

Research Paper

## Evaluation and Comparison of Interpolation and Linear Regression Methods to Determine the Spatial Distribution of Precipitation in Chaharmahal and Bakhtiari Province, Iran

Farzaneh Fotouhi Firoozabad<sup>1\*</sup> and Hamideh Afkhami Ardakani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assist. Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

<sup>2</sup>PhD Alumni, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources and Desert, Yazd University, Yazd, Iran

### Article information

**Received:** June 21, 2021

**Revised:** September 19, 2021

**Accepted:** September 19, 2021

### Keywords:

Cross Validation

Geographic Information System

Kriging

Digital Elevation Model

Inverse Distance Weighting

\*Corresponding author:

[f.fotouhi@ardakan.ac.ir](mailto:f.fotouhi@ardakan.ac.ir)



### Abstract

In the present study, simple and ordinary kriging methods, inverse distance and linear regression based on digital elevation model of the earth were evaluated for estimating annual rainfall using twenty-year statistics of precipitation data (1998-2018) in 33 rainfall stations in Chaharmahal and Bakhtiari province. For this purpose, first in ArcMAP, for each model in Kriging method, its variogram was calculated and using two-way evaluation technique, the error of the maps was estimated. The best method among geostatistical methods was conventional kriging method with Gaussian model. MAE, MBE and RMSE statistical indices for this method were 74.44, 0.48 and 93.72, respectively. Then, rainfall and altitude data of the stations were used using a linear regression model in Curve Expert environment. Finally, in order to determine the best model for spatial distribution of precipitation as well as comparing statistical and geostatistical methods, linear regression and ordinary kriging models were compared with each other and the MAE, MBE and RMSE statistical indices for regression method obtained were 115, 3 and 155, respectively. As a result, due to the accuracy, precision and error rate of the prepared maps, the most suitable method for interpolation of annual precipitation is the conventional kriging method with Gaussian model.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open access article distributed under the CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.



## Introduction

The spatial distribution of precipitation is one of the most important input parameters for calculating water balance and preparing hydrological models. Due to the lack of distribution and complete coverage of point precipitation measuring stations, estimating point precipitation or estimating precipitation in the areas between stations is necessary. Chaharmahal and Bakhtiari province is considered as one of the agricultural hubs of the country by placing vast and fertile plains. Therefore, it seems necessary to be aware of the distribution of climatic elements such as precipitation in all areas of the province, which is important for agriculture and animal husbandry. Gauging stations of climatic variables, including precipitation in the province, do not have good coverage and, unfortunately, no proper research has been conducted in this regard for Chaharmahal and Bakhtiari province. The results of this study can be a guide to choose the appropriate method for investigating the spatial distribution of annual precipitation in the study area as well as in other regions of the country. Therefore, the present study evaluates the performance of simple, ordinary kriging and linear regression methods based on digital elevation model and it selects the appropriate and optimal method for precipitation zoning of

Chaharmahal and Bakhtiari province annually, using cross-validation method and several validation indicators.

## Material and Methods

In the present study, simple and ordinary kriging methods, inverse distance Weighting, and linear regression based on digital elevation model were evaluated using twenty-years statistics of precipitation data (1998-2018) in 33 rain gauge stations Chaharmahal and Bakhtiari province for estimating annual precipitation. In ArcMAP, the variogram was calculated for each model in the kriging method and using the cross-validation technique, the error of the maps was estimated.

## Results

The results showed that the variograms of annual precipitation are consistent with the Gaussian model. Maps of estimating average precipitation using inverse distance techniques, simple and ordinary kriging show almost the same zoning in Chaharmahal and Bakhtiari province but it differs in accuracy and precision. The high precipitation areas of the province are related to the heights of the western regions and the low precipitation areas of the province is the northeastern regions. Table 1 tabulates Variogram parameters of interpolation methods based on Gaussian model.

Table 1 Variogram parameters of interpolation methods based on Gaussian model

Interpolation Methods	Range							Class of Spatial dependence
	Nugget (mm) (CO)	Sill (mm) (CO+C)	Partial sill (C)(mm)	Major	Minor	Lag Size(m)	% Spatial dependence	
Ordinary Kriging	5353	27353	22000	83392	48217	12473	19.6	Strong
Simple Kriging	7187	37994	30807	81407	74093	10696	18.9	Strong

Comparison of MAE values of ordinary, simple and inverse distance kriging estimators shows that the lowest MAE value is related to ordinary kriging and the highest is related to distance inverse. In terms of this parameter, there is not much difference between different kriging estimators. According to the statistical indices of MAE, MBE, and RMSE, which were 74.44, 0.48, and 93.72, respectively, the best method among the geostatistical methods was the ordinary kriging method with the Gaussian model (Table 2).

Precipitation and altitude data of the stations were then called in the Curve Expert environment using a linear regression model

(Fig. 1). Finally, to determine the best model for the spatial distribution of precipitation and also to compare statistical and geostatistical methods, linear regression and ordinary kriging models were compared using cross-validation techniques and MAE, MBE and RMSE statistical indices for linear regression were 115, 3, and 155, respectively.

Table 2 Assessing the accuracy of precipitation interpolation methods

Statistical Indicators/ Method	MAE	MBE	RSME
Ordinary Kriging	74.44	-0.48	93.72
Simple Kriging	75.64	-3.16	93.76
Inverse Distance Weighting	80.61	-5.8	107

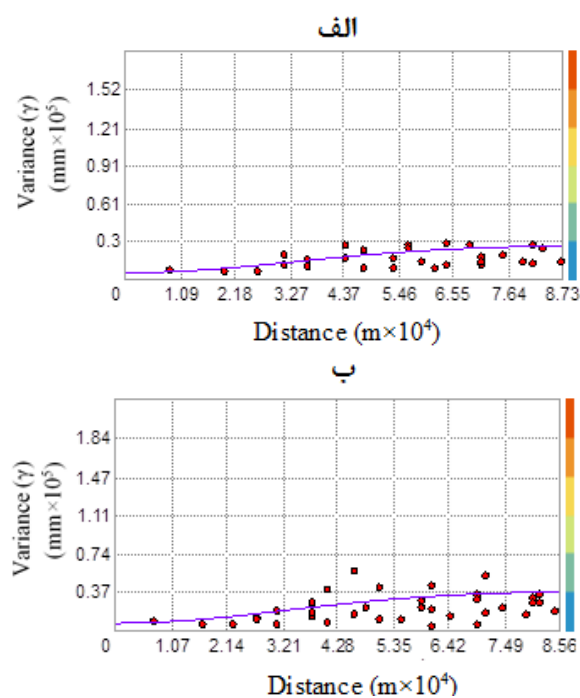


Fig. 1 Omnivariogram of interpolation methods of kriging: a) ordinary and b) simple

## Conclusion

The values of MAE, MBE and RMSE for ordinary kriging method are less than linear regression method, which indicates the accuracy of this method to study the spatial variations of annual precipitation in Chaharmahal and Bakhtiari province. As a result, according to the accuracy, precision, and error rate of the prepared maps, the most suitable method for interpolation of annual precipitation is the ordinary kriging method with the Gaussian model.

## Data Availability

The data can be sent by email by the responsible author upon request.

## Conflicts of Interest

The authors of this article declare no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir



مقاله پژوهشی

## ارزیابی و مقایسه روش‌های درون‌یابی و رگرسیون خطی جهت تعیین توزیع مکانی بارش در استان چهارمحال و بختیاری

فرزانه فتوحی فیروزآباد<sup>۱\*</sup> و حمیده افخمی اردکانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران  
<sup>۲</sup>آ دانش آموخته دکترا، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۳/۳۱]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۶/۲۸]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۶/۲۸]

### واژه‌های کلیدی:

ارزیابی دوجانبه

سیستم اطلاعات جغرافیایی

کریجینگ

مدل ارتفاعی رقومی

معکوس فاصله

\*نویسنده مسئول:

[f.fotouhi@ardakan.ac.ir](mailto:f.fotouhi@ardakan.ac.ir)

در پژوهش حاضر، روش‌های کریجینگ ساده و معمولی، معکوس فاصله و رگرسیون خطی بر پایه مدل ارتفاعی رقومی زمین، جهت برآورد بارش سالانه با استفاده از آمار بیست ساله داده‌های بارش (۲۰۱۸-۱۹۹۸) در ۳۳ ایستگاه باران‌سنجی استان چهارمحال و بختیاری مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، ابتدا در ArcMAP به ازای هر مدل در روش کریجینگ، واریوگرام آن محاسبه و با استفاده از فن ارزیابی دوجانبه، خطای نقشه‌ها برآورد شد. بهترین روش از میان روش‌های زمین‌آماری، روش کریجینگ معمولی با مدل گوسی بود؛ شاخص‌های آماری MAE، MBE و RMSE برای این روش به ترتیب ۰/۷۴، ۰/۴۸ و ۹۳/۷۲ به دست آمد. سپس داده‌های بارش و ارتفاع ایستگاه‌های موردنظر با استفاده از مدل رگرسیون خطی در محیط Curve Expert فراخوانی گردید. در نهایت به منظور تعیین بهترین مدل برای توزیع مکانی بارش و همچنین مقایسه روش‌های آماری و زمین‌آماری، مدل‌های رگرسیون خطی و کریجینگ معمولی با فن ارزیابی متقابل با یکدیگر مقایسه شدند و شاخص‌های آماری MAE، MBE و RMSE برای روش رگرسیون خطی به ترتیب ۱۱۵، ۳ و ۱۵۵ به دست آمد. در نتیجه با توجه به دقت، صحت و میزان خطای نقشه‌های تهیه‌شده مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی بارش سالانه روش کریجینگ معمولی با مدل گوسی می‌باشد.

