

مقدمه

خشکسالی از پدیده‌های محیطی شناخته شده است و در واقع بخش جدایی‌ناپذیری از تغییرات اقلیمی است که می‌تواند در هر منطقه جغرافیایی حادث شود [۱۶]. خشکسالی به شیوه‌های مختلفی زندگی بشر را تهدید می‌کند، شاید مهم‌ترین تاثیر خشکسالی کاهش منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی باشد. خشکسالی‌های دهه کنونی در بخش نیمه خشک کشور اندوخته‌های آبی را به‌طور چشمگیری کاهش داده است و دشواری‌های فراوانی را برای بخش‌های مختلف، به ویژه کشاورزی به وجود آورده است [۳۰]. خشکسالی به سبب تعداد، فراوانی، گستردگی و تبعات کوتاه و بلندمدت اقتصادی - اجتماعی و زیست‌محیطی، از جمله مهم‌ترین حوادث طبیعی به شمار می‌رود [۲۸]. بر همین اساس نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریتی برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار دارد. خشکسالی پدیده است که اساساً با کمبود بارش و یا در برخی موارد با تبخیر و تعرق در یک منطقه مرتبط است [۲۶]. بر اساس نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه خشکسالی، مشخص شده است که بارندگی، دما، تبخیر، باد و رطوبت نسبی نقش مهمی در وقوع شده و تداوم خشکسالی دارند. با وجود این بارش مهم‌ترین عامل در تعیین آغاز، شدت و خاتمه خشکسالی است [۲۷]. سلیمانی ساردو و بهره‌مند [۲۳] با استفاده از شاخص خشکسالی جریانات رودخانه‌ای به بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز لیل رود پرداختند. نتایج نشان داد خشکسالی در سراسر حوضه رخ داده است و بیشترین فراوانی وقوع خشکسالی، در جنوب حوضه متمرکز شده است. اختری و همکاران [۱] با بکارگیری شاخص بارش استاندارد، شاخص سطح آب استاندارد و شاخص استاندارد پوشش گیاهی (Standard Vegetation Index) به بررسی خشکسالی در منطقه نیمه‌خشک مدیترانه پرداختند. نتایج همبستگی خوبی بین SPI و SWI نشان داد و همچنین هماهنگی میان دو شاخص SVI با SWI بیشتر از شاخص‌های SVI و SPI بود. پهنه‌بندی شدت خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان با شاخص SPI و به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شد. نتایج تحقیق، خشکسالی متوسط را در نواحی جنوبی و ایستگاه زاهدان، خشکسالی شدید در نواحی مرکزی و خشکسالی بسیار شدید را در نواحی شمالی استان را نشان داد و در این تحقیق مناطق دارای خطر بالا به منظور برنامه‌ریزی‌های آبی و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مشخص شد [۱۸]. محمدی قلعه‌نی و همکاران [۱۷] به منظور بررسی رابطه‌ی بین خشکسالی و آب زیرزمینی در آبخیز دشت ساوه، از شاخص

پایش و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از مقایسه شاخص‌های SPI، ZSI، CZI و MCZI (مطالعه موردی: استان کهگیلویه و بویراحمد)

محمدتقی آوند^{۱*} و مجتبی دولت کردستانی^۲

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۱۰

چکیده

در سال‌های اخیر به علت افزایش فراوانی خشکسالی‌ها در مناطق خشک و نیمه خشک کشور سطح آب دریاچه‌ها به طور چشمگیری کاهش یافته و افزون بر آسیب‌های زیست‌محیطی، بخش‌های اقتصادی و اجتماعی جامعه را نیز با چالش روبه‌رو کرده است. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه ۵ ایستگاه سینوپتیک (یاسوج، گچساران، دهدشت، سی سخت و لیکک) و ۲ ایستگاه باران‌سنجی (مارگون و دیشموک) وابسته به سازمان هواشناسی استان کهگیلویه و بویراحمد، وقایع خشکسالی با استفاده از نمایه‌های: شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص Z چینی (CZI)، شاخص Z چینی اصلاح شده (MCZI) و عدد شاخص Z (ZSI)، تعیین شد. نتایج حاصل از مقایسه مقدار ضریب تعیین (R^2) نشان داد که شاخص‌های SPI، ZSI و CZI در تمام ایستگاه‌ها روند مشابهی دارند و هم‌چنین منحنی‌های مربوط به این سه شاخص در تمام ایستگاه‌ها تقریباً برهم منطبق بودند و همبستگی بسیار خوبی به صورت دو به دو بین آن‌ها مشاهده شد که برای شاخص MCZI این گونه نبود. سپس نقشه‌های هم‌مدت و هم‌شدت خشکسالی (پهنه‌بندی خشکسالی) به منظور تعیین مناطق مستعد خشکسالی و هم‌چنین پیش‌بینی وضعیت آینده بر اساس هر چهار شاخص مذکور و به وسیله نرم‌افزار ArcMap برای دوره سالانه رسم شد.

واژه‌های کلیدی: بارندگی ماهانه، همبستگی، خشکسالی هواشناسی، شاخص خشکسالی، آب‌های سطحی.

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس؛ Email: mt.avand70@gmail.com
۲. دانش‌آموخته دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، کرمان

SPI^۱ استفاده کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان دادند که شاخص SPI با مقیاس زمانی ۲۴ و ۴۸ ماهه با تراز سطح آب زیرزمینی با تأخیر زمانی ۵ ماهه بیشترین همبستگی را داشته است. پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های هواشناسی و تراز مخزن سد در سیستم آب زاینده رود اصفهان انجام گرفت. در این تحقیق از دو شاخص شناخته شده هواشناسی خشکسالی مؤثر (EDI) و بارندگی استاندارد (SPI) با روش هیدرولوژیکی بر اساس تراز مخزن، برای پایش خشکسالی سیستم منابع آب زاینده رود مقایسه شد که بدین منظور دوره خشکسالی ۱۳۷۷-۱۳۸۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر کدام از روش‌ها قابلیت‌هایی دارند که طی دوره خشکسالی می‌توانند به مدیریت خشکسالی کمک کنند. همچنین نتایج نشان داد که برای اعلام شروع وضعیت خشکسالی بهتر است از روش SPI با دوره ۶ ماهه استفاده گردد. طول دوره بهره‌برداری و اعمال اقدامات مدیریتی برای پایش روش تراز مخزن و برای اعلام خاتمه آن EDI قابل توصیه است [۲۵]. ملکی‌نژاد و سلیمانی مطلق [۱۲] به بررسی شدت خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک با استفاده از دو شاخص بارش استاندارد و شاخص سطح آب استاندارد (Standard Water Surface Index) در حوضه چغلودی پرداختند. نتایج نشان دهنده افزایش شدت و تداوم خشکسالی‌ها به ویژه خشکسالی هیدرولوژیک در سالهای اخیر و وجود تأخیر زمانی متفاوت بین وقوع خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیک آبهای سطحی و زیرزمینی است. تحلیل خشکسالی‌ها همچنین با استفاده از آزمون دنباله‌ها (Runs approach) که مشابه آزمون تئوری متغیرهای گسسته می‌باشد، انجام می‌گیرد که این روش خصوصیات تصادفی سری‌های زمانی را مورد بررسی قرار می‌دهد. عزیزاده [۲]، محمدی مطلق و همکاران [۱۸] با استفاده از سری‌های زمانی حاصل از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و زنجیره مارکوف، پایش، پیش‌بینی و گسترش خشکسالی در سطح استان فارس مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در تمامی ایستگاه‌ها وضعیت تقریباً نرمال بر اساس شاخص SPI با مقیاس زمانی شش ماهه، بیشترین فراوانی را دارا می‌باشد. در پژوهشی دیگر، امکان محاسبه شاخص بارش استاندارد شده به وسیله برازش توزیع نرمال و لوگ نرمال به داده‌های بارش بررسی شد. برای این کار ۱۹ سری زمانی از بارش ماهانه ۷۶ سال مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه این فرض که توزیع گاما نمایش بهتری از داده‌های بارش نسبت به توزیع نرمال و لوگ نرمال در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه خواهد داشت آزمایش گردید. محاسبات نشان داد که برای شاخص بارش استاندارد شده برای مقیاس زمانی ۱۲ یا ۲۴ ماهه توزیع احتمال نرمال یا لوگ نرمال به راحتی می‌تواند به جای توزیع گاما مورد استفاده قرار گیرد که تقریباً نتایج مشابهی تولید می‌کند [۳]. هانگ و هایز [۸] شاخص‌های (CZI)^۲، SPI و statistical Z-Score را در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه برای چهار

