دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

ارزیابی و کاربرد زمین‌آمار در شناسایی و تحلیل ویژگی‌های خشکسالی حوضه جازموریان

سکینه لطفی نسب اصل[۱]، آزاده گوهر دوست[۲] و محمد خسروشاهی[۳]

۱- استادیار، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،وزارت جهادکشاورزی، تهران، ایران
(نویسنده مسوول: s.lotfinasab@rifr-ac.ir)
۲- پژوهشگر، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت جهادکشاورزی، تهران، ایران
۳- دانشیار، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت جهادکشاورزی، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۹۶/۶/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۲۵

چکیده

خشکسالی به عنوان یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی پدیده‌ای است پیچیده، که تاثیرات مهمی بر روی منابع آبی و اکوسیستم‌های طبیعی گذاشته و زندگی بسیاری از جوامع انسانی را از نظر اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا ایجاد یک سیستم مدیریتی مناسب مبتنی بر شناخت ویژگی‌های خشکسالی از جنبه‌های فراوانی، شدت، تداوم و گستره و پایش آن به منظور کاهش خسارات و تبعات ناشی از آن امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. در این تحقیق با هدف درک بهتر از خشکسالی‌های حوضه جازموریان و شناخت دوره‌های خشک و تر به مطالعه ۸ ویژگی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SPI و CZI و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته شد و بدین منظور داده‌های بارش ۲۴ ایستگاه بارانسنجی در یک دوره سی ساله بین سالهای۶۳ -۱۳۶۲ تا ۹۲ -۱۳۹۱ استخراج و ارزیابی خشکسالی بر اساس آنها صورت پذیرفت. به منظور درونیابی و تهیه مناسبترین نقشه پهنه‌بندی ویژگی‌های مورد مطالعه روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و معکوس فاصله (IDW) انتخاب و مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. برای انتخاب مدل مناسب جهت برازش بر روی واریوگرام تجربی از معیار نسبت واریانس ساختار دار (Sill) به غیر ساختاردار (Nugget) استفاده شد و جهت انتخاب روش درونیابی بهینه معیارهای میانگین خطا (MBE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و انحراف استاندارد عمومی (GSD) با مقادیر کمتر و ساختار فضایی قویتر مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصله نشان داد که در مطالعه اکثریت ویژگی‌های خشکسالی روش کوکریجینگ نسبت به دو روش دیگر ارجحیت داشته و شاخص SPI وضعیت خشکسالی را با جزئیات بیشتر و بهتری نسبت به شاخص CZI ارزیابی می‌کند. از طرفی حوضه آبخیز جازموریان بخصوص در نواحی شرقی و محدوده استان سیستان و بلوچستان از حساسیت نسبتاً بالایی نسبت به پدیده خشکسالی برخوردار بوده به گونه‌ای که بر میزان فراوانی، تداوم و شدت خشکسالی‌ها به سمت نواحی شرقی و جنوب شرقی افزوده می‌شود و ساکنین این مناطق را به شدت تحت تاثیر پیامدهای ناشی از خشکسالی قرار می‌دهد. لذا پیشنهاد می‌گردد در برنامه‌ریزی‌های کلان و طرح‌های مدیریت مقابله با پدیده خشکسالی برای حوضه جازموریان به مطالعه خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف ماهانه و سالانه پرداخته و نسبت به ارایه راهکار مناسب و مجزا برای مناطق مرتفع و مناطق دشتی و پست اقدام گردد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی هواشناسی، شاخص SPI، شاخص CZI، روش‌های درونیابی، مدل نیم تغییرنما

مقدمه

خشکسالی پدیده‌ای طبیعی است اما پیچیده، که کاهش بارندگی و رطوبت نسبی به همراه افزایش درجه حرارت و سرعت باد را به همراه داشته و تاثیرات مهمی بر روی منابع آبی، اکوسیستم‌های طبیعی، جوامع و فعالیت‌های انسانی و فعالیت‌های کشاورزی می‌گذارد (۱۵). خشکسالی یک عارضه آب و هوایی است که علل وقوع و استمرار آن را در درجه اول بایستی در بی‌نظمی سیستم‌های عادی سینوپتیک جوی که عمدتاً در کنترل عوامل نجومی و فراسیاره‌ای قرار دارند، جستجو نمود. این پدیده از مهم‌ترین بلایای طبیعی است که بسیاری از کشورها را تحت تأثیر خود قرار داده و باعث بروز بسیاری مشکلات از جمله اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی شده است (۱۱). کشور ایران بر روی کمربند خشکی جهان قرار دارد و با بارندگی کمتر از یک سوم متوسط جهانی، کشوری خشک است و به این خاطر، خشکی از ویژگی‌های اصلی آب و هوای آن بوده و جزء صفات ذاتی آن محسوب می‌شود به گونه‌ای که هم در قلمرو آب و هوای مرطوب و هم خشک آن خشکسالی قابل مشاهده است. روند بارندگی در ایران حاکی از آن است که این کشور به سوی خشکی پیش می‌رود و می‌بایست برنامه‌ریزی‌ها و تدابیر در مدیریت منابع آب بر این اساس پی‌ریزی شود. تحلیل ویژگی‌های خشکسالی ایران نشان می‌دهد که بطور کلی هیچ منطقه‌ای از کشور، از این پدیده در امان نبوده و به نسبت موقعیت طبیعی خود، اثرهای این پدیده مخرب را تجربه می‌نماید. مطالعه روابط بین مجموع درصد فراوانی خشکسالی‌ها با مقادیر بارندگی، نشان داده این دو عامل از همبستگی معکوس برخوردارند، بدین معنا که به نسبت کاهش در مقادیر بارندگی به همان نسبت، فراوانی سال‌ها، ماه‌ها و فصول خشک فزونی می‌گیرد (۹). به روایت آمار می‌توان گفت کشور ایران در هر دوره ۱۰ ساله دوبار با خشکسالی مواجه می‌شود بر اساس گزارش‌ها، در سال ۱۳۸۰ حدود ۲/۶ میلیون هکتار زراعت آبی و ۴ میلیون هکتار زراعت دیم و ۱/۱ میلیون هکتار از باغات کشور تحت تاثیرخشکسالی قرار گرفته‌اند. خسارت ناشی از خشکسالی بر باغات در این سال بالغ بر ۵۲۰ میلیون

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.12.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.12]

