

بررسی و تحلیل روند خشکسالی در حوضه آبخیز سد گیوی با رویکرد چندشاخصی

اتابک فیضی^{۱*}، وحید ملکی^۲

۱. استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی،

اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۲/۲۲، تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۰۶/۲۷)

چکیده

ارزیابی وضعیت و روند شکل‌گیری خشکسالی همواره یکی از عوامل مهم برای مقابله با آثار مخرب این پدیده است. برای بررسی خشکسالی، با توجه به موقعیت مکانی، در بازه‌های زمانی مشخص، از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود. هدف اصلی تحقیق حاضر، ارزیابی وضعیت خشکسالی حوضه آبخیز سد گیوی با استفاده از معیارهای چندشاخصی است. به این منظور، به کمک داده‌های بارندگی دو ایستگاه منتخب در حوضه آبخیز سد گیوی، طی یک دوره آماری ۳۱ ساله، با به‌کارگیری شاخص‌های DI ، PNI ، SZI ، CZI ، RDI ، SPI این پدیده تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد در سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲ در ایستگاه خلخال و در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ در ایستگاه فیروزآباد خشکسالی شدید رخ داده است. همچنین، با استفاده از شاخص خشکسالی مؤثر (EDI)، تعداد روزهای خشک در فصل‌های پاییز و زمستان در سال‌هایی که خشکسالی شدید بود، به دست آمد. با بررسی شاخص‌ها به صورت ماهانه معین شد ضمن شباهت نسبتاً زیاد شاخص‌های SPI ، CZI ، SZI و RDI در نشان دادن اصلی‌ترین دوره‌های خشکسالی و ترسالی، شاخص SPI در تشخیص آغاز دوره‌های خشکسالی نسبت به دیگر شاخص‌ها کارایی بهتری دارد.

کلیدواژگان: بارش استاندارد شده، حوضه آبخیز سد گیوی، خشکسالی مؤثر، شاخص RDI .

مقدمه

در بررسی تغییرات آب‌وهوایی، یکی از خطرهای بارزی که اقلیم‌های مختلف را تحت تأثیر آثار مخرب خود قرار می‌دهد، پدیده خشکسالی است. روند شکل‌گیری این پدیده بسیار کند و مبهم است و همین امر سبب شده تا شدت خسارت‌های ناشی از آن نسبت به دیگر بلایای طبیعی در ابعاد وسیع‌تری نمود پیدا کند و هرچه زمان بگذرد، ملموس‌تر شود. از این‌رو، زمان آغاز خشکسالی، وضعیت پیشرفت و میزان شدت آن همواره یکی از چالش‌های محققان بوده که با بهره‌گیری از شاخص‌های مختلف، متناسب با شرایط اقلیمی هر منطقه، تحلیل و ارزیابی می‌شوند.

تشخیص شروع و چگونگی شکل‌گیری خشکسالی، آن را از دیگر پدیده‌ها متمایز می‌کند. به بیان ساده‌تر می‌توان گفت که خشکسالی آن قدر آرام رخ می‌دهد که حتی ممکن است تا چند ماه و در برخی موارد تا چند سال، پاسخ به این سؤال که آیا خشکسالی آغاز شده است یا خیر، امکان‌پذیر نباشد. قاسمی و همکاران (۱۳۸۷) با به‌کارگیری دو شاخص CZI و MCZI در یک دوره آماری ۴۱ ساله به بررسی و پایش خشکسالی در منطقه زابل پرداختند. آنها پس از تصحیح داده‌ها و برآزش توزیع مناسب برای شاخص‌ها، خشک‌ترین سال را برای منطقه مطالعاتی تعیین کردند و در نهایت، به این نتیجه رسیدند که شاخص CZI نسبت به MCZI عملکرد بهتری دارد [۱]. بنی‌مهد و خلیلی (۱۳۹۰) در پژوهشی تحت عنوان «بررسی و مقایسه شاخص‌های خشکسالی SPI و EDI، در ۱۶ ایستگاه منتخب استان مازندران و در یک دوره آماری ۳۰ ساله»، نشان دادند که این دو شاخص رفتار نسبتاً مشابهی با یکدیگر دارند. همچنین، نتایج بررسی‌ها بیانگر این امر بود که اگر گام‌های زمانی در هر دو شاخص، افزایش پیدا کند، شدت خشکسالی کاهش و تداوم آن افزایش خواهد یافت [۲]. Asadi Zarch و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از شاخص‌های RDI و SPI در چهار ایستگاه مختلف ایران برای گام‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه خشکسالی را تجزیه و تحلیل کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد بخش‌های مرکزی و شرقی ایران با شرایط بسیار خشک روبه‌رو هستند. همچنین، نتایج آزمون همبستگی نشان داد به دلیل ماهیت داده‌های ورودی، شباهت نسبتاً زیادی میان خروجی کلاس‌های خشکسالی حاصل از این دو شاخص وجود دارد [۳]. Vangelis و همکاران (۲۰۱۳) با بیان اینکه برای تعیین شاخص RDI باید هم‌زمان از

داده‌های بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل (PET: Potential evapotranspiration) استفاده کرد، در چند ایستگاه هواشناسی یونان با شرایط آب‌وهوایی مدیترانه‌ای به بررسی خشکسالی پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش آنها نشان داد اگر در مناطق خشک و نیمه‌خشک، فقط از داده‌های تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده شود، نتایج مربوط به طبقه‌بندی کلاس‌های خشکسالی، مشابه حالتی خواهد بود که فقط در آنها داده‌های بارندگی در نظر گرفته شده است. به بیان دیگر، RDI یک شاخص قوی است که در همه موارد به تبخیر و تعرق پتانسیل وابسته نیست و می‌توان در برخی موارد، برای ارزیابی خشکسالی به کمک شاخص مد نظر، از محاسبات مرتبط با تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده نکرد [۴]. اسماعیل‌پور و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی با به‌کارگیری شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص دهک‌ها (DI) و شاخص درصد نرمال بارش (PNI) در یک دوره آماری ۲۰ ساله از داده‌های بارش چهار ایستگاه استان هرمزگان استفاده کردند و نتیجه گرفتند شاخص‌های DI و PNI کلاس‌های خشکسالی بسیار شدید را در ایستگاه‌های مطالعه شده بهتر از SPI نشان می‌دهند. همین‌طور نتایج پژوهش آنها بیانگر این مطلب بود که شاخص SPI در تعیین شروع خشکسالی و دوره‌های خشکی کارایی بیشتری دارد [۵]. برای بررسی وضعیت خشکسالی در حوضه آبریز گدیز ترکیه، بوستانی هزارانسی و اولکه (۱۳۹۳) در یک دوره آماری ۳۴ ساله از داده‌های بارش ماهیانه در هفت ایستگاه سینوپتیک استفاده کردند. آنها با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده، شدت خشکسالی را به کمک شاخص‌های ZSI و CZI طبقه‌بندی کردند [۶]. قوش‌کربی و گنجی‌نوروزی (۱۳۹۴) برای برآورد خشکسالی در شهرستان گرگان، با استفاده از شاخص‌های SPI و CZI نشان دادند که در چه سال‌هایی خشکسالی شدید و ترسالی رخ داده است. همچنین، نشان دادند شاخص درصد نرمال بارش PNI کمترین حساسیت را نسبت به تغییرات بارندگی دارند [۷]. Jain و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به مقایسه شاخص‌های خشکسالی مؤثر (EDI)، شاخص دهک‌ها (DI)، شاخص استاندارد بارش (SPI)، شاخص آماری Z-Score شاخص CZI و شاخص RDI در گام‌های زمانی مختلف پرداختند. نتایج پژوهش آنها بیانگر آن بود که در گام زمانی یک‌ماهه در تمام DI‌ها ممکن است خروجی نادرستی از مدت زمان خشکسالی تولید شود. از طرفی، برای گام زمانی نه‌ماهه شاخص‌های

