

## بررسی تغییرات مکانی خشکسالی با استفاده از زمین آمار در استان کرمان در یک دوره آماری سی ساله (۱۳۷۹-۱۳۴۹)

رضا باقری<sup>۱\*</sup> و صدیقه محمدی<sup>۲</sup>

\*- نویسنده مسئول، استادیار گروه منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بافت،

پست الکترونیک: bagherireza10@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۰/۱۸

تاریخ دریافت: ۸۹/۰۳/۱۷

### چکیده

این تحقیق به منظور بررسی توزیع مکانی خشکسالی در استان کرمان با شاخص SPI و مقایسه روش‌های درون‌یابی کریجینگ و عکس فاصله با توان‌های یک تا پنج، طی یک دوره آماری ۳۰ ساله (سال آبی ۱۳۴۹-۵۰ تا ۱۳۷۹-۸۰) انجام شد. یافته‌ها نشان داد طی دوره آماری مورد مطالعه (در فواصل زمانی ۱۰ ساله)، میانگین مقدار SPI در سال آبی ۷۰-۶۹ بیشترین مقدار خود (مرطوب ملایم) و در سال آبی ۸۰-۷۹ کمترین مقدار خود (خشکسالی متوسط) را داشته است. در تمام سال‌های مورد بررسی واریوگرام مناسب برازش داده شده به ساختار مکانی داده‌ها، مدل نمایی بوده و دامنه مؤثر هر ایستگاه نیز تا فاصله حدود ۱۸/۰۳ کیلومتری آن برای همه سال‌ها بجز سال آبی ۷۰-۶۹ (که دامنه مؤثر آن ۵/۰۲ کیلومتر است) می‌باشد. ارزیابی روش‌های درون‌یابی به کمک تکنیک اعتبارسنجی حذفی نشان داد که روش زمین‌آمار کریجینگ بهترین روش درون‌یابی برای همه سال‌ها بجز سال ۷۰-۶۹ است که در این سال روش عکس فاصله به توان ۵ بهترین روش درون‌یابی است. نقشه پهنه‌بندی مکانی مقادیر شاخص SPI در سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که در سال آبی ۵۰-۴۹ در قسمت جنوبی استان، شهرستان‌های جیرفت و عنبرآباد، خشکسالی متوسط و در بقیه قسمت‌های استان خشکسالی ملایم و در شهرستان رفسنجان ملایم مرطوب را شاهدیم. در سال ۶۰-۵۹ در قسمت عمده‌ای از سطح استان، خشکسالی ملایم و در شهرستان‌های بم و بردسیر و شرق جیرفت ملایم مرطوب را شاهدیم. در سال ۷۰-۶۹ شاهد خشکسالی‌های ملایم در شهرستان‌های کرمان، بافت، کهنوج و قسمت‌های شرقی جیرفت هستیم. البته در سال آبی ۸۰-۷۹ تمام سطح استان در معرض خطر خشکسالی قرار گرفته است، به طوری که در نیمه جنوبی استان (شهرستان‌های بافت، جیرفت و کهنوج) خشکسالی متوسط و در نیمه شمالی استان (شهرستان‌های کرمان، رفسنجان و بردسیر) خشکسالی ملایمی حاکم است. نقشه توزیع خطای درون‌یابی نیز حکایت از دقت بالای درون‌یابی به‌ویژه در محدوده ایستگاه‌های باران‌سنجی دارد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات مکانی، واریوگرام، خشکسالی، زمین‌آمار، کرمان.

## مقدمه

خشکسالی یکی از مزلزلترین و زیانبارترین بلایای طبیعی است. در دهه‌های اخیر در میان حوادث طبیعی که جمعیت‌های انسانی را تحت تاثیر قرار داده‌اند، خشکسالی به دلیل تعداد، فراوانی، گستردگی و تبعات کوتاه مدت و بلند مدت اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی آن مهمترین آنها محسوب می‌شود (خزایی، ۱۳۸۰؛ کردوانی، ۱۳۸۰). کشور ایران در کمربند خشک زمین و تحت پر فشار جنب حاره‌ای واقع شده است. موقعیت جغرافیایی کشور ایران از عواملی است که باعث افزایش خشکسالی شده است (ملکی نژاد، ۱۳۷۹). در حال حاضر مقدار بارندگی در کشور ما از یک سوم میزان متوسط بارندگی جهانی کمتر است (علیزاده، ۱۳۸۶). توزیع مکانی و زمانی این مقدار بارندگی نیز نامناسب است. استان کرمان جزء مناطق خشک و کویری ایران می‌باشد و از لحاظ اقلیمی از شرایط مطلوبی برخوردار نیست. نوسانهای منفی بارش، خشکسالی‌های شدیدی بر طبیعت این استان وارد می‌سازد و در نتیجه نظام اکولوژیکی و اقتصادی آن را متحمل خسارت‌های گسترده‌ای می‌کند.

دخالت متغیرهای مختلف به صورت مستقیم و غیرمستقیم در رخداد خشکسالی، تعریف این واژه را مشکل نموده و به همین جهت تاکنون تعریف جامع و قابل قبولی از آن برای همه محققان عنوان نگردیده است. یکی از جامع‌ترین و کامل‌ترین تعاریف توسط پالمر در سال ۱۹۶۶ ارائه شده است. به نظر وی خشکسالی عبارت است از کمبود رطوبت مستمر و غیر طبیعی (اقتباس از فرج زاده و همکاران، ۱۳۷۹). *Mckee et al.*, (1993)، به منظور تعریف و پایش خشکسالی، شاخص

