

بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه با کاربرد روش‌های زمین آمار (مطالعه موردی: استان ایلام)

حاجی کریمی^۱
حسن فتحی‌زاد^۲

چکیده

انتخاب یک روش درون‌یابی به‌بینه برای تخمین ویژگی‌های یک منطقه موردی در نقاط نمونه‌گیری نشده نقش مهمی در مدیریت داده‌ها دارد. در این پژوهش، مدل‌های میان‌یابی کریجینگ معمولی شامل خطی، نمایی، گوسی و کروی معمولی جهت تخمین پارامتر میانگین بارندگی استان ایلام مورد استفاده قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از روش کلموگروف - اسمیرنوف بررسی و سپس به ازای هر مدل وایروگرام آن محاسبه و ترسیم شد. در ادامه وایروگرامی برای برازش بر داده‌ها استفاده شد که همبستگی مکانی بین داده‌ها را به‌صورت مطلوب‌تری از سایر وایروگرام‌ها نشان دهد. برای این امر از نسبت میان اثر قطعه‌ای و سقف وایروگرام استفاده گردید (C+Co). با توجه به پارامترهای به‌دست آمده برای وایروگرام‌های برازش شده وایروگرام گوسین با میزان ۰/۳۳ بهترین همبستگی بین داده‌ها را مدل کرده و برای درون‌یابی استفاده گردید. برای ارزیابی انواع مدل‌ها از مربع میانگین ریشه خطا با خطای استاندارد استفاده شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مدل گوسین با پایین‌ترین میزان خطای برآورد (۶/۱۲) و مربع میانگین ریشه خطا (۱۶۶) بهترین مدل برای درون‌یابی داده‌ها در این پژوهش ارزیابی شد. همچنین در مقایسه مربع میانگین ریشه خطا با خطای استاندارد برای تعیین میزان برآورد مورد انتظار، هر چهار مدل دارای برآوردی بیشتر از حد انتظار بودند.

واژگان کلیدی: درون‌یابی، کریجینگ معمولی، وایروگرام، میانگین بارش سالانه، استان ایلام.

۱- دانشیار و عضو هیئت علمی گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام. Email:llam_haji@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشگاه ایلام.

مقدمه

در مطالعات جغرافیایی برداشت اطلاعات اغلب به صورت نقطه‌ای انجام می‌شود. معمولاً ضرورت دارد اطلاعات حاصل از نمونه‌برداری نقطه‌ای به سطح تعمیم داده شود. برای مثال در مطالعات هواشناسی از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی استفاده می‌شود. در این حالت لازم است براساس داده‌های ایستگاه‌های موجود، وضعیت داده‌های هواشناسی مناطق مجاور بازسازی شود. فرایند برآورد مقادیر اطلاعاتی برای مکان‌هایی که اطلاعاتی برای آن‌ها وجود ندارد براساس اطلاعات مناطق نمونه، درون‌یابی فضایی نامیده می‌شود. الگوریتم‌های متفاوتی برای درون‌یابی فضایی وجود دارد که برخی از آن‌ها مبتنی بر روش‌های زمین آمار و ژئومتری می‌باشند. به رغم تمام پیشرفت‌هایی که چند دهه اخیر به‌ویژه با توسعه نرم‌افزارهای GIS در زمینه مدل‌سازی فضایی به‌وجود آمده است، اما هنوز باید در استفاده از نتایج حاصل از این مدل‌ها دقت کافی داشت. زمین آمار بر اساس ساده‌ترین تعریف، در واقع یک روش درون‌یابی است که معیار مورد استفاده در آن برای درون‌یابی یا تخمین، کمینه شدن مقدار واریانس تخمین است (هان، ۱۹۸۸: ۲۵۰). تخمین زمین آماری یکی از دقیق‌ترین روش‌های تخمین است، چرا که عوامل زیادی نظیر فاصله نقاط، ناهمسانگردی و تغییر پذیری فضایی را مورد بررسی قرار می‌دهد.

نخستین تجربه‌ها جهت به‌کارگیری روش‌های زمین آماری به مفهوم امروزی آن در محاسبات تخمین ذخیره از حدود ۷۰ سال پیش با شناسایی مقدماتی الگوهای توزیع طلا در معادن آفریقای جنوبی شروع شد. تاکنون پژوهش‌های بسیاری در زمینه میان‌یابی داده‌های اقلیمی در جهان و ایران صورت گرفته است. بال و لاک (۱۹۹۸) برای برآورد شدت بارندگی، در حومه غربی شهر سیدنی، روش‌های تیسن، عکس فاصله، توابع اسپلاین و چند جمله‌ای را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی بررسی کردند و روش اسپلاین را دقیق‌ترین روش معرفی کردند. پونیاوردنا و کولاسیری (۱۹۹۹) مطالعاتی را در زمینه برآورد بارندگی در نواحی خشک سریلانکا صورت دادند و مدل پیوستگی مکانی بارندگی در این مطالعه را از نوع نمایی به‌دست آوردند. پرودهوم و رید (۱۹۹۹) برای یافتن یک روش ساده برای رسم نقشه متوسط حداکثر بارش روزانه در طول سال در نواحی کوهستانی اسکاتلند، روش‌های کریجینگ

