

## تحلیل آمار فضایی خشکسالی اقلیمی بلند مدت استان فارس (در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ میلادی)

عبدالرسول قنبری\*<sup>۱</sup>، حسن روستا<sup>۲</sup>، مهدی فتوحی نژاد<sup>۳</sup>

۱ و ۲- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی لارستان

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد GIS، دانشگاه آزاد واحد لارستان

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۰۶، تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۴/۱۷)

## چکیده

خشکسالی‌ها از جمله مهم‌ترین بلاهای طبیعی هستند که علی‌رغم تلفات انسانی کم، از خسارت‌های اقتصادی و تبعات اجتماعی فراوانی برخوردار هستند. خشکسالی‌ها به چند شکل اقلیمی، هیدرولوژی، کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی دیده می‌شوند؛ که نوع اول آن در وقوع و خاتمه انواع دیگر از تقدم و اولویت برخوردار است. تحقیق حاضر خشکسالی اقلیمی را مد نظر قرار داده و کاربرد شاخص‌های معتبر خشکسالی را بر روی ایستگاه‌های مختلف کشور ارزیابی نموده است. از بین تمامی ایستگاه‌های موجود، ایستگاه‌هایی که دارای آمار هواشناسی کامل‌تر و معتبرتری نسبت به بقیه ایستگاه‌ها بودند، انتخاب شدند. بدین منظور، از آمار بارش بیست و پنج ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۴) نه (۹) ایستگاه با شرط برخورداری از پربود و دقت کامل و توزیع جغرافیایی مناسب در سطح استان، استفاده گردید. شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در ایستگاه‌های منتخب؛ محاسبه و نقشه‌های درونیایی تهیه شد. در نهایت به منظور شناسایی الگوی خشکسالی و نمایش آن بر روی نقشه به ترتیب از آماره خودهمبستگی فضایی موران و تحلیل لکه‌های داغ استفاده شد. ویژگی‌های خشکسالی استان نشان می‌دهد که تقریباً تمامی نقاط استان رخداد خشکسالی را با شدت و ضعفهای متفاوت تجربه می‌کنند. از نظر شدت خشکسالی نتایج بررسی بیانگر این است که هر قدر مقیاس زمانی بالاتر می‌رود، ارقام SPI نیز بالاتر می‌رود، اما قدر مطلق خشکسالی کم می‌شود. بدین ترتیب که در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه ایستگاه نیریز با ۲.۶۷-، در مقیاس ۲۴ ماهه ایستگاه درودزن با ۲.۶۲- و در مقیاس ۴۸ ماهه مجدداً ایستگاه درودزن با ۲.۴۳- پایین‌ترین مقدار SPI را در مقایسه با سایر نواحی تحت مطالعه دارا بوده‌اند. نتایج حاصل از کاربرد شاخص موران در خصوص توزیع فضایی خشکسالی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه خوشه‌ای بودن توزیع خشکسالی را در استان فارس نشان داد.

**کلمات کلیدی:** خشکسالی، بارش، استان فارس، شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، آمار فضایی.

## مقدمه

سنی یا کلاسیک استفاده می‌شود که دارای معایب بسیاری است. در آمار سنتی فرض بر این است که مشاهدات نمونه‌ها مستقل از یکدیگرند؛ اما در بسیاری از موارد، در عمل، این فرض برقرار نیست و مشاهدات به یکدیگر وابسته‌اند. نادیده گرفتن این وابستگی سبب از بین رفتن اطلاعات بسیاری می‌شود و در نتیجه، تحلیل‌های آماری دور از واقعیت خواهد بود. در چنین مواقعی باید روشی دیگر برای تحلیل این نوع داده‌ها انتخاب نمود. این مسئله که مشاهده‌ی مربوط به یک موقعیت به مشاهدات موقعیت‌های مجاور نزدیک به خود وابسته باشد کاملاً منطقی به نظر می‌رسد. گاهی وابستگی داده‌ها به وضعیت قرار گرفتن آن‌ها در فضا بستگی دارد و در واقع وابستگی آنها تابعی از فاصله قرارگیری آنها از یکدیگر است. به شاخه‌ای از علم آمار که به بررسی و تحلیل این نوع

عنصر اقلیمی بارش، از نظر زمانی و مکانی، بیشترین درجه نوسان را، بخود اختصاص می‌دهد. هنگامی که نوسانات بارش شدت یابد؛ شاهد مخاطراتی از قبیل خشکسالی و سیلاب‌های ناگهانی خواهیم بود. هرچند که خشکسالی از نظر فراوانی رخداد در سطح پایین‌تری نسبت به دیگر مخاطرات طبیعی قرار دارد، اما در جاگذاری خسارت در جایگاه نخست است (پایگاه بین‌المللی بلاهای طبیعی، ۲۰۰۹). از آن جا که خشکسالی، بخش‌های مختلف جامعه مانند منابع آب، کشاورزی، صنعت، اقتصاد، بهداشت و ... را تحت تأثیر قرار می‌دهد، لذا پایش و ارزشیابی این بلیه در آینده به منظور ارایه‌ی برنامه ریزی صحیح در بخش‌های مختلف جامعه، امری لازم و ضروری است. در مطالعات خشکسالی اغلب از آمار

