Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems

Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Validation of rainfall estimation methods in Golestan Province

Farkhondeh Aghajan Liafo[1], Mehrnaz Javid[2], Mohammad Javan Mahjoob Doost[3], Habib Nazarnejad[*4], Seyed Pedram Nainiva[5]

1. M.Sc. Student, Department of Watershed Sciences and Engineering, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: farkhondeaghajan@gmail.com
2. B.Sc. Student, Department of Water Engineering and Science, Faculty of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: mehrnazjavid.22@gmail.com
3. B.Sc. Student, Department of Forest Sciences and Engineering, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: mohammad.javanmd@gmail.com
4. Associate Professor, Department of Watershed Sciences and Engineering, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: h.nazarnejad@gau.ac.ir
5. Ph.D. Student, Department of Watershed Sciences and Engineering, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: Pedram.nainava@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:

Research Paper

Article history

Received: 30 June 2024

Revised: 03 September 2024

Accepted: 14 September 2024

Published online: 13 July 2025

Keywords:

Geostatistics, Interpolation, Inverse Distance Weighting, Kriging distance, Semivariogram Model, Spline

ABSTRACT

Atmospheric precipitation, especially rainfall, is very important for hydrological analysis and design. Due to the dispersion of rain gauge stations in a region, there is a need to use rainfall estimation methods to generalize results to points lacking statistics. The choice of these methods requires validation of the methods and the proposal of the method according to each region. Therefore, the present research has evaluated some methods of interpolation and geostatistics in estimating the monthly rainfall of Golestan Province and selecting the best model. The semivariogram model was used to explain the spatial relationship between rainfall data, and based on variographic analysis, the exponential model was shown as the best model for the semivariogram in most months. The spline method gives a more favorable result in areas where the station density is high. The interpolation results show the high efficiency of the spline method compared to other methods used, so this method has the highest level of performance in terms of R^2, RMSE, and NS evaluation indices in March, April, September, October, and November. The Kriging and IDW methods are placed in the next priority. Since the density of rain gauge stations in plain areas of the province is lower than in mountainous areas, to increase the accuracy of rainfall estimation, it is suggested that the province be divided into two homogeneous areas, plain and mountainous, and interpolation methods should be done for each area separately.

Citation: Aghajan Liafo, F., Javid, M., Mahjoob Doost, M.J., Nazarnejad, H., & Nainiva, S.P. (2025). Validation of rainfall estimation methods in Golestan Province. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 13(1), 1-16.

DOR:

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association

© Author(s)

***Corresponding author:** Habib Nazarnejad

Address: Department of Watershed Sciences and Engineering, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Tel:+989141465493

Email: h.nazarnejad@gau.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-16]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.1.1]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Validation of rainfall estimation methods in Golestan Province

Farkhondeh Aghajan Liafo[1]*, Mehrnaz Javid[2], Mohammad Javan Mahjoob Doost[3], Habib Nazarnejad[*4], Seyed Pedram Nainiva[5]

1. M.Sc. Student, Department of Watershed Sciences and Engineering, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: farkhondeaghajan@gmail.com
2. B.Sc. Student, Department of Water Engineering and Science, Faculty of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: mehrnazjavid.22@gmail.com
3. B.Sc. Student, Department of Forest Sciences and Engineering, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: mohammad.javanmd@gmail.com
4. Associate Professor, Department of Watershed Sciences and Engineering, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: h.nazarnejad@gau.ac.ir
5. Ph.D. Student, Department of Watershed Sciences and Engineering, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: Pedram.nainava@gmail.com

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Atmospheric precipitation, especially rainfall, is very important for hydrological analysis and design. Due to the dispersion of rain gauge stations in a region, there is a need to use rainfall estimation methods to generalize results to points lacking statistics. Various methods are employed in spatial rainfall analysis, among which interpolation methods hold significant importance due to their consideration of spatial correlation and structure of data, compared to classical methods. The choice of these methods requires validation of the methods and the proposal of the method according to each region.

Methodology: Golestan Province, with an area of 20460.7 km^2, occupies 1.33% of the total area of the country. The coordinates of the province are located between 36°24' to 38°05' N latitude and 53°51' to 56°14' E longitude. It is limited to Turkmenistan in the north, Semnan province in the South, North Khorasan province in the East, and the Caspian Sea and Mazandaran Province in the West. The height of the province ranges from -26 m on the Caspian Sea coast to 2500 m on the Southern Heights. The present study evaluated some of the internal and geostatistical methods (IDW, Kriging, and Spline) and selected the appropriate method in estimating the monthly rainfall of Golestan Province.

Results and Discussion: In this study, the semivariogram model was employed, and based on the variographic analysis, the exponential model was identified as the best theoretical model for the semivariogram. The results of the three IDW, Kriging, and Spline methods, evaluated using R^2, RMSE, and NSE indices, showed that the IDW method performed weaker than the other methods. The IDW is a deterministic interpolation method that estimates the value of a cell based on the inverse distance from the surrounding sample points, regardless of height. This method is based on the fact that in an area, the effect of a parameter on the surrounding points is not the same, and the closer points have the most impact, and the farther points have the least impact. As the distance from the origin increases, the effect of the parameter on the points in the area decreases. Therefore, good results cannot be expected from this method when the data is highly scattered and dense. According to the results of the evaluation indicators, the IDW method performed very poorly in the rest of the year, except for the month of October. Among the two methods of Kriging and Spline, the Spline method has a higher performance according to the evaluation indicators. According to the results of the evaluation indices, this method has the highest level of performance in the months of March, April, September, October, and November, and the lowest level of performance in the months of August, May, and July. In terms of seasonal performance, the highest efficiency of this method was in the winter season. The performance of the two methods of Kriging and Spline in estimating the rainfall of

***Corresponding author:** Habib Nazarnejad
Address: Department of Watershed Sciences and Engineering, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
Tel:+989141465493
Email: h.nazarnejad@gau.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-16]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.1.1]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

September, November, and July had almost the same results. The use of derivatives of the Kriging method, such as co-Kriging and optimizing the weights, helped in obtaining better results. According to the theoretical basis of the Spline method, the results of this method are more valid in low-lying areas of the province.

Conclusion: Rainfall stations in some regions of the province, particularly mountainous and southern areas, have a sufficient number and density, while in several regions, such as the northern and plain areas, there are not enough stations to estimate rainfall. To increase the accuracy of rainfall estimates, it is suggested to divide Golestan Province into two homogeneous regions, including plains in the north and mountainous regions in the south of the province. Using the Spline method for the plains and choosing the appropriate method for the mountainous areas of the southern province is highly emphasized. Rainfall estimation models based on high spatiotemporal resolution satellite imagery can be a suitable alternative to interpolation methods.

Ethical Considerations

Data availability statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Funding: This research was conducted as an independent study.

Authors' contribution: The various sections of this article were conducted and written by Farkhondeh Aghajan Liafo, Mehrnaz Javid, and Mohammad Javan Mahjoob Doost. Habib Nazarnejad and Seyed Pedram Nainiva contributed as the ideators and advisors, guiding the team throughout the writing process.

Conflicts of interest: The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Acknowledgment: The Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources is acknowledged for its support.

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-16]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.1.1]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

اعتبارسنجی روش‌های برآورد بارندگی در استان گلستان

فرخنده آقاجان لیافو[۱]، مهرناز جاوید[۲]، محمد جوان محجوب‌دوست[۳]، حبیب نظرنژاد*[۴]، سید پدرام نی‌نیوا[۵]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، farkhondeaghajan@gmail.com
۲. دانش‌آموخته کارشناسی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، mehrnazjavid.22@gmail.com
۳. دانش‌آموخته کارشناسی، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، mohammad.javanmd@gmail.com
۴. دانشیار، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، h.nazarnejad@gau.ac.ir
۵. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، Pedram.nainava@gmail.com

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۱۰ تیر ۱۴۰۳
بازنگری: ۱۳ شهریور ۱۴۰۳
پذیرش: ۲۴ شهریور ۱۴۰۳
انتشار برخط: ۲۳ خرداد ۱۴۰۴

واژه‌های کلیدی:
اسپلاین، درون‌یابی، زمین‌آمار، فاصله کریجینگ، مدل نیم‌تغییرنما، وزنی معکوس.

