

## تعیین بهترین روش زمین آماری در تحلیل مکانی شاخص خشکسالی توزیع استاندارد در استان یزد

• منیرالسادات طباطبایی زاده

کارشناس ارشد بیابان‌زدایی دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

• جلال برخوردار

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد

• حسن خسروی

استادیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: دی ماه ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ماه ۱۳۹۲

Email: Mst\_modiriati@yahoo.com

### چکیده

به منظور بررسی وضعیت خشکسالی استان یزد و برنامه‌ریزی در جهت کاهش خسارات حاصل از آن باید نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی تهیه گردد. بدین منظور در این مطالعه بعد از محاسبه شاخص بارش استاندارد در مقیاس‌های ۶ و ۱۲ ماهه در ۳۹ ایستگاه هواشناسی واقع در استان یزد، جهت تخمین و میان‌یابی پارامتر شاخص بارش استاندارد اسفند سال ۱۳۸۹، از روش‌های کربجینگ و عکس فاصله وزنی با درجات ۱ تا ۵ استفاده شد. سپس با استفاده از روش ارزیابی متقاطع، مجذور میانگین خطای تخمین، میانگین مطلق اشتباهات، ضریب تبیین ( $R^2$  خطای نقشه‌ها برآورد گردید و بهترین روش میان‌یابی انتخاب گردید. نتایج حاصل نشان داد که در مقیاس ۶ ماهه روش عکس فاصله وزنی با توان ۳ و در مقیاس ۱۲ ماهه با توان ۲ دقت بالاتری را در پهنه‌بندی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند. همچنین طبقه‌بندی کلاس شدت خشکسالی نشان داد که در مقیاس ۶ ماهه و ۱۲ ماهه بیشترین مقدار مساحت استان در پهنه خشکسالی‌ها از نوع خفیف می‌باشد، این در حالی است که با افزایش گام زمانی از شدت ترسالی در شمال استان کاسته شده و در جنوب استان نیز از حالت خشکسالی شدید به حالت متوسط گرایش پیدا می‌کند.

کلمات کلیدی: خشکسالی، شاخص بارش استاندارد، زمین آمار، استان یزد.

Watershed Management Research (Pajouhesh &amp; Sazandegi) No 112 pp: 88-100

**Determine the Best Geostatistic Method for Spatial Analyzing of the Standard Distribution Index of drought in Yazd Province**

By: M. Tabatabaezade: M.Sc. desert management, faculty of natural Resources, university of Tehran, Karaj, I.R.Iran (Corresponding Author). J. Barkhordary: Agricultural and Natural Resources Research Center of Yazd. H. Khosravi: Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

In order to assess drought situation in Yazd province and planning programs, zoning drought map should be prepared to reduce damage resulting from this phenomenon. For this aim, in this study after calculating standard precipitation index in time series of 6 and 12 months in 39 meteorological stations located in Yazd province, Kriging and Inverse Distance Weighted 1 to 5 were used to interpolate Standardized Precipitation Index in March 2010. Then error maps were estimated using cross-validation, root mean squared error (RMSE), mean absolute error (MAE) and coefficient between estimated and observed values (R2). The Results showed in time series of 6 and 12 months, IDW3 and 2 are more accurate, respectively. Also, the drought severity classification showed that the most percent of area belongs to low class of drought in time series of 6 and 12 months. However, with increasing time step the wet severity is decreased in the north and high drought has been changed to the moderate class in the south of the study area.

Keywords: Drought, Standardized Precipitation Index, Geostatistic, Yazd Province.

Banejad و همکاران (۲۰۰۶) به منظور بررسی تغییرات منطقه‌ای خشکسالی از روش‌های زمین آماری کریجینگ، کوکریجینگ و همچنین روش آماری میانگین متحرک وزنی استفاده کردند. آنها برای کمی‌سازی خشکسالی از شاخص بارش استاندارد در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه استفاده نموده و با رسم نقشه پهنه بندی آن به این نتیجه رسیدند که در میان‌یابی شاخص بارش استاندارد با مقیاس ماهانه روش کریجینگ با مدل نمایی و برای مقیاس فصلی روش کریجینگ با مدل کروی روش مناسبی بوده و روش عکس فاصله وزنی در مقیاس‌های شش ماهه، سالانه و دو ساله نتایج بهتری را ارائه می‌نماید.

Goovaerts (۲۰۰۰) در تحقیق خود در منطقه‌ای از پرتقال، نشان داد که روش‌هایی از زمین آمار نظیر کریجینگ با روند خارجی و کوکریجینگ با متغیر کمکی ارتفاع هر یک از ایستگاه‌ها از سطح دریا نسبت به دیگر روش‌های زمین آماری نظیر کریجینگ ساده و عکس فاصله وزنی که تنها داده‌های بارندگی را در محاسبه به کار می‌برند، عملکرد بهتری در تخمین دارند.

Rahimi Bandarabadi و Saghafian (۲۰۰۷) به برآورد توزیع مکانی بارندگی با کاربرد نظریه مجموعه‌های فازی پرداختند. در این مطالعه، قابلیت روش فازی کریجینگ در برآورد بارندگی سالانه در مقایسه با روش‌های کریجینگ معمولی و کوکریجینگ ارزیابی شد. نتایج نشان داد که روش فازی کریجینگ نسبت به دو روش دیگر بهتر عمل می‌کند ضمن آن که با افزایش تعداد نقاط کمکی، خطای برآورد افزایش می‌یابد.

Mozafari و همکاران (۲۰۱۱) با ارزیابی بهترین روش زمین آماری برای میان‌یابی شاخص بارش استاندارد و شاخص خشکی موثر ۳ در

**مقدمه**

خشکسالی پدیده‌ای آرام و خزنده است که به اعتقاد بسیاری از کارشناسان دارای مکانیسمی پیچیده بوده و ماهیت آن نسبت به تمامی حوادث طبیعی کمتر شناخته شده است (Shayegh and Soltani, ۲۰۱۱). اثرات ناشی از خشکسالی بسیار شدید و گسترده بوده و بخش‌های بیشتری را نسبت به دیگر بلاهای طبیعی تحت شعاع خود قرار می‌دهد. در نتیجه شناخت مناطق مستعد رخداد خشکسالی برای برنامه‌ریزی‌ها جهت کاهش خسارات این پدیده در سطح کشور بسیار ضروری است (Eivazi and Mosaedi, ۲۰۱۱).

نبود روش مناسب در تعیین و پایش خشکسالی باعث فقدان پیشرفت در زمینه مدیریتی در بعضی از بخش‌های جهان از جمله ایران شده است، لذا باید با انجام پژوهش‌های علمی دقیق براین موارد فایز آمد. زمین آمار این امکان را فراهم می‌آورد تا با استفاده از اطلاعات حاصله از نقاط دارای آمار، به برآورد خصوصیت مورد نظر در نقاطی که فاقد آمار است پرداخته شود. اما در این خصوص، با توجه به اینکه خصوصیات مکانی نقاط نزدیک به هم بسیار شبیه‌تر از نقاطی است که دور از هم قرار گرفته‌اند، بنابراین انجام تصحیحات مکانی خودکار یکی از پیش‌نیازهای کاربرد زمین آمار می‌باشد (Goovaerts, ۱۹۹۹; Rizzo and Mouser, ۲۰۰۰).

