



University of
Sistan and Baluchestan



Association of Geography
and Planning
of Border Areas of Iran

Evaluating Rain Erosivity Indices Using Geostatistical Techniques in GIS Environment (Case Study: Golestan Province)

Saleh Arekhi^{1✉}, Masoud Mahammd Ghasemi²

1. Department of Geography, Human Sciences College, University of Golestan, Golestan, Iran.

✉ E-mail: s.arekhi@gu.ac.ir

2. MS.c Student, Human Sciences College, Golestan University, Gorgan, Iran.

E-mail: m.ghasemi98@stu.gu.ac.ir



How to Cite: Arekhi, S & Mahammd Ghasemi, M. (2022). Evaluating Rain Erosivity Indices Using Geostatistical Techniques in GIS Environment (Case Study: Golestan Province). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 12 (42), 101-108.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22111/GAIJ.2022.6983>

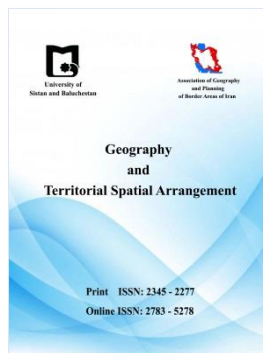
Article type:

Research Article

Received: 22/06/2021

Revised: 03/11/2021

Accepted: 27/11/2021



ABSTRACT

Today, Soil erosion is considered as one of the important issues of watershed management at the national and global levels. Estimating risk of soil reduction and its spatial distribution is one of the key factors for successful assessment of soil erosion. Rain erosivity index is the most important factor affecting soil erosion and is a function of the physical properties of rain. The aim of this study is to evaluate and model rainfall erosivity indices using geostatistical techniques. In the present study, rain erosivity in Golestan province has been modeled and estimated through Fournier, modified Fournier, IAS and Ciccacci models and based on the 20-years statistical period (1999 to 2019) of the Meteorological Organization stations. After calculating the Rain erosivity factor for the desired stations, using inverse distance method (IDW), universal polynomial interpolation (GPI), radial basis function (RBF) and Kriging interpolation, map of rain erosivity indices of the province were drawn and to select the best interpolation method, the statistical indices of root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE) and mean basis error (MBE) were used. The results showed that the modified Fourier method is the best index (based on RMSE, MAE and MBE less in all four interpolation methods) and the radial basis function method is the best method among the methods used to estimate of rain erosivity. The results also showed that the rate of rain erosivity in the central areas of the province, especially the Gorganrood watershed and also eastern north and north of province with average minimum and maximum annual rainfall (216.1 and 776.9) and several points in the southwest of the province with average minimum and maximum annual rainfall (2/205 and 751) have more than the amount of rain erosion coefficient that such changes are affected by the pattern of rainfall distribution, intensity and topographic characteristics. The study of rain erosivity power of Golestan province shows that the pattern of rain erosivity distribution is significantly affected by the average rainfall of the region. So that the amounts of erosivity and average rainfall in this province are consistent and show almost the same pattern of behavior.

Keywords:

Erosion, Rain Erosivity Indices, Geostatistics, Golestan Province.



© the Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

Extended Abstract

Introduction

Rain erosivity is known as a key factor affecting erosion. Accurate knowledge of the quantitative amount of rain erosivity in an area is considered as a first step in sustainable soil and water management. Quantitatively, rain erosivity refers to the feature that has the highest correlation with soil loss (Nazarejad et al., 2018: 89). If other characteristics affecting erosion are considered constant, the amount of soil loss will be directly proportional to the amount of rain erosivity (Salarvand et al., 2019: 57). The erosivity power of rain has a great role in soil erosion and able to the showing of erosion potential in the target areas (Morgan, 1995: 198). The rain erosivity can be divided into two groups: the first group is based on kinetic energy and rainfall intensity and the second group is based on easy stature. Among the globally accepted items in the first group are the Wischmeier-Smith index, the Hudson index, and the Oncho index, and the second group includes the Fournier, Morgan, Hernandez, and Rose indices (Safarrad et al., 2009). Predicting soil erosivity is necessary for optimal land management as well as soil use (Oliveira, 2013: 143). Rainfall erosivity as a dynamic factor can affect forestry, agriculture, hydrology, water management and ecosystem services. Therefore, rainfall erosion mapping can be used in decision making (Wang, 2002: 149). Determining the most appropriate interpolation method at the level of an area and explaining how its spatial and spatial distribution is necessary to estimate the spatial distribution of precipitation and subsequent rain erosion. Many researchers have compared and evaluated different interpolation methods, which shows the importance of the issue in reducing the error due to method selection.

The purpose of this study is to estimate the rain erosivity coefficient using the obtained relationships between the erosion coefficient and quantity-based indicators in order to draw a map of rain erosivity status in Golestan province. However, the calculation of indicators and the preparation of the best rain erosivity map has not been done separately for Golestan province. This study will help identify areas of the province with high erosion potential for management planning. In this regard, considering the importance of the subject under study, the general purpose of research is to evaluate and model rainfall erosivity indices using geostatistical techniques in the GIS environment.

Study Area

Golestan province is located between 53 degrees and 51 minutes to 56 degrees and 22 minutes east longitude and 36 degrees and 30 minutes to 38 degrees and 8 minutes north latitude in the northern part of the country. This province is limited to Turkmenistan from the north, to Semnan province from the south, to North Khorasan province from the east and to the Caspian Sea and Mazandaran province from the west. Golestan province is located in the northern temperate region, which plays an effective role in the province's climate. The area of Golestan province is 20430.92 square kilometers, of which the equivalent of 8348 square kilometers includes the plains of the province, of which approximately 37.5 percent (3128 square kilometers) is the low coastal plain and 62.5 percent (square kilometers) is the wavy plain.

Material and Methods

In this study, the erosivity power of rain with different indicators such as Fournier model (Fournier, 1960: 198 Morgan, 1995), modified Fournier (Arnoldus, 1980: 127-132), IAS (Lal and Elliot, 1994: 181-208) and Ciccacci (Hadley et al. 1985: 127) and determining the best interpolation method for use in preparing rain erosion map in Golestan province. The reason for choosing Golestan province is that in the initial studies, it was found that this province has good rainfall statistics for research and the number and distribution of meteorological stations and rainfall stations are appropriate. By examining the rainfall data of the stations, a statistical period of 20 years was determined and it was used to determine the erosivity power of rain with different indicators. Because the parameters of these four indicators are parameters from which appropriate statistical information is available, and since interpolation algorithms are one of the most common methods for preparing maps and information required for analysis with GIS. In this study, some interpolation methods (deterministic and statistical) have been studied to prepare a map of rain erosivity power in the area. The following four indicators used in this study will be described.

The Fournier index and the modified Fournier have a high application and accuracy, which is why it has been researched by several researchers (Ahmadi et al., 2011: 1-14; Rezaei et al., 2014: 103). Using data from 78 watersheds, Fournier has proposed two different methods for sediment estimation. In the equations presented by Fournier, a direct relationship was found between the average annual sediment production and the ratio $\frac{p^2}{p}$.

This climatic ratio is known as the Fournier index and is used as the index of rain erosivity (Fournier, 1965: 38). The Fournier index is obtained from Equation 1:

$$F = \frac{Pi^2}{p} \quad \text{equation 1}$$

Where Pi is the maximum monthly rainfall (the wettest month of the year) and p is the average annual rainfall. Subsequently, the Fournier index was modified into Figure 2 and was widely used as an accessible index among the easily accessible indices.

$$MF = \frac{\sum_{i=1}^{12} Pi^2}{p} \quad \text{equation 2}$$

Where Pi is the rainfall of the 1st month, the average annual rainfall during the statistical period and MF is the modified Fourier index.

Index Ciccacci et al. 1985: 127 (Hadley) is calculated using Equation 3:

$$\frac{p}{\sigma} \quad \text{equation 3}$$

Where, P, average annual rainfall and σ , standard deviation of monthly rainfall values

IAS index (Lal, 1976: 389-401) is calculated using Equation 4:

$$m_{1stmax} + m_{2stmax} \quad \text{equation 4}$$

Where m_{1stmax} = the first maximum monthly rainfall per year and m_{2stmax} = the second maximum monthly rainfall per year.

Result and Discussion

Of the total meteorological stations of the Ministry of Energy and the Meteorological Organization in the country, about 31 stations have statistics for more than 20 years that have been used to determine rain erosion.

In this study, to investigate rain erosivity in Golestan province in terms of location and map in Golestan province, first rain erosivity was calculated with Fournier, modified Fournier, IAS and Ciccacci indices in meteorological stations. Then, using interpolation methods, these indicators were retrieved in all stations. Finally, by evaluating different interpolation methods and selecting the best interpolation method, an erosivity map was prepared in the province. The skewness coefficient is below one in all four cases and due to the low skewness, all four indicators follow the normal distribution.

In this study, a variogram was used to show the spatial correlation between rain erosivity data. Variograms were then used to fit the data to show the spatial correlation between the data in a more favorable way than other variograms. For this, the ratio between the piece effect and the variogram ceiling was used. If the ratio of the effect of a piece on the variogram ceiling is less than 0.25, there is a strong spatial correlation between the data.

If this ratio is between 0.25 and 0.75, the spatial correlation is moderate and if it is more than 0.75%, the spatial correlation between the data is low or there is no correlation. For this reason, this ratio was used to select the type of variogram. According to the parameters obtained for fitted variograms, a spherical variogram with a value of 0.10 modeled the best correlation between the data and was used for interpolation. Mir Mousavi et al. (Mir Mousavi et al., 2010: 112) introduced the conventional kriging method with spherical variogram to estimate the rainfall distribution using the geographic information system in Isfahan province as a better method than other kriging geostatistical methods. Also, Akhavan et al. (Akhavan et al., 2006: 95) used spherical variogram in estimating the spatial structure and volumetric inventory of Caspian forests using geostatistical method. Due to the fact that the variogram shows a trend in all directions, so no anisotropy was observed in the region.

According to the results, the amounts of rain erosivity have a significant correlation with changes in rainfall, so that areas with high and low rainfall have high and low erosivity, respectively. Therefore, rain erosivity values obtained from precipitation data can be used as a good estimate of the erosion potential of the region. It should be noted that the rain erosivity map only shows the erosion potential due to rain erosion and other factors affecting erosivity in the region, including soil erodibility, topography, vegetation and land use and management in the region can be examined.

Conclusion

The relationship between precipitation and rain erosivity factor can be a good accuracy to consider this factor as rain erosivity factor with R^2 value of 0.99. Da Silva (2004: 255) in Brazil reported a high correlation between changes in rainfall erosivity and changes in average annual rainfall. According to the results, the spherical facade change model is the preferred spatial structure on the data for zoning the quantity of rain erosivity power in Golestan province.

In order to quantify the effect of rain erosivity factor on the quantity of soil erosion, various indicators have been developed in various studies around the world. The aim of this study was to determine the best erosion index and also the best interpolation method in semi-humid climatic conditions of Golestan province. The purpose of this study is to determine the pattern of spatial changes of rain erosivity in Golestan province using four indices of Fournier, modified Fournier, IAS and Ciccacci.

Rain erosivity power was calculated in 31 rain gauge stations of Golestan province and to convert this point information into regional information, statistical based interpolation methods have been used. It is assumed that geostatistical methods can be used to estimate different indicators and one of these methods can be introduced as the superior method according to the conditions of the study area.

Based on the results presented in this research, among the four interpolation methods, RBF method has presented better results than the other three methods IDW, GPI and kriging. Because this model requires a set of input and output patterns to solve prediction problems, it has the ability to predict a spatial variable in an area as an independent interpolator. The results of this part of the research are consistent with the results of Apaydin et al. (2004: 35) and Ayouzi and Masaedi (1391: 57). Radial basis function (RBF) interpolation can be applied to noisy data that is irregularly distributed over an area, and a smooth multivariate interpolation is performed on the data. This method has been used by researchers to intervene in various parameters; experiments show that it can produce good results in different applications. However, Kriging method was introduced as one of the most suitable methods for Switzerland (Meusberger et al, 2012: 172).

The results of this study showed that various geostatistical methods, considering the spatial autocorrelation of data, are well able to combine spatial correlation with GIS. Also, the variograms used in this study showed well that drawing variograms, in addition to proving rain erosivity data, can also model spatial correlation changes in different directions. Other things that can be mentioned to improve the interventions performed are the comparison of more experimental variogram models and the selection of variograms that show the best correlation (in this study, four different variogram models were used). If there are more rain stations, the interpolation accuracy can also be increased.

The distribution of rain erosivity factor by the method of radial base function shows that in the middle parts of the province, the amount of rain erosion is maximum and as we go south, north and east its amount decreases. Therefore, it can be concluded that the amount of rain erosivity is directly related to altitude and rainfall factors. However, by considering other influential parameters such as direction, slope and other parameters, it is effective in increasing the accuracy of estimating the rain erosivity factor through interpolation.

Considering that in the present study, the spatial changes of the rain erosivity index have been studied, it is recommended to study its temporal changes for different seasons. The results and output information of this study can be used to estimate the amounts of erosion and sediment and prioritize the regions of Golestan province to implement erosion and sediment control projects.

Key words: Erosion, Rain Erosivity Indices, Geostatistics, Golestan Province.

References (Persian)

Ahmadi, Hassan; Javadi, Mohammad Reza; Salavati, agate. (2014). Zoning of rain erosivity by Fournier method using some interpolation methods (Case study: Qazvin province). Iranian Journal of Natural Ecosystems, Islamic Azad University, Noor Branch, Volume 5, Volume 2, Pages 1-14.

http://nejournal.iaunour.ac.ir/article_520558_1f7488d491ac81f272d2dc1786208ac3.pdf

Akhavan, Reza; Zubiri, Mahmoud; Zahedi Amiri, Qawamuddin; Nemiranian, Manouchehr; Mandalaz, Daniel. (2006). Investigation of spatial structure and estimation of volume inventory of Caspian forests using volume inventory of Caspian forests using geostatistical method. Journal of Natural Resources. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Volume 58, Number 1, pp. 89-101.