عمولی و کریجینگ تصحیح شده^۳ را انتخاب کردند، و با مقایسه نتایج، روش کریجینگ را برای رسم نقشه نهایی برگزیدند. لکرک و اسپاک (۱۹۷۲) بر اساس آمار اداره هواشناسی آمریکا، رابطه‌ای برای تبدیل بارندگی نقطه‌ای به متوسط بارندگی در یک سطح منحنی ارائه دادند. وانکوانبر و همکاران (۱۹۸۲) برای تعیین ظرفیت رطوبت خاک در هلند، روش‌های میانگین وزنی و کریجینگ را مقایسه و نتیجه‌گیری کردند که روش کریجینگ برتری دارد. در سال ۱۹۹۰ میلادی نتایج حاصل از تخمین سطح ایستابی به روش زمین‌آمار که برای بهینه کردن شبکه‌های پایش در کشور مراکش انجام شده بود، توسط بن جما و همکاران (۱۹۹۰) ارائه گردید. این نتایج حاکی از برتری روش‌های زمین‌آمار بر روش‌های مبتنی بر آمار کلاسیک بود (Ben-Jemaa et al, 1990: 610). کولینز و بولستاد روش‌های مختلفی را برای درون‌یابی داده‌های درجه حرارت حداقل و حداکثر در آمریکا ارزیابی و مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که انتخاب بهترین شیوه برای درون‌یابی، تحت تأثیر مستقیم دامنه تغییرها در درجه حرارت، واریانس آن‌ها و میزان همبستگی درجه حرارت با ارتفاع منطقه است (Collins and Bolstad, 1996: 38). گوارتز از بین روش‌های عکس مجذور فاصله، رگرسیون خطی با ارتفاع، تیسن و کریجینگ برای میان‌یابی بارندگی و دمای سالانه منطقه‌ای به وسعت پنج هزار کیلومتر مربع از کشور پرتغال، روش کریجینگ ساده را در مقایسه با دیگر روش‌های یاد شده مناسب‌تر دانسته است (Governs, 2000: 129). هارگرو (۲۰۰۱) از روش اسپیلاین با کشش و اسپیلاین با سطح صاف برای برآورد بارندگی در سوئیس پرداخته است (Hargrove, 2001). هوسی و همکاران (۱۹۹۲) برای برآورد بارندگی متوسط سالانه در منطقه‌ای کوهستانی واقع در جنوب نوادا و جنوب شرقی کالیفرنیا، از روش‌های عکس فاصله، کریجینگ، همبستگی خطی، همبستگی خطی لگاریتمی، متوسط همسایگی و کوکریجینگ استفاده کردند و به‌علت همبستگی بارندگی و ارتفاع در منطقه مورد مطالعه، روش کوکریجینگ^۴ را مناسب‌ترین روش تشخیص دادند. نالدر و وین (۱۹۹۸) توزیع مکانی بارندگی و دمای ماهانه در جنگل‌های شمال کانادا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش عکس مجذور فاصله، از سایر روش‌ها مناسب‌تر است (Nalder and Wein, 1998: 211-225).

3- modified kriging

4- CoKriging

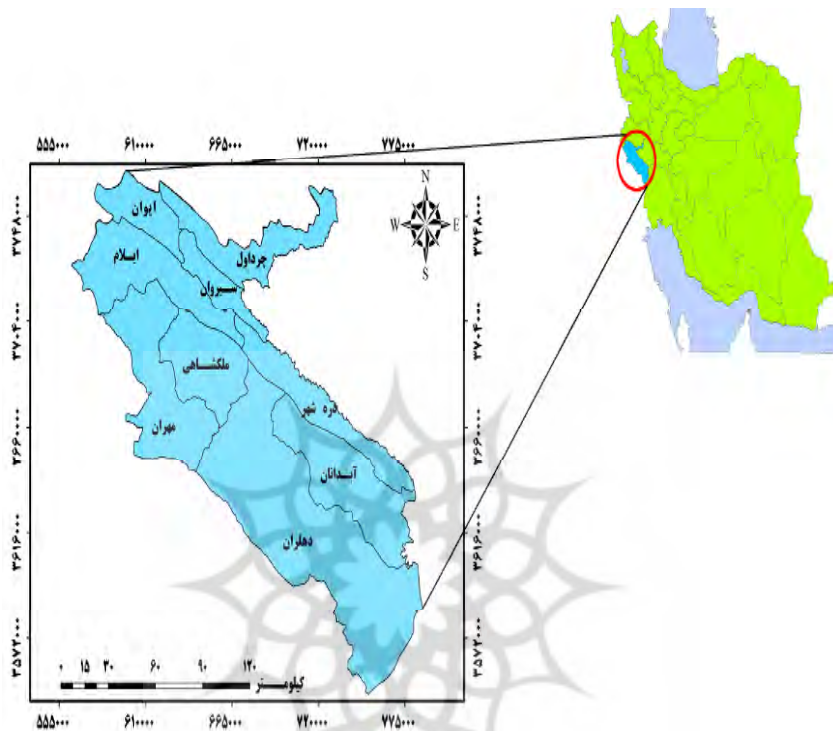
مهدیان (۲۰۰۲) نشان داد که روش اسپیلاین و روش کریجینگ برای برآورد بارندگی و درجه حرارت کل کشور در سه اقلیم خشک، نیمه‌خشک و مرطوب نسبت به روش‌های دیگر دارای برتری است. میر موسوی و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی، سه روش کریجینگ ساده، معمولی، جهانی و توابع پایه شعاعی را برای برآورد میانگین بارندگی سالانه استان اصفهان مورد استفاده قرار دادند که روش کریجینگ معمولی با مدل دایره‌ای، مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی اطلاعات مقادیر میانگین بارندگی سالانه تعیین شد. در مطالعه دیگری که توسط شمس‌الدینی (۱۳۷۹) در استان‌های شمالی ایران انجام شد، تغییرات منطقه‌ای بارندگی با استفاده از روش کریجینگ محاسبه گردید. میثاقی (۱۳۸۳) نشان داد که از بین کلیه الگوریتم‌ها و روش‌های میان‌یابی بررسی شده، تخمین‌گرهای زمین‌آمار کریجینگ و کوکریجینگ نتیجه بهتری حاصل می‌نمایند و خطای برآورد و میان‌یابی توسط مدل‌های شبکه عصبی نسبت به روش‌های زمین‌آمار بیشتر است (میثاقی، ۱۳۸۳: ۱۰۰).

مظفری و همکاران در طی تحقیقی تحت عنوان ارزیابی روش‌های زمین‌آمار و رگرسیون خطی در تعیین توزیع مکانی بارش در استان بوشهر به این نتیجه رسیدند، که مناسب‌ترین روش جهت میان‌یابی بارش سالانه در استان بوشهر، روش رگرسیون با تابع چند جمله‌ای درجه چهارم می‌باشد (مظفری و همکاران، ۱۳۹۱: ۶۳).

هدف از این تحقیق، تهیه نقشه بارش سالیانه استان ایلام با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ معمولی و هم‌چنین مقایسه و ارزیابی انواع مدل‌های کریجینگ معمولی و انتخاب بهترین مدل برای منطقه می‌باشد.

