نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال چهاردهم، شماره ۳۵، زمستان ۹۳

بررسی الگوریتم های مختلف زمین آماری جهت پهنه بندی بارش سالیانه استان ایلام

دریافت مقاله:۹۱/۱۱/۲ پذیرش نهایی: ۹۳/۷/۸

صفحات:۱۵۴-۱۳۹

حسن فتحی زاد: دانشجوی دکتری بیابان زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد
Email:Hasan.fathizad@gmail.com

حاجی کریمی: دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام[1]
Email: Ilam_haji@yahoo.com

مهدی تازه: استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد
Email:Mehditazeh@gmail.com

چکیده

با توجه به اندازه‌گیری نقطه‌ای بارش و عدم پوشش تمام سطح حوزه‌ها، پیش‌بینی این نوع داده‌ها ضروری است. تکنیک‌های مختلفی جهت برآورد داده‌های بارندگی در نقاط فاقد داده وجود دارد. به طور کلی روش‌های زمین آماری در مقایسه با روش‌های آمار کلاسیک برای برآورد بارش دقیق‌تر هستند. در این راستا، میانگین بارش سالانه‌ی ۹۷ ایستگاه باران‌سنجی در استان ایلام در یک دوره آماری۲۳ ساله (سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۶۶) مورد بررسی قرارگرفت. پس از جمع‌آوری آمار و اطلاعات مربوطه، نقشه هم‌باران تهیه و آنالیز واریوگرام انجام شد. در این تحقیق سه نوع روش کریجینگ شامل کریجینگ معمولی، ساده و عام مورد استفاده قرارگرفت. برای ارزیابی انواع مدل‌ها از مربع میانگین ریشه خطا با خطای استاندارد استفاده شد. نتایج بدست‌آمده نشان داد که روش کریجینگ عام با پایین‌ترین میزان میانگین خطای برآورد (۰/۰۰۳) و مربع میانگین ریشه خطاء (۷۴/۹۷) بهترین روش برای درون‌یابی در این پژوهش می‌باشد. 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. در پایان مشاهده گردید که تغییر نمایی ارتفاع و بارش منطقه نشان می‌دهد که تا شعاع ۱۱۷/۴ کیلومتری، بین ایستگاه‌ها از نظر ارتفاع رابطه‌ی معناداری وجود دارد و پس از این فاصله، رابطه‌ی آنها به صورت تصادفی است.

کلید واژگان: کریجینگ، بارش سالیانه، زمین‌آمار، سیستم اطلاعات جغرافیایی، استان ایلام.

---

[1]. **نویسنده مسئول:** ایلام- دانشگاه ایلام- دانشکده کشاورزی- گروه منابع طبیعی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

مقدمه

داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی در یک محدوده جغرافیایی به صورت نقطه‌ای برداشت می-شوند که بایستی این داده‌ها به سطح تعمیم داده شود (Bazgeer et al, 2008: 139-147). تغییرات قابل ملاحظه‌ی 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 اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. دستیابی به توزیع مکانی بارش بر اساس داده‌های نقطه‌ای بارش که از ایستگاه‌های باران‌سنجی به دست می‌آیند، بر اساس دو روش درون‌یابی و برون‌یابی میسر می‌گردد. روش تخمین و برآورد میزان متغیر پیوسته را در مناطق نمونه‌گیری نشده در داخل ناحیه‌ای که مشاهدات نقطه‌ای پراکنده شده‌اند را درونیابی می‌گویند (قهرودی تالی، ۱۳۸۴: ۱۷۳). اگر چه امروزه روش‌های درونیابی متعددی از جمله روش‌های پلیگون تیسن، روش‌های میانیابی IDW، Spiline، Kriging و . . . جهت تهیه نقشه‌های همبارش از روی داده‌های نقطه‌ای ایستگاه‌ها ارائه شده است (Goovaerts, 2000: 113-129)، ولی انتخاب روش مناسب جهت تهیه نقشه‌های همباران از مسائل اساسی در تهیه این نوع نقشه‌ها است (Kieffer & Bois, 2002: 39-752). محققان زیادی بسیاری به مقایسه و ارزیابی روش های مختلف درون یابی پرداخته اند که نشان دهنده اهمیت موضوع در کاهش خطای ناشی از انتخاب روش می باشد. Igúzquiza در سال ۱۹۸۸، به منظور تخمین بارش حوزه‌ی آبخیز رود گودال هورس در اسپانیای شمالی، از روش‌های کلاسیک (سنتی)، تیسن و کریجینگ معمولی و کوکرجینگ و کریجینگ همراه با روند، استفاده شد. نتایج نشان دادند که کرجینگ همراه با روند نتیجه‌ای مناسب‌تر دارد. Cheng و همکاران (2008)، برای تخمین وایروگرام نشان دادند که بارش ساعتی از تغییرات مکانی بالاتری نسبت به بارش‌های سالانه برخوردار است.