یکی از ابزارهای مفید در این زمینه که امکان تجزیه و تحلیل ساختار، مقیاس و شدت تغییرات مکانی متغیرهای ناحیه‌ای را فراهم می‌آورد، واریوگرام‌ها می‌باشند. در واقع واریوگرام‌ها، میانگین عدم شباهت بین نقاط بدون آمار و داده‌های مجاورشان را اندازه‌گیری می‌کنند و تصحیحات لازم را به‌صورت خودکار در فواصل مختلف انجام می‌دهند (Deutsch and Journel, ۱۹۹۸).

## مواد و روش‌ها

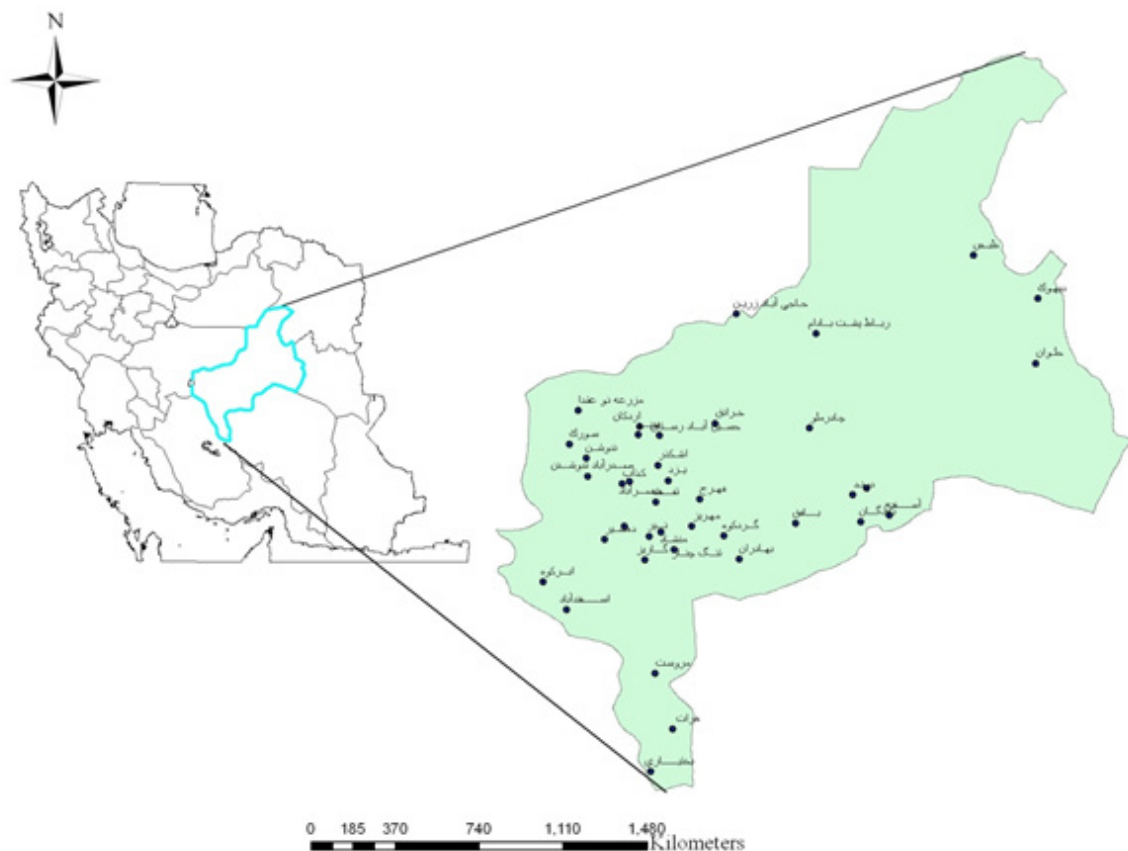
### موقعیت منطقه مورد مطالعه

استان یزد با مساحت ۷۳۲۴۰ کیلومتر مربع بین ۵۲ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی در مرکز ایران قرار دارد. میزان نزولات جوی در سطح استان به طور متوسط ۶۰ تا ۸۰ میلی‌متر است. رطوبت نسبی سالانه به طور متوسط حدود ۰ تا ۲۵ درصد که حداکثر و حداقل آن به ترتیب در دی ماه و تیرماه می‌باشد. میزان تبخیر سالانه در استان یزد بسیار بالا بوده و به طور متوسط به ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ میلی‌متر در سال می‌رسد که این رقم بسیار بالاتر از میزان نزولات جوی است. لذا در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت خشکسالی از آمار بارندگی ۲۰ ساله ۳۹ ایستگاه هواشناسی در کل استان با پراکنش نسبتاً مناسب استفاده شد و پس از تکمیل و اصلاح آمار مربوطه با استفاده از نرم افزار SPSS، یک دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۷۰-۱۳۹۰) به عنوان دوره آماری مشترک برای تمامی ایستگاه‌ها در نظر گرفته شد. شکل یک پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مطالعه در سطح استان یزد را نشان می‌دهد.

استان بوشهر به این نتیجه رسیدند که بهترین روش برای شاخص بارش استاندارد، روش عکس فاصله وزنی با توان ۲ و برای شاخص خشکی مؤثر روش کریجینگ معمولی می‌باشد.

Yazdani و همکاران (۲۰۱۱) به منظور پهنه‌بندی خشکسالی در کل کشور با استفاده از شاخص بارش استاندارد در دو مقیاس زمانی ۳ و ۱۲ ماهه و استفاده از مدل‌های کروی، نمائی، گوسی و توانی در روش کریجینگ به این نتیجه رسیدند که در مقیاس ۱۲ ماهه مدل کروی و در مقیاس ۳ ماهه مدل نمایی نتایج قابل قبولی از خود نشان می‌دهند.

با توجه به شرایط ویژه استان یزد از نظر خشکسالی و خسارات ناشی از آن و نقش حیاتی آب به عنوان مهمترین زیرساخت توسعه و فعالیت‌های عمرانی و آبادانی، به منظور مدیریت ریسک و کاهش خسارات ناشی از آن، شناسایی ویژگی‌های خشکسالی در سطح منطقه و پیش‌بینی قابل اطمینان آن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، از این رو هدف از این تحقیق بررسی بهترین روش میان‌یابی خشکسالی در سطح استان، شناخت مناطق تحت خطر این پدیده و شناسایی توزیع مکانی آن می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان یزد همراه با موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده

در این روش مقدار تخمین کمیت در نقاط نمونه‌برداری با مقدار اندازه‌گیری شده برابر می‌باشد و واریانس تخمین صفر می‌گردد که این ویژگی سبب می‌شود که تخمین گر کریجینگ در رسم خطوط هم‌ارزش از حداکثر نقاط نمونه‌برداری عبور نموده و تمایلی به بسته شدن و دور زدن نداشته باشد و از مرز محدوده مورد مطالعه فراتر رود (Omidvar and Khosravi, 2009).