<https://www.sid.ir/FileServer/JF/56513850107.pdf>

Saghafian, Bahram; Razmkhah, Homa; Red Cheshmeh, Baqir. (2011). Investigation of annual precipitation changes using geostatistical methods (Case study: Fars province). Journal of Water Resources Engineering, Islamic Azad University, Marvdasht Branch, Fourth Year, No. 9, pp. 28-38.

http://wej.miau.ac.ir/article_1629_3424ad1c420f51cf1e7f7e77245bc632.pdf

Hasani Pak, Ali Asghar. (1998). Geostatistics. Tehran: University of Tehran Press. 314 p.

<https://www.adinehbook.com/gp/product/9640340219>

Hasani Pak, Ali Asghar.(2007). Geostatistics. Tehran: University of Tehran, 380 pages.

<https://eshraghipub.com/Detail>

Rezaei, Peyman; Faridi, Butterfly; Ghorbani, Mansour; Kazemi, Mohammad (2014). Estimation of soil erosion using RUSLE model and identification of its most effective factor in Gabrik watershed-southeast of Hormozgan province, Auxiliary geomorphological research, Iranian Geomorphological Association, Third year, number 1, pp. 137-97.

<http://ensani.ir/file/download/article/20160105163012-10010-82.pdf>

Salarvand, Javad; Ghasami Agabash, Farahad; Asadollahi, Zahra .(2018). Preparation of rain erosion map of Lorestan province using Kriging statistical method, Climatological Research, Meteorological Organization - Climatological Research Institute, No. 36, pp. 57-72.

http://clima.irimo.ir/article_92044_973ed7d5e274d48d2e208b0bc383984c.pdf

Sadeghi, Seyed Hamidreza; Zabihi, Mohsen (2018). Simultaneous analysis of changes in Fornier erosion indices and standardized rainfall in North Khorasan Province, Watershed Engineering and Management, Research Institute of Soil Conservation and Watershed Management in collaboration with the Iranian Watershed Management Association, Volume 10, Number 4, pp. 506-515.

https://jwem.areeo.ac.ir/article_117879_7a536db68b1ed44da728848095e53773.pdf

Alizadeh, Amin (1989). Soil erosion and protection (translation). Astan Qadi Razavi Publications (Department of Cultural Affairs), 258 p.

<http://www.lib.ir> > book

Ayouzi, Masoumeh; Masaedi, Abolfazl (2012). Investigation of spatial distribution pattern of precipitation in Golestan province using definite models and statistical geography. Journal of Water and Soil. Ferdowsi University of Mashhad, Volume 26, Number 1, pp. 64-53.

https://jsw.um.ac.ir/article_35801_01f3c461a2466154e089b9024b396a48.pdf

Gholami, Hamid; Fathazade, Hasan; Safari, Atta; Needless, Mehdi. (2015). Estimation of Rain Erosion Factor Using Geostatistical Algorithms (Case Study: Ilam Province), Journal of Environmental Erosion Research, Hormozgan University, Volume 5, Number 4, pp. 1-16.

<http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-256-fa.pdf>

Adeli, Behzad; Gholami, Hamid; Nafzadegan, Alireza (2016). Investigation of the characteristics of spatial distribution pattern of rain erosion in Hormozgan province. Quantitative Geomorphology Research, Iranian Geomorphological Association, Volume 5, Number 2, pp. 94-109.

<https://www.sid.ir/FileServer/JF/4032413950207.pdf>

Garime Zahra; Arabkhodari, Mahmoud; Asadi, Hussein; Bayat; Reza. (2017). Suspended sedimentation changes under the influence of rain erosion cycle in Sorkhab watershed. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, Iranian Watershed Management Association, Volume 11, Number 38, pp. 61-72.

<http://jwmsei.ir/article-1-640-fa.pdf>

Mokhtari, Davood; Valizadeh, Kamran; Khalil, Moradi; Absolute, Ehsan. (2019). Investigating the role of changing interpolation methods for R factor production in estimating soil erosion of catchments by RUSLE method (Case study: Balaroud catchment), Quantitative Geomorphology Research, Iranian Geomorphological Association, Volume 8, Number 3, pp. 222-241.

<https://www.sid.ir/FileServer/JF/4032413980313.pdf>

MirMusavi, Sayed Hussein; Mazidi, Ahmad; Khosravi, Younes (2010). Determining the best statistical method for estimating rainfall distribution using GIS (Case study: Isfahan province), Geographical Space, Islamic Azad University, Ahr Branch, Volume 30, Number 10, pp. 105-120.

<https://www.sid.ir/FileServer/JF/40013893006.pdf>

Nazarnejad, Habib; Shah Hussein, Tara; Asadzadeh, Farrokh. (2018). Spatial and temporal changes of rain erosion in West Azerbaijan province. *Geography and Environmental Sustainability*, Razi University, Volume 8, Number 2, pp. 89-99.

https://ges.razi.ac.ir/article_921_99e85dc89a692eac5e9b58b31a9274bf.pdf

Nikokami, David; Mahdian, Mohammad Hussein (2014). Preparation of a suitable index of rain erosivity in the country. *Watershed Engineering and Management*, Research Institute of Soil Conservation and Watershed Management in collaboration with the Iranian Watershed Management Association, Volume 6, Number 4, pp. 364-376.

https://jwem.areeo.ac.ir/article_100819_07a772897256f7078a6e2eceb29b5951.pdf

Wafakhah, Mehdi; Mohsen Sarwi, Mohsen; Mahdavi, Mohammad; Alawi Panah, Sayed Kazem. (2008). Application of geostatistics in estimating snow depth and density in Orazan watershed. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, Iranian Watershed Management Association, Volume 2, Number 4, pp. 49-55.

<https://www.sid.ir/FileServer/JF/48813870405.pdf>

References (English)

Apaydian, H., Sonmez, K., Yildirim, E. (2004). "Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey". *Journal of Climate Research*, 28(1): 31-40.

https://www.researchgate.net/profile/HalitApaydin/publication/250221607_Spatial_Interpolation_Techniques_for_Climate_Data_in_the_Gap_Region_in_Turkey/inline/jsViewer/5a211b59aca272ab5a62334f?inViewer=1&pdfJsDownload=1&origin=publication_detail&previewAsPdf=false

Arnoldus, H.M.J. (1980). An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. In: De Boodt, M., Gabriels, D. Eds., *Assessment of Erosion*. Chichester, New York. pp. 127-132.

[https://www.scirp.org/\(S\(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1687726](https://www.scirp.org/(S(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1687726).

Da Silva, A.M. (2004). Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, 57(3), 251-259.

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/299519/mod_resource/content/0/Artigo%201%20-%20Silva%202004.pdf

Fournier, F. (1956). The effect of climatic factors on soil erosion estimates of solids transported in suspension in runoff. *Association Hydrologic Int. Public*, 38:6.

Fournier, F. (1960). *Climate and erosion*. Paris university of Paris.

Hadley, R.F., Lal, R., Onstad, C.A., Walling, D.E., Yair A. (1985). Recent developments in erosion and sediment yield studies. UNESCO, Paris, 127 pp.

Hasani Pak, A. 2013. *Geostatistics*. Tehran University Press, 314 (In Persian).

<https://eshraghipub.com/product/detail/55753/>.

Kouli, M., Souplos, P., Vallianatos, F. (2009). Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environment Geology*, 57: 483-497.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Soil-erosion-prediction-using-the-Revised-Universal-Kouli-Souplos/9b92e98c7dd4ac8aadedcdf398e20815541d0e871>.

Lal, R., Elliot, W. (1994). Erodibility and erosivity. In Lal, R. (ed.), *Soil erosion research methods*. Soil and Water Conservation Society. Ankeny. 181-208.

<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780203739358-8/erodibility-erosivity-lal-elliott>

Meusburger, K., Steel, A., Panagos, P., Montanarella, L., Alewell, C. (2012). Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 167-177.

https://doi.org/10.5194/hess-16-167-2012_2012.

Morgan, R.P.C. (1995). *Soil erosion and conservation* Addison-Wesley. London, 198p.

[https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=117218](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=117218)

Onori, F., Bonis, P.D., Grauso, S. (2006). Soil erosion prediction at the basin scale using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a catchment of Sicily (southern Italy). *Environ Geol*. 50: 1129-1140.

<https://doi.org/10.1007/s00254-006-0286-1>

Oliveira, P.T.S., Wendland, E., Nearing, M.A. (2013). Rainfall erosivity in Brazil: a review, *Catena*, 100:139–147.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.08.006>

Safarrad, T., Hashemi, S.H., Amini, J. (2009). Exploitation of Geostatistical Techniques on Rainfall Erosivity Modeling Using Fournier Method (case study: Bash gheslugh Catchment area) , Natinal Conference on GIS).

http://nejournal.iaunour.ac.ir/article_520558_1f7488d491ac81f272d2dc1786208ac3.pdf?lang=en

Tssung, C.K. (2004). Introduction to geographic information system, 2nd edition, Mc Graw Hill. 384 pages.

<https://www.amazon.com/Introduction-Geographic-Information-Systems-Kang-Tsung/dp/0072528117>

Wang, G., Gertner, G., Singh, V., Shinkareva, S., Parysow, P., Anderson, A. (2002). Spatial and temporal prediction and uncertainty of soil loss using the revised universal soil loss equation: a case study of the rainfall-runoff erosivity R factor. *Ecological Modeling*, 153:143–155.

[https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00507-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00507-5)

ارزیابی شاخص‌های فرساینده‌ی باران با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه‌ی موردی: استان گلستان)

صالح آرخی^{۱*}، مسعود محمدقاسمی^۲

مقاله پژوهشی

چکیده

امروزه فرسایش خاک به‌عنوان یکی از مباحث مهم مدیریت حوضه‌های آبخیز در سطح ملی و جهانی مطرح است. برآورد خطر کاهش خاک و توزیع مکانی آن یکی از عوامل کلیدی برای ارزیابی موفق فرسایش خاک است. شاخص فرساینده‌ی باران مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر فرسایش خاک بوده و تابعی از خصوصیات فیزیکی باران است. هدف پژوهش حاضر، ارزیابی شاخص‌های فرساینده‌ی باران با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار است. در تحقیق حاضر، فرساینده‌ی باران در استان گلستان از طریق مدل‌های فورنیه، فورنیه اصلاح‌شده، IAS و Ciccacci و براساس دوره‌ی آماری ۲۰ ساله (۱۳۷۸ تا ۱۳۹۸) ایستگاه‌های سازمان هواشناسی مدل‌سازی و برآورد شده است. پس از محاسبه فاکتور فرساینده‌ی باران برای ایستگاه‌های مورد نظر، با استفاده از روش‌های دورن‌یابی عکس فاصله (IDW)، درون‌یابی چندجمله‌ای جهانی (GPI)، تابع پایه‌ی شعاعی (RBF) و دورن‌یابی کریجینگ (Kriging)، نقشه‌ی شاخص‌های فرساینده‌ی باران استان ترسیم شد و در جهت انتخاب بهترین روش دورن‌یابی از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و میانگین خطای اریب (MBE) استفاده شد. نتایج نشان داد روش فورنیه اصلاح‌شده بهترین شاخص (بر مبنای RMSE، MAE و MBE کمتر در هر چهار روش دورن‌یابی) و روش تابع پایه‌ی شعاعی به‌عنوان بهترین روش در میان روش‌های مورد استفاده می‌تواند برای برآورد فرساینده‌ی باران مورد استفاده قرار گیرد. همچنین نتایج نشان داد که میزان قدرت فرساینده‌ی باران در نواحی مرکزی استان به‌خصوص حوضه آبخیز گرگانود و همچنین شمال و شمال‌شرق استان با میانگین حداقل و حداکثر بارش سالانه (۲۱۶/۱ و ۷۷۶/۹) و چند نقطه در جنوب غرب حوضه با میانگین حداقل و حداکثر بارش سالانه (۲۰۵/۲ و ۷۵۱) بیشترین مقدار ضریب فرساینده‌ی باران را دارا هستند که چنین تغییراتی می‌تواند متأثر از الگوی توزیع بارندگی، شدت آن و خصوصیات توپوگرافی باشد. بررسی قدرت فرساینده‌ی باران استان گلستان نشان می‌دهد که الگوی توزیع فرساینده‌ی باران به‌طور چشم‌گیری متأثر از میزان متوسط بارش منطقه است. به‌طوری‌که مقادیر فرساینده‌ی باران و متوسط بارش در این استان بر هم منطبق بوده و الگوی رفتاری تقریباً یکسانی را از خود نشان می‌دهند.

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای
 شماره ۴۲، بهار ۱۴۰۱
 تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۱
 تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۸/۱۲
 تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۶
 صفحات: ۱۰۱-۱۲۸



واژه‌های کلیدی:

فرسایش، شاخص‌های فرساینده‌ی باران، زمین‌آمار، استان گلستان.