### ۱- مقدمه

تخمین و برآورد متغیر پیوسته را در مناطق نمونه‌گیری نشده در داخل ناحیه‌ای که مشاهدات نقطه‌ای پراکنده شده‌اند، درون‌یابی می‌گویند (Ghahroodi Tali 2005). فن‌های درون‌یابی زمین آماری کمیت همبستگی مکانی نقاط نمونه برداری شده را مدنظر قرار داده و تخمین را بر اساس موقعیت قرارگیری مکان نمونه‌های اندازه‌گیری نشده انجام می‌دهد

تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی در سطح یک منطقه و چگونگی توزیع فضایی و مکانی آن، امری ضروری برای توزیع مکانی بارش می‌باشد. روش‌های مختلفی برای برآورد و تخمین متغیرهایی از این دست وجود دارد که به عنوان نمونه می‌توان به روش‌های کلاسیک، نظیر تیسن، میانگین حسابی و زمان-مساحت اشاره کرد (Kumari et al. 2017). روش

منطقه‌ای بارش سالانه با کاربرد روش‌های زمین آمار در استان فارس نشان می‌دهد که برازش مدل گوسی کریجینگ و کوکریجینگ بر سهمی واریوگرام داده‌های بارش سالانه با دامنه‌ی تأثیر ۲۰۰ km، بهترین الگو برای درون‌یابی میانگین بارش سالانه در منطقه مطالعاتی است (Saghafian et al. 2011). نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های زمین آمار و رگرسیون خطی در تعیین توزیع مکانی بارش در استان بوشهر نشان می‌دهد که مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی بارش سالانه در این استان، روش رگرسیون با تابع چند جمله‌ای درجه چهارم می‌باشد (Hamidiyanpour et al. 2013). نتایج حاصل از بررسی توزیع مکانی بارندگی متوسط سالیانه استان اصفهان با روش‌های میان‌یابی قطعی و زمین‌آمار نشان می‌دهد که روش میان‌یابی زمین‌آمار دقت بالاتری از سایر روش‌ها دارد. از این بین روش کوکریجینگ با مدل نمایی و متغیر کمکی ارتفاع ایستگاه بیش‌ترین دقت را داراست (Shirazi and Eslami 2018). نتایج حاصل از بررسی توزیع مکانی بارش سالانه در استان اصفهان با استفاده از روش‌های میان‌یابی کریجینگ و رگرسیون خطی بر پایه مدل ارتفاعی رقومی نشان می‌دهد که روش رگرسیون خطی کسینوسی در مقایسه با دیگر روش‌ها از نظر دقت و انحراف، نتایج بهتری را برای میان‌یابی بارش در استان اصفهان نشان می‌دهد (Mehrshahi and Khosravi 2010). با بهره‌گیری از روش رگرسیون چند متغیره و زمین آمار تغییرات مکانی بارش در دامنه‌های غربی زاگرس مرکزی برآورد گردید. بررسی نتایج حاصل از ارزیابی معیارهای خطا نشان می‌دهد که کریجینگ عام با کم‌ترین میزان خطا نسبت به بقیه روش‌های زمین آمار و مدل رگرسیونی، به‌عنوان بهترین روش مدل‌سازی می‌باشد (Sari Sarraf and Azarm 2017). به‌منظور برآورد میانگین بارش‌های فصلی و سالانه در استان کرمانشاه، از روش‌های تک متغیره قطعی و زمین آمار و چند متغیره زمین آمار و رگرسیون خطی استفاده شده است. نتایج حاصل از فن ارزیابی متقابل نشان می‌دهد که روش‌های قطعی در تمام موارد، خطای بیش‌تری نسبت به روش‌های زمین‌آمار داشته است (Mojarrad and Kakaee 2015).

نتایج حاصل از بررسی تغییرات مکانی و میان‌یابی بارندگی ماهانه و سالانه در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره زمین‌آمار (کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده، کریجینگ با روند بیرونی،

(Mohammadi 2007). به‌منظور پایش خشکسالی و تحلیل مکانی آن، با استفاده از روش عکس مجذور فاصله، نقشه بارندگی ماهانه و نقشه درصد نرمال متوسط بارندگی سالانه ترسیم شده است (Reinstorf et al. 2005). در برخی از مطالعات نشان داده‌اند که معمولاً کارایی کریجینگ بهتر از وزن‌دهی فاصله معکوس (IDW)<sup>۱</sup> می‌باشد (Hu et al. 2004; Tsakiris and Vangelis 2017). نتایج پژوهشی در منطقه کوهستانی هیمالیا در هند نشان می‌دهد که همبستگی بین داده‌های بارش و ارتفاع وجود دارد و رابطه قوی بین رگرسیون خطی برای درون‌یابی بارش را بر اساس داده‌های کلیماتولوژی اثبات نموده‌اند (Kumari et al. 2016). با مقایسه روش‌های زمین آمار در برآورد توزیع مکانی بارش سالانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب-شرقی ایران روش اسپلاین (TPSS)<sup>۲</sup> با متغیر کمکی ارتفاع با میانگین خطای مطلق (MAE)<sup>۳</sup> برابر ۱۳-۳۸ mm مناسب‌ترین روش تخمین بارندگی سالانه می‌باشد. روش کریجینگ با MAE برابر ۲۹-۵۰ mm و روش اندیکاتور میانگین متحرک (WMA)<sup>۴</sup> با توان دو با MAE برابر ۵۷-۲۶ در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند (Mahdavi et al. 2004). اطلاعات بارندگی حوزه آبخیز مارون با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک و زمین آمار پهنه‌بندی شد و نتایج با برآورد صورت گرفته با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی مقایسه شدند. مقایسه نتایج حاصل از روش‌های مذکور بیانگر برتری روش‌های زمین آمار و تخمینگرهای کریجینگ و کوکریجینگ می‌باشد (Misaghi and Mohammadi 2006).

برای برآورد توزیع مکانی بارندگی سالیانه در کشور ایران روش‌های فازی کریجینگ، کریجینگ معمولی و کوکریجینگ مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که روش فازی کریجینگ در هر دو حالت و در برون‌یابی داده‌ها بهتر از سایر روش‌ها عمل می‌کند (Rahimi Bondarabadi and Sagafian 2007). برای تهیه نقشه‌ی هم‌باران کشور از روش کریجینگ با ۱۱ مدل زمین‌آمار با سه فرض نبود روند در داده‌ها، وجود روند خطی و روند درجه‌ی دو بررسی می‌شود و کریجینگ خطی به‌عنوان روش بهینه انتخاب می‌گردد (Asakereh 2009). نتایج حاصل از بررسی تغییرات

<sup>1</sup>Inverse Distance Weighting

<sup>2</sup>Thin Plate Smoothing Splines

<sup>3</sup>Mean Absolute Error

<sup>4</sup>Weighted Moving Average

از این‌رو پژوهش حاضر، با استفاده از روش اعتبارسنجی متقاطع و چند شاخص معتبر اعتبارسنجی، به ارزیابی عملکرد روش‌های درون‌یابی کریجینگ ساده، معمولی و رگرسیون خطی بر پایه مدل ارتفاعی رقومی و انتخاب روش مناسب و بهینه برای پهنه‌بندی بارش سالانه استان چهارمحال و بختیاری می‌پردازد.

### روش‌های مختلف اعتبارسنجی متقاطع

منطقه مورد مطالعه پهنه جغرافیایی استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. استان چهارمحال و بختیاری با مساحتی بالغ بر  $16000 \text{ Km}^2$  یک صدم مساحت کشور را شامل می‌گردد و در حدود ۱۰٪ از کل آب کشور را تأمین می‌کند. استان چهارمحال و بختیاری در امتداد سلسله کوه‌های زاگرس واقع شده است و از نظر موقعیت جغرافیایی در حد فاصل بین عرض‌های  $31^{\circ} 49'$  الی  $32^{\circ} 148'$  شمالی و طول  $49^{\circ} 30'$  الی  $51^{\circ} 26'$  شرقی واقع شده است. استان چهارمحال و بختیاری به دلیل دارا بودن ویژگی‌های خاص جغرافیایی و توپوگرافی از لحاظ آب و هوایی متنوع بوده و اقلیم‌های متفاوتی در آن وجود دارد. پرباران‌ترین بخش استان ارتفاعات نواحی غربی با متوسط بارش سالانه  $1600 \text{ mm}$  و کم بارش‌ترین ناحیه استان نواحی شمال شرقی با متوسط بارش سالانه  $250 \text{ mm}$  است. متوسط بارش سالانه استان در حدود  $560 \text{ mm}$  می‌باشد. به دلیل کوهستانی بودن استان و با توجه به این که دمای هوا تابعی از ارتفاع هر منطقه است، اقلیم‌های حرارتی متفاوتی در استان حکم فرما است. میانگین دمای سالانه هوا در استان  $13/5^{\circ} \text{C}$  در مناطق شمال غرب تا  $18/5^{\circ} \text{C}$  در نقاط پست جنوبی متغیر است. برای انجام پژوهش حاضر از دوره آماری مشترک بیست ساله از ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ داده‌های متوسط بارش سالانه ۳۳ ایستگاه استفاده شد (شکل ۱). پس از تعیین ایستگاه‌ها، جهت بازسازی آمار ایستگاه‌ها از روش بیشترین همبستگی خطی با ایستگاه‌های مجاور استفاده شد. بدین صورت که خلأ آماری هر یک از ایستگاه‌ها به کمک نزدیکترین ایستگاهی که با آن همبستگی خطی معنی‌داری داشته باشد، تکمیل شد. در نهایت آزمون همگنی داده‌ها به روش ران تست و آزمون دنباله‌ها برای اطمینان از کیفیت داده‌ها و همچنین همگن بودن سری داده‌های ثبت شده انجام شد (Mahdavi, 2011).