1. Standardized Precipitation Index
2. China-z Index

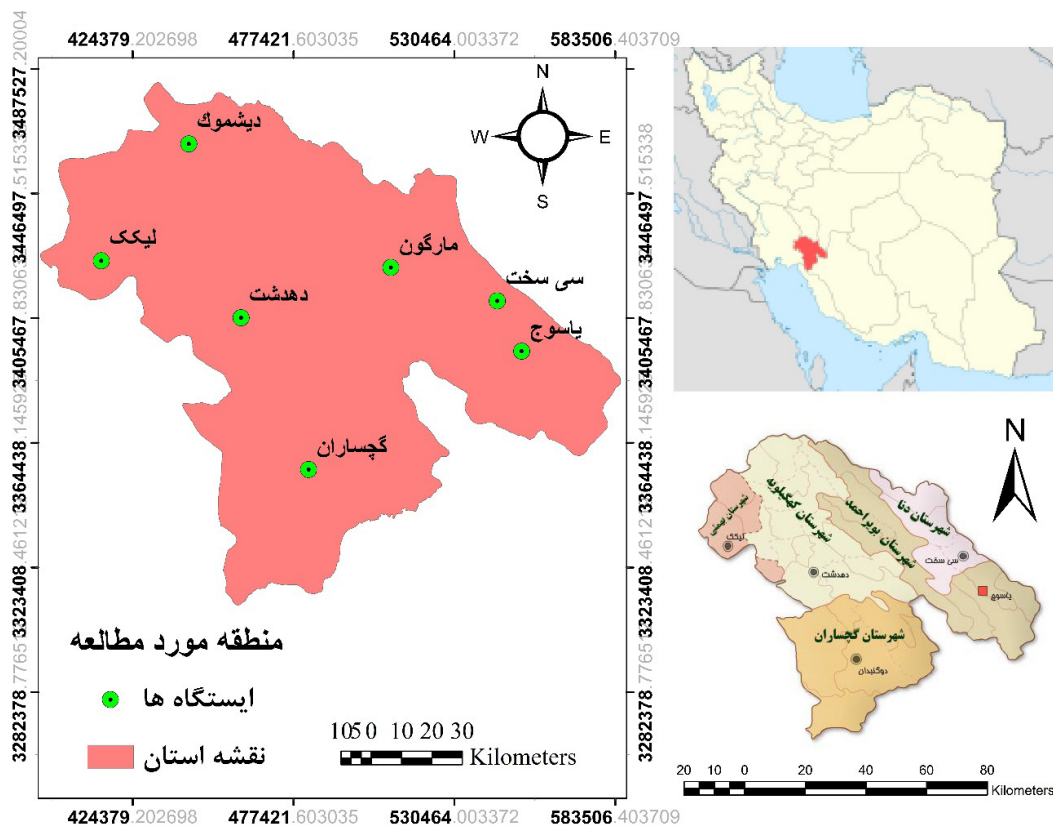
ایالت در کشور چین از ژانویه ۱۹۵۱ الی دسامبر ۱۹۹۸ برای نشان دادن اقلیم خشک، مرطوب و وقایع سیل و زلزله بررسی کردند. در این مطالعه محاسن و معایب کاربرد هر شاخص مقایسه شد. نتایج تحقیق نشان داد که شاخص‌های CZI و Z-Score می‌توانند نتایج مشابه با SPI را برای همه مقیاس‌های زمانی داشته باشند. محاسبات CZI و Z-Score در مقایسه با SPI ساده‌تر است و شاید شاخص‌های بهتری جهت پایش اقلیم مرطوب باشند. شاخص منبع آب زیرزمینی GRI نیز به وسیله‌ی [۱۳]، به عنوان شاخص مفید و قابل اعتماد برای پایش و پیش‌بینی وضعیت خشکسالی آب و زمین‌شناسی برای منطقه‌ی مدیترانه به کار برده شده است. فرخ‌نیا و همکاران [۷] از سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی به منظور پیش‌بینی خشکسالی استان تهران استفاده کردند. بررسی‌ها نشان داد که ارتباط مناسبی بین سیگنال‌های SLP و SST شهر یورما در مناطقی از منطقه با شاخص خشکسالی SPI در سال آبی بعد وجود دارد و سپس از روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و فازی-عصبی به منظور مدل‌سازی پیش‌بینی استفاده گردید. باکانلی و همکاران [۴] از سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی به منظور پیش‌بینی خشکسالی در ترکیه استفاده نمودند. مدل‌های پیش‌بینی مختلفی برای SPI با مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که ترکیب مقادیر پیشین بارندگی و شاخص SPI با یکدیگر، بهبود عملکرد مدل‌ها را به همراه دارد. در پژوهشی که در مورد تحلیل روند و خصوصیات مکانی شدت خشکسالی‌های استان فارس انجام شده، نتیجه گرفته شد که، شدت خشکسالی در نواحی مرکزی استان بیشتر از سایر نواحی است و وجود روند در کلیه ایستگاه‌ها بجز ایستگاه چهار دانگه ظاهر شده است [۲۰، ۲۱].

هدف از این تحقیق بررسی و مقایسه چهار شاخص خشکسالی هواشناسی با استفاده از داده‌های بارندگی استان کهگیلویه و بویراحمد و تعیین و پهنه‌بندی خشک‌ترین سال بین دوره آماری موجود می‌باشد. این پژوهش بر اساس مرور منابع انجام شده در واقع اولین مطالعه خشکسالی با استفاده از چهار شاخص خشکسالی مذکور به صورت جامع در این استان می‌باشد و مطالعات بعدی در آینده نزدیک تکمیل‌کننده این پژوهش خواهد بود.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

استان کهگیلویه و بویراحمد به مرکزیت شهر یاسوج در جنوب غربی ایران و در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی و عرض ۳۰ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵۷ دقیقه شمالی قرار دارد. مساحت این استان ۱۶ هزار ۲۴۹ کیلومتر مربع می‌باشد. این استان از غرب و جنوب غرب به استان خوزستان و از جنوب و جنوب شرق استان فارس و از جنوب غرب به استان بوشهر و از شرق به استان چهارمحال و بختیاری محدود می‌شود. استان کهگیلویه و بویراحمد دارای دو ناحیه سردسیر و گرمسیر می‌باشد.



شکل ۱: نقشه منطقه مورد مطالعه

Z (ZSI^2)، تعیین شد. برای محاسبه تمام شاخص‌ها از نرم افزار DIP^۲ استفاده شد، که مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ ماهه و یکساله محاسبه شدند. روش محاسبه نمایه‌های مختلف خشکسالی و همچنین مشخصات خشکسالی، به شرح زیر می‌باشد:

شاخص بارش استاندارد (SPI)

اساس این نمایه بر محاسبه احتمال وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است که توسط مک کی و همکاران [۱۱] به منظور پایش و تعیین خشکسالی‌ها ارائه شد. این شاخص برای مقیاس‌های زمانی ۲، ۳، ۶، ۹، ۱۴، ۲۱، ۲۸ و ۴۸ ماهه و یک ساله محاسبه می‌شود (جدول ۱). محاسبه مقدار این شاخص شامل برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی برای یک ایستگاه معین است. مقادیر شاخص SPI بدست آمده از داده‌های بلند مدت بارش برای یک دوره زمانی، از توزیع نرمال تبعیت می‌کند که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک است (جدول ۲). این نمایه به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$SPI = \frac{Pi - \bar{P}}{SD} \quad (1)$$

در معادله (۱)، Pi : بارندگی سال $\bar{P}$ و SD : انحراف معیار بارش در دوره آماری و $\bar{P}$ میانگین بارندگی بلندمدت می‌باشد.

