

ارزیابی روش‌های مختلف درونیابی به منظور تخمین بارندگی روزانه مطالعه موردی: استان فارس

دکتر علی اکبر متکان

عضو هیأت علمی گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید بهشتی

a-matkan@sbu.ac.ir

دکتر علیرضا شکبیا

عضو هیأت علمی گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید بهشتی

a-shakiba@sbu.ac.ir

آزاده یزدانی

کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید بهشتی

azadehyazdani2001@yahoo.com

چکیده

آب، راز ماندگاری جهان و از عناصر اصلی بقا و دوام چرخش زندگی در کره زمین است. بدون تردید کشور ایران همانند دیگر کشورهای خاورمیانه در سال‌های پیش رو با بحران جدی ناشی از کمبود آب روبه‌رو خواهد بود. بنابراین شناخت و معرفی هر چه بیشتر منابع بهینه آب، الگوی درست مصرف و بهره‌گیری صحیح و مناسب از منابع زیرزمینی و آب‌های جاری مقوله‌ای است که سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان امور آب با نگرانی و دقت به آن پرداخته‌اند.

ریزش‌های جوی مهم‌ترین منبع طبیعی آب برای انواع فعالیت‌های بشری (صنعتی، کشاورزی و شرب) است. از آن‌جا که ریزش‌های جوی با متغیرهای زمانی و مکانی زیادی همراه هستند اطلاعات موجود در خصوص توزیع آب و هوایی و عوامل سینوپتیکی ریزش‌های جوی بسیار اندک است.

در ایران شبکه مشاهدات زمینی به اندازه کافی متراکم نبوده و بسیار پراکنده و نامنظم است. فاصله ایستگاه‌های مشاهداتی زمینی به خصوص در مناطق کوهستانی (مانند استان فارس) با توجه به عامل توپوگرافی از چند کیلومتر تا چند صد کیلومتر متفاوت است. بنابراین بررسی باران به روش سنتی که نیاز به شبکه باران‌سنجی متراکم دارد هم از لحاظ اجرایی و هم از لحاظ اقتصادی امکان‌پذیر و مقرون به صرفه نمی‌باشد.

در مقاله حاضر به منظور تخمین بارندگی روزانه استان فارس از دو روش درونیابی کریجینگ (Kriging) و معکوس وزنی فاصله (IDW) استفاده گردید. سپس دقت نتایج حاصل از اجرای مدل‌ها از طریق تست آماری RMSE مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از اجرای مدل و ارزیابی دقت آن‌ها نشان داد که روش کریجینگ نسبت به روش IDW از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که در بین روش‌های کریجینگ، روش معمولی دایره‌ای و نمایی از کم‌ترین خطا نسبت به سایر روش‌های کریجینگ برخوردار می‌باشند.

واژگان کلیدی: درونیابی، کریجینگ، درونیابی عکس فاصله، بارندگی روزانه، GIS.

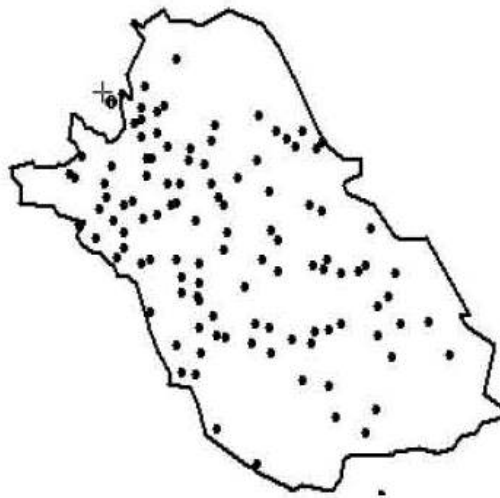
مقدمه

بارندگی در مقیاس روزانه تنها پارامتر مهم در شبیه‌سازی مدل‌های هیدرولوژیکی می‌باشد. همچنین تعیین مکانی و زمانی مقدار ورودی بارندگی بر روی سطح زمین برای مدیریت روزانه منابع آبی مانند رودخانه‌ها و مخازن آبیاری، پیش‌بینی وضع هوا و پیش‌بینی رواناب حاصله بسیار مهم و ضروری می‌باشد. به طور سنتی تخمین و ارزیابی بارندگی توسط وسایل و ابزار نسبتاً ساده و در فواصل زمانی معین و یا به طور پیوسته انجام گرفته است. از معمولی‌ترین این تجهیزات باران‌سنج‌های مختلف می‌باشد. باران‌سنج‌ها اندازه‌گیری نسبتاً خوبی را از میزان ارتفاع بارندگی ارائه می‌دهند، اما نقص اصلی این ابزار اندازه‌گیری نقطه‌ای آن می‌باشد. در صورتی که بارندگی بر روی سطح زمین، در مقیاس زمانی و مکانی به شدت تغییرپذیر می‌باشد. لذا ارزیابی بارندگی با شبکه‌های باران‌سنجی فقط در محیط‌های کوچک دقت قابل قبولی را ارائه داده و در محیط‌های بزرگ که از تراکم مناسب ایستگاه اندازه‌گیری برخوردار نیستند، مناسب نمی‌باشند. با توجه به محدودیت ذکر شده، پژوهشگران علوم مختلف از جمله هیدرولوژیست‌ها همیشه مایل به استفاده از داده‌های درونیابی شده با دقت مناسب می‌باشند. در این راستا همیشه محققین در زمانی که توزیع مکانی بارندگی روزانه را از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی مدنظر قرار می‌دهند، با این مشکل مواجه‌اند که از چه روش و یا تکنیک‌های درونیابی می‌بایست استفاده کنند به نحوی که داده‌های تولید شده واقعی‌تری از شرایط الگوهای مکانی بارش در منطقه مطالعاتی ارائه دهند.

