

مقاله علمی پژوهشی

## تحلیل شاخص‌های خشکسالی و بارش استاندارد شده در مراکز شهرهای استان اردبیل

\* وحید صفریان زنگیر<sup>۱</sup>، برومند صلاحی<sup>۲</sup>، رقیه ملکی مرشت<sup>۳</sup>، محمدکیا کیانیان<sup>۴</sup>

۱. دکتری گروه جغرافیای طبیعی، اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲. استادیار گروه جغرافیای طبیعی، اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳. دانشجوی گروه جغرافیای طبیعی، اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۴. استادیار گروه کورشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۶

## Analysis of Standardized Precipitation Drought Indices in the Cities of Ardebil Province

\*Vahid Safarian Zengir<sup>1</sup>, Broumand Salahi<sup>2</sup>, Roghayeh Maleki Marsht<sup>3</sup>, Mohammadkia Kianian<sup>4</sup>

1. Ph.D. Dept. of Physical Geography, Climatology, University of Mohaghegh Ardebili, Ardebil, Iran.

2. Assistant Professor, Dept. of Physical Geography, Climatology, University of Mohaghegh Ardebili, Ardebil, Iran.

3. Ph.D. Student, Dept. of Physical Geography, Climatology, University of Mohaghegh Ardebili, Ardebil, Iran.

4. Assistant Professor, Dept. of Desertification, Faculty of Desertification Semnan University, Semnan, Iran.

Received: 09/09/2018 Accepted: 17/11/2018

### Abstract

The aim of this study was to analyze rainfall drought indices to predict and reduce their negative effects in Ardebil province, which involved a descriptive-analytical study in terms of research type. Data were collected using documentary method. Accordingly, the information of mean rainfall and mean temperature on a monthly basis in synoptic stations of Ardebil, Germe, Parsabad, Meshkinshahr and Khalkhal were received from the Meteorological Organization in Ardebil province for the period (1996-1996). Dip and Dic software were used to analyze the SPI and CZI indices data in each of the 5 synoptic stations of the province. Drought zoning was then performed in two scales of 6 and 12 months, from IDW interpolation, in ArcGIS software. The innovation of the present study was the use of if-then rules in MATLAB software in combining drought indicators in the field of climatology. The results showed that very severe droughts at the 12-month scale were less than at the 6-month scale, and in all 5 stations studied, the number of moderate droughts was more than severe and very severe ones. Also, the highest frequency of drought was observed in Ardebil city and the lowest in Germe station. Similarly, a comparison of the two indicators displayed that their performance did not differ much; but it turned out that the SPI index, could reveal the number of droughts better than the CZI index.

### Keywords

Rainfall Drought Index, Synoptic Stations, Interpolation, Cities of Ardebil Province.

### چکیده

هدف از مطالعه حاضر، تحلیل شاخص‌های خشکسالی بارش برای پیش‌بینی و کاهش اثرات منفی آن در استان اردبیل بوده است که از نظر نوع تحقیق، یک مطالعه توصیفی-تحلیلی محسوب می‌گردد. داده‌ها با استفاده از روش اسنادی گردآوری شد. بر همین اساس، اطلاعات میانگین بارندگی و میانگین دما به صورت ماهانه در ایستگاه‌های سینوپتیک اردبیل، گرمی، پارس‌آباد، مشکین‌شهر و خلخال در استان اردبیل در بازه زمانی (۲۰۱۶-۱۹۹۶) از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید. جهت تحلیل داده‌ها در هر کدام از ۵ ایستگاه سینوپتیک استان، شاخص‌های SPI و CZI، از نرم افزارهای Dip و Dic، استفاده شد. سپس پهنه‌بندی خشکسالی در دو مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه، از درون‌یابی IDW، در نرم‌افزار Arc Gis، انجام گرفت. نوآوری پژوهش حاضر استفاده از قواعد اگر - آنگاه در نرم‌افزار MATLAB، در تلفیق شاخص‌های خشکسالی در رشته اقلیم‌شناسی می‌باشد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که خشکسالی‌های خیلی شدید در مقیاس ۱۲ ماهه کم‌تر از مقیاس ۶ ماهه رخ داده است و در هر ۵ ایستگاه مورد مطالعه، تعداد خشکسالی‌های متوسط، بیش‌تر از خشکسالی‌های شدید و خیلی شدید بوده است. همچنین بیش‌ترین درصد فراوانی خشکسالی در شهرستان اردبیل و کم‌ترین آن در ایستگاه گرمی مشاهده گردید. مقایسه دو شاخص مذکور نشان داد که عملکرد آن‌ها اختلاف چندانی با هم ندارد؛ اما مشخص گردید که شاخص SPI، بهتر از شاخص CZI، می‌تواند تعداد خشکسالی‌ها را آشکار نماید.

### واژگان کلیدی

شاخص خشکسالی بارش، ایستگاه سینوپتیک، شهرهای استان اردبیل.

## مقدمه

اسپینونی<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۵؛ هوانگ<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۵؛ جان<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۵ و تیموما<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). این مطالعات، به روش‌های مختلف و با مدل‌های متفاوتی، در پی یافتن شاخص‌هایی جهت پیش‌بینی خشکسالی بوده‌اند. چراکه پیش‌بینی این پدیده اقلیمی و شناخت ویژگی‌هایی از جمله: شدت، زمان شروع و خاتمه و توزیع مکانی آن می‌تواند در برنامه‌ریزی جهت مدیریت خشکسالی، کار ساز باشد.

با توجه به آن‌چه مطرح گردید، مطالعه وضعیت خشکسالی برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب از اهمیت زیادی برخوردار است. به همین منظور، هدف از پژوهش حاضر به‌دست آوردن اطلاعات لازم و استفاده تخصصی و عمومی از داده‌های بارش و دما در استان اردبیل در ارتباط با برنامه‌ریزی‌ها، آنالیز و مقایسه شاخص‌های خشکسالی بارش استاندارد شده (SPCZ<sup>۱۲</sup>) در مراکز شهرهای استان اردبیل در نظر گرفته شد. در همین راستا این سوال مطرح گردید که: آیا مراکز شهرهای استان اردبیل با توجه به شاخص‌های استاندارد، دچار خشکسالی هستند یا بارش نرمال دارند؟

## مبانی نظری

## چارچوب نظری

علل بروز خشکسالی‌ها را باید در ناهنجاری‌های عمومی جو جستجو کرد. امروزه بیش‌تر بر روی (پیوندهای دور) تکیه می‌شود. پیوند از دور عبارت است از ارتباط میان ناهنجاری‌های اقلیمی مختلف که در فواصل دور از یکدیگر روی می‌دهند. مثلاً این که الگوی بارندگی آمریکای غربی با فراوانی و شدت هاریکان‌هایی که به سواحل ایالات متحده در اقیانوس اطلس می‌رسند همبستگی مستقیم دارد یا وقوع خشکسالی هرچند که می‌تواند نشانه‌ای از عوامل محلی باشد ولی عمدتاً به‌دلیل روابط بین بخش‌هایی از اجزای گردش عمومی اتمسفر است.

خشکسالی یکی از مخاطرات طبیعی است که در نتیجه بارش کم‌تر از حد نرمال، رخ می‌دهد. به تعبیر اشنایدر<sup>۱۳</sup>، خشکسالی در یک منطقه، عبارت است از میانگین بارندگی یک سال یا یک فصل که کم‌تر از میانگین بارندگی چندساله آن منطقه باشد (جوی‌زاده و حجازی‌زاده، ۱۳۸۹: ۲۸).

پدیده خشکسالی به‌علت برهم‌کنش عوامل مختلف هواشناسی، دارای فرآیند پیچیده‌ای می‌باشد و در همه شرایط اقلیمی و در تمام

خشکسالی زمانی پیش‌می‌آید که مقدار بارش سالانه کم‌تر از میانگین طولانی‌مدت بارش منطقه باشد. این پدیده، سبب ایجاد فشار بیش‌تر و مضیق در منطقه می‌گردد. بر زندگی انسان تأثیر می‌گذارد و هرچه مقدار بارش کم‌تر از میانگین دراز مدت، بیش‌تر بوده و برای مدت طولانی‌تر دوام داشته باشد، آثار جنبی خشکسالی بیش‌تر دیده می‌شود. این مسئله، اغلب در قالب کاهش دبی رودخانه‌ها، کمبود آب آشامیدنی، پایین رفتن سطح آب زیرزمینی، کاهش تولید مراتع و جنگل‌ها، افزایش فرسایش خاک، کاهش تولید کشاورزی، دامی و باغی، عدم پایداری قیمت‌ها در بازار و نامساعد شدن اوضاع اقتصادی، نمایان می‌شود.

خشکسالی سبب به‌هم خوردن تعادل اقتصادی - اجتماعی جامعه و ناپایداری اقتصادی و تزلزل بنیان‌های اجتماعی می‌شود (محمدی، ۱۳۸۶: ۱۰۵) و غالباً از خشکسالی هواشناسی شروع می‌شود و سپس خشکسالی هیدرولوژیکی، خشکسالی کشاورزی و سرانجام خشکسالی اجتماعی و اقتصادی را در پی دارد (علیزاده، ۱۳۸۸: ۲۷۶).

خشکی و خشکسالی نتیجه اثرات متقابل ویژه بین محیط زیست طبیعی و اجتماعی است. انسان و اجتماع دارای دو نقش فعال و انفعالی در توسعه کلی یک منطقه می‌باشد. چنان‌که به روشنی مشخص است در آخرین دوره زمانی، آهنگ تغییرات در محیط زیست طبیعی و اجتماعی سریع گردیده به‌طوری که تأثیرات این‌گونه تغییرات هر روز پیچیده‌تر، چشم‌گیر و دائمی می‌گردد. این فرآیندها در مقایسه با گذشته روی زندگی روزمره بشر تأثیر بسیار زیادی می‌گذارند بنابراین آنالیز و مقایسه شاخص‌های خشکسالی و تجربیات به‌دست آمده از روش مطالعه، می‌توان اذعان کرد که پارامتر دما، اهمیت به‌سزایی در وقوع خشکسالی دارد.

ایران به لحاظ واقع شدن در کمربند خشک و نیمه خشک جهان، در مناطق مختلف خود شاهد پدیده خشکسالی با درجات متفاوت است. این پدیده به جهت آثار مخربی که بر اکوسیستم و حیات انسانی دارد، توجه پژوهشگران را به خود جلب نموده و در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی در این ارتباط با انجام رسیده است. از جمله پژوهش‌های دیگری هم در این زمینه انجام شده است از جمله ارمس<sup>۱</sup>، ۱۹۹۰؛ میکو<sup>۲</sup>، ۱۹۹۳؛ وایت<sup>۳</sup>، ۲۰۰۰؛ پیتیرس<sup>۴</sup>، ۲۰۰۶؛ مو<sup>۵</sup>، ۲۰۰۸؛ زو و رانگ<sup>۶</sup>، ۲۰۱۰؛ وانگ و چین<sup>۷</sup>، ۲۰۱۴؛

8. Spinoni

9. Huang

10. John

11. Tioma

12. Standardized Precipitation China Z

13. Schneider

1. Hermes

2. Micah

3. White

4. Pittiros

5. Hair

6. Zhu and Rang

7. Wang and China

ماه مه سال ۲۰۰۵ تا ماه نوامبر سال ۲۰۰۶ به مدت ۱۹ ماه اتفاق افتاده است و بیش‌ترین درصد وقوع خشکسالی در ایستگاه ارومیه و کم‌ترین آن در ایستگاه مهاباد مشاهده شد.