بخش گرمسیر آن با ارتفاع متوسطی حدود ۹۰۰ متر از سطح دریا در قسمت جنوب و غرب استان قرار گرفته است در این ناحیه بادهای گرم خوزستان می‌وزد و دارای آب و هوایی نسبتاً گرم و نیمه‌خشک است، ناحیه سردسیر استان با ارتفاع متوسطی در حدود ۲۱۰۰ متر از سطح دریا، حدود ۴۳ درصد مساحت استان را در شمال و شرق آن شامل می‌گردد. متوسط بارندگی در این بخش بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر در سال است. این ناحیه از استان که در واقع جنوبی‌ترین بخش زاگرس مرطوب می‌باشد با جنگلهای وسیع بلوط پوشیده شده و سرچشمه رودهای مهم و پرآبی همانند کارون و مارون است [۱۴]. در این تحقیق از داده‌های بارندگی ۵ ایستگاه سینوپتیک یاسوج، دهدشت، گچساران، سی سخت، لیکک و دو ایستگاه باران‌سنجی دیشموک و مارگون که مربوط به سازمان هواشناسی استان کهگیلویه و بویراحمد است مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). به دلیل این که نیاز به یکسان در نظر گرفتن دوره آماری همه ایستگاه‌ها و همچنین در نظر گرفتن دوره‌ای با آمار تقریباً کامل داده‌های آماری وجود داشت طول دوره آماری این ایستگاه‌ها از سال ۱۳۷۵ تا سال ۱۳۹۴ انتخاب گردید. پس از مرتب کردن داده‌ها در نرم افزار اکسل درستی و صحت داده‌ها با آزمون توالی مورد ارزیابی قرار گرفت. وقایع خشکسالی با استفاده از نمایه‌های: شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص Z چینی (CZI)، شاخص Z چینی اصلاح شده (MCZI)^۱، عدد شاخص

2. Z Score Index

3. Drought Indices Package

1. Modified China Z Index

جدول ۱: نوع و مختصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول دوره آماری
ياسوج	سینوپتیک	۵۵۲۶۷۹	۳۳۹۴۶۳۷	۱۸۳۲	۱۳۹۴-۱۳۷۴
گچساران	سینوپتیک	۴۸۲۳۷۷	۳۳۵۵۷۳۶	۶۷۰	۱۳۹۴-۱۳۷۴
دهدشت	سینوپتیک	۴۶۰۱۳۲	۳۴۰۵۶۶۴	۷۹۳	۱۳۹۴-۱۳۷۴
سیسخت	سینوپتیک	۵۴۴۶۲۸	۳۴۱۱۲۲۴	۲۱۳۳	۱۳۹۴-۱۳۷۴
لیکک	سینوپتیک	۴۱۴۰۳۴	۳۴۲۴۴۰۷	۷۶۰	۱۳۹۴-۱۳۷۴
مارگون	باران‌سنجی	۵۲۴۸۴۳	۳۴۲۳۹۵۹	۱۵۲۰	۱۳۹۴-۱۳۷۴
دیشموک	باران‌سنجی	۴۴۲۹۰۵	۳۴۶۲۷۸۶	۱۵۰۰	۱۳۹۴-۱۳۷۴

در معادله (۴) X_{ij} متغیر استاندارد شده X_{ij} : بارندگی سال i ام برای دوره j ام ۶؛ میانگین بارندگی $\bar{X}_i$: انحراف معیار بارندگی در هر مقیاس زمانی می‌باشد [۱۵].

شاخص Z-SCORE (ZSI)

اساس این شاخص انحراف از میانگین نسبت به انحراف معیار داده‌های آماری است و وضعیت اقلیم را در چهار طبقه نشان می‌دهد (جدول ۳). معادله آن به صورت زیر می‌باشد:

$$ZSI = \frac{Pi - \bar{P}}{SD} \quad (5)$$

در معادله (۵)، Pi : بارندگی سال i ام و SD : انحراف معیار بارش در دوره آماری و $\bar{P}$ میانگین بارندگی بلندمدت می‌باشد [۱۵].

روش میان‌یابی IDW

مدل IDW یکی از معمولترین روش‌های میان‌یابی نقاط پراکنده در فضا است که اساس آن بر مبنای این فرضیه است که در یک سطح میان‌یابی، اثر یک پارامتر بر نقاط اطرافش یکسان نیست و هر چه فاصله از مبدأ افزایش یابد، اثر کمتر خواهد شد. در این مطالعه از روش IDW (با توجه به نوع داده‌ها و منطقه مورد مطالعه و مرور منابع [۱۹، ۲۲]) که روشی تأیید شده برای تبدیل اطلاعات نقطه‌ای به منطقه‌ای در مقیاس سالانه می‌باشد، استفاده شد.

جدول ۳: طبقه‌بندی ZSI

وضعیت آب و هوایی	نمایه ZSI
خشکسالی ضعیف	+۰/۲۵ تا -۰/۲۵
خشکسالی متوسط	-۰/۲۵ تا -۰/۵۲
خشکسالی شدید	-۰/۵۲ تا -۰/۸۴
خشکسالی خیلی شدید	-۰/۸۴ تا -۱/۲۸

نتایج و بحث

با بررسی آمار هواشناسی ماهانه و سالانه برای هر شش ایستگاه، شاخص‌های بارش استاندارد، شاخص Z چینی، شاخص عدد Z

جدول ۲: طبقه بندی SPI ادوارد و مک کی [۵]

وضعیت آب و هوایی	نمایه SPI
شدیداً مرطوب	۲ و بیشتر
بسیار مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
مرطوب متوسط	۱ تا ۱/۴۹
نزدیک نرمال	۰/۹۹ تا -۰/۹۹
خشک متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
بسیار خشک	-۱/۵ تا -۱/۹۹
شدیداً خشک	-۲ و کمتر

شاخص Z چینی (CZI) و شاخص Z چینی اصلاح شده (MCZI)

بر اساس تبدیل ریشه سوم ویلسون - هیلفرتی کندال و استوارت [۱۰] شکل گرفته است. با این فرض که داده‌های بارندگی از توزیع پیرسون تیپ سه پیروی می‌کنند، برای طبقه‌بندی این شاخص از همان طبقات شاخص SPI استفاده می‌شود [۲۶، ۶]. برای محاسبه CZI به جای میانگین از میانه استفاده شده است که آن را CZI اصلاح شده یا MCZI می‌نامند [۱۵]. معادلات این شاخص به صورت زیر می‌باشد:

$$Z_{ij} = \frac{6}{Csi} \left(\frac{Csi}{2} \phi_{ij} + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{Csi} + \frac{Csi}{6} \quad (2)$$

در معادله (۲) Z_{ij} : شاخص CZI، i : مقیاس زمانی مورد نظر که می‌تواند ۱، ۲، ۳، ... تا ۴۴ سال و j : سال مورد نظر می‌باشد. هم‌چنین:

$$Csi = \frac{\sum_j^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^3}{n \times \sigma_i^3} \quad \frac{\sum_j^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^3}{n \times \sigma_i^3} \quad (3)$$

