

## Determination of the Relationship and Spatial Variations of Discharge and Suspended Sediment Values in Watersheds of Ardabil Province

Ebrahim Asgari<sup>1</sup>, Dr. Seyed Zeynalabedin Hoseini<sup>2\*</sup>, Dr. Raof Mostafazadeh<sup>3</sup>

1-Ph.D Student in Watershed Sciences and Engineering, University of Yazd

2-Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, University of Yazd

3-Associate Professor of Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili



Asgari, E & Hoseini, S Z & Mostafazadeh, R (2021). [Determination of the Relationship and Spatial Variations of Discharge and Suspended Sediment Values in Watersheds of Ardabil Province]. *Geography and Development*, 18(61), 143-176. <http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2021.5847>

doi: <http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2021.5847>

Received:27/11/2019

Accepted:12/04/2020

### Keywords:

Spatial Variation,  
Kriging,  
Sediment Rating  
Curve,  
Variogram,  
Ardabil Province.

### ABSTRACT

Understanding the status of discharge and sediment of watersheds area provides an understanding of the hydrological processes. Uniform assuming of discharge and sediment in a watershed leads to the application of unit planning and management for the entire watershed and leads to a failure to achieve the goals. The present study was conducted with the aim of studying spatial variations and zoning of discharge and sediment values in Ardabil province during 10 years (2005-2014) at 37 stations with hydrometry in Ardabil province. IDW interpolation methods, simple kriging, ordinary kriging and cokriging were investigated to determine the best method for studying spatial variations, discharge and sediment variables. Based on the results of the evaluation indices of IDW (RMSE=1.172, MAE=0.644, MBE=-0.2, MSE=1.373) and cokriging (RMSE=0.107, MAE=0.08, MBE=-0.001, MSE=0.011) and the correlation coefficient between measured and estimated values by IDW ( $r=0.429$ ) and cokriging ( $r=0.554$ ) respectively, as the best method for evaluating the discharge and sediment variables were chosen. Based on the results of the IDW method, the amount of digestion in the Western parts of Ardabil province is greater (4.84-5.8 m<sup>3</sup>/s), and in the central section, this amount is the lowest (0.04-1 m<sup>3</sup>/s). According to the results of the interpolation of the sediment variable with the cokriging method in the Western and Southern parts of Ardabil province with a higher amount of sediment (0.16-0.19 ton/ha/year) and in the central parts of the sediment deposition (0.01-0.04 ton/ha/year).

Copyright©2021, Geography and Development. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

### Extended Abstract

#### 1- Introduction

Understanding the watershed discharge and sediment yield and their spatial interpretation of contribution sources can improve the knowledge about flood, erosion and the consequences of these phenomena. These information is necessary to identify and analyze the

main sources of erosion, quantifying hydrological and sediment relations in ungauged watersheds. Also, assessment of the impact of human activities, climate change, soil and water conservation and watershed management activities require the accurate determination of runoff and sediment interactins. Considering the uniform runoff and sediment production in a watershed leads to the implementation of same management actions for the entire watershed, which limits the planning, management and operation of watershed plans at subwatershed scale and imposes additional costs. By identifying and determining the patterns of discharge and sediment spatial variations, it is possible to classify the regions with the same response leads to making sound management decisions toward effective economic measures to prevent or reduce the production of runoff and sediment amount through determining appropriate control method and actions. The present study was conducted to investigate the spatial variations of

#### \*Corresponding Author:

Dr. Seyed Zeynalabedin Hoseini

Address: Department of Faculty of Natural Resources and Desert Studies, University of Yazd

Tel: +98(9133575921)

E-mail: zhosseini@yazd.ac.ir

discharge and sediment values in Ardabil province. In this regard, the zoning of discharge and sediment yield values and their relationship have been analyzed.

## 2- Methods and Materials

The present study was carried out in 37 river gauge stations in Ardabil province during a 10-years period (1960-2006). In this study, the sediment rating curve method was used to estimate sediment load values in each hydrometry station. Then, the mean values of discharge and sediment were calculated for each station based on all data set and the mean values of discharge and specific sediment of each station were entered into the GS<sup>+</sup> and ArcMap software for geostatistical analysis. The inverse distance weighting interpolation methods, simple kriging, ordinary kriging and cokriging were employed to determine the best method for detecting the spatial variations of discharge and sediment variables in the study area. The estimated runoff and sediment values were compared using the scatter plot and coefficient of determination. The performance of different interpolation methods was assessed and the least squares regression lines were drawn to determine the correlation of the estimated and observed values. The Pearson's correlation coefficients were determined between measured and estimated values through different interpolation methods. The root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), mean bias error (MBE), mean square error (MSE) between measured and estimated values were used as statistical measures in order to evaluate the accuracy of the spatial interpolation results.

## 3-Results and Discussion

Based on the results of the evaluation indices, the inverse distance weighting (IDW) (RMSE = 1.172, MAE=0.644, MBE=-0.2, MSE=1.373) & cokriging (RMSE= 0.107, MAE=0.08, MBE=-0.001, MSE= 0.011) were the most suitable methods in the spatial interpolation of studied variables. In this regard, the correlation coefficient between measured and estimated values for the IDW and cokriging were 0.429 and 0.554, respectively. According to the results of the IDW interpolation method, the amount of discharge in the western parts of Ardabil province was greater (4.84 - 5.8 m<sup>3</sup> / s), than the central part of the province with the lower values ranges (0.04-1m<sup>3</sup>/s). The results of the interpolation of the sediment variable showed that the cokriging method, the Western and Southern parts of Ardabil province had a higher amount of sediment values (0.16-0.19 ton/ha/year) and in the amount of sediment yield was in the lowest amount ranges (0.01-0.04ton/ha/ year).

## 4-Conclusion

According to the results of the statistical assessment and the correlation coefficient of measured versus estimated values, the IDW and cokriging interpolation methods were the most suitable interpolation methods for estimating the discharge and sediment variable, respectively. Based on the results of the IDW method, the discharge values in the Western parts of Ardabil province is higher than other parts of the province due to the mountainous topography. Meanwhile, the central parts of the study area had the lower value of discharge due to the low gradient and over exploitation of the surface water resources in different sectors, especially agriculture. According to the interpolation results of sediment yield variability using the cokriging method, the parts of the province in the Southern parts had the more amount of sediment values due to the mountainous nature and undeveloped soils. Also, the more sediment values can be related to the sedimentary and erosion sensitive formations. The presence of dams and the use of surface water resource strongly reduces the sediment load values in the central parts of the province comparing with other parts of the study area.

**Keywords:** Spatial Variation, Kriging, Sediment Rating Curve, Variogram, Ardabil Province

## 5-References

- Altunkaynak, A. & Wang, K. (2010). Triple diagram models for prediction of suspended solid concentration in Lake Okeechobee, Florida. *Journal of Hydrology*, 387: 165-175.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169410001721>
- Ardabil Regional Water Organization. (2018). Discharge and sediment data measured at hydrometric stations in Ardabil province. (In Persian). <http://www.arrw.ir/>
- Asgari, E. (2018). Determining effects of structural Stability and erodibility on runoff and sediment production in different geological formations of QarahShiran Ardabil Watershed. Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of M.Sc. in Natural Resources Engineering- Watershed Management, University of Mohaghegh Ardabili, 73 p. (In Persian).  
<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/3365a1aa853423777b6b1fa11647870c>
- Asgari, E., EsmaliOuri, A., Mostafazadeh, R. & Ahmadzadeh, Gh. (2018). Spatial variations of runoff, sediment and runoff threshold of Gharehshiran watershed in Ardabil Province. *Journal of the Earth and Space Physics*, 44(3): 697-714. (In Persian).  
[https://jesphys.ut.ac.ir/article\\_67783.html](https://jesphys.ut.ac.ir/article_67783.html)