از آنجا که مهم‌ترین گام در میان‌یابی به روش کریجینگ، ارائه مدلی مناسب بر نیم‌تغییرنا است (Asakereh, 2008) لذا به منظور تشریح پیوستگی مکانی متغیرها و به حداقل رساندن مقدار خطای مقادیر پیش‌بینی شده، واریوگرام داده‌ها در محیط نرم افزاری GS+ (Shabany, 2009) ترسیم شد. تابع نیم‌تغییرنا به صورت زیر تعریف می‌شود (Nanos et al, 2004):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

که در آن مقدار نیم‌تغییرنا برای جفت نقاطی است که به فاصله  $h$  از هم قرار دارند،  $N(h)$  تعداد زوج نقاطی است که به فاصله  $h$  از هم قرار دارند،  $Z(x_i)$  مقدار مشاهده‌ای متغیر  $X$  در موقعیت  $i$  و  $Z(x_i + h)$  مقدار مشاهده‌ای متغیر در فاصله  $h$  از  $x_i$  می‌باشد. بعد از محاسبه نیم‌تغییرنا در گام‌های مختلف، واریوگرام ترسیم شد و سپس مدلی که دارای حداقل مجذور میانگین خطای تخمین بود به نقاط نیم‌تغییرنا برازش داده شد و عملیات میان‌یابی صورت گرفت. همچنین به منظور بررسی درجه وابستگی مکانی (ساختار مکانی) بین نمونه‌ها از رابطه زیر استفاده شد. (Cambardella et al, 1994)

$$SD = \frac{C_0}{(C_0 + C_1)} \times 100 \quad (4)$$

SD = درجه وابستگی مکانی

C0 = اثر قطعه‌ای

C1 = واریانس ساختاری

چنانچه اعداد به دست آمده از این رابطه بین ۰ تا ۲۵ درصد باشد درجه وابستگی مکانی نمونه‌ها قوی، بین ۲۵ تا ۷۵ درصد متوسط و اگر بین ۷۵ تا ۱۰۰ درصد باشد دارای درجه وابستگی مکانی پضعیف است.

از آنجا که ممکن است به دلیل ناهمگنی‌هایی که در جهات مختلف وجود دارد، نیم‌تغییرناها نیز در جهات مختلف تفاوت داشته باشند، لذا با رسم نمودار ناهمسانگردی در محیط GS+، وجود یا عدم وجود ناهمگنی مشخص شد.

روش عکس فاصله وزنی:

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

از آنجا که شاخص بارش استاندارد یکی از معدود شاخص‌های پایش خشکسالی است که در آن مقیاس زمانی برای پایش پدیده خشکسالی مد نظر قرار گرفته است، لذا از انعطاف‌پذیری بالایی جهت تعیین و پایش خشکسالی‌ها و بررسی اثرات این پدیده بر روی ذخایر آبی کوتاه مدت (بخش کشاورزی) و ذخایر بلند مدت (منابع آب سطحی و زیرزمینی) برخوردار است (Ansari et al, 2010). همچنین از آنجا که این شاخص در مقایسه با شاخص‌های دیگر مانند شاخص ناپهنجاری یا بی‌نظمی بارش ۴، شاخص درصد از نرمال ۵ و شاخص دهک‌های بارندگی ۶ که هر کدام به نوعی درصد وضعیت‌های مختلف خشکسالی را نشان می‌دهند، با مشکل محاسبه (از نظر ایجاد داده‌های صفر) مواجه نبوده و قادر است در مقیاس‌های ۶ و ۱۲ ماهه بهترین ارزیابی‌های ماهانه از خشکسالی را در اختیار کارشناسان قرار دهد (Shayegh and Soltani, 2011).

لذا در این مطالعه مقادیر شاخص بارش استاندارد ۶ و ۱۲ ماهه با استفاده رابطه (۱) محاسبه شد و اقدام به بررسی شدت خشکسالی در سطح استان شد.

$$Z = \frac{x_i - \bar{X}}{S} \quad (1)$$

که در آن:

Z = شاخص بارش استاندارد

$x_i$  = مقدار بارندگی در سال مورد نظر

$\bar{X}$  = میانگین طولانی مدت بارندگی سالانه

S = انحراف از معیار

در مرحله بعد با استفاده از نرم افزار SPSS و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس مقادیر شاخص بارش استاندارد به صورت لایه نقطه‌ای در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی وارد گردید.

با توجه به اینکه روش زمین آمار کریجینگ بر اساس مدل برازش یافته، می‌تواند شعاعی که در میان‌یابی مورد استفاده قرار می‌گیرد برآورد کند، لذا علاوه بر تعیین شعاع عمل، عملیات محاسباتی کمتر و دقت بیشتری را در میان‌یابی حاصل می‌نماید اما وقتی که وابستگی مکانی داده‌ها ضعیف بوده و یا از نظر تعداد داده محدودیت وجود داشته باشد روش عکس فاصله وزنی با توان‌های متفاوت می‌تواند یک جایگزین مناسب برای روش‌های مختلف تخمین کریجینگ باشد (Lu and Wong, 2008). بنابراین در این مطالعه به منظور تعیین مناسب‌ترین روش جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی، از دو روش مذکور در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده شد.

روش کریجینگ:

روش کریجینگ یک تخمین گر خطی است که به صورت رابطه زیر اعمال می‌شود.

$$z^* = \sum_{i=1}^n w_i z(x_i) \quad (2)$$

که در آن  $z^*$  مقدار متغیر مکانی برآورد شده،  $z(x_i)$  مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه  $x_i$  و  $w_i$  وزن آماری که به نمونه  $x_i$  نسبت داده می‌شود و بیانگر مقدار دخالت نقطه  $x_i$  در برآورد است.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z^*(x_i) - z(x_i)| \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z^*(x_i) - z(x_i))^2} \quad (6)$$

$z^*(x_i)$ : مقدار برآورد شده متغیر

$z(x_i)$ : مقدار مشاهده شده متغیر

$n$ : تعداد متغیر مشاهده شده

پس از تعیین بهترین روش میان‌یابی براساس فاکتور خطا و تعمیم خشکسالی‌های نقطه‌ای به منطقه‌ای، نقشه شدت خشکسالی در محیط نرم افزار Arc GIS ترسیم گردید و جهت تعیین طبقات مختلف شدت خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد از طبقه‌بندی Hayes (۲۰۰۱) استفاده شد جدول (۱).

پارامتر توان فاصله، نقاط همسایه نیز بهینه گردد، لذا در نرم افزار از مجموعه‌ای از (۵، ۱۷، ۱۵، ۲۱ ایستگاه) استفاده شد و با استفاده از روش ارزیابی متقاطع مناسب‌ترین تعداد نقاط تعیین گردید. سپس به منظور ارزیابی مقدار دقت و خطا در هر یک از روش‌های میان‌یابی، از روش ارزیابی متقاطع استفاده شد بدین ترتیب که با حذف مقادیر شاخص بارش استاندارد محاسبه شده‌ی هر یک از ایستگاه‌ها اقدام به برآورد آن از نقشه‌های پهنه‌بندی و مقایسه آن با مقادیر محاسباتی گردید. در نهایت برای ارزیابی بهترین روش، مقایسه‌ای از مقادیر برآوردی و مشاهداتی در قالب معیار مجذور میانگین خطای تخمین ۷ و میانگین مطلق اشتباهات ۸ بر اساس روابط (۵) و (۶) انجام گرفت.