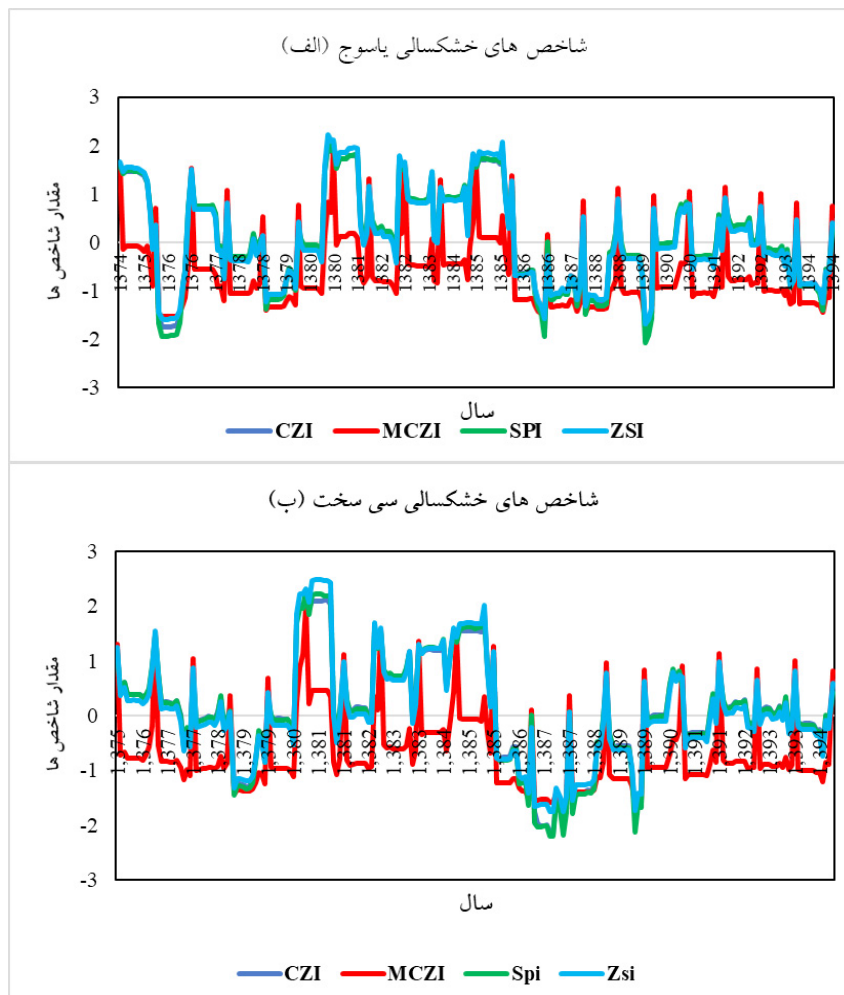
در معادله (۳) C_{si} : ضریب چولگی و n : تعداد کل سال‌های دوره آماری و نیز:

$$\phi_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_i} \quad (4)$$

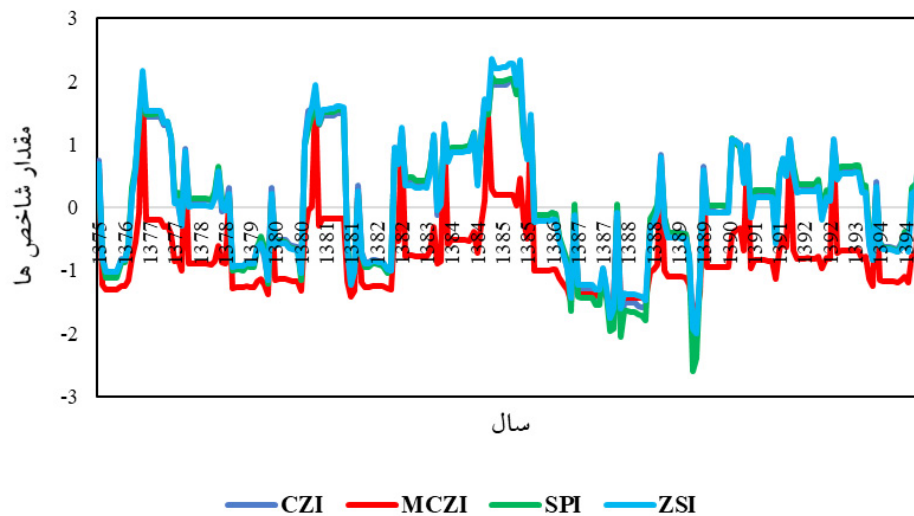
و شاخص Z چینی اصلاح شده محاسبه شدند که به عنوان نمونه، همان گونه که در شکل (۱) نشان داده شده سه منحنی بارش استاندارد و شاخص عدد Z و شاخص Z چینی روند یکسانی دارند که می توان نتیجه گرفت که این سه شاخص برای تعیین دوره های خشک تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند ولی شاخص Z چینی اصلاح شده با آن ها تفاوت فاحشی در روند دارد که احتمالا به دلیل در نظر گرفتن میانه داده ها به جای میانگین آن ها باشد که با نتایج مطالعه کریمی و همکاران [۲۹] مبنی بر همبستگی پایین این شاخص با دیگر شاخص ها خشکسالی، مطابقت دارد بنابراین در مطالعات بعدی این شاخص را باید به طور مجزا مورد بررسی دقیق تر قرار داد و نتایج آن را تجزیه و تحلیل کرد.

نتایج حاصل از نرم افزار DIP نشان می دهد در سال ۸۶-۸۷ در چهار ایستگاه دهدشت، گچساران، دیشموک و لیکک تقریبا خشکسالی شدید وجود داشته در حالی که در سه ایستگاه یاسوج، سی سخت و مارگون خشکسالی به صورت متوسط بوده است. با توجه به نتایج حاصل دو شاخص SPI و ZSI به دلیل پیش بینی زود هنگام، داشتن پیچیدگی کمتر، استفاده از پارامتر بارش به تنهایی، قابل استفاده بودن برای هر مکان از دلایل مطلوبیت این دو شاخص می باشد. اما محدودیتی که بعضی از این شاخص ها دارند برای مقیاس های بیشتر از ۲۴ ماهه نتایج به دست آمده قابل اعتماد نیست.

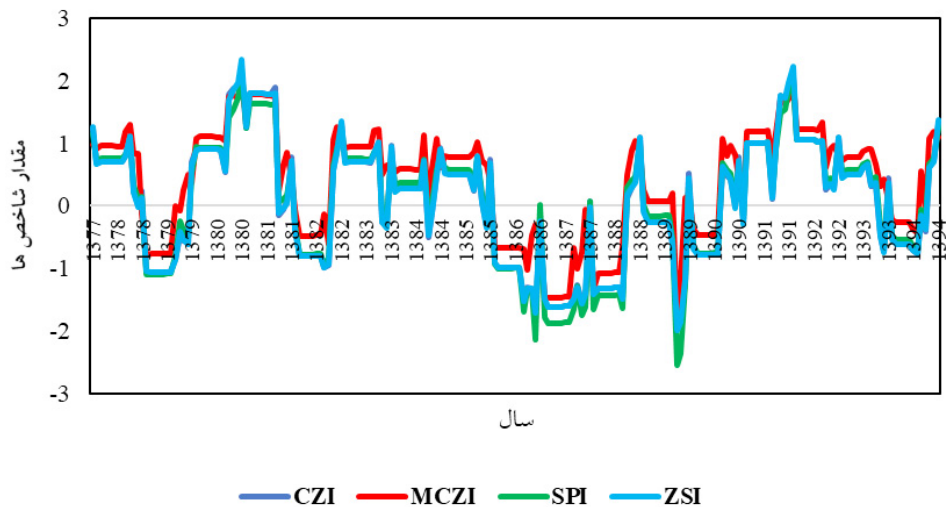
همبستگی خطی بالایی بین سه شاخص SPI، ZSI و CZI به صورت دو به دو در هر سه ایستگاه مشاهده شده، ولی همبستگی بین شاخص MCZI با سه شاخص ذکر شده در مقیاس زمانی یکساله پایین است و در بعضی از موارد همبستگی معکوس دارد (جدول های ۴-۹). همبستگی بالا و انطباق منحنی های مربوط به سه شاخص ZSI، SPI، و CZI حاکی از آن است که این سه شاخص نتیجه مشابهی دارند، ولی MCZI این گونه نیست، لذا در مطالعات حتما باید شاخص MCZI را به طور مجزا در نظر گرفت. نتیجه تحقیقات وو و همکاران [۲۴] که با استفاده از داده های بارندگی ماهانه، به ارزیابی شاخص و ۹، ۶، ۳، ۲ زمانی مقیاس های در ZSI و CZI، SPI های ۲۱ ماهه، برای اقلیم های خشک و مرطوب کشور چین پرداختند، نشان می دهد که هر سه شاخص، نتایج یکسانی را برای همه مقیاس های زمانی به همراه داشته است. بنابراین، با یافته های تحقیق حاضر مطابقت دارد. شباهت عملکرد شاخص ZSI به شاخص SPI در نشان دادن خشکسالی های شدید از دیگر نتایج به دست آمده می باشد که این نتایج، با نتایجی که در بررسی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک انصافی مقدم [۶] و بررسی شاخص خشکسالی هواشناسی در ایستگاه های سینوپتیک مازندران کریمی و همکاران [۹] به دست آمد، هم خوانی دارد.