کریجینگ جهانی و روش‌های قطعی (IDW, LPI, GPI<sup>۱</sup> و RBF)<sup>۲</sup> و رگرسیون خطی نشان می‌دهد که روش قطعی RBF و روش‌های زمین‌آماری در بیش‌تر دوره‌ها نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت دارد (Podineh et al. 2016). نتایج حاصل از مقایسه روش‌های درون‌یابی مختلف جهت بررسی توزیع مکانی بارش ماهانه در ایالت پرنامبوکو برزیل نشان داد که از میان ۲۶ روش مورد بررسی، روش‌های آنالیز روند سطح، IDW و کریجینگ بهترین و مناسب‌ترین روش شناسایی شدند. برای ارزیابی عملکرد روش‌های قطعی و زمین‌آماری از شاخص‌های خطا و روش اعتبارسنجی متقاطع استفاده شد (Silva et al. 2019). مقایسه روش‌های درون‌یابی برای پیش‌بینی الگوهای بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف می‌تواند باعث افزایش دقت در شبیه‌سازی‌های دبی در مدل‌های هیدرولوژی شود (Liu et al. 2020). به‌منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی بارش سالیانه در سوریه از روش‌های درون‌یابی مکانی و مدل‌های رگرسیون چند متغیره استفاده شد. با استفاده از روش‌های آماری، تأثیر فاکتورهای اقلیمی از جمله طول، عرض، ارتفاع، شیب و جهات جغرافیایی بر روی بارش مورد بررسی قرار گرفت و سپس با استفاده از روش‌های IDW و کریجینگ نقشه‌های پهنه‌بندی به دست آمد. در نهایت روش کریجینگ مناسب‌ترین روش شناخته شد (Alsafadi et al. 2021). از روش کریجینگ و رگرسیون خطی برای ادغام اطلاعات راداری و داده‌های ایستگاه بارانسنجی برای برآورد زمانی و مکانی بارش استفاده کردند (Zhang et al. 2021).

استان چهارمحال و بختیاری با جای دادن دشت‌های وسیع و حاصلخیز به‌عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی کشور به شمار می‌رود. لذا آگاهی از نحوه توزیع عناصر اقلیمی از قبیل بارش که برای کشاورزی و دامپروری حائز اهمیت است، در تمام مناطق استان، ضروری به نظر می‌رسد. ایستگاه‌های اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی از جمله بارش در سطح استان از پوشش خوبی برخوردار نبوده و متأسفانه، پژوهشی نیز در این راستا برای استان چهارمحال و بختیاری صورت نگرفته است. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند راهنمایی برای انتخاب روش مناسب جهت بررسی توزیع مکانی بارش سالیانه در منطقه مطالعاتی و همچنین در سایر مناطق کشور نیز باشد.

<sup>1</sup>Local Polynomial Interpolation

<sup>2</sup>Global Polynomial Interpolation

<sup>3</sup>Radial Basis Function

از این رو پژوهش حاضر، با استفاده از روش اعتبارسنجی متقاطع و چند شاخص معتبر اعتبارسنجی، به ارزیابی عملکرد روش‌های درون‌یابی کریجینگ ساده، معمولی و رگرسیون خطی بر پایه مدل ارتفاعی رقومی و انتخاب روش مناسب و بهینه برای پهنه‌بندی بارش سالانه استان چهارمحال و بختیاری می‌پردازد.

## ۲- مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه پهنه جغرافیایی استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. استان چهارمحال و بختیاری با مساحتی بالغ بر  $16000 \text{ Km}^2$  یک صدم مساحت کشور را شامل می‌گردد و در حدود ۱۰٪ از کل آب کشور را تأمین می‌کند. استان چهارمحال و بختیاری در امتداد سلسله کوه‌های زاگرس واقع شده است و از نظر موقعیت جغرافیایی در حد فاصل بین عرض‌های  $31^{\circ} 49'$  الی  $32^{\circ} 48'$  شمالی و طول  $50^{\circ} 30'$  الی  $51^{\circ} 26'$  شرقی واقع شده است. استان چهارمحال و بختیاری به دلیل دارا بودن ویژگی‌های خاص جغرافیایی و توپوگرافی از لحاظ آب و هوایی متنوع بوده و اقلیم‌های متفاوتی در آن وجود دارد. پرباران‌ترین بخش استان ارتفاعات نواحی غربی با متوسط بارش سالانه  $1600 \text{ mm}$  و کم بارش‌ترین ناحیه استان نواحی شمال شرقی با متوسط بارش سالانه  $250 \text{ mm}$  است. متوسط بارش سالانه استان در حدود  $560 \text{ mm}$  می‌باشد. به دلیل کوهستانی بودن استان و با توجه به این که دمای هوا تابعی از ارتفاع هر منطقه است، اقلیم‌های حرارتی متفاوتی در استان حکم فرما است. میانگین دمای سالانه هوا در استان  $13/5^{\circ} \text{C}$  در مناطق شمال غرب تا  $18/5^{\circ} \text{C}$  در نقاط پست جنوبی متغیر است. برای انجام پژوهش حاضر از دوره آماری مشترک بیست ساله از ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ داده‌های متوسط بارش سالانه ۳۳ ایستگاه استفاده شد (شکل ۱). پس از تعیین ایستگاه‌ها، جهت بازسازی آمار ایستگاه‌ها از روش بیشترین همبستگی خطی با ایستگاه‌های مجاور استفاده شد. بدین صورت که خلأ آماری هر یک از ایستگاه‌ها به کمک نزدیکترین ایستگاهی که با آن همبستگی خطی معنی‌داری داشته باشد، تکمیل شد. در نهایت آزمون همگنی داده‌ها به روش ران تست و آزمون دنباله‌ها برای اطمینان از کیفیت داده‌ها و همچنین همگن بودن سری داده‌های ثبت شده انجام شد (Mahdavi, 2011).

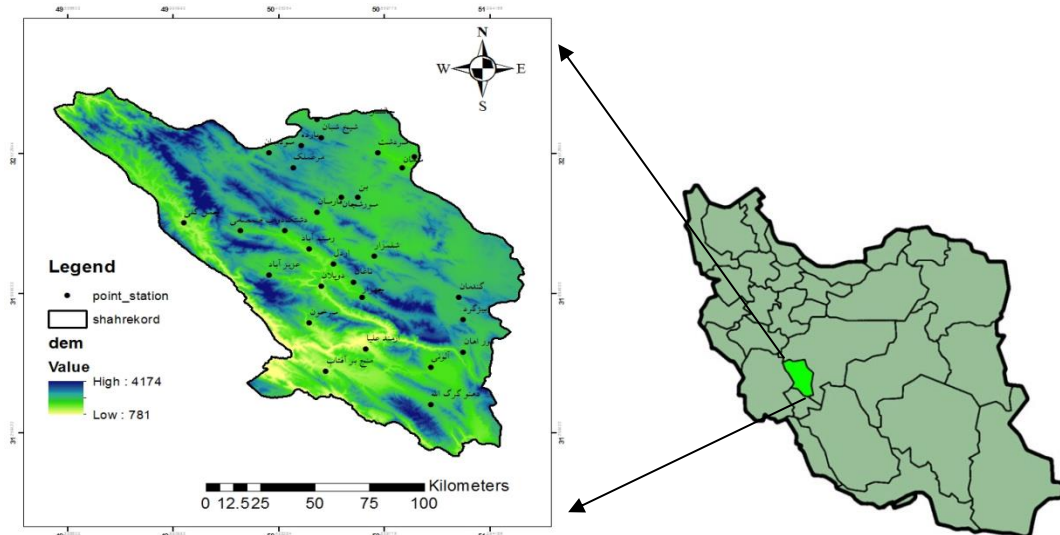
کریجینگ جهانی و روش‌های قطعی (IDW, LPI, GPI<sup>۱</sup> و RBF)<sup>۲</sup> و رگرسیون خطی نشان می‌دهد که روش قطعی RBF و روش‌های زمین‌آماری در بیش‌تر دوره‌ها نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت دارد (Podineh et al. 2016). نتایج حاصل از مقایسه روش‌های درون‌یابی مختلف جهت بررسی توزیع مکانی بارش ماهانه در ایالت پرنامبوکو برزیل نشان داد که از میان ۲۶ روش مورد بررسی، روش‌های آنالیز روند سطح، IDW و کریجینگ بهترین و مناسب‌ترین روش شناسایی شدند. برای ارزیابی عملکرد روش‌های قطعی و زمین‌آماری از شاخص‌های خطا و روش اعتبارسنجی متقاطع استفاده شد (Silva et al. 2019). مقایسه روش‌های درون‌یابی برای پیش‌بینی الگوهای بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف می‌تواند باعث افزایش دقت در شبیه‌سازی‌های دبی در مدل‌های هیدرولوژی شود (Liu et al. 2020). به‌منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی بارش سالیانه در سوریه از روش‌های درون‌یابی مکانی و مدل‌های رگرسیون چند متغیره استفاده شد. با استفاده از روش‌های آماری، تأثیر فاکتورهای اقلیمی از جمله طول، عرض، ارتفاع، شیب و جهات جغرافیایی بر روی بارش مورد بررسی قرار گرفت و سپس با استفاده از روش‌های IDW و کریجینگ نقشه‌های پهنه‌بندی به دست آمد. در نهایت روش کریجینگ مناسب‌ترین روش شناخته شد (Alsafadi et al. 2021). از روش کریجینگ و رگرسیون خطی برای ادغام اطلاعات راداری و داده‌های ایستگاه بارانسنجی برای برآورد زمانی و مکانی بارش استفاده کردند (Zhang et al. 2021).