Khalili و همکاران (۲۰۱۱) برای بررسی و مقایسه شاخص‌های SPI و RDI با به‌کارگیری بارش و نسبت بارش بر تبخیر و تعرق بالقوه، از داده‌های ایستگاه‌های مختلف در ایران استفاده کردند. آنها ضمن توسعه دادن مشخصه‌های خشکسالی در سری‌های زمانی سه‌ماهه و شش‌ماهه، کلاس‌های مختلف خشکسالی را به کمک این شاخص‌ها طبقه‌بندی کردند. همچنین، در پژوهش یادشده با استفاده از زنجیره مارکوف زمان رسیدن از حالت نرمال به حالت خشکسالی یا ترسالی پیش‌بینی شد. نتایج به‌دست‌آمده از این ارزیابی‌ها بیانگر این امر بود که این دو شاخص ضمن داشتن رفتار مشابه در بخش پیش‌بینی مربوطه، در طبقه‌بندی خشکسالی نسبتاً یکسان عمل می‌کنند [۱۴]. آذرخشی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی شدت و فراوانی خشکسالی را با استفاده از شاخص EDI در ایستگاه مشهد طی یک دوره آماری سی‌ساله بررسی کردند. نتایج پژوهش یادشده بیان می‌کند که در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰، بیشترین تعداد کلاس خشکسالی شدید رخ داده است، به طوری که سال ۱۳۸۰، ۲۳۸ روز خشکسالی شدید و ۴۶ روز خشکسالی متوسط را پشت سر گذاشته است [۱۵]. فاطمی و همکاران (۱۳۹۷) با در نظر گرفتن این امر که شاخص خشکسالی احیایی (RDI)، به صورت هم‌زمان مقادیر بارش و تبخیر و تعرق را در تجزیه و تحلیل‌های مربوطه لحاظ می‌کند، از آمار و ارقام ایستگاه‌های سینوپتیک استان یزد استفاده کرده و مزایا و معایب و همچنین مشکلات پهنه‌بندی خشکسالی را ابتدا برای استان یزد و سپس در مقیاس ملی مشخص کردند [۱۶]. برای آگاهی از وضعیت خشکسالی، مقیمی و همکاران (۱۳۹۷) احتمال وقوع حالت‌های قابل پیش‌بینی را تجزیه و تحلیل کردند. آنها با استفاده از داده‌های بارش ده ایستگاه سینوپتیک استان فارس در یک دوره آماری ۲۴ ساله، به کمک شاخص RDI با گام زمانی یک‌ماهه و مدل زنجیره مارکوف که برای پیش‌بینی خشکسالی استفاده می‌شود، مشخص کردند که در سطح استان فارس، درصد فراوانی کلاس‌های خشک نسبت به مرطوب بیشتر است و این امر نشانه ادامه روند خشکسالی در این منطقه است [۱۷]. اختیاری‌خواجه و دین‌پژوه (۱۳۹۷) در یک دوره آماری ۶۰ ساله با به‌کارگیری شاخص خشکسالی مؤثر (EDI)، دوره‌های خشکی در ایستگاه‌های تبریز، بندرانزلی و زاهدان را بررسی کردند. آنها با محاسبه میانگین بارش مؤثر روزانه (MEP)، تفاضل بارش مؤثر روزانه از میانگین بارش مؤثر

محاسبه‌شده به بهترین حالت ممکن با یکدیگر در ارتباط هستند [۸]، مهتدی و همکاران (۱۳۹۵) برای تعیین بهترین شاخص خشکسالی در حوضه آبخیز باراندوزچای دریاچه ارومیه، سه شاخص SPI، ZSI و PNI را بررسی کردند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش آنها بیانگر این بود که شاخص SPI بیشترین مطابقت را با نوسانات بارش دارد [۹]. عثمانی و ثانی‌خانی (۱۳۹۵) با به‌کارگیری داده‌های بارش در مقیاس زمانی ماهیانه و سالانه در ایستگاه‌های مختلف استان کردستان وضعیت خشکسالی را به صورت کمی ارزیابی کردند. نتایج پژوهش یادشده بیان می‌کند که دو شاخص SPI و DI وضعیت روند شکل‌گیری خشکسالی را مشابه یکدیگر نشان می‌دهند. همچنین، در مورد تعیین کلاس‌های مختلف خشکسالی، با استفاده از شاخص PNI و تجزیه و تحلیل هر سه شاخص، نشان دادند در سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸، خشکسالی‌های متوسط و شدید رخ داده است [۱۰]. Tigkas و همکاران (۲۰۱۶) با بیان اینکه شاخص RDI به دلیل حساسیت و انعطاف‌پذیری نسبتاً زیاد برای ارزیابی آثار خشکسالی در کشاورزی مورد استفاده گسترده محققین قرار می‌گیرد، یک نسخه اصلاحی به نام eRDI را ارائه دادند که در آن داده‌های بارش با بارش مؤثر جایگزین شده است. نتایج پژوهش یادشده نشان داد با اصلاح صورت‌گرفته روی شاخص RDI، میزان آب مورد بهره‌برداری بهینه در سیستم‌های کشاورزی، دقیق‌تر تعیین شده و در مجموع عملکرد شاخص را بهبود بخشید [۱۱]. کماسی و همکاران (۱۳۹۵) با به‌کارگیری داده‌های بارندگی و استفاده از دو شاخص SPI در بازه‌های زمانی دوازده‌ماهه و شاخص EDI به صورت روزانه به پیش خشکسالی پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که تفاوت محسوس در چگونگی ارزیابی خشکسالی به کمک این دو شاخص وجود ندارد، اما از آنجا که شاخص EDI بر مبنای داده‌های روزانه محاسبه می‌شود، در بازه‌های زمانی درازمدت به دلیل زیاد بودن حجم محاسبات، احتمال رخ دادن خطا افزایش پیدا کرده و این امر نشان‌دهنده برتری نسبی شاخص SPI در دوره‌های آماری بلندمدت است [۱۲]. حنیفه‌پور و همکاران (۱۳۹۶) در یک دوره آماری ۹ ساله، با استفاده از شاخص SPI و شاخص معیار استاندارد Z یا CZI، وضعیت خشکسالی در ۱۰ ایستگاه هواشناسی سمنان را بررسی کردند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش آنها نشان داد در سال ۱۳۸۶، خشکسالی شدید در منطقه مطالعه شده رخ داده است [۱۳].

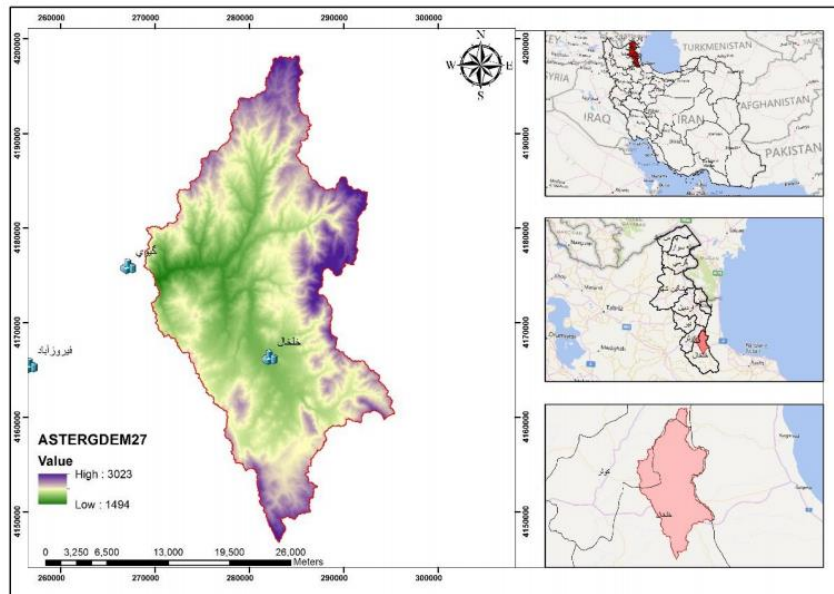
آماري ۲۰ ساله، خشکسالی را ارزیابی کردند. نتایج به دست آمده بیانگر این امر بود که شاخص SPI تطابق نسبتاً زیادی با شاخص CZI دارد. از طرفی، با تحلیل فراوانی شاخص‌های مطالعه شده، مشخص شد در سال‌های نرمال شاخص PNI و در ترسالی‌های ضعیف، شاخص SPI کاربرد بهتری دارند. همچنین، در مورد خشکسالی‌های ضعیف تا متوسط، هر سه شاخص یادشده نتایج تقریباً یکسانی را نشان می‌دهند [۲۴]. Ben Abdolmalek and Nouiri (۲۰۲۰) بر اساس سری بارندگی ماهانه ۱۶ ایستگاه اصلی هواشناسی در تونس و در یک بازه زمانی ۴۳ ساله، ضمن محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) و تعیین شاخص RDI، شاخص بارش استاندارد شده (SPI) را نیز مورد ارزیابی قرار دادند و نشان دادند در هر سال، وضعیت شدت خشکسالی چگونه است [۲۵].

