

ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه (مطالعه‌ی موردی: استان خوزستان)

مهدی نادى * - دانشجوی دکترای هواشناسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
مژده جامعی - دانشجوی دکترای هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
جواد بذرافشان - استادیار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
سمیه جنت رستمی - دانشجوی دکترای مهندسی منابع آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۱/۱۹ تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۰۸/۲۱

چکیده

نقشه‌های هم‌بارش یک منطقه، پیش‌نیاز بسیاری از مطالعات هیدرولوژی و هواشناسی است. دقت نقشه‌های هم‌بارش، به روش درون‌یابی داده‌های بارندگی وابسته است. با توجه به توپوگرافی پیچیده‌ی استان خوزستان و فقدان ایستگاه‌های هواشناسی مرتفع با آمار درازمدت در آن، تعیین روش مناسب درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه در این استان ضروری به نظر می‌رسد. به این منظور، هفت روش درون‌یابی شامل کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، کریجینگ با روند خارجی، رگرسیون کریجینگ، وزنی عکس فاصله، اسپلاین و گرادیان خطی سه‌بعدی با یکدیگر مقایسه شدند. در تحلیل واریوگرافی داده‌های بارندگی، پنج مدل نیم‌تغییرنما بر داده‌های بارندگی برازش داده شد. ارزیابی روش‌ها با استفاده از روش اعتبارسنجی حذفی انجام شد و انتخاب روش مناسب درون‌یابی براساس تحلیل رگرسیونی، محاسبه‌ی ریشه‌ی میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریب انجام گرفت. نتایج تحلیل واریوگرافی نشان داد مدل کروی، به‌عنوان بهترین مدل نظری نیم‌تغییرنما است. همچنین داده‌های بارندگی این منطقه در تمامی ماه‌ها، به‌جز ماه‌های کم-بارش دارای ساختار مکانی قوی بودند. تحلیل نتایج نشان داد که تمامی روش‌ها به‌جز روش رگرسیون کریجینگ، در برآورد مقادیر زیاد بارندگی دچار خطای کم‌برآوردی هستند. با مقایسه روش‌های درون‌یابی مورد بررسی، روش رگرسیون کریجینگ، به‌عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه تشخیص داده شد. همچنین با روش منتخب، نقشه‌ی هم‌بارش سالانه‌ی استان ترسیم و از روی آن، میانگین بارندگی سالانه‌ی منطقه ۳۹۱ میلی‌متر به‌دست آمد که این مقدار به اندازه‌ی ۴۱ میلی‌متر بیشتر از مقدار ارائه شده از سوی سازمان هواشناسی کشور است که دلیل آن، استفاده از ارتفاع، به‌عنوان متغیر کمکی است که تا حدودی توانست مشکل کمبود ایستگاه‌های مرتفع در منطقه را رفع کند. به‌علاوه نتایج پژوهش نشان داد، روش‌هایی که از متغیر ارتفاع به‌عنوان متغیر کمکی برای برآورد بارندگی استفاده می‌کنند، نسبت به روش‌های دیگر از دقت بالاتری برخوردارند.

کلیدواژه‌ها: بارندگی، روش‌های درون‌یابی، رگرسیون کریجینگ، اسپلاین، خوزستان.

مقدمه

در بسیاری از مطالعات اقلیمی و مدیریت منابع آب، مدل‌های هیدرولیکی، پیش‌بینی سیلاب، مطالعات تغییر اقلیم، برآورد بیلان آب، برنامه‌ریزی‌های آبیاری و مانند آن، وجود داده‌های بارندگی و به‌خصوص توزیع مکانی آن (نقشه‌ی هم‌بارش)، اهمیت ویژه‌ای دارند. روش‌های مختلفی برای برآورد منطقه‌ای بارندگی در سطوح وسیع وجود دارد که از جمله مهم‌ترین آنها، می‌توان به روش‌های زمین‌آماری اشاره کرد. مطالعات مختلفی در زمینه‌ی درون‌یابی داده‌های بارندگی در ایران انجام شده است. نادى (۱۳۸۹) با مقایسه‌ی دقت و صحت هفت روش درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه در منطقه‌ی جنگلی چهارباغ گرگان، نشان داد که روش‌های مورد بررسی تفاوت زیادی با یکدیگر نداشته و روش جدیدی به‌نام هیبرید خطی و غیرخطی را در منطقه توسعه داد. میرموسوی و همکاران (۱۳۸۹) روش‌های کریجینگ ساده، معمولی و یونیورسال را برای برآورد توزیع بارندگی استان اصفهان مورد مقایسه قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که روش کریجینگ معمولی با مدل دایره‌ای، مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی مقادیر بارندگی سالانه در منطقه است. تقفیان و رحیمی (۱۳۸۴) برای بررسی توزیع مکانی بارندگی ماهانه و سالانه در جنوب‌غرب ایران با مقایسه‌ی روش‌های زمین‌آماری دریافتند که کوکریجینگ، تغییرات مکانی بارندگی در منطقه را بهتر نشان می‌دهد. مهدوی و همکاران (۱۳۸۳) با بررسی روش‌های کریجینگ معمولی، کوکریجینگ، میانگین متحرک وزنی و اسپلاین، برای برآورد توزیع مکانی بارش سالانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب شرقی ایران، روش اسپلاین با متغیر کمکی ارتفاع را توصیه کردند. مهدیزاده (۱۳۸۱) با بررسی چند روش زمین‌آماری برای درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه، روش اسپلاین با توان ۲ را پیشنهاد کرد. پژوهش‌های زیادی در دنیا برای معرفی روش مناسب درون‌یابی داده‌های بارندگی انجام شده است. برای نمونه، فرانسیسکو^۱ (۲۰۱۰) نشان داد که در درون‌یابی داده‌های بارندگی، الگوریتم‌های چندمتغیره نسبت به الگوریتم‌های ساده خطای کمتری دارند. ژانگ^۲ و سرینیواسان^۳ (۲۰۰۹) با بررسی روش‌های خانواده‌ی کریجینگ و وزنی عکس فاصله، نشان دادند که روش کریجینگ با روند خارجی، دارای کمترین خطا در بین روش‌های دیگر است. کولیبالی^۴ و بیکر^۵ (۲۰۰۷) و جفری^۶ و همکاران (۲۰۰۱) با مقایسه‌ی روش‌های مختلف زمین‌آماری برای درون‌یابی بارندگی سالانه، ماهانه و روزانه، روش کریجینگ معمولی را توصیه کردند. بوئر^۷ و همکاران (۲۰۰۱) با بررسی چهار فرم کریجینگ و سه فرم اسپلاین، نشان دادند که روش رگرسیون کریجینگ سه متغیره بهترین روش برآورد است. همچنین کراوچنکو^۸ و همکاران (۱۹۹۶) برای میان‌یابی بارندگی سالانه نشان دادند که استفاده از روش کریجینگ با روند خارجی، واریانس خطا را ۳۰ تا ۴۰ درصد نسبت به روش کریجینگ کاهش می‌دهد. بررسی نقشه‌ی تغییرات توپوگرافی استان خوزستان نشان داد که ارتفاع این منطقه بین صفر تا ۳۷۱۲ متر نوسان

