

ارزیابی روش‌های معین و زمین آمار در منطقه‌ای کردن بارش فصلی در استان همدان

امین ترنجیان^۱، صفر معروفی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۵/۲۳

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۲۴

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

^۲ استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: smarofi@yahoo.com

چکیده

اطلاعات بارندگی در هر منطقه نقش مهمی در مطالعات منابع آب و منابع طبیعی ایفا می‌کند. با توجه به تغییرات زیاد توزیع مکانی و زمانی بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک، منطقه‌ای کردن بارش ضروری می‌باشد. یکی از روش‌های منطقه‌ای کردن بارش استفاده از روش‌های معین و زمین آمار می‌باشد. در این پژوهش، روش‌های فاصله معکوس، چندجمله‌ای موضعی، توابع پایه شعاعی، کریجینگ ساده و کریجینگ معمولی با مدل‌های مختلف، جهت منطقه‌ای نمودن بارش فصلی استان همدان با استفاده از آمار بارندگی ۲۰ ایستگاه سازمان هواشناسی و وزارت نیرو با دوره زمانی ۱۰ ساله (۱۳۸۱-۱۳۹۰) مورد ارزیابی قرار گرفتند. به‌منظور ارزیابی کارایی روش‌های مورد بررسی، از روش اعتبارسنجی متقابل و معیارهای ارزیابی میانگین خطای مطلق، ریشه میانگین مربع خطا و انحراف استاندارد عمومی استفاده گردید. نتایج نشان داد، روش توابع پایه شعاعی با مدل نواری کم ضخامت برای فصل پائیز، روش فاصله معکوس برای فصل زمستان و بهار و روش توابع پایه شعاعی با مدل نواری کاملاً مرتب شده برای فصل تابستان، مناسب‌ترین روش‌ها برای منطقه‌ای کردن بارش فصلی استان همدان می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: توابع پایه شعاعی، چندجمله‌ای موضعی، زمین آمار، فاصله معکوس، کریجینگ

Evaluation of Deterministic and Geostatistical Methods for Regionalization of Seasonal Precipitation in Hamadan Province

A Toranjian¹, S Marofi^{*2}

Received: 14 August 2015 Accepted: 14 March 2017

¹ Ph.D. Student of Water Resources Engin., Faculty of Agric., Bu-Ali Sina University of Hamadan, Iran

² Prof., Dept. of Sciences and Water Engin., Faculty of Agric., Bu-Ali Sina University of Hamadan, Iran

* Corresponding Author, Email: smarofi@yahoo.com

Abstract

Precipitation information plays an important role in water resources and natural resources studies in any region. With respect to the large changes in the spatial and temporal distribution of precipitation in the arid and semi-arid areas, it is important to regionalize precipitation. One of the methods for regionalization of precipitation is application of deterministic and geostatistical methods. In this research, different methods, namely, inverse distance, local polynomial, radial basis function, simple kriging and ordinary kriging were assessed using different models for regionalization of seasonal precipitation in Hamadan Province utilizing the precipitation statistics of 20 meteorological stations belonging to the Meteorological Organization and Ministry of Energy for a 10-year period (2003-2012). For assessing the performance of the examined methods the cross validation method, the assessment criteria Mean Absolute Error, Root Mean Squared Error and General Standard Deviation index were utilized. The results showed that the radial basis function method with Thin Plate Spline model for the autumn, the inverse distance weighting method for the winter and spring, and the radial basis function with Completely Regularized Spline model for the summer were the most appropriate methods for regionalization of the seasonal precipitation in Hamadan Province.

Keywords: Geostatistical, Inverse distance, Kriging, Local polynomial, Radial basis function

مقدمه

کمبود ایستگاه‌های باران‌سنجی به‌ویژه در مناطق کوهستانی، ضرورت استفاده از مدل‌های پیش‌بینی زمانی و تخمین مکانی بارش را بیشتر نمایان می‌سازد. دست‌یابی به توزیع مکانی بارش، براساس داده‌های نقطه‌ای بارندگی، که از ایستگاه‌های باران‌سنجی یا هم‌دید به‌دست می‌آیند، براساس یکی از دو روش درون‌یابی و برون‌یابی حاصل می‌شود. روش تخمین و برآورد میزان متغیر پیوسته در مناطق نمونه‌گیری نشده را در داخل ناحیه‌ای که مشاهدات نقطه‌ای پراکنده شده‌اند، درون‌یابی می‌گویند (قهرودی تالی ۱۳۸۸). روش‌های درون‌یابی به دو دسته کلی روش‌های معین^۲

بر نامهریزی، مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع آب مستلزم داشتن اطلاعات مختلفی از پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژی می‌باشد. یکی از مهمترین پارامترهای مورد بررسی در مطالعات منابع آب به‌منظور برنامه‌ریزی، مدیریت و بهره‌برداری بهینه از این منابع، اطلاعات بارندگی است. پیش‌بینی سیلاب، تحلیل دوره‌های خشکسالی و ترسالی، برآورد نیاز آبی گیاهان در هر منطقه و مطالعات مربوط به مکان‌یابی و تحلیل‌های منطقه‌ای، همه از مواردی است که برای انجام آن نیاز به داشتن اطلاعات مناسبی از بارش در هر منطقه می‌باشد. تغییرات زیاد زمانی و مکانی بارش به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک و همچنین

² Deterministic methods

¹ Interpolation

با تلفیق تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی و زمین‌آمار، داده‌های بارش را برای دو دهه پیش از احداث ۳۰۵ ایستگاه هواشناسی در استانهای آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و اردبیل برآورد نمودند. صفرراد و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از روش‌های زمین‌آمار به تحلیل مکانی تغییرات بارش در زاگرس میانی پرداختند. نتایج پژوهش نشان‌دهنده دقت بیشتر روش کریجینگ معمولی با متغیر کمکی عرض جغرافیایی و فاصله از خط الرأس در برآورد تغییرات مکانی بارش بود.

