

ماهانه از ۱۱/۶ تا ۹۹/۲ کیلومتر و در مقیاس سالانه ۳۵/۹ کیلومتر و برای حداکثر بارش ۲۴ ساعته ۲۱/۳ کیلومتر است. این نتایج می‌تواند به منظور طراحی فواصل ایستگاه‌های هواشناسی برای اندازه‌گیری بارندگی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: زمین آمار، درون‌یابی، حداکثر بارش ۲۴ ساعته، نقشه هم‌باران، رودخانه هراز

ارزیابی کارایی روش‌های زمین آماری در برآورد بارندگی در حوزه آبخیز هراز

فاطمه دابی‌چینی^۱، مهدی وفاخواه^{۲*} و مصطفی ذبیحی‌سیلابی^۳

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۰۱

چکیده

آگاهی از توزیع زمانی و مکانی بارندگی یکی از مهم‌ترین عوامل در اجرای طرح‌های حفاظت آب و خاک، مهار سیلاب‌ها و مبارزه با خشکسالی و یکی از مهم‌ترین پارامترها برای برنامه‌ریزی منابع آب است. با توجه به تغییر قابل ملاحظه بارندگی از یک سو و کم بودن ایستگاه‌های باران‌سنجی برای ثبت میزان بارندگی از سوی دیگر، ضرورت همبستگی مدل تخمین بارندگی در مکان اجتناب‌ناپذیر است. در همین راستا، زمین آماری یکی از مهم‌ترین روش‌های برآورد توزیع مکانی بارش می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی روش‌های زمین آماری در برآورد مقدار بارندگی سالانه، ماهانه و حداکثر بارش ۲۴ ساعته در حوزه آبخیز هراز واقع در استان مازندران و بررسی تغییرات مکانی آن‌ها در محدوده زمانی سال آبی ۱۳۵۶-۱۳۵۵ تا ۱۳۹۳-۱۳۹۲ می‌باشد. در این تحقیق، به منظور مقایسه روش‌های زمین آماری کریجینگ، کوکریجینگ، معکوس وزنی فاصله و تابع پایه‌ای شعاعی در تهیه نقشه هم‌باران حوزه آبخیز هراز، از ۴۰ ایستگاه هواشناسی در داخل و اطراف حوزه آبخیز مذکور با طول دوره آماری ۳۸ ساله استفاده شد. برای این منظور با استفاده از روش اعتبارسنجی حذفی، با حذف تک تک ایستگاه‌ها مقادیر بارش آن‌ها تعیین و با مقادیر مشاهده‌ای مقایسه شد. نتایج نشان داد که تابع شعاعی برای بارش سالانه، کریجینگ ساده برای حداکثر بارش ۲۴ ساعته و روش‌های کریجینگ ساده و معمولی، کوکریجینگ، تابع پایه‌ای شعاعی و معکوس وزنی فاصله برای ماه‌های مختلف، مناسب‌ترین روش می‌باشند. ضمناً هم‌بستگی مکانی مقدار بارندگی در مقیاس

مقدمه

بارش از متغیرترین عناصر اقلیمی است که این تغییرات در بعد مکان و زمان براساس اقلیم هر منطقه رخ می‌دهد. این عنصر به لحاظ ایجاد جریانات سطحی، تأثیر بر سفره‌های آب زیرزمینی و به‌عنوان منبع مهم در تغذیه رودها و چشمه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از مهم‌ترین عناصر اقلیمی است که در تعیین نقش و پراکندگی دیگر عناصر اقلیمی می‌تواند مؤثر باشد [۳۷]. داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی در یک محدوده جغرافیایی به صورت نقطه‌ای برداشت می‌شوند که بایستی این داده‌ها به سطح تعمیم داده شود [۳]. پراکنش نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی در حوزه‌های آبخیز باعث عدم دسترسی به اطلاعات کافی به منظور برآورد مقادیر مکانی در سطح حوزه‌های آبخیز می‌شود. براساس روش‌های تحلیل مکانی نحوه تعمیم عوامل اقلیمی و هیدرولوژیکی که در نقاط ایستگاه‌ها اندازه‌گیری می‌شوند، سطح حوزه آبخیز مورد توجه قرار می‌گیرد. چنین هدفی در زمانی که سطح حوزه آبخیز وسیع بوده و تعداد نقاط اندازه‌گیری اندک باشد، از اهمیت بیش‌تری برخوردار است [۱۶]. از طرفی دیگر تغییرات قابل ملاحظه‌ی بارندگی در زمان و مکان از یک سو و کمبود ایستگاه‌های باران‌سنجی معمولی در ثبت عمق بارندگی روزانه از سوی دیگر ضرورت تبیین مدل‌های تخمین بارندگی را در زمان و مکان امری اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. دست‌یابی به توزیع مکانی بارش بر اساس داده‌های نقطه‌ای بارش که از ایستگاه‌های باران‌سنجی به دست می‌آیند، بر اساس دو روش درون‌یابی و برون‌یابی میسر می‌شود. روش تخمین و برآورد میزان متغیر پیوسته را در مناطق نمونه‌گیری نشده در داخل ناحیه‌ای که مشاهدات نقطه‌ای پراکنده شده‌اند را درون‌یابی می‌گویند [۱۰]. روش‌های مختلفی به منظور برآورد و تخمین متغیرهایی مانند بارش وجود دارد که به‌عنوان نمونه می‌توان به روش‌های کلاسیک، نظیر

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی تربیت مدرس، نوره ایران

۴- استاد گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی تربیت مدرس، نوره، ایران، نویسنده مسئول
Email: vafakhah@modares.ac.ir

۵- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی تربیت مدرس، نوره، ایران

تیسن^۱ و میانگین حسابی^۲ اشاره کرد. این روش‌ها گرچه همگی از نظر محاسبات سریع و آسان می‌باشند، ولی به دلایلی از جمله در نظر نگرفتن موقعیت، آرایش و همبستگی بین آن‌ها، از دقت خوبی برخوردار نمی‌باشند. روش‌های دیگری نیز وجود دارد که به دلیل در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها از اهمیت زیادی برخوردار هستند که از آن جمله می‌توان به روش‌های زمین آمار^۳ اشاره کرد. در زمین آمار ابتدا به بررسی وجود یا عدم وجود ساختار مکانی بین داده‌ها پرداخته می‌شود و سپس در صورت وجود ساختار مکانی، تحلیل داده‌ها انجام می‌پذیرد [۲۰]. امروزه روش‌های زمین آماری مختلفی مانند کریجینگ^۴، کوکریجینگ^۵، عکس فاصله وزنی (IDW)^۶، تابع پایه شعاعی (RBF)^۷ و اسپلاین^۸ برای تهیه نقشه‌های هم‌بارش از روی داده‌های نقطه‌ای ایستگاه‌ها ارائه شده است [۱۲]، اما انتخاب روش مناسب برای تهیه نقشه‌های هم‌باران از مسائل اساسی در تهیه این نوع نقشه‌ها است [۱۹]. تحقیق‌های متعددی درباره کاربرد روش‌های زمین آماری برای اهداف مختلف از جمله، کاربرد زمین آمار در تهیه نقشه کربن آلی خاک توسط ملکی و همکاران [۲۴] و اچوانگارت و جارمر [۳۶]، تجزیه و تحلیل سطح ایستابی توسط نورائی‌نژاد و همکاران [۳۳] و بهنمش و همکاران [۴]، پیش‌بینی زمانی و مکانی سطح آب زیرزمینی توسط ندیری و همکاران [۳۱] و بالانده و احمدی [۲]، پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی توسط مرآتی و همکاران [۲۵]، تحلیل ویژگی‌های خشکسالی توسط نسب‌اصل و همکاران [۲۲]، تحلیل فضایی و بهینه‌سازی شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی توسط زندکریمی و مختاری [۴۰]، شناسایی نواحی محتمل تغذیه‌کننده آبخوان توسط رایگانی [۳۴]، تغییرات سطح آب دریاچه توسط ژانگ و همکاران [۴۱] و در نهایت عبادی و همکاران [۶]، گنگ و همکاران [۱۱] در مورد تراز آب‌های زیرزمینی مطالعاتی انجام شده است. در همین راستا تحقیق‌های مختلفی نیز در زمینه کاربرد زمین آمار در برآورد بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف شده است. به‌عنوان مثال، میرموسوی و همکاران [۲۶] در تحقیقی، سه روش کریجینگ ساده، معمولی، جهانی و توابع پایه شعاعی را برای برآورد میانگین بارندگی سالانه‌ی استان اصفهان مورد استفاده قرار دادند که روش کریجینگ معمولی با مدل دایره‌ای، مناسب‌ترین روش برای درونیابی اطلاعات مقادیر میانگین بارندگی سالانه تعیین شد. نبی‌پور و وفاخواه [۳۰]، با استفاده از روش‌های مختلف زمین آماری، به برآورد مکانی بارندگی ماهانه، سالانه و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در حوزه آبخیز حاجی‌قوشان در شمال‌شرقی کشور پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد برای بارش سالیانه

1. Thissen
2. Arithmetic mean
3. Geostatistic
4. Kriging
5. cokriging
6. Inverse Distance Weighting
7. Radial Basis Functions
8. Spline