- Asghari, Sh., HashemianSoofian, S., GoliKalanpa, E. & Mohebodini, M. (2015). Impacts of land use change on soil quality indicators in eastern Ardabil province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(3): 1-19. (In Persian).
- Asselman, N. E. M. (2000). Fitting and interpretation of sediment rating curves. *Journal of Hydrology*, 234:228-248. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169400002535>
- BabaeiAghdam, F. & EbraheemzadeAsmin, H. (2012). Modeling agricultural and arid land use changes into built-up in Ardabil urban region using CLUE-S model. *Geography and Development Iranian Journal*, 26: 21-34. (In Persian).
- Barua, S. & Perera, B. J. C. (2012). Artificial neural network-based drought forecasting using a nonlinear aggregated drought index. *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE 17: 1408-1413. [https://www.researchgate.net/publication/273748014\\_Artificial\\_Neural\\_Network-Based\\_Drought\\_Forecasting\\_Using\\_a\\_Nonlinear\\_Aggregated\\_Drought\\_Index](https://www.researchgate.net/publication/273748014_Artificial_Neural_Network-Based_Drought_Forecasting_Using_a_Nonlinear_Aggregated_Drought_Index)
- Blume, T., Zehe, E. & Bronstert, A. (2007). Rainfall-runoff response, event-based runoff coefficients and hydrograph separation. *Hydrological Sciences Journal*, 52(5): 843-862. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1623/hysj.52.5.843>
- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F. & Konopka, A. E. (1994). Field-Scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58: 1501-1511 <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- Centre for Sustainable Development & Environment (CENESTA) (2015). Ecological Assessment Report of Shahsoon Nomadic Territory (Shahsoon Moghan), Centre for Sustainable Development and Environment, 165-120. (In Persian).
- Chen, S. H., Lin, Y. H., Chang, L. C. & Chang, F. J. (2006). The strategy of building a flood forecast model by neuro-fuzzy network. *Hydrological Processes*, 20(7): 1525-1540. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hyp.5942>
- Coote, G. G. & Cornish, E. A. (1958). The correlation of monthly rainfall with position and altitude of observing stations, Technical Paper, 4: 33p. [https://books.google.com/books/about/The%20C5%93\\_Correlation\\_of\\_monthly\\_rainfall\\_wi.html?id=SQP7vgECAAJ](https://books.google.com/books/about/The%20C5%93_Correlation_of_monthly_rainfall_wi.html?id=SQP7vgECAAJ)
- Coppus, R., Imeson, A. C. & Serink, J. (2003). Identification, distribution and characteristics of erosion sensitive areas in three different central Andean ecosystems, *Catena*, 51(3): 315-328. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816202001698>
- D'Haen, K., Verstraeten, G. & Degryse, P. (2012). Fingerprinting historical fluvial sediment fluxes. *Progress in Physical Geography*, 36(2): 154-186. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0309133311432581>
- Davis, B. M. (1987). Uses and abuses of cross-validation in geostatistics. *Mathematical Geology*, 19(3): 241- 248. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00897749>
- Duckstein, L., Fogel, M. M. & Thames, J. L. (1973). Elevation effects on rainfall: A stochastic model. *Journal of Hydrology*, 18: 21-35. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022169473900231>
- Elliot, R. D. & Hovind, E. L. (1964). The water balance of Orographic clouds. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 3: 235-239. [https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/3/3/1520-0450\\_1964\\_003\\_0235\\_twbooc\\_2\\_0\\_co\\_2.xml?tab\\_body=fulltext-display](https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/3/3/1520-0450_1964_003_0235_twbooc_2_0_co_2.xml?tab_body=fulltext-display)
- EsmaliOuri, A. & Abdollahi, Kh. (2011). Watershed management and soil conservation, University of Mohaghegh Ardabili, 2Ed., 612 p. (In Persian). <https://www.avavezohoor.ir/book/76/%D8%A2%D8%A8%D8%AE%DB%8C%D8%B2%D8%AF%D8%A7%D8%B1%DB%8C-%D9%88-%D8%AD%D9%81%D8%A7%D8%B8%D8%AA-%D8%AE%D8%A7%DA%A9/>
- Farajzadeh, M. & GhareChorlo, M. (2011). Analysis of the spatial and temporal suspended sediment of Qarahu drainage basin. *Environmental Erosion Research Journal*, 1(3): 61-84. (In Persian). <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=186255>
- Gamma Design Software (2008). GS<sup>+</sup> user's guide. Gamma Design Software, LLC Plainwell, Michigan 49080, 179p. <https://geostatistics.com/>
- Gellis, A. C. (2013). Factors influencing storm-generated suspended-sediment concentrations and loads in four basins of contrasting land use, humid-tropical Puerto Rico. *Catena*, 104: 39-57. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S034181621200224X>
- Golmohamadi, G., Maroufi, S. & Mohamadi, K. (2009). Regionalisation of runoff coefficient in Hamedan province using geostatistical methods and GIS. *Journal of Water and Soil Science*, 12(46): 501-514. (In Persian). <https://jstnar.iut.ac.ir/article-1-1139-fa.html>
- Gracia- Sanchez, J. (1996). Generation of synthetic sediment graphs. *Hydrological Processes*, 10(9): 1181-1191. [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199609\)10:9%3C1181::AID-HYP369%3E3.0.CO;2-X](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/(SICI)1099-1085(199609)10:9%3C1181::AID-HYP369%3E3.0.CO;2-X)
- Green, I. R. A. & Stephenson, D. (1986). Criteria for comparison of single event models. *Hydrological Sciences Journal*, 31(3): 395-411. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02626668609491056>
- Harrison, C. G. A. (2000). What factor control mechanical erosion rates. *International Journal of Earth Sciences*, (531): 78-92. <https://link.springer.com/article/10.1007/s005310050303>



- HasaniPak, A.A. (2014). Geostatistics. Tehran University Publication, 5ed., 314p. (In Persian).  
<https://www.asrketab.com/Product/18954/%DA%A9%D8%AA%D8%A7%D8%A8-%D8%B2%D9%85%DB%8C%D9%86-%D8%A2%D9%85%D8%A7%D8%B1-%DA%98%D8%A6%D9%88%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D8%A7%D8%AA%DB%8C%D8%B3%D8%AA%DB%8C%DA%A9>
- Horowitz, A. J. (2003). An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations. *Hydrological Processes*, 17(17): 3387-3409.  
<https://pubs.er.usgs.gov/publication/70024634>
- Hosseini, S. Z., Kappas, M., BagheriBodaghabadi, M., ZareChahouki, M. A. & RanjinehKhojasteh, E. (2014). Comparison of different geostatistical methods for soil mapping using remote sensing and environmental variables in rangelands. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(3): 737-751.  
<http://www.pjoes.com/Comparison-of-Different-Geostatistical-Methods-r-nfor-Soil-Mapping-Using-Remote-Sensing.89245.0.2.html>
- Houlding, S. W. (2000). *Practical geostatistics: Modeling and spatial analysis*. Springer-Verlag, New York, 159p.  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13658810310001620852>
- Hu, B., Wang, T. H., Yang, Z. & Sun, X. (2011). Temporal and spatial variations of sediment rating curves in the Changjiang (Yangtze River) basin and their implications. *Quaternary International*, 320: 34-43.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1040618209002894>
- Issak, H. E. & Srinivasta, R. M. (1989). *Applied geostatistics*, Oxford University Press: Oxford. 561p.  
[https://books.google.com/books/about/Applied\\_Geostatistics.html?id=vC2dcXFL3YC](https://books.google.com/books/about/Applied_Geostatistics.html?id=vC2dcXFL3YC)
- JafarianJeloudar, Z., Arzani, H., Jafari, M., Kelarestaghi, A.A., Zahedi, Gh.A.A. & Azarnivand, H. (2009).  
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=101910>
- Spatial distribution of soil properties using geostatistical methods in Rineh rangelands. *Journal of Rangelands*, 3(1): 107-120. (In Persian).
- JavadiTabalvandani, M., Gholami, S. & Dastorani, J. (2014). Comparison of runoff and suspended sediment concentration in various work units of Lavij Watershed. *Journal of Natural Ecosystems of Iran*, 5(1): 85-97. (In Persian).  
[http://nejournal.iaounour.ac.ir/article\\_528339.html](http://nejournal.iaounour.ac.ir/article_528339.html)
- Johnston, K., M. VerHoef, J., Krivoruchko, K. & Lucas, L(2004). *ArcGIS 9: Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. ESRI, 300p.  
[http://downloads2.esri.com/support/documentation/ao/Using\\_ArcGIS\\_Geostatistical\\_Analyst.pdf](http://downloads2.esri.com/support/documentation/ao/Using_ArcGIS_Geostatistical_Analyst.pdf)
- Jordan, J. P. (1994). Spatial and temporal variability of streamflow generation processes on a Swiss catchment, *Journal of Hydrology*, 153: 357-382.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022169494901996>
- Journel, A. G. & Huijbregts, C. J. (1978). *Mining geostatistics*. The Blackburn Press, 600p.  
[https://books.google.com/books/about/Mining\\_Geostatistics.html?id=Id1GAAAAYAAJ](https://books.google.com/books/about/Mining_Geostatistics.html?id=Id1GAAAAYAAJ)
- Kakehmami, A. (2016). Land use change detection of Ardabil province in last two decades using visual and digital interpretation of satellite imagery. Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of M.Sc. in Range Management, University of Mohaghegh Ardabili, 112p. (In Persian).  
<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/b74554048e5364f306ca100055abd333>
- Kalvandi, S.M., Khodashenas, S.R., Ghahraman, B. & Tahmasebi, R. (2009). Analysis of different methods of rating curves in estimating of dams alluvia and study on Doosti Dam. *Water and Irrigation Engineering*, 1(1):10-20. (In Persian).  
[http://www.waterjournal.ir/article\\_69660.html](http://www.waterjournal.ir/article_69660.html)
- KhazaeiMoughani, S., Najafinejad, A., Azimmohseni, M. & BerdiSheikh, V. (2013). Spatial and seasonal variation of suspended sediment in different stations of Gorganroud River, Golestan Province. *Journal of Watershed Management Research*,4(7):1-15. (In Persian).  
<http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-231-fa.html>
- Khosravi, Y. & Abbasi, E. (2016). *Spatial analysis of environmental data using geostatistics*, Azar Kelk Publications, The first edition, 280 pages. (In Persian).  
<https://www.gisoom.com/book/11214717/%DA%A9%D8%AA%D8%A7%D8%A8-%D8%AA%D8%AD%D9%84%DB%8C%D9%84-%D9%81%D8%B6%D8%A7%DB%8C%DB%8C-%D8%AF%D8%A7%D8%AF%D9%87-%D9%87%D8%A7%DB%8C-%D9%85%D8%AD%DB%8C%D8%B7%DB%8C-%D8%A8%D8%A7-%D8%B2%D9%85%DB%8C%D9%86-%D8%A2%D9%85%D8%A7%D8%B1/>
- Kitanidis, P. K. (1997). *Introduction to geostatistics: Applications in hydrogeology*. Cambridge University Press, 249p.  
<http://carlosreynoso.com.ar/archivos/articulos/Kitanidis-Introduction-to-Geostatistics-Applications-to-Hydrogeology.pdf>
- Lu, X. X. (2005). Spatial variability and temporal change of water discharge and sediment flux in the Lower Jinsha tributary: Impact of environmental changes. *River Research and Applications*, 21(2-3): 229-243.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/rra.843>
- Ma, Y., Hung, H. G., Xu, J., Brierly, G. J. & Yao, Z. (2010). Variability of effective discharge for suspended sediment transport in a large semi-arid river basin. *Journal of Hydrology*, 388: 357-369.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169410002775>
- Madadi, A. & Nikopour, Sh. (2013). Estimation of soil erosion and sediment production in Zal river watershed using PSIAC, modified PSIAC and GIS methods. *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, 2(1): 133-154. (In Persian).  
[http://www.geomorphologyjournal.ir/article\\_77905\\_4dbd6aa08c7bb2539c68f8945d3add1a.pdf](http://www.geomorphologyjournal.ir/article_77905_4dbd6aa08c7bb2539c68f8945d3add1a.pdf)

