دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
مجله علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی

سال دهم، شماره‌ی ۳۰
تابستان ۱۳۸۹، صفحات ۱۲۰-۱۰۵

سید حسین میرموسوی [۱]
احمد مزیدی [۲]
یونس خسروی [۳]

تعیین بهترین روش زمین‌آمار جهت تخمین توزیع بارندگی با استفاده از GIS
(مطالعه موردی: استان اصفهان)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۰٤/۳۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۰۹/۱٦

چکیده

انتخاب یک روش درون‌یابی بهینه برای تخمین ویژگی‌های یک منطقه موردی در نقاط نمونه‌گیری نشده نقش مهمی در مدیریت داده‌ها دارد. در این تحقیق، سه روش کریجینگ

۱- استادیار گروه جغرافیا دانشگاه زنجان E-mail: www.yas@hotmail.com.
۲- عضو هیات علمی دانشگاه یزد.
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی (اقلیم‌شناسی)، دانشگاه یزد E-mail: Younes_kh15@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

ساده، معمولی، یونیورسال و توابع پایه شعاعی جهت تخمین پارامتر میانگین بارندگی سالانه استان اصفهان مورد استفاده قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا به ازای هر مدل، نیم تغییرنمای آن محاسبه و ترسیم شد. سپس با استفاده از روش ارزیابی متوالی (Cross-Validation)، ریشه متوسط مجذور خطاها[4] و ضریب تعیین بین مقادیر مشاهده و تخمین زده شده (r2) خطای نقشه‌ها برآورد شد و از میان شانزده نقشه، یک نقشه به عنوان نقشه‌ی مناسب اختیار شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که برای درون‌یابی اطلاعات میانگین بارندگی سالانه روش‌های کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده، توابع پایه شعاعی و کریجینگ یونیورسال به ترتیب دقت‌های بالاتری را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند. روش کریجینگ معمولی با مدل دایره‌ای مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی اطلاعات مقادیر میانگین بارندگی سالانه از خود نشان داد.

کلیدواژه‌ها: زمین‌آمار، درون‌یابی، بارندگی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، اصفهان.

مقدمه

برنامه‌ریزی، توسعه، مدیریت و بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های منابع آب به اطلاعات متنوعی در زمینه‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و... نیازمند می‌باشد. در این میان، ریزش‌های جوی خصوصاً بارندگی از مهم‌ترین فرایندهای چرخه هیدرولوژیکی بوده و تنها در صورت وقوع آن فرایندهایی نظیر سیلاب، فرسایش، رسوبگذاری، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و... به وقوع می‌پیوندد. این فرایند از بیشترین تغییرات مکانی و زمانی برخوردار بوده و کمیت بخشیدن به آن در مکان و زمان همواره مورد توجه محققان مختلف بوده و هست. از اطلاعات بارندگی به طور معمول در مطالعات برآورد نیاز آبی گیاهان موجود در الگوی کشت، تحلیل منطقه‌ای، آنالیز دوره خشکسالی و ترسالی و پیش‌بینی به هنگام سیلاب استفاده به عمل

4. RMSE

Archive of SID

www.SID.ir

می‌آید. تغییرات قابل ملاحظه بارندگی در زمان و مکان از یک سو و قلت ایستگاه‌های باران‌سنجی معمولی در ثبت عمق بارندگی روزانه از سوی دیگر ضرورت تبیین مدل‌های تخمین بارندگی را در زمان و مکان امری اجتناب ناپذیر می‌نماید. دستیابی به توزیع مکانی بارش بر اساس داده‌های نقطه‌ای بارش که از ایستگاه‌های باران‌سنجی به دست می‌آیند، بر اساس یکی از دو روش دورن‌یابی و برون‌یابی میسر می‌گردد. روش تخمین و برآورد میزان متغیر پیوسته را در مناطق نمونه‌گیری نشده در داخل ناحیه‌ای که مشاهدات نقطه‌ای پراکنده شده‌اند، دورن‌یابی می‌گویند (قهرودی تالی، ۱۳۸٤). روش‌های درون‌یابی به دو شیوه کلی انجام می‌شود. روش اول متقن (Deterministic) نامیده می‌شود که در این شیوه دورن‌یابی بر اساس تعیین سطح از نقاط نمونه‌گیری شده و بر پایه شباهت‌ها مانند روش وزن‌دهی عکس فاصله IDW[5] یا درجه هموارسازی (توابع پایه شعاعی RBF[6]) انجام می‌شود. روش دوم، درون‌یابی زمین‌آماری[۷] است که براساس ویژگی‌های آماری نقاط نمونه‌گیری شده می‌باشد. روش‌های دورن‌یابی زمین‌آماری کمیت همبستگی مکانی نقاط نمونه‌برداری شده را مد نظر قرار داده و تخمین را بر اساس موقعیت قرارگیری مکان نمونه‌های اندازه‌گیری نشده انجام می‌دهد (تازه و همکاران، ۱۳۸۷). محققان بسیاری به مقایسه و ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی پرداخته‌اند که نشان‌دهنده اهمیت موضوع در کاهش خطای ناشی از انتخاب روش می‌باشد. نااوم و سانیس (۲۰۰٤) بهترین مدل را جهت تهیه نقشه همباران در کشور سوئیس، مدل‌های کریجینگ نمایی[۸] و کریجینگ عمومی[۹] معرفی نمودند. زاکیریس و ونجلس (۲۰۰٤) با استفاده از روش عکس مجذور فاصله، نقشه بارندگی ماهانه و نقشه درصد نرمال متوسط بارندگی سالانه ترسیم و سپس نقشه توزیع مکانی شاخص SPI را تهیه کردند. توازی و همکاران (۲۰۰٤) از روش کریجینگ برای تهیه نقشه‌های میانه بارندگی استفاده کردند. شمس‌الدینی (۱۳۷۹) با استفاده از روش کریجینگ تغییرات منطقه‌ای بارندگی را در استان‌های