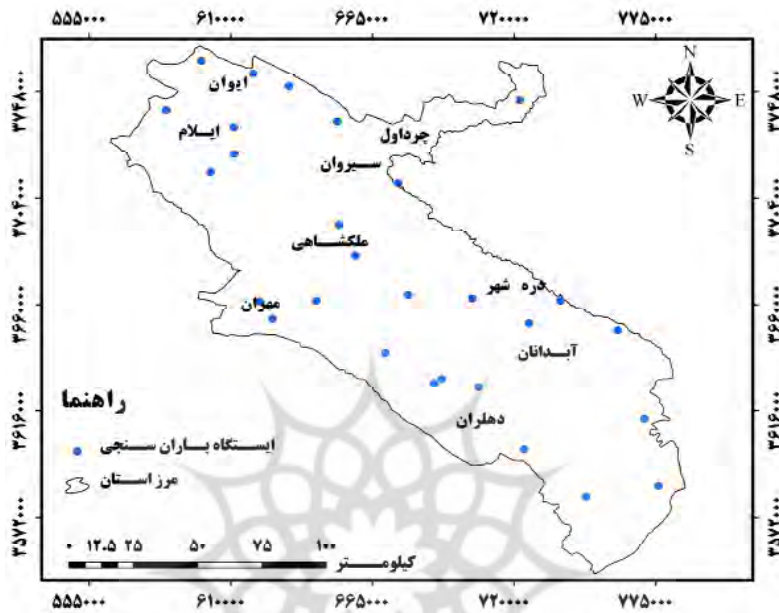
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، استان ایلام با مساحت ۱۹۹۱۸۹۴ هکتار می‌باشد. این استان در غرب و جنوب غربی کشور و در محدوده جغرافیایی ۴۵°۶۷ تا ۴۸°۰۴ طول شرقی و ۳۲°۰۴ تا ۳۴°۰۳ عرض شمالی واقع شده است. میزان بارندگی در این استان، بین ۲۵۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر در نوسان است. موقعیت استان ایلام در کشور شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱) موقعیت کشوری منطقه مورد مطالعه

در محدوده مورد مطالعه ۲۸ ایستگاه باران‌سنجی مربوط به سازمان هواشناسی استان ایلام موجود است. در شکل ۲ موقعیت پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی که در محیط نرم‌افزار Arc GIS 9.3 تولید شده نمایش داده شده است. با توجه به این که آمار کلیه ایستگاه‌ها در این طرح کامل نبود، با کاربرد ایستگاه مبنا و ایستگاه‌های مجاور، نقصان آمار ایستگاه‌ها بازسازی شد و داده‌های مفقود (در مقیاس ماهانه) با کاربرد آمار ایستگاه‌های مبنا از روش تفاضل‌ها و نسبت‌ها مورد بازسازی قرار گرفت. در این مرحله ایستگاه‌های که دارای اطلاعات ناقص بودند با استفاده از اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه‌های که تشابه آب و هوایی با هم داشتند، اطلاعات‌شان کامل شد.



شکل (۲) موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه مورد مطالعه

آزمون آماری

اولین گام در استفاده از روش‌های زمین آماری کربجینگ مقایسه داده با توزیع نرمال است. که در صورت عدم توزیع نرمال داده‌ها، توزیع داده‌ها با استفاده از روش لوگ نرمال یا باکس-کاکس (BOX-COX) به توزیع نرمال تبدیل می‌شود که روش تبدیل با استفاده از لوگ نرمال در رابط زیر ارائه شده است (حسنی، ۱۳۸۶: ۳۸۰):

$$f(x) = \frac{1}{x\beta\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2} \quad x > 0$$

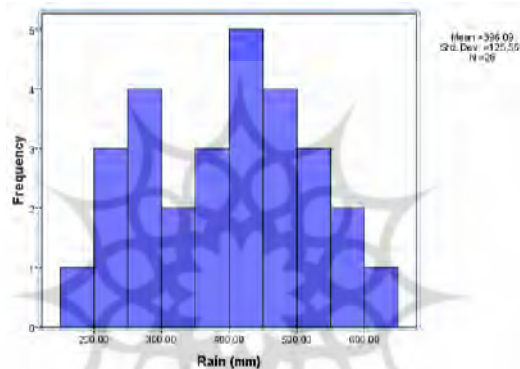
α و β به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌های تبدیل یافته‌اند. در این تحقیق ارزیابی نرمال بودن داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS از روش کلموگروف-اسمیرنف^۵ صورت گرفت.

5- Kolmogorov-Smirnov

داده‌های بارندگی مورد استفاده در این تحقیق دارای توزیع نرمال بودند، لذا تبدیلی روی آن‌ها انجام نشد. هیستوگرام فراوانی (شکل ۳) و خصوصیات آماری داده‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول (۱) خصوصیات آماری داده‌های منطقه مورد مطالعه

پارامتر	تعداد داده‌ها	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف از معیار
بارندگی سالیانه	۲۸	۳۹۶/۰۹	۶۱۲/۴۱	۱۷۴/۶۸	۱۲۵/۵۵



شکل (۳) توزیع هیستوگرام بارندگی سالانه

روش زمین آماری کریجینگ

یکی از روش‌های پیشرفته زمین آمار است که بر اساس تحلیل نیم تغییرناستوار می‌باشد. نیم تغییرنا یکی از روش‌های محاسبه تغییرات مکانی است که هدف اصلی از برقرار کردن تابع آن، شناسایی ساختار تغییرپذیری متغیر نسبت به فاصله مکانی می‌باشد، در صورتی که آمار کلاسیک دارای چنین قابلیت‌هایی نمی‌باشد. کلید اساسی در کریجینگ نیم تغییرنا است که در واقع بررسی همبستگی مکانی بین دو نقطه است. اما فرض بر آن است که مقادیر یک متغیر در فواصل نزدیک بیش‌ترین شباهت را داشته و با افزایش فاصله از میزان همبستگی مقادیر آن متغیر کاسته می‌شود (علوی پناه و همکاران، ۱۳۸۷: ۴۵۷). کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد و در مورد آن می‌توان

گفت بهترین تخمین گر خطی نارایب به شمار می‌رود. از مهم‌ترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازای هر تخمینی خطای مرتبط با آن را نیز محاسبه می‌کند. در روش کلاسیک (مانند رگرسیون و معکوس وزنی فاصله) معمولاً این چنین نیست (حسنی، ۱۳۸۶: ۳۸۰). معادله کلی کریجینگ برای برآورد مقادیر یک متغیر به صورت زیر بیان می‌شود.

$$z_{vi} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times z_{vi}$$

* Z_{vi} : میزان داده برآورد شده.