تکنیک‌های متعددی وجود دارد که به پژوهشگران اجازه می‌دهد تا داده‌های نقطه‌ای بارندگی را به داده‌های سطح تبدیل کرده تا از آن طریق به توانند الگوی مکانی بارش را در یک ناحیه نشان دهند. GIS با معرفی مجموعه‌ای از تکنیک‌ها، مناسب‌ترین روش را متناسب با شرایط مکانی و متغیر مورد نظر، به پژوهشگر معرفی نماید. هم‌چنین از آن جایی که سنسجش باران با تکنیک‌های سنسجش از دور هنوز در مرحله آزمایش است (Matkan, 1999 and Todd, 1993)، لذا تحقیق حاضر تلاش دارد تا برای تعمیم اطلاعات موجود از تکنیک‌های درونیابی و GIS کمک بگذرد.

مواد و روش‌ها

برای انجام تحقیق حاضر با استفاده از روش‌های معکوس وزنی فاصله (IDW) و کریجینگ (Kriging) بر اساس مدل‌های مختلف سمی و اریوگرام درونیابی فضایی انجام شده است. همچنین برای ارزیابی میزان دقت نیز از روش ریشه دوم مربع میانگین (RMSE) استفاده گردیده است. منطقه مورد مطالعه استان فارس در جنوب غربی ایران می‌باشد. در این منطقه برای ۱۱۴ ایستگاه باران‌سنجی اطلاعات بارندگی روزانه برای سال زراعی ۱۳۸۱-۱۳۸۲ تهیه گردیده و با توجه به موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها لایه ایستگاه‌های باران‌سنجی تولید شده و در محیط نرم‌افزاری Arcview GIS 3.2 مدل‌سازی فضایی انجام گرفته و در مرحله آخر نتایج حاصل از روش‌های گوناگون مقایسه شده است. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی استان فارس

به منظور انتخاب روز کم باران و پرباران پس از بررسی آمار بارندگی روزانه استان فارس مربوط به سال ۱۳۸۱ ابتدا روزهای بدون بارندگی حذف گردید و سپس از بین روزهای دارای بارندگی، روز ۲۲ آبان با کم‌ترین میزان بارش با مجموع ۴۱۱/۶ میلی‌متر در سطح استان به عنوان روز کم باران و روز ۲۵ بهمن با مجموع ۱۹۵۸/۲ میلی‌متر در سطح استان به عنوان روز پرباران انتخاب گردید. در ضمن برای مقایسه آسان‌تر نتایج حاصل از روش‌های گوناگون، پس از درونیابی، طبقه‌بندی مجدد برای طول رده‌ها انجام گرفت و از آن‌جا که در این تحقیق، هدف مقایسه روزهای پرباران با یکدیگر و روزهای کم باران با یکدیگر می‌باشد کلاس‌های تعریف شده در تمام روزهای پرباران مشابه و در تمام روزهای کم باران نیز مشابه منظور شده است.

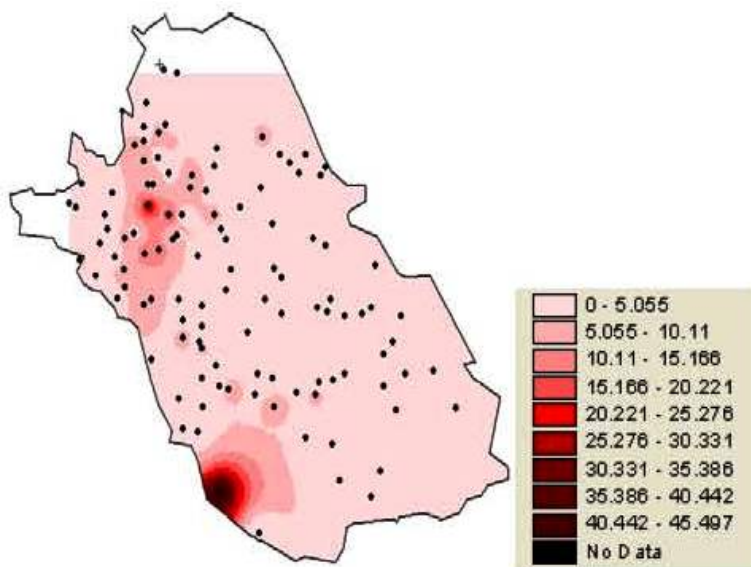
اجرای روش‌های درونیابی فضایی

۱- روش معکوس وزنی فاصله:

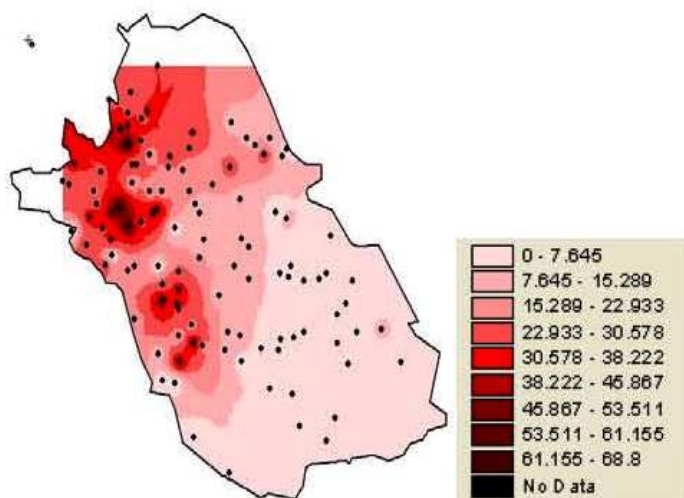
روش IDW یکی از روش‌های شهودی درونیابی است که در آن بالاترین وزن برای تخمین نقاط به نزدیک‌ترین نقطه به نمونه داده می‌شود. این روش یک روش دقیق درونیابی است که مقادیر نقاط اطلاعات بعد از درونیابی تغییر نمی‌کند و در واقع نوعی میانگین متحرک است. اساس روش IDW بر معادله ۱ استوار است:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n z_i / d_i \uparrow m}{\sum_{i=1}^n 1 / d_i \uparrow m} \quad (1)$$