میر موسوی و همکاران (۱۳۸۹)، در پژوهشی، سه روش کریجینگ ساده، معمولی، جهانی و توابع پایه شعاعی را برای برآورد میانگین بارندگی سالانه‌ی استان اصفهان مورد استفاده قرار دادند که روش کریجینگ معمولی با مدل دایره‌ای، مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی اطلاعات مقادیر میانگین بارندگی سالانه تعیین شد. پرهمت و ثقفیان (۱۳۸۲)، با استفاده از روش‌های تیسن، همبستگی، اسپیلاین، کریجینگ و کوکریجینگ به کمک GIS به بررسی توزیع مکانی بارش حوزه‌های مرکزی جنوب غربی زاگرس پرداخته و اعلام نمودند که مدل‌های اسپیلاین و همبستگی مناسب‌تر هستند. رحیمی بندر آبادی و مهدیان (۱۳۸۴)، برای برآورد بارندگی روزانه و ماهانه در حوزه دریای خزر سه روش کریجینگ معمولی، میانگین متحرک وزنی و اسپیلاین را مورد استفاده قرار داده و به نتیجه رسیدند که روش اسپیلاین مناسب‌ترین روش

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

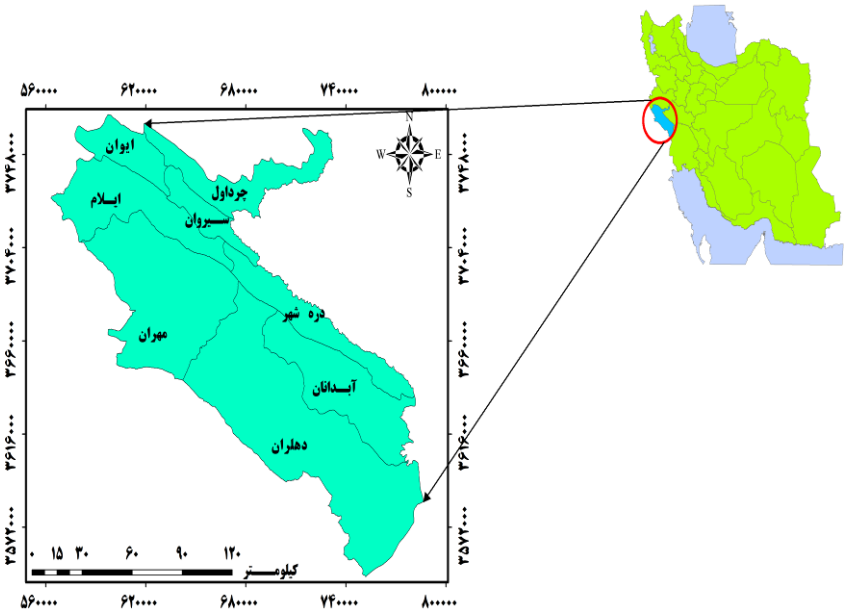
می باشد (رحیمی بندرآبادی و مهدیان، ۱۳۸۴، ۷۲-۶۳). در مطالعه دیگری که توسط شمس-الدینی (۱۳۷۹)، در استان‌های شمالی ایران انجام شد، تغییرات منطقه‌ای بارندگی با استفاده از روش کریجینگ محاسبه گردید.

هدف از این تحقیق ارزیابی و مقایسه سه روش کریجینگ شامل کریجینگ معمولی، ساده و عام جهت تهیه نقشه بارش سالیانه استان ایلام می‌باشد. جهت تهیه نقشه بارش سالیانه از نرم-افزارهای SPSS، ArcGIS9.3 و GS^{+} استفاده شده است.

