

## پایش و تحلیل مکانی خشکسالی هواشناسی در سطح استان گلستان با استفاده از روش‌های زمین‌آماري

معصومه عیوضی<sup>۱</sup> و ابوالفضل مساعدی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

(تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۱۹، تاریخ تصویب: ۸۹/۱۲/۱۸)

### چکیده

پایش خشکسالی در هر منطقه یکی از بخش‌های مهم در مدیریت خطر خشکسالی است. درون‌یابی یکی از روش‌های مناسب برای پیش‌بینی مکانی خشکسالی است. به این منظور، پس از انجام آزمون‌های آماری، تعدادی از ایستگاه‌های باران‌سنجی استان گلستان با پراکنش مکانی مناسب که تا پایان سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ (دوره آماری ۲۵ ساله) داده‌های بارش آنها برداشت شده‌بود، انتخاب شدند. وضعیت رطوبتی (خشکسالی) هر یک از ایستگاه‌ها در طول دوره آماری در نه دوره مختلف (شامل ۸ دوره ماهانه و یک دوره سالانه) با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) مورد بررسی قرار گرفت. سپس برای پایش و سنجش خشکسالی در هر منطقه، روش‌های درون‌یابی قطعی (RBF، GPI، IDW) و زمین‌آماري (Kriging) مورد استفاده قرار گرفتند. پس از تعیین بهترین روش درون‌یابی براساس فاکتور خطا و تبدیل اطلاعات نقطه‌ای به منطقه‌ای، نقشه‌های شدت خشکسالی طی ۲۵ سال برای تمامی دوره‌ها تهیه شد. در مرحله بعد گسترش مکانی هر یک از وضعیت‌های رطوبتی در طی دوره آماری ۲۵ سال (۶۲-۱۳۶۱ الی ۸۶-۱۳۸۵) در استان گلستان در محیط نرم افزار ArcGIS Ver9.2 رسم شد و مناطق تحت خطر خشکسالی شناسایی شدند. براساس نتایج بدست آمده در بررسی روش‌های درون‌یابی، روش کریجینگ و RBF در دوره‌های زمانی مختلف در پهنه‌بندی شدت خشکسالی نتایج بهتری را نشان دادند. علاوه بر این نتایج نشان می‌دهند که به طور متوسط در هر سال ۱۳ درصد استان دچار خشکسالی است. وسیع‌ترین خشکسالی در مقیاس سالانه در سال ۶۴-۱۳۶۳ رخ داده است که ۵۴ درصد از سطح استان دچار خشکسالی بوده است. در مقیاس ماهانه نیز وسیع‌ترین خشکسالی در دوره SPI9 ماهه منتهی به ماه آبان سال ۶۵-۱۳۶۴ رخ داده است که در آن ۸۷ درصد از سطح استان دچار خشکسالی بوده است. بر اساس شاخص SPI انتظار می‌رود که به طور متوسط در ۶۸ درصد زمان‌ها در هر دوره زمانی وضعیت رطوبتی در محدوده عادی باشد، ولی در این تحقیق مشاهده شد که از نظر مکانی در هر دوره زمانی، به طور متوسط بیش از ۶۸ درصد (به‌طور معمول بیش از ۷۰ درصد) وسعت منطقه از نظر توزیع مکانی در محدوده عادی قرار می‌گیرد. بنابراین بر اساس شاخص SPI وسعت منطقه‌ای محدوده تحت پوشش وضعیت عادی سالانه بیش از مقدار مورد انتظار است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، شاخص بارش استاندارد، زمین‌آماري، درون‌یابی، گلستان

## مقدمه

ولی با در نظر گرفتن سرعت عمل و استفاده از نتایج در سیستم‌های پایش فعال، روش میانگین متحرک وزن‌دار دقت بیشتری دارد. (Misagi & Mohammadi, 2006) با استفاده از روش‌های آماری مرسوم، زمین آمار و الخوارزمی شبکه عصبی مصنوعی، اطلاعات بارش در حوزه آبخیز مارون را درون‌یابی و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، پهنه‌بندی و خطوط هم‌بارش را محاسبه کردند. سپس نتایج حاصل از الخوارزمی و مدل‌های مذکور را با هم مقایسه کردند. نتایج آنها نشان دهنده برتری روش‌های زمین آماری و تخمین‌گرهای کریجینگ و کوکریجینگ بود. (Goovaert, 2000) در تحقیق خود برای آلاگرا (منطقه‌ای در پرتقال)، نشان داد که روش‌هایی از زمین آمار نظیر کریجینگ با روند خارجی و کوکریجینگ با متغیر کمکی ارتفاع نسبت به دیگر روش‌های زمین آماری نظیر کریجینگ ساده و عکس مجذور فاصله که تنها داده‌های بارندگی را در محاسبه به‌کار می‌برند، عملکرد بهتری در تخمین دارند. (Rusoo et al., 2005) نیز روش کریجینگ را مناسب برای ارزیابی بارش در سطح معرفی کردند. (Bodagh et al., 2002) با استفاده از شاخص SPI و روش‌های درون‌یابی کریجینگ و IDW وضعیت خشکسالی در استان خراسان را پهنه‌بندی کردند. سپس نقشه‌های شدت این پدیده را در مقیاس‌های زمانی متفاوت برای استفاده در برنامه‌ریزی‌های سازگاری با دوره‌های خشک تولید کردند. نتایج آنها نشان داد که دو روش کریجینگ و IDW با توان دو، روش‌های مناسبی به منظور تبدیل داده‌های نقطه‌ای به منطقه‌ای است. (Banejad et al., 2006) به منظور بررسی تغییرات منطقه‌ای خشکسالی، از روش‌های توصیه شده زمین آماری کریجینگ، کوکریجینگ و همچنین روش آماری میانگین متحرک وزنی استفاده کردند. آنها برای کمی‌سازی خشکسالی از شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه استفاده کردند و این شاخص را شاخصی مناسب نشان دادند. نتایج آنها نشان داد که در ترکیب با شاخص SPI برای مقیاس ماهانه،

