

بررسی توزیع مکانی بارش سالانه با استفاده از روش‌های زمین آماری (مطالعه‌ی موردی: استان قم)

علیرضا ذبیحی* - کارشناس ارشد مرتع‌داری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری
کریم سلیمانی - استاد مرکز سنجش از دور دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری
مرتضی شعبانی - کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه پیام نور، ساری
صادق آبروش - کارشناس جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۱۱/۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۰/۱۱/۱۰

چکیده

در بسیاری از مطالعات و بررسی‌های منابع طبیعی و کشاورزی، به دلیل عدم پوشش کامل ایستگاه‌های اندازه‌گیری نقطه‌ای باران، برآورد بارش منطقه‌ای یا تخمین بارش در مناطق خشک میان ایستگاه‌ها ضروری است. بنابراین، آگاهی از میزان متوسط بارندگی در یک حوضه‌ی آبخیز، از عوامل اساسی در هیدرولوژی و طراحی سازه است. روش‌های مختلفی برای برآورد بارش وجود دارد که از جمله‌ی آن می‌توان به روش‌های میان‌یابی اشاره کرد. در بیشتر موارد، یکی از روش‌های موجود دلخواه کارشناس انتخاب و مورد استفاده قرار می‌گیرد که ممکن است برآورد دقیقی نباشد. هدف از این پژوهش، مشخص کردن توزیع مکانی بارش سالانه‌ی حوضه‌ی آبخیز قم با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و مقایسه‌ی روش‌های موصوف با یکدیگر است. برای این کار، پس از جمع‌آوری آمار و اطلاعات مربوطه و وارد کردن آنها در محیط نرم‌افزار GS+ و GIS ARC نسخه‌ی ۱۰، نقشه‌ی هم‌باران تهیه و آنالیز واریوگرام منطقه‌ی مورد مطالعه انجام شد. سپس برای ارزیابی روش‌های میان‌یابی از روش ارزیابی متقابل و دو عامل MAE و MBE استفاده شد. در این مطالعه، دو روش زمین‌آمار کریگینگ و عکس فاصله با توان‌های (۱ تا ۳) برای برآورد بارش سالانه با استفاده از آمار سسی سه‌ساله ایستگاه‌های باران سنجی در استان قم و اطراف آن مورد ارزیابی قرار گرفتند و برای ارزیابی دو روش فوق نیز، از معیار میانگین خطای مطلق (MAE) استفاده شد. نتایج این ارزیابی نشان داد که تغییرات بارندگی سالانه، بیشتر از مدل گوسی تبعیت می‌کند. در محدوده‌ی مورد مطالعه، روش کریگینگ با MAE برابر ۳۰/۲۲ میلی‌متر، مناسب‌ترین روش تخمین بارندگی سالانه است و روش عکس فاصله به توان یک با MAE برابر ۳۲/۲۳ میلی‌متر و عکس فاصله به توان دو با MAE برابر ۳۳/۵۵ میلی‌متر و عکس فاصله به توان سه با MAE برابر ۳۵/۱ میلی‌متر در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.

کلیدواژه‌ها: زمین‌آمار، میان‌یابی، بارندگی، کریگینگ و عکس فاصله.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل مورد استفاده در مطالعات منابع طبیعی، میزان متوسط بارش و بیشتر متوسط بارش منطقه‌ای است. روش‌های مختلفی برای برآورد میزان بارش وجود دارد که از جمله‌ی آن می‌توان به روش‌های زمین‌آماري^۱ اشاره کرد. روش‌های زمین‌آماري، به دلیل در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها، اهمیت زیادی دارند. می‌توان موقعیت مکانی نمونه‌ها را همراه با مقدار کمیت مورد نظر، یک جا مورد تحلیل قرار داد. به گفته‌ی دیگر، باید بتوان بین مقادیر مختلف یک کمیت در جامعه و فاصله‌ی نمونه‌ها و جهت قرارگیری آنها نسبت به هم ارتباط برقرار کرد. این ارتباط مکانی (فاصله‌ای و جمعی) بین مقدار یک کمیت در جامعه‌ی نمونه‌های برداشت شده ممکن است در قالب‌های ریاضی قابل بیان باشد. به این قالب‌های ریاضی ساختار مکانی گفته می‌شود.