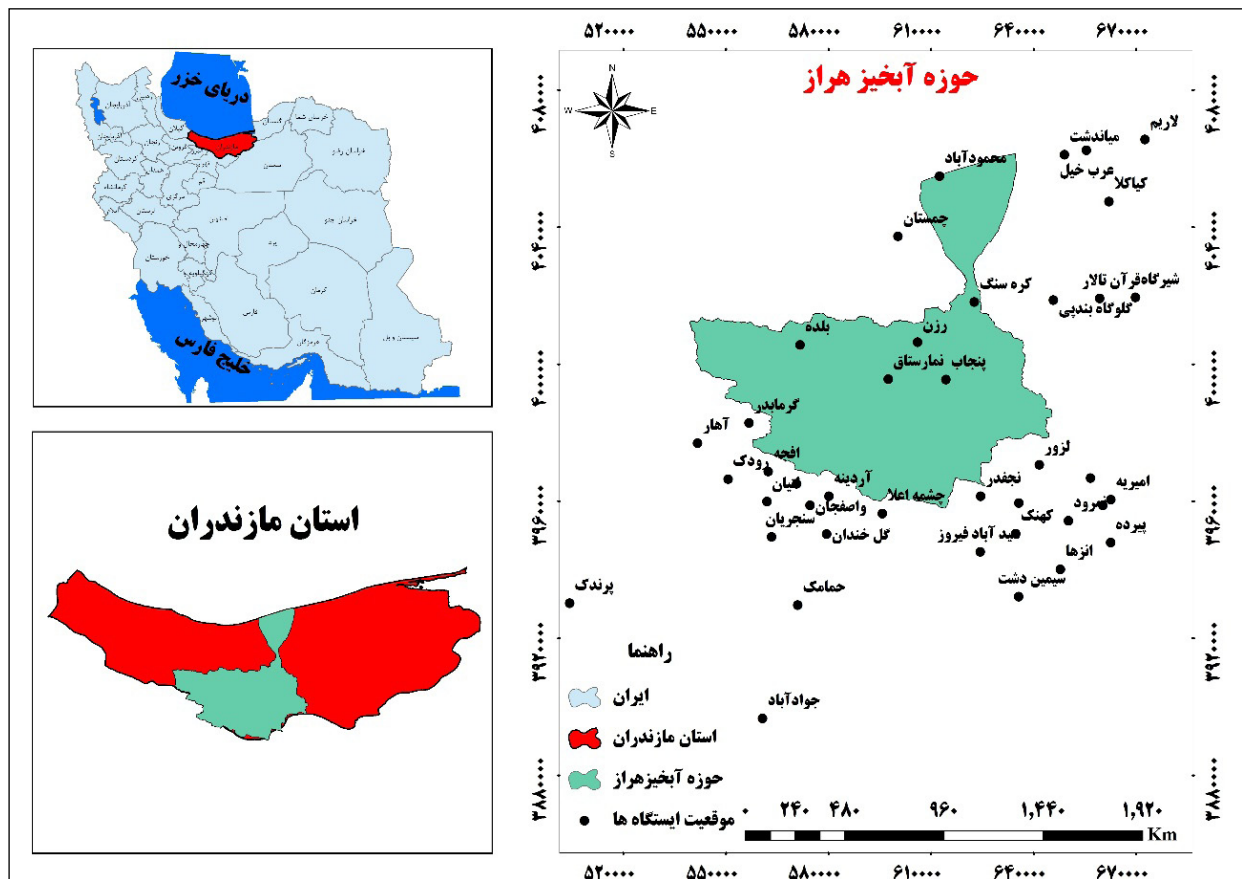
روش کریجینگ معمولی و برای بارش ماه‌های مختلف و هم‌چنین حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته، روش معکوس فاصله وزنی با توان پنج مناسب‌ترین روش و در رابطه با مدل نیم تغییرنما^۹، مدل گوسی برای تحلیل داده‌های ماهانه و سالانه و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته مناسب تشخیص داده شد. لی و همکاران [۲۳]، به درونیابی بارش روزانه در حوزه آبخیز Ourthe و Ambleve در بلژیک پرداختند. نتایج نشان داد که با استفاده از هفت مدل واریوگرام، مدل گوسی مناسب‌ترین حالت بود. در مطالعه‌ای دیگر فرازیر و همکاران [۹]، به ارزیابی روش‌های زمین آماری در برآورد بارندگی ماهانه درون شهری در جزایر هاوایی پرداختند. قندقلو و همکاران [۱۳]، با استفاده از رویکردهای مختلف زمین آماری به درونیابی میانگین بارش سالانه و ماهانه کشور ترکیه با استفاده از داده‌های ۲۶۸ ایستگاه‌ها هواشناسی پرداختند. جمع‌بندی سوابق تحقیق، ضرورت ارزیابی روش‌های زمین آماری برای اهداف مختلف و از جمله بارندگی با مقیاس‌های زمانی مختلف و انتخاب روش مناسب برای پهنه‌بندی را نشان می‌دهد. از سویی دیگر، بررسی مطالعات مرتبط نشان می‌دهد تاکنون تحقیقی مبتنی بر پهنه‌بندی بارش با مقیاس سالانه، ماهانه و حداکثر بارش ۲۴ ساعته در حوزه آبخیز هراز گزارش نشده است. لذا در این تحقیق، به‌منظور برآورد مقادیر مکانی بارندگی سالیانه، ماه‌های سال و هم‌چنین حداکثر بارش ۲۴ ساعته با استفاده از روش‌های کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، کوکریجینگ معمولی، میانگین متحرک وزنی به‌صورت عکس فاصله با توان دو تا پنج و تابع پایه‌ای شعاعی مورد استفاده قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز هراز با وسعت ۴۰۱۴۰۹/۲ هکتار در جنوب استان مازندران و شهرستان آمل واقع شده است. این حوضه با متوسط آبدهی ۳۱/۱۰ مترمکعب بر ثانیه، پرآب‌ترین رودخانه در استان مازندران به حساب می‌آید. این حوضه در منطقه شمالی کشور پس از سفیدرود در رتبه دوم قرار می‌گیرد که یکی از سه رودخانه پرآب شمال کشور محسوب می‌شود. کمینه ارتفاع حوضه ۳۰۰ متر و بیشینه ارتفاع آن ۵۶۰۰ متر است. متوسط مقدار بارندگی سالانه از کمینه مقدار ۳۰۲ میلی‌متر در بخش تقریباً مرکزی حوضه تا بیش‌ترین حد ۱۰۶۹ میلی‌متر در بخش شرقی حوضه در نوسان است. هم‌چنین متوسط دمای منطقه از کمینه مقدار پنج درجه سانتی‌گراد تا بیش‌ترین مقدار ۲۳/۱ درجه سانتی‌گراد متغیر است. براساس تقسیمات آب و هوایی جزء مناطق نیمه استپی سرد در ناحیه ایران توران محسوب می‌شود [۱۷]. موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های مورد نظر در داخل و خارج حوزه آبخیز هراز در شکل (۱) نشان داده شده است.

9. Semi-variogram



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های مورد نظر در داخل و خارج حوزه آبخیز

پارامترهای آن عملیات میان‌یابی با استفاده روش‌های کریجینگ ساده (کروی، نمایی، گوسی)، کریجینگ معمولی (کروی، نمایی، گوسی)، کوکریجینگ (کروی، نمایی، گوسی)، تابع پایه‌ای شعاعی (اسپلاین کاملاً منظم، اسپلاین با کشش، مولتی کوادریک، مولتی کوادریک معکوس و اسپلاین صفحه نازک) و معکوس وزنی فاصله (توان دو تا پنج) انجام شد [۳۵]. در تحقیق حاضر با استفاده روش‌های ذکر شده از لحاظ میزان دقت آن‌ها برای درون‌یابی، داده‌های مربوط به میانگین بارندگی سالانه، ماه‌های سال و هم‌چنین حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با یکدیگر مقایسه شدند. هدف دیگر در این تحقیق، مقایسه میزان دقت درون‌یابی می‌باشد. در مرحله آخر برای تعیین دقت روش‌های درون‌یابی از معیارهای مجذور میانگین مربع خطا (RMSE)^۲، میانگین مطلق خطای برآورد (MAE)^۳، متوسط خطای انحراف (MBE)^۴ استفاده شد.

متغیری که در فضای سه بعدی توزیع شده باشد، متغیری ناحیه‌ای است. در واقع متغیر ناحیه‌ای، متغیری تصادفی است و تفاضل مقدار تصادفی در دو نقطه متفاوت، به فاصله آن دو نقطه بستگی دارد. مقدار متغیر ناحیه‌ای $Z(x)$ در هر نقطه را می‌توان به دو مؤلفه قطعی

روش‌های زمین آماری

در این تحقیق برای اجرای مدل‌های زمین آماری با استفاده از داده‌های بارش در محدوده زمانی سال آبی ۱۳۵۶-۱۳۵۵ تا ۱۳۹۲-۱۳۹۳ و دوره‌های سالانه، ماه‌های سال و هم‌چنین حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با طول دوره آماری ۳۸ ساله مربوط به ۴۰ ایستگاه هواشناسی در داخل و اطراف حوزه آبخیز هر از از سازمان هواشناسی استخراج گردید. با توجه به اینکه ارزش و دقت اطلاعات دانسته‌های اقلیمی با طول دوره آماری بیش‌تر نتایج بهتر و دقیق‌تری می‌دهد. برای دستیابی به این منظور در این تحقیق ایستگاه‌هایی انتخاب شده‌اند که بیش‌ترین طول دوره آماری را دارند. کلیه داده‌ها از نظر نرمال بودن با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که همه متغیرها نرمال نبودند که با تبدیل داده‌ها به مقادیر لگاریتمی نرمال شدند. سپس برای تعیین ساختار مکانی داده‌ها و بهترین مدل قابل استفاده، مشخصات واریوگرام داده‌ها استخراج گردید. بررسی مشخصات و ترسیم واریوگرام با استفاده از نرم‌افزار GS^{+1} به‌منظور انجام پذیرفت [۳۰]. سپس برای ترسیم نقشه‌های هم‌بارش، داده‌ها به نرم‌افزار ARCGIS انتقال و مدل‌های مورد نظر اجرا شدند. با استفاده از مدل واریوگرام و

2. Root Mean Square Error
3. Mean Absolute Error
4. Mean Bias Error

1. Geostatistics for the Environmental Sciences

$$Z(x) = m(x) + L(x) \quad (1)$$

که در این رابطه، $Z(x)$ متغیر ناحیه‌ای در نقطه‌ای به مختصات x ، $m(x)$ مؤلفه قطعی متغیر ناحیه‌ای و $L(x)$ مؤلفه تصادفی آن است.

نیم تغییرنا اساسی‌ترین ابزار در زمین آمار است که برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر به کار می‌رود. نیم تغییرنا، کمیتی برداری است که درجه همبستگی مکانی و شباهت بین نقاط اندازه‌گیری شده را بر حسب مربع تفاضل مقدار دو نقطه و با توجه به برای و فاصله آن‌ها نشان می‌دهد [۱۵]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (2)$$

در این رابطه، $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته در محاسبه که در فاصله h از یکدیگر قرار دارند، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده‌ی متغیر مورد نظر، $Z(x_i + h)$ مقدار مشاهده‌ی آن متغیر که به فاصله h از $Z(x_i)$ قرار دارد و $\gamma(h)$ نیم تغییرنا است.

روش کریجینگ

روش کریجینگ برای برآورد نقطه ناشناخته به هر یک از نمونه‌های اندازه‌گیری شده، وزنی را نسبت می‌دهد. کریجینگ یک برآوردگر خطی به شکل زیر است:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (3)$$

در این رابطه، Z^* مقدار متغیر مکانی برآورد شده، $Z(x)$ مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه x_i و λ_i وزن آماری که به نمونه x_i نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه i ام در برآورد است. روش کریجینگ براساس میانگین متحرک وزن دار استوار بوده و می‌توان آن را بهترین تخمین‌گر خطی ناریب^۱ خواند. در چند دهه گذشته این روش ابزاری بنیادین و کارآمد در بین روش‌های زمین‌آمار بوده است [۵]. این روش همانند روش IDW با وزن‌دهی به داده‌های اطراف نقطه مورد برآورد، کمیت مجهول را به دست می‌آورد. با این تفاوت که در روش IDW وزن‌دهی براساس یک الگوریتم ساده بوده، درحالی که در روش کریجینگ وزن‌ها از روش خبره‌تری به دست می‌آید.

