

## بررسی روش های تفکیک جریان پایه با استفاده از داده های اندازه گیری شده فصل خشک، مطالعه موردی: حوزه دیشام

رحیم کاظمی<sup>۱</sup>

۱- استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران  
*ra\_hkazemi@yahoo.com*

### چکیده

فرآیند جدا سازی جریان پایه، اغلب با استفاده از داده های جریان روزانه انجام می شود. با توجه به اینکه مقدار واقعی جریان پایه نامشخص است، محققین مختلفی اقدام به کالیبره کردن و مقایسه روش های مختلف و معرفی روش مناسب تفکیک جریان نموده اند. هزینه بر و زمان بر بودن روش های مبتنی بر ردیاب ها، محدودیت هایی را برای برآورد جریان پایه و شاخص مربوطه ایجاد می کند. در این تحقیق، شاخص جریان پایه با استفاده از جریان روزانه، به روش های حداقل محلی<sup>۱</sup>، فواصل ثابت<sup>۲</sup>، فواصل متحرک<sup>۳</sup>، فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره<sup>۴</sup>، فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره<sup>۵</sup>، و فیلتر رقومی برگشتی لینه و هالک<sup>۶</sup> استخراج شد، نتایج با استفاده از شاخص جریان پایه مستخرج از داده های روزانه فصل خشک سال و معیارهای مختلف آماری، از جمله، انحراف معیار، میانگین مطلق خطا، خطای نسبی و سایر آماره های توصیفی تحلیل شد. نتایج نشان داد که حداقل خطای نسبی داده های مربوط به دبی روزانه، به روش فواصل ثابت و لینه هالک با ۱۰ درصد خطا و حداکثر آن به روش حداقل محلی با ۵۲ درصد خطا تعلق دارد. در جمع بندی کلی روش فواصل ثابت و روش فیلتر رقومی تک پارامتره به دلیل خطای نسبی کم، حداقل میانگین مطلق خطا و ریشه میانگین مربعات خطا به عنوان روش های مناسب برای استخراج جریان پایه در منطقه مورد مطالعه تشخیص داده شد.