کاربرد روش‌های زمین‌آماري در مطالعات معادن آغاز شد. لکرک و اسپچاک^۲ (۱۹۷۲) براساس آمار اداره‌ی هواشناسی آمریکا، رابطه‌ای را برای تبدیل بارندگی نقطه‌ای به متوسط بارندگی در یک سطح منحنی ارائه دادند. وانکولنبر^۳ و همکاران (۱۹۸۲) برای تعیین ظرفیت رطوبت خاک در هلند، روش‌های میانگین وزنی و کریگینگ را مقایسه و نتیجه‌گیری کردند که روش کریگینگ برتری دارد. توبیس^۴ (۱۹۸۵) روش کریگینگ را در توزیع بارش سالانه در ایالت‌های واقع در بخش قاره‌های شمال مرکزی ایالات متحده‌ی آمریکا، برای ۲۹ ایستگاه باران‌سنجی مناسب تشخیص داد. پولمن^۵ (۱۹۹۳) نشان داد که استفاده از روش کریگینگ و آنالیز تغییر نما برای میان‌یابی داده‌ها و طراحی شبکه‌ها در مطالعات محیطی مفید است. عقیقی^۶ (۱۹۹۵) تحلیل منحنی‌های عمق، سطح و تداوم را در منطقه‌ی جاجرود، تهران و کرج مورد بررسی قرار داد و نتیجه‌گیری کرد که بیشتر حجم توده‌های هوا در همان سه روز اول ریزش می‌کنند. نالدرو وین^۷ (۱۹۹۸) روش‌های کوکریگینگ، کریگینگ عمومی، نزدیک‌ترین همسایه، عکس مجذور فاصله همراه با گرادیان (GIDS) را با هدف بررسی توزیع مکانی بارندگی و دمای ماهانه در جنگل‌های شمالی کانادا بررسی کرده که نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روش (GIDS) با خطای متوسط ۰/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد برای دمای ماهانه و ۳۶ میلی‌متر برای بارندگی ماهانه از روش‌های دیگر مناسب‌تر است. در این پژوهش، دو روش کریگینگ و عکس فاصله با توان‌های ۱ الی ۳ برای برآورد بارندگی سالانه در منطقه، مورد بررسی قرار گرفته است. پریس^۸ و همکاران (۲۰۰۰) برای میان‌یابی مکانی دما و بارندگی ماهانه و سالانه در غرب و شرق کانادا دو روش TPSS و GIDS را بررسی کردند. مقدار ریشه‌ی میانگین مجذور خطا (RMSE)^۹ از روش اسپیلاین صفحه نازک (TPSS)^{۱۰} در هر دو ناحیه کمتر از روش

1. Geostatistics
2. Leclerc&Schaake
3. Vankuilenber
4. Tobies
5. Pohlman
6. Aghighi
7. Nalder & Wein
8. Price
9. Root Mean Square Error
10. Thin Plat Smoothing Splines

GIDS بود. البته هر دو روش در نواحی شرقی (ایالات آنتاریو و کبک) که تغییرات توپوگرافی و اقلیمی ملایم‌تری دارند، نتایج بهتری نسبت به نواحی غربی ارائه کردند. گواتز^۱ (۲۰۰۰) روش‌های کریگینگ ساده و کریگینگ با روند خارجی و کوکریگینگ را برای بارندگی سالانه و دمای ۳۶ ایستگاه کلیماتولوژی، در ناحیه‌ای در پرتغال بررسی کرد. در مطالعه‌ی وی، پس از مقایسه‌ی این سه روش با روش‌های عکس مجذور فاصله، رگرسیون خطی با ارتفاع، تیسن و کریگینگ معمولی با استفاده از روش ارزیابی متقابل^۲، روش کریگینگ ساده، مناسب‌ترین روش شناخته شد. احمدی^۳ (۲۰۰۱) به بررسی منحنی‌های عمق و سطح، تداوم بارندگی در استان کرمانشاه پرداخته است. هارگرو^۴ (۲۰۰۱) از روش اسپیلاین با کشش^۵ و اسپیلاین با سطح صاف^۶ برای برآورد بارندگی در سوئیس استفاده کرد. برآوردها با استفاده از متغیر کمکی ارتفاع و بدون آن انجام شد که هر دو نتایج مشابهی ارائه کردند. مهدیان^۷ (۲۰۰۲) نشان داد که روش اسپیلاین و روش کریگینگ برای برآورد بارندگی و درجه‌حرارت کل کشور در سه اقلیم خشک، نیمه‌خشک و مرطوب نسبت به روش‌های دیگر برتر است. نتایج به‌دست آمده از پژوهش مهدوی و همکاران (۲۰۰۴) نشان می‌دهد که روش TPSS با متغیر کمکی ارتفاع (MAE برابر ۱۳-۳۸ میلی‌متر) مناسب‌ترین روش تخمین بارندگی سالانه است. روش کریگینگ (با MAE برابر ۲۹-۵۰ میلی‌متر) و روش WMA با توان دو (با MAE برابر ۲۶-۵۷ میلی‌متر) در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. سلیمانی^۸ و همکاران، (۲۰۰۶) با تحلیل منحنی‌های عمق، سطح و تداوم بارندگی (D.A.D) در مناطق خشک و نیمه‌خشک کفه نمک سیرجان، نتیجه‌گیری کردند که روش کریگینگ در تعیین متوسط بارندگی بر روش عکس فاصله برتری دارد. میرموسوی و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی، سه روش کریگینگ ساده، معمولی، جهانی^۹ و توابع پایه شعاعی را برای برآورد میانگین بارندگی سالانه‌ی استان اصفهان مورد استفاده قرار دادند که روش کریگینگ معمولی با مدل دایره‌ای، مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی اطلاعات مقادیر میانگین بارندگی سالانه تعیین شد. در این پژوهش، دو روش کریگینگ و عکس فاصله با توان‌های یک الی سه برای برآورد بارندگی سالانه در استان قم مورد بررسی قرار گرفته است.