صلاحی و مجتبی‌پور (۱۳۹۵)، به منظور تبیین الگوی حاکم بر خشکسالی در شمال غرب ایران، از آماره‌های سراسری و موضعی در حکم رویکردهای تحلیل اکتشافی داده‌های فضایی استفاده نمودند. نتایج شاخص موران نشان‌گر خوشه‌ای بودن توزیع فضایی خشکسالی بوده و نتایج حاصل از مقادیر امتیاز استاندارد Z و مقدار P-value خوشه‌ای بودن توزیع خشکسالی را مورد تأیید قرار داده‌است. همچنین نتایج آماره عمومی G نشان داده است که قسمت غرب و شمال غرب منطقه مورد مطالعه، دارای الگوی خشکسالی ملایم و جنوب شرق منطقه، دارای الگوی خشکسالی بسیار شدید بوده و در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است.

ذولفقاری و نوری سامله (۱۳۹۵)، کاربرد شاخص خشکسالی (CPEI<sup>۱۸</sup>)، در تعیین متغیرهای مناسب برای تحلیل خشکسالی‌های ایران را مورد مطالعه قرار دادند. به این نتیجه دست یافتند که در بیش‌تر ایستگاه‌های مورد بررسی، شاخص CPEI، قابل استفاده است و جهت تعیین دوره‌های خشک فصلی و سالانه در ایران می‌توان از شاخص CPEI، برای طراحی مدل‌ها استفاده نمود. همچنین، طبق یافته‌های پژوهش آنان، استفاده از این روش، جهت مطالعه خشکسالی‌های فصلی بهار و سالانه مناسب‌تر از بقیه دوره‌های زمانی بوده و در دوره‌های سالانه و فصلی (به استثنای بهار) با شاخص CPEI، هماهنگی کم‌تری نشان داده‌اند.

داموندی و همکاران (۱۳۹۵)، به مطالعه پایش مکانی خشکسالی کشاورزی از طریق سری‌های زمانی شاخص‌های NDVI<sup>۱۹</sup> و LST<sup>۲۰</sup>، داده‌های MODIS، در استان کرمان مرکزی پرداختند. طبق نتایج پژوهش آنان، خشکسالی شاخص VHI، سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ دارای بیش‌ترین شدت و در کل، سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۶ دارای کمترین شدت بوده‌اند و در کل، روش استفاده از شاخص سنجش از دور VHI، در پایش خشکسالی کشاورزی دقت بالایی نشان داده است.

فنی و همکاران (۱۳۹۵)، به تحلیل دلایل و پیامدهای خشکسالی در استان خراسان جنوبی و شهر بیرجند پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که در طول دوره آماری ۱۳۶۸-۱۳۹۵، شدیدترین خشکسالی در سال‌های آبی ۱۳۷۸-۱۳۸۰ و مرطوب‌ترین سال آبی در ۱۳۷۰-۱۳۶۹، بوده و از سال میزان خشکسالی ۱۳۷۷، ۱۳۷۷، این استان نزدیک به نرمال خشکسالی بوده است.

مناطق کره زمین به‌وقوع می‌پیوندد (صمدیان‌فرد، ۱۳۹۶: ۱) و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پدیده‌های طبیعی می‌باشد که می‌تواند خسارات قابل توجهی به بشر و سازه‌های طبیعی وارد کند (فتحی‌زاده، ۱۳۹۶: ۶۳).

خشکسالی به‌طور دوره‌ای در اثر کمبود رطوبت ناشی از کاهش میزان بارندگی به‌وجود می‌آید (جعفری، ۱۳۹۶: ۷۹) و نشانه روشنی از نوسان‌های اقلیمی است و تأثیر زیادی بر جوامع بشری می‌گذارد (پارسامهر و خسروانی، ۱۳۹۶: ۱۶).

### پیشینه تحقیق

فاضل و همکاران (۱۳۹۴)، با استفاده از شاخص SPI<sup>۱۴</sup> در سایت‌های مرتعی استان یزد نشان دادند که در سال ۲۰۰۰، خشکسالی شدید و در سال ۲۰۰۷، ترسالی رخ داده است. همچنین، نوسانات خشکسالی در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت در مقایسه با بازه‌های زمانی بلندمدت، بیش‌تر بوده است. نتایج حاصل از شاخص خشکسالی هواشناسی و مقادیر بارندگی نیز نشان‌گر همبستگی معنادار ۱ درصدی بین شاخص خشکسالی در بازه زمانی ۳ و ۹ ماهه با مقادیر بارندگی بوده است. طبق نتایج پژوهش این گروه، شاخص SPI در بازه زمانی کوتاه مدت با شاخص‌های حرارتی و شاخص NMDI<sup>۱۵</sup> در سطح ۱ درصد، بیش‌ترین همبستگی را نشان داده‌اند.

منتصری و امیرعطایی (۱۳۹۴)، برای پیش‌بینی خصوصیات مختلف خشکسالی در شمال غرب ایران با استفاده از روش استوکستیک<sup>۱۶</sup> به این نتیجه دست یافتند که انتظار خشکسالی‌هایی با تداوم پنج سال یا بیش‌تر در منطقه مطالعاتی، تقریباً نزدیک به صفر است.

سبحانی و همکاران (۱۳۹۴)، با استفاده از SEPI<sup>۱۷</sup>، به بررسی خشکسالی‌های استان اردبیل پرداختند و دریافتند که روند خشکسالی این استان رو به افزایش است.

حدادی و حیدری (۱۳۹۴)، با استفاده از مدل SPI و آزمون همبستگی، نوسانات بارش و دوره‌های خشکسالی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی‌های آنان نشان داد که با کاهش میزان بارش، میانگین دبی و انحراف معیار ایستگاه مورد مطالعه کاسته شده و مدل رگرسیونی دبی، سیر نزولی را نشان داده است.

زینالی و صفریان زنگیر (۱۳۹۵)، به مطالعه خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص فازی پرداختند و مشاهده نمودند که در ایستگاه ارومیه در مقیاس زمانی ۶ ماهه از

14. Standardized Precipitation Index

15. Normalized Multiband Vegetation Index

16. Stochastic

۱۷. ترکیب شاخص‌های SPI (شاخص بارش استاندارد) و SEI (شاخص تبخیر و

تعرق استاندارد) براساس قواعد در سیستم استنتاج فازی (SEPI).

18. Conjunctive Precipitation Effectiveness Index

19. Normalized Difference Vegetation Index

20. Land Surface Temperature

مرکز هند پرداختند و نشان دادند که EDI<sup>۲۷</sup> شاخص مناسب‌تری برای حوضه مورد مطالعه است.

تیوما<sup>۲۸</sup> و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از چهار شاخص ارزیابی SPI، SEPI، SMDI<sup>۲۹</sup> و ERI<sup>۳۰</sup>، به بررسی رابطه بین خشکسالی و تغییرات پارامترهای دما، بارش و رطوبت خاک پرداخته و به این نتیجه رسیدند که احتمال افزایش خشکسالی‌های استثنایی و افزایش خطر ابتلا به تنش ناشی از خشکسالی برای سیستم‌های طبیعی در اثر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای وجود دارد.

هانگ<sup>۳۱</sup> و همکاران (۲۰۱۵)، ساختار خشکسالی بر اساس شاخص خشکسالی استاندارد ناپارامتری چند متغیره (NMSDI) و با روش موجک در سراسر حوضه رودخانه زرد چین را مورد بررسی قرار دادند و نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که شاخص خشکسالی چندمتغیره ناپارامتری در توصیف خشکسالی مؤثر و قابل اعتماد است. در کل، ساختار خشکی از لحاظ طول دوره خشکسالی و همچنین زمان آغاز و پایان در منطقه مورد بررسی، پایدار بوده و پدیده ENSO، اثرات قوی در تغییرات خشکسالی منطقه داشته است.

اسپینونی<sup>۳۲</sup> و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از شاخص‌های خشکسالی، بارش استاندارد و تبخیر و تعرق استاندارد را به عنوان بزرگترین رویدادهای خشکسالی اروپا بررسی نموده و نتایج نشان دادند که افزایش خشکسالی جزئی اما مداومی از اوایل ۱۹۸۰ تا اوایل ۲۰۱۰ در این محدوده حکمفرما بوده است.

هائو<sup>۳۳</sup> و همکاران (۲۰۱۶)، یک روش تئوری خشکسالی برای شاخص خشکسالی چند متغیره، براساس یک شاخص ترکیبی خطی ارائه داده‌اند. براساس ویژگی شاخص استاندارد خشکسالی، توزیع نظری شاخص ترکیبی خطی (LDI) مشتق شده است و می‌تواند برای طبقه‌بندی خشکسالی با استفاده از روش درصد، به کار گرفته شود. نتایج حاصل از مقایسه این روش با روش‌های تجربی، عملکرد رضایت‌بخش آن را جهت طبقه‌بندی خشکسالی نشان داده است.

هانگ و همکاران (۲۰۱۶)، به بررسی ارتباط بین خشکسالی هیدرولوژیکی، شاخص‌های آب و هوایی و فعالیت انسانی در حوضه رودخانه کلمبیا پرداختند. آن‌ها در مطالعه خود نشان دادند که استفاده از حداکثر و حداقل سالانه، راه مناسبی برای بررسی ویژگی‌های حجم و مدت زمان سیل و خشکسالی نیست و باید برای ارزیابی خشکسالی، روش‌های دیگری مانند شاخص استاندارد، به صورت

میرعباسی نجف‌آبادی و همکاران (۱۳۹۶)، به تحلیل خشکسالی‌های شمال شرق ایران با استفاده از شاخص کمبود توأم (JDI<sup>۳۱</sup>) پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که در سال‌های اخیر، تعداد ماه‌های خشک در منطقه مورد مطالعه (به ویژه در مناطق مرطوب)، به شدت افزایش یافته است. همچنین، شاخص JOI علاوه بر توصیف علمی وضعیت کلی خشکسالی، قابلیت مشخص کردن زمان شروع خشکسالی‌ها و نیز خشکسالی‌های طولانی مدت را دارد و امکان ارزیابی وضعیت خشکسالی را به صورت ماه به ماه فراهم می‌سازد.