در این معادله z_i مقادیر نمونه، d_i فاصله اقلیدسی هر نقطه تا محل نمونه، m عامل توان است که عمدتاً ۲ انتخاب می‌شود و در نهایت n تعداد نقاط نمونه می‌باشد.



شکل ۲- اجرای مدل IDW برای ۲۲ آبان ۱۳۸۱



شکل ۳- اجرای مدل IDW برای ۲۵ بهمن ۱۳۸۱

شکل های ۲ و ۳ نتیجه اجرای IDW را در منطقه مورد مطالعه برای دو روز ۲۲ آبان (روز کم باران) و ۲۵ بهمن (روز پر باران) سال ۱۳۸۱ نشان می دهند:

۲- کریجینگ:

روش کریجینگ یک روش آماری برای درون یابی داده ها بر اساس واریانس فضایی آن هاست. مبنای این روش بر آن است که واریانس فضایی تابعی از فاصله است. از آن جا که پارامترهای هیدرولوژی به عنوان متغیرهای ناحیه ای نامنظم تر از آن هستند که بتوان آن ها را به عنوان یک تابع ساده ریاضی مدل کرد پس بهتر است مبنای مدل سازی آن ها واریانس در نظر گرفته شود. در این شیوه سمی واریوگرام نقش اساسی را دارد و بر اساس نوع سمی واریوگرام انواع مختلفی از کریجینگ وجود دارد. این روش ها عبارتند از:

۲-۱- کریجینگ معمولی (Ordinary kriging):

محاسبات در کریجینگ معمولی بر مبنای معادله ۲ می باشد:

$$z = \sum_{i=1}^n w_i z_i \quad 2$$

در معادله ۲، پارامتر Z مقدار برآورد شده، w_i وزن نمونه، Z مقدار نمونه و n تعداد نمونه ها می باشد.

برای محاسبه وزن ها از معادله ۳ استفاده می گردد:

$$\sum_i (w_i * \gamma(h_{ik})) + \lambda = \gamma(h_{pi}) \quad 3$$

در معادله ۳، h_{ik} فاصله بین نقاط ورودی i و k، h_{ip} فاصله بین پیکسل خروجی (مقادیر برآورد شده) p و نقطه ورودی (مقادیر معلوم) i و $\gamma(h_{pi})$ مقدار سمی واریوگرام برای فاصله h_{ik} و $\gamma(h_{ik})$ مقدار سمی واریوگرام برای فاصله h_{pi} و w_i عامل وزن و λ ضریب لاگرانژ (که برای کمینه سازی خطای تخمین استفاده می شود) می باشند.

کریجینگ معمولی بر اساس نوع سمی واریوگرام انواع مختلفی دارد که عبارتند از:

۲-۱-۱- سمی واریوگرام دایره ای (circular):

در این حالت معادله قابل استفاده برای محاسبه وزن در معادلات ۲ و ۳ عبارت است از:

$$\gamma(h) = c_0 + c \left(1 - \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{h}{\alpha} \right) + \sqrt{1 - \frac{h^2}{\alpha^2}} \right) \quad 4$$

$$0 < h \leq \alpha$$

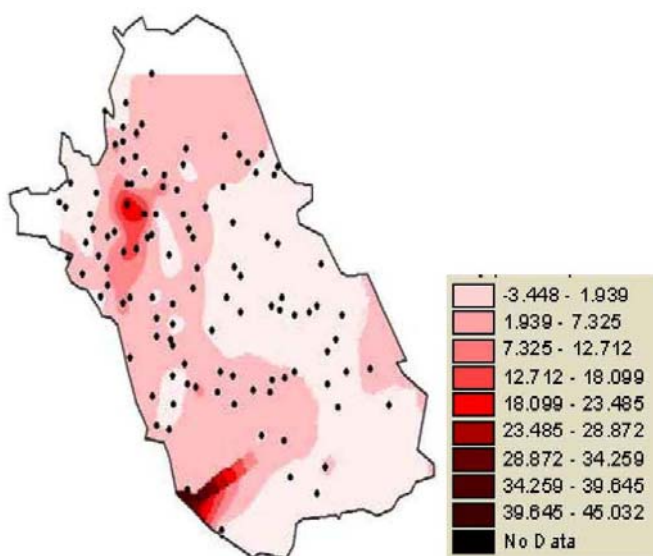
$$\gamma(h) = c_0 + c \quad h > \alpha$$

