

جغرافیا و توسعه شماره ۳۰ بهار ۱۳۹۲

وصول مقاله : ۱۳۹۰/۱۰/۲۵

تأیید نهایی : ۱۳۹۱/۴/۲۸

صفحات : ۷۰-۵۷

کاربرد انواع روش‌های درون‌یابی به منظور پایش و تحلیل فضایی خشکسالی مورد: استان خراسان رضوی

محسن حمیدیان پور^۱، دکتر محمد سلیقه^۲، غلامعباس فلاح‌قاهری^۳

چکیده

خشکسالی یکی از پیچیده‌ترین بلایای طبیعی است. این پدیده دارای ویژگی‌های متفاوتی است که توسط شاخص‌های متفاوتی محاسبه می‌گردد. از آنجایی که این شاخص‌ها متکی به متغیرهای اقلیمی و ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشند بنابراین قابلیت ثبت آنها در تمامی مکان‌ها به شکل پیوسته نیست. بر این اساس جهت تخمین مقدار متغیرهای هواشناسی در مکان‌های نمونه‌برداری نشده و تهیه نقشه‌های پیوسته از روش‌های درون‌یابی فضایی استفاده می‌شود. در این پژوهش ابتدا با استفاده از شاخص استاندارد بارش (SPI) شدت خشکسالی محاسبه گشته سپس به منظور ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی چندین روش درون‌یابی فضایی از قبیل کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، فاصله معکوس وزن‌دار (IDW)، چند جمله‌ای محلی، اسپیلاین کاملاً منظم، اسپیلاین با کشش و اسپیلاین صفحه نازک به کار برده شد و به منظور مقایسه روش‌های درون‌یابی از روش ارزیابی متقاطع و همچنین محاسبه معیارهای خطاگیری RMSE, MBA, MSE و شاخص %G استفاده گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که بهترین روش برای درون‌یابی شدت خشکسالی شاخص SPI، روش کریجینگ عمومی می‌باشد چرا که در اکثر ماه‌ها دارای کمترین خطا بوده و همچنین در ۹ ماه از سال مقدار %G در آن مثبت محاسبه شده است. در واقع این روش دارای کمترین انحراف می‌باشد. بیشترین خطا مربوط به روش درون‌یابی روش اسپیلاین صفحه نازک است در واقع هر سه معیار ارزیابی، مقادیر بالای خطا را نسبت به دیگر روش‌ها نمایش می‌دهد. کلیدواژه‌ها: پایش خشکسالی، درون‌یابی، اسپیلاین، بارش استاندارد، خراسان رضوی.

m.hamidian355p@gmail.com

saligheh@tmu.ac.ir

falahghl@yahoo.com

۱- دانشجوی دکتری جغرافیا طبیعی دانشگاه تربیت معلم تهران

۲- استادیار جغرافیا طبیعی دانشگاه تربیت معلم تهران (نویسنده مسؤل)

۳- دانشجوی دکتری جغرافیا طبیعی دانشگاه اصفهان

مقدمه

خشکسالی یکی از پیچیده‌ترین بلایای طبیعی است که تحت شرایط محیطی در همه‌ی مکان‌های جغرافیایی (هم مناطق مرطوب و هم خشک) رخ می‌دهد؛ که افراد بیشتری تحت تأثیر آن، نسبت به هر رویداد شدید دیگر قرار می‌گیرند (Wilhite, 2000: 5).

این بلیه دارای ویژگی‌هایی چون تداوم، شدت و گستره‌ی مکانی است (فرج‌زاده، ۱۳۷۴: ۵۰) و توسط شاخص‌هایی از قبیل شاخص پالم (Palmer, 1965: 28)، شاخص دهک‌ها (Gibbs & maher, 1967)، شاخص بارش استاندارد (McKee at all, 1993: 78) و غیره محاسبه می‌گردد و از آنجایی که این شاخص‌ها متکی به متغیرهای اقلیمی و ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشند قابلیت محاسبه و ثبت آنها در تمامی مکان‌ها به شکل پیوسته نیست این درحالی است که در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی‌های محیطی نیاز به نقشه‌های سطحی و پیوسته می‌باشد.

در واقع اعتبار متغیرهای اقلیمی فقط برای همان نقطه‌ای است که اندازه‌گیری می‌شوند. بنابراین جهت تخمین مقدار متغیرهای هواشناسی در مکان‌های دیگر و تهیه نقشه‌های پیوسته از روش‌های درون‌یابی فضایی استفاده می‌نمایند. با توجه به نیاز مبرم اقلیم‌شناسان و جغرافیدانان و دیگر محققان علوم محیطی که به نوعی با مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی و پیش‌بینی پیامدهای ممکن بلایای محیطی و تغییر اقلیم ارتباط دارند. روش‌های متعددی از الگوریتم‌های درون‌یابی در دسترس است. به عنوان نمونه رایج‌ترین و قدیمی‌ترین آن روش درون‌یابی تیسن (Thiessen, 1911: 1082-1084) است که به‌طور گسترده به‌منظور درون‌یابی به‌کار برده شده است (Tabios and salas, 1985: 365-380; Dirks at all., 1998: 178-193).

به هر روی در مطالعات زیادی اثبات شده است که انجام روش‌های مختلف درون‌یابی فضایی به نوع،

آرایش فضایی، پراکندگی متغیر و ویژگی منطقه‌ی مورد مطالعه بستگی (Martinez-Cob, 1996, 19; Goovaerts, 2000, 113; Haberlandt, 2007, 144; tewolde at al, 2010, 1; محاسبات، در هر روش به طور گسترده‌ای تغییر می‌کند. بنابراین می‌بایست در استفاده از هر روش درون‌یابی، تغییرپذیری سطح درون‌یابی شده را دارای اهمیت بدانیم، چرا که نتایج درون‌یابی از روشی به روش دیگر متفاوت است (Lue at all., 2008: 949). در سال‌های اخیر محققان هواشناسی و اقلیم‌شناسی توجه زیادی به کاربرد و مقایسه‌ی روش‌های درون‌یابی در تحلیل‌های اقلیمی به ویژه متغیرهای بارش و درجه حرارت در سطح جهان (Stien & Coresten, 1991: 575; Mayers, 1994: 17; Daly at all, 2006: 707; Shang at all, 2001, 689; lin at all, 2002: 47; Yue at all, 2003: 71; Apaydin at all, 2004, 31-40; Hong at all, 2005: 1369; Costa at all, 2008: 21; ایران (میرموسوی، ۱۳۸۹: ۱۰۵؛ Alijani at all, 2008: 104; Matkan at all, 2010) داشته‌اند. اما در خصوص کاربرد این روش‌ها در تحلیل فضایی شدت خشکسالی کارهای کمتری مشاهده می‌شود. بعضی از پژوهشگران روش میانگین متحرک وزنی (WMA) را به کار برده‌اند (Smakhtin and Hughes, 2007: 880) و برخی استفاده از روش رگرسیون خطی چندمتغیره را پیشنهاد می‌دهند (Loukas and Vasiliades, 2004: 719; Livada and Assimakopoulos, 2007: 143). شارما (۲۰۰۶)، بهترین روش را برای درون‌یابی روش IDW معرفی می‌کند. اختری و همکاران (۲۰۰۹)، به منظور پایش خشکسالی استان تهران ابتدا از دو شاخص SPI و EDI استفاده کرده سپس برای تحلیل فضایی، چندین روش زمین آمار چون کریجینگ، کو-کریجینگ و TPSS، تیسن و میانگین متحرک وزنی (WMA)، را مورد ارزیابی قرار دادند و در نهایت ضمن تأیید متغیر مکانی

