

## برآورد شاخص جریان پایه رودخانه نرماب به منظور ارزیابی خطر خشکسالی

سیدرضا حسینی دوکی<sup>۱\*</sup>، سید مرتضی سیدیان<sup>۲</sup>، حامد روحانی<sup>۳</sup>، معصومه فراستی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آب‌خیزداری، دانشگاه گنبد کاووس، (seyedreza.hosseiniidoki@gmail.com)

۲- استادیار گروه آب‌خیزداری، دانشگاه گنبد کاووس، (s.m.seyedian@gmail.com)

۳- استادیار گروه آب‌خیزداری، دانشگاه گنبد کاووس، (rouhani.hamed@yahoo.com)

۴- استادیار گروه آب‌خیزداری، دانشگاه گنبد کاووس، (farasati2760@gmail.com)

### چکیده

شاخص جریان پایه یک نسبت بدون بعد است که از تقسیم حجم جریان پایه بر حجم کل روان آب برای هر سال و یا برای کل دوره‌ی مشاهدات به دست می‌آید. مقدار زیاد این شاخص به این معنا است که حوضه رژیم جریان پایدار دارد و در طول دوره خشکی قادر به حفظ جریان رودخانه است. خشکسالی‌های اخیر، افزایش تعداد و تخلیه چاه‌ها و برداشت بیش از حد مجاز از سفره‌های آب زیرزمینی باعث کاهش دبی پایه رودخانه نرماب به ویژه در بالادست حوزه بوده است. جریان پایه جزئی از جریان رودخانه بوده که با آب تخلیه شده از ذخیره آب زیرزمینی مرتبط است. جداسازی اجزای جریان پایه در ارزیابی کیفیت آب و کمیت جریان مفید بوده و می‌تواند برای واسنجی و اعتبار سنجی مدل‌های هیدرولوژی به کار رود. بنابراین اطلاع از میزان شاخص جریان پایه در برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع آب و مدیریت خشکسالی نقش بسزایی دارد. روش‌های زیادی برای تفکیک جریان پایه از هیدروگراف جریان وجود دارد که در این مقاله از روش فیلتر رقومی دوپارامتره اکهارت با توجه به آورد روزانه ایستگاه هیدرومتری جنگلده در یک دوره آماری ۲۰ ساله استفاده گردید. با توجه به سازندهای زمین شناسی پارامتر  $BFI_{max}$  منطقه برابر با ۰/۶۳ و منحنی خشکیدگی منطقه مورد مطالعه نیز برابر با ۰/۷۲ تعیین گردید. ضمن اینکه میانگین سالیانه شاخص جریان پایه برابر با ۰/۶۰ بدست آمد که نشان دهنده سهم بالای آب‌های زیر سطحی در سطح جریان است.

واژه‌های کلیدی: شاخص جریان پایه، فیلتر رقومی اکهارت، نرماب

## مقدمه

اطلاع از میزان جریان پایه در دسترس و شاخص مربوطه، به عنوان سهم مشارکت آب‌های زیرسطحی در جریان‌های سطحی، برای توسعه استراتژی مدیریت کیفی و کمی منابع آب، مورد نیاز است. برآورد میزان مشارکت آب‌های زیرسطحی در آب‌های سطحی در یک حوزه آبخیز برای فعالیت‌های گسترده‌ای از جمله برنامه‌ریزی زمان‌های کم‌آبی و خشکسالی، بررسی وضعیت اکوسیستم، برنامه‌ریزی نیازمندی‌های آب شرب، مباحث آلودگی آب رودخانه و چگونگی پخش آلودگی از این طریق مورد نیاز است [۵].

مشخصه‌های هیدرولوژیکی حوضه‌ها مانند جریان پایه، به وسیله پارامترهای فیزیکی مختلف، قابل برآورد است (ناتان و مک ماهان، ۱۹۹۰) [۱۶]. مشخصه‌های فیزیکی عمدتاً، شامل پارامترهای فیزیوگرافی بوده و ممکن است پارامترهای زمین‌شناسی نیز از دیدگاه هیدروژئولوژی مورد استفاده قرار گیرد. در این میان یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های هیدروژئولوژیکی که در پژوهش‌های مختلف بر آن تاکید شده، شاخص جریان پایه (BFI) است [۴]. نوع سازندهای زمین‌شناسی و میزان نفوذپذیری آن و شکل منحنی خشکیدگی تاثیر زیادی بر جریان پایه و شاخص مربوط به آن دارد. منحنی خشکیدگی رابطه بین دبی و بزرگی آن را نشان می‌دهد. شکل منحنی خشکیدگی جریان بیانگر ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوزه آبخیز است، منحنی خشکیدگی جریان یکی از روش‌های ارزنده و دارای اطلاعات مفید است که تمامی دبی‌های رودخانه اعم از کم و جریان سیلابی را نمایش می‌دهد [۲].