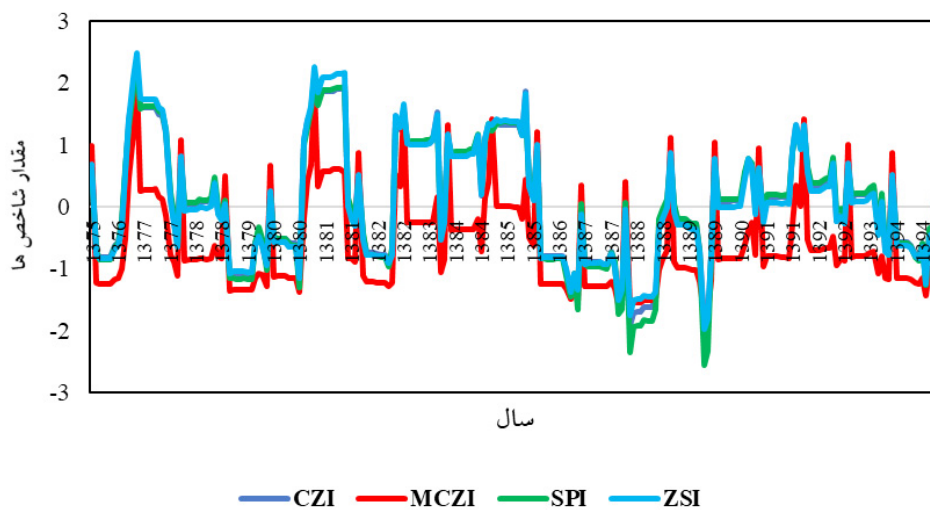
شاخص های خشکسالی دهمشت (پ)

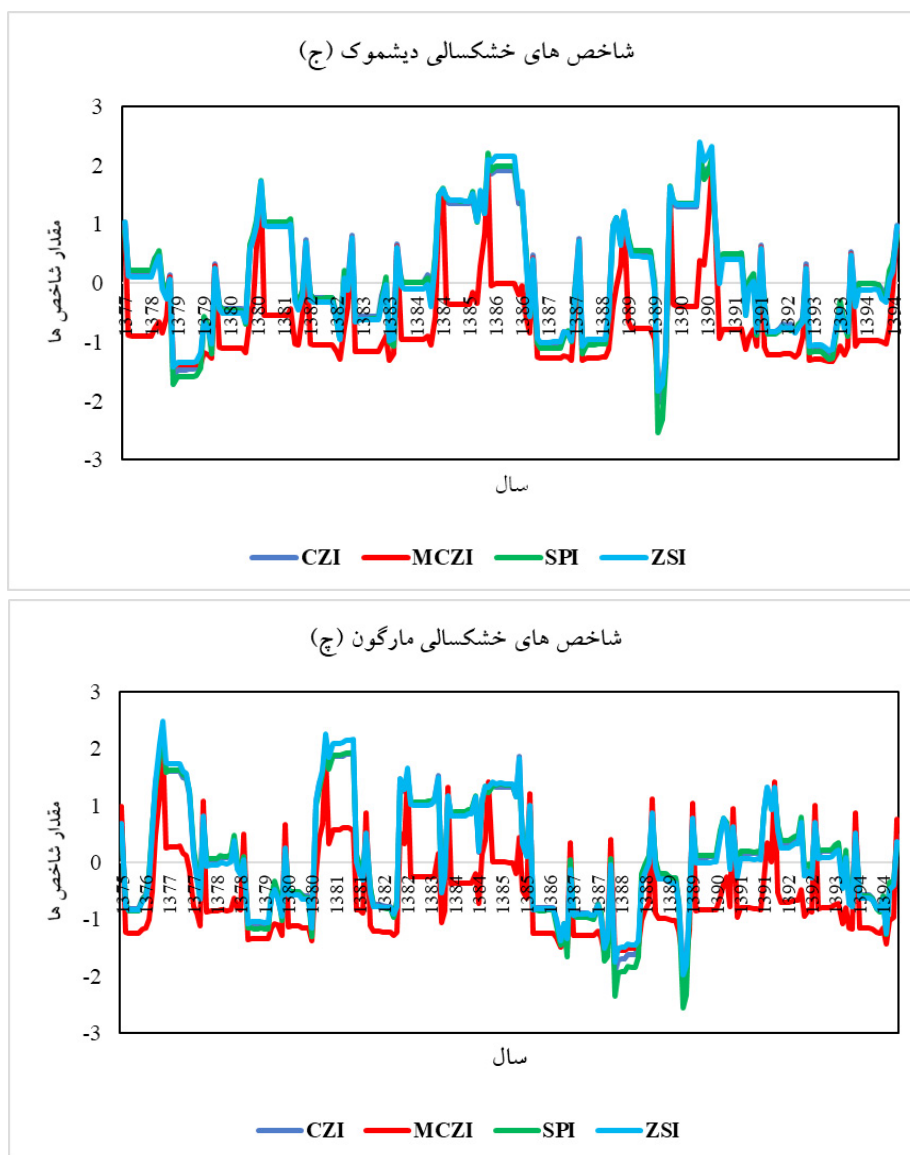


شاخص های خشکسالی لیکک (ت)



شاخص های خشکسالی گچساران (ث)





شکل ۲ (الف تا ج). مقایسه شاخص های SPI, MCZI, CZI و ZSI با مقیاس ۱۲ ماهه در ۷ ایستگاه هواشناسی استان کهگیلویه و بویراحمد

جدول ۴: ضریب همبستگی (R^2) رگرسیون خطی بین چهار شاخص خشکسالی ایستگاه یاسوج

شاخص های خشکسالی						مقیاس زمانی
MCZI-ZSI	CZI-ZSI	CZI-MCZI	SPI-CZI	SPI-MCZI	SPI-ZSI	
۰/۷۵۷	۰/۹۸۲	۰/۷۷۱	۰/۷۷۴	۰/۷۷۶	۰/۹۵	۳ ماهه
۰/۷۹۳	۰/۹۸۸	۰/۷۸۸	۰/۹۸۹	۰/۷۷۲	۰/۹۶۸	۶ ماهه
۰/۸۵۳	۰/۹۹۳	۰/۸۴۷	۰/۹۹۶	۰/۸۳۱	۰/۹۸۷	۹ ماهه
۰/۸۳۲	۰/۹۹۶	۰/۸۲۶	۰/۹۹۷	۰/۸۰۲	۰/۹۹۲	۱۲ ماهه
۰/۷۵۸	۰/۹۹۸	۰/۷۸۳	۰/۹۹۶	۰/۷۵۲	۰/۹۹۵	۲۴ ماهه
۰/۳۴۸	۰/۹۹۶	۰/۳۸۳	۰/۹۹۹	۰/۴۰۶	۰/۹۹۳	یکساله