بارش استاندارد SPI را معرفی و برای اولین بار آن را در ایالت کلرادو مورد استفاده قرار دادند. این شاخص از جمله شاخص‌های خشکسالی هواشناسی می‌باشد. این نوع خشکسالی که در نتیجه کاهش غیرمنتظره باران بوجود می‌آید شرایط بارندگی را نسبت به شرایط میانگین می‌سنجد و زمانی پدید می‌آید که بارندگی به طور قابل ملاحظه‌ای زیر میزان مورد انتظار باشد (Mainguet, 1999). Hayes, (2000) در بررسی خشکسالی ایالت کلرادو امریکا با شاخص SPI زمان شروع خشکسالی را در مقیاس یک ماهه بهتر از شاخص خشکسالی پالمر نشان داد. صفدری (۱۳۸۲) از شاخص SPI به منظور تحلیل شدت، مدت و فراوانی خشکسالی‌های حوزه کارون استفاده کرد. *Tsakiris & Vangelis, (2004)* از شاخص SPI به منظور پایش خشکسالی در یونان استفاده کردند. *Mishra & Desai, (2006)* از شبکه عصبی به منظور پیش‌بینی شاخص بارش استاندارد در سری‌های زمانی کمک گرفتند. هدف آنها تعیین کمیت شاخص بارش استاندارد در یک دوره زمانی براساس میانگین بارندگی بود. سرحدی و همکاران (۱۳۸۷) چهار شاخص مهم خشکسالی شامل SPI، RAI، DPI و PNPI را جهت ارزیابی و تحلیل گستره خشکسالی در استان اصفهان به کار بردند. یکی از مهمترین ویژگی‌های خشکسالی، وسعت منطقه‌ای و توزیع مکانی این پدیده می‌باشد و از آنجا که آمار کلاسیک قادر به درنظر گرفتن توزیع مکانی نبوده بنابراین از زمین‌آمار به‌عنوان تکنیکی برای این هدف استفاده می‌شود. این تکنیک برای اولین بار حدود نیم قرن پیش برای شناسایی الگوهای توزیع طلا در معادن آفریقای جنوبی توسط یک مهندس معدن به نام کریج

### مواد و روشها

برای انجام این تحقیق، آمار و اطلاعات مورد نیاز شامل آمار بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی استان کرمان تهیه و پس از تهیه بانک اطلاعاتی اقدام به انتخاب ایستگاه‌های دارای آمار طولانی با حداقل نواقص آماری گردید. به طوری که ۲۸ ایستگاه در سطح استان (شکل ۱) انتخاب شد.

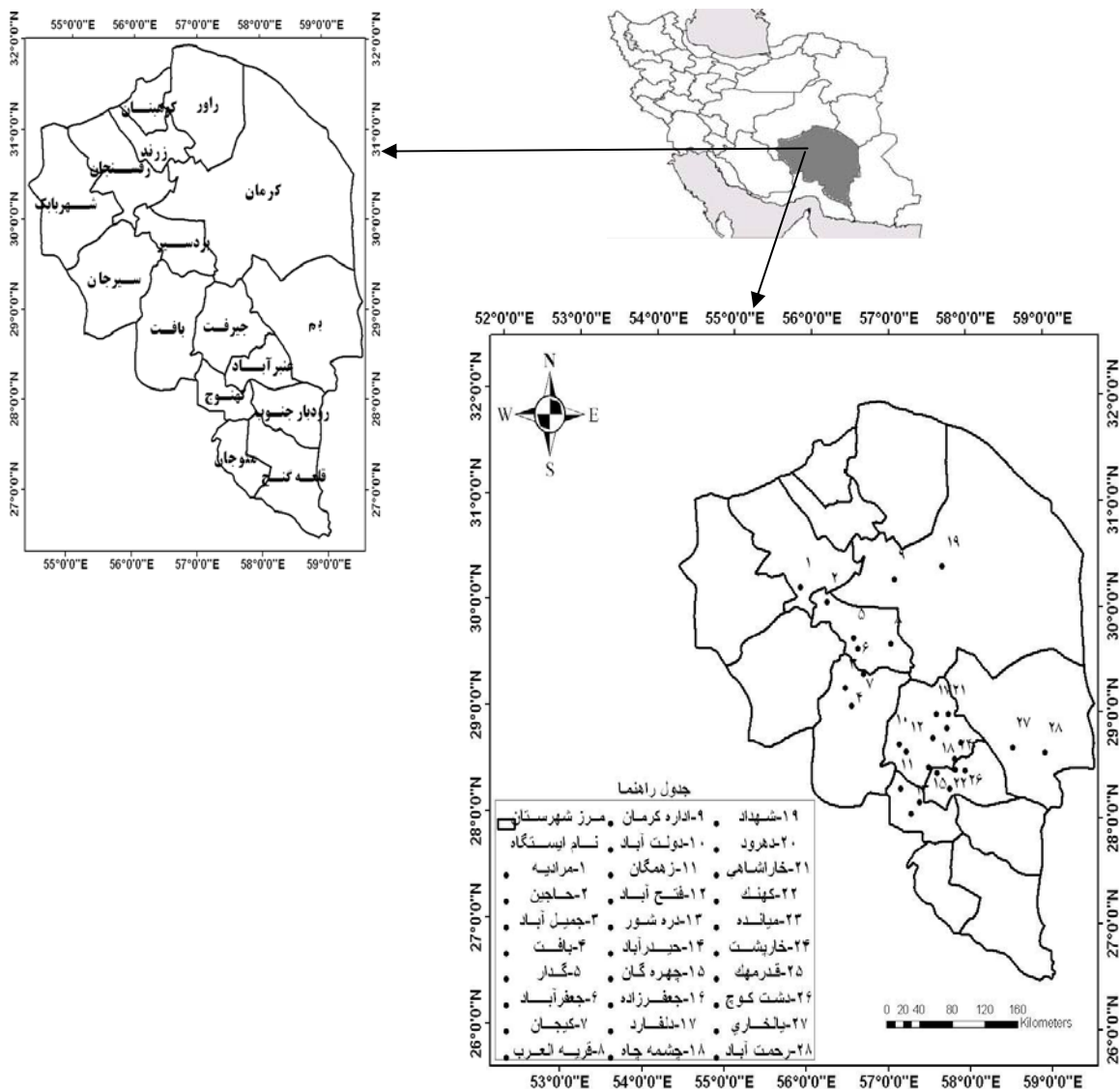
سپس با تهیه باروگراف، پایه زمانی سی ساله به‌عنوان دوره مشترک آماری در نظر گرفته شد. پس از اطمینان از صحت و همگنی داده‌ها با روش آزمون توالی Run test، بازسازی نواقص آماری به روش همبستگی بین ایستگاه‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد، به طوری که از آمار ایستگاه‌های با همبستگی زیاد برای بازسازی آمار ایستگاه‌های ناقص استفاده شد (مهدوی، ۱۳۸۱). در مطالعه حاضر به منظور بررسی خشکسالی‌ها از شاخص بارش استاندارد SPI استفاده گردید. این شاخص نسبتاً ساده و عملاً قابل استفاده برای تمامی شرایط منابع آبی است (Dalezios et al., 2000). شاخص SPI در هر منطقه براساس داده‌های بارندگی طولانی مدت از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$SPI = \frac{P_{ik} - P_i}{\delta_i}$$

که در آن  $\delta_i$  مقدار انحراف معیار،  $P_{ik}$  مقدار بارندگی اندازه‌گیری شده برای  $k$  امین دوره مورد نظر و  $P_i$  میانگین بارندگی در  $k$  امین دوره برای مدت طولانی در ایستگاه معین  $i$  می‌باشد (Agnew, 1999). درجه‌بندی شدت شاخص SPI نیز در جدول ۱ ارائه شده است (صفدری، ۱۳۸۲).

