

بررسی رابطه زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبریز کرخه

راضیه کوشکی^۱، محمد رحیمی^{۲*}، مجتبی امیری^۳، مجید محمدی^۳، جعفر دستورانی^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان

۲. دانشیار، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان

۳. استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه سمنان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۱۰/۱۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۲/۱۰)

چکیده

خشکسالی از جمله بلاای طبیعی است که به شدت تحت تأثیر نوسانات اقلیمی است و مجموعه‌ای از مشکلات پیچیده را در بخش‌های مختلف ایجاد می‌کند. هدف پژوهش حاضر، بررسی رابطه زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبریز کرخه است. برای رسیدن به این هدف، از آمار ۲۶ ایستگاه باران‌سنج و هشت ایستگاه هیدرومتری استفاده شد. در بخشی از تحقیق برای آگاهی از تأخیر جریان‌ها نسبت به بارش‌ها در حالت واقعی، ضریب همبستگی پیرسون بین بارش و دبی جریان با تأخیرهای زمانی مختلف محاسبه شد. سپس دو شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص خشکسالی جریانات رودخانه‌ای (SDI) به ترتیب برای ارزیابی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی انتخاب شدند. مقادیر شاخص‌ها در گام زمانی کوتاه‌مدت (یک‌ماهه و سه‌ماهه)، میان‌مدت (شش‌ماهه) و بلندمدت (۱۲‌ماهه) در نرم‌افزار DrinC محاسبه شد. همچنین ضریب همبستگی بین دو شاخص SPI و SDI در کل حوضه و دو زیرحوضه قره‌سو و گاماسیاب بررسی شد. نتایج نشان داد بین ضریب همبستگی بارش-دبی جریان و دو شاخص SDI-SPI در چهار گام زمانی رابطه مستقیم و معناداری در سطح ۹۹ درصد وجود دارد. هر چند در هر چهار گام زمانی (کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت) ضریب همبستگی از سطح معناداری برخوردار است؛ مقدار ضریب همبستگی در حالت بدون تأخیر زمانی نسبت به سایر موارد با تأخیر زمانی بیشتر است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که خشکسالی هیدرولوژیکی با تأخیر زمانی خیلی کوتاه در حوضه آبریز کرخه پس از خشکسالی هواشناسی رخ می‌دهد. همچنین به دلیل همسویی ضرایب همبستگی و عدم تأخیر زمانی در هر دو حالت، دو شاخص یادشده به خوبی شرایط خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی را نشان می‌دهند.

کلیدواژگان: حوضه آبریز کرخه، خشکسالی هواشناسی، خشکسالی

مقدمه

خشکسالی پدیده طبیعی و قابل تکرار است که سبب کمبود آب در بخش‌های مختلف می‌شود. این پدیده در مقایسه با سایر پدیده‌ها هم از نظر شدت و فراوانی وقوع و هم از نظر وسعت فضایی و میزان خسارتی که به بار می‌آورد، اهمیت دارد [۱]. آثار خشکسالی در جامعه به دلیل تأثیر اساسی منابع آب در برطرف کردن نیازهای انسانی در همه فعالیت‌های او بسیار روشن است. این اثر اغلب ناشی از ناسازگاری فعالیت‌ها با محیط طبیعی است و سهم نقص طراحی و مدیریت انسان نسبت به تغییرات عوامل اقلیمی بیشتر است [۲]. کمبود بارش و افزایش دما نسبت به میانگین بلندمدت علت اصلی خشکسالی‌هاست. خشکسالی هواشناسی اولین نوع از خشکسالی است که رخ می‌دهد و در صورت تداوم به وقوع دیگر خشکسالی‌ها منجر می‌شود. به همین دلیل بین انواع خشکسالی‌ها (هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی) رابطه علت و معلولی برقرار است. خشکسالی کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی بر اثر وقوع خشکسالی هواشناسی رخ می‌دهد و معمولاً خشکسالی هیدرولوژیکی طولانی‌تر از خشکسالی هواشناسی است [۳]. خشکسالی هواشناسی عامل اصلی ایجاد سایر خشکسالی‌ها است که ممکن است پس از مدت‌ها چندان طولانی به پایان برسد، در صورتی که خشکسالی کشاورزی و هیدرولوژیکی مدت زمان نسبتاً بیشتری ادامه خواهند داشت [۳]. نظر به اینکه خشکسالی هیدرولوژیکی دومین نوع از خشکسالی است و در ادامه تداوم خشکسالی هواشناسی پدیدار می‌شود، با استفاده از داده‌ها و اطلاعات خشکسالی هواشناسی می‌توان تا حدودی زیادی وقوع آن را پیش‌بینی کرد و نسبت به بهبود شرایط و مدیریت واقعه پیش رو برنامه‌ریزی جامع و کاملی داشت [۴].

معمولاً خشکسالی هواشناسی با تأخیر زمانی در یک مکان، به خشکسالی هیدرولوژی منجر می‌شود [۵]. رابطه زمانی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بستگی به ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه آبریز، نوع کاربری اراضی، تراکم زهکشی، نفوذ آب و نوع سازندها دارد [۶]. خشکسالی موجب کاهش سریع جریان‌های سطحی، افت مخازن زیرزمینی، فرسایش آبی و بادی خاک، تغییر کیفیت منابع آب‌وخاک و افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و نشست زمین می‌شود. بنابراین، برای کاهش آثار این پدیده و مدیریت

خطرات آن، ارزیابی خشکسالی و بررسی تداوم دوره آن ضروری است. شاخص SPI^1 در مقیاس زمانی یک‌ماهه و سه‌ماهه نشان‌دهنده دوره‌های کوتاه‌مدت است و همچنین از مقیاس زمانی سه‌ماهه برای تخمین فصلی بارش استفاده می‌شود. SPI در مقیاس شش‌ماهه، نشان‌دهنده روند متوسط بارندگی و اختلاف در بارش فصلی است. در مقیاس دوازده‌ماهه، دوره‌های طولانی مدت بارش را نمایان می‌سازد [۷]. مفیدی‌پور و همکارانش [۸] ارتباط خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های SPI و SDI^2 در سطح حوضه آبریز اترک را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد رابطه زمانی وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با یکدیگر در سطح ۹۹ درصد معنادار است و این همبستگی در گام زمانی سه‌ماهه به بیشترین حد می‌رسد. آذره و همکارانش [۹] در تحقیقی رابطه خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه سد کرج را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد وقوع خشکسالی در منطقه، اثر خود را بدون تأخیر و تأخیر یک‌ماهه بر منابع آب‌های سطحی نشان داد. سلیمانی ساردو و بهره‌مند [۱۰] خشکسالی هیدرولوژیکی را با استفاده از شاخص SDI در حوضه هلیل‌رود ایران ارزیابی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد همبستگی زیادی بین شاخص بارش استاندارد به‌عنوان شاخص هواشناسی با شاخص هیدرولوژیکی وجود دارد. وردی‌پور آزاد و همکارانش [۱۱] ارتباط خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی را در دشت مشهد مطالعه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد شاخص SDI در مقیاس‌های مختلف زمانی می‌تواند تا حد قابل قبولی با شاخص SPI در همان مقیاس‌های زمانی هماهنگی داشته باشد. با توجه به وسعت نسبتاً کم حوضه‌های تحت پوشش ایستگاه‌ها، وقوع هم‌زمان خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در این دشت طبیعی به نظر می‌رسد. اسکندری دامنه و همکارانش [۶] در تحقیقی ارتباط زمانی و مکانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی را در استان تهران بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد ارتباط معناداری در سطح ۹۹ درصد بین دو نوع خشکسالی وجود دارد.