**واژه های کلیدی:** داده های روزانه، داده های فصل خشک سال، شاخص جریان پایه، فیلترهای رقومی، گام زمانی

1 Local Minimum

2 Fixed Interval

3 Sliding Interval

4 One Parameter Recursive digital filter(Chapman & Maxwell, 1996)

5 Two parameter Recursive digital filter(Boughton two parameter algorithm )

6 Lynie & Hollick

## مقدمه

جریان پایه، به عنوان سهم مشارکت آب های زیرسطحی در آب های سطحی، معرفی شده است و برای مقاصد مختلف مطالعاتی، پژوهشی از جمله توسعه استراتژی مدیریت کیفی و کمی منابع آب، مورد نیاز است. بر آورد میزان مشارکت آب های زیرزمینی در آب های سطحی در یک حوزه آبخیز برای فعالیتهای گسترده ای مورد نیاز است، از جمله برای برنامه ریزی زمان های کم آبی و خشک سالی، بررسی وضعیت اکوسیستم، برنامه ریزی نیازمندی های آب شرب، مباحث آلودگی آب رودخانه و چگونگی پخش آلودگی از این طریق. برای تحلیل های هیدرولوژیکی، سری های زمانی تا حد ممکن باید طولانی باشد. داده های با تداوم سی ساله یا بیشتر، اغلب به عنوان حداقل طول داده ثبت شده توصیه می شود (Tallaksen و همکاران، ۲۰۰۴). اما عملاً هیدرولوژیست ها مجبور هستند داده های با تداوم کوتاه تر را مدیریت کنند و در این خصوص معمولاً حداقل طول داده ۵ ساله توصیه می شود. برای بررسی، پیش بینی و تحلیل های هیدرولوژیکی، داده های با طول آماری مناسب ضروری است، این در حالی است که کمبود آمار و اطلاعات هیدرومتری، از جمله مشکلات و معضلات اساسی در برآوردهای هیدرولوژیکی جهت اجرای برنامه های عمرانی و آبخیزداری به شمار می آید. بنابراین، روش هایی که نواقص آمار پایه را مرتفع ساخته و داده های به مراتب صحیح تری را جهت اجرای پروژه های آبی در اختیار قرار دهد، همواره مورد نیاز کارشناسان بوده است. تاکنون بررسی های زیادی در رابطه با بازسازی دبی های متوسط روزانه، ماهانه و سالانه انجام پذیرفته است. استفاده از مدل های هوش مصنوعی برای شبیه سازی داده ها گسترش زیادی یافته است (Vahidiyan, ۲۰۰۹). مروری بر پژوهش های انجام شده این مسئله را روشن می سازد که توسعه روش های جدید، امکان آشکار سازی بهتر ارتباط بین پارامترهای مرتبط با جریان رودخانه را به طور چشم گیری امکان پذیر کرده است. از جمله این روش ها می توان به استفاده از روش های محاسباتی با عملیات تکراری فراوان، همچون خوارزمیک ژنتیک شبکه عصبی مصنوعی و روش های عصبی فازی فرآیند غیرخطی و غیرایستای جریان رودخانه، که بدون نیاز به عوامل محیطی مؤثر بر جریان رودخانه، مدل سازی می شود اشاره کرد. (Nath و Abraham, ۲۰۰۱). اما نکته ای که همچنان به عنوان یک چالش فراروی هیدرولوژیست ها قرار دارد، عدم قطعیت ناشی از این شبیه سازی ها است. با توجه به نامشخص بودن مقدار واقعی جریان پایه، مطالعات متعددی در خصوص ارزیابی روش های مختلف استخراج جریان پایه انجام پذیرفته است. "روش های مختلف آنالیز جریان با استفاده از روش همبستگی، توسط (Nathan و McMahon, ۱۹۹۰) مورد بررسی قرار گرفت، آن ها روش ساده فیلتر رقومی یک پارامتره با ضریب پارامتر ۰/۹۲۵ را پیشنهاد دادند و نتایج حاصل از این روش را با روش های قدیمی و گرافیکی متناسب دانسته اند. روش جدید جداسازی جریان پایه با استفاده از مانیتورینگ سطح آب های زیرزمینی توسط (Meshgi و همکاران، ۲۰۱۴) و (Peters و همکاران، ۲۰۰۵) مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن را با داده های حاصل از ردیاب ها مقایسه و این روش را قابل اعتماد دانستند. روش های مبتنی بر فیلترهای رقومی، با استفاده از هدایت جریان الکتریکی توسط (Smakhtin, ۲۰۰۱) مورد پژوهش و ارزیابی قرار گرفت. ایشان این روش را برای واسنجی روش های رقومی مناسب تشخیص دادند و به طور خاص کاربرد روش HYSEP را برای تمام حوزه ها نادرست دانسته و کالیبره کردن آن را با این روش جدید پیشنهاد داده اند. چهار روش مختلف تفکیک جریان، موسسه هیدرولوژی انگلستان، لینه و هالیک، چاپمن و اکهارد توسط (Zhang و همکاران، ۲۰۱۸) به روش مقایسه ای و تحلیل آماری در استرالیا انجام شد مورد مقایسه قرار گرفت و نتیجه گرفتند که این روش ها نیاز مند کالیبراسیون با داده های واقعی هستند. ارزیابی برآوردهای جریان پایه با توجه به مشخصات شاخه خشکیدگی توسط (Lee و همکاران، ۲۰۱۸) و با استفاده از مدل SWAT به انجام رسید و این روش شبیه سازی را توصیه کردند. از جمله موارد پژوهش های انجام شده در داخل کشور می توان به پژوهش (کاظمی و قرمزچشمه، ۱۳۹۵) اشاره کرد. ایشان روش های مختلف ساده و چند روش مبتنی بر فیلترینگ را در ۲۲ حوضه واقع در شمال کشور با استفاده از شاخص های منحنی تداوم جریان مورد بررسی و مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که روش فیلتر رقومی برگشتی بی فلو روش مناسبی برای مناطق مورد مطالعه می باشد. با بررسی های به عمل آمده، به نظر می رسد در رابطه با مقایسه نتایج روش های مختلف استخراج جریان پایه و شاخص مربوطه با استفاده از داده های فصل خشک سال در سطح کشور تحقیق کافی انجام نشده است. نظر به اهمیت جریان پایه و شاخص مربوطه در مطالعات منابع آب، مطالعه روش های مختلف تفکیک جریان و مقایسه نتایج حاصله با داده های فصل خشک، موجب دستیابی به دانشی برای استفاده از روش های مناسب تفکیک جریان برای استخراج جریان پایه خواهد شد. در این تحقیق، سهم مشارکت آب های زیرسطحی به کل رواناب به عنوان شاخص جریان پایه در

ایستگاه هیدرومتری دیشام واقع در حوضه آبخیز خزر به روش های مختلف، استخراج شد و بر اساس تحلیل شاخص های آماری، و مقایسه با شاخص جریان پایه فصل خشک مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

**شاخص جریان پایه:** این شاخص یک نسبت بدون بعد است که از نسبت دبی پایه به کل رواناب برای هر مقطع زمانی یا کل دوره آماری بدست می آید و اولین بار توسط (لوویچ، ۱۹۷۹) توسعه یافته است. این شاخص به عنوان یکی از مشخصه های هیدرولوژیکی حوزه محسوب می شود و بیانگر اطلاعاتی در خصوص مشارکت آب های زیرزمینی در آب های سطحی می باشد. (McMahon و Nathan، ۱۹۹۰).