بر اساس نتایج مطالعات McGuire و همکاران (۲۰۰۵) مناطقی که پوشیده از سنگ‌های نفوذپذیر و قابل انحلال است و یا دارای سیستم درز و شکاف زیاد می‌باشد، ارتباط آب‌های زیرزمینی و سطحی بسیار مهم است. در مقابل، مناطقی که پوشیده از سنگ بستر بلورین یا توده‌ای با حداقل شکستگی است، نمی‌تواند مقدار قابل ملاحظه‌ای ذخیره آب داشته باشد و ارتباط آب‌های زیرزمینی، با آب‌های سطحی بسیار ضعیف است [۱۵].

از نظر Delinom (۲۰۰۹) علاوه بر سنگ بستر ساختارهای زمین‌شناسی نیز اهمیت زیادی در هیدرولوژی جریان پایه دارد [۱۱].

نتایج پژوهش Arnott و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که مناطق محصور بین واحدهای زمین‌شناسی، مناطق مهمی از نظر ارتباط بین آب‌های سطحی و زیرزمینی هستند. از نظر این محققین زمین‌شناسی حوضه یک اثر غیرمستقیم بر روی جریان پایه دارد و آن تأثیر بر روی شبکه هیدروگرافی است، زیرا در حوضه‌هایی که ساختار تکتونیکی داشته باشند، شبکه آبراه‌ای از این ساختارها تبعیت میکند [۷].

روش‌های متعددی برای جداسازی جریان پایه از جریان رودخانه توسعه یافته وجود دارد که به روش‌های گرافیکی، فیلترینگ و روش‌های مبتنی بر ردیاب‌های شیمیایی قابل طبقه‌بندی است (Brodie و Hostetle, 2005) [۸].

جداسازی جریان پایه به روش گرافیکی اغلب زمان‌بر و غیردقیق است و نتایج به دست آمده توسط متخصصین مختلف یکسان نمی‌باشد. روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها، دقیق و قابل اعتماد است ولی زمان‌بر و مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی می‌باشد. روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های رقومی و فیلترینگ، علاوه بر سهولت و قابلیت تشخیص مناسب در تعیین دبی پایه، حساسیت بالایی نسبت به پارامترها دارد. همچنین، به دلیل قابلیت اتوماتیک کردن، مشکلات ناشی از عدم هم‌خوانی نتایج تا حدودی برطرف شده است. به دلیل پیچیدگی و نامشخص بودن میزان واقعی مشارکت دبی پایه در رواناب و همچنین، هزینه‌بر بودن روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها، محققین بسیاری نسبت به ارزیابی و مقایسه روش‌های مختلف تفکیک هیدروگراف جریان اقدام نموده‌اند و الگوریتم‌های رقومی مختلفی را پیشنهاد داده‌اند. در این پژوهش از روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره اکهارت برای استخراج شاخص جریان پایه استفاده شده است.

از جمله روش‌های فیلترینگ تفکیک جریان می‌توان به الگوریتم‌های رقومی زیر اشاره کرد.

**فیلتر رقومی برگشتی لینه و هالیک (B-Flow)**

الگوریتم معرفی شده با رابطه ۱ به وسیله لینه و هالیک (۱۹۷۹) معرفی شده که قابلیت عبور سه باره از داده‌های جریان را دارد و چند بار عبور از داده‌های جریان باعث پایین آوردن جریان پایه می‌شود و به استفاده کننده قابلیت انعطاف پذیری در جدایش دقیق‌تر دبی پایه را می‌دهد [۱۴]. ناتان و مک ماهان در تحقیقی که انجام دادند بیشترین نتایج قابل قبول در این روش را زمانی دانستند که پارامتر فیلتر در دامنه  $0/90 - 0/95$  تغییر کند که مقدار متوسط آن  $0/925$  است [۱۶]. اسماختین و واتکینز دریافتند که مقادیر پارامتر فیلتر بهینه به طور نرمال بین  $0/985$  تا  $0/995$  در نوسان است و توصیه کردند که مقدار  $0/995$  برای جداسازی جریان پایه‌ی روزانه مناسب است [۱۷].

$$q_f(i) = aq_f(i-1) + (q(i) - q(i-1)) \frac{1+a}{2} \quad (1)$$

که در آن،  $q_f(i) \geq 0$ ، 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 می‌باشد.