خشکسالی یکی از پیچیده‌ترین مشکلات را نه تنها در مدیریت منابع آب، بلکه در مسائل اقتصادی و اجتماعی ایجاد می‌کند. اما تاکنون مسئله تعریف، شناسایی و پیش‌بینی آن حل نشده است (Machlica & Stojkovicova, 2008). دلیل اصلی و اولیه خشکسالی، فقدان بارندگی در منطقه برای یک دوره زمانی وسیع است که این خشکسالی، خشکسالی هواشناسی<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. کمبود آب در اتمسفر تمامی چرخه هیدرولوژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث ایجاد انواع دیگر خشکسالی‌ها مانند کشاورزی<sup>۲</sup>، هیدرولوژیک<sup>۳</sup> و اقتصادی-اجتماعی<sup>۴</sup> می‌شود (Tallakesen & van Lanen, 2004). شناخت مناطق مستعد رخداد خشکسالی نیاز ضروری برای برنامه‌ریزی‌ها جهت کاهش خسارات این پدیده در سطح کشور می‌باشد و این نیازمند داشتن نقشه‌های خطر می‌باشد. روش‌های درون‌یابی از جمله رهیافتی‌هایی است که در این زمینه استفاده می‌شود. (Akhtari et al., 2007) برای تحلیل مکانی شاخص‌های خشکسالی در سطح استان تهران و تهیه نقشه‌های مربوط از روش‌های مختلف زمین آماری شامل روش‌های کریجینگ<sup>۵</sup>، کوکریجینگ<sup>۶</sup>، TPSS<sup>۷</sup> با و بدون متغیر کمکی و فاصله وزنی معکوس<sup>۸</sup> استفاده کردند. ایشان با استفاده از آمار و اطلاعات ۴۳ ایستگاه و بر مبنای شاخص‌های SPI<sup>۹</sup> و EDI<sup>۱۰</sup> خشکسالی را ارزیابی و نقشه‌های آنها را تهیه کردند. نتایج تحقیق ضمن تأیید متغیر مکانی بودن شاخص‌ها، نشان داد که هر چند روش کریجینگ از دقت بالاتری برخوردار است

- ۱- Meteorological drought
- ۲- Agricultural drought
- ۳- Hydrological drought
- ۴- Socio-economic drought
- ۵- Kriging
- ۶- Co-Kriging
- ۷- Thin Plate Smoothing Splines
- ۸- Inverse Distance Weighted
- ۹- Standardized Precipitation Index
- ۱۰- Effective Drought Index

شناخت مناطق تحت خطر این پدیده و شناسایی توزیع مکانی آن می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

استان گلستان با وسعتی بالغ بر ۲۰۳۸۷ کیلومتر مربع در جنوب شرقی دریای خزر واقع شده و در حدود ۱/۳ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود. این استان با متوسط بارندگی سالانه ۴۵۰ میلی‌متر در محدوده جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی قرار گرفته‌است. موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی استان گلستان موجب شده که تحت تأثیر عوامل مختلف آب و هوایی باشد و اقلیم‌های متفاوت در آن مشاهده شود. در نتیجه در این استان از اقلیم نیمه خشک در نوار مرزی و حوزه آبخیز اترک تا معتدل و نیمه مرطوب در مناطق جنوبی و غربی تا اقلیم سرد کوهستان در مناطق مرتفع و کوهستانی آن قابل مشاهده است. به همین علت ریزش‌های جوی در مناطق مختلف استان متفاوت است. به طوری که مقدار بارندگی در مناطق جنوب و جنوب غربی استان حدود ۷۰۰ میلی‌متر و در نواحی شمال و نوار مرزی حدود ۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد. میانگین سالانه درجه حرارت روزانه از ۷ درجه سانتیگراد در ارتفاعات ۲۰۰۰ متری تا ۱۹ درجه سانتیگراد در منطقه گنبد متغیر است. متوسط تبخیر از ۸۰۰ میلی‌متر در نواحی جنوبی و ارتفاعات استان تا ۲۰۰۰ میلی‌متر در نواحی مرزی در شمال استان تغییر می‌نماید (Mosaedi et al., 2007).

#### شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

محققین به منظور ارزیابی و پایش خشکسالی شاخص‌های مختلفی را ارائه کرده‌اند، و هر یک از این شاخص‌ها براساس به کارگیری متغیرهای هواشناسی و روش‌های محاسباتی متفاوتی طراحی شده‌اند (Richard & Heim, 2002). ضمن آنکه هیچ یک از این شاخص‌ها

روش کریجینگ مدل نمایی و برای مقیاس فصلی، مدل کروی روش مناسبی بوده و روش فاصله وزنی معکوس در مقیاس‌های شش ماهه، سالانه و دو سالانه نتایج بهتری را ارائه دادند. (Quiring & Papakryiakou, 2003) مطالعاتی در خصوص خشکسالی‌های کشاورزی کانادا با استفاده از شاخص‌های مختلف انجام دادند. آنان به منظور بررسی گسترش مکانی خشکسالی‌ها از بین روش‌های مختلف زمین آماری به ترتیب دو روش کوکریجینگ و میانگین متحرک وزنی را پیشنهاد دادند. (Tonkatz, 2006) با استفاده از شاخص SPI به ارزیابی مکانی خشکسالی‌ها در ترکیه پرداخت. نتایج وی نشان داد که خشکسالی‌هایی با شدت‌های مختلف در مناطق مختلف طی دوره مورد مطالعه رخ داده‌اند که باید راهکارهای مدیریتی جهت کاهش خسارات ناشی از آن ارائه داد. (Apaydin et al., 2004) با استفاده از شش روش درون یابی IDW<sup>۱</sup>، GPI<sup>۲</sup>، LPI<sup>۳</sup>، CRP<sup>۳</sup>، Kriging و Co-Kriging به درون‌یابی ۶ پارامتر اقلیمی تشعشع خورشیدی، مدت تابش، درجه حرارت، رطوبت نسبی، سرعت باد و بارندگی در ترکیه طی دوره آماری ۱۹۹۹-۱۹۷۱ پرداختند. معیار ارزیابی انتخاب بهترین مدل‌ها براساس ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۴</sup> (RMSE) انجام شد. در نهایت نتایج آنها نشان داد که روش Co-Kriging برای درون‌یابی پارامترهای اقلیمی تشعشع خورشیدی، درجه حرارت، رطوبت نسبی و سرعت باد و روش CRS برای درون‌یابی مدت تابش و بارندگی مناسب‌تر است.