این روش از چهار نوع مختلف کریجینگ معمولی^۲، کریجینگ ساده^۳، کریجینگ تعمیم‌یافته^۴ و کریجینگ جدا^۵ تشکیل شده است. کریجینگ معمولی (KO): یکی از روش‌های کریجینگ است که نسبت به دیگر روش‌های کریجینگ بیش‌تر استفاده می‌شود. در این روش مقادیر نقطه مجهول از مقادیر نقطه معلوم ایستگاه‌های اطراف

و از یک مدل تغییرنا به دست 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 [۷].

روش 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 به خوبی 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 [۳۲]. این روش نیز همانند روش کریجینگ از چهار نوع مختلف کوکریجینگ معمولی^۶، کوکریجینگ ساده^۷، کوکریجینگ تعمیم‌یافته^۸ و کوکریجینگ جدا^۹ تشکیل شده است [۷]. همان‌طور که در آمار کلاسیک روش‌های چند متغیره برای تخمین وجود دارد، در زمین آمار نیز می‌توان به روش کوکریجینگ براساس همبستگی بین متغیرهای مختلف تخمین زد. این خصوصیت می‌تواند باعث دقت بیش‌تر تخمین‌ها گردد. معادله کوکریجینگ به شرح زیر است:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_{i1} Z_1(x_i) + \sum_{j=1}^m \lambda_{j2} Z_2(x_j) \quad (4)$$

که در آن، $Z_2(x_j)$ متغیر مکانی کمکی، $Z_1(x_j)$ متغیر مکانی

اصلی، $Z(x_0)$ مقدار نامعلوم متغیر در نقطه x_0 ، m تعداد نقاط

نمونه‌برداری متغیرهای اصلی و n تعداد نقاط نمونه‌برداری متغیرهای فرعی و هم‌چنین λ_{1i} و λ_{2j} وزن‌های آماری داده شده به متغیرهای

اصلی و کمکی می‌باشند. در این روش از متغیر کمکی ارتفاع برای درون‌یابی استفاده شد.

روش معکوس وزنی فاصله (IDW)

این روش یکی از روش‌هایی است که در مطالعات جغرافیایی از آن زیاد استفاده می‌شود. فرض اساسی این روش بر آن است که با افزایش فاصله میزان تأثیر پارامترها در برآورد سطح کاهش می‌یابد. برای پیش‌بینی در مکان‌هایی که در آن داده‌های آن‌ها اندازه‌گیری نشده است، برای پیش‌بینی در مکان‌هایی که در آن داده‌های آن‌ها اندازه‌گیری نشده است، از مقادیر اندازه‌گیری شده پیرامون محل استفاده می‌شود. در پیش‌بینی عامل وزن براساس فاصله نقاط از

1. Best Linear Unbiased Estimator
2. Ordinary Kriging (KO)
3. Simple Kriging (KS)
4. Universal Kriging (KU)
5. Disjunctive Kriging (KD)

6. Ordinary Co-Kriging (CKO)
7. Simple Co-Kriging (CKS)
8. Universal Co-Kriging (CKU)
9. Disjunctive Co-Kriging (CKD)

یکدیگر تعیین می‌شود. به نقاط نزدیک محل نمونه وزن بیش‌تر و به نقاط دورتر وزن کم‌تری اختصاص می‌یابد. روش معکوس وزنی فاصله در رابطه (۵) نشان داده شده است:

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{d_i^a}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^a}} \quad (5)$$

که در آن، d_i فاصله بین نقطه مشاهداتی و محاسباتی، a توان (عدد صحیح)، Z^* مقدار محاسباتی و n تعداد نقاط مشاهداتی می‌باشند [۲۶].

روش توابع پایه‌ای شعاعی

روش تابع پایه‌ای شعاعی از جمله روش‌های درون‌یابی می‌باشد که در آن سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌کند. این روش حالتی از شبکه عصبی مصنوعی است. از دیگر خصوصیات این روش این است که مقادیر بیش از ماکزیمم مقادیر مشاهده‌ای و یا کم‌تر از مینیمم مقادیر مشاهده‌ای در سطح تخمین وجود دارد [۲۵]. این روش بر مبنای حداقل خمیدگی می‌باشد که هموارسازی یا نرم شدن تغییرات از ویژگی‌های آن است [۲۱]. این روش با مدل‌های مختلف (اسپلاین کاملاً منظم، اسپلاین با کشش، مولتی کوادریک، مولتی کوادریک معکوس^۴ و اسپلاین صفحه نازک^۵) تشکیل شده است.

روش‌ها و معیارهای ارزیابی

در این تحقیق به منظور مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده، از سه معیار مجذور میانگین مربع خطا (RMSE)، میانگین مطلق خطای برآورد (MAE) و متوسط خطای انحراف (MBE) براساس روابط ۶، ۷ و ۸ استفاده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(X_i) - Z(X_i))^2} \quad (6)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(X_i) - Z(X_i)| \quad (7)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(X_i) - Z(X_i)) \quad (8)$$

که در آن، $Z^*(X_i)$ مقدار برآورد شده متغیر موردنظر، $Z(X_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر موردنظر و n تعداد نقاط می‌باشند. از نظر تئوری هرگاه این دو معیار برابر صفر شوند، نمایانگر این است که دقت روش صددرصد بوده و مقدار تخمین‌زده شده یک کمیت دقیقاً برابر مقدار واقعی آن می‌باشد.

1. Completely Regularized Spline
2. Spline with Tension
3. Multiquadric
4. Inverse Multiquadric
5. Thin Plate Spline

نتایج و بحث

در این تحقیق، با استفاده از داده‌های بارندگی از ۴۰ ایستگاه هواشناسی در داخل و اطراف حوزه آبخیز هراز با طول دوره آماری ۳۸ ساله و در دوره‌های سالانه، ماه‌های سال و هم‌چنین حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور ابتدا، مشخصات آماری داده‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه در محدوده زمانی سال آبی مطالعه و نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در اولین گام مشخصات آماری داده‌های ایستگاه‌های مورد نظر در محدوده زمانی سال آبی ۱۳۵۶-۱۳۵۵ تا ۱۳۹۳-۱۳۹۲ مطالعه شد که نتایج در جدول ۱ نشان داده می‌شود. با توجه به نتایج این جدول، متغیرهای بارندگی دارای چولگی و کشیدگی بالایی هستند که دلیل این موضوع، تغییرات بارش است. هم‌چنین مقادیر بالای انحراف معیار نشان‌دهنده این است که پراکنش داده‌ها زیاد می‌باشد.

در ادامه نیم تغییرنا تجربی داده‌ها GS^+ تهیه شده و سپس به منظور نشان دادن همبستگی مکانی بین داده‌های بارش از ترسیم نیم تغییرنا استفاده شد که همان‌گونه که از جدول ۲ نمایان است، در مقیاس‌های مختلف زمانی، بارش منطقه از مدل نمایی و کروی تبعیت می‌کند.

با توجه به جدول ۲، نیم تغییرنا کروی بهترین مدل نیم تغییرنا برای بارندگی سالانه و ماه‌های مهر، دی، خرداد، مرداد و شهریور انتخاب شد. مدل کروی معمول‌ترین مدل مورد استفاده است. این مدل از مبدأ مختصات شروع شده و در نزدیکی مبدأ رفتار خطی دارد. ولی با افزایش فاصله مقدار نیم تغییرنا $(h)\gamma$ به سرعت به سمت مقادیر بیش‌تر $(h)\gamma$ صعود می‌کند. آنگاه به تدریج شیب کم می‌شود و به سقف خود می‌رسد و در همان مقدار باقی می‌ماند. ضمناً نیم تغییرنا نمایی برای حداکثر بارش ۲۴ ساعته و ماه‌های آبان، آذر، بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت و تیر مناسب‌ترین مدل تشخیص داده شد. مدل نمایی نیز مانند مدل کروی از مبدأ مختصات شروع شده و در نزدیکی مبدأ رفتار خطی دارد. ولی آهنگ صعود آن آرام‌تر از کروی است و در عمل هیچ‌گاه به سقف معینی نمی‌رسد. نسبت $C/C_0 + C$ بیانگر وجود ساختار مکانی در داده‌ها است. به طوری که در تحقیقات مختلف نسبت بیش‌تر از ۰/۷۵ به عنوان همبستگی مکانی قوی بیان شده است [۱۸، ۱۴]. با توجه به جدول ۲ مقدار $C/C_0 + C$ برای داده‌های بارندگی ماهانه، سالانه و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته از ۰/۸۱۲ تا ۰/۹۹۹ تغییر می‌کند که نشان‌دهنده همبستگی مکانی قوی در داده‌ها می‌باشد. از طرف دیگر، میزان دامنه تأثیر نشان‌دهنده فاصله‌ای است که متغیر در آن فاصله دارای همبستگی مکانی می‌باشد. دامنه تأثیر در مقیاس ماهانه از ۱۱/۶ تا ۹۹/۲ کیلومتر و در مقیاس سالانه ۳۵/۹ کیلومتر و برای حداکثر بارش ۲۴ ساعته ۲۱/۳ کیلومتر است.