دلار بود. بر اساس تحقیقات انجام گرفته در کشور، اثر مستقیم خسارت ناشی از کاهش هر ۱میلی‌متر بارندگی برابر ۹۸ میلیارد ریال می‌باشد. با فرض آنکه تفاوت میزان آب استحصالی در ترسالی در مقایسه با خشکسالی ۱۳ میلیارد مترمکعب باشد، خسارت کاهش سطح زیر کشت ناشی از آن برابر ۱۲۷۴ میلیارد ریال می‌گردد (۱۱). بر این اساس سیستم‌های پایش در تدوین طرح‌های مقابله با خشکسالی و مدیریت آن از اهمیت زیادی برخوردار است (۲). با توجه به این حقایق ایجاد یک سیستم مدیریتی مناسب به نحوی که با شناخت دقیق از جنبه‌های مختلف اقلیمی، اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی کشور بتوان خشکسالی‌ها را مدیریت نمود، با آن همزیستی کرد و خسارات و تبعات آن را به حداقل رسانید، امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. آگاهی از وضعیت خشکسالی، با پیش‌بینی و پهنه‌بندی شدت خشکسالی می‌تواند خطر زیان‌های ناشی از این پدیده را تا حد قابل توجهی کاهش دهد که این امر به عنوان یک اصل مهم در برنامه‌ریزی‌های کلان باید مد نظر قرار گیرد. تناوب دوره‌های خشکسالی بستگی زیادی به فاکتورهای آب و هوایی دارد که تحت تاثیر دما، رطوبت، باد، باران و... قرار دارند. ارزیابی و پایش خشکسالی و تعیین شدت، تداوم، زمان وقوع و خاتمه و توزیع مکانی و زمانی آن به منظور آمادگی در رویارویی با خطرات اقتصادی و اجتماعی ناشی از آن یکی از اقدامات مهم و اساسی است و محققان را بر آن داشته است تا شاخص‌هایی برای پایش دوره خشک و روش‌هایی را برای پهنه‌بندی آن ارائه دهند (۳۲،۶،۵،۱). اولین نشانه بروز خشکسالی، خشکسالی هواشناسی می‌باشد که شاخص‌های مختلفی نیز برای ارزیابی و پایش آن ارائه شده است مانند شاخص درصد نرمال (PN) ،شاخص استاندارد بارش (SPI) (۲۰)، شاخص شدت خشکسالی پالمر (PDSI) (۲۲)، شاخص تبخیر و تعرق و بارش استاندارد (SPEI) (۲۹)، شاخص دهک‌ها (DI) و شاخص استاندارد شده چند متغیره (MSDI) (۱۳). به طور کلی پهنه‌بندی مکانی دوره‌های خشک و توزیع منطقه‌ای آن یکی از ویژگی‌های مهمی است که باعث درک بهتری نسبت به این پدیده و بررسی دقیق‌تر آثار آن می‌شود لذا امروزه از قابلیت سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در درونیابی به منظور استخراج توزیع مکانی متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژی استفاده می‌شود. به طور کلی تکرار، تداوم و شدت خشکی همگی توابعی هستند که به طور صریح و یا غیرصریح به مقیاس زمانی وابسته‌اند. بنابراین برای پایش دوره‌های خشک، ارائه شاخصی که در آن مقیاس زمانی مد نظرقرار گرفته باشد، از اهمیت خاصی برخوردار است و برای تحلیل و بررسی این پدیده و آثار آن بر محیط کاربردهای فراوانی وجود دارد (۱). در سال‌های اخیر مطالعات فراوانی در سرتاسر جهان به منظور ارزیابی خشکسالی و کمبود منابع آبی ناشی از آن صورت گرفته است که از آن جمله عبارتند از مطالعات زو و همکاران (۳۳)، گمپ و همکاران (۱۰)، چن و لی (۷) و وانگ و همکاران (۲۹). توماس و همکاران (۲۷) بیان داشتند که خشکسالی دومین خطر طبیعی با گستره وسیع جغرافیایی است که موجب کاهش درازمدت منابع آبی اتمسفری، سطحی و زیرزمینی می‌شود. انصاری و داوری (۱) به مطالعه پهنه‌بندی دوره خشک دراستان خوزستان با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده در محیط GIS پرداختند. نتایج مطالعات آنها نشان داد از بین روش‌های مختلف درونیابی، روش کوکریجینگ روش بهینه پهنه‌بندی خشکسالی در استان خوزستان است. زمانی و همکاران (۳۲)، به ارزیابی دقت روش‌های زمین آماری کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و روش معین عکس فاصله در پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های خشکسالی روی داده در استان فارس، سال ۱۳۸۹ براساس دو شاخص ناهنجاری بارندگی (RAI) و شاخص دهک بارش (DPI) پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که در پهنه‌بندی خشکسالی براساس شاخص DPI، روش کریجینگ معمولی و در مورد شاخص RAI، روش عکس فاصله دارای نتایج بهتری نسبت به سایر روش‌های درونیابی می‌باشند. همچنین بیان کردند با توجه به نقشه‌های رسم شده براساس دو شاخص RAI و DPI ، به ترتیب ۶۰/۹۱ و ۵۱/۰۵ درصد از مساحت استان در سال ۱۳۸۹ درگیر خشکسالی بوده است. شعبانی (۲۶) با استفاده از شاخص درصد از بارش نرمال (PNI) شدت و مدت خشکسالی را در استان فارس سنجیده و با روش‌های مختلف زمین آمار نقشه‌های پهنه‌بندی شدت خشکسالی را برای این استان تهیه نمود و دریافت که روش کریجینگ بهترین روش برای تهیه نقشه شدت خشکسالی در استان فارس می‌باشد. بهشتی راد (۲) پس از مطالعه شدت خشکسالی رخ داده در استان کرمان طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۶۶ با استفاده از شاخص دهک‌ها و پهنه‌بندی نقشه شدت خشکسالی‌ها به وسیله روش‌های درونیابی کریجینگ، کوکریجینگ و معکوس فاصله دریافتند که روش کریجینگ و کوکریجینگ به دلیل داشتن جذر میانگین مربعات خطای (RMSE) کمتر مناسبترین روش‌ها در پهنه بندی شدت خشکسالی استان خوزستان است. بداق جمال و همکاران (۳) در پایش وضعیت خشکسالی استان خراسان با استفاده از SPI نشان دادند که از بین روش‌های درونیابی، روش کریجینگ و معکوس فاصله (IDW) روش‌های مناسبی برای درونیابی شدت دوره‌های خشک می‌باشد. ذبیحی و همکاران (۳۱) خصوصیات دوره‌های خشک و مرطوب را با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI در مقیاس سه‌ماهه در هفت ایستگاه سینوپتیک در غرب ایران (استان کردستان) مورد محاسبه و طبقه‌بندی قرار دادند. نتایج بدست آمده از تحقیق ایشان مشخص نمود که شاخص‌های SPIو SPEI در تعیین دوره‌های طولانی خشک و مرطوب تفاوت معنی‌داری ندارند. مقدار SPEI بالاترین تعداد تغییر بین وقوع دوره‌های خشک و مرطوب را برآورد می‌کند که با تغییرات فصلی درجه حرارت و تبخیر و تعرق محاسباتی در ارتباط می‌باشد. همچنین نشان دادند دو شاخص مذکور در تعیین شدت‌های خشک و مرطوب شدید (حدی) با توجه به ضریب همبستگی غیرمعنی‌دار، در یک راستا نیستند. سنگیتا میشرا و همکاران (۲۴) خصوصیات مکانی- زمانی خشکسالی را با استفاده از شاخص SPI مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند در سال ۲۰۰۰ خشکسالی شدید و گسترده در کل

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.12.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.12]

منطقه اتفاق افتاده و جدا از شدت خشکسالی سال‌های ۱۹۶۶، ۱۹۷۲، ۱۹۷۹، ۱۹۸۷ و ۲۰۰۰ سال‌های خشکی بوده‌اند و خشک‌ترین ماه‌ها با بررسی SPI سه ماهه می، جولای و آگوست بوده‌اند. در سال ۲۰۱۷ سانتوس و همکارانش (۲۵) به بررسی و پایش تغییرات مکانی-زمانی خشکسالی مناطق بالادست روخانه سانفرانسیسکو به کمک داده‌های ماهواره‌ای بارندگی و شاخص SPI و آنالیز خوشه‌ای پرداختند. نتایج مطالعات آنها نشان داد استفاده همزمان توزیع مکانی زمانی شاخص SPI و آنالیز خوشه‌ای و نمودارهای درختی ابزار مناسبی در شناسایی مناطق همگن از نظر خشکسالی بوده و داده‌های ماهواره‌ای بارندگی تصویر درستی از بارندگی منطقه مورد مطالعه ارایه می‌کنند.

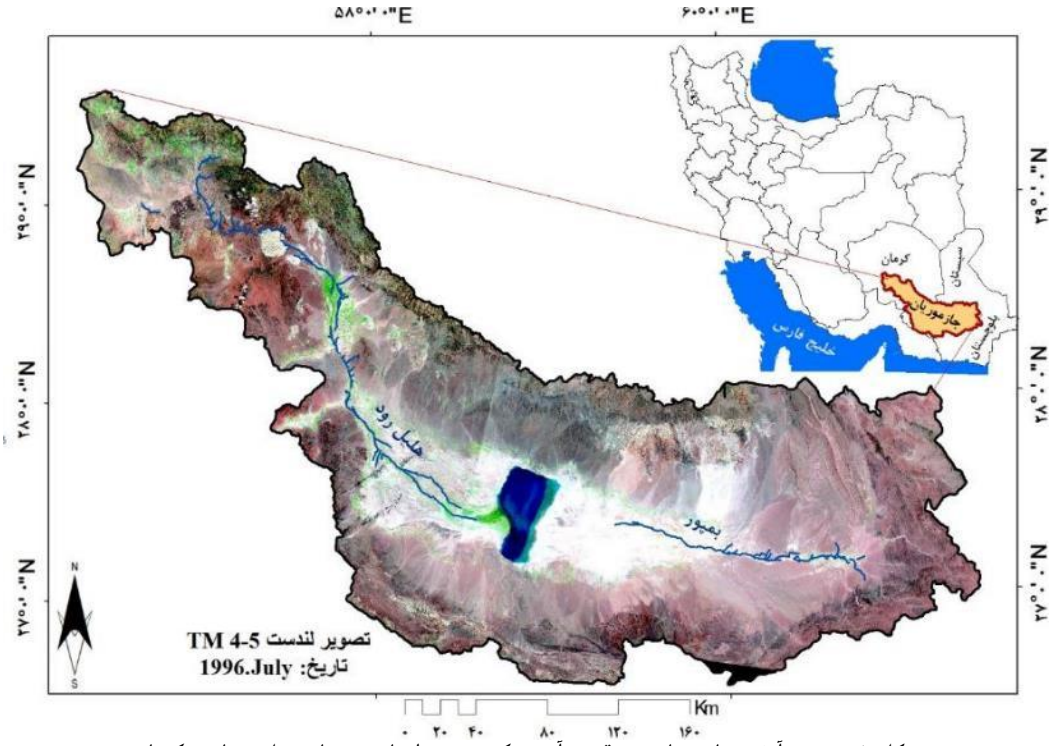
در این تحقیق با هدف درک بهتر از خشکسالی‌های حوضه جازموزیان واقع در دو استان سیستان و بلوچستان و کرمان و شناخت دوره‌های خشک و تر طی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۶۲ به مطالعه فراوانی، شدت، وسعت و دوره تداوم آنها با استفاده از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SPI و نمره Z چینی (CZI) و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته شد. از آنجا که هرگونه کاستی در انتخاب روش‌های مناسب توزیع مکانی شاخص‌های خشکسالی و بی‌توجهی به دقت روش‌های درون‌یابی می‌تواند موجب بروز خطا در برآورد طراحی و پهنه‌بندی گردد؛ برای انتخاب مناسبترین روش‌های درونیابی به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و IDW انتخاب و مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