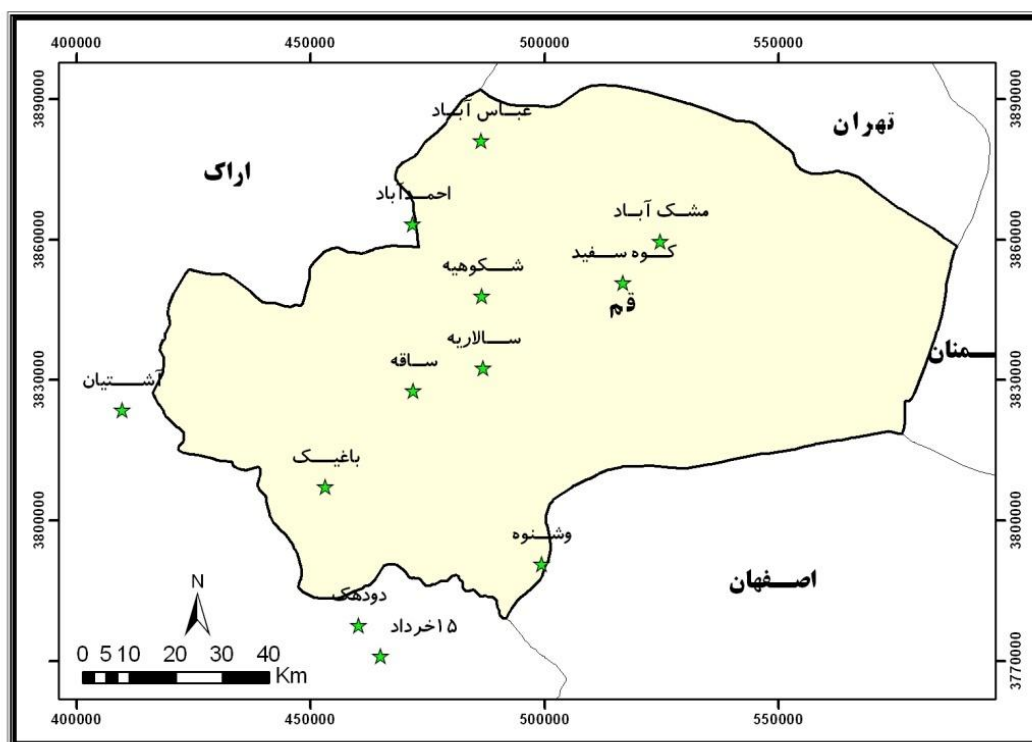
مواد و روش‌ها

الف) منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش، استان قم با وسعت حدود ۱۱۲۳۸۰۰ هکتار است. این استان که جزئی از حوزه‌ی آبخیز دریاچه‌ی نمک بوده، در محدوده‌ی جغرافیایی "۳۰° ۳' ۳۰" تا "۵۱° ۵۵' ۲۰" طول شرقی و "۳۴° ۳' ۳۰" تا "۳۵° ۲۳' ۳۰" عرض شمالی واقع شده است.

1. Goovaerts
2. Cross validation
3. Ahmadi
4. Hargrove
5. Spilne with Tension
6. Spilne with Smooth
7. Mahdian
8. Solaimani
9. Universal

در این محدوده ۱۲ ایستگاه باران‌سنجی مربوط به سازمان هواشناسی وجود دارد که نقاط شاهد بازرسی دقت اطلاعات به‌شمار می‌روند. در شکل شماره ۱، موقعیت جغرافیایی منطقه و پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی نمایش داده می‌شود که در محیط نرم‌افزار ArcGIS نسخه‌ی ۱۰ تولید شده است. پس از تعیین ایستگاه‌ها، آزمون همگنی داده‌ها به‌روش ران‌تست برای اطمینان از کیفیت داده‌ها و همچنین همگن بودن سری داده‌های ثبت‌شده، انجام شد و در موارد مورد نیاز، داده‌ها اصلاح شدند.



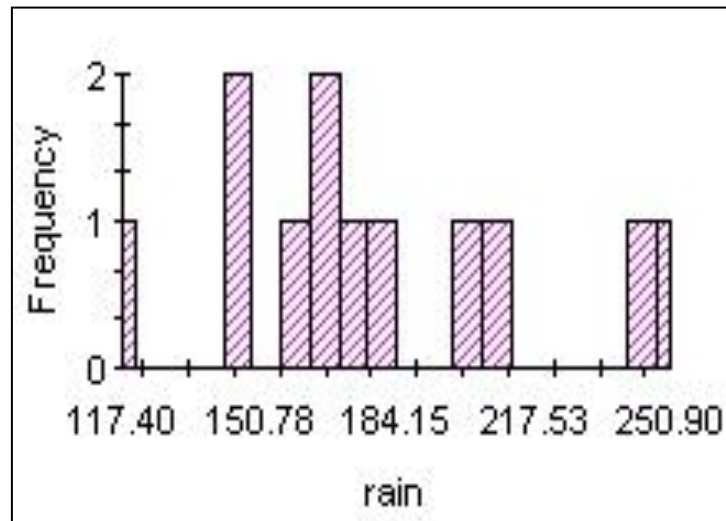
شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی

منبع: اداره‌ی کل هواشناسی استان قم

همچنین متوسط میزان بارندگی در منطقه‌ی مورد مطالعه، در دوره‌ی آماری ۳۰ ساله (سال‌های ۱۳۵۷-۱۳۸۷) از ۱۲ ایستگاه هواشناسی موجود و به‌روش درون‌یابی در نرم‌افزار GS⁺، براساس جدول شماره‌ی ۱ و شکل شماره‌ی ۲ به‌دست آمد و در پایگاه داده قرار گرفت.