تغییرات اقلیمی، تغییر رژیم بارندگی و بروز خشکسالی در سال‌های اخیر در استان همدان، لزوم شناسایی مدلی مناسب برای تحلیل توزیع مکانی بارش را بیشتر نمایان می‌سازد. در بیشتر پژوهش‌های انجام شده بر روی ارزیابی روش‌های درونیابی برای تخمین بارش، میانگین سالانه بارندگی مورد ارزیابی قرار گرفته است. از آنجا که هر منطقه و هر فصل دارای ویژگی‌های منحصر به فرد بوده و نمی‌توان نتایج یک منطقه یا یک تحلیل زمانی خاص را به منطقه و زمان دیگر تعمیم داد، باید روش‌های درونیابی را علاوه بر تحلیل منطقه‌ای در ابعاد زمانی نیز مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش، به منظور معرفی روشی مناسب جهت منطقه‌ای کردن بارش استان همدان به صورت فصلی از اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی و همدید منتخب استان استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

محدوده مورد نظر استان همدان می‌باشد. این استان با مساحتی در حدود ۲۰۷۰۰ کیلومترمربع، یکی از نواحی کوهستانی و غربی کشور بوده که در حد فاصل جغرافیایی ۳۳°۳۳' تا ۳۵°۳۸' عرض شمالی و ۴۵°۴۷' تا ۴۹°۳۶' طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. بلندترین نقطه این استان قله الوند به ارتفاع ۳۵۷۴

و زمین‌آمار تقسیم‌بندی می‌شود. محققان برای شناسایی مدل مناسب تخمین مکانی پارامترهای اقلیمی پژوهش‌های زیادی انجام داده‌اند. دراگو و همکاران (۲۰۰۲) جهت تهیه مدل تحلیلی برای تولید نقشه مکانی بارش‌های کوهستانی در شمال شرقی فرانسه، با استفاده از سیستم پلویا و روش‌های رگرسیونی چندگانه آیین پارامترهای بارش و ریخت‌شناسی منطقه، روش‌های چند متغیره زمین‌آمار نظیر کریجینگ^۴ همراه با روند و کوکریجینگ^۵ را مقایسه کردند. سید و همکاران (۲۰۰۳) مقادیر بارندگی را در حوضه‌ای با وسعت حدود ۱۴۱ کیلومترمربع در نزدیکی تامبستون آریزونا مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور دو روش کریجینگ و چندربعی^۶ مورد استفاده قرار گرفت. نتایج فن اعتبارسنجی متقابل^۷ حاصل از این دو روش نشان داد، هر دو روش مشابه یکدیگر بوده و هیچ یک از روش‌ها بر دیگری برتری نداشتند. تساکریس و وانگلیس (۲۰۰۴) با استفاده از روش عکس مجذور فاصله^۸ نقشه بارش ماهانه و نقشه درصد نرمال متوسط بارندگی سالانه را به منظور پایش خشک‌سالی ترسیم نمودند. آنگولو مارتینز و همکاران (۲۰۰۹) از روش‌های معین منطقه‌ای و یکپارچه و روش زمین‌آمار به منظور مقایسه روش‌های میان‌یابی در برآورد شاخص‌های فرساینده بارش در حوضه ابر در شمال شرقی اسپانیا استفاده نمودند. ثقفیان و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه، با کاربرد روش‌های زمین‌آمار نشان دادند که برازش مدل گوسی کریجینگ و کوکریجینگ بر سهمی واریوگرام داده‌های بارش سالانه با دامنه تأثیر ۲۰۰ کیلومتر، بهترین الگو برای درونیابی میانگین بارش سالانه در استان فارس است. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد متغیر کمکی ارتفاع برای درونیابی داده‌های بارش سالانه، در نتایج بهبودی حاصل نمی‌کند. متکان و همکاران (۱۳۹۱)

⁶ Multiquadric

⁷ Cross validation

⁸ Inverse distance weighting (IDW)

⁹ Artificial neural network (ANN)

¹ Geostatistical methods

² PLUVIA

³ Multiple regression

⁴ Kriging

⁵ Cokriging

روش‌های درون‌یابی

در این پژوهش از روش‌های معین و زمین آمار استفاده گردید.

الف- روش‌های معین

۱- روش فاصله معکوس: در این روش مقادیر نقاط مجهول از راه میانگین وزنی داده‌های مشاهده‌ای با نقاط اطراف برآورد می‌گردد (لی و همکاران ۲۰۱۰). برای این منظور براساس فاصله بین نقطه مجهول و نقاط اندازه‌گیری شده، ضریب وزنی تخصیص داده می‌شود، به طوری که توان‌های بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچکتر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط همجوار توزیع می‌کند (زمانی و همکاران ۱۳۹۱).

$$\hat{Z}_j = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad [1]$$

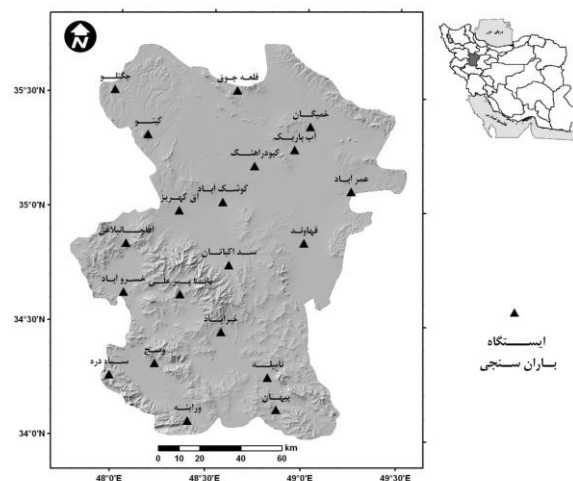
$$h_{ij} = \sqrt{d_{ij}^2 + \sigma^2} \quad [2]$$

که در آن، h_{ij} : اختلاف فاصله مؤثر بین گره شبکه (j) و نقطه همسایگی گره (i)، \hat{Z}_j : مقدار تخمین زده شده پارامتر Z_j : مقدار واقعی پارامتر Z در همسایگی گره، Z_{ij} : فاصله بین گره شبکه (j) و نقطه همسایگی گره (i)، β : توان وزن داده شده که در این تحقیق براساس پیش‌فرض نرم‌افزار، ۲ در نظر گرفته شد، σ : ضریب هموار کننده (انحراف معیار مقادیر تخمین زده شده Z) و d_{ij} : فاصله نقطه نمونه و نقطه تخمین زده شده می‌باشند (دیویس ۱۹۸۶).

۲- چندجمله‌ای موضعی: روش چندجمله‌ای موضعی، کمینه مجذورات متناسب را بین گره‌های شناسایی شده در محدوده بیضوی شکل، به‌عنوان وزن گره تخصیص می‌دهد. در این روش براساس ضرایب تخصیص داده شده، با به‌دست آوردن رابطه درجه اول، دوم و یا سوم بین مقادیر x، y و z و کمینه سازی اطلاعات محاسبه شده، درون‌یابی صورت می‌گیرد.

$$\sum_{i=1}^N w_i [F(x_i, y_i) - Z_i]^2 = \text{Minimize} \quad [3]$$

متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه آن نیز در محل خروجی رودخانه قره‌چای به ارتفاع ۱۵۵۵ متر از سطح دریا می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت استان همدان و ایستگاه‌های مورد بررسی.

