

## ارائه و تحلیل شاخص جریان کم از سرشاخه تا پایاب در آبخیز کرخه

باقر قرمزچشمه<sup>۱\*</sup>، رحیم کاظمی<sup>۲</sup> و مجتبی نساچی زورده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و <sup>۳</sup> استادیار موسسه آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۷

### چکیده

شناخت و تحلیل رفتار شاخص‌های کم، پیش‌نیاز برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب و مدیریت کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. هدف از این پژوهش، تحلیل جریان کم و ارائه روابط منطقه‌ای با هدف شناسایی مناطق آسیب‌پذیر می‌باشد. به‌طور کلی در بالادست، جریان متأثر از بارش بوده، به سمت پایاب و پایین‌دست، جریان رودخانه پایدارتر می‌شود. در این تحقیق، ابتدا، با بررسی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های آب‌سنجی موجود در آبخیز کرخه، تعداد ۲۶ ایستگاه با دوره مشترک آماری انتخاب شد. سری زمانی روزانه دبی جریان، برای هر سال ایجاد شد. سپس، دبی‌های کمینه با پایه زمانی سه، پنج، هفت، ۱۰، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ روزه و دبی متوسط سالانه برای هر سال و هر ایستگاه استخراج شد. یک شاخص جدید، با عنوان "شاخص کاهش" تعریف شد. سپس، روند شاخص جریان کم و تحلیل منطقه‌ای آن انجام و روابط رگرسیون تک متغیره و چند متغیره بین پارامترهای مستقل ارتفاع، مساحت، شیب و فاصله تا خروجی زیرحوزه آبخیز منتهی به هر ایستگاه و شاخص‌های وابسته جریان کم مربوط به آن ایستگاه استخراج و نتایج تحلیل شد. همچنین، میزان دقت شبیه‌سازی از طریق ضریب تعیین  $R^2$  برآورد شد. نتایج نشان داد، با افزایش فاصله از خروجی آبخیز کرخه به سمت بالادست، روند شاخص بیشتر و همچنین، در سرشاخه‌ها، شاخص به‌دست آمده، کمتر از پایین‌دست می‌باشد. این موضوع بیانگر آن است که سرشاخه‌ها آسیب‌پذیرتر بوده، باید برای مدیریت بهتر منابع آب در سرشاخه‌ها متمرکز شد.

**واژه‌های کلیدی:** دبی کم، روند، شاخص کاهش، عوامل مورفومتریکی، فاصله تا خروجی

### مقدمه

برای جبران نیاز به آبیاری می‌شود. لذا، شناخت و تحلیل جریان‌های کم و تحلیل آب در دسترس از سرشاخه‌ها به پایین‌دست رودخانه، در کنار اطلاع از شدت دوره‌های خشک و تر بر روی جریان پایه در دوره‌های خشک که اهمیت آب بر زراعت بسیار زیاد است، می‌تواند موجب بهینه شدن مدیریت زراعی، بهبود الگوی کشت، و افزایش بهره‌وری اقتصادی کشاورزی شود.

توزیع نامتناسب زمانی-مکانی بارش و کمبود آب یکی از بزرگ‌ترین مشکلات حوزه‌های آبخیز در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مانند ایران است. همچنین، عدم تطابق زمانی تمرکز بارش‌ها با فصل رویش و کشت و زرع، منجر به افزایش تقاضا برای آبیاری می‌شود و به‌دلیل هم‌جواری اغلب مناطق کشاورزی با حاشیه رودخانه‌های دائمی، باعث فشار بر منابع آب سطحی

شمال غرب اروپا پرداختند. در این تحقیق، از خروجی مدل RCM برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی (دما و بارش) در دوره آتی استفاده شد. نتایج نشان داد که تغییرات اقلیمی می‌تواند منجر به کاهش دبی رودخانه در فصول کم آبی شود. در مطالعه‌ای که به‌وسیله Assefa و Moges (۲۰۱۸) در آبخیز نیل انجام شد، توزیع<sup>۱</sup> Weibull و Gev<sup>۱</sup> برازش خوبی با مقادیر جریان کم داشتند. همچنین، در مدل رگرسیونی توسعه یافته که جریان کم، تابعی از ویژگی‌های حوزه آبخیز بود، منطقه به شش بخش همگن برای پیش‌بینی جریان کم با تداوم هفت روز برای حوضه‌های فاقد آمار تقسیم شد. تحلیل فراوانی جریان کم و ساخت یک مدل جهانی برای بیان شاخص جریان کم بر پایه پارامترهای فیزیکی به‌وسیله Grandry و همکاران (۲۰۱۳) در کشور بلژیک، به انجام رسید. در این مطالعه، توزیع‌های لوگ نرمال و گامای دو متغیره، بیشترین برازش را با جریان کم داشت. در مطالعه‌ای دیگر، Gao و همکاران (۲۰۱۷) اثر فعالیت‌های انسانی را بر توزیع فراوانی جریان کم بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که فعالیت‌های انسانی از جمله برداشت آب‌های زیرزمینی منحنی فراوانی جریان کم را در مدل‌های مخزن خطی و غیرخطی تغییر داد و تغییرات توزیع فراوانی جریان کم، را تنها به تغییرات زیست‌محیطی ارتباط ندانست. طی تحقیقی، Worland و همکاران (۲۰۱۷) توانایی هشت مدل یادگیری ماشین‌های بردار و چهار مدل پایه را برای برآورد جریان کم هفت روزه، در ۲۲۴ نقطه فاقد ایستگاه، در جنوب ایالت‌های کارولینا، جورجیا، آلاباما در ایالت متحده آمریکا، مورد بررسی قرار دادند. نتایج، خطای کمتر مدل‌های یادگیری ماشین‌های بردار را در طول اعتبارسنجی نسبت به مدل‌های پایه نشان داد. از موارد تحقیقات انجام شده در داخل کشور می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. Porhemmat و همکاران (۲۰۰۰) در آبخیز کارون از میزان دبی خروجی و بارش درازمدت به‌منظور بررسی روند خشکسالی و ترسالی استفاده کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که پس از احداث سد شهید عباس‌پور و دز، در این آبخیز رژیم

شناخت و تحلیل روابط و مشخصه‌های جریان کم، پیش‌نیاز موارد متعددی در مطالعات مهندسی و مدیریت منابع آب است. Tallaksen و van Lanen (۲۰۰۴) در مطالعات مدیریت کیفیت و کمیت منابع آب مورد برداشت و انتقال از مخازن، از نتایج تحلیل شاخص‌های کم استفاده کرده‌اند. Gustard و همکاران (۲۰۰۴) استفاده از شاخص‌های کم را در طرح‌های توسعه انرژی الکتریکی، برای تعیین جریان‌های محیطی و در زمینه مطالعات زیست‌محیطی برای ارزیابی زیست‌گاه‌های گیاهی و جانوری، توسعه دادند. عدم وجود آمار و اطلاعات کامل و دقیق، از مشکلات اغلب حوزه‌های آبخیز ایران است. این کمبود، منجر به عدم قطعیت در بخش‌های مربوط به مدیریت این پدیده می‌شود. توجه به این مشکل منجر به نامگذاری دهه ۲۰۰۳-۲۰۱۲ به پیش‌بینی در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار به‌وسیله انجمن بین‌المللی هیدرولوژی شد. تعمیم داده‌ها به آبخیزهای فاقد آمار، نیازمند پژوهش و بررسی جامع در خصوص ارتباط ویژگی‌های ثابت و پایدار آبخیزها با داده‌های جریان، برای تعمیم روابط به آبخیزهای فاقد آمار می‌باشد (Smaktin, ۲۰۰۱). در دو دهه گذشته، مطالعات متعددی در خصوص جریان‌های کم در ایران و جهان صورت گرفته است که از جمله این موارد می‌توان به تحقیقات Riggs (۱۹۹۰) در خصوص برآورد جریان‌های کم با تداوم و دوره بازگشت‌های مختلف در مناطق فاقد آمار با استفاده از دو روش خطی و رگرسیونی چند متغیره اشاره کرد. McMahan و Nathan (۱۹۹۱) تحلیل منطقه‌ای جریان‌های کم را در استرالیا انجام دادند. نتایج نشان‌دهنده کارایی مدل‌های لگاریتمی برای برآورد جریان‌های کم در تداوم‌های مختلف با مشخصه‌های شاخص جریان پایه، سازندهای زمین‌شناسی و بارش بود. Warner و همکاران (۲۰۰۳) اقدام به برآورد جریان‌های کم با بهره‌گیری از مدل رگرسیونی چند متغیره در ۱۹ ایستگاه هیدرومتری حوزه‌های آبخیز پورتوریکو کردند. De Wit و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی تأثیر پارامترهای اقلیمی از جمله دما و بارش بر مقادیر دبی کم رودخانه موس واقع در