- Madani, H. (2014). Fundamentals of geostatistics. AmirKabir University of Technology Publications, The Second Edition, 660 p. (In Persian).  
<https://saneibook.com/Products/%DA%A9%D8%AA%D8%A7%D8%A8-%D9%85%D8%A8%D8%A7%D9%86%D9%8A-%D8%B2%D9%85%D9%8A%D9%86-%D8%A2%D9%85%D8%A7%D8%B1-8476>
- Maleknejad, H. (2015). Investigation of the sensitivity of geological formations of Andbil village in Khalkhal city to erosion, The Third National Conference of Scientific-Student Associations of Agriculture and Natural Resources, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, May 6 and 7, 2015, 7-1. (In Persian).<https://civilica.com/doc/457738/>
- Management and Planning Organization of Ardabil Province. (2017). Statistical yearbook of Ardabil province, 2016. Publications of the Budget and Planning Organization of the Country, 646 pages. (In Persian).  
<https://ardabilmpo.ir/index.aspx?fkeyid=&siteid=1&pageid=387>
- Management and Planning Organization of Ardabil Province. (2017). Studies of the planning plan of Ardabil province. Volume 1: Analysis of the situation and structure, Chapter 1: Analysis of the province situation, Section 1: Analysis of the situation of natural resources and environment, Appendix 5: Surface and groundwater resources. Publications of the Budget and Planning Organization, 195 p. (In Persian).  
<http://ardabilmpo.ir/uploads/%D8%B7%D8%B1%D8%A%D%20%D8%A2%D9%85%D8%A7%DB%8C%D8%B4%20%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D8%A7%D9%86%20%D8%A7%D8%B1%D8%AF%D8%A8%DB%8C%D9%84.pdf>
- Matheron, G. (1971). The theory of regionalized variables and its applications (Les Cahiers du Centre de morphologie mathématique de Fontainebleau). Ecole Nationale Supérieure des Mines, 5: 211p  
[https://www.scrip.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1163810](https://www.scrip.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1163810)
- McBratney, A. B. & Webster, R. (1986). Choosing functions for semivariogram of soil properties and fitting them to sampling estimates. Journal of Soil Science, 37(4): 617-639.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2389.1986.tb00392.x>
- Mehri, S., Mostafazadeh, R., Esmaliouri, A. & Ghorbani, A. (2017). Spatial and temporal variations of base flow index (BFI) for the Ardabil province river, Iran. Journal of the Earth and Space Physics, 43(3): 623-634. (In Persian).[https://jesphys.ut.ac.ir/article\\_60293.html](https://jesphys.ut.ac.ir/article_60293.html)
- MohamadRezaPour, O., Shui, L. T. & Dehghani, A. A. (2012). Comparison of ant colony optimization and genetic algorithm models for identifying the relation between flow discharge and suspended sediment load (Gorgan River - Iran). Scientific Research and Essays, 7(42): 3584-3604  
<https://academicjournals.org/journal/SRE/article-abstract/5C22BCE28943>
- Mohammadi, A., Mosaedi, A. & Heshmatpour, A. (2007). Determination of the best model to estimate suspended sediment loads in Ghazaghly Gauge Station-Gorganrood River, Iran. Journal of Agricultural Science and Natural Resource, 14(4): 232-240. (In Persian).  
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=70358>
- Mohammadi, J. (2001). Review on fundamentals of geostatistics and its application to soil science. Journal of Soil and Waters Sciences, 15(1): 99-121. (In Persian).  
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=7158>
- Mohammadi, J. (2006). Pedometry, Geostatic Statistics. Second Volume. Pelk Publications, 453 p. (In Persian).  
<https://www.adinehbook.com/gp/product/9648624823>
- Mohammadi, M.A. & Kaviani, A.A. (2011). Investigation of runoff and sedimentation temporal variations in plot scale (Case Study: Khamsan Representative Watershed). 12th Iranian Soil Science Congress, 12-14 September, Tabriz, Iran. (In Persian).
- Norbiato, D., Borga, M., Merz, R., Blöschl, G. & Carton, A. (2008). A control on event runoff coefficients in the Eastern Italian Alps. Journal of Hydrology, 375: 312-325.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169409003485>
- NourzadehHaddad, M., Mahdian, M.H. & Malakouti, M.J. (2013). Efficiency comparison of some Geostatistical methods for investigating spatial variability of micro nutrients in agricultural lands, Case study: Hamadan province. Journal of Water and Soil Science, 23(1): 71-81. (In Persian).  
[https://journals.tabrizu.ac.ir/article\\_179.html](https://journals.tabrizu.ac.ir/article_179.html)
- Oliver, M. A. & Webster, R. (1991). How geostatistics can help you. Soil Use and Management, 7: 206-217.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1475-2743.1991.tb00876.x>
- Piri, A., Ahmadi, M. Z. T., Rooshan M.H., Mosaedi, A. & Solaimani, k. (2004). Optimization of relationship between water discharge and sediment discharge in Amame Representative Watershed. Quarterly of Forest and Rangeland. 65:30-40. (In Persian).  
<https://www.magiran.com/paper/375443>
- Prathapar, S. A. & Abdulla, A. B. (2014). Impact of sedimentation on groundwater recharge at Sahalanowt Dam, Salalah, Oman. Water International, 39(3): 381-393.  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02508060.2014.895889>
- Sadeghi S. H. R. & Singh J. K. (2005). Development of a synthetic sediment graph using hydrological data. Journal of Agricultural Science and Technology (JAST), 7:69-77.  
<http://iem.modares.ac.ir/article-23-10480-en.pdf>
- Sadeghi, S.H.R., AghabigiAmin, S., Yasrebi, B., Vafakhah, M. & EsmaeiliSaravi, A. (2005). Temporal and spatial variation of the suspended sediment production in Haraz watershed sub-basins. Caspian Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 3: 15-29. (In Persian).  
<https://www.magiran.com/paper/375442>

- Schmidt, K-H. & Morche, D. (2006). Sediment output and effective discharge in two small high mountain catchments in the Bavarian Alps, Germany. *Geomorphology*, 80: 131-145.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X06000614>
- Seeger, M. (2007). Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *Catena*, 71: 56-67.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816206002001>
- Sun, Y., Kang, S., Li, F. & Zhang, L. (2009). Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of NorthWest China. *Environmental Modelling & Software*, 10: 1163-1170.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364815209000796>
- Tatsumi, K. & Yamashiki, Y. (2015). Effect of irrigation water withdrawals on water and energy balance in the Mekong River Basin using an improved VIC land surface model with fewer calibration parameters. *Agricultural Water Management*, 159: 92-106.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377415300020>
- Telvari, A.A.R., Biroudian, N. & Manouchehri, E. (2007). Model development of sediment time variability in Garan watershed, Kordestan province. *Journal of Pajouhesh va Sazandegi*, 75: 64-70. (In Persian).  
<https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?id=72100>
- TorabiAzad, M., Siahsharani, A. & Eftekhari, R. (2016). Comprehensive training of ArcGIS software Geostatistics analyst. Publications of the Geographical Organization of the Armed Forces, Second Edition, 476 p. (In Persian).  
<https://www.gisoom.com/book/11395168/%DA%A9%D8%AA%D8%A7%D8%A8-%D8%A2%D9%85%D9%88%D8%B2%D8%B4-%D8%AC%D8%A7%D9%85%D8%B9-%D8%AA%D8%AD%D9%84%DB%8C%D9%84-%DA%AF%D8%B1-%D8%B2%D9%85%DB%8C%D9%86-%D8%A2%D9%85%D8%A7%D8%B1%DB%8C-%D9%86%D8%B1%D9%85-%D8%A7%D9%81%D8%B2%D8%A7%D8%B1-Arc-GIS/>
- Tulabi, S., Abedini, M. & Esmali Ouri, A. (2015). The evaluation efficiency of WEPP model to predict sediment yield in Sulachai Watershed-Ardabil. *Journal of Watershed Management Research*, 6(12): 184-192. (In Persian).  
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=269035>
- Vaezi, A. R., Bahrami, H. A., Sadeghi, S. H. R. & Mahdian, M. H. (2010). Modeling relationship between runoff and soil properties in dry farming lands, NW Iran. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 7: 2577-2607.  
[https://www.researchgate.net/publication/43656581\\_Modeling\\_relationship\\_between\\_runoff\\_and\\_soil\\_properties\\_in\\_dry-farming\\_lands\\_NW\\_Iran](https://www.researchgate.net/publication/43656581_Modeling_relationship_between_runoff_and_soil_properties_in_dry-farming_lands_NW_Iran)
- Vaezi, A.R., Bahrami, H.A., Sadeghi, S.H.R. & Mahdian, M.H. (2008). Spatial variations of runoff in a part of calcareous soils of semi-arid region in northwest of Iran. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 15(5): 1-14. (In Persian).  
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=87760>
- Varvani, J., Feiznia, S., Ahmadi, H. & Jafari. M. (2008). Evaluation of performance of empirical models of storm events sediment yield of drainage basin and introducing calibration coefficients. *Journal of the Iranian Natural Resource*, 60(4): 1225-1239. (In Persian).  
[https://journals.ut.ac.ir/article\\_27839.html](https://journals.ut.ac.ir/article_27839.html)
- Verstraeten, G. & Poesen, J. (2001). Factors controlling sediment yield from small intensively cultivated catchments inatempere humid climate. *Geomorphology*, 40: 123-144.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X0100040X>
- Wang, S., Yan, Y. & Li. Y. (2012). Spatial and temporal variations of suspended sediment deposition in the alluvial reach of the upper Yellow River from 1952 to 2007. *Catena*, 92: 30-37.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816211002128>
- Wilson, R. C., Freeland, R. S., Wilkerson, J. B. & Hart, W. E. (2005). Interpolation and data collection error sources for electromagnetic induction-soil electrical conductivity mapping. *Applied Engineering in Agriculture*, 21(2):277-283.  
[https://www.researchgate.net/publication/228677159\\_Interpolation\\_and\\_data\\_collection\\_error\\_sources\\_for\\_electromagnetic\\_induction-soil\\_electrical\\_conductivity\\_mapping](https://www.researchgate.net/publication/228677159_Interpolation_and_data_collection_error_sources_for_electromagnetic_induction-soil_electrical_conductivity_mapping)
- Wosten, J. H. M., Pachepsky, Y. A. & Rawls, W. J. (2001). Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of Hydrology*, 251:123-150.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169401004644>
- Zehe, E. & Sivapalan, M. (2009). Threshold behavior in hydrological systems at (human) geoeosystems: Manifestations, controls, implications. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13: 1273-1297.  
<https://hess.copernicus.org/articles/13/1273/2009/>
- Zhai, H. J., Hub, B., Luoa, X. Y., Qiua, L., Tangb, W. J. & Jiangb, M. (2016). Spatial and temporal changes in runoff and sediment loads of the Lancang River over the last 50 years. *Agricultural Water Management*, 174:74-81.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377416300877>
- Zhang, S. R., Lu, X. X., Higgitt, D. L., Chen, Ch. T. A., Han, J. & Sun, H. (2008). Recent changes of water discharge and sediment load in the Zhujiang (Pearl River) Basin, China. *Global Planet Change*, 60: 365-380.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092181810700080X>