5. Inverse Distance Weighted
6. Radial Basis Functions
7. Geostatistics
8. Exponential Kriging
9. Universal Kriging

Archive of SID

www.SID.ir

شمالی ایران انجام داد. صفری (۱۳۸۱) از تخمین‌گرهای زمین‌آماری برای ایجاد شبکه بهینه پایش تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت چمچمال استفاده کرد. در تحقیقی دیگر مهدی‌زاده (۱۳۸۱) روش‌های مختلف زمین‌آمار را برای برآورد دما و بارندگی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه مورد ارزیابی قرار داد. امیدوار و خسروی (۱۳۸۸) با ارزیابی روش کریجینگ جهت پایش شاخص بارندگی استاندارد در استان یزد به این نتیجه رسیدند که بهترین مدل جهت پایش این شاخص مدل نمایی می‌باشد.

در این تحقیق تلاش شده است تا تعدادی از رایج‌ترین روش‌های زمین‌آمار موجود در نرم‌افزار ArcGIS به منظور تعیین بهترین برازش مکانی (برآورد منطقه‌ای) میانگین بارندگی سالانه استان اصفهان، مورد ارزیابی دقت و صحت قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

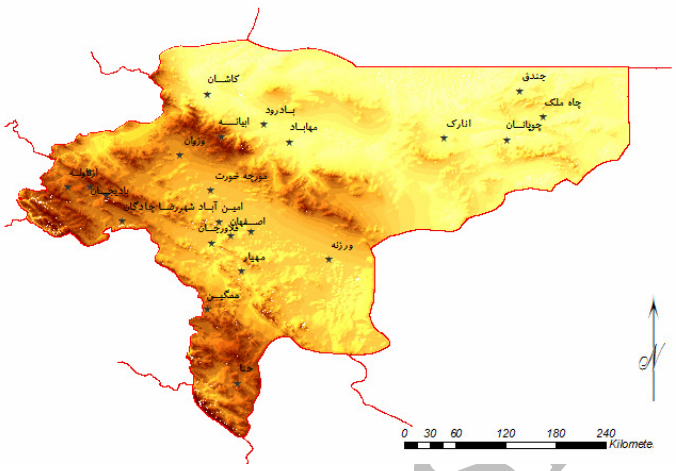
- مشخصات منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه پهنه جغرافیایی استان اصفهان می‌باشد. برای انجام این مطالعه از دوره آماری مشترک ۲۰ ساله (۱۹۸۶-۲۰۰۵) داده‌های بارش ۲۲ ایستگاه سینوپتیک استفاده شد. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

پس از تعیین ایستگاه‌ها، آزمون همگنی داده‌ها به روش ران‌تست برای اطمینان از کیفیت داده‌ها و همچنین همگن بودن سری داده‌های ثبت شده انجام شد و در موارد مورد نیاز داده‌ها اصلاح شدند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۱): موقعیت و ایستگاه‌های مورد مطالعه