روش‌های درون‌یابی

روش تخمین و برآورد میزان متغیر پیوسته را در مناطق نمونه‌گیری نشده در داخل ناحیه‌ای که مشاهدات نقطه‌ای پراکنده نشده‌اند، درون‌یابی می‌گویند. در واقع درون‌یابی، تغییرات پیوسته‌ی فضایی را به صورت یک سطح تعریف شده مجسم می‌سازد (قهرودی، ۱۳۸۴: ۱۵). روش‌های درون‌یابی به دو شیوه قطعی و زمین‌آمار انجام می‌شوند (قهرودی، ۱۳۸۴: ۱۶). در این مقاله، از روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین‌آمار مختلف برای تهیه‌ی نقشه‌های درون‌یابی شدت خشکسالی استفاده شده است. در روش‌های قطعی برای درون‌یابی فقط از توابع ریاضی استفاده می‌نمایند (Johnston at all, 2001: 168). بعضی از روش‌های درون‌یابی قطعی شامل: درون‌یابی فاصله معکوس وزندار (^{1}IDW)، روش تابع شعاعی (^{2}RBF)، درون‌یابی چندجمله‌ای محلی (^{3}LPI) و درون‌یابی چندجمله‌ای جهانی (^{4}WPI) می‌باشند که به خوبی در مقالات زیر توصیف شده‌اند (Hardy, 1971; 1905-1915; Bouhamidi, 2001, 36; Johnston at all., 2001, 168; Sarra, 2006: 1283). درون‌یابی‌های زمین‌آمار بر مبنای تئوری متغیرات ناحیه‌ای پایه‌گذاری شده است و به توابع ریاضی و آمار متکی است، آنها از مدل واریوگرام (تغییرنما) برای توصیف پیوستگی فضایی داده‌های ورودی و تخمین مقدار مکان‌های اندازه‌گیری نشده استفاده می‌کنند (Ashiq at all, 2010: 245). به بیانی دیگر برای مدل نمودن همبستگی مکانی متغیرهای مورد بررسی از واریوگرام استفاده می‌شود. نقاط این نمودار بر اساس زوج نقاطی صورت می‌گیرد که به فاصله‌ی معینی از یکدیگر قرار دارند و از طریق معادله (۱) قابل محاسبه می‌باشند:

بودن شاخص‌ها، نشان دادند که هر چند روش کریجینگ از دقت بالاتری برخوردار بوده است ولی با لحاظ نمودن سرعت عمل و استفاده از این نتایج در سیستم‌های پایش فعال، روش میانگین متحرک وزن‌دار نیز دقت کافی را داراست. قهرودی (۱۳۸۱) به نقد و بررسی مدل کریجینگ برای درون‌یابی متغیرهای جغرافیایی از جمله بارندگی و شدت خشکسالی پرداخته است از نتایج به دست آمده مشخص شده؛ با اینکه این مدل از دقت بالایی برخوردار است، اما در اکثر تحلیل‌های جغرافیایی نتایجی دور از واقعیت می‌دهد؛ ضمن آنکه به ساختار فضایی نقاط نمونه‌برداری وابسته است و تحت تأثیر دامنه‌ی تغییرات نمونه‌ها نیز می‌باشد.

انصاری (۱۳۸۶)، نشان داد که در چهار روش مختلف درون‌یابی، روش کریجینگ روش مناسبی برای درون‌یابی و در نهایت پهنه‌بندی شدت دوره‌های خشک است. در پژوهشی مشابه شعبانی (۱۳۸۸) روش کریجینگ ساده را به دلیل پایین‌تر بودن معیارهای RMSE و MAE به عنوان دقیق‌ترین و مناسب‌ترین روش برای تهیه‌ی نقشه‌ی شدت خشکسالی استان فارس در سال ۱۳۸۶ انتخاب می‌نماید. امیدوار و خسروی (۱۳۸۸)، به منظور تعیین مدلی بهینه جهت پایش شاخص بارندگی استاندارد (استان یزد) به ارزیابی روش کریجینگ پرداخته و مدل کریجینگ معمولی را مدلی بهینه جهت توجیه مکانی شاخص SPI بوده و داده‌های این شاخص دارای مدل نمایی می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه گردید هر یک از محققین روشی را برای پهنه‌بندی شدت خشکسالی معرفی نمودند. بنابراین در این پژوهش چندین روش درون‌یابی فضایی با یکدیگر مقایسه شده است و هدف از آن تعیین اینکه کدام روش، بهترین نمایش نسبی از شدت خشکسالی در محدوده‌ی خراسان رضوی ارائه می‌دهد، است.

1-Inverse Distance Weighted (IDW)

2-Radial Basis Functions (RBF)

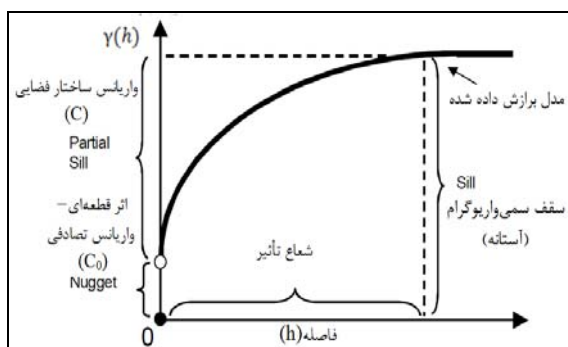
3-Local Polynomial Interpolation (LPI)

4-Global Polynomial Interpolation (GPI)

(۱) معادله

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

می‌شوند (Akhtari et al., 2009: 135) که همانطور که بیان شد آنها بستگی به مدل‌های خود-همبستگی فضایی یا به اصطلاح دیگر به کوواریانس و توابع سمی-واریوگرام دارند در واقع زمین آمار با در نظر گرفتن جهت، مکان و فاصله نمونه‌ها، همبستگی و وابستگی فضایی الگوهای فضایی را محاسبه و همچنین توزیع فضایی و قوانین پراکندگی متغیرات سازمان یافته را اندازه‌گیری می‌کند (Yue et al., 2003: 73). برای استفاده از سمی‌واریوگرام، لازم است مدل تئوریک به داده‌ها برازش کنیم و سپس از مدل سمی‌واریوگرام، در فرآیند تخمین سود می‌بریم، مدل‌های تجربی به دو گروه زیر تقسیم می‌شوند.