جدول ۱- طبقات مختلف شاخص بارش استاندارد

توصیف کیفی خشکسالی	طبقه‌بندی توزیع استاندارد بارندگی
خشکسالی بسیار شدید	$SPI \leq -2$
خشکسالی شدید	$-2 < SPI \leq -1/5$
خشکسالی متوسط	$-1/5 < SPI \leq -1$
خشکسالی خفیف	$-1 < SPI \leq 0$
ترسالی خفیف	$0 < SPI \leq 1$
ترسالی متوسط	$1 < SPI \leq 1/5$
ترسالی شدید	$1/5 < SPI \leq 1/99$
ترسالی خیلی شدید	$SPI \geq 2$

### روش کریجینگ:

چنانچه تغییرات متغیری نسبت به فاصله در همه جهات یکسان باشد آن متغیر، همسانگرد است ولی چنانچه تغییرات مکانی در جهات گوناگون متفاوت باشد متغیر ناهمسانگرد است که در مطالعه حاضر مقادیر شاخص بارش استاندارد با گام زمانی ۶ و ۱۲ ماهه در جهات مختلف تغییرات چندانی نداشته و از نوع همسانگرد می باشند (شکل ۲ و ۳).

### نتایج

نتایج مربوط به آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که مقادیر شاخص بارش استاندارد در دو مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه نرمال می‌باشد (جدول ۲). بدین ترتیب با استفاده از آمار جدول ۲ بهترین روش در پهنه‌بندی شاخص بارش استاندارد در دو مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه انتخاب شد که نتایج حاصل به شرح ذیل می‌باشد:

جدول ۲- مقادیر شاخص بارش استاندارد در مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه در استان یزد

مقیاس زمانی		نام ایستگاه	مقیاس زمانی		نام ایستگاه
۶ ماهه	۱۲ ماهه		۶ ماهه	۱۲ ماهه	
-۰/۱۷	-۰/۶۸	ایرکوه	-۰/۱۹	-۰/۵۴	مهریز
۰/۱	-۰/۴۱	مزرعه نو عقدا	-۰/۰۷	-۰/۳۹	میید
۰	۰	اردکان	۰/۲۱	-۰/۰۳	نیر
-۱/۶۶	-۱/۹۳	آسفیج	-۰/۰۹	-۰/۷۱	ندوشن
-۱/۲۲	-۱/۳۶	اشکذر	۰/۴۹	۰	ریاط پشت یادام
-۱/۵۸	-۱/۲۲	یاققی	۰/۶۷	۰/۱۵	سورک
-۱/۷۱	-۱/۶۷	یه‌یاد	-۰/۴۸	-۰/۷۵	طیس
-۰/۴	-۰/۶	یاچگان	-۰/۹۶	-۱/۳۹	تفت
-۰/۳۹	-۰/۶۱	یختیاری	-۱/۲۶	-۱/۳۵	یزد
-۰/۳۴	-۰/۵۶	بیдахوید	-۰/۰۷	-۰/۴۶	خضرآباد
-۰/۹۴	-۱/۰۹	درند	-۰/۴	-۰/۹۶	قهرج
-۰/۵۱	-۰/۷۲	دهشیر	۰/۱۹	-۰/۱۲	تنگ چنار
-۰/۶۷	-۱/۱۲	اسفندآباد	-۱/۵	-۱/۶۴	گردکوه
-۰/۳۶	-۰/۶۳	گاریز	۰/۱۵	۰/۴۱	دیپوک
-۰/۳۶	-۰/۶۴	هرات	-۱/۰۳	-۱/۲۳	حسین آباد رستاقی
۰/۱۸	-۰/۱۹	کذاب	-۰/۳۲	-۰/۸۴	حاجی آبا زرین
-۰/۴۶	-۱/۲۲	خرالقی	-۰/۴۶	-۰/۸۶	چادرمولو
۰/۱۶	-۰/۳	منشاد	-۰/۵۵	-۰/۹۳	حلوان
-۱/۲۹	-۱/۵۸	مروست	-۰/۰۹	-۰/۶۴	صدرآباد ندوشن
-۱/۰۹	-۱/۵۲	یهادران			

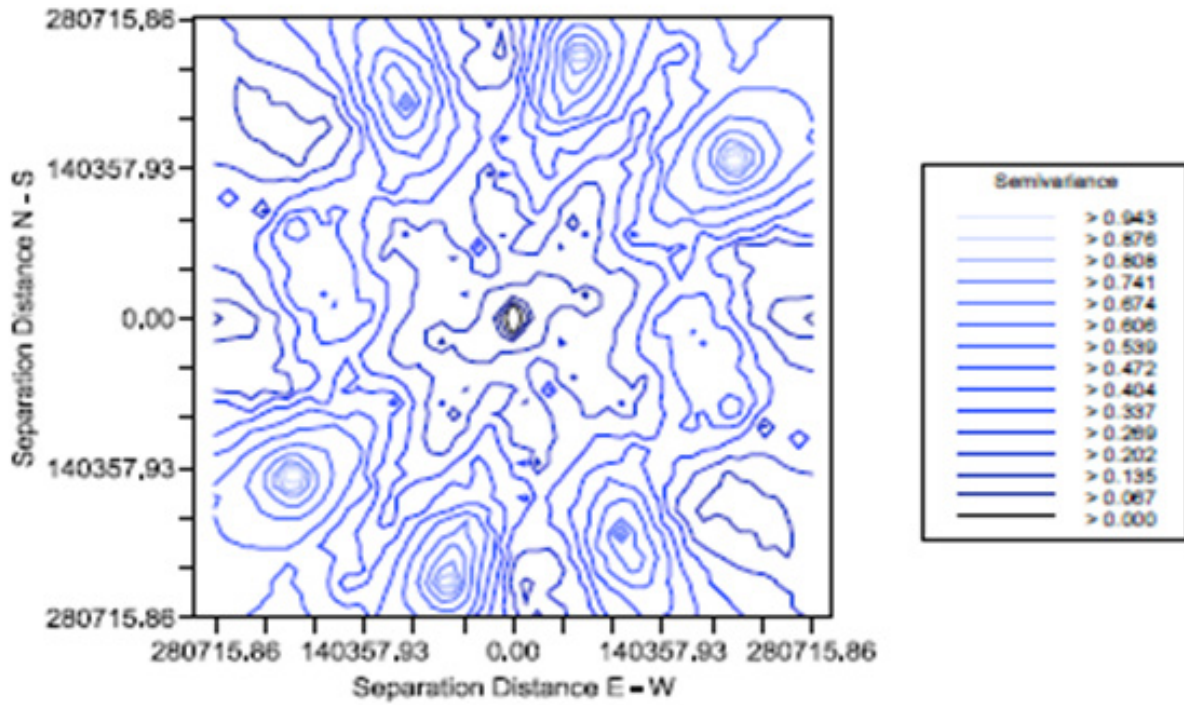
بسیار مهم است، بنابراین با اعمال نقاط همسایه مختلف نتایج ارزیابی تغییر خواهد یافت. لذا نتایج حاصل بیانگر این می‌باشد که در محاسبه شاخص بارش استاندارد به روش عکس فاصله وزنی از بین ۵، ۱۵، ۱۷ و ۲۱ ایستگاه به عنوان نقاط همسایه، تعداد ۵ ایستگاه در گام زمانی ۶ ماهه و ۱۵ ایستگاه در گام زمانی ۱۲ ماهه بهترین نتیجه را می‌دهد.