چکیده

ریزش‌های جوی به‌خصوص بارندگی، برای تحلیل‌ها و طراحی‌های هیدرولوژیکی بسیار اهمیت دارد. با توجه به پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی در یک منطقه، نیاز به استفاده از روش‌های برآورد بارندگی جهت تعمیم نتایج به نقاط فاقد آمار است. انتخاب این روش‌ها نیازمند اعتبارسنجی روش‌ها و پیشنهاد روش متناسب با هر منطقه است. از این‌رو پژوهش حاضر به ارزیابی برخی از روش‌های درون‌یابی و زمین‌آمار در برآورد بارندگی ماهانه استان گلستان و انتخاب مدل برتر پرداخته است. از مدل نیم‌تغییرنما برای تشریح ارتباط مکانی بین داده‌های بارندگی استفاده شد و بر اساس تحلیل واریوگرافی، مدل نمایی، در اکثر ماه‌ها به‌عنوان بهترین مدل برای نیم‌تغییرنما نشان داده شد. نتایج درون‌یابی بیانگر کارایی بالای روش اسپلاین نسبت به سایر روش‌های مورد استفاده است، به‌طوری‌که این روش در ماه‌های اسفند، فروردین، شهریور، مهر و آذر دارای بالاترین سطح عملکرد از نظر شاخص‌های ارزیابی R^2، RMSE و NS است. روش‌های کریجینگ و IDW در رتبه‌های بعدی قرار دارند. روش اسپلاین در مناطقی که تراکم ایستگاه‌ها بالا باشد نتیجه مطلوب‌تری می‌دهد. از آن‌جا که تراکم ایستگاه‌های باران‌سنجی در مناطق دشتی استان کم‌تر از مناطق کوهستانی است، برای افزایش دقت برآورد بارندگی پیشنهاد می‌شود استان به دو منطقه همگن، دشتی و کوهستانی تقسیم‌بندی شده، و روش‌های درون یابی برای هر منطقه به‌صورت جداگانه انجام شود.

استناد: آقاجان لیافو، فرخنده، جاوید، مهرناز، محجوب دو ست، محمد جوان، نظرنژاد، حبیب، و نی‌نیوا، سید پدرام. (۱۴۰۴). اعتبار سنجی روش‌های برآورد بارندگی در استان گلستان. سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۱۳(۱)، ۱-۱۶.

DOR:

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

© نویسندگان

* **نویسنده مسئول:** حبیب نظرنژاد
نشانی: گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
تلفن: ۰۹۱۴۱۴۶۵۴۹۳
پست الکترونیکی: h.nazarnejad@gau.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-16]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.1.1]

مقدمه

تغییرات آب و هوایی در دهه‌های اخیر منجر به تحولات زیادی در مقیاس جهانی شده که پیامد بسیاری برای محیطزیست و رفاه انسان داشته است (Rata et al., 2020). باران نقش کلیدی در چرخه هیدرولوژیکی دارد و عامل تعیین‌کننده در سیستم‌های آب و هوایی جهانی است (Ceron et al., 2021). علی‌رغم پیشرفت‌های اخیر در پیش‌بینی و برآورد بارندگی، هم‌چنان برآورد میزان دقیق بارندگی یک منطقه مشکل است (اسماعیلی و وفاخواه، ۱۴۰۱). اطلاعات ناکافی در مورد عوامل آب و هوایی از جمله بارندگی می‌تواند هزینه قابل توجه‌ای را برای بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی ایجاد کند. هم‌چنین پیش‌بینی بلایای طبیعی ناشی از سیل و رانش زمین به اطلاعات دقیق در مورد توزیع مکانی بارندگی نیاز خواهد داشت (Antal et al., 2021). به‌دلیل پراکندگی نامناسب و کمبود ایستگاه‌های باران‌سنجی و وسعت زیاد برخی از حوزه‌های آبخیز، روش‌های تحلیل بارندگی از اهمیت زیادی برخوردار است (نبی‌پور و وفاخواه، ۱۳۹۵).

روش‌های مختلفی در تحلیل مکانی بارندگی استفاده می‌شود که از این میان روش‌های زمین‌آمار به‌دلیل در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها از اهمیت ویژه‌ای نسبت به روش‌های کلاسیک برخوردارند (دایی‌چینی و همکاران، ۱۳۹۹). درون‌یابی با نقاط پراکنده یک سطح پیوسته تولید می‌کند که از این سطح پیوسته می‌توان برای کاربردهای مختلف مانند برنامه‌ریزی شهری، اکتشافات اولیه معدنی، نقشه‌برداری زمین‌شناسی استفاده کرد (Respati et al., 2023). هم‌چنین از روش‌های زمین‌آمار در تحلیل پارامترهای دیگر نظیر هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی و اقلیمی استفاده می‌شود (کاراندیش و همکاران، ۱۳۹۸). روش‌های زمین‌آمار مختلفی مانند معکوس فاصله وزنی (IDW[1])، کریجینگ[2]، کوکریجینگ[3]، تابع پایه شعاعی (RBF)[4] و اسپلاین[5] وجود دارند که با استفاده از این روش‌ها و با داده‌های نقطه‌ای ایستگاه‌های باران‌سنجی، برای نقاط فاقد داده بارندگی می‌توان مقادیر بارندگی را برآورد کرد (نادی و همکاران، ۱۳۹۱؛ دایی‌چینی و همکاران، ۱۳۹۹، جنت‌رستمی و صالحی، ۱۳۹۹).

شعبانی (۱۳۸۹) به ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در برآورد بارندگی سالانه استان فارس با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی شامل کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و روش‌های معین مانند معکوس فاصله وزنی، تابع شعاعی، تخمین‌گر موضعی و تخمین‌گر عام پرداخت. نتایج نشان داد که از بین روش‌های مختلف درون‌یابی، روش کریجینگ و کریجینگ معمولی نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد. در ادامه، فتحی‌زاد و همکاران (۱۳۹۳) در استان ایلام به بررسی الگوریتم‌های مختلف زمین‌آمار برای پهنه‌بندی بارندگی پرداختند. آن‌ها میانگین بارندگی سالانه ۹۷ ایستگاه باران‌سنجی را در یک دوره آماری ۲۳ ساله ارزیابی کردند، نتایج پژوهش نشان داد روش کریجینگ بهترین روش درون‌یابی بوده است. دایی‌چینی و همکاران (۱۳۹۹) به ارزیابی کارایی روش‌های زمین‌آمار در برآورد بارندگی در آبخیز هراز پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که تابع شعاعی برای بارش سالانه، کریجینگ ساده برای بیشینه بارش ۲۴ ساعته و روش‌های کریجینگ ساده و معمولی، کوکریجینگ، تابع شعاعی و معکوس وزنی فاصله برای ماه‌های مختلف مناسب‌ترین روش‌ها هستند. اسماعیلی و وفاخواه (۱۴۰۱) به ارزیابی مقایسه‌ای روش‌های درون‌یابی در برآورد بارندگی سالانه و ماهانه حوزه آبخیز دریاچه نمک پرداختند نتایج حاکی از آن بود که برای داده‌های بارش سالانه، روش زمین‌آماری کوکریجینگ و کریجینگ به‌ترتیب رتبه اول و دوم و برای داده‌های ماهانه، روش‌های توابع پایه شعاعی، کوکریجینگ و کریجینگ بهترین برآورد را داشته‌اند.