پس از تعیین نوع مدل، داده‌ها به نرم‌افزار ARCGIS انتقال و مدل‌های موردنظر اجرا و از آن‌ها خروجی تهیه شد. شکل ۲ خروجی

جدول ۱: خصوصیات آماری متغیرهای بارندگی سالانه و ماهانه و حداکثر بارش ۲۴ ساعته

متغیر	میانگین (mm)	میانۀ (mm)	چولگی	کشیدگی	انحراف معیار	حداقل (mm)	حداکثر (mm)
مهر	۴۲/۴۲	۱۷/۷۶	۱/۲۶	۲/۸۷	۴۹/۲۰	۳/۸۴	۱۶۲/۹۵
آبان	۵۷/۴۰	۴۲/۵۵	۰/۹۳	۳/۰۴	۳۵/۸۸	۱۰/۰۸	۱۵۸/۸۸
آذر	۶۰/۳۴	۴۸/۴۰	۱/۰۳	۳/۶۰	۳۵/۵۷	۱۶/۷۱	۱۶۹/۸۱
دی	۴۴/۶۶	۳۳/۶۵	۰/۷۴	۲/۶۰	۲۴/۵۷	۱۳/۱۹	۱۰۹/۸۳
بهمن	۵۳/۸۷	۴۷/۵۱	۰/۲۲	۱/۸۵	۲۲/۴۱	۱۴/۹۵	۹۷/۵۱
اسفند	۵۳/۰۲	۴۹/۳۰	۰/۳۶	۲/۱۳	۵۳/۰۲	۱۸/۳۱	۴۹/۳۳
فروردین	۵۱/۱۲	۴۷/۳۸	۰/۷۶	۲/۹۴	۲۰/۴۷	۱۹/۱۸	۱۰۲/۲۸
اردیبهشت	۴۲/۷۵	۳۸/۳۵	۰/۶۰	۲/۴۰	۱۹/۳۹	۱۴/۱۲	۸۵/۷۲
خرداد	۲۰/۶۲	۱۶/۷۶	۱/۴۵	۴/۴۱	۱۵	۳/۰۴	۶۲/۷۹
تیر	۲۰/۶۲	۱۳/۵۵	۱/۵۳	۴/۴۴	۱۹/۶۶	۱/۱۸	۷۳/۶۰
مرداد	۱۷/۰۷	۸/۸۶	۱/۶۳	۴/۷۲	۱۸/۸۷	۰/۷۲	۶۹/۱۸
شهریور	۲۹/۲۶	۱۱/۴۸	۱/۳۳	۳/۱۴	۳۶/۷۲	۰/۳۰	۱۱۹/۶۶
سالانه	۴۹۳/۴۸	۴۱۵/۹۷	۰/۷۰	۲/۲۹	۲۶۷/۶۸	۱۱۵/۹۳	۱۰۵۳/۱
حداکثر بارش ۲۴ ساعته	۴۲/۱۲	۳۵/۰۶	۰/۸۵	۲/۸۲	۱۸/۷۷	۱۷/۶۲	۹۰/۱۲

جدول ۲: مشخصات نیم تغییرنمای بارندگی سالانه و ماهانه و حداکثر بارش ۲۴ ساعته

متغیر	نیم تغییرنما	C_0 (اثر قطعه‌ای)	$C+C$ (سقف)	دامنه تأثیر	$C/C_0 + C$	R^2	RSS
مهر	کروی	۱۰	۳۳۷۶۷/۹۹	۶۰۰۰۰	۰/۹۹۹	۰/۶۱	۱۷۰۰۰۰
آبان	نمایی	۱۰	۳۲۱۸۰/۷۲	۱۳۶۰۰	۰/۹۹۹	۰/۵۷	۹۳۳۰۰۰۰
آذر	نمایی	۱۰	۳۰۶۱۹/۸۱	۳۸۸۰۰	۰/۹۹۹	۰/۵۰	۱۶۸۰۰۰۰
دی	کروی	۱	۶۷۸۰/۶۴	۵۶۰۰۰	۰/۹۹۹	۰/۵۰	۳۶۸۰۰۰
بهمن	نمایی	۱۴۲	۵۰۸۸/۵۵	۴۰۱۰۰	۰/۹۷۲	۰/۲۹	۵۸۹۰۰۰
اسفند	نمایی	۲۵۱	۱۴۲۶/۵۰	۹۳۳۰۰	۰/۸۲۴	۰/۲۳	۶۲۳۰۰۰
فروردین	نمایی	۱۹۰	۱۸۵۸/۱۴	۲۲۱۰۰	۰/۸۹۸	۰/۱۷	۴۸۳۰۰۰
اردیبهشت	نمایی	۲۱۵	۱۱۴۸/۱۴	۱۱۶۰۰	۰/۸۱۲	۰/۳۲	۶۲۵۰۰۰
خرداد	کروی	۱۰۸	۷۲۹/۲۹	۷۴۰۰۰	۰/۸۵۲	۰/۲۴	۷۹۰۳۵۱/۱۴
تیر	نمایی	۸۳	۱۱۱۲/۴۲	۱۵۱۰۰	۰/۹۲۵	۰/۴۰	۱۹۱۰۰۰
مرداد	کروی	۱	۱۰۵۹/۴۰	۹۹۲۰۰	۰/۹۹۹	۰/۴۶	۷۷۰۰۰
شهریور	کروی	۱	۹۲۳۴/۴۰	۳۴۴۰۰	۰/۹۹۹	۰/۵۶	۲۰۲۰۰۰
سالانه	کروی	۱۰۰	۶۳۲۰۸۵/۷۰	۳۵۹۰۰	۰/۹۹۹	۰/۵۳	۹۴۵۰۰۰۰۰۰
حداکثر بارش ۲۴ ساعته	نمایی	۱	۳۸۱۹/۲۰	۲۱۳۰۰	۰/۹۹۹	۰/۵۷	۴۷۶۰۰۰

حاصل از چهار روش درونیابی توزیع بارش سالانه، حداکثر بارش ۲۴ ساعته و ماه‌های مهر، دی، فروردین و تیر را نشان می‌دهد. پس از تهیه نقشه هم‌بارش منطقه با روش‌های مورد نظر برای تعیین صحت از معیارهای مجذور میانگین مربع خطا (RMSE)، میانگین مطلق خطای برآورد (MAE)، متوسط خطای انحراف (MBE) استفاده شد. به منظور اعتبارسنجی نتایج به دست آمده روش اعتبارسنجی حذفی با حذف یک به یک هر ایستگاه انجام شد و بدین ترتیب مقادیر ایستگاه

حذف شده برآورد شده و با استفاده از روش‌های مجذور میانگین مربع خطا، میانگین مطلق خطای برآورد و متوسط خطای انحراف، میزان خطای داده‌ای و مشاهده‌ای اندازه‌گیری شد [۳۷]. لازم به ذکر است، هرکدام از روش‌های مذکور کم‌ترین مقدار از هر مؤلفه را براساس MEE انتخاب کرده و در نهایت روش‌های با رتبه پایین به‌عنوان مناسب‌ترین روش میان‌یابی بارش سالانه، حداکثر بارش ۲۴ ساعته و ماه‌های فصل پاییز، زمستان، بهار و تابستان به‌ترتیب در

جدول ۳: نتایج نهایی ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی بارش سالانه

رتبه براساس MEE	MBE	RV	γ	MAEE	MSEE	RMSE	MEE	نیم تغییرنما	روش‌ها
۵	۸/۸	۳۸/۲۴	۱۸/۴۲	۸۰/۲۹	۱۲۹۸۹/۱۶	۱۱۳/۹۷	۸/۸	گوسی	کریجینگ معمولی
۳	۶/۱۶	۳۸/۰۹	۲۳/۵۶	۱۱۱/۶۹	۲۱۱۴۴/۰۷	۱۴۵/۴۱	۶/۱۶	نمایی	کریجینگ ساده
۲	۵/۲۸	۳۸/۰۵	۳۰/۶۶	۱۲۶/۰۹	۳۵۷۶۶/۳۷	۱۸۹/۱۲	۵/۲۸	گوسی	کوکریجینگ
۴	۶/۹۱	۳۸/۱۳	۲۲/۶۹	۱۱۱/۵۵	۱۹۶۲۸/۰۱	۱۴۰/۱	۶/۹۱	۲	
۸	۸/۵۴	۳۸/۱۹	۲۰/۷۸	۹۹/۸۲	۱۶۴۸۹/۱۳	۱۲۸/۴۱	۸/۵۴	۳	
۷	۸/۴۳	۳۸/۲	۲۰/۲	۹۵/۵۱	۱۵۵۸۵/۰۳	۱۲۴/۸۴	۸/۴۳	۴	معکوس وزنی فاصله
۶	۷/۷۱	۳۸/۱۷	۲۰/۳	۹۵/۲۶	۱۵۷۲۷/۶۷	۱۲۵/۴۱	۷/۷۱	۵	
۱	۴/۴۵	۳۸/۰۷	۱۹/۸۳	۸۳/۸۹	۱۴۹۷۱/۹۷	۱۲۲/۳۶	۴/۴۵	اسپلاین صغه نازک	تابع پایه‌ای شعاعی

جدول ۴: نتایج نهایی ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی حداکثر بارش ۲۴ ساعته

رتبه براساس MEE	MBE	RV	γ	MAEE	MSEE	RMSE	MEE	نیم تغییرنما	روش‌ها
۴	۰/۶۷	۳۸/۴۸	۱/۳۷	۶/۲۵	۷۲/۲۵	۸/۵	۰/۶۷	گوسی	کریجینگ معمولی
۱	۰/۴۶	۳۸/۳۴	۱/۴۲	۶/۸	۷۷/۲۶	۸/۷۹	۰/۴۶	نمایی	کریجینگ ساده
۶	۰/۷۵	۳۸/۱	۱/۳۴	۶/۱۳	۶۸/۳۹	۸/۲۷	۰/۷۵	گوسی	کوکریجینگ
۳	۰/۶۵	۳۸/۱۵	۱/۴	۶/۹۶	۷۴/۶۵	۸/۶۵	۰/۶۵	۲	معکوس وزنی فاصله
۸	۰/۷۹	۳۸/۴۱	۱/۳۶	۶/۶۴	۷۱/۰۶	۸/۴۳	۰/۷۹	۳	حداکثر بارش ۲۴ ساعته
۷	۰/۷۷	۳۸/۰۷	۱/۳۹	۶/۷۱	۷۳/۶۲	۸/۵۸	۰/۷۷	۴	
۵	۰/۷۱	۳۸/۲۲	۱/۴۳	۶/۸۱	۷۸/۱۵	۸/۸۴	۰/۷۱	۵	
۲	۰/۵۳	۳۸/۴۷	۱/۱۱	۵/۰۳	۴۷/۳۳	۶/۸۸	۰/۵۳	اسپلاین کاملاً منظم	تابع پایه‌ای شعاعی

جدول ۵: نتایج نهایی ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی بارش ماه‌های فصل پاییز