زینالی و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی خشکسالی و امکان پیش‌بینی آن در ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه پرداختند، نتایج پژوهش آنان نشان‌گر روند افزایشی شدیدتر دما در این حوضه بوده است. مطابق این بررسی، بیش‌ترین درصد وقوع خشکسالی در ایستگاه ارومیه و کم‌ترین آن در مهاباد مشاهده شده است. همچنین، نتایج حاصل از پیش‌بینی شاخص با مدل ANFIS، بیش‌ترین میانگین خطای آموزشی را در ایستگاه تبریز به میزان ۵۱ درصد، در مقیاس ۱۲ ماهه و کم‌ترین میانگین خطای آموزشی به میزان ۳۶ درصد، در ایستگاه مراغه نشان داده است.

مدرسی‌راد و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی پرداخته و نشان دادند که شاخص SPI، قادر به نشان‌دادن دو ویژگی اصلی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی و نیز ارائه برآورد دقیقی از دوره عود مجدد خشکسالی شدید است. وانگ<sup>۳۲</sup> و همکاران (۲۰۱۰)، تحلیل خشکسالی را براساس حالت‌های اقلیمی النینو- لائینا و انسو<sup>۳۳</sup> با استفاده از مفصل سه بعدی گامبل- هوگارد<sup>۳۴</sup> و t در دو حوضه استرالیا انجام دادند. آن‌ها ۳ خصوصیت خشکسالی شامل: مدت، شدت حداکثر و شدت متوسط را براساس شاخص SPI، مشخص کردند. نیرنجانا<sup>۳۵</sup> و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از شاخص پایش خشکسالی EVAPO و SPEI، به بررسی خشکسالی‌های موسمی در سراسر هندوستان پرداختند. یافته‌های این گروه نشان داد که بخش عمده‌ای از خشکسالی که به وسیله ENSO و تنوع خشکسالی موسمی در سراسر هند رخ می‌دهد، به طور قابل توجه تحت تأثیر ناهنجاری دمای سطح دریای استوایی است.

جاین و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از شاخص‌های EDI، SPI و RDI<sup>۳۶</sup>، به بررسی ویژگی‌های خشکسالی حوضه رودخانه کن در

27. Effective drought index  
28. Touma  
29. Soil Moisture  
30. Effective Rain Fall Index  
31. Huang  
32. Spinoni  
33. Hao

21. Jae Drought Index  
22. Wong  
23. El Niño, Lenaña and Enso  
24. Gamble, Hogwards  
25. Niranjana  
26. Reclamation Drought Index

دما به صورت ماهانه در ایستگاه‌های سینوپتیک اردبیل، گرمی، پارس‌آباد، مشکین‌شهر و خلخال در استان اردبیل دریافت شد (جدول ۱). سپس داده‌های به‌دست آمده، از نظر صحت و همگنی به روش آزمون ران<sup>۴۰</sup>، مورد ارزیابی قرار گرفت و تصادفی بودن و همگنی داده‌ها در سطح اطمینان ۹۴ درصد و به عبارتی با خطای ۰/۰۶ تأیید گردید.

در پژوهش حاضر، نرم‌افزارهایی که به تناسب نیاز، مورد استفاده قرار گرفتند. در این مطالعه از نرم‌افزارهای Excel، SPSS، DIP و ArcGis، استفاده شده است.

### شاخص SPI

شاخص استاندارد شده بارندگی، یکی از شاخص‌های پرکاربرد در پایش خشکسالی می‌باشد. این شاخص، یکی از معدود شاخص‌های پایش دوره‌های خشک و حتی می‌توان گفت، تنها شاخصی است که در آن مقیاس زمانی مد نظر قرار گرفته است. تعیین مقیاس زمانی بسته به تاثیر خشکسالی در منابع مختلف کشاورزی و هیدرولوژیکی مشخص می‌شود. مقیاس زمانی را می‌توان از ۱ ماه تا چند سال تعیین نمود. برای محاسبه شاخص SPI، تنها از عنصر اقلیمی بارندگی استفاده می‌شود. به این منظور، مقادیر بارندگی ماهانه هر ایستگاه در مقیاس زمانی مورد نظر محاسبه می‌شود، پس از آن، مقادیر بارندگی‌های تجمعی در هر ماه به توزیع گاما برازش داده می‌شود. در نهایت، این توزیع به یک توزیع نرمال تبدیل می‌شود. تابع توزیع گاما با استفاده از تابع چگالی احتمالی رابطه ۱، محاسبه می‌گردد.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad \text{رابطه ۱.}$$

در این رابطه  $g(x)$  معرف تابع چگالی احتمالی،  $x$  معرف مقدار بارندگی تجمعی در هر مقیاس زمانی و هر ماه از سال و برای هر ایستگاه هواشناسی مورد نظر می‌باشد،  $\Gamma(\alpha)$  معرف تابع گاما و  $\alpha$  و  $\beta$  نیز به ترتیب پارامترهای شکل و مقیاس هستند که به صورت رابطه ۲ و ۳، محاسبه می‌شوند:

$$a = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad \text{رابطه ۲.}$$

$$B = V^U \quad \text{رابطه ۳.}$$

که در آن  $A$  از رابطه ۴ به‌دست می‌آید:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad \text{رابطه ۴.}$$

گسترده استفاده شود.

کوسادا<sup>۳۴</sup> و همکاران (۲۰۱۷)، در مطالعات خود به بررسی تغییرات هیدرولوژیک در جهت رویکردی سازگار برای ارزیابی تغییرات در سیل و خشکسالی پرداخته و به این نتیجه دست یافتند که اغلب روش‌های مورد استفاده در تشخیص روندهای افراطی هیدرولوژیکی، برای تشخیص روند مناسب نبوده و نمی‌تواند در تصمیم‌گیری مورد استفاده قرارگیرد. بنابراین، آنان یک روش مبتنی بر نظریه اجرا و سطح آستانه، پیشنهاد دادند.

زلکی<sup>۳۵</sup> و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهش خود با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص خشکسالی پالمیر (PDSI) و داده‌های ماهواره‌ای به بررسی خشکسالی در اتیوپی پرداختند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که دوره‌های خشکی و رطوبت مشاهده شده در شمال محدوده مورد مطالعه، به‌طور عمده به تغییر انسو<sup>۳۶</sup> در فصل‌های بهار و تابستان بستگی دارد؛ در حالی که روند خشک‌شدن در جنوب و جنوب غربی، با گرمایش اطلس و دمای سطح آب در غرب اقیانوس آرام در ارتباط است.

کیس<sup>۳۷</sup> و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهش خود با استفاده از RCM، شرایط خشک و مرطوب را تحلیل نموده و به این نتیجه رسیدند که عدم در پیش‌بینی‌های آب و هوایی وجود دارد؛ با این حال، طبق نتایج بررسی‌های آن‌ها، احتمالاً در آینده، تابستان‌های خشک‌تری در بخش‌های جنوبی و بارش‌های شدیدتری در زمستان و پاییز برای مناطق شمالی محدوده مورد مطالعه، انتظار می‌رود.

جین‌یوم<sup>۳۸</sup> و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهش خود با هدف بررسی چگونگی مدل‌های آب و هوایی منطقه‌ای (RCMS)، ویژگی‌های مشاهده شده خشکسالی را براساس شاخص تبخیر و تعرق استاندارد (SPEL)، در آسیای میانه بررسی کردند و نتایج نشان دادند که RCMها در مناطق مرطوب دقیق، ولی در مناطق خشک نادرست هستند و این مدل نمی‌تواند رویدادهای خشکسالی را برای مقیاس‌های فضایی بزرگ به‌دست‌دهد.

لیو<sup>۳۹</sup> و همکاران (۲۰۱۷)، تغییرات خشکسالی را در جنوب غرب چین بررسی کردند و نشان دادند که خطرات و شدت خشکسالی در دهه‌های گذشته به‌طور چشم‌گیری در سراسر منطقه مورد مطالعه افزایش یافته است.

### روش انجام پژوهش

داده‌های تحقیق از سازمان هواشناسی کشور، میانگین بارندگی و

34. Quesada

35. Zeleke

36. Enso

37. Kis

38. Jinum

39. Liu

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

پس از محاسبه شاخص مورد نظر به روش گفته شده، شدت خشکسالی در شاخص SPI، بر اساس جدول ۲، بررسی می‌شود.

جدول ۲. طبقه‌بندی شدت خشکسالی و ترسالی شاخص SPI

طبقات خشکسالی	مقادیر شاخص SPI
ترسالی خیلی شدید	$\geq 2$
ترسالی شدید	۱/۹۹ تا ۱/۵
ترسالی متوسط	۰/۹۹ تا ۱/۳۹
ترسالی ملایم	۰/۵ تا ۰/۹۹
نرمال	-۰/۳۹ تا -۰/۵
خشکسالی ملایم	-۰/۹۹ تا -۱/۵
خشکسالی متوسط	-۱/۳۹ تا -۱/۰۰
خشکسالی شدید	-۱/۹۹ تا -۱/۵۰
خشکسالی خیلی شدید	$\leq -2$

#### شاخص نمره استاندارد CZI

داده‌های بارندگی از توزیع پیرسون تیپ سه پیروی می‌کنند، شاخص به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$CZI = \frac{6}{CS} \left( \frac{CS}{2} QS + 1 \right) \frac{1}{3} - \frac{6}{CS} + \frac{CS}{6} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$CS = \frac{\sum_{jms}^n L(x_3 - x)2}{n * q2} \quad \text{رابطه ۱۲}$$

$$QJ = \frac{xj - x}{\sigma} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

در روابط فوق:

J، ماه مورد نظر

CS، ضریب چولگی

J، متغیر استاندارد

XJ، بارندگی ماه J

$\bar{x}$ ، میانگین بارندگی ماهانه

n، تعداد کل ماه‌ها در طول دوره آماری

$\sigma^2$ ، واریانس داده‌های بارندگی ماهانه

$\sigma$ ، انحراف معیار داده‌های بارندگی ماهانه، است.

جدول ۳، طبقه‌بندی شدت خشکسالی و ترسالی شاخص CZI،

را نشان می‌دهد.

در این رابطه:

Ln، معرف میانگین بارندگی‌های تجمعی محاسبه شده در

تمام ماه‌های مشابه در هر ایستگاه و در هر مقیاس زمانی؛

X، بارندگی تجمعی در هر مقیاس زمانی در هر ماه؛

R، معرف تعداد بارندگی‌های مخالف صفر ماه‌های مشابه در

سری زمانی بارندگی‌های تجمعی در هر مقیاس زمانی می‌باشد.

توزیع احتمال تجمعی داده‌ها با انتگرال‌گیری روی توزیع

گاما به دست می‌آید (رابطه ۵).