که در این فرمول λ مجموعه‌ای از وزن‌هاست، که به نحوی انتخاب می‌شوند تا Z_{vi} برآورد نارایب با حداقل خطا Z_{vi} باشد. و به صورت زیر محاسبه می‌شود (علوی پناه و همکاران، ۱۳۸۷: ۴۵۷).

$$\lambda_i = \frac{D^{-a}}{\sum_{i=1}^n D^{-a}}$$

=a مقدار ثابت بین یک تا ۶

Z_{vi} = مقدار مشاهده شده متغیر Z در نقطه vi

=n تعداد نقاط

=D فاصله هر یک از نقاط

در این تحقیق از روش کریجینگ معمولی با مدل‌های خطی^۷، نمایی^۸، گوسی^۹ و کروی^{۱۰} استفاده گردید (مدنی، ۱۳۷۷: ۶۵۹).

-
- 7- Linear Model
 - 8- Exponential Model
 - 9- Gaussian Model
 - 10- Spherical Model

کریجینگ معمولی^{۱۱}

در این حالت مقدار میانگین مستقل از مختصات ولی مقدار آن مجهول است. این روش بیشتر در محل‌های خط‌الراس و خط‌القعر و در مواردی که تغییرات در دو طرف یک مکان متفاوت است به کار می‌رود به عبارت دیگر زمانی از این روش استفاده می‌شود که مقدار میانگین (m) ناشناخته باشد. چگونگی برآورد متغیر نسبت به میانگین در روش کریجینگ عادی نشان داده شده است (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۵-۶۷).

$$Z(s) = m(S) + \varepsilon(S)$$

$Z(s)$: متغیر برآورد شده، s : موقعیت مکانی (x, y) است، m : گرایش جبری و تصادفی (میانگین) و ε : خطای همبستگی است.

برای محاسبه ضرایب کریجینگ که یک تخمین‌گر زمین‌آمار است، به محاسبه مقدار واریوگرام نیازمندیم که بدین منظور از انواع مدل‌های خطی، نمایی، گوسین و کروی استفاده می‌شود و در زیر به شرح آن‌ها پرداخته شده است (حسنی، ۱۳۷۶: ۳۸۰؛ ذبیحی، ۱۳۹۰: ۱۱۲).

مدل خطی: معادله مدل خطی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\text{for } 0 < h \leq a \gamma_{(h)} = c_0 + c_1 \left\{ 1 - \frac{2}{N} \arccos\left(\frac{h}{a}\right) + \frac{ah}{\Pi a} \sqrt{1 - \frac{h^2}{a^2}} \right\}$$

$$\text{for } >a \gamma_{(h)} = c_0 + c_1$$

مدل نمایی: معادله مدل نمایی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\delta(h) = c_0 + c_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right)^2 \right]$$

مدل گوسین: معادله مدل گوسین از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\gamma_{(h)} = c_0 + c(1 - e^{-\frac{h}{a}})$$

مدل کروی: معادله مدل کروی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\text{for } 0 < h \leq a \gamma_{(h)} = c_0 + c \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right)$$

$$\text{for } h > a \gamma_{(h)} = c_0 + c$$

ارزیابی میزان خطا و انتخاب بهترین مدل

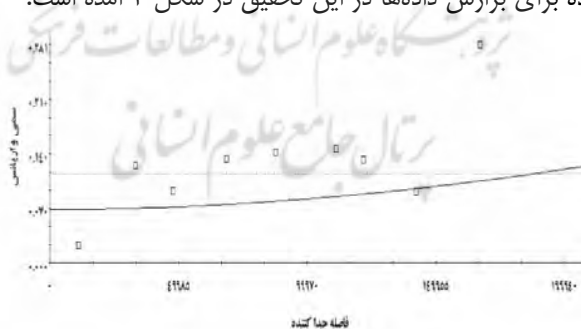
بعد از انتخاب مدل واریوگرام و درونیابی انجام شده توسط روش‌های مورد بررسی در این تحقیق، در ادامه صحت این درونیابی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. روش‌های عمده‌ای که در بررسی صحت درونیابی استفاده می‌شود شامل صحت‌یابی (validation) و صحت‌یابی سرتاسری است (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۰، ۵۵) که در روش اول یک منطقه تعلیمی (Traning) و یک منطقه آزمایش انتخاب می‌شود. در ابتدا برای منطقه تعلیمی رابطه درونیابی به دست می‌آید سپس برای منطقه آزمایش به کار می‌رود و میزان دقت برآورد محاسبه می‌گردد (Johnston, 2000: 1129). برخلاف آن در روش صحت‌یابی سرتاسری که در این تحقیق استفاده شده است بدین گونه عمل می‌شود که تمام داده‌ها در ایستگاه‌های شاخص حذف گردیده و سپس بر اساس مدل درونیابی تمامی داده‌های ایستگاه‌های شاخص برآورد می‌گردند که تفاوت بین مقدار واقعی و مقدار برآورد شده در ایستگاه‌های شاخص را خطای برآورد گویند. که در ادامه پایین‌ترین میزان مربع میانگین ریشه خطای باقی مانده، برای انتخاب بهترین روش درونیابی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (وفاخواه و همکاران، ۱۳۸۷: ۴۹؛ شعبانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۵).