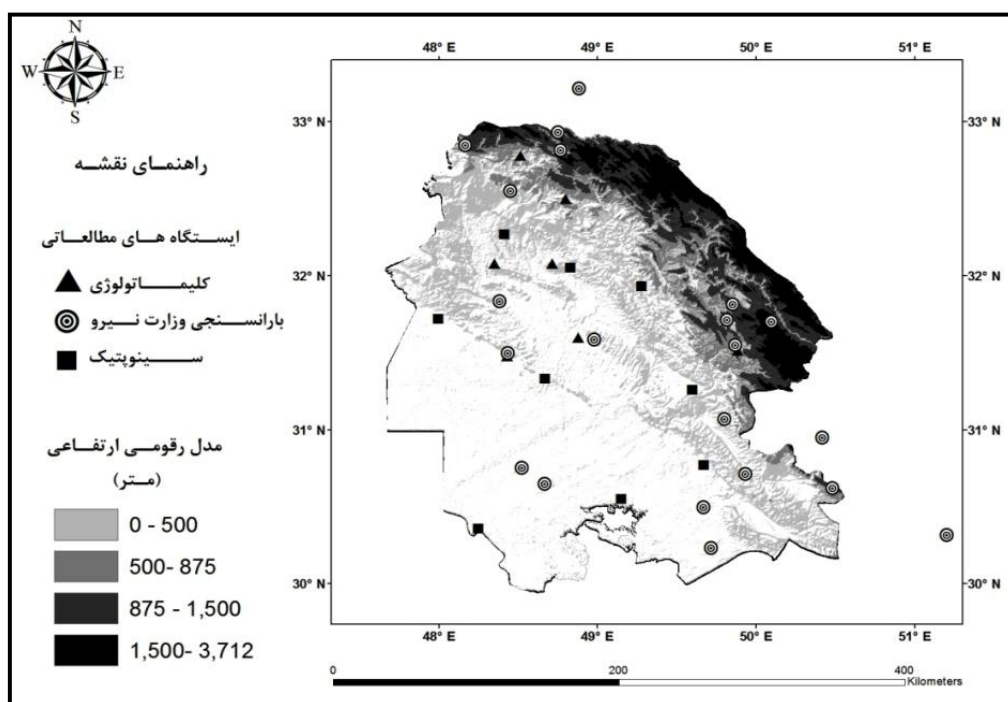
1. Francisco
2. Zhang
3. Srinivasan
4. Coulibali
5. Becker
6. Jeffrey
7. Boer
8. Kravchenko

می‌کند، درحالی‌که ایستگاه‌های هواشناسی آن در محدوده‌ی ۳ تا ۸۷۵ متر قرار دارند. از سویی بارندگی زیادی در ارتفاعات این منطقه ریزش می‌کند. با توجه به تغییرات توپوگرافی شدید در این استان و در نتیجه، وجود روند در داده‌های بارندگی و اهمیت نقشه‌ی هم‌بارش در این منطقه به‌عنوان قطب کشاورزی کشور، در این پژوهش تلاش شد، نخست دقت روش‌های به‌نسبت جدید درون‌یابی داده‌های بارندگی، به‌منظور افزایش دقت برآوردهای منطقه‌ای مورد آزمون قرار گیرد. سپس با استفاده از نقشه‌ی تغییرات بارندگی روش منتخب، یک مقدار جدید برای بارندگی سالانه‌ی درازمدت این استان ارائه شود و با مقدار بارش سالانه‌ی ارائه شده از سوی سازمان هواشناسی کشور^۱ (۲۰۰۵) مقایسه شود.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه و داده‌ها

استان خوزستان با ۶۴۷۴۶ کیلومترمربع مساحت در جنوب‌غربی ایران واقع شده است و دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک بوده و از لحاظ توپوگرافی به دو بخش کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم می‌شود. دوره‌ی بارندگی این منطقه به‌طور معمول از مهرماه تا اردیبهشت ماه است. برای انجام این پژوهش، داده‌های میانگین درازمدت بارندگی ماهانه و سالانه‌ی ۳۷ ایستگاه (سینوپتیک و کلیماتولوژی سازمان هواشناسی و باران‌سنجی وزارت نیرو) طی دوره‌ی مشترک آماری ۲۲ ساله (۱۹۸۴-۲۰۰۵) مورد استفاده قرار گرفتند. در این پژوهش از حداکثر ایستگاه‌های قابل اعتماد و دارای آمار کافی استفاده شد که پراکنش آنها در شکل شماره‌ی ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت مکانی ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در استان خوزستان

برای درک بهتر از توزیع توپوگرافی منطقه، نقشه‌ی تغییرات ارتفاعی^۱ آن به ۱۰ طبقه بخش‌بندی و مساحت هر طبقه تعیین شد. در این بخش‌بندی مشخص شد که بیش از ۸۵٪ منطقه در ارتفاع کمتر از ۸۷۵ متر قرار دارد. به‌گفته‌ای ایستگاه‌های مورد استفاده ۸۵٪ منطقه را پوشش می‌دهند و تنها ۱۵٪ از مساحت منطقه در محدوده‌ی ارتفاعی (۸۷۵-۳۷۰۰) قرار دارد. همچنین مشخص شد که تنها ۳٪ منطقه بالاتر از خط ۲۰۰۰ متری قرار دارند.

روش‌های درون‌یابی

روش‌های درون‌یابی داده‌های مکانی، برای تخمین یک متغیر در یک نقطه‌ی خاص از روی داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده در نقاط مجاور، به کار می‌روند. تمام روش‌های خانواده‌ی کریجینگ، به‌علاوه‌ی روش وزنی عکس فاصله، از رابطه‌ی شماره‌ی ۱ برای برآورد مقدار یک متغیر در نقاط فاقد اندازه‌گیری استفاده می‌کنند:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

رابطه‌ی شماره‌ی ۱ بیان می‌کند که مقدار یک متغیر هواشناسی در یک نقطه، برابر است با ترکیب خطی^۲ n ایستگاه مجاور آن (حسنی پاک، ۱۳۸۶: ۱۸۲). تفاوت روش‌های مختلف درون‌یابی، در λ_i های به کار گرفته شده برای هر ایستگاه است که وزن ایستگاه نام دارد. در روش وزنی عکس فاصله، λ_i ها برابر عکس فاصله بین ایستگاه تا نقطه‌ی مورد بررسی به توان a است. در این روش هرچه a بزرگتر باشد، یعنی اهمیت ایستگاه‌های نزدیک در برآورد بیشتر است (رحیمی و مهدیان، ۱۳۸۴: ۶۶). کریجینگ، یک روش تخمین زمین‌آماری نارایب با کمترین واریانس تخمین است. برای ارضای شرط نارایب‌بودن، باید مجموع ضرایب ایستگاه‌ها برابر ۱ شود. در این روش تعیین λ_i ها بر اساس تحلیل نیم‌تغییرنما است و آن، کمی‌ت‌ی برداری است که درجه همبستگی مکانی و شباهت بین ایستگاه‌های هواشناسی را برحسب مربع تفاضل مقدار دو ایستگاه و با توجه به جهت و فاصله‌ی آنها نشان می‌دهد و دارای سه مشخصه‌ی زیر است:

۱- اثر قطعه‌ای^۳ (بخش توجیه‌نشده‌ی نیم‌تغییرنما (C_0));

۲- آستانه^۴ (حداکثر مقدار نیم‌تغییرنما که برابر است با مجموع بخش با ساختار (C) و بدون ساختار (C_0));

۳- دامنه‌ی تأثیر^۵ (فاصله‌ای که در آن نیم‌تغییرنما به حد ثابتی می‌رسد) (حسنی پاک، ۳۸۶: ۱۸۲).