شکل ۱: مشخصات و اجزای واریوگرام

مأخذ: جانسون، کوین، ۲۰۰۱: ۱۶۸

الف- گروه بدون سقف: سمی‌واریوگرام‌هایی که در آنها با افزایش h (فاصله) مقدار $h\gamma$ (سمی‌واریوگرام) افزایش می‌یابد و در نهایت به سقف ثابتی نمی‌رسد. از این گونه مدل‌ها می‌توان به مدل‌های خطی، سهمی و نمایی اشاره کرد.

ب- گروه سقف‌دار: در این گروه از سمی‌واریوگرام‌ها، مقدار واریوگرام نیز تا فاصله‌ی معینی زیاد می‌شود و پس از آن به حد ثابتی می‌رسد. از گونه مدل‌ها می‌توان به مدل‌های کروی و قوسی را نام برد (مدنی، ۱۳۷۳: ۱۳۶۳؛ قهرودی، ۱۳۸۴: ۳۶).

که در آن $h\gamma$ مقدار واریوگرام در فاصله h یا واریانس جفت نقاطی که در فاصله h از یکدیگر قرار گرفته‌اند، است. h فاصله بین نقاط نمونه‌برداری شده، n تعداد جفت نقاطی که در یک راستا به فاصله h از یکدیگر قرار دارند. $Z(x_i)$ مقدار متغیر در نقطه x_i و $Z(x_i+h)$ مقدار متغیر در نقطه x_i+h می‌باشد. واریوگرام را سمی‌واریوگرام هم می‌خوانند. سمی‌واریوگرام رابطه بین فاصله و واریانس داده‌ها را نشان می‌دهد و با سه پارامتر استخراج شده از آن می‌توان تغییرات مکانی متغیر را مورد بررسی قرار داد. سه پارامتر این مدل‌ها عبارتند از: شعاع تأثیر، سقف واریوگرام (آستانه) و اثر قطعه‌ای^۱.

فاصله‌ای که طی آن مقدار سمی‌واریوگرام به حد ثابتی می‌رسد و به حالت خط افقی نزدیک می‌شود، شعاع تأثیر یا دامنه واریوگرامی خوانده می‌شود. این امر به معنی آن است که خارج از شعاع تأثیر، نمونه‌ها دیگر به هم وابسته نیستند و مستقل از همدیگر هستند. مقدار سمی‌واریوگرام پس از آنکه به حد ثابتی رسید به نام آستانه خوانده می‌شود، مقدار آستانه در عین حال برابر واریانس کلی تمامی نمونه‌هایی است که در محاسبه تغییرنما به کار بسته‌اند. مقدار تغییرنما در مبداء مختصات یعنی به ازای $h=0$ به نام اثر قطعه‌ای نامیده می‌شود در حالت کلی، اگر مشکلات مربوط به نمونه‌گیری و تجزیه نمونه‌ها وجود نداشته باشد، اثر قطعه‌ای باید کوچک باشد (مدنی، ۱۳۷۳: ۹۸) (شکل ۱). این شیوه مجموعه‌ای از روش‌ها را مانند انواع روش‌های کریجینگ و کو-کریجینگ^۲، TPSS^۳، و غیره شامل

1- Rang, Sill and Nugget
2-kriging&Cokriging
3-Thin Plate Smoothing Splines (TPSS)

کارایی مدل‌های درون‌یابی

سطح کارایی هر روش درون‌یابی، یا به بیانی دیگر میزان دقت تخمین‌ها، با مقایسه کردن انحراف تخمین‌ها از داده‌های اندازه‌گیری شده به روش اعتبارسنجی متقاطع ارزیابی شد (Webster & Oliver, 2007:191; Tewolde at all, 2010: 1-5).

در این روش مقایسه‌ای میان نقاط اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمینی توسط روش‌های مورد استفاده صورت می‌گیرد. به این ترتیب که یک نقطه حذف شده و با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش درون‌یابی مورد نظر، برای این نقطه تخمین صورت می‌گیرد. سپس این نقطه به محل خود برگردانده می‌شود و نقطه‌ی بعدی حذف می‌گردد و به همین ترتیب برای تمام نقاط برآورد صورت می‌گیرد، به طوری که در پایان دو ستون شامل مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر برآورد شده وجود دارد که می‌توان خطا و انحراف روش را برآورد کرد (میرموسوی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۱۰). معیارهای گوناگونی برای انجام این کار وجود دارد. که می‌توان به میانگین خطای مطلق (MAE^1) (یزدانی، ۱۳۸۵: ۵؛ عساکره، ۱۳۸۷: ۳۲ و شعبانی، ۱۳۸۸: ۳۵)، ریشه دوم میانگین مربع خطا ($RMSE^2$) و همچنین مقدار آماره G اشاره کرد؛ که معادلات این روش‌ها به شرح زیر است:

معادله (۲)

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

معادله (۳)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z(x_i) - \hat{z}(x_i))^2$$

معادله (۴)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - \hat{z}(x_i)]^2}$$

معادله (۵)

$$G = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (z(x_i) - \hat{z}(x_i))^2}{\sum_{i=1}^n (z(x_i) - \bar{z})^2} \right) \cdot 100$$

که در آن‌ها:

 $z(x_i)$: مقدار برآورد شده‌ی متغیر مورد نظر؛ $\hat{z}(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده‌ی متغیر مورد نظر؛ $\sigma(x_i)$: مقدار واریانس متغیر اندازه‌گیری شده؛ Z : مقدار میانگین متغیر اندازه‌گیری شده؛ n : تعداد داده‌ها؛

هر اندازه دو معیار MAE و MSE به صفر نزدیک‌تر (فرضی‌سبکبار، ۱۳۸۵: ۲) و همچنین مقدار RMSE کمتر باشد، نشان‌دهنده‌ی اختلاف کمتر مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر مشاهده‌ای است

(Prudhomme & Reed, 1999: 1340; Alijani, 2008: 123).