تغییرات در میزان بارش، رطوبت و دمای هر منطقه، از جمله عواملی هستند که به صورت مستقیم بر وقوع و شدت خشکسالی تأثیر گذارند. از طرفی زمانی که خشکسالی رخ می‌دهد، لزوماً نباید همه عوامل دخیل در این امر، هم‌زمان تحت تأثیر قرار گیرند، ضمن اینکه با هیچ شاخصی نمی‌توان تمام جوانب این پدیده و فاکتورهای لازم را به صورت جامع ارزیابی کرد. بنابراین، در پژوهش حاضر برای پایش خشکسالی حوضه آبخیز سد گیوی در استان اردبیل، از یک رویکرد چندشاخصی استفاده شده است.

منطقه مطالعه شده

در مطالعه حاضر به بررسی وضعیت خشکسالی در محدوده حوضه آبخیز سد گیوی، واقع در استان اردبیل پرداخته شده است. از این‌رو، از اطلاعات هواشناسی دو ایستگاه سینوپتیک خلخال و فیروزآباد استفاده شد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه خلخال ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه طولی و ۳۷ درجه و ۳۷ دقیقه عرضی است. همچنین ایستگاه فیروزآباد از همین نظر در ۴۸ درجه و ۲۹ دقیقه طولی و ۳۷ درجه و ۳۷ دقیقه عرضی قرار دارد. بر اساس میانگین آمارهای سالانه در ایستگاه‌های یادشده، در این محدوده متوسط دما، ۱۴ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی، ۳۸۱ میلی‌متر است. در شکل ۱ نمایی از موقعیت مکانی محدوده بررسی شده قابل مشاهده است.

مقدار (DEP) و همین‌طور مقدار استاندارد شده آن برای هر روز از سال، شاخص خشکسالی مؤثر را تجزیه و تحلیل کردند. نتایج حاصل از مطالعه آنها نشان داد بر اساس تعداد روزهایی که در ایستگاه‌ها خشکسالی به وقوع پیوسته بود، هرچه تعداد روزهای خشک در دوره آماری بیشتر باشد، دوره‌های خشکسالی در آن ایستگاه بیشتر خواهد بود [۱۸]. برای ارزیابی خشکسالی در دو ایستگاه ازنا و نواباد، احمدی و بازوند (۱۳۹۷) از داده‌های بارش استفاده کردند. آنها به کمک نرم‌افزار DIP در یک دوره آماری ۱۷ ساله، شاخص‌های SPI، CZI، ZSI و PNI را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که دو شاخص SPI و PNI در منطقه مطالعه شده، وضعیت کلاس‌های خشکسالی را بهتر نشان می‌دهند [۱۹]. Tigkas و همکاران (۲۰۱۸) با بیان اینکه شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، یکی از شاخص‌های پر کاربرد برای تجزیه و تحلیل خشکسالی است، یک نسخه اصلاحی از این شاخص را پیشنهاد کردند. آنها با این ایده که در ارزیابی خشکسالی به کمک SPI فقط از داده‌های بارش استفاده می‌شود، کل داده‌های بارش را با بارش مؤثر جایگزین کردند. بررسی‌های مرتبط با عملکرد aSPI و SPI در چهار منطقه یونان نشان داد شاخص aSPI نسبت به SPI قوی‌تر است [۲۰]. گلشنی و نحوی‌نیا (۱۳۹۸) برای بررسی فراوانی و شدت وقوع خشکسالی در بازه زمانی ۲۰ ساله به صورت سالانه در استان خوزستان از داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی استفاده کردند. بررسی‌های انجام شده نشان می‌داد که در دوره آماری مطالعه شده، سرتاسر استان خوزستان خشکسالی را تجربه کرده‌اند [۲۱]. همچنین سعیدین (۱۳۹۸) با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده SPI بر ارزیابی خشکسالی در استان فارس طی یک دوره آماری یازده ساله پرداخت و به این نتیجه رسید که در این بازه زمانی در منطقه مد نظر چندین خشکسالی شدید به وقوع پیوسته است [۲۲]. کاتورانی و همکاران (۱۳۹۸) در مقاله‌ای تحت عنوان «بررسی خشکسالی حوضه قزل اوزن با استفاده از شاخص RDI به کمک مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه و با انتخاب روش هارگریوز-سامانی»، به این نتیجه رسیدند که داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های مطالعه شده با شرایط واقعی مطابقت دارد [۲۳]. در پژوهشی دیگر، علیقلی‌نیا و همکاران (۱۳۹۸) به کمک شاخص‌های PNI، CZI و SPI و همین‌طور سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در شش ایستگاه استان آذربایجان غربی در یک دوره



شکل ۱. نمایی از منطقه مطالعه شده

قدری پیچیده است. شاخص بارش استاندارد شده (SPI) با به کارگیری داده های بارش در نقاط مختلف قادر است که در بازه های زمانی کوتاه مدت و بلندمدت به صورت سالانه و ماهانه از رابطه ۱ خشکسالی را طبقه بندی کند:

$$SPI = \frac{(P_i - P)}{S_i} \quad (1)$$

در رابطه ۱ میزان خشکسالی یا ترسالی به نماد SPI ، میزان بارندگی به P_i ، مقدار متوسط بارش به P و S_i به انحراف از معیار اختصاص یافته است [۲۶].

شاخص EDI

در روش های مختلف ارزیابی خشکسالی می توان گفت که شاخص خشکسالی مؤثر از جمله روشی است که قادر به بررسی دوره های مختلف خشکسالی به صورت روزانه است. به دلیل اینکه مقیاس زمانی داده های بارش نسبت به روش های دیگر کوتاه تر است، این شاخص محبوبیت ویژه ای بین محققان دارد. برای اینکه بتوان به کمک شاخص EDI خشکسالی را ارزیابی کرد، ابتدا از مفهوم بارش مؤثر یا EP استفاده می شود [۲۷]. مطابق رابطه ۲ بارش مؤثر برای هر روز از دوره آماری تابعی نزولی خواهد بود که به صورت مجموع بارش معین می شود.

$$EP_i = \sum_{n=1}^i \left[\left(\sum_{m=1}^n P_m \right) / n \right] \quad (2)$$

شاخص های بررسی شده در تحقیق حاضر

مطابق بررسی های آماری صورت گرفته در سال های قبل و بعد از احداث سد گیوی، می توان گفت که با توجه به نوسانات داده های بارندگی در منطقه مطالعه شده، سیر صعودی تعداد روزهای خشک پس از شروع روند اجرایی پروژه احداث سد در سال ۱۳۸۳، نسبتاً محسوس بوده و این امر نشان دهنده تغییراتی در پراکنش بارندگی در محدوده مطالعه شده است. به همین منظور، به دلیل نزدیکی ایستگاه خلخال به محدوده مطالعه شده از یک دوره آماری ۳۱ ساله (۱۳۶۷-۱۳۹۸) برای تحلیل روند خشکسالی استفاده شده است. همچنین، با توجه به نبود آمار کافی و مناسب پیش از سال ۱۳۸۴ در ایستگاه فیروزآباد، به منظور ارزیابی وضعیت خشکسالی در این محدوده از یک دوره آماری ۱۳ ساله (۱۳۸۵-۱۳۹۸)، بهره گرفته شده است. به این منظور، با به کارگیری شاخص های SPI ، DI ، RDI ، PNI ، CZI و ZSI به صورت ماهانه و سالانه و همچنین، شاخص EDI به صورت روزانه، وضعیت خشکسالی منطقه طرح، طبقه بندی شده است.

شاخص SPI

هرگاه در منطقه ای بارش اتفاق بیفتد، میزان و شدت بارندگی تا حدودی قابل پیش بینی است و اگر تحلیل های درستی صورت گیرد، سیلاب ناشی از بارش قابل محاسبه خواهد بود. در مقابل، تشخیص و پیش بینی زمان و مکان خشکسالی

در رابطه یادشده P مقدار بارندگی و PET همان تبخیر و تعرق پتانسیل در ماه z از سال i است. i همواره بین یک تا N متغیر است و اگر مقادیر P و PET سالیانه در نظر گرفته شوند، دیگر داده‌های ماهیانه را در رابطه یادشده قرار نخواهیم داد [۴]. مرحله دوم برای تعیین RDI محاسبه مقادیر نرمال شده یا RDI_n خواهد بود و در گام سوم با لگاریتم گرفتن از $a_0^{(i)}$ ، مقدار انحراف از معیار $\bar{\sigma}_{yk}$ و میانگین حسابی \bar{y}_k مطابق رابطه ۷ و در نهایت، مقدار استاندارد شده این شاخص از رابطه ۸ محاسبه می‌شود:

$$RDI_n^{(i)} = \frac{a_0^i}{\bar{a}_0} \quad (7)$$

$$RDI_{st}^i = \frac{(y_k^{(i)} - \bar{y}_k)}{\bar{\sigma}_{yk}} \quad (8)$$

شایان یادآوری است که در رابطه ۷، $a_0^{(i)}$ بیانگر میانگین حسابی اعداد $a_0^{(i)}$ ، در هر سال از دوره آماری مطالعه شده است.