جدول ۱. مشخصات بارندگی منطقه‌ی مورد مطالعه

انحراف معیار	حد اقل	حد اکثر	میانگین	بارندگی
۴۰/۶۳۹	۱۱۷/۴۰	۲۵۰/۹۰	۱۸۰/۰۳	بارش (میلی‌متر)



شکل ۲. نمودار هیستوگرام بارندگی سالانه

ب) آنالیز واریوگرام

یکی از روش‌های محاسبه‌ی تغییرات مکانی یک متغیر، روش نیم تغییرنما^۱ است. محاسبه‌ی منحنی نیم تغییرنما از مهم‌ترین عملیات زمین‌آمار است که می‌توان آن را با رابطه‌ی شماره‌ی ۱ محاسبه کرد.

$$\lambda(h) = \frac{1}{2(h)} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

$\lambda(h)$: مقدر واریوگرام (نیم تغییرنما) برای جفت نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند؛

$n(h)$: تعداد زوج نقاطی که به فاصله‌ی h از هم قرار دارند؛

$z(x_i)$: مقدار مشاهده‌ی متغیر x ؛

$z(x_i+h)$: مقدار مشاهده شده‌ی متغیری که به فاصله‌ی h از x قرار دارد.

تابع فوق نشان می‌دهد که برای محاسبه‌ی نیم تغییرنما، 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 می‌شود. بدین ترتیب با تکرار محاسبه در فاصله‌ی h ، می‌توان نموداری ترسیم کرد که محور افقی آن h و محور عمودی آن $\lambda(h)$ را نشان می‌دهد.

ج) روش و معیار ارزیابی

برای ارزیابی روش‌های میان‌یابی از روش ارزیابی متقابل و دو عامل آماری MAE ^۲ و MBE ^۳ استفاده شده است. MAE مشخص‌کننده‌ی خطای نتایج و MBE انحراف نتایج روش استفاده شده را نشان می‌دهد. در شرایطی که MAE و MBE برابر صفر هستند، نشان می‌دهد که روش استفاده شده واقعیت را خوب شبیه‌سازی می‌کند و با فاصله‌گرفتن از

1. Semi-variogram
2. Mean Absolute Error
3. Mean Bias Error

صفر، دقت کم یا زیاد شدن انحراف را نشان می‌دهد. روش محاسبه‌ی عوامل MAE و MBE در زیر دیده می‌شود.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - z(x_i)| \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - z(x_i)| \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

Z^* : مقدار برآوردشده‌ی متغیر مورد نظر؛

Z : مقدار اندازه‌گیری شده‌ی متغیر مورد نظر؛

n : تعداد داده‌ها؛

MAE: میانگین مطلق خطا (دقت)؛

MBE: میانگین خطای انحراف.

د) روش‌های میان‌یابی استفاده شده

۱- کریگینگ معمولی^۱

یکی از روش‌های مناسب و پیشرفته برای تحلیل فضایی و توزیع منطقه‌ای داده‌های مکانی، روش کریگینگ است. در این روش از میانگین وزنی برای توزیع متغیرها استفاده می‌شود. بدین گونه که هرچه متغیر به مبدأ نزدیک‌تر باشد، وزن آن بیشتر و هرچه فاصله‌ی نقاط دورتر باشد، وزن آن کمتر خواهد بود. مطلق بودن تخمین در درون‌یابی، از ویژگی‌های عمده‌ی روش کریگینگ است. بدین مفهوم که مقدار تخمین کمیت در نقاط نمونه‌برداری با مقدار اندازه‌گیری شده برابر است و واریانس تخمین صفر می‌شود. این ویژگی سبب می‌شود که تخمین‌گر کریگینگ در رسم خطوط هم‌ارزش از حداکثر نقاط نمونه‌برداری عبور کرده و تمایلی به بسته‌شدن و دور زدن نداشته باشد و از مرز محدوده‌ی مورد مطالعه فراتر رود. کریگینگ یک برآوردگر خطی مانند رابطه‌ی شماره‌ی ۴ است.

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n d_i \cdot z(x_i) \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

$Z^*(x_i)$: مقدار برآوردشده‌ی متغیر x ؛

$Z(x_i)$: مقدار مشاهده‌شده‌ی متغیر x ؛

d_i : مقدار وزنی نقاط مشاهده‌شده؛

n : تعداد کل مشاهده‌ای.

برای محاسبه‌ی ضرایب کریگینگ که یک تخمین‌گر زمین‌آماری است، به محاسبه‌ی مقدار واریوگرام نیازمندیم که بدین منظور از انواع مدل‌های خطی، کروی، نمایی و گوسی استفاده می‌شود و در زیر به شرح آنها پرداخته شده است (حسنی پاک^۲، ۱۹۹۸).

1. Ordinary Kriging

2. Hassanipak

• **مدل خطی:**^۱ معادله‌ی مدل خطی، به صورت رابطه‌ی شماره‌ی ۵ است:

$$\text{for } 0 < h \leq a \quad \gamma_{(h)} = c_0 + c \left\{ 1 - \frac{2}{N} \times \arccos\left(\frac{h}{a}\right) + \frac{2h}{\Pi a} \sqrt{1 - \frac{h^2}{a^2}} \right\} \quad (\text{رابطه‌ی ۵})$$

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

• **مدل نمایی:**^۲ معادله‌ی مدل نمایی، به صورت رابطه‌ی شماره‌ی ۶ است:

$$\gamma_{(h)} = c_0 + c \times \left(1 - e^{-\frac{h}{a}} \right) \quad (\text{رابطه‌ی ۶})$$

• **مدل گوسی:**^۳ معادله‌ی مدل گوسی، بر اساس رابطه‌ی شماره‌ی ۷ است:

$$\gamma_{(h)} = c_0 + c \times \left(1 - e^{-\left(\frac{h}{a}\right)^2} \right) \quad (\text{رابطه‌ی ۷})$$