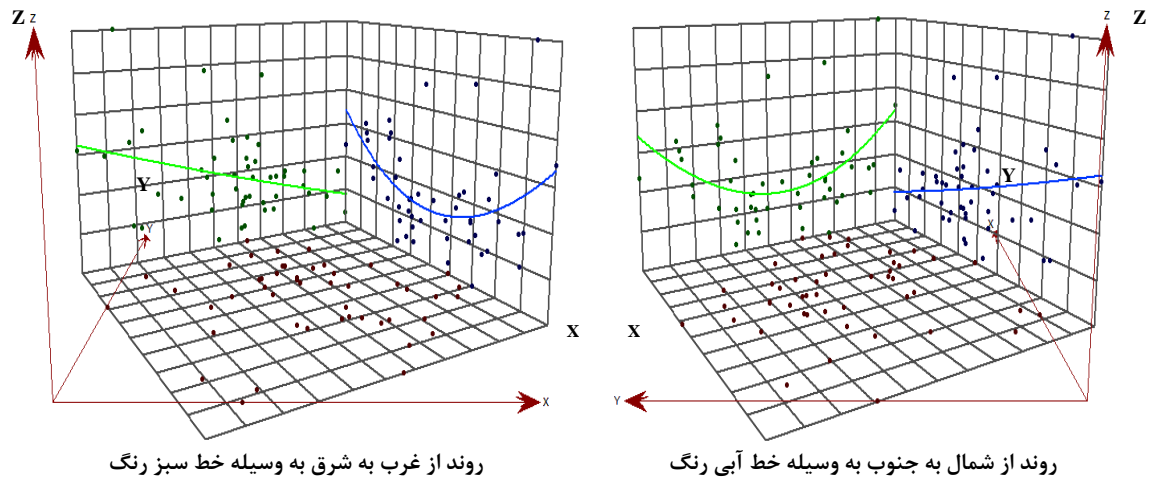
مقدار آماره G برابر با ۱۰۰٪ نشان‌دهنده‌ی یک درون‌یابی کاملاً دقیق است. مقادیر مثبت (از ۰ تا ۱۰۰) نشان می‌دهد که درون‌یابی صورت گرفته، معتبر است و می‌توان از آن روش برای درون‌یابی استفاده کرد و مقادیر منفی این آماره نشان می‌دهد که روش درون-یابی دارای کارایی چندانی نیست (Karydas at all, 2009: 35).

بحث و نتایج

همان‌طور که در روش پژوهش بیان شد در آغاز به کمک شاخص استاندارد بارش (SPI) شدت خشکسالی در دوره‌ی آماری مورد نظر برای تمامی ایستگاه‌های اندازه‌گیری باران استان خراسان رضوی محاسبه گردید. سپس درون‌یابی به روش کریجینگ انجام شد یعنی بر اساس روندیابی و بررسی سمی واریوگرام بهترین مدل به داده‌های ماهانه شدت خشکسالی برازش داده شد سپس با دیگر روش‌های درون‌یابی، بر مبنای روش ارزیابی متقاطع و معیارهای ارزیابی کارایی مورد بررسی قرار گرفتند. البته با توجه به اینکه توضیح

از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، نیاز به روندیابی دارد که بعضی از ماه‌ها دارای روندی آشکار بودند و برای درون‌یابی مناسب به حذف آن پرداختیم. بررسی روند مکانی تغییرات شدت خشکسالی در طول و عرض جغرافیایی اطلاعات مناسبی را در رابطه با نقشه به دست آمده فراهم می‌کند، در استان خراسان رضوی مقادیر شدت خشکسالی در مردادماه ۱۳۷۹ از شمال به جنوب با شیب نسبتاً تندی کاهش پیدا می‌کند. همچنین تغییرات شدت خشکسالی از شرق به غرب استان خراسان رضوی روند افزایشی دارد به طور کلی در این ماه به نظر می‌رسد که رابطه‌ی نوسان شدت خشکسالی با فاصله، توسط معادلات درجه‌ی یک آشکارتر می‌شود (شکل ۳).

و ارائه نقشه‌ی درون‌یابی تمامی نمونه‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد، فقط نتایج مربوط به مرداد ماه نشان داده می‌شود. در روش کریجینگ و کوکریجینگ، نرمال کردن داده‌ها یک امر ضروری است. البته شایان ذکر است که نرمال‌سازی برای هیچ یک از مقادیر شدت خشکسالی حاصل از شاخص SPI امکان‌پذیر نبود چرا که این امر در محاسبه‌ی مقادیر شدت خشکسالی انجام می‌پذیرد و دیگر نیاز به نرمال‌ازی نمی‌باشد. در همه‌ی مدل‌های برازش داده شده به روش کریجینگ تعداد نقاط همسایگی در محدوده‌ی جستجو چهار قطاع، شامل ۵ نقطه که حداقل باید ۲ نقطه دخالت داشته باشند، صورت گرفت. درون‌یابی در مدل کریجینگ با استفاده از مدل‌های سمی‌واریوگرام، پس



شکل ۳: روند تغییرات شدت خشکسالی استان خراسان رضوی در مرداد ماه ۱۳۷۹ (طول جغرافیایی)

Y (عرض جغرافیایی) Z (شدت خشکسالی)

مأخذ: نگارندگان

متفاوتی (نمایی، گوسن، دایره‌ای و...) برای سمی‌واریوگرام تجربی منطقه تنظیم شدند و در پایان بهترین مدل بر اساس روش ارزیابی متقاطع انتخاب شد، بهترین مدل برای مردادماه، مدل سقف‌دارنمایی می‌باشد. مشخصات بهترین مدل و مقدار پارامترهای آن برای تمام ماه‌های سال در جدول (۱) آمده است.

در ادامه به منظور بررسی خصوصیات فضایی شدت خشکسالی حاصل شده از شاخص، سمی‌واریوگرام تجربی ماهانه آنها ترسیم شدند. نتایج سمی‌واریوگرام تجربی یک ساختار فضایی مشخصی را نمایش داد. شکل (۴، ب) سمی‌واریوگرام نمونه که مربوط به شدت خشکسالی مردادماه سال ۱۳۷۹ همراه با مدل پذیرفته شده آن می‌باشد را نمایش می‌دهد. مدل‌های تئوریک