استان چهارمحال و بختیاری با جای دادن دشت‌های وسیع و حاصلخیز به‌عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی کشور به شمار می‌رود. لذا آگاهی از نحوه توزیع عناصر اقلیمی از قبیل بارش که برای کشاورزی و دامپروری حائز اهمیت است، در تمام مناطق استان، ضروری به نظر می‌رسد. ایستگاه‌های اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی از جمله بارش در سطح استان از پوشش خوبی برخوردار نبوده و متأسفانه، پژوهشی نیز در این راستا برای استان چهارمحال و بختیاری صورت نگرفته است. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند راهنمایی برای انتخاب روش مناسب جهت بررسی توزیع مکانی بارش سالیانه در منطقه مطالعاتی و همچنین در سایر مناطق کشور نیز باشد.

<sup>1</sup>Local Polynomial Interpolation

<sup>2</sup>Global Polynomial Interpolation

<sup>3</sup>Radial Basis Function



شکل ۱- موقعیت و نحوه پراکنش ایستگاه‌های بارانسنجی مورد مطالعه

Fig. 1 Location and distribution of rain gauge stations

## ۱-۲- روش‌های درون‌یابی

روش‌های مختلفی برای برآورد متغیرهای با تغییرات زمانی و مکانی وجود دارد. تفاوت عمده‌ی این روش‌ها مربوط به نحوه محاسبه وزنی است که به نقاط مشاهده شده‌ی اطراف نقطه‌ی مجهول داده می‌شود. روش‌های درون‌یابی معکوس فاصله (Kumari et al., 2003)، کریجینگ ساده (Kravchenko 2003) و کریجینگ معمولی (Kravchenko 2003) در پژوهش حاضر استفاده شده است.

## ۲-۲- رگرسیون خطی

تحلیل رگرسیون این امکان را فراهم آورد تا تغییرات متغیر وابسته را از طریق متغیرهای مستقل پیش‌بینی و سهم هر یک از متغیرهای مستقل را در تبیین متغیر وابسته تعیین کرد (Kalantari 2007). جهت انجام درون‌یابی، معادلات رگرسیونی مختلفی وجود داشت که با توجه به مقدار همبستگی متغیر اصلی و ثانویه انتخاب شد. بدین منظور با استفاده از مدل رگرسیون خطی ابتدا داده‌های بارش و ارتفاع ایستگاه‌های مورد بررسی در محیط نرم‌افزارهای آماری فراخوانی شد و سپس داده‌های موردنظر با تابع رگرسیونی خطی برازش داده شد.

جهت تهیه نقشه هم‌بارش بر پایه‌ی مدل ارتفاع رقومی ابتدا به کمک سطوح ارتفاعی محدوده مطالعاتی، مدل رقومی ارتفاعی زمین تهیه شد. سپس با استفاده از آنالیز مکانی و قرار دادن مدل رقومی ارتفاعی در تابع رگرسیونی برتر، نقشه هم‌باران منطقه ترسیم شد.

## ۳-۲- روش و معیار ارزیابی

به‌منظور بررسی و مطالعه تغییرات مکانی بارش سالیانه، ابتدا واریوگرام‌های تجربی به طور مجزا برای هر سه روش کریجینگ ساده، معمولی و جهانی و در جهات مختلف جغرافیایی ترسیم و مورد بررسی قرار گرفت. ناهمسانگردی با محاسبه و ترسیم واریوگرام‌های تجربی همه جهته و در جهات مختلف تعیین گردید. برای بررسی دقت روش‌های درون‌یابی و انتخاب بهترین روش درون‌یابی، روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از مهم‌ترین این روش‌ها فن ارزیابی دوجانبه می‌باشد. این فن براین اساس استفاده شد که در هر مرحله اول یک نقطه مشاهده‌ای حذف شد و با استفاده از بقیه نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد گردید. این کار برای کلیه نقاط مشاهده‌ای تکرار شد، به طوری که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، نقاط برآوردی تولید گردید. معیارهای میانگین خطای انحراف (MBE)<sup>۱</sup> (رابطه ۵)، میانگین مطلق خطا (رابطه ۴) و ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE)<sup>۲</sup> (رابطه ۶) برای ارزیابی کارایی روش‌های مختلف استفاده شد.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z^*(x_i) - z(x_i)| \quad (4)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z^*(x_i) - z(x_i)) \quad (5)$$

$$RMSE = \left[ \frac{\sum (z^*(x_i) - z(x_i))^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

<sup>1</sup>Mean Bias Error

<sup>2</sup>Root Mean Square Error

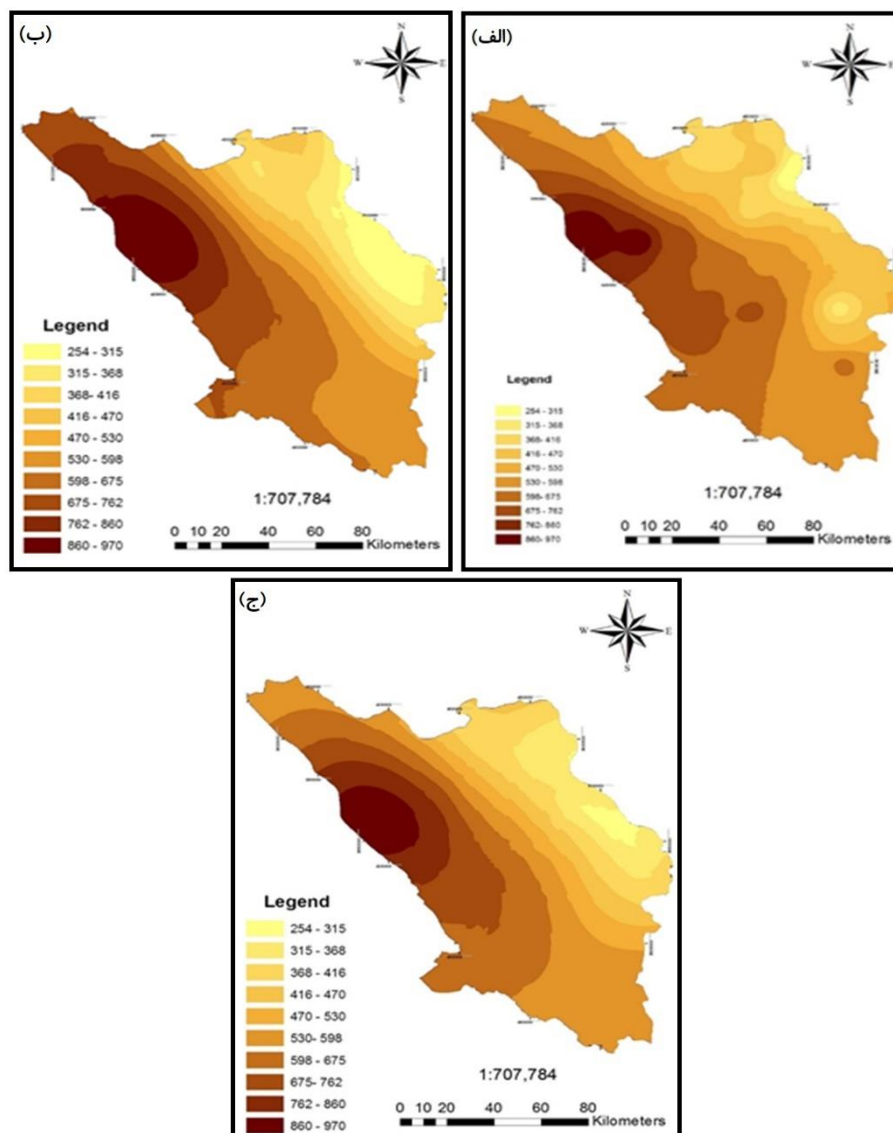


فقط برای همان منطقه مورد اعتماد هستند. اما چنانچه یک مدل خاص برای چندین محل مناسب تشخیص داده شد، می‌توان نتیجه گرفت که آن مدل می‌تواند با اطمینان زیادی برای شرایط مشابه دیگر نیز مورد استفاده واقع شود. نتایج نشان داد که واریوگرام‌های بارش سالانه با مدل گوسی سازگاری دارد. نقشه‌های پهنه‌بندی بارش سالیانه با تکنیک‌های مختلف زمین‌آماري شامل کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و معکوس فاصله با توان دو ترسیم گردید (شکل ۲).