هنگامی که متغیر اصلی در منطقه به‌اندازه‌ی کافی داده نداشته باشد، اما داده‌های یک متغیر کمکی همبسته با متغیر اصلی در منطقه موجود باشد، می‌توان با استفاده از تکنیک‌هایی، روش کریجینگ را با متغیر کمکی ترکیب کرد. چنانچه متغیر کمکی در تمام نقاط شبکه موجود نباشد، روش کوکریجینگ روش مناسبی است (فرانسیسکو، ۲۰۱۰: ۶۲۱). این روش با استفاده از رابطه‌ی مکانی بین متغیر کمکی و اصلی، دقت تخمین‌ها را افزایش می‌دهد. چنانچه متغیر کمکی در تمام نقاط شبکه موجود باشد، روش کریجینگ با روند خارجی^۵ روش مناسبی است که این روش با استفاده از رابطه‌ی

1. Digital Elevation Model
2. Nugget Effect
3. Sill
4. Range of Influence
5. Kriging with External Drift

خطی بین متغیر اصلی و کمکی، به پیش‌بینی متغیر اصلی می‌پردازد (بوئر و همکاران، ۲۰۰۱: ۱۵۰). در شرایطی که در منطقه متغیر اصلی دارای روند باشد، می‌توان از روش رگرسیون کریجینگ استفاده کرد. در این روش، نخست باید روند موجود در داده‌ها را با یک رابطه محاسبه کرده و از داده‌های اصلی کم کرد. سپس باقی‌مانده‌ها (جزء بدون روند) را با یک روش زمین‌آماري درون‌یابی و به مقادیر روند اضافه کرد. برای مثال، روند موجود در داده‌ها با استفاده از یک رابطه‌ی رگرسیون خطی چندگانه بین متغیر اصلی و متغیرهای کمکی طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها محاسبه شده و نقشه‌ی تغییرات آن ترسیم می‌شود. سپس نقشه‌ی تغییرات باقی‌مانده‌ها با روش کریجینگ محاسبه و نقشه‌ی نهایی از حاصل جمع این دو نقشه به دست می‌آید. معادله‌ی نهایی روش رگرسیون کریجینگ به صورت رابطه‌ی شماره‌ی ۲ است (اوده^۱ و همکاران، ۱۹۹۵: ۲۲۱).

$$\hat{f}(s_0) = \hat{\alpha} + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 y + \hat{\beta}_3 h + \sum_{i=1}^n w_i z^*(s_i) \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

در این رابطه، x ، y و h به ترتیب طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع نقاط هستند.

اسپلاین‌ها توابع غیرپارامتری با قابلیت ارتجاعی بالایی هستند و می‌توان آنها را یک تابع چندجمله‌ای تک‌گانه نامید؛ یعنی توابع پیچیده‌ای شامل قطعاتی از چندجمله‌ای‌ها با درجه‌های مختلف بین هر دو نقطه از فضا که در محل اتصالات نرم شده‌اند (مهدیزاده، ۱۳۸۱: ۵۷). می‌توان گفت این روش نوع خاصی از روش کریجینگ جامع است با این تفاوت که برای محاسبه‌ی عامل‌های وزنی، به جای تحلیل نیم‌تغییرنما، به برآورد پارامتر پیرایشی^۲ نیاز دارد که با تغییر آن، می‌توان بهترین مدل را بر داده‌ها برازش داد (هاتچینسون^۳ و گسler^۴، ۱۹۹۴: ۵۶).

در روش گرادیان خطی سه‌بعدی فرض بر آن است که در راستای طول و عرض و ارتفاع منطقه، روند خطی وجود دارد که با برازش یک رابطه‌ی رگرسیون خطی چندگانه بین متغیر اصلی و متغیرهای کمکی، می‌توان در نقاط مختلف با داشتن طول و عرض و ارتفاع آن، مقدار متغیر اصلی را برآورد کرد.

در این پژوهش برای تعیین بهترین روش مکانی کردن داده‌های بارندگی، هفت روش میان‌یابی شامل، کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، کریجینگ با روند خارجی، رگرسیون کریجینگ، وزنی عکس فاصله، اسپلاین و گرادیان خطی سه‌بعدی با یکدیگر مقایسه شدند. با توجه به همبستگی خوب بارندگی با ارتفاع در استان خوزستان و همچنین به پیشنهاد (گوورتز^۵، ۲۰۰۰: ۱۲۶)، در این پژوهش از متغیر ارتفاع، به عنوان متغیر کمکی استفاده شد.

در تحلیل واریوگرافی، پنج نوع مدل نیم‌تغییرنما، شامل مدل‌های کروی، نمایی، خطی، خطی دارای حد آستانه و گوسی بر داده‌ها برازش شد و از بین آنها، نیم‌تغییرنمای مناسب بر اساس ضریب همبستگی بیشتر و نسبت بخش بااختار به بدون ساختار بالاتر انتخاب شد.

در این پژوهش از نرم‌افزارهای GS+ و Mini Tab و Arc Gis بهره گرفته شده است.

1. Odeh
2. Smoothing
3. Hutchinson
4. Gessler
5. Goovaerts

معیارهای ارزیابی روش‌ها

به منظور ارزیابی روش‌های درون‌یابی مورد بررسی، از روش اعتبارسنجی حذفی^۱ و برای مقایسه و انتخاب بهترین روش، از تحلیل رگرسیونی و محاسبه‌ی شاخص‌های ریشه‌ی میانگین مربعات خطا^۲ و میانگین خطای اریب^۳ استفاده شد که به صورت روابط شماره‌ی ۳ و ۴ محاسبه می‌شوند (ویلکس^۴، ۲۰۰۶: ۲۸۱).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)]^2}{N}} \quad (3)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)]}{N} \quad (4)$$

که در آن، $Z(x_i)$: مقدار مشاهده شده؛ $\bar{Z}(x_i)$: مقدار برآورد شده و N : تعداد داده‌ها هستند. در روش تحلیل رگرسیونی بین داده‌های واقعی و برآوردی، یک رابطه‌ی رگرسیونی خطی ساده به صورت رابطه‌ی شماره‌ی ۵ برقرار می‌شود.

$$Y_{es} = a + bY_{ac} \quad (5)$$

سپس این معادله با خطا ۱:۱ مقایسه می‌شود. به گفته‌ی، هر چه عرض از مبدأ (a) به صفر و شیب (b) به یک نزدیکتر و ضریب همبستگی مقادیر واقعی (Y_{ac}) و برآوردی (Y_{es}) بالاتر باشد، روش مورد نظر دقت بالاتری دارد.

یافته‌های تحقیق

آزمون نرمال بودن و نرمال‌سازی داده‌ها

پیش از مکانی کردن داده‌های بارندگی، نرمال بودن توزیع احتمالاتی آنها به وسیله‌ی آزمون اندرسون دارلینگ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در تمامی موارد به جز ماه‌های ژانویه و دسامبر، توزیع داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ با توزیع نرمال، اختلاف معناداری ندارد. برای نرمال‌سازی داده‌های مربوط به ماه‌های ژانویه و دسامبر، از تبدیل لگاریتمی استفاده شده است.