مقدمه

خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی در هر کشوری است که فرسایش آن باعث بروز بسیاری از مشکلات انسانی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود. در ایران بیش از ۷۵ درصد خاک‌ها در معرض فرسایش هستند (علیزاده، ۱۳۶۵: ۱۶۵). فرسایش خاک و رسوب یکی از معضلاتی است که در بسیاری از کشورها وجود دارد که باعث از بین رفتن خاک‌ها، بروز سیلاب‌های شدید، کاهش عمر مفید سدها و مشکلات اقتصادی و اجتماعی می‌شود. در جهت توصیف قدرت باران در فرسودن خاک از شاخصی به‌نام فرساینده‌ی باران استفاده می‌شود که توانایی باران

را در از بین بردن پیوستگی و چسبندگی ذرات خاک نشان می‌دهد (علیزاد، ۱۳۶۵: ۱۵۰). فرساینده‌گی باران، به‌عنوان عامل کلیدی مؤثر بر فرسایش شناخته می‌شود. آگاهی دقیق از میزان کمی فرساینده‌گی باران در یک منطقه، به‌عنوان گام اولیه در مدیریت پایدار خاک و آب محسوب می‌شود. از نظر کمی، فرساینده‌گی باران به ویژگی از آن اطلاق می‌شود که دارای بیشترین همبستگی با میزان تلفات خاک باشد (نظرنژاد و همکاران، ۱۳۹۷: ۸۹). اگر سایر خصوصیات مؤثر بر فرسایش، ثابت در نظر گرفته شود، میزان هدررفت خاک مستقیماً متناسب با میزان فرساینده‌گی باران خواهد بود (سالاروند و همکاران، ۱۳۹۷: ۵۷). قدرت فرساینده‌گی باران نقش زیادی در فرسایش خاک داشته و می‌تواند نشان‌دهنده پتانسیل فرسایش در مناطق مورد نظر باشد (Morgan, 1995: 198). شاخص‌های فرساینده‌گی باران را در کل می‌توان در دو گروه تقسیم‌بندی کرد که عبارت‌اند از: گروه اول شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی و گروه دوم شاخص‌های مبتنی بر آمار سهل‌الوصول. از شاخص‌هایی که مقبولیت جهانی دارند در گروه اول می‌توان به شاخص ویشمایر-اسمیت^۱، شاخص هادسون^۲ و شاخص اونچو^۳ و از شاخص‌های گروه دوم می‌توان به شاخص‌های فورنیه^۴، مورگان^۵، آرنولدز^۶ و رز^۷ اشاره کرد (Safarrad et al. 2009). پیش‌بینی فرسایش خاک برای مدیریت بهینه سرزمین و همچنین استفاده از خاک ضرورت دارد (Oliveira, 2013:143). فرساینده‌گی باران به‌عنوان یک عامل پویا می‌تواند جنگلداری، کشاورزی، هیدرولوژی، مدیریت آب و خدمات اکوسیستم را تحت تأثیر قرار دهد؛ بنابراین تهیه نقشه فرساینده‌گی باران می‌تواند در تصمیم‌سازی‌ها مورد استفاده قرار بگیرد (Wang, et al., 2002: 149). تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی در سطح یک منطقه و تبیین چگونگی توزیع فضایی و مکانی آن، برای برآورد توزیع مکانی بارش و به‌دنبال آن فرساینده‌گی باران ضروری است. محققان بسیاری به مقایسه و ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی پرداخته‌اند که نشان‌دهنده اهمیت موضوع در کاهش خطای ناشی از انتخاب روش است.

تاکنون پژوهش‌های بسیاری در زمینه درون‌یابی داده‌های اقلیمی و فرساینده‌گی باران در جهان و ایران صورت گرفته‌است. در محاسبه شاخص فرساینده‌گی باران با استفاده از زمین‌آمار در استان هبی^۸ چین، روش کریجینگ معمولی درجه دوم نسبت به روش کریجینگ معمولی درجه صفر و درجه یک عملکرد بهتری داشته و همچنین واریوگرام برازش داده گوسین عملکرد بهتری نسبت به واریوگرام کروی و نمایی داشته‌است (Muesburger et al, 2012: 172). آنوری^۹ و همکاران (۲۰۰۶: ۱۱۳۵)، به‌منظور برآورد فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز سیسیل در شمال ایتالیا استفاده از مدل اصلاح‌شده جهانی فرسایش، میزان فاکتور فرساینده‌گی باران این مدل با استفاده از روش کریجینگ درون‌یابی کردند.

نیک‌نامی و مهدیان (۱۳۹۳: ۳۷۰) در پژوهشی با عنوان تهیه نقشه شاخص مناسب فرساینده‌گی باران کشور به این نتیجه رسیده‌اند که نقشه خروجی وجود روند کاهشی شاخص فرساینده‌گی باران را از مناطق غربی و شمالی به

^۱ . Wischmeier& Smith

^۲ . Hudson

^۳ . Onchev

^۴ . Fournier

^۵ . Morgan

^۶ . Arnoldus

^۷ . Rose

^۸ . HEBI

^۹ . Onori

مناطق شرقی و جنوبی کشور نشان می‌دهد و این الگو مطابق با الگوی تغییرات اقلیمی از مناطق مرطوب به مناطق نیمه‌خشک است.

غلامی و همکاران (۱۳۹۴: ۹) در پژوهشی با عنوان برآورد فاکتور فرسایندگی باران با استفاده از الگوریتم‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: استان ایلام) به این نتیجه دست پیدا کرده‌اند که بررسی میزان شاخص فرسایندگی از روش‌های دورن‌یابی، روش عکس فاصله (IDW)^۱، درون‌یابی چندجمله‌ای جهانی (GPI)^۲، تابع پایه شعاعی^۳ (RBF)، درون‌یابی موضعی (LPI)^۴ و کریجینگ^۵ استفاده شده و در جهت انتخاب بهترین روش درون‌یابی از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)^۶ و میانگین قدر مطلق خطا (MAE)^۷ استفاده شد. نتایج نشان داد که روش چندجمله‌ای جهانی با ریشه میانگین مربعات خطا برابر با ۲۸/۹۳ و میانگین قدر مطلق خطا برابر با ۲۰/۹۵ بهترین روش است.

عادلی و همکاران (۱۳۹۵: ۱۰۲) در پژوهشی با عنوان بررسی خصوصیات الگوی توزیع مکانی فرسایندگی باران در استان هرمزگان به این نتیجه رسیده‌اند که دامنه فرسایندگی برای ایستگاه‌های مورد بررسی از $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ yr^{-1}$ ۳۲ در ایستگاه جاسک تا $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ yr^{-1}$ ۴۱۴ در ایستگاه سد استقلال متغیر است. همچنین تغییرات عامل فرسایندگی باران استان هرمزگان، از الگوی منظمی پیروی نمی‌کند؛ به طوری که لکه‌های نامتجانس، در مناطق مختلف استان قابل مشاهده است. در مجموع بیشترین فراوانی با حدود ۴۰ درصد از کل مساحت منطقه در دامنه فرسایندگی $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ yr^{-1}$ ۱۴۰-۱۰۰ قرار دارد و تنها ۷/۶ درصد از مساحت استان هرمزگان متأثر از بارش‌هایی با قدرت فرسایندگی بیش از $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ yr^{-1}$ ۲۰۰ است. گرمی و همکاران (۱۳۹۶: ۶۶) در مقاله‌ای با عنوان تغییرات رسوبدهی معلق تحت تأثیر چرخه فرسایندگی باران در حوضه آبخیز سرخاب به این نتیجه رسیده‌اند که بیشینه و کمینه رسوبدهی معلق حوضه به ترتیب با مقدار حدود ۲۴۶۲۱۶ و ۱۲۷۲ تن در ماه‌های آذر و شهریور رخ داده‌است. همچنین در بررسی ماهانه چرخه فرسایندگی در حوضه سرخاب، بیشینه و کمینه فرسایندگی باران به ترتیب در ماه دی و فصل تابستان (تیر، مرداد و شهریور) با میزان حدود ۱۸۲ و ۰/۰۱ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت بوده‌است. بیشترین مقادیر فاکتور فرسایندگی باران و رسوبدهی ۱۵ روزه، در نیمه دوم دی و آذر به ترتیب حدود ۱۰۴ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت و ۱۴۸۲۴۱ تن رخ داده‌است. رسوبدهی و فرسایندگی باران ماهانه در این حوضه، دارای دو اوج هستند که دو اوج رسوبدهی در آذر و فروردین و فرسایندگی باران در دی و فروردین اتفاق افتاده‌است.

صادقی و ذبیحی (۱۳۹۷: ۵۱۰) در تحقیقی با عنوان تحلیل هم‌روندی تغییرات شاخص‌های فرسایندگی فورنیه اصلاح‌شده و بارش استاندارد شده در استان خراسان شمالی چنین عنوان می‌کنند که روند شاخص بارش استاندارد شده و همچنین بارندگی در خراسان شمالی نشان داد که در اغلب ایستگاه‌ها (۲۸/۸۹ درصد ایستگاه‌ها) جزو ایستگاه‌های خرتوت، نوشیروان، فاروج و آیرقاپه، روند افزایشی وجود داشته‌است. همچنین، بیشینه و کمینه مقدار

^۱ . Inverse Distance Weight

^۲ . Global Polynomial Interpolation

^۳ . Radial basis function

^۴ . local polynomial interpolation

^۵ . Kriging

^۶ . Root mean Square Error

^۷ . mean absolute Error

شاخص فرسایندگی فورنیه اصلاح شده در استان با مقدار $97/70$ و $44/33$ میلی متر به ترتیب مربوط به ایستگاه درکش و آبیاری بجنورد بوده است.

مختاری و همکاران (۱۳۹۸: ۲۳۱) در پژوهشی با عنوان بررسی نقش تغییر روش های درون یابی برای تولید عامل R در برآورد فرسایش خاک حوضه های آبریز به روش RUSLE (مطالعه موردی: حوضه آبریز بالارود) به این نتیجه رسیده اند که عامل R درون یابی شده از هر دو روش درون یابی جبری و کریجینگ معمولی دارای ضریب تعیین خودهمبستگی به ترتیب $R^2=0.985$ و $R^2=0.964$ هستند و گرچه اختلاف کمی در ضریب تعیین خودهمبستگی مکانی دارند، اما استفاده از عامل R درون یابی شده توسط روش جبری منجر به بیش برآورد فرسایش ($135/19315$ $ha^{-1}.yr^{-1}$) می شود. همچنین نتایج نشان داد که هر دو نقشه فرسایش برآورد شده کمترین و بیشترین رابطه همبستگی را به ترتیب با عامل های R و LS خود دارند.

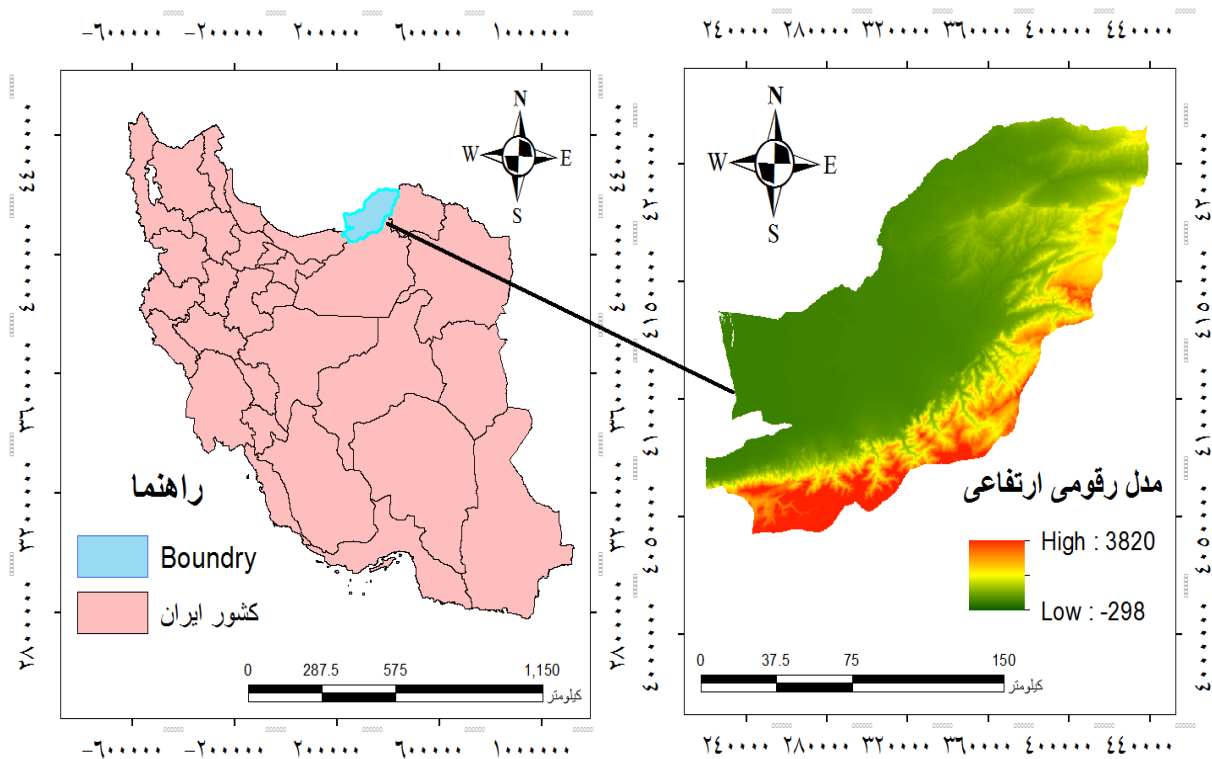
با نگاه به مطالعات انجام شده در گذشته که به برخی از آن ها نیز در بالا اشاره شده است، یکی از جنبه هایی که همواره نظر بسیاری از محققان علوم محیطی را به خود جلب کرده، ارزیابی اثرات فرسایندگی در مقیاس های مکانی مختلف در قالب شاخص های مختلف فرسایندگی بوده است. این شاخص از پرکاربردترین شاخص های است که فرسایندگی را در یک مقیاس ملی پایش می کند و نتایج آن می تواند برای یک مقیاس منطقه ای نیز تعمیم داده شود. توانایی این شاخص ها در پایش فرسایندگی باران به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک در مطالعات تطبیقی خارجی مورد تأیید قرار گرفته است.