برای تعیین بهترین مدل قابل برآزش بر نیم‌تغییرنمای همسانگرد، انواع مختلف معادلات با مؤلفه‌های گوناگون به کمک نرم افزار GS+ برآزش یافت که در جداول (۳ و ۴) و شکل‌های (۳ و ۴) مشاهده می‌شود.

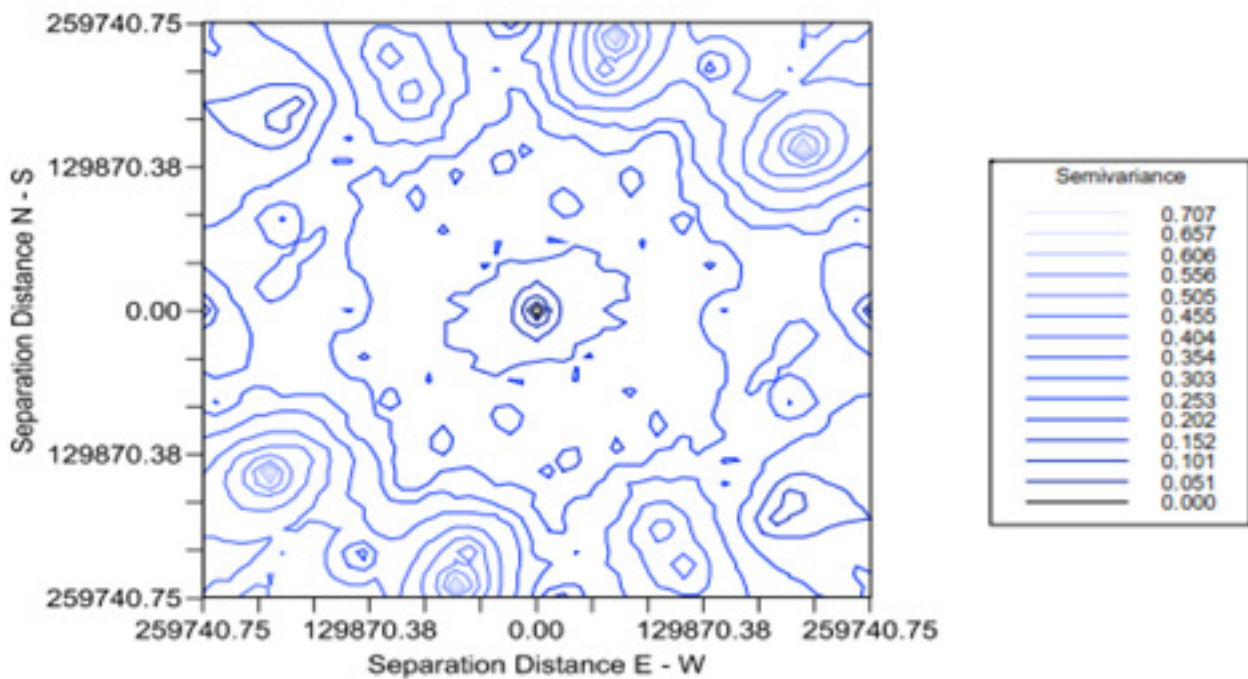
#### روش عکس فاصله وزنی:

در روش عکس فاصله وزنی علاوه بر تأثیر توان، تأثیر نقاط همسایه نیز





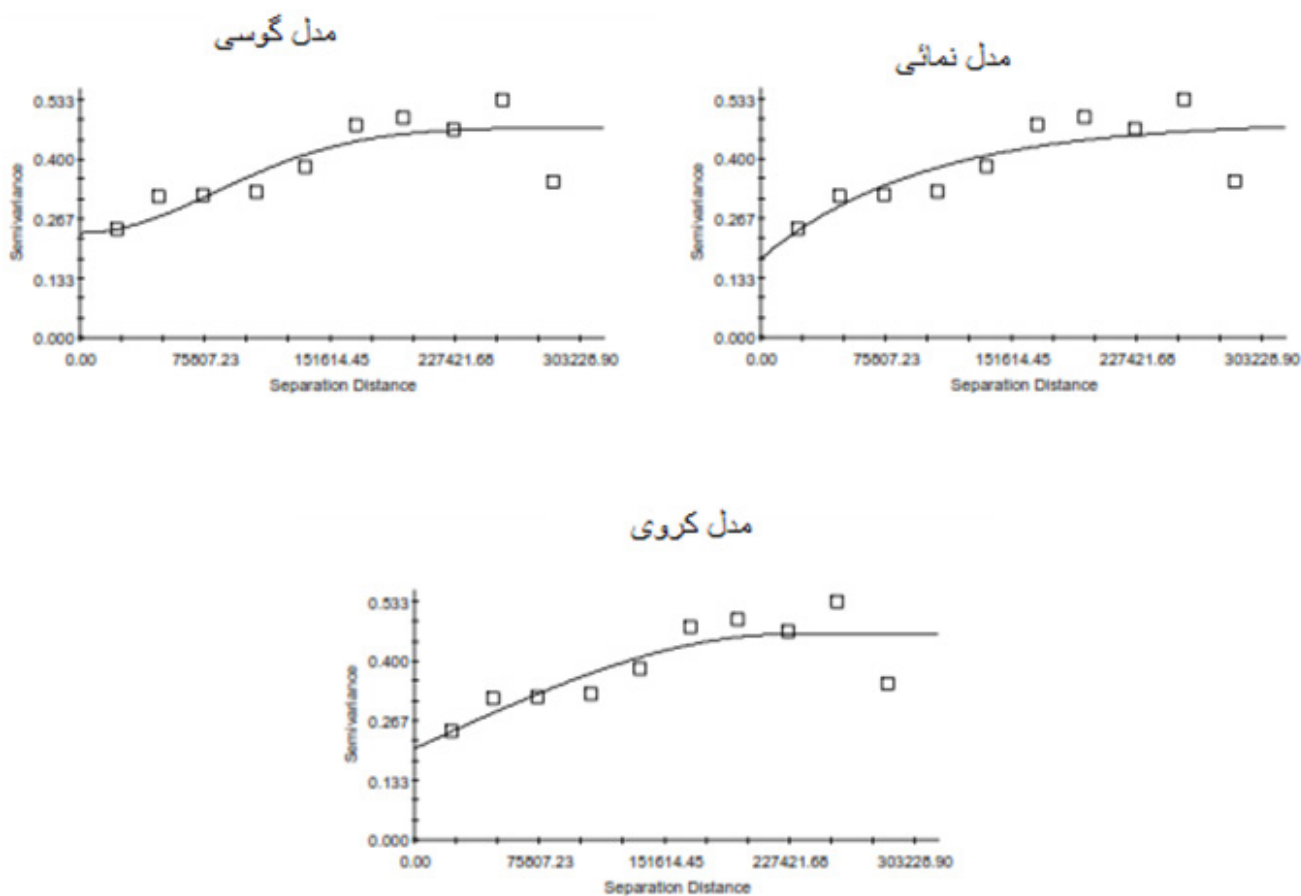
شکل ۲- بررسی ناهمسانگردی بر مبنای دامنه نیم تغییرنا در جهات مختلف در گام زمانی ۶ ماهه