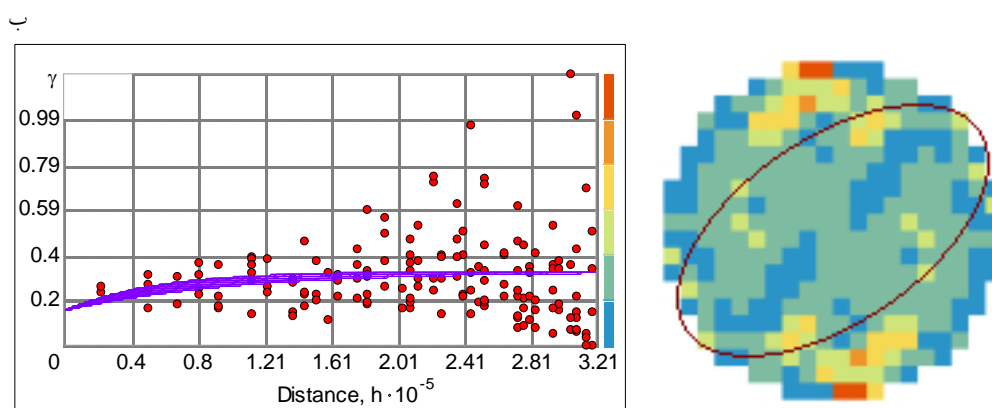
جدول ۱: مشخصات سمی واریوگرام شدت خشکسالی به روش کریجینگ عمومی (Kriging)

C/C0+C	N. lag	Lag Size	Degree	Order	Range		Partial Sill (C)	Sill (C0+C)	Nugget (C0)	Model	ماه
					Minor	Major					
۰,۶۷	۱۲	۱۸۱۵۷	۷۱,۵	۱	۷۸۶۰۲	۲۰۶۱۱۵	۰,۱۸	۰,۲۸	۰,۰۹	Exponential	فروردین
۰,۹۷	۱۲	۳۲۱۳۶	-	۱	-	۸۰۰۲۷,۱۰	۰,۵۰	۰,۵۱	۰,۰۲	Exponential	اردیبهشت
۰,۷۱	۱۲	۲۰۰۰۰	۷۹,۸	۱	۱۲۰۷۵۰	۲۸۳۸۱۰	۰,۳۹	۰,۵۴	۰,۱۶	Exponential	خرداد
۰,۱۵	۱۲	۳۸۵۶۳	-	-	-	۳۸۲۷۲۷	۰,۰۸	۰,۵۰	۰,۴۲	Circular	تیر
۰,۵۴	۱۲	۳۲۱۳۶	۵۵,۶	۱	۱۵۸۹۷۷	۳۰۵۶۱۷	۰,۱۷	۰,۳۲	۰,۱۵	Exponential	مرداد
۰,۵۷	۱۲	۳۲۱۳۶	-	-	-	۳۸۰۹۱۷	۰,۵۸	۱,۰۲	۰,۴۴	Gaussian	شهریور
۰,۵۱	۱۲	۳۲۱۳۶	-	-	-	۳۸۰۹۱۷	۰,۶۳	۱,۲۴	۰,۶۱	Circular	مهر
۰,۶۵	۱۲	۳۲۱۳۶	-	-	-	۳۸۰۹۱۷	۰,۴۹	۰,۷۶	۰,۲۶	Exponential	آبان
۰,۶۰	۱۲	۳۲۱۳۶	-	-	-	۳۶۴۸۰۶	۰,۲۴	۰,۴۰	۰,۱۶	Exponential	آذر
۰,۳۷	۱۲	۳۲۱۳۶	-	-	-	۳۸۰۹۱۷	۰,۴۶	۰,۶۶	۰,۲۰	Gaussian	دی
۰,۵۵	۱۲	۱۱۵۴۴	۳۲۷	-	۸۴۶۸۹,۵	۱۳۱۰۶۶	۰,۱۳	۰,۲۳	۰,۱۰	Exponential	بهمن
۰,۷۴	۱۲	۳۲۱۳۶	۸۰	-	۲۳۵۸۳۸	۳۶۴۸۰۵	۰,۳۷	۰,۵۰	۰,۱۳	Exponential	اسفند

مأخذ: نگارندگان

جنوب‌غرب در حدود ۳۰۶ کیلومتر و برای جهت عمود بر آن ۱۵۹ کیلومتر است. تفاوت زیاد بین دامنه تأثیر بزرگ و دامنه‌ی تأثیر کوچک سبب تشکیل شعاع جستجوی بیضی شکل شده است (شکل ۴، الف). شکل (۴، ب)، مدل سمی واریوگرام مربوط به مدل نمایی را همراه با فاکتور تأثیرگذار ناهمسان‌گردی نشان می‌دهد که واریانس تصادفی (بدون ساختار) در آن ۰/۱۵ و واریانس ساختار فضایی آن ۰/۱۷ می‌باشد.

اگر پیوستگی فضایی در همه‌ی جهات یکسان باشد همسان‌گردی وجود خواهد داشت، اما چنانچه خودهمبستگی فضایی در بعضی جهات نسبت به جهت‌های دیگر گسترده‌تر باشد با ناهمسان‌گردی روبرو هستیم (Kastelec & kosmelj, 2002: 155). نقشه واریوگرام شدت خشکسالی نشان می‌دهد که پیوستگی فضایی در جهت ۵۵/۶ درجه قوی‌تر از دیگر جهت‌ها است. دامنه تأثیر واریوگرام برای جهت شمال‌شرق به



شکل ۴: جهت‌یابی و سمی‌واریوگرام مدل کریجینگ عمومی استان خراسان رضوی (مردادماه ۱۳۷۹)
مأخذ: نگارندگان