رابطه ۵.

$$G(X) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx$$

G = احتمال تجمعی توزیع گامای ناقص

باتوجه به این‌که توزیع احتمالی تجمعی گاما برای X=0

تعریف نشده است و مسلماً در سری داده‌های بارندگی هر

ایستگاه، مقدار بارندگی صفر نیز وجود دارد، لذا احتمال تجمعی

به صورت رابطه ۶ تعریف می‌شود:

$$H(x) = q + (1 + q) G(x) \quad \text{رابطه ۶}$$

q، احتمال وقوع بارندگی صفر در هر مقیاس زمانی، برای هر ماه

و هر ایستگاه

H(x)، توزیع احتمال تجمعی گاما

پس از محاسبه احتمال تجمعی گاما در هر مقیاس زمانی و

برای هر ماه از سال، این احتمال به یک متغیر تصادفی نرمال

استاندارد Z با میانگین صفر و واریانس ۱ تبدیل می‌شود که این

متغیر تصادفی در حقیقت همان مقدار SPI مورد نظر است و از

روابط ۷، ۸، ۹ و ۱۰ به دست می‌آیند:

$$\text{رابطه ۷. برای } 0.5 < H(x) \leq 1$$

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right)$$

$$\text{رابطه ۸. برای } 0.5 < H(x) \leq 1$$

$$Z = SPI = +\left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right)$$

در اینجا:

$$\text{رابطه ۹. برای } 0 < H(x) \leq 0.5$$

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

$$\text{رابطه ۱۰. برای } 0.5 < H(x) \leq 1$$

۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه ۵۵ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است.

این استان، از شمال با جمهوری آذربایجان، از شرق با استان گیلان، از جنوب با استان زنجان و از غرب با استان آذربایجان شرقی هم‌جوار است (شکل ۲). استان اردبیل، از نواحی سردسیر کوهستانی محسوب می‌شود و از نظر ویژگی‌های حرارتی سردی، ویژگی مشترک تمامی گونه‌های اقلیمی این استان است و این ویژگی، حتی در قسمت شمالی که در شمار مناطق پست به حساب می‌آید، نیز تا حدودی صادق است. پست‌ترین نقطه داخلی استان در شهر پارس‌آباد و بيله‌سوار قرار دارد که تنها ۱۰۰ متر ارتفاع دارد و بلندترین قله آن نیز سبلان است که ارتفاع آن، بالغ بر ۴۸۱۱ متر می‌باشد (سالنامه آماری استان اردبیل، ۱۳۸۷).

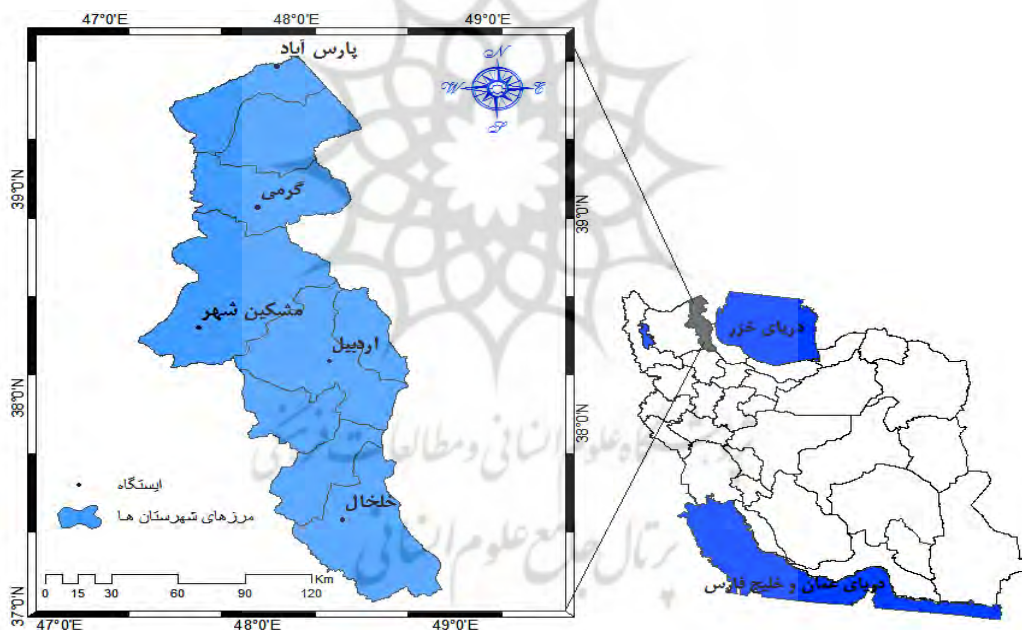
جدول ۴، موقعیت جغرافیایی شهرهای مورد مطالعه و دوره آماره مورد مطالعه در استان اردبیل را نشان می‌دهد.

**جدول ۳. طبقه‌بندی شدت خشکسالی و ترسالی شاخص CZI**

مقادیر شاخص CZI	طبقات خشکسالی
$\geq 2$	ترسالی خیلی شدید
۱/۹۹ تا ۱/۵	ترسالی شدید
۰/۹۹ تا ۱/۳۹	ترسالی متوسط
۰/۵ تا ۰/۹۹	ترسالی ملایم
-۰/۳۹ تا -۰/۳۹	نرمال
-۰/۹۹ تا -۰/۵	خشکسالی ملایم
-۱/۳۹ تا -۱/۰۰	خشکسالی متوسط
-۱/۹۹ تا -۱/۵۰	خشکسالی شدید
$\leq -2$	خشکسالی خیلی شدید

**محدوده مورد مطالعه**

استان اردبیل در شمال غربی کشور ایران بین مختصات جغرافیایی



**شکل ۲. موقعیت جغرافیایی استان اردبیل در ایران و شهرهای مورد مطالعه در این استان**

**جدول ۱. موقعیت جغرافیایی شهرهای مورد مطالعه و دوره آماره مورد مطالعه در استان اردبیل**

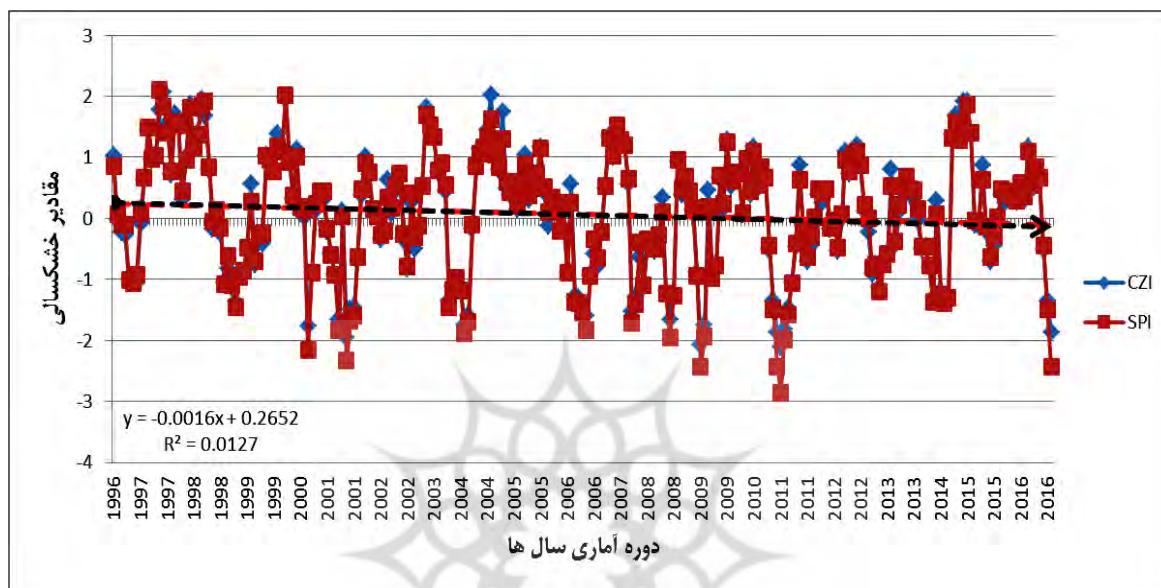
شهرهای مورد مطالعه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	دوره آماری
اردبیل	۴۸" ۲۸	۳۸" ۲۵	۱۳۳۲	۱۹۹۶-۲۰۱۶
خلخال	۴۸" ۴	۳۷" ۴۹	۱۷۹۶	۱۹۹۶-۲۰۱۶
مشگین شهر	۴۷" ۶	۳۸" ۳۸	۱۵۶۸/۵	۱۹۹۶-۲۰۱۶
پارس‌آباد	۴۷" ۹۷	۳۹" ۶۵	۳۱/۹	۱۹۹۶-۲۰۱۶
گرمی	۴۷" ۸۶	۳۸" ۹۷	۷۴۹	۱۹۹۶-۲۰۱۶



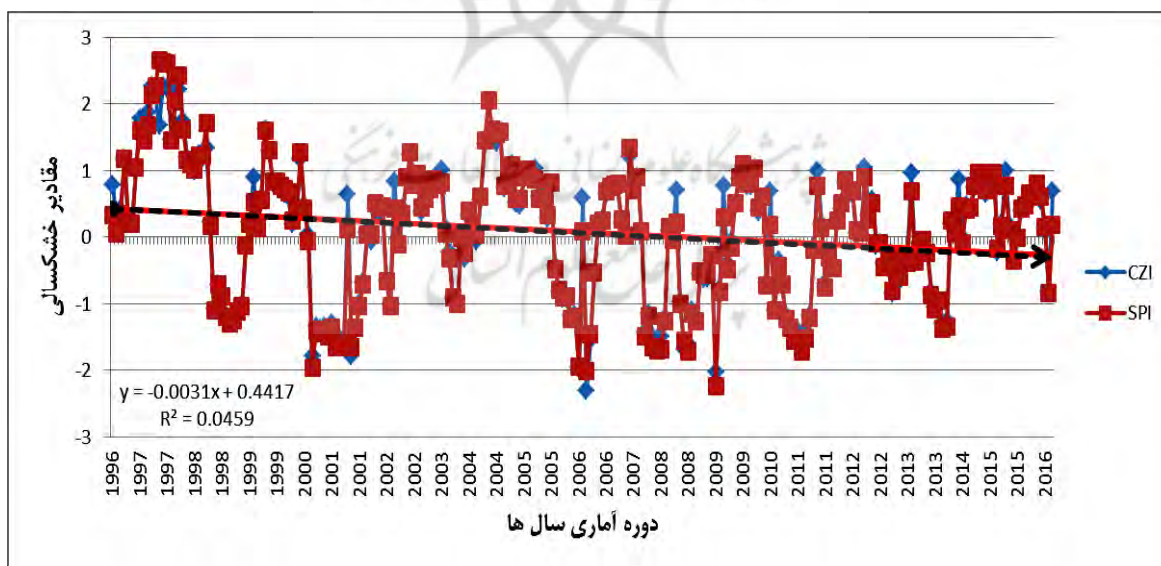
## یافته‌ها

۲۰۱۶، شاخص SPI خشکسالی متوسط و خیلی زیاد را نشان داده و شاخص CZI وضعیت خشکسالی متوسط و شدید را ارائه می‌دهد. بنابراین، شاخص SPI شدت خشکسالی را بهتر نشان داده‌است. این در حالی است که روند خشکسالی در هر دو مقیاس افزایشی می‌باشد (شکل‌های ۲ و ۳).