## تعیین ارتباط و تغییرات مکانی مقادیر دبی و رسوب معلق در حوضه‌های استان اردبیل

ابراهیم عسگری<sup>۱</sup>، دکتر سید زین‌العابدین حسینی<sup>۲\*</sup>، دکتر رؤف مصطفی‌زاده<sup>۳</sup>

### چکیده

درک وضعیت دبی و رسوب آبخیزها، درک صحیحی از فرایندهای آب‌شناسی فراهم می‌سازد. یکنواخت فرض کردن تغییرات دبی و رسوب در یک آبخیز، سبب اعمال برنامه‌ریزی و مدیریت واحد برای کل حوزه آبخیز شده و سبب عدم تحقق اهداف می‌شود. پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی مقادیر دبی و رسوب در سطح استان اردبیل در بازه زمانی ۱۰ ساله (۱۳۸۴-۱۳۹۳) در ۳۷ ایستگاه هیدرومتری دارای آمار در استان اردبیل انجام شد. روش‌های درون‌یابی IDW، کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی و کوکریجینگ به‌منظور تعیین بهترین روش در جهت مطالعه تغییرات مکانی متغیرهای دبی و رسوب مورد بررسی قرار گرفتند. براساس نتایج و مقادیر قابل قبول خطا در شاخص‌های ارزیابی مجموع مربعات خطا، میانگین خطای مطلق، متوسط ارببی خطا و متوسط استاندارد خطا، روش‌های درون‌یابی وزن‌دهی عکس فاصله و کوکریجینگ، به‌ترتیب به‌عنوان روش‌های برتر معرفی شدند. نتایج آزمون همبستگی مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمینی با روش‌های IDW ( $R=0/429$ ) و کوکریجینگ ( $R=0/554$ )، به‌ترتیب به‌عنوان بهترین روش برای تخمین متغیرهای دبی و رسوب انتخاب شدند. براساس نتایج روش IDW، مقادیر دبی در بخش‌های غربی استان اردبیل بیش‌تر ( $4/8-8/4$ ) مترمکعب برثانیه) و در بخش‌های مرکزی مقدار این مؤلفه کم‌تر ( $1-0/4$ ) مترمکعب برثانیه) است. با توجه به نتایج حاصل از درون‌یابی متغیر رسوب با روش کوکریجینگ بخش‌های غربی و جنوبی استان اردبیل دارای مقادیر رسوب بیش‌تر ( $1/9-0/0$  تن در هکتار در سال) و در بخش‌های مرکزی مقادیر رسوب کم‌تر ( $0/4-0/0$  تن در هکتار در سال) است.

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۱، زمستان ۱۳۹۹

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۹/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۲۴

صفحات: ۱۷۶-۱۴۳



واژه‌های کلیدی:

تغییرات مکانی، کریجینگ، منحنی سنجه رسوب، نیم‌تغییرنما، استان اردبیل.

### مقدمه

منابع عمده فرسایش، کمی‌کردن روابط هیدرولوژی و رسوب در مناطق بدون ایستگاه، بررسی تأثیر تغییرات فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی را فراهم می‌سازد و کمک فراوانی در زمینه مطالعات و اقدامات مربوط به فرسایش خاک و آبخیزداری به‌منظور طراحی انواع سازه‌های اصلاحی و اعمال مدیریت مناسب در برنامه‌های حفاظت آب‌و خاک می‌کند (پیری و همکاران، ۱۳۸۳: ۳۲؛ اسمعیل‌عوری و عبداللهی، ۱۳۹۰: ۲۵؛ جوادی و همکاران، ۱۳۹۳: ۹۰؛ Gellis, 2013: 7; D'Haen et al, 2012: 9). فرایندهای هیدرولوژیکی مانند رواناب و رسوب به‌دلیل کمبود داده و اطلاعات و عدم کفایت

حفظ و توسعه پایدار منابع طبیعی و مدیریت جامع حوضه‌ها در جهت تحقق اهداف اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی مدنظر نیازمند درک و پیش‌بینی فرایندهای هیدرولوژیکی مانند رواناب و رسوب است. درک وضعیت دبی آبخیز، اندازه‌گیری دقیق میزان رسوب خروجی از آن و تفسیر مکانی منابع تولید این مؤلفه‌ها از جنبه‌های مختلف دارای اهمیت بوده و درک صحیحی از پدیده سیل و فرسایش و پیامدهای ناشی از آن را فراهم می‌کند. همچنین اطلاعات لازم برای شناسایی و تجزیه و تحلیل

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران (نویسنده مسئول)

۳- دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران (نویسنده مسئول)

۳- دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

آبگیرها، دریاچه‌ها یا مخازن سدها، بار رسوبی در حوضه‌ها قابل اندازه‌گیری و پیش‌بینی است (کالوندی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۳؛ Mohamad Reza Pour et al, 2012: 8; Verstraeten & Poesen, 2001: 12 منحنی سنجۀ رسوب، یکی از معمول‌ترین روش‌های برآورد مقدار رسوب است که با استفاده از آمار دبی ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی و برقراری رابطه‌ی بین دبی آب متناظر با دبی رسوب تهیه می‌شود. زمانی که ایستگاه‌های هیدرومتری کافی با پراکندگی مناسب و داده‌های دبی مداوم موجود باشد، استفاده از منحنی‌های سنجۀ رسوب برای تخمین بار رسوبی مناسب است. با توجه به تغییرات مکانی عوامل مؤثر در تولید رواناب و رسوب در حوضه‌ها، این مؤلفه‌ها نیز غیریکنواخت و متغیر هستند (محمدی و کویان، ۱۳۹۰: ۳؛ Jordan, 1994: 5; Vaezi et al, 2010: 9). تغییرات رواناب و رسوب به‌عنوان اجزای مهم فرایندهای هیدرولوژیکی تأثیرات قابل توجهی بر اکولوژی، منابع ذخیره‌ی آب و خاک، رودخانه‌ها و محیط‌های رسوبی در حوضه‌ها به‌خصوص در بخش‌های پایین دست می‌گذارد و تغییرات مکانی و زمانی آن‌ها موجب تغییر در مورفولوژی رودخانه‌ها و آبخیزها می‌شود (Tatsumi & Yamashiki, 2015: 94; Prathapar & Abdulla, 2014: 384; Zhang et al, 2008: 368; Seeger, 2007: 58). یکنواخت در نظر گرفتن تغییرات دبی و رسوب در یک آبخیز سبب اعمال مدیریت واحد برای کنترل آن‌ها در کل آبخیز و منطقه می‌شود و این امر علاوه بر عدم تحقق برنامه‌ریزی، مدیریت و عملیات اجرایی طرح‌ها در حوضه‌ها، سبب تحمیل هزینه‌های اضافی نیز می‌شود (وروانی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۲۲۸؛ واعظی و همکاران، ۱۳۸۷: ۵؛ عسگری و همکاران، ۱۳۹۷: ۶۹۹). با شناخت، تعیین و مشخص کردن الگوهای تغییرات مکانی مقادیر دبی و رسوب در سطح حوضه می‌توان به پهنه‌بندی مناطق با مقادیر مختلف این مؤلفه‌ها اقدام کرد و با انجام تصمیم‌گیری‌های