ابداع شد (مدنی، ۱۳۷۳). امروزه ژئواستاتستیک به عنوان شاخه‌ای از علم آمار کاربردی محسوب شده و دربرگیرنده مجموعه روش‌های آماری به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی می‌باشد (Journal & Huijbergts, 1978؛ Cressie, 1985). تفاوت اصلی روش‌های متداول آمار کلاسیک و ژئواستاتستیک در این نکته نهفته است که در آمار کلاسیک فرض اساسی بر استقلال نمونه‌ها از یکدیگر استوار بوده و در نتیجه یک مشاهده هیچ‌گونه اطلاعاتی درباره نمونه‌ای که در مجاور آن واقع شده است به دست نمی‌دهد. در حالی که طبق نظریه ژئواستاتستیک نمونه‌ها مستقل از یکدیگر در نظر گرفته نشده، بلکه نمونه‌های همجوار تا فاصله معینی وابسته به یکدیگر می‌باشند (محمدی و وان مرونه، ۱۳۷۸). اصولاً کریجینگ یک اسم تعمیم یافته برای کلیه روش‌های ژئواستاتستیکی تخمین و برآورد متغیرهای مکانی است (Issak & Srivastava, 1989). این روش زمین‌آماری به‌عنوان بهترین و قابل اعتمادترین روش به منظور پهنه‌بندی و تحلیل داده‌های دارای وابستگی مکانی می‌باشد (حسینی پاک، ۱۳۷۷؛ آبکار، ۱۳۸۳).

از آنجا که شناخت پهنه‌های بحرانی خشکسالی و تعیین روند گسترش مکانی و زمانی این پدیده یکی از مهمترین اقدامات مورد نیاز در سیاست‌گذاری‌های راهبردی، پیش‌بینی خشکسالی، مدیریت و برنامه‌ریزی برای مقابله با این پدیده می‌باشد، بنابراین این تحقیق با هدف تعیین توزیع مکانی خشکسالی در استان کرمان با شاخص SPI به کمک بهترین روش درون‌یابی، طی یک دوره آماری ۳۰ ساله (سال آبی ۵۰-۱۳۴۹ تا ۸۰-۱۳۷۹) انجام شد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مطالعه در استان کرمان

جدول ۱- طبقه‌بندی شدت و مقادیر شاخص SPI

مقادیر SPI	طبقه خشکسالی
> ۲	کاملاً مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	نسبتاً مرطوب
۰ تا ۰/۹۹	مرطوب ملایم
۰ تا -۰/۹۹	ملایم
-۱ تا -۱/۴۹	متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	شدید
< -۲	بسیار شدید

$Z(x+h)$ : مقدار متغیر در نقطه به مختصات  $(x+h)$

است که به فاصله  $h$  از نقطه  $x$  قرار دارد.

پس از برازش مدل واریوگرام مناسب به ساختار فضایی داده‌ها و تعیین عوامل آن، مقایسه تکنیک‌های مختلف زمین‌آماري شامل روش کریجینگ معمولی (OK)<sup>۱</sup> و روش عکس فاصله (IDW)<sup>۲</sup> با توان‌های یک تا پنج، برای درون‌یابی، با استفاده از نرم‌افزار زمین‌آماري انجام شد.

برای بررسی دقت روش‌های درون‌یابی و انتخاب بهترین روش، روش‌های مختلفی وجود دارد که مهمترین این روش‌ها تکنیک اعتبارسنجی حذفی<sup>۳</sup> می‌باشد که برای ارزیابی از مقادیر انحراف (MBE)<sup>۴</sup> و دقت (MAE)<sup>۵</sup> طبق روابط زیر استفاده شد.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)|$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i))$$

پس از بدست آوردن مقادیر SPI ایستگاه‌ها، آنالیز زمین‌آماري انجام شد. به طور کلی یک آنالیز زمین‌آماري می‌تواند به دو مرحله تقسیم گردد: آنالیز ساختاری یا واریوگرافی و تخمین به کمک بهترین روش درون‌یابی. آنالیز ساختاری شامل انتخاب یک مدل تغییرات مکانی نظیر یک واریوگرام بوده و براساس آنالیز داده‌ها و اطلاعات دیگر نظیر تجربه شخصی می‌باشد. واریوگرام یک ابزار اساسی در زمین‌آمار است و همبستگی مکانی بین نقاط اندازه‌گیری شده بر حسب مربع تفاضل دو نقطه را با توجه به فاصله و جهت آنها نشان می‌دهد و با  $\gamma(h)$  نمایش داده می‌شود. با فرض تعداد  $n(h)$  زوج نمونه که به فاصله افقی  $h$  از یکدیگر واقع شده‌اند، مقدار واریوگرام به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^n [z(x+h) - z(x)]^2$$

که در آن:

$n(h)$ : تعداد جفت نمونه‌های بکار رفته به‌ازاء یک فاصله

مشخص مانند  $h$

$Z(x)$ : متغیر مشاهده شده در نقطه  $x$

1 Ordinary Kriging

2-Inverse Distance Weight

3- Cross Validation

4- Mean Bias Error

5- Mean Absolute Error

انتخاب بهترین روش درون‌یابی، اقدام به رسم نقشه توزیع مکانی خشکسالی شد.

### نتایج

مشخصات آماری ۲۸ ایستگاه مورد مطالعه در هر یک از سال‌های آماری در جدول ۲ ارائه شده است. شکل ۲، تغییرات شاخص SPI را به‌عنوان مثال در "ایستگاه اداره کرمان" در طول دوره آماری ۳۰ ساله مورد بررسی نشان می‌دهد.