حوضه جازموریان با وسعت ۶۹۶۹۱ کیلومتر مربع بین طول ′۱۵ °۵۶ تا ′۲۳ °۶۱ شرقی و عرض ′۲۸ °۲۶ تا ′۳۰ °۲۹ شمالی در جنوب شرق کشور در دو استان سیستان و بلوچستان و کرمان قرار دارد. از نظر تقسیم بندی هیدرولوژیک در حوضه آبخیز فلات مرکزی قرار داشته و از غرب به شرق شامل زیر حوضه‌های سلطانی، بافت، بزنجان، رابر، سراب هلیل، دشتاب، پایاب دهوج، رامون- بحرآسمان، اسفندقه، جیرفت، فاریاب شرقی، رودبارجیرفت، قلعه گنج و کم سفید، دلگان- چاه کیچی، بزمان- سردگال، اسپکه- مسکوتان، چاه‌هاشم، ایرانشهر- بمپور، ایراندگان و کارواندر می‌باشد. از سمت شمال و شمال غرب و جنوب به ترتیب توسط رشته کوه‌های بزمان و بشاگرد و از سمت شرق و غرب به ترتیب توسط رشته کوه‌های بزمان، هزار و لاله زار احاطه شده است. ۹۱رودخانهٔ کوچک و بزرگ دایمی و فصلی در این حوضه جریان دارند که عمده‌ای از زهکشی حوضه رودخانهٔ دائمی هلیل رود (بزرگترین) و بمپور را به عمل می‌آورند و در انتها به تالاب جازموریان می‌ریزند. آب و هوای این منطقه متأثر از ارتفاع از سطح دریا و عرض جغرافیایی بوده و دارای اقلیم بیابانی وگرم و خشک است. بلندترین نقطهٔ این حوضه که در دیواره‌های کوهستانی شمال آن واقع است، حدود ۳۵۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد و کمترین ارتفاع آن در چالهٔ جازموریان با حدود ۳۶۰ متر ارتفاع واقع شده است و در جهت جنوب بر ارتفاع اراضی آن افزوده می‌شود. میزان بارش سالانه در بلندی‌های شمال حوضهٔ جازموریان ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر، در بخش شرقی در شرق ایرانشهر بیشتر از ۱۵۰ میلی‌متر و در جنوب غربی کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر در سال است. میانگین تبخیر سالانه بین۱۳۰۰ تا ۳۷۵۰ میلی‌متر بوده و باد غالب از سمت غرب و شمال غرب می‌وزد. شکل ۱ نقشه حوضه جازموریان و موقعیت آن را در کشور نشان می‌دهد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.12.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.12]



شکل ۱- حوضه آبخیز جازموریان و موقعیت آن در کشور و دو استان سیستان و بلوچستان و کرمان

Figure 1. Jazmorian watershed and its location in Iran and Sistan-Baluchestan and Kerman provinces

روش تحقیق

در این تحقیق اطلاعات بارش ماهانه ایستگاه‌های بارانسنجی مبناء وزارت نیرو در حوضه جازموریان از بدو تاسیس تا پایان سال آبی ۱۳۹۱ جمع‌آوری گردید و سپس با توجه به هدف مطالعه یک پایه مشترک زمانی ۳۰ ساله از سال‌های ۶۳ -۱۳۶۲ تا ۹۲ -۱۳۹۱ در نظر گرفته شد و بر این اساس ۲۴ ایستگاه انتخاب گردید (جدول ۱). نقص آماری داده‌های بارش ایستگاه‌ها با استفاده از روش نسبتها مرتفع شد و همگنی و نرمال بودن آنها به ترتیب توسط آزمون گردش حول میانگین (Run Test) و کولموگروف- اسمیرونوف در نرم افزار SPSS۱۷ مورد ارزیابی قرارگرفتند. از آنجاکه بارندگی بی ثبات ترین متغیر اقلیمی در مناطق خشک و نیمه خشک بوده که تغییر در آن در رطوبت خاک، جریان‌های سطحی و زیرزمینی نمایان می‌شود و اولین عامل مورد توجه در بررسی خشکسالی‌ها به خصوص خشکسالی هواشناسی می‌باشد و میزان کمبود آن نسبت به میانگین درازمدت مورد بررسی قرار می‌گیرد (۲۱). در این تحقیق شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص نمرات استاندارد شده (ZSI)، شاخص نمرات استاندارد شده چینی (CZI)، شاخص اصلاح شده نمرات استاندارد شده چینی (MCZI)، شاخص درصدی از نرمال (PN) و شاخص دهک‌ها (DI)که اندازه‌گیری آنها مبتنی بر میزان بارندگی است به منظور بررسی و مطالعه زمان وقوع، مدت، تداوم و فراوانی خشکسالی‌های هواشناسی در حوضه جازموریان توسط نرم‌افزار DIP محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.12.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.12]

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های بارانسنجی مبناء وزارت نیرو

Table 1. The location of the rain gauge stations of the ministry of energy

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
۱	امور آب بافت	۵۶-۳۴-۵۷	۲۹-۱۳-۵۴	۲۲۶۷	۱۳	دهرود	۵۷-۴۴-۵۹	۲۸-۵۱-۵۷	۱۰۶۰
۲	پایاب سد بمپور	۶۰-۳۵-۱۹	۲۷-۱۱-۰۲	۵۲۰	۱۴	سلطانی	۵۶-۳۱-۵۵	۲۹-۰۴-۳۲	۲۰۷۰
۳	جمیل آباد	۵۶-۲۹-۰۸	۲۹-۱۴-۴۴	۲۲۵۸	۱۵	شاه آباد	۵۸-۰۶-۰۴	۲۷-۵۵-۱۶	۴۴۶
۴	جیرفت	۵۷-۴۴-۱۲	۲۸-۴۱-۰۵	۶۴۸	۱۶	فتح آباد اسفندقه	۵۷-۰۹-۱۲	۲۸-۳۹-۳۲	۱۷۵۵
۵	چشمه شاه	۵۷-۴۴-۰۲	۲۸-۲۳-۰۹	۵۶۶	۱۷	قلعه گنج	۵۷-۵۳-۰۸	۲۷-۳۱-۳۲	۴۲۰
۶	چهریگان	۵۷-۳۴-۲۷	۲۷-۵۷-۰۵	۵۲۴	۱۸	کراد دلفارد	۵۷-۳۶-۵۷	۲۸-۵۹-۳۰	۱۹۲۵
۷	حیدرآباد	۵۷-۳۷-۲۴	۲۸-۱۵-۲۹	۵۹۰	۱۹	کهنوج	۵۷-۴۳-۰۰	۲۷-۵۷-۰۰	۵۱۰
۸	خرپشت	۵۷-۵۲-۲۳	۲۸-۲۹-۱۲	۶۱۳	۲۰	کیسکان	۵۶-۴۱-۰۰	۲۹-۲۳-۰۰	۲۸۰۰
۹	خرمشاهی	۵۷-۳۹-۳۷	۲۸-۵۸-۰۹	۱۶۶۱	۲۱	گلمورتی-دلگان	۵۹-۲۷-۱۴	۲۷-۲۹-۱۴	۳۸۸
۱۰	دامن	۶۰-۴۶-۳۲	۲۸-۲۰-۰۶	۷۰۲	۲۲	گنج آبادسرخ قلعه	۵۷-۵۳-۰۸	۲۷-۳۱-۳۲	۴۲۳
۱۱	دشت کوچ	۵۷-۴۹-۳۷	۲۸-۴۱-۱۰	۷۰۹	۲۳	میانده	۵۷-۴۸-۵۸	۲۸-۳۶-۱۸	۶۴۱
۱۲	دولت آباد – اسفندقه	۵۷-۰۸-۳۲	۲۸-۴۳-۱۱	۱۷۳۴	۲۴	نمداد کوهستان	۵۸-۲۵-۰۳	۲۸-۰۰-۴۳	۴۷۰

شاخص بارش استاندارد شده (SPI):

Mckee و همکارانش (۲۰) به منظور تعریف و پایش خشکسالی و تعیین کمبود بارش برای مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه روش شاخص بارش استاندارد شده را توسعه دادند. مرکز ملی تعدیل خشکسالی ایالت متحده به منظور پایش خشکسالی و شرایط ذخیره رطوبت خاک از شاخص SPI استفاده می‌کنند. SPI شاخصی است که بر اساس احتمال بارش برای بازه‌های زمانی مختلف محاسبه می‌شود و جهت اعلان هشدار اولیه و کمک به ارزیابی شدت خشکسالی و تعیین اثرات آن بر منابع آب قابل دسترس در این بازه‌های زمانی بکار می‌رود (۲۰). این شاخ بیانگر یک نمره Z یا عددی با انحراف معیار بالاتر یا پایین‌تر از میانگین یک رویداد می‌باشد. این شاخص بر اساس آمار بارندگی بلندمدت در یک دوره آماری دلخواه برای هر منطقه تعیین می‌شود. برای محاسبه این شاخص، اختلاف بین مقادیر بارش و میانگین آن برای یک بازه زمانی مشخص را بدست آورده و سپس آن را بر انحراف معیار بارش تقسیم می‌کنند. مقادیر مثبت SPI معرف بارندگی بیشتر از میانه و مقادیر منفی آن، معرف بارش کمتر از میانه است. با توجه به جدول ۲ هرگاه مقادیر SPI بطور مداوم منفی باشند و مقدار آن به ۱- یا کمتر برسد، معرف وقوع خشکسالی است و مقادیر مثبت آن نشان‌دهنده خاتمه خشکسالی می‌باشد. لذا پایش مراحل اولیه دوره‌های خشک با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده که به وسیله Mckee و همکاران ارائه شده، صورت گرفت.

شاخص نمره Z چینی (CZI)

شاخص CZI براساس تبدیل ریشه سوم ویلسون – هیلفرتی شکل گرفته است(۱۸). با این فرض که داده‌های بارندگی از توزیع پیرسون تیپ سه پیروی می‌کنند. در جدول۲ مقادیر SPI، CZI و شدت‌های مختلف خشکسالی ارائه شده است.

جدول ۲- طبقه‌بندی وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص‌ها CZI و SPI

Table 2. Classification of the drought condition according to the indices CZI, SPI

دامنه امتیاز دهی	وضعیت رطوبتی
۲ و بیشتر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی ملایم تا متوسط
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نزدیک نرمال
۱- تا -۱/۴۹	خشکسالی ملایم تا متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
۲- و کمتر	خشکسالی بسیار شدید

درونیابی و پهنه‌بندی ویژگی‌های مورد بررسی خشکسالی

به منظور تعیین بهترین الگوی توزیع مکانی پدیده خشکسالی و پهنه بندی هر یک از ویژگی‌های خشکسالی با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS ۳.۱۰ روش‌های درون‌یابی عکس فاصله (IDW)، کریجینگ معمولی و کوکریجینگ مورد استفاده قرار گرفتند.

کریجینگ (Kriging)

یکی از روش‌های معروف درون‌یابی است این روش یک روش تخمین زمین آماری است که با استفاده از مقادیر معلوم و یک نیم تغییرنما، مقادیر مجهول رابرآورد می‌کند و بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار است (۱۲). روش کریجینگ معمولی به عنوان روش رگرسیون حداقل مربعات شناخته شده است که وابستگی مکانی بین مشاهدات را برآورد می‌کند (۱۶). این روش در شرایطی مورد استفاده قرار می‌گیرد که میانگین ناشناخته باشد.

روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW)

این روش مقادیر نقاط مجهول را از راه میانگین وزنی داده‌های مشاهده‌ای با نقاط همسانشان برآورد می‌کند (۱۹). این روش برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری، وزنی بر اساس

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.12.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.12]

فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می‌گیرد به طوری که توان‌های بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچکتر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط همجوار توزیع می‌کند. البته باید توجه داشت که این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آنها را در نظر می‌گیرد، یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه برآورد هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند.

روش کوکریجینگ (Co-kriging)

در برخی موارد ممکن است از یک متغیر به اندازه کافی نمونه برداری نشده باشد و براساس آنها نتوان تخمین را با دقت مورد نظر انجام داد. در چنین مواردی می‌توان به کمک متغیرهای ثانوی و با استفاده از همبستگی متقابل بین متغیرهای اصلی و ثانوی، تخمین را اصلاح کرد. برای برآورد با این روش و برای محاسبه اوزان مربوطه، نیاز به محاسبه واریوگرام متقابل بین متغیر y و z به عبارتی متغیر مشاهده شده و متغیر کمکی می‌باشد (۱۴). به منظور بررسی همبستگی مکانی بین داده‌های اندازه گیری شده و ارزیابی روش‌های برآورد و مدلسازی، از ترسیم منحنی و آنالیز نیم تغییر نما یا سمی واریوگرام استفاده شد و برای برازش یک مدل تئوری به نیم تغییر نما از مدل‌های کروی، نمایی، گوسی و دایره‌ای استفاده شد و به منظور تعیین قویترین ساختار مکانی در متغیرها و بیشترین تطابق مدل با نقاط اندازه‌گیری شده ویژگی‌های نیم تغییر نمای هریک از مدل‌ها شامل اثر قطعه‌ای (Nugget, C0)، مقدار آستانه (Sill, C)، نسبت واریانس ساختار دار به غیر ساختاردار (Proportion, (C/C0+C))محاسبه شد.در مدل با ساختار مکانی قوی‌تر مقدار Nugget صفر ویا نزدیک به صفر و مقدار Proportion برابر یک و یا نزدیک به یک خواهد بود (۲۰).

اعتبارسنجی مدل‌ها و ارزیابی روش مناسب پهنه‌بندی

برای ارزیابی و بررسی روش‌های مختلف پهنه‌بندی از روشی به نام روش اعتبارسنجی م تقاطع[1] استفاده شد. در این روش، یک نقطه به صورت موقتی حذف شده و مقدار آن از روی نقشه‌های پهنه‌بندی شده تعیین گردید. سپس مقدار حذف شده به جای خود برگردانده و این برآورد برای کلیه نقاط مشاهده‌ای صورت گرفت به شکلی که در نهایت به تعداد نقاط محاسبه شده مقادیر برآوردی محاسبه شد. در نهایت پس از محاسبه ضریب همبستگی بین داده‌های محاسباتی و برآوردی (R)، میانگین خطای اریب (MBE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و انحراف استاندارد عمومی (GSD) به ترتیب براساس روابط ۱، ۲، ۳ و ۴ محاسبه شدند.

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(E_{si} - E_{oi})$$ رابطه (۱)

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|E_{si} - E_{oi}|$$ رابطه (۲)

$$RSME = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(E_{si} - E_{oi})^2}$$ رابطه (۳)

$$GSD = \frac{RSME}{\bar{Z}(X)}$$ رابطه (۴)

که در آن، E_{Si}: مقدار برآورد شده. E_{Oi}: مقدار محاسبه شده، i: اندیس مربوط به ایستگاه و n: تعداد ایستگاه و Z میانگین مقادیر محاسبه شده است.

ضریب همبستگی R نشان‌دهنده میزان ارتباط مقادیر برآورده شده با مقادیرمحاسبه شده است که هرچه مقدار آن به عدد یک نزدیکتر باشد، ارتباط مقادیر محاسبه شده و برآورد شده بیشتر بوده و اختلاف مقدار برآورده شده با مقدار محاسبه شده کمتر خواهد بود. پارامتر ارزیابی MBE بیانگر برآورد بیشتر از مقدار محاسباتی توسط مدل است این پارامتر نشان می‌دهد که اولاً آیا مدل مقدار متغیرمورد نظررا کم یا زیاد برآورد کرده و دوم این که مقدار کمی آن چه مقدار است. زمانی که مقادیر MBE، MAE، RMSE و GSD برابر صفر هستند، مشخص می‌شود که مدل فضای مطالعه شده را خوب برآورده کرده و هیچگونه انحرافی وجود ندارد و مقدار صفر آنها نشان دهنده دقت صد در صد مدل است و هر قدر مقدار آنها از صفر فاصله داشته باشد حاکی از کم شدن دقت مدل است (۲۰). این روش ارزیابی برای کلیه مدل‌های پهنه‌بندی و کلیه ویژگی‌های خشکسالی انجام شد.

۸ ویژگی خشکسالی برای بررسی وضعیت آن از نظر فراوانی، شدت، وسعت و تداوم بر حسب دو شاخص مذکور محاسبه شدند (جدول ۳).

1- Cross validation

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.12.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.12]

جدول ۳- ویژگی‌های مورد بررسی خشکسالی بر حسب دو شاخص SPI، CZI و تعاریف آنها

Table 3. Investigated characteristics of the drought based on two SPI, CZI and their definitions

ردیف	شاخص	تعاریف
۱	طولانی‌ترین تداوم خشکسالی	- طولانی‌ترین خشکسالی از نظر مدت در طول دوره مورد مطالعه بر حسب سال
۲	تعداد رخداد خشکسالی	- تعداد رخدادهای خشکسالی برحسب شروع رخداد (با منفی شدن مقدار شاخص برابر۱- یاکمتر) و پایان یافتن رخداد (با مثبت شدن مقدار شاخص)
۳	تعداد سال مواجهه با خشکسالی	- تعداد سال‌های که در فاصله بین شروع رخدادها (با منفی شدن مقدار شاخص برابر با۱- یاکمتر) و پایان یافتن رخداد (با مثبت شدن مقدار شاخص) درگیر خشکسالی شده‌اند
۴	فراوانی خشکسالی‌های شدید	- مجموع خشکسالی‌های شدید و فوق العاده شدید برای هر ایستگاه در طول دوره آماری
۵	فراوانی خشکسالی‌ها	- مجموع خشکسالی‌های خفیف تا فوق العاده شدید برای هر ایستگاه در طول دوره آماری
۶	فراوانی ترسالی‌های شدید	- مجموع ترسالی‌های شدید و فوق العاده شدید برای هر ایستگاه در طول دوره آماری
۷	فراوانی ترسالی‌ها	- مجموع ترسالی‌های خفیف تا فوق العاده شدید برای هر ایستگاه در طول دوره آماری
۸	فراوانی نرمال‌سالی‌ها	- مجموع سال‌های بدون خشکسالی در طول دوره آماری

نتایج و بحث

پس از محاسبه نمایه‌های خشکسالی به منظور انتخاب نمایه مناسب ارزیابی خشکسالی، ماتریس همبستگی به روش پیرسون بین نمایه‌ها تشکیل و ضرایب آنها در دو سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد محاسبه گردید. برطبق نتایج به دست آمده جفت شاخص‌های SPI-DI، PN-ZSI، PI-ZSI، CZI-SPI ضریب همبستگی بسیار بالایی در سطح اطمینان ۹۹ درصد با یکدیگر داشتند (جدول ۴). لذا انتخاب هریک از شاخص با توجه به ضریب همبستگی با اطمینان ۹۹ درصد می‌تواند بیانگر وضعیت خشکسالی منطقه باشد. از آنجا که از نظر ارتفاعی ۴۹ درصد ($۳۴۱۶۲ km^2$) حوضه جازموریان را مناطق کوهستانی و ۴۸ درصد ($۳۲۴۵۹ Km^2$) آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها تشکیل می‌دهد و بررسی وضعیت خشکسالی آن تنها با استفاده از یک شاخص شاید نتواند تصویر کاملا درستی را از منطقه ارائه دهد جفت شاخص SPI و CZI با همبستگی ۰/۹۹ به منظور پایش مراحل اولیه دوره‌های خشک و اطمینان از نتایج تحقیق انتخاب گردیده است.