مشاهدات در این رابطه، پیچیدگی‌ها و عدم قطعیت متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی، رفتارهای غیرخطی و ماهیت پویا و متغیر آن‌ها در زمان و مکان‌های مختلف، پیش‌بینی و کنترل آن‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد. علاوه بر آن، فرایندهای هیدرولوژیکی و فرسایشی با تغییر در مقیاس‌های زمانی و مکانی واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند که تکرارپذیری مشاهدات هیدرولوژیکی را محدود می‌سازد (Gracia-Sanchez, 1996: 18; Blume et al, 2007: 6; Norbiato et al, 2008: 11; Zehe & Sivapalan, 2009: 12) اندازه‌گیری مقادیر ورودی و خروجی یک سیستم طبیعی و پیچیده مانند حوضه همواره با دقت بالایی امکان‌پذیر نبوده و همچنین نیازمند هزینه‌های زیادی است؛ به همین دلیل در اغلب موارد نقش دبی در تغییرات رسوب یکسان در نظر گرفته می‌شود، درحالی‌که تغییرات دبی در هر ایستگاه می‌تواند تأثیر متفاوتی بر تغییرات رسوب داشته باشد (خزایی‌موغانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۷؛ Sadeghi & Sing, 2005: 5). در ایستگاه‌های هیدرومتری کشور، برداشت داده‌های رسوب معمولاً به‌صورت تصادفی بوده و الگوی توزیع زمانی مرتبی برای برداشت اطلاعات مربوط به رسوب وجود ندارد و اطلاعات تولیدی رسوب‌نگارها معمولاً محدود بوده و بیش‌تر به‌صورت کیفی است (تلوری و همکاران، ۱۳۸۶: ۶۸). معمولاً تغییرات میزان رسوب در رودخانه‌ها تا حدودی تابع تغییرات دبی است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۶: ۲۳۷). با روش‌های مختلفی مانند مشاهده همزمان بار رسوب معلق و دبی جریان، استفاده از منحنی سنجۀ رسوب<sup>۱</sup>، محاسبه کل خاک فرسایش یافته و حجم رسوبات ته‌نشین شده در آبخیزهای کوچک، مدل‌های بهینه‌سازی مانند الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان<sup>۲</sup> و الگوریتم ژنتیک<sup>۳</sup> اندازه‌گیری حجم رسوب در داخل



کمک معیارهای میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین خطای انحراف (MBE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و انحراف استاندارد عمومی و با استفاده از روش اعتبارسنجی حذفی مورد مطالعه قرار دادند و روش کوکریجینگ ساده با مدل دایره‌ای را به‌عنوان بهترین روش زمین‌آماری معرفی کردند. با هدف تعیین الگوی تغییرات مکانی و زمانی رسوب، فرج‌زاده و قره‌چورلو (۱۳۹۰) مطالعه‌ای در حوضه آبریز قره‌سو استان اردبیل در ۷ ایستگاه هیدرومتری انجام دادند و نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که بیش‌ترین دبی و رسوب متوسط سالانه به‌ترتیب ۶/۹۶ مترمکعب بر ثانیه و ۱۷۴۹/۷۹ تن در روز، مربوط به ایستگاه دوست‌بیگلو و کم‌ترین دبی و رسوب متوسط سالانه به‌ترتیب با مقادیر ۰/۱۲ مترمکعب بر ثانیه و ۱/۷ تن در روز، در ایستگاه لای مشاهده شد. تغییرات مکانی و فصلی بار رسوبی در ۷ ایستگاه هیدرومتری توسط خزایی‌موغانی و همکاران (۱۳۹۲) در شاخه اصلی رودخانه گرگانرود در استان گلستان مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج حاکی از روند افزایشی تغییرات مکانی میزان بار رسوب معلق از ایستگاه تهر به بصیرآباد بود. البته در برخی مناطق این روند کاهش زیادی داشته است (تقریباً ۸۰ درصد) که احداث سدها از عوامل اصلی این کاهش عنوان شدند. همچنین تجزیه و تحلیل تغییرات فصلی نشان داد که بالاترین میزان حمل رسوب معلق در ایستگاه‌ها در فصل بهار با ۵۰ تا ۷۰ درصد است.

عسگری و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی تغییرات مکانی رواناب، رسوب و آستانه شروع رواناب در سازندهای زمین‌شناسی آبخیز قره‌شیران اردبیل را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از دستگاه

مدیریتی صحیح و راهکارهای مؤثر اقتصادی زمینه‌جوگیری یا کاهش تولید این مؤلفه‌ها را فراهم آورد و روش‌های مناسب مهار و کنترل آن‌ها را تعیین کرد (Coppus et al, 2003: 318). روش‌های مختلفی برای تهیه نقشه و پیش‌بینی توزیع مکانی دبی و رسوب وجود دارد، اما با توجه به اینکه فرایندهای هیدرولوژیکی مانند بارش، دبی و رسوب مستقل از موقعیت فضایی و مکانی نیستند، در زمین‌آمار بحث می‌شوند و روش‌های زمین‌آماري با در نظر گرفتن موقعیت و آرایش داده‌ها و همچنین همبستگی مکانی و فضایی آن‌ها، عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهند (نورزاده‌حداد و همکاران، ۱۳۹۲: ۷۸). زمین‌آمار ابزاری قدرتمند برای مطالعه و ارزیابی تغییرات مکانی متغیرهای مورد نظر بوده و قادر است برای برآورد متغیر مورد بررسی مجموعه زیادی از تخمین‌گرها را ارائه دهد. همچنین توانایی تولید نقشه‌های کمی دبی و رسوب را با دقت معلوم و مشخص داراست (گلمحمدی و همکاران، ۱۳۸۷: ۵۰۷). با توجه به اهمیت بررسی تغییرات مکانی فرایندهای هیدرولوژیکی مانند بارش، دبی و رسوب با استفاده از زمین‌آمار مطالعات مختلفی در این زمینه انجام گرفته که در زیر به برخی از این مطالعات اشاره شده است.

تغییرات زمانی و مکانی رسوب معلق در بخشی از حوضه رودخانه هراز توسط صادقی و همکاران (۱۳۸۴) مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که رسوب روزانه در طول دوره آماری نوسانات زیادی داشته و بیش‌ترین و کم‌ترین رسوب خروجی از منطقه به‌ترتیب در فروردین و مرداد است و بررسی تغییرات فصلی نشان داد که فصل بهار بیش‌ترین و فصل پاییز کم‌ترین مقدار دبی خروجی را داشته و تغییرات زمانی از تغییرات بارش، دبی و نیز پتانسیل مختلف زیرحوضه‌ها در تولید رسوب تأثیر می‌پذیرد. گلمحمدی و همکاران (۱۳۸۷) تغییرات مکانی رواناب را در استان همدان با

هو و همکاران (۲۰۱۱)، در مطالعه‌ای تغییرات مکانی و زمانی رسوب معلق را در بخش‌های بالادست، میانی و پایین‌دست رودخانه یانگ‌تسه در حوزه آبخیز چانگ‌چیان بررسی کردند و تغییرات زمانی و مکانی منحنی سنج رسوب را نسبت به تأثیر فعالیت‌های انسانی و ویژگی‌های حوزه مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در بخش‌های مختلف حوزه، پارامترهای منحنی سنج رسوب بیش‌تر تحت تأثیر تخریب و فعالیت‌های انسانی در طبیعت هستند.

در پژوهشی که وانگ و همکاران (۲۰۱۲) انجام دادند، تغییرات مکانی و زمانی ته‌نشست رسوب معلق در ۵ ایستگاه در زیرشاخه‌های رودخانه زرد چین در بازه زمانی ۱۹۵۲ تا ۲۰۰۷ به روش بیلان رسوب مورد مطالعه قرار گرفت و عامل اصلی تغییرات رسوب را در این ایستگاه‌ها، فعالیت‌های انسانی از جمله ساخت سدهای اصلاحی در مسیر رودخانه مورد مطالعه، شناسایی کردند. آن‌ها همچنین تغییرات آب و هوایی را نیز در این تغییرات مؤثر دانستند. تغییرات مکانی و زمانی رواناب و بار رسوبی در سه ایستگاه در رودخانه لان‌کانگ توسط ژای و همکاران (۲۰۱۶) مطالعه شد و آن‌ها دریافتند که ساخت‌وسازهای صورت‌گرفته در اطراف ایستگاه‌های مورد مطالعه، تغییر در کاربری اراضی و الگوهای بارش، در تغییرات مکانی و زمانی رواناب و بار رسوبی تأثیرگذار بوده‌اند. ثابت و یکنواخت فرض کردن تغییرات مکانی دبی و رسوب منجر به برنامه‌ریزی و اجرای برنامه‌های مدیریتی یکسان برای کل منطقه شده و این نوع مدیریت، علاوه بر نتیجه عکس، افزایش هزینه‌ها را نیز به دنبال خواهد داشت؛ از این‌رو، بررسی تغییرات مکانی دبی و رسوب به منظور

باران‌ساز در ۴۵ نقطه، نمونه‌برداری رواناب و رسوب را انجام دادند و با روش کریجینگ این مقادیر را درون‌یابی و تغییرات مکانی این متغیرها را ارزیابی کردند. یافته‌های ایشان نشان داد که در سازندهای بخش‌های بالادست حوزه در آستانه‌های پایین (۳/۱۷-۱/۹۹ دقیقه) رواناب تولید می‌شود و به سمت بخش‌های پایین‌دست آستانه تولید رواناب افزایش می‌یابد (۷/۲۵-۶/۱۳ دقیقه). مقدار رواناب در بالادست حوزه زیاد (۷/۲۵-۶/۰۷ لیتر بر مترمربع) ولی مقدار رسوب کم (۱/۶۶-۱/۲۵ گرم بر لیتر) و در پایین‌دست حوزه مقدار رواناب تولیدی کم (۳/۵۰-۲/۲۰ لیتر بر مترمربع) و مقدار رسوب تولیدشده بیش‌تر (۳/۵-۲/۲۵ گرم بر لیتر) است. در حوزه لانگ‌پیوانجیانگ در چین تجزیه و تحلیل داده‌های دبی و رسوب اندازه‌گیری شده در طول چند دهه، توسط لو (۲۰۰۵) صورت پذیرفت و نتایج پژوهش وی نشان داد که در بخش پایین‌دست رودخانه میزان رواناب کم ولی بار رسوب بیش‌تری نسبت به بالادست رودخانه تولید شده است که دلیل آن تفاوت آب و هوایی در بخش‌های پایین‌دست و بالادست رودخانه و ضعف پوشش گیاهی بخش پایین‌دست رودخانه عنوان شد. در پژوهشی ما و همکاران (۲۰۱۰) تغییرات مکانی میزان و تداوم دبی مؤثر در دو منطقه تپه ماهوری لسی با تشکیلات زمین‌شناسی متفاوت و با انواع فرسایش آب‌کندی، شیاری و بادی را در چین مورد بررسی قرار دادند و یافته‌های آن‌ها نشان داد که زمان متوسط دبی مؤثر در دو منطقه با رسوبات لسی بین ۰/۰۲۶ تا ۳/۱۶ و بین ۱۸/۷۵ تا ۹۱/۵۱ درصد متغیر بوده و همچنین به‌طور قابل توجهی متأثر از تعداد و فواصل طبقات دبی و خصوصیات رژیم رواناب و رسوب است.