$Tigkas$ و همکارانش [۱۲] با استفاده از دو شاخص RDI^3

1. Standardised Precipitation Index
2. Standardised Discharge Index
3. Reconnaissance Drought Index

اهمیت مطالعه حوضه آبریز کرخه را می‌رساند. هدف از این تحقیق، تجزیه و تحلیل ارتباط بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در گام زمانی مختلف با استفاده از شاخص‌های SPI و SDI در حوضه آبریز کرخه است.

مواد و روش

منطقه مطالعه شده

حوضه آبریز کرخه در محدوده $44^{\circ} 07'$ تا $49^{\circ} 11'$ طول شرقی و $25^{\circ} 25'$ تا $33^{\circ} 56'$ عرض شمالی واقع شده است. حوضه آبریز کرخه جزئی از حوضه آبریز خلیج فارس است و از شمال به حوضه رودخانه‌های سیروان، سفیدرود و قره‌چای، از غرب به حوزه مرزی ایران و عراق، از جنوب به قسمتی از مرز غربی کشور و از سمت شرق به رودخانه دز محدود می‌شود. مساحت حوضه آبریز کرخه $51/337$ کیلومتر مربع است که حدود 60 درصد مساحت آن را مناطق کوهستانی و 40 درصد بقیه را دشت و کوهپایه تشکیل می‌دهد (شکل ۱). بارندگی سالانه منطقه از 205 میلی‌متر در بخش‌های جنوبی و کم‌ارتفاع تا حدود 1000 میلی‌متر در بخش‌های کوهستانی و مرتفع متغیر است، به طوری که متوسط بارندگی سالانه برای کل حوضه آبریز کرخه حدود 477 میلی‌متر است. میانگین دمای متوسط سالانه حدود $15/3$ درجه سانتی‌گراد است که از حدود 25 درجه سانتی‌گراد در مناطق جنوبی تا حدود -1 درجه سانتی‌گراد در مناطق مرتفع حوضه متغیر است. دمای متوسط ماکزیمم در کل حوضه حدود $32/2$ است که از 33 درجه سانتی‌گراد در مناطق جنوبی تا 13 درجه در مناطق مرتفع حوضه متغیر است. دمای متوسط مینیمم در کل حوضه حدود $7/4$ درجه سانتی‌گراد است که از حدود 17 درجه سانتی‌گراد در مناطق جنوبی تا حدود -3 درجه سانتی‌گراد در مناطق مرتفع حوضه متغیر است [۱۷].

روش تحقیق

به منظور بررسی وضعیت بارندگی و دبی از آمار بارندگی ۲۶ ایستگاه باران‌سنجی و هشت ایستگاه هیدرومتری با دوره مشترک ۲۱ ساله (سال آبی ۱۳۷۰-۱۳۷۱ تا ۱۳۹۰-۱۳۹۱) استفاده شد (شکل ۲). سپس با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نرمال‌سنجی داده‌ها انجام شد. از شاخص‌های خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) و

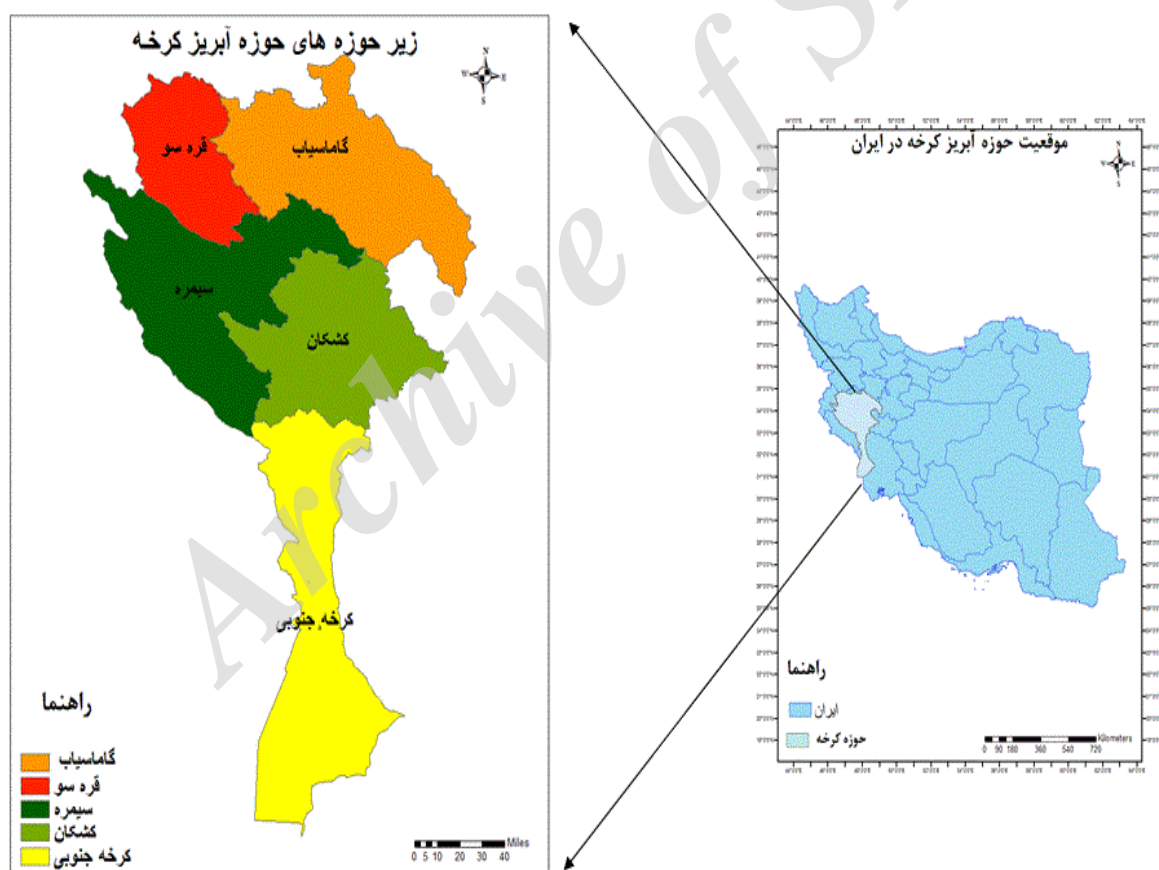
SDI تأثیر شرایط آب و هوایی بر خشکسالی‌های هیدرولوژیکی را در چندین حوضه کوچک در یونان بررسی کردند. آنها با مقایسه شاخص RDI در گام زمانی سه، شش و نه ماهه با شاخص SDI گام زمانی ۱۲ ماهه بر اساس معادلات رگرسیون بیشترین همبستگی بین شاخص RDI گام زمانی نه‌ماهه و شاخص SDI در گام زمانی ۱۲ ماهه را گزارش کردند. Zhiyong و همکارانش [۱۳] در جنوب غرب چین از شاخص بارش استاندارد، تبخیر و تعرق ($SPEI^1$)، رطوبت خاک، شاخص درصد ناهنجاری (SMAP19) و شاخص رواناب سطحی (SRI) برای توصیف خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد یک همبستگی خوب بین این سه شاخص وجود دارد. همچنین خشکسالی هواشناسی یک تا سه ماه پیش از خشکسالی هیدرولوژیکی و کشاورزی رخ می‌دهد. Christopher و همکارانش [۱۴] تأثیر پتانسیل متغیرهای مختلف آب و هوایی در ویژگی‌های فضایی و زمانی خشکسالی هیدرولوژیکی حوضه ولتا را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد SPI و SRI (شاخص رواناب سطحی) در سال‌های مرطوب با پیش‌فرض یک رابطه غیرخطی رفتاری متناقض دارند که نشان‌دهنده پاسخ آهسته رودخانه به بارش به‌ویژه پس از یک دوره خشکسالی شدید قبلی است. بابایی و همکارانش [۷] فاصله زمانی میان خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبریز سد زاینده‌رود را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان‌دهنده وجود فاصله زمانی میان دو خشکسالی است، به طوری که فاصله زمانی میان خشکسالی‌های شناسایی شده بین سه تا ۱۱ ماه متغیر است. مرادی و همکارانش [۱۶] در حوزه شهر خرم‌آباد با استفاده از شاخص‌های SPI و SDI به ارزیابی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی پرداختند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد بین بارندگی و دبی رودخانه همبستگی مثبت وجود دارد.