داده‌ها می‌پردازد آمار فضایی گفته می‌شود. در واقع، در آمار فضایی سعی بر این است که بین مقادیر مختلف یک متغیر، از حیث فاصله و جهت قرار گرفتن آن‌ها نسبت به هم، ارتباط برقرار شود (عسگری، ۱۳۹۰). این ارتباط فضایی، که معمولاً در قالب روابط ریاضی بیان می‌شود، ساختار فضایی نام دارد. بنابراین، آمار فضایی به بررسی متغیرهایی می‌پردازد که ساختار فضایی دارند. در جهان بکارگیری تحلیل‌های فضایی (Spatial analyst) سرعت در حال رشد است و امروزه در سازمان‌های بین‌المللی و تحقیقاتی مرتبط با اقلیم شناسی توجه به تحلیل‌های فضایی یکی از ارکان سازمان شده است. کلین و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی لکه‌های خشک و مرطوب منطقه آند پرداختند. دینبوق و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی تغییرات آب و هوایی و نقاط داغ ایالات متحده آمریکا پرداختند. اوهایون (۲۰۱۱) با استفاده از فراسنجهای اقلیمی متوسط درجه حرارت ماهانه و متوسط کمینه و بیشینه دما در دوره ۳۷ ساله‌ای در سرزمینهای فلسطین اشغالی، به مقایسه نتایج روش‌های آمار فضایی و سنتی پرداخت. آلد و سایبرند (۲۰۱۲) در پژوهشی در منطقه کولمر، واقع در شمال شرق فرانسه، برای داده‌های آب و هوایی و الگوهای پراکندگی اپیدمیولوژی گونه‌های گیاهی، از رویکرد کاربردی آمار فضایی بهره برده، مناطق حساس به تغییرات آب و هوایی را مشخص کردند. بجت و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی به تجزیه و تحلیل فضایی روند دما در صربستان طی سالهای (۲۰۱۰-۱۹۶۱) پرداختند. گای و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی از داده‌های بارش حوضه سیواس در آناتولی مرکزی جهت بررسی شاخص بارش استاندارد و خشکسالی اقلیمی بهره گرفت. گمانه (۲۰۱۶) کاربرد شبکه عصبی مصنوعی را جهت تجزیه و تحلیل شاخص خشکسالی حوضه الجزایر بررسی نمود. ذوالفقار و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، شاخص خشکسالی را در چند ایستگاه مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که شبکه عصبی مصنوعی قابلیت بالایی در تخمین شاخص خشک سالی دارد. حکیم دوست و همکاران (۱۳۹۳) پژوهش با استفاده از داده بارش ۲۲ ایستگاه سینوپتیک و بارانسنجی طی سالهای (۲۰۱۰-

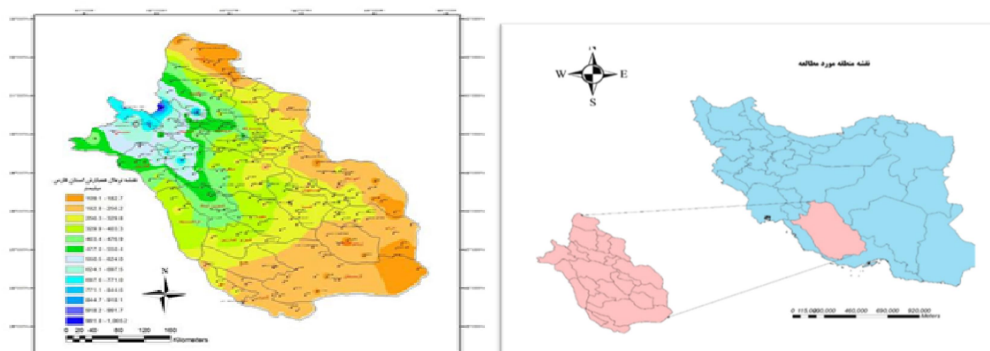
۱۹۹۸) اقدام به پهنه بندی خشکسالی با استفاده از روشهای زمین آمار گردید و همچنین جهت تحلیل فضایی خشکسالی از شاخص خود همبستگی فضایی استفاده گردید و اثرات آن بر الگوی فضایی مکان گزینی سکونتگاههای روستایی استان مازندران پرداخته شد. تحلیل فضایی پراکنش رطوبت در ایران در بازه زمانی ۱۹۸۲-۲۰۱۲ با استفاده از خود همبستگی فضایی موران جهانی، شاخص انسلین محلی موران و لکه های داغ نشان داد که پراکنش فضایی رطوبت در ایران دارای الگوی خوشه ای بالاست. در طی دوره پژوهش، بخش اعظمی از کشور دارای الگوی معناداری یا خودهمبستگی فضایی بوده است (قالهردی و همکاران، ۱۳۹۴). ملکی و همکار (۱۳۹۵) به پهنه بندی بحران خشکسالی با نمایه‌های Topsis و PNPI، SIAP در استان یزد و صلاحی و همکار (۱۳۹۵) با استفاده از آماره خودهمبستگی فضایی به تحلیل فضایی خشکسالی اقلیمی شمال غرب ایران و خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۵) به مدلسازی و پیش‌بینی روند بارش و خشکسالی شمال غرب ایران برای کاهش مخاطرات و خسروی و همکار (۱۳۹۵) به آنالیز خطا در ارزیابی شاخص خشکسالی SPI با استفاده از زمین آمار؛ در استان بوشهر پرداختند. همچنین در سال ۱۳۹۶ صمدی و همکاران به تحلیل روش پس پردازش خروجی مدل‌های دینامیکی با استفاده از داده‌های شبکه بر روی خشکسالی شمال غرب ایران و وفایی جهان و همکار با مدل‌های مارکوفی ترکیبی به پیش‌بینی خشکسالی و سطح بارندگی در ایران و نورمحمدی همکاران به تحلیل سری‌های زمانی- مکانی خشکسالی، دشت مشهد در حوزه آبخیز کشف رود؛ وزاری و همکاران با استفاده از شاخص استاندارد بارش و زنجیره مارکوف به پایش و پیش‌بینی خشکسالی ماهانه در جنوب شرق کشور، و در سال ۱۳۹۷ ترابی بوده و همکاران به تخمین خشکسالی با استفاده از شبکه های هوشمند، سلطانی گردفرامزنی و همکاران با استفاده از روش های زمین آماری و GIS در دشت یزد- اردکان، به تحلیل اثرات خشکسالی‌های اقلیمی و جویباری مقدم و همکاران، به منظور بررسی احتمال خشکسالی در حوزه کشاورزی شرق اصفهان، زنجیره مارکوف و تقریب سمبلیک (SAX) به کار گرفتند. در سال ۱۳۹۸

فضایی برای پایش خشکسالی در بستر GIS یکی از روش‌های کارآمد و مقیداست چون بر خلاف آمار کلاسیک در مکان جغرافیایی سیر کرده و باعث پردازش واقعی داده‌های می‌شود.

### منطقه مورد مطالعه

استان فارس در جنوب منطقه مرکزی ایران بین مدارهای ۲۷ درجه و ۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. این استان از شمال با استان اصفهان و یزد، از مغرب با استان‌های کهگیلویه و بویر احمد و بوشهر، از جنوب با استان هرمزگان و از شرق با استان کرمان همسایه است. شکل (۱) موقعیت و خطوط همبارش اقلیمی استان فارس را نشان می‌دهد.