هدف از تحقیق حاضر، تخمین ضریب فرسایندگی باران با استفاده از روابط به دست آمده میان ضریب فرسایندگی و شاخص های مبتنی بر مقدار است تا در ادامه، نقشه وضعیت فرسایندگی باران در استان گلستان ترسیم شود. این در حالی است که محاسبه شاخص ها و تهیه بهترین نقشه فرسایندگی باران تاکنون به صورت جداگانه برای استان گلستان انجام نشده است. این مطالعه در شناسایی مناطق استان با پتانسیل بالای فرسایش پذیری به منظور برنامه ریزی های مدیریتی کمک خواهد کرد. در این راستا با توجه به اهمیت موضوع مورد مطالعه، هدف کلی پژوهش، ارزیابی و مدل سازی شاخص های فرسایندگی باران با استفاده از تکنیک های زمین آمار در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی است.

مواد و روش

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان گلستان بین 53 درجه و 51 دقیقه تا 56 درجه و 22 دقیقه طول شرقی و 36 درجه و 30 دقیقه تا 38 درجه و 8 دقیقه عرض شمالی در بخش شمالی کشور واقع شده است. این استان از شمال به کشور ترکمنستان، از جنوب به استان سمنان، از شرق به استان خراسان شمالی و از غرب به دریای خزر و استان مازندران محدود می شود. استان گلستان در محدوده منطقه معتدله شمالی قرار گرفته که این عامل نقش مؤثری را در اقلیم استان بر عهده دارد. وسعت استان گلستان $20430/92$ کیلومتر مربع است که از این مقدار معادل 8348 کیلومتر مربع شامل اراضی جلگه ای استان می شود که نزدیک به $37/5$ درصد (3128 کیلومتر مربع) از آن را جلگه ساحلی پست و $62/5$ درصد (کیلومتر مربع) آن را جلگه موج تشکیل می دهد. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه را در کشور نشان می دهد.



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه در استان گلستان

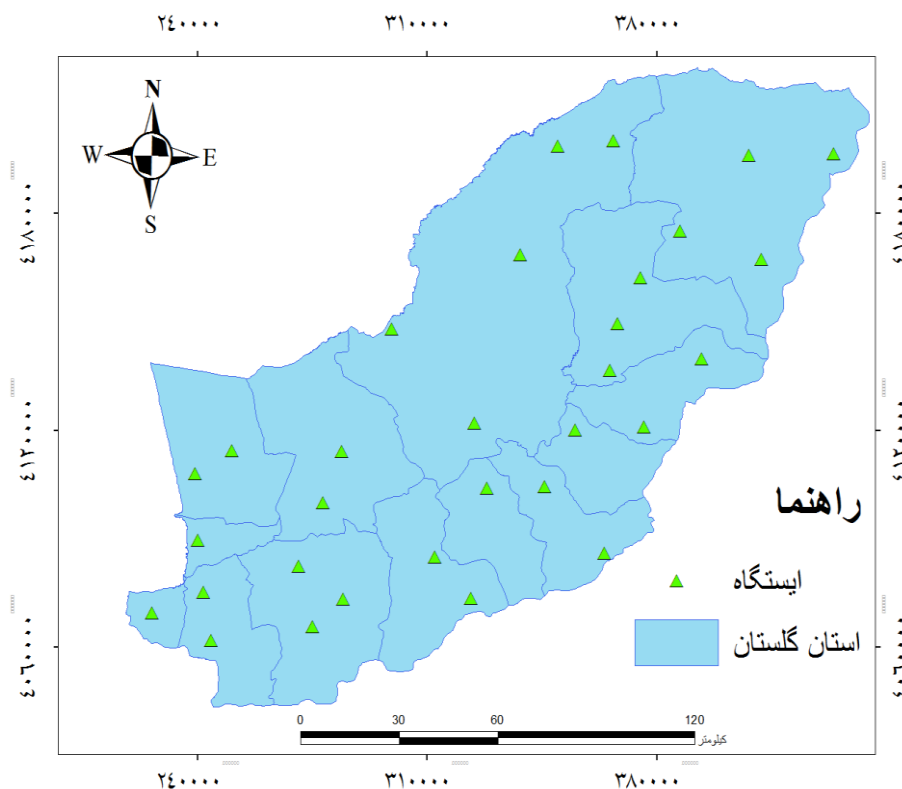
(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

روش تحقیق

در این تحقیق به پهنه‌بندی قدرت فرساینده‌گی باران با شاخص‌های مختلف از جمله مدل فورنیه (Fournier, 1960)؛ Morgan, 1995: 198)، فورنیه اصلاح‌شده (Arnoldus, 1980: 127-132)، IAS (Lal and Elliot, 1994: 181-208) و Ciccacci (Hadley et al. 1985: 127) و تعیین بهترین روش درون‌یابی، در جهت استفاده در تهیه نقشه فرساینده‌گی باران در استان گلستان پرداخته شده‌است. دلیل انتخاب استان گلستان این است که در بررسی‌های اولیه مشخص شد که این استان دارای آمار بارندگی مناسبی در جهت انجام تحقیق بوده و تعداد و نحوه پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی و ایستگاه‌های باران‌سنجی در آن مناسب است. با بررسی داده‌های بارندگی ایستگاه‌ها، یک دوره آماری ۲۰ ساله تعیین شد و با استفاده از آن به تعیین قدرت فرساینده‌گی باران با شاخص‌های مختلف پرداخته شد؛ زیرا پارامترهای این چهار شاخص، پارامترهایی هستند که اطلاعات آماری مناسبی از آن‌ها در اختیار است و از آنجایی که الگوریتم‌های درون‌یابی از متداول‌ترین روش‌ها برای تهیه نقشه‌ها و اطلاعات مورد نیاز در تحلیل با GIS است. در این تحقیق به بررسی برخی روش‌های درون‌یابی (قطعی و زمین‌آماری) در جهت تهیه نقشه قدرت فرساینده‌گی باران در منطقه مورد نظر پرداخته شده‌است.

گردآوری آمار و اطلاعات

به منظور جمع آوری آمار به سازمان های هواشناسی کشور و سازمان مطالعات منابع آب ایران مراجعه شد و اطلاعات مربوط به میزان بارندگی ماهانه، سالانه و همچنین خصوصیات ایستگاه ها اعم از طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع ایستگاه ها دارای بارندگی بوده، تهیه شده است. دوره داده های موجود در ایستگاه های مختلف، متفاوت بوده و در برخی از ایستگاه ها داده ها برای دوره سی ساله و برخی ایستگاه ها برای دوره های کمتر یا بیشتر موجود بوده است؛ از این رو با بررسی آن ها یک دوره آماری مشترک ۲۰ ساله (۱۳۷۸-۱۳۹۸) انتخاب شد؛ به طوری که در انتها از داده های ۳۱ ایستگاه با توجه به دوره آماری مشترک استفاده شد. شکل ۲ پراکنش ایستگاه های انتخابی را نشان می دهد. همان طور که شکل فوق نشان می دهد، تراکم ایستگاه ها در بخش جنوبی استان بیشتر از مناطق دیگر است.



شکل ۲. پراکنش ایستگاه های انتخابی در استان گلستان
(منبع: نگارنگان، ۱۳۹۹)

بررسی همگنی و نرمال بودن داده ها

اولین گام در استفاده از روش های زمین آماری، مقایسه داده با توزیع نرمال است که در صورت عدم توزیع نرمال داده ها، توزیع داده ها با استفاده از روش لوگ نرمال یا باکس-کاکس^۱ به توزیع نرمال تبدیل می شود (حسنی پاک، ۱۳۸۶: ۳۸۰). در این پژوهش، در ابتدا توزیع داده های فاکتور فرسایندگی باران ترسیم و میزان انحراف آن از توزیع نرمال با استفاده از شاخص های آماری همچون میانگین، چولگی و سایر پارامترهای آماری محاسبه شد.

^۱ BOX-COX

طبقه‌بندی شاخص‌های فرساینده‌ی باران

در یک دیدگاه کلی، شاخص‌های فرساینده‌ی باران را می‌توان در قالب دو گروه شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی و شاخص‌های مبتنی بر آمار سهل‌الوصول بارندگی (شاخص‌های زودیافت) تقسیم‌بندی کرد. تصمیم‌گیری درباره‌ی انتخاب شاخص مناسب و تهیه‌ی نقشه فرساینده‌ی باران مشکل به نظر می‌رسد. در این تحقیق تصمیم گرفته شد که از یکسری شاخص‌های نسبتاً ساده که امکان محاسبه‌ی آن با اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی مقدور بوده و از طرف دیگر مقبولیت بیشتری داشته باشند، استفاده شود. از میان این‌گونه شاخص‌ها، شاخص فرساینده‌ی فورنیه و فورنیه اصلاح‌شده، شاخص Ciccacci، شاخص IAS و... بیش از شاخص‌های دیگر در تعیین فرساینده‌ی باران و تهیه‌ی نقشه فرساینده‌ی به‌خصوص برای مناطق فاقد آمار شدت بارندگی مورد توجه محققان مختلف قرار گرفته‌اند. درمقابل، محاسبه‌ی EI_۳ (شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی) مستلزم وجود آمار شدت بارندگی است که در ایستگاه‌های مجهز به باران‌نگار تهیه می‌شوند. متأسفانه چنین آماری در بیشتر ایستگاه‌های هواشناسی کشور، از جمله استان گلستان وجود ندارد (رضائی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۰۱)؛ بنابراین برای فائق‌آمدن بر مشکل اخیر، روش‌ها و شاخص‌های سهل‌الوصول (شاخص‌های زودیافت) پیشنهاد شده‌اند. در این تحقیق تعدادی از مهم‌ترین شاخص‌های زودیافت برای ایستگاه‌های مجهز به باران‌نگار شامل شاخص‌های فورنیه (F)، فورنیه اصلاح‌شده (MF)، شاخص Ciccacci و شاخص IAS استفاده شده‌است که در ادامه شرح داده می‌شود.

شاخص‌های فرساینده‌ی باران فورنیه و فورنیه اصلاح‌شده

شاخص فورنیه و فورنیه اصلاح‌شده از کاربرد و دقت بالایی برخوردارند که به‌همین دلیل توسط پژوهشگران متعدد مورد پژوهش و تحقیق قرار گرفت (احمدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱-۱۴؛ رضائی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۰۳). فورنیه با استفاده از داده‌های ۷۸ حوضه آبخیز، دو روش مختلف برای برآورد رسوب ارائه داده‌است. در معادلات ارائه‌شده توسط فورنیه، رابطه مستقیمی بین میانگین سالانه تولید رسوب و نسبت $\frac{P^2}{p}$ یافت شد. این نسبت اقلیمی با عنوان شاخص فورنیه شناخته شده و به‌عنوان شاخص فرساینده‌ی باران مورد استفاده قرار می‌گیرد (Fourmier, 1956: 38). شاخص فورنیه از رابطه ۱ به‌دست می‌آید:

$$F = \frac{Pi^2}{p} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن Pi حداکثر بارندگی ماهانه (بارش مرطوب‌ترین ماه سال) و p متوسط بارندگی سالانه است. در ادامه شاخص فورنیه به شکل رابطه ۲ اصلاح شده و با عنوان شاخص فورنیه اصلاح‌شده مورد استفاده گسترده‌ای در بین شاخص‌های سهل‌الوصول قرار گرفت.

$$MF = \frac{\sum_{i=1}^{12} Pi^2}{p} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن، Pi ، بارندگی ماه i ام، متوسط بارندگی سالانه در طول دوره آماری و MF شاخص فورنیه اصلاح‌شده است.

شاخص Ciccacci

شاخص Ciccacci (Hadley et al. 1985: 127) با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$\frac{p}{\sigma} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن P ، متوسط بارندگی سالانه و O ، انحراف معیار مقادیر بارندگی‌های ماهانه

شاخص IAS

شاخص IAS (Lal, 1976: 389-401) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$m_{1stmax} + m_{2stmax} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن، m_{1stmax} = اولین حداکثر بارش ماهانه در سال و m_{2stmax} = دومین حداکثر بارش ماهانه در سال

پهنه‌بندی فاکتور فرساینده‌گی باران

برای پهنه‌بندی یا درون‌یابی فرساینده‌گی باران، از تکنیک زمین‌آمار، استفاده می‌شود. درون‌یابی به معنای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای است (تسونگ، ۲۰۰۴: ۳۸۴). در بررسی‌های آمار کلاسیک، نمونه‌هایی که از کل جامعه به‌منظور شناخت برداشت می‌شوند، فاقد داده‌های موقعیت مکانی است، درحالی‌که در زمین‌آمار، افزون بر یک مقدار کمیت معین در یک نمونه، موقعیت مکانی نمونه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. بدین‌منظور می‌توان موقعیت مکانی نمونه‌ها را همراه با مقدار کمیت موردنظر یک‌جا مورد بررسی قرار داد. ممکن است این ارتباط مکانی (فاصله و جهت) بین مقدار کمیت در جامعه نمونه‌های برداشت‌شده، در قالب‌های ریاضی قابل‌بیان باشد. به این قالب‌های ریاضی، ساختار مکانی گفته می‌شود. در زمین‌آمار می‌توان با کاربرد داده‌های یک کمیت در مختصات معلوم، مقدار همان کمیت را در نقطه‌ای با مختصات معلوم دیگر، واقع در دامنه‌ای که ساختار مکانی حاکم است، تخمین زد (حسنی پاک، ۱۳۷۷: ۳۱۴). در تعیین ارزش یک نقطه، تمامی نقاط مجاور و معلوم به حالت یکسان مؤثر نیستند؛ بنابراین هریک از نقاط یادشده، به تناسب تأثیرشان بر ارزش نقطه مجهول، حامل وزنی خواهند بود. روش‌های مختلفی برای درون‌یابی وجود دارد، اما این روش‌ها از هر نوع که باشند، می‌توانند به‌صورت معادله خطی یا غیرخطی باشند (ثقفیان و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۹-۳۸). برای تعیین رابطه مکانی داده‌ها، از نیم تغییرنما یا واریوگرام استفاده می‌شود. واریوگرام که در واقع نمودار واریانس بر مبنای فاصله بین نمونه‌هاست، رکن اصلی زمین‌آمار است که ساختار ارتباط مکانی بین نمونه‌ها را نشان می‌دهد. تابع واریوگرام به‌صورت رابطه ۵ تعریف می‌شود:

$$y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^n (Z(x_i + h) - Z(x_i))^2 \quad (\text{رابطه ۵})$$