$$\gamma(0) = 0$$

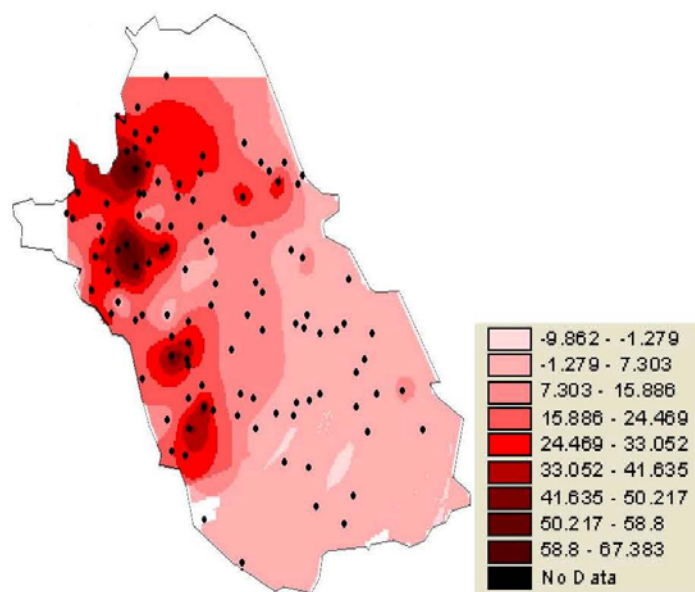
$$\gamma(h) = c_0 + c \left(1 - \exp \left(-\frac{h}{r} \right) \right) \quad h > 0$$

$$\gamma(0) = 0$$

نتیجه حاصل از اجرای مدل دایره‌ای برای بارندگی روزهای ۲۲ آبان و ۲۵ بهمن ۱۳۸۱ در شکل‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌شود:



شکل ۴ - اجرای مدل کریجینگ دایره‌ای برای ۲۲ آبان ۱۳۸۱



شکل ۵ - اجرای مدل کریجینگ دایره‌ای برای ۲۵ بهمن ۱۳۸۱

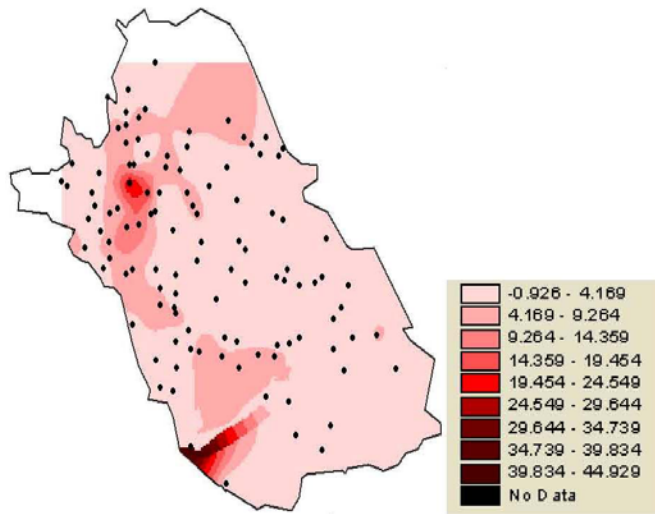
۲-۱-۲- سمی واریوگرام نمایی (exponential):

معادله‌ای که به وسیله آن در مدل نمایی وزن نمونه‌ها محاسبه می‌شود عبارت است از:

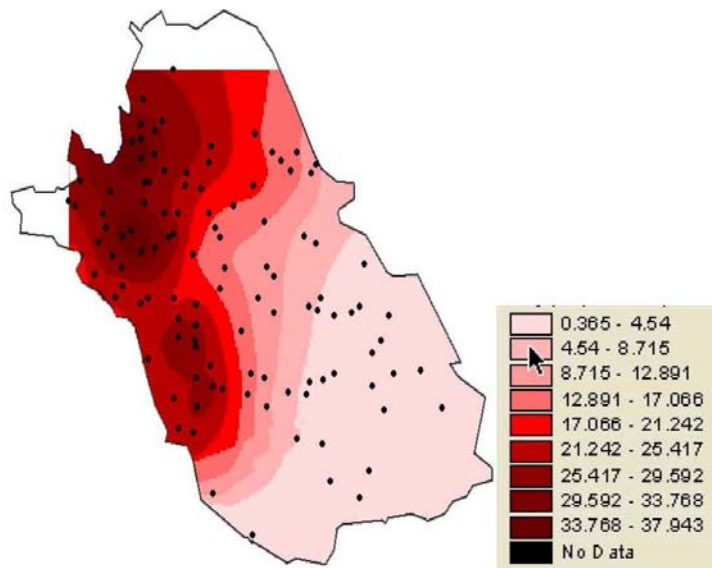
$$\gamma(h) = c_0 + c \left(1 - \exp\left(-\frac{h^2}{r^2}\right) \right) \quad h > 0$$

$$\gamma(0) = 0$$

نتایج حاصل از اجرای کریجینگ نمایی برای بارندگی روزهای ۲۲ آبان و ۲۵ بهمن ۱۳۸۱ در شکل‌های ۶ و ۷ دیده می‌شود:



شکل ۶ - اجرای مدل کریجینگ نمایی برای ۲۲ آبان ۱۳۸۱



شکل ۷ - اجرای مدل کریجینگ نمایی برای ۲۵ بهمن ۱۳۸۱

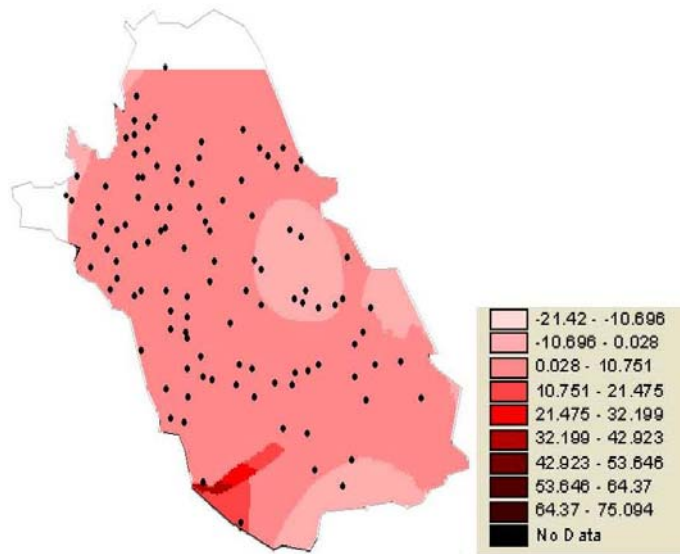
۳-۱-۲- سمی واریوگرام گوسن (Gaussian):