رتبه براساس MEE	MBE	RV	γ	MAEE	MSEE	RMSE	MEE	نیم تغییرنما	روش‌ها	
۲	-۱/۲۸	۳۸/۲۸	۲/۷۷	۱۰/۳۹	۲۹۳/۷۸	۱۷/۱۴	-۱/۲۸	گوسی	کریجینگ معمولی	
۴	-۰/۷۲	۳۸/۱۹	۲/۹۸	۱۲/۶	۳۳۸/۹۳	۱۸/۴۱	-۰/۷۲	نمایی	کریجینگ ساده	
۱	-۱/۲۹	۳۸/۲۸	۳/۲۹	۱۲/۶۳	۴۱۴/۵۲	۶۲۰/۳	-۱/۲۹	گوسی	کوکریجینگ	
۳	-۱/۱۱	۳۷/۹۷	۲/۶۳	۱۰/۵۹	۲۶۲/۷۶	۱۶/۲۱	-۱/۱۱	۲	معکوس وزنی فاصله	
۵	-۰/۶۴	۳۸/۱۳	۲/۳۷	۹/۲۹	۲۱۴/۳۳	۱۴/۶۴	-۰/۶۴	۳		
۵	-۰/۴۶	۳۸/۱۱	۲/۳۱	۸/۹۴	۲۰۳/۳۵	۱۴/۲۶	-۰/۶۴	۴		
۶	-۰/۳۹	۳۷/۹۷	۲/۳۷	۹/۱	۲۱۳/۱۶	۱۴/۶	-۰/۳۹	۵		
۷	-۰/۱۴	۳۸/۱۵	۲/۳۴	۱۰/۵۲	۲۰۸/۸	۱۴/۴۵	-۰/۱۴	اسپلاین کاملاً منظم	تابع پایه‌ای شعاعی	مهر
۷	۱/۰۴	۳۸/۳۸	۲/۲	۱۰/۱۶	۱۸۵/۷۸	۱۳/۶۳	۱/۰۴	نمایی	کریجینگ معمولی	
۲	۰/۳۳	۳۸/۰۹	۲/۹۳	۱۲/۷۸	۳۲۵/۴۴	۱۸/۰۴	۰/۳۳	نمایی	کریجینگ ساده	
۸	۱/۳۸	۳۸/۳۱	۲/۲۷	۱۰/۴۴	۱۹۷/۴	۱۴/۰۵	۱/۳۸	کروی	کوکریجینگ	آبان
۱	۰/۳۲	۳۸/۱۲	۲/۸۵	۱۳/۲	۳۰۹/۷۶	۱۷/۶	۰/۳۲	۲	معکوس وزنی فاصله	
۳	۰/۵۳	۳۸/۰۷	۲/۶۶	۱۲/۳	۲۶۹/۲۹	۱۶/۴۱	۰/۵۳	۳		
۴	۰/۶	۳۷/۹۷	۲/۶۲	۱۲/۱۹	۲۶۰/۵	۱۶/۱۴	۰/۶	۴		
۶	۰/۶۴	۳۸/۱۵	۲/۶۶	۱۲/۳۸	۲۶۹/۹۴	۱۶/۴۳	۰/۶۴	۵		
۵	۰/۶۴	۳۸/۲۶	۲/۳	۱۰/۳۹	۲۰۲/۴۹	۱۴/۲۳	۰/۶۲	اسپلاین کاملاً منظم	تابع پایه‌ای شعاعی	
۴	۱/۳۱	۳۸/۲۱	۲/۸۲	۱۲/۳۳	۳۰۳/۸	۱۷/۴۳	۱/۳۱	نمایی	کریجینگ معمولی	
۱	۰/۵۳	۳۸/۱۵	۳/۳۵	۱۴/۲	۴۲۸/۰۸	۲۰/۶۹	۰/۵۳	نمایی	کریجینگ ساده	
۶	۱/۵۱	۳۸/۲۲	۲/۸۵	۱۲/۵۷	۳۱۰/۴۶	۱۷/۶۲	۱/۵۱	کروی	کوکریجینگ	
۳	۰/۹۹	۳۸/۲۳	۳/۲۲	۱۳/۹۶	۳۹۶/۴۱	۱۹/۹۱	۰/۹۹	۲	معکوس وزنی فاصله	
۵	۱/۴۵	۳۸/۳۱	۳/۱۸	۱۴/۰۸	۳۸۷/۳	۱۹/۶۸	۱/۴۵	۳		آذر
۷	۱/۷	۳۸/۲۹	۳/۲۷	۱۴/۵۷	۴۰۹/۲۵	۲۰/۲۳	۱/۷	۴		
۸	۱/۸۷	۳۸/۲۷	۳/۴۱	۱۵/۰۵	۴۴۴/۷۹	۲۱/۰۹	۱/۸۷	۵		
۲	۰/۵۹	۳۸/۲۵	۳/۰۱	۱۲/۷۳	۳۴۶/۷	۱۸/۶۲	۰/۵۹	اسپلاین با کشش	تابع پایه‌ای شعاعی	

میان‌یابی حداکثر بارش ۲۴ ساعته و ماه‌های (آذر و دی)، کریجینگ معمولی با نیم تغییرنما گوسی برای مرداد ماه، کوکریجینگ معمولی با نیم تغییرنما گوسی برای ماه مهر و شهریور، تابع پایه‌ای شعاعی با نیم تغییرنمای اسپلاین صفحه نازک برای بارش سالانه و ماه‌های (بهمن، اسفند، فروردین، اریهشت) و معکوس وزنی فاصله با توان دو و پنج به ترتیب برای ماه‌های آبان و خرداد می‌باشد. مهدوی و همکاران [۲۷]، فرجی‌سبک‌بار و عزیز [۸]، ذبیحی و همکاران [۳۹] و مظفری و همکاران [۲۹] نیز در تحقیقات خود بر دقت بیش‌تر روش کریجینگ نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی تأکید

جداول ۳ تا ۸ نشان داده شده است. مقادیر MEE و RMSE مقدار اریبی را نشان داده که در حالت ایده‌آل بایستی صفر باشند. مقادیر مثبت و منفی آن‌ها به ترتیب بیانگر برآورد بیش‌تر یا کم‌تر از مقدار واقعی هستند. بنابراین همه‌ی روش‌های مورد استفاده برای میان‌یابی بارش سالانه و حداکثر ۲۴ ساعته بیش برآورد می‌باشند. در صورتی که برای ماه‌های فصل‌های مختلف روش‌های مورد استفاده کم برآورد را نیز پیش‌بینی کرده‌اند. براساس نتایج به‌دست آمده، بهترین روش با توجه به رتبه‌بندی انجام شده روش کریجینگ ساده با نیم تغییرنمای برای

جدول ۶: نتایج نهایی ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی بارش ماه‌های فصل زمستان

رتبه براساس MEE	MBE	RV	γ	MAEE	MSEE	RMSE	MEE	نیم تغییرنما	روش‌ها	
۴	۱/۰۴	۳۸/۴۷	۱/۷۸	۷/۷۷	۱۱۸/۳۷	۱۰/۸۸	۱/۰۴	کروی	کریجینگ معمولی	
۴	۱/۰۴	۳۸/۲۲	۱/۷۶	۷/۶۶	۱۲۱/۸۸	۱۱/۰۴	۱/۰۴	نمایی		
۱	۰/۴۷	۳۸/۱۸	۲/۱۹	۹/۶۳	۱۸۳/۰۶	۱۳/۵۳	۰/۴۷	نمایی	کریجینگ ساده	
۵	۱/۱۵	۳۸/۳۷	۱/۸	۸/۱۶	۱۲۴/۳۲	۱۱/۱۵	۱/۱۵	گوسی	کو کریجینگ	
۳	۰/۹۴	۳۸/۱۹	۲/۱۴	۹/۶۴	۱۷۴/۷۷	۱۳/۲۲	۰/۹۴	۲	معکوس وزنی فاصله	
۶	۱/۲۳	۳۸/۱۹	۲/۱	۹/۳۸	۱۶۸/۴۸	۱۲/۹۸	۱/۲۳	۳		
۷	۱/۳۷	۳۸/۵۷	۲/۱۴	۹/۴۸	۱۷۶/۶۲	۱۳/۲۹	۱/۳۷	۴		
۸	۱/۴۵	۳۸/۳۸	۲/۲۳	۹/۶۷	۱۹۰/۹۹	۱۳/۸۲	۱/۴۵	۵		
۲	۰/۶۵	۳۸/۱۳	۱/۹	۸/۰۶	۱۳۷/۵۹	۱۱/۷۳	۰/۶۵	اسپلاین کاملاً منظم	تابع پایه‌ای شعاعی	دی
۴	۱/۸۲	۳۸/۹۶	۲/۰۴	۹/۱	۱۶۲/۰۵	۱۲/۷۳	۱/۸۲	گوسی	کریجینگ معمولی	
۲	۰/۹۱	۳۸/۱۵	۲/۳۵	۱۱/۰۹	۲۱۰/۵۴	۱۴/۵۱	۰/۹۱	نمایی	کریجینگ ساده	
۴	۱/۸۲	۴۹	۲/۰۴	۹/۱۱	۱۶۲/۳۱	۱۲/۷۴	۱/۸۲	گوسی	کو کریجینگ	بهمن
۳	۱/۸۱	۳۸/۴۷	۲/۵۲	۱۱/۴۸	۲۴۴/۳	۱۵/۶۳	۱/۸۱	۲	معکوس وزنی فاصله	
۶	۱/۹۱	۳۸/۶۳	۲/۴۱	۱۰/۹۳	۲۲۴/۴	۱۴/۹۸	۱/۹۱	۳		
۵	۱/۸۸	۳۸/۶۹	۲/۴	۱۰/۷۵	۲۲۲/۹	۱۴/۹۳	۱/۸۸	۴		
۴	۱/۸۲	۳۸/۷۸	۲/۴۴	۱۰/۹	۲۲۸/۹۲	۱۵/۱۳	۱/۸۲	۵		
۱	۰/۷۷	۳۸/۲۵	۲/۰۲	۹/۲۱	۱۵۶	۱۲/۴۹	۰/۷۷	اسپلاین صغه نازک	تابع پایه‌ای شعاعی	
۴	۱/۶۹	۳۸/۶	۲/۰۸	۹/۲۷	۱۶۶/۹۳	۱۲/۹۲	۱/۶۹	کروی	کریجینگ معمولی	
۲	۰/۹۵	۳۸/۲۹	۲/۴۳	۱۱/۶۶	۲۲۶/۲	۱۵/۰۴	۰/۹۵	نمایی	کریجینگ ساده	
۴	۱/۶۹	۳۸/۶	۲/۰۸	۹/۲۷	۱۶۶/۹۳	۱۲/۹۲	۱/۶۹	کروی	کو کریجینگ	
۶	۱/۸۳	۳۸/۵	۲/۶	۱۲/۲۵	۲۶۰/۱۸	۱۶/۱۳	۱/۸۳	۲	معکوس وزنی فاصله	
۷	۱/۸۵	۳۸/۵۷	۲/۴۴	۱۱/۲۷	۲۲۹/۵۲	۱۵/۱۵	۱/۸۵	۳		اسفند
۵	۱/۷۴	۳۸/۶۵	۲/۳۹	۱۰/۸۸	۲۲۰/۸۲	۱۴/۸۶	۱/۷۴	۴		
۳	۱/۵۷	۳۸/۳۹	۲/۴	۱۰/۷۲	۲۲۱/۱۲	۱۴/۸۷	۱/۵۷	۵		
۱	۰/۰۹	۳۷/۹۹	۲/۱۹	۹/۴۷	۱۸۲/۲۵	۱۳/۵	۰/۰۹	اسپلاین صغه نازک	تابع پایه‌ای شعاعی	