Ceron و همکاران (۲۰۲۱) در کلمبیا به بررسی روش‌های زمین‌آمار در تخمین بارندگی پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد روش کوکریجینگ با دارا بودن کم‌ترین RMSE[6] بهترین روش بوده است. در ادامه، Hamakarim و Bashi Islam Govay (۲۰۲۳) به بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی و زمین‌آمار برای برآورد بارندگی در کشور عراق پرداختند. آن‌ها از سه روش معکوس فاصله وزنی (IDW)، کریجینگ معمولی و اسپلاین استفاده کردند. نتایج نشان داد روش IDW بهترین عملکرد را در منطقه مورد مطالعه داشته است. Fagandini و همکاران (۲۰۲۳) به تخمین داده‌های بارندگی روزانه با روش‌های زمین‌آمار در کشور پرتغال پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد در بین روش‌های زمین‌آمار به‌کاررفته روش کریجینگ معمولی بهترین عملکرد را داشته است. Vimelia و همکاران (۲۰۲۴) به پیش‌بینی داده‌های بارش در جاکارتا با استفاده از درون‌یابی اسپلاین مکعبی پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد داده‌های برآورد شده با روش اسپلاین به داده‌های

---

[1] Inverse Distance Weighted
[2] Kriging
[3] Co-Kriging
[4] Radial Basis Function
[5] Spline
[6] Root Mean Square Error (RMSE)

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-16]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.1.1]

واقعی بسیار نزدیک است و این روش می‌توانند به‌عنوان گزینه‌ای برای پیش‌بینی داده‌های بارش در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شود. Yasmin و همکاران (۲۰۲۴) به برآورد بارندگی با استفاده از اسپلاین و بررسی تأثیر آن بر تولید برنج در بوگور پرداختند. نتایج نشان داد که درون‌یابی با این روش برای برآورد بارندگی و تبیین رابطه بین شدت بارش و عملکرد تولید برنج مناسب است. هم‌چنین، Sanusi و همکاران (۲۰۲۴) به مقایسه روش‌های درون‌یابی برای منطقه‌بندی حداکثر بارش روزانه در اندونزی پرداختند. آن‌ها از دو روش درون‌یابی IDW و کریجینگ معمولی استفاده کردند. نتایج نشان داد روش کریجینگ معمولی دقت بالاتری نسبت به روش IDW در این مطالعه داشته است. بررسی پژوهش‌ها بر استفاده از روش‌های درون‌یابی و زمین‌آمار برای برآورد بارندگی مناطق فاقد ایستگاه تأکید دارند. لذا هدف از این مطالعه ارزیابی برخی از روش‌های درون‌یابی و زمین‌آمار در برآورد بارندگی ماهانه استان گلستان به جهت معرفی و تعیین کارایی بهترین روش و استفاده از مقادیر برآوردشده بارندگی برای دیگر اهداف مطالعات اقلیمی و هیدرولوژیکی در استان است.

مواد و روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

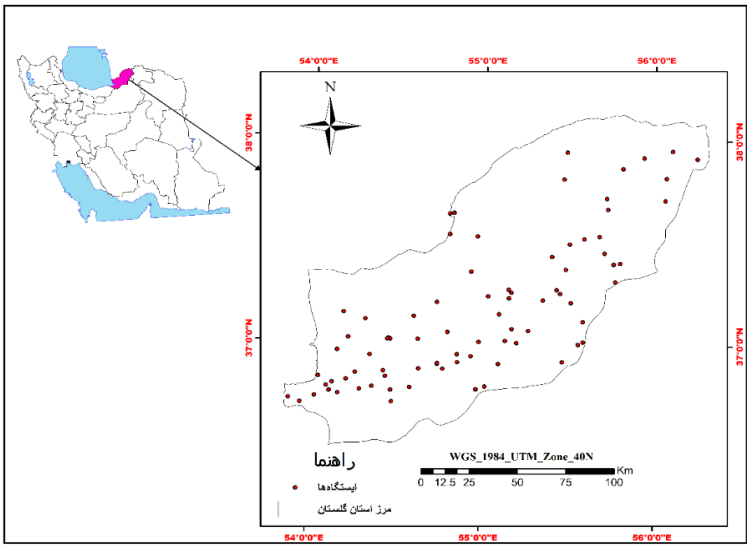
استان گلستان با وسعت ۲۰۴۶۰/۷ کیلومترمربع، ۱/۳۳ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است که حدود ۴۰ درصد آن دشت و بقیه کوهستان است. موقعیت جغرافیایی استان در '۳۶°۲۴ تا '۳۸°۰۵ عرض شمالی و '۵۳°۵۱ تا '۵۶°۱۴ طول شرقی واقع‌شده است. از شمال کشور به ترکمنستان، از جنوب به استان سمنان، از شرق به استان خراسان شمالی و از غرب به دریای خزر و استان مازندران محدود می‌شود؛ ارتفاع استان از ۲۶- متر در ساحل دریای مازندران تا ۲۵۰۰ متر در ارتفاعات جنوبی متغیر است (عساکره و مازینی، ۱۳۸۹). آب‌وهوای استان تحت تأثیر عرض جغرافیایی، ارتفاعات، امتداد رشته‌کوه‌های البرز، فاصله از دریا و بیابان ترکمنستان، توده‌های هوایی و پوشش جنگلی از تنوع زیادی برخوردار بوده و شامل آب و هوای کوهستانی، معتدل، خشک و نیمه‌خشک است. بخشی از مناطق استان دارای آب‌وهوای معتدل با میزان بارندگی ۶۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر است؛ مساحت زیادی از نیمه شمالی استان دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک است. درحالی‌که متوسط بارندگی استان ۴۵۰ میلی‌متر است در نواحی شمالی آن بارندگی سالیانه حتی به کم‌تر از ۲۰۰ میلی‌متر هم می‌رسد؛ بیش از نیمی از ایستگاه هواشناسی و هیدرومتری موجود در استان، در دهه‌های اخیر احداث شده‌اند که در برخی نقاط استان پراکنش مناسبی نیز ندارند (مساعدی و همکاران، ۱۳۸۷). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های مورد استفاده برای برآورد بارندگی را نشان می‌دهد.

روش کار

داده‌های مورد استفاده در پژوهش شامل داده‌های بارندگی ایستگاه‌های دارای دوره آماری مناسب مربوط به ایستگاه‌های اداره کل هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان است. در گام اول داده‌های بارندگی ۸۲ ایستگاه باران‌سنجی، کلیماتولوژی و سینوپتیک مربوط به اداره کل هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان، بازسازی و در دوره آماری مشترک دسته‌بندی و سپس به‌صورت میانگین ۱۵ ساله استفاده شد. در گام دوم ۷۰ درصد ایستگاه‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب و به‌عنوان نمونه جهت پیش‌بینی معرفی شد. برای نشان دادن همبستگی مکانی بین داده باران از ترسیم واریوگرام استفاده شد. نتایج حاصل از ترسیم واریوگرام در جدول ۱ مشاهده می‌شود مدل نیم‌تغییرنما بر داده‌های مکانی برازش داده شد. با استفاده از موقعیت جغرافیایی هر ایستگاه و اطلاعات بارندگی هر ماه، لایه مکانی تهیه شد. در گام بعد در محیط نرم‌افزار Arc GIS10.8 نقشه‌های درون‌یابی از لایه مکانی متناسب با اطلاعات بارندگی هر ماه تهیه شد. در گام آخر نقشه‌های حاصل از درون‌یابی با ۳۰ درصد باقی‌مانده از ایستگاه‌های موجود با استفاده از شاخص‌های ارزیابی، اعتبارسنجی و بهترین روش انتخاب شد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-16]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.1.1]



شکل ۱– موقعیت استان گلستان و ایستگاه‌های بارندگی مورد بررسی
Figure 1– Location of Golestan Province and study rainfall stations

روش‌های درون‌یابی و زمین‌آمار

روش‌های درون‌یابی در تحلیل مکانی به دو دسته قطعی و زمین‌آماری تقسیم می‌شوند که از جمله آن‌ها روش‌های معکوس فاصله وزنی (IDW)، اسپلاین و کریجینگ معمولی[1] (Ordinary Kriging) هستند. در این پژوهش با توجه به‌مرور منابع انجام‌شده و مطالعه قبلی در استان گلستان از بین روش‌های مختلف درون‌یابی از این سه روش استفاده شد.