#### فیلتر رقومی برگشتی Chapman

چاپمن در سال (۱۹۹۱) با بررسی فیلتر رقومی لین و هالیک تعیین کرد که این روش با تئوری فرود متداول ناسازگار است؛ به این دلیل که در مواقعی که جریان سطحی وجود نداشته باشد جریان پایه‌ی پیش‌بینی شده ثابت است. بنابراین روش لین و هالیک را با یک فیلتر واقعی‌تر در رابطه ۲ از لحاظ فیزیکی اصلاح کرد. که بر اساس مدل مخزن خطی تفسیر شده است [۱۰].

$$q_f(i) = \frac{3a-1}{3-a} q_f(i-1) + \frac{2}{3-a} (q(i) - aq(i-1)) \quad (2)$$

که در آن  $q_b = q - q_f$  جریان پایه،  $q_f(i)$  رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی  $i$ ،  $q(i)$  جریان کل در مرحله زمانی  $i$ ،  $q_f(i-1)$  رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی  $i-1$ ،  $q(i-1)$  جریان کل در مرحله زمانی  $i-1$  و  $\alpha$  پارامتر فیلتر مرتبط با حوزه می‌باشد.

#### فیلتر رقومی برگشتی تک پارامتره (One-parameter)

این روش نخستین بار توسط چاپمن و ماکسول در سال (۱۹۹۶) با بررسی فیلتر رقومی لین و هالیک و فیلتر رقومی چاپمن یک فرمول جدیدی با رابطه ۳ را پیشنهاد دادند. روش فیلتر رقومی برگشتی تک پارامتره برای تحلیل، پردازش و فیلتر کردن رواناب سطحی (سیگنال‌های با فراوانی بالا) از جریان پایه (سیگنال‌های با فراوانی پایین) معرفی شده است، [۹].

$$q_b(i) = \frac{K}{2-K} q_b(i-1) + \frac{1-K}{2-K} q(i) \quad (3)$$

به شرط  $q_b(i) \leq q(i)$ ، که در آن،  $K$  پارامتر فیلتر،  $q_b(i-1)$  جریان پایه فیلتر شده برای زمان قبل از  $i$ ،  $q(i)$  جریان اصلی رودخانه برای زمان  $i$  و  $q_b(i)$  جریان پایه فیلتر شده، برای زمان  $i$  است.

#### فیلتر میانگین متحرک وزنی نمایی (EWMA)

مدل میانگین متحرک وزنی نمایی، یک مدل ساده است که برای هر دوره‌ی زمانی  $i$ ، جریان پایه  $q_b(i)$  را از یک مجموعه سری زمانی با رابطه ۴ بدست می‌آید که  $q_b(i-1)$  جریان پایه برای زمان قبل از  $i$ ،  $q(i)$  جریان اصلی رودخانه برای زمان  $i$  و  $\alpha$  ثابت فیلتر می‌باشد.

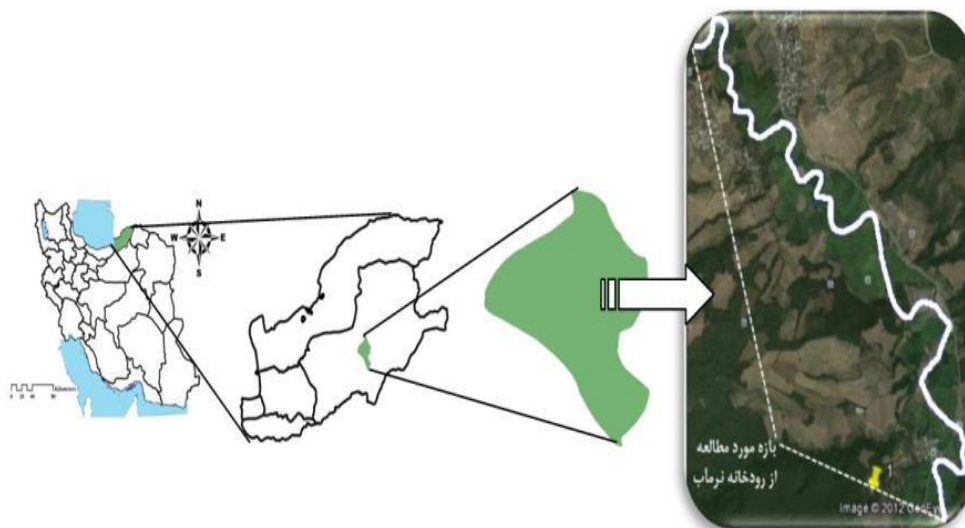
$$q_b(i) = aq(i) + (1 - a)q_b(i-1) \quad (4)$$

هدف اصلی در این پژوهش برآورد شاخص جریان پایه، از تفکیک جریان به روش فیلتر رقومی دوپارامتره اکهارت است. بدین منظور سازندهای زمین شناسی و منحنی خشکیدگی منطقه که در پارامترهای روش اکهارت مورد نیاز است، مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روشها