**جداسازی جریان آب پایه:** روش های متعددی برای جداسازی جریان پایه از جریان رودخانه، توسعه یافته است که عمدتاً در گروه روش های گرافیکی، روش های فیلترینگ و روش ردیاب های شیمیایی قابل طبقه بندی (Smakhtin، ۲۰۰۱). جدا سازی جریان پایه به روش گرافیکی اغلب زمان بر و غیردقیق است و نتایج بدست آمده توسط متخصصین مختلف غیرمشابه می باشد. روش های مبتنی بر ردیاب ها دقیق و قابل اعتماد است ولی زمان بر و مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی می باشد، ولی روش های مبتنی بر الگوریتم های رقومی و فیلترینگ، علاوه بر سهولت و قابلیت تشخیص مناسب در تعیین دبی پایه، حساسیت بالایی نسبت به پارامترها دارد و به دلیل قابلیت اتوماتیک کردن، مشکلات ناشی از عدم همخوانی نتایج را تا حدودی بر طرف کرده است. به دلیل پیچیدگی و نامشخص بودن میزان واقعی مشارکت دبی پایه در رواناب و همچنین هزینه بر بودن روش های مبتنی بر ردیاب ها، محققین بسیاری نسبت به ارزیابی و مقایسه روش های مختلف تفکیک هیدروگراف جریان اقدام نموده اند و الگوریتم های رقومی مختلفی را پیشنهاد داده اند، ولی با توجه به استقلال این روش ها، از ماهیت جریان و نامشخص بودن مقدار واقعی جریان پایه، در این تحقیق به منظور بررسی نتایج استخراج دبی پایه، ارزش الگوریتم حداقل محلی، فواصل ثابت، فواصل متحرک، فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره، فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره و فیلتر رقومی برگشتی لینه و هالک استفاده شده است.

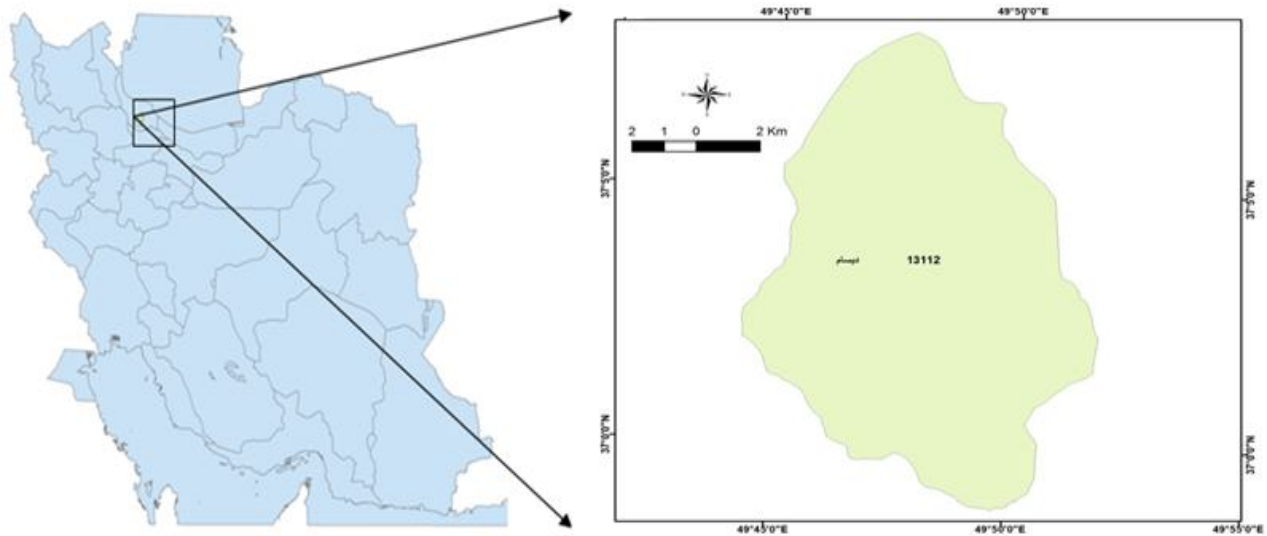
## مواد و روش ها

### ویژگی و موقعیت منطقه تحقیق

محدوده این پژوهش واقع در نوار ساحلی دریای خزر شامل حوزه دیشام است که بین  $38^{\circ}17'$  تا  $37^{\circ}01'$  عرض شمالی و  $49^{\circ}45'$  تا  $50^{\circ}49'$  طول شرقی واقع شده است، شکل (۱). منطقه مورد پژوهش متاثر از آب و هوای خزری و مدیترانه ای است و عمدتاً دارای کاربری جنگلی، مرتعی و کشاورزی می باشد. حداکثر بارش سالیانه در دوره مورد پژوهش به میزان ۱۰۸۰ میلی متر است. مشخصه های اصلی حوزه مورد نظر در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱) مشخصه های اصلی حوزه مورد پژوهش

تراکم هکشی km/km <sup>2</sup>	میانگین دبی م <sup>3</sup> /s/انه	بارش سالیانه (mm)	مساحت کشاورزی/٪	مساحت مرتع /٪	مساحت جنگل (٪)	نسبت متوسط مین (٪)	مساحت (Km <sup>2</sup> )	ارتفاع (متر)	پارامتر نام حوزه
2.47	4.91	1080	0.04	0.00	0.96	4.87	127.71	735	دیشام (پاشاکی)