$$RMS = \frac{\sum (X - X_1)^2}{n}$$

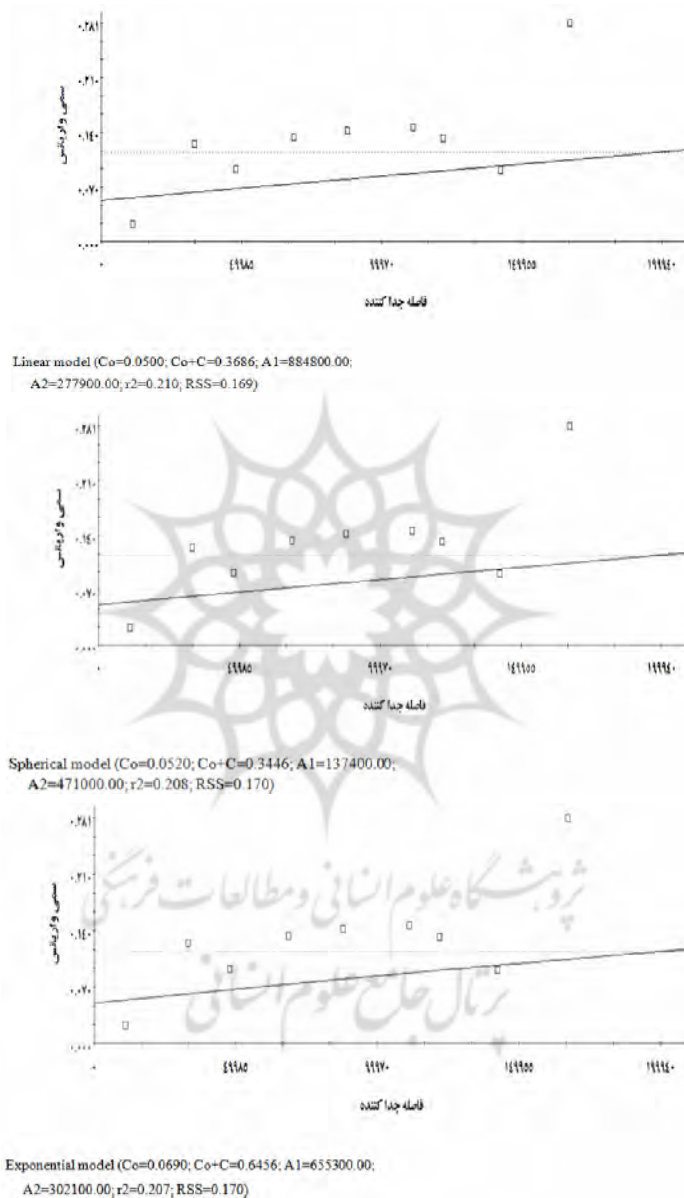
X: مقدار مشاهده شده، X_i: مقدار برآورد شده و n: تعداد داده‌ها است.

یافته‌ها

در این تحقیق برای نشان دادن همبستگی مکانی بین داده بارش از ترسیم واریوگرام استفاده شد نتایج حاصل از ترسیم واریوگرام‌های مختلف در جدول ۲ مشاهده می‌گردد. در ادامه واریوگرامی برای برازش بر داده‌ها استفاده شد که همبستگی مکانی بین داده‌ها را به صورت مطلوب‌تری از سایر واریوگرام‌ها نشان دهد. برای این امر از نسبت میان اثر قطعه‌ای و سقف واریوگرام استفاده گردید (Co+C) (حبشی و همکاران، ۱۳۸۵: ۱۱-۲۰). اگر نسبت اثر قطعه‌ای بر سقف واریوگرام کمتر از ۰/۲۵ باشد بین داده‌ها همبستگی مکانی قوی وجود دارد. اگر این نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ باشد میزان همبستگی مکانی متوسط بوده و اگر بیش از ۰/۷۵ درصد باشد همبستگی مکانی بین داده‌ها کم بوده یا همبستگی وجود ندارد (خداکرمی و همکاران، ۱۳۹۰: ۷۹-۸۹). به همین دلیل از این نسبت برای انتخاب بهترین واریوگرام استفاده گردید. با توجه به پارامترهای به‌دست آمده برای واریوگرام‌های برازش شده واریوگرام گوسین با میزان ۰/۳۳ بهترین همبستگی بین داده‌ها را مدل کرده و برای درون‌یابی استفاده گردید. بعد از واریوگرام گوسین، واریوگرام‌های کروی، خطی و نمایی به‌ترتیب با میزان ۰/۳۴، ۰/۳۶ و ۰/۶۴ قرار دارند. ذبیحی و همکاران (۱۳۹۰) برای توزیع مکانی بارش سالانه با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در استان قم روش کریجینگ معمولی با واریوگرام گوسین را روش بهتری نسبت به سایر روش‌های زمین‌آمار کریجینگ معرفی می‌کنند. انواع واریوگرام‌های به‌کار رفته شده برای برازش داده‌ها در این تحقیق در شکل ۴ آمده است.



Gaussian model (Co=0.0530, Co+C=0.3296, A1=924000.00, A2=319000.00; r2=0.208; RSS=0.170)



شکل (۵) وایروگرام برازش داده شده به داده‌ها با استفاده از:
الف: وایروگرام گوسین، ب: وایروگرام خطی، ج: وایروگرام کروی، د: وایروگرام نمایی

جدول (۲) پارامترهای تأثیر قطعه‌ای و سقف و رایوگرام به‌دست آمده برای واریوگرام‌های برازش شده

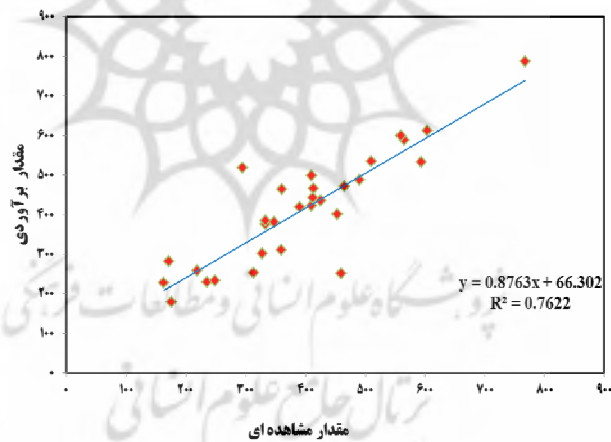
نوع مدل	Co اثر قطعه (mm ²)	Co+C اثر آستانه (mm ²)	C/Co+C	Ao عامل فاصله (km)	RSS مجموع ترکیبات (mm ²)
خطی	۰/۰۵۰	۰/۳۶	۰/۸۶۴	۸۸۴/۸۰۰	۰/۲۱۰
نمایی	۰/۰۶۹	۰/۶۴	۰/۸۹۳	۶۵۵/۳۰۰	۰/۲۰۷
گوسین	۰/۰۵۳	۰/۳۳	۰/۸۴۴	۹۲۴/۴۰۰	۰/۲۰۸
کروی	۰/۰۵۲	۰/۳۴	۰/۸۴۹	۱۳۷/۴۰۰	۰/۲۰۸