جدول ۷: نتایج نهایی ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی بارش ماه‌های فصل بهار

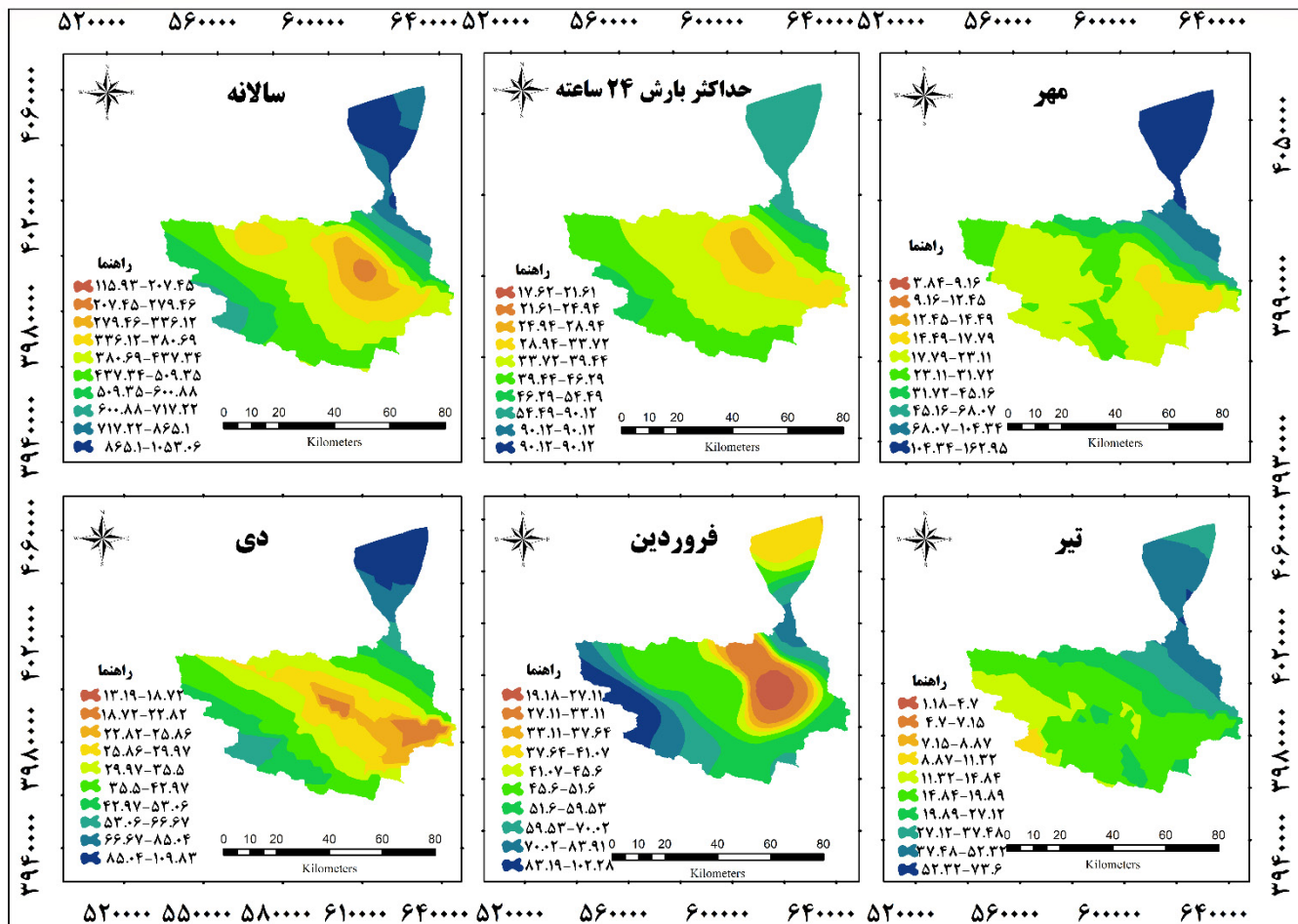
رتبه براساس MEE	MBE	RV	γ	MAEE	MSEE	RMSE	MEE	نیم تغییرنما	روش‌ها	
۸	۲/۰۶	۳۹/۱۹	۱/۸۹	۹/۸۵	۱۳۹/۹۵	۱۱/۸۳	۲/۰۶	نمایی	کریجینگ معمولی	
۲	۰/۴۴	۳۷/۹۶	۲/۱۴	۱۱/۰۵	۱۷۳/۷۱	۱۳/۱۸	۰/۴۴	گوسی	کریجینگ ساده	
۶	۱/۷۱	۳۹/۰۷	۱/۸۲	۹/۱۴	۱۲۹/۵	۱۱/۳۸	۱/۷۱	کروی	کو کریجینگ	
۷	۱/۷۲	۳۸/۴۲	۲/۴۲	۱۲/۰۱	۲۲۵	۱۵	۱/۷۲	۲	معکوس وزنی فاصله	
۵	۱/۵۵	۳۸/۴۹	۲/۲۴	۱۱/۳۲	۱۹۳/۲۱	۱۳/۹	۱/۵۵	۳		
۴	۱/۳۳	۳۸/۴۱	۲/۱۸	۱۱/۰۶	۱۸۲/۵۲	۱۳/۵۱	۱/۳۳	۴		
۳	۱/۱	۳۸/۳۷	۲/۱۷	۱۰/۹۶	۱۸۰/۶۳	۱۳/۴۴	۱/۱	۵		
۱	۰/۱۳	۳۸/۱۲	۲/۰۱	۹/۳۷	۱۵۴	۱۲/۴۱	۰/۱۳	اسپلاین صغه نازک	تابع پایه‌ای شعاعی	فروردین
۸	۱/۴۹	۳۸/۹۴	۲/۰۲	۱۰/۶۷	۱۵۷/۲۵	۱۲/۵۴	۱/۴۹	نمایی	کریجینگ معمولی	
۴	۰/۵۹	۳۷/۹۵	۲/۳۸	۱۲/۵۳	۲۱۴/۹۲	۱۴/۶۶	۰/۵۹	نمایی	کریجینگ ساده	
۷	۱/۲۴	۳۸/۳۹	۲	۹/۸۲	۱۵۳/۵۱	۱۲/۳۹	۱/۲۴	کروی	کو کریجینگ	
۶	۱/۰۷	۳۸/۲۱	۲/۴۳	۱۲/۵۹	۲۲۵/۶	۱۵/۰۲	۱/۰۷	۲	معکوس وزنی فاصله	اردیبهشت
۵	۰/۸۱	۳۸/۰۹	۲/۲۸	۱۱/۶۲	۱۹۷/۹۶	۱۴/۰۷	۰/۸۱	۳		
۳	۰/۵۶	۳۸/۱۲	۲/۲۳	۱۱/۳۷	۱۸۹/۶۱	۱۳/۷۷	۰/۵۶	۴		
۲	۰/۳	۳۸/۰۳	۲/۲۳	۱۱/۲۹	۱۸۹/۰۶	۱۳/۷۵	۰/۳	۵		
۱	-۰/۵۸	۳۸/۱۸	۲/۲۴	۱۱/۲۱	۱۹۱/۵۵	۱۳/۸۴	-۰/۵۸	اسپلاین صغه نازک	تابع پایه‌ای شعاعی	
۷	-۰/۰۹	۳۷/۷۹	۱/۲۹	۶/۵	۶۲/۸۸	۷/۹۳	-۰/۰۹	کروی	کریجینگ معمولی	
۶	-۰/۱۵	۳۷/۸۷	۱/۵۹	۷/۷۳	۹۵/۶۵	۹/۷۸	-۰/۱۵	نمایی	کریجینگ ساده	
۸	-۰/۰۴	۳۸/۲۳	۱/۳۱	۶۶۴	۶۵/۶۱	۸/۱	-۰/۰۴	کروی	کو کریجینگ	
۵	-۰/۳۳	۳۸	۱/۴۷	۷/۲۶	۸۲/۰۸	۹/۰۶	-۰/۳۳	۲	معکوس وزنی فاصله	
۴	-۰/۵۳	۳۸/۴۴	۱/۳۳	۶/۵۳	۶۸/۰۸	۸/۲۵	-۰/۵۳	۳		
۳	-۰/۷۲	۳۸/۴۱	۱/۲۹	۶/۳۳	۶۳/۸۴	۷/۹۹	-۰/۷۲	۴		خرداد
۱	-۰/۹۲	۳۸/۷۲	۱/۲۹	۶/۲۵	۶۳/۳۶	۷/۹۶	-۰/۹۲	۵		
۲	-۰/۷۳	۳۸/۲۳	۱/۴۲	۷/۱۸	۷۷/۰۹	۸/۷۸	-۰/۷۳	اسپلاین صغه نازک	تابع پایه‌ای شعاعی	

جدول ۸: نتایج نهایی ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی بارش فصل تابستان