در این تحقیق حوضه آبریز کرخه به‌عنوان منطقه مطالعه شده انتخاب شد، زیرا رودخانه کرخه پس از رودخانه‌های کارون و دز سومین رودخانه بزرگ ایران از نظر آبدهی محسوب می‌شود. همچنین حوضه آبریز کرخه با مساحتی حدود پنج میلیون هکتار و وجود بزرگ‌ترین سد خاکی خاورمیانه اهمیت خاصی دارد [۱۷]. استفاده گسترده از آب رودخانه کرخه در امور مختلف نظیر کشاورزی و شرب

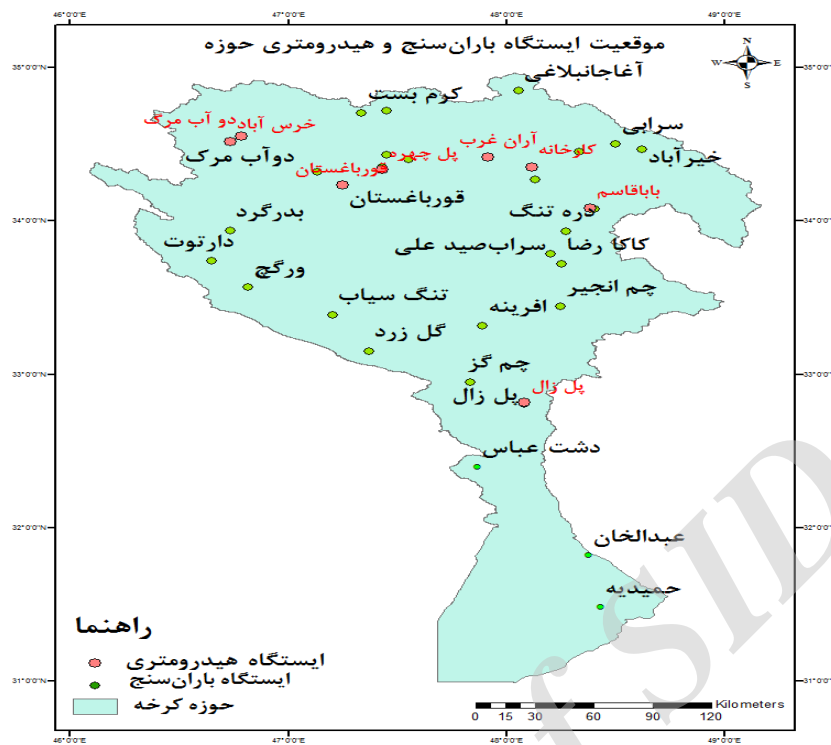
1. Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

چهار گام زمانی (۱، ۳، ۶، ۱۲ ماهه) در دو زیرحوضه قره‌سو بین چهار ایستگاه هیدرومتری (پل چهره، خرس‌آباد، دوآب‌مرگ و قورباغستان) و هفت ایستگاه باران‌سنج (قورباغستان، جامیشان، خرم‌رود، مرگ، پل کهنه، خیرآباد و پل چهره)، در زیرحوضه گاماسیاب بین سه ایستگاه هیدرومتری (قورباغستان، آران‌غرب و باباقاسم) و پنج ایستگاه باران‌سنج (آغاجان‌بلاغی، سرابی، خیرآباد، سیاه‌دره و باباپیرعلی) و کل حوضه آبریز ۲۶ ایستگاه باران‌سنج و یک ایستگاه هیدرومتری (پل زال) واقع شده در خروجی حوضه بررسی شد. در مرحله بعد میزان ضریب همبستگی بدون تأخیر و با تأخیرهای زمانی یک تا پنج ماهه محاسبه شد.

جریان‌های رودخانه‌ای SDI به‌ترتیب برای بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از نرم‌افزار DrinC استفاده شد. برای بررسی آثار کاهش بارندگی (وقوع خشکسالی هواشناسی) بر منابع آب سطحی ابتدا با استفاده از نرم‌افزار SPSS به تجزیه و تحلیل و محاسبه ضریب همبستگی بین بارندگی و دبی در بازه‌های زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه، بدون تأخیر زمانی و با یک تا پنج ماه تأخیر (به‌دلیل اینکه تأخیرهای زمانی بعد از پنج ماه تأخیر معنادار نبود بازه زمانی پنج‌ماهه انتخاب شد) پرداخته شد تا مشخص شود که کاهش بارندگی تأثیر خود را روی جریان دبی بعد از چه مدت نمایان می‌سازد. سپس همبستگی پیرسون بین شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی (SDI) با سری‌های شاخص خشکسالی هواشناسی SPI در



شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز کرخه و زیرحوضه‌ها



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های باران سنج و هیدرومتری در منطقه مطالعه شده

$$\hat{\beta} = \frac{\hat{X}}{\hat{\alpha}} \quad (۴)$$

که در آن:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln x}{n}$$

که در آن n تعداد مشاهدات بارش است.