$Z^*(xi)$  مقدار برآورد شده متغیر مورد نظر؛

$Z(xi)$  مقدار اندازه‌گیری شده متغیر مورد نظر؛

$n$  تعداد داده‌ها؛

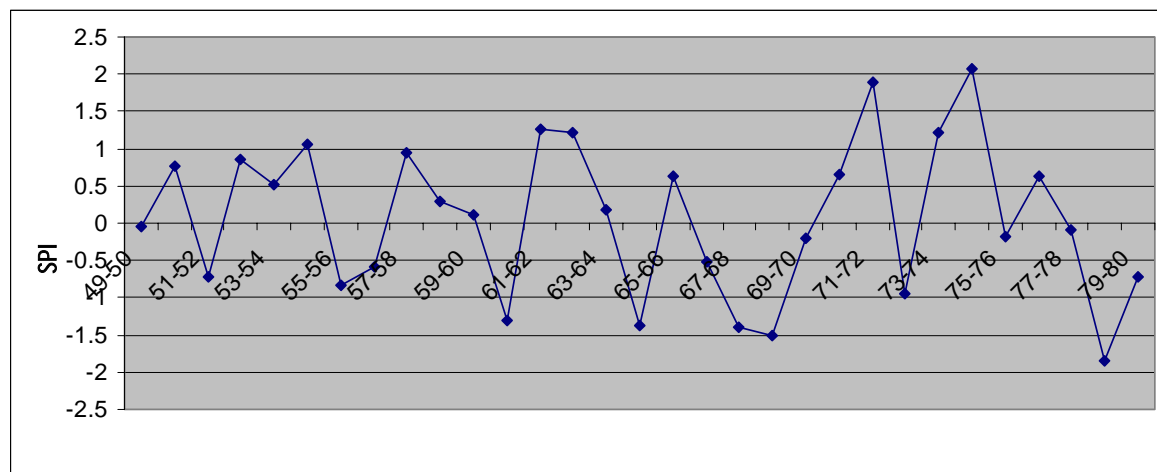
$MAE$ : میانگین مطلق خطا (دقت)؛

$MBE$ : میانگین خطای انحراف.

این دو عامل، معیاری مناسب برای برآورد دقت و انحراف تخمین است (Issak et al., 1989). پس از

جدول ۲- مشخصات آماری مقادیر SPI ایستگاه‌های مورد مطالعه

سال آماری	میانگین SPI	طبقه خشکسالی	انحراف معیار
۱۳۴۹-۵۰	-۰/۸۹	ملایم	۰/۴۹
۱۳۵۹-۶۰	-۰/۱۴	ملایم	۰/۷۴
۱۳۶۹-۷۰	۰/۵۴	مرطوب ملایم	۰/۹۵
۱۳۷۹-۸۰	-۱	متوسط	۰/۳۳



شکل ۲- تغییرات SPI طی یک دوره آماری ۳۰ ساله در ایستگاه اداره کرمان

فواصل زمانی ۱۰ ساله می‌باشد، را نشان می‌دهد. همچنین واریوگرام‌های مربوطه نیز در شکل‌های ۳ تا ۶ ارائه شده است.

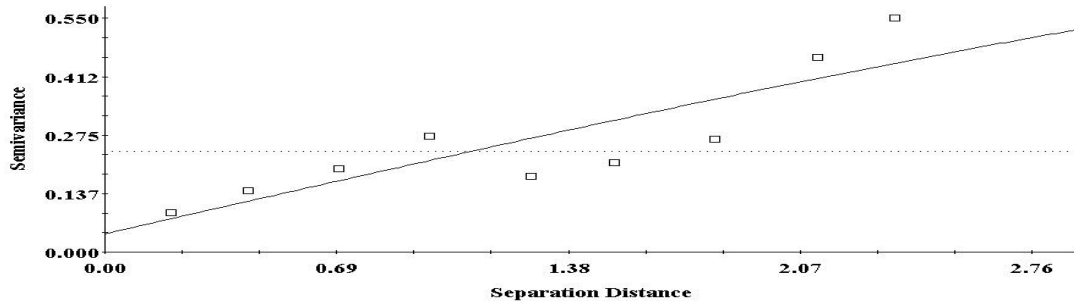
جدول ۳ نتیجه آنالیز زمین‌آماری شاخص SPI که شامل مشخصات واریوگرام مناسب برازش شده به این کمیت‌ها در طول دوره آماری ۳۰ ساله مورد بررسی در

جدول ۳- مشخصات واریوگرام مناسب برازش شده در هریک از سال‌های آماری

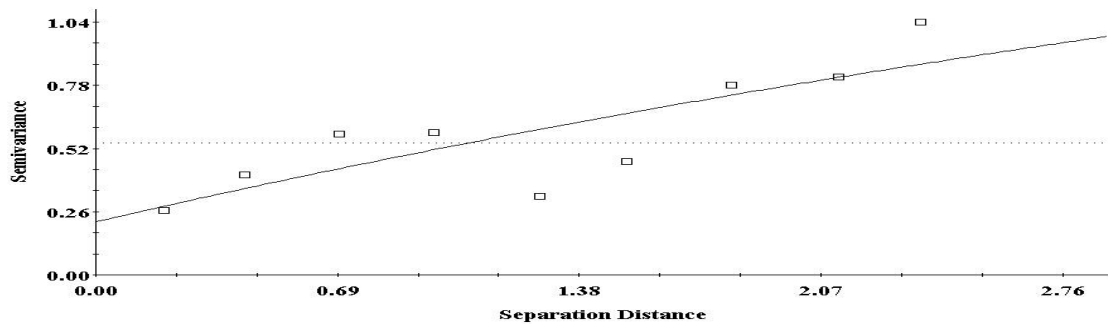
سال آماری	مدل	$C_0$	$C_0+C$	دامنه مؤثر (کیلومتر)	$C/C_0+C$	$R^2$	RSS
۴۹-۵۰	نمایی	۰/۰۳۵	۱/۲۸	۱۸/۰۳	۰/۹۷	۰/۷۴	۰/۰۴۷
۵۹-۶۰	نمایی	۰/۲۱۹	۲/۲۲	۱۸/۰۳	۰/۹۰	۰/۶۶	۰/۱۷۷
۶۹-۷۰	نمایی	۰/۰۰۱	۲/۰۱	۵/۰۲	۱	۰/۸۴	۰/۵۰۲
۷۹-۸۰	نمایی	۰/۰۵۲	۰/۴۳	۱۸/۰۳	۰/۸۸	۰/۶۹	۰/۰۱۲

