

## مقایسه و ارزیابی شش نمایه خشکسالی هواشناسی و پهنه‌بندی بهترین نمایه با استفاده از روش میان‌یابی معکوس (مطالعه موردی: استان اصفهان)

سید جواد ساداتی نژاد<sup>۱\*</sup>، آرش ملکیان<sup>۲</sup>، هادی زارع پور<sup>۳</sup>، عاطفه محمدی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۶/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۸

### چکیده

برای بررسی خشکسالی‌ها چندین شاخص خشکسالی اقلیمی وجود دارد. در تحقیق حاضر، شش شاخص خشکسالی هواشناسی شامل شاخص دهک‌ها، شاخص درصد نرمال بارندگی، شاخص بارش استاندارد شده، شاخص معیار استاندارد (ZSI)، شاخص Z چینی و شاخص Z چینی اصلاح شده مورد ارزیابی قرار گرفته است. این شاخص‌ها طی یک دوره آماری ۲۷ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۷) بر روی ۱۰ ایستگاه همدیدی استان اصفهان در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه انجام شد. سپس شاخص‌ها از مقیاس ماهانه به واحد مشترک سالانه تبدیل شدند و به منظور انتخاب مناسب‌ترین شاخص از کمیته بارندگی در طول دوره آماری بارندگی سالانه استفاده شد. نتایج حاصل از آزمون فرضیه‌ها نشان داد شاخص دهک‌ها، شاخص بارش استاندارد شده و شاخص چینی مقارن با سال وقوع کمیته بارندگی، رخداد خشکسالی شدید و بسیار شدید را به ترتیب در تمام ایستگاه‌های و در چهار ایستگاه تحت مطالعه نشان دادند. این سه شاخص انحراف معیار کمتر و کارایی بیشتری به لحاظ نمایش خشکسالی بسیار شدید نسبت به سایر شاخص‌ها دارند. بر این اساس، مناسب‌ترین شاخص برای تحلیل و پهنه‌بندی وضعیت خشکسالی، شاخص‌های دهک‌ها و بارش استاندارد شده در جایگاه نخست و شاخص Z چینی در جایگاه دوم است. از این سه شاخص به منظور پهنه‌بندی گستره‌های تحت تأثیر خشکسالی، با استفاده از روش میان‌یابی معکوس استفاده و انجام شد. نتایج حاصل از ارزیابی، نشان‌دهنده تأثیر حساسیت خشکسالی‌های اقلیمی بر عرصه مورد مطالعه است.

**واژه‌های کلیدی:** شاخص درصد نرمال، شاخص دهک، پهنه‌بندی خشکسالی، میان‌یابی معکوس، نمایه خشکسالی اقلیمی.

۱. دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط‌زیست دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران، نویسنده مسئول jsadatinejad@yahoo.com

۲. دانشیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بیابان‌داری دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه کاشان

۴. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جغرافیایی طبیعی دانشکده جغرافیا دانشگاه اصفهان

## مقدمه

خشکسالی هواشناسی<sup>۱</sup> یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی تأثیرگذار در بخش کشاورزی، محیط زیستی، اجتماعی و اقتصادی است. این پدیده به‌عنوان یکی از محدودیت‌های خاص طبیعت، برای هر اقلیمی تکرارپذیر و پیش‌آمدنی است و برخی از محققان از آن به‌عنوان ناهنجاری اقلیمی یاد کرده‌اند (میشرا و ساین<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰). خشکسالی تقریباً در تمام مناطق آب‌وهوایی رخ می‌دهد، اما در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران که با دشواری‌های زیادی در زمینه تأمین آب مورد نیاز روبه‌روست، این مسئله اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (مرادی دشتپاگردی و همکاران، ۲۰۱۴). خشکسالی‌های شدید و مداوم در تمام جهان منشأ اصلی مشکلاتی نظیر کاهش منابع آب، کاهش محصولات کشاورزی و نقصان در چرخه اکوسیستم به شمار می‌رود. از این رو این واقعه تأثیرات منفی اقتصادی را در این مناطق به دنبال دارد (بلینه و آداموسکی<sup>۳</sup>، ۲۰۱۲). در نتیجه وقوع خشکسالی همه کشورهای دچار مشکلاتی زیادی می‌شوند، لذا پرداختن به این مسئله بسیار حائز اهمیت است؛ بدین سبب ارزیابی و تحلیل شاخص‌های خشکسالی اقلیمی یک منطقه درک بهتری از خصوصیات و احتمال وقوع مجدد با شدت‌های مختلف این پدیده را نشان می‌دهد. در این راستا پژوهش‌های زیادی انجام شده است که در اینجا به بعضی اشاره می‌شود.

لوکاس<sup>۴</sup> و همکاران به‌منظور مطالعه خشکسالی هواشناسی در یونان به محاسبه شاخص<sup>۵</sup> Z-Score، شاخص بارش استاندارد شده<sup>۶</sup> (SPI) و شاخص ناهنجاری بارش<sup>۷</sup> (RAI) در مقیاس‌های زمانی متفاوت پرداختند. نتایج نشان داد که هر سه نمایه، روند مشابهی در مقیاس ۱۲ ماهه برای تعیین خشکسالی و ترسالی دارند. همچنین این نمایه‌ها مطابقت خوبی با نمایه خشکسالی پالمر<sup>۸</sup> (PDSI) در تعیین خشکسالی

دارند (لوکاس و همکاران، ۲۰۰۳).

اسماختین<sup>۹</sup> و همکاران به‌منظور تحلیل مکانی شاخص‌های خشکسالی در آمریکا از نرم‌افزارهای GIS<sup>۱۰</sup> نظیر Arc View و Arc Info استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که روش عکس فاصله برای پهنه‌بندی خشکسالی روش مناسبی است (اسماختین و همکاران، ۲۰۰۴).

تساکیریس و وانگلیس<sup>۱۱</sup> شاخص<sup>۱۲</sup> RDI و SPI را مورد مقایسه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که شاخص RDI از آنجایی که شرایط بیابان آبی را بهتر نشان می‌دهد، شاخص بهتری است (تساکیریس و وانگلیس، ۲۰۰۵).

محسنی ساروی<sup>۱۳</sup> و همکاران به‌منظور پهنه‌بندی شدت، مدت و فراوانی خشکسالی حوزه کارون با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه، با دروه بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ ساله و با ترسیم منحنی‌های TMF<sup>۱۴</sup> و TDF<sup>۱۵</sup> به این نتیجه رسیدند که شدیدترین خشکسالی در سال ۱۹۹۹ در جنوب شرقی نقطه منطقه مورد مطالعه رخ داده است (محسنی ساروی و همکاران، ۲۰۰۹).

صداقت کردار و هدایتی دزفولی به‌منظور مقایسه تطبیقی سه شاخص خشکسالی در اقلیم‌های مختلف ایران با استفاده از سری‌های زمانی حاصل از محاسبه<sup>۱۶</sup> ۳ شاخص بارش استاندارد شده SPI، شاخص CZI<sup>۱۷</sup> و شاخص Z-Score شدت، فراوانی و تداوم خشکسالی‌ها برای سه مقیاس زمانی ۱، ۳ و ۱۲ ماهه مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص‌های SPI، CZI و Z-Score ابزارهای مناسبی برای آشکارسازی خشکسالی است (صداقت کردار و هدایتی دزفولی، ۲۰۰۸).

سبزی‌پرور و همکاران برای ارزیابی خشکسالی استان همدان با تطبیق هفت نمایه خشکسالی هواشناسی شامل نمایه

9. Smakhtin  
10. GIS: Geographical Information System  
12. Tsakiris & Vangelis  
13. Reconnaissance drought Index  
14. Mohseni Saravi  
15. Time scale- Magnitude -Frequency  
16. Time scale-Duration-Frequency  
17. CZI: China Z- Index

1. Meteorological Drought  
2. Mishra and Singh  
3. Belayneh and Adamowski  
4. Lukas  
5. ZSI: Z-Score Index  
6. SPI: Standardized Precipitation Index  
7. RAI: Rainfall Anomaly Index  
8. PDSI: Palmea drought severity Index

ناصرزاده و احمدی به بررسی عملکرد شاخص‌های خشکسالی هواشناسی برای ارزیابی شدت خشکسالی و پهنه‌بندی آن در استان قزوین پرداختند. شاخص‌های مورد استفاده شامل شاخص Z چینی، شاخص Z چینی اصلاح‌شده، شاخص بارندگی استاندارد شده، شاخص عدد Z و شاخص دهک‌ها می‌باشد. مقادیر شدت خشکسالی با استفاده از شاخص‌های مورد نظر در مقیاس زمانی سالانه محاسبه شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های بارندگی استاندارد شده و شاخص دهک‌ها در جایگاه نخست و شاخص عدد Z در رتبه دوم و شاخص‌های Z چینی و شاخص Z چینی اصلاح‌شده به ترتیب در رتبه‌های سوم و چهارم به لحاظ شناسایی خشکسالی‌های شدید قرار می‌گیرند. مشابهت عملکرد شاخص عدد Z به شاخص بارندگی استاندارد شده در نشان دادن خشکسالی‌های شدید از دیگر نتایج به دست آمده می‌باشد. همچنین شاخص شاخص دهک‌ها با توجه به عملکرد مناسب در مشخص کردن خشکسالی‌های شدید، دارای اندکی مبالغه در نمایش خشکسالی‌های شدید است (ناصرزاده و احمدی، ۲۰۱۲).