نیز بررسی خشکسالی مورد توجه محققین زیادی قرار گرفته از جمله؛ ناجی عظیمی و همکاران؛ با استفاده از روشهای تصمیم‌گیری چندشاخصه فازی به مدیریت ریسک خشکسالی کشاورزی در شهرستان فردوس؛ و حجازی‌زاده و همکار به تحلیل آمار فضایی خشکسالی در کشور پرداخته‌اند مطالعات انجام شده در ایران نشان می‌دهد که در پژوهش‌های اقلیمی در سطح کشور، با وجود قابلیت‌های زیاد آمار فضایی در تحلیل داده‌ها، از قابلیت‌های توابع تحلیلی آن همچون تحلیل لکه‌های داغ بهره‌کافی برده نشده است. هدف کلی از این تحقیق، تحلیل فضایی خشکسالی‌های بلند مدت در بازه زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ میلادی در استان فارس می‌باشد. برای دستیابی به این هدف، از اطلاعات بارش ماهیانه نه ایستگاه سینوپتیکی منتخب و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده گردید. چرا که آمار



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و نواحی همبارش استان فارس

سپس پهنه بندی گردید تا درحد امکان از خطاهای ناشی از اختلاف روش‌های پهنه بندی اجتناب گردد.

### مواد و روش‌ها

داده‌هایی که برای تحلیل و تجزیه در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت شامل داده‌های بارندگی سالیانه ۹ ایستگاه منتخب هواشناسی در سطح استان فارس (جدول ۱) در طول سالهای ۱۹۹۰-۲۰۱۴ میلادی (دوره آماری ۲۵ ساله) بود که به صورت فایل‌های ذخیره شده از اداره کل هواشناسی استان، گرفته شد. پس از جمع‌آوری داده‌های بارش مربوط به ایستگاه‌های مورد مطالعه از سازمان هواشناسی استان فارس، ابتدا بارش بر روی نقاط شبکه پهنه بندی و در ادامه شاخص خشکسالی SPI بر روی داده‌های درون‌یابی شده نقاط شبکه محاسبه شده و

جدول ۱- موقعیت ایستگاه های مورد مطالعه

ارتفاع	عرض شمالی	طول شرقی	نام ایستگاه
۲۰۳۰	31° 11'	52° 30'	آباده
۱۲۱۴	28° 38'	54° 41'	داراب
۱۰۱۷	۳۰°۱۲'	۲۷°۵۰'	درودزن
۱۶۰۰	29° 47'	52° 43'	زرقان
۱۴۸۴	29° 36'	52° 32'	شیراز
۱۲۸۸	28° 58'	53° 41'	فسا
۱۳۳۰	28° 52'	52° 32'	فیروزآباد
۷۹۲	27° 41'	54° 17'	لارستان
۲۱۰۰	29° 11'	54° 19'	نیریز

دقت هر کدام از نقشه ها تعیین شد همچنین با استفاده از توابع ریشه دوم میانگین مربع خطا و میانگین مطلق خطا، نقشه ها با یکدیگر مقایسه شد.

### شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

این شاخص در سال ۱۹۹۳ توسط مک کی و همکاران به منظور پایش خشکسالی ها ابداع گردید. به تجربه ثابت شده است که توزیع احتمال بارش در یک ایستگاه غالباً از تابع توزیع احتمال گاما پیروی می کند. تابع چگالی احتمال این توزیع بصورت زیر است:

$$f(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(\frac{\alpha}{\beta})} X^{a-1} e^{-x/\beta} \quad (1)$$

که در این رابطه X مقدار بارندگی (متغیر)  $\alpha$  پارامتر شکل،  $\beta$  پارامتر مقیاس توزیع و  $\Gamma(\alpha)$  تابع گاما است که رابطه آن بصورت زیر است:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  بهینه نیز از طریق روابط زیر حساب می شود:

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

که در آن:

### روشهای درون یابی زمین آماری (Geostatistical)

روش های زمین آمار توابع ریاضی و آماری را در درون یابی به کار می گیرند و بر پایه ویژگی های آماری داده ها می باشند. این تکنیک نقاط مجهول را بر اساس خود همبستگی بین نقاط اندازه گیری شده و ساختار فضایی آنها پیش بینی می کند. درون یابی زمین آماری، یک درون یابی غیر دقیق است که در آن نقاط پیش بینی شده با اندازه های واقعی تفاوت دارد. این روش می تواند از تأثیر داده های نادر مثل حداکثر ها و حداقل های مطلق جلوگیری کند. روش های موجود درون یابی عبارتند از: روش وزندهی بر اساس عکس فاصله، روش Spline، روش کریجینگ، روش درون یابی چند جمله ای محلی، روش جمله ای جهانی، روش توابع شعاع محور. در این پژوهش، جهت پهنه بندی خشکسالی بلند مدت استان فارس از مدل های کریجینگ و IDW جهت برازش شامل: IDW با سه توان ۱، ۲، ۳ و روش کریجینگ با مدل های کروی، دایره ای، نمایی، گوسین بوده که با دو تکنیک کریجینگ ساده و معمولی و استفاده از تابع پایه شعاعی (RBF) شامل مدل اسپلاین کاملاً منظم، مولتی کوادریک معکوس، انجام شد. صحت و دقت هر یک از نقشه ها تولید شده محاسبه گردید، که در این خصوص مقادیر اولیه در ساخت نقشه ها، با مقادیر محاسبه و تخمین زده شده، روی نمودار برازش قرار گرفته و با استفاده از محاسبه ضریب تعیین و همبستگی پیرسون، میزان

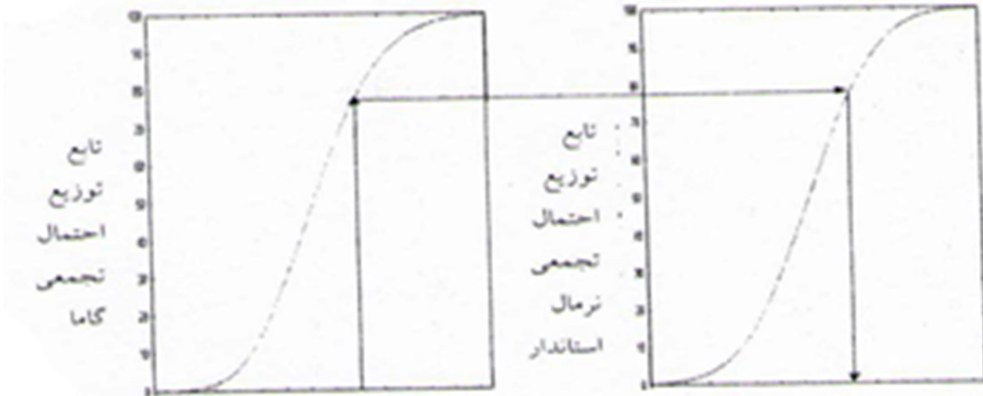
گام بعدی در محاسبه SPI، انتقال احتمال تجمعی از توزیع گامای بدست آمده به توزیع نرمال استاندارد تجمعی با میانگین صفر و انحراف از معیار یک می باشد. در واقع SPI عبارت است از تغییری از تابع توزیع نرمال استاندارد که مقدار احتمال تجمعی آن با مقدار احتمال تجمعی متغیر مورد نظر از تابع توزیع گامای بدست آمده مساوی باشد. بهترین حالت انتقال یک متغیر از یک توزیع آماری به توزیع آماری دیگر، انتقال هم احتمال می باشد که در آن احتمال های کمتر یا مساوی دو متغیر از دو توزیع برابر با هم فرض می شوند. چگونگی تعیین شاخص SPI در شکل ۲ نشان داده شده است.