شکل ۳- بررسی ناهمسانگردی بر مبنای دامنه نیم تغییرنا در جهات مختلف در گام زمانی ۱۲ ماهه

جدول (۳): مؤلفه‌های بهترین مدل‌های برازش یافته بر نیم‌تغییرنمای همسانگرد مقادیر شاخص بارش استاندارد در مقیاس ۶ ماهه

مدل	اثر قطعه‌ای (C <sub>0</sub> )	آستانه (C <sub>0</sub> +C)	$(C_0 / C_0+C) * 100$ درجه وابستگی مکانی	دامنه تأثیر (R)	مجموع مربعات باقیمانده (RSS)	همبستگی (R <sup>2</sup> )
نمایی	۰/۲۰۱۰۰	۰/۳۹۶۵۰	متوسط	۱۰۰۰۰۰	۰/۰۱۰۷	۰/۷۲۰
کروی	۰/۲۰۴۳۰	۰/۳۹۸۶۰	متوسط	۲۷۹۶۰۰	۰/۰۱۰۷	۰/۷۲۰
گوسی	۰/۲۱۰۰۰	۰/۴۴۴۰۰	متوسط	۱۶۶۱۰۰	۰/۰۱۲۳	۰/۷۴۴

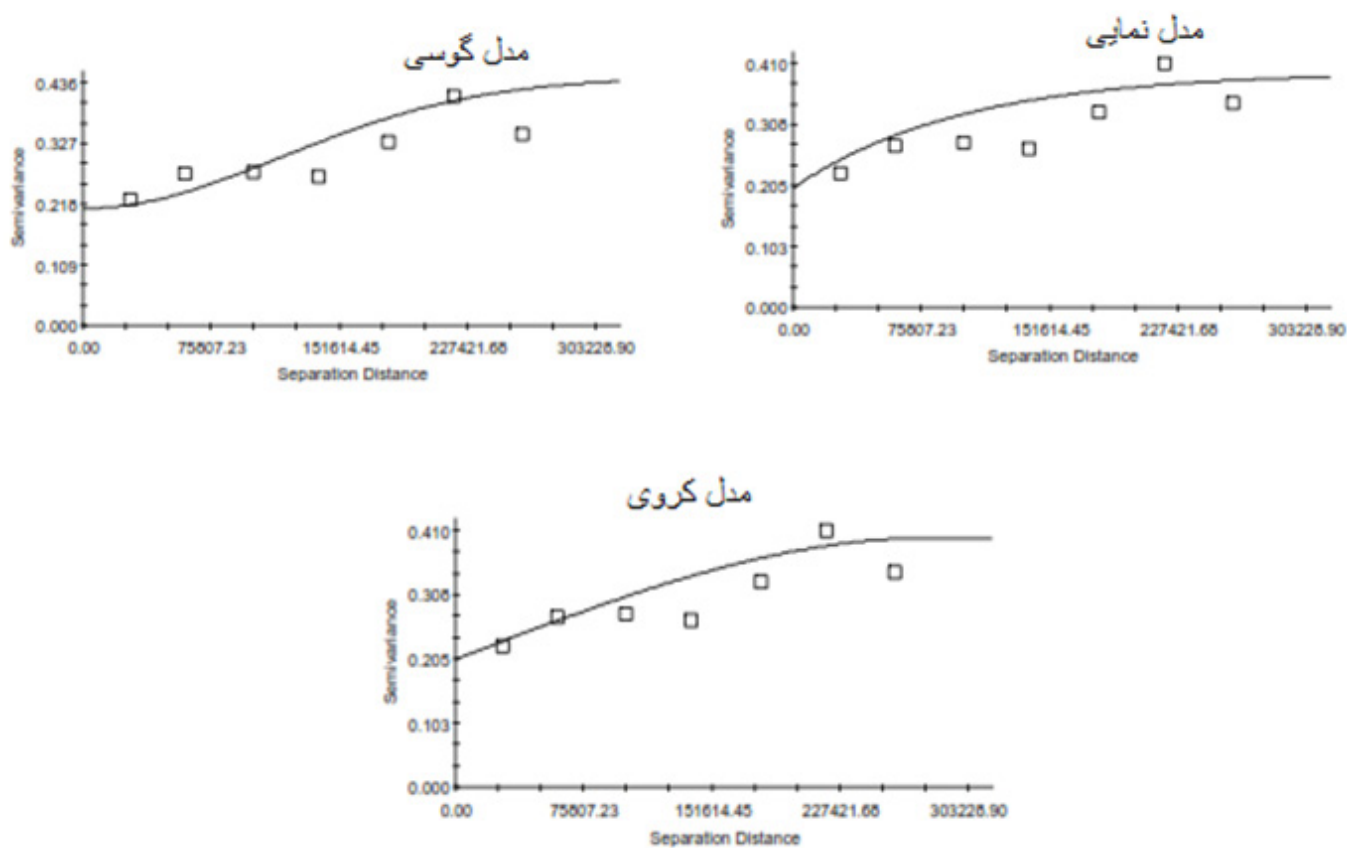


شکل ۴- نیم‌تغییر نماهای شاخص بارش استاندارد شش ماهه



جدول ۴- مؤلفه‌های بهترین مدل‌های برازش یافته بر نیم‌تغییرنمای همسانگرد مقادیر شاخص بارش استاندارد در مقیاس ۱۲ ماهه

مدل	اثر قطعه‌ای ( $C_0$ )	آستانه ( $C_0+C$ )	$(C_0/C_0+C)*100$ وابستگی مکانی	دامنه تأثیر (R)	مجموع مربعات باقیمانده (RSS)	همبستگی ( $r^2$ )
نمایی	۰/۱۷۵۶۰	۰/۴۸۲۲۰	متوسط	۹۷۹۰۰	۰/۰۲۹۰	۰/۶۵۰
کروی	۰/۲۰۳۹۰	۰/۴۵۹۸۰	متوسط	۲۲۵۴۰۰	۰/۰۲۵۰	۰/۶۹۸
گوسی	۰/۲۳۴۸۰	۰/۴۷۰۶	متوسط	۱۱۷۰۰۰	۰/۰۲۶۴	۰/۶۸۷



شکل ۵- نیم‌تغییرنمای شاخص بارش استاندارد دوازده ماهه

جدول ۵- نتایج ارزیابی روش‌های مختلف جهت تعیین بهترین روش پهنه‌بندی شاخص بارش استاندارد (مقیاس ۶ ماهه)