<sup>۱</sup> Generalized extreme value

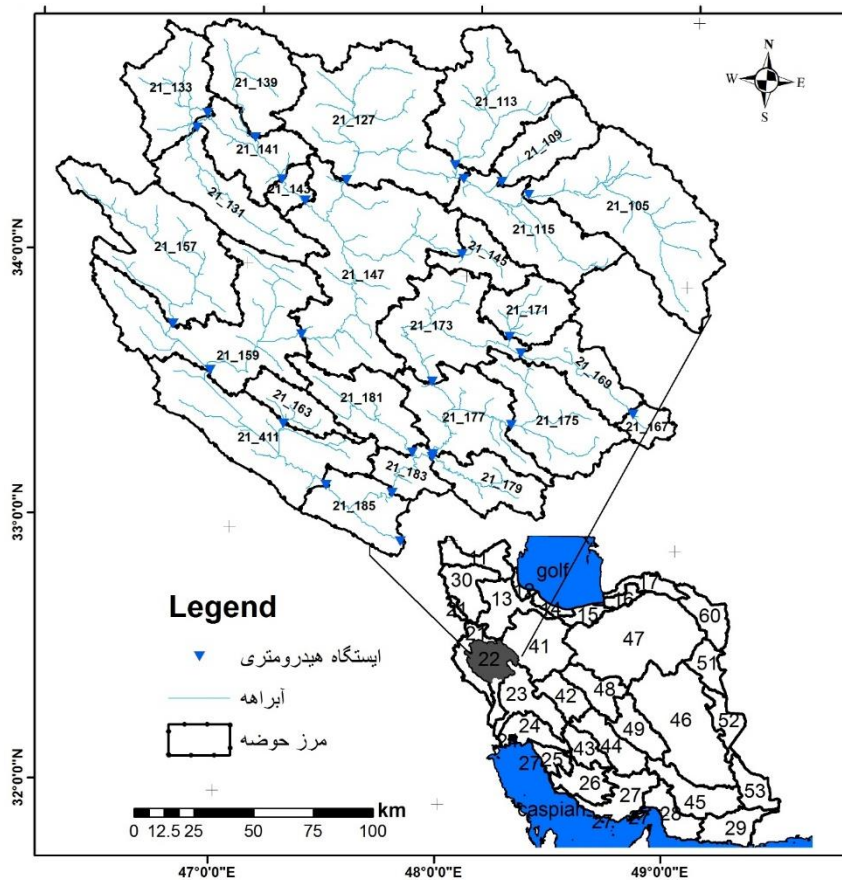
توزیع آماری را به داده‌ها برازش دادند و توزیع لوگ پیرسون تیپ سه را به‌عنوان توزیع مناسب منطقه‌ای انتخاب کردند. در نهایت، از بین ۱۶ پارامتر فیزیوگرافی، اقلیمی و زمین‌شناسی، سه ویژگی مساحت، بارندگی متوسط سالانه و درصد سازند نفوذپذیر به‌عنوان مهمترین عوامل خشک‌سالی هیدرولوژیک شناخته شدند. Noori Gheidari و Hosseinodashki (۲۰۱۴) با نگرشی نو، به نحوه مدل‌کردن جریان کم در حوزه آبخیز ارومیه پرداخته، توزیع احتمالاتی مقادیر حدی را برای توصیف نمایه‌های کم آبی معرفی کرده است. Mahmoudi (۲۰۱۳) در تحقیقی خشک‌سالی هیدرولوژیکی رودخانه تجن در محدوده دشت ساری نکا با استفاده از شاخص‌های جریان کم سالانه با تداوم‌های هفت، ۱۵ و ۳۰ روز در دوره بازگشت‌های دو، پنج، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال پیش‌بینی و مورد بررسی قرار داد. در نهایت، بر اساس جریان‌های کم پیش‌بینی شده رودخانه تجن در دوره برگشت‌های مذکور نتیجه گرفت که این رودخانه در محدوده دشت با بحران خشک‌سالی روبروست. Jahanbakhsh و همکاران (۲۰۱۶) در تحلیل منطقه‌ای جریان کم آبخیز کرخه دو عامل مساحت و تراکم زهکش را به‌عنوان تأثیرگذارترین عوامل بر جریان کم معرفی کردند. طبق نتایج به‌دست آمده به‌وسیله آزمون اسپیرمن و من-کندال جریان کم در سرشاخه‌های آبخیز دارای روند منفی طی دوره مطالعاتی بود. Hajimohammadi (۲۰۱۸) اثر تغییر اقلیم را بر مقادیر جریان کم در حوضه رودخانه کن مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه، شبیه‌سازی جریان به‌وسیله مدل SWAT انجام شد و مقادیر جریان کم با تداوم‌های سه، پنج، هفت، نه، ۱۱، ۱۵ و ۳۰ روزه محاسبه شد. نتایج به‌دست آمده ۱۳ درصد کاهش جریان کم را تا سال ۲۰۴۰ نشان داد. در مطالعه‌ای که به‌وسیله Ghermezcheshme و همکاران (۲۰۱۶) انجام شد، دقت مدل SWAT در شبیه‌سازی جریان کم آبخیز کن بررسی شد. در این مطالعه، مقادیر جریان کم شبیه‌سازی شده با تداوم‌های سه، پنج، هفت، نه، ۱۱، ۱۵ و ۳۰ روزه با مقادیر مشاهداتی مورد مقایسه شد که نتایج بیش برآورد مدل را در شبیه‌سازی جریان کم

آبدهی سیر نزولی داشته، شروع خشک‌سالی‌ها نیز منطبق با زمان احداث این سدها بوده است. Eslamian و همکاران (۲۰۰۴) برای برآورد جریان کم هفت روزه با دوره بازگشت دو، پنج، ۱۰ و ۲۰ سال در آبخیز مازندران از روش رگرسیون چند متغیره بر اساس عوامل فیزیوگرافی آبخیز استفاده کرده و نتیجه گرفتند که این روش برای ۱۸ آبخیز همگن تشخیص داده شده در منطقه و برای دوره‌های بازگشت ذکر شده، دارای دقت مناسبی است. Mohammadi (۲۰۰۳) جریان کم در آبخیزهای استان گیلان را مورد بررسی و تحلیل منطقه قرار داد. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که عوامل مساحت، بارش سالانه و شیب آبخیز مهمترین عامل و بیشترین همبستگی را مساحت در تمامی پایه زمانی مختلف دبی کم دارا بودند. Nosrati و همکاران (۲۰۰۴) مقادیر شاخص Q10 هفت روزه را به‌عنوان یک شاخص برای بررسی‌های خشک‌سالی در سطح حوزه آبخیز کرخه پهنه‌بندی کردند. نتایج نشان داد که مقادیر جریان کم و خشک‌سالی در کل منطقه گسترش یافته است. Noori Gheidari و Hosseinodashki (۲۰۱۴) در بررسی توزیع احتمالاتی مناسب برای جریان کم هفت روزه آبخیز دریاچه ارومیه، توزیع احتمالاتی به‌نام توزیع مقادیر حدی نوع سه برای توصیف نمایه‌های کم آبی ارائه کردند و نشان دادند که توزیع معرفی شده عملکرد بهتری در مدل‌کردن جریان کم هفت روزه نسبت به سایر توزیع‌های احتمالاتی متداول داشت. Ghermezcheshme و همکاران (۲۰۰۹)، دبی‌های کمینه با پایه زمانی (سه، پنج، هفت، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ روزه) را برای هر سال در برخی از ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه کرخه محاسبه کردند، سپس، دبی متوسط سالانه و نسبت دبی متوسط به دبی کمینه با پایه زمانی‌های مختلف را به‌دست آوردند و از آن به‌عنوان شاخص ارزیابی استفاده کردند. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله از خروجی آبخیز به سمت بالادست، بر شدت کم‌آبی (کاهش دبی‌های کمینه) افزوده می‌شود. Habibnejad و همکاران (۲۰۱۰) داده‌های ۱۹ ایستگاه هیدرومتری واقع در شمال شرق خراسان رضوی را برای تحلیل جریان کم با تداوم‌های هفت، ۱۵ و ۳۰ روزه استفاده کردند و هشت تابع