### منطقه مطالعاتی

استان گلستان که در محدوده جغرافیایی ۵۴ درجه تا ۵۶ درجه طول شرقی و ۳۶/۳۰ تا ۳۸/۱۵ درجه عرض شمالی و در بین استانهای مازندران، سمنان و خراسان شمالی قرار دارد به دلیل جایگاه جغرافیایی ویژه خود از آب و هوای گوناگونی برخوردار است. مجموع حجم آبهای سطحی و زیرزمینی این استان بیش از ۲۴۰۰ میلیون متر مکعب است که ۵۲ درصد آن را آبهای سطحی و ۴۸ درصد آن را آبهای زیرزمینی تشکیل می‌دهند. آبهای سطحی در بیش از ۴۰ شاخه رود جاری هستند که بیشتر آنها از جنوب به شمال و از شرق به غرب جریان دارند. نرماب یکی از مهمترین رودخانه‌های واقع در این استان می‌باشد که در قسمت غربی حوزه رودخانه چلی‌چای واقع گردیده و از نواحی کوهستانی - جنگلی جنوب حوزه گرگانود سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه پس از عبور از کنار روستاهای مبارک آباد، محمد زمان خان، پس پشته و جنگله به ایستگاه آبنجی جنگله میرسد. رودخانه نرماب پس از عبور از روستای جنگله در ادامه مسیر خود از روستاهای آرام نرو بالا، آرام نرو پایین و محمد آباد عبور کرده و در نهایت به رودخانه چلی‌چای در خروجی شهر مینودشت می‌پیوندد. این رودخانه دائمی است و حوضه آبریز آن عمدتاً کوهستانی بوده و حدود ۲۱۰ کیلومتر مربع وسعت دارد. شکل ۱ موقعیت رودخانه نرماب و جدول ۱ مشخصات دبی جریان ایستگاه جنگله را نشان می‌دهد.



شکل ۱ - موقعیت رودخانه نرماب واقع در استان گلستان

جدول ۱- مشخصات ایستگاه هیدرومتری منطقه مورد مطالعه

نسبت هیدرولوژیکی Q90/Q50	انحراف استاندارد دبی جریان	متوسط دبی جریان (m3/s)	ارتفاع (m)	مختصات متریک		کد ایستگاه	ایستگاه	رودخانه	حوزه آبخیز
				X	X				
۰/۲۵	۵/۰۶	۱/۵۴	۱۸۰	۴۱۱۴۶۳۶	۳۵۳۵۰۵	۱۲-۰۱۵	جنگلده	نرمام	گرگانرود

## روش کار

در این مطالعه از داده‌های دبی روزانه در دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۷۵-۱۳۹۴) استفاده گردید. با استخراج سازندهای زمین شناسی منطقه مورد مطالعه از روی نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین شناسی در محیط GIS و تعیین نفوذپذیری هریک از سازندها و تعیین منحنی خشکیدگی منطقه مورد مطالعه ، تفکیک جریان کلی رودخانه به روش فیلتر رقومی دوپارامتره اکهارت پرداخته شد و شاخص جریان پایه مربوط منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید.

## شاخص جریان پایه (Base Flow Index, BFI)

شاخص دبی پایه (BFI) یک نسبت بدون بعدی است که به وسیله انستیتوی هیدرولوژی (۱۹۸۰) تعریف شد. این شاخص از داده‌های روزانه جریان رودخانه‌ای محاسبه می‌شود. برای محاسبه BFI ابتدا دبی پایه از روان آب سطحی تفکیک می‌شود. سپس، از تقسیم حجم دبی پایه بر حجم کل روان آب برای هر سال و یا برای کل دوره‌ی مشاهدات به دست می‌آید. شاخص BFI به صورت پارامتری مؤثری در مدل سازی بارش روان آب به کار می‌رود. همچنین، این شاخص را می‌توان به عنوان مشخصه یک حوضه برای مقایسه خصوصیات جریان در حوضه‌های مختلف به کار برد. شاخص BFI به طور کلی بیانگر این مطلب است که چه درصدی از دبی پایه در تشکیل روان آب مشارکت دارد [۱۶]. شاخص جریان پایه به عنوان توصیفی رضایت بخش در مطالعه‌ی جریان‌های کم انجام شده است. شاخص جریان پایه عموماً وابستگی زیادی به خصوصیات هیدرولوژیکی خاک، زمین‌شناسی و سایر ویژگی‌های مرتبط با ذخیره سازی دارد [۱۳ و ۱۴].