روش میانگین خطا	کریجینگ		عکس فاصله وزنی					
	کروی	نمایی	گوسی	توان ۱	توان ۲	توان ۳	توان ۴	توان ۵
میانگین مجذور خطای تخمین (RMSE)	۰/۵۲۲	۰/۵۱۷	۰/۵۳۹	۰/۵۵۰	۰/۵۰۹	۰/۴۹۵	۰/۴۹۹	۰/۵۰۴
میانگین مطلق اشتباهات (MAE)	۰/۴۴۹۸	۰/۴۳۹	۰/۴۶۴	۰/۴۴۷	۰/۴۱۵	۰/۴۱	۰/۴۰۹	۰/۴۱
ضریب تبیین ( $R^2$ )	۰/۲۴۳	۰/۲۷۳	۰/۱۹۹	۰/۴۰	۰/۵۳۲	۰/۵۸۰	۰/۵۹۷	۰/۶۰۳

در دو مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه تهیه شد (شکل‌های ۶ و ۷). با طبقه‌بندی کلاس‌های مختلف شدت خشکسالی در سطح استان یزد (جدول ۷) مشخص گردید که بیشترین وسعت منطقه در دو مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه از نظر خشکسالی در شرایط خشکسالی خفیف به سر می‌برد. با طبقه‌بندی کلاس‌های مختلف شدت خشکسالی در سطح استان یزد (جدول ۷) مشخص گردید که بیشترین وسعت منطقه در دو مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه از نظر خشکسالی در شرایط خشکسالی خفیف به سر می‌برد.

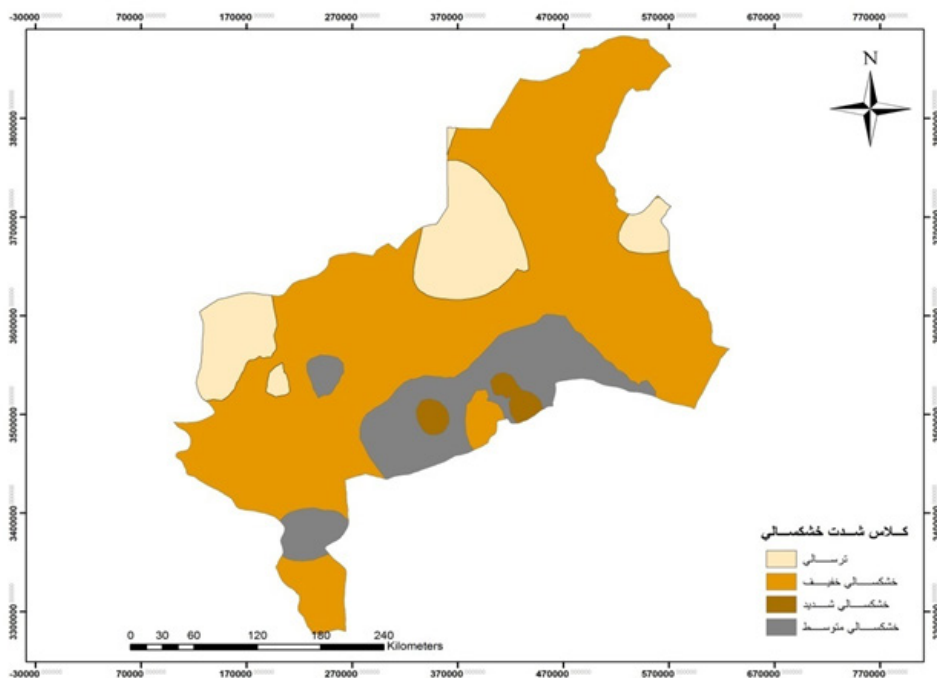
نتایج حاصل از ارزیابی مجذور میانگین خطای تخمین و میانگین مطلق اشتباهات جهت تعیین بهترین روش پهنه‌بندی در مقادیر شاخص بارش استاندارد ۶ و ۱۲ ماهه، بیانگر این است که به ترتیب روش عکس فاصله وزنی با توان ۳ و تعداد ۱۵ ایستگاه و روش عکس فاصله وزنی با توان ۲ و تعداد ۱۵ ایستگاه به عنوان نقاط همسایه، دارای مقادیر مجذور میانگین خطای تخمین و میانگین مطلق اشتباهات کمتر است لذا از نظر پهنه‌بندی بیشترین دقت را دارد که می‌توان با اطمینان زیاد از آن جهت پهنه‌بندی استفاده کرد (جدول ۵ و ۶). با توجه به این یافته‌ها نقشه پهنه‌بندی خشکسالی در سطح استان یزد

جدول ۶- نتایج ارزیابی روش‌های مختلف جهت تعیین بهترین روش پهنه‌بندی شاخص بارش استاندارد (مقیاس ۱۲ ماهه)

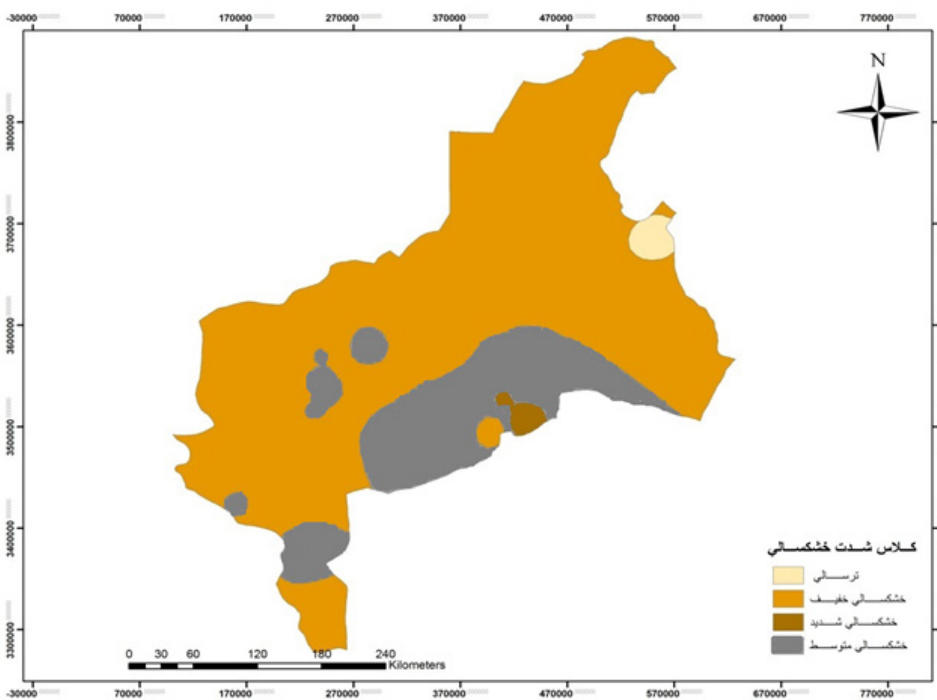
میانگین خطا	کریجینگ		عکس فاصله وزنی					
	کروی	نمایی	گوسی	توان ۱	توان ۲	توان ۳	توان ۴	توان ۵
میانگین مجذور خطای تخمین (RMSE)	۰/۵۳۲	۰/۵۲۲	۰/۵۳۸	۰/۵۲۶	۰/۵۱	۰/۵۲۷	۰/۵۴۸	۰/۵۶۳
میانگین مطلق اشتباهات (MAE)	۰/۴۴۰	۰/۴۲۸	۰/۴۵۹۰	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۴۴	۰/۴۴
ضریب تبیین ( $R^2$ )	۰/۰۷۵	۰/۰۹۹	۰/۰۴۵	۰/۲۷	۰/۳۹	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۴۲