نصراللهی و همکاران در راستای بررسی خطر خشکسالی در استان سمنان با هدف مشخص کردن الگوهای زمانی و مکانی شاخص خطر خشکسالی<sup>۷</sup> (DHI) برای تهیه نقشه خطر از داده‌های شاخص SPI در سه مقطع زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه استفاده کرده که بعد از پهنه‌بندی خطر از روش کریجینگ و طبقه‌بندی طبقات مختلف خطر، آسیب‌پذیری و ریسک خشکسالی از روش شکست طبیعی در محیط GIS این نتیجه حاصل شد که در مقطع زمانی ۳ ماهه مناطق شمال و مرکزی و در مقطع زمانی ۶ ماهه مناطق شمالی و در مقطع زمانی ۱۲ ماهه مناطق جنوبی استان سمنان از خطر خشکسالی بیشتری برخوردارند (نصراللهی و همکاران، ۲۰۱۵).

سلیمانی ساردو و رفیعی ساردوئی به منظور بررسی تحلیل گستره دوره‌های خشکسالی و ترسالی روی حوزه آبریز هلیل رود جیرفت از دو شاخص SPI و SIAP<sup>۸</sup> در پایه زمانی سالانه در منطقه مورد نظر استفاده کردند و نشان دادند که گستره

دهک‌ها<sup>۱</sup> (DI)، نمایه درصد نرمال بارندگی<sup>۲</sup> (PNPI)، نمایه بارش استاندارد (SPI)، نمایه معیار استاندارد Z (ZSI)، نمایه Z چینی (CZI) و نمایه Z چینی تعدیل‌یافته<sup>۳</sup> (MCZI) با استفاده از روش‌های تحلیل خوشه‌ای<sup>۴</sup> و همبستگی آماری بین نمایه‌ها در ۲۲ ایستگاه منطقه مورد مطالعه، در مقیاس زمانی مورد نظر، نشان دادند که معیارهای RAI، ZSI و DI از لحاظ توصیف وضعیت خشکسالی بسیار به هم نزدیک‌اند به ترتیب به‌عنوان بهترین سنج‌ها برای ارزیابی خشکسالی هواشناسی در شرایط اقلیمی سرد نیمه‌خشک شناخته شدند (سبزی‌پرور و همکاران، ۲۰۰۹).

ملکیان و همکاران به منظور پهنه‌بندی خشکسالی و مدیریت بهینه منابع آب در بخش‌های شمالی استان سمنان با استفاده از شاخص خشکسالی SPI در مقیاس زمانی ۶، ۹ و ۱۲ ماهه در یک دوره زمانی مشترک ۱۶ ساله (۱۹۸۸-۲۰۰۳)، به این نتیجه رسیدند که شدیدترین خشکسالی در سال ۱۹۹۷ و مربوط به ایستگاه گرمسار بوده است؛ همچنین بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی به دست آمده مشخص می‌شود که نقاط شمالی و غربی استان نسبت به سایر مناطق دارای خشکسالی شدیدتری هستند (ملکیان و همکاران، ۲۰۰۹).

انصاری و همکاران برای ارزیابی و تحلیل خشکسالی ایستگاه همدیدی مشهد، از مدل فازی استفاده کردند؛ به این صورت که به منظور پایش خشکسالی با ترکیب دو تابع عضویت فازی مربوط به شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) و یک شاخص فرضی تبخیر و تعرق استاندارد شده<sup>۵</sup> (SEI)، شاخص جدیدی با نام شاخص تبخیر و تعرق و بارندگی استاندارد شده<sup>۶</sup> (SEPI) را ارائه کردند. نتایج حاصل از مدل نشان داد که شاخص SEPI، همه مزایای شاخص از جمله امکان محاسبه در مقیاس‌های زمانی متفاوت را دارد. به‌علاوه تأثیر پارامتر درجه حرارت بر وقوع خشکسالی‌ها نیز در آن لحاظ شده است (انصاری و همکاران، ۲۰۱۰).

1. DI: Deciles of precipitation Index

2. PNPI: Percent of Normal Precipitation Index

3. MCZI: Modified Chinese Z - Index

۴. Cluster analysis

5. Standardized Evapotranspiration

6. Standardized Evapotransprecipitation Index

7. Drought Hazard Index

8. Standardize Index of Annual Precipitation)

خشکسالی در منطقه لالیپور<sup>۳</sup> در سال ۱۹۷۶ اتفاق افتاده است (آمریت و همکاران، ۲۰۱۷).

بویداد<sup>۴</sup> و همکاران به تجزیه و تحلیل خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بر اساس شاخص‌های SPI و SDI در مقیاس‌های زمانی مختلف (۳، ۶ و ۱۲ ماه) با استفاده از آزمون من-کندال<sup>۵</sup> در حوضه لناون<sup>۶</sup> در شمال مراکش<sup>۷</sup> پرداختند و به این نتیجه رسیدند که همبستگی بین شاخص‌های SPI و SDI در دوره‌های مختلف وجود دارد ولی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه این همبستگی مثبت و قوی است (بویداد و همکاران، ۲۰۱۷).

در این استان و سایر استان‌های کشور، خشکسالی با تعداد معدود و با استفاده از نرم‌افزارهای آماری و... مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش با توجه به اینکه در مطالعات انجام‌یافته تا کنون، از نمایه‌های ارزیابی شده معدود، طول دوره بررسی کوتاه‌تر (با مبنای سال میلادی) و به‌ندرت از تحلیل میان‌یابی معکوس جهت دسته‌بندی نتایج استفاده شده است، این پژوهش با به‌کارگیری یک دوره آماری (۲۷ ساله) و بر مبنای بارندگی سالانه و ماهانه، شش شاخص MCZI، CZI، ZIS، SPI، DI و PNPI در مقیاس‌های زمانی مختلف را که تاکنون در اقلیم‌های نیمه‌خشک، خشک و بیابانی به‌طور همزمان برای شناخت خوب از وسعت، شدت، تداوم، زمان شروع و زمان خاتمه خشکسالی و شناخت ابعاد مختلف آن بررسی نشده‌اند، مورد ارزیابی قرار می‌دهد تا به‌عنوان بخشی از مطالعات طرح جامع خشکسالی برای استان، که برای کاهش خسارت‌ها کاملاً ضروری و مورد نیاز است لحاظ گردد. در این تحقیق با استفاده از نقطه‌نظرات کارشناسان مختلف در نقاط مختلف ایران و مطالعه تحقیقات انجام‌شده در دنیا و آمار و اطلاعات موجود در ایستگاه‌های سینوپتیک استان، ارزیابی شاخص‌های خشکسالی و پهنه‌بندی خشکسالی مورد بررسی قرار می‌گیرد تا شرایط موجود منطقه مورد تحقیق با شرایط بهینه مورد مقایسه قرار گرفته و در نهایت

دوره‌های خشکسالی بیشتر به‌سمت غرب حوزه هلیل رود است و گستره دوره‌های ترسالی بیشتر از جنوب به‌سمت شمال غرب منطقه بوده است (سلیمانی ساردو و رفعی ساردونی، ۲۰۱۶).

ادیب و گرجی‌زاده به‌منظور بررسی خشکسالی در حوضه آبریز دز، از داده‌های بارندگی سالانه ایستگاه‌های تنگ پنج و تله‌زنگ سد دز طی یک دوره آماری مشترک ۱۷ ساله (۱۳۷۳-۱۳۸۹) استفاده کردند؛ وضعیت خشکسالی بر اساس داده‌های مذکور با استفاده شاخص‌های درصد نرمال (PNI)، دهک (DI)، استاندارد بارش (SPI)، Z چینی (CZI)، Z چینی اصلاح‌شده (MCZI)، Nمره Z (ZSI) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین وقوع خشکسالی شدید بر اساس شاخص‌های PNI، MCZI و ZSI مربوط به ایستگاه تله‌زنگ بوده و بر اساس شاخص‌های متعدد فراگیرترین سال‌های خشکسالی مربوط به سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸ بوده است (ادیب و گرجی‌زاده، ۲۰۱۶).

مصباح‌زاده و سلیمانی ساردو برای ارزیابی و تحلیل وقوع زمانی وقوع خشکسالی‌ها از شاخص‌های خشکسالی SPI و جریانات رودخانه‌ای (SDI)<sup>۱</sup> به همراه آمار ماهانه ۱۰ ایستگاه باران‌سنجی و ۵ ایستگاه هیدرومتری در حوزه آبخیز کرخه استفاده کردند و شاخص‌ها در ۳ بازه زمانی ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد رابطه زمانی وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با یکدیگر در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است و این همبستگی در بازه ۴۸ ماهه حداکثر است (مصباح‌زاده و سلیمانی ساردو، ۲۰۱۸).