مواد و روش ها

موقعیت منطقه

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

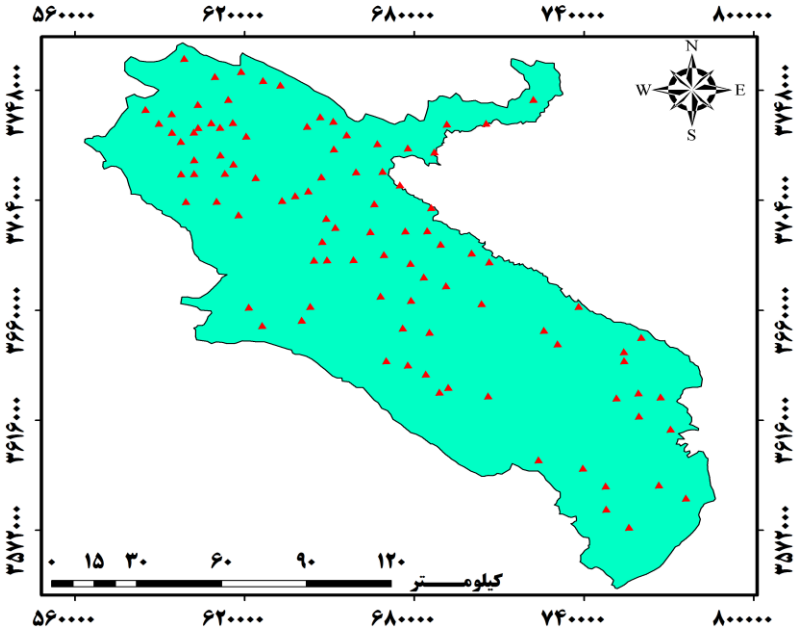


شکل (۱) موقعیت کشوری منطقه مورد مطالعه

در محدوده مورد مطالعه ۹۷ ایستگاه باران‌سنجی سازمان هواشناسی استان ایلام موجود و در

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

شکل۲ موقعیت پراکنش آنها نمایش داده شده‌است. داده‌های ناقص با استفاده از روش تفاضل‌ها و نسبت‌ها مورد بازسازی قرارگرفت. پس از بازسازی ایستگاه‌ها، برای اطمینان از کیفیت داده‌ها آزمون همگنی داده‌ها به روش ران‌تست و همچنین همگن بودن سری داده‌های ثبت‌شده، در محیط نرم‌افزار SPSS انجام شد.



شکل (۲) موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی

آزمون آماری

اولین گام در استفاده از روش‌های زمین آماری کریجینگ مقایسهٔ 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 پاک، ۱۳۸۶: ۳۸۰).

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

α و β به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌های تبدیل یافته‌اند. در این تحقیق ارزیابی نرمال

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

بودن داده‌ها در محیط نرم افزار SPSS صورت گرفت. داده‌های بارندگی مورد استفاده در این تحقیق دارای توزیع نرمال بودند، لذا تبدیلی روی آنها انجام نشد.

واریوگرام

برای تعیین میزان همبستگی مکانی یک متغیر در فواصل نمونه‌برداری شده و استخراج پارامترهای لازم در مراحل درونیابی از واریوگرام استفاده می‌شود (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۷-۵۵). واریوگرافی اولین قدم برای مدل‌سازی ساختار مکانی به منظور استفاده در کریجینگ است. واریوگرام از طریق رابطه‌ی زیر محاسبه می شود (Webster & Oliver , 2000: 271).

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

که در آن:

$\gamma(h)$: مقدار نیم‌تغییرنما برای جفت نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند.

n : تعداد زوج نقاطی است که به فاصله h از یکدیگر قرار دارند.

$z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه x.

$z(x_{i+h})$: مقدار مشاهده شده متغیری که به فاصله h از x قرار دارد.

در بسیاری از موارد، وقتی h به سمت صفر میل می‌کند، مقدار نیم‌تغییرنما صفر نمی‌شود. این مقدار که در واقع عرض از مبدأ منحنی نیم‌تغییرنما است، اثر قطعه‌ای نام دارد. دامنهٔ تأثیر، فاصله مکانی یا زمانی بین نمونه‌ها است که خارج از آن متغیر ناحیه‌ای در نقاط مجاور هم، تأثیر چندانی بر هم ندارند. این مقدار نسبتاً ثابت که تغییرات آن تصادفی است، آستانه نام دارد و مقدار آن برابر مجموع اثر قطعه‌ای C_0 و بخش ساختاردار نیم‌تغییرنما C است. روش‌های متفاوتی برای برآورد متغیرهایی که تغییرات زمانی و مکانی دارند، وجود دارد. تفاوت این روش-ها فاکتور وزنی است که به نقاط مشاهده شده اطراف نقطه مورد برآورد داده می‌شود.

برای محاسبه‌ی ضرایب کریجینگ که یک تخمین‌گر زمین آماری است، به محاسبه‌ی 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 پاک، ۱۳۸۶؛ ذبیحی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۱۲-۱۰۱).

- **مدل خطی:** معادله مدل خطی از رابطه زیر بدست می‌آید.