نتایج به‌دست آمده از محاسبه شاخص‌های SPI و CZI درمقیاس ۶ ماهه، برای شهر اردبیل و سایر شهرهای این استان طی دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۹۶، نشان دهنده اختلاف کم این دو شاخص است. به طوری که هر دو شاخص برای بیش‌تر ماه‌ها نزدیک نرمال می‌باشد. در شهر اردبیل در دو ماه آخر سال



شکل ۲. نمودار نوسان شاخص‌ها در شهر اردبیل در مقیاس ۶ ماهه

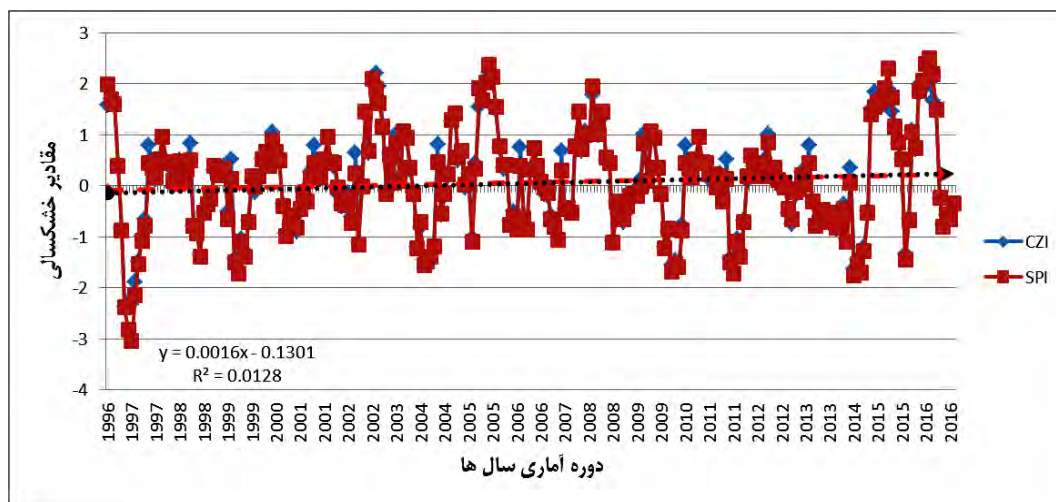


شکل ۳. نمودار نوسان شاخص‌ها در شهر اردبیل در مقیاس ۱۲ ماهه

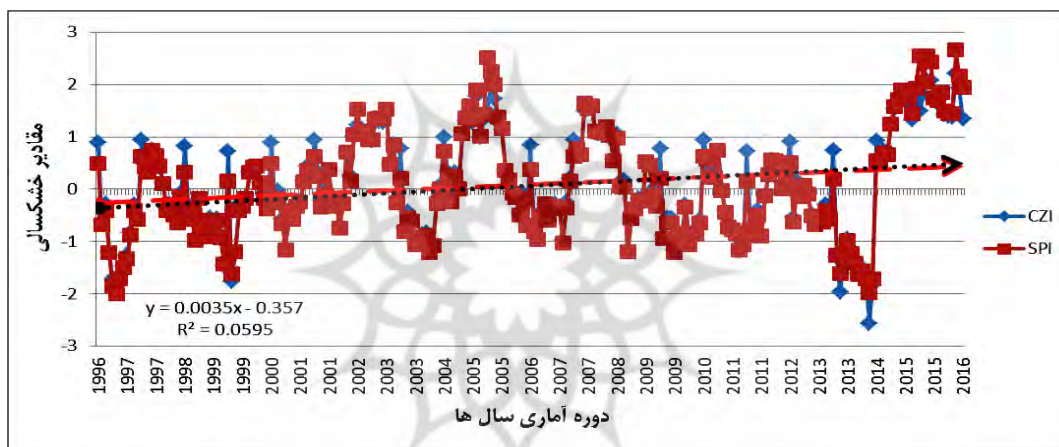
ماه‌های آخر ۱۹۹۶ تا ماه‌های اول ۱۹۹۷ رخ داده‌است. در کل، در ایستگاه گرمی نیز مانند ایستگاه اردبیل، بیش‌تر ماه‌ها در هر دو شاخص، وضعیتی نزدیک به نرمال دارند و روند خشکسالی در هر دو مقیاس افزایشی می‌باشد (شکل‌های ۴ و ۵).

بررسی مقادیر حاصل از دو شاخص مذکور در شهر گرمی نشان می‌دهد که تعداد خشکسالی در دو شاخص، اختلاف چندانی ندارند و از اواخر ۲۰۱۴ به بعد، بیش‌تر ماه‌ها، مرطوب متوسط تا بسیار مرطوب هستند. خشکسالی شدید یا خشکسالی زیاد در





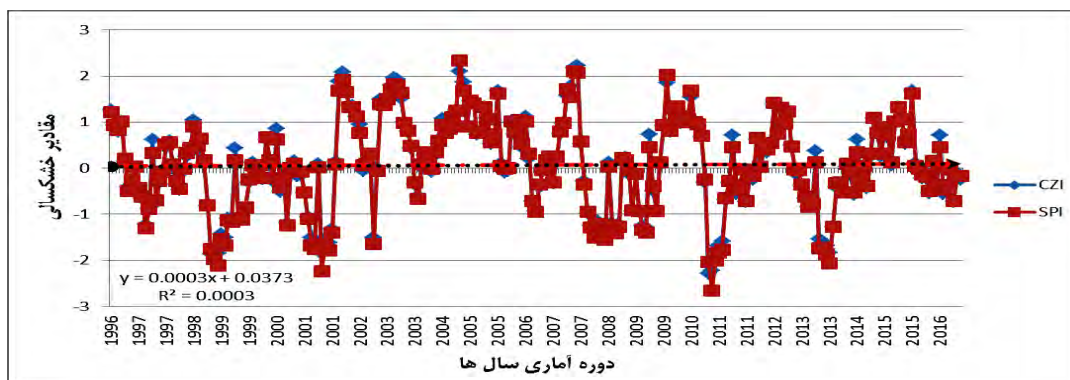
شکل ۴. نمودار نوسان شاخص‌ها در شهر گرمی در مقیاس ۶ ماهه



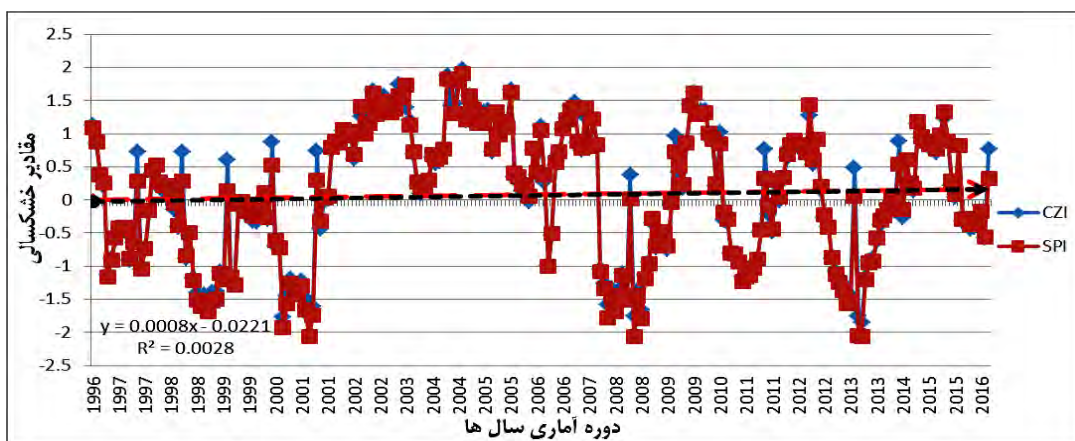
شکل ۵. نمودار نوسان شاخص‌ها در شهر گرمی در مقیاس ۱۲ ماهه

شاخص CZI در ماه‌های ژوئن و ژوئیه ۲۰۰۷، نوامبر ۲۰۰۴ و ژانویه ۲۰۰۲ نشان داده شده است. در هر دو شاخص، از نوامبر ۲۰۱۵ به بعد، شرایط نزدیک نرمال حاکم است که روند خشکسالی در هر دو مقیاس افزایشی کم و قابل چشم‌پوشی می‌باشد (شکل‌های ۶ و ۷).

مقادیر حاصل از دو شاخص CZI و SPI در مقیاس ۶ ماهه برای شهر خلخال نشان‌گر وجود وضعیت نزدیک به نرمال در اکثر ماه‌ها در طول دوره آماری مورد مطالعه است. وضعیت شدیداً مرطوب در شاخص SPI در ماه‌های نوامبر ۲۰۰۴، آگوست و سپتامبر ۲۰۰۷ و نوامبر ۲۰۰۹ و شرایط ترسالی بسیار شدید در



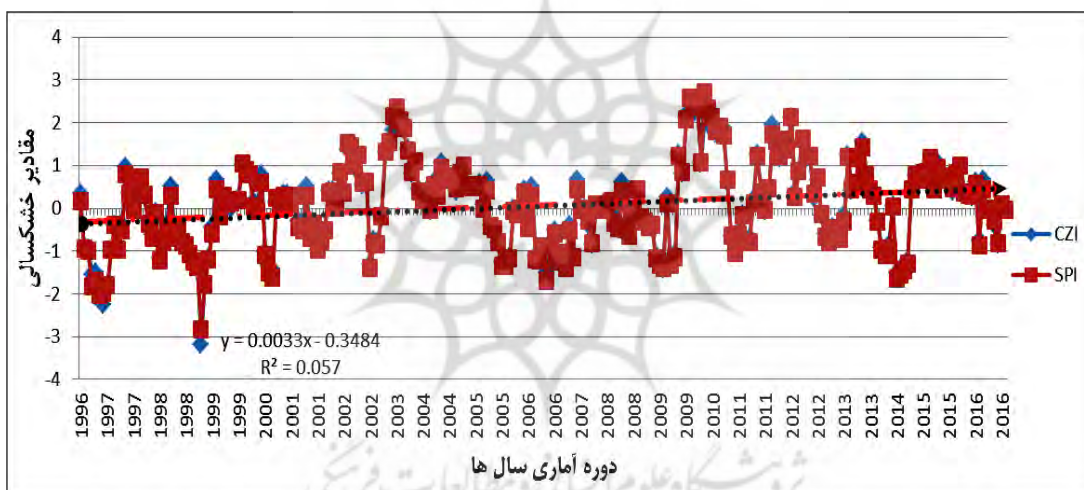
شکل ۶. نمودار نوسان شاخص‌ها در شهر خلخال در مقیاس ۶ ماهه



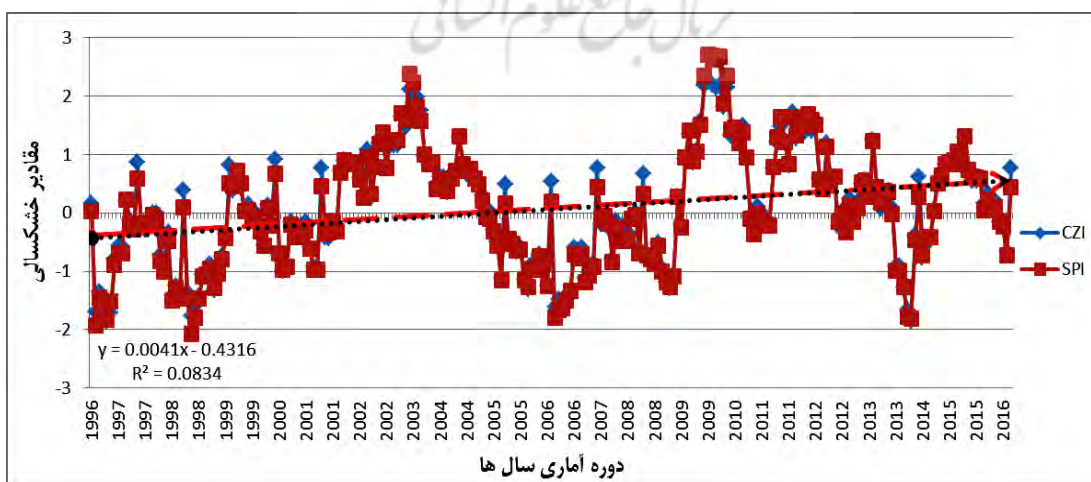
شکل ۷. نمودار نوسان شاخص‌ها در شهر خلیل در مقیاس ۱۲ ماهه

شرایط نزدیک به نرمال حاکم بود و روند خشکسالی در هر دو مقیاس، افزایشی می‌باشد (شکل‌های ۸ و ۹).