بخش‌های مختلف آن نوسان دارد (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اردبیل، ۱۳۹۶).

در این مطالعه از آمار دبی جریان روزانه و رسوب تعداد ۳۷ ایستگاه هیدرومتری (با طول دوره آماری ۱۰ ساله یعنی از ۱۳۹۳-۱۳۸۴) واقع در آبخیزهای استان اردبیل استفاده شده است (سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل، ۱۳۹۷). با توجه به مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه، کم‌ترین ارتفاع مربوط به ایستگاه بران (۲۴۴ متر) و ایستگاه بفراجرد بیش‌ترین ارتفاع (۲۱۲۰ متر) را دارد. بیش‌ترین سطح حوضه مربوط به ایستگاه بران (۱۳۶۷۰ کیلومترمربع) و کم‌ترین آن نیز به ایستگاه‌های ویلادرق و ننه‌کران (۸ کیلومترمربع) مربوط است (مهری و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین ایستگاه بران بیش‌ترین دبی متوسط (۵/۷۸ مترمکعب بر ثانیه) و ایستگاه تنگ کم‌ترین مقدار دبی متوسط (۰/۰۴ مترمکعب بر ثانیه) را دارد. بیش‌ترین مقدار رسوب ویژه متوسط (۰/۴۲ تن در هکتار در سال) در ایستگاه بفراجرد و کم‌ترین مقدار آن (۰/۰۰۱ تن در هکتار در سال) نیز در ایستگاه گل‌گلاب است. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در استان اردبیل را نشان می‌دهد و در جدول ۱ برخی از مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب استان اردبیل ارائه شده است.

ارائه راه‌کارهای مدیریتی صحیح برای آبخیزها از اهمیت بالایی برخوردار است. از طرف دیگر، استان اردبیل به دلیل تنوع اقلیمی و توپوگرافی با شرایط هیدرولوژیک متفاوت و تقریباً ناهمگن و از طرف دیگر، آمار و اطلاعات موجود مربوط به دبی و رسوب به‌طور کامل نمی‌تواند تغییرات مکانی این متغیرها را در تمام نقاط و سطح استان مشخص کنید؛ از این‌رو درون‌یابی دقیق اطلاعات تهیه‌شده و موجود، ضروری بوده و می‌تواند برای برنامه‌ریزی‌های مختلف در زمینه‌های آبخیزداری و حفاظت آب و خاک در این استان مفید واقع شود؛ بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات مکانی مقادیر دبی و رسوب در سطح استان اردبیل انجام گرفت. در این راستا پهنه‌بندی مقادیر دبی و رسوب و ارتباط آن‌ها مورد تحلیل قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

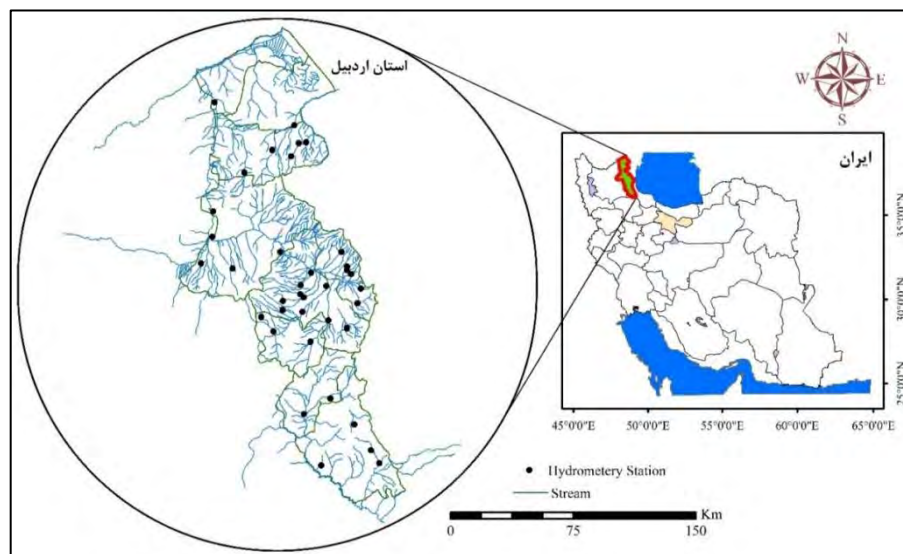
استان اردبیل با مساحتی حدود ۱۷۸۶۸ کیلومترمربع در شمال غرب ایران و از نظر موقعیت جغرافیایی، در بین عرض‌های ۳۷° ۴۵' تا ۳۹° ۴۲' شمالی و طول‌های جغرافیایی ۳° ۴۷' تا ۵۵° ۴۸' شرقی واقع شده است. استان اردبیل جزء مناطق سردسیر کوهستانی بوده و میزان نزولات جوی در این استان به‌طور متوسط بین ۲۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در سال در

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در استان اردبیل

کد ایستگاه	ایستگاه	رودخانه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	دبی متوسط (مترمکعب بر ثانیه)	متوسط رسوب ویژه (تن در هکتار در سال)	سطح حوضه (کیلومتر مربع)
S1	سامیان	قره‌سو	۴۸-۱۴-۴۸	۵۳-۲۲-۳۸	۱۲۹۰	۱/۳۱	۰/۰۱	۴۰۰۴
S2	آتشگاه	نوران چای	۲۳-۰۳-۴۸	۰۵-۱۳-۳۸	۱۷۶۵	۰/۱۱	۰/۰۷	۴۴
S3	نیر	نیر چای	۳۸-۵۹-۴۷	۰۲-۰۲-۳۸	۱۶۲۴	۱/۰۱	۰/۰۴	۲۵۶
S4	آلادیزگه	قره‌سو	۲۲-۳۵-۴۸	۰۰-۱۷-۳۸	۱۳۳۹	۰/۱۸	۰/۰۰۷	۲۲
S5	نمین	نمین چای	۰۶-۲۹-۴۸	۴۵-۲۵-۳۸	۱۴۵۹	۰/۰۶	۰/۰۱۲	۴۴
S6	دوست‌بیگلو	قره‌سو	۱۸-۳۲-۴۷	۰۲-۳۳-۳۸	۷۸۰	۲/۳۶	۰/۰۱۲	۷۳۱۱
S7	ارباب‌کندی	قره‌سو	۵۸-۰۱-۴۸	۴۱-۲۹-۳۸	۱۱۱۶	۱/۴۳	۰/۰۲	۴۸۰۰
S8	بران	دره‌رود	۱۷-۳۱-۴۷	۴۱-۱۷-۳۹	۲۴۴	۵/۷۸	۰/۰۵۵	۱۳۶۷۰
S9	مشیران	دره‌رود	۰۰-۳۲-۴۷	۰۶-۴۱-۳۸	۶۹۳	۴/۷۰	۰/۰۶	۱۱۲۶۷
S10	فیروزآباد	فیروزآبادچای	۳۵-۱۳-۴۸	۰۸-۳۵-۳۷	۱۱۵۰	۲/۹۷	۰/۳۶	۱۵۱۵
S11	کوزه‌تپراقی	قوری چای	۰۱-۲۲-۴۸	۲۸-۰۷-۳۸	۱۳۹۴	۰/۱۰	۰/۰۰۸	۸۱۲/۵
S12	گیلانده	بالیخوچای	۴۳-۲۱-۴۸	۲۶-۱۸-۳۸	۱۳۳۲	۰/۴۳	۰/۰۰۴	۱۶۳۸
S13	هیر	هیر چای	۲۸-۳۰-۴۸	۵۵-۰۴-۳۸	۱۵۷۵	۰/۳۶	۰/۰۴	۱۷۸
S14	ویلادرق	ویلادرق چای	۱۹-۰۳-۴۸	۳۸-۱۰-۳۸	۱۸۰۰	۰/۰۶۸	۰/۰۹	۸
S15	باروق	شهریورچای	۰۶-۱۰-۴۸	۱۷-۱۸-۳۸	۱۴۱۰	۰/۱۵	۰/۰۸	۹۴
S16	ایریل	سقز چای	۳۰-۳۴-۴۸	۲۳-۱۳-۳۸	۱۳۷۵	۰/۱۸	۰/۰۳	۷۶
S17	ننه‌کران	نرگس چای	۳۲-۳۱-۴۸	۱۷-۲۲-۳۸	۱۳۵۰	۰/۰۷۶	۰/۰۸۷	۸
S18	سولا	سولاچای	۰۴-۲۹-۴۸	۱۴-۲۳-۳۸	۱۳۵۲	۰/۰۹۶	۰/۰۳	۴۰
S19	عموقین	یدی‌پولیک‌چای	۶۰-۱۰-۴۸	۹۹-۱۴-۳۸	۱۴۲۸	۰/۱۷	۰/۰۳	۱۱۰
S20	شمس‌آباد	آغ‌چای	۵۸-۱۴-۴۸	۱۱-۰۰-۳۸	۱۵۳۴	۰/۰۸	۰/۰۱۴	۱۲۸
S21	عنبران	عنبران چای	۰۶-۲۹-۴۸	۴۰-۲۹-۳۸	۱۵۵۰	۰/۰۶۶	۰/۰۲	۳۶
S22	پل‌سلطانی	خیابوچای	۳۹-۴۱-۴۷	۵۶-۲۳-۳۸	۱۴۲۰	۰/۶۴	۰/۲۲	۹۸
S23	حاج‌احمدکندی	برزندچای	۱۷-۵۶-۴۷	۱۰-۰۲-۳۹	۷۸۷	۰/۱۹	۰/۰۳۸	۱۵۷
S24	اکبرداوود	ساری‌قمیش	۵۲-۰۵-۴۸	۴۹-۱۱-۳۹	۳۳۴	۰/۲۰۶	۰/۰۱۳	۷۱۰
S25	الله‌یارلو	سمبورچای	۰۵-۴۵-۴۷	۳۳-۵۵-۳۸	۱۰۶۷	۰/۱۶	۰/۰۳	۱۵۰
S26	درو	شاهرود	۴۷-۴۱-۴۸	۳۴-۲۴-۳۷	۱۶۱۴	۰/۴۷	۰/۰۷۳	۱۵۸
S27	آبگرم	هروچای	۲۵-۲۴-۴۸	۴۵-۴۱-۳۷	۱۵۳۵	۲	۰/۳۵	۵۹۰
S28	بفراجرد	بفراجردچای	۳۷-۳۴-۴۸	۱۵-۳۲-۳۷	۲۱۲۰	۰/۲۸	۰/۴۲	۳۶
S29	گلگلاب	گلگلاب چای	۲۵-۲۱-۴۸	۳۴-۱۹-۳۷	۱۲۱۷	۰/۰۵	۰/۰۰۱	۴۹
S30	پل‌الماس	بالیخوچای	۱۹-۱۱-۴۸	۱۶-۰۸-۳۸	۱۴۴۰	۱/۳۴	۰/۰۲۶	۱۰۷۰
S31	تنگ	تنگ‌چای	۳۰-۰۴-۴۸	۳۱-۰۰-۳۹	۹۲۲	۰/۰۴	۰/۰۳۸	۴۶
S32	شال	شاهرود	۵۴-۴۴-۴۸	۴۷-۱۹-۳۷	۱۳۸۸	۰/۶۴	۰/۳۵۶	۱۰۶
S33	قرزل‌گونی	گرمی‌چای	۳۳-۰۷-۴۸	۵۸-۰۴-۳۹	۵۸۷	۰/۲۶	۰/۱۵۷	۶۸/۵
S34	حمزه‌خانلو	حمزه‌خانلوچای	۴۰-۱۰-۴۸	۱۷-۰۵-۳۹	۴۹۶	۰/۲۱	۰/۲۳	۹۳
S35	نوران	نوران چای	۳۷-۱۱-۴۸	۵۹-۱۳-۳۸	۱۴۲۶	۰/۲۷	۰/۰۳	۱۲۶
S36	لای	لای چای	۰۳-۵۴-۴۷	۰۰-۰۷-۳۸	۲۰۶۸	۰/۱۶	۰/۰۴۷	۳۶
S37	اهل‌ایمان	هندالوچای	۰۴-۲۸-۴۷	۵۹-۲۳-۳۸	۱۰۷۱	۰/۲۰	۰/۳۸	۸۰