$C_0+C$ : حد آستانه

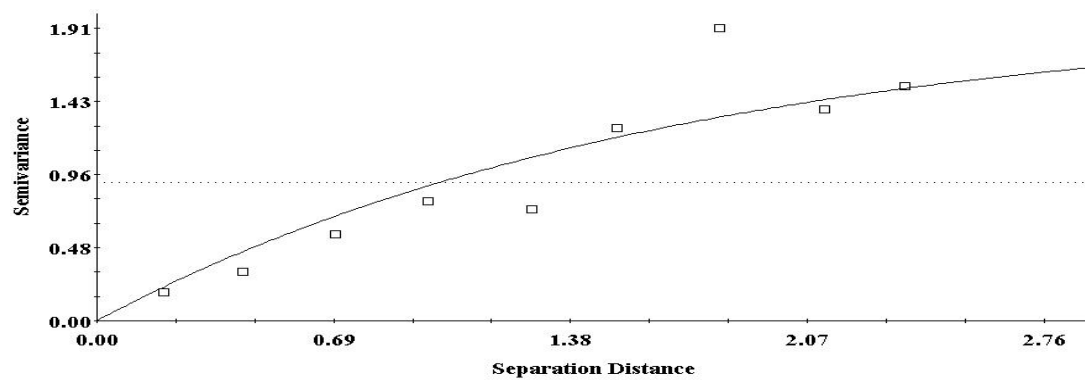
$C_0$ : اثر قطعه ای



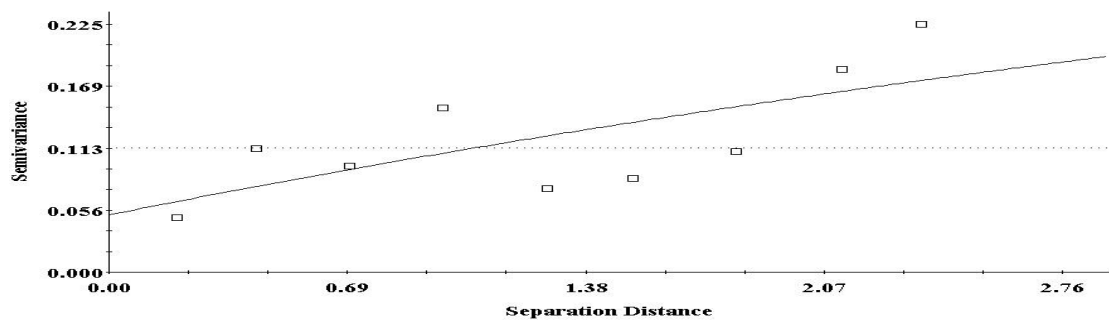
SPI



SPI



SPI



SPI

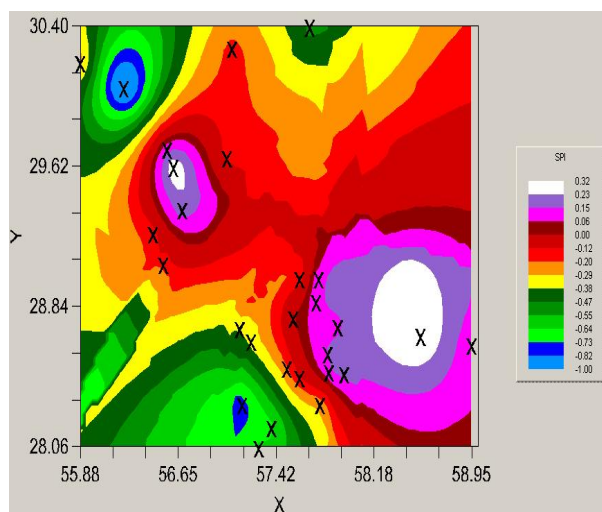


جدول ۴- مقایسه روشهای مختلف درون‌یابی در سال‌های آماری مورد بررسی

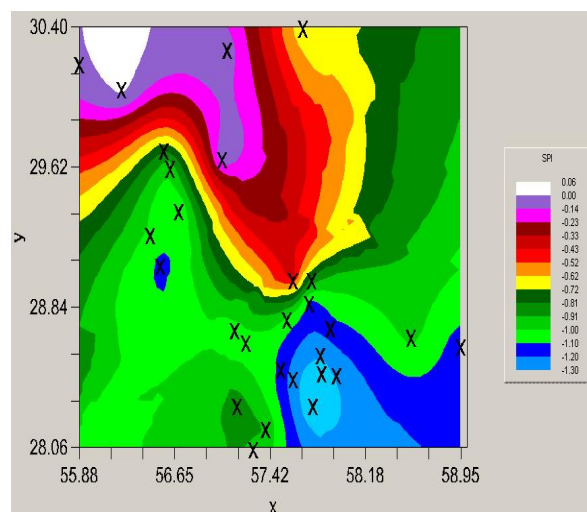
سال آماری	معیار ارزیابی	kriging	idw1	idw2	idw3	idw4	idw5
۴۹-۵۰	میانگین اندازه‌گیری شده	-۰/۸۹۱	-۰/۸۹۱	-۰/۸۹۱	-۰/۸۹۱	-۰/۸۹۱	-۰/۸۹۱
	میانگین تخمینی	-۰/۸۹۶	-۰/۹۶۲	-۰/۹۷۳	-۰/۹۶۷	-۰/۹۵۶	-۰/۹۵۰
	MAE	۰/۲۶۸	۰/۲۹۸	۰/۲۷۵	۰/۲۷۶	۰/۲۸۴	۰/۲۸۹
	MBE	-۰/۰۰۵	-۰/۰۷۱	-۰/۰۸۲	-۰/۰۷۵	-۰/۰۶۵	-۰/۰۵۸
۵۹-۶۰	میانگین اندازه‌گیری شده	-۰/۱۴۰	-۰/۱۴۰	-۰/۱۴۰	-۰/۱۴۰	-۰/۱۴۰	-۰/۱۴۰
	میانگین تخمینی	-۰/۱۳۱	-۰/۰۹۴	-۰/۰۴۱	-۰/۰۱۹	-۰/۰۰۸	-۰/۰۰۱
	MAE	۰/۵۹۲	۰/۶۷	۰/۶۲۹	۰/۶۹۰	۰/۷۲۷	۰/۷۴۵
	MBE	۰/۰۰۹	۰/۰۴۶	۰/۰۹۹	۰/۱۲۱	۰/۱۳۲	۰/۱۳۹
۶۹-۷۰	میانگین اندازه‌گیری شده	۰/۵۳۷	۰/۵۳۷	۰/۵۳۷	۰/۵۳۷	۰/۵۳۷	۰/۵۳۷
	میانگین تخمینی	۰/۴۷۸	۰/۳۷۱	۰/۴۱۳	۰/۴۵۷	۰/۴۸۷	۰/۵۰۴
	MAE	۰/۶۰۹	۰/۶۴۷	۰/۶۱۳	۰/۵۸۷	۰/۵۷۶	۰/۵۷۳
	MBE	-۰/۰۵۹	-۰/۱۶۶	-۰/۱۲۴	-۰/۰۸۱	-۰/۰۵۱	-۰/۰۳۳
۷۹-۸۰	میانگین اندازه‌گیری شده	-۰/۹۹۹	-۰/۹۹۹	-۰/۹۹۹	-۰/۹۹۹	-۰/۹۹۹	-۰/۹۹۹
	میانگین تخمینی	-۰/۹۹۹	-۱/۰۱۷	-۱/۰۱۶	-۱/۰۱۴	-۱/۰۱۵	-۱/۰۱۷
	MAE	۰/۲۱۱	۰/۲۲۹	۰/۲۱۳	۰/۲۱۶	۰/۲۲۵	۰/۲۳۳
	MBE	-۰/۰۰۰۳	-۰/۰۱۷	-۰/۰۱۶	-۰/۰۱۴	-۰/۰۱۵	-۰/۰۱۷