داده‌های مورد بررسی

استان همدان دارای ۲۵ ایستگاه باران‌سنجی مربوط به وزارت نیرو است که از این تعداد ایستگاه برخی در یک مقطع زمانی دارای آمار غیر مطمئن و برخی دارای دوره آماری کمتر از ۱۰ سال می‌باشند. با توجه به وجود خطا در بازسازی و تطویل داده‌ها و به‌منظور اطمینان بیشتر در بررسی نتایج، در این پژوهش از ۱۹ ایستگاه باران‌سنجی و یک ایستگاه همدید که دارای ۱۰ سال آمار مشترک (۱۳۸۱-۱۳۹۰) بودند، استفاده شد. پس از محاسبه میانگین فصلی بارش در هر ایستگاه، محاسبه پارامترهای آماری داده‌ها در نرم‌افزار SPSS انجام شد. در نهایت با ورود اطلاعات در محیط GIS، انجام روش‌های درون‌یابی و بهینه سازی وزنه‌های اختصاصی هر روش در محیط Geostatistical Analyst، بهترین روش در هر فصل براساس ارزیابی صورت گرفته انتخاب و نقشه فصلی منطقه‌ای بارش ترسیم گردید.

¹ Local polynomial

$$P_0(u) = \sum_{i=1}^N w_{\alpha}(u)P(u) + \left[1 - \sum_{\alpha=1}^N w_{\alpha}(u)P(u) \right] m \quad [4]$$

$$\sum_{\beta=1}^N w_{\alpha}(u)C(u_{\beta} - u_{\alpha}) = C(u_{\beta} - u_{\alpha}) \quad [5]$$

که در آن u بردار مکان برای برآورد نقطه مورد نظر، u_{α} و u_{β} نقاط همسایگی داده، m میانگین متغیر تصادفی، P_0 متغیر تصادفی محاسبه شده، P متغیر تصادفی واقعی، w_{α} وزن معین شده کریجینگ برای داده u_{α} جهت تخمین بردار u ، N تعداد داده‌های قرار گرفته در همسایگی معین شده، α و β نمایه‌های نقاط همسایگی و C کواریانس بین نقاط واقعی و محاسبه شده می‌باشند (ایزاکس و سریواستاوا ۱۹۸۹). این روش متکی بر میانگین متحرک وزنی و بهترین تخمین‌گر نارایب می‌باشد که می‌تواند علاوه بر مقادیر برآورد شده، میزان خطای تخمین در هر نقطه را نیز مشخص نماید (کیتانیدیس ۱۹۹۶). شرط نارایب بودن در سایر روش‌های تخمین نظیر روش چندجمله‌ای و فاصله معکوس نیز اعمال می‌شود. ولی ویژگی کریجینگ در آن است که در عین نارایب بودن، واریانس تخمین نیز کمینه می‌باشد. بنابراین، کریجینگ همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز ارائه می‌دهد که با استفاده از این ویژگی منحصر به فرد کریجینگ می‌توان قسمت‌هایی که در آنجا خطا زیاد بوده و برای کاهش آن به داده‌های بیشتری نیاز است را مشخص نمود (گلمحمدی و همکاران ۱۳۸۷). در این پژوهش از روش کریجینگ ساده^۱ و کریجینگ معمولی^۲ با مدل‌های دایره‌ای^۳، نمایی^۴، گوسی^۵، درجه دوم استدلالی^۶، کرووی^۷، ثابت^۸، تتراکرووی^۹ استفاده شده است. لازم به ذکر است در هر یک از روش‌ها و مدل‌های درونیابی، وزن‌های اختصاصی هر روش در محیط Geostatistical Analyst نرم‌افزار GIS، بهینه سازی شد.

در پژوهش حاضر، از روش چندجمله‌ای موضعی با توابع ثابت^۱، اپانچنیکوف^۲، نمایی^۳، گوسی^۴، چندجمله‌ای درجه پنجم^۵ و درجه چهارم^۶ استفاده گردید. ۳- توابع پایه شعاعی^۷: از جمله روش‌های درونیابی معین است که در آن سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌کند. از خصوصیات این روش که حالتی از شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد، این است که مقادیر بیشتر از بیشینه مقادیر مشاهده‌ای و یا کمتر از کمینه مقادیر مشاهده‌ای در سطح تخمین وجود دارد. در روش فاصله معکوس نیز سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌نماید، اما این روش هیچ‌گاه مقادیر بیشتر از بیشینه و کمتر از کمینه داده‌های مشاهده‌ای را تخمین نمی‌زند.

در این پژوهش از روش توابع پایه شعاعی با توابع نواری کاملاً مرتب شده^۱، چند ربعی معکوس^۲، نواری همراه با کشش^۳، چند ربعی و نواری کم ضخامت استفاده شده است. این روش براساس پنج تابع مختلف درونیابی اطلاعات را انجام می‌دهد. هسته اصلی توابع، مجموع مقادیر مجذورات $(h^2 + R^2)$ می‌باشد. مقادیر h و R به ترتیب فاکتور هموار کننده^۴ و ترسیم ناهمسانگرد^۵ مرتبط با فاصله نقطه تا گره می‌باشد (کارلسن و فولی ۱۹۹۲).

ب- روش‌های زمین آمار

در بین روش‌های زمین آمار نیز روش کریجینگ مورد استفاده قرار گرفت. این روش یک روش کارآمد درونیابی است که می‌توان آن را دقیق یا غیردقیق (هموار) در نظر گرفت. روش کریجینگ دارای طرح‌واره-های مختلفی است که رابطه کلی آن به صورت زیر می‌باشد:

- 1 Thin plate spline 1
- 1 Smoothing factor 2
- 1 Anisotropically rescaled factor 3
- 1 Simple kriging 4
- 1 Ordinary kriging 5
- 1 Circular 6
- 1 Rational quadratic 7
- 1 Spherical 8
- 1 Stable 9
- 2 Tetra spherical 0

- 1 Constant 1
- 2 Epanechnikov 2
- 3 Exponential 3
- 4 Gaussian 4
- 5 Polynomial order 5 5
- 6 Quartic 6
- 7 Radial basis function 7
- 8 Completely regularized spline 8
- 9 Inverse multiquadric 9
- 1 Spline with tension 0

معیارهای ارزیابی

به منظور مقایسه روش‌های استفاده شده در این تحقیق و انتخاب مناسب‌ترین روش زمین‌آمار، از روش اعتبارسنجی متقابل استفاده شد. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای کلیه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به صورتی که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت.