## منحنی خشکیدگی (Recession Curve, RC)

یکی از روش‌هایی که به عنوان مبنا برای بررسی دقت روش‌های مختلف تعیین دبی پایه مورد استفاده قرار می‌گیرد روش منحنی خشکیدگی است. این روش بر اساس تحلیل سری زمانی جریان رودخانه و تعیین مولفه‌های آن استوار است. این روش نتیجه قابل قبولی می‌دهد اما از مشکلات آن، سختی کار، صرف وقت زیاد، مشکلات اجرایی و تعداد بسیار زیاد سیلاب‌های رخ داده در سال است (قنبرپور و همکاران، ۱۳۸۷) [۳]. همچنین روش‌هایی به منظور میانگین‌گیری یا ترکیب شاخه‌های خشکیدگی مجزا به منظور یافتن افت جریان پایه مبنا در یک حوضه وجود دارد که می‌توان به روش منحنی افت اصلی (Master Recession Curve, MRC) اشاره کرد (تیموری، ۱۳۹۳) [۱]. برای تعیین ضریب خشکیدگی مرتبط با حوزه می‌توان به صورت رابطه‌های ۵ و ۶ عمل کرد.

$$Q_t = Q_0 e^{-at} \quad (5)$$

$$K = \exp(-a) \quad (6)$$

که  $Q_t$  دبی در زمان  $t$ ،  $Q_0$  دبی اولیه،  $a$  ثابت خشکیدگی و  $K$  ضریب خشکیدگی مرتبط با حوزه است.

### فیلتر رقومی برگشتی دوپارامتره Eckhardt

این روش اولین بار توسط اکهارت (۲۰۰۵) ارائه گردید [۱۲]. بر اساس رابطه ۷ برای تجزیه هیدروگراف به جریان پایه نیاز به تعیین ضریب فروکش ( $a$ ) و ماکزیمم شاخص جریان پایه ( $BFI_{max}$ ) است.

$$q_{b(i)} = \frac{(1 - aBFI_{max})ab_{(i-1)} + (1 - a)BFI_{max}q(i)}{1 - aBFI_{max}} \quad (7)$$

به شرط  $q_{b(i)} \leq q(i)$ ، که در آن،  $\alpha$  پارامتر فیلتر مرتبط با حوزه آبخیز، 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  $i$  و  $q_{b(i)}$  جریان پایه فیلتر شده، برای زمان  $i$  و  $BFI_{max}$  ماکزیمم شاخص جریان پایه، است.

در این روش نیاز است تا دو پارامتر  $BFI_{max}$  و  $a$  تعیین گردد. بر اساس مطالعات اکهارت (۲۰۰۵) مقادیر  $BFI_{max}$  برای رودخانه‌های دائمی با حوزه آبخیز نفوذپذیر برابر  $0/8$  و برای رودخانه‌های فصلی با حوزه آبخیز نفوذپذیر برابر  $0/5$  و برای رودخانه‌های دائمی با حوزه آبخیز سخت و سنگی برابر  $0/25$  را ارائه نمود [۱۲]. با تهیه نقشه زمین شناسی  $1:250000$  حوزه‌های مورد مطالعه در محیط GIS و تعیین نوع سازند و سنگ‌های تشکیل دهنده سازندها و تعیین نفوذپذیری هر یک از سازندها و سنگ‌های تشکیل دهنده و کلاس بندی کردن براساس هرم شماتیک نفوذپذیری سنگ‌ها با اقتباس از فیض‌نیا (۱۳۸۰) میزان نفوذپذیری هر یک از سازندها برآورد شد [۶]. سپس  $BFI_{max}$  به صورت رابطه ۸ برای حوزه تعیین گردید. در فیلتر رقومی اکهارت مقدار  $BFI$  بالاتر از  $0/8$  نمی‌تواند محاسبه شود، چرا که در این روش ماکزیمم  $BFI$  برابر با  $0/8$  در نظر گرفته شد.