آمریت<sup>۲</sup> و همکاران برای ارزیابی و تحلیل فراوانی و شدت وقوع خشکسالی در مرکز هند با استفاده از شاخص خشکسالی درصد نرمال بارندگی (PNPI) و آمار بارش ماهانه با دوره آماری ۱۱۳ ساله (۱۹۰۱ تا ۲۰۱۳) مورد ارزیابی قرار گرفت؛ نتایج نشان داد که میانگین فراوانی خشکسالی در گذشته هر ۱۰ سال یک بار بوده که به هر ۵ سال یک بار تقلیل پیدا کرده و بر این اساس مناطق غربی و شمالی حساسیت بیشتری نسبت به خشکسالی داشته. حداکثر شدت

3. Lalitpur  
4. Boudad  
5. Mann-Kendall  
6. Inaouen  
7. Morocco

1. Streamflow drought index  
2. Amrit

سازگارترین و مناسب‌ترین شاخص خشکسالی با رعایت همه اصول انتخاب گردد.

در این تحقیق فرض شده که خشکسالی‌های هواشناسی حادث شده تحت تأثیر نوسانات الگوهای زمانی و مکانی مقادیر بارش قرار دارند و تغییرات عمده در این الگوها به دنبال خود، نمایه‌های مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

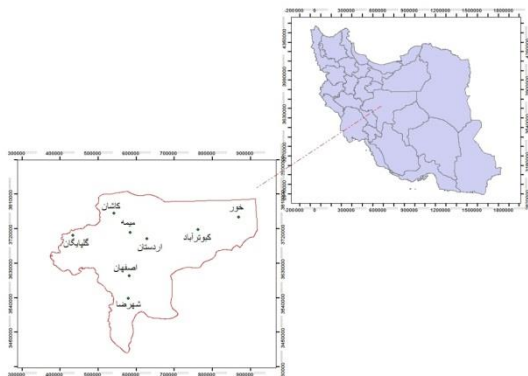
## داده و روش کار

### منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

استان اصفهان در مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱) و مساحت آن حدود ۱۰۷۱۴۵ کیلومترمربع است. میانگین بارندگی منطقه مورد تحقیق برابر ۱۳۰ میلی‌متر در سال است. این مقدار بارندگی کمتر از نصف میانگین بارندگی کشور و یک‌ششم میانگین جهانی است و میزان تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه، ۳۲۰۰ میلی‌متر در سال و ارتفاع متوسط منطقه، ۱۵۵۰ متر از سطح دریاست. طبقه‌بندی اقلیمی که بر اساس وضعیت میانگین شرایط اقلیمی هر منطقه و با استفاده از روش‌های معروف صورت می‌گیرد، در شناخت تفاوت بین مناطق از نظر شرایط اقلیمی حائز اهمیت است. طبقه‌بندی اقلیمی ایستگاه‌های استان را بر اساس دو روش معروف آمبرژه و دومارتن نشان می‌دهد. اقلیم استان اصفهان با توجه به طبقه‌بندی‌های معتبر اقلیمی، دارای سه اقلیم عمده نیمه‌خشک گرم و خشک و بیابانی ارزیابی شده است (سلطانی و مدرس، ۲۰۰۶).

در بررسی حاضر، به‌منظور مطالعه نمایه‌های خشکسالی در استان اصفهان از آمار ۲۷ ساله بارندگی ۱۰ ایستگاه مستقر در استان و استان‌های مجاور که دارای کیفیت آماری مناسبی بودند، استفاده شد (سازمان هواشناسی کشور، ۲۰۱۷). همان طور که در جدول (۱) ملاحظه می‌شود، همه ایستگاه‌های سینوپتیک تحت نظارت سازمان هواشناسی کشور کنترل می‌شوند. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد

مطالعه را در پهنه استان اصفهان نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان اصفهان  
Figure 1. Geographic location of the stations studied in Isfahan province

جدول (۱): ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان اصفهان

Table (1): Stations studied in Isfahan province

ایستگاه‌های استان	طول جغرافیایی (درجه - دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه - دقیقه)	ارتفاع از سطح آماربرداری (متر)	سال شروع بارش
اصفهان	۵۱ ۴۰	۳۲ ۳۷	۱۵۵۰/۴	۱۹۵۱
شرق اصفهان	۵۱ ۵۲	۳۲ ۴۰	۱۵۴۳	۱۹۷۶
کاشان	۵۱ ۲۷	۳۳ ۵۹	۹۸۲/۳	۱۹۶۶
خورویابانک	۵۵ ۰۵	۳۳ ۴۷	۸۴۵	۱۹۸۶
کبوترآباد	۵۱ ۵۱	۳۲ ۳۱	۱۵۴۵	۱۹۸۷
گلپایگان	۵۲ ۱۷	۳۳ ۲۸	۱۸۷۰	۱۹۹۲
شهرضا	۵۱ ۵۰	۳۱ ۵۹	۱۸۴۵/۲	۱۹۹۳
نطنز	۵۱ ۵۴	۳۳ ۳۲	۱۶۸۴/۲	۱۹۹۲
اردستان	۵۲ ۲۳	۳۳ ۲۳	۱۲۵۲/۴	۱۹۹۲
نابین	۵۳ ۰۵	۳۲ ۵۱	۱۵۴۹	۱۹۹۲

### شاخص‌های مورد مطالعه

در این مطالعه، به‌منظور ارزیابی سنججه‌ها یا شاخص‌های خشکسالی در استان اصفهان، شش شاخص خشکسالی مبنای بارندگی انتخاب شد. اساس شاخص‌های خشکسالی غالباً بر مبنای سنجش انحراف مقادیر بارندگی از میانگین درازمدت طی یک دوره زمانی معین استوار است. ویژگی‌های عمومی و فرمول‌های محاسبه هریک از شاخص‌های خشکسالی مورد استفاده در این تحقیق در جدول (۲) نشان داده شده است. به‌دلیل آشنایی متخصصان با این شاخص‌ها از

توصیف مستقل هر شاخص خودداری شده است. همچنین جدول (۳) طبقات مختلف خشکسالی را در شاخص‌های ششگانه نشان می‌دهد.

جدول (۲): فرمول‌های محاسبه هریک از شاخص‌های خشکسالی

مورد استفاده در تحقیق

Table (2): Formulas for calculating each of the drought indices used in the research

نام شاخص	پارامتر مورد استفاده	واحد زمانی ارزیابی	فرمول محاسبه
شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI)	بارندگی ی	ماهانه و سالانه	$PNPI = \frac{P_i}{\bar{P}}$ (۱)
شاخص دهک‌های بارندگی (DI)	بارندگی ی	ماهانه	$P_i = \frac{i}{N+1} \times 100$ (۲)
شاخص معیار استاندارد Zscore یا ZIS	بارندگی ی	ماهانه	$Z = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$ (۳)
شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)	بارندگی ی	۱۲، ۲۴ و ۳۶ ماه	$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{S}$ (۴)
شاخص Z چینی (CZI)	بارندگی ی	ماهانه	$CZI = \frac{6}{C_i} \left( \frac{C_i}{8} + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{C_i} + \frac{C_i}{6}$ (۵)
شاخص Z چینی اصلاح شده (MCZI)	بارندگی ی	ماهانه	$MCZI = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^3}{n \times \sigma^3}$ (۶)

در رابطه (۱)،  $P_i$  بارندگی ماهیانه یا دوره مورد نظر و  $\bar{P}$  میانگین بارش طولانی مدت طی این دوره است.

در رابطه (۲)،  $i$  معرف دهک و  $n$  تعداد داده‌های بارندگی است.

در رابطه (۳)،  $X_i$  میانگین بارش کل دوره،  $\bar{X}$  میانگین بارش ماهانه و  $S$  انحراف از معیار بارندگی در هر مقیاس زمانی است.

در رابطه (۴)،  $P_i$  بارش در دوره مشخص (۳، ۶ و ۱۲ ماهه)،  $\bar{P}$  میانگین کل داده‌ها و  $S$  انحراف معیار نمونه یا

جامعه در درازمدت است.

در رابطه (۵) و (۶)،  $C_s$  همان ضریب چولگی،  $\phi_j$  متغیر استاندارد داده‌ها،  $\bar{X}$  میانگین بارش کل دوره میانگین بارش ماهانه،  $X_i$  داده‌های بارش کل دوره،  $n$  تعداد داده‌ها و  $\sigma$  واریانس داده‌هاست.

جدول (۳): طبقات مختلف شاخص‌های مختلف خشکسالی

Table (3): Different classes of different drought indices

شاخص بارندگی	شاخص	شاخص	شاخص معیار
طبقات شدت خشکسالی	استاندارد شده (SPI) و شاخص Z چینی (CZI)	درصد نرمال (PINI)	شاخص معیار استاندارد Z-score (ZSI)
نرمال	+۱ تا ۰	۸۰٪ تا ۱۲۰٪	۰/۲۵ تا +۰/۲۵
خشکسالی ضعیف	۰ تا -۱	۷۰٪ تا ۸۰٪	-۰/۲۵ تا -۰/۵۲
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۵	۵۰٪ تا ۷۰٪	-۰/۵۲ تا -۰/۸۴
خشکسالی شدید	-۲ تا -۱/۵	۴۰٪ تا ۵۵٪	-۰/۸۴ تا -۱/۲۸
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از -۲	کمتر از ۴۰٪	کمتر از -۱/۲۸

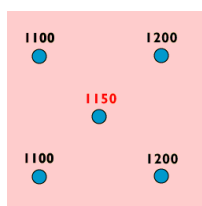
در اجرای این تحقیق به منظور بررسی دقیق خشکسالی و برای تاریخ شروع و خاتمه و طول مدت یا تداوم خشکسالی، از لوح فشرده تخصصی آموزشی DIP استفاده شده است. با به کارگیری نرم افزار DIP روی داده‌های بارش، فراوانی دوره‌های خشک و تر، بزرگی، تداوم و شدت آن‌ها از طریق شش شاخص‌های اقلیمی (SPI, ZIS, CZI, MCZI, DI و PNPI) محاسبه شد.