$y(h)$: مقدار واریوگرام در فاصله (h)

$Z(x_i+h)$: مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در موقعیت (x_i+h)

$Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در موقعیت (x_i)

$N(h)$: تعداد اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در محدوده مورد تحقیق

در این تحقیق به‌منظور بررسی میزان شاخص‌های فرساینده‌گی از روش‌های درون‌یابی روش عکس فاصله (IDW)، درون‌یابی چندجمله‌ای جهانی (GPI)، تابع پایه شعاعی (RBF) و کریجینگ استفاده شد. شرح مدل‌های درون‌یابی استفاده‌شده در پژوهش به شرح ذیل است:

روش‌های درون‌یابی

روش‌های درون‌یابی به دو دسته کلی قطعی و زمین‌آماری تقسیم‌بندی می‌شوند. از دسته اول روش‌های توابع شعاعی پایه، روش چندجمله‌ای جهانی و عکس فاصله وزن‌دار و از دسته زمین‌آماری روش‌های کریجینگ انتخاب شدند. در روش توابع شعاعی پایه از توابع ریاضی برای حداقل‌سازی انحنای و نوسانات سطحی متغیر استفاده می‌شود. پارامترهای توابع ریاضی مورد استفاده به نحوی تنظیم می‌شوند که سطح کلی برآورد شده با دارا بودن حداقل انحنای نقاط اندازه‌گیری شده عبور کند. در روش چندجمله‌ای جهانی، سطحی با تغییرات خیلی کم با استفاده از درجات پایین ایجاد می‌شود که از آن می‌توان در بعضی از فرایندهای فیزیکی مانند روندیابی فرسایندها استفاده کرد؛ اما باید به این نکته توجه داشت که هرچه درجه یا توان این روش افزایش یابد، نسبت دادن آن به پدیده‌های فیزیکی مشکل‌تر می‌شود. کاربرد اصلی این روش برای مواقعی است که تغییرات یک سطح به کندی از یک ناحیه به ناحیه دیگر تغییر کند. در روش عکس فاصله وزن‌دار، وزن تابعی از عکس فاصله است و نقاط نزدیک‌تر تأثیر بیشتری در برآورد نقطه مجهول دارند. کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است. این تخمین‌گر به عنوان بهترین تخمین‌گر خطی نارایب شناخته می‌شود. از مهم‌ترین ویژگی‌های کریجینگ این است که به‌ازای هر تخمین، خطای مرتبط با آن را می‌توان محاسبه کرد؛ بنابراین برای هر مقدار تخمین زده شده، می‌توان دامنه اطمینان آن تخمین را محاسبه کرد. درحالی‌که روش‌های کلاسیک این کارایی را ندارد (Hasani, 2013: 314). در روش کریجینگ برای تخمین نقاط مجهول از رابطه ۶ استفاده می‌شود:

$$Z_{Vi}^* = \sum_{i=1}^n w\lambda_i Z_{vi} \quad (\text{رابطه ۶})$$

که در آن:

Z_{Vi}^* = میزان داده برآورد شده، λ_i : وزن نقطه i ام، که مجموع آن‌ها در همه نقاط برابر با یک است. Z_{vi} : میزان داده اندازه‌گیری شده است.

برای انتخاب مناسب‌ترین روش درون‌یابی از روش ارزیابی متقابل^۱ استفاده می‌شود. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف می‌شود و با استفاده از بقیه نقاط مشاهده‌ای، این نقطه برآورد می‌شود. این کار برای همه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به طوری که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت. با داشتن مقادیر واقعی و برآورد شده می‌توان خطا و انحراف روش استفاده شده را برآورد کرد. معیارهای مختلفی نیز برای ارزیابی کارایی روش‌های درون‌یابی وجود دارد که از بین آن‌ها می‌توان به میانگین خطای مطلق، میانگین خطای اریب و ریشه میانگین مربعات خطا اشاره کرد. معادلات محاسبه آن‌ها به قرار زیر است:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |z_{mi} - z_{ei}|}{n} \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [z_{mi} - z_{ei}]^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۸})$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n [z_{mi} - z_{ei}]}{n} \quad (\text{رابطه ۹})$$

که در آن‌ها، n = تعداد نقاط مشاهده‌ای؛ Z_{ei} = مقدار برآوردی بر نقطه i ام؛ Z_{mi} = مقدار مشاهده‌ای بر نقطه i ام
 \bar{z}_{ei} = میانگین مقادیر مشاهده‌ای

^۱ . Cross Validate

هر اندازه این معیارها به صفر نزدیکتر باشند، نشان‌دهندهٔ اختلاف کمتر مقادیر برآوردی نسبت به مقادیر مشاهده‌ای است.

بحث و نتایج

از مجموع ایستگاه‌های هواشناسی وزارت نیرو و سازمان هواشناسی موجود در کشور، در حدود ۳۱ ایستگاه دارای آمار بیش از ۲۰ سال بوده که در تعیین فرسایندگی باران از آن‌ها استفاده شده‌است. در این تحقیق برای بررسی فرسایندگی باران در استان گلستان از نظر مکانی و ارائهٔ نقشه در استان گلستان، ابتدا فرسایندگی باران با شاخص‌های فورنیه، فورنیهٔ اصلاح‌شده، IAS و Ciccacci در ایستگاه‌های هواشناسی محاسبه شد. سپس با استفاده از روش‌های درون‌یابی، این شاخص‌ها در همهٔ ایستگاه‌ها درون‌یابی شد. درنهایت با ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی و انتخاب بهترین روش درون‌یابی، نقشه هم فرسایندگی در استان تهیه شد. مقادیر مربوط به فاکتور فرسایندگی باران با چهار شاخص برای ۳۱ ایستگاه باران‌سنجی مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ آمده‌است.

آماره‌های توصیفی شاخص‌های مدل فورنیه، فورنیهٔ اصلاح‌شده، IAS و Ciccacci در ایستگاه‌های هواشناسی در طی دوره در جدول ۲ ارائه شده‌است. ضریب چولگی در هر چهار مورد زیر یک است و با توجه به کم‌بودن چولگی هر چهار شاخص از توزیع نرمال تبعیت می‌کند.

جدول ۱. مقادیر فرسایندگی باران در ایستگاه‌های مورد مطالعه واقع در استان گلستان

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع	بارش	فورنیه	فورنیهٔ اصلاح‌شده	IAS	Ciccacci
تنگراه	۳۷/۴۰	۵۵/۷۶	۳۳۰	۷۱۱	۱۷۳	۲۷۵	۱۷۲	۱۴۵
تمر	۳۷/۴۸	۵۵/۵۱	۱۳۲	۵۱۶	۱۳۷	۱۴۶	۱۳۳	۱۷۱
قلی تپه	۳۷/۲۳	۵۵/۴۲	۲۵۰	۷۹۳	۲۲۸	۳۳۹	۲۰۱	۱۳۵
نراب	۳۷/۰۱	۵۵/۵۹	۱۵۰۰	۴۱۵	۱۰۲	۹۶	۱۰۳	۱۹۳
گنبد	۳۷/۲۳	۵۵/۱۳	۳۶	۴۳۱	۱۰۲	۱۰۳	۱۰۷	۱۹۰
انویقلی	۳۶/۹۸	۵۴/۵۷	۲۴	۴۲۷	۸۶	۱۰۱	۱۰۴	۱۹۲
پس پشته	۳۷/۱۷	۵۵/۳۵	۱۸۰	۸۸۸	۲۴۵	۴۲۹	۲۲۱	۱۲۹
نوده	۳۷/۰۷	۵۵/۲۷	۲۸۰	۸۴۹	۱۹۸	۳۸۲	۲۰۳	۱۳۰
رودبار	۳۶/۹۱	۵۵/۳۲	۱۰۴۰	۴۲۷	۹۹	۱۰۰	۱۰۲	۱۸۹
اراز کوسه	۳۷/۲۲	۵۵/۱۵	۳۴	۴۵۴	۱۰۷	۱۱۴	۱۱۰	۱۸۵
رامیان	۳۷/۰۲	۵۵/۱۴	۲۰۰	۸۳۹	۲۲۰	۳۹۷	۲۱۳	۱۳۷
قزاق لی	۳۷/۲۳	۵۵/۰۲	۳۰	۳۵۶	۸۶	۷۱	۹۰	۲۱۳
با سالیان	۳۶/۹۰	۵۴/۷۵	۲۰	۳۴۳	۷۱	۶۶	۸۶	۲۱۸
تقی‌آباد	۳۶/۸۷	۵۴/۶۳	۱۰۰	۵۷۵	۹۸	۱۷۱	۱۳۴	۱۵۸
آق‌قلا	۳۷/۰۲	۵۴/۵۱	-۱۲	۴۰۸	۷۶	۹۳	۱۰۰	۱۹۹
تیل‌آباد	۳۶/۹۱	۵۵/۴۷	۱۰۰۰	۲۶۴	۷۵	۴۱	۷۰	۲۵۷
فارسیان فرنگ	۳۷/۲۳	۵۵/۶۰	۹۰۰	۷۱۵	۱۹۲	۲۷۸	۱۸۰	۱۴۳
زرین‌گل	۳۶/۸۷	۵۴/۹۶	۲۸۰	۷۸۳	۱۷۱	۳۱۸	۱۸۶	۱۳۵
کبودوال	۳۶/۸۹	۵۴/۸۹	۲۰۰	۵۵۲	۱۰۷	۱۵۹	۱۳۱	۱۶۳

۱۴۵	۱۷۱	۲۵۴	۱۴۹	۶۹۴	۵۰۰	۵۴/۷۹	۳۶/۸۳	سرمو
۱۸۳	۱۲۶	۱۳۰	۱۳۰	۴۷۷	۵۰۰	۵۵/۷۲	۳۷/۷۲	قزاق
۱۵۲	۱۴۷	۲۰۲	۱۳۷	۶۱۹	۱۰۰۰	۵۵/۰۲	۳۶/۷۹	شیرین آباد
۱۶۵	۱۵۳	۱۸۴	۱۶۵	۵۷۲	۲۵۰	۵۵/۵۸	۳۷/۶۰	پیش کمر
۱۵۴	۱۶۸	۲۴۸	۱۸۰	۶۶۵	۵۰	۵۵/۰۷	۳۷/۰۷	کنگار
۱۶۰	۱۴۷	۱۸۷	۱۴۷	۵۸۵	۱۶۰	۵۵/۵۲	۳۷/۴۰	وگمز
۱۵۰	۱۶۲	۲۴۲	۱۵۷	۶۶۷	۴۶۰	۵۵/۸۰	۳۷/۴۰	پارک ملی
۱۷۸	۱۰۹	۱۲۰	۹۵	۴۷۴	۲۱۰	۵۴/۷۵	۳۶/۸۹	فاضل آباد
۱۶۹	۱۳۲	۱۶۰	۱۲۷	۵۴۰	۳۱	۵۴/۹۲	۳۷/۰۳	لاله باغ
۱۶۵	۱۴۱	۱۷۴	۱۳۴	۵۶۰	۳۰۰	۵۵/۶۵	۳۷/۶۰	قیان
۱۵۸	۱۵۳	۱۹۸	۱۵۱	۶۰۱	۱۵۷	۵۵/۴۸	۳۷/۳۷	کلاله
۱۴۰	۱۸۴	۲۹۴	۱۸۲	۷۴۰	۱۹۰	۵۵/۳۷	۳۷/۲۲	مینودشت

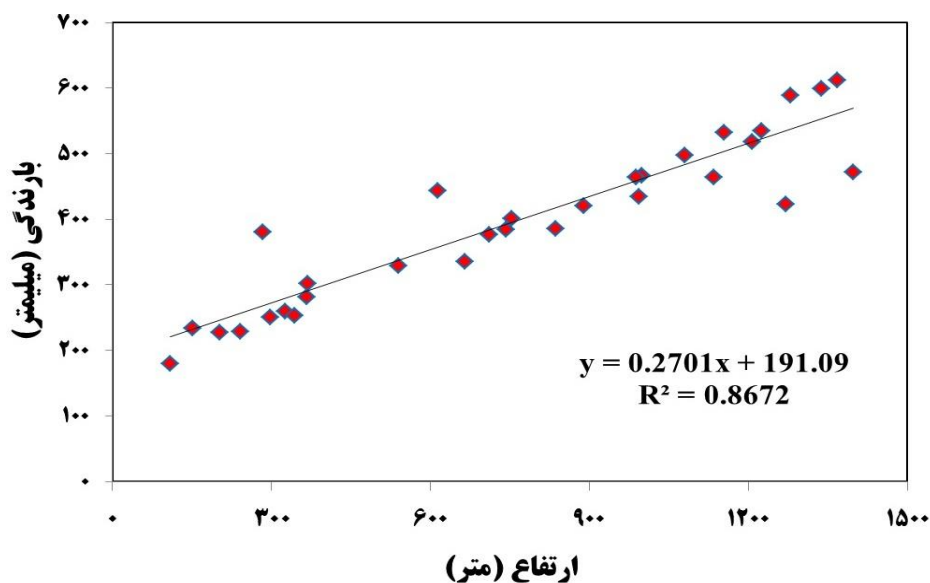
(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