معکوس فاصله وزنی (IDW)

معکوس فاصله وزنی (IDW) مبین روش درون‌یابی است که بر اصل فاصله معکوس استوار است. فرض این روش بر این است که نقاط نمونه‌ای از مکان تاثیر می‌پذیرد؛ در واقع نقاط نمونه‌ای اثر وزنی دارند. به‌بیان‌دیگر پیکسل‌های نزدیک به نمونه اثر بیش‌تری نسبت به پیکسل‌های دورتر از این نقاط می‌گیرند. این روش در شرایطی که با افزایش فاصله از نقاط نمونه وزن سلول کاهش می‌یابد مناسب است. در این روش فاصله هر پیکسل با پیکسل مجاور سنجیده می‌شود و سپس برحسب میزان فاصله، به آن سلول، ضریب وزن یا ارزش داده‌شده و در نهایت ارزش سلول مرکزی ماتریس با جمع ارزش‌های نقاط همسایه و میانگین وزنی آن‌ها به‌دست می‌آید. این روش برخلاف روش کریجینگ از فرضیات مربوط به ارتباط بین داده‌ها پیروی نمی‌کند. (سالاری‌فر، ۱۴۰۱). الگوریتم این روش به‌صورت رابطه (۱) است:

$$\lambda_i=\left(\frac{D_0}{D_i}\right)^{\alpha}-1 \qquad (۱)$$

در معادله فوق: λi وزن نقطه نمونه iام، D_0 شعاع همسایگی، D_i فاصله بین نقطه نمونه و هر نقطه iام و نقطه مجهول، α توان وزن‌دهی است.

اسپلاین

در روش اسپلاین مقادیر نقاط مجهول (رابطه ۲) از برازش تابعی بر مقادیر نمونه با استفاده از سری‌های چندجمله‌ای با مشتقات پیوسته در انتهای فواصل برآورد می‌شوند که بر دو فرض مهم استوار است: الف) منحنی تابع درون‌یابی باید از میان داده‌های نمونه‌برداری شده با کم‌ترین خطا عبور کند. ب) منحنی تابع درون‌یابی باید در صورت امکان صاف و هموار باشد. توابع اسپلاین منحنی‌های درونیاب همواری را تولید کرده که برخلاف سایر درونیاب‌های چندجمله‌ای مرتبه بالا، در مقابل تغییرات و نوسانات زیاد متغیرها حساسیت نشان می‌دهد (امینی و همکاران، ۱۳۹۸).

[1] Inverse Distance Weighted

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-16]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.1.1]

$$Z(x,y)=T(x,y)+\sum_{i=1}^{n}\lambda_j R(r_j) \quad (۲)$$

N تعداد نقاط نمونه، λ_j ضریب راه معادلات خطی، r_j فاصله از نقطه نمونه jام، $R(r_j)$ و $T(x,y)$ با توجه به نوع گزینش توسط کاربر تعیین می‌شود. تغییراتی در این فرمول با توجه به نوع تابع مورد استفاده انجام می‌شود.

کریجینگ

روشی است که می‌توان به کمک آن مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از همان کمیت در دیگر نقاط با مختصات معلوم به‌دست آورد. کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزنی استوار است و بهترین برآوردگر خطی نااریب (BLUE)[1] است. از ویژگی‌های مهم آن این است که به‌ازای هر تخمینی خطای مرتبط با آن را می‌توان محاسبه کرد. بنابراین به‌ازای هر مقدار تخمین زده شده می‌توان دامنه اطمینان را محاسبه نمود. این تخمین‌گر با کمک رابطه (۳) تعیین شد (حبشی و همکاران، ۱۳۸۵):

$$Zv=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i Zv_i \quad (۳)$$

در معادله فوق: Z_v ویژگی مورد تخمین، Z_{vi} ویژگی نمونه iام و λ_i وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه iام است. شرط استفاده از این تخمین‌گر این است که Z توزیع نرمال داشته باشد.

شاخص‌های ارزیابی

شاخص‌های ارزیابی مدل بر مقایسه مقادیر شبیه‌سازی و مشاهدات و میزان تشابه یا اختلاف آن‌ها استوار هستند. از شاخص‌های ارزیابی می‌توان به شاخص نش–ساتکلیف، ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب تعیین اشاره نمود.

نش–ساتکلیف

ضریب نش–ساتکلیف (NS)[2] اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده را نشان می‌دهد و مقدار آن بین یک تا منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند (رابطه ۴). مقدار بیش از ۰/۵ نشان‌دهنده شبیه‌سازی خوب توسط مدل است (Himanshu et al., 2019).

$$NS=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{mi}-Q_{si})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{mi}-\bar{Q}_m)^2} \quad (۴)$$

در معادله فوق: NS شاخص ضریب نش–ساتکلیف، O_i مقدار مشاهده، P_i مقدار پیش‌بینی‌شده و $\bar{O}$ میانگین مقادیر مشاهداتی است.

ریشه میانگین مربعات خطا

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)[2] یک تکنیک تخمین خطا است که برای محاسبه تفاوت بین مقادیر برآورد شده و مقادیر واقعی استفاده می‌شود (رابطه ۵). این روش مقدار متوسط خطاها را به‌صورت یک مقدار ارائه می‌کند (سالاری فر و همکاران، ۱۴۰۱).

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(O_i-P_i)^2} \quad (۵)$$

در معادله فوق: RMSE شاخص ریشه میانگین مربعات خطا، O_i مقدار مشاهداتی و P_i مقدار داده و N مجموع مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده است.

[1] Best Linear Unbiased Estimator

[2] Nash-Sutcliffe Efficiency

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-16]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.1.1]

ضریب تعیین

ضریب تعیین (R^2)[1] میزان ارتباط خطی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کند و همبستگی داده‌های شبیه‌سازی‌شده با داده‌های مشاهدتی را نشان می‌دهد (رابطه ۶). محدوده ضریب تعیین از صفر (غیرقابل‌قبول) تا یک (بهترین حالت) متغیر است (نوری و همکاران، ۱۳۹۶).

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})(P_i-\bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2\sum_{i=1}^{n}(P_i-\bar{P})^2}}\right]^2 \quad (۶)$$

در معادله فوق: R^2 شاخص ضریب تعیین، O_i مقدار مشاهده شده، P_i مقدار پیش‌بینی‌شده، میانگین مشاهدات و میانگین مقادیر پیش‌بینی است.

نیم‌تغییرنما

نیم‌تغییرنما ابزاری در زمین‌آمار است که برای تشریح ارتباط مکانی متغیرها به‌کار برده می‌شود. با استفاده از آن کیفیت نتایج سنجیده شده و همبستگی مکانی داده‌ها نشان داده می‌شود. یکی از ویژگی‌های مهم نیم‌تغییرنما نشان‌دادن ناهمسان‌گردی مکانی داده‌ها است. نیم‌تغییرنما را می‌توان در راستای مختلف ترسیم نمود در حالتی که دامنه تأثیر نیم‌تغییرنما در جهت‌های مختلف متفاوت باشد به آن ناهمسان‌گردی گفته می‌شود که نشان‌دهنده ناهمگنی در جهت‌های مختلف است (زندکریمی و مختاری، ۱۳۹۷).

مشخصات نیم‌تغییرنما و انتخاب آن در تمام مراحل درون‌یابی تأثیرگذار است. انتخاب مدل‌های تئوریک نیم‌تغییرنما به حرکت نیم‌تغییرنمای تجربی در نزدیکی مبداء وابسته است. در صورت پیوسته بودن پدیده مورد نظر نیم‌تغییرنمای تجربی در نزدیکی مبداء خواهد بود و معمولاً مدل گوسی مناسب است. اگر نیم‌تغییرنمای تجربی در نزدیکی مبداء حرکت خطی داشته باشد، هم مدل نمایی و هم مدل کروی مناسب است و اگر یک خط مستقیم، که از مبداء نقاط اولیه نیم‌تغییرنما را پوشش می‌دهد آستانه را در فاصله یک‌پنجم قطع کند در این صورت حالت مدل نمایی نسبت به مدل کروی کاربرد بهتری دارد و اگر خط در حدود فاصله دوسوم دامنه را قطع کند، مدل کروی مناسب‌تر است (زندکریمی و مختاری، ۱۳۹۷).

نتایج و بحث

روش‌های زمین‌آمار توانایی برقراری ارتباط بین مقادیر یک کمیت، فاصله و جهت قرار گرفتن داده‌ها نسبت به یکدیگر را دارند. در ابتدا وجود یا عدم وجود ساختار مکانی بین داده‌ها بررسی می‌شود و در صورت وجود ساختار مکانی مناسب تحلیل داده‌ها انجام می‌شود. بنابراین درون‌یابی شامل دو مرحله است: مرحله اول مدل‌سازی و شناخت متغیر که به کمک تحلیل واریوگرام صورت می‌گیرد و مرحله دوم تخمین متغیر مورد نظر که توسط توابع زمین‌آماری است. بدین‌منظور برای نشان دادن همبستگی مکانی بین داده‌های بارش از ترسیم واریوگرام استفاده شد که نتایج نیم‌تغییرنما در جدول ۱ آورده شده است.