بنابراین، شاخص SPI نسبت به شاخص CZI، تعداد خشکسالی‌های بیش‌تری را نمایان ساخته است. در شهر پارس‌آباد نیز همانند سایر شهرهای استان، اکثر ماه‌ها در طول دوره آماری،



شکل ۸. نمودار نوسان شاخص‌ها در شهر پارس‌آباد در مقیاس ۶ ماهه

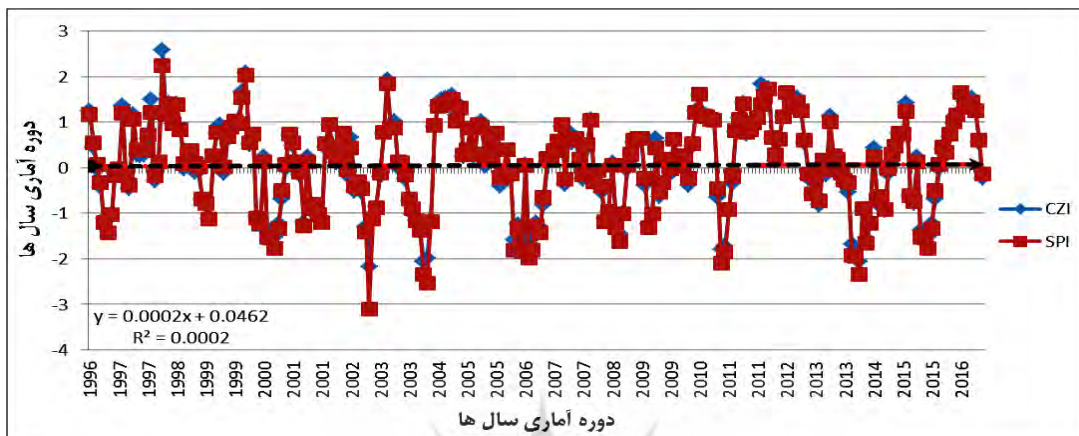


شکل ۹. نمودار نوسان شاخص‌ها در شهر پارس‌آباد در مقیاس ۱۲ ماهه

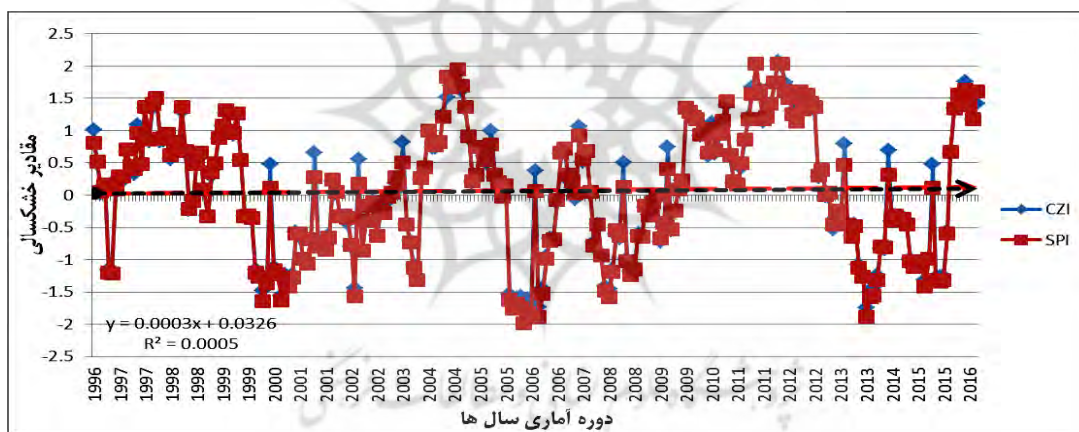


۲۰۰۲، فوریه و مارس ۲۰۰۴، دسامبر ۲۰۱۰ و فوریه ۲۰۱۱، وضعیت خشکسالی خیلی زیاد نشان داده شده است. بر این اساس، می‌توان گفت که روند خشکسالی مشکین‌شهر، نوسان چندانی نداشته‌است (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).

در شهر مشکین‌شهر، شاخص‌های SPI و CZI، در مقیاس ۶ ماهانه، بیش‌تر ماه‌ها را در طول دوره آماری مورد مطالعه در وضعیت نزدیک نرمال نشان داده‌اند. در شاخص CZI، در ماه‌های نوامبر ۲۰۰۲، فوریه ۲۰۰۴، فوریه ۲۰۱۴، وضعیت خشکسالی بسیار شدید و در شاخص SPI در ماه‌های نوامبر



شکل ۱۰. نمودار نوسان شاخص‌ها در شهر مشکین‌شهر در مقیاس ۶ ماهه



شکل ۱۱. نمودار نوسان شاخص‌ها در شهر مشکین‌شهر در مقیاس ۱۲ ماهه

بوده و شرایط خشکسالی بسیار شدید (خشکسالی خیلی زیاد) در ماه‌های اکتبر ۲۰۰۹ و ژانویه ۲۰۰۷ رخ داده‌است. در ایستگاه گرمی، مقادیر حاصل از شاخص CZI خشکسالی را بهتر از شاخص SPI نشان داده‌است. در هر کدام از شاخص‌ها، یک مورد خشکسالی خیلی زیاد (بسیار شدید) مشاهده می‌شود.

در شاخص SPI این وضعیت در ماه می ۱۹۷۷ و در شاخص CZI در ماه اکتبر ۲۰۱۴ قابل مشاهده‌است. همچنین در مورد ایستگاه پارس‌آباد شاخص SPI تنها یک خشکسالی خیلی زیاد در ماه فوریه ۱۹۹۹ را نشان داده، ولی شاخص CZI خشکسالی بسیار شدیدی را در مقیاس ۱۲ ماهه نشان نداده است. همچنین SPI، در نوامبر و دسامبر ۲۰۰۳، آوریل تا آگوست ۲۰۱۰ و اکتبر ۲۰۱۰ شرایط شدیدا مرطوب نشان داده است که این شرایط ترسالی بسیار شدید در شاخص CZI در ماه‌های نوامبر ۲۰۰۳،

در شهر خلخال نیز در مقیاس ۶ ماهه، وضعیت شدیداً مرطوب در شاخص SPI در ماه‌های نوامبر ۲۰۰۴، آگوست و سپتامبر ۲۰۰۷ و نوامبر ۲۰۰۹ و شرایط ترسالی بسیار شدید در شاخص CZI در ماه‌های ژوئن و ژوئیه ۲۰۰۷، نوامبر ۲۰۰۴ و ژانویه ۲۰۰۲ مشاهده گردید.

در هر دو شاخص، از نوامبر ۲۰۱۵ به بعد، شرایط نزدیک نرمال حاکم است. همان وضعیت مقیاس ۶ ماهه در مقیاس ۱۲ ماهه نیز به نحو بارزتری مشاهده گردید.

شاخص‌های SPI و CZI محاسبه شده برای شهر اردبیل نشان می‌دهد که در مقیاس ۱۲ ماهه نیز نتایج دو شاخص تفاوت چندانی با هم ندارند.

از سال ۲۰۱۵ به بعد، در هیچ‌کدام از شاخص‌ها، خشکسالی نشان داده نشده است و بیش‌تر ماه‌ها در هر دو شاخص نزدیک نرمال بوده

در شاخص SPI نیز شرایط شدیداً مرطوب مشاهده نگردید، اما این شاخص چهار مورد خشکسالی خیلی زیاد در ماه‌های اکتبر ۲۰۰۱، ژانویه ۲۰۰۹، ژانویه و فوریه ۲۰۱۴ را نمایان ساخت. بنابراین، شاخص SPI خشکسالی را ملموس‌تر از شاخص CZI نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر به دست آمده از طریق ضریب  $R^2$  در مقیاس ۱۲ ماهه، درست‌سنجی نسبت به ۶ ماهه قوی‌تر نشان داد.

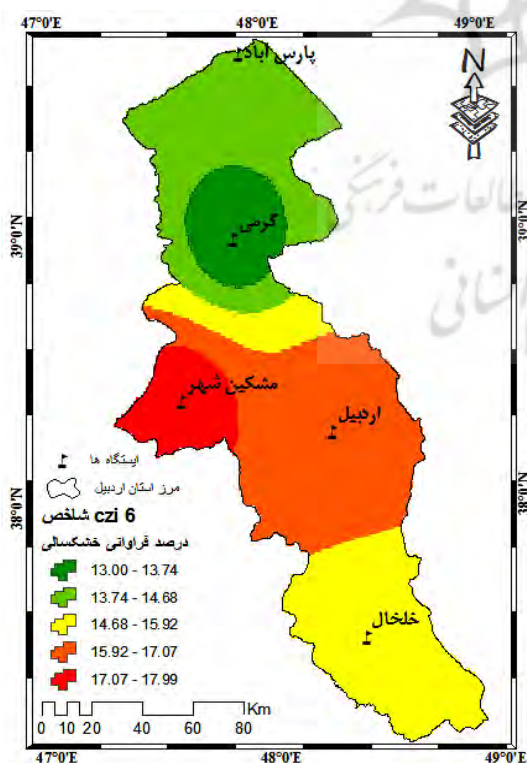
در مقیاس ۶ ماهه، ایستگاه‌های پارس‌آباد، اردبیل، گرمی، خلخال و مشگین‌شهر به ترتیب از ضریب همبستگی قوی تا ضعیف دسته‌بندی شده، ولی در مقیاس ۱۲ ماهه شدت ضریب همبستگی  $R^2$  به ترتیب از قوی به ضعیف شامل ایستگاه‌های پارس‌آباد، گرمی، اردبیل، مشگین‌شهر و خلخال می‌باشد (شکل‌های ۱۲ تا ۱۵) و (جدول ۴).