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد پژوهش

### روش پژوهش

برای انجام این تحقیق، ابتدا با بررسی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در منطقه، ایستگاه دیشام با طول دوره آمار مناسب انتخاب شد. با توجه به اهمیت صحت و دقت آمار در مطالعات هیدرولوژی، کوشش شده است، ایستگاه دارای آمار روزانه، کامل و بدون نیاز به بازسازی انتخاب شود. سپس شاخص جریان پایه با استفاده از داده‌های روزانه جریان برای کل دوره مطالعه و برای فصل خشک سال به طور مجزا، پس از کنترل سری زمانی، به روش‌های مختلف فیلترینگ و الگوریتم‌های رقومی برگشتی استخراج شد. تحلیل آماری مقادیر مستخرج، در محیط نرم افزار SPSS انجام شد. در این پژوهش از شش الگوریتم جداسازی به شرح ذیل استفاده شده است.

**روش حداقل محلی:** این روش به‌عنوان یکی از ساده‌ترین روش‌های تفکیک هیدروگراف بوده و عملکرد آن به طبیعت جریان بستگی ندارد و از حداقل مقادیر دبی در دوره‌های پنج روزه بدون همپوشانی استفاده می‌کند (Stewart و همکاران، ۲۰۰۷).

**روش فواصل ثابت:** این روش حداقل مقادیر دبی در هر گام زمانی را به تمام روزهای آن گام نسبت می‌دهد و از پیوستگی مقادیر نسبت داده شده، هیدروگراف جریان پایه را تعیین می‌کند. پارامتر فیلتر بهینه در این روش برابر ۰/۹ با گام زمانی پنج روزه تشخیص داده شد.

**روش فواصل متحرک:** این روش بر اساس پایین‌ترین دبی یافت شده در قبل و بعد از یک روز خاص  $[0.5(2N-1)\text{days}]$  در یک دوره زمانی ثابت، به هر رکورد روزانه در هیدروگراف، یک جریان پایه نسبت می‌دهد. گام زمانی پنج روزه برای این روش، بهینه تشخیص داده شد.

**فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره:** روش فیلتر رقومی برگشتی برای تحلیل، پردازش و فیلتر کردن رواناب سطحی (سیگنال‌های با فراوانی بالا) از جریان پایه (سیگنال‌های با فراوانی پایین) معرفی شده است، فیلتر رقومی یک پارامتره با الگوریتم ذیل، رابطه (۱)، اولین بار توسط (Chapman و Maxwell، ۱۹۹۶) معرفی شد. به نقل از (Eckhardt، ۲۰۰۸).

(۱)

$$q_{b(i)} = \frac{k}{2-k} q_{b(i-1)} + \frac{1-k}{2-k} q_{(i)}$$

$$q_{b(i)} \leq q_{(i)}$$

$k$  پارامتر فیلتر، قابل تعیین توسط ثابت افت منحنی هیدروگراف

$q_b(i-1)$  جریان پایه فیلتر شده برای زمان قبل از  $i$

$q(i)$  جریان اصلی رودخانه برای زمان  $i$

$q_b(i)$  جریان پایه فیلتر شده، برای زمان  $i$  ام

پارامتر فیلتر بهینه ( $k$ ) مورد استفاده در این روش برابر  $0/925$  به دست آمده است..

**فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره:** الگوریتم معرفی شده با رابطه (۲) قابلیت عبور یکباره از داده های جریان و همچنین قابلیت واسنجی با داده های دیگر روش ها مانند روش های مبتنی بر ردیاب ها را با تغییر پارامتر  $C$  را دارد (Hostetler و Brodie, ۲۰۰۵).

$$q_b(i) = \frac{k}{1+C} q_b(i-1) + \frac{C}{1+C} q(i)$$

پارامتر فیلتر بهینه مورد استفاده در این روش برابر  $\alpha = 0/975$  و  $C = 0/5$  انتخاب شده است.

$K$ : پارامتر فیلتر، قابل تعیین توسط ثابت افت منحنی هیدروگراف،  $q_b(i)$  جریان پایه فیلتر شده، برای زمان  $i$  ام،  $q(i)$  جریان اصلی رودخانه برای زمان  $i$ ،  $q_b(i-1)$  رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی  $i-1$

**فیلتر رقومی برگشتی لینه و هالیک:** الگوریتم معرفی شده با رابطه (۳) به وسیله (لینه و هالیک، ۱۹۷۹) معرفی شده که قابلیت عبور سه باره از داده های جریان را دارد و چند بار عبور از داده های جریان باعث پایین آوردن جریان پایه می شود و به استفاده کننده قابلیت انعطاف پذیری در جدایش دقیق تر دبی پایه را می دهد. بیشترین نتایج قابل قبول زمانی است که پارامتر فیلتر در دامنه  $0/90 - 0/95$  باشد. پارامتر فیلتر بهینه مورد استفاده در این روش برابر  $0/925$  تشخیص داده شد (ناتان و مک ماهون، ۱۹۹۰).