### بررسی کارایی سنج‌های خشکسالی

در این پژوهش، کارایی سنج‌های خشکسالی در پایش خشکسالی هواشناسی بررسی می‌شود. برای چنین هدفی این فرضیه در نظر گرفته شده است: کمینه مقدار بارندگی طی یک دوره بلندمدت اقلیمی، منعکس کننده خشکسالی هواشناسی بسیار شدید یا شدیدی است که در منطقه تحت بررسی حادث شده است. به منظور بررسی این فرضیه، کمینه مقادیر بارندگی در هر ایستگاه استخراج و پایش صورت گرفته توسط سنج‌های خشکسالی ارزیابی شد (بذرافشان، ۲۰۰۳).

1. Percent of Normal Precipitation Index
2. Deciles of precipitation Index
3. Z-Score Index
4. Standardization Precipitation Index
5. CZI: China Z- Index
6. MCZI: Modified Chinese Z – Index

میانگین گرفتن از آن‌ها به دست می‌آید (شکل ۲) (انصافی مقدم، ۲۰۰۹).



شکل (۲): ارزش‌گذاری نقاط یا پیکسل‌های موجود در روش IDW  
figure (2): Validation of points or pixels in the method

$$\frac{X_{11}X_{12}X_{13}}{X_{21}X_{22}X_{23}}$$

$$X_{22} = \frac{X_{11}W_1 + X_{12}W_2 + \dots}{W_1 + W_2 + \dots} \quad (8)$$

$$W = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (9)$$

$$W = \frac{1}{d^{POWER}} \quad (10)$$

در این روابط هر یک از پارامترها عبارت‌اند از:

d: فاصله مستقیم تا سلول مرکزی

W: وزن مربوط به هر سلول

X: فاصله افقی تا سلول مرکزی

Y: فاصله عمودی تا سلول مرکزی

پارامتر توان<sup>۲</sup> میزان اهمیت نقاط را در برآورد ارزش سلول مرکزی مشخص می‌کند. به‌منظور برآورد پارامترهای موجود در این روش از روش آزمون و خطا و به دست آوردن میزان خطا استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین پارامترهای موجود در این برآورد، اندازه سلول خروجی، تعداد ستون‌ها و ردیف‌های خروجی است. در تعیین اندازه سلول خروجی باید به‌گونه‌ای عمل کرد که از طرفی میزان محاسبات و زمان انجام فرایند میان‌یابی به‌علت اندازه سلول کوچک بسیار زیاد نشود و از طرفی نباید سلول بیش از حد بزرگ شود که میزان خطا زیاد شود. از دیگر پارامترهای قابل تعریف در این روش، تعداد نقاط همسایه برای میان‌یابی و توان مورد استفاده برای پارامتر فاصله است (انصافی مقدم، ۲۰۰۹).

## پهنه‌بندی خشکسالی‌ها

به‌منظور بررسی بهتر تغییرات مکانی خشکسالی‌ها در کل منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های خشکسالی از نظر ویژگی‌های فراوانی نسبی خشکسالی از نظر تداوم و بزرگی، طولانی‌ترین تداوم و شدیدترین مقادیر مشاهده‌شده در هر مقیاس ترسیم شد. بررسی این ویژگی‌ها به‌صورت منطقه‌ای، این امکان را می‌دهد که نقاط حساس از نظر تمامی ویژگی‌های مورد مطالعه در هر مطالعه خشکسالی مشخص شوند.

برای تهیه نقشه‌های فوق، از امکانات نرم‌افزارهای مورد استفاده در GIS شامل Arc View، Arc Info استفاده شد. از نرم‌افزار Arc View برای ترسیم نقشه‌ها و خطوط هم‌شدت از نظر خشکسالی و از نرم‌افزار Arc Info برای تبدیل مختصات شبکه جغرافیایی به مختصات UTM استفاده شد.

## روش میان‌یابی معکوس فاصله

روش‌های مختلفی برای برآورد متغیرهایی که تغییرات زمانی و مکانی دارند، وجود دارد. تفاوت این روش‌ها مربوط به نحوه محاسبه وزنی است که به نقاط مشاهده‌شده اطراف نقطه مجهول داده می‌شود. مزیت روش میان‌یابی معکوس این است که فاصله مقادیر نقاط مجهول را از راه میانگین وزنی داده‌های مشاهده‌ای با نقاط همسایش برآورد می‌کند که بر این اساس مقادیر برآورده نقاط مجهول به مقدار واقعی نزدیک‌تر است (لی و دگر<sup>۱</sup>، ۲۰۱۰) در این پژوهش از آنجا که هدف استفاده از روش میان‌یابی معکوس فاصله استفاده از آمار ایستگاه‌های همجوار برای ایستگاه‌های فاقد آمار بوده، از نتایج داده‌های ایستگاه‌های همجوار برای ایستگاه‌ها و مناطق فاقد آمار در سطح استان استفاده شد؛ در این روش فاصله این‌گونه فرض می‌شود که هر نقطه ورودی دارای یک اثر محلی است و تأثیر آن با افزایش فاصله کاهش می‌یابد. در این روش به نقاط نزدیک‌تر به سلول انجام فرایند، وزن بیشتری در مقایسه با یک نقطه دورتر داده می‌شود و ماتریسی در نظر گرفته می‌شود و برحسب فاصله به هر سلول، ارزش یا وزنی داده می‌شود و در نهایت ارزش سلول مرکزی ماتریس با جمع ارزش‌ها و

۲. Power

۱. Ly and Degr

طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا، پایه زمانی ۲۷ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۷) به عنوان پایه آماری مشترک در بررسی تغییرات زمانی بارش مورد توجه قرار گرفت. سپس صحت و همگنی داده‌ها بر اساس روش جرم مضاعف مورد بررسی و داده‌های ناقص ایستگاه‌های مجاور از طریق روش همبستگی و روش نسبت نرمال مورد بازسازی قرار گرفت. در مرحله دوم با استفاده از روش میانگین متحرک، روند دوره‌های خشک و مرطوب به وسیله آمار درازمدت بارش با دوره‌های تداوم و شدت خشکسالی با استفاده از شاخص‌های متعدد خشکسالی اندازه‌گیری شد. سپس به منظور بررسی فرضیه، کمینه مقادیر بارندگی در هر ایستگاه استخراج و پایش صورت گرفته توسط سنجنده‌های خشکسالی ارزیابی شد. جدول (۴) کمینه مقادیر بارندگی و سال وقوع آن را به همراه پایش وضعیت جوی از دیدگاه سنجنده‌های خشکسالی منتخب نشان می‌دهد.

بنابراین به طور خلاصه می‌توان گفت از آنجایی که بررسی ویژگی‌های منطقه‌ای خشکسالی به کمک نقشه‌های گستره آن‌ها امکان‌پذیر است، در این تحقیق تمامی ویژگی‌های خشکسالی اعم از فراوانی نسبی، تداوم و دوره‌های بازگشت آن‌ها به صورت نقشه‌های خشکسالی ترسیم و مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. نقشه‌های قابل طبقه‌بندی توسط جدول‌بندی شاخص‌های مورد استفاده طبقه‌بندی و همه نقشه‌های شاخص‌های خشکسالی و همچنین نقشه‌های فراوانی و شدت خشکسالی منطقه مورد مطالعه به صورت نقشه‌های خطوط کنتوری تهیه می‌شوند. پس از تهیه کامل نقشه‌ها و اعمال مرز در آن‌ها، نقشه‌های خروجی با در نظر گرفتن مقیاس به کیلومتر و جهت شمال نقشه، تهیه و ارائه می‌گردند.

