پایش خشک‌سالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده[1]
مطالعه موردی استان چهارمحال بختیاری

زهرا حجازی‌زاده: دانشیار اقلیم شناسی دانشگاه تربیت معلم تهران
ابراهیم فتاحی: عضوهیات علمی پژوهشگاه هواشناسی وعلوم جو
هوشنگ قائمی: عضوهیات علمی پژوهشگاه هواشناسی وعلوم جو

چکیده

خشک‌سالی یکی از پدیده‌های آب و هوایی و از جمله رخدادهای مصیبت‌باری است که هر ساله خسارت‌های زیادی را باعث می‌شود. یکی از راه‌های تعدیل خشک‌سالی، ارزیابی و پایش خشک‌سالی بر اساس شاخص‌هایی است که بتوان بر اساس آن میزان شدت و تداوم آن را در یک منطقه تعیین نمود. در مقالهٔ حاضر روند خشک‌سالی (شدت، تداوم و سطح درگیر با خشک‌سالی) در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده برای بازه‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه مورد مطالعه قرار گرفته است. ویژگی این روش کمک می‌کند تا کمی از رخدادهای خشک‌سالی را در مکان ها و مقیاس‌های زمانی متفاوت مقایسه کنیم. به منظور پایش خشک‌سالی از اطلاعات بارندگی ماهانهٔ ایستگاه‌های سینوپتیک و اقلیم‌شناسی استان طی دورهٔ آماری ۲۰۰۱ - ۱۹۶۰ استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار کامپیوتری SPI محاسبات مربوط به شاخص بارش استاندارد شده انجام گرفت؛ نتایج بررسی‌ها نشان داد که فراوانی رخداد دوره‌های خشک کوتاه‌مدت (سه ماهه) در کلیهٔ ایستگاه‌ها بیشتر از ۸۰ مورد است، در حالی که فراوانی رخداد دوره‌های خشک بلندمدت در مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه خیلی کمتر می‌باشد، همچنین تداوم دوره‌های خشک در بازه‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه نسبت به بازه‌های زمانی ۳ و ۶.

1- Standardized Precipitation Index

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

ماهه خیلی بیشتر است. بنابراین برای برگشت به حالت نرمال در مورد خشک سالی‌های هیدرولوژیکی (آب‌های زیرزمینی و سطحی) ماه‌ها زمان نیاز است در حالی که برای بـازه‌های کوتاه‌مدت۳ و ۶ ماهه (خشک‌سالی‌های کشاورزی و رطوبت خاک) بارش‌های روزانه می‌توانـــــداوضاع را تعدیل کند تا به حالت نرمال برگشت نماید. این بازه‌های زمانی برخورد خشک‌سالی را نسبت به دست رسی منابع مختلف آب بازگو می نماید. واکنش رطوبت خاک نسبت به نابهنجاری بارش کوتاه مدت است در حالی که پاسخ آب‌های زیرزمینی، جریان رودخانه‌ها و ذخیرهٔ منابع آبی نسبت به کمبود بارش، فرآیندی بلند مدت است.

مقدمه

به طوری که در تاریخ ایران آمده است در زمان‌های گذشته مردم و حاکمان وقت از خداوند همیشه می خواستند که خدایا کشور ما را از خشک‌سالی مصون بدار؛ خشک‌سالی پدیدهٔ جدیدی نیست و در طول تاریخ مدون همواره به اسنادی بر می‌خوریم که گویای خشک‌سالی و مبین عوارض مخرب ناشی از آن است. خشک‌سالی‌ها گرچه زیان‌های اقتصادی، خسارات محیطی و اجتماعی زیادی را باعث می‌شوند، نسبت به سایر پدیده‌های هواشناسی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند زیرا تعریف؛ تعیین و ارزیابی آن‌ها مشکل است؛ دانشمندان علم آب و هواشناسی، شاخص‌های متعددی به منظور ارزیابی و پایش خشک‌سالی‌ها ارائه داده‌اند. شاخص خشک سالی زمانی مفید است که بتواند ارزیابی کمی؛ ساده و روشنی از خصوصیات اصلی آن یعنی تداوم، شدت و سطح درگیر با خشک‌سالی ارائه دهد.

شاخص بارش استاندارد شده (SPI) از جمله شاخص‌هایی است که می‌تواند چنین خصوصیات مزبور را توجیه نماید و چون نیاز به اطلاعات و آمار کمتری داشته و جهت محاسبه روش ساده‌تری می باشد. در مقایسه با شاخص‌هایی نظیر پالمر قابلیت ارزیابی و پایش نزدیک به زمان واقعی (ماهانه) این شاخص موقعیت

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

نسبتاً مناسبی دارا می باشد. علاوه بر آن در بازه‌های زمانی مختلف قابل محاسبه است.

در این مطالعه برای ارزیابی و پایش خشک‌سالی‌های کوتاه مدت، از SPI سه ماهه و برای پایش دوره‌های میان مدت از SPI دوازده ماهه و برای خشک‌سالی‌های درازمدت از SPI چهل و هشت ماهه استفاده شده است. به منظور محاسبه شاخص استاندارد شدهٔ بارش در بازه‌های زمانی متفاوت ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه با توجه به حجیم بودن محاسبات و طولانی بودن انتقال تابع توزیع تجمعی گاما به توزیع نرمال از برنامهٔ کامپیوتری SPI استفاده گردید. این برنامه محصول مرکز ملی تعدیل خشک‌سالی ایالات متحده است که در آن به منظور پایش خشک‌سالی از روش SPI در سطح گسترده‌ای استفاده گردیده و نتایج پایش خشک‌سالی به صورت نقشه‌هایی در مقیاس‌های متفاوت تهیه و بر روی سایت اینترنتی ارائه شده است

ادبیات تحقیق

به منظور ارزیابی و پایش خشک‌سالی شاخص‌های زیادی به کار گرفته شده که هر یک از این شاخص‌ها بر اساس به کارگیری متغیرهای هواشناسی و روش‌های محاسباتی متفاوتی طراحی شده‌اند. کینسر در سال ۱۹۱۹ برای اولین بار نقشه‌های فراوانی بارش‌های زیر نرمال را در طی فصل گرم برای منطقه راکی ترسیم نمود. مارکویچ ۱۹۳۰ به منظور مطالعه نیازهای اقلیمی در بخش شرقی ایالت متحده از متغیرهای دما و بارش برای محاسبهٔ شاخص خشک‌سالی استفاده نمود. تورنت وایت در سال ۱۹۳۱ شاخص بارش مؤثر را بر اساس تفاوت میزان بارندگی با تبخیر و تعرق ارائه داد. بلامنستوک در سال ۱۹۴۳ تئوری احتمال را برای محاسبهٔ فراوانی خشک‌سالی به کار گرفت. مک کویگ ۱۹۵۴ و واگنر ۱۹۵۶ با تلفیق مقدار و زمان بارش، شاخص بارش رخ داده را به منظور بررسی و ارزیابی خشک‌سالی به کار گرفتند. روی در سال ۱۹۶۵ با محاسبهٔ انحراف مقادیر بارندگی از نرمال، شاخص ناهنجاری بارندگی را برای پایش خشک‌سالی محاسبه نمود.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