$$q_f(i) = \alpha q_f(i-1) + (q(i) - q_f(i-1)) \frac{1+\alpha}{2}$$

(۳)

که در آن:  $q_f(i) \geq 0$

$q_f(i)$  رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی  $i$ ،  $q_f(i-1)$  رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی  $i-1$ ،  $\alpha$  پارامتر فیلتر

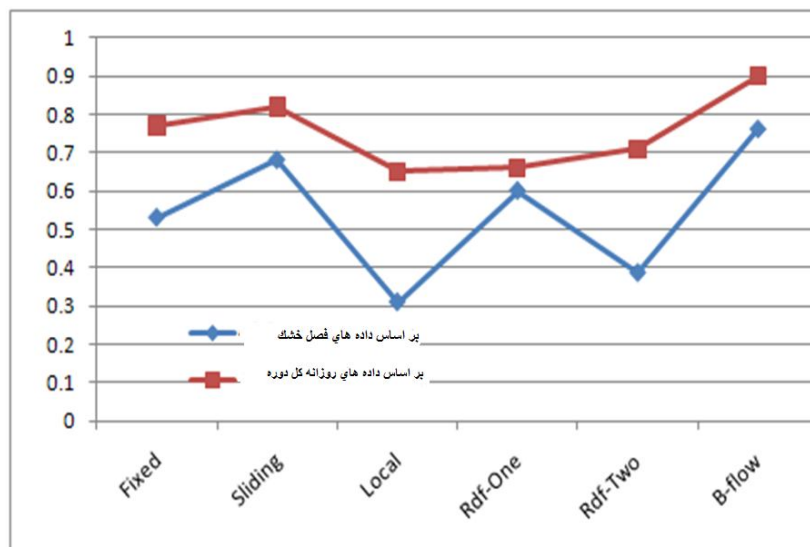
مرتبط با حوزه،  $q(i)$  جریان کل در مرحله زمانی  $i$ ،  $q(i-1)$  جریان کل در مرحله زمانی  $i-1$ ،  $q_b = q - q_f$  جریان پایه.

## نتایج

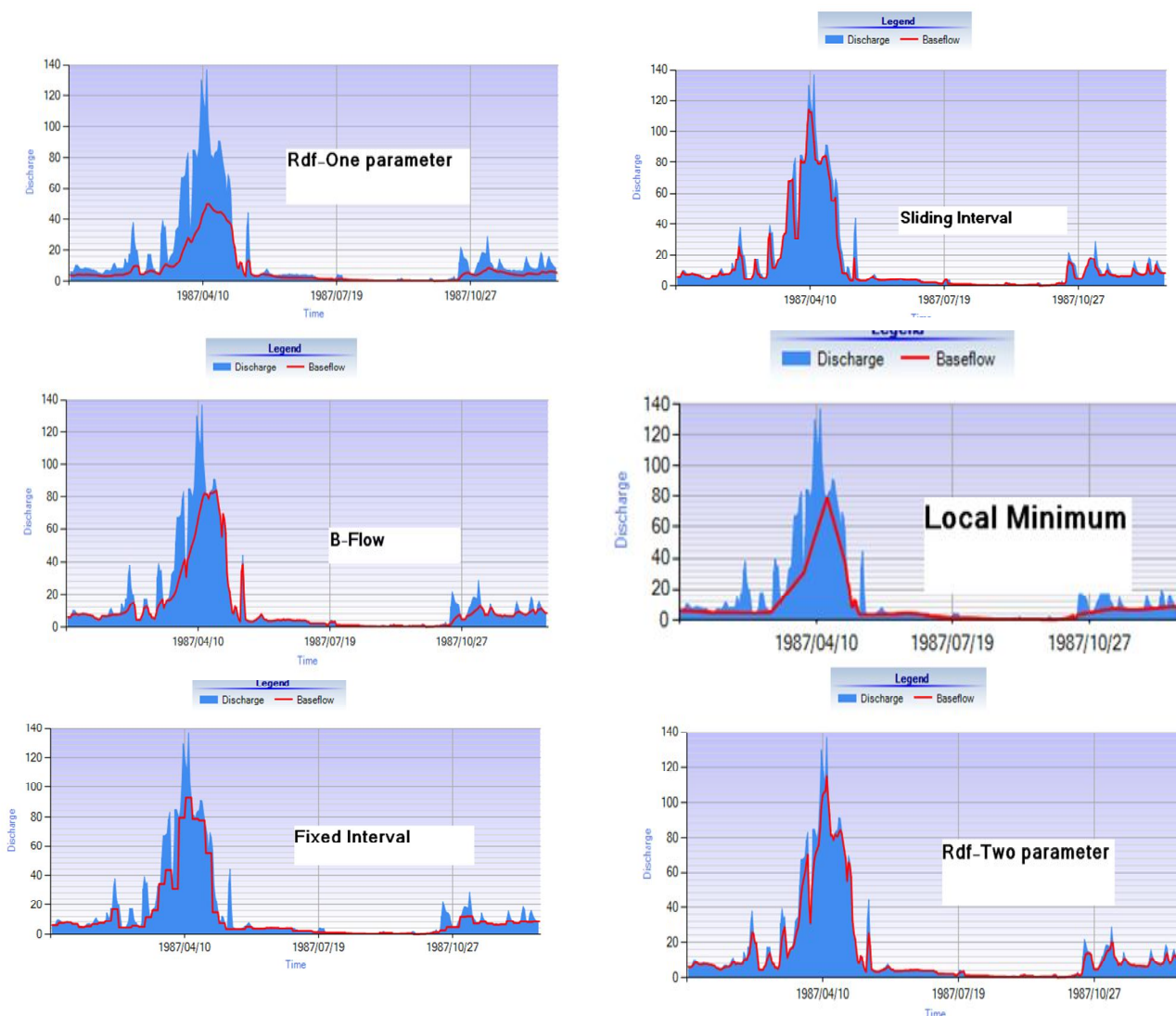
ضرایب فیلترهای استفاده شده در محدوده مورد نیاز هر روش و با توجه به بهترین پاسخ داده شده به تغییرات ضرایب و با استفاده از قابلیت نمایش گرافیکی نرم افزار Hydro Office و مقایسه چشمی انتخاب شد. بعد از استخراج مقادیر میانگین شاخص جریان پایه در طول دوره مطالعه، با استفاده از سه روش ساده حداقل محلی، فواصل ثابت، فواصل متحرک و سه روش مبتنی بر فیلترهای رقومی برگشتی یک پارامتره، دو پارامتره و روش لینه و هالک، نتایج حاصل از داده های روزانه کل دوره و فصل خشک، در جدول (۲) ارائه شد. نمونه ای تصویری از نحوه تفکیک هیدروگراف در روش های فوق الذکر در شکل (۲) نمایش داده شده است. تغییرات میانگین سالیانه شاخص جریان پایه در ایستگاه مورد پژوهش که با استفاده از داده های روزانه و ماه (خشک) و به روش های مختلف تفکیک شده است در شکل (۳) ارائه شده است.

