نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۱، ص. ۶۴-۵۳

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 1, Mar-Apr 2012, p. 53-64

بررسی الگوی گسترش مکانی بارش در سطح استان گلستان با استفاده از مدل‌های قطعی و زمین‌آماری

معصومه عیوضی[۱] – ابوالفضل مساعدی[۲*]

تاریخ دریافت:۸۹/۷/۲۶
تاریخ پذیرش:۹۰/۸/۱۵

چکیده

بارندگی یکی از مهمترین عوامل اقلیمی است که از تغییرپذیری زمانی و مکانی بسیار زیادی برخوردار است. از طرف دیگر، تعیین مقدار بارندگی در موقعیت‌های مکانی مختلف، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در این تحقیق به منظور تخمین بارندگی در مناطق مختلف، از روش‌های متعدد درون‌یابی استفاده شده‌است. به این منظور، داده‌های بارندگی ۳۲ ایستگاه باران‌سنجی با طول دوره آماری ۲۶ سال (۶۲-۱۳۶۱ الی ۸۷-۱۳۸۶) در سطح استان گلستان انتخاب شدند. بعد از بررسی داده‌ها از نظر صحت و همگنی با استفاده از آزمون‌های آماری، به‌منظور تعیین بهترین الگوی توزیع مکانی بارندگی سالانه در سطح استان گلستان، از شش روش درون‌یابی مکانی فاصله وزنی معکوس (IDW)، چندجمله‌ای جهانی (GPI)، چندجمله‌ای محلی (LPI)، تابع پایه شعاعی (RBF)، کریجینگ (Kriging) و کوکریجینگ (Co-Kriging) استفاده شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در بین روش‌های قطعی و زمین‌آماری، به‌ترتیب روش زمین‌آمارکریجینگ و کوکریجینگ با مدل بیضوی و با میزان خطای ۶۰/۴۹ و ۶۴/۴۶ نسبت به روش‌های قطعی برتر بوده است. همچنین در بین روش‌های قطعی دو روش RBF و IDW با میزان خطای ۶۶/۸۶ و ۷۷/۲۰ نتایج نسبتاً دقیق‌تری را در مقایسه با دو روش LPI و GPI داشته‌اند. ضمن آنکه کمترین مقدار میانگین مربعات خطا در روش کریجینگ با مدل بیضوی (۶۰/۴۹) و بیشترین آن در روش GPI با توان ۵ (به مقدار۲۸۸/۹۶) به‌دست آمده است.

واژه های کلیدی: بارندگی، فاصله وزنی معکوس، چندجمله‌ای جهانی، چندجمله‌ای محلی، تابع پایه شعاعی، کریجینگ، کوکریجینگ، استان گلستان

مقدمه

متغیرهای هواشناسی که در موضوعات مربوط به مدیریت منابع آب و هیدرولوژی مورد نیاز هستند، معمولاً در ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شوند؛ ولی این داده‌ها فقط در همان محلی که اندازه‌گیری شده‌اند از بالاترین اعتبار برخوردارند و با دورشدن از محل ایستگاه اطمینان به آن‌ها کاهش می‌یابد. از درون‌یابی مکانی می‌توان برای تخمین متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی در نقاط اندازه‌گیری نشده استفاده کرد. از آنجایی‌که روش‌های درون‌یابی متعددی برای این منظور وجود دارد، تعیین بهترین روش درون‌یابی نیز مشکل خواهد بود. برتری و اشکالات هر روش شدیداً به خصوصیات و مشخصات مجموعه داده‌ها بستگی دارد. ممکن است روشی که به‌خوبی بر مجموعه داده‌ای برازش داده می‌شود، برازش آن بر مجموعه داده دیگری نتایج ضعیفی را ارائه دهد. بنابراین ضوابط و معیارهایی برای انتخاب مناسب‌ترین روش باید ارائه شود (۵). تخمین و پیش‌بینی مکانی دقیق بارندگی نیز مانند دیگر پارامترهای اقلیمی به‌دلیل فقدان یا غیرمعتبر بودن داده‌های مشاهده‌ای مشکلاتی را داشته است (۱).

بعضی از محققین اختلاف معنی‌داری را بین روش‌های مختلف درون‌یابی گزارش نموده‌اند. دیرکز و همکاران (۹) نشان دادند که نتایج درون‌یابی، به تراکم و پراکندگی داده‌ها بستگی دارد و روش کریجینگ[۳] نیز ممکن است در بعضی از مناطق و متغیرها از

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲- دانشیار دانشکده منابع‌طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: mosaedi@um.ac.ir)

3- Kriging

روش‌های درون‌یابی ساده‌تر، مانند روش فاصله وزنی معکوس[1] (IDW)، نتایج ضعیف‌تری را ارائه نماید. میکاد و سروشیان (۱۴) نشان دادند که دو روش کریجینگ و تابع پایه شعاعی[2] (RBF) نتایج تقریباً مشابه و مناسب‌تری را نسبت به دیگر روش‌های درون‌یابی داشته است. جانستون و همکاران (۱۲) از بین روش‌های قطعی، دو روش IDW و RBF را روش‌های دقیق و دو روش چندجمله‌ای جهانی[3] (GPI) و چندجمله‌ای محلی[4] (LPI) را روش‌های غیر دقیق معرفی کرده‌اند. گوارتز (۱۰) نیز به بررسی داده‌های بارندگی پرداخت. نتایج وی نشان داد که از بین روش‌های مختلف درون‌یابی، روش کریجینگ معمولی نتایج بهتری را ارائه کرده است. میثاقی و محمدی (۳) با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک و زمین آمار، اطلاعات بارندگی در حوضه آبریز مارون را درون‌یابی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش‌های زمین آماری و تخمین‌گرهای کریجینگ و کو-کریجینگ[5] نسبت به دیگر روش‌ها برتر می‌باشد.

کولیبالی و بکر (۸) به‌منظور درون‌یابی پارامتر بارندگی در منطقه جنوب آفریقا، از روش‌های مختلف درون‌یابی IDW، کریجینگ معمولی[6] (KO)، کریجینگ تعمیم یافته[7] (KU) و کوکریجینگ استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که کریجینگ معمولی با متوسط خطای ۶۱ میلی‌متر (۱۱ درصد) نسبت به دیگر روش‌ها برتر می‌باشد. آپایدین و همکاران (۵) با استفاده از شش روش درون یابی IDW، GPI، LPI، RBF، Kriging و Co-Kriging به درون‌یابی ۶ پارامتر اقلیمی تشعشع خورشیدی، مدت تابش، درجه حرارت، رطوبت نسبی، سرعت باد و بارندگی در ترکیه طی دوره آماری ۱۹۹۹-۱۹۷۱ پرداختند و از ریشه میانگین مربعات خطا[8] (RMSE) به‌عنوان معیار ارزیابی انتخاب بهترین مدل استفاده نمودند. در نهایت نتایج آنها نشان داد که روش Co-Kriging برای درون‌یابی پارامترهای اقلیمی تشعشع خورشیدی، درجه حرارت، رطوبت نسبی و سرعت باد و روش RBF برای درون‌یابی مدت تابش و بارندگی مناسب‌تر است (۷).

بنابراین به نظر می‌رسد که در مناطق مختلف و در مورد پارامترهای مختلف روش واحدی به‌عنوان مناسب‌ترین روش نمی‌تواند انتخاب شود و انتخاب مناسب‌ترین روش درون‌یابی پارامترهای هواشناسی به خصوصیات منطقه‌ای نیز بستگی دارد. با توجه به اهمیت تعیین مقدار بارندگی و شناخت الگوی تغییرات مکانی آن در طرح‌های عمرانی، کشاورزی و منابع آب، (به‌خصوص در استان گلستان که در آن تغییرات مکانی بارندگی چشم‌گیر می‌باشد)، هدف از انجام این تحقیق، تعیین مناسب‌ترین روش الگوی گسترش مکانی بارندگی در سطح استان گلستان، از بین روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین‌آماری مورد آزمون است. از نتایج این تحقیق می‌توان در تعیین مقادیر بارندگی در مناطقی که در آنها ایستگاه باران‌سنجی وجود ندارد، استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

روش‌های درون‌یابی

روش‌های درون‌یابی در آنالیزهای مکانی به دو دسته قطعی و زمین آماری تقسیم می‌شوند. روش‌های قطعی براساس تعیین سطح از نقاط نمونه‌گیری شده و بر پایه شباهت‌ها (مانند روش وزن‌دهی عکس فاصله) یا درجه هموارسازی (توابع پایه شعاعی) انجام می‌شود. این روش‌ها مدل فرآیندهای مکانی تصادفی را مورد استفاده قرار نمی‌دهد. روش‌های زمین‌آماری (کریجینگ و کوکریجینگ) خواص آماری نقاط نمونه‌گیری شده را در نظر گرفته و با استفاده از فرآیندهای تصادفی با همبستگی مکانی، آن‌ها را به صورت مدل در می‌آورند.