گیبس و ماهر ۱۹۶۷ با مرتب نمودن داده‌های بارندگی ماهانه و برآورد مقادیر مربوط به هر دهک، شاخص دهک‌های بارندگی را به منظور پایش خشک‌سالی ارائه دادند. پالمر ۱۹۶۵ بر اساس متغیرهای بارندگی، دما و میزان آب در دسترس خاک و معادلهٔ موازنهٔ آب از قبیل تبخیر و تعرق، تخلیهٔ آب خاک و رواناب و از دست رفتن آب در لایه‌های سطحی خاک، شاخص شدت خشک‌سالی پالمر را برای کانزاس غربی و آیوای مرکزی پیشنهاد داد، این شاخص بر اساس تولید و تقاضای بیلان آب طراحی شده است.

بالم و مولی در سال ۱۹۸۰ با تعیین درصد انحراف داده‌های بارندگی از نرمال شاخص BMDI را معرفی کردند. شفر و دزمن در سال ۱۹۸۲ شاخص تأمین آب سطحی را جهت ارزیابی آبهای سطحی مورد استفاده قرار دادند، این شاخص بیشتر در مناطق کوهستانی کاربرد دارد و ذخیرهٔ برفی ارتفاعات یکی از اجزاء اصلی این شاخص است. شاخص SWSI یک شاخص خشک‌سالی آب‌شناسی است که در سال ۱۹۸۲ برای ایالت کلرادو و به منظور تکمیل شاخص PDSI با لحاظ میزان برف، منابع آبی، جریان رودخانه‌ای و بارندگی در ارتفاعات طراحی شده است. شاخص پالمر اساساً یک الگوریتم کالیبره شده رطوبت خاک برای مناطق همگن است و تغییرات شدید توپوگرافی منطقه و ذخایر برفی و رواناب ناشی از آن در این شاخص منظور نشده است. اما شاخص SWSI جهت شناسایی شرایط آب‌های سطحی طراحی شده است. وبرف موجود درقله‌های کوهستانی یکی ازاجزاء اصلی آن محسوب می‌شود.

مک‌کی و همکاران در سال ۱۹۹۳ شاخص بارش استاندارد شده (SPI) را به منظور تعریف و پایش خشک‌سالی و تعیین کمبود بارش برای مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه توسعه دادند. مرکز ملی تعدیل خشک‌سالی ایالات متحده به منظور پایش خشک‌سالی و شرایط ذخیرهٔ رطوبت از شاخصSPI استفاده می‌نماید. از آن جایی که در تحقیق حاضر ارزیابی روند خشک‌سالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده می‌باشد، لذا نمونه‌هایی از بکارگیری

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

روش فوق نیز ارائه می‌شود. توماس و مک‌کی در۱۹۹۳ به منظور بررسی رابطهٔ بین فراوانی خشک‌سالی و تداوم خشک‌سالی در مقیاس زمانی متفاوت برای ایستگاه فورت کولینز از شاخص بارش استاندارد شده استفاده کردند. بوسای و همکارانش در سال۱۹۹۸ و اس‌زالی و همکارانش در سال۲۰۰۰ خشک‌سالی‌های مجارستان را بر اساس روش SPI تشریح کردند، آن ها نتیجه گرفتند که شاخص SPI برای کمی کردن رخداد انواع خشک‌سالی‌ها مناسب است. هایس و همکارانش در سال ۱۹۹۹ معایب و مزایای استفاده از شاخص بارش استاندارد شده را برای خصوصیات شدت خشک‌سالی بررسی کردند. لانا و همکارانش در سال ۲۰۰۱ شاخص بارش استاندارد شده را به منظور تحقیق بر روی الگوهای بارش کاتالونیای اسپانیا به کار بردند.

در سطح کشور به منظور پایش و ارزیابی خشک‌سالی معمولاً از روش‌های شاخص توزیع استاندارد، شاخص دهک‌ها و شاخص درصد از نرمال در سطح وسیعی به کار گرفته شده است. در مقالهٔ حاضر به منظور ارزیابی و پایش خشک‌سالی‌های استان چهارمحال و بختیاری از شاخص بارش استاندارد شده استفاده شده است.(جدول شماره ۱)

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

شاخص بارش استاندارد شده یا SPI به وسیله مک‌کی و همکارانش در سال ۱۹۹۳ به منظور پایش وضعیت خشک‌سالی در کلرادو ارائه گردید. مک‌کی و همکارانش برای تعیین خشکی و تری در هر ایستگاه یک سیستم طبقه‌بندی معینی را برای مقادیر به دست آمدهٔ SPI تعیین و معرفی نمودند؛ که بیانگرشدت‌های متفاوتی از خشک‌سالی در یک منطقه می‌باشد. ویژگی دیگر شاخص SPI این است که بر اساس این روش می‌توان آستانهٔ خشک‌سالی را برای هردورهٔ زمانی تعیین کرد. بنابراین براساس این شاخص علاوه برشدت خشک‌سالی، مدت آن را نیز می‌توانیم تعیین نماییم. شاخص بارش استاندارد شده بر اساس احتمال بارش برای هر بازهٔ زمانی می‌باشد.این شاخص برای بازه‌های ۳،

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

۶، ۹، ۱۲، ۲۴، ۴۸ و۷۲ ماهه قابل محاسبه است و بـه منظـور هشـدار اولیـه و پایش شدت خشک‌سالی اهمیت زیـادی دارد. ایـن شـاخص بـرای کمـی نمـودن کمبود بارش در بازه‌های زمانی چندگانه طراحی شـده اسـت. ایـن مقیـاس‌هـای زمانی متفاوت اثرات ویژهٔ خشک‌سالی را بر روی قابلیت دست رسی به منـابع آبـی مختلف بیان می‌کنند. برای مثال شرایط رطوبتی خاک نسبت بـه ناهنجـاری‌هـای کوتاه مدت بارندگی واکنش نشان مـی‌دهـد، در صـورتی کـه آب‌هـای سـطحی و زیرزمینی تحت تأثیر ناهنجاری‌های دراز مدت قرار دارند.