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد تحقیق: آبخیز کرخه یکی از زیرحوزه‌های آبخیز خلیج فارس و رتبه ۲ تماب بوده که به خلیج فارس وارد می‌شود. آبخیز کرخه در حد فاصل  $30^{\circ} 49'$  تا  $34^{\circ} 4'$  عرض شمالی و  $46^{\circ} 6'$  تا  $49^{\circ} 10'$  طول شرقی واقع شده است. شکل ۱، موقعیت آبخیز کرخه را در ایران به همراه توزیع جغرافیایی ایستگاه‌ها ارائه شده است. ارتفاعات آبخیز کرخه بخشی از سلسله جبال زاگرس مرتفع می‌باشد که سرتاسر نواحی شمال غرب، شمال و شرق آبخیز را فرا گرفته است. بلندترین نقطه مرتفع آبخیز ۳۶۴۵ متر از سطح دریا واقع شده است. مساحت آبخیز کرخه تا بالا دست سد کرخه (منطقه تحقیق) ۳۹۰۴۴ کیلومتر مربع می‌باشد. این آبخیز دارای ایستگاه‌های هیدرومتری متعدد بوده، رودخانه‌های با شرایط هیدرولوژیکی متفاوتی است. مشخصه‌های ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

نشان داد. همچنین، ۲۶ درصد کاهش جریان کم در اثر تغییر اقلیم تا سال ۲۰۴۰ پیش‌بینی شد. در مطالعه‌ای دیگر، Ghermezcheshme و Hajimohammadi (۲۰۱۸) روند جریان کم را در دو ایستگاه از زیرحوزه‌های حوزه آبخیز کرخه که یکی در سرشاخه و دیگری در پایاب واقع شده بود را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، روند جریان کم در آبخیز بالادست، کاهشی و معنی‌دار به‌دست آمد، ولی در پایاب روند منفی، اما بسیار کم بود و تغییرات اندکی را در طول زمان نشان داد. در جمع‌بندی مرور منابع، موارد متعدد کاربرد شاخص‌های کم در حوزه منابع آب و تحقیقات انجام شده در این مورد، اهمیت و ارزش این شاخص‌ها، برای تحلیل‌های مختلف حوزه منابع آب را نشان می‌دهد. هدف از این تحقیق، بررسی تغییرات جریان کم با پایه‌های زمانی مختلف با استفاده از یک شاخص نرمال‌سازی شده و بررسی عوامل موثر بر آن می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت آبخیز تحقیق در کشور

جدول ۱- پارامترهای فیزیوگرافی ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده

نام	کد	مساحت (km <sup>2</sup> )	ارتفاع متوسط (m)	شیب متوسط (درصد)	فاصله تا خروجی (km)
سنگ سوراخ (غرب)	۲۱-۱۰۵	۳۱۷	۲۰۲۰	۱۱	۴۴۴/۳
فیروزآباد (فیروزانی)	۲۱-۱۰۹	۸۴۹	۱۹۴۸	۱۷	۴۰۶/۱
آران غرب	۲۱-۱۱۳	۲۰۴۸	۱۷۸۵	۱۵	۳۸۷/۹
دوآب (گاماسیاب)	۲۱-۱۱۵	۷۷۷۶	۱۸۹۶	۱۵	۳۸۰/۴
پل چهر	۲۱-۱۲۷	۱۰۸۶۵	۱۸۷۰	۱۷	۳۱۰/۳
خرس‌آباد	۲۱-۱۳۱	۱۴۳۶	۱۵۲۷	۹	۳۷۳/۷
دوآب مرک	۲۱-۱۳۳	۱۲۳۲	۱۵۵۴	۱۴	۳۶۷/۵
حجت‌آباد	۲۱-۱۳۹	۱۳۱۶	۱۶۹۳	۲۰	۳۴۳/۹
پل کهنه	۲۱-۱۴۱	۵۰۲۴	۱۲۶۲	۱۱	۳۱۶/۸
قور باغستان	۲۱-۱۴۳	۵۳۰۹	۱۲۷۲	۱۱	۲۹۸/۷
نورآباد (غرب)	۲۱-۱۴۵	۶۱۷	۲۰۵۲	۱۷	۳۳۸/۳
هلیلان (سیمره)	۲۱-۱۴۷	۲۰۷۲۰	۱۶۱۶	۱۶	۱۹۳/۱
دارتوت	۲۱-۱۵۷	۲۶۵۷	۱۵۳۴	۱۵	۱۶۶/۶
سازین	۲۱-۱۵۹	۲۶۲۳۰	۱۳۶۵	۲۰	۱۳۱/۶
تنگ سیاب	۲۱-۱۶۳	۳۶۸	۱۲۳۷	۱۷	۹۶/۲
واهنو (هرود)	۲۱-۱۶۷	۲۶۶	۲۱۵۵	۲۰	۳۳۴/۹
کاکا رضا	۲۱-۱۶۹	۱۱۴۸	۲۰۲۳	۲۴	۲۵۶/۴
دوآب سید علی	۲۱-۱۷۱	۷۸۰	۲۰۹۷	۲۷	۲۶۴/۸
پل کشکان	۲۱-۱۷۳	۳۷۴۳	۱۶۸۴	۲۵	۱۴۳/۷
چم انجیر	۲۱-۱۷۵	۱۶۴۲	۱۶۵۱	۲۱	۱۷۹/۵
آفرینه (کشکان)	۲۱-۱۷۷	۶۸۳۳	۱۶۱۳	۲۳	۱۱۰
آفرینه (چالول)	۲۱-۱۷۹	۸۰۸	۱۶۴۷	۲۴	۱۰۸
برآفتاب	۲۱-۱۸۱	۱۱۳۲	۱۳۵۳	۱۴	۹۸/۷
پل دختر	۲۱-۱۸۳	۹۲۶۷	۱۶۳۲	۲۲	۶۵/۹
جلوگیر	۲۱-۱۸۵	۳۸۴۹۳	۱۴۱۸	۱۴	۰/۱
نظرآباد	۲۱-۴۱۱	۲۸۲۸۱	۱۴۰۵	۳۴	۵۰

**روش تحقیق:** در این تحقیق، ابتدا با بررسی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های آب‌سنجی موجود در آبخیز کرخه، تعداد ۲۶ ایستگاه با آمار مناسب دبی روزانه و دوره مشترک آماری ۴۰ ساله (۱۳۵۰-۱۳۹۰) انتخاب شد. سری زمانی روزانه دبی جریان، برای هر سال ایجاد شد. سپس، دبی‌های کمینه با پایه زمانی (سه، پنج، هفت، ۱۰، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ روزه) و زمان رخداد جریان کم و تعداد روزهایی از سال که مقادیر جریان، کمتر یا مساوی مقادیر جریان کم بود، به دست آمد. در نهایت، مقادیر دبی متوسط سالانه برای هر سال و هر ایستگاه استخراج شد. به منظور تامین شرایط تحلیل علمی و یکسان‌سازی ایستگاه‌های هیدرومتری، نسبت بین دبی کم و جریان متوسط سالانه به عنوان یک شاخص جدید، با عنوان "شاخص کاهش" (رابطه ۱)

تعریف شد. سپس، روند شاخص‌های جریان کم و تحلیل منطقه‌ای شاخص‌ها انجام و روابط رگرسیون تک متغیره و چند متغیره بین پارامترهای مستقل ارتفاع، مساحت، شیب و فاصله تا خروجی زیرحوضه منتهی به هر ایستگاه و شاخص‌های وابسته جریان کم مربوط به آن ایستگاه استخراج و نتایج تحلیل شد. همچنین، میزان دقت شبیه‌سازی از طریق ضریب تعیین  $R^2$  برآورد شد.