برای محاسبه شاخص SPI ابتدا یک توزیع گاما با پارامترهای محاسبه شده به اطلاعات بارش هر ایستگاه برازش داده می‌شود. پارامترهای α و β برای هر سری بارش باید جداگانه محاسبه شود. در محاسبه SPI از تابع توزیع احتمال تجمعی استفاده می‌شود که احتمال از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$f(x) = \int_0^x f(x) dx = \frac{1}{\beta} \int_0^x \alpha^{-1} e^{-x/\beta} dx \quad (۵)$$

گام بعدی در محاسبه SPI، انتقال احتمال تجمعی از توزیع گامای به دست آمده به توزیع نرمال استاندارد تجمعی با میانگین صفر و انحراف معیار یک است. به بیان دیگر، SPI متغیری از تابع توزیع نرمال استاندارد که مقدار احتمال تجمعی آن با مقدار احتمال تجمعی متغیر مد نظر از تابع

شاخص بارش استاندارد (SPI)

شاخص SPI توسط مک کی و همکارانش (۱۹۹۳) به منظور پایش خشکسالی هواشناسی ابداع شد. قوت و زیربنای SPI این است که می‌توان آن را برای انواعی از مقیاس‌های زمانی محاسبه کرد. به تجربه ثابت شده است که توزیع احتمال بارش در یک ایستگاه غالباً از توزیع احتمال گاما پیروی می‌کند. تابع چگالی احتمال این توزیع به صورت رابطه ۱ است:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha T(x)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad X > 0 \quad (۱)$$

که در این رابطه x مقدار متغیر، α پارامتر شکل و β پارامتر مقیاس توزیع و $T(\alpha)$ تابع گاما که رابطه آن به صورت رابطه ۲ است.

$$T(\alpha) = \int_0^\infty \gamma^{\alpha-1} e^{-\gamma} d\gamma \quad (۲)$$

ضرایب α و β به ترتیب از طریق روابط ۳ و ۴ محاسبه می‌شود.

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{\hat{\beta} A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4\alpha}{3}} \right] \quad (۳)$$

کمی کردن کمبود بارش در گام‌های زمانی چندگانه طراحی شده است [۲۲].

شاخص خشکسالی جریان‌های رودخانه‌ای (SDI) در تحقیق حاضر شاخص SDI به مشابه SPI محاسبه شد. در این روش فرض می‌شود که سری‌های زمانی حجم جریان‌های ماهانه رودخانه‌ای به صورت Q_{ij} موجود است که در آن اندیس i سال هیدرولوژیکی و اندیس j ماه مربوط به سال هیدرولوژیک است. اساس این سری‌ها بر پایه رابطه ۷ است.

$$V_{ik} = \sum_{j=1}^{12} Q_{ij} \quad (7)$$

$$i = 1973 \dots 12$$

$$k = 1974, 1975, 1976$$

مبنای k ماهانه است و مقادیر k برابر ۱-۶ به ترتیب بیان‌کننده دوره‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه است. شاخص خشکسالی جریان‌های رودخانه‌ای (SDI) بر اساس حجم تجمعی جریان‌های رودخانه‌ای (V_{ik}) برای دوره مبنای (k) مربوط به (i) سال هیدرولوژیکی به صورت رابطه ۸ به دست می‌آید.

$$SDI_{ik} = \frac{V_{ik} - \bar{V}_k}{S_k} \quad (8)$$

$$i = 1973 \dots$$

$$k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

که در آن \bar{V}_k و S_k به ترتیب میانگین مجموع حجم دبی و انحراف معیار حجم جریان‌های تجمعی برای دوره مبنای k است.

جدول ۲ طبقه‌بندی حالت‌های مختلف خشکسالی را به روش SDI نشان می‌دهد.

جدول ۱. طبقه‌بندی حالت‌های خشکسالی هواشناسی به روش شاخص SPI (مکی و همکاران، ۱۹۹۵)

محدوده	وضعیت خشکسالی	حالت
$+2 \leq SPI$	خیلی خیلی مرطوب	۰
$1.5 \leq SPI < 2$	خیلی مرطوب	۱
$1 \leq SPI < 1.5$	مرطوب متوسط	۲
$-1 \leq SPI < 1$	نزدیک به نرمال	۳
$-1.5 \leq SPI < -1$	خشکسالی متوسط	۴
$-2 \leq SPI < -1.5$	خیلی خشک	۵
$SPI < -2$	خیلی خیلی خشک	۶

گامی به دست آمده مساوی باشد. بهترین حالت انتقال یک متغیر از یک توزیع آماری به توزیع آماری دیگر، انتقال هم‌احتمال است که در آن احتمال‌های کمتر یا مساوی دو متغیر از دو توزیع برابر با هم فرض می‌شوند [۱۹]. شاخص SPI را می‌توان با استفاده از رابطه ۶ محاسبه کرد.

$$SPI = \frac{(P_i - \bar{P})}{S} \quad (6)$$

در رابطه ۶ P_i : مقدار بارندگی در دوره مد نظر \bar{P} : میانگین طولانی مدت بارش برای دوره زمانی مد نظر و S : انحراف معیار بارندگی است.

مکی و همکارانش (۱۹۹۳) این شاخص را در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه کردند. چون بارش چولگی دارد، بهترین روش برای برآزش داده‌های بارندگی با توزیع‌های مختلف، انتخاب مناسب‌ترین توزیع آماری است. تنوع کاربرد، به شاخص SPI این امکان را می‌دهد که خشکسالی را هم برای مقیاس‌های کوتاه مدت نظیر رطوبت خاک و هم مقیاس‌های بلندمدت نظیر آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی پیش کند. آنها همچنین برای تعیین خشکسالی و ترسالی در هر ایستگاه یک سیستم طبقه‌بندی معین برای مقادیر به دست آمده SPI تعیین و معرفی کردند که بیان‌کننده شدت‌های متفاوتی از خشکسالی در یک منطقه است (جدول ۱).

ویژگی دیگر شاخص SPI این است که بر اساس آن روش می‌توان آستانه خشکسالی را برای هر دوره زمانی تعیین کرد. این شاخص برای مقیاس‌های زمانی متفاوت ماهانه قابل محاسبه است و به منظور هشدار اولیه و پیش‌شدت خشکسالی اهمیت زیادی دارد. این شاخص برای

جدول ۲. طبقه‌بندی حالت‌های خشکسالی هیدرولوژیکی با روش شاخص SDI (نالبانتیس و تساکیر، ۲۰۰۹)

محدوده	وضعیت خشکسالی	حالت
$0 \leq SDI$	فاقد خشکسالی	۰
$-1 \leq SDI < 0$	خشکسالی ملایم	۱
$-1.5 \leq SDI < -1$	خشکسالی متوسط	۲
$-2 \leq SDI < -1.5$	خشکسالی شدید	۳
$SDI < -2$	خشکسالی خیلی شدید	۴

مجموع کل ایستگاه‌های زیرحوضه‌ها در تأخیرهای زمان مختلف نشان داد در زیرحوضه قره‌سو و گاماسیاب کاهش بارندگی تأثیر خود را بدون تأخیر و هم‌زمان بر جریان رودخانه می‌گذارد. هرچقدر تأخیر زمانی بیشتر می‌شود (از یک ماه تا پنج ماه) میزان ضریب همبستگی کاهش پیدا می‌کند. بیشترین ضریب همبستگی در سطح ۹۹ درصد بدون تأخیر معنادار است. مقدار ضریب همبستگی در زیرحوضه قره‌سو بیشتر است که ممکن است به دلیل کوچک‌تر بودن زیرحوضه باشد (جدول ۳).