معیارهای مختلفی برای ارزیابی کارایی روش‌های میان‌یابی وجود دارد. در این پژوهش از معیارهای میانگین خطای مطلق (MAE)، ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) و انحراف استاندارد عمومی (GSD) با معادلات زیر استفاده شد:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)|}{n} \quad [6]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2}{n}} \quad [7]$$

$$GSD = \frac{RMSE}{\bar{Z}(x)} \quad [8]$$

که در آن، n تعداد نقاط مشاهده‌ای، $\bar{Z}(x_i)$ میانگین مقادیر مشاهده‌ای، $Z^*(x_i)$ مقدار برآوردی در نقطه i ام و $Z(x_i)$ مقدار مشاهده‌ای برای نقطه i ام می‌باشد.

نتایج و بحث

پس از فصلی نمودن داده‌های بارش ۲۰ ایستگاه منتخب، پارامترهای آماری محاسبه گردید. نتایج در جدول ۱ ارائه شده است. ایستگاه ورآینه بیشترین مقدار بارش و ایستگاه قهاوند دارای کمترین مقدار بارش در طول دوره آماری می‌باشند.

تعیین مقدار عددی بسیاری از شاخص‌ها در نقاط فاقد ایستگاه، برای ایجاد و توسعه مدل‌هایی که در مقیاس وسیع می‌توانند یک مشخصه یا فرآیند اکولوژیکی را پیش‌بینی نماید، حائز اهمیت است (میرموسوی و همکاران ۱۳۸۹).

مدل‌های انتخابی فقط برای همان منطقه و زمان مورد بررسی قابل اعتماد است و در صورتی می‌توان از یک مدل در ابعاد مکانی و زمانی دیگر استفاده نمود که این مدل‌ها با لحاظ نمودن جزئیات یکسان در چندین محل مناسب تشخیص داده شود. در این پژوهش از روش‌های فاصله معکوس، چندجمله‌ای موضعی، توابع پایه شعاعی، کریجینگ ساده و کریجینگ معمولی با مدل‌های مختلف جهت منطقه‌ای نمودن بارش فصلی استان همدان استفاده شد. در زیر نتایج به دست آمده به صورت فصلی ارائه شده است.

جدول ۱- پارامترهای آماری بارش فصلی ایستگاه‌های مورد بررسی.

فصل	بیشینه (mm)	میانگین (mm)	کمینه (mm)	انحراف معیار (mm)	ضریب تغییرات (بی بعد)	چولگی (بی بعد)	کشیدگی (بی بعد)
پائیز	۵۴/۳	۳۶/۹۲	۲۶/۸	۸/۴۲	۰/۲۲۸	۰/۸۸۲	-۱/۹۶
زمستان	۷۰/۲	۳۹/۷۴	۲۳/۸	۱۱/۳۹	۰/۲۸۶	۱/۰۳۸	۱/۲۱۵
بهار	۵۸/۴	۴۰/۳۴	۳۰/۵	۶/۶۸	۰/۱۶۵	۰/۹۰۹	۱/۶۵۰
تابستان	۳/۵	۱/۹۹	۰/۷	۰/۹۱	۰/۴۵۷	۰/۱۶۵	-۰/۹۹۲

فصل پائیز

در جدول ۲ نتایج ارزیابی ۲۶ مدل از روش‌های معین و زمین‌آمار برای منطقه‌ای نمودن بارش استان همدان در فصل پائیز ارائه شده است. نتایج ارزیابی نشان داد، روش توابع پایه شعاعی با مدل نواری کم ضخامت،

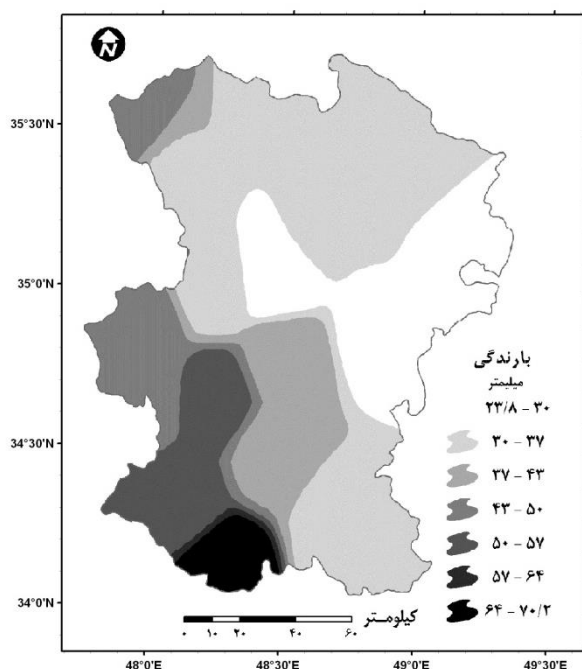
کمترین خطای تخمین مکانی بارش را در فصل پائیز دارد. در این روش میانگین خطای مطلق ۳/۸۷۸ میلی‌متر، ریشه میانگین مربع خطا ۴/۶۹ میلی‌متر و انحراف استاندارد عمومی ۰/۱۲۷ محاسبه گردید.

³ General standard deviation

¹ Mean absolute error

² Root mean squared error

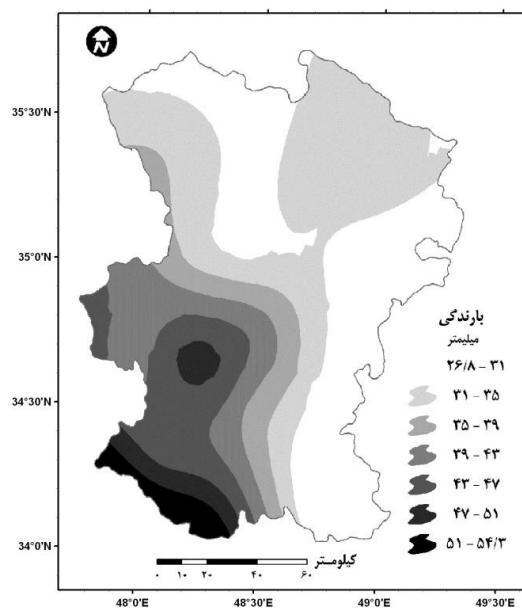
در فصل زمستان می‌باشد. برر سی نتایج نشان‌دهنده این نکته است که روش فاصله معکوس تنها روش قابل اطمینان برای منطقه‌ای نمودن بارش در فصل زمستان است. معیارهای ارزیابی، روش‌های کریجینگ معمولی و کریجینگ ساده با مدل ثابت را به‌عنوان نامناسب‌ترین روش در فصل زمستان معرفی می‌نمایند. پهنه‌بندی بارش در فصل زمستان، با استفاده از روش فاصله معکوس، نشان می‌دهد اغلب مناطق استان بارشی کمتر ۵۰ میلی‌متر داشته و فقط در نواحی جنوب‌غربی استان بارش قابل ملاحظه می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳- نقشه تخمین مکانی بارش زمستان با استفاده از روش فاصله معکوس.