برای محاسبه شاخص SPI از تابع چگالی توزیع گاما و گاهی از تـابع پیرسـون برای برازش داده‌های بلندمدت بارش استفاده می‌شود، که پس از انجام محاسـبات لازم و تعیین پارامترهای مربوطه شاخص SPI به صـورت مقـادیر مثبـت و منفـی بیان می‌شود.

مفهوم SPI یک مقادیر Z و یا تعدادی از اعداد استاندارد بالا و یا پایین را نسبت به وقوع ۵۰ درصد (نرمال) ارائه می‌دهد. و چون بارش دارای چولگی است بهترین روش این است که ما پارامتر گاما را با توجه به توضیحات بالا و با توجه به معادلات ارائه شده، برآورد کنیم. (بهترین روش این است که بارندگی ایستگاه‌ها با توزیع‌های مختلف برازش داده شود و بهترین توزیع انتخاب و پس از انتخاب توزیع مناسب، پارامترهای مورد نیاز مانند توزیع گاما اعمال شود).

کاتز در سال ۱۹۸۶ بیان داشت کـه ایـن شاخص(SPI) بـه یک مقدار ثابت قابل انتظار و واریانس مطلوب معنی‌دار به منظور مقایسه شاخص مزبور با ایستگاه‌های مختلف و برای نواحی مختلف نیاز دارد. اکنمری درسال ۱۹۹۶ بیان کرد که توزیع مکانی و زمانی خشک‌سالی در رابطه با شاخص‌های خشک‌سالی مسئله‌ساز است زیرا نه تنها آنومالی‌ها باید نسبت به مکان نرمالیزه شود بلکه این ناهنجاری‌ها بایستی نسبت به زمان نیز نرمالیزه شود. بنابراین شاخص بارش استاندارد شده نسبت به موقعیت ایستگاه نرمالیزه می‌شود، زیرا SPI تواتر توزیع

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

جدول (۱) ضرایب شاخص خشک‌سالی SPI

توصیف وضعیت	احتمال تجمعی	SPI
خشک‌سالی فرین	۰/۰۰۱۴	-۳/۰
خشک‌سالی خیلی شدید	۰/۰۰۶۲	-۲/۵
خشک‌سالی شدید	۰/۰۲۲۸	-۲/۰
خشک‌سالی متوسط	۰/۰۶۶۸	-۱/۵
خشک‌سالی ضعیف	۰/۱۵۸۷	-۱/۰
نزدیک به نرمال	۰/۳۰۸۵	-۰/۵
نرمال	۰/۵۰	۰/۰
نزدیک به نرمال	۰/۶۹۱۵	۰/۵
ترسالی ضعیف	۰/۸۴۱۳	۱/۰
ترسالی متوسط	۰/۹۳۳۲	۱/۵
ترسالی شدید	۰/۹۷۷۲	۲/۰
ترسالی خیلی شدید	۰/۹۹۳۸	۲/۵
ترسالی فرین	۰/۹۹۸۶	۳/۰

بارندگی را محاسبه می‌کند. همچنین با وردایی ایستگاه‌ها نیز همراه است و به علاوه SPI نسبت به زمان نیز نرمالیزه می‌شود زیرا که SPI برای مقیاس‌های زمانی متفاوت محاسبه می‌شود؛ بنابراین شاخص بارش استاندارد شده توزیع مکانی و زمانی خشک‌سالی را در تحلیل خود پوشش می‌دهد.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

منطقه مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری با مساحتی بالغ بر ۱۶ هـزار کیلـومتر مربـع یـک صدم مساحت کشور را شامل می‌گردد و در حدود ده درصـد از کـل آب کشـور را تأمین می‌کند. آب مورد نیاز دشت‌های خوزستان و اصفهان توسط رودخانـه‌هـایی که سرچشمه آنان در این استان مـی‌باشـد تـأمین مـی‌شـود و سـدهای کـارون و زاینده‌رود از روان آب‌های جاری در این استان تأمین می‌گردد. استان چهارمحـال و بختیاری در امتداد سلسله کوه‌های زاگرس واقع شـده اسـت و از نظـر موقعیـت جغرافیایی در حد فاصل ۴۹ - ۳۱ تا ۴۸ - ۳۲ درجه عـرض جغرافیـایی شـمالی و ۳۰ - ۴۹ تا ۲۶ - ۵۱ درجه طول شرقی قرار گرفتـه اسـت. ایـن اسـتان از طـرف شمال به استان اصفهان و از جنوب به استان کهگیلویه و بویراحمـد و از غـرب بـه استان خوزستان و از شمال غرب به استان لرستان محدود می‌شود.

ویژگی‌های اقلیمی استان

استان چهارمحال و بختیاری به دلیل دارا بودن ویژگی‌های خاص جغرافیایی و توپوگرافی از لحاظ آب و هوایی متنوع بـوده و اقلـیم‌هـای متفـاوتی در آن وجـود دارد. بارش‌های منطقه غالباً تحت تأثیر جریـان‌هـای جـوی مدیترانـه‌ای و عمـدتاً کم‌فشار سودان قرار دارد که ازغرب وجنوب‌غرب وارد منطقه می‌شوند و بـه مـدت ۸ ماه (مهر تا اردیبهشت) منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند و وجـود رشـته کـوه زاگرس در مسیر حرکت این جریان‌ها باعث تشدید خاصیت سیکلون‌زایـی شـده و باران‌های شدید و سنگین را در منطقه باعث می‌شود. ریزش‌های جـوی در اسـتان از مهر آغاز و در دی‌ماه به بیشترین مقدار خود می‌رسد و سپس تا اردیبهشت کـم می‌شود.

پرباران‌ترین بخش استان ارتفاعات نواحی غربی با متوسط بارش سـالانه ۱۶۰۰ میلی‌متر و کم‌بارش‌ترین ناحیه استان نواحی شمال‌شرقی با متوسط بـارش سـالانه ۲۵۰ میلی‌متر است. متوسط بارش سالانه استان در حدود ۵۶۰ میلی‌متر می‌باشد.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

به دلیل کوهستانی بودن استان و با توجه به این‌که دمای هوا تـابعی از ارتفـاع هر منطقه است اقلیم‌های حرارتی متفاوتی در اسـتان حکـم‌فرمـا اسـت. میـانگین دمای هوای سالانه در استان ۳/۵ درجه سانتی‌گراد در مناطق شمال‌غرب تـا ۱۸/۵ درجه سانتی‌گراد در نقاط پست جنوبی متغیر است.