**محاسبه مقادیر جریان کم و شاخص کاهش:** در این تحقیق، مقادیر جریان کم با تداوم‌های سه، پنج، هفت، ۱۱، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ روزه برای ۲۶ ایستگاه منتخب برای دوره آماری ۴۰ ساله (۱۳۵۰-۱۳۹۰) محاسبه شد. علاوه بر محاسبه مقادیر جریان کم، زمان رخداد جریان کم و تعداد روزهایی از سال که مقادیر

ایستگاه جلوگیر (۱۸۵-۲۱) به دست آمد که با توجه به نقشه پراکنش ایستگاهها (شکل ۱) ایستگاه فیروزآباد در بالادست و ایستگاه جلوگیر در خروجی آبخیز واقع شده است. شکل ۲ که جریان کم را برای ایستگاههای مختلف و تداومهای سه و ۳۰ روزه به صورت نمودار نشان می‌دهد، نیز بر این نکته تأکید دارد. همچنین، در جدولهای ۲ و ۳ مقادیر جریان کم و شاخص جریان کم محاسبه شده، برای هر ایستگاه و شکل ۳ شاخص جریان کم با تداومهای سه و ۳۰ روزه ارائه شده است.

با توجه به نقشه توزیع مقادیر شاخصها در ایستگاهها و آبخیزها (شکل ۴-الف)، مقادیر جریان کم به سمت خروجی روند افزایشی داشته، در واقع با افزایش مساحت آبخیز، جریان کم نیز افزایش یافته است. ولی مقادیر شاخص جریان کم (شکل ۴-ب) تغییرات شاخص در بخشهای مختلف آبخیز متفاوت بوده، در آبخیز کشکان (آبخیز کوهستانی و جنگلی و دارای چشمه‌های کارستیک) بوده، کاربری زراعی کمتری را دارد. ولی بخش آبخیزهای سیمره که آبخیزهای شمال و غربی را شامل می‌شود، شاخص جریان کم اغلب پائین می‌باشد. اغلب این مناطق کشاورزی بوده، در سالهای اخیر گسترش زیادی یافته است. لازم به ذکر است که در ایستگاههایی که جریان کم بسیار کم بود و در ایستگاههایی که مقدار جریان کم، قسمت بیشتری از میانگین جریان سالانه را تشکیل می‌داد، مقدار شاخص جریان کم، بالاتر به دست آمد. به عنوان مثال، بالاترین مقدار شاخص جریان کم در ایستگاه تنگ‌سیاب (۱۶۳-۲۱) برآورد شد که با توجه به نتایج جدول میانگین سالانه جریان در این ایستگاه ۱/۴۲ مترمکعب بر ثانیه بود و جریان کم ۰/۸ مترمکعب بر ثانیه به دست آمد در حالی که کوچکترین مقدار شاخصهای جریان کم برابر ۰/۰۱ و برای ایستگاههای فیروزآباد و آران غربی به دست آمد که در این ایستگاهها میانگین سالانه جریان به ترتیب ۱/۴۲ و چهار مترمکعب بر ثانیه بود و مقدار جریان کم به ترتیب برابر ۰/۰۲ و ۰/۰۶ مترمکعب بر ثانیه حاصل خروجی کار بود. این در حالی است که میانگین سالانه جریان در ایستگاه تنگ سیاب و فیروزآباد برابر است اما مقادیر جریان کم در این ایستگاه نسبت به میانگین

جریان کمتر یا مساوی مقادیر جریان کم بود، به دست آمد. در نهایت، مقادیر دبی متوسط سالانه برای هر سال برای دوره مزبور محاسبه شد. جریان کم و یا یا جریان کم ویژه (تقسیم جریان کم به مساحت آبخیز) برای تحلیل منطقه‌ای مناسب نیست چرا که جریان کم به شدت تحت تاثیر مساحت بوده، نقش عوامل دیگر خیلی کم می‌شود. دبی کم ویژه نیز اثر مساحت را از بین می‌برد ولی عوامل اقلیمی پررنگ شده، نقش عوامل مورفومتری دیگر تحت تاثیر قرار گرفته، عواملی که در روند جریان می‌توانند موثر باشند را کاهش می‌دهد. لذا، به منظور یکسان‌سازی ایستگاههای هیدرومتری، شاخص جدید با الگوگیری از شاخص تعریف شده به وسیله Ghermezcheshme و همکاران (۲۰۰۹) تعریف شد که به شکل رابطه (۱) ارائه شد.

$$index1i = \frac{Q_{li}}{Q_a} \quad (1)$$

که در آن،  $Q_a$  دبی متوسط سالانه (مترمکعب بر ثانیه)،  $Q_i$  دبی جریان کم برای تداومهای مختلف و  $i$  پایه زمانی دبی کمینه که برابر سه، پنج، هفت، ۱۱، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ است. لازم به ذکر است که در مورد ایستگاههایی که دارای نواقص آماری بودند، تا سه روز آمار ناقص به روش خودهمبستگی تکمیل شد، اما برای بیشتر از سه روز پس از محاسبه جریان کم برای تداومهای مختلف، آمار ناقص جریان کم هر ایستگاه، برای هر سال به وسیله آمار کامل ایستگاهی که دارای بیشترین همبستگی با ایستگاه ناقص بود، بازسازی شد.

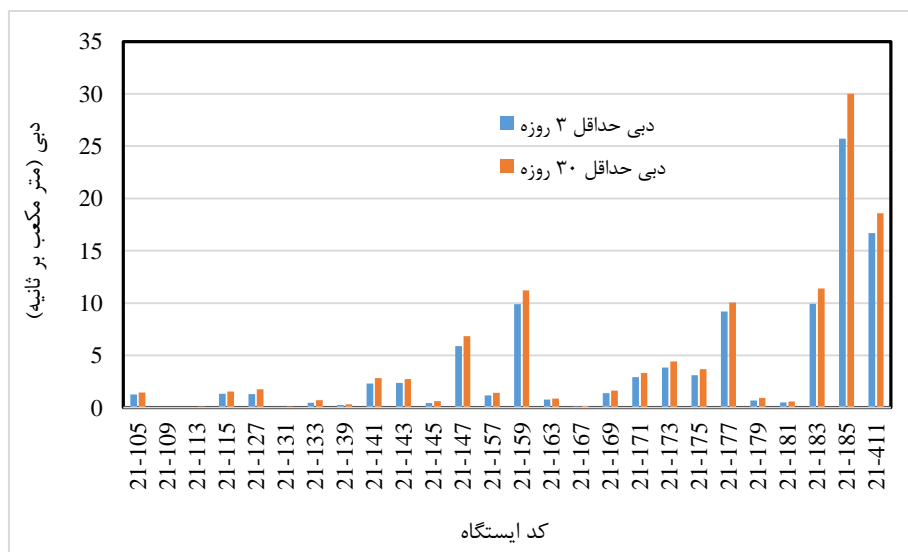
## نتایج و بحث

مقادیر جریان کم با تداومهای سه، پنج، هفت، ۱۱، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ روزه برای دوره آماری (۱۳۵۰-۱۳۹۰)، ۲۶ ایستگاه منتخب آبخیز کرخه محاسبه و مورد بازسازی قرار گرفت. همچنین، مقادیر متوسط سالانه جریان کم نیز برای هر ایستگاه به دست آمد و شاخصهای جریان کم بر اساس روابط ارائه شده برآورد شد. جدول ۲، مقادیر جریان کم و متوسط سالانه را برای هر ایستگاه نشان می‌دهد. بر این اساس، کمترین مقدار جریان متوسط و جریان کم برای ایستگاه فیروزآباد (۱۰۹-۲۱) و بیشترین آن برای

سالانه جریان بسیار کوچک تر بود و به نظر می رسد که این رودها به سمت فصلی شدن پیش می روند.