کشور ایران و به تبع آن استان گلستان، مانند سایر مناطق جهان در گذشته خشکسالی‌هایی در آن به وقوع پیوسته است و در آینده هم خشکسالی‌هایی در آن رخ خواهد داد. از این‌رو هدف از این تحقیق بررسی بهترین روش درون‌یابی (پهنه‌بندی) خشکسالی در سطح استان،

۱- Global Polynomial Interpolation

۲- Local Polynomial Interpolation

۳- Completely Regularized Spline

۴- Root Mean Square Error

گاما را مناسب‌ترین توزیع برای برازش بر مقادیر بارندگی تشخیص دادند و برای تشخیص پارامترهای تابع توزیع از روش حداکثر درست‌نمایی استفاده کردند. هر چند که مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) طبقه‌بندی اصلی را در ابتدا برای دوره‌های خشکسالی محدود کرده‌اند ولی با توجه به عادی بودن این شاخص می‌توان از آن برای دوره‌های ترسالی نیز استفاده کرد. این شاخص به دلیل بی‌بعد و استاندارد بودن، اجازه مقایسه خشکسالی در مناطق مختلف، با اقلیم‌های مختلف و همچنین خشکسالی‌های رخ داده شده در سال‌های مختلف را می‌دهد (Bonaccorso et al., 2003). مبنای طبقه‌بندی وضعیت خشکسالی بر اساس این شاخص در جدول ۱ ارائه شده است.

نسبت به دیگر شاخص‌ها برتری مطلقی ندارد. با توجه به اینکه یک شاخص خشکسالی زمانی مفید است که بتواند ارزیابی کمی، ساده و روشنی از خصوصیات اصلی خشکسالی یعنی تداوم، شدت، فراوانی و سطح تحت تاثیر آن ارائه دهد (Hong & Hayes, 2001)، در این تحقیق از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده شد.

شاخص بارش استاندارد شده (SPI) یکی از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی است که توسط مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) برای شناسایی و پایش خشکسالی ارائه شد. این شاخص براساس میانگین متحرک زمانی از داده‌های بارندگی محاسبه می‌شود. برای محاسبه این شاخص نیاز است که ابتدا یک توزیع احتمالاتی بر سری‌های تجمعی بارندگی برازش داد. مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) توزیع

جدول ۱- طبقه‌بندی وضعیت رطوبتی بر اساس شاخص بارش استاندارد شده SPI (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳)

مقادیر SPI	طبقه‌بندی خشکسالی	فراوانی تجمعی (درصد)	درصد فراوانی
۲ یا بیشتر	ترسالی بسیار شدید	>۹۷/۷	۲/۳
۱/۵۰ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید	۹۳/۳ تا ۹۷/۷	۴/۵
۱/۰۰ تا ۱/۴۹	ترسالی ملایم تا متوسط	۸۴ تا ۹۳/۲	۹/۲
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	عادی	۱۶ تا ۸۳/۹	۶۸
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی ملایم تا متوسط	۶/۸ تا ۱۵/۹	۹/۲
-۱/۹۹ تا -۱/۵۰	خشکسالی شدید	۲/۳ تا ۶/۷	۴/۵
-۲ یا کمتر	خشکسالی بسیار شدید	<۲/۳	۲/۳

### روش‌های درون‌یابی

#### فاصله وزنی معکوس

این روش با وزن‌دهی به داده‌های اطراف نقطه مورد برآورد، کمیت مجهول را برآورد و درون‌یابی را انجام می‌دهد. همچنین چینی فرض می‌شود که نقاط نزدیک به یکدیگر شباهت بیشتری نسبت به نقاط دورتر دارند. بنابراین نقاط نزدیک‌تر دارای وزن بیشتری هستند (Johnston et al., 2001).

### توابع پایه‌ای شعاعی

شبکه‌های توابع پایه شعاعی دارای پایه ریاضیاتی بسیار قوی بر مبنای فرضیه منظم‌سازی برای حل مسائل مشکل می‌باشند. این شبکه‌ها، تقریباً بطور کلی، از سه لایه، شامل لایه‌های ورودی، مخفی و خروجی تشکیل شده‌اند. توابع پایه شعاعی منظم به عنوان تابع تحریک نرون‌های لایه مخفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شبکه‌ها به‌گونه‌ای تنظیم شده‌اند که تبدیلات در واحدهای مخفی در حکم مجموعه‌ای از توابع به منظور نگاشت الگوهای ورودی به الگوهای خروجی انجام می‌گیرد (Johnston et al., 2001).



تعیین شد. همچنین مناطق تحت خطر خشکسالی نیز شناسایی شدند.

### نتایج

در این بخش نتایج بدست آمده از مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی قطعی (IDW، GPI و RBF) و زمین‌آماری کریجینگ به تفکیک دوره‌های زمانی سالانه و ماهانه ارائه می‌شود.

#### دوره زمانی سالانه

جدول (۲) تعداد دفعات کمترین ریشه میانگین مربعات خطا در هر یک از روش‌های درون‌یابی در دوره‌های مختلف زمانی را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، مشخص می‌شود که در بازه زمانی سالانه از بین روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین‌آماری، ده، پنج، شش و چهار ساله به ترتیب روش کریجینگ، RBF، GPI و IDW، مقادیر ریشه میانگین مربعات خطای (RMSE) کمتری داشته‌اند. از این‌رو روش زمین‌آماری کریجینگ نسبت به سه روش درون‌یابی قطعی نتایج برتری داشته‌است. علاوه بر این، جدول (۲) نشان می‌دهد که از بین روش‌های درون‌یابی قطعی روش GPI، RBF و IDW به ترتیب در جایگاه نخست، دوم و سوم قرار می‌گیرند. همچنین با استفاده از تحلیل واریوگرافی، مدل کروی بهترین تطابق را داشته و مناسب‌ترین مدل انتخاب شد (جدول ۳). با توجه به جدول (۳) روش کریجینگ با مدل کروی کمترین ریشه میانگین مربعات خطا را دارا می‌باشد.