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

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

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

- **مدل نمایی:**

این مدل نیز مانند مدل کروی از مبدأ مختصات شروع شده و در نزدیکی مبدأ رفتار خطی دارد و شیب آهنگ صعود آن آرامتر از مدل کروی است و در عمل هیچ‌گاه به حد آستانه‌ای یا سقف معینی نمی‌رسد. معادله واریوگرام مدل نمایی بصورت زیر است:

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

- **مدل گوسین:**

این مدل از مبدأ گذشته ولی در نزدیکی مبدأ بجای رفتار خطی، برخلاف مدل‌های کروی و نمایی، رفتار سهمی‌گون دارد. معادله این مدل بصورت زیر است:

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

- **مدل کروی:**

این مدل از مبدأ مختصات شروع شده و در نزدیکی مبدأ رفتار خطی دارد. با افزایش h منحنی بسرعت بسمت مقادیر بیشتر $y(h)$ صعود می کند، آنگاه بتدریج از شیب آن کم می‌شود و در فاصله معینی به سقف خود می‌رسد و در همین مقدار باقی می‌ماند. معادله کلی واریوگرام مدل کروی بصورت زیر است.

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

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

روش زمین آماری کریجینگ

یکی از روش‌های پیشرفته زمین آمار است که بر اساس تحلیل نیم تغییرنما[1] استوار می‌باشد. نیم تغییرنما یکی از روش‌های محاسبه تغییرات مکانی است که هدف اصلی از برقرار کردن تابع آن، شناسایی ساختار تغییرپذیری متغیر نسبت به فاصله مکانی می‌باشد. کلید اساسی در کریجینگ نیم تغییرنما 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 می شود (علوی پناه و همکاران، ۱۳۸۷:

[1] Semi-Variogram

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

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

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

Z_{vi}^*: میزان داده برآورد شده.

که در این فرمول w_i مجموعه‌ای از وزن‌هاست، که به نحوی انتخاب می‌شوند تا Z_{vi}^* برآورد نااریب 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

Z_{vi}^*= مقدار برآورد شده متغیر Z در نقطه xi

n= تعداد نقاط

D= فاصله هر یک از نقاط

در این تحقیق ازسه روش کریجینگ بر اساس ساختار مکانی شامل کریجینگ معمولی[1]، ساده[2] و عام[3] استفاده شده است.

کریجینگ معمولی:

با فرض غلبه‌ی مؤلفه‌ی همبستگی مکانی و به کارگیری مستقیم نیمه پراش‌نگار، ارزش مقداری (z) در یک نقطه مثل z_o به شکل $z_0 = \sum w_x z_x$ است.

وزن‌ها از حل مجموعه‌ای از معادلات همزمان و با حداقل کردن واریانس $\mathrm{var}\{\sum w_t z(x_t,y_i) - z(x_0,y_0)\}$ به دست می‌آید. برای مثال به منظور برآورد ارزش نقطه z_o بر اساس نقاط معلوم (۱، ۲، ۳) می‌بایست معادلات زیر را حل نمود (Cressie, 1993).

$$w_1 y(h_{11}) + w_2 y(h_{12}) + w_1 y(h_{13}) + \lambda = y(h_{10})$$

1. Ordinary Kriging
2. Simple Kriging
3. Universal Kriging

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

$$w_1 y(h_{21}) + w_2 y(h_{22}) + w_3 y(h_{23}) + \lambda = y(h_{20})$$
$$w_1 y(h_{31}) + w_2 y(h_{32}) + w_3 y(h_{33}) + \lambda = y(h_{30})$$
$$w_1 + w_2 + w_3 + 0 = 1$$

در اینجا $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$ و $y(h)$ نیمه پراش نگار بین نقطه های معلوم i و j و $y(h_i, 0)$ نیمه پراش نگار بین i اُمین نقطه معلوم و نقطه‌ای که باید برآورد نمود، می‌باشد. شایان یادآوری است که این مقادیر از مدل برازش یافته بر پراش‌نگاری تجربی قابل دستیابی است. ضریب لاگرانژ است که برای به حداقل رساندن خطای برآورد محتمل اضافه می‌شود (برای آشنایی با نحوه محاسبه ضریب لاگرانژ به مدنی (۱۳۷۳) صفحه ۴۹۸ – ۴۹۲ مراجعه کنید) (عساکره، ۱۳۸۷: ۵۲-۴۲). شکل کلی معادلات فوق به صورت زیر است:

$$\sum_{i=1}^{n} w_i y\ (h_{i,j}\ (+\lambda = y\ (h_i, 0)\ ,\ j = 1, \ldots, n$$

$$\begin{vmatrix} r(h_{11}) & r(h_{12}) & r(h_{13}) & 1 \\ r(h_{21}) & r(h_{22}) & r(h_{22}) & 1 \\ r(h_{31}) & r(h_{32}) & r(h_{33}) & \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