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha}$$

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

که  $n$  تعداد مشاهدات بارش می باشد. برای محاسبه شاخص SPI ابتدا یک توزیع گاما با پارامترهای محاسبه شده به اطلاعات بارش هر ایستگاه برازش داده می شود. پارامترهای  $\alpha$  و  $\beta$  برای هر سری بارش باید بطور جداگانه محاسبه شود. در محاسبه شاخص SPI از تابع توزیع احتمال تجمعی استفاده می شود که احتمال تجمعی از رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$F(x) = \int_0^x f(x)dx = \frac{1}{\beta\Gamma(\alpha)} \int_0^x X^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (4)$$



شکل ۲- طرح چگونگی تعیین شاخص SPI

میانگین صفر و انحراف معیار یک است محاسبه می گردد. این مقدار همان شاخص SPI است. روابط زیر مقادیر  $Z$  یا  $SPI$  را روی مقادیر  $H(x)$  ارایه می دهد. جدول ۲ طبقه بندی خشکسالی ها را بر اساس شاخص  $SPI$  را نشان می دهد.

$$Z = SPI = - \left[ t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (7)$$

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

$$0 < H(x) < 0.5$$

$$0.5 < H(x) < 1$$

و برای

چون تابع گاما برای  $x=0$  (بارندگی صفر ملی متر) تعریف نشده است و توزیع بارش ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، احتمال تجمعی کل که دربرگیرنده مقادیر صفر نیز باشد از رابطه زیر بدست می آید:

$$(5)$$

$H(x) = q + pf(x)$  که  $q$  احتمال صفر بودن مقدار بارندگی و  $P=1-q$  می باشد اگر  $m$  تعداد داده های بارندگی صفر در سری زمانی  $n$  تایی باشد آنگاه،  $q$  از رابطه زیر بدست می آید:

$$q = \frac{m}{n} \quad (6)$$

پس از محاسبه احتمال تجمعی کل،  $H(x)$ ، مقدار متغیر تصادفی نرمال استاندارد هم احتمال با احتمال مذکور که دارای

$$C_0 = 2.515517$$

$$d_2 = 0.189269$$

$$d_3 = 0.001308$$

$$C_1 = 0.802853$$

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

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

ثابت های معادلات فوق الذکر عبارتند از :

$$d_1 = 1.432188$$

جدول ۲- طبقه بندی خشکسالی را براساس شاخص SPI

شاخص SPI	نوع خشکسالی	شاخص SPI	نوع خشکسالی
۱ تا -۱.۴۹	متوسط	۰ تا -۰.۹۹	ملايم
-۲ و کمتر	بسیار شدید	-۱.۵ تا -۱.۹۹	شدید

که در آن:

$$E[I] = -\frac{1}{(n-1)}$$

که در آن n تعداد واحدهای ناحیه ای، ضریب مورد انتظار است.

$$V[I] = E[I^2] - (E[I])^2$$

از روی مقدار عددی به دست آمده می توان الگوی پدیده مورد بررسی را تشخیص داد در صورتی که مقدار شاخص موران به عدد یک نزدیک باشد اشاره به این مطلب است که الگوی پدیده به صورت خوشه ای است. و اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد منفی یک باشد آنگاه نشان می دهد که داده ها دارای الگوی پراکنده هستند.

### تحلیل خوشه و ناخوشه یا شاخص انسلین محلی موران

یکی از ابزارهای مفید برای نمایش توزیع آماری پدیده ها در فضا تحلیل خوشه و ناخوشه است که به شاخص انسلین محلی موران معروف است. (انسلین و همکاران، ۲۰۰۲) در تحلیل خوشه و ناخوشه با چهار دسته پراکنده روبرو خواهیم شد. ناحیه ای که در آن X و Y هر دو مثبت هستند را H-H یا نقاط بالا-بالا می گوئیم. هرگاه دو پیکسل (دو همسایه) را انتخاب کنیم به گونه ای که هر دو پیکسل (دو همسایه) دارای ارزش

### شاخص موران عمومی

خودهمبستگی به رابطه بین مقادیر باقیمانده در طول خط رگرسیون مربوط می شود. و خودهمبستگی وقتی قوی معرفی می شود. اولاً که مقادیر یک متغیر که از نظر جغرافیایی به هم نزدیک هستند با هم مرتبط باشند. ثانياً مقادیر باقیمانده شدیداً با هم در ارتباط باشند. تحلیل خودهمبستگی فضایی در مواقعی که بخواهیم الگوی یک عارضه را با در نظر گرفتن مقادیر یک ویژگی خاص مورد بررسی قرار دهیم مورد استفاده قرار می گیرد (عسگری، ۱۳۹۰). فرضیه های مورد استفاده در آزمون شاخص موران عمومی به صورت فرضیه صفر (H0): بیان می کند که هیچ نوع خوشه بندی فضایی در مقادیر خصیصه مورد مطالعه برای عوارض موجود در لایه مورد نظر وجود ندارد و فرضیه مقابل (H1): بیان می کند که الگوی فضایی در مقادیر خصیصه مورد مطالعه برای عوارض موجود در لایه مورد نظر وجود دارد. شاخص موران برای خودهمبستگی فضایی به صورت زیر محاسبه می شود.