جدول (۲) ویژگی ایستگاههای مورد مطالعه استان چهارمحال و بختیاری

خصوصیات / نام ایستگاه	طول	عرض	ارتفاع
شهرکرد	۵۰-۵۱	۳۲-۲۰	۲۰۶۱
بروجن	۵۱-۱۸	۳۲-۰۰	۲۱۹۷
لردگان	۵۰-۴۹	۳۱-۳۱	۱۵۶۴
کوهرنگ	۵۰-۰۷	۳۲-۲۶	۲۲۸۵
ناغان	۵۰-۴۴	۳۱-۵۶	۲۰۴۵
کاج	۵۰-۳۵	۳۲-۱۵	۲۲۵۰
امام قیس	۵۱-۲۱	۳۱-۴۴	۲۴۰۰

مواد و روش‌ها

۱- استخراج داده‌ها:

دراین بررسی از آمار بارندگی ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک و اقلیم‌شناسی استان چهارمحال و بختیاری در طول دورهٔ آماری ۲۰۰۱ – ۱۹۶۰استفاده گردید. خصوصیات ایستگاه‌ها در جدول (۲) گنجانده شده است. به منظور تصحیح آماری داده‌های بارندگی ماهانه؛ آزمون تصادفی بودن یا همگنی داده‌ها انجام گردید، که کلیه ایستگاه‌ها در سطح معنی‌داری ۱۰٪ همگن تشخیص داده شد.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

۲- تشکیل سری زمانی و برازش بهترین توزیع:

پس از اطمینان از همگن بودن و تصادفی بودن داده‌های ماهانه سری‌های زمانی در بازه‌های زمانی ۳،۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه تشکیل شد. هر یک ازسری‌های زمانی با مقیاس‌های زمانی متفاوت با توزیع‌های مختلف مورد برازش واقع که بهترین روش توزیع گاما و پیرسون شناخته شد. تام (۱۹۶۶) پی برد که توزیع آماری گاما برازش خوبی بر سری زمانی اقلیمی بارندگی دارد. تابع توزیع گاما به صورت تابع چگالی احتمال یا فراوانی به صورت زیر تعریف شده است.

$$g(x) = \frac{1}{B^a \Gamma(a)} x^{a-1} e^{-x/B}$$

در اینجا $a > 0$ پارامتر شکل است و $B > 0$ پارامتر مقیاس است و $x > 0$ مقدار بارندگی است و $\Gamma(a)$ تابع گاما می‌باشد.

محاسبه شاخص استاندارد شدهٔ بارش در رابطه با برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی برای یک ایستگاه معین می‌باشد. پارامترهای α و β تابع چگالی گاما برای هر ایستگاه و برای هر مقیاس زمانی و هر ماه از سال برآورد می‌شوند. تام (۱۹۶۶) با استفاده از روش حداکثر درست‌نمائی مقادیر بهینه $\hat{\alpha}$ و $\hat{\beta}$ را بر اساس معادلات زیر برآورد نمود.

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A}\left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}\right]$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}}$$

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

A : در اینجا

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

n : تعداد مشاهدات بارندگی است.

و در نهایت با انتقال هم احتمال توزیع تجمعی گاما بـه توزیـع نرمـال مقـادیر SPI حاصل می‌شود. ساده‌ترین روش برای محاسبه مقادیر SPI استفاده از تقریـب آبراموتیزو استوگان است. این تقریب احتمالات تجمعی را به متغیر تصادفی نرمال استاندارد SPI تبدیل می‌نماید.

برای

$$SPI = -\left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \qquad 0 < H(x) \le 0/5$$

برای

$$SPI = +\left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \qquad 0/5 < H(x) \le 1/0$$

در اینجا: $0 < H(x) \le 0/5$ برای

$$t = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{-(H(x))^2}\right]}$$

$0/5 < H(x) \le 1/0$ برای

$$t = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{1-(H(x))^2}\right]}$$

$c_0 = ۲/۵۱۵۵۱۷$ $d_1 = ۱/۴۳۲۷۸۸$

$c_1 = ۰/۸۰۲۸۵۳$ $d_2 = ۰/۱۸۹۲۶۹$

$c_2 = ۰/۰۱۰۳۲۸$ $d_3 = ۰/۰۰۱۳۰۸$

نتایج و بحث

زمـانی کـه شـاخص بـارش اسـتاندارد شـده دارای تـوالی‌هـای منفـی باشـد؛ خشک‌سالی رخ مـی‌دهـد و زمـانی کـه مقـادیر SPI برابـر ۱- و یـا کمتـر شـود؛

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

خشک‌سالی تشدید می‌شود. با مثبت شدن شاخص بارش استاندارد شده دورهٔ خشک‌سالی خاتمه می‌یابد. بنابراین تداوم خشک‌سالی با توجه به زمان شروع و پایان آن تعریف می‌شود و شدت آن برای هر یک از ماههای وقوع خشک‌سالی تعیین می‌گردد. بزرگی تجمعی خشک‌سالی (توالی SPIهای منفی) نیز می‌تواند شاخص مؤثری برای پایش خشک‌سالی باشد که برابر با جمع SPIهای منفی متوالی برای کلیهٔ ماهه های یک دورهٔ خشک‌سالی است. جدول (۳) نمونه‌ای از شدت و تداوم خشک‌سالی‌های سال های ۲۰۰۱ - ۱۹۹۸ را بر اساس شاخص بارش استاندارد شده برای بازهٔ زمانی ۱۲ ماهه نشان می‌دهد. با بررسی شدت خشک‌سالی هر دوره می‌توانیم مقایسه کمی از شدت خشک‌سالی در ایستگاه‌ها و نواحی متفاوتی داشته باشیم. برای مثال ایستگاه‌های ناغان و کاج با ۴۵ ماه متوالی خشک، بیشترین تداوم خشک‌سالی را طی دورهٔ خشک‌سالی۲۰۰۱ - ۱۹۹۸ داشته‌اند. همچنین شاخص متوسط شدت خشک‌سالی دوره نشان می‌دهد که ایستگاه‌های شهرکرد، بروجن و کوهرنگ به ترتیب با ۱/۲۹-، ۱/۲۵- و ۱/۲۳- شدت خشک‌سالی بیشتری را نسبت به ایستگاه‌های ناغان و دزک تحمل کرده‌اند. بررسی شدیدترین خشک‌سالی دوره نیز نشان می‌دهد که ایستگاه بروجن با ۲/۱۳- طی ماه‌های ژوئن تا آگوست سال ۲۰۰۰ شدیدترین ماه‌های خشک را طی این دوره تجربه کرده است.