آنالیز نیم‌تغییرنما

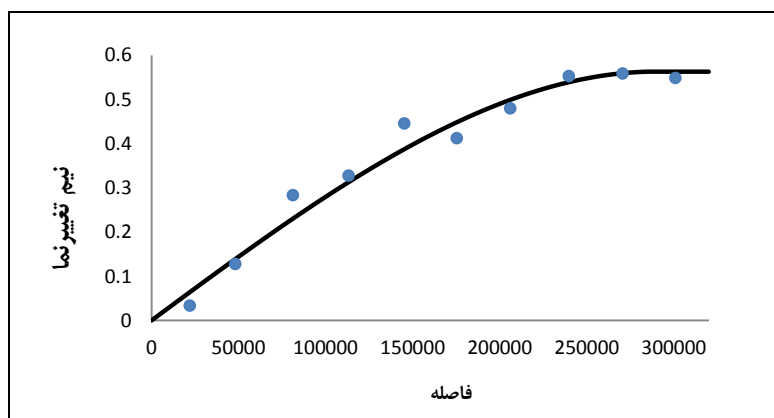
نتایج انتخاب مناسب‌ترین مدل نیم‌تغییرنما از بین پنج مدل مورد بررسی برای داده‌های ماهانه و سالانه، همراه با خصوصیات آنها، در جدول شماره‌ی ۱ نشان داده شده است. بررسی نسبت بخش باساختار به بدون ساختار نشان داد که در بیش از ۸۵ درصد موارد، نقش مؤلفه‌ی باساختار به بدون ساختار خیلی بیشتر بوده که این بیانگر ساختار مکانی مناسب داده‌های بارندگی در منطقه است. همچنین با توجه به جدول شماره‌ی ۱ می‌توان دریافت که در ماه‌های گرم سال ساختار

1. Cross Validation
2. Root Mean Square Error (RMSE)
3. Mean Bias Error (MBE)
4. Wilks

مکانی داده‌ها ضعیف می‌شود. این موضوع، نخست به دلیل رخداد بارندگی‌های کم در این ماه‌ها و دوم، ماهیت محلی بودن بارش‌هاست که کاهش دامنه‌ی تأثیر بارندگی ایستگاه‌ها در اغلب ماه‌های گرم، مؤید این واقعیت است. دامنه‌ی تأثیر داده‌های بارندگی ایستگاه‌ها نیز بین ۸۱/۱ در ماه‌های گرم تا ۲۵۰/۳ کیلومتر در ماه‌های سرد نوسان می‌کند. پژوهشگران دیگر در ایران، مانند رحیمی و مهدیان (۱۳۸۴)، مهدیزاده (۱۳۸۱) و اختری و همکاران (۱۳۸۶)، به ترتیب مقادیر دامنه‌ی تأثیر را ۳۰۰، ۲۵۰ و ۱۲۵ کیلومتر را به دست آوردند که دامنه‌ی تأثیر به دست آمده در این پژوهش با نتایج ایشان همسان است. همچنین نتایج جدول شماره‌ی ۱ بیانگر آن است که به استثنای ماه‌های ژوئن و ژوئیه، مدل نظری نیم‌تغییرنمای بهینه‌ی سایر ماه‌ها و در مقیاس سالانه، از نوع کروی است که یک نمونه از آن در شکل شماره‌ی ۲ برای داده‌های بارندگی ماه فوریه نشان داده شده است.

جدول ۱. پارامترهای نیم‌تغییرنماهای بهینه برای داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه در استان خوزستان

ماه	مدل	اثر قطعه‌ای (C0)	دامنه‌ی تأثیر (km)	استانه (C+C0)	C/(C+C0)	ضریب همبستگی
ژانویه	کروی	۰/۰۰۰۱	۲۵۰/۳	۰/۲۷	۱	۰/۹۵
فوریه	کروی	۰/۰۰۱	۲۳۵/۱	۰/۳۸	۰/۹۹	۰/۹۵
مارس	کروی	۰/۰۰۱	۲۶۲/۳	۰/۳۷	۰/۹۹	۰/۹۴
آوریل	کروی	۰/۰۲۶	۲۸۵/۹	۰/۶۲	۰/۹۵	۰/۸۷
می	کروی	۰/۲۴۲	۳۱۰/۷	۱/۳۲	۰/۸۱	۰/۹۳
ژوئن	نمایی	۰/۰۷۳	۹۵/۵	۰/۲۵	۰/۷۰	۰/۶۷
ژوئیه	نمایی	۰/۱۶۶	۸۱/۱	۰/۳۳	۰/۵۰	۰/۱
اگوست	کروی	۰/۰۶۷	۹۵/۹	۰/۲۳	۰/۷۱	۰/۹۰
سپتامبر	کروی	۰/۲۴۴	۱۰۰/۱	۰/۴۶	۰/۵۱	۰/۷۰
اکتبر	کروی	۰/۰۸۵	۱۳۰/۴	۰/۴۱	۰/۷۹	۰/۹۵
نوامبر	کروی	۰/۰۰۰۱	۱۵۰/۲	۰/۲۵	۱	۰/۹۶
دسامبر	کروی	۰/۰۰۰۱	۱۹۰/۵	۰/۲۸	۱	۰/۹۴
سالانه	کروی	۰/۰۰۰۱	۱۷۵/۶	۰/۳۰	۱	۰/۹۵



شکل ۲. نیم‌تغییرنمای تجربی و نظری کروی مربوط به داده‌های بارندگی ماه فوریه

ارزیابی روش‌های درون‌یابی مورد بررسی

اعمال روش اعتبارسنجی حذفی بر روش‌های درون‌یابی مورد بررسی و محاسبه‌ی شاخص‌های خطا نتایج زیر را نشان می‌دهد:

در روش وزنی عکس فاصله، توان‌های ۱ تا ۵ عکس فاصله مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد توان ۳ در بیشتر ماه‌ها کمترین خطا را دارد که به‌عنوان توان بهینه در این روش انتخاب شد. همچنین بررسی نقاط همسایگی مختلف نشان داد که تغییر نقاط همسایگی، کمابیش تأثیری بر دقت این روش ندارد.

در مورد روش کوکریجینگ، بررسی نیم‌تغییرنماهای متقاطع^۱ بارندگی - ارتفاع در موارد مختلف، ارتباط مکانی قوی‌ای نشان نداد که این باعث شد ارزیابی این روش به‌طورکلی از محاسبات حذف شود.

در روش کریجینگ با روند خارجی، از ۶۰۰۰ نقطه‌ی ارتفاعی دریافت‌شده، از نقشه‌ی توپوگرافی به‌عنوان متغیر کمکی استفاده شد.

در روش رگرسیون کریجینگ نقشه‌ی تغییرات باقی‌مانده‌ها، توسط روش کریجینگ ترسیم شد که مدل نیم‌تغییرنمای باقی‌مانده‌ها در اکثر موارد مدل کروی بود. البته در این پژوهش نیز طبق معمول، نیم‌تغییرنماهای باقی‌مانده‌ها در ماه‌های مختلف، به‌ویژه در ماه‌های گرم، ارتباط مکانی قوی‌ای از خود نشان ندادند.

نتایج روش گرادیان خطی سه‌بعدی نشان داد که در تمامی ماه‌ها گرادیان‌های نصف‌النهاری و مداری و ارتفاعی مثبت است. به‌گفته‌ای تغییرات بارندگی از غرب به شرق و از جنوب به شمال منطقه و با افزایش ارتفاع، روند فزاینده دارد. در مورد روش اسپلاین، در هیچ‌یک از موارد نتایج رضایت‌بخشی به‌دست نیامد که می‌توان دلیل آن را مربوط به توپوگرافی پیچیده و اثر آن بر توزیع منطقه‌ای بارش دانست، به‌طوری‌که صفحات نازک انعطاف‌پذیر، برازش درستی بر داده‌ها ندارند.

نتایج تحلیل رگرسیونی (جدول شماره‌ی ۲) نشان داد که دو روش رگرسیون کریجینگ و کریجینگ با روند خارجی نسبت به روش‌های دیگر بهتر بوده و برآوردهای حاصل از این روش‌ها، همخوانی بیشتری با داده‌های واقعی دارند، اما نتایج روش رگرسیون کریجینگ در بیش از ۸۵٪ موارد، بیشترین همخوانی را با داده‌های واقعی داشت. البته تحلیل رگرسیونی نتایج به‌دست‌آمده از روش کریجینگ عمومی نیز، همبستگی خوبی با داده‌های واقعی دارد، اما مقادیر بزرگ بارندگی را کم برآورد می‌کند. بررسی ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (جدول شماره‌ی ۳) نشان می‌دهد که در بیش از ۶۰٪ موارد، روش رگرسیون کریجینگ کمترین میزان خطا را دربردارد.