فصل بهار

روش فاصله معکوس با میانگین خطای مطلق ۴/۵۹۲ میلی‌متر، ریشه میانگین مربع خطا ۶/۰۱۴ میلی‌متر و انحراف استاندارد عمومی ۰/۱۵، به‌عنوان مناسب‌ترین روش در منطقه‌ای نمودن بارش فصل بهار استان انتخاب گردید. نتایج ارائه شده در جدول ۴ نشان می‌دهد روش توابع پایه شعاعی با مدل نواری کم ضخامت با میانگین خطای مطلق ۵/۶۱۱ میلی‌متر، ریشه میانگین مربع خطا ۷/۲۸۹ میلی‌متر و انحراف استاندارد عمومی ۰/۱۸۱ نامناسب‌ترین روش در تخمین مکانی



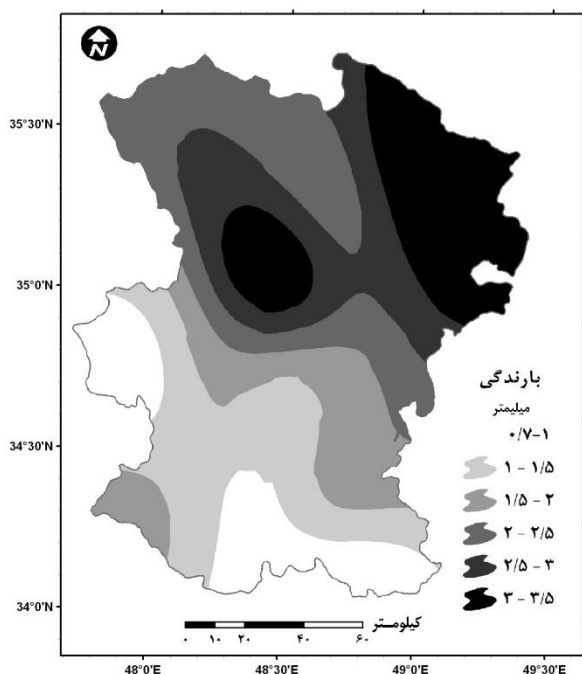
شکل ۲- نقشه تخمین مکانی بارش پائیز با استفاده از روش توابع پایه شعاعی با مدل نواری کم ضخامت.

همچنین با کمی اختلاف روش چندجمله‌ای موضعی با مدل زمایی را می‌توان به‌عنوان روش مناسبی جهت تخمین مکانی بارش منطقه در فصل پائیز انتخاب نمود. در بین روش‌های اجرا شده، روش‌های کریجینگ ساده با مدل ثابت و مدل گوسی با میانگین خطای مطلق ۵/۰۲۶ میلی‌متر، ریشه میانگین مربع خطا ۶/۱۳۱ میلی‌متر و انحراف استاندارد عمومی ۰/۱۶۶، به‌عنوان نامناسب‌ترین روش‌های درون‌یابی در تخمین بارندگی پائیز منطقه شناسایی شدند. با انتخاب روش توابع پایه شعاعی با مدل نواری کم ضخامت در فصل پائیز، نقشه منطقه‌ای بارش استان براساس این روش تهیه گردید. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، میزان بارش از سمت نواحی شرقی و شمالی به‌طرف مناطق غربی و جنوبی بیشتر می‌گردد. مقایسه پهنه‌بندی بارش پائیز با فصل تابستان نشان می‌دهد مناطقی که در این فصل کمترین بارش را داشته‌اند در فصل تابستان بیشترین بارش را به‌خود اختصاص داده‌اند.

فصل زمستان

جدول ۳ نشان می‌دهد روش فاصله معکوس با میانگین خطای مطلق ۵/۳۴۶ میلی‌متر، ریشه میانگین مربع خطا ۶/۹ میلی‌متر و انحراف استاندارد عمومی ۰/۱۷۴، بهترین روش برای تخمین مکانی بارش استان

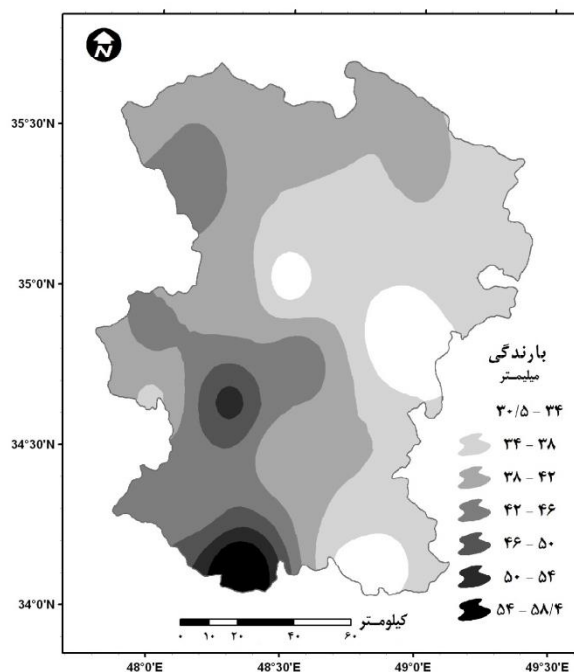
می‌شود، بارش حداقلی در تابستان برخلاف سایر فصول در مناطق جنوبی استان کمتر و در مناطق شمالی بیشتر است.



شکل ۵- نقشه تخمین مکانی بارش تابستان با استفاده از روش توابع پایه شعاعی با مدل نواری کاملاً مرتب شده.

برای پهنه‌بندی بارش سالانه، موگس و همکاران (۲۰۰۳) در حوضه روفیجی تانزانیا روش کریجینگ معمولی، کریمی و فتحی‌زاد (۱۳۹۴) برای استان ایلام و ذبیحی و همکاران (۱۳۹۰) در استان قم، روش کریجینگ معمولی با مدل گوسی را پیشنهاد نمودند. میرموسوی و میریان (۱۳۹۰) روش کریجینگ با مدل کروی را برای ماه‌های ژانویه تا ژوئن و کریجینگ خطی را برای ماه‌های آگوست تا نوامبر و کریجینگ نمایی را برای ماه ژوئیه تعیین نمودند. معروفی و همکاران (۱۳۸۸) روش کریجینگ ساده با مدل واریوگرام نمایی را بهترین روش برای درون‌یابی مقادیر میانگین بارندگی سالانه، روش کریجینگ ساده با مدل دایره‌ای را مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای مقادیر بیشینه بارندگی و روش‌های کریجینگ معمولی و عمومی با مدل گوسین را بهترین روش برای تخمین مکانی مقادیر کمینه بارندگی معرفی نمودند. مقایسه نتایج حاکی از تفاوت روش‌های معرفی شده پژوهش‌ها با یکدیگر و نتیجه این مطالعه است. علت

بارش فصل بهار در استان می‌باشد. پراکندگی بارش در فصل بهار نیز تقریباً مانند فصول پائیز و زمستان بوده، به طوری که در قسمت‌های جنوب‌غربی بیشترین و در قسمت‌های شرقی کمترین بارش قابل مشاهده است (شکل ۴)



شکل ۶- نقشه تخمین مکانی بارش بهار با استفاده از روش فاصله معکوس.

فصل تابستان

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، روش‌های توابع پایه شعاعی با مدل نواری کاملاً مرتب شده و مدل چند ربعی معکوس بهترین روش‌ها برای تخمین مکانی بارش در فصل تابستان می‌باشند. روش توابع پایه شعاعی با مدل نواری کاملاً مرتب شده با میانگین خطای مطلق ۰/۳۷۴ میلی‌متر، ریشه میانگین مربع خطا ۰/۴۶ میلی‌متر و انحراف استاندارد عمومی ۰/۲۳۱ به‌عنوان بهترین روش، و روش چندجمله‌ای موضعی با مدل ثابت و میانگین خطای مطلق ۰/۵۲ میلی‌متر، ریشه میانگین مربع خطای مطلق ۰/۶۳۴ میلی‌متر و انحراف استاندارد عمومی ۰/۳۱۸ به‌عنوان نامناسب‌ترین روش در تخمین مکانی بارش فصل تابستان انتخاب شدند. شکل ۵ پراکنش متفاوت بارش در فصل تابستان را نسبت به سایر فصول سال نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده

ارزیابی پهنه‌بندی بارش سالانه استفاده شده است. چنان‌که در پژوهش میرموسوی و میریان (۱۳۹۰) و این پژوهش مشخص است، نتایج ارزیابی روش‌های پهنه-بندی بارش فصلی یا ماهانه در مقایسه با بارش سالانه متفاوت است.

این موضوع در تفاوت ریخت‌شناسی و جبهه‌های آب و هوایی مناطق، استفاده از چند روش محدود در مطالعات و عدم بررسی دوره‌های زمانی کوتاه‌تر از سالانه می-باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد، در بیشتر پژوهش‌ها فقط از یک روش به همراه روش کریجینگ برای مقایسه و

جدول ۲- نتایج ارزیابی عملکرد روش‌های معین و زمین آمار جهت منطقه‌ای نمودن بارش فصل پائیز.

روش	مدل	MAE (mm)	RMSE (mm)	GSD
فاصله معکوس		۳/۷۴۵	۴/۸۳۲	۰/۱۳۱
	ثابت	۴/۳۵۶	۵/۶۰۲	۰/۱۵۲
	اپانچنیکوف	۴/۰۶۰	۵/۰۸	۰/۱۳۸
	نمایی	۳/۷۵۴	۴/۷۳۹	۰/۱۲۸
	گوسی	۳/۹۳۵	۴/۹۴۱	۰/۱۳۴
	چندجمله‌ای درجه پنج	۴/۰۶۱	۵/۰۴۸	۰/۱۳۷
چندجمله‌ای موضعی	درجه چهارم	۴/۰۴۶	۵/۰۳۳	۰/۱۳۶
	دایره‌ای	۴/۴۷۱	۵/۵۶۲	۰/۱۵۱
	نمایی	۴/۱۷۷	۵/۳۲۸	۰/۱۴۴
	گوسی	۴/۵۰۱	۵/۶۱۹	۰/۱۵۲
	درجه دوم استدلالی	۴/۱۸۳	۵/۳	۰/۱۴۴
	کروی	۴/۲۴۸	۵/۳۸۴	۰/۱۴۶
کریجینگ معمولی	ثابت	۴/۵۰۱	۵/۶۱۹	۰/۱۵۲
	تتراکروی	۴/۱۸۰	۵/۳۲۷	۰/۱۴۴
	نواری کاملاً مرتب شده	۴/۴۹۴	۵/۵۸۵	۰/۱۵۱
	چند ربعی معکوس	۴/۵۰۵	۵/۶۸۷	۰/۱۵۴
	چند ربعی	۴/۳۸۳	۵/۳۶۵	۰/۱۴۵
	نواری همراه با کشش	۴/۵۰۵	۵/۶۱۱	۰/۱۵۲
توابع پایه شعاعی	نواری کم ضخامت	۳/۸۷۸	۴/۶۹	۰/۱۲۷
	دایره‌ای	۴/۹۰۱	۶/۰۰۶	۰/۱۶۳
	نمایی	۴/۷۸۸	۶/۰۶۴	۰/۱۶۴
	گوسی	۵/۰۲۷	۶/۱۳۲	۰/۱۶۶
	درجه دوم استدلالی	۴/۷۱۴	۶/۰۹۱	۰/۱۶۵
	کروی	۴/۹۰۳	۶/۰۱۵	۰/۱۶۳
کریجینگ ساده	ثابت	۵/۰۲۷	۶/۱۳۲	۰/۱۶۶
	تتراکروی	۴/۹۰۱	۶/۰۲۶	۰/۱۶۳

جدول ۳- نتایج ارزیابی عملکرد روش‌های معین و زمین آمار جهت منطقه‌ای نمودن بارش فصل زمستان.

<i>GSD</i>	<i>RMSE</i> (mm)	<i>MAE</i> (mm)	مدل	روش
۰/۱۷۴	۶/۹	۵/۳۴۶		فاصله معکوس
۰/۱۹۸	۷/۸۸۱	۵/۷۶۸	ثابت	چندجمله‌ای موضعی
۰/۱۹۲	۷/۶۳۱	۵/۵۴۶	اپانچنیکوف	
۰/۱۸۱	۷/۱۸۴	۵/۲۶۰	نمایی	
۰/۱۸۶	۷/۴۱۲	۵/۴۷۹	گوسی	
۰/۱۹	۷/۵۶۸	۵/۵۳۷	چندجمله‌ای درجه پنج	
۰/۱۹۱	۷/۵۷۶	۵/۴۹۳	درجه چهارم	
۰/۱۹	۷/۵۵۷	۵/۶۱۹	دایره‌ای	کریجینگ معمولی
۰/۱۹۴	۷/۷۲۴	۵/۸۱۸	نمایی	
۰/۱۸۴	۷/۳۳	۵/۴۱۱	گوسی	
۰/۱۹۷	۷/۸۲	۵/۷۸۳	درجه دوم استدلالی	
۰/۱۹۱	۷/۶۰۱	۵/۶۴۸	کروی	
۰/۲۰۵	۸/۱۴۹	۶/۲۸۵	ثابت	توابع پایه شعاعی
۰/۱۹۲	۷/۶۴۱	۵/۷۰۵	تتراکروی	
۰/۱۹۵	۷/۷۵۴	۵/۸۰۸	نواری کاملاً مرتب شده	
۰/۱۹۷	۷/۸۴	۵/۷۸۳	چند ربعی معکوس	
۰/۱۹	۷/۵۴۲	۵/۶۳۵	چند ربعی	
۰/۱۹۵	۷/۷۶۴	۵/۸۴۲	نواری همراه با کشش	کریجینگ ساده
۰/۱۸۱	۷/۲۱	۵/۷۸۳	نواری کم ضخامت	
۰/۱۹	۷/۵۵۷	۵/۶۱۹	دایره‌ای	
۰/۱۹۴	۷/۷۲۴	۵/۸۱۸	نمایی	
۰/۱۸۴	۷/۳۳	۵/۴۱۱	گوسی	
۰/۱۹۷	۷/۸۲	۵/۷۸۳	درجه دوم استدلالی	کریجینگ ساده
۰/۱۹۱	۷/۶۰۱	۵/۶۴۸	کروی	
۰/۲۰۱	۸/۰۰۵	۶/۰۹۰	ثابت	
۰/۱۹۲	۷/۶۴۱	۵/۷۰۵	تتراکروی	

جدول ۴- نتایج ارزیابی عملکرد روش‌های معین و زمین آمار جهت منطقه‌ای نمودن بارش فصل بهار.

GSD	RMSE (mm)	MAE (mm)	مدل	روش
۰/۱۵	۶/۰۱۴	۴/۵۹۲		فاصله معکوس
۰/۱۶۲	۶/۵۲۲	۴/۸۹۰	ثابت	چندجمله‌ای موضعی
۰/۱۶۳	۶/۵۷۲	۴/۹۳۷	اپانچنیکوف	
۰/۱۵۹	۶/۴۰۷	۴/۸۴۶	نمایی	
۰/۱۶۳	۶/۵۵۹	۴/۹۵۱	گوسی	
۰/۱۶۵	۶/۶۶۶	۵/۰۷۴	چندجمله‌ای درجه پنج	
۰/۱۶۴	۶/۶۲۶	۵/۰۲۷	درجه چهارم	
۰/۱۵۶	۶/۲۷۸	۴/۴۴۰	دایره‌ای	کریجینگ معمولی
۰/۱۵۳	۶/۱۶۴	۴/۴۳۰	نمایی	
۰/۱۵۶	۶/۲۹۶	۴/۴۵۱	گوسی	
۰/۱۵	۶/۰۷۱	۴/۳۶۸	درجه دوم استدلالی	
۰/۱۵۶	۶/۲۷۸	۴/۴۸۷	کروی	
۰/۱۵۷	۶/۳۵	۴/۶۴۰	ثابت	
۰/۱۵۵	۶/۲۴۵	۴/۴۶۷	تتراکروی	
۰/۱۵۶	۶/۲۷۳	۴/۵۰۳	نواری کاملاً مرتب شده	
۰/۱۵۳	۶/۱۷۵	۴/۴۳۳	چند ربعی معکوس	
۰/۱۶۴	۶/۶۲۱	۴/۸۷۵	چند ربعی	توابع پایه شعاعی
۰/۱۵۵	۶/۲۶۲	۴/۴۴۶	نواری همراه با کشش	
۰/۱۸۱	۷/۲۸۹	۵/۶۱۱	نواری کم ضخامت	
۰/۱۵۳	۶/۱۷۵	۴/۴۰۰	دایره‌ای	کریجینگ ساده
۰/۱۵۳	۶/۱۸۴	۴/۴۱۹	نمایی	
۰/۱۵۴	۶/۲۱۵	۴/۵۴۶	گوسی	
۰/۱۵۲	۶/۱۴۸	۴/۴۲۶	درجه دوم استدلالی	
۰/۱۵۳	۶/۱۸۷	۴/۵۷۸	کروی	
۰/۱۵۴	۶/۲۱۴	۴/۵۴۶	ثابت	
۰/۱۵۳	۶/۱۸۵	۴/۵۶۳	تتراکروی	

جدول ۵- نتایج ارزیابی عملکرد روش‌های معین و زمین آمار جهت منطقه‌ای نمودن بارش فصل تابستان.

GSD	RMSE (mm)	MAE (mm)	مدل	روش
۰/۲۵۷	۰/۵۱۲	۰/۴۴۰		فاصله معکوس
۰/۳۱۸	۰/۶۳۴	۰/۵۲۰	ثابت	چندجمله‌ای موضعی
۰/۲۷۵	۰/۵۸۴	۰/۴۳۹	اپانچنیکوف	
۰/۲۵۹	۰/۵۱۶	۰/۴۳۳	نمایی	
۰/۲۶۲	۰/۵۲۱	۰/۴۲۹	گوسی	
۰/۲۵۲	۰/۵۰۱	۰/۴۰۰	چندجمله‌ای درجه پنج	
۰/۲۵۹	۰/۵۱۶	۰/۴۰۹	درجه چهارم	
۰/۲۵۶	۰/۵۱	۰/۴۴۶	دایره‌ای	کریجینگ معمولی
۰/۲۶۲	۰/۵۲۲	۰/۴۴۴	نمایی	
۰/۲۴۱	۰/۴۸	۰/۴۰۱	گوسی	
۰/۲۴۴	۰/۴۸۵	۰/۴۰۶	درجه دوم استدلالی	
۰/۲۵۶	۰/۵۱	۰/۴۴۴	کروی	
۰/۲۴۱	۰/۴۸	۰/۴۰۱	ثابت	
۰/۲۵۶	۰/۵۰۹	۰/۴۴۲	تتراکروی	
۰/۲۳۱	۰/۴۶	۰/۳۷۴	نواری کاملاً مرتب شده	
۰/۲۳۲	۰/۴۶۲	۰/۳۷۴	چند ربعی معکوس	توابع پایه شعاعی
۰/۲۳۸	۰/۴۷۳	۰/۳۸۵	چند ربعی	
۰/۲۴۷	۰/۴۹۱	۰/۴۱۴	نواری همراه با کشش	
۰/۲۵۸	۰/۵۱۳	۰/۴۱۵	نواری کم ضخامت	
۰/۲۶۷	۰/۵۳۲	۰/۴۴۸	دایره‌ای	کریجینگ ساده
۰/۲۷۳	۰/۵۴۳	۰/۴۵۱	نمایی	
۰/۲۴۳	۰/۴۸۴	۰/۴۰۲	گوسی	
۰/۲۶۱	۰/۵۱۹	۰/۴۲۴	درجه دوم استدلالی	
۰/۲۶۲	۰/۵۲۲	۰/۴۵۱	کروی	
۰/۲۴۳	۰/۴۸۴	۰/۴۰۲	ثابت	
۰/۲۶۱	۰/۵۱۹	۰/۴۴۸	تتراکروی	