معادلات مربوط به مثال بالا را می‌توان به شکل ماتریس زیر بازنویسی نمود:

$$\begin{bmatrix} w1 \\ W2 \\ W3 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r(h10) \\ r(h20) \\ r(h30) \\ 1 \end{bmatrix}$$

بنابراین برای برآورد ارزش نقطه صفر (z_o) معادله ی زیر حاصل می‌شود (عساکره، ۱۳۸۷: ۵۲-۴۲).

$$z_o = w_1 z_1 + w_3 z_3 + w_3 z_3$$

کریجینگ ساده

در این روش علاوه بر فرض مستقل بودن میانگین مختصات و عدم روند فرض دیگر این است که مقدار میانگین جامعه مشخص است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

کریجینگ عام

فرمول کلی کریجینگ عام به صورت زیر است:

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon'(x)$$

در این رابطه، Z (x): تغییرات فضایی متغیر x $m(x)$: مؤلفه‌ی همبستگی فضائی $\varepsilon'(x)$: متغیر ناحیه‌ای می‌باشد.

m (x) در این معادله تابع مختصات جغرافیایی نقاط است. برای محاسبه m (x) رابطه زیر قابل استفاده است:

$$m(x) = \sum_{n=1}^{N} an.pn(x)$$

در این معادله، an: روند محلی pn: معادله روند x: بردار دو بعدی عام نشان داده شده است.

معیارهای ارزیابی و انتخاب بهترین مدل

در این تحقیق بعد از انتخاب مدل واریوگرام و درونیابی انجام شده توسط روش‌های مورد بررسی، 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: ۶۷-۵۵). که در روش اول یک منطقه تعلیمی (Training) و یک منطقه آزمایش انتخاب می‌شود. در ابتدا برای منطقه تعلیمی رابطه‌ی درونیابی به دست می‌آید، سپس برای منطقه آزمایش به کار می‌رود و میزان دقت برآورد محاسبه می گردد (Johnston, 2000). معیارهای ارزیابی استفاده شده در این مطالعه بر اساس پارامترهایی از قبیل ME، RMSE، ASE و MSE تعریف می‌شوند. مهمترین معیار برای ارزیابی تخمین، مقدار مجذور میانگین مربع خطا (RMSE) می‌باشد، (ME) میانگین خطاها یا میانگین اختلاف بین مقدار تخمین زده شده $z^*(x_i)$ و مقدار مشاهده شده $z(x_i)$ در نقطه i ام می‌باشد و می‌تواند بوسیله‌ی معادله زیر محاسبه شود.

$$ME = E\left[Z_i^* - Z_i\right]$$

RMSE: مجذور میانگین مربع خطا است و بصورت معادله زیر محاسبه شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum\left(Z_i^* - Z_i\right)^2}{n}}$$

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

که n تعداد مشاهدات می‌باشد.

ASE: میانگین خطای استاندارد است که می‌تواند برای کریجینگ ساده و معمولی براساس معادله زیر محاسبه شود.

$$\sigma_{ok}(x_0) = \sqrt{C_0 + (1-\pi)C_0 - \lambda C - \mu}$$

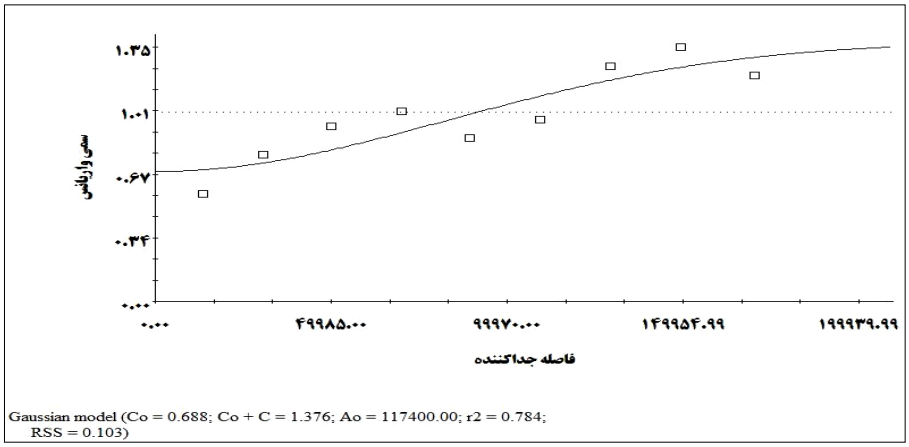
MSE: میانگین استاندارد شده خطا است که بصورت معادله زیر تعیین می‌شود.

$$MSE = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n-1} \frac{Z_i^* - Z_i}{\text{Standard error}}\right)}{n-1}$$