که،  $Z(x_i)$ : مقدار برآورد شده متغیر مورد نظر بر حسب mm و  $n$  تعداد داده‌ها می‌باشد. به‌منظور بررسی تغییرات مکانی و تهیه نقشه پهنه‌بندی بارش از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده گردید.

### ۳- یافته‌ها و بحث

برای ایجاد و توسعه مدل‌هایی که در مقیاس وسیع اقدام به پیش‌بینی یک مشخصه یا فرآیند اکولوژیکی می‌نماید، تعیین مقادیر عددی بسیاری از شاخص‌ها در نقاط فاقد ایستگاه، حائز اهمیت می‌باشد. لازم به ذکر است که مدل‌های انتخابی،



شکل ۲- نقشه تخمین سطح میانگین بارندگی (mm) استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از تکنیک‌های: الف- معکوس فاصله، ب- کریجینگ معمولی و ج- کریجینگ ساده

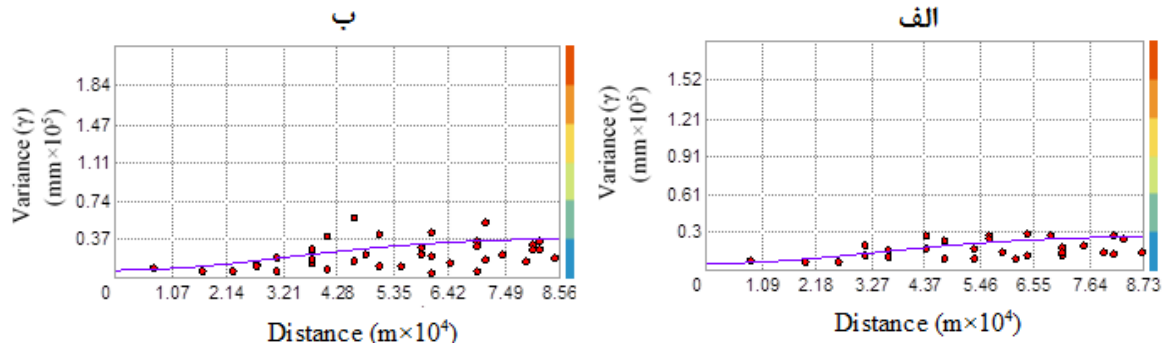
Fig. 2 Map of estimating the average rainfall level (mm) of Chaharmahal and Bakhtiari province using the techniques: a) IDW, b) ordinary kriging and c) simple kriging

معمولی و کریجینگ ساده پهنه‌بندی تقریباً مشابهی را نشان می‌دهند (شکل ۲) ولی از نظر دقت و صحت باهم متفاوت

نقشه‌های تخمین سطح میانگین بارندگی استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از تکنیک‌های معکوس فاصله، کریجینگ

(۱) ارائه شده است. نتایج رسم نیم تغییرنا و انتخاب مدل مناسب بر آن نشان داد که در روش‌های کریجینگ معمولی (شکل ۳ ب) و ساده (شکل ۳ الف) مدل گوسی دارای بهترین برازش است.

می‌باشند. بخش‌های پرباران استان مربوط به ارتفاعات نواحی غربی و کم بارش‌ترین ناحیه استان نواحی شمال شرقی می‌باشد. تغییرنماهای همه جهته روش‌های درون‌یابی کریجینگ معمولی و ساده در شکل (۳) نشان داده شده است. نتایج مربوط به واریوگرام‌ها و تحلیل آن‌ها در شکل (۳) و جدول



شکل ۳- تغییرنماهای همه‌جهته روش‌های درون‌یابی کریجینگ: الف- معمولی و ب- ساده

Fig. 3 Omnivariogram of interpolation methods of kriging: a) ordinary and b) simple

جدول ۱- پارامترهای تغییرنمای روش‌های درون‌یابی به‌کار رفته شده براساس مدل گوسن

Table 1 Variogram parameters of interpolation methods based on Gaussian model

Interpolation Methods	Range					Lag Size(m)	% Spatial dependence	Class of Spatial dependence
	Nugget (mm) (CO)	Sill (mm) (CO+C)	Partial sill (C)(mm)	Major	Minor			
Ordinary Kriging	5353	27353	22000	83392	48217	12473	19.6	Strong
Simple Kriging	7187	37994	30807	81407	74093	10696	18.9	Strong

ندارد (جدول ۱). همچنین تغییرنماهای برازش داده شده در این مطالعه کلاس وابستگی مکانی قوی را برای متغیر بارش در همه‌ی روش‌های درون‌یابی نشان داد.

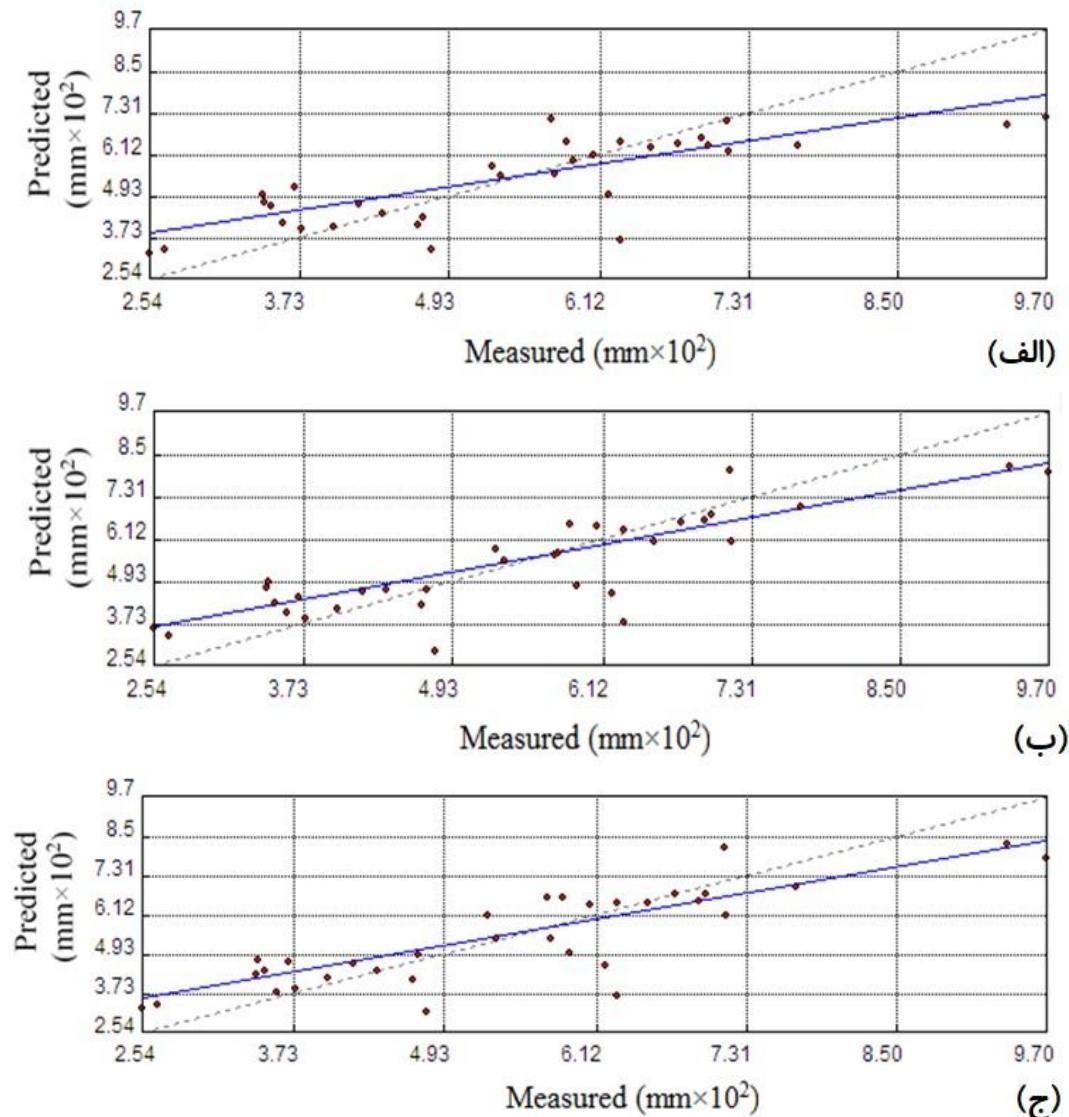
رابطه بین مقادیر مشاهده شده و برآورد شده بارندگی با استفاده از فن‌های معکوس فاصله (شکل ۴ الف)، کریجینگ ساده (شکل ۴ ب) و کریجینگ معمولی (شکل ۴ ج) محاسبه شد.

ارزیابی دقت و صحت روش‌های درون‌یابی ذکر شده با شاخص‌های MAE، میانگین خطای انحراف یا میانگین اریبی خطا و RMSE گزارش شده است (جدول ۲). مقادیر MAE و MBE میزان صحت را نشان می‌دهند.

مقایسه مقادیر MAE تخمین‌گرهای کریجینگ معمولی، ساده و معکوس فاصله نشان می‌دهد، کم‌ترین مقدار MAE مربوط به کریجینگ معمولی و بیش‌ترین آن مربوط به معکوس فاصله است. از لحاظ این پارامتر اختلاف چندانی بین تخمین‌گرهای مختلف کریجینگ وجود ندارد. مقادیر MAE و MBE در حالت ایده‌آل باید مساوی صفر باشند.