برای تشخیص خشکسالی و ارزیابی شدت سطوح مختلف آن، از SPI در دوره‌های زمانی سالانه و ماهانه شامل (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه) استفاده شد. در ابتدا پس از انجام آزمون‌های آماری و اطمینان از همگنی و تصادفی بودن داده‌های بارش سالانه و ماهانه در هر یک از ایستگاه‌ها و در سطح ۹۵ درصد و عدم وجود داده پرت در بین آنها در همین سطح اعتماد، سری‌های زمانی مقادیر بارندگی سالانه و ماهانه در هر ایستگاه تشکیل شد. سپس مقادیر شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مورد هر یک از دوره‌های زمانی سالانه و ماهانه (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه) توسط نرم‌افزار DIP (Morid et al., 2005) تعیین شد. برای تبدیل مقادیر SPI نقطه‌ای هر ایستگاه به سطح کل استان، از چهار روش درون‌یابی IDW، RBF، GPI و Kriging معمولی در هر یک از بازه‌های زمانی سالانه و ماهانه (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه) در طی دوره آماری ۲۵ سال استفاده شد. به منظور انتخاب بهترین روش و ارزیابی مقدار دقت و خطا در هر یک از روش‌های درون‌یابی، از معیار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) براساس رابطه (۲) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z(x_i) - Z^*(x_i))^2}{n}} \quad (2)$$

$Z^*(x_i)$ : مقادیر برآورد شده متغیر X در نقطه i

$Z(x_i)$ : مقادیر مشاهده شده متغیر X در نقطه i

n: تعداد متغیر مشاهده شده

پس از تعیین بهترین روش درون‌یابی براساس فاکتور خطا و تعمیم خشکسالی‌های نقطه‌ای به منطقه‌ای، نقشه‌های شدت این پدیده در طی ۲۵ سال رسم شد. سپس گسترش مکانی و وسعت وضعیت رطوبتی در طی دوره آماری ۲۵ سال (۶۲-۱۳۶۱ الی ۸۶-۱۳۸۵) در استان گلستان در محیط نرم افزار ArcGIS Ver9.2

جدول ۲- تعداد دفعات کمترین ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در هر یک از روش‌های درون‌یابی در دوره‌های مختلف زمانی

Kriging				GPI					RBF				IDW					روش مقیاس زمانی	
Gaussian	Exponential	Spherical	Circular	توان ۵	توان ۴	توان ۳	توان ۲	توان ۱	Thin Plate Spline	Inverse Multiquadric	Multiquadric	Spline with Tension	Completely Regularized Spline	توان ۵	توان ۴	توان ۳	توان ۲		توان ۱
۱	۴	۲	۴	۰	۱	۲	۲	۱	۰	۴	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۲	سالانه
۲۹	۳۶	۱۴	۲۵	۰	۷	۷	۱۲	۹	۰	۷۵	۴	۱۱	۱۳	۹	۱۸	۱۰	۱۸	۹	۱
۴۸	۲۸	۱۶	۲۵	۰	۲	۵	۲۰	۱۱	۰	۶۷	۷	۷	۲۲	۴	۱	۱۵	۱۹	۱۱	۳
۳۷	۲۶	۱۶	۳۰	۰	۱۶	۱۴	۱۴	۱۲	۰	۵۹	۱۱	۱۹	۱۵	۲	۱	۱۱	۱۰	۱۲	۶
۲۳	۳۷	۱۸	۱۹	۰	۵	۷	۱۴	۱۴	۰	۶۴	۱	۱۴	۴	۳	۲	۱۱	۲۸	۸	۹
۱۸	۳۰	۱۹	۳۵	۰	۴	۵	۱۶	۶	۰	۶۹	۱	۱۴	۱۳	۱	۳	۱۱	۲۸	۱۶	۱۲
۲۲	۳۵	۱۳	۲۸	۰	۱۲	۵	۶	۸	۰	۷۸	۰	۵	۲۱	۲	۵	۷	۲۴	۱۲	۱۸
۲۷	۴۸	۱۲	۱۸	۰	۱۱	۵	۶	۱۱	۱	۷۹	۰	۹	۱۲	۱	۷	۱۱	۱۵	۴	۲۴
۳۵	۴۹	۶	۲۲	۰	۰	۵	۷	۳	۰	۱۰۷	۰	۶	۷	۰	۰	۴	۲	۰	۴۸

جدول ۳- ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در هر یک از روش‌های درون‌یابی در دوره‌های مختلف زمانی