مأخذ: سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل، ۱۳۹۷





شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در استان اردبیل

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

$$Q_s = aQ_w^b$$

(۱)

که در آن،  $Q_s$  دبی رسوب (تن در روز)،  $Q_w$  دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه)،  $a$  و  $b$  پارامترهای ثابت معادله هستند.

پس از به‌دست‌آوردن معادله منحنی سنج رسوب برای هر یک از ایستگاه‌ها و با داشتن دبی‌های روزانه جریان در طول دوره آماری مشخص و قراردادن آن‌ها در رابطه‌توانی به‌دست‌آمده برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه، مقادیر رسوب در طول سال‌های آماری ایستگاه موردنظر به‌دست آمد. سپس مقادیر متوسط دبی و رسوب برای هر یک از ایستگاه‌ها در کل دوره آماری محاسبه شدند و در ادامه مقادیر متوسط دبی و رسوب ویژه هر یک از ایستگاه‌ها برای انجام آنالیزهای زمین‌آماري وارد نرم‌افزارهای  $GS^+$  و ArcMap شدند.

#### تحلیل‌های آمار مکانی، واریوگرافی

در روش‌های زمین‌آماري ابتدا با استفاده از تجزیه و تحلیل واریوگرام بررسی وجود یا نبود ساختار فضایی بین داده‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد؛ به عبارت دیگر، به شناخت و مدل‌سازی ساختار فضایی متغیر

#### روش تحقیق

در پژوهش حاضر داده‌های موجود دبی و رسوب ایستگاه‌های مورد مطالعه در بازه زمانی ۱۰ ساله از سال‌های آماری ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳ در ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب دارای آمار جمع‌آوری و مرتب شدند. در تحقیق حاضر از روش منحنی سنج رسوب برای برآورد مقادیر رسوب استفاده شد. به‌منظور استفاده از روش منحنی سنج رسوب در روش اداره احیای اراضی آمریکا<sup>۱</sup> (USBR) برای رسم منحنی سنج رسوب تمام مقادیر اندازه‌گیری‌شده دبی رسوب در طی دوره آماری موجود در مقابل مقادیر متناظر دبی آب و ایجاد همبستگی با بیش‌ترین ضریب همبستگی رسم شد (Horowitz, 2003: 3395). برای محاسبه مقدار رسوب متوسط سالانه در این مطالعه از رابطه توانی منحنی سنج برآورد رسوب (رابطه ۱) که در آن دبی رسوب به دبی جریان عبوری در هر ایستگاه ارتباط داده می‌شود، استفاده شد (Schmidt & Morche, 2006: 139, 234; Asselman, 2000).

$GS^+$  پارامترهای نیم‌تغییرنماهای تجربی برای مدل‌های مختلف به‌دست آمد و برای انتخاب بهترین مدل از بین مدل‌های ارائه‌شده در این نرم‌افزار، مدلی که مجموع مربعات باقی‌مانده (RSS) کم‌تر و ضریب تبیین ( $R^2$ ) بالاتری داشته‌باشد، به‌عنوان مدل بهتر انتخاب می‌شود. مقدار نیم‌تغییرنما از رابطه (۲) به‌دست می‌آید:

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

که در آن،  $\gamma(h)$  مقدار نیم‌تغییرنما یا واریانس متغیر،  $N(h)$  تعداد جفت نمونه‌های استفاده‌شده در محاسبه که از یکدیگر فاصله  $h$  دارند،  $z(x_i)$  مقدار مشاهداتی متغیر موردنظر و  $z(x_i + h)$  مقدار مشاهداتی متغیر موردنظر که در فاصله  $h$  نسبت به  $z(x_i)$  قرار دارد، هستند (Altunkaynak Hosseini et al, 2014: 742; McBratney & Wang, 2010: 168; 1986: 630). به هر اندازه که فاصله نمونه‌ها از یکدیگر بیش‌تر باشد، واریانس بین آن‌ها و مقدار نیم‌تغییرنما نیز بیش‌تر می‌شود؛ بنابراین با افزایش فاصله، اختلاف متغیر در دو نقطه افزایش می‌یابد؛ به‌عبارت‌دیگر تشابه مقادیر یک متغیر ناحیه‌ای با افزایش فاصله کاهش می‌یابد. نیم‌تغییرنما دارای اجزا مختلفی شامل شعاع تأثیر ( $R$ )، اثر قطعه‌ای ( $C_0$ )، آستانه ( $C_0 + C_1$ )، خطا ( $E$ ) و ضریب تعیین ( $R^2$ ) است (حسنی‌پاک، ۱۳۹۴: ۲۷۹؛ Houlding, Wilson et al, 2005: 280; 2000: 78; Journal & Huijbregts, 1978: 281; Matheron, 1971: 114).

در پژوهش حاضر پس از آماده‌سازی و ورود داده‌ها به نرم‌افزار ArcMap، به‌منظور بررسی تغییرات مکانی دبی و رسوب از روش‌های مختلف درون‌یابی استفاده شد. در این روش‌ها، مقادیر تخمینی و برآوردی از مجموع حاصل ضرب یک فاکتور وزنی در مقادیر نقاط اندازه‌گیری‌شده و مشاهده‌ای به‌دست می‌آید. معادله