• **مدل کروی:**^۴ رابطه‌ی شماره‌ی ۸، معادله‌ی مدل کروی را نشان می‌دهد.

$$\text{for } 0 < h \leq a \quad \gamma_{(h)} = c_0 + c \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) \quad (\text{رابطه‌ی ۸})$$

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

۲- عکس فاصله^۵

روش عکس فاصله یکی از روش‌هایی است که در مطالعات جغرافیایی کاربرد زیادی دارد. فرض اساسی این روش بر آن است که با افزایش فاصله، میزان تأثیر عوامل در برآورد واحد سطح کاهش می‌یابد. برای پیش‌بینی در مکان‌هایی که داده‌های آنها اندازه‌گیری نشده است، از مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی پیرامون محل استفاده می‌شود. در پیش‌بینی، عامل وزن بر اساس فاصله‌ی نقاط از یکدیگر تعیین می‌شود که به نقاط نزدیک محل نمونه، وزن بیشتر و به نقاط دورتر، وزن کمتر اختصاص می‌یابد. با استفاده از تابع زیر می‌توان مقادیر مربوط به نقاط مختلف را به دست آورد.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{z_i}{d_i^m}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^m}} \quad (\text{رابطه‌ی ۹})$$

که در آن:

Z_i : مقادیر نمونه؛

d_i : فاصله‌ی اقلیدسی هر مکان تا محل نمونه؛

m : عامل توان (اصطکاک فاصله)؛

n : تعداد نقاط نمونه.

1. Linear Model
2. Exponential Model
3. Gaussian Model
4. Spherical Model
5. Inverse Distance Weighting

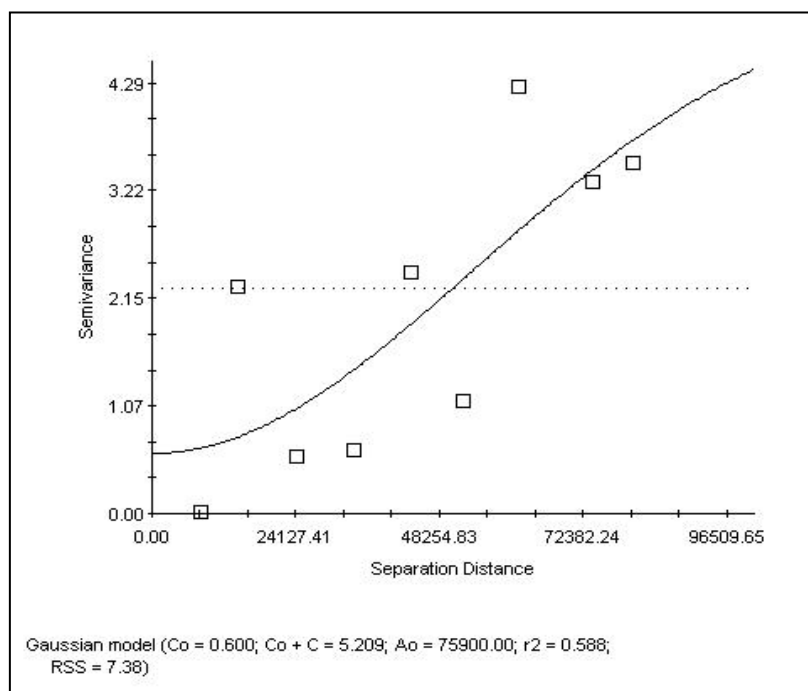
یافته‌های تحقیق

برای بررسی ساختار مکانی بارندگی سالانه، مقادیر نیم تغییرنمای تجربی داده‌ها محاسبه و منحنی مربوط به آن ترسیم و سپس یک مدل مناسب به این نقاط برازش شده (جدول شماره ۲).

جدول ۲. نتایج بررسی مدل‌های مختلف نیم تغییرنما در روش کریجینگ برای برآورد بارندگی

مدل	بارش به میلی‌متر	
	MAE	MBE
گوسی	۳۰/۲۳	۱۴/۱
خطی	۹۳/۲۴	۲۴/۶
نمایی	۳۲/۵	۸/۸
کروی	۳۵/۱۲	۱۱/۸۲

با استفاده از داده‌های کل منطقه، تغییرنمای تجربی بارش منطقه در شکل شماره ۳ آورده شده است. در جدول شماره ۳، عوامل مربوط به مدل‌های برازش شده با ساختار فضایی داده شده است. نتایج نهایی ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی در جدول شماره ۴ مشاهده می‌شود.