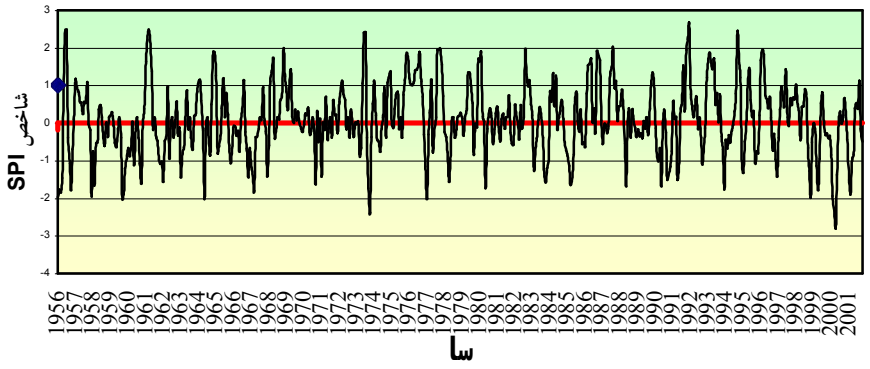
خروجی برنامهٔ کامپیوتری SPI جدول (۴) بیان می‌کند که کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، ذخایر منابع آب، رطوبت خاک، توده‌های برف و جریان آب های سطحی تاثیر متفاوتی دارد. بازه‌های زمانی متفاوت اثر خشک‌سالی را بر دست رسی به منابع مختلف آب بیان می‌نمایند، واکنش رطوبت خاک نسبت به ناهنجاری‌های بارش کوتاه‌مدت است در حالی که پاسخ آب‌های زیرزمینی و جریان رودخانه‌ها و ذخایر منابع آبی نسبت به کمبود بارش، فرآیندی بلندمدت دارند. با توجه به خروجی برنامه SPI و نمودارهای (۵-۱) می‌بینیم که دوره‌های

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

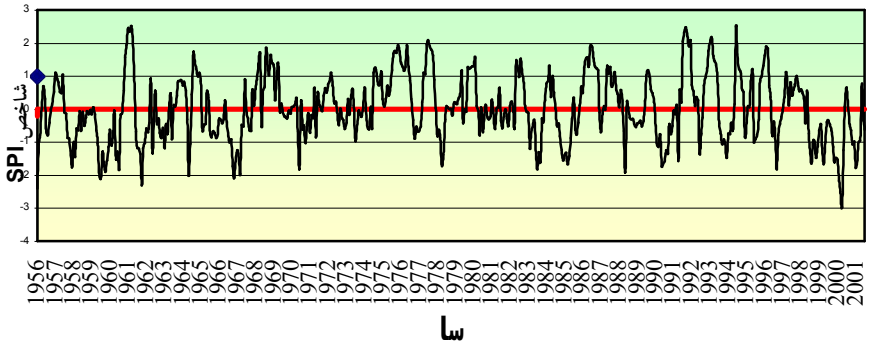
زمانی کوتاه‌مدت (سه ماهه) مقادیر شاخص بارش استاندارد شده دارای نوسانات زیادی است و دائماً به بالا و پایین صفر (میانگین) میل می‌کند. فراوانی رخداد دوره‌های خشک کوتاه‌مدت (سه ماهه) طی دورهٔ مورد مطالعه (۲۰۰۱ - ۱۹۶۰) برای ایستگاه شهرکرد ۸۵ مورد بوده است، به عبارتی دوره‌های خشک و مرطوب از تداوم زیادی برخوردار نبوده، شدیداً تحت تأثیر بارش‌های روزانه می‌باشند در حالی که دوره‌های زمانی طولانی‌تر (بازه‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) واکنش‌های کندتری نسبت به تغییرات بارش نشان می‌دهند. همچنین فراوانی وقوع دوره‌های خشک در مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه خیلی کمتر می‌باشد و این در حالی است که تداوم دوره‌های خشک‌سالی بر اساس بازه‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه نسبت به بازه‌های زمانی ۳ و ۶ ماهه خیلی بیشتر می‌باشد. نتایج جدول (۵) و نمودار (۶) فراوانی و تداوم خشک‌سالی در ایستگاه شهرکرد را نشان می‌دهند.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

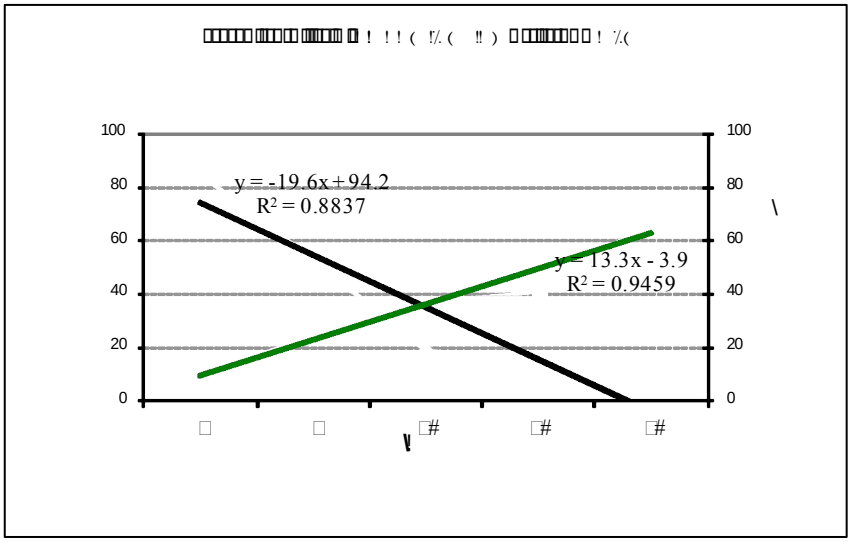
نمودار (۱) شاخص SPI با مقیاس زمانی ۳ ماهه ایستگاه شهرکرد