در نهایت پس از آنالیز زمین‌آماري و تعیین مشخصات واریوگرام، نقشه توزیع مکانی این عامل به کمک بهترین روش درون‌یابی (همه ساله روش کریجینگ بجز سال ۶۹-۷۰ روش IDW به توان ۵) در محیط نرم‌افزاری GS+

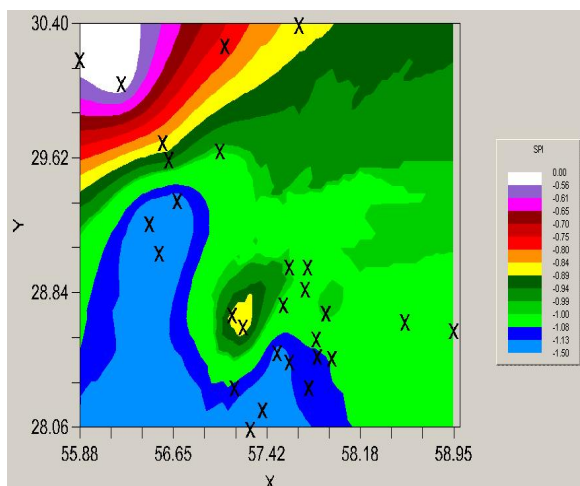
ت تهیه شد. لازم به ذکر است که علامت X نشان‌دهنده موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه است.



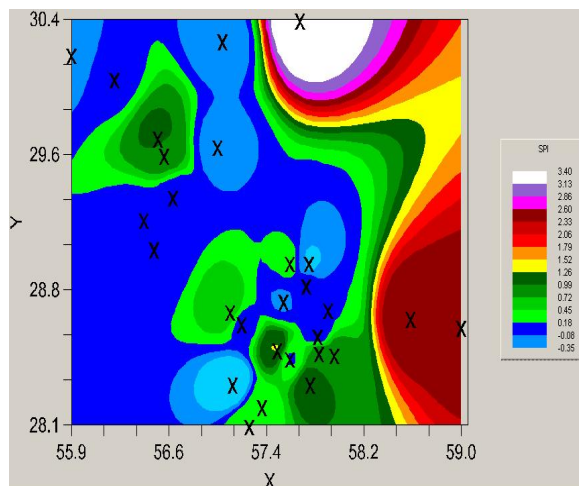
شکل ۸- پهنه‌بندی مکانی SPI در سال ۵۹-۶۰



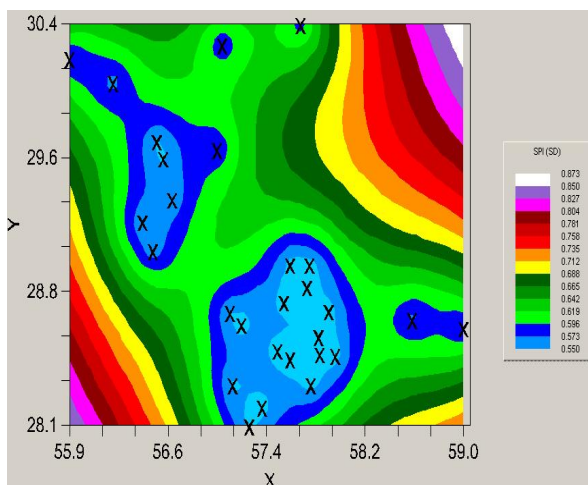
شکل ۷- پهنه‌بندی مکانی SPI در سال ۴۹-۵۰



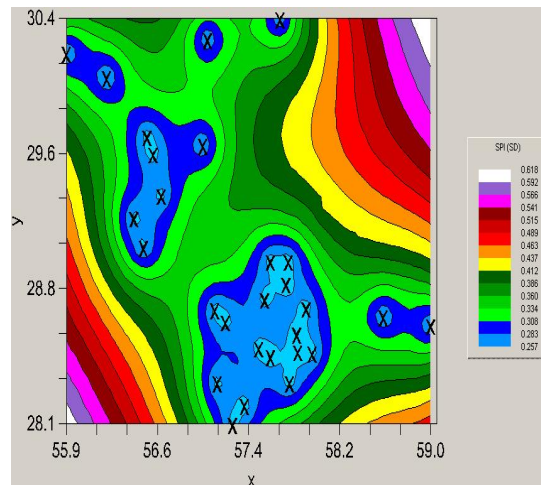
شکل ۸-۱۰- پهنه‌بندی مکانی SPI در سال ۷۹-۸۰