در ادامه با هدف شناخت بهتر از خشکسالی‌های حوضه آبریز جازموریان نقشه پهنه‌بندی هریک از ۸ ویژگی خشکسالی مورد بررسی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و روش‌های درونیابی[1] تهیه شد. برای انتخاب مناسب ترین روش درونیابی توابع نیم تغییرنمای[2] دایره‌ای[3]، نمایی[4]، گوسی[5] و کروی[6] برای برازش بر داده‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. از آنجا که شرط اساسی استفاده از روش‌های زمین آمار نرمال بودن داده است (۱۴). نرمال بودن آنها از طریق آزمون کولموگراف اسمیرنوف و محاسبه کشیدگی و چولگی تعیین و با استفاده از روش‌های BOX-COX و لگاریتم‌گیری در نرم‌افزار ARC GIS داده‌ها نرمال شدند. جدول ۵ مقادیر چولگی، کشیدگی و روش نرمال‌سازی داده‌ها را نشان می‌دهد

جدول ۴- ضرایب همبستگی محاسبه شده شاخص‌های خشکسالی

Table 4. Calculated correlation coefficients of the drought indices

ضریب همبستگی پیرسون (R)	DI	PN	SPI	ZSI	CZI
DI	۱	۰/۷۹۷**	۰/۹۶۷**	۰/۹۲۱**	۰/۹۱۹**
PN	۰/۷۹۷**	۱	۰/۸۳۴**	۰/۸۶۶**	۰/۷۷۴**
SPI	۰/۹۶۷**	۰/۸۳۴**	۱	۰/۹۶۴**	۰/۹۴۹**
ZSI	۰/۹۲۱**	۰/۸۶۶**	۰/۹۶۴**	۱	۰/۹۰۷**
CZI	۰/۹۱۹**	۰/۷۷۴**	۰/۹۴۹**	۰/۹۰۷**	۱

جدول ۵- چولگی، کشیدگی و روش نرمال‌سازی داده‌های شاخص SPI وCZI

Table 5. Skewness/ kurtosis and normalization methods of SPI and CZI data

شاخص خشکی	ویژگی خشکسالی	چولگی (Skewness)	کشیدگی (Kurtosis)	روش نرمال سازی
CZI	طولانی ترین تداوم خشکسالی در دوره شاخص	۰/۲۶	۴/۶	Box-Cox
	تعداد رخداد خشکسالی	-۰/۳۷	۳/۵۷	Box-Cox
	تعداد سال مواجهه با رخداد خشکسالی	۰/۷۲	۲/۹۶	نرمال
	فراوانی خشکسالی‌های شدید	۰/۷۲۶	۳/۵	نرمال
	فراوانی خشکسالی‌ها	۰/۲۲۵	۳/۰۸	نرمال
	فراوانی ترسالی‌های شدید	۱/۰۹	۳/۰۴	نرمال
	فراوانی ترسالی‌ها	۰/۲۸۴	۲/۸۷	نرمال
	فراوانی نرمال سالی‌ها	-۰/۰۹۶	۲/۲۶	نرمال
SPI	طولانی ترین تداوم خشکسالی در دوره شاخص	-۰/۲۹۹	۷/۵	Box-Cox
	تعداد رخداد خشکسالی	۰/۰۸۵	۲/۴۶	نرمال
	تعداد سال مواجهه با رخداد خشکسالی	۰/۶۹۸	۳/۱۷۴	Log
	فراوانی خشکسالی‌های شدید	-۰/۲	۲/۲۷۳	نرمال
	فراوانی خشکسالی‌ها	-۰/۱۶۴	۳/۵۲	Log
	فراوانی ترسالی‌ها	-۰/۱۶۵	۲/۳۶۹	نرمال
	فراوانی ترسالی‌های شدید	۰	۱	نرمال
	فراوانی نرمال سالی‌ها	-۰/۱۳۸	۲/۹۵	نرمال

1- Interpolation 2- Semivariogram 3- circular 4- Exponential 5- Gaussian 6- Spherical

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.12.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.12]

ویژگی های نیم تغییر نمای هریک از مدل‌ها شامل اثر قطعه‌ای (Nugget/ C0)، مقدار آستانه (Sill/ (C0+C)، نسبت واریانس ساختار دار به غیر ساختاردار (Proportion/ (C/C0+C)) محاسبه و در جدول ۶ نشان داده شده است. همانطور که جدول ۶ نشان می‌دهد بجز در موارد ویژگی‌های تعداد رخداد خشکسالی و فراوانی ترسالی‌ها برای نمایه CZI و فراوانی ترسالی‌ها برای نمایه SPI که به ترتیب مدل گوسی و دایره‌ای برای برازش بر نیم تغییر نما مناسب بودند جهت سایر ویژگی‌های هر دو شاخص، ساختار مکانی داده‌ها از مدل نمایی تبعیت می‌کرد. از آنجا که مقادیر Proportion برای دو روش درونیابی کریجینگ معمولی و کوکریجینگ در تمامی مدل‌های بکار رفته بسیار به هم شباهت داشتند جهت تصمیم گیری نهایی، اعتبارسنجی و ارزیابی دقت مدل‌های تخمین‌گر زمین آماری و انتخاب روش بهینه درونیابی از میان روش‌های IDW، کریجینگ معمولی و کوکریجینگ جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی هریک از ویژگی‌های مورد مطالعه، از معیارهای میانگین خطا (MBE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و انحراف استاندارد عمومی (GSD) استفاده شد. جدول ۷ معیارهای اندازه‌گیری شده جهت مقایسه روش‌های درونیابی برای هریک از شاخص‌های خشکسالی و ویژگی‌های مورد مطالعه آنها را نشان می‌دهد.

جدول ۶- ویژگی‌های مدل‌های نیم تغیرنمای انتخاب شده

Table 6. The characteristics of selected semivariogram models

شاخص خشکی	ویژگی خشکسالی	کریجینگ معمولی			کوکریجینگ			مدل نیم تغییر نما
		Sill(c)	Nugget (c0)	c/c+c0	Sill(c)	Nugget (c0)	c/c+c0	
CZI	طولانی ترین تداوم خشکسالی	۳۶/۲۲	۱۲/۰۳	۰/۷۵۰	۳۶/۲۲	۱۲/۰۳۷	۰/۷۵	نمایی
	تعداد رخداد خشکسالی	۶/۴۵	۳/۷۲	۰/۶۳۴	۶۰/۴۵	۳۰/۷	۰/۶۳۴	گوسی
	تعداد سال مواجهه با خشکسالی	۰/۸۲۹	۳۰/۸۵	۰/۱۷۷	۰/۸۶۳	۳۰/۸۳	۰/۱۸۴	نمایی
	فراوانی خشکسالی‌های شدید	۱۰/۱۲	۰/۲۵۷	۰/۸۱۳	۱۰/۱۲	۰/۲۵۷	۰/۸۱۳	نمایی
	فراوانی خشکسالی‌ها	۱۰/۵۹	۱۰/۰۸	۰/۵۹۶	۱۰/۵۹	۱۰/۰۸	۰/۵۹۶	نمایی
	فراوانی ترسالی‌های شدید	۰/۴۶۸	۰/۰۰۶	۰/۹۸۶	۰/۴۶۵	۰/۰۰۶	۰/۹۸۷	نمایی
	فراوانی ترسالی‌ها	۰/۳۴۴	۰/۷۹۴	۰/۳۰۲	۰/۳۴۵	۰/۷۹۴	۰/۳۰۳	گوسی
	فراوانی نرمال سالی‌ها	۲۰/۱۲	۲۰/۳۹	۰/۴۷	۲۰/۱۹	۲۰/۳۹	۰/۴۷	نمایی
SPI	طولانی ترین تداوم خشکسالی	۸۶۰/۷	۵۰/۲۵۶	۰/۹۴۳	۸۶۰/۷	۵۰/۲۵۶	۰/۹۴۳	نمایی
	تعداد رخداد خشکسالی	۰/۶۶۵	۰/۶۳۷	۰/۵۱	۰/۶۶۵	۰/۶۳۷	۰/۵۱	نمایی
	تعداد سال مواجهه با خشکسالی	۳۰/۹۲	۰/۱۴۲	۰/۹۶۵	۳۰/۹۸	۰/۰۸۳	۰/۹۸	نمایی
	فراوانی خشکسالی‌های شدید	۰/۸۸۶	۰	۱	۰/۸۸	۰	۱	نمایی
	فراوانی خشکسالی‌ها	۰/۰۳۵	۰/۰۱۶	۰/۶۸	۰/۰۳۴	۰/۰۱۶	۰/۶۷۶	نمایی
	فراوانی ترسالی‌ها	۱/۰۶۸	۰/۶۶	۰/۶۱۵	۱/۰۶۸	۰/۶۶۷	۰/۶۱۵	دایره ای
	فراوانی ترسالی‌های شدید	_	_	_	۰/۰۰۱	۰/۲۶	۰/۰۰۵	نمایی
	فراوانی نرمال سالی‌ها	۲۰/۸۳	۱۰/۴۲	۰/۶۶۶	۲۰/۸۴	۱۰/۴۳	۰/۶۶	نمایی

جدول ۷- ویژگی‌های خشکسالی، معیارهای ارزیابی روش‌های درونیابی و مدل‌های نیم‌تغیرنما