جدول ۲. خصوصیات آماری داده‌ها قبل از تبدیل لوگ نرمال و بعد از تبدیل لوگ نرمال (فونریه اصلاح شده)

توزیع داده‌ها	تعداد	میانگین	انحراف معیار	چولگی
بدون تبدیل	۳۱	۲۴۳/۴۳	۷۵/۱۱	۰/۷۱
لوگ نرمال	۳۱	۷/۶۵	۰/۳۰	۰/۳۶

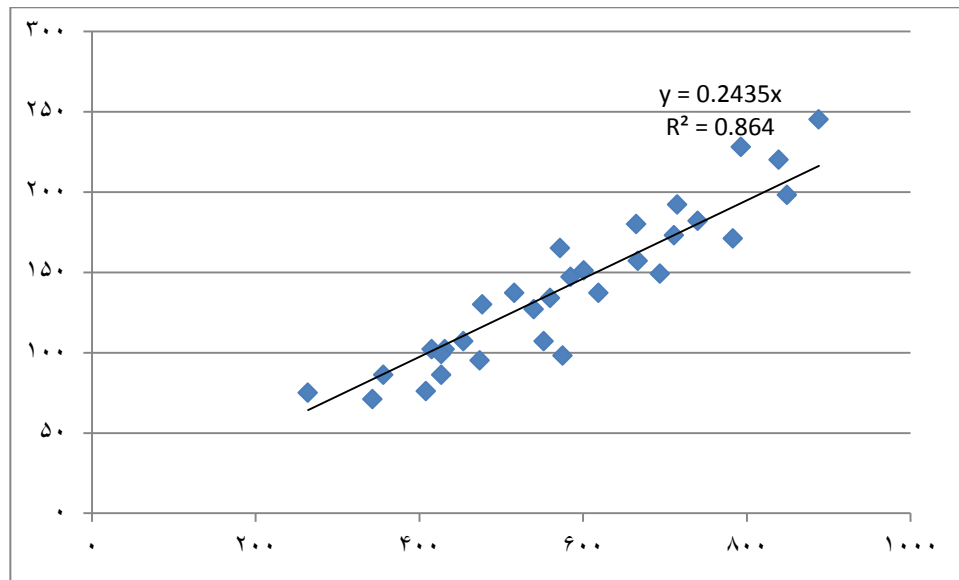
(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

در شکل‌های ۳ و ۴ رابطه بین ارتفاع - بارندگی و بارندگی - شدت فرساینده‌گی باران ارائه شده است. همان‌طور که از شکل‌ها مشاهده می‌شود، برداشش خوبی بین ارتفاع - بارندگی و بارندگی و شدت فرساینده‌گی باران وجود دارد.



شکل ۳. رابطه بین ارتفاع و بارندگی

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۴. رابطه بین بارندگی و فاکتور R

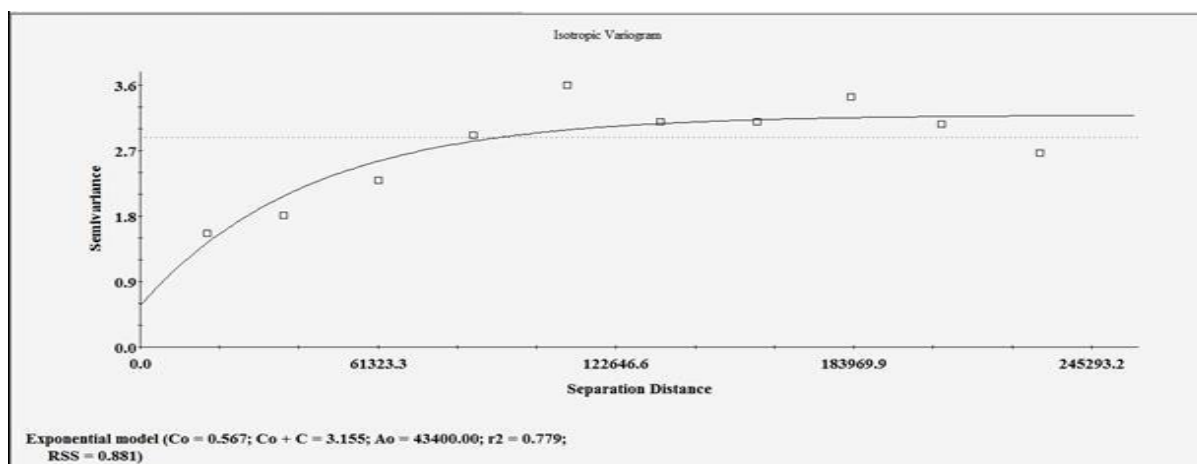
(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

در این تحقیق برای نشان دادن همبستگی مکانی بین داده‌های فرساینده‌ی باران از ترسیم واریوگرام استفاده شد. نتایج حاصل از ترسیم واریوگرام‌های مختلف در جدول ۳ مشاهده می‌شود. در ادامه واریوگرامی برای برازش بر داده‌ها استفاده شد که همبستگی مکانی بین داده‌ها را به صورت مطلوب‌تری از سایر واریوگرام‌ها نشان دهد. برای این امر از نسبت میان اثر قطعه‌ای و سقف واریوگرام استفاده شد. اگر نسبت اثر قطعه‌ای بر سقف واریوگرام کمتر از ۰/۲۵ باشد، بین داده‌ها همبستگی مکانی قوی وجود دارد. اگر این نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ باشد، میزان همبستگی مکانی متوسط بوده و اگر بیش از ۰/۷۵ درصد باشد، همبستگی مکانی بین داده‌ها کم بوده یا همبستگی وجود ندارد؛ به همین دلیل از این نسبت برای انتخاب نوع واریوگرام استفاده شد که با توجه به پارامترهای به دست آمده برای واریوگرام‌های برازش شده، واریوگرام کروی با میزان ۰/۱۰ بهترین همبستگی بین داده‌ها را مدل کرده و برای درون‌یابی استفاده شد (جدول ۳). میرموسوی و همکاران (میرموسوی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۱۲) در جهت تخمین توزیع بارندگی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در استان اصفهان روش کریجینگ معمولی با واریوگرام کروی را روش بهتری نسبت به سایر روش‌های زمین‌آماری کریجینگ معرفی می‌کنند. همچنین اخوان و همکاران (اخوان و همکاران، ۱۳۸۵: ۹۵) در برآورد ساختار مکانی و برآورد موجودی حجمی جنگل‌های خزری با استفاده از روش زمین‌آمار از واریوگرام کروی استفاده کردند. واریوگرام کروی برازش شده بر داده‌ها در شکل ۵ مشاهده می‌شود. با توجه به اینکه واریوگرام در همه جهات یک روند را نشان می‌دهد، ناهمسانگردی در منطقه مشاهده نشد.

جدول ۳. پارامترهای تأثیر قطعه‌ای و سقف واریوگرام به دست آمده برای واریوگرام‌های برازش شده

نوع مدل	C_0	C	C_0/C
کروی	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۹
نمایی	۰/۰۲	۰/۲۱	۰/۱۵
خطی	۰/۰۱	۰/۲۱	۰/۱۴
گوسین	۰/۰۷	۰/۲۳	۰/۳۱

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۵. واریوگرام - کروی برازش داده شده به داده‌ها

(منبع: نگارنگان، ۱۳۹۹)

به‌طور کلی اگر برآورد داده‌ها بدون انحراف باشد، میانگین خطای برآورد به صفر نزدیک‌تر می‌شود و هرچه فاصله بیشتر شود، میزان انحراف در درون‌یابی نیز بیشتر می‌شود. البته این وابسته به مقیاس داده‌های اندازه‌گیری شده است (Kouli et al. 2009: 490). همچنین این امر درباره میانگین استاندارد خطای برآورد شده نیز صدق می‌کند. از طرف دیگر نیز پایین‌ترین مربع میانگین ریشه خطا، بهترین برآورد را خواهد داشت. همان‌طور که در نتایج ارزیابی دقت روش‌های مورد بررسی آمده است (جدول ۴)، روش تابع پایه شعاعی (RBF) با پایین‌ترین میزان میانگین خطای اریب (۶۷/۳۷) و مربع میانگین ریشه خطا (۱۱۳) بهترین روش برای درون‌یابی در این پژوهش ارزیابی شد. در نهایت با استفاده از روش زمین‌آماري RBF و واریوگرام کروی در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.3 و با استفاده از اکستنشن ژئواستاتیسیتیک^۱ نحوه توزیع فاکتور فرساینده باران با شاخص‌های مختلف مدل شد. با بررسی نتایج به دست آمده از ارزیابی خطای روش‌های درون‌یابی در جدول ۴، می‌توان پی برد که روش درون‌یابی RBF (RMSE= 113) نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی مقدار خطای کمتری دارد. دلایل انتخاب این روش به‌عنوان روش مناسب ۲ مورد است: ۱) مقدار خطای پایین نسبت به سایر روش‌ها و ۲) عدم تغییر دامنه شاخص‌های اقلیمی است. درون‌یابی به روش تابع پایه شعاعی (RBF) می‌تواند روی داده‌های نوپزداری که به‌طور نامنظم در یک منطقه پخش شده‌اند، اعمال شده و یک درون‌یابی چندمتغیره هموار روی داده‌ها انجام دهد. این روش تاکنون توسط محققان به‌منظور درون‌یابی پارامترهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است، تجربیات نشان می‌دهد که می‌تواند نتایج خوبی در کاربردهای مختلف ایجاد کند. میزان دقت سه روش دیگر براساس RMSE به‌ترتیب روش کریجینگ (۱۳۴)، IDW (۱۷۰) و چندجمله‌ای جهانی (۳۲۰) است. روش فورنیة اصلاح‌شده دقیق‌ترین شاخص در بین ۴ شاخص است.

^۱ . Geostatistic

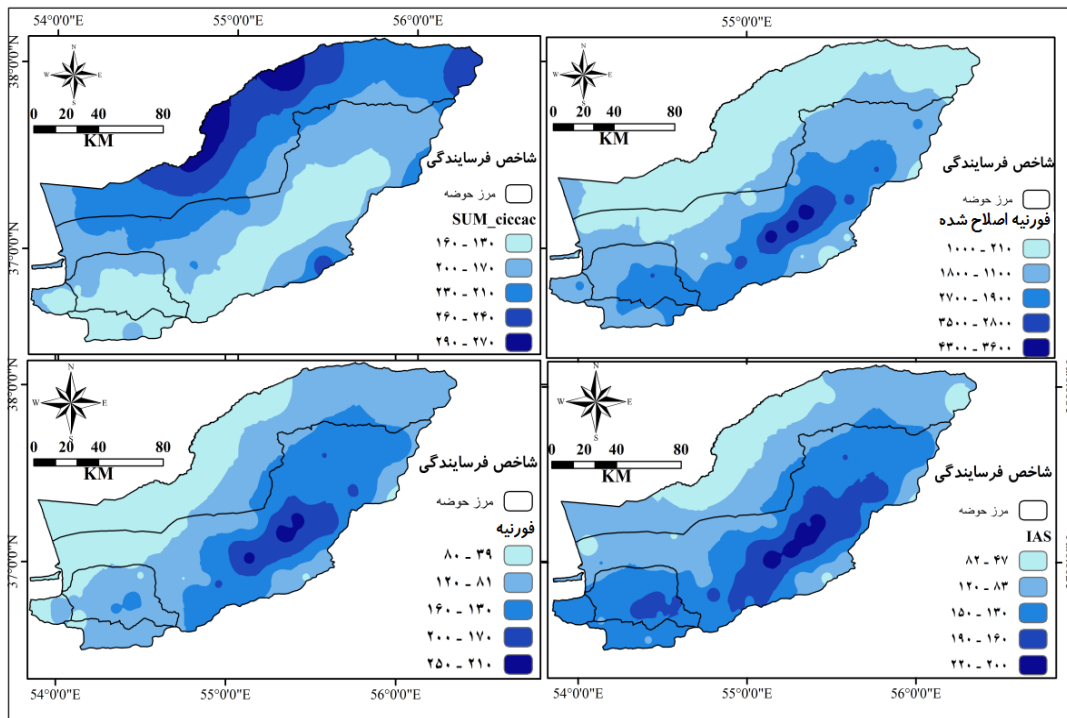
جدول ۴. ارزیابی پهنه‌بندی شاخص‌های فرساینده‌ی باران، مقدار خطای روش‌های درون‌یابی با استفاده از شاخص‌های خطایاب

MBE	MAE	RMSE	شاخص‌های فرساینده‌ی	روش‌های درون‌یابی
۰/۲۳	۵۴/۲۴	۲۵۵	فورینه	روش عکس فاصله
۰/۱۷	۴۵/۱۵	۱۷۰	فورینه اصلاح‌شده	
۰/۱۹	۵۰/۳۲	۱۹۰	IAS	
۰/۱۸	۴۶/۴۵	۱۸۰	Ciccacci	
۰/۳۳	۷۸/۷۸	۴۹۶	فورینه	چندجمله‌ای جهانی
۰/۲۷	۶۵/۵۶	۳۲۰	فورینه اصلاح‌شده	
۰/۲۹	۷۶/۷۶	۴۷۶	IAS	
۰/۶۸	۹۴/۶۷	۷۳۴	Ciccacci	
۰/۳۳	۶۴/۶۷	۳۰۵	فورینه	تابع پایه شعاعی
۰/۲۷	۳۷/۶۷	۱۱۳	فورینه اصلاح‌شده	
۰/۲۹	۳۹/۳۸	۱۷۰	IAS	
۰/۶۸	۳۸/۹۷	۱۶۸	Ciccacci	
۰/۴۳	۸۷/۷۸	۲۸۹	فورینه	کریجینگ
۰/۲۷	۵۴/۳۴	۱۳۴	فورینه اصلاح‌شده	
۰/۳۱	۵۵/۱۲	۱۷۸	IAS	
۰/۳۰	۵۵/۳۲	۱۷۶	Ciccacci	