معادله‌ای که براساس آن سمی واریوگرام گوسن رسم می‌شود عبارت است از:

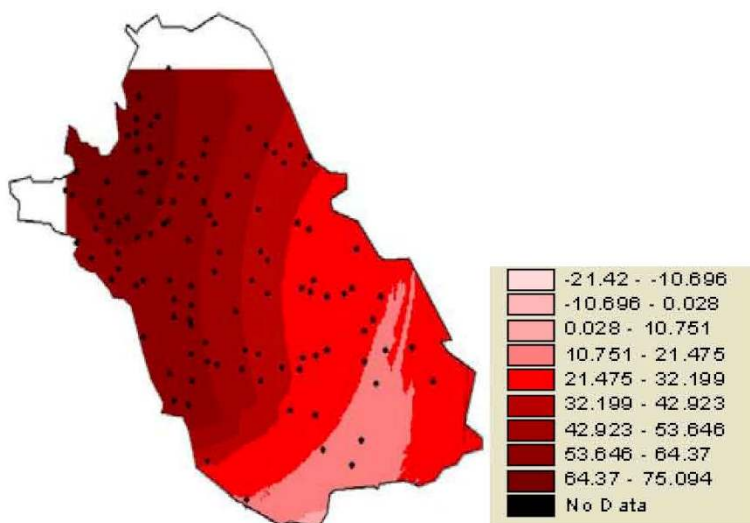
$$\gamma(h) = c_0 + c \left(1 - \exp\left(-\frac{h^2}{r^2}\right) \right) \quad h > 0$$

$$\gamma(0) = 0$$

اجرای مدل گوسن برای روزهای ۲۲ آبان و ۲۵ بهمن را شکل‌های ۸ و ۹ نمایش می‌دهد:



شکل ۸ - اجرای مدل گوسن برای ۲۲ آبان ۱۳۸۱



شکل ۹ - اجرای مدل گوسن برای ۲۵ بهمن ۱۳۸۱

۴-۱-۲- سیمی واریوگرام کروی (spherical):

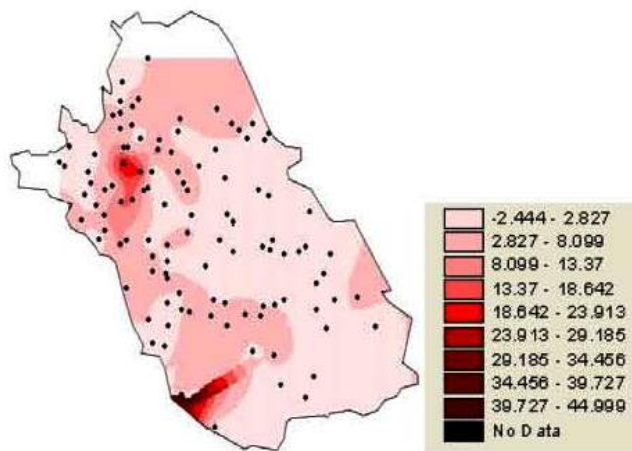
معادله ۷ مبنای رسم سیمی واریوگرام کروی است:

$$\gamma(h) = c_0 + c \left(\frac{3h}{2\alpha} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{\alpha} \right)^3 \right) \quad 0 < h \leq \alpha \quad 7$$

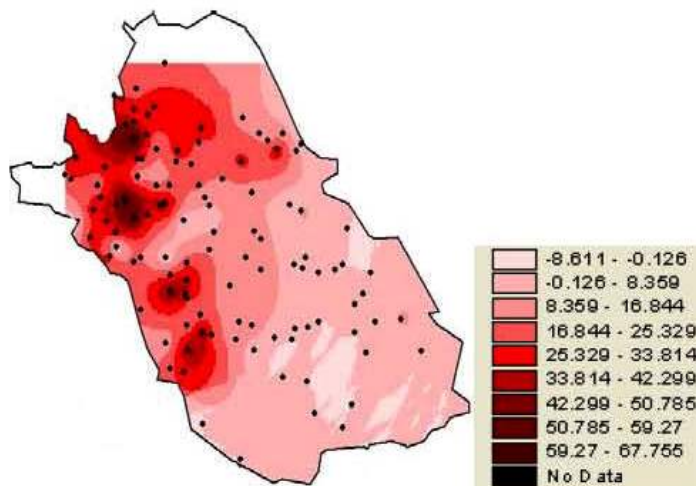
$$\gamma(h) = c_0 + c \quad h > \alpha$$

$$\gamma(0) = 0$$

نتایج حاصل از اجرای مدل کروی برای بارندگی روزهای ۲۲ آبان و ۲۵ بهمن در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود:



شکل ۱۰- اجرای مدل کریجینگ کروی برای ۲۲ آبان ۱۳۸۱



شکل ۱۱- اجرای مدل کریجینگ کروی برای ۲۵ بهمن ۱۳۸۱

۵-۱-۲- سمی واریوگرام خطی (linear):