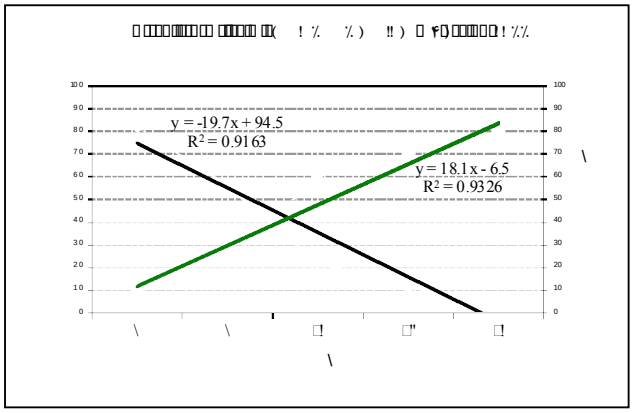


نمودار (۲) شاخص SPI با مقیاس زمانی ٦ ماهه ایستگاه شهرکرد



[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]





[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

جدول(۳)

سال	ماه	شهرکرد	لردگان	بروجن	کوهرنگ	ناغان	دزک	کاج
1998	1	0.54	0.8	-0.45	-0.19	0	0.66	0.16
1998	2	1.16	1.44	0.19	0.32	0.41	1.26	0.55
1998	3	1.09	1.55	0.71	0.61	0.01	1.74	0.1
1998	4	0.64	1.39	0.29	0.45	-0.01	1.41	-0.06
1998	5	0.74	1.27	0.27	0.36	-0.03	1.31	-0.07
1998	6	0.61	1.27	0.2	0.36	-0.12	1.24	-0.13
1998	7	0.62	1.29	0.23	0.39	-0.08	1.3	-0.13
1998	8	0.64	1.29	0.23	0.39	-0.08	1.3	-0.12
1998	9	0.65	1.29	0.24	0.39	-0.08	1.3	-0.12
1998	10	0.72	1.29	0.52	0.38	-0.06	1.26	-0.12
1998	11	0.21	0.92	0.39	0.14	-0.31	0.95	-0.27
1998	12	-0.18	0.36	0	0.18	-0.74	0.4	-0.68
1999	1	-0.66	0.38	-0.23	-0.23	-0.84	0.2	-1.13
1999	2	-0.61	0.39	-0.49	-0.01	-0.58	0.38	-1.04
1999	3	-1.26	-0.03	-0.76	-1.33	-0.46	0.18	-1.43
1999	4	-1.29	-0.08	-0.84	-1.46	-0.78	0.21	-1.51
1999	5	-1.5	-0.09	-0.86	-1.64	-0.88	0.1	-1.58
1999	6	-1.5	-0.1	-0.85	-1.64	-0.91	0.09	-1.58
1999	7	-1.46	-0.1	-0.82	-1.67	-0.94	0.04	-1.58
1999	8	-1.48	-0.1	-0.81	-1.67	-0.94	0.04	-1.59
1999	9	-1.5	-0.1	-0.82	-1.66	-0.94	0.04	-1.59
1999	10	-1.62	-0.16	-1.22	-1.64	-1.02	-0.02	-1.54
1999	11	-1.32	0.08	-1.03	-0.85	-0.86	0.19	-1.36
1999	12	-0.85	0.43	-0.81	-0.88	-0.85	0.32	-1
2000	1	-0.76	0.39	-0.6	-0.68	-0.85	0.49	-0.65
2000	2	-1.25	-0.08	-1	-1.12	-1.26	-0.02	-0.94
2000	3	-1.75	-0.81	-2.03	-1.12	-1.75	-1.41	-1.16
2000	4	-1.83	-1.01	-2.2	-1.39	-1.81	-1.6	-1.23
2000	5	-1.72	-0.98	-2.1	-1.41	-1.76	-1.47	-1.29
2000	6	-1.72	-0.97	-2.08	-1.4	-1.77	-1.47	-1.29
2000	7	-1.75	-0.97	-2.13	-1.4	-1.8	-1.5	-1.29
2000	8	-1.75	-0.96	-2.12	-1.4	-1.8	-1.5	-1.29
2000	9	-1.75	-0.96	-2.13	-1.39	-1.8	-1.5	-1.29
2000	10	-1.75	-0.94	-2.07	-1.14	-1.72	-1.4	-1.2
2000	11	-1.44	-0.86	-1.65	-1.45	-1.5	-1.16	-1.12
2000	12	-0.75	-0.31	-1.17	-0.71	-1.13	-0.58	-0.68
2001	1	-1.29	-1.27	-1.7	-1.1	-1.81	-1.27	-1.22
2001	2	-1.59	-1.38	-1.83	-1.45	-2.26	-1.52	-1.51
2001	3	-1.35	-0.68	-1.3	-1.55	-1.8	-0.82	-1.36
2001	4	-1.34	-0.76	-1.4	-1.61	-1.78	-0.86	-1.38
2001	5	-1.05	-0.64	-1.15	-1.37	-1.54	-0.55	-1.23
2001	6	-1.02	-0.64	-1.1	-1.36	-1.55	-0.52	-1.23
2001	7	-1.01	-0.64	-1.13	-1.36	-1.56	-0.52	-1.23
2001	8	-1.01	-0.63	-1.13	-1.33	-1.56	-0.45	-1.23
2001	9	-1.01	-0.63	-1.13	-1.32	-1.56	-0.45	-1.23
2001	10	-0.77	-0.69	-1.09	-1.32	-1.5	-0.45	-1.2
2001	11	-1.12	-0.54	-1.01	-0.99	-1.31	-0.28	-1.06
2001	12	-1.94	0.84	-0.23	-0.53	-0.34	0.71	-0.33
تداوم خشکسالی		37	22	36	36	45	22	45
مجموع توالیهای منفی		-47.95	-17.35	-45.02	-44.58	-49.03	-21.3	-46.27
شدیدترین خشکسالی دوره		-1.94	-1.27	-2.13	-1.67	-1.81	-1.52	-1.59
متوسط شدت خشکسالی دوره		-1.2959	-0.789	-1.251	-1.238	-1.09	-0.97	-1.028

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

جدول(۴) نمونه خروجی برنامه کامپیوتری SPI ایستگاه شهرکرد(۲۰۰۱-۱۹۹۹)