شاخص PNI

روش آماری شاخص درصد نرمال بارش، یکی از روش‌های ساده برای پایش وضعیت خشکسالی در یک منطقه مشخص برای دوره‌های آماری معین است. شاخص بارش نرمال (PNI) از طریق رابطه ۹ به دست می‌آید که در آن P بارش سالانه برحسب میلی‌متر و \bar{P} متوسط بارش دوره است:

$$Z = \frac{x_i - \bar{x}_i}{s} \quad (9)$$

همچنین، در طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس این شاخص، اگر مقدار PN کمتر از ۴۰ درصد متوسط بلندمدت بارندگی باشد، بیانگر خشکسالی خیلی شدید است، به همین ترتیب کلاس‌های دیگر خشکسالی در جدول ۱ قابل مشاهده است.

شاخص CZI

مطابق ریشه سوم ویلسون هیلفرتی و با در نظر گرفتن توزیع پیرسون تیپ سوم برای داده‌ها، شاخص CZI از رابطه ۱۰ به دست می‌آید:

در رابطه یادشده اندیس i بیانگر تدوام فرضی و P_m مقدار بارش در $m-1$ روز قبل برحسب میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود. با میانگین‌گیری از مقادیر EP ، متوسط بارش روزانه MEP_i به دست می‌آید، همچنین از تفاضل مقادیر EP_i از MEP_i مقدار DEP_i که صورت کسر رابطه ۳ است، به دست می‌آید. همچنین، مقادیر مثبت و منفی DEP_i به ترتیب بیانگر ذخیره شدن و نشدن آب خواهد بود.

$$SEP_i = \frac{DEP_i}{ST(EP_i)} \quad (3)$$

در رابطه ۳، SEP_i نشان‌دهنده مقادیر استاندارد شده بارش مؤثر و $ST(EP_i)$ انحراف معیار EP_i است. برای تعیین میزان PRN_j که همان مقدار بارندگی مورد نیاز برای بازگشت به حالت نرمال روزانه است، از رابطه ۴ استفاده می‌شود:

$$PRN_j = \frac{DEP_j}{\sum_{N=1}^j \left(\frac{1}{N}\right)} \quad (4)$$

درخور یادآوری است که در رابطه ۴، z بیانگر تدوام واقعی است. بنابراین، با استفاده از PRN_j و انحراف معیار $ST(PRN_j)$ ، شاخص EDI از رابطه ۵ به دست می‌آید:

$$EDI_j = \frac{PRN_j}{ST(PRN_j)} \quad (5)$$

شاخص RDI

شاخص خشکسالی احيایی (RDI) به دلیل استفاده هم‌زمان از داده‌های بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل یکی از به‌روزترین نمایه‌ها برای تعیین شدت دوره‌های خشکی در مناطق مختلف است [۲۸]. به همین منظور، در اولین مرحله برای هر سال از دوره آماری بررسی شده، ضریب اولیه $a_0^{(i)}$ از رابطه ۶ به دست می‌آید:

$$a_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} PET} \quad (6)$$

خشکسالی ابتدا P_i را محاسبه می‌شود. سپس، بر حسب اینکه احتمال وقوع بارندگی در چه فاصله دهکی قرار گرفته است، شماره دهک مشخص می‌شود [۲۹].

انتخاب تابع توزیع

در مطالعات هیدرولوژیکی، با توجه به اهمیت انتخاب تابع توزیع برای بررسی داده‌های آماری، با به‌کارگیری آزمون میانگین انحراف نسبی، داده‌های سالیانه و ماهیانه مربوطه ارزیابی می‌شوند. به همین منظور، با استفاده از نرم‌افزار Easyfit توزیع برتر انتخاب شده است. آزمون نیکویی برازش این گونه است که هر یک از توزیع‌های مربوطه که خطای استاندارد کمتری داشته باشند، بیشترین عدد و هر یک که خطای بیشتری را به خود اختصاص دهند، کمترین عدد برازش به آنها تعلق می‌گیرد. بر این اساس، کمترین عدد برابر یک و بیشترین عدد، چهار در نظر گرفته می‌شود.

نتایج و بحث

مطابق آنچه در توضیحات مربوط به شاخص‌ها در بخش قبل بیان شد، پس از محاسبه و به دست آوردن مقدار کمی شاخص‌ها، کلاس‌های مختلف وضعیت خشکسالی با توجه به بازه‌های عددی (جدول ۱)، تعیین می‌شوند [۲۴]. همچنین، طبقه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص دهک‌ها در جدول ۲ درخور توجه است [۲۹]. با توجه به موارد یادشده، ابتدا با به‌کارگیری سنجش نرمال بودن در نرم‌افزار SPSS، صحت نرمال بودن داده‌های دو ایستگاه خلخال و فیروزآباد در دوره آماری مطالعه‌شده، بررسی شد و پس از آن، با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه، شاخص‌های DI، PNI، SPI، SZI و CZI به کمک نرم‌افزار [۳۰ MDM] محاسبه شد. با توجه به اینکه بررسی شاخص‌های مرتبط با ارزیابی پدیده خشکسالی ارتباط عمیقی با توزیع‌های احتمالاتی دارند، در پژوهش حاضر برای تعیین توزیع آماری داده‌های سالانه بارش از آزمون میانگین انحراف نسبی استفاده شده است. به این منظور، داده‌های بارندگی سالیانه و ماهیانه ایستگاه‌های مطالعه شده، با استفاده از نرم‌افزار Easyfit تحت آزمون نیکویی برازش شده‌اند [۲۴]. برازش صورت‌گرفته سری داده‌های مد نظر با توابع توزیع Normal, Pareto, Beta, Gamma در جدول ۳ دیده می‌شود. نتایج این آزمون نشان می‌دهد توزیع گاما را برای ایستگاه‌های مطالعه‌شده

$$Z_{ij} = \frac{6}{C_{si}} \left(\frac{C_{si}}{2} \varphi + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{Z_{si}} + \frac{C_{si}}{6} \quad (10)$$

که در آن Z_{ij} مقیاس زمانی بررسی شده و Z_{si} همان شاخص Z چینی است (CZI: China Z Index) از طرفی C_{si} که ضریب چولگی است که از رابطه ۱۱ به دست می‌آید. N تعداد کل سال یا ماه‌های دوره آماری است. همچنین، Z ماه یا سال مد نظر، x_{ij} بارندگی برای دوره i میانگین بارندگی و σ_i^3 انحراف از معیار داده‌های بارش در هر مقیاس زمانی خواهد بود. شایان یادآوری است که مقدار متغیر استانداردشده φ_{ij} از رابطه ۱۲ به دست می‌آید:

$$C_{si} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^3}{Z \times \sigma_i^3} \quad (11)$$

$$\varphi_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_i} \quad (12)$$

شاخص ZSI

برای تعیین شاخص ZSI یا همان Z نمره استاندارد بارش از رابطه ۱۳ استفاده می‌شود:

$$Z = \frac{x_i - \bar{x}_i}{s} \quad (13)$$

که در آن Z همان متغیر استانداردشده، \bar{x}_i میانگین ماهانه بارش و s بیانگر انحراف از معیار بارش در هر مقیاس زمانی است.