رتبه براساس MEE	MBE	RV	γ	MAEE	MSEE	RMSE	MEE	نیم تغییرنما	روش‌ها	
۷	۰/۰۲	۳۸/۲	۱/۷	۷/۲۸	۱۱۰/۴۶	۱۰/۵۱	۰/۰۲	گوسی	کریجینگ معمولی	
۶	۰/۰۱	۳۸/۱۷	۱/۹۴	۸/۸۲	۱۴۳/۷۶	۱۱/۹۹	۰/۰۱	نمایی	کریجینگ ساده	
۸	۰/۱۵	۳۸/۲۱	۱/۷۶	۷/۹۳	۱۱۸/۳۷	۱۰/۸۸	۰/۱۵	کروی	کوکرینگ	تیر
۸	۰/۱۵	۳۶/۱۸	۱/۷۲	۷/۴۷	۱۱۲/۱۵	۱۰/۵۹	۰/۱۵	گوسی		
۳	-۰/۲۶	۳۸/۰۹	۱/۸۱	۸/۳۹	۱۲۴/۷۷	۱۱/۱۷	-۰/۲۶	۲	معکوس وزنی فاصله	
۵	-۰/۳	۳۸/۲۳	۱/۷۲	۷/۶	۱۱۳	۱۰/۶۳	-۰/۳	۳		مرداد
۴	-۰/۴	۳۸/۲۶	۱/۷۳	۷/۳۳	۱۱۴/۴۹	۱۰/۷	-۰/۴	۴		
۲	-۰/۵۴	۳۸/۱۲	۱/۷۷	۷/۲۷	۱۱۹/۴۶	۱۰/۹۳	-۰/۵۴	۵		
۱	-۰/۶۸	۳۸/۳۲	۱/۹۹	۹/۰۳	۱۵۱/۷۸	۱۲/۳۲	-۰/۶۸	اسپلاین صغه نازک	تابع پایه‌ای شعاعی	
۱	-۱/۴۷	۳۸/۸۸	۱/۶۱	۶/۰۶	۱۰۰/۸	۱۰/۰۴	-۱/۴۷	گوسی	کریجینگ معمولی	
۱	-۱/۴۷	۳۸/۸۸	۱/۶۱	۶/۰۶	۱۰۰/۸	۱۰/۰۴	-۱/۴۷	گوسی	کریجینگ ساده	
۷	-۰/۱۲	۳۸/۳۵	۱/۰۹	۴/۸۹	۴۵/۵۶	۶/۷۵	-۰/۱۲	کروی	کوکرینگ	
۶	-۰/۵	۳۸/۴۶	۱/۱۴	۵/۰۴	۴۹/۹۸	۷/۰۷	-۰/۵	۲	معکوس وزنی فاصله	
۵	-۰/۴۹	۳۸/۳۸	۰/۹۵	۴/۳۳	۳۴/۶۹	۵/۸۹	-۰/۴۹	۳		
۳	-۰/۵۸	۳۸/۱۲	۰/۷	۴/۰۳	۳۰/۹۱	۵/۵۶	-۰/۵۸	۴		
۲	-۰/۷۱	۳۹/۰۳	۰/۸۹	۳/۹۷	۳۰/۹۱	۵/۵۶	-۰/۷۱	۵		
۴	-۰/۵۵	۳۷/۹۹	۱/۰۹	۴/۸۱	۴۵/۱۶	۶/۷۲	-۰/۵۵	اسپلاین صغه نازک	تابع پایه‌ای شعاعی	
۲	-۲/۰۲	۳۸/۷۷	۲/۳۵	۸/۵۹	۲۱۴/۰۴	۱۴/۶۳	-۲/۰۲	گوسی	کریجینگ معمولی	
۷	-۰/۷۶	۴۰/۱۸	۲/۳۵	۹/۴۹	۲۲۲/۰۱	۱۴/۹	-۰/۷۶	نمایی	کریجینگ ساده	
۱	-۲/۲۴	۳۸/۷۴	۲/۵۱	۹/۰۸	۲۴۳/۹۸	۱۵/۶۲	-۲/۲۴	گوسی	کوکرینگ	شهریور
۳	-۱/۲۶	۳۵/۹	۲/۱۲	۷/۹۷	۱۷۲/۱۳	۱۳/۱۲	-۱/۲۶	۲	معکوس وزنی فاصله	
۴	-۱/۰۹	۳۸/۱۵	۱/۹۳	۶/۹۱	۱۴۲/۰۹	۱۱/۹۲	-۱/۰۹	۳		
۵	-۱/۰۶	۳۸/۲	۱/۸۹	۶/۷۴	۱۳۶/۴۲	۱۱/۶۸	-۱/۰۶	۴		
۴	-۱/۰۹	۳۸/۴۵	۱/۹۳	۶/۸	۱۴۳/۲۸	۱۱/۹۷	-۱/۰۹	۵		
۶	-۰/۹۹	۳۸/۴۶	۱/۸۹	۷/۹۷	۱۳۷/۳۶	۱۱/۷۲	-۰/۹۹	اسپلاین با کشش	تابع پایه‌ای شعاعی	

شود که تعداد کافی و مناسب و هم‌چنین پراکنش صحیح و اصولی ایستگاه‌های سنجش و اندازه‌گیری، نقش تعیین‌کننده‌ای در عملیات میان‌یابی ایفا می‌کنند. در نتیجه نواحی که از توزیع مناسب و یا تعداد

کردند. پس از روش کریجینگ، روش‌های معکوس وزنی فاصله و کوکرینگ از دقت بیش‌تری برخوردار بودند که با نتایج مرادی و همکاران [۲۸] مطابقت دارد. برای میان‌یابی باید به این نکته توجه



شکل ۲: نقشه بهترین مدل درونیابی توزیع بارش سالانه، حداکثر بارش ۲۴ ساعته و ماه‌های مهر، دی، فروردین و تیر

به روش کریجینگ، وجود اطلاعات نقطه‌ای پایه می‌باشد که حاوی ارزش‌های مربوط به یک پارامتر است که این امر با توجه به نحوه پراکندگی مناسب و کافی ایستگاه‌های هواشناسی موجب کاهش خطا و افزایش دقت در میان‌یابی می‌شود. این مدل فاقد خطای سیستماتیک است و در تخمین‌ها دارای حداقل واریانس می‌باشد و جایگاه ویژه‌ای در درونیابی‌ها به‌دست آورده است. از طرفی یکی از مشکلات اساسی در برآورد تغییرنا و میان‌یابی به روش کریجینگ تعداد زیاد ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشد که با توجه به فقدان ایستگاه‌های هواشناسی مناسب در اغلب نقاط کشور، استفاده از این روش دشوار است. براساس نتایج به‌دست آمده، بهترین روش با توجه به رتبه‌بندی انجام شده روش کریجینگ ساده با نیم تغییرنا نمایی برای میان‌یابی حداکثر بارش ۲۴ ساعته و برای ماه‌های (آذر و دی)، کریجینگ معمولی با نیم تغییرنا گوسی برای مرداد ماه، کوکریجینگ معمولی با نیم تغییرنا گوسی برای ماه‌های مهر و شهریور، تابع پایه‌ای شعاعی با نیم تغییرنا اسپلاین صفحه نازک برای بارش سالانه و ماه‌های (بهمن، اسفند، فروردین، اریهشت) و معکوس وزنی فاصله با توان دو و پنج به‌ترتیب برای ماه‌های آبان و خرداد می‌باشد. درونیابی بارندگی با روش تابع پایه‌ای شعاعی

کافی ایستگاه‌ها برخوردار نمی‌باشند، نسبت به نواحی دیگر در زمان ساخت ایستگاه‌های جدید در اولویت قرار می‌گیرند [۲۹، ۱].

نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف مقایسه کارایی روش‌های متفاوت زمین‌آمار برآورد توزیع مکانی متغیر بارندگی انجام گرفت که در بسیاری از مطالعات هواشناسی، طرح‌های آبخیزداری، آبیاری، سدسازی، کنترل سیلاب و کنترل فرسایش خاک قابلیت کاربرد دارد. در این تحقیق روش‌های درونیابی شامل کریجینگ (معمولی، ساده)، کوکریجینگ، میانگین معکوس وزنی فاصله (با توان دو تا پنج) و تابع پایه‌ای شعاعی با مدل‌های مختلف (اسپلاین کاملاً منظم، اسپلاین با کشش، مولتی کوادریک، مولتی کوادریک معکوس و اسپلاین صفحه نازک) به‌منظور برآورد بارندگی متوسط سالانه، ماهانه و حداکثر بارش ۲۴ ساعته حوزه آبخیز هراز در استان مازندران به‌کار گرفته شد. از بین روش‌های استفاده شده، روش تابع پایه‌ای شعاعی و کریجینگ ساده به‌ترتیب برای میان‌یابی بارش سالانه و حداکثر بارش ۲۴ ساعته در استان مازندران با توجه به ۴۰ ایستگاه مورد بررسی و با بازه زمانی ۳۸ ساله مناسب‌ترین روش تشخیص داده شد. یکی از اصول میان‌یابی

India, DESERT. 12(2): 139-147.

4. Behmanesh, J., Nazeri Tahroudi, M. N., Khalili, k. 2015. Comparison of Geostatistical Methods to Interpolation the Water Table (Case Study: Urmia Lake Basin), Irrigation Science and Engineering, 38(2): 123-113. (In Persian)

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

6. Ebadi, Y., Javdan, J., Rezaei Moghaddam, M. H. 2018. Estimating accuracy of Artificial Neural Networks (ANN) and Geostatistical methods in interpolating Groundwater levels (Case study: Shabestar-Sufian plain), Geographical Information. 28(110): 133-145. (In Persian)

7. Eivazi, M., Mosaedi, A. 2012. An Investigation on Spatial Pattern of Annual Precipitation in Golestan Province by Using Deterministic and Geostatistics Models, Journal of Water and Soil. 26(1): 64-53. (In Persian)

8. Farajisabokbar, H., Azizi, Gh. 2007. Evaluation the accuracy of spatial interpolation methods (Case Study: Rainfall Patterning in Kardashian Basin of Mashhad), Journal of Geographical Research. 38(58): 1-15.

9. Frazier, A. G., Giambelluca, T. W., Diaz, H. F., Needham, H. L. 2016. Comparison of geostatistical approaches to spatially interpolate month-year rainfall for the Hawaiian Islands, International Journal of Climatology. 36(3): 1459-1470.

10. Ghahroudi talley, M. 2005. Geographic Information System in Three-Dimensional Environment, Academic Jihad Teacher Training, Print one, 266 p. (In Persian)

11. Gong, Y., Zhang, Y., Lan, S., Wang, H. 2016. A comparative study of artificial neural networks, support vector machines and adaptive neuro fuzzy inference system for forecasting groundwater levels near Lake Okeechobee, Florida, Water resources management. 30: 375-391.

12. Goovaerts, P. 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall, Journal of Hydrology. 228(1-2): 113-129.

13. Gundogdu, I. B. 2017. Usage of multivariate geostatistics in interpolation processes for

همراه با پنج مدل مختلف بررسی شد که نتایج در جداول ۳ تا ۸ ارائه گردیده شد. نتایج نشان داد که مدل اسپلاین صفحه نازک نسبت به دیگر مدل‌های این روش کم‌ترین خطا و بیش‌ترین همبستگی را داشته است. براساس نتایج ارائه شده، روش تابع پایه‌ای شعاعی نسبت به روش‌های دیگر برای میان‌یابی بارش سالانه و ماه‌های (بهمن، اسفند، فروردین، اریهشت) نتایج بهتری را ارائه کرده است. از آنجایی که 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. از سویی دیگر، یکی از قابلیت‌ها و استفاده‌های روش‌های زمین‌آماری درخصوص داده‌های مربوط به بارش می‌تواند ارزیابی کفایت شبکه‌های باران‌سنجی در منطقه باشد. بدین منظور می‌توان مناطقی را به هر دلیلی فقدان ایستگاه باران‌سنجی وجود دارد را تشخیص داده و پوشش و توزیع مناسب ایستگاه‌ها را مشخص نمود. منطقه مورد مطالعه، در جنوب مازندران و در شهرستان آمل قرار دارد جزو مناطقی می‌باشد که امکان احداث ایستگاه‌های باران‌سنجی جدید در آن و اطراف حوضه وجود دارد.