سال	ماه	SPI-3	SPI-6	SPI-12	SPI-24	SPI-48
1999	1	-1.97	-1.65	-0.66	-0.18	-0.12
1999	2	-0.51	-0.94	-0.61	0.4	0.01
1999	3	0	-1.02	-1.26	-0.02	0.19
1999	4	-0.24	-1.49	-1.29	-0.41	-0.02
1999	5	-1.14	-1.14	-1.5	-0.44	-0.32
1999	6	-1.79	-0.64	-1.5	-0.55	-0.34
1999	7	-0.94	-0.48	-1.46	-0.52	-0.31
1999	8	0.53	-1.18	-1.48	-0.52	-0.31
1999	9	0.81	-1.67	-1.5	-0.52	-0.31
1999	10	0	-1	-1.62	-0.51	-0.34
1999	11	-0.32	-0.39	-1.32	-0.75	-0.21
1999	12	-0.28	-0.33	-0.85	-0.94	-0.12
2000	1	-0.41	-0.48	-0.76	-1.26	-0.24
2000	2	-0.35	-0.65	-1.25	-1.53	-0.48
2000	3	-0.85	-1.16	-1.75	-2.13	-1.35
2000	4	-1.94	-1.6	-1.83	-2.24	-1.79
2000	5	-2.33	-1.48	-1.72	-2.38	-1.94
2000	6	-2.78	-1.53	-1.72	-2.36	-1.93
2000	7	-1.37	-2.17	-1.75	-2.34	-1.92
2000	8	0	-2.51	-1.75	-2.36	-1.93
2000	9	0.3	-2.97	-1.75	-2.37	-1.93
2000	10	-0.01	-1.24	-1.75	-2.43	-1.93
2000	11	0.2	0.07	-1.44	-2	-1.67
2000	12	0.67	0.65	-0.75	-1.42	-1.32
2001	1	0.16	0.07	-1.29	-1.75	-1.6
2001	2	-0.45	-0.48	-1.59	-2.29	-1.46
2001	3	-1.51	-0.65	-1.35	-2.2	-1.82
2001	4	-1.9	-1.08	-1.34	-2.28	-2.32
2001	5	-0.95	-0.99	-1.05	-2.05	-2.22
2001	6	-0.83	-1.77	-1.02	-2	-2.29
2001	7	0.39	-1.61	-1.01	-2.01	-2.27
2001	8	0.53	-1	-1.01	-2.01	-2.27
2001	9	0.39	-0.95	-1.01	-2	-2.27
2001	10	1.11	0.77	-0.77	-1.8	-2.13
2001	11	-0.15	-0.22	-1.12	-1.86	-2.38
2001	12	-0.5	-0.63	-1.94	-2.2	-2.49

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

جدول (۵) نتایج خلاصه شدهٔ خروجی برنامه SPI طی دورهٔ آماری ۲۰۰۱ –۱۹۶۰
ایستگاه شهرکرد

بازهٔ زمانی / پارامتر	SPI_3	SPI_6	SPI_{12}	SPI_{24}	SPI_{48}
تعداد دوره‌های خشک	۸۵	۵۳	۱۹	۱۳	۷
بیشینه تداوم دورهٔ خشک‌سالی (ماه)	۱۰	۲۴	۳۷	۴۱	۶۸
میانگین دوره‌های خشک (ماه)	۳	۵	۱۵	۱۹	۳۱
انحراف از معیار دوره‌های خشک (ماه)	۲	۵	۱۰	۱۳	۲۳
شدیدترین ماه خشک تاریخ رخداد	-۲/۷۸ ژوئن ۲۰۰۰	-۲/۹۷ سپتامبر ۲۰۰۰	-۲/۴۵ سپتامبر ۲۰۰۰	-۲/۳۸ می ۲۰۰۰	-۲/۴۹ دسامبر ۲۰۰۱
شدیدترین دورهٔ خشک‌سالی تاریخ رخداد	-۱۰/۶۳ نوامبر ۱۹۹۹ تا ژوییه ۲۰۰۰	-۲۹/۸۱ نوامبر ۱۹۹۸ تا اکتبر ۲۰۰۰	*-۵۳/۵۲ دسامبر ۱۹۹۸ تا دسامبر ۲۰۰۱	*-۵۴/۴۵ دسامبر ۱۹۹۸ تا دسامبر ۲۰۰۱	* -۴۵/۹۲ آوریل ۱۹۹۹ تا دسامبر ۲۰۰۱

* این دوره از خشک‌سالی‌ها طی سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ نیز ادامه دارد.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

در نتیجه زمان برگشت به اوضاع نرمال هر یک از انواع خشک‌سالی‌ها (کشاورزی، هواشناسی و هیدرولوژی) متفاوت می‌باشد. برای مثال در بررسی تداوم خشک‌سالی‌های ایستگاه شهرکرد بر اساس مقیاس زمانی سه ماهه طی خشک‌سالی‌های سال‌های ۲۰۰۰ - ۱۹۹۸ با شروع فعالیت سیستم‌های باران‌زا توالی خشک‌سالی با دوره زمانی سه ماهه خاتمه یافته و دورهٔ مرطوب جایگزین آن شده است، در صورتی که برای بازگشت به شرایط نرمال برای بازه‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه (خاتمه خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژی) ماه‌ها و سال‌ها زمان نیاز دارد، تا کمبود بارش سال‌های بحرانی و افت منابع آب‌های زیرزمینی جبران شود. بنابراین پایان دوره‌های خشک کوتاه‌مدت، دلیل بر خاتمه خشک سالی در منطقه نیست.

به منظور ارزیابی و پایش خشک‌سالی در محدودهٔ مورد مطالعه فراوانی و درصد رخداد انواع خشک‌سالی‌ها نیز بر اساس شاخص بارش استاندارد شده طی دورهٔ آماری ۲۰۰۱-۱۹۶۰ برای ایستگاه‌های شهرکرد و لردگان محاسبه شد و نتایج در جداول (۷ و ۶) گنجانده شد.

لازم به توضیح است که فراوانی‌ها بر اساس ماه‌هایی که با خشک‌سالی درگیربوده‌اند محاسبه شده است. برای نمونه ایستگاه شهرکرد بر اساس بازهٔ زمانی سه ماهه در ۰/۴۴٪ از مواقع طی دورهٔ آماری ۲۰۰۱ - ۱۹۶۰ در وضعیت خشک‌سالی فرین و در ۱/۷۶ درصد وضعیت خشک‌سالی خیلی شدید، در ۷/۴۹ درصد شرایط خشک‌سالی شدید، در ۱۴/۵۴ درصد مواقع خشک‌سالی متوسط، ... و در ۵۰/۲۲ درصد وضعیت نزدیک به نرمال بوده است. فراوانی وقوع هر یک از انواع خشک‌سالی‌ها نیز برای بازه‌های زمانی متفاوت محاسبه و در جداول مربوطه منعکس شده است.