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

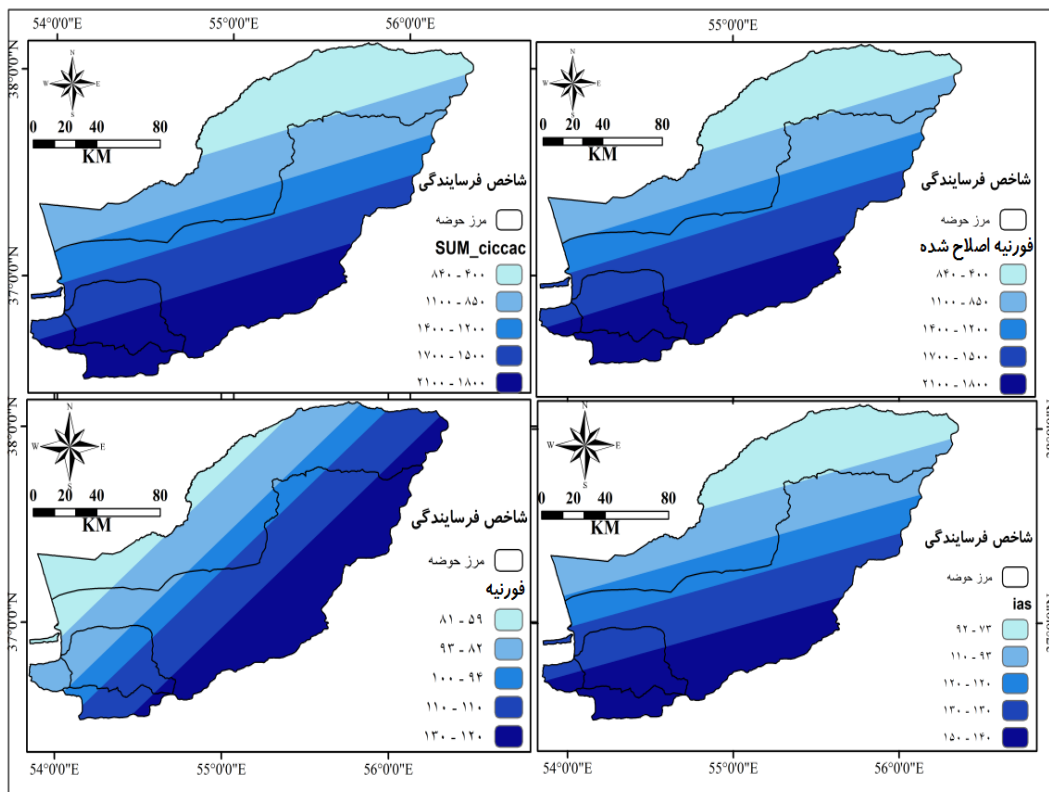
شکل‌های ۶، ۷، ۸ و ۹ نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص‌های فرساینده‌ی باران با انواع روش‌های درون‌یابی را نشان می‌دهند. با توجه به تعداد بالای ایستگاه‌های موجود در منطقه و نحوه توزیع مناسب آن‌ها، شاهد پهنه‌بندی کاملی از منطقه هستیم.

بر طبق نتایج، مقادیر فرساینده‌ی باران با تغییرات میزان بارندگی همبستگی معنی‌داری دارد؛ به طوری که مناطق با بارندگی زیاد و کم به ترتیب دارای فرساینده‌ی زیاد و کم دارند؛ بنابراین می‌توان مقادیر فرساینده‌ی باران حاصل از داده‌های بارش را به عنوان برآورد خوبی از پتانسیل فرسایش منطقه به کار گرفت. نقشه فرساینده‌ی باران تنها نشان‌دهنده پتانسیل فرسایش ناشی از فرساینده‌ی باران است و سایر عوامل تأثیرگذار در فرسایش منطقه شامل فرسایش‌پذیری خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و نحوه استفاده و مدیریت اراضی در منطقه قابل بررسی هستند.



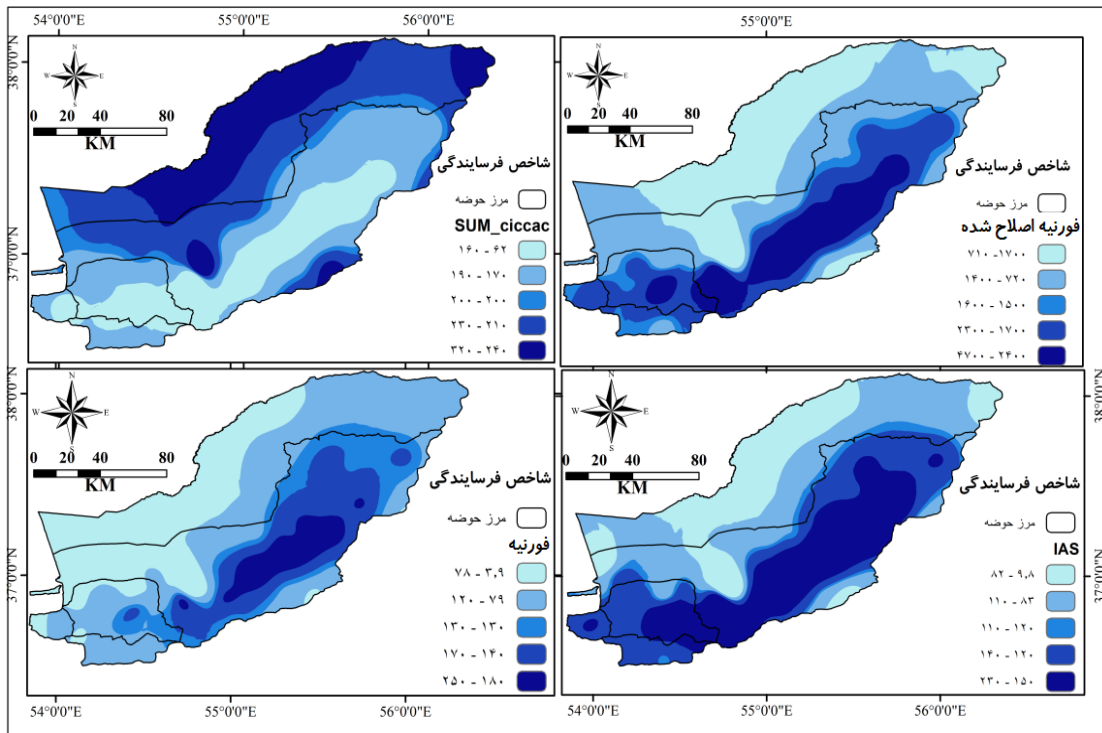
شکل ۶. نقشه توزیع فاکتور فرساینده گی باران با استفاده از روش IDW

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)



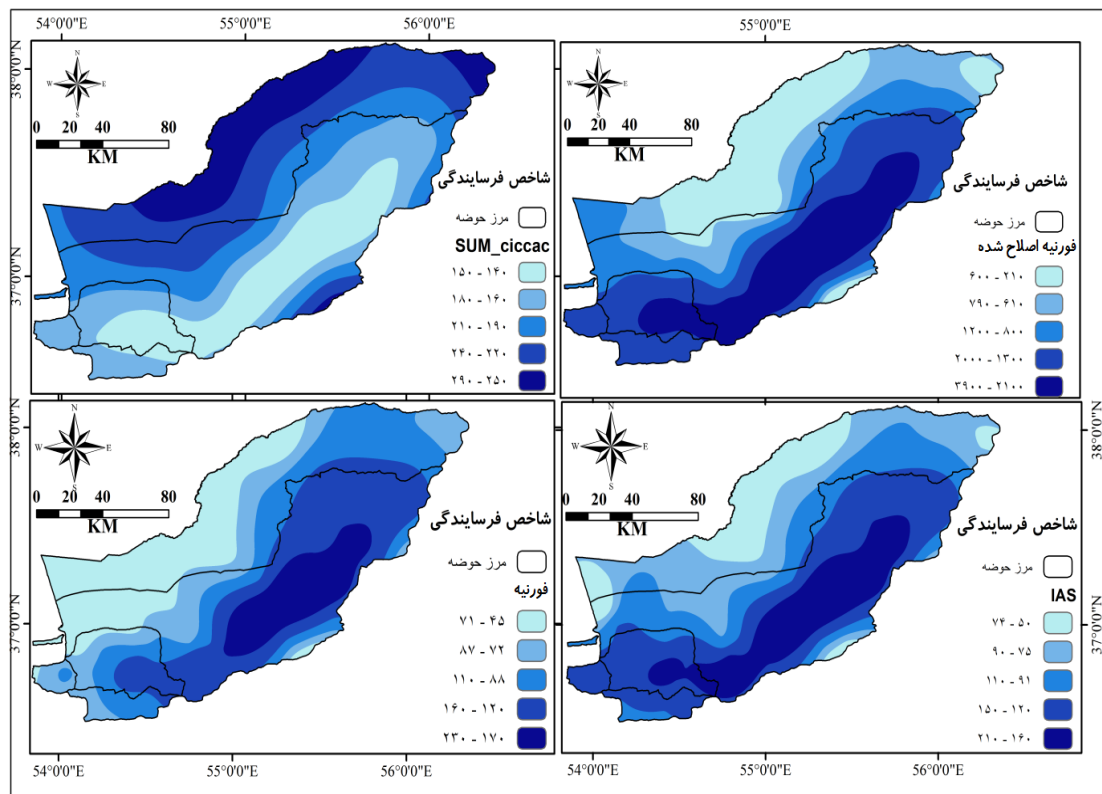
شکل ۷. نقشه توزیع فاکتور فرساینده گی باران با استفاده از روش GPI

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۸. نقشه توزیع فاکتور فرساینده گی باران با استفاده از روش RBF

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۹. نقشه توزیع فاکتور فرساینده گی باران با استفاده از روش Kriging

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

براساس نتایج حاصل از خروجی نقشه‌ها، می‌توان چنین استنباط کرد که مقدار و شدت فرساینده‌گی باران از قسمت میانی استان به سمت شرق، شمال و جنوب استان کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

فرساینده‌گی باران به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر فرسایش خاک مطرح است که در قالب شاخص‌هایی بیان می‌شود. فرسایش خاک یک مشکل مهم اجتماعی و اقتصادی و یک عامل ضروری در ارزیابی سلامتی و کارکرد اکوسیستم است. این پدیده، فرایندی تدریجی است که هنگام برخورد عامل فرسایش‌دهنده، مانند آب یا باد، به سطح خاک اتفاق افتاده و باعث جدا شدن و حرکت ذرات خاک و نهایتاً تخریب آن می‌شود. رابطه بارش با فاکتور فرساینده‌گی باران می‌تواند صحت خوبی برای در نظر گرفتن این فاکتور به عنوان فاکتور فرساینده‌گی باران باشد که مقدار R^2 آن برابر با ۰/۹۹ است. داسیلوا (۲۰۰۴: ۲۵۵) در کشور برزیل همبستگی بالای تغییرات فرساینده‌گی باران با تغییرات بارش متوسط سالانه را گزارش دادند. با توجه به نتایج، مدل تغییر نمای کروی، به عنوان ساختار فضایی ارجح بر روی داده‌ها برای پهنه‌بندی کمیت قدرت فرساینده‌گی باران در استان گلستان است.

در جهت کمی کردن تأثیر عامل فرساینده‌گی باران در کمیت فرسایش خاک، شاخص‌های مختلفی در مطالعات مختلف و در سطح دنیا توسعه داده شده‌اند. این تحقیق با هدف تعیین بهترین شاخص فرساینده‌گی و همچنین بهترین روش درون‌یابی در شرایط اقلیمی نیمه‌مرطوب استان گلستان انجام شد. هدف از انجام این تحقیق، تعیین الگوی تغییرات مکانی فرساینده‌گی باران در استان گلستان با استفاده از چهار شاخص فورنیسه، فورنیسه اصلاح‌شده، IAS و Ciccacci است. به صورتی که قدرت فرساینده‌گی باران در ۳۱ ایستگاه باران‌سنجی استان گلستان محاسبه شد و برای تبدیل این اطلاعات نقطه‌ای به اطلاعات ناحیه‌ای از روش‌های درون‌یابی مبتنی بر زمین‌آمار استفاده شده است. فرض بر این است که از روش‌های زمین‌آمار می‌توان برای برآورد شاخص‌های مختلف استفاده کرد و یکی از این روش‌ها را می‌توان به عنوان روش برتر با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه معرفی کرد.