با توجه به تحقیق صورت گرفته و اهمیت استفاده از زمین‌آمار در تجزیه و تحلیل متغیرها پیشنهاد می‌شود از سایر روش‌های زمین‌آمار مانند اسپلاین، تیسن و هم‌چنین مدل کوکریجینگ ساده در منطقه تحقیق استفاده شود و نتایج آن با نتایج تحقیق حاضر مقایسه گردد. هم‌چنین می‌توان به‌عنوان یک تحقیق خاص به ارزیابی کفایت شبکه‌های باران‌سنجی و لزوم یا عدم لزوم ایستگاه‌های موجود و یا جدید التاسیس پرداخت. ضمناً به‌منظور دست‌یابی به روش‌های مناسب برای میان‌یابی بارش با مقیاس زمانی مختلف، روش‌های زمین‌آماری در حوزه‌های آبخیز معرف مورد استفاده قرار گرفته و مدل‌های مناسب برای پهنه‌بندی بارش در مناطق مشابه مورد استفاده قرار گیرند.

منابع

1. Bahrpur, V., Rouhani, E., Abbaspur Fard, M. H., Agha Khani, M. H., Zarif Neshat, Z. 2016. Application of geometrical and interpolation methods in soil compaction mapping, 10th National Congress of Biosystems and Mechanization of Iran, Event

2. Balandeh, N., Ahmadi, A. 2013. Zoning of the groundwater-level and salinity using geostatistic, International Journal of Agriculture. 3(1): 109-112.

3. Bazgeer, S., Sharma, P.K., Mahey, R. K., Hundal, S. S., Sood, A. 2008. Assessment of land use changes using remote sensing and GIS and their implications on climatic variability for Balachaur watershed in Punjab,

Management Research. 10(18): 12-25.

23. Ly, S., Charles, C., Degre, A. 2011. Geostatistical interpolation of daily rainfall at catchment scale: the use of several variogram models in the Ourthe and Ambleve catchments, Belgium, Hydrology and Earth System Sciences. 15(7): 2259-2274.

24. Maleki, S., Khermali, Gh., Karimi, E. 2014. Mapping Soil Organic Matter Using Topographic Attributes and Geostatistic Approaches in Toshan Area, Golestan Province, Iran, Iranian Journal of Soil Research. 28(2): 468-459. (In Persian)

25. Marati, E., Taheri Tizro, A., Parsafar, N. 2017. Qualitative Zoning of Groundwater Resources Using Geostatistical and GIS Methods (Case Study: Soleymanshah Watershed), Water and soil knowledge. 27(2): 248-237. (In Persian)

26. Mir Mousavi, S. H., Mazidi, A., Khosravi, Y. 2010. The Determining of Optimum Geostatistics Method for Estimating Precipitation Distribution Using GIS (Case Study of Esfahan Province), Geo-Spatial Science and Research Journal. 10 (30): 120-105. (In Persian)

27. Mahdavi, M., Hosseini Chegini, S., Mahdian, M. H., Rahimi Bandarabadi, S. 2004. application of geostatistical methods for estimation of annual spatial rainfall in arid and semiarid regions of south east of iran, Iranian Natural Resources-College of Natural Resources Karaj. 57(1): 211-224. (In Persian)

28. Moradi, H. R., Sharifi Moghadam, A., Omidipur, R. 2013. Comparison of different geostatistical methods for mapping precipitation in Ilam province, Natural Ecosystems of Iran. 4(2): 97-87. (In Persian)

29. Mozaffari, G. A., Mirmuosavi, S. H., Khosravi, Y. 2012. The Assessment of Geostatistic Methods and Linear Regression in Order to Specify the Spatial Distribution of Annual Precipitation Case Study: Boushehr Province, Geography and Development. 10(27): 76-63. (In Persian)

30. Nabipur, Y., Vafakhah, M. 2013. Comparison of different Geostatistical methods for estimating rainfall (Case Study: Haji Ghoshan Watershed), Iranian Journal of Natural Resources. 2(69): 502-487. (In Persian)

31. Nadiri, A., Naderi, K., Asghari Moghadam, A., Habibi, M. H. 2014. Spatiotemporal Predicting of

meteorological precipitation maps, Theoretical and applied climatology. 127: 81-86.

14. Habashi, H., Hosseini, S. M., Mohammadi, J., Rahmani, R. 2007. Geostatistics applied in Forest Soil Studying processes, Agricultural Sciences and Natural Resources. 14(1): 18-27. (In Persian)

15. Hasni Pak, A. A. 2015. Geostatistical Geostatistics, University of Tehran Publications. 328 p. (In Persian)

16. Hirsche, K., Boerner, S., Kalkomey, C., Gastadi, C. 1998. Avoiding pitfalls in geostatistical reservoir characterization, International Journal of Operation and Product Management. 16(12): 45-73.

17. Kaviani, A., Zargoosh, Z., Jafarian Jelodar, Z., Darabi, H. 2017. Land Use Changes Modeling Using Logistic Regression and Markov Chain in Haraz Watershed, Iranian Journal of Natural Resources. 70(2): 411-397. (In Persian)

18. Khodakarami, L., Soffianian, A. R., Mohamadi Towfing, E., Mirghafari, N. A. 2014. Study of heavy metals concentration Copper, Zinc and Arsenic soil using RS and GIS techniques (Case study: Kaboudarahang, Razan and Khonjin- Talkhab catchment in Hamedan province), RS & GIS for Natural. 3(5): 55-45. (In Persian)

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

20. Lashti zand, M. 2002. A Study of the Climate of Iranian Droughts and Strategies for Countering it (A Case Study of Six Basins Located in West and Northwest of Iran), PhD thesis, University of Esfahan. (In Persian)

21. Lossner, T., Li, L., & Piltner, R. 2014. A Spatiotemporal Interpolation Method Using Radial Basis Functions for Geospatiotemporal Big Data, Fifth International Conference on Computing for Geospatial Research and Application. pp.17-24.

22. Lotfi Nasab Asl, S., Gohar Dost, A., Khosroshahi, M. 2018. Assessment and Application of Geostatistics in Identifying and Analyzing Drought Characteristics of Jazmourian Watershed, Journal of Watershed

126(1-2): 252-263.

37. Shabani far, M. 2003. Estimation of Regional Reference Evapotranspiration Using Geostatistics and GIS in Tehran Province, PhD thesis, College Agriculture, Trabiati Modares University. (In Persian)

38. Shabani, A., Matinfar, H. M., Arekhi, S., Rahimi Harabadi, S. 2011. Modeling rainfall erosivity factor using geostatistic techniques (Case Study: Ilam Dam Watershed), Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science. 2(2): 66-55. (In Persian)

39. Zabihi, A. K., Solaemani, M., Shabani, M., Abrosh, S. 2011. Evaluation of spatial distribution of precipitation using statistical methods (Case study: Qom province). Natural Geography Research. 78: 101-112. (In Persian)

40. Zandkarimi, A., Mokhtari, D., Zandkarimi, Sh. 2018. The spatial analysis and optimization of rain gauging station network in Kurdistan Province using the Kriging Error Variance, Geographical Information. 27(105): 126-116. (In Persian)

41. Zhang, R., Dong, Z., Guo, H. 2009. Forcast of Poyang lake's water level by Wavelet-ANFIS model, In 2009 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems. 3: (1-3). IEEE.

Groundwater Level Using Artificial Intelligence Models and Geostatistics Model (Case study: Duzdudan plain), Geography and Planning. 70(58): 301-281. (In Persian)

32. Nalder, I. A., Wein, R. W. 1998. Spatial interpolation of climatic Normals: Test of a new method in the Canadian boreal forest, Agricultural and Forest Meteorology. 92(4): 211-225.

33. Nurai Nezhad, S., Sedghi Asl, M., Parvizi, M., Shokrallahi, A. 2014. Application of geostatistics methods in analysis piezometric heads of dams (Case Study: Shahghasem Dam), Journal of Engineering Geology. 9(4): 3192-3175. (In Persian)

34. Rayegani, B. 2018. Applying fundamental geostatistical approaches to determine potential zones of groundwater recharge of Tehran-Karaj Plain Aquifer, Human and Environment. 16(47): 138-119. (In Persian)

35. Saghafian, B. 2012. Handbook of Spatial Distribution Methods of Climate Factors Using Point Data, Deputy of Strategic Supervision, Deputy Research Tarbiati Modares University, Journal Number 585. 133 pp. (In Persian)

36. Schwanghart, W., Jarmer, T. 2011. Linking spatial patterns of soil organic carbon to topography—A case study from south-eastern Spain, Geomorphology.



Abstract

Performance Evaluation of Geostatistics Methods for Rainfall Estimation in Haraz Watershed

F. Daechini¹, M. Vafakhah^{2*} and M. Zabihi Silabi³

Received: 2020/04/14 Accepted: 2020/08/22

Knowing the temporal and spatial distribution of rainfall is one of the most important factors in implementing soil and water conservation, flood control, and drought management projects and one of the most important parameters for water resource planning. Given the significant variation in rainfall on the one hand and the shortage of rain gauge stations to record rainfall, on the other hand, the requirement of correlating the rainfall estimation model to the spatial is inevitable. In this regard, geostatistics is one of the most important methods for estimating the spatial distribution of rainfall. The purpose of this study was to evaluate the geostatistical methods in annual, monthly and maximum 24-h rainfall estimations in the Haraz Watershed in Mazandaran province and to study their spatial variations in the time period of the water year 1976-1977 to 2013-2014. In this research, 40 meteorological stations with 38-year statistical period into and around the mentioned watershed were used to compare the geostatistical methods including Kriging, Co-kriging, inverse distance weighting and radial basis function in the isohyetal map for the Haraz Watershed. For this purpose, using the cross-validation method, by removing the individual stations, their precipitation values were determined and compared with the observed values. The results showed that radial basis function for annual rainfall and simple Kriging for maximum 24-hour rainfall, and simple and ordinary Kriging, Co-kriging, inverse distance weighting and radial basis function for different monthly rainfall is the most appropriate method. There is the spatial rainfall dependency on a monthly scale from 11.6 to 99.2 km, annual scale with 35.9 km and maximum 24 hour rainfall with 21.3 km. These results can be used to design distance among meteorological stations for rainfall measurement.

Keywords: Geostatistics, Interpolation, Maximum 24-hour rainfall, Isohyetal map, Haraz river

-
1. M.Sc Student of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
 2. Prof. Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran, (*Corresponding Author). Email: vafakhah@modares.ac.ir
 3. M.Sc Student of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran