



دانشگاه گورگان  
فصلنامه علمی کشاورزی و منابع طبیعی

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد هجدهم، شماره اول، ۱۳۹۰  
www.gau.ac.ir/journals

## ارزیابی مدل‌های مختلف پهنه‌بندی شدت بروز خشک‌سالی در مقیاس‌های مختلف زمانی مطالعه موردی: استان سیستان و بلوچستان

\*حسین انصاری<sup>۱</sup>، مریم عرفانیان<sup>۲</sup> و محمد نادریان‌فر<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، <sup>۲</sup>دانشجوی دکتری گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد،  
<sup>۳</sup>دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد  
تاریخ دریافت: ۸۹/۵/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۹/۲۰

### چکیده

خشک‌سالی به‌عنوان پدیده‌ای آرام و خزنده با گسترش مکانی بالا، هر ساله خسارات بسیار زیادی را به بخش‌های مختلف اقتصادی کشور وارد می‌سازد. بنابراین باید پایش و پهنه‌بندی آن به‌عنوان یک اصل مهم در برنامه‌ریزی‌های کلان مورد توجه قرار گیرد. پایش خشک‌سالی‌ها با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) در یک دوره آماری ۲۵ ساله (۱۹۸۱-۲۰۰۵) در استان سیستان و بلوچستان نشان داد که در سال‌های اخیر تکرار و تداوم این پدیده در همه نقاط استان افزایش و تا حدودی از شدت آن کاسته شده است. همچنین با توجه به نتایج این شاخص، مشخص شد که خشک‌سالی‌های به‌وقوع پیوسته در مناطق جنوبی و مرکزی استان، از تداوم و شدت بیش‌تری نسبت به مناطق شمالی استان برخوردار است. در این پژوهش نیز به جهت اهمیت موضوع و برای کمک به برنامه‌ریزی دقیق‌تر، از روش‌های زمین آماری به‌عنوان یک ابزار برای پهنه‌بندی خشک‌سالی استفاده گردید. بر این اساس مدل‌های کرجینگ، عکس فاصله و منحنی پوش مورد بررسی قرار گرفت. برای ارزیابی روش‌ها از تکنیک ارزیابی متقابل با معیارهای میانگین ریشه‌ای خطا (RMSE)، متوسط انحراف خطاها (MBE)، متوسط قدرمطلق خطاها (MAE) و ضریب همبستگی ( $R^2$ ) بین داده‌های واقعی و تخمینی استفاده شده است. نتایج کلی به‌دست آمده از رتبه‌بندی مجموع معیارهای ذکر شده

\*مسئول مکاتبه: ansari\_hos@yahoo.com

نشان می‌دهد که از بین سه روش مختلف درون‌یابی، روش کریجینگ با تغییر نمای گوسی، که دارای مقادیر RMSE، MBE و MAE به ترتیب ۰/۵۴۶، ۰/۰۰۱۵- و ۰/۴۲ و دارای بیش‌ترین همبستگی ( $R^2=0/56$ ) می‌باشد به‌عنوان بهترین روش و مدل در منطقه بوده و پس از آن روش عکس فاصله با توان ۱ و ۲ مناسب‌ترین روش‌ها برای درون‌یابی و در نهایت پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی‌ها بوده است. با توجه با نتایج مطلوب روش کریجینگ، در نهایت نقشه‌های شدت خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی متفاوت برای استان مورد مطالعه تهیه شد.

**واژه‌های کلیدی:** دوره خشک، شاخص بارندگی استاندارد شده، کریجینگ، روش عکس فاصله، روش منحنی‌های پوش

#### مقدمه

بخش‌های وسیعی از ایران به‌علت واقع شدن در قلمرو اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، همواره بارش کمی دریافت می‌کنند و به این ترتیب، در بیش‌تر اوقات با کمبود آب مواجه‌اند. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های اقلیمی این مناطق، تغییرات شدید در رژیم بارش آن‌ها است. نوسانات یاد شده که به‌طور عمده باعث بروز پدیده‌های زیان‌بار جوی مانند خشک‌سالی می‌شوند، نقش بسیار مهمی در محدودیت دسترسی به منابع آب دارد. براساس مطالعات انجام شده، در میان بلایای طبیعی تهدیدکننده انسان و محیط زیست، خشک‌سالی هم از نظر فراوانی وقوع و هم از نظر مقدار خسارت‌های مالی و جانی (عموماً مرگ و میر بر اثر قحطی در آفریقا) در رده اول اهمیت قرار دارد (کنث، ۱۹۹۹).

در بررسی‌های مربوطه باید توجه داشت که دو مفهوم خشکی و خشک‌سالی کاملاً با یکدیگر متفاوتند. خشکی نوعی ویژگی دایم آب و هوایی در یک منطقه است که عبارت از بی‌کفایتی بارش در حد لازم برای ادامه فعالیت‌های حیاتی و عادی موجودات زنده در آن منطقه می‌باشد. در حالی‌که خشک‌سالی نشان‌دهنده کاهش رطوبت در یک دوره زمانی مشخص نسبت به رطوبت نرمال در همان دوره زمانی می‌باشد. بنابراین خشک‌سالی ویژگی دایمی منطقه نبوده و در هر رژیم آب و هوایی ممکن است، مشاهده شود (خلیلی و همکاران، ۲۰۰۷).

تاکنون تعریف‌های متعددی برای خشک‌سالی ارائه شده است. طبق بررسی‌های وایل‌هایت و گلاتنتز (۱۹۸۵) مشخص شد که بیش از ۱۵۰ تعریف در مورد خشک‌سالی در جهان وجود دارد. از بین

تعاریف موجود، جامع‌ترین آن‌ها توسط پالمر (۱۹۶۵) ارائه شده است. وی خشک‌سالی را کمبود مستمر و غیرطبیعی رطوبت در یک دوره زمانی (معمولاً یک‌سال) می‌داند. در این تعریف واژه مستمر به تداوم حالت کمبود و واژه غیرطبیعی به انحراف شاخص موردنظر از شرایط طبیعی یا میانگین اطلاق می‌شود. او خشک‌سالی را به انواع اقلیمی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی (قحطی) تقسیم کرده و چهار ویژگی اصلی خشک‌سالی را فراوانی، شدت، وسعت (فراگیری) و دوره تداوم (استمرار زمانی) می‌داند. به‌عنوان نمونه، خشک‌سالی کشاورزی (رطوبت خاک) در یک مقیاس زمانی کوتاه‌تری نسبت به خشک‌سالی هیدرولوژیکی (آب‌های زیرزمینی، جریان رودخانه‌ای و منابع آب) اتفاق می‌افتد (پاندا و همکاران، ۲۰۰۷؛ نلبتیز و تساکریز، ۲۰۰۹؛ پیترز و همکاران، ۲۰۰۶؛ شهید و هازاریکا، ۲۰۰۹).

یکی از قدم‌های مهم و اساسی در مطالعات خشک‌سالی هر منطقه، تعیین شاخص‌هایی است که بتوان براساس آن‌ها میزان و شدت تداوم خشک‌سالی را در آن منطقه ارزیابی کرد. شاخص‌های متعددی براساس روش تحلیل داده‌های بارندگی وجود دارد که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به شاخص پالمر، دهک‌ها<sup>۱</sup>، درصد از میانگین بارندگی<sup>۲</sup> و شاخص استاندارد شده بارندگی (SPI)<sup>۳</sup> اشاره کرد.

شاخص استاندارد شده بارندگی یکی از محدود شاخص‌های پایش خشک‌سالی و حتی می‌توان گفت تنها شاخصی است که در آن امکان پایش خشک‌سالی در مقیاس‌های متفاوت زمانی میسر شده و به این جهت از انعطاف‌پذیری بالایی در تعیین و پایش دوره‌های خشک و بررسی اثرات این پدیده بر ذخایر آبی کوتاه‌مدت (بخش کشاورزی) و ذخایر بلندمدت (مدیریت منابع آب و آب زیرزمینی)، برخوردار است (نلبتیز و تساکریز، ۲۰۰۹؛ شهید و هازاریکا، ۲۰۰۹). با توجه به خصوصیات شاخص SPI، این شاخص در سرتاسر دنیا برای پایش دوره‌های خشک مورد استفاده قرار گرفته است. قابلیت پایش SPI نزدیک به زمان واقعی باعث شده است تا محققان با تلفیق آن با دیگر روش‌ها، نتایج مطلوب‌تری به دست آورند (علیزاده و آشگرطوسی، ۲۰۰۸).

پایش خشک‌سالی سال‌های ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴ کلرادو، توسط مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) و مک‌کی و همکاران (۱۹۹۵) نمونه‌ای از پایش خشک‌سالی با استفاده از SPI می‌باشد. در پژوهشی دیگر یاموآ و همکاران (۱۹۹۷) نشان دادند که استفاده از نتایج SPI برای تعیین اثرات آب و هوا بر روی عملکرد

1- Deciles

2- Percent of Normal

3- Standardized Precipitation Index

گیاهان بسیار سودمند است. دوره‌های خشک ۹۶-۱۹۹۵ صحرای جنوبی و ایالات جنوب غربی ایالات متحده هم با استفاده از SPI توسط هیز و همکاران (۱۹۹۹) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در پژوهشی دیگر در نبراسکا، ادواردز و مکی (۱۹۹۷) با استفاده از SPI به بررسی دوره‌های خشک پرداختند. مقادیر SPI برای ۴۰ ایستگاه در ۷ بخش اقلیمی متفاوت در ترکیه نیز برای دوره آماری ۱۹۹۷-۱۹۴۰ و برای مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه توسط کموسکو (۱۹۹۹) محاسبه گردید. از SPI برای پایش دوره‌های خشک مناطق ساحلی غرب آفریقا توسط اگنیو (۲۰۰۰) استفاده شد. از جمله مطالعات دیگر می‌توان به مطالعات آتیلا و ژینل (۱۹۹۶) اشاره کرد. آن‌ها در مطالعاتشان برای پایش دوره‌های خشک مجارستان از SPI و PDSI استفاده کردند. مطالعات بالا از جمله مهم‌ترین مطالعاتی است که به بحث در مورد شاخص SPI پرداختند هر چند که مطالعات پراکنده زیادی در سرتاسر دنیا، موارد استفاده از این شاخص را مورد بحث قرار داده‌اند.

برای تحلیل مکانی شدت خشک‌سالی پژوهش‌های کمی انجام شده است که در این خصوص می‌توان به پژوهش‌های مرکز مقابله با خشک‌سالی آمریکا (سوبودا، ۲۰۰۴) و مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب (اسماختین، ۲۰۰۴) اشاره داشت که روش عکس فاصله را برای این منظور مناسب تشخیص داده‌اند. تکنیک دیگری به‌منظور پایش خشک‌سالی و تحلیل مکانی آن توسط ساکیریس و وانگیل (۲۰۰۴) ارائه شده است که آن‌ها با استفاده از روش عکس مجذور فاصله، نقشه بارندگی ماهانه و نقشه درصد نرمال متوسط بارندگی سالانه را ترسیم و سپس با این اطلاعات، نقشه توزیع مکانی شاخص SPI را برای دوره آماری یک‌ساله ۱۹۶۵-۱۹۶۴ تهیه کردند. بوردی و همکاران (۲۰۰۱) از شاخص SPI جهت رسم نقشه‌های پهنه‌بندی خشک‌سالی ماهانه در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت در ایتالیا استفاده نمودند. انصاری و داوری (۲۰۰۷) به پهنه‌بندی دوره‌های خشک استان خراسان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که از بین ۴ روش مختلف درون‌یابی (کریجینگ، منحنی پوش، عکس فاصله و مدل رگرسیون) روش کریجینگ با توجه به عملکرد آن روش مناسبی برای درون‌یابی و در نهایت پهنه‌بندی دوره‌های خشک استان خراسان است. بروینی و همکاران (۲۰۰۱) نیز نشان دادند که شاخص SPI جهت کمی کردن و پایش خشک‌سالی می‌تواند بسیار مفید باشد. آن‌ها همچنین نشان دادند که این شاخص و معادلات توازن آب در مقیاس ماهانه، هم‌خوانی بسیار خوبی با یکدیگر داشته و می‌توان با توجه به ترکیب شاخص SPI و معادلات توازن آب، تاریخ کشت هر محصول را به‌نحوی تغییر داد تا گیاهان از خشک‌سالی صدمه نبینند.

با توجه به کمبود آب و خشک‌سالی‌های اخیر در استان سیستان و بلوچستان و نیز بحرانی بودن منابع آب، این استان به‌عنوان منطقه مورد مطالعه این پژوهش انتخاب شد. علاوه بر این، نبود مطالعات مرتبط برای این استان، یکی دیگر از دلایل انتخاب منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین اطلاعات چندانی در ارتباط با روش‌های میان‌یابی دوره‌های خشک و پهنه‌بندی آن‌ها در ایران و به‌خصوص در استان سیستان و بلوچستان وجود ندارد. بنابراین با توجه به اهمیت این موضوع در تصمیم‌گیری‌های مدیریت منابع آب، هدف از این مطالعه بررسی وضعیت وقوع دوره‌های خشک و نحوه توزیع مکانی این دوره‌ها در استان سیستان و بلوچستان در سال‌های مختلف بوده تا بتوان با کمک نقشه‌های تولیدی نسبت به ارایه تصمیم‌های مفیدتر و متناسب با هر بخشی براساس مقیاس زمانی ۱ ماهه (کوتاه‌مدت) تا ۲۴ ماهه (بلندمدت) اقدام کرد.

### مواد و روش‌ها

**مشخصات منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه:** استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرقی ایران و در مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه پهنای شمالی و ۵۸ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۱۹ دقیقه درازای شرقی واقع شده است. این استان از دو ناحیه تشکیل شده که از نظر طبیعی با یکدیگر کاملاً متفاوت هستند. ناحیه سیستان که ۸۱۱۷ کیلومترمربع وسعت دارد و در قسمت شمالی استان واقع شده است. این ناحیه حوزه مسطح و مسدودی می‌باشد که از آبرفت‌های دلتای قدیمی و فعلی رود هیرمند تشکیل شده است. ناحیه بلوچستان با مساحت ۱۷۹۳۸۵ کیلومترمربع یک منطقه وسیع کوهستانی بوده که حد شمالی آن کویر لوت و حد جنوبی آن دریای عمان است.

برای انجام بررسی‌های دقیق و کامل در سطح استان، از میان همه ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی سازمان هواشناسی و باران‌سنجی شرکت سهامی آب منطقه‌ای واقع در سطح استان در مجموع ۳۰ ایستگاه که دارای آمار طولانی‌مدت و کامل (۲۵ سال و یا بالاتر) بودند، مورد استفاده قرار گرفتند که پراکندگی آن‌ها در شکل ۱ آورده شده است.

بعد از تعیین ایستگاه‌ها، آزمون همگنی داده‌ها به روش غیرگرافیکی (روش ران‌تست<sup>۱</sup>) برای اطمینان از کیفیت داده‌ها و همچنین همگن بودن سری داده‌های ثبت شده انجام شد و در موارد مورد نیاز، داده‌ها اصلاح و یا در صورت مفقود و ناقص بودن، از روش نسبت‌ها بازسازی شدند. لازم به ذکر

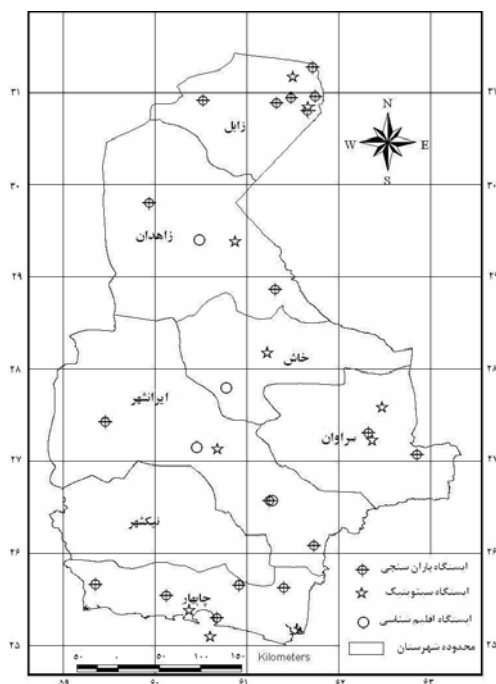
---

1- Run Test

است که آمار مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک و اقلیم‌شناسی سازمان هواشناسی، براساس ماه‌های میلادی و آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو، براساس ماه‌های شمسی می‌باشد که برای تطابق این داده‌ها، برنامه‌ای در نرم‌افزار اکسل نوشته شد که مقدار داده در هر ماه شمسی را به مقدار متناظر آن در ماه‌های میلادی مربوط می‌کرد.

در بررسی‌های مربوطه برای ایستگاه‌های منتخب، دوره آماری ۲۵ ساله ۱۹۸۱-۲۰۰۵ مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که برای بررسی دوره‌های خشک، از بین همه ماه‌های سال‌های بالا، ۱۰ ماه به‌عنوان نمونه انتخاب شده، به طوری که تمامی فصل‌های سال را شامل شود. علاوه بر این، به جهت بررسی‌های مربوطه در تحلیل‌ها از سری‌های زمانی مختلف (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه) استفاده شده است.

پس از انتخاب داده‌های مناسب، برای پایش شرایط خشک‌سالی و بررسی روند تغییرات طولانی‌مدت از شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) استفاده شد (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳؛ مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۵). با استفاده از این شاخص امکان پایش خشک‌سالی شامل تاریخ شروع، خاتمه، تداوم و شدت خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی متفاوت میسر است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده در سطح استان سیستان و بلوچستان.

در این پژوهش برای محاسبه SPI ابتدا مجموعه‌ای از متوسط دوره‌ها برای تعیین مجموعه داده با مقیاس‌های زمانی  $t$  ماهه (که قبلاً به آن اشاره شده است) ارایه شد. انتخاب این مجموعه‌ها با توجه به تأثیر کمبودهای بارندگی بر هر یک از انواع منابع آبی، مشخص می‌شود (سرجیو و ویسته-سرانو، ۲۰۰۶). این مجموعه در حال تغییر، برای هر ماه یک مقدار جدیدی را با توجه به مقادیر  $t$  ماه قبل به دست می‌دهد. هر مجموعه داده با مناسب‌ترین توزیع احتمال (توزیع گاما) جهت تعریف روابط احتمالاتی بارندگی، مشخص گردید (اولین گام در محاسبه شاخص SPI تعیین تابع توزیع احتمال است که بتوان سری‌های زمانی طولانی مدت داده‌های بارندگی را توصیف نمود). هنگامی که رابطه احتمال داده‌های بارندگی موجود به دست آمد، احتمال نقطه‌ای هر یک از داده‌های بارندگی مشاهده شده، محاسبه و برای محاسبه انحراف بارندگی در یک تابع چگالی احتمال نرمال استاندارد که دارای میانگین صفر و انحراف از معیار واحد می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفت. این مقادیر، مقدار SPI را برای هر داده بارندگی به دست می‌دهد.

روش‌های درون‌یابی و پهنه‌بندی خشک‌سالی: با توجه به این که برای پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی، شاخص SPI به‌عنوان شاخص مبنا مورد توجه قرار گرفته و الگوی مشخصی مانند سایر پارامترهای اقلیمی برای پهنه‌بندی در منطقه وجود ندارد، بنابراین از چند روش درون‌یابی و مدل تحلیلی به‌صورت زیر استفاده شده است.

روش عکس فاصله (مدل IDW<sup>1</sup>): این مدل یکی از روش‌های محلی درون‌یابی است. در این روش، مدل براساس نقاط همسایه برآزش داده و تولید می‌شود و به نقاط مجاور براساس نسبت فاصله آن‌ها از نقطه مجهول وزن خاصی اختصاص می‌یابد. در حقیقت نوعی میانگین‌گیری وزن‌دار صورت می‌پذیرد. در این روش مقدار داده تخمینی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Z_{x_0} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_{x_i} \cdot d_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n d_i^{-\alpha}} \quad (1)$$

که،  $Z_{x_0}$ : مقدار تخمینی متغیر  $Z$  در نقطه  $x_0$ ،  $Z_{x_i}$ : مقدار نمونه در نقطه  $x_i$ ،  $d_i$ : فاصله نقطه نمونه تا نقطه مورد تخمین و  $\alpha$ : ضریبی که وزن را براساس فاصله تعیین می‌کند که مقدار آن غالباً معلوم نیست و با سعی و خطا تعیین می‌شود که در این مقاله مقادیر  $\alpha$  برابر با ۱، ۲، ۳ و ۴ در نظر گرفته شد.

#### 1- Inverse Distance Weights

این روش یکی از معمول‌ترین تکنیک‌های میان‌یابی نقاط پراکنده در فضا است که اساس آن بر مبنای این فرضیه است که در یک سطح میان‌یابی اثر یک پارامتر بر نقاط اطراف یکسان نبوده و نقاط نزدیک بیش‌تر و نقاط دور کم‌تر تحت‌تأثیرند و هرچه فاصله از مبدأ افزایش یابد اثر کم‌تر خواهد شد. در این روش پس از مشخص‌کردن مقادیر شاخص SPI در هریک از مقیاس‌های زمانی و برای سال‌های مختلف در هر یک از ایستگاه‌ها، مقادیر ارایه شده به نقشه وصل و مدل بالا با استفاده از نرم‌افزار Arcview بر روی نقشه‌ها اعمال شد و نقشه‌های پهنه‌بندی تولید گردید.

**روش منحنی پوش (مدل Spline):** روش Spline، روش درون‌یابی داده‌های مکانی است که یک سطح با حداقل انحنای بر روی نقاط مورد استفاده برای پهنه‌بندی برازش می‌دهد. این سطح مانند یک سطح پوششی است که امکان اتصال همه نقاط در فضا را با حداقل انحنای می‌دهد، بنابراین یک تابعی ریاضی را طوری بر سطح برازش می‌کند که از نقاط کنترل بگذرد. برای پهنه‌بندی خشک‌سالی براساس این مدل و انجام محاسبه‌های مربوطه از کد توسعه‌ی Surface<sup>۱</sup> نرم‌افزار Arcview استفاده شده است. در این روش پس از مشخص‌کردن مقادیر شاخص SPI در هر یک از مقیاس‌های زمانی و برای سال‌های مختلف در هر یک از ایستگاه‌ها، مقادیر ارایه شده به نقشه وصل و مدل بالا با استفاده از نرم‌افزار Arcview بر روی نقشه‌ها اعمال شد و نقشه‌های پهنه‌بندی تولید گردید.

**روش کرجینگ:** کرجینگ تخمین‌گری نااریب با کم‌ترین مقدار واریانس تخمین می‌باشد. کرجینگ را می‌توان برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی خصوصیات وقایع مورد مطالعه و از جمله خشک‌سالی به‌کار برد. هر چند مدل‌های زمانی بیش‌تر همراه با حل مسأله در مکان نیز می‌باشد. کرجینگ مکانی می‌تواند برای تخمین مقدار یک متغیر در نقطه‌ای که اطلاعات آن اندازه‌گیری نشده است، به‌کار رود. فرمول عمومی تخمین مقادیر مجهول در همه روش‌های درون‌یابی به‌صورت زیر است:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

که در آن،  $Z(x_0)$ : مقدار تخمین زده شده متغیر در نقطه  $x_0$ ،  $Z(x_i)$ : مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان  $x_i$ ،  $\lambda_i$ : وزن داده شده به مشاهده  $i$  ام.



همان‌طور که ذکر شد در این مدل از یک روش میانگین وزنی برای توزیع متغیرها استفاده می‌شود، به این صورت که هرچه متغیر در مکان  $X_i$  به متغیر مورد تخمین نزدیک‌تر باشد، وزن آن بیش‌تر است و هرچه فاصله آن‌ها از هم دورتر باشد، وزن آن کم‌تر خواهد بود. در روش کرجینگ، در ابتدا مقادیر مربوط به انحراف آماری متغیر در فواصل مختلف و در جهت‌های متفاوت نسبت به نقطه کنترل به صورت مجموعه‌ای از فاکتورهای وزن‌دار که حداقل خطا در تخمین مقادیر نقطه‌ای را دارد، برای انجام تحلیل تولید می‌شود.

اولین گام در روش‌های معمول کرجینگ ساخت نیم‌تغییرنا مجموعه نقاط پراکنده است. در نیم‌تغییرنا مقدار متغیر موردنظر در مقابل فاصله از نقطه مبدأ رسم می‌شود. هر نیم‌تغییرنا شامل دو قسمت است: نیم‌تغییرنا تجربی و نیم‌تغییرنا مدل که این دو نیم‌تغییرنا توسط کد توسعه‌ای Kriging نرم‌افزار Arcview تولید شد. برای تولید نیم‌تغییرنا مدل‌های زیر مورد استفاده قرار گرفت:

الف) مدل کروی<sup>۱</sup>

ب) مدل نمایی<sup>۲</sup>

ج) مدل گوسی<sup>۳</sup>

د) مدل خطی<sup>۴</sup>

برای پهنه‌بندی خشک‌سالی با استفاده از مدل کرجینگ، در ابتدا نیم‌تغییرنا تجربی و متعاقب آن نیم‌تغییرنا مدل به صورت مجزا و با استفاده از روش‌های متفاوت تولید نیم‌تغییرنا مدل و مقادیر مختلف فاصله<sup>۵</sup> تولید شد. در مراحل مختلف تولید نیم‌تغییرنا مدل، میانگین مجذور مربعات خطا به دست آمده برای روش‌های متفاوت تولید نیم‌تغییرنا مدل با مقادیر متفاوت فاصله، با همدیگر مقایسه می‌شدند و سپس از بین همه روش‌های تولید نیم‌تغییرنا مدل و مقادیر مختلف فاصله، بهترین و مناسب‌ترین روش و مقدار فاصله با کم‌ترین مقادیر میانگین مجذور مربعات خطا انتخاب می‌شد و براساس معادله به دست آمده برای نیم‌تغییرنا مدل، مقادیر شاخص SPI محاسبه شده در ایستگاه‌ها به سطح تعمیم داده شده و نقشه‌های پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی تولید شدند. همه مراحل بالا توسط نرم‌افزار Arcview بر روی نقشه‌ها اعمال و در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی تولید گردید.

- 1- Spherical Model
- 2- Exponential Model
- 3- Gaussian Model
- 4- Linear Model
- 5- Lag

مقایسه روش‌های پهنه‌بندی: برای ارزیابی و بررسی روش‌های مختلف پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی از روش اعتبارسنجی متقاطع<sup>۱</sup> استفاده شد. در این روش، یک نقطه به صورت موقتی حذف شده و مقدار آن از روی نقشه‌های پهنه‌بندی شده تعیین می‌گردد و در نهایت ضریب همبستگی بین داده‌ها، انحراف نتایج (MBE) و دقت روش (MAE) براساس روابط زیر محاسبه شدند:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (SPI_{Si} - SPI_{.i})}{n} \quad (۳)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |SPI_{Si} - SPI_{.i}|}{n} \quad (۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{SPI_{Si} - SPI_{.i}\}^2} \quad (۵)$$

که در آن،  $SPI_S$ : مقدار برآورد شده  $SPI$ ،  $SPI_{.i}$ : مقدار واقعی  $SPI$ ،  $MBE$ : مقدار انحراف مدل،  $MAE$ : دقت مدل،  $i$ : اندیس مربوط به ایستگاه، و  $n$ : تعداد ایستگاه.

پارامتر ارزیابی  $MBE$  نشان می‌دهد که اولاً آیا مدل مقدار متغیر موردنظر را کم یا زیاد برآورد می‌کند و دوم مقدار کمی آن چقدر است. زمانی که  $MBE$  برابر صفر است، مشخص می‌شود که مدل فضای مورد مطالعه را خوب برآورده نموده و هیچ‌گونه انحرافی وجود ندارد. دقت مدل با  $MAE$  تعیین می‌شود که مقدار صفر آن نشان‌دهنده دقت صد درصد مدل بوده و هر قدر مقدار از صفر فاصله داشته بیانگر کم شدن دقت مدل است. این روش ارزیابی برای همه مدل‌های پهنه‌بندی و در همه مقیاس‌های زمانی برای ماه‌های انتخاب شده انجام شد.

## نتایج و بحث

انتخاب نیم‌تغییرنمای مناسب: براساس متدولوژی مورد بحث در بخش مواد و روش‌ها نسبت به پهنه‌بندی مقادیر شاخص بارندگی استاندارد شده در مقیاس‌های مختلف اقدام شد. البته باید یادآور شد

- 
- 1- Cross Validation
  - 2- Mean Bias Error
  - 3- Mean Absolute Error

که قبل از پهنه‌بندی مقادیر شاخص با روش کریجینگ، باید نیم‌تغییرنمای مناسب برای انجام پهنه‌بندی روش یاد شده انتخاب شود، بنابراین در این بخش نتایج به دست آمده از نیم‌تغییرنماها ارایه شده است. شکل ۲ نشان‌دهنده نیم‌تغییرنماهای برازش داده شده بر شاخص SPI در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه سال ۲۰۰۰ (به‌عنوان نمونه‌ای از تغییرنماهای به دست آمده در این پژوهش) می‌باشد که برای بررسی پارامترهای نیم‌تغییرنما (جدول ۱) شاخص SPI در مقیاس زمانی یاد شده انتخاب شده است و نشان می‌دهد که برای مدل کروی، اثر قطعه‌ای<sup>۱</sup>  $(C_1)$  ۰/۰۱۶ و مقدار آستانه<sup>۲</sup>  $(C_2 + C_3)$  برابر ۰/۷۶۹ می‌باشد. این نتایج همچنین نشان می‌دهد که شاخص SPI در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه تا فاصله ۳۹۳ کیلومتر دارای ساختار وابسته به مکان است. همچنین همبستگی بین نیم‌تغییرنماهای تجربی و نظری برازش داده شده دارای ضریب تعیین ۰/۷۱۱ و مجموع مربعات خطا (RSS) نیز ۰/۲۳۸ می‌باشد. این پارامترها برای مدل گوسی که دارای اثر قطعه‌ای ۰/۱۲۱ و مقدار آستانه برابر ۰/۷۸ بوده و تا فاصله ۲۰۱ کیلومتری دارای ساختار وابسته به مکان می‌باشد، اما ضریب تعیین بین نیم‌تغییرنماهای تجربی و مدل یاد شده  $(R^2 = 0/712)$  بیش‌تر از سایر مدل‌ها و مجموع مربعات خطای آن  $(RSS = 0/237)$  کم‌تر می‌باشد، در نتیجه مدل یاد شده نسبت به سایر مدل‌ها مناسب‌تر است.

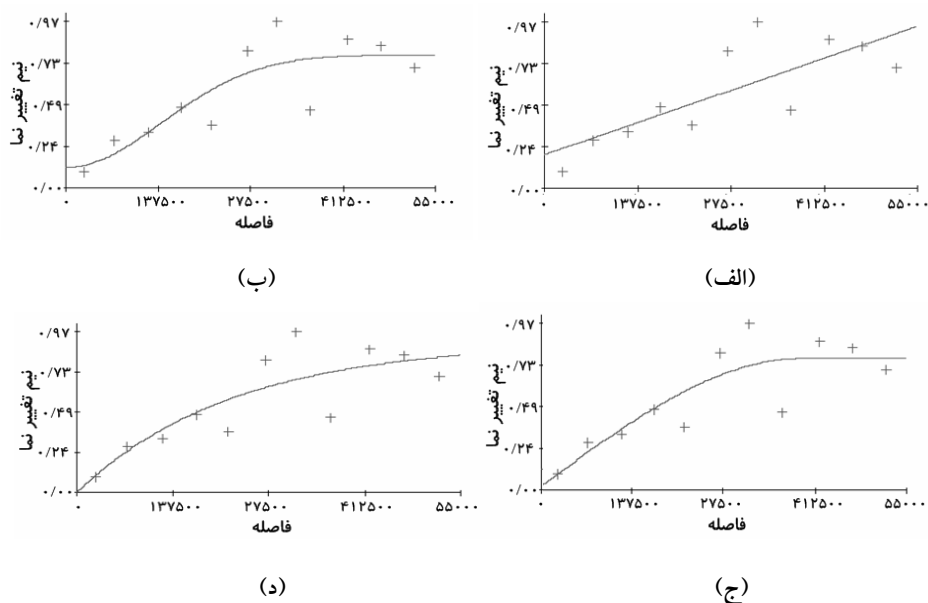
در این پژوهش پس از برازش چندین مدل نیم‌تغییرنما به داده‌های SPI در مقیاس‌های زمانی و سال‌های مختلف مورد بررسی در دوره آماری، بهترین مدل برازش داده شده با توجه به نتایج ارزیابی و رتبه‌بندی روش‌های مختلف تخمین جدول ۲ استفاده گردید و مشخص شد که در کل بهترین مدل برازش داده شده در روش کریجینگ، مدل گوسی و پس از آن مدل کروی برای منطقه می‌باشد. در رابطه‌های زیر، معادله‌های مربوط به مدل گوسی (فرم کلی و معادله با ضرایب به دست آمده براساس جدول ۱، که بهترین برازش‌ها را ارایه نموده است، آورده شده است.

$$\gamma(h) = C(1 - e^{-\frac{h}{A}}) \quad (6)$$

$$\gamma(h) = 0/78(1 - e^{-\frac{h}{404.1}}) \quad (7)$$

1- Nugget Effect

2- Sill



شکل ۲- نیم‌تغییرنمای تجربی و نیم‌تغییرنمای مدل‌های تولیدی برای شاخص SPI در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه سال ۲۰۰۰  
الف: (مدل خطی)، ب: (مدل گوسی)، ج: (مدل نمایی)، د: (مدل کروی).

جدول ۱- پارامترهای نیم‌تغییرنمای شاخص SPI در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه سال ۲۰۰۰ به روش کرجینگ.

RSS	$R^2$	$C + C_0$	$A_0$ (کیلومتر)	$C_0$	نیم‌تغییرنمای تجربی
۰/۲۳۸	۰/۷۱۱	۰/۷۶۹	۳۹۳	۰/۰۱۶	کروی
۰/۲۵۱	۰/۶۹۴	۰/۹۰۹	۲۲۵	۰/۰۰۱	نمایی
۰/۳۲	۰/۶۱	۰/۹۰۳	۵۱۸	۰/۱۹۲	خطی
۰/۲۳۷	۰/۷۱۲	۰/۷۸	۲۰۱	۰/۱۲۱	گوسی

$C_0$ : اثر قطعه‌ای،  $A_0$ : دامنه تأثیر،  $C + C_0$ : آستانه،  $R^2$ : ضریب تعیین، RSS: مجذور مربعات خطا.

مقایسه روش‌های پهنه‌بندی: از آنجایی که هدف اصلی این مقاله، بررسی و مقایسه روش‌های پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی بوده، بنابراین در این بخش بیشتر به ارائه نتایج مربوطه پرداخته شده است. با این حال با توجه به این‌که پهنه‌بندی‌ها براساس نتایج مربوط به پایش خشک‌سالی صورت می‌گیرد، بنابراین در ابتدا به‌طور خلاصه به ذکر نتایج به‌دست آمده از پایش خشک‌سالی در استان سیستان و بلوچستان پرداخته می‌شود.

**نتایج پایش خشک‌سالی:** نتایج به‌دست آمده از پایش خشک‌سالی نشان دادند که در سال‌های اخیر تداوم خشکی‌ها افزایش یافته، اما تا حدودی از شدت آن‌ها کاسته شده است. همچنین در همه مقیاس‌های زمانی در سال‌های اخیر در منطقه موردنظر تکرار خشک‌سالی‌ها افزایش، اما از شدت آن‌ها تا حدودی کاسته شده است. پایش خشک‌سالی‌های خیلی شدید منطقه نیز نشان داد که این نوع از خشک‌سالی‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف دارای تکرار و تداوم‌های متفاوتی می‌باشند. این نتایج همچنین نشان می‌دهند که وقوع این نوع از دوره‌های خشک در مناطق جنوبی و مرکزی استان با تداوم و تکرار بیش‌تری نسبت به مناطق مرکزی و شمال استان اتفاق می‌افتد. با توجه به ماهیت شاخص بارندگی استاندارد شده، نتایج نشان دادند که با افزایش مقیاس‌های زمانی، خشک‌سالی‌های کوچک‌تر با هم ترکیب شده و خشک‌سالی‌های با گستردگی زمانی بیش‌تری را با تکرار کم‌تر و تداوم بیش‌تر به‌وجود آورده‌اند که تا حدودی از شدت آن‌ها کاسته شده است.

**نتایج بررسی روش‌های پهنه‌بندی:** بررسی و تحلیل یافته‌های به‌دست آمده از پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی و همچنین مقایسه مقادیر متوسط انحراف خطاها، متوسط قدرمطلق خطاها، میانگین ریشه‌ای خطاها و ضریب همبستگی و نیز رتبه‌دهی براساس مجموع معیارهای ذکر شده، نشان داد که از بین روش‌های مختلف درون‌یابی شاخص SPI (جدول ۲)، روش کرجینگ (به غیر از نیم‌تغییرنمای خطی) به‌عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی شاخص SPI و در نهایت پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی می‌باشد، به‌طوری‌که در این روش برای مدل برتر با رتبه ۱ که مدل گوسی می‌باشد مقادیر MBE، RMSE، MAE و  $R^2$  به‌ترتیب  $-0/0015$ ،  $0/42$ ،  $0/566$  و  $0/56$  به‌دست آمد در حالی‌که این مقادیر برای روش منحنی پوش به‌ترتیب  $-0/19$ ،  $0/43$ ،  $1/834$  و  $0/15$  است که نشان‌دهنده ضعف مدل بوده و کم‌ترین همبستگی ( $0/15$ ) و رتبه (۹) را در بین روش‌های مورد تحلیل برخوردار می‌باشد.