جدول ۵: ضریب همبستگی (R^2) رگرسیون خطی بین چهار شاخص خشکسالی ایستگاه دهدشت

شاخص‌های خشکسالی						مقیاس زمانی
MCZI-ZSI	CZI-ZSI	CZI-MCZI	SPI-CZI	SPI-MCZI	SPI-ZSI	
۰/۶۹۵	۰/۹۶۵	۰/۷۵	۰/۹۵۲	۰/۸۲	۰/۸۷۵	۳ ماهه
۰/۸۶۸	۰/۹۸۷	۰/۸۵۹	۰/۹۸۸	۰/۸۳۹	۰/۹۶۵	۶ ماهه
۰/۸۷۹	۰/۹۹۴	۰/۸۶۹	۰/۹۹۳	۰/۸۴۴	۰/۹۸۱	۹ ماهه
۰/۸۴	۰/۹۹	۰/۸۸۳	۰/۹۹۵	۰/۸۱	۰/۹۹	۱۲ ماهه
۰/۷۹۲	۰/۹۹	۰/۷۹۱	۰/۹۹۲	۰/۷۵۶	۰/۹۹۳	۲۴ ماهه
۰/۲۷۴	-۰/۲۸	-۰/۳۱۵	-۰/۳۱۱	۰/۲۷۳	۰/۹۹۴	یکساله

جدول ۶: ضریب همبستگی (R^2) رگرسیون خطی بین چهار شاخص خشکسالی ایستگاه گچساران

شاخص‌های خشکسالی						مقیاس زمانی
MCZI-ZSI	CZI-ZSI	CZI-MCZI	SPI-CZI	SPI-MCZI	SPI-ZSI	
۰/۷۰۲	۰/۹۸۱	۰/۷۱۶	۰/۹۵۲	۰/۷۵۸	۰/۹۱	۳ ماهه
۰/۷۸۳	۰/۹۸	۰/۷۹۳	۰/۹۸۳	۰/۷۹۶	۰/۹۵۶	۶ ماهه
۰/۸۴	۰/۹۹	۰/۸۴۵	۰/۶۱۶	۰/۵۵	۰/۶۰۴	۹ ماهه
۰/۸۷	۰/۹۹	۰/۸۷	۰/۹۹	۰/۸۴	۰/۹۸	۱۲ ماهه
۰/۸۷	۰/۹۹	۰/۸۷	۰/۶۱	۰/۵۳	۰/۶۱۹	۲۴ ماهه
-۰/۳۹	۰/۹۹	-۰/۳۷	۰/۹۹	-۰/۳۶	۰/۹۹	یکساله

جدول ۷: ضریب همبستگی (R^2) رگرسیون خطی بین چهار شاخص خشکسالی ایستگاه سی سخت

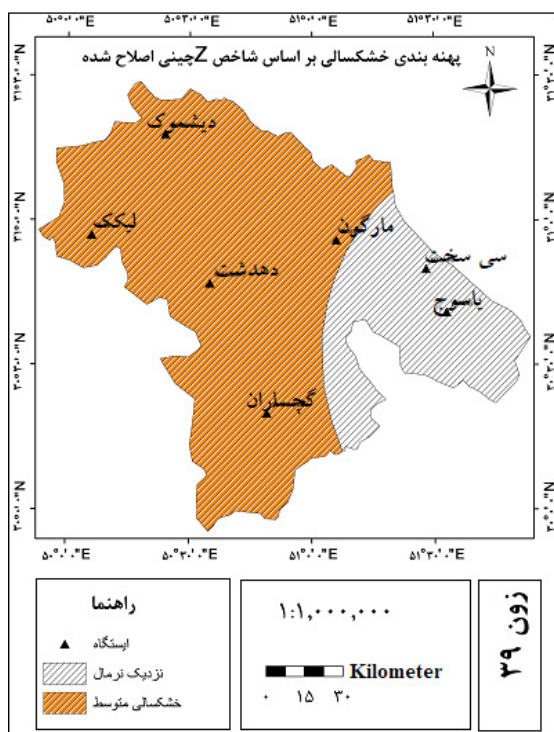
شاخص‌های خشکسالی						مقیاس زمانی
MCZI-ZSI	CZI-ZSI	CZI-MCZI	SPI-CZI	SPI-MCZI	SPI-ZSI	
۰/۶۲	۰/۵۳	۰/۲۸	۰/۵۲	۰/۷۴	۰/۹۲	۳ ماهه
۰/۷۶	۰/۹۱	۰/۷۹	۰/۹۵	۰/۷۶	۰/۹۷	۶ ماهه
۰/۸۳	۰/۹۸	۰/۸۲	۰/۹۹	۰/۸۱	۰/۹۸	۹ ماهه
۰/۸۳	۰/۹۹	۰/۸۲	۰/۹۹	۰/۸۰	۰/۹۹	۱۲ ماهه
۰/۸۵	۰/۹۹	۰/۸۵	۰/۹۹	۰/۸۳	۰/۹۹	۲۴ ماهه
۰/۰۳	۰/۹۸	-۰/۰۶	۰/۹۹	-۰/۰۶	۰/۹۸	یکساله

جدول ۸: ضریب همبستگی (R^2) رگرسیون خطی بین چهار شاخص خشکسالی ایستگاه لیکک

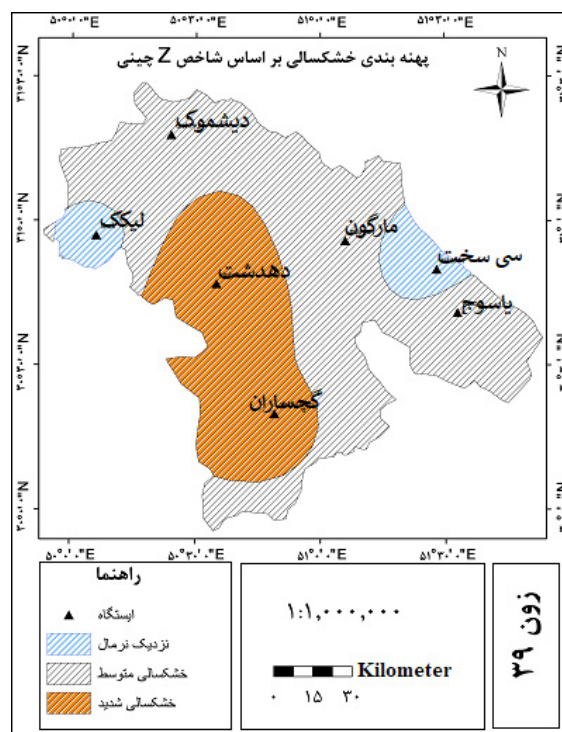
شاخص‌های خشکسالی						مقیاس زمانی
MCZI-ZSI	CZI-ZSI	CZI-MCZI	SPI-CZI	SPI-MCZI	SPI-ZSI	
۰/۹۲	۰/۹۷	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۹۷	۳ ماهه
۰/۸۷	۰/۹۸	۰/۸۷	۰/۹۸	۰/۸۵	۰/۹۵	۶ ماهه
۰/۹۰	۰/۹۹	۰/۸۹	۰/۹۸	۰/۸۹	۰/۹۴	۹ ماهه
۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۹	۱۲ ماهه
۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۸۷	۲۴ ماهه
۰/۲۷	۰/۹۹	۰/۳۵	۰/۹۸	۰/۲۷	۰/۹۹	یکساله

جدول ۹. ضریب همبستگی (R^2) رگرسیون خطی بین چهار شاخص خشکسالی ایستگاه دیشموک

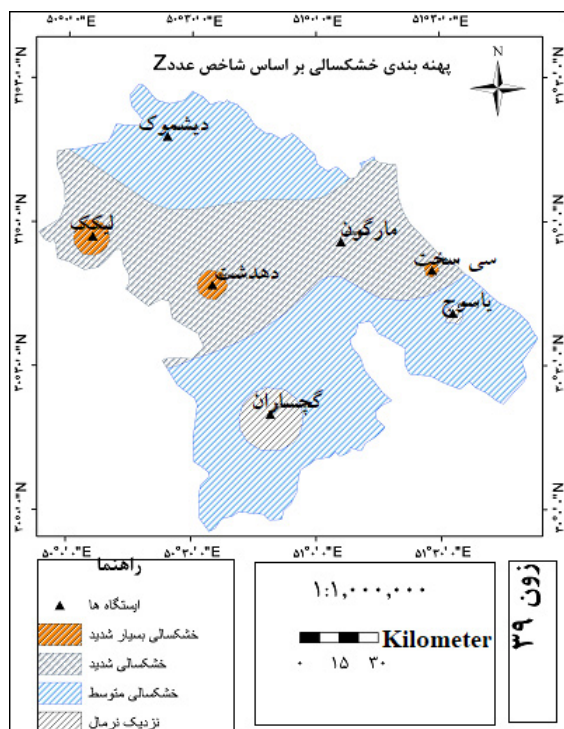
شاخص های خشکسالی						مقیاس زمانی
MCZI-ZSI	CZI-ZSI	CZI-MCZI	SPI-CZI	SPI-MCZI	SPI-ZSI	
۰/۳۷۸	۰/۵۶۹	۰/۷۵۴	۰/۸۹۶	۰/۷۷۴	۰/۹۹۲	۳ ماهه
۰/۸۰	۰/۹۸۳	۰/۸۰	۰/۹۸۷	۰/۷۹	۰/۹۶	۶ ماهه
۰/۸۲۴	۰/۹۶	۰/۸۱	۰/۹۷۹	۰/۸۰۵	۰/۹۸۲	۹ ماهه
۰/۸۰	۰/۹۹۵	۰/۸۰	۰/۹۹۶	۰/۷۸	۰/۹۹۱	۱۲ ماهه
۰/۸۰	۰/۹۹۵	۰/۸۰	۰/۹۹۶	۰/۷۸۳	۰/۹۹۴	۲۴ ماهه
۰/۳۲	۰/۹۹۵	۰/۳۷	۰/۹۹	۰/۳۷	۰/۹۹۴	یکساله



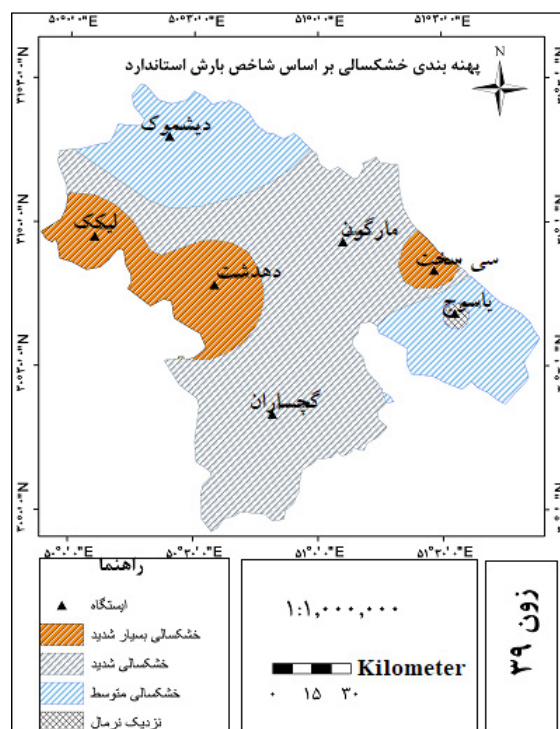
ب



الف



د



ج

اشکال ۳. پهنه بندی خشکسالی هواشناسی با استفاده از (الف) شاخص CZI، (ب) شاخص MCZI، (ج) شاخص SPI و (د) شاخص ZSI در استان کهگیلویه و بویراحمد در سال ۱۳۸۶-۱۳۸۷.

می‌دهد که این پدیده جزء جدایی‌ناپذیر اقلیم این منطقه می‌باشد. با توجه به اینکه در اکثر سال‌های مورد بررسی در این پژوهش، بین میزان تغییرات مقادیر شاخص‌های SPI، ZSI و CZI همبستگی بالایی وجود داشت می‌توان نتیجه گرفت که این سه شاخص در مورد پایش خشکسالی در استان کهگیلویه و بویراحمد تفاوت زیادی با هم ندارند لذا استفاده از این شاخص‌ها (با توجه به سادگی محاسبه) برای بررسی خشکسالی خصوصاً برای بازه‌های سالانه در مقایسه با شاخص MCZI مناسب‌تر می‌باشد. هم‌چنین روند تغییرات شاخص SPI در مناطق سردسیر و گرمسیر استان بسیار شبیه به هم می‌باشد، همبستگی بالای تغییرات این سه شاخص در شش ایستگاه با خصوصیات اقلیمی متفاوت در استان نشان می‌دهد که در بارش‌های استانی بیشتر الگوهای بارشی هم‌دید و منطقه‌ای نقش دارند. گرچه کاملاً طبیعی است که در استان کهگیلویه و بویراحمد مناطق ریز اقلیم (میکروکلیم) نیز وجود دارند که با این روند همخوانی نداشته باشند.

با توجه به این‌که مطالعات این پژوهش نشان می‌دهد که از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴ وضعیت ترسالی و افزایش بارش اتفاق نیفتاده است، لذا در صورت تداوم کاهش بارندگی طی سال‌های آینده و همچنین عدم توجه به بحث مدیریت آب در استان و فرهنگ‌سازی جهت مصرف بهینه آب در بخش‌های مختلف، خطر وقوع خشکسالی از

به‌منظور بررسی شدت و مدت خشکسالی از نتایج محاسبات مربوط به چهار شاخص بالا و به منظور بررسی وسعت خشکسالی از تبدیل اطلاعات نقطه‌ای به منطقه‌ای و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی استفاده گردید. سیستم نقشه پایه استفاده شده، سیستم جغرافیایی بوده و پهنه‌بندی با استفاده از نرم افزار ArcMap انجام گردید. شکل ۳ (الف تا د) نتایج پهنه‌بندی شدت خشکسالی هواشناسی با استفاده از چهار روش CZI، SPI، ZSI و MCZI را در مقیاس سالانه و برای سال ۸۶-۸۷ به عنوان خشک‌ترین سالی که در دوره آماری موجود اتفاق افتاده را نشان می‌دهند. به رغم تفاوتی که در هر یک از روش‌های پایش در تعیین وضعیت خشکسالی وجود دارد، ولی روند کلی در چهار شاخص به‌جز شاخص MCZI یکسان است، هر چند ممکن است مراتب خشکسالی متفاوت به دست آمده باشد.

نتیجه‌گیری

برای پایش خشکسالی شاخص‌های فراوانی وجود دارد که هر کدام جنبه‌های مثبت زیادی دارند. بررسی روند خشکسالی طی ۲۰ سال گذشته (سال زراعی ۷۶-۱۳۷۵ تا ۹۵-۱۳۹۴) نشان می‌دهد که شدیدترین خشکسالی طی سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در استان رخ داده است. وقوع خشکسالی به صورت متناوب طی دهه اخیر نیز نشان

نوع هیدرولوژیکی قابل انتظار می‌باشد.

به کشاورزان توصیه می‌شود که محصولاتی که نیاز آبی زیادی دارند با محصولاتی که نیاز آبی کمتری دارند را جایگزین کنند. همچنین تغییر روش‌های آبیاری و مکانیزه کردن کاشت و برداشت برای زیاد کردن بازده آبیاری و افزایش عملکرد؛ تهیه سند آمایش منطقه و بازنگری جدی در سیاست‌های توسعه‌ای به ویژه در زمینه الگوی کشت، استقرار صنایع آبربر و همچنین تهیه سند مدیریت بحران منابع آب با رویکرد ناحیه‌ای برای کاهش اثرات خشکسالی و برون‌رفت از شرایط فعلی ضروری می‌باشد.