در روش کریجینگ معمولی، اثر قطعه‌ای یا واریانس تصادفی (بدون ساختار) (Nugget) ۵۳۵۳، واریانس ساختار فضایی آن ۲۲۰۰۰ و حد آستانه ۲۷۳۵۳ mm می‌باشد. دامنه تأثیر واریوگرام برای جهت شمال شرق به جنوب غرب در حدود ۸۳ و برای جهت عمود بر آن ۴۸ km می‌باشد، در صورتی‌که برای روش کریجینگ ساده، اثر قطعه‌ای یا واریانس تصادفی (بدون ساختار) (Nugget) ۷۱۸۷، واریانس ساختار فضایی آن ۳۰۸۰۷ و حد آستانه ۳۷۹۹۴ mm می‌باشد. دامنه تأثیر واریوگرام برای جهت شمال غرب به جنوب شرق در حدود ۸۱ و برای جهت عمود بر آن ۷۴ km می‌باشد.

نسبت اثر قطعه‌ای به سقف به‌عنوان مقادیر وابستگی مکانی تعریف شده است، به‌نحوی که مقادیر کم‌تر از ۲۵٪ نمایانگر وابستگی مکانی قوی، مقادیر ۲۵ تا ۷۵٪ به‌عنوان وابستگی مکانی متوسط و مقادیر بیش‌تر از ۷۵٪ معرف وابستگی مکانی ضعیف است. اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای در نسبت اثر قطعه‌ای به سقف یعنی وابستگی مکانی در روش‌های درون‌یابی وجود



شکل ۴- رابطه بین داده‌های اندازه‌گیری شده و برآورد شده بارندگی با استفاده از فن‌های: الف- وزن‌دهی معکوس فاصله، ب- کریجینگ ساده، و ج- کریجینگ معمولی

Fig. 4 Relationship between measured and predicted rainfall data by methods of a) IDW, b) simple kriging and c) ordinary kriging

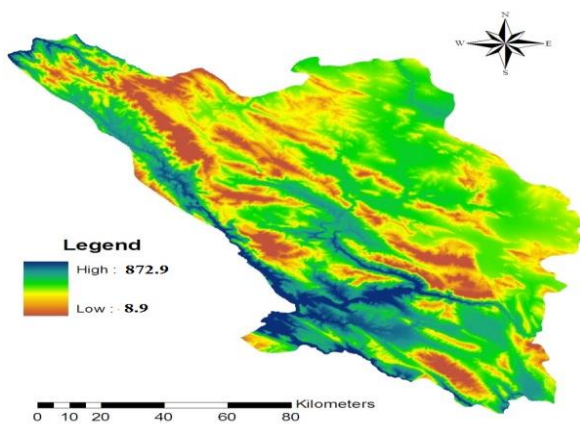
مسلماً هر چه کمتر باشد مطالعه دارای دقت بیشتری است (Alexandra and Bullock 1999). با توجه به شاخص‌های MAE، MBE و RMSE که برای مقایسه روش‌های درون‌یابی به کار گرفته شده، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که روش کریجینگ معمولی دارای صحت بیشتر و خطای کم‌تری است. MAE و RMSE می‌تواند به‌عنوان معیاری که هر دو ویژگی انحراف یا اریبی و دقت روش را در بردارند، برای مقایسه دقت روش‌ها به کار روند (Webster and Oliver 2007). همچنین MAE معیار قوی‌تری نسبت به MBE می‌باشد که در اکثر پژوهش‌ها برای مقایسه دقت روش‌های درون‌یابی به کار می‌رود (Journel 1989). روشی که کم‌ترین

جدول ۲- ارزیابی صحت روش‌های درون‌یابی بارش  
Table 2 Assessing the accuracy of precipitation interpolation methods

Statistical Indicators/ Method	MAE	MBE	RSME
Ordinary Kriging	74.44	-0.48	93.72
Simple Kriging	75.64	-3.16	93.76
Inverse Distance Weighting	80.61	-5.8	107

مقادیر مثبت یا منفی این دو پارامتر به‌ترتیب نشان‌دهنده برآورد بیش‌تر یا کم‌تر از مقدار واقعی می‌باشد (Wakernagel 2002). در واقع MAE معرف دقت روش و مقدار متوسط خطاست که هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده دقت بیش‌تر است و MBE نشانگر میانگین انحراف معیار مقدار برآوردی از مقدار مشاهده شده است که

(شکل ۵). تغییر بارش با توجه به ارتفاع، تابع عوامل متعدد محلی و بیرونی است که برآیند آنها در هر محل به نتایج متفاوتی ختم می‌شود. اثر ارتفاع بر بارش در همه جا یکسان نیست. در برخی موارد بارش تنها تا ارتفاع معینی که مرز فوقانی حداکثر بارش نامیده می‌شود، افزایش می‌یابد و پس از آن با افزایش ارتفاع، مقدار بارش رو به کاهش می‌رود. همواره با افزایش ارتفاع، بارش افزایش نمی‌یابد و بسته به وضعیت رطوبتی و جهت‌گیری دامنه‌ها در برابر جریان‌ها باران‌زا، امکان رخ دادن وضعیت‌های متفاوت وجود دارد. نقشه توزیع بارش سالانه به روش رگرسیون خطی نشان داده شده است (شکل ۶).



شکل ۶- نقشه توزیع بارش سالانه (mm) به روش رگرسیون خطی  
Fig. 6 Annual precipitation distribution map (mm) by linear regression method

با توجه به نتایج فوق، برای انتخاب بهترین روش جهت درون‌یابی داده‌های بارش، از فن ارزیابی متقابل و RMSE استفاده شد. نتایج این محاسبات در جدول (۴) آمده است. مقادیر MAE، MBE و RMSE برای روش کریجینگ معمولی کم‌تر از روش رگرسیون خطی می‌باشد که نشان‌دهنده دقت این روش برای بررسی تغییرات مکانی بارش سالانه در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد (جدول ۴). با توجه به نتایج بالا به وضوح می‌توان دید که روش کریجینگ معمولی نسبت به سایر روش‌ها از نظر دقت و انحراف، نتایج بهتری را جهت درون‌یابی بارش در منطقه مورد مطالعه از خود نشان می‌دهد. یکی از اصول درون‌یابی به روش کریجینگ، وجود اطلاعات نقطه‌ای پایه می‌باشد که حاوی ارزش‌های مربوط به یک پارامتر است که این امر با توجه به نحوه‌ی پراکندگی مناسب و کافی ایستگاه‌های هواشناسی موجب کاهش خطا و افزایش دقت در درون‌یابی می‌شود (Mozafari et al. 2012).

مقدار شاخص RMSE را داشته باشد، به‌عنوان مناسب‌ترین روش انتخاب می‌شود.

### ۳-۱- ارزیابی رگرسیون خطی بر پایه‌ی مدل ارتفاعی رقومی جهت درون‌یابی بارش

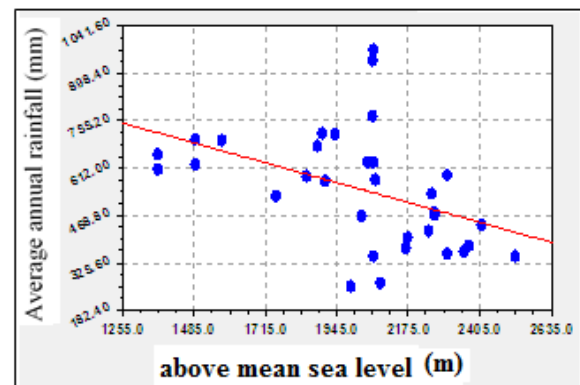
هدف پژوهشگر آن است که بعضی از مشخصات از روی آگاهی در مورد سایر مشخصات برآورد یا پیش‌بینی شود که این امر از طریق مدل‌سازی رگرسیون صورت می‌پذیرد. جهت انجام درون‌یابی به وسیله‌ی تحلیل‌های رگرسیونی، معادلات گسترده‌ای وجود دارد که انتخاب معادله مناسب منوط به مقدار همبستگی متغیر ثانویه و اصلی می‌باشد. بدین منظور ابتدا داده‌های بارش و ارتفاع ایستگاه‌های مورد بررسی با استفاده از مدل رگرسیون خطی در محیط نرم‌افزارهای آماری فراخوانی گردید، سپس داده‌های موردنظر با مدل خطی برازش داده شد. نتایج محاسبات ارائه شده است (جدول ۳). تابع مدل خطی محاسبه شده به صورت رابطه (۶) می‌باشد. نمودار مربوط به مدل رگرسیون خطی بارش سالانه و ارتفاع نشان داده شده است (شکل ۵).