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (8)$$

$W_{ij}$  وزن فضایی بین عارضه  $i$  و  $j$  می باشد،  $n$  تعداد کل عوارض جغرافیایی موجود در لایه مورد استفاده است. نمره استاندارد برای آماره موران از طریق زیر محاسبه می شود.

$$Z_I = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad (9)$$

در آمار فضایی می‌توان از شاخص یا لکه‌های داغ برای تهیه نقشه خوشه‌ها استفاده کرد. آماره را به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$G_i = \frac{\sum_j \omega_{ij}(d)x_j - W_i \bar{x}}{s(i)\{[(m-1)S_{1i} - W_i^2]/(m-2)\}^{1/2}} \quad j \neq i \quad (12)$$

و همه زها:

$$G_i^* = \frac{\sum_j \omega_{ij}(d)x_j - W_i^* \bar{x}}{s\{[mS_{1i}^* - W_i^{*2}]/(m-1)\}^{1/2}} \quad (13)$$

که در اینجا:

$$W_i = \sum_{j \neq i} \omega_{ij}(d) \quad W_i^* = W_i + \omega_{ii}(d)$$

$$S_{1i} = \sum_{j \neq i} \{\omega_{ij}(d)\}^2$$

$$S_{1i}^* = \sum_j \{\omega_{ij}(d)\}^2$$

مولفه  $\omega_{ij}(d)$  یک وزن فضایی است که نشان‌دهنده مجاورت (نزدیکی) میان مناطق  $i$  و  $j$  است. همچنین،  $\bar{x}$  و  $S$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار مجموعه  $x_i (i = 1, \dots, m)$  مشاهده شده هستند. جدول (۳) طبقه‌بندی نمره استاندارد در تحلیل نوع پراکنش داده‌های مکان محور را نشان می‌دهد.

(۱۴)

$$s^2(i) = \sum_j x_j^2 / (m-1) - \left\{ \sum_j x_j / (m-1) \right\}^2$$

### شاخص یا لکه‌های داغ

جدول ۳- طبقه‌بندی نمره استاندارد در تحلیل نوع پراکنش داده‌های مکان محور

ردیف	نمره استاندارد	سطح معنی داری	نوع الگوی پراکنش فضایی
۱	< -۲.۵۸	۰.۰۱	خوشه‌ای قوی - سرد/سرد
۲	-۲.۵۸ تا -۱.۹۶	۰.۰۵	خوشه‌ای متوسط - سرد/سرد
۳	-۱.۹۶ تا -۱.۶۵	۰.۱	خوشه‌ای ضعیف - سرد/سرد
۴	۱.۶۵ تا ۱.۶۵	.....	تصادفی - توزیع ناموزون
۵	۱.۹۶ - ۱.۶۵	۰.۱	خوشه - ای ضعیف - داغ/داغ
۶	۲.۵۸ - ۱.۹۶	۰.۰۵	خوشه‌ای متوسط - داغ/داغ
۷	> ۲.۵۸	۰.۰۱	خوشه‌ای قوی - داغ/داغ

**بحث و یافته ها****تعیین بهترین مدل درونیایی فضایی خشکسالی های فارس**

در این پژوهش ابتدا بارش بر روی نقاط شبکه پهنه بندی شد و در ادامه شاخص خشکسالی بر روی داده های درون یابی شده نقاط شبکه محاسبه شده و سپس پهنه بندی گردد تا این که تا حد ممکن از خطاهای ناشی از اختلاف روش های پهنه بندی اجتناب شود. جهت پهنه بندی خشکسالی در استان فارس داده های شاخص استاندارد بارش (SPI) مورد مطالعه وارد پایگاه داده اطلاعات GIS گردید و با استفاده از فنون زمین آمار اقدام به پهنه بندی فراوانی خشکسالی های بلند مدت در سه رده خشکسالی ملایم، خشکسالی متوسط و خشکسالی شدید شد. نتایج نشان داد که روش وزن دهی معکوس با ضریب تعیین ۰/۷۵ بهترین مدل جهت پهنه بندی خشکسالی می باشد. پس از تعیین بهترین مدل جهت پهنه بندی خشکسالی ها در مقیاس زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در استان فارس، اقدام به تهیه نقشه های پهنه بندی فراوانی خشکسالی ها در مقیاس زمانی بلند مدت در طی دوره آماری (۱۹۹۰-۲۰۱۴) در استان فارس با استفاده از نرم افزار Arc Map 10.3 شد.

فضای استان با فراوانی صفر در ایستگاه های نی ریز و سددرو وزن مشاهده می شود (شکل ۳).

**فراوانی سه رده خشکسالی در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه**  
در رده خشکسالی ملایم، به ترتیب ایستگاه های فسا، نی ریز با تعداد ۶ و ۴ بیشترین فراوانی را در طول این دوره آماری را دارا بوده اند. در رده خشکسالی متوسط بیشترین فراوانی خشکسالی متعلق به ایستگاه های شیراز، نی ریز، لار و درودزن با تعداد ۳ رخداد بوده است. در رده خشکسالی شدید ایستگاه آباده با تعداد ۴ بالاترین فراوانی ۲۵ سال اخیر را در بین بقیه ایستگاه های مورد مطالعه داشته است. از نظر توزیع مکانی در رده خشکسالی ملایم، قسمت اعظم استان در رده فراوانی ۲ تا ۳ مشاهده می شود. کمترین فضای استان تحت پوشش گروه اول یعنی فراوانی ۰ تا ۱ می باشد. در فراوانی مکانی رده متوسط، فراوانی ۱ تا ۲ بیشترین فضای استان را اشغال کرده است. در رده خشکسالی شدید، قسمت های شرقی و غربی استان دارای فراوانی ۰ تا ۱ بوده است. بیشتر فضای استان را فراوانی ۱ تا اشغال کرده است. (شکل ۴).

**فراوانی سه رده خشکسالی در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه**  
بیشترین فراوانی، در رده خشکسالی ملایم، به ترتیب در ایستگاه های داراب با ۷ رخداد، فسا با ۵؛ آباده و نی ریز با ۴ رخداد بوده است. در گروه خشکسالی متوسط، بیشترین فراوانی متعلق به ایستگاه نی ریز با ۵ رخداد، ایستگاه فسا با ۴ رخداد، سپس ایستگاه شیراز و لار با ۳ رخداد بوده است. در رده خشکسالی شدید، بیشترین فراوانی متعلق به ترتیب در ایستگاه های آباده، فیروزآباد و زرقان بوده است. کمترین فراوانی این گروه متعلق به ایستگاه های نی ریز، شیراز، لار و داراب می باشد. از نظر توزیع مکانی در رده خشکسالی ملایم، فراوانی بین ۶ تا ۷ کمترین فضای استان را پوشش داده و بیشترین فضای استان در اشغال گروه فراوانی ۲ تا ۳ می باشد. در رده خشکسالی متوسط مناطق شمالی، شمال غرب، غرب و قسمتی از جنوب شرق که بیشترین پهنه استان را شامل می شود، دارای فراوانی بین ۱ تا ۲ بوده است. در توزیع مکانی رده