جدول ۲- خلاصه ای از نتایج تحلیل آماری ایستگاه دیشام (پاشاکی)

روش	Fixed	Fixed	Sliding	Sliding	Local	Local	Rdf-One	Rdf-One	Rdf-Two	Rdf-Two	B-Flow	B-Flow
گام زمانی	فصلی	روزانه	فصلی	روزانه	فصلی	روزانه	فصلی	روزانه	فصلی	روزانه	فصلی	روزانه
Mean	.65	.73	.65	.79	.28	.59	.62	.70	.86	.75	.77	.90
Std.	.367	.296	.367	.247	.330	.321	.312	.275	.181	.302	.496	.221
Skewnes	-.450	-.892	-.450	-1.076	-1.199	1.360	.143	-.405	-1.015	-.820	-7.432	-2.259
SE. Skewnes	.213	.041	.213	.041	.041	.237	.041	.041	.212	.041	.212	.041
RMSE		0.007		0.012		0.027		0.007		0.0096		0.011
MAE		0.061		0.001		0.002		0.061		0.0008		0.001
خطای نسبی	%۱۰		%۱۷		%۵۲		%۱۱		%۱۲		%۱۴	



شکل ۲- تغییرات میانگین سالیانه شاخص جریان پایه در ایستگاه دیشام



شکل (۳) نمایش گرافیکی روش های مختلف تفکیک جریان پایه از داده های روزانه در بخشی از دوره مطالعه

### بحث و نتیجه گیری

با توجه به این که مقدار واقعی جریان پایه و شاخص مربوطه ناشناخته است، بدون واسنجی با مقادیر اندازه گیری شده نمی توان گفت، کدام روش مناسب ترین برآورد را دارد. لذا به دلیل عدم دسترسی به داده های اندازه گیری شده، در این پژوهش از معیارهای مختلف آماری برای مقایسه نتایج مستخرج از روش های مختلف با استفاده از داده های روزانه و ماهه خشک سال استفاده شد. شاخص جریان پایه از روش های مختلف، استخراج و میانگین سالیانه آن ها محاسبه و به طور جداگانه ارائه شده است. همان طور که از مندرجات جدول، قابل دریافت است، قسمت اعظم جریان رودخانه ها در منطقه مورد پژوهش مربوط به جریان پایه است و میانگین سالیانه شاخص مربوطه در کل دوره از روش های مختلف، با استفاده از داده های روزانه بین حداقل ۰/۵۹ و حداکثر ۰/۹۰ نوسان دارد که به ترتیب متعلق به روش حداقل محلی و روش لینه و هالک است. حداقل مقدار برآوردی با استفاده از داده های ماه خشک سال به میزان ۰/۲۸ برآورد شده است که به روش حداقل محلی تعلق دارد و حداکثر آن نیز با مقدار ۰/۸۶ به روش فیلتر رقومی برگشتی دوپارامتره مربوط است. این مقدار نشان دهنده مشارکت بالای آب های زیرسطحی در تامین جریان رودخانه می باشد. همچنین نشان دهنده یک آستانه حداقلی و حداکثری برای شاخص جریان پایه در منطقه پژوهش است. بدین معنی که با فرض عدم اعتماد به نتایج یک روش، می توان میانگین سالیانه طولانی مدت حداقل و حداکثر به دست آمده از چند روش را نیز به عنوان مقادیر با قابلیت اعتماد بیشتر برای مطالعات منابع آب