در این تحقیق به‌منظور تحلیل تغییرنماها از برنامه Geostatistics در محیط GS+ استفاده شد. بهترین نیم‌تغییرنما براساس کم‌ترین مقدار مجموع خطای برآورد شده توسط نرم‌افزار انتخاب شد. بررسی تغییرنماها وجود همسانگردی یا ناهمسانگردی داده‌ها را اثبات می‌کند. در این مطالعه نیم تغییرنما همسانگرد بوده است که نشان از همگنی داده‌های بارندگی در جهات مختلف است. مناسب‌ترین مدل نیم‌تغییرنما از بین پنج مدل مورد بررسی برای داده‌های ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه بر طبق نتایج جدول ۱ انجام شده است. بهترین الگوی نظری به کمک رفتار نیم‌تغییرنما در نزدیکی مبداء مختصات، بیش‌ترین ضریب همبستگی(R^2)، بیش‌ترین تناسب مکانی (C/C+CO) و نتایج اعتبارسنجی متقابل تعیین شد. تناسب ساختار مکانی نسبت کل بخش ساختار واریانس (C) به‌کل واریانس (C+CO) است که هراندازه به یک نزدیک‌تر باشد، مطلوب‌تر است. به این دلیل از این نسبت برای انتخاب بهترین واریوگرام استفاده شد. با توجه به پارامترهای به‌دست آمده برای واریوگرام‌های برازش‌شده، برای ده ماه از سال واریوگرام نمایی (این مدل از مبدا مختصات شروع‌شده و در نزدیکی مبدا رفتار خطی دارد) و بعد از آن برای ماه‌های دی و شهریور واریوگرام خطی انتخاب شدند. با توجه به جدول ۱، شهریور و مهر بهترین ساختار مکانی را داشته و در ماه‌های دیگر هم ساختار مکانی مناسب است. بعد از انتخاب مدل واریوگرام درون‌یابی با سه روش انجام و صحت این روش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

[1] R-squared correlation

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-16]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.1.1]

جدول ۱- بررسی مدل‌های مختلف نیم‌تغییرنما برای متغیر بارش

Table 1- Evaluation of different semi-variance models for precipitation

ماه‌های سال	پارامترهای نیم‌تغییرنما				R^2
	مدل ساختار مکانی	اثر قطعه‌ای Co	آستانه Co+c	تناسب ساختار مکانی c/(c+co)	
فروردین	نمایی	525	1953.68	0.72	0.14
اردیبهشت	نمایی	261	956.86	0.72	0.37
خرداد	نمایی	135.40	783.36	0.86	0.48
تیر	نمایی	135.40	783.36	0.82	0.48
مرداد	نمایی	78.90	360.34	0.78	0.29
شهریور	خطی	156	1757.44	0.91	0.40
مهر	نمایی	81	901.39	0.91	0.42
آبان	نمایی	167	1070.98	0.84	0.42
آذر	نمایی	393	1695.91	0.76	0.32
دی	خطی	187	1247.77	0.85	0.46
بهمن	نمایی	604	2282.42	0.73	0.16
اسفند	نمایی	661	2333	0.71	0.24

نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های درون‌یابی

به‌علت زیاد بودن تعداد تصاویر، نتایج درون‌یابی با روش IDW برای ماه‌های سال به‌عنوان نمونه در شکل ۲ آورده شده است. با استفاده از ۳۰ درصد ایستگاه‌های مورد بررسی، اقدام به ارزیابی کارایی روش‌های درون‌یابی شد. جهت ارزیابی نتایج از ریشه میانگین خطا، ضریب تعیین و شاخص نش-ساتکلیف استفاده شد. نتایج حاصل از شاخص‌های ارزیابی به شرح جدول ۲ است. با استفاده از سه روش IDW، کریجینگ و اسپلاین به برآورد بارندگی در استان گلستان پرداخته شد. به‌طورکلی توزیع بارندگی در استان گلستان را می‌توان نتیجه اثر توپوگرافی و فاصله از دریا دانست به‌طوری‌که با افزایش ارتفاع و نزدیک شدن به دریا مقدار بارندگی افزایش پیدا می‌کند(زارع و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج جدول ۲ گویای این است از بین سه روش IDW، کریجینگ و اسپلاین با توجه به شاخص‌های ارزیابی، روش IDW از سایر روش‌ها عملکرد ضعیف‌تری داشته است. از آن‌جایی که این یک روش درون‌یابی قطعی است که ارزش یک سلول را بر اساس فاصله معکوس از نقاط نمونه اطراف بدون در نظر گرفتن ارتفاع تخمین می‌زند و بر این مبنا استوار است که در یک منطقه، اثر یک پارامتر بر نقاط اطراف یکسان نبوده و نقاط نزدیک‌تر، بیش‌ترین تأثیر، و نقاط با فاصله دورتر، کم‌ترین تاثیر را دارند، لذا هرچه فاصله از مبداء افزایش یابد اثر پارامتر بر نقاط موجود در منطقه کم‌تر می‌شود. بنابراین هرگاه داده‌ها از پراکندگی و تراکم زیاد برخوردار باشند نمی‌توان انتظار نتایج خوبی از این روش داشت. با توجه به جدول ۲ و مقادیر شاخص‌های ارزیابی به‌غیراز ماه مهر در بقیه ماه‌های سال روش IDW عملکرد بسیار ضعیفی داشته است که با پژوهش (Yang & Xing, 2021) و اسدزاده و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد آن‌ها نیز دقت روش IDW در برآورد بارندگی را نسبت به سایر روش‌ها به‌دلیل عدم توجه این روش به آرایش نقاط، کم‌تر ارزیابی کردند. در بین دو روش کریجینگ و اسپلاین، روش اسپلاین با توجه به شاخص‌های ارزیابی از عملکرد بالاتری برخوردار است و با پژوهش‌های زارع و همکاران (۱۳۹۵) و سکوتی اسکویی و همکاران (۱۳۹۶) که اظهار کردند دقت روش اسپلاین به‌دلیل استفاده این روش از توابع چند جمله‌ای و برازش یک تابع چند جمله بر داده‌های نمونه، مقادیر نامعلوم را برآورد می‌کند بیش‌تر از روش های دیگر است مطابقت دارد. نتایج این تحقیق با مطالعه یوسفی کبریا و همکاران (۱۴۰۰) که نشان دادند اگر در فاصله مکانی کوتاه اختلاف بین مقادیر بارندگی ایستگاه‌ها زیاد باشد، روش اسپلاین نمی‌تواند روش مناسبی باشد مغایریت دارد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-16]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.1.1]

شکل ۲- نقشه توزیع مکانی بارندگی ماهانه براساس روش IDW

Figure 2- Rainfall spatial distribution map using the IDW method

جدول ۲- نتایج ارزیابی کارایی روش‌های درون‌یابی

Table 2- Performance evaluation results of interpolation methods

ماه	روش IDW			روش اسپلاین			روش کریجینگ		
	NSE	RMSE	R^2	NSE	RMSE	R^2	NSE	RMSE	R^2
فروردین	0.1	18.68	0.2	0.88	6.71	0.89	0.62	12.19	0.65
اردیبهشت	-0.11	17	0.2	0.49	11.41	0.51	0.37	12.75	0.44
خرداد	0.18	10.9	0.31	0.74	6.15	0.78	0.65	7.07	0.7
تیر	0.22	13.49	0.41	0.49	10.9	0.57	0.48	10.94	0.59
مرداد	-0.12	15.69	0.13	0.33	11.56	0.5	0.23	12.91	0.34
شهریور	0.41	14.81	0.38	0.84	6.1	0.87	0.79	6.92	0.85
مهر	0.47	116.92	0.53	0.83	9.61	0.84	0.74	11.73	0.75
آبان	0.33	19.04	0.42	0.63	14.11	0.68	0.61	14.55	0.66
آذر	0.1	28.19	0.21	0.8	10.98	0.83	0.42	18.99	0.63
دی	0.3	13.77	0.4	0.75	8.16	0.79	0.57	10.73	0.67
بهمن	0.1	26.34	0.19	0.71	15.01	0.78	0.64	16.56	0.7
اسفند	0.23	21.02	0.23	0.92	6.77	0.92	0.62	14.74	0.68