منابع

- 8-Hong, W. Hayes, M. J. Welss, A. and Hu, Q. 2001. An evaluation the standardized precipitation index, the china-z index and the statistical z-score. International Journal of Climatology, 21:745-758. (In Persian).
- 9-Karimi., V, Habibnejad, M. and abkar, A. 2011. Determination of meteorological drought index in Mazandaran Synoptic stations, Journal of Irrigation and Water Engineering, 2010, 2(5): 15-25 (In Persian).
- 10-Kendall, M.G. and Stuart, A. 1997. The advanced theory of statistics. Charles Griffin & Company: London, High Wycombe, 400-401.
- 11-Mackee, B., Nolan, T., Dooesken, J. and Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple timescales. 9th. Conference on Applied Climatology. 15-20. 15-20 January, Boston, Massachusetts: 223-236 drought indices for drought assessment and monitoring in Greece, 8th International Conference on Environmental Science and Technology Lemons Island, 8-10 September: 484- 491.
- 12-Malekinezhad, H. and Soleimani motlagh, M. 2011. The study of the severity of meteorological and hydrological droughts in Choghvalandi Basin, Iran Water Research, 9, 61-72 (In Persian).
- 13-Mendicino., G. Senatore, A. and Versace, P. 2008. A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. Journal of Hydrology 357, 282-302.
- Ministry of Roads and Urban Development, Meteorological Organization of the country, <https://www.irimo.ir>
- 14-Mirzaei., A. A. and Saabeh, Gh. (2011). Specialized Software for Water Engineering, Kian Rayaneh Sabz Publications, First Edition (In Persian).
- 15-Mofidipour, N., Brady Sheikh, V., Onagh, M. A. and Saad al-Din, A. 2012. Study of the relationship between meteorological and hydrological droughts in Atrak watershed, Watershed Management Research Center, 16-26, 5. (In Persian).
- 16-Mohammadi Ghaleini, M., Ebrahimi, K. and Irannezhad, Sh, 2011. Effect of Drought on Groundwater Fluctuations Using Standard Precipitation Index in 17-Saveh Plain, Ahvaz Water and Irrigation Journal, 20: 17-29. (In Persian).
- 1-Akhtari, R., Morid, S., Mahdian, M. H. and Smakhtin, V. 2014. Assessment of areal interpolation methods for spatial analysis of SPI and EDI drought indices, International Journal of Climatology, 29, 135-125. (In Persian).
- 2-Alizadeh, A. 1999. Applied Hydrology, Ferdowsi University of Mashhad, 11th edition, p. 237. (In Persian).
- 3-Angelidis, P., Maris, F., Kotsovinos, N. and Hrissanthou, V. 2012. Computation of Drought Index SPI with Alternative Distribution Functions. Journal of Water Resources Management, 26(9):2453-2473. (In Persian).
- 4-Bacanli., U., Firat, M. and Dikbas, F. 2008. Adaptive Neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for drought forecasting, Stoch Environ Res Risk Assess, 5, 135-148.
- 5-Edwards, D.C. and McKee, T.B. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple timescales, Colorado State University: Fort Collins. Climatology Report No.pp 97-102. (In Persian).
- 6-Ensafi Moghaddam, T. 2007. Evaluation of several indicators of climate drought and determining the most appropriate indicator in Salt Lake basin. Iranian Journal of Rangeland and Desert Research, 4 (2): 288-271 (In Persian).
- 7-Farrokhnia, A., morid, S. and Ghaemi, H. 2008. Data mining on large-scale climatic signals for long-term forecast of drought, 3rd Iranian Water Resources Management Conference, Faculty of Civil Engineering, Tabriz University. Tabriz. (In Persian).

- 23-Wu, H., Hayes, M.J., Weiss, A. and Hu, Q. 2001. An Evaluation of the standardized precipitation index, the china-z index and the statistical z-score. *International Journal of Climatology*, 21:745-758.
- 24-Zarezadeh Mehrizi, M, and Morid. S. 2011. Drought monitoring using reservoir level and meteorological indicators; A case study of Zayandeh-rud water system in Isfahan, Iran *Water and Soil Researches Journal*, 42(3). (In Persian).
- 25-Mesbah zadeh, T. and Solamani Sardoo, F. 2018. Investigation of Hydrological and Meteorological Drought Trends in Karkheh Watershed. *Iran -Watershed Management Science and Engineering*. 12(40): 105-114.
- 26-Parvazi, M. 2017. Investigation of droughts in Kerman with four indices TOPSIS, SPI, PNPI and Z. *Journal of Geographical Sciences*. 29: 92-113.
- 27-Mostafazadeh, R. and Zabihi, M. 2017. Analysis and comparison of SPI and SPEI indices in meteorological drought assessment using R software (Case study: Kurdistan province). *Journal of Earth and Space Physics*. 42(3): 633-643.
- 28-Karimi, V. A., Habibnejad Roshan, M. and Abkar, A.J. 2010. Investigation of meteorological drought indices in Mazandaran synoptic stations. *Irrigation and water engineering*. 2(5): 15-25.
- 29-Zarei, M. and Soleamani Sardoo, M. 2018. Evaluation of meteorological indices and interpolation methods for drought monitoring and zoning in arid and semiarid regions (Case study: Qom-Kahak Watershed). *Desert Ecosystem Engineering Journal*. 7(21): 59-74.
- 17-Mohammadi, M., Sheikh, V. and Ahmadi, H. 2010. Drought severity zoning in Sistan and Balouchestan province with the index (SPI) using GIS. *Proceedings of the National Geo-National Congress*, Tehran, May 89. (In Persian).
- 18-Mohammad Yari, F., Aghdar, h. and Basiri, R. 2018. Groundwater quality zoning for drinking using geostatistical methods Case study: Mehran and Dehloran arid regions. *Journal of Geographical Information*, 26 (101), 199-208 (In Persian).
- 19-Moradi., H. R., Rajabi, M. and Fargezadeh, M. 2008. Trend Analysis and Spatial Characteristics of Drought Severity in Fars Province. *Quarterly Journal of Rangeland and Desert Research of Iran*, 14 (1):109-97: (In Persian).
- 20-Raziy, T., daneshkar arasteh, P., akhtari, R. A. and Sagafian, B. 2007. Evaluation of meteorological droughts in Sistan and Baluchestan province using SPI index and Markov chain model, *Iran Water Resources Research*. third year. the first number. Tehran (In Persian).
- 21-Safi, Y. and Mirzaei, R. 2018. Comparison of spatial interpolation methods for zoning heavy metal concentration in Aran and Bidgol surface soils. *Journal of Environmental Science and Technology*. 19(1): 131-145 (In Persian).
- 22-Soleimani Sardou, F. and Bahremand, A. 2013. Hydrological drought analysis using SDI index in Halilrud basin of Iran, *The International Journal of Environmental Resources Research*. 3, 280-288. (In Persian).



Abstract

**Investigating of Spacing Spatial and Temporal Distribution of Quality and Quantities
Groundwater at Noorabad Plain**M.T. Avand*¹ and M. Dolat Kordestani²

Received: 2019/07/25 Accepted: 2019/11/01

In recent years, due to the increasing frequency of droughts in arid and semi-arid regions of the country, the water level of the lakes has dramatically decreased, and in addition to environmental damage, it has also challenged the economic and social sectors of society. In this study, drought events were quantified by standardized precipitation index (SPI), chinese Z index (CZI), Modified chinese Z index (MCZI) and Z-Score index (ZSI) using monthly and annual rainfall data of five synoptic stations (Yasuj, Gachsaran, Dehdasht, Sisakht and Likak) and one pluviometry station (Margoan and Dishmuk) those which are related to Kogilueh and Boyerahmad Meteorological organization. The results showed that ZSI, CZI and SPI have a similar trend in all stations and the curves of these stations were well coincident with each other and had a very good fitness that was not same for MCZI. Then, iso-duration and iso-intensity maps of drought (drought zoning) were prepared for determination of the drought susceptible areas as well as forecasting the future status based on the four studied indices by the ArcMap application for annual periods.

Keywords: Monthly rainfall, Correlation, Meteorological drought, Drought index, Surface water.

1. PhD student in Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modarres University, Corresponding author, Email: Mt.avand70@gmail.com

2. PhD graduate in Desertification, Faculty of Natural Resources, Jiroft University, Kerman