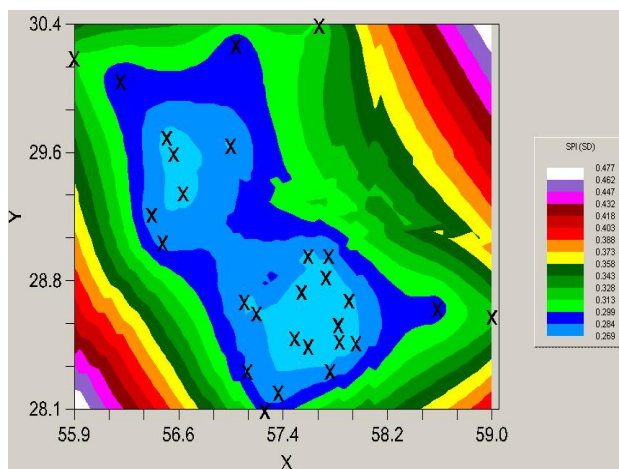
شکل ۹- پهنه‌بندی مکانی SPI در سال ۶۹-۷۰



شکل ۱۲- توزیع خطای برآورد SPI در سال ۵۹-۶۰



شکل ۱۱- توزیع خطای برآورد SPI در سال ۴۹-۵۰



شکل ۱۳- توزیع خطای برآورد SPI در سال ۷۹-۸۰

## بحث

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که طی دوره آماری مورد مطالعه (در فواصل زمانی ۱۰ ساله)، میانگین مقدار SPI در سال آبی ۷۰-۶۹ بیشترین مقدار خود (مرطوب ملایم) و در سال آبی ۸۰-۷۹ کمترین مقدار خود (خشکسالی متوسط) را داشته است. نتایج ایستگاه اداره کرمان نشان می‌دهد که از سال آبی ۷۰-۶۹ تا ۷۸-۷۷ شاهد یک دوره مرطوب بوده و از سال آبی ۷۸-۷۷ شروع پدیده خشکسالی‌های اخیر را در این ایستگاه و نیز در کل سطح استان شاهدیم. نتایج حاصل از آنالیز زمین‌آماري نشان می‌دهد که در تمام سال‌های مورد بررسی واریوگرام مناسب برازش داده شده به ساختار فضایی داده‌ها، مدل نمایی می‌باشد و دامنه مؤثر هر ایستگاه در همه سال‌ها بجز سال آماری ۷۰-۶۹ تا فاصله حدود ۱۸/۰۳ کیلومتری آن می‌باشد و در این سال ۵/۰۲ کیلومتر می‌باشد. بالا بودن مقادیر  $C/C_0+C$  نیز حکایت از وجود ساختار مکانی قوی بین این داده‌ها دارد. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی توسط تکنیک اعتبارسنجی حذفی، نشان داد که در همه سال‌ها به جز سال آماری ۷۰-۶۹ روش کریجینگ بهترین روش درون‌یابی با توجه به مقادیر پایین MAE و MBE می‌باشد و در مورد سال آبی ۷۰-۶۹ روش IDW با توان ۵ بهترین روش درون‌یابی است. یزدانی و همکاران (۱۳۸۶)، در بررسی خشکسالی‌های محدوده حوزه آبخیز زاینده‌رود با استفاده از شاخص‌های درصد از بارش میانگین، شاخص پراکنندگی بارش و شاخص بارش استاندارد، واریوگرام مدل کروی را بهترین مدل برازش شده به ساختار فضایی داده‌ها معرفی نمودند. در تحقیقی دیگر شعبانی (۱۳۸۸) در پهنه‌بندی مکانی خشکسالی در استان فارس به این نتیجه رسید که

واریوگرام مدل گوسی، مناسبترین مدل واریوگرام برازش شده به ساختار فضایی داده‌ها و روش کریجینگ به‌عنوان بهترین روش درون‌یابی است. هر چند یافته‌های حاصل از آنالیز زمین‌آماري این تحقیق مبنی بر واریوگرام مدل نمایی با یافته‌های تحقیقات مذکور همسویی نداشت که دلیل مغایرت می‌تواند به تفاوت در ساختار فضایی داده‌ها مربوط باشد، ولی توصیه روش درون‌یابی کریجینگ از نتایج این تحقیق مخصوصاً در سال‌های خشک با یافته‌های محققان مذکور مطابقت و همسویی دارد. نقشه پهنه‌بندی مکانی مقادیر SPI در سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که در سال آبی ۵۰-۴۹ در قسمت جنوبی استان، شهرستان‌های جیرفت و عنبرآباد، خشکسالی متوسط و در بقیه قسمت‌های استان خشکسالی ملایم و در شهرستان رفسنجان ملایم مرطوب را شاهدیم. در سال ۶۰-۵۹ در قسمت عمده‌ای از سطح استان، خشکسالی ملایم و در شهرستان‌های بم و بردسیر و شرق جیرفت ملایم مرطوب را شاهدیم. در سال ۷۰-۶۹ شاهد خشکسالی‌های ملایم در شهرستان‌های کرمان، بافت، کهنوج و قسمت‌های شرقی جیرفت هستیم و در سایر نقاط استان اثری از خشکسالی دیده نمی‌شود و اقلیم مرطوبی حاکم است. در سال آبی ۸۰-۷۹ تمام سطح استان در معرض خطر خشکسالی قرار گرفته است، به طوری که در نیمه جنوبی استان (شهرستان‌های بافت، جیرفت و کهنوج) خشکسالی متوسط و در نیمه شمالی استان (شهرستان‌های کرمان، رفسنجان و بردسیر) خشکسالی ملایمی حاکم است. در کل می‌توان چنین نتیجه گرفت که در سال مرطوب ۷۰-۶۹ دامنه تأثیر ایستگاه‌ها تغییر کرد و نیز بهترین روش درون‌یابی در این سال روش عکس فاصله با توان ۵ شد که دلیل این تفاوت با سال‌های آماری دیگر

حسینی پاک، ع.ا.، ۱۳۷۷. زمین‌آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۳۱۴ صفحه.

خزایی، م.، ر.، ۱۳۸۰. پیش‌بینی شدت خشکسالی و کمبود جریان (مطالعه موردی: استان کرمانشاه، رودخانه قره سو). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علم و صنعت ایران. ۲۰۱ صفحه.

سرحدی، ع.، سلطانی، س.، مدرس، ر.، ۱۳۸۷. ارزیابی و تحلیل گستره خشکسالی در استان اصفهان بر پایه چهار شاخص مهم خشکسالی. مجله منابع طبیعی ایران، ۶۱(۳): ۵۵۵-۵۶۹.

شعبانی، م.، ۱۳۸۸. ارزیابی کاربرد روش‌های زمین‌آمار در پهنه‌بندی شدت‌های خشکسالی در استان فارس. مجله مهندسی آب، ۲(۲): ۳۶-۳۱.

صفری، ع.، ۱۳۸۲. تحلیل شدت، مدت، فراوانی و گستره خشکسالی‌های حوزه کارون به کمک داده‌های بارندگی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران. ۱۳۳ صفحه.

علیزاده، ا.، ۱۳۸۶. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، چاپ ۲۲. ۸۰۷ صفحه.

فرج‌زاده، م.، ع.، موحد دانش، ه. و قائمی، ا.، ۱۳۷۹. خشکسالی در ایران با استفاده از برخی شاخص‌های آماری. نشریه دانش کشاورزی، ۵(۲): ۵۱-۳۱.