جدول ۳- میزان خطا و ضریب همبستگی ترسیم نقشه برای مدل رگرسیون خطی

Table 3 Error rate and correlation coefficient of mapping for linear regression model

Correlation Coefficient (r)	Standard Error (SE)	Fitted model	Fitted model
0.77	45	$Y=a+bx$	Linear Fit

$$Y=a+bX, B=-0.26, X=DEM \quad (6)$$



شکل ۵- مدل رگرسیون خطی بارش سالانه و ارتفاع  
Fig. 5 Linear regression model of annual precipitation and altitude

رابطه بارش و ارتفاع منفی بود که با افزایش ارتفاع میزان بارش کاهش می‌یابد که این البته تا حدی دور از انتظار است

جدول ۴- خطای روش ارزیابی متقابل روش‌های کریجینگ

معمولی و رگرسیون خطی

Table 4 Error of cross validation of Ordinary kriging and Linear regression methods

Method	MAE	MBE	RMSE
Ordinary kriging	74.44	-0.48	93.72
Linear regression	115	3	155

از روش‌های درون‌یابی زمین‌آمار بیشتر برای ارزیابی کیفیت شبکه‌ی باران‌سنجی نیز استفاده می‌شود. افزایش شمار ایستگاه‌های باران‌سنجی در استان، به گونه‌ای که بتواند تغییرات مکانی ارتفاع را کامل‌تر پوشش دهد، به معنی بالا بردن تراکم ایستگاه‌های باران‌سنجی، بویژه در مناطق کوهستانی با شکل پیچیده‌ی زمین، می‌تواند مقدار خطای پیش‌بینی را کاهش داده و نتایجی دقیق‌تر به‌دست آورد.

همان‌گونه که مشاهده شد، قسمتی از شمال‌غرب استان که محل قرار گرفتن رشته‌کوه‌های زاگرس با پیچیدگی در شکل زمین است، ایستگاهی در بررسی صورت گرفته، لحاظ نشده است. از آنجا که بیشترین مقدار بارش در همان نواحی به ثبت رسیده است، ولی در این منطقه نیز ایستگاهی مورد بررسی قرار نگرفته است. از شکل نمودارهای برازش داده شده برای تجزیه و تحلیل و مناسب بودن نوع شبیه‌های برازش داده شده بر سهمی واریوگرام استفاده می‌شود، به گونه‌ای که شبیه‌گوسی معرف درجه بالای پیوستگی در متغیر ناحیه‌ای می‌باشد. پس می‌توان گفت که پیوستگی مکانی قابل‌ملاحظه‌ای در میانگین بارش سالانه برقرار است. گفتنی است که سهمی واریوگرام‌های یاد شده با فرض نبود روند، بر داده‌ها برازش یافت. لحاظ کردن انواع روندهای خطی، درجه ۲ و غیره می‌تواند منجر به بهبود پیش‌بینی شبیه‌های به‌دست‌آمده گردد. بازسازی داده‌های مفقود و طول‌سازی دوره‌های آماری کوتاه مدت، در شماری از ایستگاه‌ها صورت پذیرفت. این امر می‌تواند به‌عنوان یکی از منابع اصلی خطا مورد بررسی قرار گیرد. تهیه‌ی نقشه‌ی خطا و بررسی آن نیز می‌تواند به تحلیل مناسب‌ترین توزیع برازش داده شده بهبود بخشد. همچنین، می‌توان نواحی دارای انحراف پیش‌بینی زیاد را تعیین و شبیه منتخب را اصلاح کرد.

جهت درون‌یابی باید به این نکته توجه شود که تعداد کافی و مناسب و همچنین پراکنش صحیح و اصولی ایستگاه‌های سنجش و اندازه‌گیری، نقش تعیین‌کننده‌ای در عملیات درون‌یابی ایفا می‌کنند. در نتیجه نواحی که از توزیع مناسب و یا تعداد کافی ایستگاه‌ها برخوردار نمی‌باشند، نسبت به نواحی

دیگر در ساخت ایستگاه‌های جدید در اولویت قرار می‌گیرند. هدف نهایی از بررسی تغییرات مکانی بارش، شبیه‌سازی مطمئن تغییرات داده‌های بارش در بعد مکان می‌باشد، به نحوی که جهت اهداف بعدی از جمله پیش‌بینی‌های کوتاه-مدت و بلندمدت بارش در هر منطقه فراهم شود. با استفاده از تحلیل خوشه‌ای می‌توان صحت همگنی داده‌های انتخاب شده در پهنه‌های مختلف را تشخیص داد. چرا که تحلیل خوشه‌ای این امکان را به وجود می‌آورد که داده‌های همسان در یک گروه قرار بگیرند و این در حالی است که داده‌های درون یک گروه شباهت زیادی باهمدیگر داشته، اما تفاوت قابل‌توجهی با گروه‌های دیگر دارند (Mahdizadeh et al. 2006).

در مقایسه با نتایج پژوهشگران دیگر، نتایج پژوهش حاضر با نتایج حاصل از پهنه‌بندی بارش سالانه که در زاگرس مرکزی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار کریجینگ، میانگین متحرک وزنی و روش آماری اسپیلاین صورت گرفته بود (Mahdizadeh et al. 2006)، مطابقت دارد. نتایج آن‌ها نشان داد که روش‌های زمین‌آمار نسبت به روش‌های آمار کلاسیک، نتایجی بهتر ارائه داد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج حاصل از بررسی توزیع مکانی بارش سالانه استان قم با استفاده از روش‌های زمین‌آمار (Zabihi et al. 2012) مطابقت دارد. اما از جهتی دیگر نتایج پژوهش حاضر با نتایج حاصل از مقایسه روش‌های زمین‌آمار و رگرسیون چندمتغیره در برآورد بارش ماهانه در شبه جزیره ایبری (Ninyerola et al. 2007) مطابقت ندارد. چرا که در این پژوهش نتیجه گرفتند که روش‌های رگرسیون چندمتغیره نتایج قابل قبول-تری را نسبت به روش‌های زمین‌آمار به‌دست دادند. مهم‌ترین دلیل در به دست آمدن نتایج متفاوت می‌تواند تنوع در توپوگرافی مناطق مورد مطالعه و همچنین تفاوت در متغیرهای دخالت داده شده در برآورد بارش این مناطق باشد. از آنجا که روش‌های زمین‌آمار نتایج بهتری را نسبت به مدل رگرسیون چندمتغیره به‌دست آوردند ولی از این جهت که روش رگرسیون چندمتغیره با توجه به همبستگی و از طریق متغیرهای مستقل، متغیر وابسته را برآورد می‌نماید، برای مدل‌سازی بارش در سطوح ارتفاعی بالاتر که فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری می‌باشند نتایج قابل قبول‌تری را به دست می‌آورد. در سوئیس بهترین مدل را برای درون‌یابی داده‌های بارندگی سالانه در آن منطقه، مدل‌های کریجینگ نمایی و کریجینگ عمومی معرفی کرده‌اند (Naoum and

۳- مقادیر MAE، MBE و RMSE برای روش کریجینگ معمولی کمتر از روش رگرسیون خطی می‌باشد که نشان-دهنده دقت این روش برای بررسی تغییرات مکانی بارش سالانه در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد.

۴- روش کریجینگ معمولی با مدل گوسی در مقایسه با سایر روش‌ها از نظر دقت و انحراف، نتایج بهتری را برای درون‌یابی بارش در استان چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهد.

بسیاری از دستگاه‌های باران نگاری کشور از نوع قدیمی هستند که دقت محور زمان در آنها بسیار پایین است و کار استخراج مقادیر بارندگی برای زمان‌های ۵ و ۱۰ و حتی min ۱۵ بسیار دشوار است و همین عامل، پژوهش در این زمینه را دشوار می‌سازد. پیشنهاد می‌گردد سازمان‌های مسئول نسبت به تعویض و تبدیل این گونه ایستگاه‌ها اقدام نمایند. ارزیابی بارش در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و سالانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و همچنین بررسی روند تغییرات بارش حاصل از ایستگاه‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند پیشنهادات خوبی برای شناخت بهتر و جامع‌تر از تغییرات بارش باشد.

#### دسترسی به داده‌ها

داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل قابل ارسال می‌باشد.

#### تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

## References

- Alijani, B. (2004). Iran's climate. Tehran: Payame noor University Publications, 230 pp [In Persian].
- Alijani, B. and Kavyani, M. (2019). Principles of climatology. Tehran: Samt Pub., 600 pp [In Persian].
- Allexandra, K. and Bullock, D. G. (1999). A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties, *Agron J.*, 91(3), 393-400.
- Alsafadi, K., Mohammed, S., Mokhtar, A., Sharaf, M. and He, H. (2021). Fine-resolution

TPSS با توان دو را به‌عنوان بهترین روش برای میان‌یابی داده‌های ماهیانه بارندگی در ناحیه مرکزی ایران انتخاب کرده‌اند (Mahdian et al. 2003). روش‌های تیسس و کریجینگ برای درون‌یابی داده‌های بارندگی در حوزه کارده مشهد مناسب تشخیص داده شد (Faraji Sabokbar and Azizi 2007). بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که روش مناسب برای میان‌یابی متغیرهای اقلیمی، در منطقه‌های مختلف، با یکدیگر متفاوت می‌باشد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به ارزیابی عملکرد روش‌های درون‌یابی کریجینگ ساده، معمولی و رگرسیون خطی بر پایه مدل ارتفاعی رقومی جهت پهنه‌بندی بارش سالیانه در استان چهارمحال و بختیاری پرداخته شد. در نهایت به‌منظور تعیین بهترین مدل برای توزیع مکانی بارش و همچنین مقایسه روش‌های آماری و زمین‌آماری، مدل‌های رگرسیون خطی و کریجینگ معمولی با فن ارزیابی متقابل با یکدیگر مقایسه شدند.