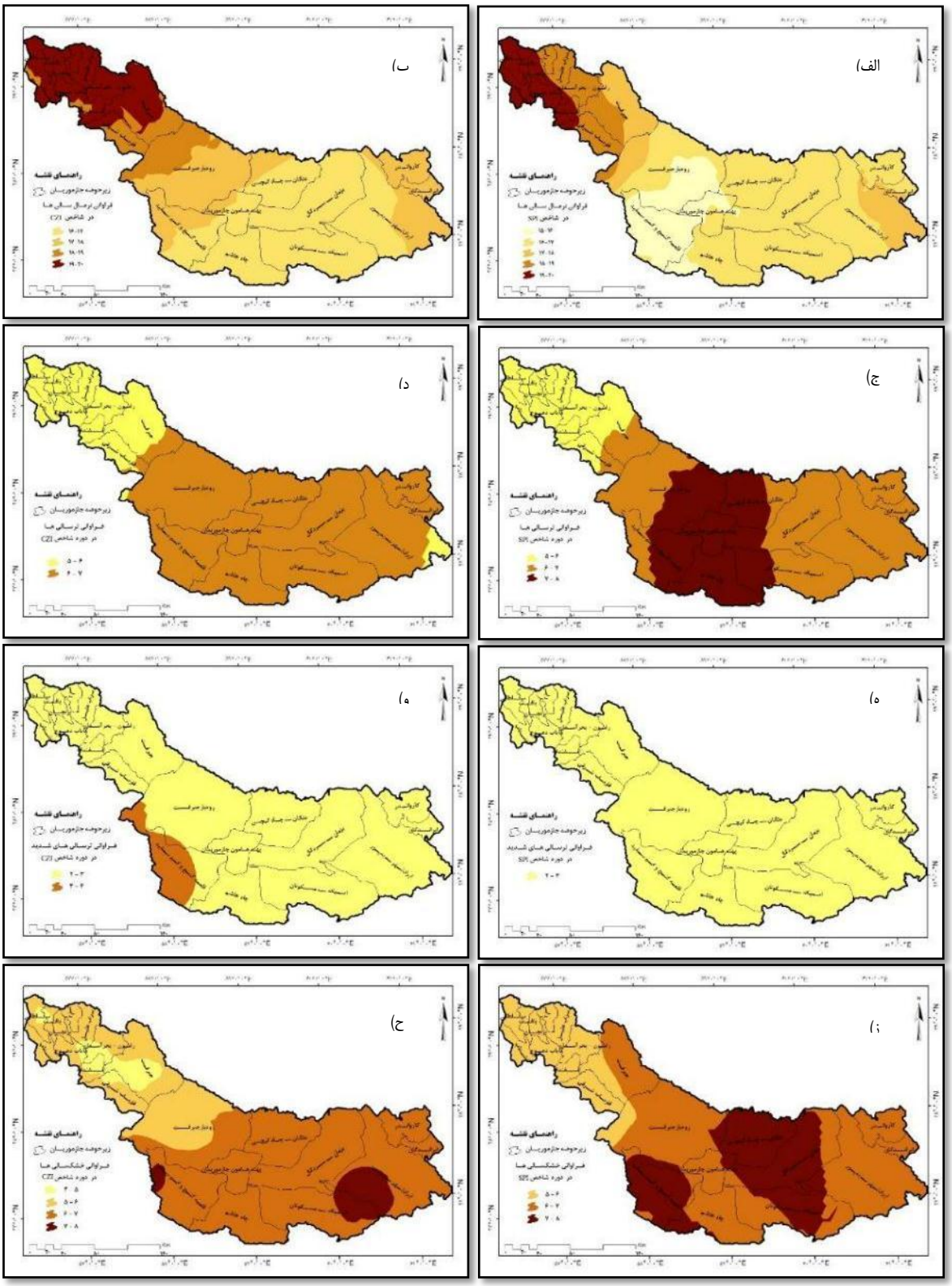
Table 7. drought features/ assessment criteria for interpolation methods semivariogram models

شاخص	ویژگی خشکسالی	R.M.S.E	MBE	MAE	GSD	روش درونیابی	مدل نیم تغییر نما
CZI	طولانی ترین تداوم خشکسالی در دوره شاخص	۱/۷	۰/۰۶۸۱	۰/۹۷۲	۰/۴۴	کریجینگ	نمایی
	تعداد رخداد خشکسالی	۲/۴۶	-۰/۰۲۴	۰/۸۵۱	۰/۶۳	کوکریجینگ	گوسی
	تعداد سال مواجهه با رخداد خشکسالی	۳/۹۷	-۰/۰۳۴۳	۳/۱۸۵	۰/۴۷	کوکریجینگ	نمایی
	فراوانی خشکسالی‌های شدید	۱/۴۵	۰/۰۱۷	۳/۱۱۱	۱/۱۲	کوکریجینگ	نمایی
	فراوانی خشکسالی‌ها	۲/۸۳	-۰/۰۶۷	۲/۱۴۱	۰/۵۱	کوکریجینگ	نمایی
	فراوانی ترسالی‌های شدید	۱/۲۰	-۰/۰۸۹۲	۰/۹۰۷	۰/۴۹	IDW	نمایی
	فراوانی ترسالی‌ها	۲/۰۸۸	۰/۰۲۶۴	۱/۵۴۳	۰/۳۵	کوکریجینگ	گوسی
	فراوانی نرمال سالی‌ها	۳/۸۸	۰/۰۰۶	۳/۰۳۲	۰/۲۱	کوکریجینگ	گوسی
SPI	طولانی ترین تداوم خشکسالی در دوره شاخص	۱/۱۵۰	۰/۰۴۲۱	۰/۵۷	۰/۲۹	IDW	نمایی
	تعداد رخداد خشکسالی	۱/۹۵۳	-۰/۰۳۹	۱/۶۷۸	۰/۴۸	کوکریجینگ	نمایی
	تعداد سال مواجهه با رخداد خشکسالی	۳/۸۹۴	۰/۰۱۳	۳/۲۹۳	۰/۴۳	کوکریجینگ	نمایی
	فراوانی خشکسالی‌های شدید	۱/۶۸۱	-۰/۰۰۱	۱/۳۴۲	۰/۹۹	کوکریجینگ	نمایی
	فراوانی خشکسالی‌ها	۲/۵۲۶	-۰/۰۷	۱/۸۸۵	۰/۴۲	کوکریجینگ	نمایی
	فراوانی ترسالی‌ها	۱/۸۶۸	۰/۰۴۵	۱/۵۸۲	۰/۳۱	کوکریجینگ	دایره‌ای
	فراوانی ترسالی‌های شدید	۱/۰۲۳	۰/۰۲۵	۱/۰۰۶	۰/۴۱	کریجینگ	نمایی
	فراوانی نرمال سالی‌ها	۳/۲۵۲	۰/۰۲۸	۲/۷۱۳	۰/۱۸	کوکریجینگ	نمایی

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.12.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.12]