یافته‌های تحقیق

در این تحقیق برای نشان دادن همبستگی مکانی بین داده بارش از ترسیم واریوگرام استفاده شد که نتایج در جدول (۱) 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 (C_o+C) (حبشی و همکاران، ۱۳۸۵، ۲۰-۱۱). 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، به همین دلیل از این نسبت برای انتخاب بهترین واریوگرام استفاده گردید (خداکرمی و همکاران، ۱۳۹۰: ۸۹-۷۹). با توجه به پارامترهای به دست آمده برای واریوگرام‌های برازش شده واریوگرام گوسین با میزان ۰/۵ بهترین همبستگی بین داده‌ها را مدل کرده و برای درونیابی استفاده گردید. بعد از واریوگرام گوسین، واریوگرام‌های خطی، کروی و نمایی به ترتیب با میزان ۰/۵۲، ۰/۶۵ و ۰/۷۷ قرار دارند. در شکل (۳) واریوگرام گوسین به کار رفته شده برای برازش داده‌ها آمده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل (۳) واریوگرام گوسین برازش داده شده به داده ها

جدول (۱) پارامترهای تأثیر قطعه‌ای و سقف ورایوگرام به دست آمده برای واریوگرام های برازش شده

نوع مدل	Coاثر قطعه (mm^2)	Co+Cاثر آستانه (mm^2)	Co/Co+C	Aoعامل فاصله (km)	RSS مجموع ترکبیات (mm^2)
خطی	۰/۶۲	۱/۳۱	۰/۵۲	۱۷۰/۱۲۲	۰/۰۹۴
نمایی	۰/۵۹	۲/۵۸	۰/۷۷	۳۸۸/۵۰۰	۰/۰۸۹
گوسین	۰/۶۸	۱/۳۷	۰/۵	۱۱۷/۴۰۰	۰/۱۰
کروی	۰/۶۱	۱/۷۵	۰/۶۵	۳۹۴/۸۰۰	۰/۰۹۲

به طورکلی اگر برآورد داده‌ها بدون انحراف باشد میانگین خطای برآورد به صفر نزدیک‌تر می‌شود و هر چه فاصله بیشتر شود میزان انحراف در درونیابی نیز بیشتر می‌شود. البته این وابسته به مقیاس داده‌های اندازه‌گیری شده است (Irvem et al., 2007: 30-37). همچنین این امر در مورد میانگین استاندارد خطای برآورد شده نیز صدق می‌کند. از طرف دیگر نیز پایین-ترین مربع میانگین ریشه خطاء بهترین برآورد را خواهد داشت.

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: 1129-1140؛ شعبانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۷-۵۵). با مقایسه مربع میانگین ریشه خطاء با میانگین خطاء در داده‌های به دست آمده از صحت‌یابی سرتاسری در کریجینگ

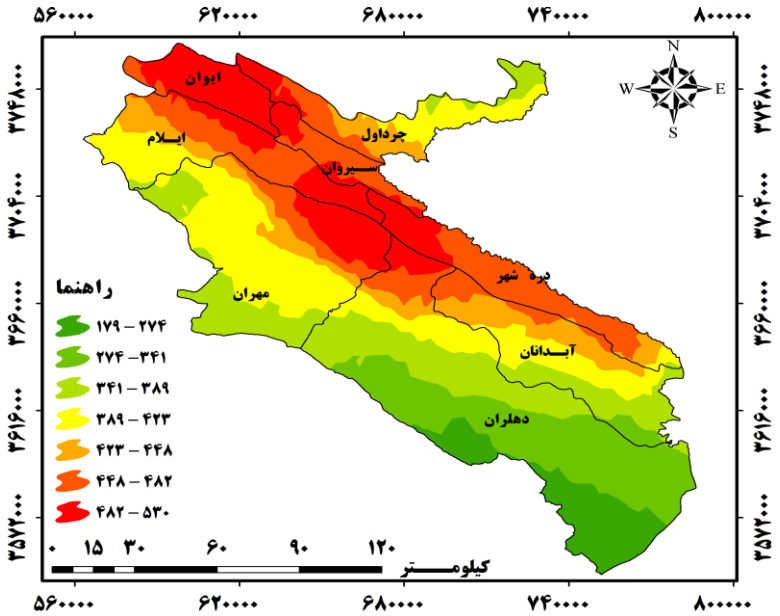
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

معمولی (۸۱/۶۵<۱۰۳/۵۹۵)، کریجینگ ساده (۸۱/۳۱<۸۸/۷۸) و در کریجینگ عام (۷۴/۹۷<۹۳/۹۵) برآورد بیش از حد انتظار است.