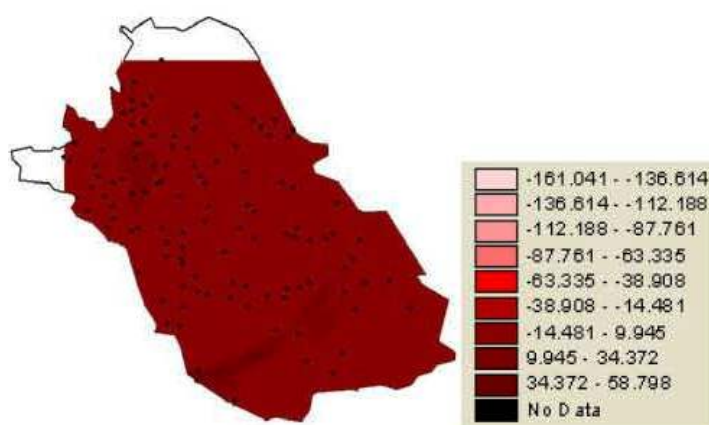
اساس ترسیم سمی واریوگرام خطی در معادله ۹ مشاهده می‌گردد:

$$\gamma(h) = c_0 + c\left(\frac{h}{\alpha}\right) \quad 0 < h \leq \alpha \quad 9$$

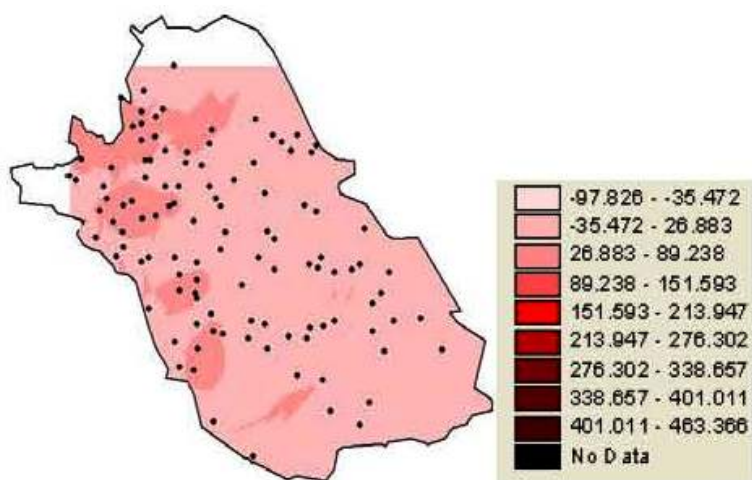
$$\gamma(h) = c_0 + c \quad h > \alpha$$

$$\gamma(0) = 0$$

اشکال ۱۲ و ۱۳ نمایش اجرای مدل سمی واریوگرام خطی برای روزهای ۲۲ آبان و ۲۵ بهمن می‌باشد:



شکل ۱۲ - اجرای مدل کریجینگ خطی برای ۲۲ آبان ۱۳۸۱



شکل ۱۳ - اجرای مدل کریجینگ خطی برای ۲۵ بهمن ۱۳۸۱

۲-۲- کربجینگ عمومی (Universal kriging):

فرمول کلی کربجینگ عمومی به صورت زیر است:

$$z(x) = m(x) + \varepsilon'(x) \quad ۱۰$$

در معادله ۱۰، $z(x)$ تغییرات فضایی متغیر x ، $m(x)$ مؤلفه همبستگی فضایی و $\varepsilon'(x)$ متغیر ناحیه‌ای می‌باشد. $m(x)$ در این معادله تابع مختصات جغرافیایی نقاط است، برای محاسبه $m(x)$ معادله ۱۱ قابل استفاده است:

$$m(x) = \sum_{n=1}^N a_n \cdot p_n(x) \quad ۱۱$$

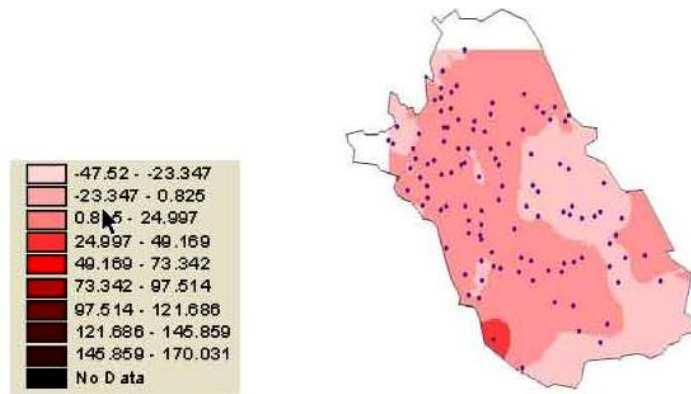
در معادله ۱۱، a_n روند محلی، p_n معادله روند، x بردار دوبعدی x, y و N تعداد نمونه‌هاست.

براساس روندهای محلی (p_n) کربجینگ عمومی به دو حالت تقسیم می‌گردد:

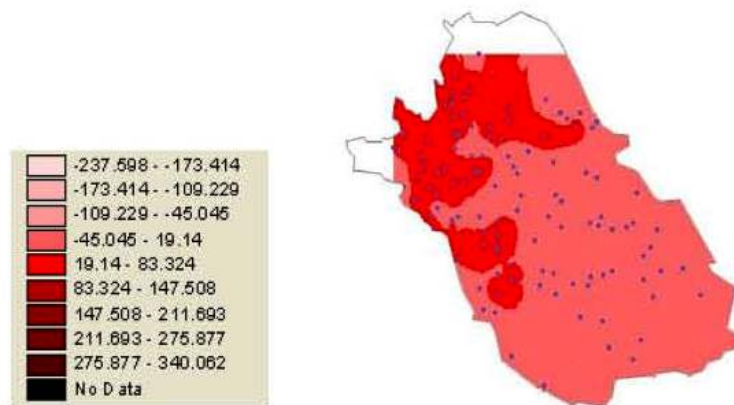
۲-۲-۱- کربجینگ عمومی با روند خطی (Universal with linear drift):