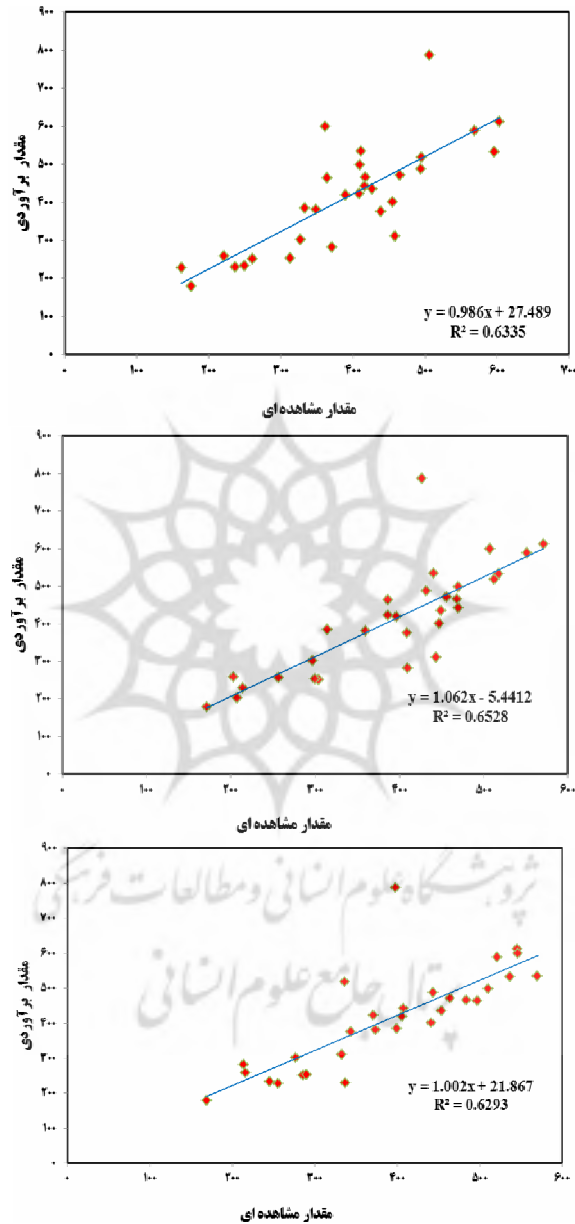
به‌طور کلی اگر برآورد داده‌ها بدون انحراف باشد میانگین خطای برآورد به صفر نزدیک‌تر می‌شود و هر چه فاصله بیش‌تر شود میزان انحراف در درونیابی نیز بی‌تر می‌شود البته این وابسته به مقیاس داده‌های اندازه‌گیری شده است (Irvem & Uygur, 2007: 30). همچنین این امر در مورد میانگین استاندارد خطای برآورد شده نیز صدق می‌کند. از طرف دیگر نیز پایین‌ترین مربع میانگین ریشه خطا بهترین برآورد را خواهد داشت. با توجه به نتایج جدول ۳، مدل گوسین با پایین‌ترین میزان خطای برآورد (۶/۱۲) و مربع میانگین ریشه خطا (۱۶۶) بهترین مدل برای درونیابی داده‌ها در این پژوهش ارزیابی شد. برای تشخیص برآورد بیش از انتظار و کمتر از انتظار در این پژوهش میزان مربع میانگین ریشه خطا با میانگین خطا مقایسه گردید. این رابطه بدین صورت است که اگر مربع میانگین ریشه خطا بیشتر از میانگین خطای استاندارد باشد، برآورد کم‌تر از حد انتظار و اگر مربع میانگین ریشه خطا کوچک‌تر از میانگین خطای استاندارد باشد برآورد بیش از حد انتظار است (Johnston, 2000: 1129). شعبانی و همکاران، (۱۳۹۰: ۵۵). با مقایسه مربع میانگین ریشه خطا با میانگین خطا در داده‌های به‌دست آمده از صحت‌یابی سرتاسری در وایروگرام گوسین (۱۶۶ < ۱۵۳)، وایروگرام کروی (۱۶۷/۲ < ۱۵۸/۸)، وایروگرام خطی (۱۷۱/۹ < ۱۶۴/۹) و در وایروگرام نمایی (۱۷۲/۲ < ۱۶۵/۲)، برآورد بیش از حد انتظار است.

جدول (۳) نتایج حاصل از صحت‌سنجی سرتاسری برای چهار وایروگرام کرجینگ معمولی

نوع مدل	میانگین خطا برآورد	مربع میانگین ریشه خطا برآورد (RMS)	معدل خطا، استاندارد، خطای برآورد	میانگین استاندارد شده خطا برآورد	مربع میانگین ریشه خطا برآورد استاندارد (RMSE)
خطی	۱۱/۲۹	۱۷۱/۹	۱۶۴/۹	۰/۰۱۷	۱/۰۳۲
نمایی	۱۴/۲۴	۱۷۲/۲	۱۶۵/۲	۰/۰۵۹	۱/۰۴
گوسین	۶/۱۲	۱۶۶	۱۵۳	۰/۰۱۳	۱/۰۲۴
کروی	۹/۷۱	۱۶۷/۲	۱۵۸/۸	۰/۰۴	۱/۰۲۸

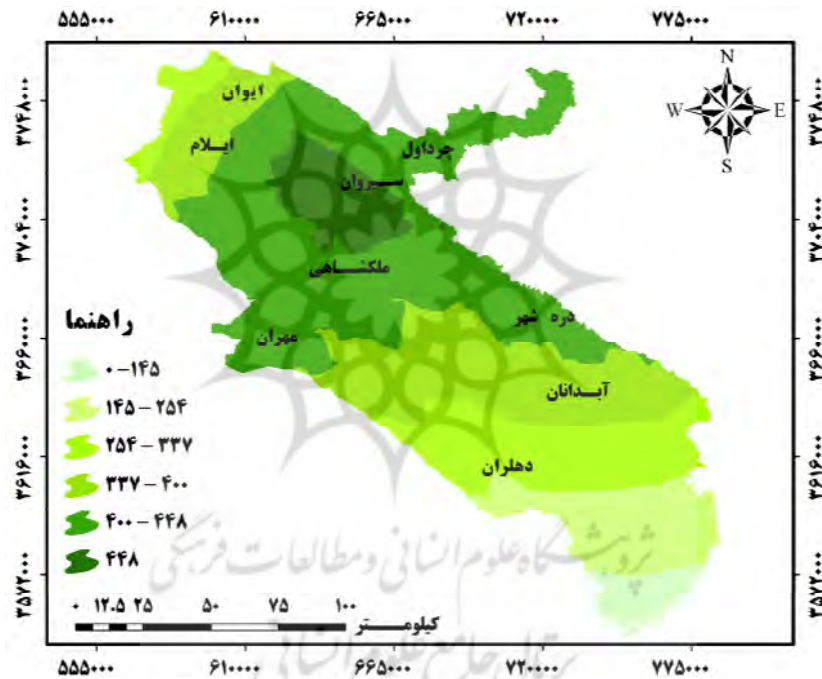
نتایج بررسی روش‌های مختلف در جدول ۳ نشان می‌دهد، مدل گوسین در بین همه روش‌ها دارای کم‌ترین خطای برآورد می‌باشد. لذا به نظر می‌رسد که این روش مناسب‌تر از بقیه باشد. برای مقایسه بهتر، نمودار مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای هر روش نیز استخراج گردید (شکل ۶).