### شرح و تفسیر نتایج

در مرحله اول این تحقیق، به منظور ارزیابی بهتر تغییرات مکانی بارش در انتخاب ایستگاه‌ها علاوه بر کمیت داده‌ها،

جدول (۴): تقارن سال وقوع کمینه بارش با خشکسالی شدید و بسیار شدید هواشناسی در ایستگاه‌های منتخب (عدد ۳ خشکسالی شدید و عدد ۴ خشکسالی بسیار شدید)

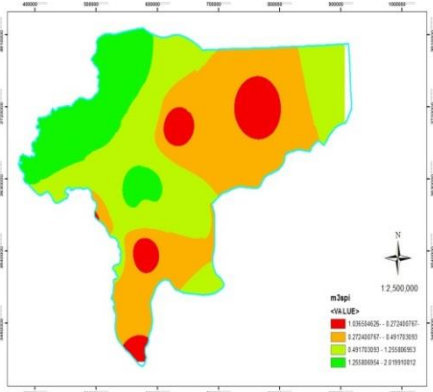
Table (4): Equation of the year of minimum rainfall occurrence with severe and severe drought in meteorological stations in selected stations (number 3 Severe drought and number 4 extreme drought)

ایستگاه	کمینه بارش (میلی‌متر)	شاخص‌ها		DI	PNPI	MCZI	CZI	ZSI	SPI
		سال وقوع	سال وقوع						
اصفهان	۷۷/۵	۱۹۹۰	۲	۴	۲	۱	۲	۳	۳
شرق اصفهان	۵۵/۴	۲۰۰۸	۳	۴	۳	۱	۴	۳	۴
کاشان	۸۲/۹	۱۹۹۰	۲	۴	۲	۱	۲	۲	۲
کبوتر آباد	۴۰/۵	۲۰۰۸	۴	۴	۴	۱	۳	۳	۴
خوروبیابانک	۴۵/۲	۱۹۹۷	۳	۴	۳	۱	۲	۲	۳
اردستان	۶۶	۱۹۹۴	۳	۴	۳	۱	۳	۳	۳
نطنز	۱۱۴/۱	۲۰۰۱	۲	۴	۲	۱	۳	۳	۳
گلپایگان	۱۱۲	۲۰۰۸	۳	۴	۳	۱	۴	۳	۴
نابین	۵۰/۲	۲۰۰۸	۳	۴	۳	۱	۳	۲	۳
شهرضا	۵۲/۷	۲۰۰۸	۳	۴	۳	۱	۳	۳	۴
رتبه	-	-	۴	۱	۴	۶	۳	۵	۲

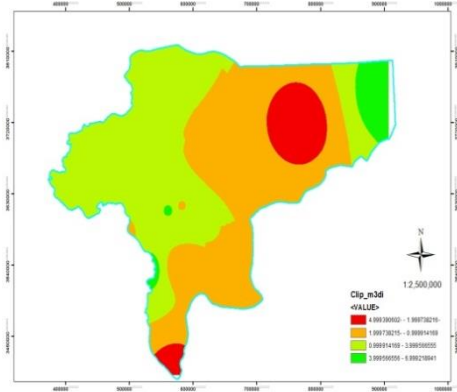
شاخص اقلیمی برتر (DI، SPI، CZI و PNPI) در طول دوره آماری ۲۷ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۷)، نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی در مقیاس زمانی ماهانه، سه‌ماهه، پنج‌ماهه و سالانه تهیه شد.

با استفاده از روش میان‌یابی معکوس فاصله و با استفاده از محیط GIS و با توجه به داده‌های موجود توزیع مکانی معنی‌داری آن، نقشه درونیابی تهیه شد؛ نیز با استفاده از

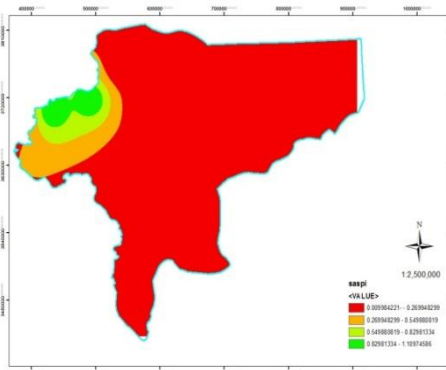




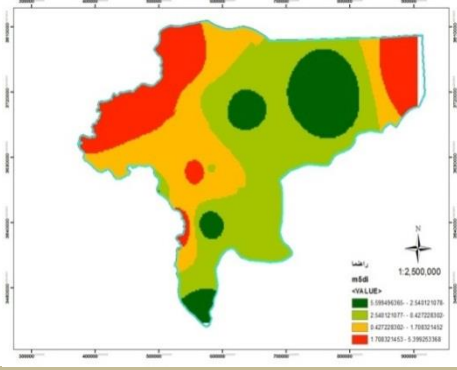
شکل (۶): نقشه پهنه‌بندی خشکسالی استان اصفهان با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده در مقیاس زمانی سه‌ماهه  
 Figure (6): Drought zonation map of Isfahan province using the Standardization Precipitation Index in the three-month time scale



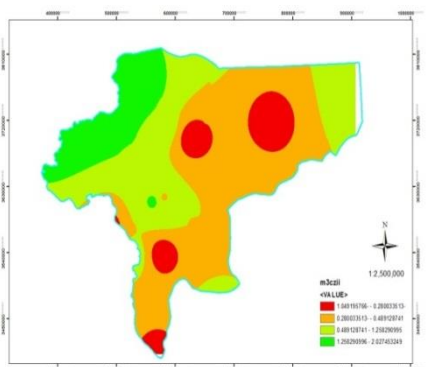
شکل (۳): نقشه پهنه‌بندی خشکسالی استان اصفهان با استفاده از شاخص دهک در مقیاس زمانی سه‌ماهه  
 Figure (3): Drought zonation map of Isfahan province using the Deciles of precipitation index in the three-month time scale



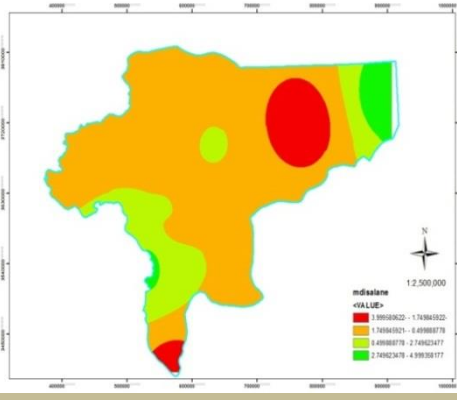
شکل (۷): نقشه پهنه‌بندی خشکسالی استان اصفهان با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده در مقیاس زمانی سالانه  
 Figure (7): Drought zonation map of Isfahan province using the Standardization Precipitation Index in annual time scale



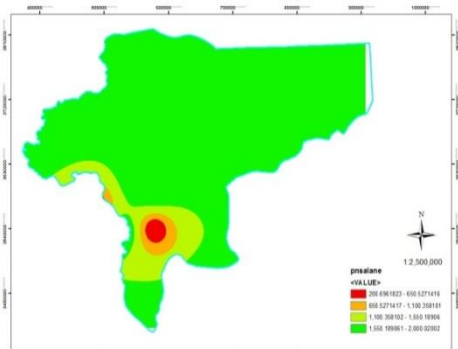
شکل (۴): نقشه پهنه‌بندی خشکسالی استان اصفهان با استفاده از شاخص دهک در مقیاس زمانی پنج‌ماهه  
 Figure (4): Drought zonation map of Isfahan province using the Deciles of precipitation index in the five-month time scale



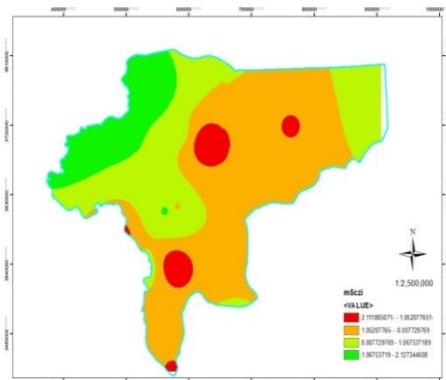
شکل (۸): نقشه پهنه‌بندی خشکسالی استان اصفهان با استفاده از شاخص Z چینی در مقیاس زمانی سه‌ماهه  
 Figure (8): Drought zonation map of Isfahan province using the China Z- Index index in the three-month time scale



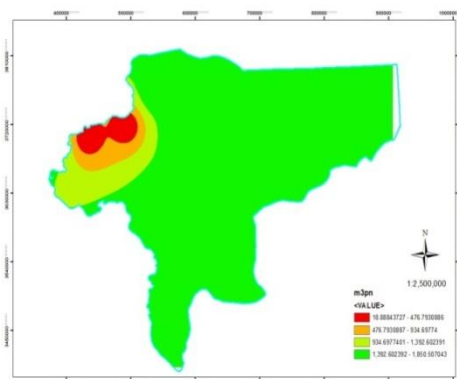
شکل (۵): نقشه پهنه‌بندی خشکسالی استان اصفهان با استفاده از شاخص دهک در مقیاس زمانی سالانه  
 Figure (5): Drought zonation map of Isfahan province using the Deciles of precipitation index in annual time scale



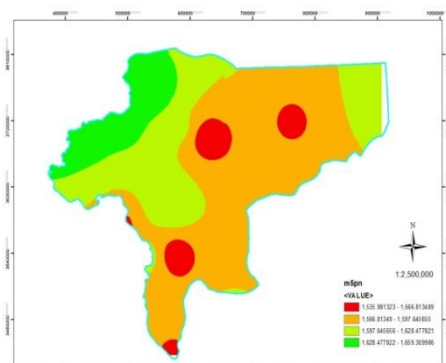
شکل (۱۲): نقشه پهنه‌بندی خشکسالی استان اصفهان با استفاده از شاخص شاخص درصد نرمال بارندگی در مقیاس زمانی سالانه  
**Figure (12): Drought zonation map of Isfahan province using the Percent of Normal Precipitation Index in annual time scale**



شکل (۹): نقشه پهنه‌بندی خشکسالی استان اصفهان با استفاده از شاخص Z چینی در مقیاس زمانی پنج‌ماهه  
**Figure (9): Drought zonation map of Isfahan province using the China Z- index in a five-month scale**



شکل (۱۰): نقشه پهنه‌بندی خشکسالی استان اصفهان با استفاده از شاخص شاخص درصد نرمال بارندگی در مقیاس زمانی سه‌ماهه  
**Figure (10): Drought zonation map of Isfahan province using the Percent of Normal Precipitation Index in the three-month time scale**



شکل (۱۱): نقشه پهنه‌بندی خشکسالی استان اصفهان با استفاده از شاخص شاخص درصد نرمال بارندگی در مقیاس زمانی پنج‌ماهه  
**Figure (11): Drought zonation map of Isfahan province using the Percent of Normal Precipitation Index in the five-month time scale**

نتایج به دست آمده قابلیت شاخص‌های SPI، DI، PNPI، CZI، ZSI و MCZI را با توجه به روابط تعریف‌شده در برآورد وضعیت خشکسالی و ترسالی‌ها نشان می‌دهند. روند نمودارها و گراف‌های حاصل برای هر ایستگاه در هر مقیاس زمانی، این مورد را تأیید می‌کند؛ زیرا این گراف‌ها کاملاً متقارن هستند و هیچ اغراقی در بالا یا پایین محور Xها از نظر ترسالی و خشکسالی بسیار شدید و خارج از حد مورد انتظار وجود ندارد و داده‌ها کاملاً نرمال‌اند. این مطلب در مورد شاخص SPI در مطالعات محققانی نظیر مک‌کی<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۹۵) در ایالت کلرادو آمریکا و مطالعات بوردی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۶) در کشور ایتالیا مورد تأیید قرار گرفته است.