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-16]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.1.1]

این روش در ماه‌های اسفند، فروردین، شهریور، مهر و آذر دارای بالاترین سطح عملکرد و در ماه‌های مرداد، اردیبهشت و تیر به‌ترتیب کم‌ترین سطح عملکرد را داشته است. از نظر فصلی نیز در زمستان جدول ۲ دارای عملکرد بالایی بوده است. در تخمین بارندگی برخی روش ها بیش‌تخمین و برخی کم‌تخمین هستند. روش‌های به‌کار رفته در این مطالعه در اکثر ماه‌ها کم‌تخمینی داشته و مقدار بارندگی را در اکثر ماه‌ها کم‌تر از مقدار واقعی تخمین زده‌اند. قابل‌ذکر است دو روش کریجینگ و اسپلاین ازنظر عملکرد روش‌ها برای برآورد بارندگی در ماه‌های شهریور، آبان و تیر تقریباً دارای نتیجه مشابهی است جدول ۲. لذا می‌توان با استفاده از مشتقات روش کریجینگ مانند کوکریجینگ با متغیر کمکی ارتفاع و با بهینه کردن وزن‌ها انتظار داشت نتایج بهتری با این روش به‌دست آید. (اسدزاده و همکاران، ۱۳۹۶) با توجه به این‌که اسپلاین از چندجمله‌ها استفاده می‌کند و این معادله چند جمله در یک فضای سطحی (دو بعدی) معادله‌ای را نمایش می‌دهد که صفحه‌ای از بین نقاط عبور می‌کند بنابراین با در نظر گرفتن وزن مناسب نقاط، نتیجه مناسب‌تری نسبت به بقیه روش‌ها داشته است بنابراین نتایج این روش از اعتبار خوبی در منطقه برخوردار است (امینی و همکاران، ۱۳۹۸ و زارع و همکاران، ۱۳۹۱). اغلب بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران و استان گلستان به‌خصوص در فصل تابستان از نوع فرارفتی است به‌طوری‌که ممکن است در یک منطقه بارندگی و در یک فاصله نزدیک به آن شاهد عدم وقوع بارندگی باشیم، بنابراین روش‌های درون‌یابی نمی‌تواند برآورد دقیقی از مقدار بارندگی ارائه کنند (غضنفری‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۰). این شرایط به‌ویژه در مناطقی‌که وضعیت توپوگرافی منطقه از نوع کوهستانی است احتمال خطا بالاتر می‌رود. پراکنش نامناسب ایستگاه‌های باران‌سنجی در بخش‌های از استان به‌ویژه نواحی دشتی شمال استان باعث عدم دسترسی به اطلاعات کافی برای برآورد مقادیر مکانی شده است. از دیگر محدودیت روش‌های درون‌یابی عدم وجود یک روش دقیق است که همه‌جا کاربرد داشته باشد (غضنفری‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۰). لذا برای برآورد بارندگی باید چندین روش مورد بررسی قرار گیرد تا روش مناسب برای هر منطقه تعیین شود.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف مقایسه کارایی برخی از روش‌های درون‌یابی و زمین آمار در برآورد توزیع مکانی متغیر بارندگی استان گلستان انجام گرفت. داده‌های بارندگی در مطالعات مختلف منابع طبیعی، آبخیزداری و منابع آب دارای اهمیت بالایی است. در برخی مناطق به دلایل مختلف مانند نبودن ایستگاه‌های هواشناسی و یا تازه تأسیس بودن این ایستگاه‌ها اطلاعات مناسب و کاملی از بارندگی در اختیار نیست و بدون در دست داشتن چنین داده‌هایی امکان برنامه‌ریزی صحیح فراهم نیست. بر اساس روش‌های تحلیل مکانی نحوه تعمیم عوامل هیدرولوژیکی و اقلیمی که در نقاط ایستگاه‌ها اندازه‌گیری می‌شود سطح منطقه مورد مطالعه مورد توجه قرار می‌گیرند. این هدف زمانی‌که سطح منطقه مورد مطالعه وسیع باشد و تعداد نقاط اندازه‌گیری کم بوده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش دقت روش‌های مختلف درون‌یابی ارزیابی شد و این ارزیابی از طریق تجزیه و تحلیل میانگین ۱۵ ساله بارش به کمک نرم‌افزار ArcGIS و GS+ صورت گرفت. نتایج این پژوهش بیانگر کارایی بالای روش اسپلاین نسبت به سایر روش‌های مورد استفاده است. تغییرات منطقه‌ای بارش و اهداف مرتبط با برآورد بارش رابطه مستقیمی با تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی یک منطقه دارد. ایستگاه‌های باران‌سنجی در برخی مناطق استان به خصوص نواحی کوهستانی و جنوب استان با تعداد زیاد و تراکم مناسب و در تعدادی از مناطق مانند نواحی شمالی و دشتی استان تعداد ایستگاه کافی برای برآورد بارش وجود ندارد. به‌دلیل این‌که روش اسپلاین توانایی برآورد مقادیر بالاتر از حداکثر داده‌های موجود و پایین‌تر از حداقل داده موجود را دارد در مناطقی که تراکم ایستگاه‌ها مناسب باشد کارایی بالائی دارد. با توجه به اهمیت استفاده از روش‌های درون‌یابی و زمین‌آمار در برآورد بارندگی انجام چنین مطالعه در مناطق مختلف ضرورت دارد. پیشنهاد می‌شود برای مطالعه بارندگی استان گلستان، این استان به دو منطقه همگن کوهستانی و دشتی تقسیم شود و روش‌های درون‌یابی برای هر منطقه به‌صورت جداگانه انجام شود. با توجه به این‌که در مناطق کوهستانی استان پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی بهتر از مناطق دشتی است در مناطق دشتی با تغییر در آرایش فضایی می‌توان باعث بهبود صحت روش‌های درون‌یابی شد. روش‌های درون‌یابی با توجه به نوع متغیر ،منطقه مورد مطالعه، تراکم و نحوه آرایش نقاط اندازه‌گیری دقت متفاوتی دارند. روش مناسب برای تحلیل مکانی بارندگی به عوامل مؤثر بارندگی وابسته است. لذا ضمن دقت لازم در انتخاب نوع روش متناسب با منطقه نمی‌توان روش‌های مناسب برای منطقه دشتی با آب و هوای خشک و نیمه‌خشک را به‌راحتی به منطقه دیگر تعمیم داد. استفاده از مدل‌های برآورد بارندگی بر پایه تصاویر ماهواره‌ای که قدرت مکانی و زمانی خوبی برخوردار هستند می‌توانند جایگزین خوبی برای روش‌های درون‌یابی باشند.

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-16]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.1.1]

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

حمایت مالی: این پژوهش در قالب پژوهش آزاد انجام شده است.

مشارکت نویسندگان: فرخنده آقاجان لیافو، مهرناز جاوید، محمدجوان محجوب دوست بخش‌های مختلف مقاله توسط نامبردگان انجام و نگاشته شد و حبیب نظرنژاد و سید پدرام نی‌نیوا به عنوان ایده‌پردازان و راهنماهای تیم در نگارش همراه نامبردگان بودند.

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: نویسندگان این مقاله، از اداره کل هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان به‌دلیل تامین اطلاعات و داده‌های مورد نیاز قدردانی و تشکر می‌کنند.