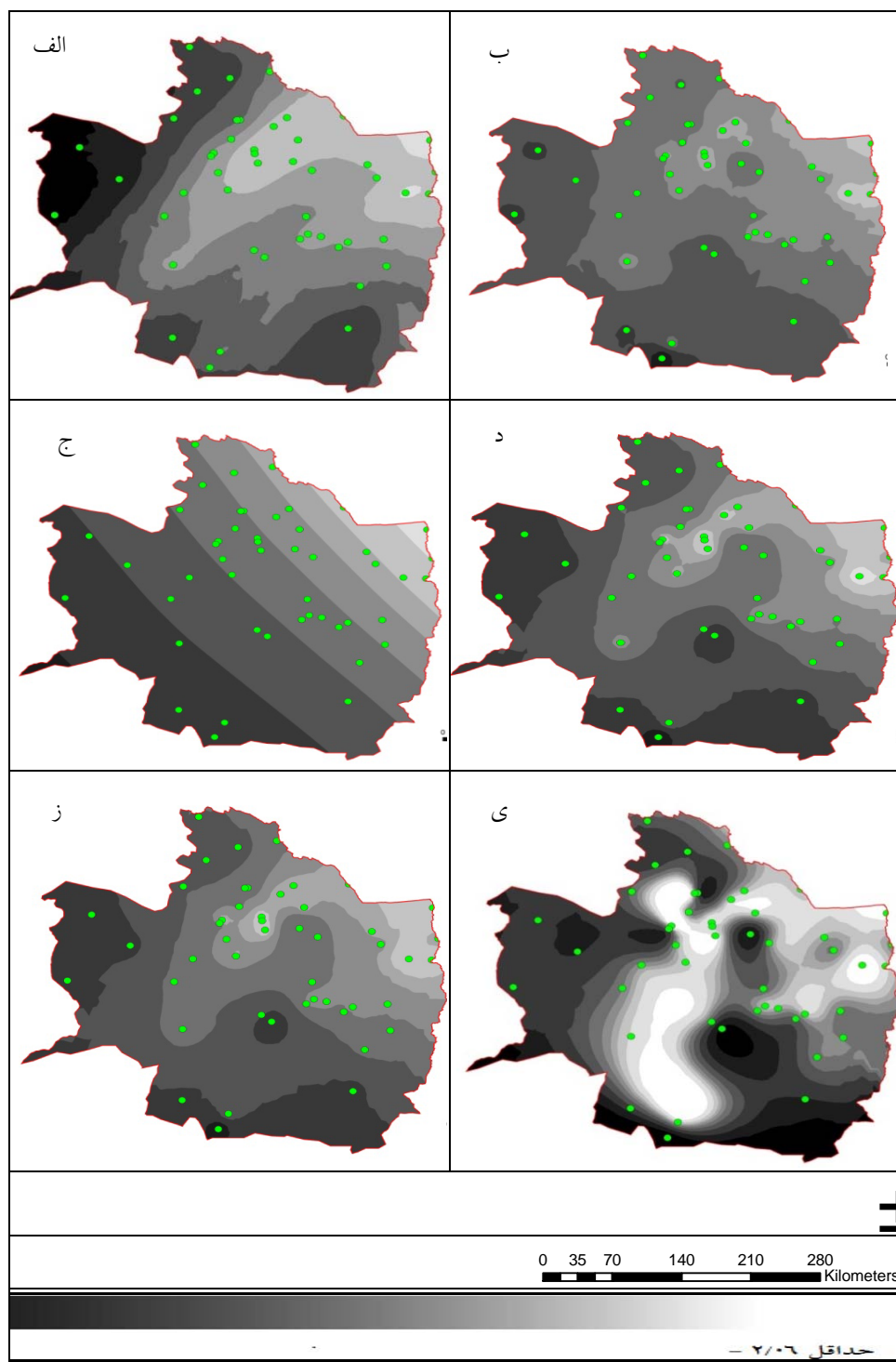
نتایج بهتری را نمایش داد. به منظور استفاده از روش کوکریجینگ نیاز به معرفی متغیر دومی که از همبستگی بالایی با یکدیگر برخوردار می‌باشند، است اما با توجه به همبستگی کم متغیر شدت خشکسالی با ارتفاع این روش حذف گردید.

مقایسه روش‌های درون‌یابی

در شکل (۵، الف تا ی). شدت خشکسالی مرداد ماه سال ۱۳۷۹ به شش روش کریجینگ عمومی، فاصله معکوس وزندار، چندجمله‌ای محلی، اسپیلاین کاملاً منظم، اسپیلاین با کشش و اسپیلاین صفحه‌ای نازک ترسیم گردیده است که در آنها تفاوت‌های فضایی از روشی به روش دیگر کاملاً آشکار است. در این ماه بهترین روش برای پیش‌بینی در مرتبه‌ی اول، روش کریجینگ است. در واقع این روش دارای کمترین میزان خطاهای اندازه‌گیری می‌باشد. مقدار خطاهای MSE, MBA, RMSE به ترتیب ۰/۵۳۵، ۰/۴۲ و ۰/۲۸۷ محاسبه شده است و مقدار شاخص درصد G در روش کریجینگ مثبت (حدود ۲۵ درصد) شده است این در حالی است که مقدار این شاخص در دیگر روش‌ها منفی است که پایین‌ترین مقدار آن مربوط به روش اسپیلاین صفحه نازک (حدود ۱۱۹- درصد) است. مطلق بودن تخمین در درون‌یابی از ویژگی‌های عمده مدل کریجینگ می‌باشد.

برای سنجش وضعیت ساختار مکانی نمونه‌های اندازه‌گیری شده از معیاری دیگر (که در ادامه تشریح می‌شود) بهره برده شده است.

این معیار نسبت واریانس ساختار فضایی (C) بر سقف سمی‌واریوگرام (C0+C) است (راهنمای نرم‌افزار GSTM. Robertson, 2008: 85) این آماره مقدار نسبت واریانس نمونه‌ای (C0+C) که توسط واریانس ساختار فضایی (C) تشریح می‌گردد را بیان می‌کند. در واقع بالا بودن نسبت C/C0+C نشان‌دهنده‌ی بالا بودن ساختار مکانی نسبت به ساختار تصادفی است. در سمی‌واریوگرامی که مقدار واریانس تصادفی (بدون ساختار C0) صفر است، مقدار این نسبت یک خواهد بود؛ در نتیجه، هرگاه مقدار این نسبت صفر بود نشان‌دهنده‌ی آن است که هیچ وابستگی فضایی بین نمونه‌ها اندازه‌گیری شده وجود ندارد. اگر این نسبت کمتر از ۰/۵ باشد نقش مؤلفه ساختاردار کمتر از مؤلفه بی‌ساختار است و ساختار مکانی ضعیف بوده و کاربرد زمین آمار مفید واقع نمی‌شود. جدول (۱) مقدار این نسبت و به علاوه بهترین مدل سمی‌واریوگرامی برازش داده شده به مقدار شدت خشکسالی ماهانه به همراه ضرایب مربوط به ویژگی‌های فضایی آن، ارائه داده شده است. به طور کلی در انواع مختلف روش کریجینگ برای تمام ماه‌ها روش درون‌یابی کریجینگ عمومی



شکل ۵: درون‌یابی به روش‌های متفاوت در استان خراسان رضوی الف: کریجینگ عمومی (Kriging)، ب: فاصله معکوس وزندار (IDW)، ج: چند جمله‌ای محلی (LP)، د: اسپیلاین کاملاً منظم (CRISpline)، ز: اسپیلاین با کشش (Tension) ی: اسپیلاین صفحه نازک (Thin). مأخذ: نگارندگان