Kriging				GPI					RBF					IDW					روش	مقیاس زمانی
Gaussian	Exponential	Spherical	Circular	توان ۵	توان ۴	توان ۳	توان ۲	توان ۱	Thin Plate Spline	Inverse Multiqua dric	Multiqua dic	Spline with Tension	Completely Regularized Spline	توان ۵	توان ۴	توان ۳	توان ۲	توان ۱		
۰.۶۴۳	۰.۶۴۴	۰.۶۴۰	۰.۶۳۹	۵.۶۰۲	۱.۰۰۰	۰.۷۵۲	۰.۷۰۳	۰.۷۱۴	۰.۸۱۳	۰.۶۴۵	۰.۷۰۰	۰.۶۵۲	۰.۶۴۹	۰.۷۲۲	۰.۷۰۱	۰.۶۷۷	۰.۶۶۰	۰.۶۶۶	سالانه	
۰.۵۴۴	۰.۵۰۶	۰.۵۴۷	۰.۵۵۵	۴.۴۸۷	۰.۹۰۵	۰.۶۲۰	۰.۶۰۵	۰.۵۹۷	۰.۶۹۳	۰.۵۴۹	۰.۵۹۸	۰.۵۵۳	۰.۵۵۱	۰.۶۱۳	۰.۶۰۱	۰.۵۷۷	۰.۵۶۸	۰.۵۷۹	۱	
۰.۵۸۴	۰.۵۷۸	۰.۵۷۸	۰.۵۷۹	۴.۶۷۹	۰.۹۳۶	۰.۶۹۶	۰.۶۳۷	۰.۶۵۲	۰.۷۱۵	۰.۵۷۵	۰.۶۱۷	۰.۵۷۷	۰.۵۷۸	۰.۶۴۶	۰.۶۲۸	۰.۶۰۵	۰.۵۸۹	۰.۶۰۴	۳	
۰.۶۰۹	۰.۶۰۲	۰.۶۰۱	۰.۶۰۴	۴.۸۳۰	۰.۹۶۱	۰.۷۱۹	۰.۶۶۵	۰.۷۶۴	۰.۷۴۲	۰.۵۹۵	۰.۶۳۹	۰.۵۹۷	۰.۵۹۹	۰.۶۷۴	۰.۶۵۵	۰.۶۳۲	۰.۶۱۵	۰.۶۲۹	۶	
۰.۶۴۲	۰.۶۳۳	۰.۶۳۶	۰.۶۳۷	۵.۲۴۸	۱.۰۱۸	۰.۷۴۹	۰.۶۹۴	۰.۷۰۸	۰.۷۹۲	۰.۶۳۰	۰.۶۸۰	۰.۶۳۳	۰.۶۳۳	۰.۷۰۳	۰.۶۸۴	۰.۶۶۰	۰.۶۴۲	۰.۶۵۶	۹	
۰.۶۵۶	۰.۶۴۷	۰.۶۴۹	۰.۶۵۰	۵.۶۷۰	۱.۰۳۰	۰.۷۵۷	۰.۷۰۲	۰.۷۲۲	۰.۸۱۰	۰.۶۴۱	۰.۶۹۵	۰.۶۴۶	۰.۶۴۵	۰.۷۱۸	۰.۶۹۸	۰.۶۷۳	۰.۶۵۴	۰.۶۶۷	۱۲	
۰.۶۶۰	۰.۶۵۵	۰.۶۵۷	۰.۶۵۷	۵.۷۱۲	۱.۰۱۲	۰.۷۵۴	۰.۷۰۷	۰.۷۲۶	۰.۸۲۱	۰.۶۴۷	۰.۷۰۴	۰.۶۵۳	۰.۶۵۳	۰.۷۲۳	۰.۷۰۵	۰.۶۷۹	۰.۶۶۱	۰.۶۷۳	۱۸	
۰.۶۶۷	۰.۶۶۱	۰.۶۶۴	۰.۶۶۵	۶.۰۴۲	۱.۰۱۵	۰.۷۵۷	۰.۷۱۶	۰.۷۳۲	۰.۸۴۳	۰.۶۵۴	۰.۷۱۸	۰.۶۶۲	۰.۶۶۴	۰.۷۳۵	۰.۷۱۵	۰.۶۹۰	۰.۶۷۱	۰.۶۸۴	۲۴	
۰.۷۵۰	۰.۷۴۲	۰.۷۴۶	۰.۷۴۴	۷.۳۷۴	۱.۱۹۴	۰.۸۳۱	۰.۷۹۸	۰.۸۰۰	۰.۹۶۸	۰.۷۳۱	۰.۸۱۹	۰.۷۴۷	۰.۷۷۳	۰.۸۳۱	۰.۸۰۸	۰.۷۷۹	۰.۷۵۶	۰.۷۶۳	۴۸	



استان نسبت به خشکسالی بیشتر است. هرچند که این تفاوت چندان قابل ملاحظه نمی‌باشد. ضمن اینکه در میان طبقات مختلف (شدت‌های مختلف ترسالی و خشکسالی)، وسعت طبقه ترسالی متوسط و شدید نسبت به خشکسالی متوسط و شدید بیشتر است ولی در طبقه بسیار شدید، وسعت خشکسالی‌های بسیار شدید نسبت به ترسالی‌های بسیار شدید، بیشتر می‌باشد.

جدول (۴) وسعت مربوط به هر وضعیت رطوبتی، در طی دوره آماری ۲۵ سال را نشان می‌دهد. براساس این جدول مشخص می‌شود که به‌طور متوسط سالانه، ۷۲ درصد از مساحت استان در وضعیت رطوبتی عادی، ۱۳ درصد در وضعیت رطوبتی خشک و ۱۵ درصد تحت پوشش وضعیت رطوبتی مرطوب می‌باشد. براین اساس به طور متوسط وسعت منطقه تحت پوشش ترسالی در

جدول ۴- متوسط درصد گسترش وضعیت رطوبتی در بازه‌های زمانی مختلف براساس شاخص SPI در سطح استان گلستان طی دوره آماری ۶۲-۱۳۶۱ الی ۸۶-۱۳۸۵

ترسالی بسیار شدید	ترسالی شدید	ترسالی متوسط	تقریبا عادی	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید	وضعیت رطوبتی	
							دوره	
۰	۴	۱۱	۷۲	۹	۳	۱	سالانه	
۰	۲	۱۰	۷۸	۸	۲	۰	۱	ماهانه
۱	۳	۹	۷۷	۷	۳	۱	۳	
۱	۱	۱۱	۷۶	۹	۱	۱	۶	
۰	۲	۱۰	۷۷	۹	۲	۰	۹	
۰	۳	۹	۷۸	۸	۲	۰	۱۲	
۰	۲	۱۲	۷۴	۸	۳	۱	۱۸	
۰	۲	۱۱	۷۵	۸	۳	۱	۲۴	
۱	۳	۸	۸۰	۶	۲	۱	۴۸	

## دوره زمانی ماهانه

تعداد دفعات کمترین ریشه میانگین مربعات خطا و مقادیر متوسط این شاخص در هر روش درون‌یابی به ترتیب در دو جدول (۲) و (۳) ذکر شده‌ست. بر اساس این دو جدول در تمام دوره‌های زمانی SPIها روش RBF با مدل Inverse Multiquadric در جایگاه برتر نسبت به دیگر روش‌های درون‌یابی است. همچنین روش کریجینگ نسبت به دو روش IDW و GPI و نتایج بهتری را ارائه کرده است.