لازم به ذکر است که مقادیر ارزیابی شده برای دو پارامتر مربوط به اعتبارسنجی متقاطع از میانگین مقادیر این دو پارامتر برای ماه‌های مختلف سال ۲۰۰۰ میلادی و مقیاس‌های زمانی ۱ تا ۲۴ ماهه به‌دست آمده است. علاوه‌بر این مشاهده می‌شود که روش IDW با توان‌های ۱ و ۲، پس از مدل کرجینگ نیز برآوردهای مناسبی داشته و اختلاف ناچیزی با آن دارد. در روش IDW با توان ۱ پارامترهای MBE، MAE، RMSE و  $R^2$  به‌ترتیب  $-0/03$ ،  $0/44$ ،  $0/603$  و  $0/54$  به‌دست آمد که همان‌طورکه گفته شد نشان می‌دهد برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی و تحلیل مکانی منطقه، از خطای کم‌تری پس از روش کرجینگ برخوردار است.

---

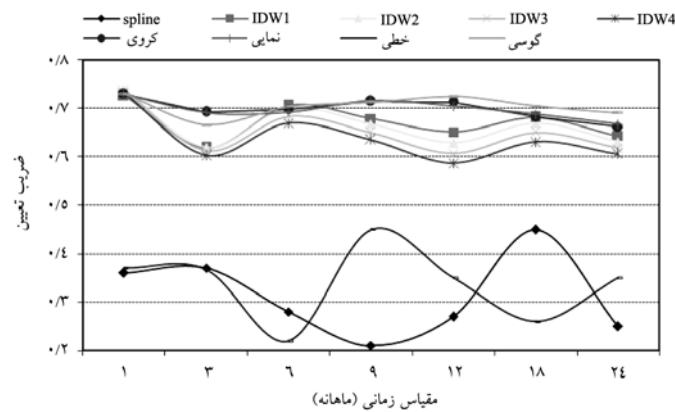
1- Root Mean Square Error

جدول ۲- مقایسه روش‌های مختلف پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی‌های استان سیستان و بلوچستان.

رتبه براساس مجموع معیارهای مختلف	$R^2$	MAE	RMSE	MBE	پارامتر ارزیابی	مدل
۴	۰/۵۴	۰/۴۴	۰/۶۰۳	-۰/۰۳	IDW (توان ۱)	
۵	۰/۵۳	۰/۴۴	۰/۶۰۷	-۰/۰۳	IDW (توان ۲)	
۶	۰/۵۲	۰/۴۵	۰/۶۲۳	-۰/۰۲	IDW (توان ۳)	
۷	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۶۳۸	-۰/۰۱	IDW (توان ۴)	
۹	۰/۱۵	۰/۵۵	۱/۸۳۴	-۰/۱۹	Spline	
۲	۰/۵۵	۰/۴۳	۰/۵۵۳	۰/۰۰۳۵	کریجینگ (نیم‌تغییرنمای کروی)	
۳	۰/۵۵	۰/۴۳	۰/۵۵۶	۰/۰۰۲۴	کریجینگ (نیم‌تغییرنمای نمایی)	
۸	۰/۱۷	۰/۹۲	۱/۸۴۱	۰/۰۳۱	کریجینگ (نیم‌تغییرنمای خطی)	
۱	۰/۵۶	۰/۴۲	۰/۵۴۶	-۰/۰۰۱۵	کریجینگ (نیم‌تغییرنمای گوسی)	

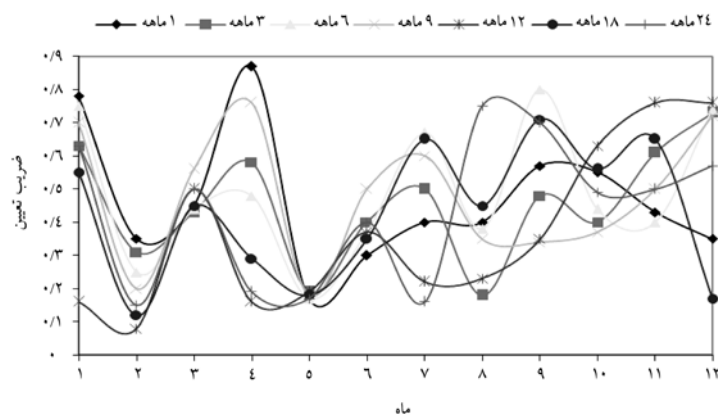
به‌منظور بررسی بهتر روش‌های مختلف پهنه‌بندی و مقایسه نتایج به‌دست آمده از پهنه‌بندی مقادیر شاخص در مقیاس‌های مختلف زمانی، معیارهای عملکرد مدل برای مقیاس‌های متفاوت زمانی نیز تولید شد (شکل ۳). به‌طوری‌که برای روش کریجینگ و مدل گوسی مقادیر ضریب تعیین در مقیاس‌های زمانی مختلف بالاتر از ۰/۶۶ به‌دست آمد و بیش‌ترین آن برای مقیاس زمانی ۱ ماهه به‌دست آمده است. برای تمام روش‌ها به‌جز روش منحنی پوش و کریجینگ با مدل خطی SPI با مقیاس زمانی ۱ ماهه بیش‌ترین همبستگی را دارد.

همچنین کم‌ترین مقادیر  $R^2$  در سری‌های زمانی مختلف برای روش‌های منحنی پوش و کریجینگ با مدل خطی به‌دست آمد به‌طوری‌که بیش‌ترین همبستگی برای این دو روش ۰/۴۵ ولی با مقیاس زمانی مختلف ۱۸ و ۹ ماهه می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که مشابه با نتیجه قبلی روش‌های کریجینگ (به غیر از نیم‌تغییرنمای خطی) و روش IDW بالاترین مقادیر را حتی برای مقیاس‌های متفاوت زمانی به خود اختصاص داده‌اند. علاوه‌بر این مشاهده می‌شود که در بهترین مدل‌ها (کریجینگ با نیم‌تغییرنمای گوسی و کروی) نوسانات ضریب تعیین در سری‌های زمانی مختلف، بسیار کم بوده و تقریباً مقدار یکسانی را دارا می‌باشد. شاید بتوان گفت که این امر نیز یکی دیگر از دلایل بهتر بودن این روش‌ها بر سایر روش‌های پهنه‌بندی است.



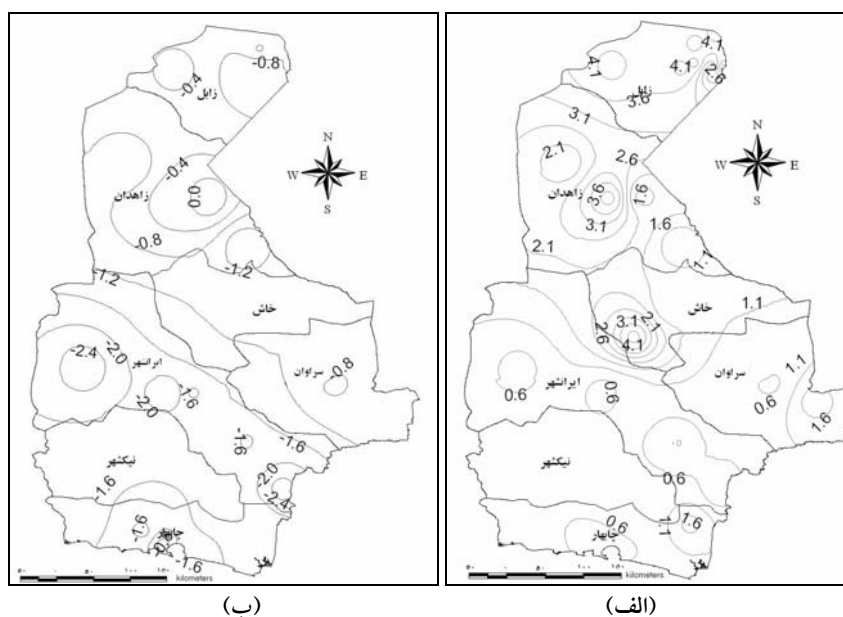
شکل ۳- ضریب تعیین مقادیر واقعی و برآورد شده SPI در روش‌های مختلف پهنه‌بندی خشک‌سالی برای سری‌های زمانی مختلف.