- نیم‌تغییرنما

اگر واریانس بین نقاطی به فاصله h کوچک باشد، نشانه وابستگی بیشتر متغیر بین آن نقاط است. این واریانس وابسته به فاصله، نیم‌تغییرنما نامیده می‌شود که با (h) نشان می‌دهند. هدف اصلی از برقرار کردن تابع نیم‌تغییرنما آن است که بتوان ساختار تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله‌ی مکانی شناسایی نمود که آمار کلاسیک مجهز به چنین قابلیتی نمی‌باشد. تابع نیم‌تغییرنما، تغییرات یک پارامتر را با در نظر گرفتن فاصله به صورت معادله زیر نشان می‌دهد (Biau et al, ۱۹۹۹):

معادله شماره (۱):

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

که در آن:

Y (h): مقدار نیم‌تغییرنما برای جفت نقاطی که به فاصله‌ی h از هم قرار دارند؛

n (h): تعداد روج نقاطی است که به فاصله‌ی h از هم قرار دارند؛

Z (xi): مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه X؛

Archive of SID

www.SID.ir

Z (xi+h): مقدار مشاهده شده متغیری که به فاصله‌ی h از x قرار دارد؛

تابع فوق نشان می‌دهد که برای محاسبه‌ی نیم‌تغییرنما در ابتدا مجذور اختلاف ارزش دو نقطه به فاصله‌ی h محاسبه می‌شود. برای تعمیم تفاوت ارزش دو نقطه، محاسبه در مورد تمامی نقاط که به فاصله‌ی h از هم قرار دارند، انجام می‌گیرد و میانگین مجذور اختلاف‌ها محاسبه می‌گردد. بدین ترتیب با تکرار محاسبه در فاصله‌ی h می‌توان نموداری ترسیم نمود که محور افقی آن h و محور عمودی آن y (h) را نشان دهد. اگر نقاط در شبکه‌های منظم و با فواصل مساوی قرار داشته باشند، نیم‌تغییرنما بر اساس میانگین حسابی فواصل محاسبه و برآورد می‌گردد. در حالت دیگر که وضعیت معمول است و بر ایستگاه‌های هواشناسی صدق می‌کند، پراکندگی نقاط فاقد نظم می‌باشد. لذا معادلات تعدیل یافته و میانگین موزون نقاط برآورد می‌شود (عساکره، ۱۳۸۷).

- روش و معیار ارزیابی

روش‌های مختلف میان‌یابی بر اساس روش ارزیابی متقابل[10] مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. در این روش یک نقطه به صورت موقتی حذف شده و با اعمال میان‌یابی مورد نظر برای آن نقطه مقداری برآورد می‌گردد. سپس مقدار حذف شده به جای خود برگردانده شده و برای بقیه نقاط به صورت مجزا این برآورد صورت می‌گیرد به طوری‌که در پایان یک جدول با دو ستون که نشان دهنده‌ی مقادیر واقعی و برآورد شده می‌باشند، حاصل می‌گردد. با داشتن این دو مقدار می‌توان دقت (MAE)[11] و انحراف (MBE)[12] مدل را برآورد نمود. هر چه دو مقدار فوق به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی بالا بودن دقت مدل می‌باشد. از روش‌های دیگر جهت ارزیابی کارایی روش‌های میان‌یابی می‌توان روش ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE)[13] و ضریب همبستگی بین مقادیر محاسبه شده و مشاهده‌ای (r2) اشاره کرد که هر

10. Cross-Validation
11. Mean Bias Error
12. Mean Absolute Error
13. Root Mean Squared Error

Archive of SID

www.SID.ir

چه مقدار RMSE کمتر باشد و میزان r2 بیشتر باشد، مدل اعمال شده دارای دقت آماری بالاتری خواهد بود.

. معادلات محاسبه آنها به قرار زیر است:

معادله شماره (۲):

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

معادله شماره (۳):

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

معادله شماره (٤):

$$RMSE = \sqrt{\frac{SSE_i}{n}}$$

که در آن:

*Z: مقدار برآورد شده‌ی متغیر مورد نظر؛

Z: مقدار اندازه‌گیری شده‌ی متغیر مورد نظر؛

N: تعداد داده‌ها؛

MAE: میانگین مطلق خطا؛

MBE: میانگین خطای انحراف؛

SSE: مجموع مربعات خطاها یا به عبارتی مربع تفاضل مقادیر مشاهده و تخمین

– روش‌های میان‌یابی

متغیری که در فضای سه‌بعدی توزیع شده باشد، متغیری ناحیه‌ای است. در واقع متغیر ناحیه‌ای، متغیری تصادفی است و تفاضل مقدار تصادفی در دو نقطه‌ی متفاوت، به فاصله آن دو نقطه بستگی دارد. مقدار متغیر ناحیه‌ای $Z(x)$ در هر نقطه را می‌توان به دو مولفه‌ی قطعی و تصادفی تقسیم کرد، بنابراین می‌توان نوشت:

معادله شماره (۵):

$$Z(x) = m(x) + L(x)$$

که در این رابطه، $Z(x)$ متغیر ناحیه‌ای در نقطه‌ای به مختصات (x)، $m(x)$ مولفه‌ی قطعی متغیر ناحیه‌ای و $L(x)$ مولفه‌ی تصادفی آن است.