روش‌های درون‌یابی قطعی

فاصله وزنی معکوس (IDW): روش فاصله وزنی معکوس، یکی از روش‌های درون‌یابی است که درون‌یابی را به سادگی انجام می‌دهد. این روش با وزن‌دهی به داده‌های اطراف نقطه مورد برآورد، کمیت مجهول را به‌دست آورده و درون‌یابی را انجام می‌دهد. بنابراین هر نقطه اندازه‌گیری شده (مشاهده‌ای) دارای یک اثر محلی است و با افزایش فاصله، از تأثیر آن کاسته می‌شود. بدین ترتیب نقاط نزدیک‌تر دارای وزن بیشتری هستند (۱۲).

روش چندجمله‌ای جهانی (GPI): روش چند جمله‌ای جهانی، با استفاده از تابع ریاضی، یک رویه هموار را بر نقاط نمونه‌برداری شده برازش می‌دهد. این رویه به‌تدریج تغییر می‌کند و الگوی (تغییرات) داده‌ها را ضبط می‌کند.

روش چندجمله‌ای محلی (LPI): این روش نیز همانند روش GPI از تابع چندجمله‌ای جهت درون‌یابی استفاده می‌کند و تنها تفاوت آنها در این است که در این روش تعداد زیادی چندجمله‌ای بر داده‌های محدود در یک همسایگی معین، برازش داده می‌شود.

توابع پایه‌ای شعاعی (RBF): توابع پایه شعاعی، از نوع شبکه‌های رو به جلو همراه با یک لایه میانی هستند. شبکه‌های توابع پایه شعاعی دارای پایه ریاضیاتی بسیار قوی، بر مبنای فرضیه منظم‌سازی برای حل مسائل مشکل می‌باشند. این شبکه‌ها، تقریباً

1- Inverse Distance weighting
2- Radial Basis Function
3- Global Polynomial Interpolation
4- Local Polynomial Interpolation
5- Co-Kriging
6- Ordinary Kriging (KO)
7- Universal Kriging (KU)
8- Root Mean Square Error

به‌طور کلی، از سه لایه شامل ورودی، مخفی و خروجی تشکیل شده‌اند. توابع پایه شعاعی منظم به‌عنوان تابع تحریک نرون‌های لایه مخفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. عموماً آموزش شبکه RBF به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش اول عمدتاً یادگیری از نوع بدون نظارت است که با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی، پارامترهای توابع پایه (مراکز و عرض‌ها) با استفاده از اطلاعات ورودی تعیین می‌شود و در بخش دوم که یادگیری از نوع با نظارت است، وزن‌های بین لایه میانی و لایه خروجی با استفاده از روش‌های کاهش شیب و رگرسیون خطی تعیین می‌شود.

روش‌های درون‌یابی زمین‌آماری

کریجینگ: در چند دهه گذشته روش کریجینگ، ابزاری بنیادین و کارآمد در بین روش‌های زمین آمار بوده است (۷). این روش نیز همانند روش IDW با وزن‌دهی به داده‌های اطراف نقطه مورد برآورد، کمیت مجهول را به‌دست می‌آورد. با این تفاوت که در روش IDW وزن‌دهی براساس یک الگوریتم ساده بوده، درحالی‌که در روش کریجینگ وزن‌ها از روش خبره‌تری به‌دست می‌آید. در روش‌های زمین آمار، اطلاعات موقعیت مکانی داده‌ها نیز در محاسبات وارد می‌گردد و سعی می‌شود تا رابطه‌ای نیز بین آنها تعریف گردد. معمولاً این ارتباط و همبستگی بین نمونه‌ها به‌صورت یک مدل ریاضی ارائه می‌شود تا از این طریق بتوان تغییرپذیری را شبیه‌سازی نمود. بنابراین برای آنها، همبستگی مکانی را می‌توان تعریف نمود. ابزارهای مختلفی برای بررسی این همبستگی وجود دارد که می‌توان به تغییرنما اشاره نمود (۱۱). این روش از چهار نوع مختلف کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده[1]، کریجینگ تعمیم‌یافته و کریجینگ جدا[2] تشکیل شده است.

کریجینگ معمولی (KO): روش کریجینگ معمولی یکی از روش‌های کریجینگ است که نسبت به دیگر روش‌های کریجینگ بیشتر استفاده می‌شود. در این روش مقادیر نقطه مجهول از مقادیر معلوم ایستگاه‌های اطراف و از یک مدل تغییرنما به‌دست می‌آید.

کریجینگ ساده (KS): در این نوع از کریجینگ، میانگین داده‌ها معلوم و مستقل از مختصات فرض می‌شود. این روش نسبت به کریجینگ معمولی دقت کمتری داشته، اما نتایج این روش هموارتر می‌باشد.

کریجینگ درصورت وجود روند (کریجینگ تعمیم یافته): در این روش فرض می‌شود که در داده‌ها روند وجود دارد و این روند می‌تواند با یک تابع قطعی، مانند یک تابع چندجمله‌ای مدل شود. در این صورت میانگین دیگر ثابت نبوده و واریانس ابزار مناسبی برای مدل‌سازی نمی‌باشد. در این حالت باید واریوگرام را با استفاده از باقیمانده‌ها تهیه کرد و نیز مدلی برای تشریح روند، ساخت. در این حالت کریجینگ بر روی باقیمانده‌ها انجام خواهد شد (۱۲).

کوکریجینگ: روش کوکریجینگ مانند روش کریجینگ می‌باشد؛ با این تفاوت که روش کوکریجینگ با در نظر گرفتن رابطه فضایی بین این متغیر و متغیر دیگری که از آن به‌خوبی نمونه‌گیری شده باشد، مقادیر مجهول را تخمین می‌زند. وقتی رابطه مناسب و همبستگی‌های خوبی بین این متغیرها وجود داشته باشد، روش کوکریجینگ نتایج خوبی را ارائه خواهد کرد (۱۵). این روش نیز همانند روش کریجینگ از چهار نوع مختلف کوکریجینگ معمولی[3]، کوکریجینگ ساده[4]، کوکریجینگ تعمیم یافته[5] و کوکریجینگ جدا[6] تشکیل شده است.

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی در تحقیق حاضر استان گلستان می‌باشد که از شمال به جمهوری ترکمنستان، از شرق به استان خراسان شمالی، از جنوب و جنوب شرقی به استان سمنان و از غرب به استان مازندران، خلیج گرگان و دریای خزر محدود می‌شود. مساحت منطقه مورد مطالعه حدود ۲۰۳۸۷ کیلومتر مربع می‌باشد. تنوع تراز ارتفاعی و ویژگی‌های رشته کوه‌های البرز و تأثیر آن بر اقلیم منطقه سبب ناهمگونی نسبی در پارامترهای اقلیمی منطقه می‌گردد؛ به‌طوری‌که اقلیم این استان از اقلیم نیمه خشک در نوار مرزی و حوضه آبریز اترک تا معتدل و نیمه‌مرطوب در مناطق جنوبی و غربی و سرد در ارتفاعات جنوبی متغییر است (۲).