در این حالت معادله مورد استفاده یک معادله درجه ۱ است. شکل ۱۴ اجرای این مدل را برای بارندگی روز

۲۲ آبان و شکل ۱۵ برای ۲۵ بهمن نشان می‌دهد:



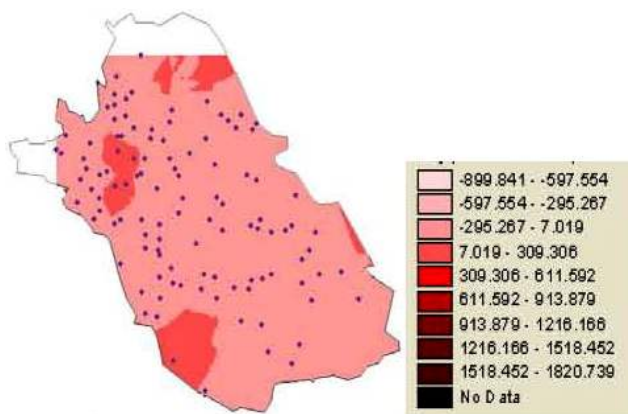
شکل ۱۴ - اجرای مدل کربجینگ عمومی با روند خطی برای ۲۲ آبان ۱۳۸۱



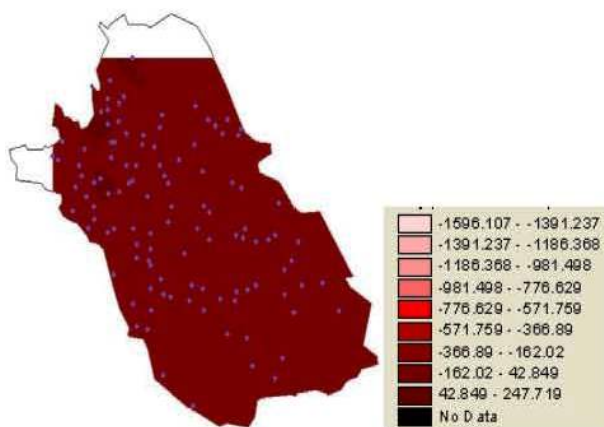
شکل ۱۵ - اجرای مدل کربجینگ عمومی با روند خطی برای ۲۵ بهمن ۱۳۸۱

۲-۲-۲- کربجینگ عمومی با روند کوادراتیک (Universal with quadratic drift):

در این حالت معادله مورد استفاده درجه دوم است. شکل‌های ۱۶ و ۱۷ اجرای این مدل را برای ۲۲ آبان و ۲۵ بهمن ۱۳۸۱ نشان می‌دهد:



شکل ۱۶ - اجرای مدل کربجینگ عمومی با روند کوادراتیک برای ۲۲ آبان ۱۳۸۱



شکل ۱۷ - اجرای مدل کربجینگ عمومی با روند کوادراتیک برای ۲۵ بهمن ۱۳۸۱

ارزیابی میزان خطا:

برای اندازه گیری میزان خطای مدل های گوناگون و مقایسه روش ها و همچنین مقایسه نتایج PHWGI برای روز کم باران (۲۲ آبان ۱۳۸۱) و روز پر باران (۲۵ بهمن ۱۳۸۱) از محاسبه خطای ریشه دوم مربع میانگین (RMSE) استفاده شده است. این روش خطاسنجی نوعی انحراف معیار تعمیم یافته است که برای به دست آوردن اختلافات میان زیرگروه ها یا روش های گوناگون محاسبه یک متغیر، استفاده می گردد. نام دیگر RMSE، واریانس باقیمانده (Residual Variation) است. برای به دست آوردن RMSE کل باید ابتدا RMSEm که عبارت است از RMSE هر نمونه، محاسبه گردد (بر اساس معادله ۱۲) و در نهایت با معادله ۱۳، RMSE کل به دست می آید:

$$RMSEm = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\hat{Fm}(xi) - Fm(xi)]^2} \quad 12$$

در این معادله N تعداد محاسبات، $\hat{Fm}(xi)$ مقدار محاسبه شده و $Fm(xi)$ مقدار واقعی نقاط است.

$$RMSE = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M RMSEm \quad 13$$

که در معادله ۱۳، M تعداد نقاط نمونه است. هر چه مقدار RMSE کم تر باشد می توان نتیجه گرفت که مدل مناسب تر بوده است. جدول یک روش های گوناگون درونیابی را از لحاظ میزان خطا نشان می دهد:

جدول ۱ - میزان خطای محاسبه شده برای روش های گوناگون درونیابی

روش درونیابی	RMSE روز ۲۲ آبان	RMSE روز ۲۵ بهمن
روش IDW	۵.۳۸	۳.۱۲
کریجینگ معمولی دایره ای	۴.۳۵	۲.۹۹
کریجینگ معمولی نمایی	۴.۱۵	۲.۹۵
کریجینگ معمولی گوسن	۵.۲۵	۴.۰۲
کریجینگ معمولی کروی	۴.۴	۳.۰۱
کریجینگ معمولی خطی	۵.۲۷	۳.۸۴
کریجینگ عمومی خطی	۵.۲۳	۴.۱۵
کریجینگ عمومی کوادراتیک	۵.۳۲	۳.۴۳

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر سعی شده است روش‌های گوناگون درونیابی از لحاظ میزان دقت برای درونیابی داده‌های مربوط به بارندگی روزانه با یکدیگر مقایسه شوند. هدف دیگری که در این تحقیق دنبال شد، مقایسه میزان دقت درونیابی برای روزهای پرباران و روزهای کم باران بود.