کردوانی، پ.، ۱۳۸۰. خشکسالی و راه‌های مقابله با آن در ایران. انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۳۹۲ صفحه.

محمدی، ج.، وان مروئه، م.، ۱۳۷۸. ژئواستاتستیک ابزاری مفید در مطالعه و پهنه‌بندی آلودگی‌های زیست محیطی. اولین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

مدنی، ح.، ۱۳۷۳. مبانی زمین‌آمار. مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۶۵۹ صفحه.

ملکی نژاد، ح.، ۱۳۷۹. بررسی و تحلیل تکنیک کم‌آبیاری و استفاده از آن برای مقابله با خشکسالی. مجله زیتون. ۱۵۴: ۱۱-۵.

مهدوی، م.، ۱۳۸۱. هیدرولوژی کاربردی. جلد اول. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۳۶۴ صفحه.

یزدانی، م.، چاوشی، س.، شیرانی، ک. و خداقلی، م.، ۱۳۸۵. بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی در حوزه آبخیز زاینده رود. اولین

می‌تواند مربوط به ماهیت اعداد شاخص SPI و مثبت بودن این اعداد در بیشتر ایستگاه‌های استان باشد. از سال آبی ۷۹-۸۰ شروع دوره خشکسالی‌های اخیر در سطح استان مشاهده شد. همچنین نقشه توزیع خطای برآورد این عامل نیز نشان‌دهنده خطای پایین برآوردها (اعداد کم انحراف معیار) به‌ویژه در محدوده ایستگاه‌های مورد مطالعه است و در نقاطی که ایستگاه باران‌سنجی وجود ندارد دقت برآوردها پایین است. پیشنهاد می‌شود که این تحقیق با تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی بیشتر که در همه سطح استان پراکندگی داشته باشند انجام شود. همچنین پیشنهاد می‌شود که این تحقیق با استفاده از آمار ده ساله اخیر، در صورت دسترسی به این آمار انجام شود تا ادامه روند تغییرات اقلیمی در استان کرمان بررسی شود و بتوان به مدلی برای پیش‌بینی تغییرات خشکسالی در استان کرمان نائل شد.

در کل می‌توان چنین نتیجه گرفت، با توجه به این‌که نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی خشکسالی حکایت از گسترش مکانی و شدت بیشتر پهنه‌های بحرانی در طی دوره آماری سی ساله مورد مطالعه در پژوهش حاضر دارد، شناخت این مناطق آسیب‌پذیر و در معرض خطر و نیز میزان شدت و گستردگی این پدیده، برای اعمال مدیریت و نیز برنامه‌ریزی‌های عمرانی، اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و کشاورزی از سوی دولتمردان و سیاست‌گذاران امر از ضروریات است.

## منابع مورد استفاده

آبکار، ع.، ۱۳۸۳. تحلیل منحنی‌های عمق-سطح-مدت (D.A.D) بارندگی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه مازندران، ۹۸ صفحه.

- Journel, A.G. and Huijbergts, C.J., 1978. Mining geostatistics. Academic Press Inc., 599 p.
- Mainguet, M., 1999. Drought and human development, Springer, Berlin. 270p.
- Mckee, B., Nolan, T., Doesken, J. and Kleist, J., 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Timescales. 8th. Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, pp. 179-184.
- Mishra. A. K. and Desai, V.R., 2006. Drought forecasting using feed- forward recursive neural net work. Journal of Ecological Modeling, 2: 120-133.
- Smith, K., 2000. Assessment risk and reduction disasters, Environmental hazards Rout ledge, London, 123-137.
- Tsakiris, G. and Vangelis, H., 2004. Towards a drought with system based on spatial SPI. Water Resources Management, 18, 1-12.
- همایش منطقه ای بهره برداری از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده رود، شهرکرد، ۱۴ و ۱۵ شهریور: ۱.
- Agnew, C. T., 1999. Using SPI to identify drought. Drought Network News, vol 12, No/1. 133-139.
- Cressie, N., 1985. Statistics for spatial data. John Wiley, 900p.
- Dalezios, R, N.Loukas, A.Vasiliades and L. Liakopoulos, E. 2000. Severity- Durarion-Frequency Analysis of Droughts and Wet Periods in Greece. Journal of hydrological science. 45(5), 751-769.
- Hayes, M., 2000. Drought Indices. National Drought Mitigation Center. www. drought.unl.edu.
- Issak, E.H. and Srivastava, R.M., 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, 561p.

## Investigation on spatial variations of drought using geostatistics in Kerman province over a thirty-year period (1970- 2000)

Bagheri, R<sup>1\*</sup> and Mohammadi, S.<sup>2</sup>

1\*- Corresponding Author, Assistant Professor, Islamic Azad University, Baft Branch, Kerman, Iran,  
Email: bagherireza10@yahoo.com

2- PhD Student of Watershed Management, University of Tehran, Karaj, Iran.

Received: 07.06.2010

Accepted: 08.01.2011

### Abstract

This study was performed in order to determine spatial variations of drought in Kerman province by Standard Precipitation Index (SPI) and comparing interpolation methods of Kriging and inverse distance weight with powers of 1 to 5, over a thirty-year period (1970-71 to 2000-2001). According to the results during the study period (10-year intervals), maximum and minimum average amounts of SPI were respectively recorded for 1990-91 and 2000-2001. In all studied years, exponential model was determined to be the best variogram fitted to the spatial structure of data and the effective range of each station was a distance of almost 18.03 kilometers for all years except 1990-91 with an effective range of 5, 02 km. Cross validation techniques introduced Kriging as the best interpolation method for all years except 1990-91 in which IDW to the power of 5 was the best interpolation method. Spatial zoning map of SPI showed that moderate drought was recorded for southern parts of Kerman province such as Anbarabad and Jiroft in 1970-71 while in other parts of the province slight drought was observed except Rafsanjan. In 1980-81, slight drought was observed for most parts of the province while in Bam, Bardsir and east of Jiroft slight moisture was observed. In 1990-91, there was a slight drought was recorded for Kerman, Baft, Kahnooj and east of Jiroft. In 2000-2001, all parts of the province were at risk of drought as in the southern half of the province (Baft, Anbarabad and Kahnoj) moderate drought and in the northern half of the province (Kerman, Rafsanjan and Bardsir) slight drought were observed. Error maps showed considerable accuracy of interpolation, especially near the stations.

**Key words:** spatial variations, variogram, drought, geostatistics, Kerman.