علاوه بر تحلیل‌های بالا، با توجه به این‌که روش کرجینگ (نیم‌تغییرنمای گوسی) بهترین نتایج را هم برای سال ۲۰۰۰ و هم در مقیاس‌های زمانی مختلف ارائه داده است، بنابراین شدت خشک‌سالی براساس روش یاد شده در ماه‌های مختلف سال و برای مقیاس‌های زمانی متفاوت (مقیاس زمانی ۱ تا ۲۴ ماهه) برای منطقه مورد مطالعه پهنه‌بندی (شکل ۵) و ضرایب تعیین هر یک از ماه‌ها و مقیاس‌های زمانی تعیین شد (شکل ۴). همان‌طور که ملاحظه می‌شود این تغییرات روند سینوسی را طی می‌کند که کم‌ترین مقادیر مربوط به ماه‌های می و فوریه می‌باشد.



شکل ۴- مقایسه ضریب تعیین مربوط به روش کرجینگ با نیم‌تغییرنمای گوسی در ماه‌های مختلف برای سری‌های زمانی مختلف.

همچنین نتایج شکل ۴ نشان می‌دهد که در ماه‌های ۱ تا ۵، مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر از همبستگی بیش‌تری برخوردار می‌باشد زیرا در این ماه‌ها بارندگی در منطقه زیاد است و ارقام SPI برابر صفر یافت نمی‌شود. عکس این حالت برای سایر ماه‌ها صادق است به‌طوری‌که در سایر ماه‌ها SPI با مقیاس زمانی بلندمدت از همبستگی بیش‌تری برخوردار می‌باشد زیرا در این ماه‌ها که بارندگی کم است در مقیاس‌های زمانی بلندمدت SPI با ارقام صفر یافت نمی‌شود و در نتیجه همبستگی بیش‌تر می‌شود.



شکل ۵- پهنه‌بندی خشک‌سالی به روش کرجینگ با شاخص SPI برای ماه ۱۱ سال ۲۰۰۰  
الف): مقیاس زمانی یک‌ماهه و ب): مقیاس زمانی ۱۲ ماهه.

در شکل ۵ (الف و ب) پهنه‌بندی شدت خشکی در سری‌های زمانی ۱ و ۱۲ ماهه به روش کرجینگ برای سال ۲۰۰۰ در ماه ۱۱ (نوامبر) آورده شده است. در این شکل‌ها مشاهده می‌شود که در هر دو سری زمانی یک و دوازده ماهه می‌توان یک روند افزایش شدت خشکی در استان، به‌طورکلی از سمت شمال به جنوب مشاهده کرد. البته لازم به ذکر است که همان‌طورکه در شکل ۵- الف مشخص است، با توجه به این‌که سری زمانی یک‌ماهه بررسی شده، شدت‌های خشکی SPI همگی مثبت بوده



و به عبارت دیگر دوره خشکی وجود نداشته است. با این وجود در نواحی جنوبی و جنوب غربی و شرقی استان، شامل شهرهای ایرانشهر، قسمت‌هایی از شهرستان سراوان، نیکشهر و چابهار شدت خشکی مقادیر کم‌تر (نزدیک‌تر به صفر) را به خود اختصاص داده که بیانگر وقوع شرایطی نزدیک به خشکی است.

در شکل ۵-ب که مربوط به سری زمانی ۱۲ ماهه می‌باشد (یعنی بارندگی ماه فعلی و ۱۱ ماه قبل آن) نیز روند افزایش شدت خشکی مشابهی با سری زمانی یک ماهه مشاهده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌گردد بیش‌ترین مقادیر SPI (مقادیر منفی‌تر) در قسمت‌های غربی و جنوب شرقی شهرستان سراوان اتفاق افتاده و نواحی شمالی شامل شهرهای زابل و زاهدان از شدت کم‌تری برخوردار است.

لازم به ذکر است که این دو شکل به صورت نمونه و برای جلوگیری از طولانی شدن مطلب، برای سال، ماه و سری زمانی ذکر شده آورده شده است. ولی به منظور اتخاذ تصمیمات مدیریتی جهت مقابله با خطرات خشک‌سالی، تولید نقشه‌ها برای سال‌ها و سری‌های زمانی مختلف و بررسی و مقایسه آن‌ها لازم می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از برازش نیم تغییرنماهای مختلف در روش کریجینگ نشان داد که برای نیم تغییرنماهای گوسی و کروی مقادیر RMSE، MBE، MAE و  $R^2$  به ترتیب ۰/۰۰۱۵، ۰/۰۵۴۶، ۰/۰۵۵، ۰/۰۳۵، ۰/۰۴۳، ۰/۰۵۳ و ۰/۰۵۶، ۰/۰۴۲، کریجینگ تخمین بهتری برای منطقه ایجاد می‌کند و به عنوان بهترین روش و مدل در منطقه می‌باشد و پس از آن روش عکس فاصله با توان ۱ و ۲ مناسب‌ترین روش‌ها برای درون‌یابی و در نهایت پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی‌ها بوده است.

با بررسی و تحلیل نتایج به دست آمده از پژوهش، در نهایت نتیجه‌گیری می‌شود که از بین روش‌های مورد استفاده برای پهنه‌بندی، روش کریجینگ (نیم تغییرنماهای گوسی و کروی) با توجه به خصوصیات آن می‌تواند به عنوان روش مناسبی برای تحلیل مکانی شدت خشک‌سالی استان سیستان و بلوچستان مطرح باشد. بنابراین اهمیت این مطالعه در بررسی روش‌های مختلف پهنه‌بندی و انتخاب مناسب‌ترین روش برای منطقه خاص مورد بررسی روشن می‌شود.

نقشه‌های به‌دست آمده از مقادیر شاخص در مقیاس‌های زمانی متفاوت نیز نشان داد که با استفاده از روش کریجینگ و نرم‌افزار Arcview، به راحتی امکان تولید نقشه‌های هم‌تراز شدت خشک‌سالی وجود دارد. همان‌طور که در قسمت‌های قبلی نیز ذکر شد این نتایج و نقشه‌ها در گرفتن تصمیم‌های مهم مدیریتی، از جمله بررسی شدت خشک‌سالی‌ها در نقاط مختلف استان به‌منظور مطالعات بیمه محصولات کشاورزی دارای اهمیت بسیاری می‌باشد.

علاوه بر این نتایج به‌دست آمده از پهنه‌بندی دوره‌های خشک با استفاده از نرم‌افزار Arcview و کدهای توسعه‌ای نشان داد که این نرم‌افزار می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مدیریتی بسیار مناسبی، اطلاعات جامع و کاملی را در اختیار مدیران و مسئولان امر قرار دهد.

### پیشنهادات

پیشنهاد می‌شود که از شاخص SPI برای پایش دوره‌های خشک کشاورزی (دیم و آبی)، دوره‌های خشک هواشناسی و دوره‌های خشک منابع آبی (قنات‌ها، چشمه‌ها، کاریزها، مخازن بزرگ و کوچک، منابع آب سطحی فصلی و دائمی و منابع آب زیرزمینی کم‌عمق و عمیق) با توجه به خصوصیات شاخص استفاده شود. علاوه بر این می‌توان مقادیر این شاخص را با شاخص‌های دیگر پایش مانند شاخص پالمر و درصد نرمال بارندگی، شاخص NDVI مقایسه کرد و برتری این روش‌ها نسبت به یکدیگر را در زمینه‌های مختلف بررسی نمود.