از روش‌ها از فرمول‌های خاص خود استفاده می‌نمایند که حاصل این امر نتایج متفاوت است بنابراین ابتدا با استفاده از شاخص SPI شدت خشکسالی محاسبه گردید سپس برای مقایسه‌ی روش‌های درون‌یابی از روش ارزیابی متقاطع و همچنین محاسبه‌ی معیارهای خطاگیری RMSE, MBA, MSE و شاخص %G استفاده گردید. بر این اساس بهترین روش برای درون‌یابی شدت خشکسالی شاخص SPI، که در اکثر ماه‌ها دارای کمترین خطا بوده و همچنین در ۹ ماه از سال مقدار %G در آن مثبت محاسبه شده، به روش کریجینگ عمومی^۲ تعلق دارد، در واقع این روش دارای کمترین انحراف می‌باشد. ساختار سطح زمین و گستردگی واحدهای جغرافیایی نقش مهمی در میزان همبستگی ساختار فضایی عناصر هواشناختی دارد که این امر خود باعث افزایش یا کاهش واریانس تخمین زده می‌شود، از این رو، روش کریجینگ به عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی با کمترین واریانس تخمین مطرح می‌گردد. متوسط مقدار درصد G برای روش کریجینگ عمومی ۱۷/۵۳ محاسبه گردیده است. بیشترین خطا مربوط به روش درون‌یابی روش اسپیلاین صفحه نازک^۳ است در واقع هر سه معیار ارزیابی مقادیر بالای خطا را نسبت به دیگر روش‌ها نمایش می‌دهد. علاوه بر آن مقدار شاخص درصد G در روش اسپیلاین صفحه نازک عدد بسیار پایینی را در همه ماه‌ها نمایش می‌دهد، مقدار متوسط این معیار ۶۱/۷۱ - محاسبه گردیده شده است (جدول ۲). دیگر روش‌ها تقریباً نتایج مشابهی را به خود اختصاص داده‌اند.

این ویژگی سبب می‌شود که تخمین‌گر کریجینگ در رسم خطوط هم‌ارزش^۱ از حداکثر نقاط نمونه‌برداری عبور نموده و تمایلی به بسته شدن و دور زدن را نداشته باشد و از مرز مورد مطالعه فراتر رود. به عبارت دیگر، این مدل در تخمین کمیت اندازه‌گیری نشده نقاط یا مختصات معلوم، مقدار واریانس را به حداقل می‌رساند. بنابراین منحنی‌های میزان براساس روندیابی ترسیم می‌گردند (قهرودی، ۱۳۸۱: ۹۹). اما نبود این ویژگی در روش‌های دیگر باعث می‌شود که خطوط هم‌ارزش تمایل به بسته شدن داشته باشند که در شکل (۵، ب، د، ز، ی) دیده می‌شود. این موضوع در اسپیلاین صفحه نازک از دیگر روش‌ها شدیدتر است و کارایی این روش را در درون‌یابی شدت خشکسالی کاهش داده است. همان‌طور که در شکل (۶) نمودار خطاها مشاهده می‌گردد بیشترین اختلاف درون‌یابی در اردیبهشت‌ماه می‌باشد و این میزان در ماه‌های دیگر کاهش می‌یابد و این وضعیت در روش کریجینگ آشکارتر است یعنی از این ماه به بعد رفته‌رفته نتایج مدل‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر می‌شوند. بدین دلیل است که واریانس نمونه‌ها، درون‌یابی مدل کریجینگ را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به طوری که با کاهش دامنه‌ی تغییرات، سطح متغیرها افزایش می‌یابد؛ ضمن آنکه نتایج مدل کریجینگ به سایر مدل‌ها نزدیک می‌شود (قهرودی، ۱۳۸۱: ۹۹).

جمع‌بندی و نتیجه

شاخص‌های متعددی برای محاسبه‌ی شدت خشکسالی وجود دارد و از آنجایی که این شاخص‌ها متکی به متغیرهای اقلیمی و ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشند قابلیت محاسبه و ثبت آنها در تمامی مکان‌ها به شکل پیوسته نیست. برای رفع این نقص از روش‌های درون‌یابی فضایی بهره می‌برند. با توجه به اینکه هر یک

2- kriging
3- Thin

1- Isoline

جدول ۶: متوسط مقادیر معیارهای ارزیابی خطای روش‌های متفاوت درون‌یابی

مدل	فاصله معکوس وزندار	کریجینگ عمومی	اسپلاین کاملاً منظم	اسپلاین با کشش	اسپلاین صفحه نازک	چند جمله‌ای محلی
نام مختصر	IDW	Kriging	CRSpline	Tension	Thin	LP
MAE	0.54	0.49	0.54	0.53	0.71	0.55
RMSE	0.69	0.65	0.70	0.70	0.92	0.73
MSE	0.51	0.42	0.53	0.53	0.91	0.57
% G	5.43	17.53	5.96	6.46	-61.71	-3.05

مأخذ: نگارندگان

منابع

- ۱- امیدوار، کمال؛ یونس خسروی (۱۳۸۸). ارزیابی روش کریجینگ در تعیین مدلی بهینه جهت پایش شاخص بارندگی استاندارد در محیط GIS (مطالعه موردی: استان یزد، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن. اصفهان. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان.
- ۲- انصاری، حسین؛ کامران داوری (۱۳۸۶). پهنه‌بندی دوره‌ی خشک با استفاده از شاخص SPI در محیط GIS. مطالعه موردی (استان خراسان). پژوهش‌های جغرافیایی. شماره‌ی ۶۰.
- ۳- شعبانی، محمد (۱۳۸۸). ارزیابی کاربرد روش‌های زمین‌آمار در پهنه‌بندی شدت‌های خشکسالی استان فارس، مجله‌ی مهندسی آب. بهار.
- ۴- عساکره حسین (۱۳۷۶). کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش، جغرافیا و توسعه ۱۲.
- ۵- فرج‌زاده، منوچهر (۱۳۷۴). تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی در ایران، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا.
- ۶- فرجی‌سبکبار حسنعلی؛ قاسم عزیزی (۱۳۸۵)، ارزیابی میزان دقت روش‌های درون‌یابی فضایی: مطالعه موردی: الگوسازی بارندگی حوزه کارده مشهد. پژوهش‌های جغرافیایی.
- ۷- قهرودی‌تالی، منیژه (۱۳۸۱). ارزیابی درون‌یابی به روش کریجینگ، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره‌ی ۴۳. زمستان.
- ۸- قهرودی‌تالی، منیژه (۱۳۸۴). سیستم اطلاعات جغرافیایی در محیط سه بعدی، انتشارات جهاد دانشگاهی. واحد تربیت معلم. شماره ۴۹.
- ۹- مدنی، حسن (۱۳۷۳). مبانی زمین‌آمار، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران). واحد تفرش.
- ۱۰- میرموسوی سیدحسین؛ احمد مزیدی؛ یونس خسروی (۱۳۸۹). تعیین بهترین روش زمین‌آمار جهت تخمین توزیع بارندگی با استفاده GIS. مطالعه موردی (استان اصفهان). مجله‌ی فضای جغرافیا. سال دهم. شماره‌ی ۳۰.
- ۱۱- یزدانی، محمدرضا؛ ستار چاوشی؛ کورش شیرانی؛ مرتضی خداقلی (۱۳۸۵). بررسی وضعیت خشکسالی در زیر حوضه‌ی آبخیز زاینده‌رود، اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون. زاینده‌رود، شهرکرد.
- 12-Akhtari, R, Morid, S., Mahdianc, M. H., and Smakhtin, V (2009). Assessment of areal interpolation methods for spatial analysis of SPI and EDI drought indices, Int.J.Climatol. 29.
- 13-Alijani B, O Brien J, Yarnal B (2008). Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran, Theo. Appl. Climatol. 94.