مارس تا اگوست ۲۰۱۰ و اکتبر ۲۰۱۰ مشاهده شد. در واقع، در طول دوره آماری مورد بررسی، از ۲۰۱۰ به بعد، هیچ‌گونه وضعیت ترسالی بسیار شدید (وضعیت شدیداً مرطوب)، در دو شاخص مشاهده نگردید. در ایستگاه مشگین‌شهر، در ماه‌های آخر ۲۰۱۶ وضعیت خیلی مرطوب یا مرطوب متوسط (ترسالی متوسط تا ترسالی شدید) مشاهده گردید. این در حالی است که وضعیت خشکسالی زیاد (شدید) در ماه‌های می تا نوامبر ۲۰۰۶ در هر دو شاخص دیده می‌شود.

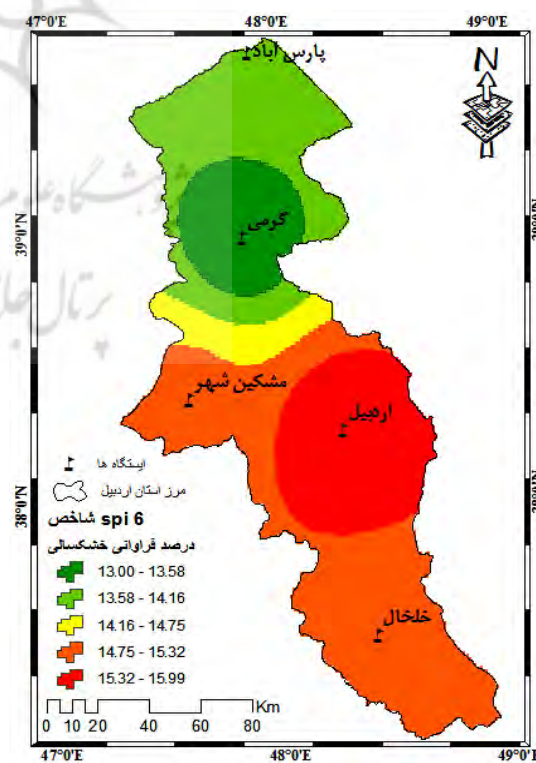
شاخص‌های SPI و CZI محاسبه شده در مقیاس ۱۲ ماهه برای ایستگاه خلخال نیز حاکی از وجود وضعیت نزدیک نرمال در اکثر ماه‌های مورد مطالعه است. شاخص CZI وضعیت خشکسالی و ترسالی بسیار شدید را در شهر خلخال نشان نداد.

جدول ۴. مقدار  $R^2$  ایستگاه‌ها در مقیاس‌های ۶ و ۱۲ ماهه

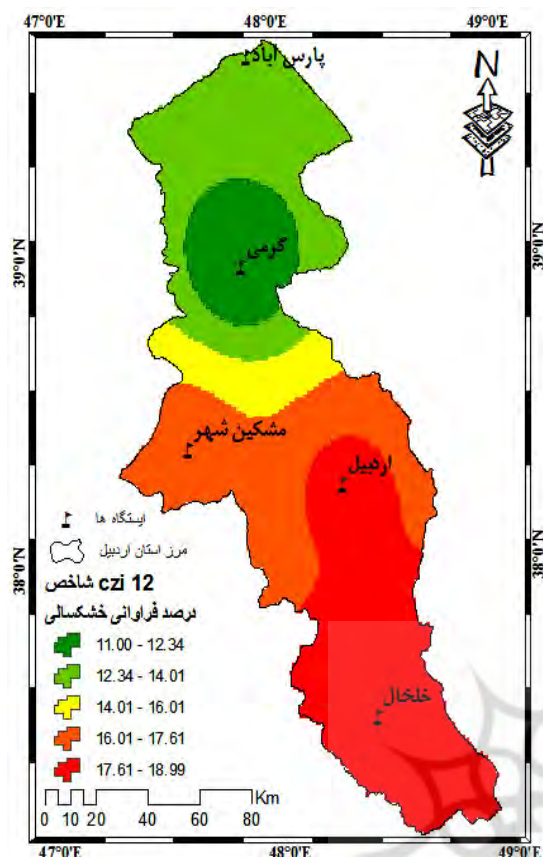
$R^2$ در مقیاس ۱۲ ماهه		$R^2$ در مقیاس ۶ ماهه		شهرهای مورد مطالعه
$y = -0.0031x + 0.4417$ $R^2 = 0.045$	-/۰.۴۵	$y = -0.0016x + 0.2652$ $R^2 = 0.012$	-/۰.۱۲	اردبیل
$y = 0.0035x - 0.357$ $R^2 = 0.059$	-/۰.۵۹	$y = 0.0016x - 0.1301$ $R^2 = 0.012$	-/۰.۱۲	گرمی
$y = 0.0008x - 0.0221$ $R^2 = 0.002$	-/۰.۰۲	$y = 0.0003x + 0.0373$ $R^2 = 0.003$	-/۰.۰۳	خلخال
$y = 0.0041x - 0.4316$ $R^2 = 0.083$	-/۰.۸۳	$y = 0.0033x - 0.3484$ $R^2 = 0.057$	-/۰.۵۷	پارس‌آباد
$y = 0.0003x + 0.0326$ $R^2 = 0.005$	-/۰.۰۵	$y = 0.0002x + 0.0462$ $R^2 = 0.002$	-/۰.۰۲	مشگین‌شهر



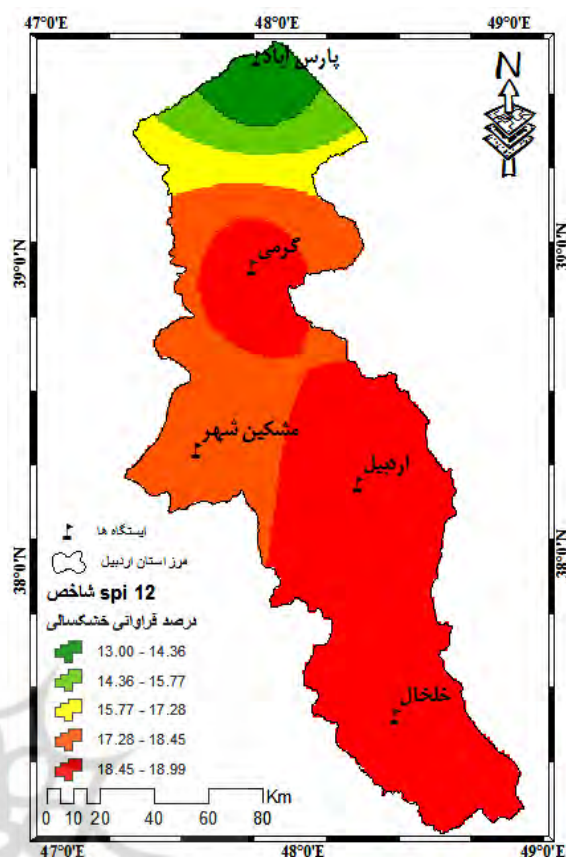
شکل ۱۳. پهنه‌بندی فراوانی وقوع خشکسالی شاخص CZI در مقیاس ۶ ماهه در بین سال‌های (۲۰۱۶-۱۹۹۶)



شکل ۱۴. پهنه‌بندی فراوانی وقوع خشکسالی شاخص SPI در مقیاس ۶ ماهه در بین سال‌های (۲۰۱۶-۱۹۹۶)



شکل ۱۵. پهنه‌بندی فراوانی وقوع خشکسالی شاخص CZI در مقیاس ۱۲ ماهه در بین سال‌های (۲۰۱۶-۱۹۹۶)



شکل ۱۴. پهنه‌بندی فراوانی وقوع خشکسالی شاخص SPI در مقیاس ۱۲ ماهه در بین سال‌های (۲۰۱۶-۱۹۹۶)

براساس شاخص CZI نیز بیش‌ترین خشکسالی ۶ ماهه در شهرستان مشکین شهر و پایین‌ترین آن در شهرستان گرمی مشاهده گردید.

در مقیاس ۱۲ ماهه نیز شاخص SPI تعداد خشکسالی شهرستان‌های اردبیل، گرمی و خلخال یکسان و درصد فراوانی خشکسالی پارس‌آباد را کم‌تر از سایر شهرهای مورد مطالعه نشان داد.

شاخص CZI نیز بیش‌ترین تعداد خشکسالی ۱۲ ماهه را به ترتیب در شهرستان‌های خلخال و گرمی نشان داد. هم‌چنین، براساس نتایج به دست آمده، خشکسالی‌های خیلی شدید در مقیاس ۱۲ ماهه کم‌تر از مقیاس ۶ ماهه رخ داده است و در هر ۵ شهرستان مورد مطالعه، تعداد خشکسالی‌های متوسط بیش‌تر از خشکسالی‌های شدید و خیلی شدید بوده‌است. در کل، مقایسه دو شاخص مذکور نشان داد که عملکرد آن‌ها اختلاف چندانی با هم ندارد. اما شاخص SPI بهتر از شاخص CZI می‌تواند تعداد خشکسالی‌ها را آشکار نماید و با توجه به ضریب همبستگی  $R^2$  شهرستان پارس‌آباد در هر دو مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه، نسبت به شهرهای دیگر از ضریب همبستگی بالایی برخوردار شد.

## بحث و نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، خشکسالی یکی از مسئله مهم، در بروز خسارات در بخش‌های مختلف از جمله، بهداشت، کشاورزی، اقتصاد و غیره در مناطق مختلف ایران می‌باشد.

هدف مطالعه حاضر تحلیل شاخص‌های خشکسالی بارش برای پیش‌بینی و کاهش اثرات منفی آن است.

طبق نتایج حاصل از بررسی خشکسالی‌های شهرستان‌های مختلف استان اردبیل با استفاده از دو شاخص SPI و CZI، در مقیاس ۶ ماهه، شاخص SPI بالاترین و پایین‌ترین درصد فراوانی خشکسالی را به ترتیب در شهرستان‌های اردبیل و گرمی نشان داد.

در شهر پارس‌آباد نیز شاخص SPI ماه‌های نوامبر ۱۹۹۶ و فوریه ۱۹۹۹ و شاخص CZI ماه‌های دسامبر ۱۹۹۶ و فوریه ۱۹۹۹ را در وضعیت خشکسالی خیلی زیاد (خشکسالی بسیار شدید) نشان دادند. شاخص SPI ماه‌های سپتامبر، اکتبر، دسامبر ۱۹۹۶، ژانویه ۱۹۹۷، مارس ۱۹۹۹، سپتامبر ۲۰۰۰، اکتبر ۲۰۰۶، ژوئیه و اگوست ۲۰۱۴ را در وضعیت خشکسالی زیاد نشان داده است و شاخص CZI ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر ۱۹۹۶، ماه ژانویه ۱۹۹۷، مارس ۱۹۹۹ و نیز ژوئیه ۲۰۱۴ را در طبقه خشکسالی شدید قرار داده است.