در نظر گرفت. مقادیر بالای مشخصه های حوزه های آبخیز که می توانند بر روی جریان پایه و شاخص مربوطه تأثیر بگذارند (جدول ۱)، مانند تراکم زهکشی، پوشش گیاهی، بارش و سایر مؤلفه های فیزیوگرافی مؤید مقدار بالای شاخص مورد نظر است. این ارتباط در تطابق با نتایج منتشر شده، توسط (Santhi و همکاران، ۲۰۰۸). (Bloomfield و همکاران، ۲۰۰۹) می باشد. تغییرات مقادیر حاصله از روش های مختلف، از یک روند مشابه پیروی کرد و فراز و فرودهای تقریباً مشابه را تجربه کردند، شکل (۲). این تطابق روندها می تواند نشان دهنده تشابه مبانی روش های مختلف و استقلال این روش ها از ماهیت جریان باشد. همچنین قابلیت اعتماد به نتایج کلی این روش ها را مستقل از میزان آن نشان می دهد. بدین معنی که مقادیر مستخرج از کلیه روش های مورد پژوهش، صرف نظر از برآورد کمتر یا بیشتر از حد تا حدود زیادی می تواند نماینده جریان واقعی باشد. با توجه به اینکه مبانی الگوریتم سه روش ساده فیلترینگ شامل، فواصل ثابت، حداقل محلی و فواصل متحرک از یک سو و سه روش فیلترینگ رقومی برگشتی تک پارامتره، دو پارامتره و لینه و هالک، دارای تشابه هستند، از این رو مقایسه تمام روش ها با همدیگر فاقد منطق علمی است. لذا برای احتراز از نتیجه گیری غیرمنطقی، نتایج معیار های مختلف آماری را به طور جداگانه برای این دو گروه مقایسه می کنیم. همان طور که از جدول (۲) قابل دریافت است، میانگین سالیانه شاخص جریان پایه به روش حداقل محلی و با استفاده از داده های روزانه به میزان ۰/۶۵ برآورد شده است که دارای انحراف معیاری برابر با ۰/۲۹۵ می باشد. میانگین همین شاخص با استفاده از داده های ماه خشک سال دارای کم برآوردی بسیاری است و مقدار ۰/۳۱ را به نمایش گذاشته است، ولی انحراف معیار آن با انحراف معیار مربوط به داده های روزانه تقریباً برابر است. همین روند در خصوص روش فواصل متحرک و فواصل ثابت نیز دقیقاً تکرار شده است. بدین صورت که در این دو روش اخیر نیز مقادیر مستخرج از داده های ماه خشک سال کمتر از مقادیر مربوط به داده های روزانه است، ولی انحراف معیار داده های ماه خشک کمی بیشتر از انحراف معیار داده های روزانه است. آماره میانگین مطلق خطا در روش های سه گانه فوق بسیار کم و در یک محدوده ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۲ است و همچنین میزان ریشه میانگین مربعات خطا در حد قابل قبول ۰/۰۱ تا ۰/۰۲ می باشد. حداقل خطای نسبی در این دسته به روش فواصل ثابت با ۱۰ درصد خطا تعلق گرفته است و حداکثر آن به روش حداقل محلی مربوط می شود. روش های فیلترینگ رقومی برگشتی تک پارامتره، دو پارامتره و لینه و هالک به دلیل ماهیت عملکرد الگوریتم مربوطه که مبتنی بر تحلیل، پردازش و فیلتر کردن رواناب سطحی (سیگنال های با فراوانی بالا) از جریان پایه (سیگنال های با فراوانی پایین) است با همدیگر قابل مقایسه هستند. همانطور که از جدول (۲) مشخص است میانگین سالیانه شاخص جریان پایه با استفاده از داده های ماه خشک سال در این سه روش، مقادیر کم برآوردی را نسبت به داده های روزانه نشان می دهد. انحراف معیار داده های ماه خشک در دو روش تک-پارامتره و لینه و هالک از روش روزانه برای کل دوره بیشتر است، ولی این مورد در خصوص روش دوپارامتره صدق نمی کند. میانگین مطلق خطا و ریشه میانگین مربعات خطا نیز در حد قابل قبول است و به طور مقایسه ای این آماره برای روش تک پارامتره کمتر است. حداقل خطای نسبی این سه روش، به روش تک پارامتره با ۱۱ درصد خطا و حداکثر آن به روش لینه و هالک با ۱۴ درصد خطا تعلق دارد. از منظر چولگی داده ها، مقدار مشاهده شده برای تمام روش ها به استثناء روش لینه و هالک در محدوده (۲، ۲-) قرار دارد. این بدین معنی است که از لحاظ چولگی متغییر شاخص جریان پایه در روش های ذکر شده نرمال بوده و از توزیع متقارن برخوردار است. البته داده های مربوط به روش لینه و هالک به دلیل اینکه مقدار چولگی آن خارج از بازه (۲، ۲-) قرار دارد از توزیع نرمال برخوردار نیست. برای اطمینان از توزیع نرمال داده ها، پس از بررسی چولگی توزیع داده ها، آزمون کولموگراف-اسمیرنوف در سطح ۵ درصد انجام و نتایج نشان داد که به استثناء روش لینه و هالک بقیه روش ها به علت اینکه آماره این آزمون در خصوص آن ها بزرگتر از ۰/۰۵ است، نشان دهنده نرمال بودن توزیع داده می باشد. در جمع بندی کلی نتایج، با در نظر گرفتن مقادیر آماره انحراف معیار، میانگین مطلق خطا، ریشه میانگین مربعات خطا، خطای نسبی، نحوه چولگی و نتایج آزمون کولموگراف-اسمیرنوف، از میان روش های ساده فیلترینگ، روش فواصل ثابت و از میان روش های فیلترهای رقومی برگشتی، روش تک پارامتره به دلیل خطای نسبی کم، میانگین مطلق خطای کم و ریشه میانگین مربعات خطای کمتر به عنوان روش مناسب برای استخراج جریان پایه، پیشنهاد می شود.