براساس نتایج ارائه‌شده در این تحقیق، از بین چهار روش درون‌یابی، روش RBF نسبت به سه روش دیگر IDW، GPI و کریجینگ نتایج بهتری را ارائه کرده است. از آنجاکه این مدل برای حل مسائل پیش‌بینی، احتیاج به مجموع الگوهای ورودی و خروجی دارد، دارای یک توانایی است که به عنوان یک درون‌یاب مستقل متغیر مکانی را در یک منطقه پیش‌بینی کند. نتایج این بخش از تحقیق، با نتایج آپایدین و همکاران (۲۰۰۴: ۳۵) و عیوضی و مساعدی (۱۳۹۱: ۵۷) مطابقت دارد. درون‌یابی به روش تابع پایه شعاعی (RBF) می‌تواند روی داده‌های نویداری که به‌طور نامنظم در یک منطقه پخش شده‌اند، اعمال شده و یک درون‌یابی چندمتغیره هموار روی داده‌ها انجام دهد. این روش تاکنون توسط محققان به منظور درون‌یابی پارامترهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است، تجربیات نشان می‌دهد که می‌تواند نتایج خوبی در کاربردهای مختلف ایجاد کند. این در حالی است که روش کریجینگ از بین روش‌های زمین‌آمار به عنوان مناسب‌ترین روش برای کشور سوئیس معرفی کرد (Meusberger et al, 2012: 172). نتایج این تحقیق نشان داد که انواع روش‌های زمین‌آمار با در نظر گرفتن خودهمبستگی مکانی داده‌ها به خوبی قابلیت تلفیق همبستگی مکانی بین با سیستم اطلاعات جغرافیایی را دارند. همچنین واریوگرام‌های مورد استفاده در این تحقیق به خوبی نشان دادند که ترسیم واریوگرام علاوه بر اثبات داده‌های فرساینده‌گی باران، قابلیت مدل کردن تغییرات همبستگی مکانی در جهت‌های مختلف را نیز دارند. از جمله موارد دیگری که برای بهبود درون‌یابی‌های انجام شده می‌توان نام برد، مقایسه تعداد بیشتری مدل‌های واریوگرام تجربی و انتخاب واریوگرامی است که بهترین

همبستگی را نشان دهد (در این تحقیق از چهار مدل واریوگرام مختلف استفاده شد). در صورت وجود ایستگاه های بارندگی بیشتر می توان دقت درون یابی را نیز افزایش داد.

توزیع فاکتور فرساینده باران به روش تابع پایه شعاعی نشان می دهد در قسمت های میانی استان مقدار فرساینده باران حداکثر و هرچه به طرف جنوب، شمال و شرق پیش می رویم، مقدار آن کاهش می یابد. پس می توان نتیجه گرفت که میزان فرساینده باران با فاکتورهای ارتفاع و بارندگی رابطه مستقیم دارد. البته با در نظر گرفتن سایر پارامترهای تأثیرگذار از جمله جهت، شیب و سایر پارامترهای دیگر در بالابردن دقت برآورد فاکتور فرساینده باران از طریق درون یابی مؤثر است. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر، تغییرات مکانی شاخص فرساینده باران مورد بررسی قرار گرفته است، توصیه می شود تغییرات زمانی آن نیز برای فصول مختلف نیز مورد مطالعه قرار گیرد. نتایج و اطلاعات خروجی این تحقیق را می توان برای برآورد مقادیر فرسایش و رسوب و اولویت بندی مناطق استان گلستان در جهت اجرای پروژه های کنترل فرسایش و رسوب مورد استفاده قرار داد.

منابع

احمدی، حسن؛ جوادی، محمدرضا؛ صلواتی، عقیق. (۱۳۹۳). پهنه بندی فرساینده باران به روش فورنیه با استفاده از برخی روش های درون یابی (مطالعه موردی: استان قزوین). فصلنامه علمی-پژوهشی اکوسیستم های طبیعی ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، دوره ۵، شماره ۲، صص ۱-۱۴.

http://nejournal.iaunour.ac.ir/article_520558_1f7488d491ac81f272d2dc1786208ac3.pdf

اخوان، رضا؛ زبیری، محمود؛ زاهدی امیری، قوام الدین؛ نمیرانیان، منوچهر؛ ماندالاز، دنیل. (۱۳۸۵). بررسی ساختار مکانی و برآورد موجودی حجمی جنگل های خزری با استفاده از روش موجودی حجمی جنگل های خزری با استفاده از روش زمین آماری. مجله منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، دوره پنجاه و نهم، شماره ۱، صص ۸۹-۱۰۱.

<https://www.sid.ir/FileServer/JF/56513850107.pdf>

ثقفیان، بهرام؛ رزمخواه، هما؛ قرمز چشمه، باقر. (۱۳۹۰). بررسی تغییرات منطقه ای بارش سالانه با کاربرد روش های زمین آمار (مطالعه موردی: استان فارس). مجله مهندسی منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، سال چهارم، شماره ۹، صص ۲۸-۳۸.

http://wej.miau.ac.ir/article_1629_3424ad1c420f51cf1e7f7e77245bc632.pdf

حسنی پاک، علی اصغر. (۱۳۷۷). زمین آمار (نواستاتستیک). تهران: انتشارات دانشگاه تهران. ۳۱۴ ص.

<https://www.adinehbook.com/gp/product/9640340219>

حسنی پاک، علی اصغر. (۱۳۸۶). زمین آمار. تهران: دانشگاه تهران، ۳۸۰ صفحه.

<https://eshraghipub.com.Detail>

رضائی، پیمان؛ فریدی، پروانه؛ قربانی، منصور؛ کاظمی، محمد. (۱۳۹۳). برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و شناسایی مؤثرترین عامل آن در حوزه آبخیز گابریک- جنوب خاوری استان هرمزگان، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، سال سوم، شماره ۱، صص ۹۷-۱۱۳.

<http://ensani.ir/file/download/article/20160105163012-10010-82.pdf>

سالاروند، جوادی؛ قاسمی آقباش، فرهاد؛ اسدالهی، زهرا. (۱۳۹۷). تهیه نقشه فرساینده باران استان لرستان با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ، پژوهش های اقلیم شناسی، سازمان هواشناسی کشور- پژوهشکده اقلیم شناسی، شماره ۳۶، صص ۵۷-۷۲.

http://clima.irimo.ir/article_92044_973ed7d5e274d48d2e208b0bc383984c.pdf

صادقی، سید حمیدرضا؛ ذبیحی، محسن. (۱۳۹۷). تحلیل هم روندی تغییرات شاخص های فرساینده فورنیه اصلاح شده و بارش استنادارده در استان خراسان شمالی، مهندسی و مدیریت آبخیز، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری با همکاری انجمن آبخیزداری ایران، دوره دهم، شماره ۴، صص ۵۰۶-۵۱۵.

https://jwem.areeo.ac.ir/article_117879_7a536db68b1ed44da728848095e53773.pdf

علیزاده، امین. (۱۳۶۸). فرسایش و حفاظت خاک (ترجمه). انتشارات آستان قدی رضوی (اداره امور فرهنگی)، ۲۵۸ ص.

<http://www.lib.ir › book>

عیوضی، معصومه؛ مساعدی، ابوالفضل. (۱۳۹۱). بررسی الگوی گسترش مکانی بارش در سطح استان گلستان با استفاده از مدل‌های قطعی و زمین‌آماري. مجله آب و خاک. دانشگاه فردوسی مشهد، دوره بیست‌وششم، شماره ۱، صص ۶۴-۵۳.

https://jsw.um.ac.ir/article_35801_01f3c461a2466154e089b9024b396a48.pdf

غلامی، حمید؛ فتحی‌زاد، حسن؛ صفری، عطا؛ بی‌نیاز، مهدی. (۱۳۹۴). برآورد فاکتور فرساینده‌گی باران با استفاده از الگوریتم‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: استان ایلام)، فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی، دانشگاه هرمزگان، دوره پنجم، شماره ۴، صص ۱-۱۶.

<http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-256-fa.pdf>

عادلی، بهزاد؛ غلامی، حمید؛ نفرزادگان، علیرضا. (۱۳۹۵). بررسی خصوصیات الگوی توزیع مکانی فرساینده‌گی باران در استان هرمزگان. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، دوره پنجم، شماره ۲، صص ۹۴-۱۰۹.

<https://www.sid.ir/FileServer/JF/4032413950207.pdf>

گرامی، زهرا؛ عربخدری، محمود؛ اسدی، حسین؛ بیات، رضا. (۱۳۹۶). تغییرات رسوبدهی معلق تحت تأثیر چرخه فرساینده‌گی باران در حوضه آبخیز سرخاب. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، انجمن آبخیزداری ایران، دوره یازدهم، شماره ۳۸، صص ۶۱-۷۲.

<http://jwmsei.ir/article-1-640-fa.pdf>

ختاری، داود؛ ولیزاده، کامران؛ خلیل، مرادی؛ مطلق، احسان. (۱۳۹۸). بررسی نقش تغییر روش‌های درون‌یابی برای تولید عامل R در برآورد فرسایش خاک حوضه‌های آبریز به روش RUSLE (مطالعه موردی: حوضه آبریز بالارود)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، دوره هشتم، شماره ۳، صص ۲۲۲-۲۴۱.

<https://www.sid.ir/FileServer/JF/4032413980313.pdf>

میرموسوی، سید حسین؛ مزیدی، احمد؛ خسروی، یونس. (۱۳۸۹). تعیین بهترین روش زمین‌آمار در جهت تخمین توزیع بارندگی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: استان اصفهان)، فضای جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، دوره سی‌ام، شماره ۱۰، صص ۱۰۵-۱۲۰.

<https://www.sid.ir/FileServer/JF/40013893006.pdf>

نظرنژاد، حبیب؛ شاه حسین، تارا؛ اسدزاده، فرخ. (۱۳۹۷). تغییرات مکانی و زمانی فرساینده‌گی باران در استان آذربایجان غربی. جغرافیا و پایداری محیط، دانشگاه رازی، دوره هشتم، شماره ۲، صص ۸۹-۹۹.

https://ges.razi.ac.ir/article_921_99e85dc89a692eac5e9b58b31a9274bf.pdf

نیک‌کامی، داود؛ مهدیان، محمدحسین. (۱۳۹۳). تهیه نقشه شاخص مناسب فرساینده‌گی باران کشور. مهندسی و مدیریت آبخیز، پژوهش‌های حفاظت خاک و آبخیزداری با همکاری انجمن آبخیزداری ایران، دوره ششم، شماره ۴، صص ۳۶۴-۳۷۶.

https://jwem.areeo.ac.ir/article_100819_07a772897256f7078a6e2eceb29b5951.pdf

وفاخواه، مهدی؛ محسنی‌ساروی، محسن؛ مهدوی، محمد؛ علوی‌پناه، سید کاظم. (۱۳۸۷). کاربرد زمین‌آمار در برآورد عمق و چگالی برف در حوضه آبخیز اورازان. نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، انجمن آبخیزداری ایران، دوره دوم، شماره ۴، صص ۴۹-۵۵.

<https://www.sid.ir/FileServer/JF/48813870405.pdf>

References

Apaydian, H., Sonmez, K., Yildirim, E. (2004). "Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey". Journal of Climate Research, 28(1): 31-40.

- https://www.researchgate.net/profile/HalitApaydin/publication/250221607_Spatial_Interpolation_Techniques_for_Climate_Data_in_the_Gap_Region_in_Turkey/inline/jsViewer/5a211b59aca272ab5a62334f?inViewer=1&pdfJsDownload=1&origin=publication_detail&previewAsPdf=false
- Arnoldus, H.M.J. (1980). An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. In: De Boodt, M., Gabriels, D. Eds., Assessment of Erosion. Chichester, New York. pp. 127-132.
- [https://www.scirp.org/\(S\(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1687726](https://www.scirp.org/(S(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1687726).
- Da Silva, A.M. (2004). Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, 57(3), 251-259.
- https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/299519/mod_resource/content/0/Artigo%201%20-%20Silva%202004.pdf
- Fournier, F. (1956). The effect of climatic factors on soil erosion estimates of solids transported in suspension in runoff. *Association Hydrologic Int. Public*, 38:6.
- Fournier, F. (1960). *Climate and erosion*. Paris university of Paris.
- Hadley, R.F., Lal, R., Onstad, C.A., Walling, D.E., Yair A. (1985). Recent developments in erosion and sediment yield studies. UNESCO, Paris, 127 pp.
- Hasani Pak, A. 2013. *Geostatistics*. Tehran University Press, 314 (In Persian).
- <https://eshraghipub.com/product/detail/55753/>.
- Kouli, M., Soupios, P., Vallianatos, F. (2009). Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environment Geology*. 57: 483-497.
- <https://www.semanticscholar.org/paper/Soil-erosion-prediction-using-the-Revised-Universal-Kouli-Soupios/9b92e98c7dd4ac8aadedcdf398e20815541d0e871>.
- Lal, R., Elliot, W. (1994). Erodibility and erosivity. In Lal, R. (ed.), *Soil erosion research methods*. Soil and Water Conservation Society. Ankeny. 181-208.
- <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780203739358-8/erodibility-erosivity-lal-elliott>
- Meusburger, K., Steel, A., Panagos, P., Montanarella, L., Alewell, C. (2012). Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 167-177.
- <https://doi.org/10.5194/hess-16-167-2012>.
- Morgan, R.P.C. (1995). *Soil erosion and conservation* Addison-Wesley. London, 198p.
- [https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=117218](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=117218)
- Onori, F., Bonis, P.D., Grauso, S. (2006). Soil erosion prediction at the basin scale using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a catchment of Sicily (southern Italy). *Environ Geol*. 50: 1129-1140.
- <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0286-1>
- Oliveira, P.T.S., Wendland, E., Nearing, M.A. (2013). Rainfall erosivity in Brazil: a review, *Catena*, 100:139-147.
- <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.08.006>
- Safarrad, T., Hashemi, S.H., Amini, J. (2009). Exploitation of Geostatistical Techniques on Rainfall Erosivity Modeling Using Fournier Method (case study: Bash gheslugh Catchment area) , Natinal Conference on GIS).
- http://nejournal.iaunour.ac.ir/article_520558_1f7488d491ac81f272d2dc1786208ac3.pdf?lang=en
- Tsung, C.K. (2004). *Introduction to geographic information system*, 2nd edition, McGraw Hill. 384 pages.
- <https://www.amazon.com/Introduction-Geographic-Information-Systems-Kang-Tsung/dp/0072528117>
- Wang, G., Gertner, G., Singh, V., Shinkareva, S., Parysow, P., Anderson, A. (2002). Spatial and temporal prediction and uncertainty of soil loss using the revised universal soil loss equation: a case study of the rainfall-runoff erosivity R factor. *Ecological Modeling*, 153:143-155.
- [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00507-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00507-5)