مقادیر متوسط وسعت تحت پوشش هر وضعیت رطوبتی نیز در جدول (۴) نشان داده شده است. در دوره‌های زمانی ۸ گانه (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه) متوسط وسعت وضعیت رطوبتی عادی از ۷۴ درصد تا ۸۰ درصد در نوسان است که متناظر با SPI18 ماهه و SPI48 ماهه می‌باشد. بر اساس این جدول وسعت مناطق تحت تاثیر وضعیت رطوبتی ترسالی در تمام دوره‌های زمانی نسبت به خشکسالی بیشتر می‌باشد. در میان طبقات مختلف رطوبتی، وسعت مناطق تحت تاثیر ترسالی متوسط در تمام دوره‌ها نسبت به خشکسالی متوسط بیشتر بوده است. در طبقه شدید این دو وضعیت تا حدودی با هم برابر بوده و در بعضی از دوره‌ها، ترسالی‌ها بیشتر و در بعضی خشکسالی‌ها بیشتر بوده است. ضمن آنکه در طبقه بسیار شدید بیشتر بازه‌های زمانی وسعت مناطق تحت تأثیر خشکسالی شدید را بیشتر از ترسالی شدید نشان داده است. بر این اساس در استان گلستان احتمال رخداد خشکسالی بسیار شدید بیشتر است. براساس نقشه‌های محاسباتی در دوره ماهانه در بازه‌های زمانی مختلف (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماه) استان گلستان خشکسالی‌ها و ترسالی‌هایی را داشته است. گسترش مکانی خشکسالی‌های رخ داده شده در استان اغلب از سمت مناطق شمال غربی به سمت جنوب غربی می‌باشد. ضمن آنکه مناطق تحت خطر خشکسالی بیشتر مناطق شمالی استان با اقلیم بیابانی و مناطق جنوبی استان با اقلیم مرطوب بوده است.

شکل (۲) توزیع مکانی شدت خشکسالی در بازه زمانی سالانه و ماهانه (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه) به

روش RBF برای سال ۱۳۸۰ و شهریور ماه را نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود که در صورت رخداد خشکسالی مناطق شمالی استان بیشتر تحت تأثیر می‌باشند.

## بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به جداول (۲) و (۳) روش‌های IDW و GPI در هیچ یک از دوره‌های مورد بررسی نتایج خوبی را ارائه ندادند. با توجه به اینکه اساس مدل IDW بر مبنای این فرضیه است که در یک سطح، اثر یک پارامتر بر نقاط اطراف یکسان نمی‌باشد و نقاط نزدیک، بیشتر و نقاط دور، کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند و هرچه فاصله از مبدأ افزایش می‌یابد اثر متغیر کمتر می‌شود؛ از این رو این روش برای داده‌های پرتراکم و با پراکندگی زیاد نتایج خوبی ارائه نمی‌دهد که با نتایج (Dirkez et al., 1998)، (Johnston, 2001) و (Apaydin et al., 2004) مطابقت دارد. ضمن اینکه با توجه به این دو جدول این روش در توان دو نتایج مناسب‌تری را ارائه داده‌است. (Bodagh jamali et al., 2003) نیز روش IDW با توان دو را پیشنهاد نموده‌اند. از آنجایی که روش GPI برای مناطق هموار مناسب می‌باشد، در مناطقی که تغییر ارتفاع زیاد است استفاده از این روش توصیه نمی‌شود. نتایج این بخش از تحقیق با یافته‌های (Apaydin et al., 2004) که در منطقه GAP در ترکیه انجام شده است، مطابقت دارد. همچنین جداول (۲) و (۳) نشان می‌دهند که روش RBF هم از نظر تعداد دفعات کمترین و هم از نظر مقدار خطا در جایگاه مناسب قرار دارد. چون این مدل برای حل مسائل پیش‌بینی احتیاج به مجموعه الگوهای ورودی-خروجی دارد. از این رو دارای این توانایی است تا به‌عنوان یک میان‌یاب مستقل، متغیر مکانی را در یک منطقه پیش‌بینی کند. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج (Apaydin et al., 2004) مطابقت دارد. براساس جدول (۲)، روش کریجینگ در دوره‌های SPI18 و SPI48 ماهه تعداد میانگین مربعات خطا را کمتر نشان نداده است. ولی براساس جدول (۳) فقط در دوره سالانه متوسط میانگین مربعات خطا را کمتر نشان داده و در دیگر بازه‌های زمانی

- همچنین نتایج نشان می‌دهند که به طور متوسط در هر سال ۱۳ درصد استان دچار خشکسالی است. وسیع‌ترین خشکسالی در مقیاس سالانه در سال ۶۴-۱۳۶۳ رخ داده است که ۵۴ درصد از سطح استان دچار خشکسالی بوده است. در مقیاس ماهانه نیز وسیع‌ترین خشکسالی در دوره SPI9 ماهه منتهی به ماه آبان سال ۶۵-۱۳۶۴ رخ داده است که در آن ۸۷ درصد از سطح استان دچار خشکسالی بوده است؛

- با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق پیشنهاد می‌شود که به منظور تبدیل اطلاعات نقطه‌ای به منطقه‌ای (پهنه‌بندی خشکسالی) به ترتیب از روش‌های RBF و کریجینگ استفاده شود. نتایج این دو روش نسبت به روش‌های IDW و GPI برتری خود را نشان داده‌اند؛

- بر اساس شاخص SPI انتظار می‌رود که به طور متوسط در ۶۸ درصد زمان‌ها در هر دوره زمانی وضعیت رطوبتی در محدوده عادی قرار می‌گیرد ولی در این تحقیق مشاهده شد که از نظر مکانی در هر دوره زمانی، به طور متوسط بیش از ۶۸ درصد (به‌طور معمول بیش از ۷۰ درصد) وسعت منطقه از نظر توزیع مکانی در محدوده عادی قرار می‌گیرد.