Archive of SID

www.SID.ir

نیم‌تغییرنما اساسی‌ترین ابزار در زمین‌آمار است که برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر به کار می‌رود. نیم‌تغییرنما، کمیتی برداری است که درجه همبستگی مکانی و شباهت بین نقاط اندازه‌گیری شده را بر حسب مربع تفاضل مقدار دو نقطه و با توجه به جهت و فاصله آنها نشان می‌دهد:

معادله شماره (٦):

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

در این رابطه، N (h) تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته در محاسبه که در فاصله h از یکدیگر قرار دارند، Z (x_i) مقدار مشاهده شده متغیر مورد نظر، Z (x_i+h) مقدار مشاهده شده آن متغیر که به فاصله h از Z (x_i) قرار دارد و $\gamma(h)$ نیم‌تغییرنما است.

در بسیاری از موارد، وقتی h به سمت صفر میل می‌کند، مقدار نیم‌تغییرنما صفر نمی‌شود. این مقدار که در واقع عرض از مبدا منحنی نیم‌تغییرنما است، اثر قطعه‌ای نام دارد. دامنه‌ی تاثیر، فاصله مکانی یا زمانی بین نمونه‌ها است که پس از آن متغیر ناحیه‌ای در نقاط مجاور هم، تاثیر چندانی بر یکدیگر ندارند. این مقدار نسبتا ثابت که تغییرات آن تصادفی است، آستانه نام دارد و مقدار آن برابر مجموع اثر قطعه‌ای C_0 و بخش ساختاردار نیم‌تغییرنما C است و معادل واریانس کلی متغیر مورد بررسی است. روش‌های متفاوتی برای برآورد متغیرهایی که تغییرات زمانی و مکانی دارند، وجود دارد. تفاوت عمده این روش‌ها، محاسبه فاکتور وزنی است که به نقاط مشاهده شده اطراف نقطه مورد برآورد داده می‌شود.

۱- روش کریجینگ

یکی از روش‌های بسیار مناسب و پیشرفته جهت تحلیل فضایی و توزیع منطقه‌ای داده‌های مکانی، روش کریجینگ می‌باشد. در این روش، از یک روش میانگین وزنی برای توزیع متغیرها استفاده می‌شود، بدین صورت که هر چه متغیر به مبدا نزدیک‌تر باشد، وزن آن بیشتر و هر چه فاصله نقاط دورتر باشد، وزن کمتر خواهد بود. مطلق بودن تخمین در درون‌یابی از ویژگی‌های عمده روش کریجینگ است. بدین مفهوم که مقدار تخمین کمیت در نقاط

Archive of SID

www.SID.ir

نمونه‌برداری با مقدار اندازه‌گیری شده برابر می‌باشد و واریانس تخمین صفر می‌گردد. این ویژگی سبب می‌شود که تخمین‌گر 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 (امیدوار و خسروی، ۱۳۸۸). کریجینگ یک برآوردگر خطی به شکل زیر است:

$$Z^* = \sum_{i=1}^{n} w_i \, Z(x_i)$$

که در آن Z^* مقدار متغیر مکانی برآورد شده، $Z(x_i)$ مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه X_i ، W_i وزن آماری که به نمونه X_i نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه iام در برآورد است.

۲- روش تابع شعاعی (RBF)

روش تابع شعاعی از جمله روش‌های درون‌یابی می‌باشد که در آن سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌کند. این روش حالتی از شبکه عصبی مصنوعی است. از دیگر خصوصیات این روش این است که مقادیر بیش از ماکزیمم مقادیر مشاهده‌ای و یا کمتر از مینیمم مقادیر مشاهده‌ای در سطح تخمین وجود دارد.

در پژوهش حاضر چند روش درون‌یابی، از لحاظ میزان دقت آنها، برای درون‌یابی داده‌های مربوط به میانگین بارندگی سالانه با یکدیگر مقایسه شدند. هدف دیگر در این تحقیق، مقایسه میزان دقت درون‌یابی می‌باشد. نتایج به دست آمده با توجه به معیارهای چهارگانه خطاسنجی محاسبه شده است (جدول شماره۱).

نتایج و بحث

تعیین مقادیر عددی بسیاری از شاخص‌ها در نقاط فاقد ایستگاه، برای ایجاد و توسعه مدل‌هایی که در مقیاس وسیع اقدام به پیش‌بینی یک مشخصه یا فرایند اکولوژیکی می‌نماید، حائز اهمیت

Archive of SID

www.SID.ir

می‌باشد. لازم به ذکر است که مدل‌های انتخابی، فقط برای همان منطقه مورد اعتماد هستند. اما چنانچه یک مدل خاص برای چندین محل مناسب تشخیص داده شد، می‌توان نتیجه گرفت که آن مدل می‌تواند با اطمینان زیادی برای شرایط مشابه دیگر نیز مورد استفاده واقع شود.

الف) تحلیل مدل‌های زمین‌آماری در میان‌یابی بارش

جهت تحلیل مکانی داده‌ها از نیم‌تغییرنگار[۱۴] مدل‌های مذکور استفاده گردید که با استفاده از نرم‌افزار GIS محاسبه شد. مهم‌ترین گام در میان‌یابی، ارایه مدلی مناسب بر نیم‌تغییرنگار است تا به وسیله آن بتوان بهترین میان‌یابی را انجام داد (عساکره، ۱۳۸۷). مدل‌های مورد استفاده جهت برازش شامل: مدل کروی[۱۵]، مدل نمایی[۱۶]، مدل گوسی[۱۷]، مدل دایره‌ای[۱۸] می‌باشند که با سه روش کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، کریجینگ یونیورسال و مدل‌های اسپیلاین کاملا منظم[۱۹]، مولتی کوادریک معکوس[۲۰]، مولتی کوادریک[۲۱]، اسپیلاین با کشش[۲۲] و اسپیلاین صفحه نازک[۲۳] با استفاده از روش توابع پایه شعاعی صورت گرفته است. با اعمال هر کدام از این مدل‌ها بر روی داده‌های میانگین بارش، نقشه‌هایی به‌دست آمد که جهت ارزیابی و تعیین بهترین مدل، صحت و دقت هر یک از نقشه‌های تولید شده محاسبه شد. بدین منظور مقادیر Cross Validation از روی نقشه‌ها استخراج و با مقادیر اولیه‌ای که در ساخت این نقشه‌ها به کار برده شدند، بر روی نمودار قرار گرفتند. با برازش خط مستقیم بر آنها و محاسبه ضریب تعیین (r2)، میزان دقت هر کدام از نقشه‌ها و یا مدل‌های اعمال شده تعیین شد. همچنین جهت مقایسه آماری مدل‌ها از مقادیر ریشه متوسط مربع خطاها (RMSE)، میانگین مطلق خطا (MAE)[۲۴] و میانگین خطای انحراف (MBE)[۲۵] استفاده گردید. برای تعیین مدل بهینه جهت

14. Semivariogram
15. Spherical model
16. Exponential model
17. Gaussian Model
18. Circular Model
19. Completely Regularized Spline
20. Inverse Multiquadric
21. Multiquadric
22. Spline with Tension
23. Thin Plate Spline
24. Mean Bias Error

Archive of SID

www.SID.ir

تخمین توزیع بارندگی، با اعمال هر کدام از مدل‌های مذکور بر روی هر داده‌های میانگین بارندگی، نقشه‌هایی به‌دست آمد که در شکل شماره ۱تا٤ به عنوان نمونه نقشه‌های مربوط به روش کریجینگ معمولی به همراه نیم‌تغییرنما آورده شده است. جهت ارزیابی و تعیین بهترین مدل نیز، صحت و دقت هر یک از نقشه‌های تولید شده محاسبه شد (جدول ۱). با توجه به این جدول مشخص می‌شود که بهترین مدلی که قادر به توجیه مکانی توزیع بارندگی می‌باشد، مدل دایره‌ای روش کریجینگ معمولی است. بنابراین با اطمینان زیادی می‌توان این مدل را جهت برازش و تخمین پارامترهای دیگر بارندگی در منطقه مورد مطالعه استفاده کرد. با توجه به این یافته نقشه‌ی پهنه‌بندی بارش ترسیم شد (نقشه شماره ۵).