بررسی میانگین خطای اریب روش‌ها نشان داد که روش گرادیان خطی سه‌بعدی در برآورد بارش ماهانه و سالانه دارای کمترین خطای اریب بوده که دلیل آن، برآورد پارامترهای این معادله با تکنیک حداقل مربعات خطا است، اما میانگین مربعات خطای این روش زیاد بوده و نتایج تحلیل رگرسیونی آن نیز رضایت‌بخش نبود.

جدول ۳. نتایج تحلیل رگرسیونی روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های ماهانه و سالانه در منطقه مطالعاتی

ماه	کریجینگ			رگرسیون - کریجینگ			کریجینگ با روند خارجی			وزنی عکس فاصله			گرادین خطی سه بعدی			اسپلاین		
	r^2	r^2_a	r^2_b	r	a	b	r	a	b	r	a	b	r	a	b	r	a	b
ژانویه	۰/۸۵	۱۷/۸	۰/۷۹	۰/۸۷ ^۱	۶/۱۶ ^۱	۰/۹۵ ^۱	۰/۸۱	۱۴	۰/۸۵	۰/۸۷	۲۷/۶	۰/۶۵	۰/۸۹	۲۸/۳	۰/۶۶	۰/۷۶	۳۲/۳	۰/۵۹
فوریه	۰/۹۱	۸/۶	۰/۸۵	۰/۹۳ ^۱	۳/۰۲	۰/۹۶ ^۱	۰/۸۲	۳/۵۴	۰/۹۸	۰/۹۲	۱۱/۳	۰/۷۹	۰/۸۲	۱۷/۸	۰/۷۱	۰/۷۹	۲۳/۸	۰/۶۵
مارس	۰/۸۹	۸/۰۶	۰/۸۷	۰/۹۲	۵/۳۸	۰/۹۰	۰/۸۶	۲/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۰	۱۱/۳	۰/۸۰	۰/۸۲	۱۷/۸	۰/۷۱	۰/۸۴	۱۴/۸	۰/۷۲
آوریل	۰/۹۳	۴/۷	۰/۸۵	۰/۹۴	۲/۰۲	۰/۹۲	۰/۸۶	۰/۲۴	۱/۰۳	۰/۹۲	۷/۲	۰/۷۶	۰/۸۱	۱۰/۷	۰/۶۹	۰/۷۳	۱۸/۷	۰/۶۹
می	۰/۸۶	۳/۰۵	۰/۴۹	۰/۸۷	۱/۶۴	۰/۸۴	۰/۷۹	۱/۹	۰/۷	۰/۸۵	۷/۳۶	۰/۷۰	۰/۶۲	۵/۰۸	۰/۴۵	۰/۵۰	۵/۱۵	۰/۴۲
ژوئن	۰/۲۸	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۳۷	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۲۸	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۳۳	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۲۶	۰/۲	۰/۱۳	۰/۳۰	۰/۲۲	۰/۱۱
ژوئیه	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱	۰/۴۴	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۰۴	۰/۳۶	۰/۲	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۰
اگوست	۰/۳۷	۰/۱۵	۰/۲	۰/۵۴	۰/۱۸	۰/۳۱	۰/۴۱	۰/۱۵	۰/۲۷	۰/۳۷	۰/۴۷	۰/۳۱	۰/۳۷	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۲۱
سپتامبر	۰	۰/۶۳	۰	۰/۵۳	۰/۶۴	۰/۳۳	۰/۵۲	۰/۴۷	۰/۳۱	۰/۴۶	۰/۶۳	۰/۲۷	۰/۵۱	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۴۶	۰/۸۴	۰/۲۲
اکتبر	۰/۷۱	۶/۹۴	۰/۳۳	۰/۷۷	۳/۴۷	۰/۸۲	۰/۷۵	۴/۹۸	۰/۵۳	۰/۷۹	۴/۳	۰/۶۷	۰/۶۲	۷/۶۴	۰/۴۲	۰/۵۶	۹/۶۹	۰/۳۸
نوامبر	۰/۹۱	۹/۵۵	۰/۸۲	۰/۹۰	۴/۸۹	۰/۹۰	۰/۸۴	۵/۷۸	۰/۹۱	۰/۸۹	۱۳	۰/۷۵	۰/۸۸	۱۹/۵	۰/۶۴	۰/۷۳	۱۴/۳	۰/۶۴
دسامبر	۰/۸۷	۲/۲	۰/۶۶	۰/۸۵	۹/۴۳	۰/۹۲	۰/۸۲	۱۳/۹	۰/۸۴	۰/۸۵	۳۳/۴	۰/۵۹	۰/۷۷	۳۳/۲	۰/۶۳	۰/۷۲	۲۸/۲	۰/۵۹
سالانه	۰/۹۳	۹/۱۴	۰/۷۲	۰/۹۲	۱۴/۵	۰/۹۹	۰/۸۹	۳۰/۲	۰/۹۱	۰/۹۱	۱۳۵	۰/۶۲	۰/۸۱	۱۱۷	۰/۶۹	۰/۶۹	۱۳۳	۰/۶۲

۴: شیب خط رگرسیونی

۳: عرض از مبدأ خط رگرسیونی

۲: ضریب همبستگی

۱: روش درون‌یابی منتخب در ماه مورد نظر

جدول ۳. مقادیر ریشه‌ی میانگین مربعات خطای روش‌های مورد استفاده برای داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه

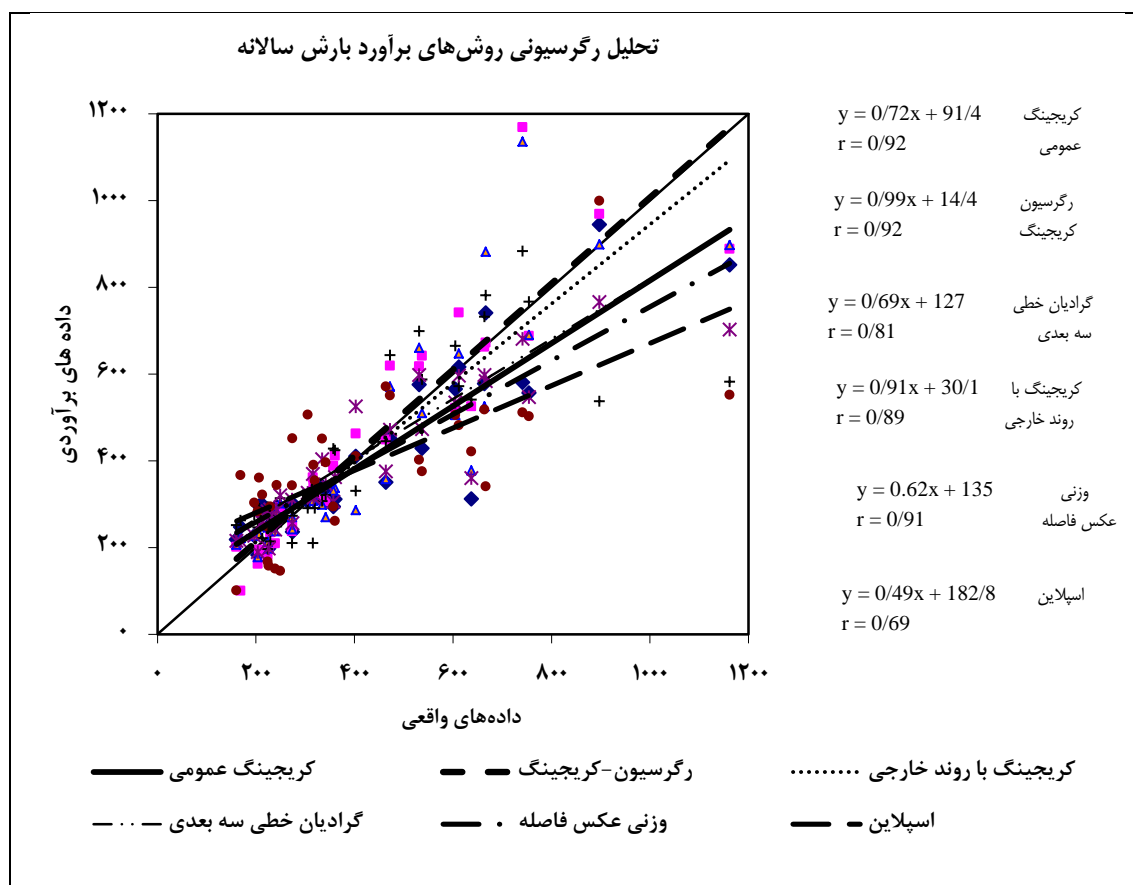
ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (میلی‌متر)						ماه
اسپلین	گرادیان خطی سه‌بُعدی	وزنی عکس فاصله	کریجینگ با روند خارجی	رگرسیون کریجینگ	کریجینگ	
۳۲/۱۹	۲۵/۰۴	*۲۰/۳۶	۲۵/۱۸	۲۱/۹	۲۱/۱۶	ژانویه
۲۷/۴۸	۲۲/۱۵	۱۶/۴۵	۲۶/۰۵	۱۵/۲۶	۱۶/۱۷	فوریه
۲۴/۸۷	۱۹/۴۲	۱۵/۱۶	۱۹/۸۸	۱۴/۰۵	۱۵/۴۶	مارس
۱۶/۴۲	۱۴/۰۲	۹/۹۲	۱۴/۶۶	۸/۱۹	۹/۰۲	آوریل
۹/۵۲	۸/۷۶	۶/۳۲	۶/۹۲	۵/۷	۶/۷۹	می
۰/۴۸	۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۴۰	۰/۴۲	ژوئن
۰/۴۴	۰/۲۸	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۳۱	ژوئیه
۰/۶۴	۰/۴۷	۰/۴۹	۰/۵۰	۰/۴۴	۰/۵۱	اگوست
۱/۳	۱/۱۵	۱/۰۸	۱/۰۳	۱/۰۰	۱/۲۸	سپتامبر
۸/۱۷	۷/۰۱	۵/۳۹	۵/۹۸	۶/۱۴	۶/۹۹	اکتبر
۲۶/۳۱	۱۸/۴۸	۱۳/۵۴	۱۷/۹۶	۱۳/۳۲	۱۲/۶۲	نوامبر
۴۴/۶۶	۲۹/۳۸	۲۵/۲۴	۲۷/۴۱	۲۶/۳۷	۲۳/۹۱	دسامبر
۱۷۶/۰۹	۱۳۳/۰۴	۱۰۹/۳۹	۱۱۰/۱۷	۱۰۰/۴۲	۹۸/۱۷	سالانه

* مقدار خطای روش درون‌یابی منتخب در ماه مورد نظر

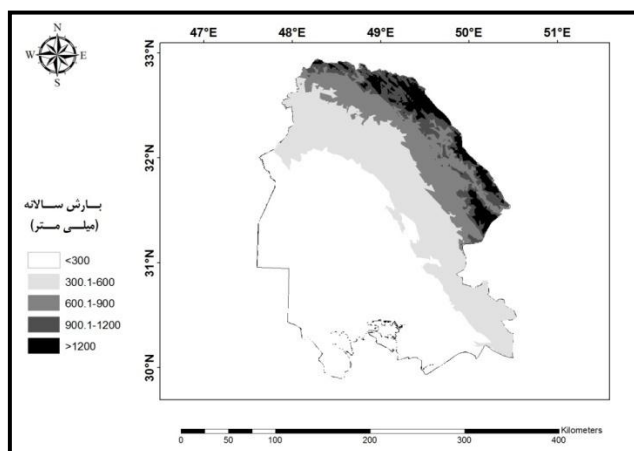
با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، برای مکانی‌کردن داده‌های بارندگی ماهانه در این منطقه روش رگرسیون کریجینگ معرفی می‌شود؛ اما با توجه به مقادیر مثبت میانگین خطای اریب این روش، باید توجه داشت که این روش در پیش‌بینی داده‌ها کمی، دارای رفتار بیش‌برآوردی است. در مورد انتخاب بهترین روش درون‌یابی داده‌های بارندگی سالانه، نتایج تحلیل رگرسیونی این روش (شکل شماره‌ی ۳)، معادله‌ی خط به‌دست‌آمده از رگرسیون کریجینگ را نسبت به سایر روش‌ها نزدیکتر به خط ۱:۱ نشان می‌دهد، اما نتایج جدول شماره‌ی ۳ نشان می‌دهد که روش کریجینگ عمومی دارای کمترین خطای برآورد در بین روش‌های دیگر است. با توجه به اینکه مقدار متوسط خطای این روش تفاوت اندکی با روش کریجینگ عمومی دارد (جدول شماره‌ی ۳) و از سویی، در ارتفاعات این منطقه بارندگی‌های زیادی ریزش می‌کند و همچنین متأسفانه ایستگاه‌های هواشناسی مرتفع کمی وجود دارد، استفاده از روش کریجینگ عمومی سبب می‌شود که مقدار بارش ارتفاعات کم‌برآورد شده و در نتیجه، بارش منطقه به‌درستی برآورد نشود؛ زیرا در این روش بارندگی قسمت‌های مرتفع، تنها از روی ایستگاه‌های کم‌ارتفاع منطقه برآورد می‌شوند. اما روش رگرسیون کریجینگ، از متغیر کمکی ارتفاع استفاده می‌کند که در آن، اثر ارتفاعات روی بارندگی لحاظ می‌شود و در نتیجه بارش ارتفاعات دقیق‌تر برآورد می‌شود. بنابراین روش رگرسیون کریجینگ، به‌عنوان مناسب‌ترین روش برآورد بارش سالانه در استان خوزستان

پیشنهاد می‌شود. اما با توجه به مثبت بودن میانگین خطای اریب (۳٪)، باید به رفتار بیش‌برآوردی این روش توجه داشته باشیم. در شکل شماره ۴، نقشه‌ی توزیع مکانی بارش سالانه‌ی این استان با روش رگرسیون کریجینگ ارائه شده است. همچنین برای مقایسه‌ی روش کریجینگ عمومی، به‌عنوان رقیب اصلی روش رگرسیون کریجینگ در مورد داده‌های بارش سالانه، نقشه‌ی تغییرات بارش سالانه با این روش در شکل شماره ۵ نشان داده شده است. مقایسه‌ی شکل‌های ۴ و ۵ به‌روشنی تفاوت بین روش منتخب رگرسیون کریجینگ را با روش کریجینگ عمومی نشان می‌دهد. یکی از تفاوت‌های بارز این دو نقشه در عدم وجود طبقه‌ی بارش بیش از ۱۲۰۰ میلی‌متر در نقشه‌ی ترسیم شده بر اساس روش کریجینگ عمومی است.