شاخص DI

شاخص دهک‌ها (DI) بر اساس توزیع فراوانی تجمعی، بارش‌های طولانی‌مدت را به دهم‌هایی از توزیع نرمال تبدیل کرده که به آنها دهک می‌گویند. به کمک این شاخص، فقط با به‌کارگیری داده مؤثر بارش در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه که به صورت صعودی مرتب شده‌اند، احتمال وقوع بارش را می‌توان از رابطه ۱۴ محاسبه کرد.

$$P_i = \frac{1}{N+1} \times 100 \quad (14)$$

در این رابطه N تعداد داده‌های بارندگی و P_i احتمال رخ دادن بارش در ردیف i ام است. برای تعیین وضعیت

را در فصول پاییز و زمستان با شرایط زیر نرمال پشت سر گذاشته است. همچنین، در ایستگاه فیروزآباد، ۳ ماه در سال ۱۳۹۲ و ۵ ماه در سال ۱۳۹۶ شرایط مشابهی رخ داده است (شکل ۳). همچنین، شاخص درصد نرمال بارش (PNI) در تعیین اصلی‌ترین دوره‌های خشکسالی و ترسالی در ایستگاه‌های خلخال و فیروزآباد (شکل ۴)، شباهت نسبتاً زیادی با چهار شاخص یادشده دارد. به طور مشابه، شاخص دهک‌ها (DI) نیز به صورت سالیانه محاسبه شد. از طرفی، شاخص RDI با وجود تشابه در تعیین اصلی‌ترین دوره‌های یادشده، روند ارزیابی را با نوسان و دقت کمتری نشان می‌دهد (شکل ۲). مطابق شکل ۵، با توجه به مقادیر عددی شاخص‌ها و طبقه‌بندی کلاس‌های خشکسالی (جدول ۲)، تشابه شاخص‌های DI، PNI و همین‌طور SPI، SZI و CZI در تعیین دوره‌های اصلی خشکسالی و ترسالی مشهود است. به همین دلیل، برای بررسی مناسب‌ترین زوج شاخص‌ها در بازه زمانی مربوطه در ایستگاه‌های مطالعه شده، با به‌کارگیری آزمون همبستگی، ضرایب همبستگی میان زوج نمایه‌ها به دست آمد (جدول ۴).

نتایج بیانگر این امر بود که زوج شاخص‌های CZI-SZI، SPI-CZI، SPI-SZI از همبستگی نسبتاً زیادی برخوردارند، اما زوج شاخص DI-PNI چنین نیستند. به همین منظور، ضمن تعیین رابطه همبستگی میان زوج شاخص‌های یادشده، نمودارهای همبستگی برای شاخص‌های مد نظر با در نظر گرفتن مقادیر سالیانه مطابق شکل ۶ رسم شدند.

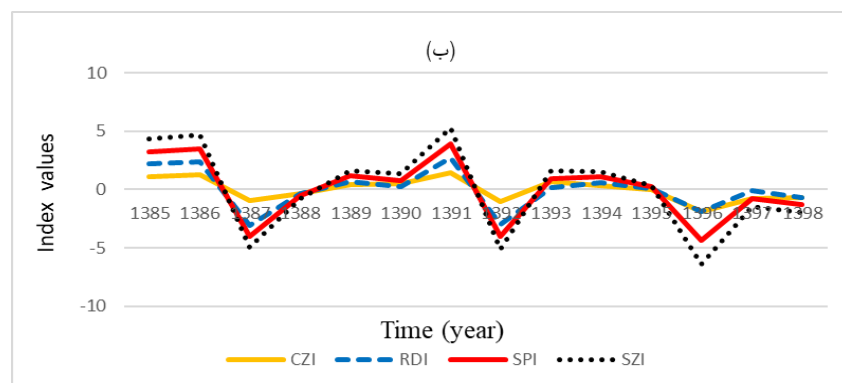
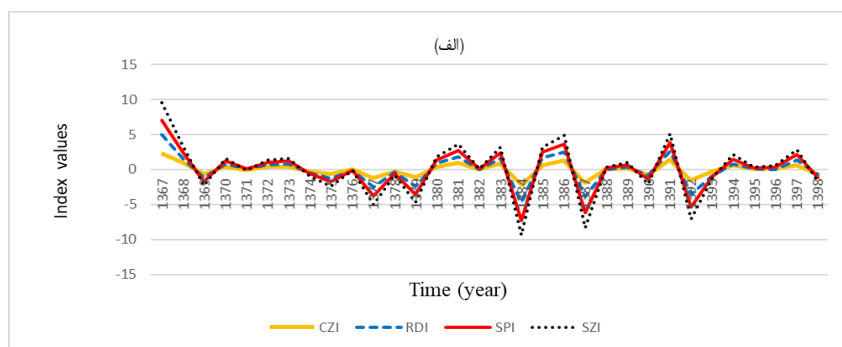
می‌توان به عنوان توزیع برتر انتخاب کرد. همچنین، برای محاسبه شاخص RDI از نرم‌افزار Drinc استفاده شده و با استفاده هم‌زمان از مقادیر حداقل و حداکثر دما و داده‌های بارندگی [۳۱]، ابتدا مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل PET و سپس مقادیر نرمال و استانداردشده این شاخص با انتخاب روش هارگریوز-سامانی به دست آمده است، [۲۳]. مشابه پژوهش Wang و همکاران (۲۰۲۰) در تحلیل توالی‌های خشکسالی [۳۲]، به طور کلی روند تغییرات سه شاخص SPI، CZI، SZI نشان می‌دهد دو ایستگاه خلخال و فیروزآباد پس از طی دوره‌های متوالی نزدیک به نرمال، طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۸ با چندین دوره خشکسالی شدید و بسیار شدید مواجه شده‌اند. بنابراین، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۷ در ایستگاه خلخال و ۱۳۹۶ در ایستگاه فیروزآباد خشکسالی بسیار شدید را تجربه کرده‌اند. همچنین، در سال ۱۳۹۲ هر دو ایستگاه خلخال و فیروزآباد خشکسالی شدیدی را پشت سر گذاشته‌اند. در مقابل، با توجه به روند نسبتاً یکسان شاخص‌ها از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۱ ایستگاه خلخال شرایط نزدیک به نرمال داشته، به‌طور مشابه از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۱ در ایستگاه فیروزآباد چنین شرایطی حاکم بوده است (شکل ۲). با بررسی‌های صورت‌گرفته در محدوده زمانی پس از شروع روند اجرایی ساخت سد گیوی، در سال‌هایی که خشکسالی بسیار شدید و خشکسالی شدید رخ داده بود، ایستگاه خلخال، ۳ ماه در سال ۱۳۸۴، ۶ ماه در سال ۱۳۸۷ و ۵ ماه در سال ۱۳۹۲

جدول ۱. طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI، CZI، RDI، EDI، [۲۴ZSI]

طبقه‌بندی خشکسالی	SPI	PNI	RDI	EDI	ZSI	CZI
بیشتر از +۲	بیشتر از +۲	بیشتر از ۱۶۰	بیشتر از +۲	بیشتر از +۲	بیشتر از +۲	بیشتر از +۲
۱/۵ تا ۱/۹۹	۱/۵ تا ۱/۹۹	۱۶۰ تا ۱۴۵	۱/۹۹ تا ۱/۵	۱/۹۹ تا ۱/۵	۱/۹۹ تا ۱/۵	۱/۹۹ تا ۱/۵
۱ تا ۱/۴۹	۱ تا ۱/۴۹	۱۴۵ تا ۱۳۰	۱ تا ۱/۴۹	۱ تا ۱/۴۹	۱ تا ۱/۴۹	۱ تا ۱/۴۹
نزدیک به نرمال	+۰/۹۹ تا -۰/۹۹	۱۳۰ تا ۷۰	-۰/۹۹ تا +۰/۹۹	-۰/۹۹ تا +۰/۹۹	-۰/۹۹ تا +۰/۹۹	-۰/۹۹ تا +۰/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹	۷۰ تا ۵۵	-۱ تا -۱/۴۹	-۱ تا -۱/۴۹	-۱ تا -۱/۴۹	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹	۵۵ تا ۴۰	-۱/۵ تا -۱/۹۹	-۱/۵ تا -۱/۹۹	-۱/۵ تا -۱/۹۹	-۱/۵ تا -۱/۹۹
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از -۲	کمتر از ۴۰	کمتر از -۲	کمتر از -۲	کمتر از -۲	کمتر از -۲

جدول ۲. طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس شاخص دهک‌ها (DI) [۲۸]