منابع

۱. اسدزاده، فرخ، احسان ملاحت، احسان، و شکیبا، سینا (۱۳۹۵). پیش بینی الگوی توزیع مکانی متوسط بارندگی سالانه منطقه ارومیه با استفاده از روش‌های زمین‌آماری. یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، ۱۱(۲۲)، ۹۵-۷۸. **https://doi.org/10.22084/nfag.2017.10079.1189**

۲. اسماعیلی، فریبا، و وفاخواه، مهدی (۱۴۰۱). ارزیابی مقایسه‌ای کارایی روش‌های درون‌یابی در برآورد بارندگی سالانه و ماهانه حوضه آبخیز دریاچه نمک. ترویج و توسعه آبخیزداری، ۱۰(۳۶)، ۱۱-۱. **https://civilica.com/doc/1866716**

۳. امینی، محمدامین، ترکان، غزاله، اسلامیان، سید سعید، زارعیان، محمدجواد، و بسالت پور، علی اصغر، (۱۳۹۸). تحلیل دقت روش‌های پهنه‌بندی بارش بر پایه تکنیک‌های درون‌یابی مکانی در حوضه آبریز زاینده‌رود. علوم آب و خاک، ۲۳(۱)، ۳۰-۱۷. **doi: 10.29252/jstnar.23.1.2**

۴. جنت‌رستمی، سمیه، و صلاحی، علی (۱۳۹۹). طراحی شبکه پایش کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک. فصلنامه علوم محیطی, ۱۸(۲)، ۱۹-۴۰. **doi: 10.29252/envs.18.2.19**

۵. حبشی، هاشم، حسینی، سیدمحسن، محمدی، جهانگیر، و رحمانی، رامین (۱۳۸۵). کاربرد تکنیک زمین‌آمار در مطالعات خاک‌های مناطق جنگلی. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(۱)، ۲۷-۱۸. **https://sid.ir/paper/8977/fa**

۶. دایی‌چینی، فاطمه، وفاخواه، مهدی، و ذبیحی سیلابی، مصطفی (۱۳۹۹). ارزیابی کارایی روش‌های زمین‌آماری در برآورد بارندگی در حوزه آبخیز هراز. ترویج و توسعه آبخیرداری، ۸(۳۱)، ۴۱-۲۷. **https://www.wmji.ir/article_254377.html**

۷. زارع، آرش، نصیری، معصومه، شیدای کرکج، اسماعیل، و شیخ، واحدبردی (۱۳۹۱). بررسی کارایی روش‌های جبری میان‌یابی توزیع بارش (مطالعه موردی: استان گلستان). حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی، ۱(۴)، ۱۱-۱. **magiran.com/p1165536**

۸. زندکریمی، آرش، و مختاری، داود (۱۳۹۷). ارزیابی دقت روش‌های مختلف درون‌یابی در تخمین مقادیر بارش جهت انتخاب بهینه‌ترین الگوریتم (مطالعه موردی: استان کردستان). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۰(۲)، ۳۳۸-۳۲۳. **10.22059/JPHGR.2018.125446.1006722**

۹. سالاری‌فر، مبارک (۱۴۰۱). مقایسه عملکرد روش‌های جبری و زمین‌آمار در تعیین تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت تبریز. هیدروژئولوژی، ۷(۲)، ۱۷۱-۱۶۰.

۱۰. سکوتی اسکویی، رضا، نیک‌کامی، داود، و بروشکه، ابراهیم (۱۳۹۶). بررسی شاخص فرسایندگی باران استان آذربایجان غربی برای تهیه نقشه هم فرسای بارندگی. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۸ (۱۵)، ۴۴-۳۶. **10.29252/jwmr.8.15.36**

۱۱. شعبانی، محمد (۱۳۸۹). ارزیابی روش‌های زمین آمار در برآورد بارندگی سالانه استان فارس. مهندسی منابع آب، ۳(۶)،۳۴-۲۷. **https://www.sid.ir/paper/169491/fa**

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-16]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.1.1]

۱۲. عساکره، حسین، و مازینی، فرشته (۱۳۸۹). بررسی احتمال وقوع روزهای خشک در استان گلستان با استفاده از مدل زنجیره مارکوف. جغرافیا و توسعه، ۸(۱۷)، ۴۴-۲۹. **https://www.sid.ir/paper/77127**

۱۳. غضنفری‌مقدم، محمدصادق، علیزاده، امین، موسوی‌بیگی، سید محمد، فرید حسینی، علیرضا، و بنایان اول، محمد (۱۳۹۰). مقایسه مدل PERSIANN با روش‌های درون یابی به‌منظور کاربرد در تخمین مقادیر بارندگی روزانه. آب و خاک، ۲۵(۱)، ۲۰۷-۲۱۵. **https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.8523**

۱۴. فتحی‌زاد، حسن، کریمی، حاجی، و تازه، مهدی (۱۳۹۳). بررسی الگوریتم‌های مختلف زمین‌آماری جهت پهنه‌بندی بارش سالیانه استان ایلام. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۴(۳۵)، ۱۵۴-۱۳۹. **http://jgs.khu.ac.ir/article-2182-1fa.html**

۱۵. کاراندیش، فاطمه، ابراهیمی، کیومرث، و پرهمت، جهانگیر (۱۳۹۸). افزایش دقت تحلیل‌های زمین آماری با کاربرد روش‌های برون یابی و همگن‌بندی در بارش روزانه حوضه کارون. تحقیقات آب و خاک ایران، ۸۰(۳)، ۷۲۴-۷۱۳. **10.22059/IJSWR.2018.257870.667912**

۱۶. مساعدی، ابوالفضل، خلیلی‌زاده، مجتبی، و محمدی استادکلایه، امین، (۱۳۸۷). پایش خشکسالی هواشناسی در سطح استان گلستان. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵(۲)، ۱۸۲-۱۷۶. **https://www.sid.ir/paper/9659**

۱۷. نادی، مهدی، جامعی، مژده، بذرافشان، جواد، و جنت‌رستمی، سمیه (۱۳۹۱). ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه (مطالعه موردی: استان خوزستان). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۴(۴)، ۱۱۷-۱۳۰.

۱۸. نبی‌پور، یوسف، و وفاخواه، مهدی (۱۳۹۵). مقایسه روش‌های مختلف زمین آمار برای برآورد بارندگی در حوزه آبخیز حاجی قوشان. مرتع و آبخیزداری، ۶۹(۲)، ۵۰۲-۴۸۷. **https://doi.org/10.22059/jrwm.2016.61698**

۱۹. نوری، زهرا، سلاجقه، علی، ملکیان، آرش، و مقدم نیا، علیرضا (۱۳۹۶). بررسی تأثیر بهترین اقدامات مدیریتی در کاهش منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای آب با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سیمره، رودخانه سیمره).تحقیقات آب و خاک ایران، ۲۸(۵)، ۹۹۵-۱۰۰۶. **https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.225610.667617**

۲۰. یوسفی کبریا، علیرضا، نادی، مهدی، و جامعی، مژده (۱۴۰۰). بررسی روش‌های آماری و زمین آماری در تهیه نقشه هم‌بارش استان مازندران. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۲(۲۳)، ۲۲۳-۲۱۲. **http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-1075-fa.html**

References

1. Amini, M.A., Torkan, G., Eslamian, S.S., Zareian, M.J., & Besalatpour, A.A. (2019). Accuracy analysis of precipitation regionalization methods based on spatial interpolation techniques in Zayandeh-Rud River Basin. *JWSS-Isfahan University of Technology*, *23*(1), 17-30. https://www.magiran.com/p1985871. [In Persian]
2. Antal, A., Guerreiro, P. M., & Cheval, S. (2021). Comparison of spatial interpolation methods for estimating the precipitation distribution in Portugal. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(3), 1193-1206. https://doi.org/10.1007/s00704-021-03675-0
3. Asadzadeh, F., Ehsan Malahat, E., & Shakiba, S. (2017). Prediction of the spatial distribution pattern of precipitation using geostatistical methods in Urmia region. *New Findings in Applied Geology*, 11(22), 87-95. https://doi.org/10.22084/nfag.2017.10079.1189. [In Persian]
4. Asakereh, H., & Mazinei, F. (2010). Investigation of dry day's occurrence probability in golestan province using Markove Chain Model. Geography and Development, 8(17), 29-44. https://www.sid.ir/paper/77127. [In Persian]
5. Bashi Islam Govay, M., & Hama Karim, T. (2023). Comparative Analysis of Different Techniques for Spatial Interpolation of Rainfall Datasets in Duhok Governorate. The Seybold Report, 18 (1), 2541-2555. https://doi.org/10.17605/OSF.IO/8Z4TD
6. Ceron, W. L., Andreoli, R. V., Kayano, M. T., Canchala, T., Carvajal-Escobar, Y., & Souza, R. A. (2021). Comparison of spatial interpolation methods for annual and seasonal rainfall in two hotspots of biodiversity in South America. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, *93*(1), e20190674. DOI: 10.1590/0001-3765202120190674
7. Daechini, F., Vafakhah, M., & Zabihi Silabi, M. (2021). Performance evaluation of geostatistics methods for rainfall estimation in Haraz Watershed. *Extension and Development of Watershed Management*, 8(31), 27-41. https://sid.ir/paper/162285. [In Persian]
8. Esmaeili, F., & Vafakhah, M. (2022). A comparative evaluation of interpolation methods for estimating annual and monthly rainfall in the Namak Lake watershed, Iran. *Extension and Development of Watershed Management*, 10(36), 1-10. https://www.wmji.ir/article_254986. [In Persian]