- روش توابع پایه شعاعی با مدل نواری کم ضخامت برای فصل پائیز، روش فاصله معکوس برای فصل زمستان و بهار و روش توابع پایه شعاعی با مدل نواری کاملاً مرتب شده برای فصل تابستان، روش‌های مناسب منطقه‌ای کردن بارش در استان همدان می‌باشند.

- توزیع مکانی بارش در فصول مختلف سال متفاوت بوده به طوری که می‌توان توزیع بارش در فصل تابستان را کاملاً متفاوت با سایر فصول در نظر گرفت.

نتایج این پژوهش را می‌توان به صورت زیر ارائه نمود:

- با استفاده از روش‌های درونیابی معین و زمین‌آمار می‌توان تحلیل‌های آماری را با توجه به موقعیت و خصوصیات مکانی منطقه انجام داد.

- ارزیابی روش‌های درونیابی در هر منطقه باید در یک دوره زمانی معین صورت گرفته و تعمیم یک روش مناسب در یک منطقه یا دوره زمانی مشخص، برای سایر مناطق و زمان‌های متفاوت امر صحیحی نیست.

پیشنهاد می‌شود برای صحت‌سنجی بیشتر روش‌های معین و زمین آمار نسبت به زمان، به‌جای استفاده از میانگین بارش در ارزیابی این روش‌ها، از داده‌های

سالانه به‌صورت مجزا استفاده و بهترین روش در هر سال مقایسه شود.

منابع مورد استفاده

- Angulo-Martinez M, Lopez-Vicente M, Vicente-Serrano SM and Begueria S, 2009. Mapping rainfall erosivity at a regional scale: a comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NE Spain). *Hydrology and Earth System Sciences* 13: 1907- 1920.
- Carlson RE and Foley TA, 1992. Interpolation of track data with radial basis methods. *Computers & Mathematics with Applications* 24: 27-34.
- Davis JC, 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Wiley and Sons, New York.
- Droge G, Humbert J, Deraisme J, Mahr N and Freslon N, 2002. A statistical topographic model using an omnidirectional parameterization of the relief for mapping orographic rainfall. *International Journal of Climatology* 22(5): 599-613.
- Ghahroudi Tali M, 2005. *Geographic Information System in 3D environment*. Research Training Center of teacher training press, Tehran. (In Persian)
- Golmohamadi G, Maroufi S and Mohamadi K, 2009. Regionalisation of Runoff Coefficient in Hamedan Province Using Geostatistical Methods and GIS. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 12(46): 501-514. (In Persian)
- Issaks EH and Srivastava RM, 1989. *An Introduction to Applied Geoststistics*. Oxford University press, London.
- Karimi H and Fathizade H, 2015. The Survey of Regional Changes in Annual Precipitation Using Geostatistic techniques (Case Study: Ilam Province). *Geography and planing* 19(153): 277-297. (In Persian)
- Kitanidis, PK, 1996. On the geostatistical approach to the inverse problem. *Advances in Water Resources* 19(6): 333-342.
- Ly S, Charle C and Degr A, 2010. Spatial interpolation of daily rainfall at catchment scale: a case study of the Ourthe and Ambleve catchments, Belgium. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 7: 7383-7416.
- Marofi S, Golmohammadi G, Zare Abyaneh H and Mohammadi K, 2009. Evaluation of Geostatistical Methods for Estimating Spatial Distribution of Annual Rainfall Using GIS Media in Hamedan Province, Iran. *Water and Soil Science- University of Tabriz* 19(2): 147-164. (In Persian)
- Mirmousavi S, Mazidi A and Khosravi Y, 2010. Determine the best of geostatistical method for estimating of rainfall distribution using by GIS (A Case Study: Isfahan Province). *Geographic Space* 10(30): 105-120. (In Persian)
- Mirmousavi S and Mirian M, 2012. The Application of Geostatistics Methods in Temporal Precipitation Distribution (Case Study: Kerman Province). *Geography and planing* 16(38): 153-178. (In Persian)
- Moges SA, Alemaw BF, Chaoka TR and Kachroo RK, 2003. Rainfall interpolation using a remote sensing CCD data in a tropical basin – A GIS and geostatistical application. *Physics and Chemistry of the Earth* 32: 976-983.
- Motakan A, Arabi B, Lashgari H and Mirbagheri B, 2013. Estimat the amount of rainfall change by using combining Techniques of artificial neural network and geostatistical in north west of iran. *Journal of remote sensing and GIS* 4(4): 37-54. (In Persian)
- Safarrad T, farajisabokbar H, Azizi G and abaspoor R, 2012. Spatial Analysis of Precipitation Variations in Middle Zagros Using Geo-Statistical Methods (1995-2004). *Geography and development Iranian journal* 11(31): 49-64. (In Persian)
- Saghafian B, Razmkhah H and Ghermez Cheshme B, 2010. Investigation of regional variations of annual rainfall Using Geostatistical Methods (A Case Study: Fars Province). *Journal management system* 4(9): 29-38. (In Persian)
- Syed KH, Goodrich DC, Myer DE and Sorooshian S, 2003. Spatial characteristics of thunderstorm rainfall fields and their relation to runoff. *Journal of Hydrology* 271:1-21.
- Tsakiris G and Vangelis H, 2004. Towards a drought watch system based on spatial SPI. *Water Resources Management* 18(1): 1-12.

- Zabihi A, Solaimani K, Shabani M and Abravsh S, 2012. An Investigation of Annual Rainfall Spatial Distribution Using Geostatistical Methods (A Case Study: Qom Province). *Physical geographic research quarterly* 43(78): 102-112. (In Persian)
- Zamani R, Akhondali A, Soleimani K, Ansari F and Allahbakhshian P, 2012. Application of Geostatistics in Zone Classification of Drought Severities (Case Study: Fars Province). *Journal of Watershed Management Research* 3(6): 15-29. (In Persian)