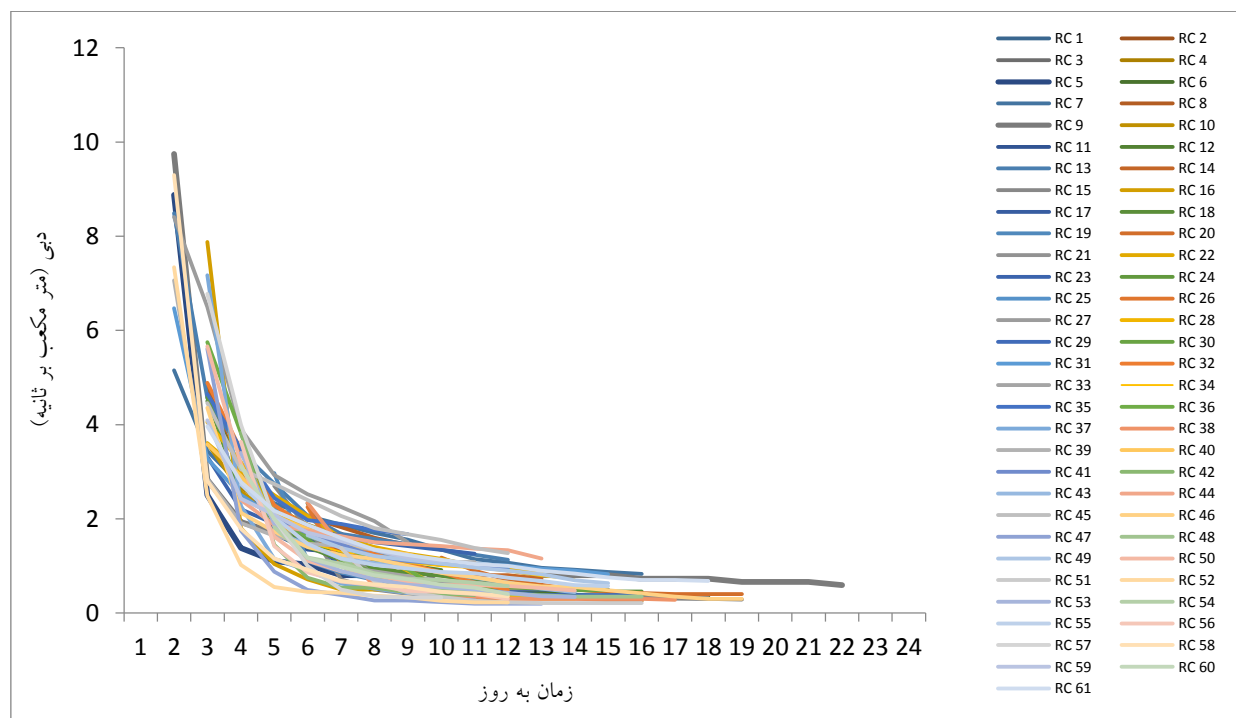
$$BFI_{max} = \sum_{i=1}^n A_i * C_i \quad (8)$$

در این رابطه  $A_i$  مساحت سازند به صورت درصدی از مساحت کل برای سازند  $i$ ،  $C_i$  ضریب نفوذپذیری مربوط به سازند  $i$  و  $BFI_{max}$  پارامتر مربوط به روش فیلتر رقومی اکهارت می‌باشد.

### نتایج و بحث

در این پژوهش برای تفکیک دبی جریان به رواناب مستقیم و جریان پایه از روش فیلتررقومی اکهارت صورت گردید. به این منظور از آورد روزانه ایستگاه هیدرومتری جنگله در یک دوره ۳۴ ساله از سال ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۳ استفاده گردید. در تفکیک جریان پایه به روش اکهارت نیاز به دو پارامتر  $\alpha$  (پارامتر فیلتر مرتبط با حوزه آبخیز) و  $BFI_{max}$  (ماکزیمم شاخص جریان پایه) است. برای

تعیین پارامتر فیلتر مرتبط با حوزه ابتدا منحنی خشکیدگی اصلی مربوط به حوزه تعیین گردید. شکل ۲ منحنی خشکیدگی اصلی مربوط به ایستگاه جنگلده را نشان می‌دهد و با توجه به رابطه ۵ و شیب منحنی پوش، مقدار  $\alpha$  (ثابت خشکیدگی) تعیین گردید و با جایگزاری ضریب  $\alpha$  در رابطه ۶ مقدار پارامتر  $k$  (ضریب خشکیدگی مرتبط با حوزه که همان پارامتر  $\alpha$  در روش اکهارت می‌باشد) تعیین گردید. که این مقدار در منطقه مورد مطالعه برابر با ۰/۷۲ است.



شکل ۲- منحنی خشکیدگی اصلی (MRC) مربوط به ایستگاه جنگلده

برای تعیین ماکزیمم شاخص جریان پایه ( $BFI_{max}$ ) مربوط به روش اکهارت نیاز به میزان نفوذپذیری سازندهای منطقه مورد مطالعه است. (Eckhardt, 2005) ماکزیمم شاخص جریان پایه را برای رودخانه‌های دائمی با حوزه آبخیز غیر قابل نفوذ و نفوذ پذیر ۰/۸ و ۰/۲۵ تعیین نمود. برای تعیین میزان نفوذپذیری سازندها، نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه تعیین گردید. بدین ترتیب براساس راهنمای تراوایی سازندها و هرم شماتیک نفوذپذیری واحدهای سنگ شناسی در دوران‌ها و دوره‌های مختلف زمین شناسی (فیض نیا، ۱۳۸۰) و با توجه به نقشه زمین شناسی حوضه، تراوایی واحدهای سنگ شناسی در پنج کلاس (A,B,C,D,E) به صورت جدول ۲ طبقه بندی گردید [۶]. با توجه به دائمی بودن رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه و همچنین تعیین ضریب نفوذپذیری هر یک از سازندها و مساحت تشکیل دهنده هر سازند بر اساس رابطه ۸ مقدار  $BFI_{max}$  در روش اکهارت در منطقه مورد مطالعه تعیین گردید که این مقدار برابر با ۰/۶۳ می‌باشد.