برای ارائه‌ی میانگین دقیق‌تر از بارندگی سالانه‌ی این منطقه، نقشه‌ی همبارش جدید (شکل شماره ۴) به ده پهنه تقسیم و مساحت آنها محاسبه شد. با توجه به رفتار بیش‌برآوردی این روش به‌اندازه‌ی ۳٪، میانگین پهنه‌های بارش در ۰/۹۷ ضرب شد. سپس به‌روش میانگین‌گیری وزنی، میانگین بارندگی درازمدت سالانه‌ی استان خوزستان، ۳۹۱ میلی‌متر به‌دست آمد و در مقایسه با میانگین ارائه‌شده از سوی سازمان هواشناسی کشور (۲۰۰۵) که ۳۵۰ میلی‌متر گزارش شده بود، به‌اندازه‌ی ۴۱ میلی‌متر تفاوت دارد.

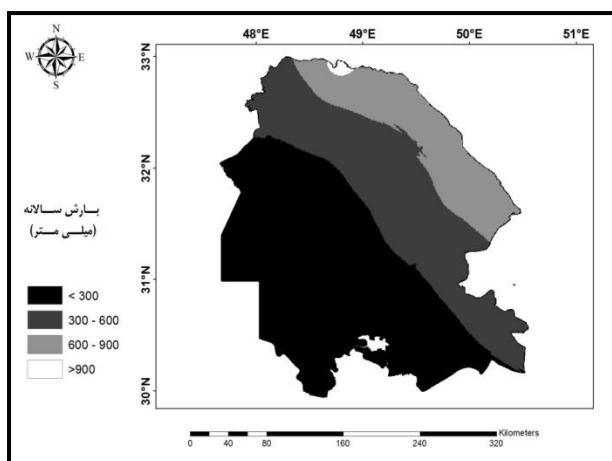


شکل ۳. تحلیل رگرسیونی روش‌های مختلف مکانی‌کردن داده‌های بارش سالانه



شکل ۴. توزیع مکانی بارش سالانه در استان خوزستان براساس روش رگرسیون کریجینگ

شکل ۵. توزیع مکانی بارش سالانه در استان خوزستان براساس روش کریجینگ عمومی



بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور تعیین بهترین روش درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه در استان خوزستان، هفت روش درون‌یابی، شامل کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، کریجینگ با روند خارجی، رگرسیون کریجینگ، وزنی عکس فاصله، اسپلاین و گرادیان خطی سه‌بعدی با یکدیگر مقایسه شدند. بررسی نتایج تحلیل رگرسیونی و میانگین مربعات خطا نشان داد که در مورد بارش‌های دراز ماهانه، روش رگرسیون کریجینگ بهترین روش درون‌یابی است، اما در مورد داده‌های بارش درازمدت سالانه، نتایج تحلیل رگرسیونی و میانگین مربعات خطا، به‌ترتیب روش‌های رگرسیون کریجینگ و کریجینگ عمومی را به‌عنوان بهترین روش درون‌یابی معرفی می‌کند، اما با توجه به مشکل کم‌برآوردی بارش ارتفاعات در روش کریجینگ عمومی و اهمیت بارش ارتفاعات در این منطقه و از سویی، اختلاف ناچیز میانگین مربعات خطای این دو روش، در مجموع، روش رگرسیون کریجینگ به‌عنوان بهترین روش درون‌یابی داده‌های بارش سالانه انتخاب شد. انتخاب روش رگرسیون کریجینگ به‌عنوان بهترین روش درون‌یابی داده‌های بارش در استان خوزستان، نشان می‌دهد که استفاده از متغیر کمکی ارتفاع، سبب افزایش دقت برآوردهای مکانی داده‌های بارش در این منطقه می‌شود. با توجه به اینکه ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان در ناحیه‌ی کم‌ارتفاعی قرار دارند و از سویی، ارتفاعات این استان

بارش‌های زیادی دریافت می‌کنند، استفاده از روش رگرسیون کریجینگ، تخمین دقیق‌تری از بارش ارتفاعات این استان را ارائه می‌کند. به همین دلیل، میانگین بارش سالانه‌ی منطقه‌ای استان خوزستان با میانگین‌گیری وزنی از نقشه‌ی بارش سالانه، به روش رگرسیون کریجینگ محاسبه شد که به اندازه‌ی ۴۱ میلی‌متر بیشتر از مقدار ارائه‌شده از سوی سازمان هواشناسی کشور است و این اختلاف به دلیل در نظر گرفتن بارش ارتفاعات منطقه در این پژوهش است.

سپاسگزاری

از دفتر تحقیقات و استانداردهای مهندسی آب، سازمان آب و برق خوزستان به‌عنوان حامیان پژوهش قدردانی می‌شود.

منابع

- اختری، روح انگیز؛ مهدیان، محمدحسین؛ مرید، سعید. ۱۳۸۵، تحلیل مکانی شاخص‌های خشکسالی SPI و EDI در استان تهران، تحقیقات منابع آب ایران، دوره‌ی ۲، شماره ۳، صص. ۲۷-۳۸.
- ثقفیان، بهرام و رحیمی‌بندرآبادی، سیما. ۱۳۸۴، مقایسه‌ی روش‌های درون‌یابی و برون‌یابی برای برآورد توزیع مکانی مقدار بارندگی سالانه، دو فصلنامه‌ی تحقیقات منابع آب ایران، سال اول، شماره ۲، صص. ۷۴-۸۴.
- حسینی پاک، علی‌اصغر. ۱۳۷۷، زمین‌آمار (ژئواستاتیسیتیک)، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- رحیمی بندرآبادی، سیما و مهدیان، محمدحسین. ۱۳۸۴، بررسی روش‌های توزیع مکانی بارندگی روزانه و ماهانه در حوضه‌ی دریای خزر، فصلنامه‌ی پژوهش و سازندگی، شماره ۳ (پیاپی ۶۹)، صص ۷۲-۶۳.
- مهدوی، محمد؛ حسینی چگینی، ابراهیم؛ مهدیان، محمدحسین و رحیمی بندرآبادی، سیما. ۱۳۸۳، مقایسه‌ی روش‌های زمین‌آمار در برآورد توزیع مکانی بارش سالانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب‌شرقی ایران، فصلنامه‌ی منابع طبیعی ایران، دوره‌ی ۵۷، شماره ۲، صص. ۱۷-۱.
- مهدیزاده، مهیار. ۱۳۸۱، ارزیابی روش‌های زمین‌آمار برای برآورد دما و بارندگی در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران.
- میرموسوی، سید حسن؛ مزیدی، احمد و خسروی، یونس. ۱۳۸۹، تعیین بهترین روش زمین‌آمار جهت تخمین توزیع بارندگی با استفاده از GIS (مطالعه‌ی موردی: استان اصفهان)، فصلنامه‌ی فضای جغرافیایی، سال دهم، شماره ۳۰، صص. ۱۲۰-۱۰۵.
- نادی، مهدی. ۱۳۸۹، استفاده از تکنیک‌های مختلف پهنه‌بندی داده‌های اقلیمی برای تعیین مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر رویش درختان ناحیه‌ی مرتفع چهارباغ گرگان، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران.
- Akhtari, R., Mahdian, M.H., Morid, S., 2007, **Assessment of Spatial Analysis of SPI and EDI Drought Indices in Tehran Province**, Iran-water Resources Research, Vol. 2, No. 3, PP. 27-38.
- Boer, E. P. J., Beurs, K. M. D., Dewi Hartkamp, A., 2001, **Kriging and Thin Plate Splines for Mapping Climate Variables**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 3, No. 2, PP. 146-154.
- Coulibaly, M., Becker, S., 2007, **Spatial Interpolation of Annual Precipitation in South Africa-Comparison and Evaluation of Methods**, International Water Resources Association, Water International, Vol. 3, No. 23, PP. 494-502.