جدول ۴ ماتریس ضریب همبستگی بین بارندگی و دبی در گام‌های زمانی مختلف است. نتایج نشان داد بیشترین ضریب همبستگی بین گام‌های زمانی متناظر SPI1 با SDI1، SPI3 با SDI3، SPI6 با SDI6 و SPI12 با SDI12 است.

نتایج تأخیر زمانی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژی

ضریب همبستگی پیرسون بین میانگین شاخص SPI و شاخص SDI در ایستگاه‌های موجود در زیرحوضه قره‌سو و گاماسیاب و کل حوضه در جدول ۵ به‌طور خلاصه ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در گام زمانی یک‌ماهه، بیشترین ضریب همبستگی بین دو خشکسالی بدون تأخیر و نیز با یک ماه تأخیر است و در سطح ۹۹ درصد معنادار است. در گام‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه بیشترین ضریب همبستگی در سطح ۹۹ درصد بدون تأخیر است. پس می‌توان گفت که خشکسالی هواشناسی تأثیر خود را بر خشکسالی هیدرولوژیکی در زیرحوضه‌ها بدون تأخیر و هم‌زمان می‌گذارد.

به‌منظور بررسی نظم زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در سطح کل حوضه کرخه از ۲۶ ایستگاه باران‌سنج بالادست حوضه و یک ایستگاه هیدرومتری خروجی در پایین حوضه استفاده شد. ابتدا میانگین SPI با

بررسی تأخیر زمانی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژی

برای شناسایی مناسب‌ترین فاصله زمانی میان دو خشکسالی، ابتدا رابطه همبستگی میان بارندگی و دبی که داده‌های خام هستند اندازه‌گیری شد. سپس ضریب همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی SPI و SDI اندازه‌گیری شد که از شاخص‌های خشکسالی می‌توان به‌عنوان یک مدل برای بررسی خشکسالی استفاده کرد. برای اینکه مشخص شود چه مدت طول می‌کشد که خشکسالی هواشناسی در یک منطقه به خشکسالی هیدرولوژیکی تبدیل شود، تأخیر زمانی میان این دو شاخص بررسی شد بدین‌صورت که هر زمان در منطقه خشکسالی رخ داد، بعد از چند مدت تأثیر آن بر خشکسالی هیدرولوژیکی نمایان می‌شود. برای مشخص شدن این تأخیر زمانی سری‌های شاخص SDI در تأخیرهای زمانی یک تا پنج ماهه و بدون تأخیر زمانی در مقابل شاخص SPI قرار گرفت و میزان ضریب همبستگی آنها اندازه‌گیری شد.

نتایج

نتایج رابطه بارندگی و دبی در زیرحوضه‌های قره‌سو و گاماسیاب

برای بررسی اثر خشکسالی بر منابع آب سطحی به بررسی رابطه میان بارندگی و جریان سطحی در دو زیرحوضه قره‌سو و گاماسیاب در مقیاس زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه پرداخته شد. ابتدا در هر زیرحوضه میانگین کل بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنج با میانگین کل دبی ایستگاه‌های هیدرومتری زیرحوضه بررسی شد و سپس ضریب همبستگی هر ایستگاه هیدرومتری با ایستگاه‌های باران‌سنج هر زیرحوضه تعیین شد. از تأخیر زمانی یک تا پنج ماهه در ایستگاه‌های هیدرومتری برای بررسی اثر کاهش بارندگی بر جریان آب سطحی و پیدا کردن نظم زمانی کمبود آب استفاده شد.

بررسی رابطه میان میانگین بارندگی و میانگین دبی در

مقدار شاخص SDI بدون تأخیر و با تأخیر یک تا پنج ماهه برای یافتن بهترین تأخیر زمانی استفاده شد که نتایج ضریب همبستگی در جدول ۵ مشاهده می‌شود و بیشترین ضریب همبستگی بدون تأخیر در سطح کل حوضه است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش گام زمانی ضریب همبستگی افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۳. ضریب همبستگی بین مجموع بارندگی و مجموع دبی در زیرحوضه قره‌سو و گاماسیاب

زیرحوضه‌ها	تأخیر / گام زمانی (ماه)					
	بدون تأخیر	یک ماه	دو ماه تأخیر	سه ماه تأخیر	چهار ماه تأخیر	پنج ماه تأخیر
قره‌سو	یک‌ماهه	۰/۵۶۵**	۰/۶۲۲**	۰/۴۱۷**	۰/۲۹۳**	۰/۱۴۳*
	سه‌ماهه	۰/۶۱۷**	۰/۴۱۱**	۰/۳۲۸**	۰/۳۴۵**	۰/۲۱۷
	شش‌ماهه	۰/۴۵۸**	۰/۲۸۹	۰/۰۹۷	۰/۲۷۸	۰/۰۵۲
	دوازده‌ماهه	۰/۸۰۴**	۰/۳۹۲	۰/۲۶۴	۰/۱۵۹*	-۰/۰۰۱
گاماسیاب	یک‌ماهه	۰/۵۴۸**	۰/۵۲۴**	۰/۳۱۸**	۰/۱۶۱*	۰/۰۶۷
	سه‌ماهه	۰/۵۶۴**	۰/۳۶۹**	۰/۳۲۴**	۰/۳۳۴**	۰/۲۱
	شش‌ماهه	۰/۳۰۸**	۰/۲۵۷	۰/۱۴۳	۰/۲۶۱	۰/۰۰۵
	۱۲‌ماهه	۰/۵۹۱**	۰/۲۳۶	۰/۱۶۹	۰/۴	-۰/۰۶۱

* و **، به ترتیب همبستگی در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد معنادار است.