در پایان با توجه به اینکه الگوی گسترش مکانی شروع، توسعه و خاتمه خشکسالی در استان گلستان به وضوح تشخیص داده نشد و همچنین در تمامی دوره‌ها بیش از یک وضعیت رطوبتی در سطح استان حاکم می‌باشد، لزوم برنامه‌ریزی در رابطه با وقوع شرایط مختلف رطوبتی در مناطق مختلف استان اجتناب‌ناپذیر است.

نسبت به RBF نتایج ضعیف‌تری را نشان داده است. هرچند که روش کریجینگ ساختار مکانی ضعیفی را ارائه داده است ولی نتایج خوبی را نسبت به روش‌های IDW و GPI ارائه کرد که با یافته‌های (Mahdavi et al., 2004) در مناطق خشک و نیمه خشک جنوب ایران، (Diodato, 2005) در جنوب ایتالیا و (Rusoo et al., 2005) در مرکز ایتالیا مطابقت دارد.

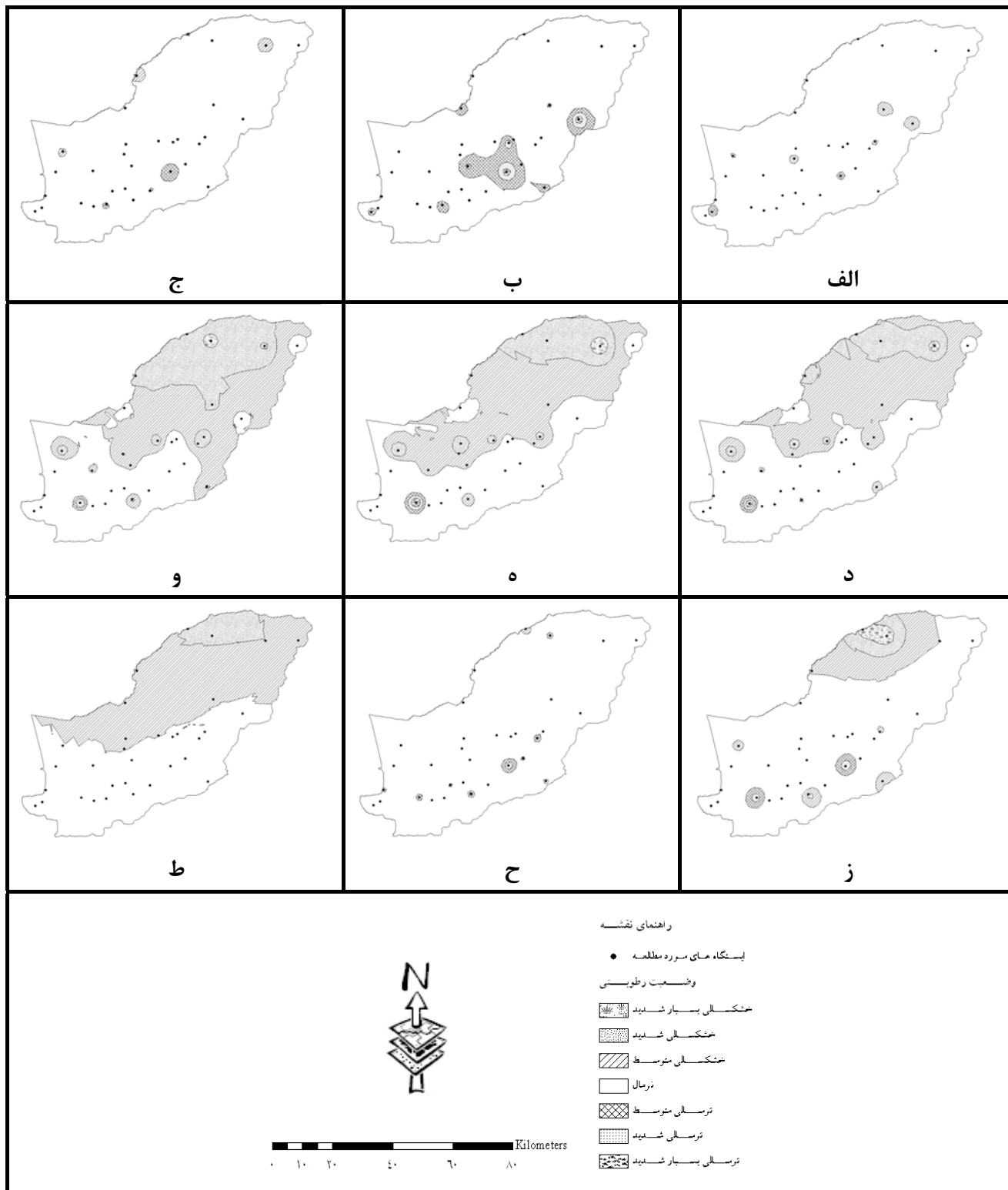
در این پژوهش با استفاده از روش و روش‌های مختلف درون‌یابی، تغییرات منطقه‌ای شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی متفاوت ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه مورد بررسی قرار گرفت که به عنوان نتیجه‌گیری می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- روش کریجینگ در مقایسه با روش‌های IDW و GPI جزء روش‌های برتر در درون‌یابی منطقه‌ای وضعیت رطوبتی در این تحقیق بوده است و جواب‌های دقیق‌تری را ارائه کرده است. ولی ساختار مکانی ضعیف آن و نرمال کردن آن از محدودیت‌های این روش است،

- روش RBF نتایج مشابهی در مقایسه با روش کریجینگ داشته و ریشه میانگین مربعات خطا در هر دو روش نزدیک است. علاوه بر این، حتی در بعضی از دوره‌ها خطا کمتر بوده است. ضمن آنکه محاسبه آن از مراحل کمتر و سرعت بالاتری برخوردار می‌باشد؛

- با بررسی نقشه‌های تهیه شده براساس بهترین روش درون‌یابی در دوره‌های زمانی سالانه و ماهانه الگوی گسترش مکانی مشخصی در استان تشخیص داده نشد. البته تا حدودی به نظر می‌رسد که الگوی گسترش مکانی خشکسالی‌های رخ داده شده در استان اغلب از سمت مناطق شمال غربی به سمت جنوب غربی باشد؛