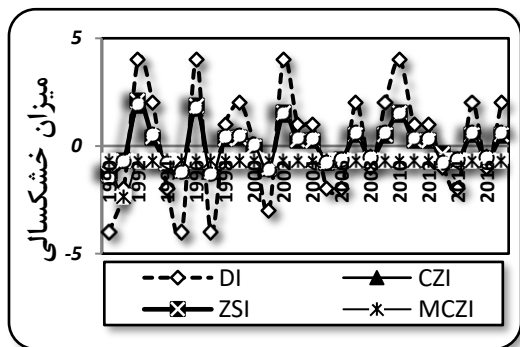
با افزایش مقیاس زمانی، پربندهای با مقادیر منفی و مثبت SPI، DI، PNPI، CZI، ZSI و MCZI از نظر تعداد یا فراوانی کاسته شده ولی طول مدت خشکسالی و ترسالی یا تداوم آن‌ها افزایش می‌یابد. این مطلب در مورد شاخص SPI مطالعه مک‌کی و همکاران (۱۹۹۵) در ایالت کلرادو و آمریکا نیز حاصل شد.

نتایج شاخص‌ها که در پایه زمانی مختلفی محاسبه شده است، نشان داد که هرچه پایه زمانی محاسبه بزرگ‌تر می‌شود، شاخص SPI خشکسالی‌ها را کمتر برآورد می‌کند ولی هرچه پایه زمانی شاخص کوچک‌تر می‌شود

1. Mckee  
 2. Bordi

رخداد خشکسالی شدید و بسیار شدید را در تمام ایستگاه‌های تحت مطالعه نشان داده و کارایی بیشتری نسبت به سایر شاخص‌ها از جنبه نمایش خشکسالی‌های شدید دارند، اما محدوده مقادیر ماهانه و سالانه شاخص دهک‌ها (DI)، بر روی نمودارهای ترسیم‌شده، کمی وسیع‌تر از سایر شاخص‌هاست؛ به‌ویژه در نمودارهای ترسیم‌شده شاخص دهک‌ها (DI) به نظر می‌رسد مبالغه‌ای اندک در بزرگ‌نمایی تظاهرات خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها مشاهده می‌شود. شاید بتوان گفت، بر اساس این مطالعه، شاخص دهک‌ها (DI) نوسان‌هایی اگرچه هماهنگ و همسو با سایر شاخص‌ها اما تند و تیزتر و مبالغه‌آمیزتر در نمودارهای بارش ماهانه و سالانه نشان داده است.

شاخص‌های CZI، ZSI و SPI از لحاظ توصیف وضعیت خشکسالی بسیار به هم نزدیک‌اند، به طوری که در انطباق نمودارها همه شاخص‌ها در مقیاس زمانی سالانه و میانگین متحرک سه و پنج‌ساله این روند کاملاً مشهود است. شکل (۱۳) انطباق و نزدیکی نمودار این سه شاخص را در ایستگاه کاشان نشان می‌دهد.



شکل (۱۳): انطباق و مقایسه نمودارهای همه شاخص‌ها در مقیاس زمانی سالانه در ایستگاه کاشان

Figure (13): Adaptation and comparison of the graphs of all indicators in the annual time scale at Kashan Station

در نمودارهای رسم‌شده، میانگین متحرک سه و پنج‌ساله خشکسالی در تمام ایستگاه‌ها، در میان ۶ شاخص اقلیمی مورد مطالعه، شاخص‌های SPI، DI و شاخص‌های ZSI، CZI از لحاظ نتیجه به هم نزدیک‌تر و هماهنگ‌ترند. با توجه به محاسبات انجام‌شده، ۶ شاخص اقلیمی در مقیاس زمانی سالانه مشخص شد؛ شاخص‌های SPI، ZSI و CZI در میزان تداوم خشکسالی و شدت خشکسالی با هم

عکس‌العمل بهتری نسبت به کمبود بارش نشان داده و خشکسالی کوتاه‌مدت را نزدیک به واقعیت برآورد می‌کند؛ برای مثال شاخص سه‌ماهه SPI بیانگر این موضوع است. اما در برآورد خشکسالی‌های طولانی‌مدت شاخص‌ها بر پایه زمانی طولانی‌تر مناسب‌تر بوده و نتایج بهتری ارائه می‌کنند و از طرفی شاخص SPI ۲۴ ماهه تأثیر بارش سال‌های قبل را در خشکسالی سال جاری در نظر گرفته و در صورت وقوع خشکسالی آن را دیرتر برآورد می‌کند.

شاخص‌های خشکسالی در ایستگاه‌های مختلف نتایج متفاوتی ارائه می‌دهند که حتی در مورد ایستگاه‌های نزدیک هم شهرستانهای کاشان و نطنز و همچنین ایستگاه‌های اصفهان و شرق اصفهان نیز این مسئله دیده می‌شود. علت آن می‌تواند تغییرپذیری زیاد بارش در منطقه مورد مطالعه باشد. این نتیجه با نتایج ناراسیمهان<sup>۱</sup> و همکاران مشابه است (ناراسیمهان و همکاران، ۲۰۰۵).

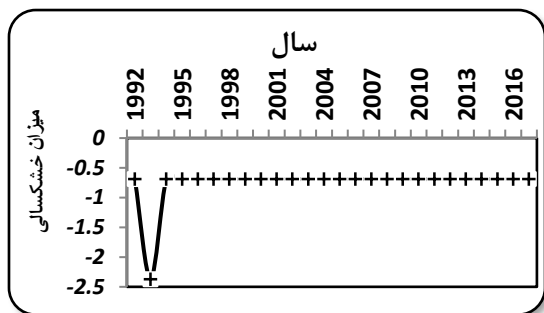
از بین شاخص‌های ماهانه، شاخص دهک عکس‌العمل بهتر و بیشتری نسبت به بارش نشان می‌دهد، اما با توجه به مشکلات در محاسبه، این شاخص به‌خوبی نمی‌تواند خشکسالی‌های به‌وقوع پیوسته را نشان دهد. مرید و همکاران نیز طی مطالعه‌ای که در استان تهران انجام دادند به این نتیجه مشابه رسیدند (مرید و همکاران، ۲۰۰۶).

با توجه به جدول (۴) و بررسی کمیته مقادیر بارندگی در هر ایستگاه با توجه به تعداد عدد ۴ در هر یک از شاخص‌ها اولویت شاخص‌ها به قرار زیر است:

به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین شاخص، از کمیته بارندگی در طول دوره آماری بارندگی سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه استفاده شده است و شاخص DI در رتبه اول، شاخص SPI در رتبه دوم، شاخص CZI در رتبه سوم و شاخص PNPI، شاخص ZSI و شاخص MCZI در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. از این رو به‌سبب پهنه‌بندی گسترده خشکسالی از سه شاخص اول استفاده شده است.

نتایج حاصل از آزمون فرضیه‌ها نشان داد شاخص SPI و شاخص دهک‌ها (DI) مقارن با سال وقوع کمیته بارندگی،

1. Narasimhan

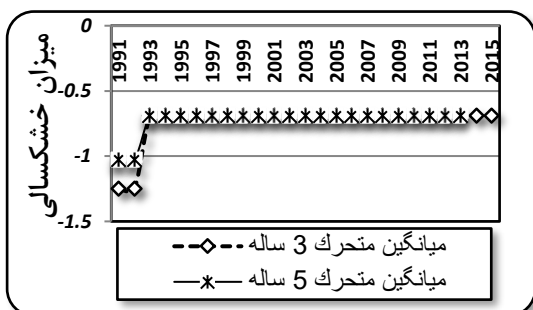


شکل (۱۴): نمودار شدت و تداوم خشکسالی سالانه شاخص Z

چینی اصلاح شده (MCZI)

Figure (14): Chart of intensity and continuity of drought of the modified Chinese Z index (MCZI)

نمودارهای میانگین متحرک سه و پنج ساله، شاخص Z چینی اصلاح شده (MCZI) در همه ایستگاهها مانند شکل (۱۵) است. بیشترین تداوم خشکسالی با مقدار  $-0.769$  را در همه ایستگاهها از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۵ نشان داده و همچنین شدیدترین خشکسالی با مقدار  $-1.25$  را برای میانگین متحرک سه ساله مربوط به سال ۱۹۹۱ و ۱۹۹۲ و همچنین شدیدترین خشکسالی با مقدار  $-1.02$  را برای میانگین متحرک پنج ساله مربوط به سال ۱۹۹۲ و ۱۹۹۳ معرفی می کند.