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-16]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.1.1]

9. Fagandini, C., Todaro, V., Tanda, M.G., Pereira, J.L., Azevedo, L., & Zanini, A. (2023). Missing rainfall daily data: a comparison among gap-filling approaches. *Mathematical Geosciences*, 56(2), 191-217. https://doi.org/10.1007/s11004-023-10078-6
10. Fathizad, H., Karimi, H., & Tazaeh, M. (2015). Investigation of different geostatistical algorithms in order to zonation of yearly rainfall in Ilam province. *Applied Researches in Geographical Researches*, 14(35), 139.154. http://jgs.khu.ac.ir/article-۲۱۸۲-۱-fa.html. [In Persian]
11. Goovaerts, P., (1999). Using elevation to aid the geostatistical mapping of rainfall erosivity. *Catena*, 34 (3-4), 227-242. https://doi.org/10.1016/S0341-8162(98)00116-7
12. Govay, B.I., & Hama Karim, T.A.R.I.Q. (2023). Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall datasets in Duhok Governorate. *The Seybold Report*, *18*(1), 2541-2555. https://doi.org/10.17605/OSF.IO/8Z4TD
13. Habashi, H., Hosseini, S.M., Mohammadi, J., & Tahmani, R. (2007). Geostatistic applied in forest soil studying processes. *Journal of Agricultural in Sciences and Natural Resources*, 14(1), 18-27. https://www.sid.ir/journal/24/en. [In Persian]
14. Himanshu, S. K., Pandey, A., Yadav, B., & Gupta, A. (2019). Evaluation of best management practices for sediment and nutrient loss control using SWAT model. *Soil and Tillage Research*, 192, 42-58. https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.016
15. Janatrostami, S., & Salahi, A. (2020). Design of the optimal groundwater quality monitoring network using a genetic algorithm based optimization approach. Environmental Sciences, 18(2), 19-40. 10.29252/envs.18.2.19. [In Persian]
16. Karandish, F., Ebrahimi, K., & Porhemmat, J. (2019). Increasing the accuracy of geostatistical assessments involving extrapolation and zonal classification techniques: case study of Karun basin daily rainfall, Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(3), 713-724. 10.22059/IJSWR.2018.257870.667912. [In Persian]
17. Moghadam, G., Alizadeh, A., Mousavi Baygi, M., Farid-Hosseini, A. R., & Bannayan Aval, M. (2011). Comparison the PERSIANN Model with the Interpolation Method to Estimate Daily Precipitation (A Case Study: North Khorasan). *Water and Soil*, 25(1), 207-215. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.8523. [In Persian]
18. Mosaedi, A. A. F., Khalilizadeh, M., & Ostadkelayeh, A. M. (2008). Drought monitoring in Golestan Province. *International Journal on Food, Agriculture and Natural Resources*, 15(2), 182-176. https://www.sid.ir/paper/9659. [In Persian]
19. Nabipour, Y., & Vatakhah, M. (2015). Comparison of Different Geostatistical Methods for Estimating Rainfall in Hajighoshan Watershed. *Journal of Range and Watershed Management*, 69(2), 487.502. https://doi.org/10.22059/jrwm.2016.61698. [In Persian]
20. Nadi, M., Jamei, M., Bazrafshan, J., & Janatrostami, S. (2012). Evaluation of different methods for interpolation of mean monthly and annual precipitation data (Case Study: Khuzestan Province). Physical Geography Research, 44(4), 117-130. [In Persian]
21. Noori, Z., Salajegheh, A., Malekian, A., & Moghadamnia, A. (2018). Investigating the effects of best management practices on the reduction of point and non-point source pollution of water using SWAT model (Case Study: Seimareh River). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(5), 995-1006. https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.225610.667617. [In Persian]
22. Rata, M., Douaoui, A., Larid, M., & Douaik, A. (2020). Comparison of geostatistical interpolation methods to map annual rainfall in the Chéliff watershed, Algeria. *Theoretical and Applied Climatology*, 141, 1009-1024. https://doi.org/10.1007/s00704-020-03218-z.
23. Respati, S., & Sulistyo, T. (2023). The effect of the number of inputs on the spatial interpolation of elevation data using IDW and ANNs. *Geodesy and Cartography*, 49(1), 60-65. https://doi.org/10.3846/gac.2023.16591
24. Salarifar, M. 2023. Comparison of the performance of algebraic methods and statistical context in determining spatial changes in groundwater quality in Tabriz plain. *Hydrogeology*, 7(2), 160-171. 10.22034/HYDRO.2022.51375.1263. [In Persian]
25. Sanusi, W., Sidjara, S., Patahuddin, S., & Danial, M. (2024). A Comparison of Spatial Interpolation Methods for Regionalizing Maximum Daily Rainfall Data in South Sulawesi, Indonesia. *In ITM Web of Conferences (Vol. 58, p. 04003). EDP Sciences.* https://doi.org/10.1051/itmconf/20245804003
26. Shabani, M. (2010). Evaluation of geostatistical methods in estimation of yearly rainfall in Fars Province. *Water Resources Engineering*, 3(6), 27-34. 20.1001.1.20086377.1389.3.6.3.8. [In Persian]

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-16]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.1.1]

27. Sokouti, R., Nik Kami, D., & Brooshkeh, E. (2017). Study of rain erosivity index of West Azarbaijan Province for rain iso-erosive mapping. *Journal of Watershed Management Research*, 8(15), 36-44. 10.29252/jwmr.8.15.36. [In Persian]
28. Vimelia, W., Azis, C. C., & Purwani, S. (2024). Prediction of rainfall data in the DKI Jakarta area using cubic spline interpolation. *Reading*, 192, 76-87. https://worldscientificnews.com/
29. Yang, R., & Xing, B. (2021). A comparison of the performance of different interpolation methods in replicating rainfall magnitudes under different climatic conditions in Chongqing province (China). *Atmosphere*, 12(10), 1318. https://doi.org/10.3390/atmos12101318.
30. Yasmin, A. A., Azahra, A.S., & Purwani, S. (2024). The application of cubic spline in rainfall modelling in Bogor and its impact on paddy production. *Communications in Mathematical Biology and Neuroscience*, https://doi.org/10.28919/cmbn/8430
31. Yousefi Kebriya, A., Nadi, M., Ghanbari Parmehr, E., & Sun, Z. (2025). Assessment of some environmental stresses in the Shadegan wetland: Analysis of satellite data, water quality indicators, and dust storm pathways. *Iranica Journal of Energy & Environment*, 16(2), 372-388. https://doi.org/10.5829/ijee.2025.16.02.17. [In Persian]
32. Zandkarimi, A., & Mokhtari, D. (2018). Accuracy of various interpolation methods in estimating rainfall values to select the most optimal algorithm (Case study: Kurdistan Province). Physical Geography Research, 50(2), 323-338. 10.22059/JPHGR.2018.125446.1006722. [In Persian]
33. Zare, A., Nasiri, M., Sheidai, E., & Sheikh, V. B. (2012). Assessment of deterministic interpolation methods for estimating spatial distribution of precipitation (Case study: Golestan province). Conservation and Utilization of Natural Resources, 1(4), 1-15. magiran.com/p1165536. [In Persian]

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-16]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.1.1]