منابع:

- Abraham, A., Nath, B., 2001. Hybrid intelligent systems de-sign. Technical Report, Monash University, Australia.
- Bloomfield, J.P., Allen, D.J., Griffiths, K.J. 2009. Examining geological controls on base flow Index (BFI) using regression analysis: An illustration from the Thames Basin, UK. *Journal of Hydrology*, 373: (1-2). 164-176.
- Brodie, R. S., Hostetler, S. 2005. A review of techniques for analyzing base-flow from stream hydrographs. The NZHS-IAH-NZSSS, conference, 28 November–2 December, Auckland, New Zealand.
- Chapman, T.G., Maxwell, A.I. 1996. Base flow separation-comparison of numerical methods with tracer experiments. *Hydrological and Water Resources Symposium*, Institution of Engineers Australia, Hobart, 539–545.
- Eckhardt, K. 2008. A comparison of base flow indices, which were calculated with seven different base flow separation methods. *Journal of Hydrology*. 352:168– 173.
- Kazemi, R and Ghermez-cheshmeh. 2016. Investigation of different base flow separation methods using flow duration indices (Case study: Khazar region), *J. of Water and Soil Conservation*, Vol. 23(2). 131-146. (In Persian)
- Lee, J., Kim, J., Jang, W. S., Lim, K. J., & Engel, B. A. (2018). Assessment of Baseflow Estimates Considering Recession Characteristics in SWAT. *Water*, 10(4), 371.
- Meshgi, A., Schmitter, P., Vladan, B, and May Chui, T.F. 2014. An empirical method for approximating stream base flow time series using groundwater table fluctuations. *Journal of Hydrology*. 519: 1031-1041.
- Nathan, R.J., and McMahon, T.A. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Journal of Water Resources Research*. 26: 7. 1465-1473.
- Nathan, R.J., McMahon, T.A. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Journal of Water Resources Research*, 26: 7. 1465-1473.
- Peters, E., and Van Lanen, H.A.J. 2005. Separation of base flow from stream flow using groundwater levels-illustrated for the Pang catchment (UK). *Journal of Hydrological Processes*. 19: 921-936.
- Santhi, C., Allen, P.M., Muttiah, R.S., Arnold, J.G., Tuppad, P. 2008. Regional estimation of base flow for the conterminous United States by hydrologic landscape regions. *Journal of Hydrology*. 351:139– 153.
- Smakhtin, V.Y. 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*. 240: 147-186.
- Smakhtin, V.Y. 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*. 240: 147-186.
- Stewart, M. Cimino, J. Ross, M., 2007. Calibration of baseflow separation methods with stream flow conductivity. *Ground water*. 45:1. 17-27.
- Stewart, M., Cimino, J., and Ross, M. 2007. Calibration of baseflow separation methods with stream flow conductivity. *Ground water*. 45: 1. 17-27.
- Tallaksen, L.M. 1995. A review of base flow recession analysis. *Journal of Hydrology*. 165: 1–4. 349-370.
- Vahidiyan, k., Tareghiyani, H. 2009. *An Introduction of Fuzzy Logic for Practical Applications*, University Ferdowsi of Mashhad Press, 220p. (In Persian)
- Zhang, J., Zhang, Y., Song, J., & Cheng, L. (2017). Evaluating relative merits of four baseflow separation methods in Eastern Australia. *Journal of hydrology*, 549, 252-263.