روش تحقیق

در این تحقیق به‌منظور بررسی ارائه مدلی مناسب جهت درون‌یابی مکانی، از داده‌های بارندگی ۳۲ ایستگاه باران‌سنجی متعلق به وزارت نیرو در طی دوره آماری مشترک ۲۶ ساله (۶۲-۱۳۶۱ الی ۸۷-۱۳۸۶) استفاده شد. سپس به منظور بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی و انتخاب مناسب‌ترین روش در سطح استان، داده‌های مکانی بارندگی در سطح استان به دو سری آموزش (۲۴ ایستگاه) و تست (۸ ایستگاه) تقسیم شد. با توجه به این‌که استان گلستان از نظر ارتفاعی و اقلیمی دارای تغییرات زیادی می‌باشد، سعی شد طوری جداسازی ایستگاه‌ها انجام شود که ایستگاه‌ها با هر نوع رده ارتفاعی و هر نوع اقلیم، هم در مرحله آموزش و هم در مرحله تست (آزمون)

1- Simple Kriging (KS)
2- Disjunctive Kriging (KD)

3- Ordinary Co-Kriging (CKO)
4- Simple Co-Kriging (CKS)
5- Universal Co-Kriging (CKU)
6- Disjunctive Co-Kriging (CKD)

وجود داشته باشد. به‌منظور اطمینان از صحت و همگنی داده‌ها، از آزمون‌های گروبز- بک[1] و توالی[2] در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد (۱). سپس بازسازی آمار ایستگاه‌هایی که داده‌های آن‌ها ناقص بود، بر اساس روش همبستگی بین ایستگاه‌ها انجام گرفت و آمار ایستگاه‌های ناقص بر اساس آمار ایستگاه دارای بالاترین ضریب همبستگی و نزدیک‌ترین ایستگاه تکمیل شد. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های منتخب را در سطح استان گلستان نشان می‌دهد. بعد از بررسی داده‌ها، به‌منظور بررسی الگوی گسترش مکانی بارندگی در سطح استان گلستان از روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین آماری استفاده شد. به این منظور روش IDW، GPI و LPI با توان‌های مختلف ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵، روش RBF با ۵ مدل اسپلاین کاملاً منظم[3]، اسپلاین با کشش[4]، مولتی کوادریک[5]، مولتی کوادریک معکوس[6]، اسپلاین صفحه نازک[7] و دو روش زمین‌آماری کریجینگ و کوکریجینگ با انواع معمولی، ساده، تعمیم یافته و جدا، به همراه چهار مدل مختلف نمایی، کروی، بیضوی و گوسین در محیط ArcGIS 9.2 بررسی شد.

معیارهای خطاسنجی

به‌منظور بررسی و تعیین بهترین روش درون‌یابی، از معیارهای خطا سنجی ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، میانگین قدر مطلق خطای نسبی (MRE)، همبستگی (R)، انحراف استاندارد عمومی (GSD) و نسبت اختلاف (r)، بر اساس روابط ۱ تا ۶ استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}[Z(x_i) - Z^*(x_i)]^2}{n}} \quad (۱)$$

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

$$MRE = \frac{100}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{\left|Z(x_i) - Z^*(x_i)\right|}{Z(x_i)} \quad (۳)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}[Z(x_i) - \overline{Z(x_i)}][Z^*(x_i) - \overline{Z^*(x_i)}]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}[Z(x_i) - \overline{Z(x_i)}]^2 \sum_{i=1}^{n}[Z^*(x_i) - \overline{Z^*(x_i)}]^2}} \quad (۴)$$

$$GSD = RMSE \Big/ \overline{Z^*(x_i)} \quad (۵)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n} Z^*(x_i)}{\sum_{i=1}^{n} Z(x_i)} \quad (۶)$$

در این معادلات $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر x در نقطه i، $Z^*(x_i)$ مقدار برآورد شده متغیر x در نقطه i، $\overline{Z(x_i)}$ میانگین مقادیر مشاهده شده متغیر x در نقطه i، $\overline{Z^*(x_i)}$: میانگین مقادیر برآورد شده متغیر x در نقطه i و n تعداد متغیر مشاهده شده است.

مقدار مناسب شاخص‌های RMSE، MAE و GSD برابر صفر بوده؛ در حالیکه مقدار بهینه شاخص آماری ضریب همبستگی (R)، یک و MRE، ۱۰۰درصد می‌باشد. همچنین هر چه مقدار شاخص نسبت اختلاف (r) به یک نزدیکتر باشد مدل از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود (۱).

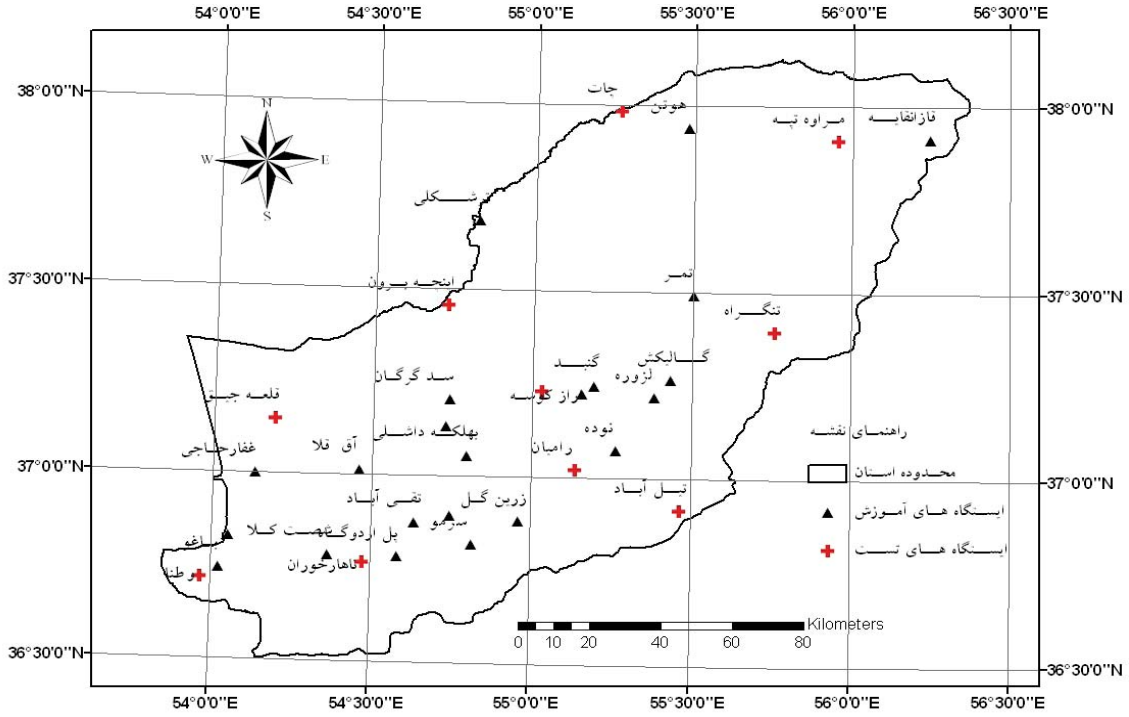
نتایج و بحث

پس از اطمینان از صحت و همگنی داده‌ها براساس آزمون‌های گروبز- بک و توالی در سطح اطمینان ۹۵ درصد و پس از بازسازی آمار ایستگاه‌هایی که داده‌های آن‌ها ناقص بود (که فقط در مورد ۵ ایستگاه و در مجموع کمتر از ۲۰ ماه را شامل می‌شد)، اقدام به بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی قطعی و زمین‌آماری در تعیین الگوی گسترش مکانی بارندگی سالیانه در سطح استان گلستان گردید.

نتایج روش‌های مختلف درون‌یابی قطعی IDW، GPI، LPI و RBF با توان‌های مختلف (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵) و مدل‌های مختلف (اسپلاین کاملاً منظم، اسپلاین با کشش، مولتی کوادریک، مولتی کوادریک معکوس، اسپلاین صفحه نازک)، که به‌منظور بررسی الگوی توزیع مکانی بارندگی در سطح استان گلستان و شناخت مناسب‌ترین روش میان‌یابی بارندگی در این استان انجام شد، در جدول ۱ ارائه شده‌است. در این بخش به توضیح مختصر نتایج حاصل از هر روش پرداخته می‌شود.

روش IDW: با توجه به جدول ۱، مشخص می‌شود که با افزایش توان معادله، میزان خطا (MAE، MRE و RMSE) کاهش و میزان همبستگی (R) افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که در بین توان‌های مختلف IDW (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵) توان ۵ کمترین خطا و بیشترین همبستگی و توان ۱ بیشترین خطا و کمترین همبستگی را نسبت به دیگر توان‌ها داشته است. همچنین توان‌های ۴، ۳ و ۲ به‌ترتیب در جایگاه دوم، سوم و چهارم قرار گرفته‌اند.

1- G-B
2- Run Test
3- Completely Regularized Spline
4- Spline with Tension
5- Multiquadic
6- Inverse Multiquadric
7- Thin Plate Spline



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی در مراحل آموزش و آزمون در سطح استان گلستان

روش GPI: این روش نیز با توان‌های مختلف (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵) بررسی شد و نتایج نشان داد که در این روش، برعکس روش IDW، توان ۱ بهترین نتیجه را از نظر خطا و همبستگی و توان ۵ ضعیف‌ترین نتیجه را نسبت به دیگر توان‌ها ارائه کرده است. ضمن اینکه توان‌های ۴، ۳ و ۲ به ترتیب در جایگاه دوم، سوم و چهارم قرار گرفته‌اند.