داده‌های درونیابی شده به روش IDW توزیعی مشابه با داده‌های اولیه دارند به این معنا که فراوانی داده‌ها در کلاس‌های مختلف تقریباً با داده‌های اولیه مشابه است، البته پارامتر توان وزن دهی در نتیجه درونیابی تأثیر به‌سزایی دارد و انتخاب توان مناسب نتیجه مثبتی در درونیابی با این روش می‌گذارد و چون در تحقیق حاضر وزن در نظر گرفته شده برای کل درونیابی ثابت است اگر مقادیر غلط در داده‌های اولیه وجود داشته باشد نتایج را شدیداً تحت تأثیر قرار می‌دهد، به همین دلیل لازم است تا قبل از درونیابی با تمام روش‌ها مخصوصاً IDW داده‌های مشکوک تصحیح و یا حذف گردند. تکنیک IDW تغییرات شدید حد بالا و پایین داده‌ها را که نمونه‌برداری نشده است در نظر نمی‌گیرد و در واقع داده‌های موجود را به کل سطح تعمیم می‌دهد.

در روش‌های کریجینگ دایره‌ای، نمایی، کروی و خطی به مقادیر با فراوانی کم تر، وزن بیشتری داده می‌شود به این مفهوم که داده‌های اولیه تا حدودی تعدیل می‌شوند و داده‌هایی که فراوانی کم دارند، دارای اهمیت می‌شوند. در نتیجه این روش‌ها برای از بین بردن اثرات لبه و کم کردن تأثیر مقادیر ماگزیمم و می‌نیمم شیوه‌های مفیدی محسوب می‌شوند.

روش‌های کریجینگ عمومی (با روند خطی و کوادراتیک) و همچنین کریجینگ گوسن توزیع اولیه داده‌ها را دستخوش تغییر شدید می‌نماید و می‌توان نتیجه گرفت که این روش‌ها برای درونیابی داده‌های کوتاه مدت مانند بارندگی روزانه، روش‌های مفیدی نیست.

در نهایت با توجه به مطالب فوق می‌توان این گونه نتیجه گرفت که یک روش درونیابی را برای کل پروژه‌ها و کل منطقه و همچنین انواع متغیرها نمی‌توان بهترین روش در نظر گرفت. و انتخاب روش به نوع داده‌ها، ماهیت آن‌ها و خصوصیات منطقه بستگی زیادی دارد. به جز موارد مذکور انتخاب یک روش مناسب برای درونیابی بسته به هدف پروژه ممکن است تغییر نماید. برای مثال در طراحی یک سد، هدف تعیین بیشترین مقدار بارندگی روزانه است که باعث ایجاد سیلاب می‌گردد که این سیلاب می‌تواند سد را تخریب نماید.

در مجموع روش کریجینگ برای درونیابی داده‌های بارندگی روزانه نتایج بهتری نسبت به روش درونیابی IDW داشته است. از میان روش‌های کریجینگ، کریجینگ معمولی دایره‌ای و نمایی بهترین نتایج را برای درونیابی اطلاعات بارندگی روزانه در بر داشته است. این در حالیست که کریجینگ عمومی کوادراتیک و کریجینگ معمولی گوسن بیشترین خطا را برای درونیابی اطلاعات بارندگی روزانه نشان می‌دهند. در مجموع روش‌های درونیابی برای روزهای پرباران (مانند ۲۵ بهمن ۱۳۸۱) نتایج بهتری نسبت به روزهای کم باران (مانند ۲۲ آبان ۱۳۸۱) دارد. در خاتمه شایان ذکر است که روش‌های دیگر درونیابی از جمله رگرسیون چندگانه (Multiple regression) نیز برای درونیابی داده‌های بارندگی می‌تواند بسیار مفید و مؤثر باشد.

منابع:

- 1- Isaaks, E.H. and Srivatava, R.M. 1984: Applied Geostatistics. Oxford University press, New York.
- 2- Kidd, C. and Barrett, E.C. 1990: The use of passive microwave imagery in rainfall monitoring. Remote Sensing Review, 1990 ,4(2), 415-450.
- 3- Matkan, A.A. 1999: Passive Microwave Monitoring of Snow Cover and Rainfall over Iran, Using DMSP F-11 Special Sensor Microwave/Imager Data, Ph.D. Thesis, University of Bristol, Bristol, U.K
- 4- Peterson, T.C., Easterling, D.R., Karl, T.R., Groisman, P., Nicholls, N., Plummer, N., Torok, S., Auer, I., Boehm, R., Gullett, D., Vincent, L., Heino, R., Tuomenvirta, H., Mestre, O., Szentimrey, T., Salinger, J., Forland, E.J., Hanssen-Bauer, I., Alexanderson, H., Jones, P. and Parker D., 1998: Homogeneity Adjustments of in situ Atmospheric Climate data: a review, International Journal of Climatology ,18: 1493-1517.
- 5- Sabins, F.F. 1997: Remote Sensing: Principle and interpretations, W.H. Freeman, New York.
- 6- Todd, M.C. 1993: The Estimation of Rainfall using Infrared and Passive Microwave Satellite Imagery: A Study Over the British Isles and Surrounding Seas. Ph.D. Thesis, University of Bristol, 484pp.
- 7- Wackernagel, H. ,1998: Splines and kriging with drift ,Proceedings of Seminar on Data Spatial Distribution in Meteorology and Climatology ,Volterra ,1997 ,COST ACTION 79 , Edited by: M.Bindi and B. Gozzini, 226p.