۱- نتایج نشان داد که واریوگرام‌های بارش سالانه با مدل گوسی سازگاری دارد.

۲- نقشه‌های تخمین سطح میانگین بارندگی استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از تکنیک‌های معکوس فاصله، کریجینگ معمولی و کریجینگ ساده پهنه‌بندی تقریباً مشابهی را نشان می‌دهند ولی از نظر دقت و صحت باهم متفاوت می‌باشند. بخش‌های پرباران استان مربوط به ارتفاعات نواحی غربی و کم بارش‌ترین ناحیه استان نواحی شمال‌شرقی می‌باشد.

precipitation mapping over Syria using local regression and spatial interpolation. *Atmos Res.* 256: 105524. Doi: 10.1016/j.atmosres.2021.105524.

Asakereh, H. (2009). Kriging application in climatic element interpolation (a case study: Iran precipitation in 1996.12.16). *Geogra. Develop.*, 6(12), 25-42 [In Persian].

Faraji Sabokbar, H. A. and Azizi, G. (2007). Assessing the accuracy of spatial interpolation methods Case study: Rainfall modeling in Kardeh basin of Mashhad. *Geogra. Res.*, 38(6), 1-15 [In Persian].

- Ghahroodi Tali, M. (2005). Geographic information system in three-dimensional environment: Jahad Daneshgahi Vahed Tarbiat Moalem Pub., 273 pp [In Persian].
- Goovaerts, P. (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *J. Hydrol.* 22(8), 113-129.
- Hamidiyanpour, M., Saligeh, M. and Falah, G. (2013). Applying types of interpolation methods for spatial analysis and monitoring of SPI drought case study: Khorasan Razavi Province. *Geogra. Develop.*, 11(30), 57-70 [In Persian].
- Hargrove, W.W. (2008). Interpolation of rainfall in Switzerland using a regularized spline with tension. Accessed on June 17, 2021. Available at: <https://www.geobabble.org/~hnw/sic97/>.
- Hu, D., Shu, H., Hu, H. and Xu, J. (2017). Spatiotemporal regression Kriging to predict precipitation using time-series MODIS data. *Cluster Comput.* 20(1), 347-357.
- Jafarpoor, A. (2020). Climatology. Tehran: Tehran University Pub., 253 pp [In Persian].
- Journel, A. G. (1989). In: Fundamental of Geostatistics in Five Lesson, Short Course in Geology, Short Course Presented at the 28<sup>th</sup> International Geological Congress Washington, D.C. Vol 8. American Geophysical Union.
- Kalantari, K. (2007). Data analysis in socio-economic research using SPSS software. Sharif Pub., 361 pp [In Persian].
- Kravchenko, A. N. (2003). Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. *Soil Sci. Soc. Am J.*, 67(5), 1564-1571.
- Kumari, M., Singh, C. K., Bakimchandra, O. and Basistha, A. (2017). DEM-based delineation for improving geostatistical interpolation of rainfall in mountainous region of Central Himalayas, India. *Theor. Appl. Climatol.* 130 (1-2), 51-58.
- Kumari, M., Singh, C. K., Oinam, B. and Basistha, A. (2016). Geographically weighted regression-based quantification of rainfall-topography relationship and rainfall gradient in Central Himalayas. *Int. J. Climatol.*, 37(3), 1-12.
- Liu, D., Zhao, Q., Fu, D., Guo, Sh., Liu, P. and Zeng, Y. (2020). Comparison of spatial interpolation methods for the estimation of precipitation patterns at different time scales to improve the accuracy of discharge simulations. *Hydrol. Res.*, 51(4), 583-601.
- Mahdavi, M. (2011). Applied hydrology. Tehran University Pub., 442 pp [In Persian].
- Mahdavi, M., Hosseini Chegini, A., Mahdian, M. H. and Rahimi Bondarabadi, S. (2004). Application of geostatistical methods for estimation of annual spatial rainfall in arid and semiarid regions of south-east of Iran. *Iran. J. Nat. Resour.*, 57(2), 211-224 [In Persian].
- Mahdian, M. H., Ghiasi, N. Gh. and Mousavy Nejad, S. M. (2003). Investigation of appropriate special interpolation methods for estimating monthly rainfall data in central Iran. *J. Water Soil Sci.*, 7(1), 33-45 [In Persian].
- Mahdzadeh, M., Mahdian, M. H. and Hejam, S. (2006). Efficiency of geostatistical methods in climatic zoning of lake Urmia Basin. *J. Earth Space Phys.*, 32(1), 103-116 [In Persian].
- Mahmoudvand, S., Khodayari, H. and Tarnian, F. (2020). Mapping bioclimatic variables using geostatistical and regression techniques in Lorestan Province. *J. Geogra. Stud. Mountain. Area.*, 1(3), 1-17 [In Persian].
- Mehrshahi, D. and Khosravi, Y. (2010). Evaluation of kriging and linear regression interpolation methods based on digital elevation model to determine the spatial distribution of annual rainfall (Case study of Isfahan province). *J. Spat. Plan.*, 14(4), 233-249 [In Persian].
- Misaghi, P. and Mohamadi, K. (2006). Zonation rainfall data using classical statistics and geostatistics and compared with artificial neural networks. *Sci. J. Agri.*, 29(4), 1-14 [In Persian].
- Mohammadi, J. (2007). Pedometry. Spatial Statistics, Pelk Pub., 453 pp [In Persian].
- Mohammadi, J. and Motaghian, M. H. (2011). Spatial prediction of soil aggregate stability and aggregate-associated organic carbon content at the catchment scale using geostatistical techniques. *Pedosphere.* 21(3), 389-399 [In Persian].

- Mojarrad, F. and Kakaee, H. (2015). Application of Interpolation and Regression Methods in Spatial Estimation of Rainfall (Case Study: Kermanshah Province). *Geogra. Plan. Space*. 5(16), 181-197 [In Persian].
- Mozafari, Gh. A., Mirmusavi, S. H. and Khosravi, Y. (2012). The Assessment geostatistics methods and linear regression in order to specify the spatial distribution of annual precipitation (case study: Boushehr province). *Geogra. Develop.*, 10(27), 63-76 [In Persian].
- Naoum, S. and Tsanis, I. K. (2004). Ranking spatial interpolation techniques using a GIS-based DSS. *Glob. Nest. J.*, 6(1), 1-20.
- Ninyerola, M., Pons, X. and Roure, J.M. (2007). Monthly precipitation mapping of the Iberian Peninsula using spatial interpolation tools implemented in a Geographic Information System. *Theor. Appl. Climatol.* 89(3-4), 195-209.
- Podineh, O., Delbari, M., Haghghatjou, P. and Amiri, M. (2016). Spatial analysis of Precipitation with Elevation and Distance to Sea (Case Study: Sistan and Baluchestan Province). *Physical Geogra. Res.*, 47(4), 607-636 [In Persian].
- Rahimi Bondarabadi, S. and Sagafian, B. (2007). Estimating spatial distribution of rainfall by fuzzy set theory. *Iran Water Resour. Res.*, 3(2), 26-38 [In Persian].
- Reinstorf, F., Binder, M., Schirmer, M., Grimm-Strele, J. and Walther, W. (2005). Comparative assessment of regionalization methods of monitored atmospheric deposition loads. *Atmos. Environ.*, 39(20), 3661-3674.
- Saghafian, B., Ramzkhah, H. and Ghermez Cheshmeh, B. (2011). Investigation on regional variations of annual precipitation using geostatistical methods (case study: Fars Province). *Water Resour. Eng.*, 4(9), 29-38 [In Persian].
- Sari Sarraf, B. and Azarm, K. (2017). Estimating spatial variation of precipitation in the central Zagros using interpolation methods. *J. Geogra. Not.*, 8(15), 74-93 [In Persian].
- Shamsadini, A. (2000). Regional precipitation changes using the kriging method in the northern provinces. Master of Science in Irrigation and Drainage. Faculty of Agriculture, Shiraz University [In Persian].
- Shirazi, H. and Eslami, H. (2018). Investigation of distribution spatial distribution by final interpolation methods and statistical grounds (case study: Isfahan Province). *J. Water Eng.*, 6(2), 144-154 [In Persian].
- Silva, A. S. A. D., Stosic, B., Menezes, R. S. C. and Singh, V. P. (2019). Comparison of interpolation methods for spatial distribution of monthly precipitation in the State of Pernambuco, Brazil. *J. Hydrol. Eng.*, 24(3), 04018068.
- Sun, W., Minasny, B. and McBratney, A. (2012). Analysis and prediction of soil properties using local regression-kriging. *Geoderma*. 171-172, 16-23.
- Tsakiris, G. and Vangelis, H. (2004). Towards a drought watch system based on spatial SPI. *Water Resour. Manag.*, 18 (1), 1-12.
- Wakernagel, H. (2002). *Multivariate geostatistics*. Springer Press, 387 PP.
- Webster, R. and Oliver, M. A. (2007). *Geostatistics for environmental scientists*. New York: Wiley. 2<sup>nd</sup> Edition, 336 pp.
- 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). *Phys. Geogra. Res.*, 43(78), 102-112 [In Persian].
- Zhang, G., Tian, G., Cai, D., Bai, R. and Tong, J. (2021). Merging radar and rain gauge data by using spatial-temporal local weighted linear regression kriging for quantitative precipitation estimation. *J. Hydrol.* 601, 126612. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.126612