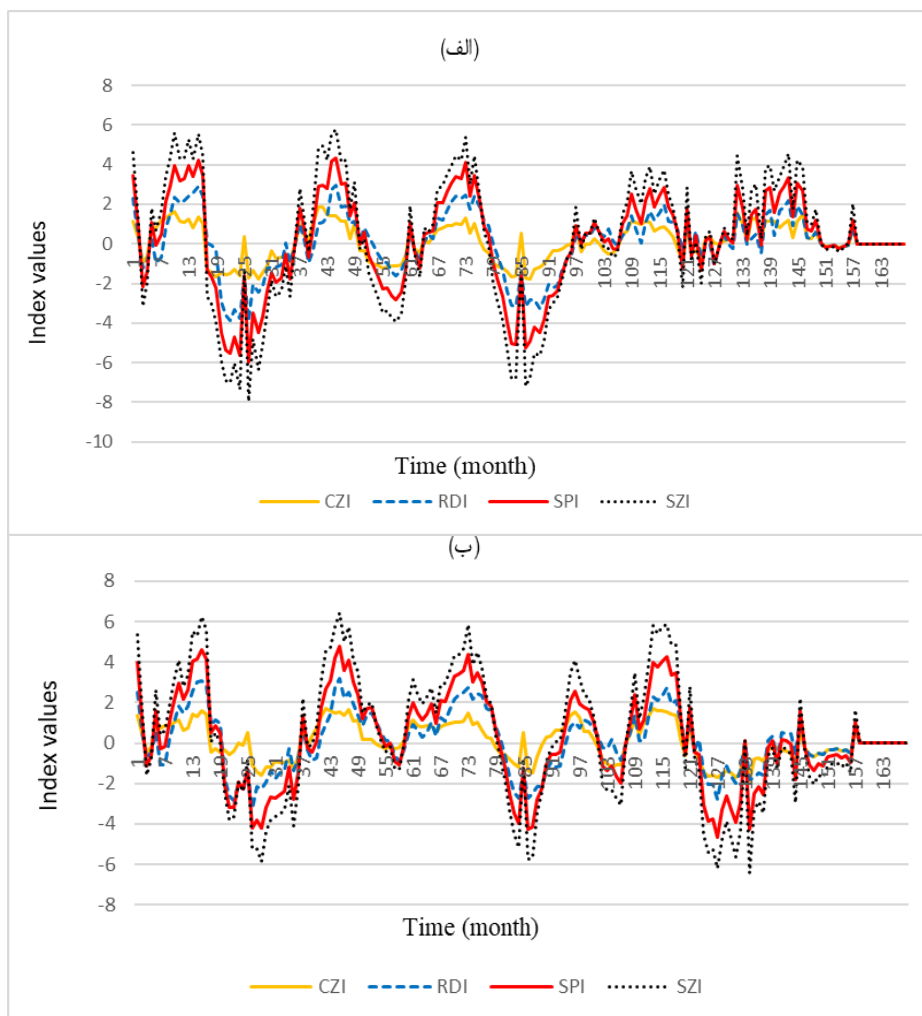
طبقه‌بندی خشکسالی	شماره دهک‌ها	DI
خشکسالی خیلی شدید	اول	کمتر از ۱۰ درصد
خشکسالی شدید	دوم	۱۰ تا ۲۰ درصد
خشکسالی	سوم	۲۰ تا ۳۰ درصد
تقریباً نرمال	چهارم	۳۰ تا ۴۰ درصد
نرمال	پنجم	۴۰ تا ۵۰ درصد
نرمال	ششم	۵۰ تا ۶۰ درصد
کمی مرطوب	هفتم	۶۰ تا ۷۰ درصد
مرطوب	هشتم	۷۰ تا ۸۰ درصد
بسیار مرطوب	نهم	۸۰ تا ۹۰ درصد
فوق‌العاده مرطوب	دهم	بیشتر از ۹۰ درصد



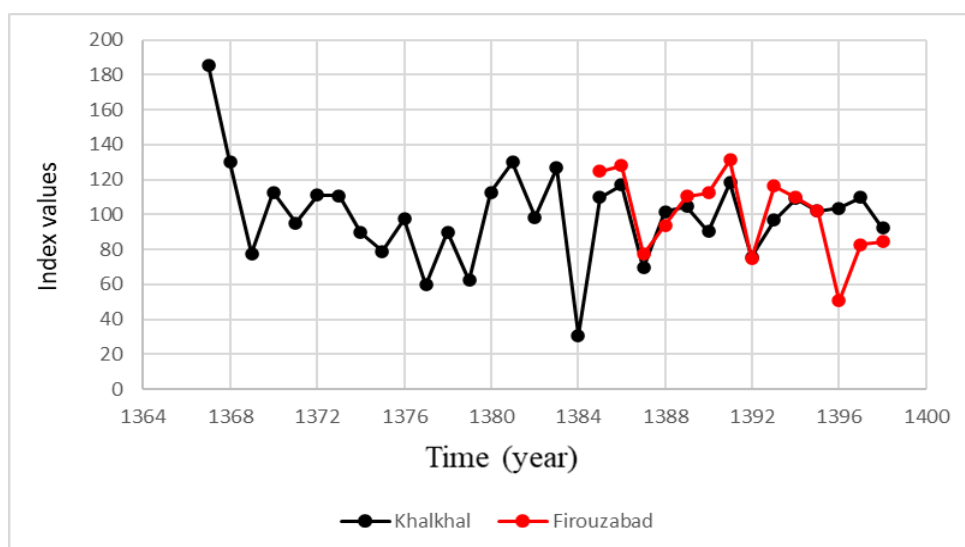
شکل ۲. نمودار مقایسه‌ای شاخص‌های CZI، RDI، SPI، SZI به صورت سالانه در (الف): ایستگاه خلخال و (ب): فیروزآباد

جدول ۳. نتایج برازش تابع توزیع منتخب

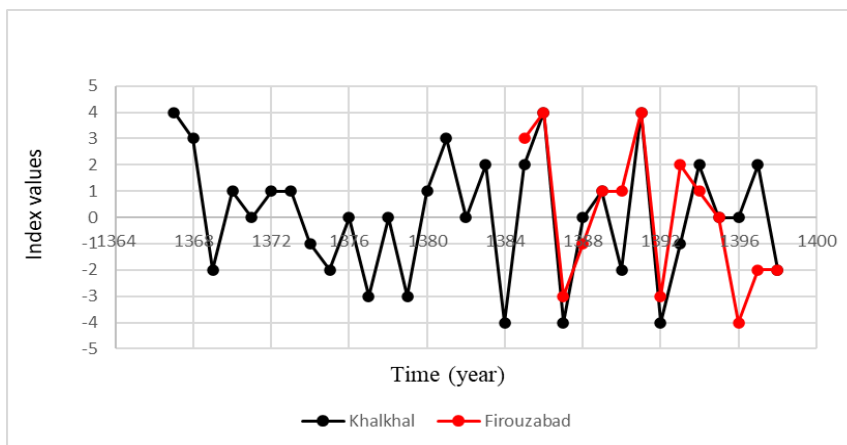
نام ایستگاه	توزیع منتخب	Beta	Pareto	Normal	Gumma	Statistic Rank
خلخال	توزیع گاما	۴۹/۰۷۸	۴۵/۴۳۳	۴۴/۴۸۳	۱۲/۳۴۷	Statistic Rank
		۴	۳	۲	۱	
فیروزآباد	توزیع گاما	۴۴/۲۲۶	۴۵/۷۶۴	۴۳/۱۷۲	۱۲/۲۴۹	Statistic Rank
		۳	۴	۲	۱	



شکل ۳. نمودار مقایسه‌ای شاخص‌های CZI, RDI, SPI, SZI به صورت ماهانه در ایستگاه (الف): خلخال و (ب): فیروزآباد