همانطور که جدول ۷ نشان می‌دهد روش درونیابی کوکریجینگ در اکثریت موارد برای مطالعه و پهنه‌بندی ویژگی‌های خشکسالی مورد مطالعه برای هر دو شاخص SPI و CZI نسبت به دو روش کریجینگ و IDW ارجحیت داشته که این موضوع بدلیل مقادیر کمتر معیارهای ارزیابی مورد بررسی برای روش کوکریجینگ است که خود بیانگر دقت بالاتر و خطای کمتر این روش نسبت به دو روش دیگر در پهنه‌بندی اکثریت ویژگی‌های مورد بررسی خشکسالی است. در نهایت مطابق با جدول ۷ نقشه پهنه‌بندی هریک از ویژگی‌های خشکسالی تهیه گردید (شکل ۲ و ۳). همانطور که از شکل ۲-« الف» و « ب» استنباط می‌شود حوضه آبریز جازموریان در بین سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۲ دارای ۲۰-۱۵ سال نرمال از نظر میزان بارندگی بوده به‌گونه‌ای که از میزان سال‌های نرمال با حرکت از سمت غرب حوضه (مناطق بالادست و مرتفع) به سمت شرق و جنوب آن (مناطق پست‌تر و دشت) کاسته می‌شود. شکل ۲-«ج» و «د» نشان می‌دهد که این حوضه در طی سال‌های مذکور به دفعات مختلف (۸-۵ مورد) پدیده ترسالی را تجربه نموده که ۳-۲ مورد آن از نوع ترسالی شدید بوده که بطور گسترده در سطح حوضه در سال‌های ۷۲-۷۱، ۷۵-۷۴ و ۸۴-۸۳ اتفاق افتاده است. نکته دیگری که از شکل ۲-«ج» و «د» استنباط می‌شود این است که فراوانی سال‌های تر در میانه حوضه به سمت شرق آن یعنی در فاصله بین زیرحوضه‌های رودبار جیرفت تا ایرانشهر-بمپور بیشتر از مناطق مرتفع بوده که این موضوع بیانگر آن است که از میزان بارندگی در نواحی مرتفع نیز نسبت به سنوات گذشته کاسته شده است. افزایش فراوانی خشکسالی‌ها با جهت گیری از سمت غرب به شرق حوضه در شکل‌های ۲- «ز» و «ح» و شکل‌های ۳- «الف» و «ب» نشان می‌دهد که حوضه آبخیز جازموریان در طی دوره ۳۰ ساله مورد مطالعه ۸-۴ بار به طور گسترده در سطح حوضه با پدیده خشکسالی مواجه شده که ۲-۱ مورد آن از نوع خشکسالی شدید بوده و گستره وسیعی از حوضه را در سال‌های ۷۹-۷۸، ۸۳-۸۲ و ۸۷-۸۶ تحت الشعاع خود قرار داده است به گونه‌ای که فراوانی آن در نواحی مرتفع و کوهستانی حوضه (۳-۲ مورد) بیشتر از نواحی با ارتفاع کمتر و دشتی بوده که این مطلب حاکی از آن است که از آنجا که در هر ناحیه میزان شاخص‌های خشکسالی بر مبنای میزان بارندگی درازمدت همان ناحیه محاسبه می‌گردد و قوع این پدیده خزنده و غیر قابل پیش برای نواحی با میزان بارندگی مناسب نیز دور از ذهن نیست. یکی دیگر از ویژگی‌های خشکسالی که در این تحقیق بدان پرداخته شد پارامتر تعداد رخدادهای خشکسالی برحسب شروع رخداد خشکسالی (منفی شدن مقدار شاخص در محدوده ۱- و کمتر از آن) و پایان یافتن این رخداد (با مثبت شدن مقدار شاخص) بوده است که مطابق با شکل‌های ۳-«ج» تا «ح» در طی دوره مورد مطالعه در نواحی غربی حوضه ۳ الی ۴ رخداد خشکسالی و در محدوده زیرحوضه‌های جیرفت و رودبار جیرفت به سمت شرق حوضه ۵-۴ رخداد خشکسالی که طولانی ترین آنها۴-۳.۵ سال بطول انجامیده رخ داده است و به مدت ۱۰-۸ سال در سطح وسیعی حوضه آبخیز را با مشکل خشکسالی مواجه نموده است که طولانی‌ترین آنها در فاصله بین سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۲ رخ داده است که نتیجه حاصله با مطالعه دارینی و همکاران (۸) در حوضه جازموریان مطابقت دارد. با توجه به تعداد سال‌های درگیر با پدیده خشکسالی و تداوم این خشکسالی‌ها، وقوع خشکسالی‌های کشاورزی و کاهش تولید محصول، خشکسالی هیدرولوژیک و کاهش منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و خشک شدن تالاب‌ها و خشکسالی‌های اقتصادی- اجتماعی و پیامدهای زیست محیطی آن دور از انتظار نیست. بطور کلی نتایج حاصل از مطالعه نشان داد که اولاً از میان روش‌های درونیابی، روش کوکریجینگ نسبت به روش‌های کریجینگ و IDW برای مطالعه وضعیت خشکسالی حوضه آبخیز جازموریان مناسب‌تر است. ثانیاً شاخص SPI در ارائه وضعیت خشکسالی همانند شاخص CZI عمل نموده اما این شاخص وضعیت خشکسالی را با جزئیات بیشتر و بهتری ارزیابی می‌کند. ثالثا حوضه جازموریان بخصوص در نواحی شرقی و محدوده استان سیستان و بلوچستان از حساسیت نسبتاً بالایی نسبت به پدیده خشکسالی برخوردار بوده به گونه‌ای که بر میزان فراوانی، تداوم و شدت خشکسالی‌ها به سمت نواحی مرزی شرقی و جنوب شرقی افزوده می‌شود و ساکنین این مناطق را به شدت تحت تاثیر پیامدهای ناشی از خشکسالی قرار می‌دهد. رابعاً با توجه به گستره خشکسالی به سمت نواحی شرقی می‌توان نتیجه گرفت یکی از علل اصلی خشکیدگی تالاب جازموریان عامل خشکسالی خصوصا در شدت گرفتن آن در طی ده ساله اخیر می‌باشد که نتایج حاصل با نتایج بررسی‌های پیری و انصاری (۲۳) در مطالعه خشکسالی دشت سیستان مطابقت دارد. در انتها پیشنهاد می‌گردد برای مطالعه خشکسالی حوضه آبخیزی همانند جازموریان که مناطق بالادست و مرتفع آن نسبت به مناطق پست و دشت‌های آن دارای ویژگی‌های متفاوت اقلیمی و بالطبع آن شرایط متفاوت از نظر وقوع رخداد خشکسالی هستند در برنامه‌ریزی‌های کلان و طرح‌های مدیریت مقابله با پدیده خشکسالی به این موضوع توجه ویژه داشته و نسبت به ارایه راهکار غیرهمسان و مناسب مقابله، اقدام نمود. از طرفی با توجه به تعیین شاخص مناسب توسط این مطالعه به منظور مدیریت بهتر پدیده خشکسالی در حوضه آبخیز جازموریان مطالعه خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف ماهانه و سالانه با تاکید بر اهمیت موج فراگیر و گسترده پدیده گردوغبار در ده ساله اخیر در کشور به منظور کاهش تبعات ناشی از این خشکسالی‌ها خصوصا در محدوده هامون و تالاب جازموریان پیشنهاد می‌گردد.

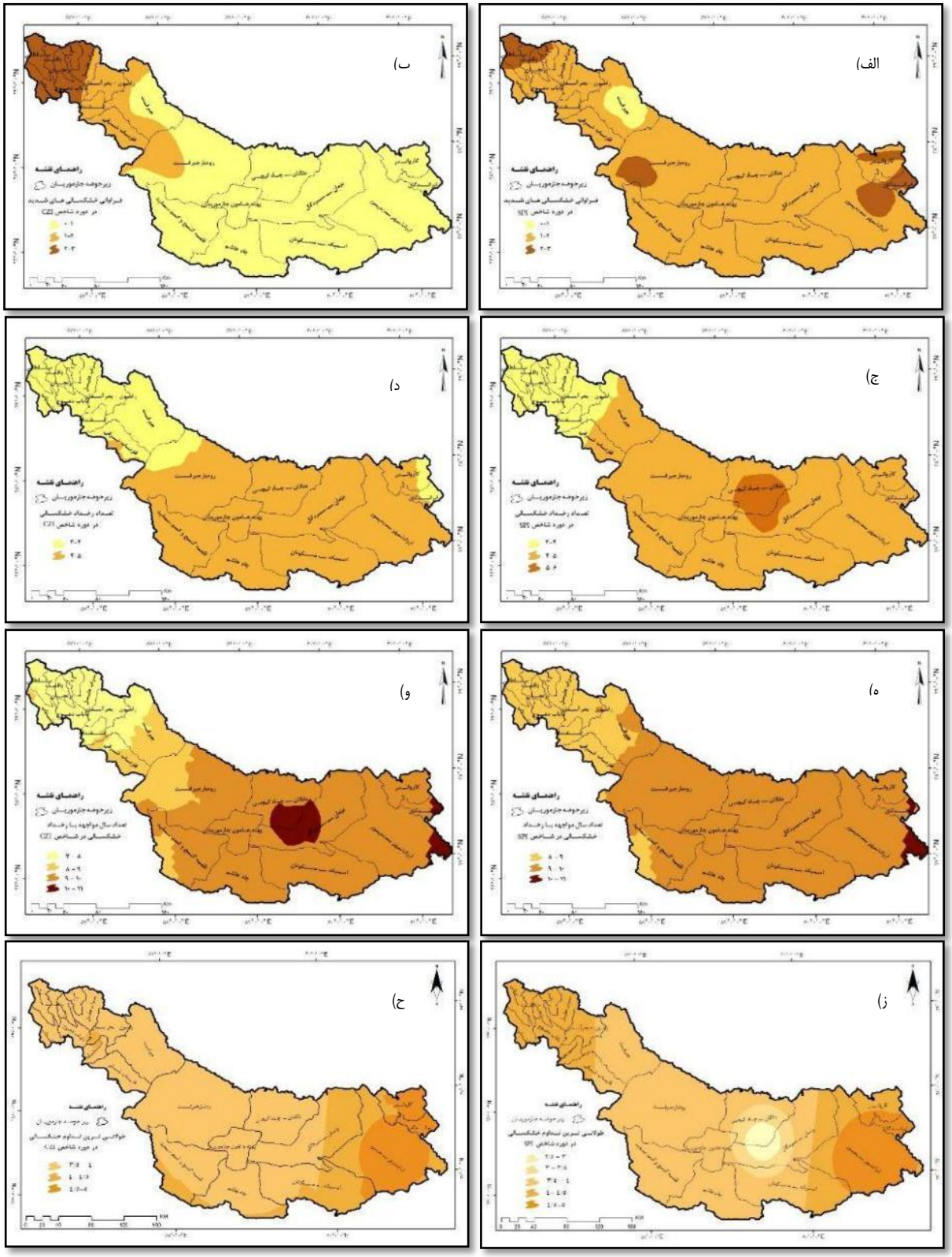
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.12.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.12]



شکل ۲- نقشه پهنه‌بندی فراوانی نرمال سالی‌ها (الف و ب)، ترسالی‌ها (ج و د)، ترسالی‌های شدید (ه و و) و خشکسالی‌ها (ز و ح) بر اساس شاخص‌های SPI و CZI

Figure 2. Zoning maps of normal condition (a&b), wet condition (c&d), sever wet condition (e&f) and drought frequencies (g&h) according to SPI and CZI indices

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.12.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.12]



شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی فراوانی خشکسالی‌های شدید(الف و ب)، تعداد رخداد خشکسالی (ج و د)، تعداد سال‌های مواجهه با خشکسالی (ه و و) و طولانی ترین تداوم خشکسالی (ز و ح) بر اساس شاخص‌های SPI و CZI