روش LPI: این روش نیز همانند دو روش IDW و GPI با توان‌های مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد که در این روش نیز همانند روش IDW با افزایش توان، میزان خطا افزایش و همبستگی کاهش می‌یابد؛ به‌طوری‌که حتی در توان‌های ۴ و ۵، مدل نقاط همسایه خود را از دست داده و قادر به تعیین مقدار بارش در اکثر نقاط نبود.

روش RBF: درون‌یابی بارندگی با روش تابع پایه‌ای شعاعی همراه با ۵ مدل مختلف بررسی شد که نتایج در جدول ۱ ارائه گردیده شد. نتایج نشان داد که مدل مولتی کوادریک معکوس نسبت به دیگر مدل‌های این روش کمترین خطا و بیشترین همبستگی را داشته است. ضمن اینکه مدل اسپلاین صفحه نازک بیشترین خطا و کمترین همبستگی را برآورد کرده است. همچنین از بین سه مدل باقی‌مانده، مدل اسپلاین کاملاً منظم در رتبه دوم، مدل مولتی کوادریک در رتبه سوم و اسپلاین با کشش در رتبه چهارم قرارگرفته‌اند.

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱، از بین چهار روش درون‌یابی قطعی، روش RBF نسبت به سه روش دیگر IDW، GPI و LPI نتایج بهتری را ارائه کرده است؛ به‌طوری‌که نتایج ضعیف‌ترین مدل در این روش (یعنی مدل اسپلاین صفحه نازک)، نسبت به بهترین نتایج مدل‌های به‌کار گرفته شده در دو روش GPI و LPI برتر بوده است. از آنجایی‌که این مدل برای حل مسائل پیش‌بینی احتیاج به مجموعه الگوهای ورودی- خروجی دارد، دارای این توانایی است که به‌عنوان یک میان‌یاب مستقل، متغیر مکانی را در یک منطقه پیش‌بینی نماید. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج آپایدین و همکاران (۵) و میثاقی و محمدی (۳) مطابقت دارد. همچنین روش IDW نتایج بهتری را نسبت به دو مدل باقیمانده داشته است. از آنجایی‌که مدل IDW بر مبنای این فرضیه است که در یک سطح، اثر یک پارامتر بر نقاط اطراف یکسان نبوده و نقاط نزدیک، بیشتر و نقاط دور، کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند و هرچه فاصله از مبدأ افزایش می‌یابد اثر پارامتر کمتر می‌شود، طبق نظریه جانستون و همکاران (۱۲) و آپایدین و همکاران (۵)، وقتی داده‌ها از تراکم و پراکندگی زیاد برخوردار باشند، نتایج خوبی را با استفاده از این روش نمی‌توان به‌دست آورد. ولی با توجه به رابطه این روش، با افزایش توان اثر پارامتر وزن را می‌توان بیشتر نمود. بنابراین، در مواردی که تراکم و پراکندگی زیاد می‌باشد و

باعث کاهش اثر پارامتر وزن می‌شود، می‌توان با افزایش توان این کاهش اثر پارامتر را تاحدودی از بین برد و نتایج نسبتاً خوبی را به‌دست آورد که با نتایج دیرکز و همکاران (۹) مطابقت دارد.

براساس نتایج حاصل، دو روش GPI و LPI نتایج مناسبی را ارائه نکرده‌اند. همان‌گونه که بیان شد، مدل‌سازی در این دو روش براساس برازش توابع چند جمله‌ای بر داده‌های مکانی نمونه‌برداری شده می‌باشد. این دو روش، احتمالاً با توجه به تغییرات شدید توپوگرافی در سطح استان گلستان نتوانسته‌اند نتیجه خوبی را ارائه نمایند. از این‌رو شاید بتوان این دو روش را روش‌هایی مناسب برای مناطق هموار دانست و استفاده از آن را در مناطق ناهموار توصیه ننمود. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج آپایدین و همکاران (۵) که این دو روش را به‌عنوان دو روش غیر دقیق در بررسی تغییرات مکانی بارندگی در مناطق با تغییرات ارتفاعی شدید، معرفی نموده‌اند، مطابقت دارد. همچنین در این تحقیق انواع مختلف روش‌های زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ با مدل‌های مختلف بررسی شد که نتایج در جدول ۲ ارائه شده‌است.

روش Kriging: با توجه به جدول ۲، در بین مدل‌های مختلف، روش کریجینگ معمولی، مدل تغییرنما بیضوی بهترین نتیجه را هم در آموزش مدل و هم در تست مدل داشته است. ضمن اینکه مدل‌های کروی، نمایی و گوسین به‌ترتیب در جایگاه‌های دوم، سوم و چهارم قرار گرفته‌اند. همچنین در روش کریجینگ ساده، مدل کروی کمترین خطا و بیشترین همبستگی و مدل نمایی بیشترین خطا و کمترین همبستگی را نسبت به مدل‌های دیگر این روش داشته است؛ علاوه بر آن مدل بیضوی نیز نسبت به مدل گوسین نتایج بهتری را ارائه نموده است (جدول ۲). در روش کریجینگ تعمیم‌یافته نیز مدل‌های مختلف بررسی شد که نتایج حاصل از این روش با نتایج روش کریجینگ معمولی همسان می‌باشد. از این رو، در این روش نیز مدل بیضوی به‌عنوان بهترین مدل و مدل گوسین به‌عنوان نامناسب‌ترین مدل شناخته شد. روش درون‌یاب کریجینگ جدا نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این روش نشان داد که در این روش، مدل گوسین کمترین خطا و بیشترین همبستگی را نسبت به دیگر مدل‌ها داشته است؛ ضمن اینکه مدل نمایی ضعیف‌ترین نتیجه را ارائه نمود.

جدول ۱- نتایج مقادیر معیارهای خطاسنجی در روش‌های مختلف درون‌یاب قطعی بارندگی سالیانه در سطح استان گلستان