شکل ۳. واریوگرام

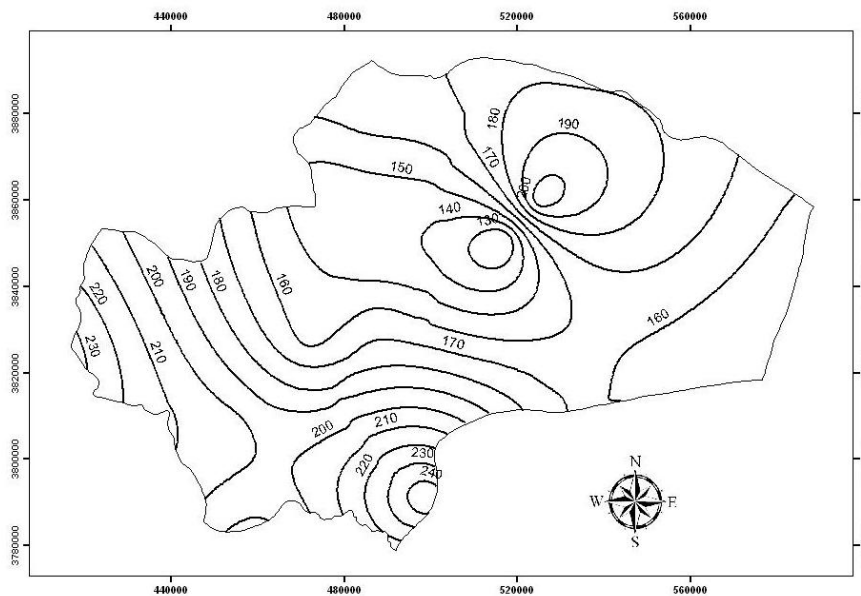
جدول ۳. عوامل مؤثر در مدل ساختار فضایی

نوع مدل	C/ Co+C	عامل A ₀ فاصله (km)	Co+C (mm ²)	Co (mm ²)	R شعاع جست‌وجو (km)	RSS مجموع ترکیبات (mm ²)
گوسین	۰/۸۸۵	۷۵/۹	۵/۲۰	۰/۶	۳۱/۴۶	۷/۳۸
نمایی	۰/۹۹۸	۷۷/۹	۵/۰۲	۰/۰۱	۳۳/۷۰	۸/۳۸
کروی	۰/۹۸۸	۱۶۲/۱	۵/۱۲	۰/۰۶	۶۲/۱۰	۷/۸
خطی	۰/۹۷۷	۸۰/۶۴	۳/۶۳	۰/۰۸	۸۰/۶۴	۵۱/۲

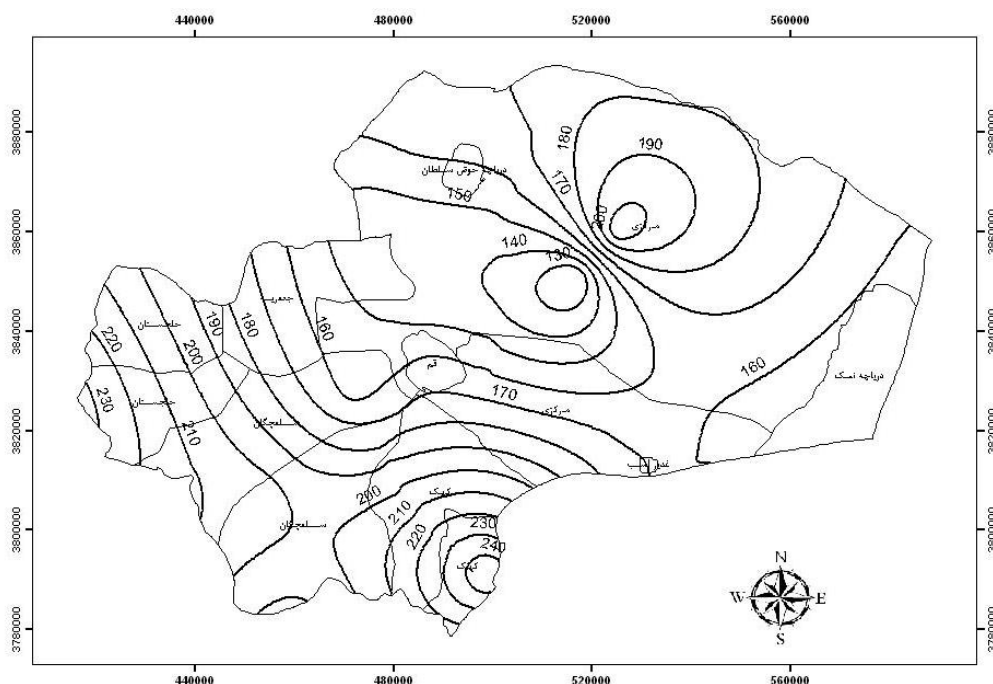
جدول ۴. نتایج نهایی ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی

انحراف	دقت	روش میان‌یابی
۱۴/۱	۳۰/۲۳	کریگینگ
۵/۹	۳۲/۲۳	IDW ¹
۱۱/۱	۳۳/۵۵	IDW ²
۱۳/۶	۳۵/۱	IDW ³

پس از شناسایی مناسب‌ترین روش برآورد توزیع بارندگی سالانه، نقشه‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS نسخه‌ی ۱۰ برای تلفیق و پردازش وارد شدند که اشکال شماره‌ی ۴ و ۵ توزیع بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۴. توزیع بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه



شکل ۵. توزیع بارندگی به تفکیک مراکز بخش‌ها

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که بارندگی سالانه‌ی نیم تغییرنمای گوسن، بهترین دقت را دارد و تغییرات بارندگی سالانه بیشتر از مدل گوسی تبعیت می‌کند. با استفاده از داده‌های کل منطقه، تغییرنمای تجربی ارتفاع و بارش منطقه نشان می‌دهد که تا شعاع ۷۵/۹ کیلومتری، بین ایستگاه‌ها از نظر ارتفاع رابطه‌ی معناداری وجود دارد و پس از این فاصله، رابطه‌ی آنها به صورت تصادفی است. میزان متوسط فاصله‌ی مؤثر برای بارندگی ۳۱/۴۶ کیلومتر بوده که بیانگر شعاعی است که در آن ایستگاه‌ها از نظر بارندگی همبستگی دارند. بنابراین، متوسط فاصله بین ایستگاه‌ها نباید بیش از ۳۱/۴۶ تا ۷۵/۹ کیلومتر باشد.