جدول ۲- مقادیر جریان متوسط سالانه و جریان کم با تداوم های مختلف برای هر ایستگاه (مترمکعب بر ثانیه)

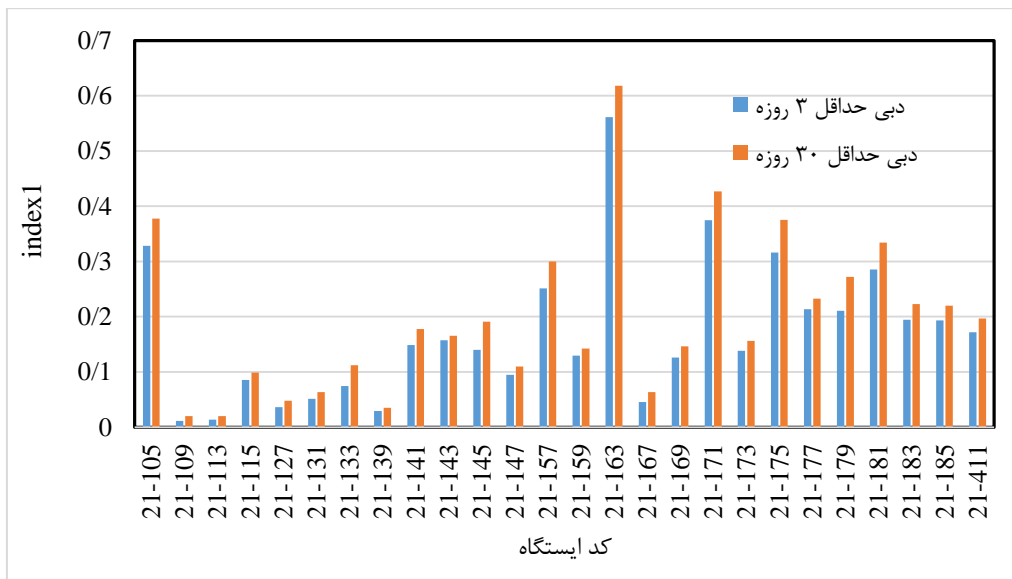
کد ایستگاه	نام ایستگاه	جریان متوسط سالانه	۳	۵	۷	۱۱	۱۵	۳۰	۶۰
۲۱-۱۰۵	سنگ سوراخ (غرب)	۳/۶	۱/۲۷	۱/۲۸	۱/۳	۱/۳۳	۱/۳۵	۱/۴۵	۱/۶
۲۱-۱۰۹	فیروزآباد	۱/۴۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴
۲۱-۱۱۳	اران غربی	۳/۹۸	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۱۷
۲۱-۱۱۵	دوآب	۱۴/۷۶	۱/۳۴	۱/۳۶	۱/۳۹	۱/۴۲	۱/۴۵	۱/۵۳	۱/۸۲
۲۱-۱۲۷	پل چهر	۳۱/۳	۱/۳۱	۱/۳۵	۱/۳۷	۱/۴۶	۱/۵۲	۱/۷۶	۲/۲۸
۲۱-۱۳۱	خرس آباد	۱/۴۶	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱	۰/۱	۰/۱۱	۰/۱۳
۲۱-۱۳۳	دوآب مرک	۵/۵۳	۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۵۶	۰/۶	۰/۷۱	۰/۹
۲۱-۱۳۹	حجت آباد	۷/۹۸	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۳۲	۰/۴۶
۲۱-۱۴۱	پل کهنه	۱۹/۱۶	۲/۳۲	۲/۴۵	۲/۳۴	۲/۵۴	۲/۶	۲/۸۲	۳/۳۱
۲۱-۱۴۳	قورباغستان	۲۰/۴۷	۲/۳۷	۲/۳۵	۲/۳۹	۲/۴۷	۲/۵۲	۲/۷۲	۳/۲۹
۲۱-۱۴۵	نورآباد غرب	۳/۲۶	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۴۷	۰/۴۹	۰/۵۲	۰/۶۲	۰/۷۸
۲۱-۱۴۷	هلیلان	۶۷/۵۹	۵/۸۸	۵/۹۷	۶/۰۶	۶/۲	۶/۳۶	۶/۹۶	۸/۱۳
۲۱-۱۵۷	دارتوت	۵/۲۳	۱/۱۶	۱/۲۲	۱/۲۵	۳/۱	۱/۳۹	۱/۴۱	۱/۶۶
۲۱-۱۵۹	سازبن	۸۴/۴۲	۹/۴۹	۹/۵۱	۹/۸۵	۱۰/۰۳	۱۰/۲۴	۱۱/۲۲	۱۳/۲۵
۲۱-۱۶۳	تنگ سیاب	۱/۴۲	۰/۷۹	۰/۸	۰/۸۱	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۸۷	۰/۹۴
۲۱-۱۶۷	دهنو	۲/۶۸	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۲۴
۲۱-۱۶۹	کاکارضا	۱۱/۵۹	۱/۳۹	۱/۴	۱/۴	۱/۴۶	۱/۵۱	۱/۶۳	۱/۹۶
۲۱-۱۷۱	سراب سیدعلی	۷/۷۳	۲/۹۳	۲/۹۶	۳/۰۳	۳/۰۹	۳/۱۴	۳/۳۳	۳/۵۹
۲۱-۱۷۳	پل کشکان	۲۹/۱۳	۳/۸۵	۳/۸۹	۳/۹۲	۳/۹۷	۴/۱۵	۴/۴۴	۵/۳۵
۲۱-۱۷۵	چم انجیر	۱۰/۲۲	۳/۱۲	۳/۱۸	۳/۲۳	۳/۳۴	۳/۴۵	۳/۶۹	۴/۰۷
۲۱-۱۷۷	آفرینه (کشکان)	۴۲/۶۹	۹/۱۸	۹/۲۵	۹/۳۱	۹/۴۷	۹/۶۱	۱۰/۰۴	۱۱/۵۳
۲۱-۱۷۹	آفرینه (چالول)	۳/۶۲	۰/۶۹	۰/۷۱	۰/۷۲	۰/۷۵	۰/۸۱	۰/۹۳	۱/۱۶
۲۱-۱۸۱	برآفتاب	۱/۶۳	۰/۵	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۵۴	۰/۵۵	۰/۵۸	۰/۶۵
۲۱-۱۸۳	پل دختر	۴۹/۸۴	۹/۹۳	۱۰/۰۶	۱۰/۲	۱۰/۵۵	۱۰/۸۳	۱۱/۴	۱۲/۷۹
۲۱-۱۸۵	جلوگیر	۱۴۱/۰۴	۲۵/۷۲	۲۶/۴۵	۲۶/۷۹	۲۷/۰۷	۲۸/۸	۳۰	۳۲/۹۲
۲۱-۴۱۱	نظرآباد	۹۵/۷۴	۱۶/۲۸	۱۶/۷۸	۱۶/۹	۱۷/۴۸	۱۷/۷۳	۱۸/۵۹	۲۰/۶۵