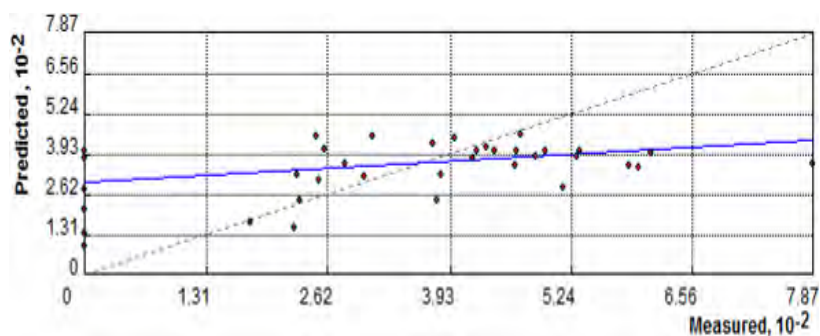


شکل (۶) مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای انواع روش‌های مختلف آماری (برحسب میلی‌متر)
الف: گوسین ب: خطی ج: کروی د: نمایی

در نهایت با استفاده از روش آماری کریجینگ معمولی و وایروگرام‌های به کار رفته در این تحقیق، در محیط Arc GIS10 و با استفاده از اکستشن ژئواستاتستیک (Geostatistic) نقشه پهنه‌بندی بارش به همراه نمودار مربوط به همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده با روش کریجینگ معمولی (روش گوسین) بر حسب میلی‌متر تهیه گردید (اشکال ۷ و ۸). باتوجه به تعداد بالای ایستگاه‌های موجود در منطقه و نحوه توزیع مناسب آن‌ها، شاهد نقشه پهنه‌بندی کاملی از منطقه هستیم.



شکل (۷) نقشه توزیع بارش با استفاده از روش کریجینگ معمولی (مدل گوسین) بر حسب میلی‌متر



شکل (۸) رابطه بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر برآورد شده بارندگی با استفاده از روش کریجینگ معمولی به روش گوسین

بحث و نتیجه‌گیری

از روش‌های درونیابی زمین‌آمار بیشتر برای ارزیابی کیفیت شبکه باران‌سنجی نیز استفاده می‌شود. افزایش شمار ایستگاه‌های باران‌سنجی در استان، به‌گونه‌ای که بتواند تغییرات مکانی ارتفاع را کامل‌تر پوشش دهد، به‌معنی بالا بردن تراکم ایستگاه‌های باران‌سنجی، به‌ویژه در مناطق کوهستانی، می‌تواند مقدار خطای پیش‌بینی را کاهش داده و نتایج دقیق‌تر به‌دست آورد. در این پژوهش، ۴ مدل درونیابی کریجینگ معمولی بر داده‌های میانگین بارش سالانه ۲۸ ایستگاه باران‌سنجی واقع در استان ایلام برآزش داده شده و نتایج مورد ارزیابی قرار رفت. برای نشان دادن همبستگی مکانی بین داده بارش از ترسیم واریوگرام استفاده گردید. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که واریوگرام گوسین، بهترین دقت را دارد و تغییرات بارندگی سالانه بیشتر از این مدل تبعیت می‌کند. با به‌کارگیری نسبت اثر قطعه‌ای بر سقف واریوگرام مشخص شد، واریوگرام گوسین با میزان $0/33$ دارای همبستگی مکانی متوسطی بین داده‌ها می‌باشد. همچنین واریوگرام گوسین با پایین‌ترین میزان خطای برآورد ($6/12$) و مربع میانگین ریشه خطا (166) بهترین مدل برای درونیابی داده‌ها در این پژوهش ارزیابی شد. بازسازی داده‌های در شماری از ایستگاه‌ها صورت پذیرفت. این امر می‌تواند به‌عنوان یکی از منابع اصلی خطا مورد بررسی قرار گیرد. تهیه نقشه خطا و بررسی آن نیز می‌تواند به تحلیل

مناسب‌ترین توزیع برازش داده شده بهبود بخشد. همچنین، می‌توان نواحی دارای انحراف پیش‌بینی زیاد را تعیین و مدل منتخب را اصلاح کرد.

در بین روش‌های به‌کار رفته همان‌طور که در شکل ۶ نیز مشخص شده، روش گوسین دارای بیشترین همبستگی بین مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای بوده و این مقدار برابر با $(R^2=0.76)$ می‌باشد. لذا از مدل گوسین توزیع مکانی بارندگی سالانه استان ایلام برآورد شد.

بررسی شکل توزیع بارندگی به روش گوسین حکایت از این دارد که به ترتیب بخش دهلران در قسمت جنوب به مقدار ۱۴۵ میلی‌متر، بخش‌های آبدانان و دره‌شهر در شمال به مقدار ۳۳۷ میلی‌متر و بخش‌های ایلام و ایوان در جنوب غربی استان به مقدار ۴۴۸ میلی‌متر بارش را در طی دوره ۲۳ ساله در یافت کرده‌اند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق می‌توان گفت به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات صحیح و دقیق برای استفاده در تجزیه و تحلیل‌های آماری، شایسته است نسبت به توسعه شبکه باران‌سنجی با استفاده از روش‌های زمین آماری در مناطق مختلف اقدام شود.

