology of desert environments. In: Abrahams, A. D., Parsons, A. J. (Eds.), *Geomorphology of Desert Environments*. CRC Press, Boca Raton, Fla, pp. 1-12.
- Pettyjohn, W. A., & Henning, R. (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.
- Rutledge, A. T. (1992). Methods of using stream flow records for estimating total and effective recharge in the appalachian valley and ridge, piedmont, and blue ridge physiographic provinces. In: Hotchkiss, W. R. and A. I. Johnson(eds.), *Regional aquifer systems of the U.S., Aquifer of the Southern and Eastern States*. 27th Annual Conference of American Water Resources Association. New Orleans, LA, 1992. AWR Monograph Series 17, pp. 59-73.
- Sadatinezhad, S., Abdollahi, Kh., Fatahi, R., Shayannezhad, M., Jafari, A., Asadibrojeni, A. & Rozbahani, R. (2006). National water resources network: Necessity & challenge, First National conference optimumutilization of water resources watersheds Karon & Zayande-rood, University of Shahrekord (in Farsi).
- Samee, M., & Malekian, A. (2010). Comparison separation base flow method by using regress digit filter & PART, 6th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering, Noor, (in Farsi).
- Sloto, R. A., & Crouse, M. Y. (1996). Hysep: A computer program for stern flow hydrogarph separation and analysis. The U.S. Geological Survey Water Resoures Investigations Report 46-4040. 46p.

Study of efficiency of various base flow separation methods in arid and semi-arid rivers (Case study: Hablehroud basin)

1-M. Hasani, MSc student of combating Desertification, Semnan University, Semnan, Iran.

2-A. Malekian, Assistant Professor, University of Tehran, Tehran, Iran.

malekian@ut.ac.ir

3-M. Rahimi, Assistant Professor, Semnan University, Semnan, Iran.

4-M. Samee, Senior Expert, Natural Resources and Watershed Management Organization, Firoozabad Office, Firoozabad, Iran

5-M. R. Khamoushi, Senior Expert, Regional Water Organization of Semnan province, Semnan, Iran.

Received: 10 Jun 2012

Accepted: 11 Dec 2012

Abstract

Base flow is an important part of river flow, which shows stream response to precipitation. Separation of base flow through hydrograph analysis provides useful information about characteristics of water storage, which drains into rivers. Base flow is usually related to the evacuated water from underground water reserve. It is useful to understand base flow in order to measure water quality and conditions of low flow that can be utilized for calibrating and validating of hydrologic models. There are several methods for hydrograph separation. In this research, Recursive Digital Filters of one and two parameters, PART and Local Minimum methods were used in order to separate hydrograph of flow into two parts (direct runoff and base flow) in four hydrometric gauging stations, located in Hablehroud basin. Results indicated that Local Minimum method show the best estimation of base flow index in all stations, except of Namrood. Meanwhile, in Namrood station, Recursive Digital Filters method with value of 0.975 provided the most accurate estimations.

Keywords: Base flow; Arid and semi-arid regions; PART; Local minimum; Recursive Digital Filters.