شکل ۲- نمودار مقادیر جریان کم با تداوم سه و ۳۰ روزه برای ایستگاه های مطالعاتی

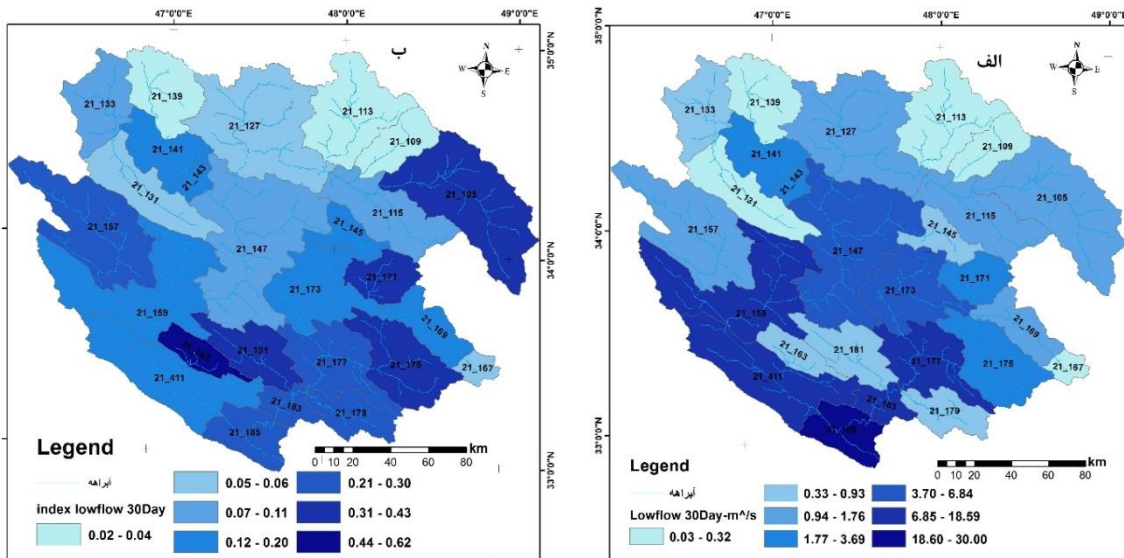
جدول ۳- مقادیر شاخص جریان کم (جریان کم/میانگین سالانه جریان) ایستگاه‌های مورد مطالعه

کد ایستگاه	نام ایستگاه	۳	۵	۷	۱۱	۱۵	۳۰	۶۰
۲۱-۱۰۵	سنگ سوراخ (غرب)	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۴۲
۲۱-۱۰۹	فیروزآباد	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
۲۱-۱۱۳	اران غربی	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴
۲۱-۱۱۵	دوآب	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱	۰/۱۲
۲۱-۱۲۷	پل چهر	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۶
۲۱-۱۳۱	خرس‌آباد	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۷
۲۱-۱۳۳	دوآب مرک	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۴
۲۱-۱۳۹	حجت‌آباد	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۶
۲۱-۱۴۱	پل کهنه	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۲۳
۲۱-۱۴۳	قورباغستان	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۱۹
۲۱-۱۴۵	نورآباد غرب	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۲۴
۲۱-۱۴۷	هلیلان	۰/۰۹	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱۳
۲۱-۱۵۷	دارتوت	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۳	۰/۳۵
۲۱-۱۵۹	سازبن	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۶
۲۱-۱۶۳	تنگ سیاب	۰/۵۶	۰/۵۷	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۶۲	۰/۶۷
۲۱-۱۶۷	دهنو	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۱
۲۱-۱۶۹	کاکارضا	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۷
۲۱-۱۷۱	سراب سیدعلی	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۹	۰/۴	۰/۴	۰/۴۳	۰/۴۶
۲۱-۱۷۳	پل کشکان	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۸
۲۱-۱۷۵	چم‌انجیر	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۴۲
۲۱-۱۷۷	آفرینه (کشکان)	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۲۶
۲۱-۱۷۹	آفرینه (چولهول)	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۳۳
۲۱-۱۸۱	برآفتاب	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۷
۲۱-۱۸۳	پل دختر	۰/۱۹	۰/۲	۰/۲	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۲۵
۲۱-۱۸۵	جلوگیر	۰/۱۹	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۲۴
۲۱-۴۱۱	نظرآباد	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۲	۰/۲۲



شکل ۳- نمودار مقادیر جریان کم با تداوم ۳۰ روزه برای ایستگاه‌های مطالعاتی





شکل ۴- الف) مقادیر جریان کم ۳۰ روزه و ب) مقادیر شاخص آبخیزهای مورد مطالعه

جریان کم و شاخص جریان کم با عوامل مورفومتری منتخب آبخیز کرخه در جدول ۴ آورده شده است.

بررسی روابط همبستگی شاخص‌های جریان کم و پارامترهای فیزیوگرافی: همبستگی ( $R^2$ ) مقادیر

جدول ۴- مقادیر همبستگی ( $R^2$ ) جریان کم و شاخص‌های جریان کم با عوامل مورفومتری حوضه کرخه

تداوم (روز)	نوع شاخص	مساحت (km <sup>2</sup> )	ارتفاع (m)	شیب (درصد)	فاصله تا خروجی (km)
۳	Low flow	۰/۸۱	۰/۱۲	۰/۱	۰/۴۵
	Index1	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۲۱
۵	Low flow	۰/۸	۰/۱۲	۰/۱	۰/۴۵
	Index1	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۲۲
۷	Low flow	۰/۸	۰/۱۲	۰/۱	۰/۴۵
	Index1	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۲۱
۱۱	Low flow	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱	۰/۴۵
	Index1	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۲۱
۱۵	Low flow	۰/۸	۰/۱۲	۰/۱	۰/۴۴
	Index1	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۲۱
۳۰	Low flow	۰/۸	۰/۱۲	۰/۱	۰/۴۴
	Index1	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۲
۶۰	Low flow	۰/۸	۰/۱۲	۰/۱	۰/۴۵
	Index1	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۲

(۲۰۰۳) نیز در تحلیل مکانی جریان کم مساحت، باران و شیب آبخیز را در تمامی پایه‌های زمانی مختلف مرتبط با جریان کم دانست. شاخص جریان محاسبه شده با هیچ یک از عوامل مورفومتری همبستگی قابل قبول نداشت و همبستگی با فاصله تا خروجی (۰/۲) نسبت به عوامل دیگر بهتر به دست آمد. در تحقیقی که Ghermezcheshmeh و همکاران

با توجه به نتایج جدول مقادیر جریان کم با مساحت بالاترین همبستگی (۰/۸) و بعد از آن با فاصله تا خروجی بیشترین همبستگی (۰/۴۵) را داشت و با مقادیر شیب و ارتفاع بستگی نداشت. در پژوهش‌های Jahanbakhsh و همکاران (۲۰۱۶) و Eslamian و همکاران (۲۰۰۴) نیز مساحت مهمترین عامل معرفی شده است. همچنین، Mohammadi

متغیرهای مستقل انجام شد. روابط شاخص با متغیرهای مستقل ضریب همبستگی حدود ۰/۴ را نشان داد. بر اساس روابط به دست آمده، شاخص مورد مطالعه با ارتفاع رابطه مستقیم و با پارامترهای مساحت، شیب و فاصله تا خروجی رابطه معکوس داشت (جدول ۵). در شکل‌های ۵ و ۶ برای نمونه دو پایه زمانی سه و ۳۰ روزه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای ارائه شده است.

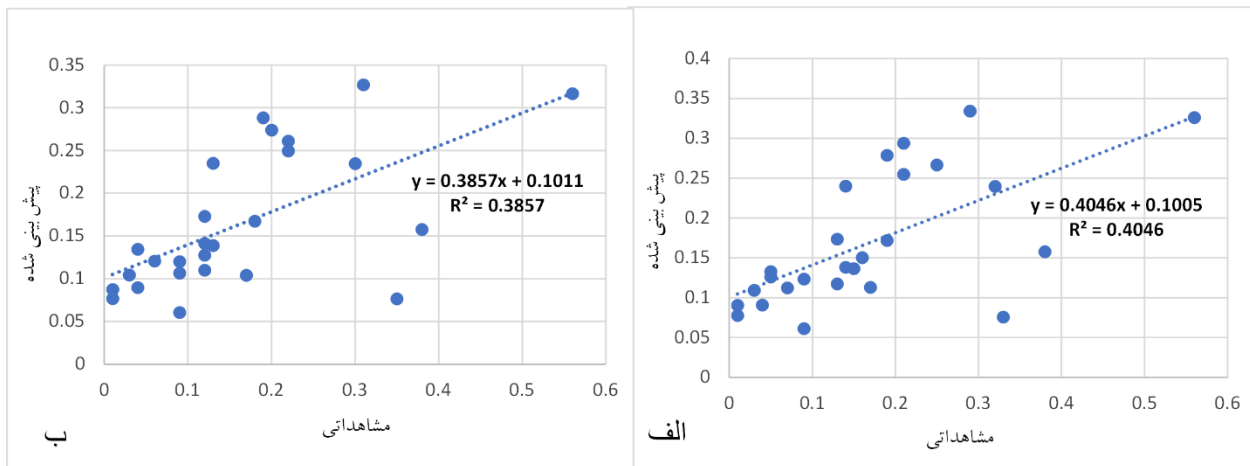
(۲۰۰۹) در آبخیز کرخه انجام داده بودند، عامل فاصله از خروجی مهمترین عامل معرفی شد. این موضوع بیانگر آنست که عوامل مختلفی در مقدار شاخص یاد شده تاثیرگذار هستند و یک عامل به تنهایی نمی‌تواند بیانگر تغییرات شاخص باشد.

تحلیل رابطه بین شاخص دبی کم به‌عنوان متغیر وابسته و عوامل مورفومتریک آبخیز مطالعاتی از جمله مساحت، شیب، ارتفاع و فاصله تا خروجی به‌عنوان

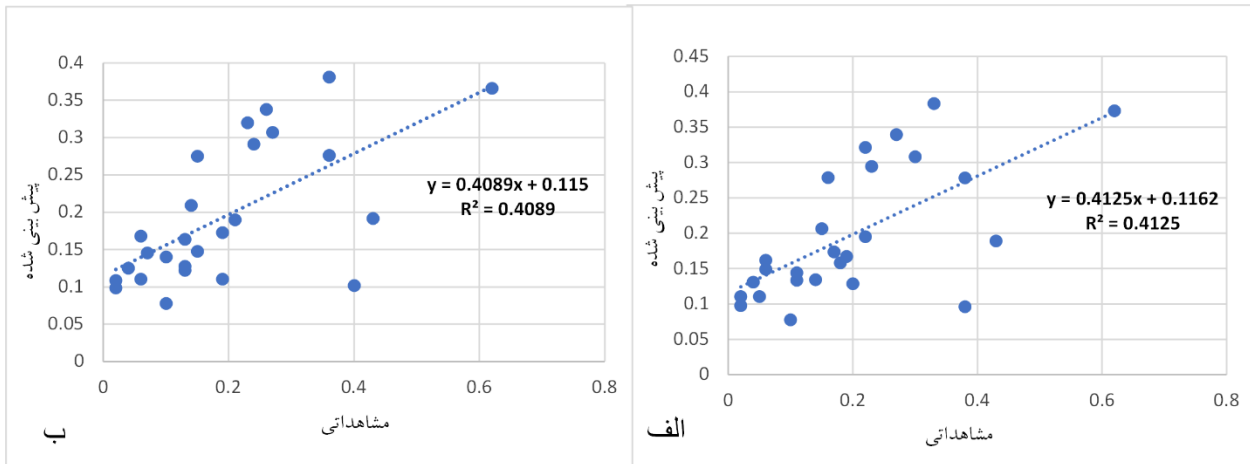
جدول ۵- معادلات چند متغیره برای شاخص‌های جریان کم با پایه‌های زمانی مختلف

تداوم جریان کم	شاخص	معادله همبستگی	Multiple R	R <sup>2</sup>
۳	Index1	$(-6.5 \times 10^{-6})A + (1.95 \times 10^{-5})H + (-0.004)S + (-0.0008)L + 0.45$	۰/۶۴	۰/۴
۵	Index1	$(-6.5 \times 10^{-6})A + (2.04 \times 10^{-5})H + (-0.004)S + (-0.0008)L + 0.46$	۰/۶۴	۰/۴۱
۷	Index1	$(-6.6 \times 10^{-6})A + (1.93 \times 10^{-5})H + (-0.004)S + (-0.0009)L + 0.47$	۰/۶۳	۰/۴
۱۱	Index1	$(-7 \times 10^{-6})A + (2.7 \times 10^{-5})H + (-0.005)S + (-0.0009)L + 0.48$	۰/۶۵	۰/۴۲
۱۵	Index1	$(-7 \times 10^{-6})A + (2.8 \times 10^{-5})H + (-0.004)S + (-0.0009)L + 0.48$	۰/۶۵	۰/۴۲
۳۰	Index1	$(-7.5 \times 10^{-6})A + (3.1 \times 10^{-5})H + (-0.005)S + (-0.0009)L + 0.51$	۰/۶۴	۰/۴۱
۶۰	Index1	$(-8.5 \times 10^{-6})A + (3.7 \times 10^{-5})H + (-0.005)S + (-0.001)L + 0.57$	۰/۶۶	۰/۴۳

S شیب (درصد)، L فاصله تا خروجی (کیلومتر)، A مساحت (کیلومتر مربع)، H ارتفاع (متر) و Index1 جریان کم/ میانگین جریان در هر سال



شکل ۵- الف) شاخص جریان کم (جریان کم/ میانگین جریان در هر سال) مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده (تداوم سه روز) و ب) شاخص جریان کم (جریان کم/ میانگین جریان در کل دوره) مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده (تداوم سه روز)



شکل ۶- الف) شاخص جریان کم (جریان کم/میانگین جریان در هر سال) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (تداوم ۳۰ روز) و ب) شاخص جریان کم (جریان کم/میانگین جریان در کل دوره) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (تداوم ۳۰ روز)

### نتیجه‌گیری

نتایج جریان کم و دبی سالانه نشان داد که ایستگاه فیروزآباد و جلوگیر به ترتیب با ۰/۰۲ و ۲۵/۷۲ مترمکعب بر ثانیه کمترین و بیشترین دبی کمینه با پایه زمانی سه روزه را به خود اختصاص دادند. لازم به توضیح است که در کلیه پایه‌های زمانی دو ایستگاه ذکر شده کمترین و بیشترین دبی را داشتند. متوسط جریان سالانه نیز دو ایستگاه فیروزآباد و سنگ سیاب با ۱/۴۲ و ایستگاه جلوگیر با ۱۴۱ مترمکعب بر ثانیه به ترتیب کم‌آب‌ترین و پرآب‌ترین ایستگاه شناخته شدند.

شاخص جریان کم که از تقسیم جریان کم بر متوسط جریان سالانه به دست می‌آید، عوامل اقلیمی و مساحت که دیگر عوامل دخیل در جریان کم را تحت تاثیر قرار می‌دهند، به نوعی حذف و نقش عوامل مورفومتریک، زمین‌شناسی و یا مدیریت مصارف آب را نمایان می‌سازد. با توجه به هدف این مقاله که طول جریان (فاصله تا خروجی) را مورد بررسی قرار داده است، ارتباط شاخص‌های جریان کم با پارامتر طول جریان نسبت به دیگر پارامترها بهتر به دست آمد. در حالی که جریان کم با پایه‌های زمانی مختلف با مساحت، بیشترین و با شیب آبخیز کمترین همبستگی را نشان داد. در پژوهش‌های Jahanbakhsh و همکاران (۲۰۱۶) و Mohammadi (۲۰۰۳) نیز مساحت مهمترین عامل معرفی شده بود. ولی شاخص جریان کم، بیشترین همبستگی را با فاصله ایستگاه تا

خروجی کل آبخیز نشان داد و در تحقیق Ghermezcheshmeh و همکاران (۲۰۰۹) نیز عامل فاصله از خروجی مهمترین عامل معرفی شد. این موضوع بیانگر آنست که با افزایش فاصله از خروجی آبخیز کرخه، شاخص جریان کم کاهش می‌یابد و به عبارت دیگر، این شاخص در سرشاخه‌ها نسبت به پائین‌دست، کاهش می‌یابد.