جدول ۴. ماتریس ضریب همبستگی پیرسون بین بارندگی و جریان رودخانه در زیرحوضه قره‌سو و گاماسیاب

زیرحوضه‌ها	دبی (ماه)			
	بارندگی (ماه)	دبی یک‌ماهه	دبی سه‌ماهه	دبی شش‌ماهه
قره‌سو	بارندگی یک‌ماهه	۰/۵۶۵**	۰/۱۶۵	-۰/۱۴
	بارندگی سه‌ماهه	-۰/۰۶۷	۰/۶۱۷**	۰/۶۲۶**
	بارندگی شش‌ماهه	-۰/۱۷۱	-۰/۰۷۶	۰/۴۵۸**
	بارندگی ۱۲‌ماهه	-۰/۲۷۷	۰/۵۸۷**	۰/۷۴۴**
گاماسیاب	بارندگی یک‌ماهه	۰/۵۴۸**	-۰/۱۴	-۰/۱۲۳
	بارندگی سه‌ماهه	۰/۰۱	۰/۵۶۴**	۰/۴۸۱**
	بارندگی شش‌ماهه	-۰/۱۲	-۰/۱۸۲	۰/۳۰۸*
	بارندگی ۱۲‌ماهه	-۰/۲۳۴	۰/۴۶۵*	۰/۴۵۷*

جدول ۵. ضریب همبستگی بین مجموع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در زیرحوضه قره‌سو

زیرحوضه‌ها	تأخیر / گام زمانی (ماه)					
	بدون تأخیر	یک ماه تأخیر	دو ماه تأخیر	سه ماه تأخیر	چهار ماه تأخیر	پنج ماه تأخیر
قره‌سو	۱	۰/۳۸۰**	۰/۳۸۱**	۰/۲۸۷**	۰/۲۲۱**	۰/۱۱۱
	۳	۰/۵۰۴**	۰/۳۹۷**	۰/۲۲۰*	۰/۱۹۶	۰/۲۷۸*
	۶	۰/۷۳۹**	۰/۴۷۷**	۰/۳۸۶*	۰/۲۸۸	۰/۱۷۷
	۱۲	۰/۸۱۰**	۰/۴۵۵*	۰/۳۰۶	۰/۴۳۷	-۰/۱۶۳
گاماسیاب	۱	۰/۳۰۴**	۰/۲۵۲**	۰/۱۹۵**	۰/۱۲۲	۰/۰۳۴
	۳	۰/۳۵۶**	۰/۱۷۱	۰/۰۶۲	۰/۰۶	۰/۱۴
	۶	۰/۴۶۰**	۰/۲۵۲	۰/۲۶	۰/۱۵۶	۰/۰۸۸
	۱۲	۰/۴۹۳*	۰/۲۹۸	۰/۲۵۲	۰/۵۰۹*	۰/۰۳۸
کل حوضه	۱	۰/۳۳۹**	۰/۲۱۴**	۰/۱۶۷**	۰/۱۷۷**	۰/۱۲۳
	۳	۰/۴۵۳**	۰/۲۸۴*	۰/۱۳۲	۰/۱۴۳	۰/۲۰۱
	۶	۰/۶۵۷**	۰/۳۶۰*	۰/۴۲۵**	۰/۲۱۷	-۰/۰۷۱
	۱۲	۰/۷۰۱**	۰/۴۸۹*	۰/۰۸	۰/۴۳۱	*۰/۳۵۴

هواشناسی و هیدرولوژیکی، ضریب همبستگی شاخص‌ها به‌طور جداگانه در هر ایستگاه هیدرومتری با ایستگاه‌های باران‌سنج واقع در زیرحوضه تعیین شد. جدول ۷ نمونه‌ای از جدول‌های ضریب همبستگی ایستگاه هیدرومتری با ایستگاه‌های باران‌سنج با تأخیر زمانی یک تا پنج ماهه، در همه دوره زمانی ارائه شده است.

جدول ۶ که ماتریس ضریب همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی است؛ بیان می‌کند که SPI یک‌ماهه با SDI یک‌ماهه، SPI سه‌ماهه یا SDI سه‌ماهه، SPI شش‌ماهه با SDI شش‌ماهه، SPI سالانه با SDI سالانه بیشترین ضریب همبستگی معنادار را در سطح ۹۹ درصد دارد. برای مشخص کردن رابطه زمانی بین دو خشکسالی

جدول ۶. ماتریس ضریب همبستگی بین شاخص SDI و SPI

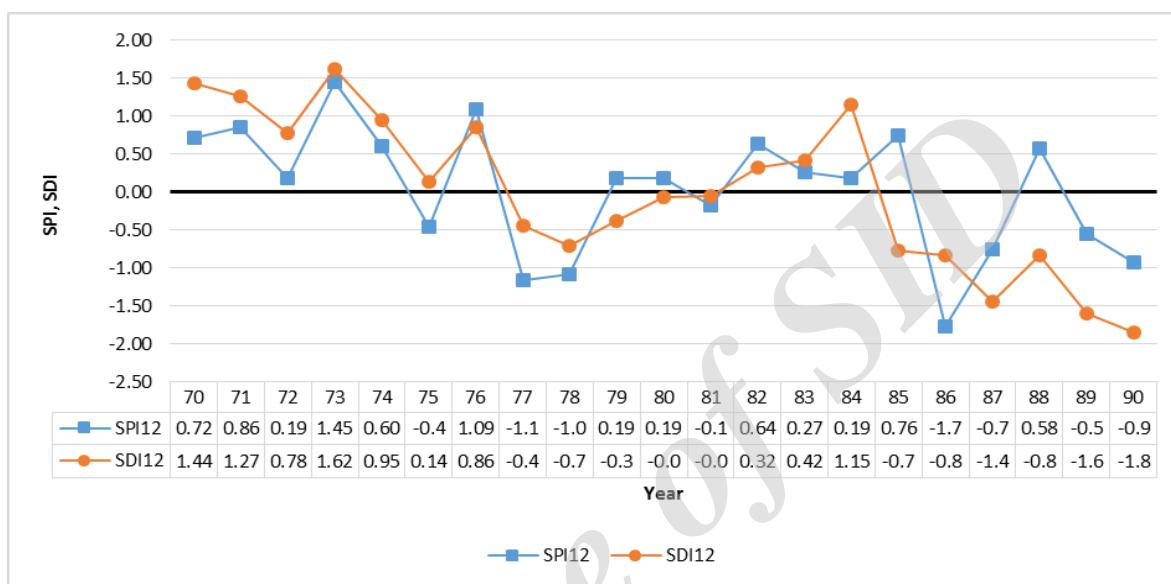
SDI12	SDI6	SDI3	SDI1	SDI	
				SPI	زیرحوضه‌ها
-۰/۱۷۴	۰/۱۲۱	-۰/۰۷۹	۰/۳۸۰**	SPI1	قره‌سو
۰/۱۱۷	۰/۳۰۷*	۰/۵۰۴**	۰/۰۰۶	SPI3	
۰/۴۶۶*	۰/۷۳۹**	۰/۳۷۶*	-۰/۰۷۴	SPI6	
۰/۸۱۰**	۰/۴۵۵*	۰/۳	-۰/۳۱۷	SPI12	
-۰/۳۳۹	-۰/۱۵۹	-۰/۱۰۳	۰/۳۰۴**	SPI1	گاماسیاب
۰/۰۶۳	۰/۱۵	۰/۳۵۶**	-۰/۰۸۸	SPI3	
۰/۳۱	۰/۴۶۰**	۰/۱۳۴	-۰/۰۹۵	SPI6	
۰/۴۹۳*	۰/۱۵۹	۰/۲۶۹	-۰/۳۶۹	SPI12	
-۰/۳۶۵	۰/۰۹۳	-۰/۲۲۲*	۰/۳۳۹**	SPI1	کل حوضه
۰/۱۵۳	۰/۲۰۱	۰/۴۵۳**	-۰/۱۲۵	SPI3	
۰/۳۳۷	۰/۶۵۷**	۰/۳۳۰*	-۰/۲۷۸	SPI6	
۰/۷۰۱**	۰/۵۰۴*	۰/۴۱۲	-۰/۶۶۱**	SPI12	