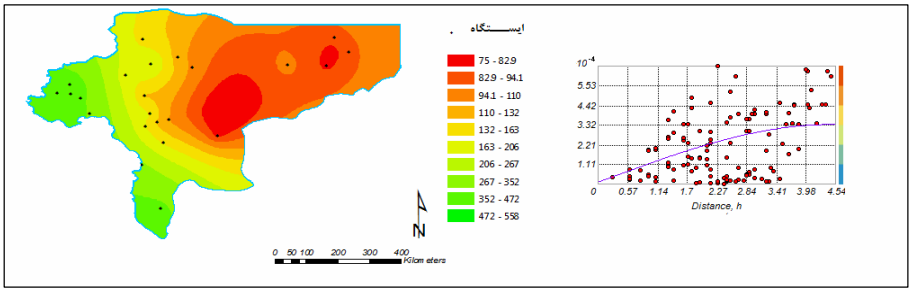
جدول شماره (۱): نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی جهت برآورد میانگین سالانه بارندگی

روش	مدل- تابع	خطای روش ارزیابی متقابل				
		MBE	MAE	RMSE	R2	معادله خط رگرسیون
OK	کروی	-۰,۱۲	٥۳,٤٥	٦۸,۷٤	۰,٦۸	y = 0.787x + 46.00
	دایره‌ای	-۰,۰۳	٥۳,۳٤	٦۷,٦۲	۰,۷۳	y = 0.774x + 47.69
	نمایی	-۲,۱۲	٥٦,۲۲	۷۲,۳۹	۰,۷۰	y = 0.778x + 50.01
	گوسین	-۲,٥٤	٥۷,۹۸	۷۸,۱۱	۰,٦۸	y = 0.861x + 36.31
SK	کروی	-۲,٦٥	٥۷,۸۷	٦۷,٦۹	۰,٦٥	y = 0.681x + 76.94
	دایره‌ای	-۳,۱۲	٥۸,۰۳	٦۷,۷۱	۰,٦٤	y = 0.686x + 75.86
	نمایی	-۱,۹۸۷	٥۷,۳۲	۷۲,۳٤	۰,٦٦	y = 0.583x + 94.91
	گوسین	-۳,۱٤	٦۱,۱۳	٦۷,۸٥	۰,٥٤	y = 0.785x + 66.06
UK	کروی	-۳,٥٤	٦۱,٥٥	۸٥,۸٦	۰,٦۸	y = 0.321x + 138.3
	دایره‌ای	-۳,۲۱	٦۱,۱۷	۸٤,۱۲	۰,٦۹	y = 0.340x + 134.5
	نمایی	-۳,۸۷	٦٦,۲۱	۱۰۰,۳	۰,٦٦	y = 0.583x + 94.91
	گوسین	-۳,٤۳	٦۱,۳٤	۸٥,۳۸	۰,٦۸	y = 0.331x + 136.0
RBF	اسپلاین کاملا منظم	-۰,۱٤	٥٤,٦۷	٦۹,۹۹	۰,۷۱	y = 0.670x + 68.31
	مولتی کوادریک معکوس	-۱,۹۸	٥٥,۸٦	۷۱,٥	۰,۷۰	y = 0.624x + 77.27
	مولتی کوادریک	-۲,۲۹	٥٦,٤۲	۷۳,۲۷	۰,۷۰	y = 0.813x + 45.07
	اسپلاین با کشش	۰,٤٤	٥٤,٥۹	٦۹,۹۸	۰,۷۱	y = 0.668x + 68.58
	اسپلاین صفحه نازک	-۳,۷٦	٦٤,۸۷	۱۰۳	۰,٦۳	y = 1.012x + 17.46