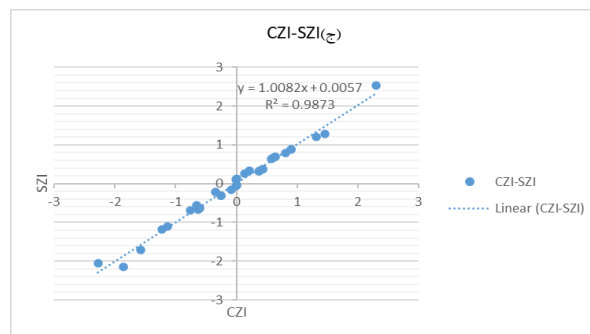
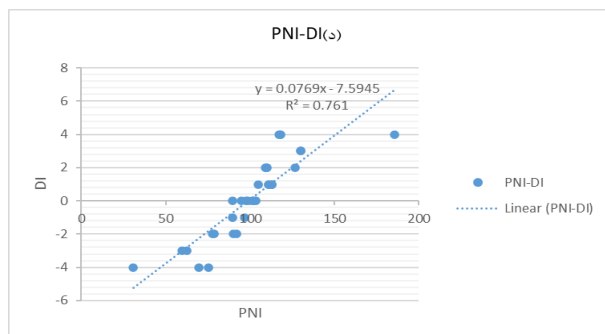
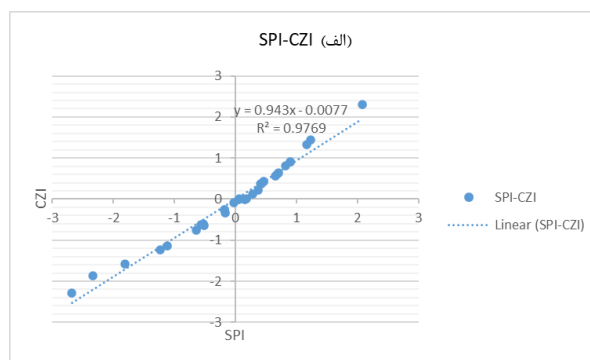
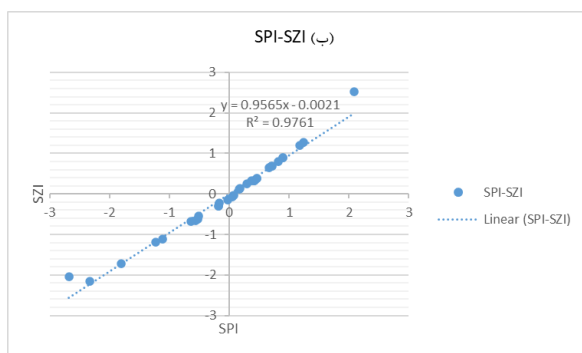
شکل ۴. شاخص PNI به صورت سالانه در ایستگاه‌های خلخال و فیروزآباد



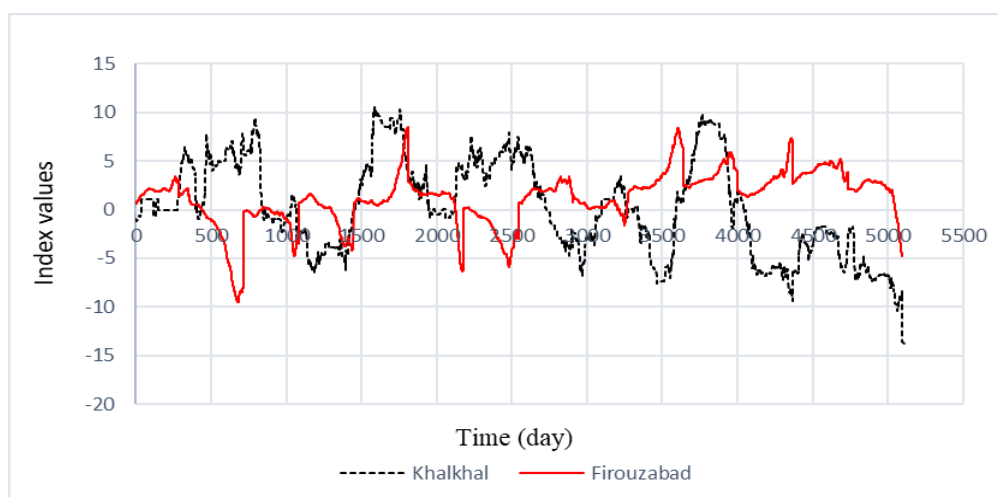
شکل ۵. شاخص DI به صورت سالانه در ایستگاه‌های خلخال و فیروزآباد

جدول ۴. ضرایب همبستگی برای زوج شاخص‌ها

ایستگاه	خلخال			فیروزآباد		
	شاخص	SPI	CZI	ZSI	SPI	CZI
SPI	۱	۰/۹۸۸۳	۰/۹۸۷۹	۱	۰/۹۸۸۷	۰/۹۸۸۱
CZI	۰/۹۸۸۳	۱	۰/۹۹۳۶	۰/۹۸۸۷	۱	۰/۹۹۴۱
ZSI	۰/۹۸۷۹	۰/۹۹۳۶	۱	۰/۹۸۸۱	۰/۹۹۴۱	۱
شاخص	PNI	DI		PNI	DI	
PNI	۱	۰/۸۷۲۳		۱	۰/۸۸۱۲	
DI	۰/۸۷۲۳	۱		۰/۸۸۱۲	۱	



شکل ۶. رابطه همبستگی زوج شاخص‌های SPI-SZI, SPI-CZI, CZI-SZI, PNI-DI



شکل ۷. نمودار مربوط به مقادیر EDI به صورت روزانه در ایستگاه‌های خلخال و فیروزآباد

دارد. با توجه به نتایج به دست آمده و با بررسی میزان همبستگی شاخص‌های SPI، CZI، SZI، تعیین شد که این شاخص‌ها در تشخیص و طبقه‌بندی ماه‌های خشک و مرطوب، همبستگی زیادی را نسبت به یکدیگر از خود نشان می‌دهند. بررسی دو شاخص DI و PNI در مقیاس سالانه نیز بیانگر این امر بود که شاخص DI حساسیت نسبتاً زیادتری به نوسانات بارندگی داشته، اما دوره‌های خشکسالی را مشابه شاخص‌های SPI، SZI و CZI نشان می‌دهد. در نهایت، تجزیه و تحلیل اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی حوضه آبخیز سد گیوی بیانگر این امر است که با شروع روند اجرایی احداث سد در سال ۱۳۸۳ و با گذشت زمان، بی‌نظمی نسبتاً زیادی در پراکنش بارندگی منطقه به وجود آمده که نشان‌دهنده احتمال وقوع خشکسالی است. بر این اساس، در سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲ در ایستگاه خلخال و در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ در ایستگاه فیروزآباد خشکسالی رخ داده است. همچنین، ایستگاه خلخال در سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲، در مجموع ۲۰۲ روز خشک و ایستگاه فیروزآباد در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ در مجموع ۱۶۱ روز خشک را در فصول پاییز و زمستان پشت سر گذاشته‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌شود برای پیش‌بینی و اتخاذ تدابیر لازم به منظور مقابله با خسارت‌های ناشی از بروز دوره‌های خشکسالی آتی، احتمال وقوع حالت‌های مورد انتظار وضعیت خشکسالی بررسی شود.

برای بررسی تعداد روزهای خشک در سال‌هایی که وضعیت خشکسالی حاکم است، با به‌کارگیری شاخص خشکسالی مؤثر (EDI)، در نرم‌افزار MDM، کلاس‌های مختلف خشکسالی به صورت روزانه تعیین شد. بر این اساس، مشخص شد که ایستگاه خلخال در مجموع در سال‌های ۱۳۸۴، ۷۳ روز، در سال ۱۳۸۷، ۶۸ روز و در سال ۱۳۹۲، ۶۱ روز و ایستگاه فیروزآباد در سال ۱۳۹۲، ۷۲ روز و در سال ۱۳۹۶، ۸۹ روز از فصول پاییز و زمستان را با وضعیت خشکسالی شدید گذرانده است. در شکل ۷ بخشی از نوسانات مرتبط با ارزیابی شاخص خشکسالی مؤثر به صورت روزانه دیده می‌شود.

نتیجه‌گیری

در تحلیل وضعیت خشکسالی به کمک شاخص‌های مربوطه، می‌توان خصوصیات این پدیده و روند شکل‌گیری آن را در بازه‌های زمانی مختلف تعیین کرد و با استفاده از مقادیر کمی آنها، دوره‌های خشکسالی و ترسالی را مشخص کرد. با توجه به تحلیل ماهانه شاخص‌ها، می‌توان گفت که شاخص SPI آغاز خشکسالی و دوره‌های خشکی را نسبتاً زودتر تشخیص می‌دهد. در مقابل، شاخص RDI در تعیین زمان آغاز خشکسالی ضعیف‌تر است. همچنین، بر اساس ماهیت داده‌های ورودی، سه شاخص SPI، CZI، SZI در تعیین اصلی‌ترین دوره‌های خشکسالی و ترسالی به صورت سالانه روند تقریباً یکسانی دارند. نتایج بیانگر این امر است که شاخص RDI دقت کمتری در این زمینه