جدول ۷- متوسط درصد گسترش وضعیت خشکسالی در دوره‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه بر اساس شاخص بارش استاندارد

شدت خشکسالی	شاخص بارش استاندارد شش ماهه		دوازده ماهه	
	مساحت ( $km^2$ )	مساحت (درصد)	مساحت ( $km^2$ )	مساحت (درصد)
خشکسالی شدید	۲۱۲۳	۱/۷	۱۰۴۲	۰/۸
خشکسالی متوسط	۱۸۸۲۶	۱۴/۶	۲۵۰۲۲	۱۹/۴۵
خشکسالی خفیف	۸۹۵۲۹	۶۹/۴	۱۰۱۲۱۴	۷۸/۶
ترسالی	۱۸۲۸۸	۱۴/۳	۱۴۸۸	۱/۱۵



شکل ۶- نقشه وضعیت خشکسالی استان یزد بر اساس شاخص بارش استاندارد در مقیاس زمانی ۶ ماهه



شکل ۷- وضعیت خشکسالی استان یزد بر اساس شاخص بارش استاندارد در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه

in precipitation interpolation, Iranian Journal of Geography and Development, Vol. 6, No. 12, PP:42-25.

3- Banejad, H., Zare Abyaneh, H., Nazarifar, M. H. and Sabziparvar, A. (2006). Application of standard precipitation index (SPI) with Geostatistic Method for analyzing meteorological drought in Hamedan province. Journal of Agricultural Reserch Water, Soil & Plant in Agricultural, Vol. 2, No.6, PP:73-61

4- Bazrafshan, J. (2002). The study of some meteorological drought indices in some Iranian climate samples, MSc thesis, University of Tehran. 142P.

5- Bodagh jamali, J., Javanmard, S., and Shirmohammadi, R. (2002). Monitoring drought status of Khorasan province by using standard precipitation index. Iranian Journal of Geographical Research. Vol. 21, PP:17-4.

6- Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, Vol. 58, PP: 1511-1501.

7- Deutsch, C.V. and Journel, A.G. (1998). GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide. Oxford University Press, Oxford, UK.

8- Eivazi, M. and Mosaedi, A. (2011). Monitoring and Spatial Analysis of Meteorological Drought in Golestan Province using Geostatistical Methods, Iranian Journal of Natural Resources (Range and Watershed Management ), Vol. 64, No. 1, PP:78-65

9- Goovaerts, P. (2000). Geostatistical apaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. Journal of Hydrology, Vol. 228, PP: 129-113.

10- Goovaerts, P. (1999). Geostatistics in soil science: State-of-the-art and perspectives. Geoderma, Vol. 89, PP:45-1.

11- Hassanipak, A.A. (2006). Geostatistics. Tehran University Press, 330 p.

12- Hayes, M.J. (2001). Drought Indices, National Drought Mitigation Center, Noaa.

13- Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K. and Lucas, N. (2001). Using ArcGIS geostatistical analyst. ESRI, Redlands, CA

14- Lu, G.Y. and Wong, D.W.) 2008( An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. Computers and Geosciences, Vol. 34, NO. 9, PP:1055-1044.

## بحث و نتیجه‌گیری

به دلیل کمبود ایستگاه‌های هواشناسی و عدم الزام و فقدان امکان در تأسیس ایستگاه‌های سنجش عناصر اقلیمی در سطح استان یزد و همچنین ضرورت در بررسی وضعیت خشکسالی و برنامه‌ریزی در جهت کاهش خسارات حاصل از آن، میان‌یابی از بنیادهای الزامی در مطالعات و بررسی‌های پهنه‌ای- مکانی اقلیم می‌باشد.

از آنجا که در میان‌یابی به روش کریجینگ بر خلاف روش عکس فاصله وزنی، نیم‌تغییرنماها نقش مهمی در ارزیابی دقت میان‌یابی دارند و افزون بر تعیین میانگین خطاها، توزیع تحلیل آنها نیز قابل بررسی است و به کمک آنها می‌توان بخش‌های با خطای بالا را تشخیص داد، لذا پهنه‌بندی با این روش خطاهای احتمالی را کاهش داده و نقشه‌های با دقت بالایی را تولید می‌کند (Hassanipak, ۲۰۰۶).

اما از آنجا که در این روش به منظور ارزیابی دقیق تغییرنما به تعداد زیادی نمونه (حداقل ۱۰۰ نمونه) نیاز است (Webster and Oliver, ۱۹۹۲) و با توجه به تعداد کم و پراکنش نامناسب ایستگاه‌ها در سطح استان و همچنین با بررسی نتایج حاصل از مجذور میانگین خطای تخمین و میانگین مطلق اشتباهات می‌توان نتیجه گرفت که در این مطالعه روش عکس فاصله وزنی نسبت به روش کریجینگ روش مناسب‌تری است. بدین صورت که در مقیاس ۶ ماهه روش عکس فاصله وزنی با توان ۳ و در مقیاس ۱۲ ماهه روش عکس فاصله وزنی با توان ۲ به عنوان بهترین روش انتخاب شد.

مطالعاتی که در استان‌های خراسان و بوشهر انجام شد این روش را بهترین روش برای پهنه‌بندی شاخص بارش استاندارد بیان نمودند (Mozafari et al, ۲۰۰۲, Bodagh jamali et al, ۲۰۱۱).

اصولاً در یک دوره بلند مدت هر قدر مقیاس زمانی مورد مطالعه کوتاه‌تر باشد شدت خشکسالی بیشتر و تداوم خشکسالی کمتر خواهد بود و هر اندازه مقیاس زمانی طولانی‌تر باشد تداوم خشکسالی بیشتر خواهد بود. این حالت به ترتیب در مقیاس‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه قابل مشاهده است به طوری که بررسی خشکسالی‌ها در سطح استان نشان داد که با افزایش گام زمانی، از شدت ترسالی‌ها در شمال استان کاسته شده و به حالت با خشکسالی خفیف گرایش پیدا کرده، همچنین در قسمت جنوب استان، از خشکسالی با حالت شدید کاسته شده و به خشکسالی متوسط گرایش پیدا کرده است. این نتیجه‌گیری با نتایج (Bazrafshan, ۲۰۰۲, Safdary, ۲۰۰۴, Mohseni Saravi et al, ۲۰۰۵) مطابقت دارد.

## منابع مورد استفاده

1- Ansari, H., Davary, K. and Sanaienejad, H. (2010). Drought Monitoring with New Precipitation and Evapotranspiration Index, Based on Fuzzy Logic, Iranian Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology), Vol. 24, No. 1, PP: 52-38.

2- Asakereh, H. (2008). Application of Kriging method