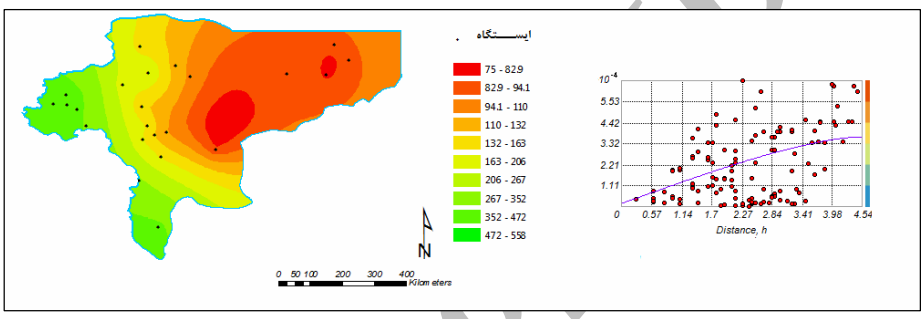
25. Mean Absolute Error

Archive of SID

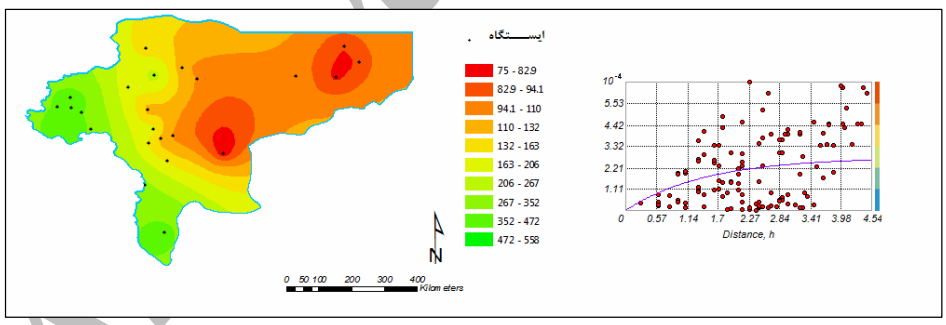
www.SID.ir



شکل (۲a): مدل کروی

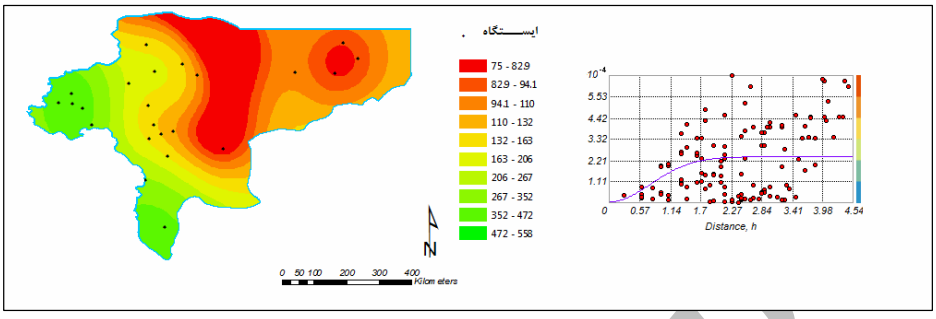


شکل (۲b): مدل دایره‌ای



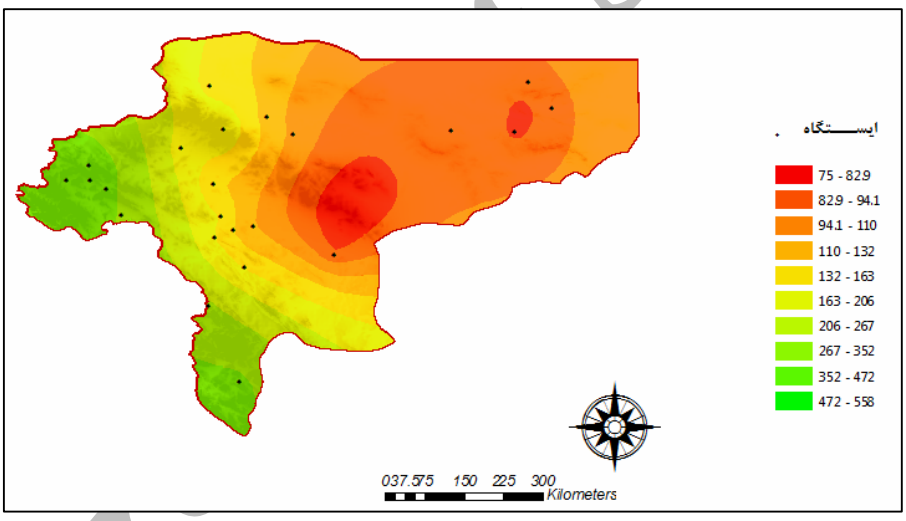
شکل (۲c): مدل نمایی

www.SID.ir



شکل (۲d): مدل گوسین

شکل۲: نقشه تخمین سطح میانگین سالانه بارندگی استان اصفهان طی دوره آماری ۲۰ساله (۱۹۸۶-۲۰۰۵) با استفاده از روش کریجینگ به همراه نیم‌تغییرنما آنها



شکل۳: نقشه تخمین سطح میانگین سالانه بارندگی استان اصفهان طی دوره آماری ۲۰ساله (۱۹۸۶-۲۰۰۵) با استفاده از روش کریجینگ به روش دایره‌ای به عنوان مدل بهینه

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

بررسی و تحلیل نتایج حاصل از این تحقیق، نتیجه‌گیری کلی زیر را به‌دست داد:

استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی می تواند به عنوان یکی از ابزارهای مطالعات اقلیمی، کمک زیادی به افزایش دقت و سرعت عمل در تهیه نقشه‌های اقلیمی داشته باشد. این ابزارها امکان اعمال معادلات پیچیده ریاضی را برروی نقشه‌ها فراهم می آورد. از طرف دیگر با استفاده از روش‌های میان یابی موجود در زمین آمار، می توان تحلیل‌های آماری و پیش بینی را در مکان‌های مختلف براساس موقعیت مکانی و جغرافیایی پدیده‌ها تحلیل نمود.