شکل (۱۵): نمودار میانگین متحرک سه و پنج ساله شاخص Z

چینی اصلاح شده (MCZI)

Figure (15): Chart 3 and 5 year moving average chart of modified Chinese Z (MCZI)

### نتیجه گیری

در تهیه نقشه های خشکسالی سالانه با استفاده از شاخص های مورد بررسی، مشخص شد که شاخص های با پایه زمانی سالانه نمی توانند پهنه بندی خشکسالی را به خوبی نشان دهند و شدت خشکسالی را در پایین تر (از لحاظ عددی) برآورد می کنند. بنابراین درباره این شاخص ها باید نقشه های خشکسالی را به صورت ماه به ماه تهیه کرد. این نتیجه نشان

هماهنگ بوده و شاخص های DI و PNPI در میزان تداوم خشکسالی هماهنگ بوده، ولی در شدت خشکسالی سال وقوع خشکسالی هر شاخص با توجه به نوع ایستگاه متفاوت است.

شاخص های DI, SPI, CZI بر اساس کمینه بارندگی در طول دوره آماری بارندگی سالانه به ترتیب به عنوان بهترین سنجها برای ارزیابی خشکسالی هواشناسی در شرایط اقلیمی نیمه خشک، خشک و بیابانی شناخته شدند. نتایج حاصل از معیارهای منتخب نشان داد که در سال های ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۵، ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ و ۲۰۰۸ خشکسالی های شدید در اغلب نقاط استان اتفاق افتاده است.

از نقطه نظر ایستگاهی، شدیدترین خشکسالی در مقیاس زمانی سالانه در منطقه مورد مطالعه، برای شاخص DI، مربوط به سال های ۲۰۰۸، ۲۰۰۵، ۲۰۰۱ و ۱۹۹۰ برای همه ایستگاهها استان با مقدار DI مساوی ۴- است. برای شاخص SPI مربوط به سال ۲۰۰۸، ایستگاه خور و بیابانک با مقدار SPI برابر  $-2.35$  است.

از نقطه نظر ایستگاهی بیشترین فراوانی خشکسالی در مقیاس زمانی سالانه در منطقه مورد مطالعه، برای شاخص های DI, SPI, ZSI و CZI مربوط به ایستگاه های نظنز و کبوترآباد و برای شاخص PNPI مربوط به ایستگاه خور و بیابانک است.

از نقطه نظر ایستگاهی، طولانی ترین تداوم خشکسالی در مقیاس های زمانی مختلف در منطقه مورد مطالعه، از نظر شاخص DI، ایستگاه کبوترآباد از سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۰۹ و ایستگاه نایین از سال ۱۹۹۳ تا سال ۱۹۹۵ در مقیاس زمانی ص SPI، ایستگاه نایین از سال ۲۰۰۱ تا اوایل سال ۲۰۰۷ در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه و ایستگاه شهرضا از اواخر سال ۱۹۹۹ تا اوایل سال ۲۰۰۷ در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه، طولانی ترین تداوم خشکسالی را دارند.

شایان ذکر است که نمودارها و جداول شدت و تداوم خشکسالی سالانه مربوط به شاخص Z چینی اصلاح شده (MCZI) در همه ایستگاهها مانند شکل (۱۴) است.

شاخص‌های SPI، DI و CZI در طول دوره آماری مورد مطالعه در سطح استان، شدیدترین خشکسالی مربوط به مرکز و جنوب شرق استان در اطراف ایستگاه‌های نایین، کبوترآباد، خور و بیابانک، اردستان و شهرضا نسبت به سایر نقاط حوزه است.

از نقطه نظر طولانی‌ترین تداوم‌ها در منطقه، بخش‌های مرکز و جنوب شرق و شمال استان از لحاظ خشکسالی حساسیت بیشتری برخوردارند و بخش‌های غربی و جنوب غربی از حساسیت کمتر. این ویژگی خصوصاً در جنوب شرق و مرکز حوزه اطراف ایستگاه‌های نایین و کبوترآباد و شهرضا و اردستان از اهمیت وافر برخوردار است.

می‌دهد که خشکسالی به شدت به زمان وقوع آن وابسته است و به صورت موضعی و محلی متناسب با زمان کوتاه‌مدت تغییر می‌کند. بنابراین ارائه نقشه خشکسالی سالانه با استفاده از شاخص‌های ماهانه نمی‌تواند تصویر واقعی توسعه مکانی و شدت خشکسالی را ارائه کند. مشابهت عملکرد شاخص عدد Z به شاخص بارندگی استاندارد شده در نشان دادن خشکسالی‌های شدید از دیگر نتایج به دست آمده است. همچنین شاخص شاخص دهک‌ها با توجه به عملکرد مناسب در مشخص کردن خشکسالی‌های شدید، دارای اندکی مبالغه در نمایش خشکسالی‌های شدید است.

در نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از

## منابع

1. Adib, A., gorgizadeh, A., 2016. Evaluation and Monitoring of drought using of drought Indexes, Case study the Dez watershed, Journal of Research in Irrigation and Water Engineering, seventh year, number 26, 173-184.
2. Amrit, K., Pandey, R. P., Mishra, S. K., 2017. Assessment of meteorological drought characteristics over Central India, Sustain Water Resour Manag, DOI 10. 1007/s40899-017-0205-5.
3. Ansari, H., davari, K., Sanaei Nejad, H., 2010. The survey is based on the use of the Advanced Education Standards (SEPI), developed for the implementation of the Avouchah Publication (Journal of Cultural Science), No. 1, vol. 24, 38-52.
4. Bazrafshan, J., 2003. A Comparative Study of Some Meteorological Drought Indices in Some Climatic Samples of Iran. Graduate Student, University of Tehran, Faculty of Agriculture, Agricultural Meteorology Group, 23-36.
5. Belayneh, A., Adamowski, J., 2012. Standard Precipitation Index Drought Forecasting Using Neural Networks, Wavelet Neural Networks, and Support Vector Regression. Applied Computational Intelligence and Soft Computing 2012, 1-13.
6. Bordi, I., Fragio, S., Parenti, P., Speranza, A., 2001. The Analysis of the Standardized Precipitation Index in the mediterranean Area: Part 1. Department of Italian National Technical Services. J of the Annalidi Geofisical.44 (5/6): 965.
7. Boudad, B., Sahbi, H., Manssouri, I., 2018. Analysis of meteorological and hydrological drought based in SPI and SDI index in the Inaouen Basin (Northern Morocco), Journal of Materials and Environmental Sciences, Volume 9, Issue 1, 219-227.
8. Ensafimghadam, T., Rafiyamam, A., 2009. Climber Density zoning using Inverse Distance Interpolation (IDW) Case Study: Salt Lake Basin, Scientific and Research Quarterly of Iran Rangeland and Desert Researches, No. 2, vol. 16, 274-292.
9. Ly, S., Charle, C., Degr, A., 2010. Spatial interpolation of daily rainfall at catchment scale: a case study of the Ourthe and Ambleve catchments, Belgium. Hydrology and Earth System Sciences Discussions 7(25), pp.7383-7416
10. Loukas, A., Vasiliades. L., Dalezios, N.R., 2003. Inter Comparison of Meteorological Drought Indices for Drought Assessment and Monitoring in Greece, 8th International Conference on Environmantal Science and Technology Lemons Island, 8-10 September: 484-491.
11. Malekian, A., Kiarash. S., Andarami. A.S., 2009. Drought zoning in order to optimize water resources management in northern parts of Semnan province, Fifth National Conference on Science and Engineering in Watershed Management (Natural Disaster