روش	مدل	آموزش مدل						تست مدل					
		MAE	RMSE	MRE	R	GSD	r	MAE	RMSE	MRE	R	GSD	r
IDW	توان ۱	۱۴۸/۲۰	۱۷۰/۲۵	۳۷/۴۹	۰/۶۹	۰/۳۳	۱/۰۵	۱۹۶/۴۰	۲۲۲/۰۹	۶۱/۵۵	۰/۵۰	۰/۴۷	۱/۱۳
	توان ۲	۱۱۱/۶۶	۱۴۱/۸۶	۲۸/۶۳	۰/۷۸	۰/۲۷	۱/۰۵	۱۶۵/۳۸	۲۰۳/۷۳	۵۲/۵۵	۰/۶۱	۰/۴۳	۱/۱۳
	توان ۳	۸۹/۱۲	۱۲۸/۱۶	۲۳/۲۲	۰/۸۱	۰/۲۵	۱/۰۵	۱۴۰/۷۳	۱۹۴/۲۶	۴۵/۹۲	۰/۶۶	۰/۴۱	۱/۱۳
	توان ۴	۸۰/۱۵	۱۲۵/۰۹	۲۱/۴۲	۰/۸۲	۰/۲۴	۱/۰۵	۱۳۰/۰۸	۱۹۳/۳۲	۴۳/۶۹	۰/۶۷	۰/۴۱	۱/۱۳
	توان ۵	۷۷/۲۰	۱۲۵/۰۸	۲۰/۹۳	۰/۸۲	۰/۲۴	۱/۰۵	۱۲۴/۶۵	۱۹۲/۴۵	۴۲/۸۳	۰/۶۷	۰/۴۰	۱/۱۳
GPI	توان ۱	۱۱۸/۳۰	۱۶۸/۳۲	۲۸/۱۵	۰/۷۷	۰/۳۲	۱/۰۰	۱۵۶/۶۸	۲۰۷/۳۴	۴۶/۵۱	۰/۶۶	۰/۵۱	۱/۰۷
	توان ۲	۱۵۴/۶۲	۲۵۳/۱۱	۴۳/۶۱	۰/۳۹	۰/۴۷	۱/۰۴	۲۳۳/۲۵	۴۱۷/۴۹	۸۸/۶۲	۰/۱۲	۰/۸۱	۱/۱۴
	توان ۳	۱۳۹/۶۹	۲۴۷/۲۲	۴۰/۹۰	۰/۴۴	۰/۴۹	۱/۰۹	۲۲۶/۸۰	۳۸۲/۱۳	۷۳/۰۱	۰/۳۲	۰/۸۹	۱/۲۹
	توان ۴	۱۲۳/۲۰	۱۸۶/۸۹	۳۷/۱۸	۰/۶۲	۰/۳۶	۰/۹۶	۱۶۵/۱۶	۲۳۹/۳۷	۵۶/۶۸	۰/۴۷	۰/۴۴	۱/۱۳
	توان ۵	۲۸۸/۹۶	۷۸۰/۰۵	۱۱۶/۵۶	۰/۳۴	۱/۵۰	۰/۸۳	۶۴۵/۰۸	۱۳۴۶/۸۷	۲۸۲/۴۷	۰/۳۱	۲/۸۷	۰/۵۳
LPI	توان ۱	۱۲۴/۸۸	۲۱۸/۷۹	۳۱/۸۵	۰/۵۳	۰/۴۱	۱/۰۱	۱۸۰/۱۶	۳۵۶/۴۳	۵۸/۷۴	۰/۲۴	۰/۷۶	۱/۰۴
	توان ۲	۱۲۶/۴۹	۲۲۲/۹۴	۳۲/۳۱	۰/۴۹	۰/۴۲	۰/۹۸	۲۲۲/۱۱	۳۵۹/۰۰	۶۳/۹۹	۰/۱۳	۰/۷۶	۱/۰۵
	توان ۳	۱۲۶/۸۰	۲۴۷/۱۲	۴۱/۱۴	۰/۴۸	۰/۴۷	۱/۰۸	۲۲۲/۳۱	۴۱۶/۴۰	۸۶/۹۰	۰/۱۲	۰/۸۹	۱/۳۱
	توان ۴	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	توان ۵	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
RBF	اسپلاین کاملاً منظم	۶۶/۸۷	۱۲۵/۹۰	۱۸/۸۸	۰/۸۱	۰/۲۴	۱/۰۴	۱۲۴/۴۴	۲۱۱/۱۰	۴۲/۰۵	۰/۵۹	۰/۴۵	۱/۱۱
	اسپلاین با کشش	۷۵/۶۷	۱۳۰/۶۰	۲۰/۵۰	۰/۷۸	۰/۲۵	۱/۰۳	۱۳۶/۳۹	۲۱۲/۲۳	۴۴/۳۵	۰/۴۷	۰/۴۷	۱/۱۱
	مولتی کوادریک	۷۳/۷۰	۱۲۹/۰۲	۱۹/۸۳	۰/۷۹	۰/۲۸	۱/۰۳	۱۳۳/۶۷	۲۰۹/۲۶	۴۳/۵۶	۰/۵۷	۰/۴۶	۱/۱۱
	مولتی کوادریک معکوس	۶۶/۸۶	۱۲۳/۴۶	۱۸/۸۴	۰/۸۲	۰/۲۴	۱/۰۲	۱۲۴/۳۵	۱۹۱/۹۰	۴۱/۷۳	۰/۶۸	۰/۴۴	۱/۱۰
	اسپلاین صفحه نارک	۷۹/۳۸	۲۰۸/۰۴	۲۴/۰۳	۰/۶۰	۰/۴۰	۱/۰۵	۱۵۴/۰۷	۳۶۲/۷۶	۵۵/۰۹	۰/۲۸	۰/۷۷	۱/۱۸

نتایج حاصل از روش‌های مختلف کریجینگ نشان داد که دو روش کریجینگ تعمیم‌یافته و کریجینگ معمولی نتایج یکسانی را در مورد تمامی مدل‌ها داشته‌اند که نتایج حاصل با نتایج آپایدین و همکاران (۵) و کولیبالی و بکر (۸) مطابقت، ولی با نتایج تابیوس و سالاس (۱۶) مغایرت داشته است. آنها در تحقیق خود برتری کریجینگ تعمیم‌یافته را نسبت به کریجینگ معمولی در درون‌یابی پارامتر اقلیمی بارندگی نشان دادند. بر اساس نتایج این تحقیق، دو روش کریجینگ معمولی و کریجینگ تعمیم‌یافته نسبت به دو روش باقیمانده (کریجینگ ساده و کریجینگ جدا) میزان خطا را کمتر و همبستگی را بیشتر نشان داده است که با نتایج آپایدین و همکاران (۵) مطابقت دارد. با توجه به اینکه در روش کریجینگ معمولی مقدار میانگین مجهول در نظر گرفته شده و برای یافتن آن، شرط ناریب بودن و یا عاری بودن از خطای سیستماتیک طوری اعمال می‌شود که میانگین، بخشی از جواب مسأله باشد و با توجه به اینکه در این تحقیق میانگین بارندگی نیز در سطح استان مجهول می‌باشد، روش کریجینگ معمولی نتایج بهتری را نسبت به روش کریجینگ ساده داشته است. همچنین با توجه به عدم وجود معنی‌داری پارامتر بارندگی در دو جهت طول و عرض جغرافیایی و ناچیز درنظر گرفتن مؤلفه جزئی، نتایج روش کریجینگ معمولی و کریجینگ تعمیم‌یافته یکسان بوده است.

روش Co-Kriging: در روش کوکریجینگ نیز روش‌ها و مدل‌های مختلف همانند کریجینگ بررسی شد. نتایج نشان داد که از بین ۴ روش کوکریجینگ مختلف، کوکریجینگ جدا کمترین خطا را دارد و در نتیجه به‌عنوان بهترین روش در مدل کوکریجنگ می‌باشد. دو روش کوکریجنگ معمولی و جهانی نیز با نتایج تقریباً یکسان، بعد از روش کوکریجینگ جدا نتایج بهتری را داشته‌اند؛ ولی روش کوکریجینگ ساده در بین روش‌های مختلف درون‌یاب کوکریجینگ به عنوان ضعیف‌ترین روش شناخته شد. همچنین از بین مدل‌های مختلف، مدل کروی کمترین خطا را داشته است که از این جهت در رتبه اول قرار گرفته و سه مدل باقیمانده گوسین، بیضوی و نمایی به‌ترتیب در رتبه دوم، سوم و چهارم قرار می‌گیرند که نتایج حاصل با نتایج کولیبالی و بکر (۸)، که روش گوسین را به‌عنوان برترین مدل معرفی کرده‌اند، مطابقت دارد. بنابراین، بر اساس نتایج به‌دست آمده از روش کوکریجینگ، کوکریجینگ جدا با مدل کروی مناسب‌ترین روش درون‌یابی در درون‌یاب کوکریجینگ برای متغیر بارندگی در سطح استان گلستان می‌باشد.

مطابق با نتایج به‌دست آمده در جدول ۲، روش زمین‌آمار کریجینگ در تمامی مدل‌ها نسبت به روش کوکریجینگ برتر بوده و میزان خطای متوسط کمتری را نشان داده است؛ به‌طوری‌که کمترین میزان خطا در کریجینگ معمولی و کریجینگ تعمیم‌یافته برابر ۱۸۶/۲۱ بوده است. این درحالی است که کمترین میزان خطا در روش کوکریجینگ برابر با ۲۳۸/۸۶ (کوکریجینگ معمولی و کوکریجینگ تعمیم‌یافته) بوده است. روش کو- کریجینگ برای تعیین بارندگی مکانی در منطقه، از پارامتر ارتفاع استفاده می‌نماید. در صورتی که میزان همبستگی بارندگی با ارتفاع زیاد باشد نتایج بهتر خواهد بود و هرچه میزان این همبستگی کمتر باشد این روش نتایج ضعیف‌تری را ارئه خواهد داد. از این‌رو در سطح استان گلستان وجود مناطق مرتفع کم‌باران (با ارتفاع بیش از ۱۵۰۰ متر) و یا منطقه پست و کم‌باران ترکمن‌صحرا از یک طرف و دوری و نزدیکی به دریای خزر و جلگه‌های پرباران از طرف دیگر، باعث شده است که عواملی دیگر، به‌جز ارتفاع، بر تغییرپذیری بارندگی در سطح استان تأثیر داشته باشد. این عوامل باعث شده‌اند که نتایج به‌دست آمده از روش کوکریجینگ ضعیف‌تر عمل نماید. به منظور بررسی بهترین روش و مدل، مقادیر پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده و محدوده $\pm 15\%$ در شکل ۲ نشان داده شده‌است.