- همان‌گونه که انتظار می‌رود، وضعیت رطوبت عادی نسبت به خشک و مرطوب گسترش مکانی بیشتری را دارا می‌باشد. در بیشتر دوره‌های زمانی وسعت مناطق تحت تأثیر وضعیت رطوبتی مرطوب بیشتر از خشک می‌باشد. ضمن اینکه در میان طبقات رطوبتی خشک و مرطوب، خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید نسبت به ترسالی‌های شدید و بسیار شدید منطقه وسیع‌تری را تحت تأثیر قرار داده‌اند؛



شکل ۲- وضعیت خشکسالی استان گلستان براساس شاخص SPI در دوره زمانی ماهانه و سالانه

الف- SPI1 ماهه (شهریور ۱۳۸۰)، ب- SPI3 ماهه (شهریور ۱۳۸۰)، ج- SPI6 ماهه (شهریور ۱۳۸۰)، د- SPI9 ماهه (شهریور ۱۳۸۰)، ه- SPI12 ماهه (شهریور ۱۳۸۰)، و- SPI18 ماهه (شهریور ۱۳۸۰)، ز- SPI24 ماهه (شهریور ۱۳۸۰)، ح- SPI48 ماهه (شهریور ۱۳۸۰)، ط- SPI سالانه (۱۳۸۰)

## References

- Akhtari, R., Mahdian, M.H., Morid. S., 2007. Assessment of spatial analysis of SPI and EDI drought indices in Tehran province J. Iran- Water Resources Research, 2, 27-38.
- Apaydin, H., Sonmez, K., Yildirim, E., 2004. Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey. J. Climate Research, 28, 31-40.
- Banejad, H., Zare Abyaneh, H., Nazarifar, M. H., Sabziparvar, A., 2006. Application of standard precipitation index (SPI) with Geostatistic Method for analyzing meteorological drought in Hamedan province. J. Agricultural Reserch Water, Soil & Plant in Agricultural, 6, 61-72.
- Bodagh jamali, J. Javanmard, S., Shirmohammadi, R., 2002. Monitoring drought status of Khorasan province by using standard precipitation index. J. Geographical Research. 21, 4-17.
- Bonaccorso, B., Cancelliere, A., Rossi, G., 2003. Network design for drought monitoring by geostatistical techniques. J. European Water, 3, 9-15.
- Diodato, N., 2005. The influence of topographic co-variable on the spatial variability of precipitation over small regions of complex Terrain. J. climatology, 25, 351- 363
- Goovaerts, P., 2000. Geostatistical apaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. J. Hydrology, 228, 113-129.
- Hong, W., Hayes, J., 2001. An evaluation of the standardized precipitation index, The China- Z Index and the statistical Z-Score Int. J. Climatol, 21, 745- 758.
- Issaks. E. H., Srivastava, R. M., 1989. Applied geostatistics, Newyork, Oxford University Press, 561 p.
- Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., Lucas, N., 2001. Using arcGIS geostatistical analyst. ESRI, Redlands, CA.
- Machlica, A., Stojkovova, M., 2008. Groundwater drought in different geological conditions. XXIVth Conference of the Danubian Countries, 1-9.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J., 1993. The relation of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology, 17-22 January, 379-384.
- Misagi, F., Mohammadi, K., 2006. Monitoring precipitation by using deterministic methods and geostatistic and comparison with artificial neural networks, Scientific Journal of Agricultural, 29, 1-13.
- Moried, S., Moghaddasi, M., Paemozd, SH., Ghaemi, H., 2005. Designing drought monitoring system of Tehran province, applied research report ministry Energy, 253P
- Mosaedi, A., Sharifan, H., Shahabi, M. 2007. Risk Management by identification of microclimates in Golestan province, Applied research report, Iran Meteorological Organization, 171P.
- Qiring, S. M., Papakryiakou, T. N., 2003. An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian parairies. J. Agricultural and Forest Meteorology, 118, 49-62.
- Richard, R., Heim, H., 2002. A review of twentieth century drought indices used in the United States. J. American Meteorological Society, 1149-1165.
- Rusoo, F., Napolitano, F., Gorgueei, E., 2005. Rainfall monitoring system over an urban area: The city of Rom. Hydrological processes, 19, 1007-1019.
- Tallakesen, L. M., van Lanen, H. A. J., 2004. Hydrological drought, Processes and estimation methods for streamflow and groundwater, Development in water science 48, 579p.
- Tonkaz, T., 2006. Spatio-temporal assessment of historical drought using SPI with GIS in GAP region, Turkey, J. Applied Sciences, 6, 2565- 2571.

## **Monitoring and Spatial Analysis of Meteorological Drought in Golestan Province using Geostatistical Methods**

**M. Eivazi<sup>1</sup> and A. Mosaedi\*<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> MSc. Graduate, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran

<sup>2</sup> Associate Prof., Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, I.R. Iran

(Received: 10 March 2010, Accepted: 09 March 2011)

### **Abstract**

Region drought monitoring is one of the important subjects in drought risk management. For this reason, relevant rain gauge stations in Golestan province in which data had been recorded until the end of water year 2006-2007, after sufficient statistical test, were selected. Drought conditions for each station was investigated in nine different periods (including eight monthly and one annual periods) using Standardized Prediction Index (SPI) in order to determine the best interpolation method for drought monitoring in the region. Some deterministic interpolation methods such as RBF, GPI, IDW and a geostatistical method were considered. After determining the best interpolation method, according to the error factors and extending point drought information to regional one, the severity maps of this phenomena over 25 years, was plotted. Then, spatial distribution of drought conditions over the statistical period in Golestan province was plotted using ArcGIS ver9.2. According to the results, kriging and RBF methods have shown the best response as interpolation methods in monitoring of drought severity at different time periods.

**Keyword:** Drought, Standardized Precipitation Index, Geostatistics, Interpolation, Golestan

---

\*Corresponding author: Tel: +98 915 5007458 , Fax: +98 511 8788805 , E-mail: mosaedi@yahoo.com