دامنه تغییرات جریان کم ۳۰ روزه به‌عنوان نمونه بین ۰/۰۳ تا ۳۰ مترمکعب به ترتیب در فیروزآباد (سرشاخه شمالی) تا جلوگیر در خروجی حوضه به دست آمد. همان‌گونه این شکل نشان می‌دهد، جریان کم از سرشاخه‌ها به پایین‌دست در حال افزایش بوده و می‌توان استنباط کرد که عامل مساحت دیگر عوامل را تحت تاثیر قرار داده و لذا، بر اساس آن نمی‌توان تحلیل مناسبی از عوامل مهم داشت. ولی شاخص جریان کم اثر مساحت، پارامترهای اقلیمی را کاهش داده و دیگر عوامل موثر نمایان‌تر شده‌اند، به طوری که حوضه‌های جنوب غرب که بخش زیرحوضه کشکان محسوب می‌شوند، اغلب کارستیک بوده، چشمه‌های زیادی در آن‌ها وجود دارد. این شاخص نسبت به حوضه‌های بخش شمالی بزرگ‌تر به دست آمد. به‌عنوان مثال، در حوضه سراب سیدعلی (کد ۱۷۱-۲۱) این شاخص بالا به دست آمد. در این حوضه چندین چشمه کارستیک مانند هنام و پرسک وجود دارد و همچنین، منطقه کوهستانی برف‌گیر بوده، باعث شده است تا جریان پایه بخش عمده جریان

نقش عوامل انسانی را مقادیر روند جریان کم می‌توان به‌خوبی تحلیل کرد.

### سپاس‌گزاری

این مقاله بخشی از نتایج طرح تحقیقاتی تحلیل جریان کمینه که در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انجام شده است، می‌باشد.

سالانه را به خود اختصاص دهد. لذا، با رجوع به این نقشه می‌توان بیان کرد که در حوضه‌هایی که شاخص بالا است، جریان پایه و کم مناسب بوده، در برنامه‌ریزی‌های منابع آب در این حوضه‌ها به جریان کم می‌توان اتکا کرد. با توجه به روند کاهشی جریان پایه در اغلب حوضه‌ها و کارایی این شاخص در بارسازی عامل یاد شده در بالا، می‌توان به‌جای تحلیل روند جریان کم، روند شاخص جریان کم را محاسبه و

### منابع مورد استفاده

1. Assefa, K., and M.A. Moges. 2018. Low flow trends and frequency analysis in the Blue Nile Basin, Ethiopia. *Journal of Water Resource and Protection*, 10(02): 182-203.
2. Chahoki, A., A. Salajeghe, M. Mahdavi, Sh., Khaligi Sigarodi and A.S. Sadi. 2013. Regional modeling of flow duration curve at ungauged catchments of arid region, case study: central of Iran. *Journal of Range and Watershed Management*, 66(2): 251-265 (in Persian).
3. De Wit, M.J.M., B.J.J.M. Van Den Hurk, P.M.M. Warmerdam, P.J.J.F. Torfs, E. Roulin and W.P.A.V. Deursen. 2007. Impact of climate change on low-flows in the river Meuse. *Climatic Change*, 82(3-4): 351-372.
4. Eslamian, S.S., A. Zarei and A. Abrishamchi. 2004. Regional estimation of low flows for Mazandaran River Basin. *Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 8(1): 27-38 (in Persian).
5. Gao, S., P. Liu, Z. Pan, B. Ming, S. Guo and L. Xiong. 2017. Derivation of low flow frequency distributions under human activities and its implications. *Journal of Hydrology*, 549: 294-300.
6. Ghermezcheshmeh, B., M. HajiMohammadi and M. Ahmadi. 2016. Evaluation of SWAT Model accuracy in simulation of low flow, case study: Kan Catchment. 2nd National Conference on Soil Conservation and Watershed Management, Kerman (in Persian).
7. Ghermezcheshmeh, B. and M. HajiMohammadi. 2018. Investigation of low flow in catchments with different areas, case study: Karkheh Basin. 13th Iranian National Conference on Watershed Management Science and Engineering and the 3rd National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment, Mohagheh Ardabili University (in Persian).
8. Ghermezcheshmeh, B., A. Mahdipour and M. Heidarizadeh. 2009. Study of low flow from tributaries to Karkheh Basin for water resources management. 10th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction, Bahonar University of Kerman (in Persian).
9. Grandry, M., S. Gailliez, C. Sohier, A. Verstraete and A. Degre. 2012. A method for low-flow estimation at ungauged sites: a case study in Wallonia (Belgium). *Hydrology and Earth System Sciences*, 17: 1319-1330.
10. Gustard, A., A.R.G. Young Rees and M.G.R. Holmes. 2004. Operational hydrology. In: *Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater* (ed. by L.M. Tallaksen and H.A.J. van Lanen), 455-484. *Developments in Water Science* 48, Elsevier, The Netherlands.
11. Habibnejad, R., M. Ebrahim, K. Solimani and M. Vafakhah. 2010. Low flow analysis in arid and semi-arid areas of northeastern of Khorasan Razavi Province. *Journal of Waste Management and Reprocessing*, 1(1): 44-58 (in Persian).
12. Hajimohammadi, M., A. Azizian and B. Ghermezcheshmeh. 2018. Evaluation of the impact of climate change on runoff in Kan Watershed. *Journal of Watershed Management and Engineering*, 10(2): 144-156 (in Persian).
13. Jahanbakhsh, S., B. Sari Sarraf, A. Ghafouri Roozbahani and S. Rahimi Bondarabadi. 2016. The spatio-temporal analysis of low flow in Karkheh drainage basin. *Journal of Watershed Management and Engineering*, 8(1): 55-67 (in Persian).
14. Mahmoudi, A. 2013. Investigation of hydrological drought in Tajan River using current flow index in Sari Neka plain. 5th Iranian Water Resources Management Conference, Tehran (in Persian).
15. McMahon, T.A. and R.J. Nathan. 1991. Estimating low flow characteristics in ungauged catchments. Center for Environmental Applied Hydrology, University of Melbourne, 60 pages.
16. Mohammadi, S. 2003. Analysis of low flow and spatial distribution of regional relations in the GIS environment (Gilan Basin). MSc Thesis, Islamic Azad University, Research Sciences Branch, 106

- pages (in Persian).
17. Noori Gheidari, M.H. and V. Hosseinitodashki. 2014. New attitude in the frequency analysis of 7-day's minimum flows, case study: Lake Urmia Basin. *Water and Soil Science*, 23(4): 105-116 (in Persian).
  18. Nosrati, K., S.S. Eslamian and A. Shahbaz. 2004. Study of climate change on hydrological drought. *Journal of Agricultural*, 6(1): 49-56 (in Persian).
  19. Porhemmat, J., B. Saghafiyani and H. Sadoghi. 2000. Investigating the trend of droughts and wetlands in Karun area using long-term statistics. 1st National Conference on Mitigation of Water Crises, Kerman (in Persian).
  20. Smaktin, V.U. 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, 240(3-4): 147-186.
  21. Tallaksen, L.M. and H.A.J. van Lanen. 2004. Introduction. In: *Hydrological Drought-Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater* (ed. by L.M. Tallaksen and H.A.J. van Lanen), *Developments in Water Sciences* 48, Elsevier Science B.V., Amsterdam, the Netherlands, 3-17.
  22. Warner, G.S., R.A. Garcia-Martion and N.F. Scatena. 2003. Watershed characterization by GIS for low flow prediction. Chapter 9 in "GIS for Water Resources and Watershed Management", J.G. Lyon (Ed.), 101-107.
  23. Worland, S., W.E. Farmer and J. Kiang. 2017. Improving predictions of hydrological low flow indices in ungagged basins using machine learning. *Environmental Modelling and Software*, 101: 169-182.