جدول ۷. ضریب همبستگی بین شاخص SPI حوضه و SDI ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبریز کرخه

گام زمانی (ماه)	تأخیر ایستگاه	در همان ماه				
		با یک ماه تأخیر	با دو ماه تأخیر	با سه ماه تأخیر	با چهار ماه تأخیر	با پنج ماه تأخیر
یک‌ماهه	دوآب‌مرگ	۰/۲۴۶**	۰/۲۸۱**	۰/۲۴۱**	۰/۲۳۶**	۰/۲۱۸**
	قورباغستان	۰/۱۸۲**	۰/۱۹۵**	۰/۱۴۲*	۰/۰۹۱	۰/۰۶۲
	پل زال	۰/۳۴۶**	۰/۲۱۳**	۰/۱۲۳	۰/۱۲۶*	۰/۱۴۹*
	پل چهره	۰/۳۲۹**	۰/۳۳۴**	۰/۲۹۰**	۰/۲۴۱**	۰/۱۴۸*
سه‌ماهه	دوآب‌مرگ	۰/۳۰۹**	۰/۳۸۸**	۰/۴۲۸**	۰/۴۳۰**	۰/۲۶۱**
	قورباغستان	۰/۳۳۵**	۰/۱۸۸	۰/۰۸۶	۰/۱۷۲	۰/۱۳۱
	پل زال	۰/۴۹۴**	۰/۲۹۱**	۰/۱۸۸	۰/۱۱۷	۰/۱۹۳
	پل چهره	۰/۴۵۲**	۰/۴۲۸**	۹/۲۲۹*	۰/۱۲۲	۰/۲۰۲
شش‌ماهه	دوآب‌مرگ	۰/۵۸۷**	۰/۶۳۷**	۰/۴۹۵**	۰/۳۱۶	۰/۱۱۵
	قورباغستان	۰/۴۶۰**	۰/۳	۰/۳۵۱*	۰/۳۰۹	۰/۲۹۳
	پل زال	۰/۴۹۴**	۰/۲۹۰**	۰/۱۸۸	۰/۱۱۷	۰/۱۹۳
	پل چهره	۰/۶۸۴**	۰/۴۳۷**	۰/۳۲۷*	۰/۲۶۷	۰/۳۳۲
۱۲ ماهه	دوآب‌مرگ	۰/۶۵۶**	۰/۵۲۶*	۰/۱۶۴	۰/۱۴	-۰/۲۳۴
	قورباغستان	۰/۴۴۱*	۰/۳۹۱	۰/۲۹۴	۰/۲۰۷	-۰/۲۰۹
	پل زال	۰/۸۳۴**	۰/۴۵۲*	۰/۱۸۵	۰/۳۸۸	۰/۱۷۱
	پل چهره	۰/۷۹۹**	۰/۴۲۸	۰/۲۷۶	۰/۳۹۲	-۰/۴۰۹

دو نوع خشکسالی کاملاً مشابه است. رابطه زمانی معناداری بین دو شاخص خشکسالی هواشناسی (SPI) و شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی (SDI) وجود دارد. در صورتی که خشکسالی هواشناسی در حوضه رخ دهد، هم‌زمان تأثیر خود را بر خشکسالی هیدرولوژیکی می‌گذارد. هر چقدر به سمت مقیاس زمانی طولانی‌تر می‌رویم، این همبستگی بیشتر و تأخیر زمانی نیز کمتر می‌شود.

شکل ۳ نشان‌دهنده تأثیر خشکسالی هواشناسی بر خشکسالی هیدرولوژیکی در سری‌های زمانی ۱۲ ماهه در حوضه آبریز کرخه است. نتایج نشان داد همبستگی بین این دو شاخص طی دوره آماری ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ قوی بوده است. وضعیت خشکسالی زمانی است که مقدار شاخص‌های خشکسالی عدد زیر صفر را نشان دهند. همان‌گونه که در شکل ۳ دیده می‌شود روند تغییرات هر



شکل ۳. نمودار شاخص SPI (میانگین کل حوضه) و SDI (ایستگاه هیدرومتری پل زال) در گام زمانی سالانه

سطحی بدون تأخیر یا با یک ماه تأخیر نمایان می‌شود، به تدریج کاهش می‌یابد تا اینکه بعد از سه ماه تأثیر آن از بین می‌رود. در گام شش و ۱۲ ماهه کاهش جریان آب سطحی بدون تأخیر تأثیر خود را نمایان می‌کند. ضریب همبستگی در سطح ۹۹ درصد بدون تأخیر و بدون تأخیر معنادار است و ضریب همبستگی در تأخیر یک تا پنج ماهه معنادار نیست، بعد یک ماه تأثیر آن از بین می‌رود.

بررسی تغییرات شاخص‌های خشکسالی SPI و SDI برای گام‌های زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در حوضه آبریز کرخه نشان می‌دهد این دو شاخص در سری زمانی ۶ و ۱۲ ماهه بیشترین ضریب همبستگی را در چهار گام‌های زمانی مطالعه شده دارد. همان‌گونه که در شکل نشان داده شد در سال‌هایی که شاخص SPI روند افزایشی داشته، شاخص SDI نیز افزایش یافته است و در سال‌هایی که مقدار شاخص SPI زیر صفر بوده، نشان‌دهنده حاکمیت دوره خشک در حوضه آبریز کرخه است. با توجه به مقادیر ضریب همبستگی که در

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد منابع آب سطحی حوضه آبریز کرخه به شدت از بارش تأثیرپذیر است و با نوسانات بارندگی جریان آب سطحی هم به سرعت نوسان نشان می‌دهد. بررسی نظم زمانی میان بارندگی و جریان سطحی در دو زیرحوضه قره‌سو و گاماسیاب نشان داد بیشترین همبستگی در دوره سالانه رخ می‌دهد به طوری که در سطح ۹۹ درصد معنادار است و با افزایش مقیاس زمانی (از یک‌ماهه تا ۱۲ ماهه) میزان همبستگی افزایش یافته است. نتایج در زیرحوضه قره‌سو و گاماسیاب گویای آن است که در گام زمانی یک و سه ماهه که کاهش جریان آب سطحی در این زیرحوضه بدون تأخیر زمانی یا با یک ماه تأخیر نسبت به کاهش بارندگی به وقوع می‌پیوندد؛ که ضرایب همبستگی مربوط به تأخیر زمانی چهار و پنج ماهه دبی هیچ‌گونه رابطه معناداری با کاهش بارندگی ندارد. با توجه به ضرایب به دست آمده تأثیر کاهش بارندگی بر کاهش جریان آب