جدول ۲- مشخصات زمین شناسی مربوط به منطقه مورد مطالعه

کلاس	سازند	مساحت به مترمربع	سنگ‌های تشکیل دهنده سازند	نفوذپذیری	ضریب نفوذپذیری
A	Qm	157290574.42	پهنه گلی، کویر، دریاچه فصلی	خیلی زیاد	۰/۸
	Qs	87354594.73	اشکال مختلف تپه‌های شنی		
	Qt1	80513862.79	پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های قدیمی		
B	Dkh	24080015.47	سنگ آهک نازک تا ضخیم، لایه فسیل‌دار (خوش بیلاق)	زیاد	۰/۶۶
	Js	348652517.22	ماسه سنگ، دولومیت (سازند پاها)		
C	Cm	41108141.00	سنگ آهک فسیل‌دار با شیل‌های خاکستری تیره (سازند مبارک)	متوسط	۰/۵۲
	Dp	8195375.73	ماسه سنگ، دولومیت (سازند پاها)		
	Jkc	11216544.66	کنگلومرا با قلوه‌های سیلیسی		
	Js	348652517.22	شیل، ماسه سنگ، فورس سنگ همراه با عدسی‌های زغال سنگ (سازند شمشک)		
	Kab-ad	10451855.70	شیل و سیلتستون آهکی (سازند آب تلخ)		
	Pd	36155268.43	سنگ آهک پیزولیتی و فسیل‌دار و ماسه سنگ قرمز (سازند درود)		
	Plqc	48886748.98	کنگلومرا		

پس از تعیین پارامتر  $\alpha$  و ماکزیمم شاخص دبی پایه ( $BFI_{max}$ ) در منطقه مورد مطالعه، تفکیک جریان پایه به روش فیلتر برگشتی اکهارت صورت گرفت که در جدول ۳ خصوصیات آماری شاخص دبی پایه بدست آمده توسط روش فیلتر برگشتی اکهارت مربوط به ایستگاه مورد مطالعه نشان داده شده است. با توجه به جدول، میانگین سالیانه شاخص جریان پایه نشان دهنده این است که ۶۰ درصد جریان سطحی را آب‌های زیر سطحی تشکیل می‌دهد.

جدول ۳- خصوصیات آماری سالیانه شاخص جریان پایه مربوط به روش اکهارت در ایستگاه جنگله

انحراف استاندارد	میانگین	Max	Min
۰/۰۴	۰/۶۰	۰/۶۵	۰/۵۰

### نتیجه گیری

عامل تغذیه رودخانه نرماب، چشمه سارهایی است که در مناطق کوهستانی و جنگلی جاری‌اند. با توجه به نفوذپذیری بالای این منطقه، در زمان بارش چشمه‌ها پر آب شده و به تبع آن دبی رودخانه افزایش می‌یابد. در بررسی سازندهای تشکیل دهنده این منطقه حکایت از نفوذپذیر بودن سنگ‌های تشکیل دهنده در این منطقه دارد که عموماً از سنگ‌های آبرفتی با تراوایی بالا و سنگ آهک با تراوایی خوب و ماسه سنگ و شیل و دولومیت با تراوایی متوسط تشکیل گردیده است. در تفکیک جریان پایه به روش اکهارت ابتدا نیاز تعیین دو پارامتر ( $\alpha$  و  $BFI_{max}$ ) بوده است. که پارامتر  $\alpha$  با آنالیز منحنی خشکیدگی اصلی (MRC) مربوط به منطقه تعیین گردید. پارامتر  $BFI_{max}$  مربوطه هم با تهیه نقشه زمین شناسی و تعیین ضریب نفوذ مربوط به هر سازند بدست آمد. شاخص جریان پایه بدست آمده از روش اکهارت نیز مشارکت خوب و بالای آب‌های زیرزمینی را در جریان رودخانه نشان



می‌دهد. با توجه به این که برآورد میزان جریان پایه و شاخص مربوط به آن در برنامه‌ریزی توسعه شهری، آبیاری، کشاورزی، مدیریت خشکسالی، کاهش تلفات آب، تولید برق آبی و غیره مهم و ضروری است، بنابراین نتایج این پژوهش می‌تواند مورد استفاده برنامه‌ریزان در سازمان‌های مسکن و شهرسازی، جهاد کشاورزی، منابع طبیعی، آب منطقه‌ای، مدیریت بحران، سد سازی و دیگر اداره‌ها و موسسه‌های مرتبط با مدیریت و بهره‌برداری از منابع آب قرار گیرد.