- 26- Johnston K., VerHoef J.M., Krivoruchko K., and Lucas N (2001). Using ArcGIS Geostatistical Analyst- GIS by ESRI, United States of America.
- 27- Karydas, G. C., Gitas, L., Koutsogiannaki, E., Lydakiss-Simantiris, N., and Silleos, G. N (2009). Evaluation of spatial interpolation techniques for mapping agricultural Topsoil properties in Crete, *earseleproceedings* 8.
- 28- Kastelec D, Kosmelj K (2002). Spatial interpolation of mean yearly precipitation using universal kriging., *Development in Statistic*. 17.
- 29- Lin Zh., Muo Xg, Li Hx, Li Hb (2002). Comparison of three spatial interpolation methods for climate variables in China. *Acta Geography Sinica* 57.
- 30- Livada I., Assimakopoulos VD (2007). Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index(SPI). *Theoretical and Applied Climatology* 89(3-4).
- 31- Loukas A., Vasiliades L (2004). Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece. *Natural Hazards and Earth System Science* 4.
- 32- Luo W., Taylor M.C., and Parker S.R (2008). A comparison of spatial interpolation methods to estimate continuous wind speed surface using irregularly distributed data from England and Wales, *Int. J. Climatol*. 28.
- 33- Martinea-cobA(1996). Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain. *Journal Hydrology* 174.
- 34- Matkan, A., Shakiba, A., Mirbagheri, B., and Tavoosi, H (2010). A Comparison Between Kriging, CoKriging and Geographically Weighted Regression Models for Estimating Rainfall over North West of Iran, *EMS Annual Meeting Abstracts, Vol.7, EMS 2010-325*.
- 35- Meyers, D. E (1994). Spatial interpolation: An overview. *Geoderma*, 62.
- 36- McKee TB, Doesken NJ, Kleist J (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceeding of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17-22 January 1993, Anaheim: California.
- 14- Apaydin H, Sonmez FK, Yildirim YE. (2004), Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey. *Climate Research* 28.
- 15- Ashiq M. W., Zhao C., Ni J., And akhtar m (2010). GIS-based high-resolution spatial interpolation of precipitation in mountain plain areas of Upper Pakistan for regional climate Change impact studies, *Theor Appl Climatol* 99.
- 16- Bouhamidi A (2001). Hilbertian approach for univariate spline with tension. *Approx Theory its Appl* 17(4).
- 17- Costa C.A., Durao R., Soares A. and Pereira J (2008). A geostatistical exploratory analysis of precipitation extremes in southern Portugal. *REVSTAT- Statistical Journal*, Volume 6, (Number 1).
- 18- Driks KN., Hay J. E., Stow C. D., and Harris D., (1998). High resolution studies of rainfall on Norfolk Island. Part II: Interpolation of rainfall data. *Journal of Hydrology* 208(3-4).
- 19- Daly C (2006). Guidelines for assessing the suitability of spatial climate data sets, *J. Climatol*. 26.
- 20- Gibbs WJ, Maher JV., (1967). Rainfall Deciles as Drought Indicators, *Bureau of Meteorology Bulletin No. 48*. Commonwealth of Australia: Melbourne; 29.
- 21- Goovaerts P (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall, *J. Hydrol*. 228.
- 22- Haberlandt U (2007). Geostatistical interpolation of Hourly precipitation from rain gauge and radar for a large-scale extreme rainfall event. *Journal Hydrology* 332.
- 23- Hardy RL (1971). Multiquadratic equations of topography and other Irregular surfaces. *J Geophys Res* 76 (8).
- 24- Hong Y, NIX HA, Hutchinson MF, Booth TH (2005). Spatial interpolation of monthly mean climate data for China. *International Journal Climatology* 25.
- 25- Isaaks, EH, Srivastava RM (1989). *Applied Geostatistic*. New York, NY: Oxford University Press.

- 45- Tewelde GT, Beza TA, Costa AC, Painho M. (2010). Comparison of Different interpolation techniques to map temperature in the southern region of Eritrea. International Conference on Geographic Information Science (AGILE), Guimaraes, Portugal.
- 46- Tabios GQ III, Salas JD (1985). A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *Water Resour Bull* 21.
- 47- Taesombat W, Sriwongsitanon N (2009). Areal rainfall estimation using spatial interpolation techniques. *ScienceAsia* 35.
- 48- Thiessen AH. (1911). Precipitation averages for large areas. *Monthly Weather Review* 39(7).
- 49- Webster R, and Oliver M.A (2007), *Geostatistics for Environmental Scientists*, Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd.
- 50- Willmott CJ (1984). On the evaluation of model performance in physical geography. In *Spatial Statistics and Models*, Gaile GL, Willmott CJ (eds). Reidel Publishing: Dordrecht; 443–460.
- 51- Wilhite, AD (2000). *Drought Vol I, II, A Global Assessment*.
- 52- Yue W, Xu J, Liao H, XU L (2003). Application of Spatial Interpolation for Climate Variables Based on Geostatistics: A Case Study in Gansu Province China, *Geographic Information Sciences* 9 (1,2).
- 37- Prudhomme C, Reed DW (1999). Mapping extreme rainfall in a mountainous region using geostatistical techniques: a case study in Scotland. *Int J Climatol* 19.
- 38- Palmer WC. (1965). *Meteorological drought*. Research Paper No. 45. U.S. Department of Commerce Weather Bureau: Washington, DC.
- 39- Robertson, G.P. (2008). *GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences*. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA. www.gammadesign.com.
- 40- Sarra S.A (2006). Integrated multiquadric radial basis function Approximation methods. *Comput Math App* 151(8).
- 41- Shang ZB; Guo Q; Yang DA (2001). Spatial pattern analysis of annual precipitation with climate in formation system of China. *Acta Ecologica Sinica* 21.
- 42- Sharma, A., Dadhwal, V. K., Jeganathan, C., Tolpekin, V (2006). *Drought Monitoring using Standardized Precipitation Index: A case study for the state of Karnataka, India*. http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/drought/drought_aditi.html.
- 43- Smakhtin VU, Hughes DA. (2007). Automated estimation and analyses of drought characteristics from monthly rainfall data. *Environmental Modelling & Software* 22(6).
- 44- Stein, A., and L.C.A., Corsten (1991). Universal kriging and cokriging as regression procedures. *Biometrics* 47.