همانطور که در نتایج ارزیابی دقت روش‌های مورد بررسی آمده است (جدول۲)، روش کریجینگ عام با پایین‌ترین میزان میانگین استاندارد خطای برآورد (۰/۰۰۳) و مربع میانگین ریشه خطاء (۷۴/۹۷) بهترین روش برای درون‌یابی در این پژوهش ارزیابی شد. در نهایت با استفاده از روش آماری کرجینگ عام و واریوگرام گوسین به کار رفته در این تحقیق نقشه توزیع بارش به روش کریجینگ عام تهیه گردید (شکل ۴). با توجه به تعداد بالای ایستگاه‌های موجود در منطقه و نحوه توزیع مناسب آنها، شاهد نقشه‌ی پهنه‌بندی کاملی از منطقه هستیم.

جدول (۲) نتایج حاصل از صحت‌سنجی سرتاسری برای سه واریوگرام کرجینگ

نوع مدل	میانگین خطاء برآورد (ME)	مربع میانگین ریشه خطاء برآورد (RMS)	معدل خطاء استاندارد، خطای برآورد (ASE)	میانگین استاندارد شده خطاء برآورد (MSE)	مربع میانگین ریشه خطاء برآورد استاندارد (RMSE)
کریجینگ معمولی	۱/۲۰	۸۱/۶۵	۱۰۳/۵	۰/۰۰۹	۰/۸۰
کریجینگ ساده	۹/۵۹	۷۸/۹۵	۹۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۸۷
کریجینگ عام	۰/۶۳	۷۴/۹۷	۹۳/۹۵	۰/۰۰۳	۰/۷۹



شکل (۴) توزیع بارش سالیانه با استفاده از روش کریجینگ عام (برحسب میلی متر)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

نتیجه‌گیری

استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی می‌تواند 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 بر روی نقشه ها 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 مکانی و جغرافیایی پدیده‌ها تحلیل نمود. مدل کریجینگ از دقیق‌ترین مدل‌هایی است که در تهیه نقشه‌های هم ارزش به کار می‌رود. به دلیل اینکه این مدل فاقد خطای سیتماتیک است و در تخمین‌ها دارای حداقل واریانس می‌باشد، جایگاه ویژه‌ای در درون‌یابی به دست آورده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که بارندگی سالانه به روش کریجینگ عام، بهترین دقت را دارد و تغییرات بارندگی سالانه بیشتر از این مدل تبعبت می‌کند. با بکارگیری نسبت اثر قطعه‌ای بر سقف واریوگرام مشخص شد واریوگرام گوسین با میزان ۰/۵ دارای همبستگی مکانی متوسطی بین داده‌ها می‌باشد. همچنین روش کریجینگ عام با پایین‌ترین میزان میانگین استاندارد خطای برآورد (۰/۰۰۳) و مربع میانگین ریشه خطاء (۷۴/۹۷) بهترین مدل برای درونیابی داده‌ها در این پژوهش ارزیابی شد. با استفاده از داده‌های کل منطقه، تغییر نمایی ارتفاع و بارش منطقه نشان می‌دهد که تا شعاع ۱۱۷/۴ کیلومتری، بین ایستگاه‌ها از نظر ارتفاع رابطه‌ی معناداری وجود دارد و پس از این فاصله، رابطه‌ی آنها به صورت تصادفی است. بررسی شکل توزیع بارندگی به روش گوسین حکایت از این دارد که به ترتیب بخش دهلران در قسمت جنوب به مقدار۲۷۴ میلی متر، بخش های آبدانان و دره شهر در شمال به مقدار۴۲۳ میلی‌متر و بخش‌های ایلام و ایوان در جنوب غربی استان به مقدار۵۳۰ میلی‌متر بارش را در طی دوره ۲۳ ساله در یافت کرده اند.

با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق می‌توان گفت به منظور جمع‌آوری اطلاعات صحیح و دقیق برای استفاده در تجزیه و تحلیل‌های آماری، شایسته است نسبت به توسعه‌ی شبکه‌ی باران‌سنجی با استفاده از روش‌های زمین آماری در مناطق مختلف اقدام شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

منابع و ماخذ

۱. پرهمت، جهانگیر، ثقفیان، بهرام (۱۳۸۲). **ارزیابی مدل‌های درون‌یابی و برون‌یابی در تعیین توزیع مکانی بارش روزانه و سالانه در حوضه‌های کوهستانی،** ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران. ۱۵ تا ۱۷ اردیبهشت ماه، ص ۹۶-۸۹.

۲. حبشی، هاشم. حسنی، سید محسن. محمدی، جهانگرد. رحمانی، ر (۱۳۸۵). **کاربرد زمین آمار در مطالعات خاک‌های مناطق جنگلی،** مجلهٔ علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۴(۱): ۲۰-۱۱.