با توجه به بررسی‌های انجام شده، روش کریگینگ بیشترین دقت (میلی‌متر $MAE = 30/23$) و روش عکس فاصله با توان ۳ کمترین دقت (میلی‌متر $MAE = 35/1$) را داشته است. دقت روش‌ها به ترتیب در زیر نشان داده شده است.

$$\text{روش کریگینگ} > IDW^1 > IDW^2 > IDW^3$$

در مقایسه با نتایج پژوهشگران دیگر، نتایج این پژوهش با نتایج سلیمانی و همکاران (۲۰۰۴) همخوانی دارد؛ زیرا آنان با مقایسه‌ی روش‌های زمین‌آماری کریگینگ و عکس فاصله با توان‌های یک الی سه در تعیین متوسط بارندگی نشان دادند که روش کریگینگ از روش عکس فاصله بهتر است. میرموسوی و همکاران (۲۰۱۰) نیز به این نتیجه رسیدند که روش کریگینگ معمولی با تابع دایره‌ای، در مقایسه با روش‌های دیگر (با در نظر گرفتن میزان MAE ، MBE ، $RMSE$ و r^2) نتایج بهتری را نشان می‌دهد.

از سوی دیگر مهدوی و همکاران (۲۰۰۶) از روش‌های TPSS، کریگینگ و WMA برای برآورد توزیع مکانی بارش سالانه استفاده کردند. برآورد آنها نشان می‌دهد که روش TPSS با (MAE = ۱۳/۳۸ میلی‌متر) مناسب‌ترین روش تخمین بارندگی سالانه بوده و روش‌های کریگینگ با (MAE = ۱۹/۵۰ میلی‌متر) و روش WMA با توان ۲ با (MAE = ۲۶/۵۷ میلی‌متر) در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.

بررسی شکل توزیع بارندگی حکایت از این دارد که به ترتیب بخش خلیجستان در قسمت غرب استان به مقدار ۲۱۰ میلی‌متر، بخش کهک در قسمت جنوب به مقدار ۲۰۵ میلی‌متر، بخش سلفچگان در قسمت جنوب غربی به مقدار ۱۸۰ میلی‌متر، بخش مرکزی در قسمت شرق و شمال و بخش جعفریه در قسمت شمال غرب به مقدار ۱۶۵ میلی‌متر بارش را طی دوره‌ی ۳۰ ساله دریافت کردند.

پیشنهادات

۱. 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.
۲. با توجه به اینکه بخش‌های جعفریه و مرکزی، قطب کشاورزی و دامداری استان قم هستند و کمترین بارش را دریافت کرده‌اند، بنابراین ضروری است که مسئولان در این بخش‌ها نظارت کافی در مورد استفاده‌ی بهینه از آب و برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی داشته باشند تا از آسیب‌های بیشتر به طبیعت جلوگیری شود.

منابع

- Ahmadi, A., 2001, **Relation of Deth-Area-Duration of Rainfall in Kermansha Provinc**, Project Report Research Centre of Kermanshah.
- Aghighi, H., 1995, **Analysis of Depth-Area-Duration Curves of Rainfall (Case Study: Karaj- Tehran - Jajeroud)**, M.Sc, Thesis, Tehran University.
- Goovaerts, P., 2000, **Geostatistical Approach for Incorporation, Elevation into Spatial Interpolation of Rainfall**, Journal of hydrology, No. 228, PP. 113-129.
- Hassanipak, A., 1998, **Geostatistics**, Tehran University Publications.
- Hargrove, W.W., 2001, **Interpolation of Rainfall in Switzerd Using Regularized Splines with Tension**, Geographic Information and Spatial Technologies Group Oak Ridge National Laboratory, <http://www.geobabble.org/~hnw/sic97>.
- Leclerc , G., Schaake, J.C., 1972, **Derivation of Hydrologic Frequency Curves**, Report 142, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Mahdavi, M., Hosheni, Chegini, A., Mahdian, M., Rahemi Bandabadi, S., 2004, **Geostatistics Comparison Methods in Estimation of Annual Rainfall Spatial Distribution in Semi-Arid and Arid Region of SE Iran**, Journal of Natural Resources of Iran, No. 2, PP.211-234.

- 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, S.H., Mazidi, A., Khosravi, Y., 2010, **The Determination of Optimum Geostatistics Method for Estimating Precipitation Distribution Using GIS (Case Study of Esfahan Province)**, Geographic Space, No. 10, PP.105-120.
- Nalder, J.A., Wein, R.W., 1998, **Spatial Interpolation of Climate normal: Test of a New Method, Canadian Boreal Forest**, Agricultural and Forest, No. 94, PP. 211-225.
- Pohlman, H., 1993, **Goestatistical Modelling of Environmental Data**, Catena, No. 20, PP. 191-198.
- Price, D.T., Mckenny, D.W., Nelder, I.A., Hutchinsen, M.F., kesteve, J.L, 2000, **A Comparsion of Two Statistical Methods for Interpolation, Canadian Monthly Mean Climate Data**, Agriculture and Forest, No. 101, PP. 81-94.
- Solaimani K., Habibnejad M., Abkar A., Bani-Asadi M., 2006, **Analysis of Depth-Area-Duration Curves of Rainfall in Semi-Arid and Arid Region Using Geostatistical Methods (Case Study: Sirjan)**, Journal of Desert, No.1, PP. 31-42.
- Tobies, G.Q, Salas, J.D., 1985, **A Comparative Analysis of Techniques for Spatial Analysis Precipitation**, Water Resources Bulletin, No. 21, PP.365-380.
- Vankuilenber, J., Degruijter, J., Marsman, B.A., Bouma, J., 1982, **Accuracy of Spatial Interpolation between Point Data on Soil Moisture Supply Capacity Compared with Estimates from Mapping Units**, Geoderma, No. 27, PP. 311-325.