وضعیت توزیع مکانی بارندگی در سطح استان گلستان با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی و بر اساس مدل‌های مختلف، در شکل ۳ نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

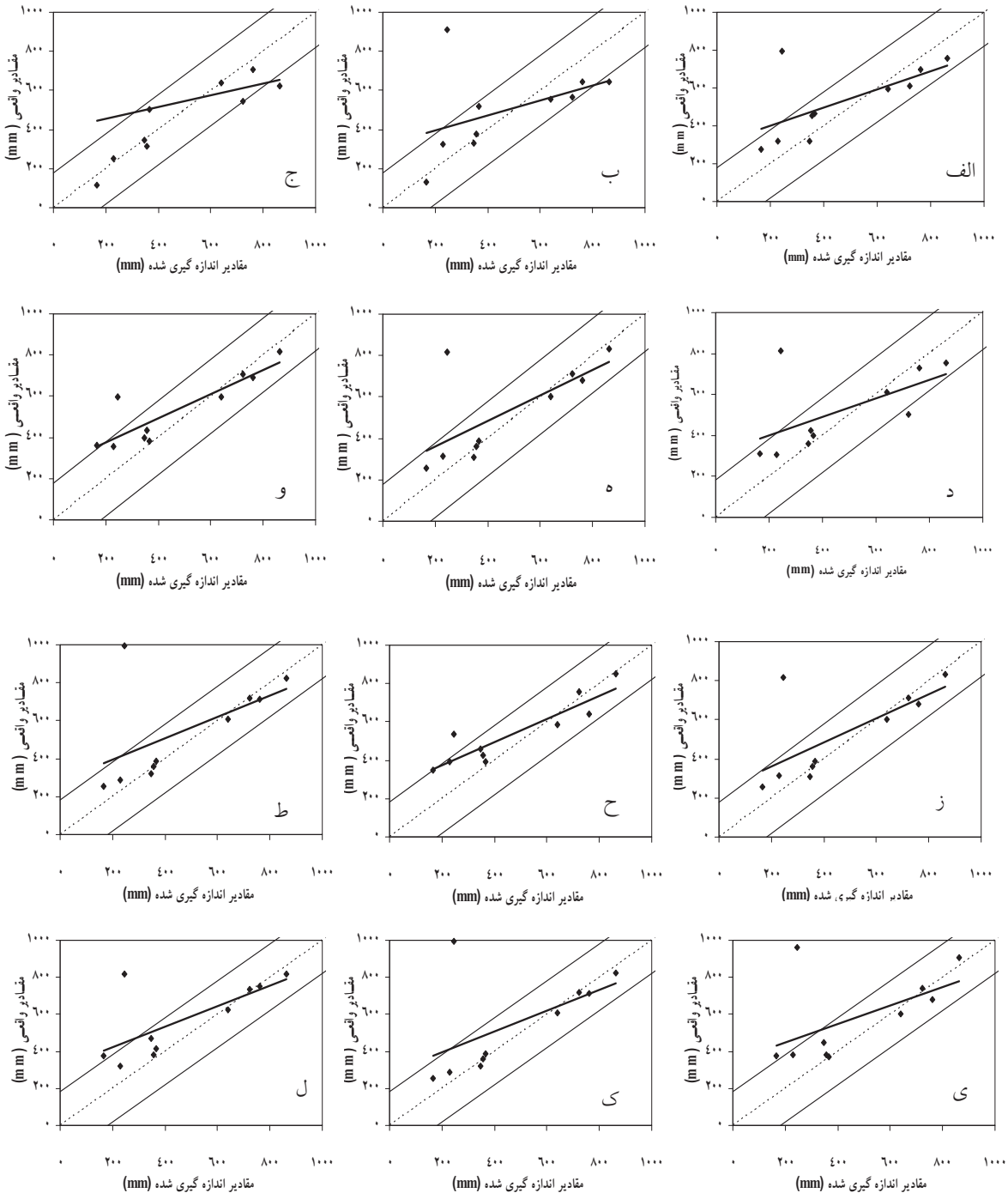
در این پژوهش پیش‌بینی و تغییرات مکانی بارندگی با استفاده از روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین‌آماری در سطح استان گلستان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که از میان روش‌های درون‌یابی قطعی روش RBF نسبت به سه روش IDW، GPI و LPI کمترین خطا و بیشترین همبستگی را نه‌تنها در آموزش مدل، بلکه در ارزیابی (تست) مدل داشته است؛ ضمن اینکه در بین مدل‌های مختلف مدل مولتی کوادریک معکوس نسبت به چهار مدل دیگر برتر بوده است. همچنین روش IDW نسبت به دو روش GPI و LPI نتایج نسبتاً بهتری را ارائه کرده است؛ به‌طوری‌که روش IDW در بین روش‌های قطعی در رتبه دوم قرار گرفته است. همچنین از بین توان‌های مختلف این روش، توان ۵ کمترین خطا (۷۷/۲۰) و بیشترین همبستگی (۰/۸۲) را داشته است. ضمن اینکه دو روش GPI و LPI در بررسی تغییرات مکانی بارندگی جزء روش‌های غیر دقیق بوده و در هیچ یک از توان‌ها قادر به ارائه نتیجه‌ای مناسب نبوده‌اند.

جدول ۲- نتایج مقادیر معیارهای خطاسنجی در روش‌های مختلف درون‌یاب زمین‌آماری بارندگی سالیانه استان گلستان

روش	مدل- تابع	آموزش مدل						تست مدل					
		MAE	RMSE	MRE	R	GSD	r	MAE	RMSE	MRE	R	GSD	r
Kriging	KO دایره‌ای	۶۲/۶۶	۱۱۷/۱۲	۱۸/۰۵	۰/۸۴	۰/۲۳	۱/۰۴	۹۵/۵۹	۱۸۶/۷۶	۳۵/۶۹	۰/۷۱	۰/۴۰	۱/۱۲
	KO کروی	۶۰/۴۹	۱۱۵/۸۶	۱۷/۸۴	۰/۸۴	۰/۲۲	۱/۰۳	۹۴/۷۳	۱۸۶/۲۱	۳۵/۴۵	۰/۷۲	۰/۴۰	۱/۱۲
	KO نمایی	۶۳/۶۵	۱۱۷/۱۴	۱۸/۰۷	۰/۸۴	۰/۲۲	۱/۰۳	۱۰۰/۹۸	۱۹۲/۶۷	۳۶/۱۵	۰/۷۱	۰/۴۱	۱/۱۱
	KO گوسین	۷۵/۹۰	۱۲۴/۵۲	۲۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۲۴	۱/۰۴	۱۰۱/۸۲	۱۹۷/۵۲	۳۸/۶۸	۰/۶۷	۰/۴۰	۱/۱۳
	KS دایره‌ای	۶۳/۵۳	۹۲/۳۸	۱۹/۴۳	۰,۹۲	۰/۱۸	۱/۰۵	۹۹/۵۱	۱۴۰/۷۲	۳۸/۲۷	۰/۹۱	۰/۳۰	۱/۱۳
	KS کروی	۶۵/۷۴	۹۴/۷۷	۲۰/۳۵	۰/۹۲	۰/۱۸	۱/۰۶	۱۰۲/۳۵	۱۳۴/۲۰	۳۹/۹۷	۰/۹۱	۰/۳۱	۱/۱۴
	KS نمایی	۹۲/۷۱	۱۱۹/۶۸	۲۸/۲۹	۰/۹۰	۰/۲۳	۱/۰۷	۱۴۱/۹۸	۱۶۵/۷۰	۵۱/۱۹	۰/۹۰	۰/۳۵	۱/۱۶
	KS گوسین	۷۲/۳۳	۱۰۰/۰۰	۲۲/۷۶	۰/۹۰	۰/۱۹	۱/۰۶	۱۰۳/۹۴	۱۳۹/۲۸	۴۰/۵۹	۰/۹۰	۰/۳۰	۱/۱۶
	KU دایره‌ای	۶۲/۶۶	۱۱۷/۱۲	۱۸/۰۵	۰/۸۴	۰/۲۳	۱/۰۴	۹۵/۵۹	۱۸۶/۷۶	۳۵/۶۹	۰/۷۱	۰/۴۰	۱/۱۲
	KU کروی	۶۰/۴۹	۱۱۵/۸۶	۱۷/۸۴	۰/۸۴	۰/۲۲	۱/۰۳	۹۴/۷۳	۱۸۶/۲۱	۳۵/۴۵	۰/۷۲	۰/۴۰	۱/۱۲
	KU نمایی	۶۳/۶۵	۱۱۷/۱۳	۱۸/۰۷	۰/۸۴	۰/۲۲	۱/۰۳	۱۰۰/۹۸	۱۹۲/۶۷	۳۶/۱۵	۰/۷۱	۰/۴۱	۱/۱۱
	KU گوسین	۷۵/۹۰	۱۲۴/۵۲	۲۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۲۴	۱/۰۴	۱۰۱/۸۲	۱۹۷/۵۲	۳۸/۶۸	۰/۶۷	۰/۴۰	۱/۱۳
	KD دایره‌ای	۶۵/۳۲	۹۴/۵۶	۱۹/۲۳	۰/۹۲	۱/۲۰	۱/۰۵	۱۱۱/۴۱	۱۴۵/۶۹	۴۰/۵۳	۰/۹۲	۰/۳۴	۱/۱۴
	KD کروی	۷۲/۷۲	۹۹/۷۳	۲۲/۳۰	۰/۹۱	۰/۱۹	۱/۰۶	۱۱۷/۸۹	۱۴۶/۵۷	۴۳/۴۲	۰/۹۱	۰/۳۱	۱/۱۶
	KD نمایی	۹۱/۸۹	۱۱۴/۱۰	۲۷/۰۳	۰/۹۱	۰/۲۲	۱/۰۷	۱۳۷/۹۶	۱۶۰/۹۵	۴۸/۷۰	۰/۹۰	۰/۳۴	۱/۱۵
	KD گوسین	۶۱/۶۳	۹۱/۹۰	۱۹/۰۲	۰/۹۲	۰/۱۸	۱/۰۶	۱۰۶/۸۸	۱۳۵/۳۱	۳۹/۰۹	۰/۹۲	۰/۲۹	۱/۱۴