منابع

- [1]. Ghasemi, H., Moghadamnia, A., Azarmjoo, A. & Mohammadzadeh, Kh. Drought monitoring using CZI and MCZI in Zabol, First International Conference on Water Crisis, Zabol, Zabol University, Hamoon International Wetland Research Institute. 2008. (Persian)
- [2]. Banimahd, S & Khalili, D. Evaluation and comparison of EDI and SPI of drought in selected stations of Mazandaran province, Regional Conference on Knowledge-orientation of Sustainable Agriculture and Natural Resources Management, Gorgan, University of Agricultural Sciences and Natural Resources of Gorgan. 2011. (Persian)
- [3]. Asadi Zarch, M. A., Malekinezhad, H., Mobin, M. H., Dastorani, M. T., and Kousari, M. R. Drought Monitoring by Reconnaissance Drought Index (RDI) in Iran. *Water Resources Management*. 2011; 25(13):3485–3504.
- [4]. Vangelis, H., Tigkas, D., & Tsakiris, G. The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation. *Journal of Arid Environments*. 2013; 88:130–140
- [5]. Esmailpour, Y., Kheirandish, H. & Demiri, A. Evaluation of three climatic drought indicators of standardized precipitation, Deciles and normal percentages, First national conference on sustainable agriculture and natural resources, Tehran, Mehr Arvand Higher Education Institute, Environmentalists' Promotion Group and the Iranian Nature Protection Association. 2013. (Persian)
- [6]. Bustani Hazarani, A. & Olke, A. Comparison of drought monitoring using ZSI and CZI indicators Case study: Gadiz catchment area of Turkey, International Conference on Sustainable Development, Agriculture-centered solutions and challenges, Natural Resources, Environment and Tourism, Tabriz, Permanent Secretariat of the International Conference on Sustainable Development, Strategies and Challenges. 2014. (Persian)
- [7]. Ghosh Karbi, S. & Kanji Norouzi, Z. Comparison of indices (DI, PN, ZSI, CZI, SPI) to estimate drought (Case study: Gorgan city), International Conference on Applied Research in Agriculture, Tehran - Mallard, Alam Gostaran Pishtaz Iranian Cooperative Company. 2015. (Persian)
- [8]. Jain VK, Pandey RP, Jain MK, Byun H-R. Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River Basin. *Weather and Climate Extremes*. Elsevier BV; 2015 Jun; 8:1–11
- [9]. Mohtadi, M., Hosseini, M & Nazarnejad, H. Determining the best drought index in Barandozchay watershed in Lake Urmia, First International Conference on Water, Environment and Sustainable Development, Ardabil, Mohaghegh Ardabili University. 2016. (Persian)
- [10]. Osmani, M. & Sanikhani, H. Drought Assessment in Kurdistan Province Using Standard Rain, Deciles and normal percentages, 6th National Conference on Water Resources Management, Iran, Kurdistan, Kurdistan University. 2016. (Persian)
- [11]. Tigkas D, Vangelis H, Tsakiris G. Introducing a Modified Reconnaissance Drought Index (RDIE) Incorporating Effective Precipitation. *Procedia Engineering*. Elsevier BV. 2016; 162:332–339
- [12]. Kamasi, M., Ghobadi Khosrow, S. & Hashemi, S. Drought monitoring with SPI and EDI, Fourth Scientific Conference on New Horizons in Geography and Architecture and Urban Planning in Iran, Tehran, Association for the Development and Promotion of Basic Sciences and Technologies - Scientific Association for Civil Engineering and Architecture. 2016. (Persian)
- [13]. Hanifehpour, M., Anaraki, A. & Abdolshahnejad, M. Drought study of Semnan city using SPI and CZI, 4th International Conference on Environmental Planning and Management, Tehran, Faculty of Environment, University of Tehran. 2017. (Persian)
- [14]. Khalili D, Farnoud T, Jamshidi H, Kamgar-Haghighi AA, Zand-Parsa S. Comparability Analyses of the SPI and RDI Meteorological Drought Indices in Different Climatic Zones. *Water Resources Management Springer Science and Business Media LLC*; 2011 Jan 7; 25(6):1737–57
- [15]. Azarakhshi, M., Akef, E., Molkian, A. Investigating the severity and frequency of drought using the index (EDI), First International Conference on Agricultural Sciences, Animal Environmental Natural Resources, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Training Center. 2017. (Persian)
- [16]. Fatemi, M., Rahimian, M., Ekrami, M. & Barkhordari, J. Spatial Analysis of Reconnaissance Drought Index (RDI) in Central Iran (Case Study: Yazd Province), Iranian

- Irrigation and Water Engineering. 2018; 9(4):160-176. (Persian)
- [17]. Moghimi, M., Koohi, A. & Zarei, A. Monitoring and forecasting of drought situation in Fars province using RDI and Markov chain mathematical model, Water and Irrigation Engineering of Iran. 2018;8(3): 153-165. (Persian)
- [18]. Ekhtiari Khaje, Sh., Din Pazhouh, Y. Application of Effective Drought Index (EDI) for the study of drought periods (Case study: Tabriz stations, Anzali port and Zahedan, Journal of Irrigation Science and Engineering. 2018; 41(1):133-145. (Persian)
- [19]. Ahmadi, F., & Bazvand, N. Investigation of drought in two synoptic stations of Azna and Noabad with DIP software, Second National Conference on Geography and Environment, Shirvan, Rahjouyan Payashahr Atrak Research Institute. 2018. (Persian)
- [20]. Tigkas D, Vangelis H, Tsakiris G. Drought characterisation based on an agriculture-oriented standardised precipitation index. Theoretical and Applied Climatology. Springer Science and Business Media LLC. 2018; 135(3-4):1435-47.
- [21]. Golshani, H., Nahviynia, M. Drought monitoring using SPI and SDI in Khuzestan province, Second International Congress on Agricultural and Environmental Development with Emphasis on the United Nations Development Program, Tehran, Permanent Secretariat of the Conference. 2019. (Persian)
- [22]. Saadin, B. Investigation of drought intensity in Larestan city in Fars province using standard precipitation index, First National Conference on Geography and Urban and Rural Planning, Tehran., International Center for Conferences and Seminars on Sustainable Development of Islamic World Sciences, Hekmat Higher Education Institute. 2019. (Persian)
- [23]. Katourani, Sh., Tekyekhah, J. & Seidi, S. Investigation of drought in Ghezel Ozan Basin area using RDI method, Third National Conference on Hydrology of Semi-Dry Areas with Water-Oriented, Man, Nature, Sanandaj, Kurdistan University Jihad - Sanandaj Chamber of Commerce, Industries, Mines and Agriculture. 2019. (Persian)
- [24]. Ali Gholinia, T., Rasooli Majd, N. & Hezar Jaribi, A. Evaluation and comparison of drought indices of West Azerbaijan province using SPI, CZI & PNI and Geographic Information System (GIS), Journal of Irrigation Science and Engineering. 2019; 42(1):175-188. (Persian)
- [25]. Ben Abdelmalek, M., and Nouiri, I. Study of trends and mapping of drought events in Tunisia and their impacts on agricultural production. Science of the Total Environment. 2020; 734:139-157
- [26]. Karimi M, Melesse AM, Khosravi K, Mamuye M, Zhang J. Analysis and prediction of meteorological drought using SPI index and ARIMA model in the Karkheh River Basin, Iran. Extreme Hydrology and Climate Variability Elsevier; 2019; 343-53
- [27]. Kim D-W, Byun H-R, Choi K-S. Evaluation, modification, and application of the Effective Drought Index to 200-Year drought climatology of Seoul, Korea. Journal of Hydrology. Elsevier BV; 2009 Nov; 378(1-2):1-12
- [28]. Nikhil A. Lunagaria, T. M. V. Suryanarayana. Assessment of Drought in Sabarkantha District Using Reconnaissance Drought Index (RDI). International Journal of Science and Research (IJSR) International Journal of Science and Research. 2017; 6(1):970-4
- [29]. Mahmoudi P, Rigi A, Miri Kamak M. Evaluating the sensitivity of precipitation-based drought indices to different lengths of record. Journal of Hydrology Elsevier BV; 2019 Dec; 579:124181
- [30]. Salehnia N, Alizadeh A, Sanaeinejad H, Bannayan M, Zarrin A, Hoogenboom G. Estimation of meteorological drought indices based on AgMERRA precipitation data and station-observed precipitation data. Journal of Arid Land [Internet]. Springer Science and Business Media LLC; 2017 Oct 18;9(6):797-809
- [31]. Tigkas D, Vangelis H, Tsakiris G. DrinC: 2014. a software for drought analysis based on drought indices. Earth Science Informatics. Springer Science and Business Media LLC; 2014 Sep 25;8(3):697-709
- [32]. Wang, C., Linderholm, H. W., Song, Y., Wang, F., Liu, Y., Tian, J., Ren, G. Impacts of Drought on Maize and Soybean Production in Northeast China During the Past Five Decades. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020; 17(7), 24-59.