از این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی می‌تواند به‌عنوان 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 بر روس نقشه‌ها فراهم می‌آورد. از طرف دیگر با استفاده از روش‌های میان‌یابی موجود در زمین آمار، می‌توان تحلیل‌های آماری و پیش‌بینی را در مکان‌های مختلف بر اساس موقعیت جغرافیایی پدیده‌ها تحلیل نمود.

منابع

- حبشی، ه؛ حسینی، س م؛ محمدی، ج؛ رحمانی، ر. (۱۳۸۵)، «کاربرد زمین‌آمار در مطالعات خاک‌های مناطق جنگلی»، *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان*، ۱۴ (۱): ۱۱-۲۰.
- حسینی، پاک. ع. (۱۳۸۶)، «زمین‌آمار»، دانشگاه تهران. ۳۸۰ ص.
- خداکرمی، ل؛ سفیانیان، ع؛ محمدی توفیق، ا؛ میرغفاری، ن.ا. (۱۳۹۰)، «بررسی غلظت عناصر سنگین مس روی و آرسنیک خاک با استفاده از RS و GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کبودر آهنگ، رزن و خونجین- تلخاب در استان همدان)»، *مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی*، ۲ (۱): ۷۹-۸۹.
- ذبیحی، ع؛ سلیمانی، ک؛ شعبانی، م. (۱۳۹۰)، «بررسی توزیع مکانی بارش سالانه با استفاده از روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: استان قم)»، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۷۸: ۱۰۱-۱۱۲.
- شعبانی، ا؛ متین‌فر، ح.ر؛ آرخی، ص؛ رحیمی هراآبادی، س. (۱۳۹۰)، «مدلینگ فاکتور فرسایش باران با استفاده از روش زمین‌آمار (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد ایلام)»، *مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی*، ۲ (۲): ۵۵-۶۷.
- شمس‌الدینی، ع.ا. (۱۳۷۹)، «تغییرات منطقه‌ای بارندگی با استفاده از روش کریجینگ در استان-های شمالی»، *سمینار کارشناسی ارشد*.
- علوی‌پناه، س.ک؛ متین‌فر، ح.ر؛ رفیعی امام، ع. (۱۳۸۷)، «کاربرد فناوری اطلاعات در علوم زمین»، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۴۵۷ ص.
- مدنی، ح. (۱۳۷۷)، «مبانی زمین‌آمار»، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، واحد تفرش، ص ۶۵۹.
- میثاقی، ف. (۱۳۸۳)، «توسعه الگوریتم ترکیبی زمین‌آمار و شبکه عصبی مصنوعی به منظور استخراج توزیع مکانی بارندگی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

- مظفری، غ؛ میرموسوی، س.ح؛ خسروی، س. (۱۳۹۱)، «ارزیابی روش های زمین آمار و رگرسیون خطی در تعیین توزیع مکانی بارش (منطقه مورد مطالعه: استان بوشهر)»، *مجله جغرافیا و توسعه*، ۲۷: ۶۳-۷۶.
- وفاخواه، م؛ محسنی ساروی، م؛ مهدوی، م، علوی پناه، س.ک. (۱۳۸۷)، «کاربرد زمین آمار در برآورد عمق و چگالی برف در حوزه آبخیز اورازان، *نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۲ (۴): ۴۹-۵۵.
- Ball JE. and Luk KC., (1998), "Modeling spatial variability of rainfall over a catchment": *J. Hydrol. Eng.* , ASCE. 3 (2): 122-130.
- Ben-Jemaa F. and Marino MA., (1990), "Optimization of a groundwater well monitoring network". International Conference on Optimizing the Resources for Water Management, Forth worth, Texas, U. S. A. 17 (21): 610-615.
- Collins Jr FC. and Bolstad PV., (1996), "A Comparison of Spatial Interpolation Techniques in Temperature Estimation". Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling. Santa Fe: New Mexico. January 21 (2):38-52.
- Hargrove, WW., (2001), "Interpolation of Rainfall in Switzerland Using Regularized Splines with Tension", Geographic Information and Spatial Technologies Group Oak Ridge National Laboratory, <http://www.geobabble.org/~hnw/sic97>.
- Hevesi, JA., Istok JD. and AL. Flint. (1992), "Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistic. Part I: Structural Analysis". *J. Appl. Meteorol.* 31: 661-676.
- Hohn, ME., (1988), "*Geostatistic and Petroleum Geology*", Kluwer Academic Publisher, Netherlands. pp. 250.
- Johnston, KJ., (2000), "Using ArcGIS Geostatistic analyst", New York: ESRI. KOULI, equation (RUSLE) in a catchment of Sicily (southern Italy)". *Environ Geol.* 50: 1129- 1140.

- Leclerc, G. and JC. Schaake (1972), "Derivation of Hydrologic Frequency Curves, Report" 142, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Goovaerts, P., (2000), "Geostatistical Approach for Incorporating Elevation into Spatial Interpolation Rainfall", *Journal of Hydrology. Amsterdam*. 228 (1-2):129-133.
- Irvem, A., Topaloglu, F. and Uygur, V., (2007), "Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey". *Journal of Hydrology*, 336: 30- 37.
- Mahdian, M., (2002), "Determination of Optimization Interpolation Methods to Estimate Rainfall and Temperature in Arid, Semiarid and Humid Regions (IRAN)", Project Report Soil Conservation and Watershed Management Research Institute.
- Mirmousavi, SH., Mazidi, A., and Khosravi Y., (2010), "The Determination of Optimum Geostatistics Method for Estimating Precipitation Distribution Using GIS (Case Study of Esfahan Province)", *Geographic Space*. 10:105-120.
- Nalder, JA., and Wein, RW. (1998), "Spatial interpolation of climate normal: Test of a new method". *Canadian Boreal Forest. Agr. Forest*. 94 (4): 211-225.
- Prudhomme, C., and Reed, D.W., (1999), "Mapping extreme rainfall in mountainous region using Geostatistical techniques". *Int. J. Climatol.* , 19 (2): 1337-1356.
- Punyawordena, BUR., and Kulasiri, G., (1999), "Spatial interpolation of rainfall in the dry zone of SriLanka", *J. National Sci. council of SriLanka*. 26 (3): 247-262.
- Vankuilenber, J., Degruijter, J., Marsman, BA. and Bouma, J., (1982), "Accuracy of Spatial Interpolation between Point Data on Soil Moisture Supply Capacity Compared with Estimates from Mapping Units", *Geoderma*. 27: 311-325.