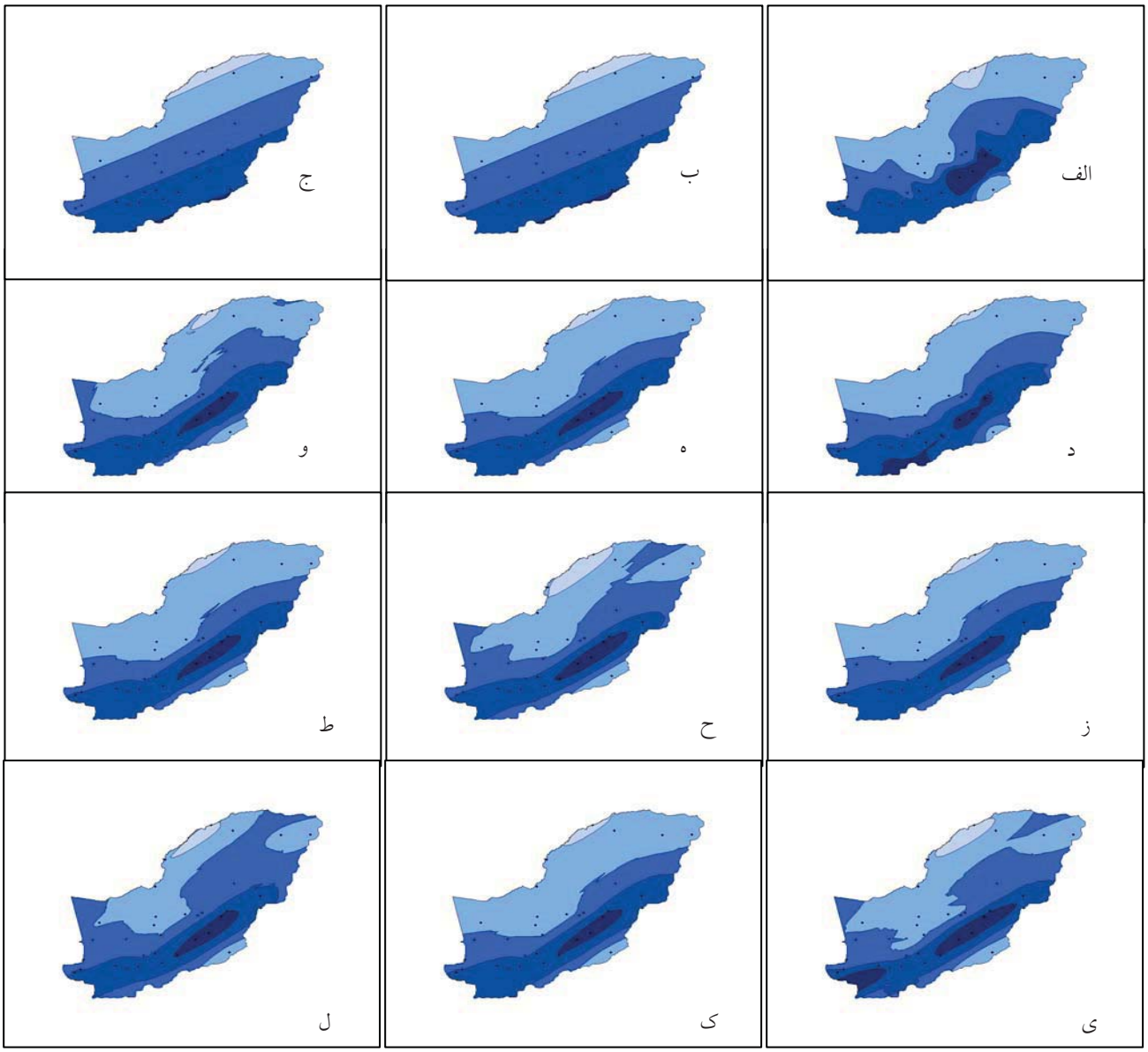
جدول ۲- ادامه

روش	مدل	آموزش مدل						تست مدل					
		MAE	RMSE	MRE	R	GSD	r	MAE	RMSE	MRE	R	GSD	r
Co-Kriging	CKO دایره‌ای	۶۷/۴۰	۱۴۴/۴۲	۱۵/۵۶	۰/۷۷	۰/۲۸	۱/۰۵	۱۰۸/۸۵	۲۲۹/۴۳	۴۱/۹۶	۰/۵۶	۰/۵۱	۱/۱۷
	CKO کروی	۶۴/۴۶	۱۴۳/۰۲	۱۹/۴۸	۰/۷۷	۰/۲۷	۱/۰۴	۱۰۷/۶۱	۲۳۸/۸۶	۴۱/۷۳	۰/۵۷	۰/۴۹	۱/۱۶
	CKO نمایی	۶۷/۸۴	۱۴۴/۶۵	۱۹/۹۷	۰/۷۶	۰/۲۸	۱/۰۴	۱۲۰/۸۹	۲۵۰/۹۰	۴۵/۴۲	۰/۵۴	۰/۵۳	۱/۱۷
	CKO گوسین	۸۰/۰۴	۱۴۴/۷۹	۲۲/۵۱	۰/۷۶	۰/۲۸	۱/۰۵	۱۲۵/۹۸	۲۵۹/۸۸	۴۶/۱۴	۰/۵۳	۰/۵۲	۱/۱۸
	CKS دایره‌ای	۷۹/۶۴	۱۵۲/۳۲	۲۵/۹۴	۰/۷۳	۰/۲۹	۱/۰۸	۱۳۴/۶۷	۲۵۱/۱۷	۵۴/۷۲	۰/۴۹	۰/۵۴	۱/۲۴
	CKS کروی	۸۳/۱۶	۱۵۹/۴۰	۲۷/۴۸	۰/۷۱	۰/۳۱	۱/۰۸	۱۴۲/۹۲	۲۶۲/۲۲	۵۷/۶۹	۰/۴۵	۰/۵۶	۱/۲۵
	CKS نمایی	۹۷/۷۳	۱۸۳/۳۷	۳۰/۵۴	۰/۶۰	۰/۳۵	۱/۰۸	۱۶۲/۴۷	۳۰۰/۴۸	۶۳/۵۷	۰/۳۲	۰/۶۴	۱/۲۸
	CKS گوسین	۷۹/۳۴	۱۴۹/۲۲	۲۵/۳۵	۰/۷۶	۰/۲۹	۱/۰۸	۱۳۸/۸۶	۲۴۴/۸۷	۵۴/۶۶	۰/۵۳	۰/۵۲	۱/۲۴
	CKU دایره‌ای	۶۷/۴۰	۱۴۴/۴۲	۱۵/۵۶	۰/۷۷	۰/۲۸	۱/۰۵	۱۰۸/۸۵	۲۲۹/۴۳	۴۱/۹۶	۰/۵۶	۰/۵۱	۱/۱۷
	CKU کروی	۶۴/۴۶	۱۴۳/۰۲	۱۹/۴۸	۰/۷۷	۰/۲۷	۱/۰۴	۱۰۷/۶۱	۲۳۸/۸۶	۴۱/۷۳	۰/۵۷	۰/۴۹	۱/۱۶
	CKU نمایی	۶۷/۸۴	۱۴۴/۶۵	۱۹/۹۷	۰/۷۶	۰/۲۸	۱/۰۴	۱۲۰/۸۹	۲۵۰/۹۰	۴۵/۴۲	۰/۵۴	۰/۵۳	۱/۱۷
	CKU گوسین	۸۰/۰۴	۱۴۴/۷۹	۲۲/۵۱	۰/۷۶	۰/۲۸	۱/۰۵	۱۲۵/۹۸	۲۵۹/۸۸	۴۶/۱۴	۰/۵۳	۰/۵۲	۱/۱۸
	CKD دایره‌ای	۷۶/۰۶	۱۲۷/۱۸	۲۳/۵۶	۰/۸۲	۰/۲۵	۱/۰۷	۱۱۳/۵۰	۱۹۸/۳۵	۴۵/۸۳	۰/۶۹	۰/۴۲	۱/۲۲
	CKD کروی	۷۵/۰۹	۱۲۷/۸۶	۲۳/۸۷	۰/۸۲	۰/۲۵	۱/۰۶	۱۱۴/۸۲	۱۹۸/۳۹	۴۶/۶۵	۰/۶۹	۰/۴۲	۱/۲۱
	CKD نمایی	۷۷/۴۸	۱۴۳/۶۷	۲۷/۷۳	۰/۷۶	۰/۲۸	۱/۰۷	۱۲۸/۲۹	۲۱۲/۰۹	۵۱/۲۴	۰/۶۳	۰/۴۵	۱/۲۳
	CKD گوسین	۷۸/۹۳	۱۲۸/۳۶	۲۴/۲۹	۰/۸۱	۰/۲۵	۱/۰۸	۱۲۸/۱۶	۱۹۸/۷۱	۴۸/۸۴	۰/۶۹	۰/۴۲	۱/۲۱