– مدل کریجینگ از دقیق‌ترین مدل‌هایی است که در تهیه نقشه‌های هم‌ارزش به‌کار می‌رود. به‌دلیل اینکه این مدل فاقد خطای سیستماتیک است و در تخمین‌ها دارای حداقل واریانس می‌باشد، جایگاه ویژه‌ای در درون‌یابی‌ها به دست آورده است.

– نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که برای درون‌یابی اطلاعات میانگین بارندگی سالانه روش‌های کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده، توابع پایه شعاعی و کریجینگ یونیورسال به ترتیب دقت‌های بالاتری را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند.

– نتایج نشان می‌دهد که در مجموع، روش مناسب در تعیین مدل بهینه جهت تخمین توزیع بارندگی در منطقه مورد مطالعه، روش کریجینگ معمولی[۲۶] با تابع دایره‌ای[۲۷] است که در مقایسه با دیگر روش‌ها از نظر میزان MAE، MBE، RMSE و r2، نتایج بهتری را از خود نشان داده است. بدین دلیل از بین مدل‌های موجود در روش کریجینگ، این مدل می‌تواند به عنوان روش مناسبی جهت تخمین توزیع بارندگی در منطقه مورد مطالعه به‌کار رود.

– همانطور که در نقشه‌ها ایجاد شده توسط مدل دایره‌ای دیده می‌شود (شکل۵)، بیشترین میزان بارش در غرب و جنوب کمترین بارش در مرکز و شرق منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود.

26. Ordinary Kriging
27. Circular

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

۱- امیدوار، کمال و خسروی، یونس (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- تازه، مهدی و خسروی، یونس (۱۳۸۷)، «پهنه بندی خشکی براساس نمایه ترانسو با استفاده از زمین آمار و GIS (مطالعه موردی: بخش غربی استان اصفهان)»، کنفرانس بین‌المللی گیاهشناسی درختی و تغییر اقلیم در اکوسیستم‌های خزری، پژوهشکده اکوسیستمهای خزری ساری.

۳- حسنی پاک، علی اصغر (۱۳۸۰)، «***تحلیل داده های اکتشافی***»، انتشارات دانشگاه تهران.

٤- شمس‌الدینی، علی (۱۳۷۹)، «تغییرات منطقه‌ای بارندگی با استفاده از روش کریجینگ در استان‌های شمالی»، سمینار کارشناسی ارشد آبیاری دانشکده کشاورزی، ص٦۹.

۵- صفری، مجید (۱۳۸۱)، «تعیین شبکه بهینه اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی با کمک روش‌های زمین‌آماری مطالعه موردی دشت چمچال»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ص۱۲۳.

٦- عساکره، حسین (۱۳۸۷)، «کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش»، ***جغرافیا و توسعه***، شماره۱۲، صص ۲۵-٤٤.

۷- قهرودی تالی، منیژه (۱۳۸٤)، «***سیستم اطلاعات جغرافیایی در محیط سه بعدی***»، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تربیت معلم، شماره ٤۹، ص۱۷۳.

۸- مهدی‌زاده، محمد (۱۳۸۱) «ارزیابی زمین‌آماری برای برآورد دما و بارندگی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، ص۱۵۱.

Archive of SID

www.SID.ir

9- Biau, Gerard, Zorita Ednardi, Von Storch Hans and Wackernagel Hanse (1999), "Estimation of precipitation by Kriging in the EOF space the sea level pressure field", ***Journal of Climate***, Vol. 12.
10- Touazi, M., Laborde, J., and Bhiry, N. (2004). "Modeling Rainfall-Discharge at a Mean Inter-Yearly Scale in Northern Algeria", ***Journal of Hydrology***, 296, pp.179-191.
11- Tsakiris G, Vangelis H. (2004), "Towards a drought watch system based on spatial SPI. ***Water Resour. Manag***. 18 (1), pp.1–12
12- Naoum, S. and Tsanis, I.K., (2004), "Ranking Spatial Interpolation Techniques Using a GIS-based DSS", ***Global Nest***: ***The Int. J.*** Vol 6, No 1, pp 1-20.

Archive of SID

www.SID.ir