**فراوانی سه رده خشکسالی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه**

در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه بیشترین فراوانی خشکسالی در رده خشکسالی خفیف در ایستگاه زرقان با ۶ رخداد و سپس ایستگاه های شیراز و فسا با ۵ رخداد بوده است. کمترین فراوانی متعلق به ایستگاه فیروزآباد می باشد. در رده خشکسالی متوسط بیشترین فراوانی خشکسالی در ایستگاه درودزن با ۴ رخداد بوده است. کمترین فراوانی رخداد در ایستگاه های آباده، فیروزآباد و لار بوده است. در رده خشکسالی شدید قسمت اعظم استان فراوانی خشکسالی آن ها ۱ بوده است. از نظر توزیع مکانی در رده خشکسالی ملایم بیشترین فضای استان در اشغال گروه فراوانی ۳ تا ۴ رخداد بوده است. در رده خشکسالی متوسط، فراوانی بین ۱ تا بیشترین فضای استان را پوشش داده و کمترین فضای استان تحت پوشش فراوانی ۳ تا ۴ می باشد. در فراوانی مکانی رده خشکسالی شدید، کمترین



نتایج حاصل از کاربرد شاخص موران درخصوص توزیع فضایی خشکسالی ۲۴ ماهه در شکل ۹ نشان داده شده است، از آنجایی که شاخص موران محاسبه شده مثبت و برابر  $0.995650$  است که نشانگر خوشه‌ای بودن توزیع فضایی خشکسالی ۲۴ ماهه در استان است. با توجه به اینکه مقدار  $Z_{Score}=248/588719$  محاسبه شده در سطح اطمینان  $sig.L=0.01$  بزرگتر از مقدار مورد انتظار ( $2EI=0.58$ ) است، در نتیجه خوشه‌ای بودن توزیع فضایی خشکسالی ۲۴ ماهه و ضریب موران مورد تأیید واقع می‌گردد. شکل شماره (۹) و (۱۰).

با توجه به شکل (۱۰) می‌توان گفت که ایستگاه‌های نیریز، داراب، درودزن، زرقان، و شیراز از لحاظ توزیع فضایی خشکسالی شدید ۲۴ ماهه در خوشه مقادیر پایین قرار می‌گیرند و ایستگاه‌های فسا، لار و آباد در خوشه پایین قرار می‌گیرند. نتایج شکل ۱۱ نشان می‌دهد که قسمت‌های سد درودزن، زرقان، شیراز، نیریز، و داراب دارای ضریب خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و برعکس مناطق ایستگاه‌های لار، آباد، و فسا محدوده‌هایی هستند که در واقع نقاط داغ را تشکیل می‌دهند.

نتایج حاصل از کاربرد شاخص موران درخصوص توزیع فضایی خشکسالی در شکل (۱۲) نشان داده شده است، از آنجایی که شاخص موران محاسبه شده مثبت و برابر  $1.011892$  است که نشانگر خوشه‌ای بودن توزیع فضایی خشکسالی ۴۸ ماهه است. زیرا هرچه ضریب به سمت عدد ۱ تمایل داشته باشد نشان از تمرکز بالاتر دارد. با توجه به اینکه مقدار  $Z_{Score}=252.640664$  محاسبه شده در سطح اطمینان  $sig.L=0.01$  بزرگتر از مقدار مورد انتظار ( $2EI=0.58$ ) است، در نتیجه خوشه‌ای بودن توزیع فضایی خشکسالی ۴۸ ماهه و ضریب موران مورد تأیید واقع می‌گردد. شکل شماره (۱۳) و (۱۲).

با توجه به شکل (۱۳) می‌توان گفت که ایستگاه‌های نیریز، داراب، لار، و فسا از لحاظ توزیع فضایی خشکسالی شدید ۴۸ ماهه در خوشه مقادیر زیاد قرار می‌گیرند و ایستگاه‌های زرقان، شیراز و درودزن در خوشه پایین قرار می‌گیرند. نتایج

خشکسالی شدید، قسمت‌های شمالی، مرکزی و غرب استان به صورت لکه‌هایی فراوانی ۲ تا ۳ به چشم می‌خورد. قسمت‌های از مرکز استان که به صورت لکه‌ای در اطراف ایستگاه شیراز و قسمت‌های شرق و جنوب استان فراوانی ۰ تا ۱ مشاهده می‌شود. بقیه پهنه استان فراوانی رخداد آنها بین ۱ تا ۲ می‌باشد (شکل ۵).

### تحلیل فضایی شدیدترین خشکسالی‌های بلند مدت در استان فارس

در این مرحله بعد از استخراج خشکسالی‌های شدید استان فارس به تحلیل فضایی خشکسالی در این استان می‌پردازیم. در این مرحله نقشه پهنه که حالت رستری دارد، به نقطه‌ای تبدیل می‌شود که هر پهنه هم ارزش به نقاط هم ارزش کنار هم درمی‌آیند، که گروه‌های هم ارزش شناخته می‌شوند. یکی از شاخص‌های تحلیل‌های فضایی شاخص موران است، این شاخص بر دو اصول مهم متکی است، یکی دارای یک توزیع مشخصی از شاخص‌ها است و هم بر ارزش‌های همسایگی متکی است. برای تحلیل‌های فضایی خشکسالی استان فارس با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.3 و با ابزار موجود Spatial Statistics Tools که بسیار منعطف است استفاده شد.

نتایج حاصل از کاربرد شاخص موران درخصوص توزیع فضایی خشکسالی ۱۲ ماهه در شکل (۶) نشان داده شده است، از آنجایی که شاخص موران محاسبه شده مثبت و برابر  $0.993480$  است که نشانگر خوشه‌ای بودن توزیع فضایی خشکسالی ۱۲ ماهه در استان است. با توجه به اینکه مقدار  $Z_{Score}=248.04664$  محاسبه شده در سطح اطمینان  $sig.L=0.01$  بزرگتر از مقدار مورد انتظار ( $2EI=0.58$ ) است، در نتیجه خوشه‌ای بودن توزیع فضایی خشکسالی ۱۲ ماهه و ضریب موران مورد تأیید واقع می‌گردد. شکل شماره (۶) و (۷). نتایج شکل (۸) نشان می‌دهد که قسمت‌های سد درودزن، نیریز، آباد و داراب دارای ضریب خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و برعکس مناطق ایستگاه‌های لار، فیروز آباد، و فسا نقاط داغ را تشکیل می‌دهند.