- Francisco, J.M., 2010, **Comparison of Different Geostatistical Approaches to Map Climate Variables: Application to Precipitation**, International Journal of Climatology, No. 30, PP. 620-631.
- Goovaerts, P., 2000, **Geostatistical Approaches for Incorporating Elevation Into the Spatial Interpolation of Rainfall**, Journal of Hydrology, Vol. 228, PP. 113-129.
- Hassani Pak, A.A., 2007, **Geostatistics**, 2th Ed., University of Tehran Press, Tehran.
- Hutchinson, M.F., Gessler, P.E., 1994, **Splines - More Than Just a Smooth Interpolator**, Geoderma, No. 62, PP. 45-67.
- Iranian Meteorological Organization, 2005, **Meteorological Year Book**.
- Jeffrey, S.J., Carter, J.O., Moodie, K.M., Beswick, A.R., 2001, **Using Spatial Interpolation to Construct a Comprehensive Archive of Australian Climate Data**, Environmental Modeling and Software, Vol. 16, No. 4, PP. 309-330.
- Kravchenko, A., Zhang, R., Tung, Y., 1996, **Estimation of Mean Annual Precipitation in Wyoming Using Geostatistical Analysis**, 16th Annual Hydrology Days, Colorado.
- Mahdavi, M., Hosseini Chegini, M., Mahdian, M.H., Rahimi, S., 2004, **Application of Geostatistical Method for Estimation of Annual Spatial Rainfall in Arid and Semiarid Regions of South East of Iran**, Iranian Journal of Natural Resource, Vol. 57, No. 2, PP. 1-17.
- Mahdizadeh, M., 2002, **Assessment of Geostatistical Methods for Estimation of Temperature and Precipitation in Oroumieh Catchment**, M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Iran.
- Mir-Mousavi, 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, Vol. 10, No. 30, PP. 105-120.
- Nadi, M., 2010, **Application of Various Interpolation Techniques of Climatic Data for Determining the Most Important Factors Affecting the Trees Growth at the Elevated Areas of Chaharbagh Gorgan**, M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Iran.
- Odeh, I. O. A., McBratney, A.B., Chittleborough, D. J., 1995, **Further Results on Prediction of Soil Properties from Terrain Attributes: Heterotopic Cokriging and Regression-Kriging**, Geoderma, Vol. 67, No.3, PP. 215-226.
- Rahimi, S., Mahdian, M.H., 2005, **Comparison of Estimation Methods for Spatial Distribution of Daily and Monthly Rainfall in Caspian Sea Watershed**, Pajouhesh & Sazandegi, No. 69, PP. 63-72.
- Saghafian, B., Rahimi, S., 2005, **Comparison of Interpolation and Extrapolation Methods for Estimating Spatial Distribution of Annual Rainfall**, Iran-Water Resources Research, Vol. 1, No. 2, PP. 74-84.
- Wilks, D.S., 2006, **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**, Second Edition, Academic Press Is an Imprint of Elsevier, Cornell University, USA.
- Zhang, X., Srinivasan, R., 2009, **GIS-Based Spatial Precipitation Estimation: A Comparison of Geostatistical Approaches**, Journal of the American Water Resources Association (JAWRA), Vol. 45, No. 4, PP. 894- 906.

Evaluation of Different Methods for Interpolation of Mean Monthly and Annual Precipitation Data (Case Study: Khuzestan Province)

Nadi M.*

Ph.D. Student of Agrometeorology, University College of Agriculture & Natural Resources,
University of Tehran

Jamei M.

Ph.D. Student of Agrometeorology, Ferdowsi University of Mashhad

Bazrafshan J.

Assistant Prof., University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

Janatrostami S.

Ph.D. Student of Water Resources Engineering, University College of Agriculture & Natural
Resources, University of Tehran

Received: 07/04/2012 Accepted: 11/11/2012

Extended Abstract

Introduction

Isohyetal map is the prerequisite of hydrology, meteorology and climatology studies. Precipitation distribution in a region is related to regionalization method of precipitation data. Khuzestan elevation fluctuates from sea level up to 3712 meter while the elevations of meteorological stations fluctuate from 3 meter up to 875 meter. Due to the complex topography of Khuzestan province and the lack of high elevation meteorological stations with long-term data, it is necessary to determine the appropriate interpolation method for monthly and annual precipitation data in this region.

Methodology

In this study, in order to determine the best method for regionalization of precipitation data, seven interpolation methods were compared together. These methods are ordinary kriging, Cokriging, kriging with external drift, regression kriging, inverse distance weighting, spline and three-dimensional linear gradient. The monthly average and annual long-term data were used from 37 meteorological stations (synoptic, climatology and rain gage) over the 22-year period (1984-2005). In variography analysis, five variogram models (spherical, exponential, Gaussian, linear and linear to sill) were fitted to precipitation data and the best one was selected based on higher correlation coefficient and higher structured component to unstructured ratio. Cross validation technique was used to compare the interpolation methods and the best one was

*E-mail: mnadi@ut.ac.ir

chosen based on regression analysis, and calculation of some error indices like as root mean square error and mean bias error.

Results and Discussion

The probability distribution of precipitation data were tested for normality with Anderson Darling (AD) method. The results showed that precipitation data had normal distribution throughout the year except January and December. Non-normal data in other months were normalized with logarithmic transformation.

Variography analysis results showed that structured component in more than 85% of the months was more effective than unstructured component. Our results confirmed that precipitation data had strong spatial structure. Effective ranges of precipitation data vary from 81.1 Km (in warm months) to 250.3 Km (in cold months). Also spatial structure of warm months was weaker than cold months. The goodness of fit results for different variogram models showed that the optimal model was the spherical model.

These results were obtained based on evaluation of different interpolation methods:

- The optimum power in Inverse Distance Weighting method among the five powers (1-5) was the power 3. It was also found that in this method the variation of adjacent point's number does not have significant differences in results.
- The Cokriging method was removed from calculations, because spatial correlation was not strong enough in cross variogram models for different months,.
- Altitude variable and altitude, longitude, latitude variables were selected as covariate variables in kriging with external drift and regression kriging methods, respectively.
- The results of three-dimensional linear gradient method showed that meridional, zonal and altitudinal gradients are positive in all months. In other words, precipitation increase from west to east and south to north of region and also increase with increase in altitude.
- Selection of regression kriging and kriging with external drift methods as the best methods based on the regression analysis showed that there is a consistency between results of these methods with real data. So that it can be considered as a result of using elevation as covariate variable.
- Regression kriging was selected as the best interpolation method in monthly precipitation data based on error indices and regression analysis results in Khuzestan province.
- In annual precipitation data, Regression kriging and ordinary kriging methods were selected as the best interpolation methods based on regression analysis and calculation of error indices. But precipitation of highland area was underestimated by using ordinary kriging method. Considering the importance of precipitation in the highland area and slight difference of root mean square error between these two methods, regression kriging was selected as the best interpolation method for annual precipitation data.

In this study, long-term weighted average of annual precipitation data in Khuzestan province was calculated by using regression kriging. It was 391 mm, which is 41 mm more than the amount reported by the Iran meteorological organization.

Conclusion

Among the interpolation methods which were investigated in this study, regression kriging method is introduced as the most suitable interpolation method in Khuzestan province for monthly average and annual precipitation data.

The average annual precipitation obtained from regression kriging map was 41 millimeter more than the average reported by the Iran Meteorological Organization. This difference is due to accurate estimation of precipitation over highland area of this region.

Keywords: *Precipitation, Interpolation Methods, Regression Kriging, Khuzestan.*