An Investigation of Annual Rainfall Spatial Distribution Using Geostatistical Methods (A Case Study: Qom Province)

Zabihi A.*

M.A. in Range Management, Sari University of Agriculture and Natural Resources

Solaimani K.

Associate Prof., Sari University of Agriculture and Natural Resources

Shabani M.

M.A. Student in Geography and Town Planning, Payam Nour University of sari

Abravsh S.

GIS Centre, General Office of Natural Resources, Qom

Received: 27/01/2011

Accepted: 30/01/2012

Extended Abstract

Introduction

The rate of average precipitation specifically its regional average is one of the significant factors in the field of natural resources studies. There are different estimation methods to estimate the precipitation such as geostatistic technique. This method is important with concerning to correlation and data spatial structure. Spatial location of the samples can be analyzed with the purposed quantity together. In other word the relationship between different quantitative rates is required to the community, samples distance and their situation dime. This spatial relationship (distance and community) is possible to describe in mathematical method between the rates of quantities in sampled community. In this research Kriging and inverse distance methods with power of 1 to 3 used to investigate the annual precipitation rate in Qom province.

Methodology

The study area

This study is focused on Qom province with an area of 1123800 hectares. For the data control and their accuracy 12 climatology stations were used as the coved points in the study area. After determining the stations, data homogeneity is sorted based on run test to make sure data quality and also the recorded data series homogeneity. According to table 1 the average rainfall was extracted based on IDW method for 30 years from 1978-2007 in GS+ environment.

Table 1: Characteristics of the rainfall in Qom Province

<i>St.D.</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Ave.</i>	<i>Rainfall</i>
--------------	-------------	-------------	-------------	-----------------

40.639	117.40	250.90	180.03	P/mm
--------	--------	--------	--------	------

For that reason the related data and information were collected for the software environment of GS+ and Arc GIS v.10 to produce isohyets map and analysis of variogram. The cross validation, MAE and MBE parameters techniques were used to validate IDW methods.

Analysis of Variogram

Semi-variogram method is one of the sensible methods for the spatial variations. Calculation of semi-variogram curve is the most significant operation of geostatistical which based on variation of two points in distinctive distance.

Method and criteria of validation

Cross validation technique and statistical two parameters of MAE and MBE were used to validate the IDW methods. In this study different models such as linear, spherical were used to calculate Kriging coefficient as a geostatistical estimator.

Results and Discussion

For investigation on spatial structure of the annual rainfall, the rate of empirical semi-variogram was calculated to draw the curve which processed with a appropriate model (table 2).

Table 2: The results of different semi-variogram model investigation in Kriging for the rainfall investigation

<i>P/mm</i>		<i>Model</i>
<i>MAE</i>	<i>MBE</i>	
30.23	14.1	Gosian
93.24	24.6	Linear
32.5	8.8	Exposure
35.12	11.82	Spherical

Table 3 indicates different parameter of the model than the spatial structure.

Table 3: The effective parameter in spatial structure model

<i>Model</i>	<i>Co + C/C</i>	<i>Ao Distance (km)</i>	<i>Co+C Threshold effect (mm²)</i>	<i>Co Effect of segment (mm²)</i>	<i>R (km)</i>	<i>RSS (mm²)</i>
Gaussian	0.885	75.9	5.20	0.6	31.46	7.38
Exposure	0.998	77.9	5.02	0.01	33.70	8.38

Spherical	0.99	162.1	5.12	0.06	62.10	7.8
Linear	0.997	80.64	3.63	0.08	80.64	51.2

Final results of the validated different methods of IDW are also indicated in table 4.

Table 4: The final validated results of different IDW methods

Division	Precision	IDW methods
14.1	30.23	Kriging
5.9	32.23	IDW ¹
11.1	33.55	IDW ²
13.6	35.1	IDW ³

The results shown that the annual semi-variogram of Gaussian is indicated with the best precision and the annual rainfall variations are mostly following Gaussian model. Empirical variogram of height and rainfall at the large scale of the study area were indicated an extension of 75.9 km between stations with a meaningful relationship to the height. After this distance the relationship between them is random with an average distance of 31.46 km for the effective rainfall which tends to a radial form of the rainfall correlation for the stations. Therefore distances between the stations are limited to 31.46 to 75.9 kilometer.

Conclusion

According to the gained results in this study Kriging method is specified with the highest precision (MAE of 30.23 mm) and the lowest precision is related to the inverse distance with power 3 (MAE of 35.5 mm) which are shown as follow:

$$\text{Kriging method} > IDW^3 > IDW^2 > IDW^1$$

Statistically the extracted results from the selected stations with 30 years recorded data can be concluded that the form of rainfall is distributed with 210, 205, 180 and 165 millimeters in Khalajestan district in west, Kahak district in south, Salafchagan in south west, central part and North West parts respectively.

Keywords: Geostatistics, Interpolation, Rainfall, Kriging and Distance Inverse.