ضعف‌های متفاوت تجربه می‌کنند. از نظر شدت خشکسالی نتایج بررسی بیانگر این است که هر قدر مقیاس زمانی طولانی‌تر شود، مقدار SPI نیز بالاتر می‌رود. اما قدر مطلق خشکسالی کم می‌شود. بدین ترتیب در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه با مقدار ۲/۵۹-، ایستگاه نی ریز و شیراز در مقیاس ۲۴ ماهه با مقدار ۲/۴۹- و در نهایت ایستگاه درودزن در مقیاس ۴۸ ماهه با مقدار ۲/۴۲- پایین‌ترین ارقام SPI را در مقایسه با سایر نواحی تحت مطالعه دارا بوده‌اند. اگرچه، تحلیل بارش و نوسانات آن، با داده‌های طولانی (۱۹۹۰-۲۰۱۴) صورت پذیرفت، ولی مسلماً با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک مسلط بر استان، ضرورت نیاز به داده‌های طولانی‌تر؛ برای آشکارسازی بهتر موضوع احساس می‌شود. چراکه؛ با توجه به مطالعه انجام شده نمی‌توان یک الگوی خاص زمانی و تا حدی مکانی دقیق برای پدیده خشکسالی در استان ترسیم نمود و نیازمند مطالعات بیشتر در این زمینه است. اما در کل، با استفاده از بیضی انحرافی استاندارد، جهت غالب خشکسالی در منطقه مورد مطالعه از شمال غربی به سمت جنوب شرقی است. به عبارت دیگر از شمال غربی به سمت جنوب شرقی بر تعداد فراوانی خشکسالی افزوده می‌شود.

### منابع

۱. بابایی، ا. ب، علیجانی، ۱۳۹۲، تحلیل فضایی خشکسالی‌های بلندمدت ایران، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، سال ۴۵، شماره ۳، صفحات ۱ تا ۱۲.
۲. بداق جمالی، ج.، ۱۳۸۱، پایش و پهنه‌بندی وضعیت خشکسالی استان خراسان با استفاده از نمایه استاندارد شده بارش، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۷، سال هفدهم.
۳. ترابی پوده، ح. ر، دهقانی. س، رستمی، ۱۳۹۷، تخمین خشکسالی در استان لرستان با استفاده از شبکه‌های هوشمند، مجله پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، شماره ۳۵.
۴. جویباری مقدم، ی. س، ق، رستمی، ۱۳۹۷، به‌کارگیری زنجیره مارکوف و تقریب سمبلیک (SAX) به‌منظور بررسی احتمال خشکسالی در حوزه کشاورزی (مطالعه

موران نشان می‌دهد که خشکسالی مکانی استان فارس یک حالت خوشه‌ای را داراست. البته این تحلیل نمی‌تواند به شناسایی انواع گوناگونی از طبقه‌بندی الگوهای فضایی بپردازد که با استفاده از تحلیل آماره عمومی G این نقیصه را پوشش دادیم. نتایج شکل (۱۴) نشان می‌دهد که قسمت‌های سد درودزن، زرقان و شیراز دارای ضریب خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و برعکس در مناطق شرق و جنوب شرقی استان شامل ایستگاه‌های لار، نیریز، و جنت شهر داراب محدوده‌هایی هستند که در واقع نقاط داغ را تشکیل می‌دهند. شدیدترین خشکسالی‌های ایستگاه‌های منتخب استان فارس در جدول ۴ آورده شده است.

### نتیجه‌گیری

خشکسالی، بخشی از رفتار سیستم‌های طبیعی بوده و پتانسیل وقوع در هر شرایط اقلیمی را دارد. پژوهش حاضر با هدف، بررسی خشکسالی در استان فارس، صورت پذیرفت. استان فارس با گستردگی زیاد در راستای طول جغرافیایی، از شرایط توپوگرافیکی و ژئومورفولوژیکی متفاوتی برخوردار است. نزدیکی به پهنه‌های آبی جنوب، واقع شدن بین بیابان‌های داخل کشور و عربستان و.... شرایط این استان را از نظر دریافت بارش، در دوره‌های مختلف ویژه ساخته است. در این تحقیق به تحلیل فضایی خشکسالی‌های بلند مدت استان فارس با استفاده از شاخص محلی موران و تحلیل لکه‌های داغ پرداخته شد. یافته‌ها، نشان دهنده این واقعیت بود که؛ چون ایستگاه‌های انتخابی تاحدی، در شرایط اقلیمی متفاوت قرار داشت، انتظار روند خشکسالی‌های مشابه و یکسان دور از انتظار است. و تغییر رفتار سری‌های بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه استان، یکنواخت نبوده و گویای وجود الگوهای متفاوت است. نتایج پژوهش حاکی از آن است که روش‌های تحلیل آمار فضایی می‌تواند خوشه‌های مناسب خشکسالی را شناسایی کند. و نتایج شاخص موران در مورد خشکسالی، مثبت و نشان دهنده خود همبستگی فضایی شاخص SPI و برخورداری از الگوی خوشه‌ای بود. ویژگی‌های خشکسالی استان نشان می‌دهد که تقریباً تمامی نقاط استان رخداد خشکسالی را با شدت و