Figure 3. Zoning maps of severely drought condition (a&b)/, number of the drought event (c&d), number of the years facing drought condition (e&f) and longest continuously of the drought (g&h) according to SPI and CZI indices

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.12.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.12]

منابع

1. Ansari, H. and K. Davari. 2007. Dry period zoning using the standardized rainfall index in GIS environment "Case Study: Khorasan Province. Journal of Geographical Studies, 60(39): 97-108 (In Persian).
2. Beheshtirad, M. 2015. Monitoring and prediction of drought in Kerman province using DI index and it's zoning with statistical methods. Journal of Regional Planing, 16: 151-143 (In Persian).
3. Bodagh Jamali, J., S. Javanmard and R. Shirmohammady. 2003. Monitoring and zoning drought condition in Khorasan province using standardized precipitation index. Mashhad, J. Geography. Res., 17(4): 11389-11406.
4. Cetin, M. 2016. Determination of bioclimatic comfort areas in landscape planning: a case study of Cide coastline. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 4(9): 800-804.
5. Cetin, M. and H. Sevik. 2016. Assessing potential areas of ecotourism through a case study in Ilgaz Mountain National Park, InTech, Chapter 5. Eds: Leszek Butowski, 190: 81-110.
6. Cetin, M., M. Topay, L.G. Kaya and B. Yilmaz. 2010. Efficiency of bioclimatic comfort in landscape planning process: case of Kutahya. Turkish Journal of Forestry, 1(1): 83-95.
7. Chen, F. and J. Li. 2016. Quantifying drought and water scarcity: a case study in the Luanhe River basin. Natural Hazards, 81(3): 1913-1927.
8. Derrini, J., M. Heydari, N. Faryani and S. Nick nejad. 2010. International Conference on water crisis in agriculture and natural resources, pp. Rey Azad University, ray, Iran (In Persian).
9. Farajzadeh, M. and GH. Movahed danesh. 1995. Drought in Iran. Scientific Journal of Faculty of Agriculture, Tabriz University, 2&1: 424-429 (In Persian).
10. Gampe, D., G. Nikulin and R. Ludwig. 2016. Using an ensemble of regional climate models to assess climate change impacts on water scarcity in European river basins. Science of the Total Environment/ 573, 1503-1518. 15 December 2016. doi:10.1016, j.scitotenv.2016.08.053
11. Ghaffari, A. 2007. Strategies Confront With Drought In the Dryland Agricultural Research Institute. Iranian Information and Documentation Center, 673452 (In Persian).
12. Ghahrevardi Tally, M. 2005. In the three dimensional geographic information system ArcGIS/ Publications Teacher Training University Jahad (In Persian).
13. Hao, Z. and K.A. Aghakouchak. 2013. Multivariate standardized drought index: a parametric multi-index model. Advances in Water Resources, 57: 12-18.
14. Hassany Pak, A. 2010. Geostatistics (3rd edition), Tehran University Press, 314 pp. (In Persian),
15. Ionita, M., P. Scholz and S. Chelcea. 2016. Assessment of droughts in Romania using the standardized precipitation index. Natural Hazards, 81: 1483-1498.
16. Kahenmann, S. and B. Ahrens. 2010. On daily interpolation of backed with precipitation secondary information. Advances in Science & Research, 4: 29-35.
17. Kendall, M.G. and A. Stuart. 1997. The advanced theory of statistics. Charles Griffin & Company: London, High Wycombe, 400-401.
18. Ly, S., C. Charle and A. Degr. 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: 7383-7416
19. Lynch, S.D. 2001. Converting Point Estimates of Daily Rainfall onto a Rectangular Grid. Department of Agricultural Engineering. University of Natal. South Africa.
20. McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth conference on applied Climatology. American Meteorological Society, 179-186 Jan17-23, 1993, Anaheim CA.
21. Noohi, K. and A. Asgari. 2006. Study of Drought and Return Priod Drought in Qum Region, Agricultural Aridity and Drought, Scientific and Extension Quarterly, Hahad Agriculture, 15: 47-64 (In Persian).
22. Palmer, W.C. 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the new crop moisture index. Weatherwise, 21: 156-161.
23. Piri, H. and H. Ansari. 2014. Study of drought in Sistan Plain and impact on Hamoun international wetland. Scientific Journal of Wetland, 15: 63-74 (In Persian).
24. Sangita Mishra, S. and R. Nagarajan. 2011. Spatio-temporal drought assessment in Tel river basin using Standardized Precipitation Index (SPI) and GIS, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2(1): 79-93.
25. Santos, C.A.G., R.M.B. Neto, J.S.D.A. Passos and R.M.D. Silva. 2017. Drought assessment using a TRMM-derived standardized precipitation index for the upper São Francisco River basin, Brazil. Environmental Monitoring and Assessment, 189: 250.
26. Shaabani, M. 2009. Evaluation application of methods for use in zonation drought intensities fars province. Journal of Water Engineering, 2(4): 31-36.
27. Thomas, T., R.K. Jaiswal, R. Galkate, P.C. Nayak and N.C. Ghosh. 2016. Drought indicators-based integrated assessmentof drought vulnerability: a case study of Bundelkh and droughts in central India. Natural Hazards, 81: 1627-1652
28. Vicente Serrano, S.M., S. Beguería and J.I. López-Moreno. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index, Journal of Climate, 23: 1696-1718.
29. Wang, K.Y., Q.F. Li, Y. Yang, M. Zeng, P.C. Li and J.X. Zhang. 2015. Analysis of spatio-temporal evolution of droughts in Luanhe River basin using different drought indices. Water Science and Engineering, 8(4): 282-290.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-23]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.12.6]

[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.12]

30. Yigit, N., H. Sevik, M. Cetin and N. Kaya. 2016. Determination of the effect of drought stress on the seed germination in some plant species, water stress in plants, In tech Open, Eds: Ismail Md. Mofizur Rahman, Zinnat Ara Begum, Hiroshi Hasegawa, In Tech Open Chapter, 3: 43-62 (126).
31. Zabihi, M., R. Mostafazadeh and M. Sharari. 2017. Analysis of Wet and Dry Spells Intensity and duration using Precipitation-Based and Evapotranspiration Influenced Indices. Journal of Watershed Management Research, 15: 125-136 (In Persian).
32. Zamani, R., A.M. Akhonali, K. Solaimani, F. Ansari and P. Allahbakhshian. 2012. Application of Geostat istics in Zone Classification of Drought Severities (Case Study: Fars Province). Journal of Watershed Management Research, 6: 15-29 (In Persian).
33. Zhu, G., D. Qin, Y. Liu, F. Chen, P. Hu, D. Chen and K. Wang. 2016. Accuracy of TRMM precipitation data in the southwest monsoon region of China. Theoretical and applied Climatology, 1-10.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-23]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.12.6]

[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.12]

Assessment and Application of Geostatistics in Identifying and Analyzing Drought Characteristics of Jazmourian Watershed

Sakineh Lotfi Nasab Asl[1], Azadeh Gohar Dost[2] and Mohammad Khosroshahi[3]

1- Assistant Professor, Department of Desertification, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research/ Education and Promotion Organization, Ministry of Jihad-e-Agriculture, Tehran, Iran
(Corresponding author: s.lotfinasab@rifr-ac.ir)
2- Researcher, Desertification Department, Research Institute of Forests and Rangelands/ Agricultural Research, Education and Promotion Organization, Ministry of Jihad-e-Agriculture, Tehran/ Iran
3- Associate Professor, Department of Forest Research, Forestry and Rangeland Research Institute, Agricultural Research, Education and Promotion Organization, Ministry of Jihad-e-Agriculture, Tehran, Iran
Received: September 6, 2017 Accepted: May 15, 2018

Abstract

As one of the most important natural disasters “drought” is a phenomenon, which has an important impact on water resources, natural ecosystems and human societies economic, social, political and cultural from the point of view. Therefore, it is essential and inevitable to create a proper management system based on the recognition of the drought characteristics including frequency, severity, continuity and spatial extend, and its monitoring to reduce the damages and its consequences. In this study, with the aim of better understanding of droughts in Jazmorian watershed and recognizing dry and wet periods, eight special characteristics of drought were studied using the SPI and CZI Meteorological drought indices and Geographic Information System (GIS). For this the rainfall data of 24 rain gauge stations were used over a 30year period of 1983-2013 and the drought condition were assessed. In order to interpolate and prepare the most suitable zoning map for the studied features, Kriging, Co-kriging and Inverse Distance Weighted (IDW) methods were selected and compared. To select the appropriate model for fitting on the experimental variogram, the ratio of Sill to Nugget was used. To choose the right interpolation method, the mean absolute error (MAE), mean bias error (MBE), root mean square error (RMSE), and general standard deviation (GSD) were calculated then selected with lower values indicating stronger spatial structures. The results showed that in studying the majority of drought features, the co-kriging method was better than the other two methods, and the SPI index evaluated the drought condition in more detail than the CZI index. On the other hand, the Jazmourian watershed, especially in the eastern part of the province of Sistan- Baluchestan, has a relatively high sensitivity to the drought phenomenon, in which increases the frequency, continuity and severity of droughts to the eastern and southeast regions, and affect the inhabitants of these areas heavily by the consequences of the drought. Therefore, it is suggested that in macro planning and drought management plans for Jazmorian watershed, studying drought in different monthly and annual time scales and providing a suitable strategy for the management of drought in the highlands and plains areas separately.

Keywords: Meteorological Drought, SPI Index, CZI Index, Interpolation Methods, Semivariogram models

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.18.12.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.18.12]