۳. حسنی‌پاک، علی‌اصغر (۱۳۸۶). **زمین آمار**. دانشگاه تهران.۳۸۰ ص.

۴. خداکرمی، لقمان، سفیانیان، علیرضا، محمدی، توفیق الهه، میرغفاری، نوراله (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): ۸۹-۷۹.

۵. ذبیحی، علی‌رضا، سلیمانی، کریم، شعبانی، مرتضی، آبروش، صادق (۱۳۹۰). **بررسی توزیع مکانی بارش سالانه با استفاده از روش‌های زمین آماری (مطالعه ی موردی: استان قم)،** پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۸: ۱۱۲-۱۰۱.

۶. رحیمی بندر آبادی، سیما، مهدیان، محمد حسین (۱۳۸۴). **بررسی روش‌های توزیع مکانی بارندگی روزانه و ماهانه در حوضه دریای خزر،** مجله پژوهش و سازندگی، ۶۹: ۶۳-۷۲.

۷. شعبانی، افشین، متین‌فر، حمیدرضا، آرخی، صالح، رحیمی هرآبادی، سعید (۱۳۹۰). **مدلینگ فاکتور فرسایندگی باران با استفاده از روش زمین آمار (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبخیز سد ایلام)،** مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ۲ (۲): ۵۵-۶۷.

۸. شمس الدینی، علی (۱۳۷۹). **تغییرات منطقه‌ای بارندگی با استفاده از روش کریجینگ در استان‌های شمالی،** سمینار کارشناسی ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۹. عساکره، حسین (۱۳۷۸). **کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش،** جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲: ۵۲-۴۳.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

۱۰.علوی‌پناه، سید کاظم. متین فر، حمید رضا. رفیعی امام، عمار (۱۳۸۷). **کاربرد فناوری اطلاعات در علوم زمین**، انتشارت دانشگاه تهران، چاپ اول، ۴۵۷ ص.

۱۱. قهرودی تالی، م (۱۳۸۴). **سیستم اطلاعات جغرافیایی در محیط سه بعدی**، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تربیت معلم، شماره ۴۹، ص ۱۷۳.

۱۲.مدنی، حسن (۱۳۷۳). **مبانی زمین آمار**، انتشارات دانشگاه امیرکبیر.

۱۳.میر موسوی، سید حسین. مزیدی، احمد. خسروی، یونس (۱۳۸۹). **تعیین بهترین روش زمین آمار جهت تخمین توزیع بارندگی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: استان اصفهان)**، مجله علمی – پژوهشی فضایی جغرافیایی، ۱۰ (۳۰): ۱۲۰- ۱۰۵.

Bazgeer, S., P.Sharma, R.K. KMahey, S.S. Hundal, and A. Sood, (2008). ***Assessment of land use changes using remote sensing and GIS and their implications on climatic variability for Balachaur watershed in Punjab***, India. DESERT: 139-147.

Cheng, K., Sh. Lin, and J.J. Liou, (2008). ***Rain-gauge network evaluation and augmentation using geostatistics***. Hydrol. Proc. 22: 2554-2564.

Cressie, N.O.A., (1993). ***Statistics for spatial data***. Second revised edition. New York: JohnWiley and Sons.

Goovaerts, P. (2000). ***Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall***, J. Hydrol, 228, 113- 129.

Igúzquiza, E.P, (1998). ***Comparison of geostatistical methods for estimating the area average climatological rainfall mean using data on precipitation and topography***. Inter. J. Climat. 8 (9): 1031– 1047.

Irvem, A., F. Topaloglu, and V. Uygur, (2007). ***Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey***. Journal of Hydrology. 336, 30- 37.

Johnston, K. J., (2000). ***Using ArcGIS geostatistics analyst***. New York: ESRI. KOULI, equation (RUSLE) in a catchment of Sicily (southern Italy). Environ Geol. 50, 1129- 1140.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

Kieffer Weisse, A. and P. Bois, (2002). ***A comparison of methods for mapping statistical characteristics of heavy rainfall in the French Alps: The use of daily information,*** Hydrologicai Sciences- Journal-des Sciences Hydrologiques, 47(5), 739- 752.

Mirmousavi, S.H., A. Mazidi, and Y. Khosravi, (2010). ***The Determination of Optimum Geostatistics Method for Estimating Precipitation Distribution Using GIS (Case Study of Esfahan Province)***, Geographic Space, No.10, 105-120.

Webster, R. and M.A. Oliver, (2000). ***Geostatistics forenvironmental scientists***, Wiley press, 271 pp.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]