۱۴. صمدی، س. ب، ساری صراف. م، حبیبی نوخندان. ع، ا، رسولی. ش، ملبوسی، ۱۳۹۶، تحلیل روش پس پردازش خروجی مدل‌های دینامیکی با استفاده از داده‌های شبکه بر روی خشکسالی شمال غرب ایران، مجله پژوهش‌های اقلیم شناسی» شماره ۲۹ و ۳۰.
۱۵. عسکری، ع. ، ۱۳۹۰، تحلیل‌های آمار فضایی با ArcGIS، انتشارات شرکت پردازش و برنامه ریزی شهری، تهران.
۱۶. علیزاده، ا. ، ۱۳۸۱، آیا می‌توان خشکسالی را پیش بینی و با آن مقابله نمود؟، فصلنامه علمی- ترویجی خشکی و خشکسالی، شماره ۶.
۱۷. فرج زاده، م. ، ۱۳۷۴، خشکسالی در ایران با استفاده از برخی شاخص‌های آماری، نشریه دانش کشاورزی، شماره ۱ و ۲ (جلد پنجم)، صفحات ۳۱ تا ۵۱.
۱۸. قاهردهی، غ. ع.، اسدی، م، داداشی رودباری، ع. (۱۳۹۴). تحلیل فضایی پراکنش رطوبت در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۴۷(۴): ۶۳۷-۶۵۰.
۱۹. قویدل رحیمی، ی.، ۱۳۸۲، کاربرد نمایه‌های مبتنی بر بارش در خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها، مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۶۵.
۲۰. کاویانی، م، ر.، ۱۳۷۸، بررسی اقلیمی شاخص‌های خشکی و خشکسالی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۰، ص ۷۱.
۲۱. کمالی، غ. ع. ل، خزانه‌داری، ۱۳۸۱، تحلیل خشکسالی اخیر مشهد با بکارگیری شاخص‌های خشکسالی، نیوار، مجله علمی و فنی سازمان هواشناسی کشور، شماره ۴۴ و ۴۵، بهار و تابستان.
۲۲. محمدی، ک.، ۱۳۸۲، پهنه‌بندی خشکسالی اقلیمی در حوزه مارون با استفاده از شاخص آماری SIAP، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان، ۲۹ مهر الی اول آبان ۱۳۸۲.
۲۳. ناجی عظیمی، ز. س، حرثی. س، م، خلیلی، ۱۳۹۸، مدیریت ریسک خشکسالی کشاورزی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه فازی در شهرستان فردوس، اقتصاد کشاورزی و توسعه، شماره ۱۰۵.
- موردی: منطقه شرقی اصفهان)مجله دانش مخاطرات، دوره پنجم، شماره ۳.
۵. جوی زاده، س، ۱۳۸۷، پایش خشکسالی در استان فارس، همایش مقابله با سوانح طبیعی دانشگاه تهران.
۶. حجازی‌زاده، ز. س، جوی‌زاده، ۱۳۹۸، تحلیل آمار فضایی خشکسالی در ایران، مجله تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۵۳.
۷. حکیم دوست، ی. م، رستگار. ع، م، پورزیدی. ح، حاتمی، ۱۳۹۳، تحلیل فضایی خشکسالی اقلیمی و اثرات آن بر الگوی فضایی مکان‌گزینی سکونتگاه‌های روستایی (مطالعه موردی روستاهای استان مازندران)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره یازدهم ۶۱-۷۵.
۸. خسروی، ی. غ، ع، مظفری، ۱۳۹۵. آنالیز خطا در ارزیابی شاخص خشکسالی SPI با استفاده از زمین آمار، مطالعه موردی استان بوشهر، مجله جغرافیا، شماره ۴۸.
۹. خورشیددوست، ع، م. ع. ، ا، رسولی. س، زنگنه، ۱۳۹۵، مدل‌سازی و پیش‌بینی روند بارش و خشکسالی شمال غرب ایران برای کاهش مخاطرات، مجله دانش مخاطرات، دوره سوم، شماره ۳.
۱۰. زارعی، ع. م، م، مقیمی، م، بهرامی، ۱۳۹۶، پایش و پیش‌بینی خشکسالی ماهانه با استفاده از شاخص استاندارد بارش و زنجیره مارکوف مطالعه موردی: جنوب شرق ایران، مجله جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۲۳.
۱۱. سازمان هواشناسی کشوری.
۱۲. سلطانی‌گرددفرامرزی، م. غ، م، مظفری، ش، شفیعی، ۱۳۹۷، تحلیل اثرات خشکسالی‌های اقلیمی اخیر بر میزان شوری آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آماری و GIS در دشت یزد- اردکان، مجله اطلاعات جغرافیایی، شماره ۱۰۶.
۱۳. صلاحی، ب. م، فریدپور، ۱۳۹۵، تحلیل فضایی خشکسالی اقلیمی شمال غرب ایران با استفاده از آماره خود همبستگی فضایی، مجله تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره ۳.

- of the Algerois Basin in North Algeria. Water Resources Management: An International Journal, Published for the European Water Resources Association (EWRA), Vol.30, No 7, pp 2445-2464.
31. Gaye, O., Yildiz, O and A. Duvan, 2015, ADrought Analysis Of Sivas Using The Artificial Neural Networks. International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering, Vol 2, No 5, pp.1-7.
  32. Hayes, Michael, J, 2002, Whean is drought? , Drought Indices climate Impacts specialist, National Drought Mitigation Center. ([Http://WWW.drought.unl.edu/what is indices.html](http://WWW.drought.unl.edu/what_is_indices.html)).
  33. Killeen, T. J., Douglas, M., Consiglio, T., Jorgensen, P. M. and Mejia, J, 2007, Dry spots and wet spots in the Andean hotspot, Journal of Biogeography. 34 (8), 1357-1373.
  34. Mckee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, 1993, The relationship of Drought frequency and duration to time scales preprints, 8th conference on Applied climatology, 17-22 January, Anaheim, C. A.
  35. Ohayon, B., 2011, Statistical Analysis of Temperature Changes in Israel: An Application of Change Point Detection and Estimation Techniques, 170-189.
  36. Zulifqar, A., I. Hussain, M. Faisal, H. Mamona Nazir, T. Hussain, M. Yosafshad, A. M. Shoukry and S. Gani, s., 2017, Forecasting Drought Using Multilayer Perceptron Artificial Neural Network Model. Advances in Meteorology, Vol. 25, No. 1, pp.1-10.
  ۲۴. نورمحمدی، س.س.، م. تاجبخش. ه، معماریان، ۱۳۹۶، بررسی اثر عنصر بارش بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی - مکانی خشکسالی (مطالعه موردی: دشت مشهد در حوزه آبخیز کشف رود)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۱.
  ۲۵. وفایی جهان، م. م.، پیوندیان شهرباف، ۱۳۹۶، پیش‌بینی خشکسالی و سطح بارندگی در ایران جهت مدیریت منابع آب مبتنی بر مدل‌های مارکوفی ترکیبی، مجله علوم جغرافیایی، شماره ۲۶.
  26. Allard, D. and Soubeyrand, S. , 2012, Skew-normality for climatic data and dispersal models for plant epidemiology: when application fields drive spatial statistics. *Spatial Statistics*, 1, 50-64.
  27. Anselin, L., Syabri, I., & Smirnov, O. , 2002, Visualizing Multivariate Spatial Correlation with Dynamically Linked Windows.
  28. Bajat, B., Blagojević, D., Kilibarda, M., Luković, J. and Tošić, I. , 2014, Spatial analysis of the temperature trends in Serbia during the period 1961–2010, *Theoretical and Applied Climatology*. 1-13.
  29. Diffenbaugh, N. S., Giorgi, F. and Pal, J. S., 2008, Climate change hotspots in the United States, *Geophysical Research Letters*. 35 (16), 140-150.
  30. Gamane, D, and Djerbouai, M, 2016, Drought Forecasting Using Neural Networks, Wavelet Neural Networks, and Stochastic Models :Case