## تشکر و قدردانی

از استاد گرامیم جناب آقای دکتر سید مرتضی سیدیان بسیار سپاسگذارم چرا که بدون راهنمایی‌های ایشان تامین این مطالب در راستای پایان نامه برایم میسر نبود، از خداوند منان برای ایشان آرزوی موفقیت و سلامتی را دارم.

## فهرست منابع

- [۱] تیموری، م. ۱۳۹۳. ارزیابی روش‌های تفکیک دبی پایه بر اساس آنالیز شاخه خشکیدگی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. سال ۲۹، شماره ۴، ص ۶۶-۵۷.
- [۲] خسروبیگی بزلویی، س و وفاخواه، م. ۱۳۹۵، تحلیل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان در حوزه آبخیز دریاچه نمک، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال هفتم، شماره چهاردهم، ص ۲۲۸ تا ۲۳۶.
- [۳] قنبرپور، م. ر.، تیموری، م.، غلامی، ش. ۱۳۸۷. مقایسه روش‌های برآورد دبی پایه براساس تفکیک هیدروگراف جریان (مطالعه موردی حوزه آبخیز کارون). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵: ۴۴، ص ۱۱-۱.
- [۴] کاظمی، ر و اسلامی، ع. ر. ۱۳۹۲، بررسی نقش سازندهای زمین شناسی و پارامترهای هیدرولوژیکی بر شاخص جریان پایه، مطالعه موردی: ناحیه خزری، نشریه علمی - پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد پنجم، شماره دوم، ص ۸۵ تا ۹۳.
- [۵] کاظمی، ر.، صفاری، الف.، کرم، الف.، پرهمت، ج. ۱۳۹۵، بررسی تاثیر گام زمانی داده‌ها در تفکیک جریان پایه در حوضه کرخه، نشریه علمی - پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد هشتم، شماره چهارم، ص ۴۰۰ تا ۴۱۳.
- [۶] نادر صفت، م. ح و ف. سعیدیان. ۱۳۸۹. مطالعه روند سیل‌خیزی در حوزه‌های آبخیز از طریق بررسی تراوایی و پتانسیل ایجاد رواناب در سازندهای زمین‌شناسی، مطالعه موردی در حوزه آبخیز کرده- استان خراسان رضوی. فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا. ص ۱۶۳ تا ۱۹۸.
- [7] Arnott, S., J. Hilton and B.W. Webb. 2009. The impact of geological control on flow accretion in lowland permeable catchments. *Hydrologic Research*, 40(6): 533-543.
- [8] Brodie, R.S. and S. Hostetle. 2005. A review of techniques for analyzing base-flow from stream hydrographs. *Proceedings of the NZHS-IAH-NZSSS Conference*, 28 November-2 December, Auckland, New Zealand.
- [9] Chapman, T.G. and Maxwell, A.I. 1996. Base flow separation-comparison of numerical methods with tracer experiments. *Hydrological and Water Resources Symposium*, Institution of Engineers Australia, Hobart, Pp: 539-545.
- [10] Chapman, T.G. 1991. Comment on evolution of automated techniques for base flow and recession analyses. *J. Water Resour. Res.* 26: 1783-1784.
- [11] Delinom, R.M. 2009. Structural geology controls on groundwater flow: Lembang fault case study, West Java, Indonesia. *Hydrogeology Journal*, 17: 1011-1023.
- [12] Eckhardt, K., 2005. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrol. Proc.* 19(2): 507-515.
- [13] Gregor M. (2010). User Manual " BFI+ 3.0".
- [14] Lyne, V. and Hollick, M. 1979. Stochastic time-variable rainfall-runoff modeling, *Inst. of Eng. Aust. Natl. Conf. Publ.* 79(10): 89-93.
- [15] McGuire, K.J., J.J. McDonnell, M. Weiler, C. Kendall, B.L. McGlynn, J.M. Welker and J. Seibert. 2005. The role of topography on catchment-scale water residence time. *Water Resource Research*, 41:1-14.

- [16] Nathan, R. J. and McMahon, T. A. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Water Resource Res.* 26(7): 1465-1473.
- [17] Smakhtin, V.U. and D.A. Watkins 1997. Low flow estimation in South Africa. WRC Report no 494/1/97.