- [2]. Khazayi M, Telvari A. Hydrological drought frequency distribution analysis. *Journal of Geography and Urban Development*. 2003; (2): 45-56. [Persian].
- [3]. Eivazi M, Mosaedi A. Monitoring and spatial analysis of meteorological drought in golestan province using geostatistical methods., *Journal of range and watershed management, iranian journal of natural resources*. 2011; 64: 65-78. [Persian].
- [4]. Alavi Nia H, Sadatinejad j, Abdullah Kh. Provide a model for prediction of hydrological drought in Karoon-1 basin. *Environmental Erosion Research Journal*. 2011; (1): 45-56. [Persian].
- [5]. Rzayyklantriy d. Check meteorological and hydrological drought in East Mazandaran. *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 2011 Master thesis.
- [6]. Eskandari Damaneh H, Zehtabian GH, Khosravi H, Azareh. Analysis of temporal and spatial relationship between meteorological and hydrological drought in Tehran province. *Jurnal Management System*. Winter 2016:113-120. [Persian].
- [7]. Babaei H, Araghinejad SH, Horfar A. Time interval identification of the occurrences of meteorological and hydrological droughts in Zayandeh-Rud basin, *Arid Biom Scientific and Research Journal*, 2011; 1 (3): 1-12. [Persian].
- [8]. Mofidipoor N, Brady Sheikh V, Ownegh M, Sydaldyn A. the analysis of relationship between meteorological and hydrological droughts in Atrak. *Watershed jwmr*. 2011; 3 (5): 16-26. [Persian].
- [9]. Azareh A, Rahdari MR, Sardoi ER, & Moghadam, FA. Investigate the relationship between hydrological and meteorological droughts in Karaj dam basin. *European Journal of Experimental Biology*. 2014; 4(3): 102-107.
- [10]. Soleimani Sardou F, Bahramand A. Hydrological drought analysis using SDI index in Halilrud basin of Iran. *Environmental Resources Research*. 2014; 2(1): 47-56.
- [11]. Vardipour A, Azarakhsh M., Mosaedi A, Farzadmehr J. The relationship between meteorological and hydrological droughts Mashhad plain. *The National Conference of Sciences and Environment Engineering*, June 2014. Ahvaz Province. [Persian].
- [12]. Tigkas D, Vangelis H, Tsakiris G. Drought and climatic change impact on streamflow in small watersheds. *Science of the Total Environment*. 2012; 440: 33-41.

تأخیرهای یک تا پنج ماهه به دست آمده است، بیشترین مقادیر ضریب همبستگی پیرسون در گام زمانی ۶ و ۱۲ ماهه است. نتایج ضریب همبستگی گویای این است که خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه آبریز کرخه بدون تأخیر یا با تأخیر یک ماهه بعد از خشکسالی هواشناسی رخ می دهد و تأثیر آن تا سه ماه در حوضه ادامه دارد و بعد از آن تأثیر از بین می رود، به طوری که میزان ضریب همبستگی بعد از سه ماه معنادار نیست. این نتایج با یافته های مفیدی پور و همکارانش (۲۰۱۱) در حوضه اترک و آذره و همکارانش مطابقت دارد. نتایج ضریب همبستگی گویای این است که خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه آبریز کرخه بدون تأخیر بعد از خشکسالی هواشناسی رخ می دهد و تأثیر آن تا سه ماه در حوضه ادامه دارد، به طوری که میزان ضریب همبستگی بعد از سه ماه معنادار نیست. با افزایش مقیاس زمانی، میزان ضریب همبستگی بین شاخص های خشکسالی افزایش می یابد. نتایج ساکرین و همکارانش در یونان، اسکندری دامنه و همکارانش در تهران و ژانگ و همکارانش در چین با این نتایج مطابقت دارد. به طور کلی، نتایج نشان دهنده این مطلب است که کاهش بارندگی نیز تأثیر خود را هم زمان بر دبی رودخانه می گذارد. فاصله زمانی میان وقوع خشکسالی های هواشناسی و هیدرولوژیکی هم زمان و بدون تأخیر زمانی در سطح کل حوضه است. نتایج یاد شده می تواند به این دلیل باشد که بیشتر حوضه آبریز کرخه را مناطق کوهستانی (۵۹ درصد) در بر گرفته است، متوسط شیب حوضه زیاد (۱۷/۲ درصد) است، پوشش گیاهی فقیر و تخریب اراضی زیاد و همچنین شرایط زمین شناسی حوضه (کارستی و آهکی) است. با توجه به اینکه نتایج ضریب همبستگی بین بارندگی و دبی و همچنین ضریب همبستگی بین شاخص های خشکسالی در همه دوره های زمانی با هم مطابقت دارد، می توان گفت که شاخص های خشکسالی انتخاب شده نماینده خوبی برای بررسی خشکسالی ها و بررسی رابطه زمانی میان دو نوع خشکسالی باشند.

منابع

- [1]. Mozafari Gh. Unconformity in meteorological and hydrological drought in two neighboring basin at north mountain slope of shirkoh yazd. *Journal of spatial planning*. 2006;10 (2): 173-190. [Persian].

- [13]. Zhiyong Wu, Yun Mao, Xiaoyan Li, Guihua Lu, Qingxia Lin and Huating Xu. Exploring spatiotemporal relationships among meteorological, agricultural, and hydrological droughts in Southwest China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 2016;(30.3): 1033-1044.
- [14]. Christopher N, Awange J, Corner R, Kuhn M and Okwuashi O On the potentials of multiple climate variables in assessing the spatio-temporal characteristics of hydrological droughts over the Volta Basin." *Science of The Total Environment* 2016; (557): 819-837.
- [15]. Ndehedehe CE, Awange JL, Corner R J, KuhnM, Okwuashi O. On the potentials of multiple climate variables in assessing the spatio-temporal characteristics of hydrological droughts over the Volta Basin. *Science of The Total Environment*. 2016; 557: 819-837.
- [16]. Moradi H, Sepahvand A, Khazae, M. Meteorological and hydrological drought monitoring using SPI index modified and SDI (Case Study of Khorramabad), 5th National Conference of Iran' Watershed. May 2009, Gorgan. [Persian].
- [17]. Salajegh A, Razavizade S, Khorasani N, Hamidifar M, Salajegh S. Land use Changes and its Effects on Water Quality (Case study: Karkheh watershed), *Journal of Environmental Studies*. 37(58), 81-86.
- [18]. GHasemi M, Eslamian S, Soltani S. Monitoring and regionalization of meteorological drought in karkhe watershed using standardized precipitation index and precipitation deciles. *Journal of Water of Research in Agriculture*. 2008; 8 (3):35-23.
- [19]. Kazemzadeh M, Malekian A. Spatial characteristics and temporal trends of meteorological and hydrological droughts in northwestern Iran. *Natural Hazards*, 2016;(1): 191-210.
- [20]. Mair A, Fares A. Influence of groundwater pumping and rainfall spatio-temporal variation on streamflow. *Journal of Hydrology*. 2010; 393(3): 287-308.
- [21]. Karamoz M, Araghynejad Sh, *Advanced Hydrology*. Amir Kabir University Press, 2005.
- [22]. Bazrafshan J. 1381. A few examples of performance evaluation in different climates of Iran meteorological drought indices, Masters Meteorology, School of Agriculture, University of Tehran.
- [23]. Nalbantis I, Tsakiris G. Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*. 2009; 23(5): 881-897.

Archive