همچنین می‌توان در پژوهش‌هایی دیگر به‌منظور بررسی دقیق‌تر، انواع خشک‌سالی‌ها را در شهرهای مختلف استان، براساس بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وقوع، شدت و تداوم آن‌ها مطالعه نمود. علاوه بر این پیشنهاد می‌شود که نقشه‌های پهنه‌بندی شدت خشکی براساس شاخص استاندارد بارندگی (و یا سایر شاخص‌ها که بهترین نتایج را برای مناطق مختلف عاید ساخته) برای همه مناطق کشور و یا استان‌هایی که بیش‌تر با خطر خشک‌سالی مواجه‌اند، در سال‌ها و ماه‌ها و نیز سری‌های زمانی مختلف انجام شده و به‌عنوان یک مرجع و بانک اطلاعاتی جامع برای تصمیم‌گیری‌های مناسب‌تر در حوزه مدیریت بحران و ریسک، بیمه محصولات کشاورزی و...، در اختیار ارگان‌های مرتبط قرار گیرد.

### سپاسگزاری

این طرح با حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد و در قالب طرح تحقیقاتی مصوب شماره ۲۸۵ پ مورخ ۸۷/۳/۲۸ به انجام رسیده است. به این وسیله از حمایت‌های بی‌دریغ دانشگاه فردوسی مشهد سپاسگزاری می‌شود.

### منابع

1. Agnew, C.T. 2000. Using the SPI to Identify Drought. Issue of Drought Network News [On-line], 12. Available on the [www:http://enso.unl.edu/ndmc](http://enso.unl.edu/ndmc).
2. Alizadeh, A., and Ashgr Tusi, Sh. 2008. Development of a Model for Monitoring and Forecasting Drought (case study: Khorasan Razavi Province). Agri. Sci. and Tech. Journal, Special Issue in Water and Soil, 22: 1. 234-223. (In Persian)
3. Ansari, H., and Davari, K. 2007. Zoning Drought Using Standard Precipitation Index (SPI) in GIS Environment Case Study of Khorasan. Geographical Research Quarterly, 39: 60. 97-108. (In Persian)
4. Attila, B., and Szinell, C. 1996. Drought Continues in Hungary in 1995. Issue of Drought Network News [On-line], 3. Available on the [www:http://enso.unl.edu/ndmc](http://enso.unl.edu/ndmc).
5. Bordi, I., Frigid, S., Parenti, P., Speranza, A., and Sutera, S. 2001. The Analysis of the Standardized Precipitation Index in the Mediterranean Area (part I), <http://www.phys.uniroma1.it/index.html>.
6. Bronini, O., Pinto, H.S., Zullo Jr, J., Barbano, M.T., Camargo, M.B.P., Alfonsi, R.R., Blain, G.C., Pedro Jr, M.J., and Pellegrino, G.Q. 2001. Drought Quantification and Preparedness in Brazil. The example of Sao Paulo State.
7. Edwards, D.C., and McKee, T.B. 1997. Characteristics of 20<sup>th</sup> Century Drought in the United States at Multiple Time Scales. Climatology Report Number 97-2, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins.
8. Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wilhite D.A., and Vanyarkho, O.V. 1999. Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index. Bulletin of the American Meteorological Society, 80: 429-438.
9. Keneth, H.F. 1999. Climate Variation, Drought and Desertification, W.M.O. Annual Report. Geneva.
10. Khalili, A.N., Mosaedi, A., and Latifi, N. 2007. Assessment of Drought and its occurrence in Oroumie. J. Agric. Sci. and Natur. Resour. 14: 5. (In Persian)
11. Komuscu, A.U. 1999. Using the SPI to Analyze Spatial and Temporal Patterns of Drought in Turkey. Issue of Drought Network News [On-line], 1. Available on the [WWW:url:http://enso.unl.edu/ndmc](http://enso.unl.edu/ndmc).

12. McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. P 179-184, In: Proc. 8<sup>th</sup> Conf. on Applied Climatology, January 17-22, 1993. American Meteorological Society, Massachusetts.
13. McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1995. Drought Monitoring with Multiple Time Scales. P 233-236, In: Proc. 9<sup>th</sup> Conf. on Applied Climatology, January 15-20, 1995. American Meteorological Society, Massachusetts.
14. Nalbantis, I., and Tsakiris, G. 2009. Assessment of Hydrological Drought Revisited. *Water Resources Management*, 23: 881-897.
15. Palmer, W.C. 1965. Meteorological Drought, Research Paper, 45. USMO.
16. Panda, D.K., Mishra, A., Jena, S.K., James, B.K., and Kumar, A. 2007. The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India. *J. Hydro.* 343: 140-153.
17. Peters, E., Bier, G., Van Lanen, H.A.J., and Torfs, P.J.J.F. 2006. Propagation and Spatial Distribution of Drought in a Groundwater Catchment. *J. Hydro.* 321: 257-275.
18. Sergio, M., and Vicente-Serrano, S.M. 2006. Differences in Spatial Patterns of Drought on Different Time Scales: An Analysis of the Iberian Peninsula. *Wat. Resour. Manage.* 20: 37-60.
19. Shahid, Sh., and Hazarika, M.K. 2009. Groundwater Drought in the Northwestern District of Bangladesh. *Wat. Resour. Manage.*, DOI 10.1007/s11269-009-9534-y.
20. Smakhtin, V. 2004. International Water Management Institute, Sri Lanka, Personal communication.
21. Svoboda, M. 2004. National Drought Mitigation Center, USA, Personal communication.
22. Tsakiris, G., and Vangelis, H. 2004. Towards a Drought Watch System Based on Spatial SPI. *Water. Resour. Manage.* 18: 1-12.
23. Wilhite, D.A., and Glantz, M.H. 1985. Understanding the Drought Phenomenon :The Role of Definitions. *Water International*, 10: 111-120.
24. Yamoah, C., Hayes, M.J., and Savoboda, M.D. 1997. Application of the Standardized Precipitation Index to Estimate Crop Yield in Nebraska. In: Proc. 10<sup>th</sup> Conf. on Applied Climatology, Boston, MA: American Meteorological Society.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 18(1), 2011*  
[www.gau.ac.ir/journals](http://www.gau.ac.ir/journals)

## **The evaluating of drought zoning models in various time scales case study: Sistan and Balouchestan Province**

**\*H. Ansari<sup>1</sup>, M. Erfanian<sup>2</sup> and M. Naderian Far<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad,

<sup>2</sup>Ph.D. Student, Dept. of Irrigation and Drainage, Ferdowsi University of Mashhad,

<sup>3</sup>M.Sc. Student, Dept. of Irrigation and Drainage, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 2010/08/14; Accepted: 2010/12/11

### **Abstract**

Drought is a creeping natural hazard with large extent of occurrence, causes considerable damages to different economical parts of our country. Because of the vast impact of drought, it is essential to be monitored timely and spatially. Specifically, SPI was used as drought monitoring Index of Sistan and Balouchestan province of Iran, and for zoning proposes three models (Kriging, Spline and IDW) were employed. Results showed that during last 25 years period (1981-2005), occurrence of drought has been more frequent and also lasted longer than the early years. However, the severity of drought has been reduced. It can be seen that the duration and severity of drought is more in the southern and central area than in the northern parts of the province. Cross validation technique with  $R^2$ , RMSE, MDE and MAE were analyzed to assess the zoning methods. Results of ranking these criteria's summation showed that the Kriging with Gaussian variogram, with RMSE, MDE, MAE and  $R^2$  equal to 0.546, -0.0015, 0.42 and 0.56 (the maximum correlation), respectively, and the IDW with 1 and 2 power were the best methods for drought zoning. Finally, drought's severity maps were generated, which are useful tools to take management decisions to solve the drought crisis problems.

**Keywords:** Dry, Standard precipitation index (SPI), Kriging, IDW, Spline

---

\* Corresponding Author; Email: [ansari\\_hos@yahoo.com](mailto:ansari_hos@yahoo.com)