شکل ۲- مقایسه نتایج پیش‌بینی بارندگی با استفاده از مدل‌های مختلف درون‌یابی

الف- IDW، ب- GPI، ج- LPI، د- RBF، ه- KO، و- KS، ز- KU، ح- KD، ط- CKO، ی- CKS، ک- CKU، ل- CKD.



شکل ۳- توزیع مکانی بارندگی سالیانه (mm) استان گلستان بر اساس روش‌های مختلف درون‌یابی

الف- IDW، ب- GPI، ج- LPI، د- RBF، ه- KO، و- KS، ز- KU، ح- KD، ط- CKO، ی- CKS، ک- CKU، ل- CKD.

در بین روش‌های درون‌یابی کریجینگ، روش کریجینگ معمولی و کریجینگ تعمیم‌یافته نسبت به دیگر روش‌های کریجینگ، نتایج یکسان و برتری را داشته‌اند. ضمن اینکه در بین مدل‌های مختلف نیز مدل بیضوی با میزان خطای ۶۰/۴۹ و همبستگی ۰/۸۴ بهترین نتیجه را ارائه کرده است. همچنین در بین روش‌های مختلف کوکریجینگ، همانند روش کریجینگ، کوکریجینگ معمولی و کوکریجینگ تعمیم یافته نتایج یکسان را ارائه کرده و نسبت به دو روش دیگر کمترین خطا (۶۴/۴۶) و بیشترین همبستگی (۰/۷۷) را داشته است. از این‌رو در بین روش‌های مختلف درون‌یابی تغییرات مکانی بارندگی، روش‌های زمین‌آماری نسبت به روش‌های قطعی برتر می‌باشند.

با توجه به تنوع اقلیمی، دوری و نزدیکی به دریای خزر و تغییرات ارتفاعی موجود در سطح استان گلستان، پیشنهاد می‌شود که استان گلستان به چند منطقه همگن تقسیم و سپس در هر قسمت، روش‌های درون‌یابی بارندگی مورد بررسی قرار گرفته و مناسب‌ترین روش در هر منطقه مشخص شود.

منابع

۱- رضایی پژند ح. ۱۳۸۰. کاربرد آمار و احتمالات در منابع آب. انتشارات سخن گستر. دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد.

۲- مساعدی ا.، شریفان ح.، و شهابی م. ۱۳۸۶. مدیریت ریسک با شناخت میکروکلیماهای استان گلستان. گزارش طرح پژوهشی سازمان هواشناسی کشور. ۱۷۱ ص.

۳- میثاقی، ف.، و محمدی ک. ۱۳۸۵. پهنه‌بندی اطلاعات بارندگی با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک و زمین آمار و مقایسه با شبکه‌های عصبی مصنوعی. مجله علمی کشاورزی، ۲۹(۴): ۱۳-۱.

4- Alijani B., Ghohroudi M. and Arabi N. 2007. Developing a Climate Model for Iran using GIS. Theoretical and Applied Climatology, published online, 16 May 2007. Doi: 10.1007/s00704-006-0292-y.

5- Apaydin H., Sonmez K. and Yildirim E. 2004. Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey. J. Climate Research, 28:31-40.

6- Campling P., Gobin A. and Feyen J. 2001. Temporal and spatial rainfall analysis across a humid tropical catchment. Hydrol Process, 15:359–375.

7- Caruso C. and Quarta F. 1998. Interpolation methods comparison. Comput Math Applic 35(12):109–126.

8- Coulibaly M. and Becker S. 2007. Spatial Interpolation of Annual Precipitation in South Africa-Comparison and Evaluation of Methods, International Water Resources Association, 32(3): 494-502.

9- Dirks K.N., Hay J.E., Stow C.D. and Harris D. 1998. High-resolution studies of rainfall on Norfolk Island. Part II: Interpolation of rainfall data. J Hydrol, 208(3-4):187–193.

10- Goovaerts P. 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. J Hydrol, 228:113–129.

11- Issaks E.H. and Srivastava R.M. 1989. Applied geostatistics, Newyork, Oxford University Press.

12- Johnston K., Ver Hoef J.M., Krivoruchko K. and Lucas N. 2001. Using arcGIS geostatistical analyst. ESRI, Redlands, CA.

13- McGuffie K. and Henderson-Sellers A. 2001. Forty years of numerical climate modeling. International Journal of Climatology 21(9):1067–1109. doi:10.1002/joc.632.

14- Michaud J.D., and Sorooshian S. 1994. Effect of rainfall-sampling errors on simulations of desert flash floods. Water Resour Res, 30(10):2765–2775.

15- Nalder I.A., and Wein R.W. 1998. Spatial interpolation of climatic normas: Test of a new method in the Canadian boreal forest. Agric. For . Meteor, 92 (4): 211-225.

16- Tabios G.Q., and Salas J.D. 1985. A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. Water Resour Bull, 21(3):365–380.

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 1, Mar-Apr 2012, p. 53-64

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۱، ص. ۶۴-۵۳

An Investigation on Spatial Pattern of Annual Precipitation in Golestan Province by Using Deterministic and Geostatistics Models

M. Eivazi[1]- A. Mosaedi[2*]

Received: 18-10-2010
Accepted: 6-11-2011

Abstract

Precipitation is one of the most important climatic factors with high variations in time and space. Determination of the amount of precipitation in different locations is particularly very important. For this reason, to estimate precipitation in various regions of Golestan province, different interpolation methods have been used. Precipitation data of 32 rain gage stations with 26-years period were selected. First the accuracy and homogeneity of data were evaluated by using statistical tests. Then, to determine the best model of spatial pattern of annual precipitation in Golestan province, six methods of IDW, GPI, LPI, RBF, Kriging and Co-Kriging have been used. The criteria of statistical error were used to evaluate the results and to select the most suitable method of interpolation. The results showed that Geostatistics methods were better than deterministic methods, and among the geostatistical models, Kriging give better results (MAE=60.49) than Cokriging (MAE=64.46). Also in cases of using the deterministic methods, RBF and IDW have more accurate results than LPI and GPI. The lowest MAE (60.49) was recorded in Kriging method with spherical model and the highest MAE (288.96) was obtained in GPI method with power 5.

Keywords: Precipitation, IDW, GPI, LPI, RBF, Kriging, Co-Kriging, Golestan Province

1- MSc Graduated, Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad
(*-Corresponding Author Email: mosaedi@um.ac.ir)