## راهکارها

- با توجه به یافته‌های تحقیق، راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود:
- ✓ ضرورت تغییر برخی الگوهای کشت در بخش کشاورزی؛
  - ✓ جلوگیری از تغییر کاربری اراضی و پوشش گیاهی؛
  - ✓ ضرورت احداث سدها و بندها در مکان‌های مورد نیاز برای مهار آب‌های سطحی و...؛
  - ✓ همکاری منسجم و پایدار نهادهای مرتبط از جمله: شهرداری‌ها، استانداری، سازمان آب، سازمان محیط زیست و اداره هواشناسی.

## منابع

۱. پارسامهر، امیرحسین، خسروانی، زهرا (۱۳۹۶)، بررسی تعیین خشکسالی با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره بر مبنای *TOPSIS*، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۱: ۱۶-۲۹.
۲. جعفری، غلامحسین، بختیاری، فاطمه، دوستکامیان، مهدی (۱۳۹۶)، بررسی و تحلیل ارتباط فضایی خشکسالی‌ها با دبی حوضه آبی قزل‌اوزن، جغرافیا و توسعه، ۴۸: ۷۹-۹۴.
۳. جوی‌زاده، سعید و حجازی‌زاده، زهرا (۱۳۸۹)، مقدمه‌ای بر خشکسالی و شاخص‌های آن، تهران: انتشارات سمت.
۴. حدادی، حسین و حیدری، حسن (۱۳۹۴)، آشکارسازی اثر نوسانات بارش بر روان‌آب سطحی حوضه آبریز دریاچه ارومیه. مجله علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۵۸: ۲۶۲-۲۴۷.
۵. دماوندی، علی‌اکبر، رحیمی، محمد، یزدانی، محمدرضا، نوروزی، علی‌اکبر (۱۳۹۵)، پایش مکانی خشکسالی کشاورزی از طریق سری‌های زمانی شاخص‌های *NDVI* و *LST* داده‌های *MODIS* (مطالعه موردی: استان کرمان مرکزی)، مجله تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۳: ۱۱۵-۱۲۶.
۶. ذوالفقاری، حسن، نوری سامله، زهرا (۱۳۹۵)، کاربرد شاخص خشکسالی (*CPEL*) در تعیین متغیرهای مناسب برای تحلیل خشکسالی‌های ایران، مجله تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۳: ۹۹-۱۱۴.
۷. زاهدی، مجید، قوبدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۶)، تعیین آستانه خشکسالی و مقایسه بارش قابل اعتماد ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه، پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۹: ۳۴-۲۱.
۸. زینالی، بتول، صفریان زنگیر، وحید (۱۳۹۵)، پایش خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص فازی، مجله مخاطرات طبیعی، ۱۲: ۶۲-۳۷.
۹. زینالی، بتول، اصغری سراسکانرود، صیاد، صفریان زنگیر، وحید (۱۳۹۶)، پایش خشکسالی و ارزیابی امکان پیش‌بینی آن در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص *SPI* و مدل *ANFIS*، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۱: ۷۳-۹۶.
۱۰. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی (۱۳۸۷)، سالنامه آماری استان اردبیل، استانداری اردبیل.
۱۱. سبحانی، بهروز، غفاری گیلانده، عطا، گلدوست، اکبر (۱۳۹۴)، پایش خشکسالی در استان اردبیل با استفاده از شاخص *SEPI* توسعه یافته براساس منطق فازی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۳۶: ۷۲-۵۱.
۱۲. صلاحی، برومند، مجتبی‌پور، فریده (۱۳۹۵)، تحلیل فضایی خشکسالی اقلیمی شمال غرب ایران با استفاده از آماره خود همبستگی فضایی، مجله تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۳: ۲۰-۱.
۱۳. صمدیان فرد، سعید، اسدی، اسماعیل (۱۳۹۶)، پیش‌بینی نمایه خشکسالی *SPI* به روش‌های رگرسیون بردار پشتیبان و خطی چندگانه، حفاظت منابع آب و خاک، ۱: ۱۶-۱.
۱۴. عظیمی، مژگان‌السادات، منصور، شهرزاد (۱۳۹۴)، ارزیابی گستره دوره‌های خشکی در مراتع خشک و نیمه‌خشک با استفاده از مدل ارزیابی آب و خاک و شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، همایش ملی پژوهش‌های نوین در مدیریت منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ۵: ۸-۱.
۱۵. علیزاده، امین (۱۳۸۸)، اصول هیدرولوژی کاربردی، مشهد: انتشارات آستان قدس رضوی.
۱۶. فاضل دهکردی، لیلا، سهرابی، طیبه‌سادات، محمودی کهن، فرهاد (۱۳۹۴)، پایش خشکسالی با استفاده از سنجنده مودیس (*MODIS*) در مناطق خشک (مطالعه موردی: مراتع استان یزد)، نشریه مهندسی اکوسیستم‌های بیابانی، ۹: ۴۴-۲۳.
۱۷. فتحی‌زاده، حسن، غلامی‌نیا، اعظم، مبین، محمدحسین، سودایی‌زاده، حمید (۱۳۹۶)، بررسی روابط بین خشکسالی هواشناسی و متغیرهای خورشیدی در برخی از ایستگاه‌های هم‌دیدگی ایران، مخاطرات محیط طبیعی، ۱۲: ۸۷-۶۳.
۱۸. فنی، زهره، خلیل‌اله، حسینعلی، سجادی، ژیلا، فال سلیمان، محمود (۱۳۹۵)، تحلیل دلایل و پیامدهای خشکسالی در استان خراسان جنوبی و شهر بیرجند، فصل‌نامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۴: ۲۰۰-۱۷۵.
۱۹. کریمی، ولی‌الله، حبیب‌نژاد، محمود، آبکار، علی‌جان (۱۳۸۹)، بررسی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک مازندران، فصلنامه علمی - پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۵: ۲۵-۱۵.
۲۰. محمدی، حسین (۱۳۸۶)، آب و هواشناسی کاربردی، تهران:



- انتشارات دانشگاه تهران.
۲۱. منتصری، مجید، امیرعطایی، بابک (۱۳۹۴)، *پیش‌بینی استوکستیکی احتمالات وقوع خشکسالی (مطالعه موردی: شمال غرب کشور)*، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۹-۱۲: ۱.
۲۲. میرعباسی نجف‌آبادی، رسول، احمدی، فرشاد، عاشوری، میثم، ناظری تهرودی، محمد (۱۳۹۶)، *تحلیل خشکسالی‌های شمال شرق ایران با استفاده از شاخص کمبود توأم (JDI)*، مجله اکو هدرولوژی، ۲: ۵۸۵-۵۷۳.
23. Arms, K. (1990), *Nvironmental Sciences*, Florida: Staunders Collage Pub.
24. Hao, Z. Hao, F. Singh, V. Xia, Y. Xinyishen, O. (2016), *A theoretical drought classification method for the multivariate drought index based on distribution properties of standardized drought indices*, *Advances in water resources*, 3: 240-247.
25. Huang, Sh. Huang, Q. Chang, J. Leng, G. (2016), *Linkages between hydrological drought, Climate indices and human activities: a case study in the Columbia River basin*, *International journal of climatology*, 36: 280- 294.
26. Huanga, S. Huanga, J. Chang, J. Zhina, Y. lengb, G. (2015), *Drought Structure based on a nonparametric multivariate standardized drought index across the yellow river basin China*, *Journal of hydrology*, 53: 127- 136.
27. Jain, v. Pandey, R. Jain, M. Byun, H. (2015), *Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken river basin*, *Weather and climate extremes*, 8: 1-11.
28. Jinum, M. Kim, Y. Kim, J. (2017), *Evaluatin historical drought charactristics simulated in Cordexast Asia against observations*.
29. Kis, A. Pongracz, R. Bartholy, J. (2017), *Multi- model analysis of regional dry and wet condition for the Carpatian region*, *International journal of climatology*, 9: 4543- 4560.
30. Liu, M. Xu, X. Sun, A. Wag, k. (2017), *Decreasing spatial variability of drought in south west china during 1959-2013*, *International journal of climatology*, 11: 4610-4619.
31. McKee, T. Doesken, N. Kleist, J. (1993), *The Relationship of Drought Frequency and*
- Duration to Time Scales. Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Eighth conference on applied climatology, Anaheim, American Meteorological Society.
32. Mo, K. C. (2008), *Model-based drought indices over the United States*, *Journal hydrometeorol*, 9: 1212-1230.
33. ModaresiRad, A. Ghahramani, B. Khalili, D. Ghahramani, Z. Ahmadi Ardakani. S. (2017), *Integrated meteorological and hydrological drought model: A management tool for proactive water resources planning of semi-arid regions*, *Advances in water resources*, 5: 336- 353.
34. Niranjana, N. Rajeevan, M. Pai, D. Sivastava, A. Preethi, B. (2015), *On the observed variability of monsoon droughts over India*, *Weather and climate extremes*, 9: 15-21.
35. Peters, E. Bier, G. Lanen, H. Torfs, P. (2006), *Propagation and spatial distribution of drought in a groundwater catchment*, *Journal of Hydrology*, 321: 257-275.
36. Quesada, B. Giuliano, M. Asarre, D. Rangepoft, S. (2008), *Hydrological change: Toward a consistent approach to assess changes on both floods and droughts*, *Advances in water resources*, 4: 31-35.
37. Spinoni, j. Naumann, G. Vogt, j. Barbosa, P. (2015), *The biggest drought events in Europe from 1950 - 2012*, *Journal of hydrology: Regional*, 3: 509-524.
38. Stairs. G. Vangelis, H. (2004), *Towards a Drought Watch System based on Spatial SPI*, *Journal of Water Resources Management*, 18: 1-12.
39. Touma, D. Ashfaq, M. Nayak, M. Kao, S. Diffenbaugh, N. (2015), *A multi-model and multi-index evaluation of drought characteristics in the 21st century*, *Journal of hydrology*, 526: 196-207.
40. Wang, L., Chen, W. (2014), *A CMIP5 multimodel projection of future temperature, precipitation, and climatological drought in China*, *Int. Journal Climatol*. 34: 2059-2078.
41. Wilhite, Donald (2000), *Drought: A global assessment*, London and NewYork: Routledge press.
42. Wong, G. Lambert, M. Leonard, M. Metcalfe, A. (2010), *Drought analysis using trivariate copulas conditional on Climatic*

states, Journal of hydrologic engineering, 15(2): 129-141.

43. Zeleke, T. Giorgi, F. Diro, G. Zaitchik, B. (2017), *Trend and periodicity of drought over Ethiopia*, International journal of

climatology, 3: 4733- 4748.

44. Zhao, M., Running, S.W. (2010), *Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009*, Science, 329: 940-943.