در نهایت با توجه به قابلیت‌های ویژهٔ این شاخص که شامل نیاز اطلاعاتی کم نسبت به شاخص‌های نظیر پالمر، همچنین محاسبه ساده‌تر آن و قابلیت ارزیابی و پایش نزدیک به زمان واقعی (ماهانه) و محاسبه در بازه‌های زمانی مختلف، این

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

شاخص را در موقعیت مناسبی قرار داده است. بنابراین به کـارگیری ایـن روش در مدیریت و برنامه‌یزی‌ها در سطح کشور می‌تواند بسیار مفید و کارآمد باشد.

جدول (۶) فراوانی و درصد رخداد انواع خشک‌سالی‌ها بر اساس شاخص SPI طی دورهٔ آماری ۲۰۰۱ - ۱۹۶۰ ایستگاه شهرکرد

بازهٔ زمانی (ماهانه)	SPI_3		SPI_6		SPI_{12}		SPI_{24}		SPI_{48}	
شدت خشکسالی	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد
خشکسالی فرین	۰	۰	۱	۰/۴۲	۱	۰/۴۲	۹	۴/۳۹	۱	۰/۶۰
خشکسالی خیلی شدید	۳	۱/۵۲	۹	۳/۷۷	۱۱	۴/۵۸	۱۱	۵/۳۷	۱۸	۱۰/۸۴
خشکسالی شدید	۱۳	۶/۵۷	۲۰	۸/۳۷	۱۹	۷/۹۲	۱۱	۵/۳۷	۲۱	۱۲/۶۵
خشکسالی متوسط	۳۲	۱۶/۱۶	۴۰	۱۶/۷۴	۳۰	۱۲/۵۰	۳۷	۱۸/۰۵	۲۴	۱۴/۴۶
خشکسالی ضعیف	۶۸	۳۱/۳۱	۷۴	۳۰/۹۶	۷۱	۲۹/۵۸	۵۶	۲۷/۳۲	۴۹	۲۹/۵۲
نزدیک به نرمال	۸۸	۴۴/۴۴	۹۵	۳۹/۷۵	۱۰۸	۴۵	۸۱	۳۹/۵۱	۵۳	۳۱/۹۳
مجموع	۱۹۸	۱۰۰	۲۳۹	۱۰۰	۲۴۰	۱۰۰	۲۰۵	۱۰۰	۱۶۶	۱۰۰

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

جدول (۷) فراوانی و درصد رخداد انواع خشک‌سالی‌ها بر اساس شاخص SPI طی دورهٔ آماری ۲۰۰۱ - ۱۹۶۰ ایستگاه لردگان

بازهٔ زمانی (ماهانه) شدت خشکسالی	SPI_3		SPI_6		SPI_{12}		SPI_{24}		SPI_{48}	
	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد
خشک‌سالی نرمال	۱	۰/۴۴	۲	۰/۸۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰
خشک‌سالی خیلی شدید	۴	۱/۷۶	۴	۱/۷۷	۲	۰/۸	۲۰	۹/۱۳	۱۵	۶/۰۵
خشک‌سالی شدید	۱۷	۷/۴۹	۲۷	۱۰/۶۳	۳۶	۱۴/۳۴	۲۳	۱۰/۵۰	۲۰	۸/۰۶
خشک‌سالی متوسط	۳۳	۱۴/۵۴	۴۳	۱۶/۹۳	۴۹	۱۹/۵۲	۳۱	۱۴/۱۶	۴۲	۱۶/۹۴
خشک‌سالی ضعیف	۵۸	۲۵/۵۵	۸۲	۳۲/۲۸	۷۹	۳۱/۴۷	۶۷	۳۰/۵۹	۷۹	۳۱/۸۵
نزدیک به نرمال	۱۱۴	۵۰/۳۲	۹۶	۳۷/۸۰	۸۵	۳۳/۸۶	۷۸	۳۵/۶۲	۹۲	۳۷/۱۰
مجموع	۲۲۷	۱۰۰	۲۵۴	۱۰۰	۲۵۱	۱۰۰	۲۱۹	۱۰۰	۲۴۸	۱۰۰

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

منابع

۱- بذر افشان، جواد(۱۳۸۱) "مطالعه تطبیقی برخی شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی در چند نمونهٔ اقلیمی ایران" پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی؛ دانشگاه تهران - کرج.

۲- ثنایی نژاد، حسین (۱۳۷۹) "مروری بر شاخص‌های خشک‌سالی و ارزیابی شاخص‌های SPI و درصد نرمال برای استان خراسان" مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم‌آبی و خشک‌سالی، کرمان اسفند ماه ,۱۳۷۹

۳- فرج‌زاده، منوچهر (۱۳۷۵) "خشک‌سالی و روش‌های مطالعه آن" نشریهٔ جنگل و مرتع، شمارهٔ۳۲، ص ۲۸ - ۲۲.

۴- مقدم، حسین و همکاران (۱۳۷۹) "پایش خشک‌سالی بر اساس نمایهٔ SPI، دهک ها و نرمال در استان سیستان و بلوچستان" مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب" دانشگاه زابل ۱۳۸۰.

1. Alley, W.M. (1984) "The palmer draught severity Index limitations and assumptions" Journal of climate and Applied Meteorology, 23,1100-1109PP.
2. Benjamin, L.H and A.saunders (2002) "A drought climatology for Europe" Int. J. climatol. 22 " 1571 - 1592 PP.
3. Edwards, D.C, and T.B. Makee (1997) "characteristies of 20th century drought in united states and Multiple time scales" climatology Report 97 - 2, Atmospheric science, colorado state university.
4. John Keyantash and A. Dracup (2022) "The Quantification of Drought An Evaluation of Drought Indeces" , Americal Meteorological Society, Aug 2002, 1167 - 1180 PP.
5. Hong. W and J . Hayes (2001) "An Evaluation of the standardized precipitation Index, The China - Z Index and the statistical Z - Score "Int. J . Climatol, 21745 - 758 pp.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]

6. Mckee, T.B, N.J. Doesken and J. Kleist (1993) "The relationship of drought frequency and duration to time scales" 8 Confj, Applied climatology.

7. Mckee, T.B, N.J. Doesken and J. Kleist (1995) "Drought Monitoring with Multiple time scales. 9 Conf. Applied climatology, 15 - 20 Jan, Dallas 233 - 236 pp.

8. Richard, R.Heim (2002) "A Review of Twentieth century Drought Indices used in the united states", Americal Meteorological society, Aug 2002, 1149 - 1165 pp.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-03-28]