- Management), Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, 60-48.
12. Mckee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J., 1995. Drought Monitoring With Multiple Time Scales. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January, Dallas, TX, 233-236.
  13. Mohseni, S. M., Malekian, A., Safdari, A., 2009. Intensity-Duration-Frequency and spatial analysis of droughts using the Standardized Precipitation Index, Hydrology and Earth System Sciences, Discuss., 6, 1347-1383, Doi:10.5194/hessd-6-1347.
  14. Moradi Dashtpajardi, M., Kousari, M. R., Vagharfard, H., Ghonchepour, D., Hosseini, M. E., Ahani, H., 2014. An investigation of drought magnitude trend during 1975–2005 in arid and semi-arid regions of Iran. Environmental Earth Sciences 73, 1231-1244.
  15. Morid, S., Smakhtin, V., moghaddeso, M., 2006. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran; International Journal of climatology, 26,971-985.
  16. Mesbahzadeh, T., Soleimani Sardoo, F., 2018. Temporal Trend Study of Hydrological and Meteorological Drought in Karkheh Watershed. Iran-Watershed Management Science & Engineering Journal. Vol. 12, No. 40.
  17. Meteorological Organization of the country, 2017. Meteorological Calendar of Isfahan Province. 149-26.
  18. Mishra, A. K., Singh, V. P., 2010. A review of drought concepts. Journal of Hydrology 391, 202-216.
  19. Narasimhan B., R. Srinivasan, 2005. Development and Evaluation of Soil moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for Agricultural Drought Monitoring; Agricultural and a forest Meteorology, 133, 69-88.
  20. Nasrollahi, M., Khosravi, H., Moghaddamneia, A., Malekeian, A., 2016. Assessment of drought hazard index using standardized precipitation index (Case Study: Semnan province, Iran), Journal of Agricultural Meteorology Vol.3, No. 1, 57-66.
  21. Nasserzadeh, M. H., Ahmadi, E., 2012. Investigating the Performance of Meteorological Drought Indicators in Drought Evaluation and its Zoning in Qazvin Province, Journal of Applied Geographical Sciences, Vol. 12, No. 27, 141-162. (In Persian)
  22. Sabzipourvar, A. A., Maroufi, S., Bazrafshan, J., Kazemi, A., 2009. Comparative evaluation of seven dry weather indicators using cluster analysis method, Journal of Environmental Science and Technology, Numerical, Period 12:40-49.
  23. Sedaghat kerdar, A., Hedayati Dezfuli, A., 2008. Comparative Comparison of Three Drought Indicators in Different Climates of Iran, Nivar Research Magazine, Ferdowsi University Press, No. 69, 15-25.
  24. Soleimani Sardoo, F., Rafiei Sardooi, E., 2016. Analysis of meteorological drought and wet periods range using indices based on rainfall (Case Study: Halil River basin, Jiroft). Geography Quarterly (Regional Planning), Year 6, Volume 22, Issue 1, Spring 1395, 91-100.
  25. Soltani, S., Modares, R., 2006., Investigation and Analysis of the Severity and Frequency of Meteorological Drought in Isfahan Province, Journal of Natural Resources Research, No. 1, Volume 59, 26-16.
  26. Smakhtin, V., 2004. "International Water Management Institute", Sir Lanka, Personal communication, 96.
  27. Tsakiris, G. Vangelis, H., 2005. Establishing a Drought Index Incorporating Evapotranspiration, Lab. of Reclamation Works & Water Resources Management National Technical University of Athens 9, Iroon Polytechniou, 15780, Athens – Greece European Water 9/10: 3-11, E.W. Publications.

## Comparison and Evaluation of Six Climatological Drought Indices and Zoning of the Most Appropriate Index Using Inverse Distance Weighting (A Case Study: Isfahan Province)

Sayed Javad Sadatinejad Sadatinejad<sup>\*۱</sup>, Arash Malekian<sup>۲</sup>, Hadi ZarePoor<sup>۳</sup>, Atefeh Mohamadi<sup>۴</sup>

Received: 12/09/2018

Accepted: 27/02/2019

### Extended Abstract

**Introduction:** Drought, as a natural disaster, has a major impact on agriculture and ecosystem of the affected region. Droughts occur mainly in areas like Iran being located in the world dry belt, with below normal levels of rainfall. There is a need to study and predict the drought situation because, according to statistics, Iran is among the most water-stressed countries, with serious problems in occurring floods, supplying drinking water and generation of electricity, so assessing the drought situation in order to reduce damage, comprehensive drought plans are essential for the country and the studied province.

In this study drought situation in Isfahan province, has been evaluated using a relatively long (> 27 years) monthly precipitation data, with simultaneous considering of six drought indices including MCZI, CZI, ZIS, SPI, DI and PNPI.

**Materials and methods:** Study area and data: Isfahan province has geographical coordinates of 30 degrees 43 minutes to 34 degrees and 27 minutes north latitude and 49 degrees and 38 minutes to 55 degrees 32 minutes east length and area of 107145 square kilometers (equivalent to 3.6 percent of the total area of Iran). The annual rainfall in the study area is 130 mm which is less than half the country's average rainfall and one sixth of the global average.

In this study, in order to study the drought indices of Isfahan province, 27 year precipitation data of 12 stations in the province and neighboring areas were used with appropriate statistical quality.

**Case Study Indicators:** In this study, six drought indexes based on rainfall were selected to evaluate drought indices of Isfahan province. The basis of drought indicators is often based on the estimation of precipitation deviation from the long-term average over a given period. General features and formulas used to calculate each

of the drought indicators are:  $PNPI = \frac{Pi}{\bar{P}}$ ,  $P_i = \frac{i}{N+1} \cdot 100$ ,  $Z = \frac{X_i - \bar{x}}{S}$ ,  $SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{S}$ ,  $CZI_i = \frac{6}{C_s} \left( \frac{C_s}{g} \varphi_j + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6}$  and  $C_s = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^3}{n \times \sigma^3}$  each of the indicators has different classes of drought.

**Evaluating the Efficiency of Drought Indicators:** The meteorological drought is based on the assumption that the minimum rainfall during the long term of the weather represents a very severe or severe meteorological drought that occurred in the studied area. In order to investigate this hypothesis, rainfall at each station was

۱. Assistant professor, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technology, Tehran University; corresponding author; jsadatinejad@yahoo.com

۲. Assistant professor, Department of Desert and Arid Zones Management, Faculty of Natural Resources, Tehran University

۳. MSc of de- Desertification, Department of de- Desertification, Faculty natural resources, kashan University

۴. MSc of Natural geography, Department of geography, Faculty of geography, Isfahan University

determined using drought indices and the indicators that were most consistent with the climate conditions were identified.

Finally, using inverse distance method in ArcGIS tools, the most accurate index maps were developed.

**Findings and Results:** In the first stage of this research, in order to better evaluate the spatial variations of rainfall in the selected stations, in addition to the quantity and quality of data, latitude and longitude, and altitude from the sea level, the 27-year time base (from 1990-2017) as the common statistical basis for the study of time variation Precipitation was taken into consideration. Then, the accuracy and homogeneity of the data and the incomplete statistics of precipitation of the stations were reconstructed using correlation method and normal ratio method.

In the second stage, using the moving average method, dry and wet periods were measured by long-term rainfall data with continuity periods and drought severity using different drought indices. Then, to determine the hypothesis, the minimum rainfall was determined at each station and then evaluated using drought indices.

Using inverse interpolation method and using the GIS and based on available spatial distribution data, an interpolation map was prepared and using the superior climatic index (CZI, DI, SPI and PNPI) during the 27 year statistical period (1990- 2017), drought zoning maps were prepared monthly, quarterly, and five-monthly and annual.

**Discussion and Conclusion:**

The results showed that the ability of the SPI, DI, PNPI, ZSI, CZI and MCZI indices is based on the relationships defined in the climatic drought conditions. Drought indicators at different stations have different results that can be seen even at nearby stations. The reason for this is the high rainfall variation in the study area. Among the indices, the DI ranked first, the second highest SPI, the third highest CZI, and the PNPI index, the ZSI index, and the MCZI index in the next ranking. Therefore, in order to zoning the drought, the first three indicators are used.

Although the results of the hypothesis test showed that the SPI index and Decile precipitation (DI) index were consistent with the minimum rainfall year, but showed a severe and severe drought occurrence in all stations, and, in terms of other indicators, had more performance. Display Severe drought, but the range of monthly and annual Deciles of Index (DI) is slightly higher than other indicators in the charts. Especially in the graphs shown by the decimal index (DI), it seems a small increase in the rate of drought and tropical manifestations. It can be said that according to this study, precipitation index fluctuations (DI), although according to other indicators, are more marked in monthly and annual rainfall graphs.

Based on the calculations, six climatic indicators at annual time scale showed that SPI, ZSI and CZI indices are consistent with drought persistence and drought severity. The results of selected criteria show that in the years 1994 to 1995, 2001 to 2005 and 2008 severe drought occurred in most parts of the province.

From the station's point of view, the highest drought frequency in the studied area for DI, SPI, ZSI and CZI indicators from Natanz and Kebootar Abad stations and the longest drought resistance in different time scales in the study area; DI: Kabottarabad station from 2007 to 2009 and Naine station from 1993 to 1995 on a seasonal scale is the longest drought. According to the SPI index, the Neen station spent the longest drought from late 1999 to the beginning of 2007 on a 24-month scale from 2001 to early 2007 at Reza Station.

In the preparation of annual drought maps using the indicators, it was found that annual time indices cannot accurately represent drought zoning and estimate the severity of drought at the lower end. So, for these indicators, drought plans should be prepared monthly to month. This result shows that droughts are heavily dependent on the time of occurrence and vary locally and locally according to short-term time. Therefore, providing annual drought map using monthly indicators cannot provide a realistic picture of spatial development and drought severity.

In the droughts map, the most severe droughts during the studied period show severe droughts in the center and south-east of the area around the stations of Naein, Kabootar Abad, KhoroBiabanak, Ardestan and Shah Reza compared to other areas of the area. From the point of view of the longest continuity in the region, the central and south-east and north parts of the area are more susceptible to potential, and the western and southwest sections are less susceptible. This feature is especially important in the southeast and the center of the area surrounding the Naein, Kabootar Abad, Shah Reza and Ardestan stations

**Keywords:** Arc GIS, Drought zoning, IDW, Isfahan, Meteorological Index.