پرداخته می‌شود و سپس در صورت وجود ساختار فضایی، تخمین متغیر موردنظر به‌وسیله تابع‌های زمین‌آماري مانند IDW، کریجینگ و کوکریجینگ انجام می‌گیرد (جعفریان‌جلودار، ۱۳۸۸: ۱۱۵؛ حسنی‌پاک، ۱۳۹۴: ۲۷۵؛ Oliver & Webster, 1991: 214; Davis, 1987: 244). پس واریوگرافی اولین قدم برای مدل‌سازی ساختار مکانی به‌منظور استفاده در زمین‌آمار است. از واریوگرام درجهت تعیین، تشریح و تجزیه و تحلیل ساختار مکانی داده‌ها و انجام درون‌یابی استفاده می‌شود. نیم‌تغییرنما یا واریوگرام کمیته برداری است که درجه همبستگی مکانی و شباهت بین داده‌های اندازه‌گیری‌شده را برحسب مربع تفاضل مقدار دو نقطه و با توجه به جهت و فاصله آن‌ها مشخص می‌کند. درواقع واریوگرام رابطه بین فاصله و واریانس داده‌ها را نشان می‌دهد. نیم‌تغییرنما یکی از ابزار مهم و اساسی در زمین‌آمار به‌منظور بررسی تغییرپذیری و تشریح ارتباط و پیوستگی مکانی متغیرهای ناحیه‌ای است (محمدی، ۱۳۸۵: ۳۰۴؛ McBratney & Webster, 1986: 629). مهم‌ترین ویژگی نیم‌تغییرنما نسبت به سایر ابزارهای آماری، ساده‌سازی تغییرپذیری است که سبب کاربرد بسیار وسیع آن در بیش‌تر زمینه‌ها شده‌است (مدنی، ۱۳۹۳: ۴۲۰). در پژوهش حاضر برای محاسبه پارامترهای نیم‌تغییرنماها از نرم‌افزار  $GS^+$  استفاده شد.  $GS^+$  یک برنامه تجزیه و تحلیل زمین‌آماري است که امکان بررسی روابط فضایی داده‌های زمین مرجع‌شده را فراهم می‌کند. تعیین همبستگی و تجزیه و تحلیل فضایی داده‌ها در  $GS^+$  انجام می‌گیرد و سپس این اطلاعات برای تهیه نقشه‌های بهینه و دقیق از منطقه مورد مطالعه استفاده می‌شود. این نقشه‌ها می‌توانند در نرم‌افزار  $GS^+$  یا سایر برنامه‌های سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی مانند ArcGIS نیز تهیه شوند (راهنمای کاربران  $GS^+$ ، ۲۰۰۸). پس از ورود داده‌ها به نرم‌افزار

که در آن،  $Z$  مقدار درون‌یابی شده،  $Z_i$  مقدار نمونه‌برداری شده،  $D_i$  فاصله بین مقادیر درون‌یابی شده و نمونه‌برداری شده و  $q$  یک ثابت مناسب است.

کریجینگ ساده<sup>۱</sup> در شرایطی که معمولاً اطلاعات قبلی در مورد میانگین متغیر وجود داشته‌باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد و در آن فرض می‌شود که میانگین مقداری ثابت و معلوم است و رابطه آن به صورت زیر است (خسروی و عباسی، ۱۳۹۵: ۹۸؛ *Houlding, 2000: 108*; *Kitanidis, 1997: 190*):

(۵)

$$(\sigma^2(X_0)) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i - x_0)$$

روش کریجینگ معمولی<sup>۲</sup> مربوط به یک متغیر منفرد بوده و به‌عنوان یکی از پرکاربردترین روش‌های تخمین زمین آماری محسوب می‌شود. رابطه آن معمولاً واریانس کریجینگ نامیده و به صورت زیر نمایش داده می‌شود (*Johnston et al, 1997: 191*; *2004: 109*; *Kitanidis, 1997: 191*):

(۶)

$$\sigma^2(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i - x_0) + m$$

روش کوکریجینگ<sup>۳</sup> از اطلاعات موجود بر روی چندین متغیر برای تخمین استفاده می‌کند و چون از اطلاعات متغیرهای دیگر نیز برای کمک به پیش‌بینی بهره می‌برد، مورد توجه است؛ اما روشی پرهزینه و هم‌چنین نیازمند برآورد بسیار بیش‌تری است. معادله کوکریجینگ به شرح زیر است (خسروی و عباسی، *Oliver & Hosseini et al, 2014: 745*; *101*; *1395*):

(۷)

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_{zi} Z(x_i) \sum_{i=1}^n \lambda_{ky} \gamma(x_k)$$

کلی روش‌های مختلف درون‌یابی به صورت زیر است (*Johnston et al, 1997: 146*; *1395*; *185*; *2004: 246*; *Issak & Srinivasta, 1989: 246*):

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (۳)$$

که در آن،  $Z^*(x_i)$  مقدار تخمین‌زده شده،  $n$  تعداد نقاط اندازه‌گیری شده و  $\lambda$  وزن آماری که برای هر نقطه اندازه‌گیری تعیین شده و بیانگر اهمیت نقطه نام در تخمین و برآورد است.

### روش‌های درون‌یابی

تفاوت عمده روش‌های درون‌یابی، در برآورد متغیر وزنی است. روش‌های به کار رفته در این پژوهش به شرح زیر هستند: در درون‌یابی به روش وزن‌دهی عکس فاصله یا IDW مقادیر اندازه‌گیری شده که نزدیک‌ترین موقعیت را به محل پیش‌بینی دارند نسبت به موقعیت‌های دورتر تاثیر بیش‌تری بر مقدار پیش‌بینی دارند. در این روش فرض بر این است که هر نقطه اندازه‌گیری شده یک تاثیر محلی دارد که با فاصله کاهش می‌یابد. بنابراین نقاط نزدیک‌تر در پیش‌بینی وزن بیش‌تری نسبت به نقاط دورتر خواهند داشت و تاثیر پدیده مورد نظر با افزایش مسافت کاهش می‌یابد. در حالت کلی می‌توان گفت که این روش سطحی از نقاط اندازه‌گیری شده بر پایه مسافت و همسانی را ایجاد می‌کند و معادله آن به صورت زیر است (*Sun et al, 1997: 148*; *1395*; *1164*; *2009: 189*; *Johnston et al, 2004: 1164*; *Issak & Srinivasta, 1989: 248*):

(۴)

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(D_i)^q} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(D_i)^q}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{est.i} - Z_{cal.i})^2}{n}} \quad (۸)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Z_{est.i} - Z_{cal.i}|}{n} \quad (۹)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_{est.i} - Z_{cal.i})}{n} \quad (۱۰)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_{est.i} - Z_{cal.i})^2}{n} \quad (۱۱)$$

که در آن‌ها،  $Z_{est.i}$  مقدار برآورد شده متغیر،  $Z_{cal.i}$  مقدار اندازه‌گیری شده متغیر و  $n$  تعداد داده‌اندازه‌گیری شده است.

#### یافته‌های پژوهش

تحلیل‌های آمار مکانی متغیرهای مورد مطالعه

در پژوهش حاضر با تجزیه و تحلیل مکانی، بهترین مدل نیم تغییرنمای برازش شده برای متغیرها و همچنین بررسی همسانگردی داده‌ها در نرم‌افزار  $GS^+$  انجام گرفت که نتایج آن در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج مربوط به مؤلفه‌های بهترین مدل نیم‌تغییرنماهای برازش شده پارامترهای مورد مطالعه مانند مدل برازش شده، دامنه تأثیر، آستانه، اثر قطعه‌ای، نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه و کلاس وابستگی به دست آمده از نرم‌افزار  $GS^+$  در جدول ۲ ارائه شده است.

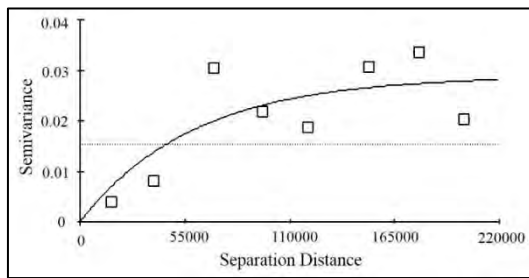
که در آن‌ها،  $Z^*(x_i)$  مقدار تخمین زده شده،  $\lambda_{zi}$  وزن مربوط به متغیر  $Z$ ،  $\lambda_{ky}$  وزن مربوط به متغیر کمکی  $y$ ،  $Z(x_i)$  مقدار اندازه‌گیری شده متغیر اصلی و  $y(x_k)$  مقدار اندازه‌گیری شده متغیر کمکی است.

پس از انجام درون‌یابی متغیرهای مورد مطالعه صحت نتایج به دست آمده باید مورد ارزیابی قرار گیرد و مقدار دقت روش‌ها در تخمین و برآورد مقادیر با روش‌های مختلف درون‌یابی بررسی شود.

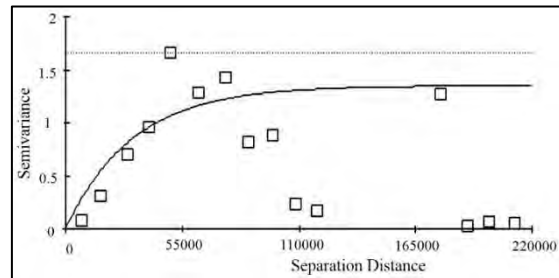
#### ارزیابی صحت نقشه‌های تغییرات مکانی

برای ارزیابی میزان دقت نتایج به دست آمده، در پژوهش حاضر از معیارهای زیر بین مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمینی براساس روابط ۸ تا ۱۱ استفاده شد. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) که هرچه دارای مقدار کم‌تری باشد، دقت روش درون‌یابی بالاتر است. میانگین خطای مطلق (MAE) که مقدار صفر آن نشان‌دهنده صحت ۱۰۰ درصد و هر میزان مقدار آن از صفر فاصله داشته باشد، حاکی از کم شدن صحت درون‌یابی است. میانگین خطای انحراف (MBE) که این مقدار می‌تواند مثبت (برآورد بیش‌تر از میانگین داده‌ها) یا منفی (برآورد کم‌تر از میانگین داده‌ها) باشد و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده اختلاف کم‌تر مقادیر تخمینی و اندازه‌گیری شده است. خطای مربع میانگین (MSE) که هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، بیانگر خطای کم‌تر روش درون‌یابی است (Chen et al, Barua & Perera, 2012: 1410; Green & Wosten et al, 2001: 141; 2006: 1533; Stephenson, 1986: 401).





(ب)



(الف)

شکل ۲: بهترین مدل نیم تغییرنمای برازش شده برای متغیرهای دبی (الف) و رسوب (ب) در استان اردبیل

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

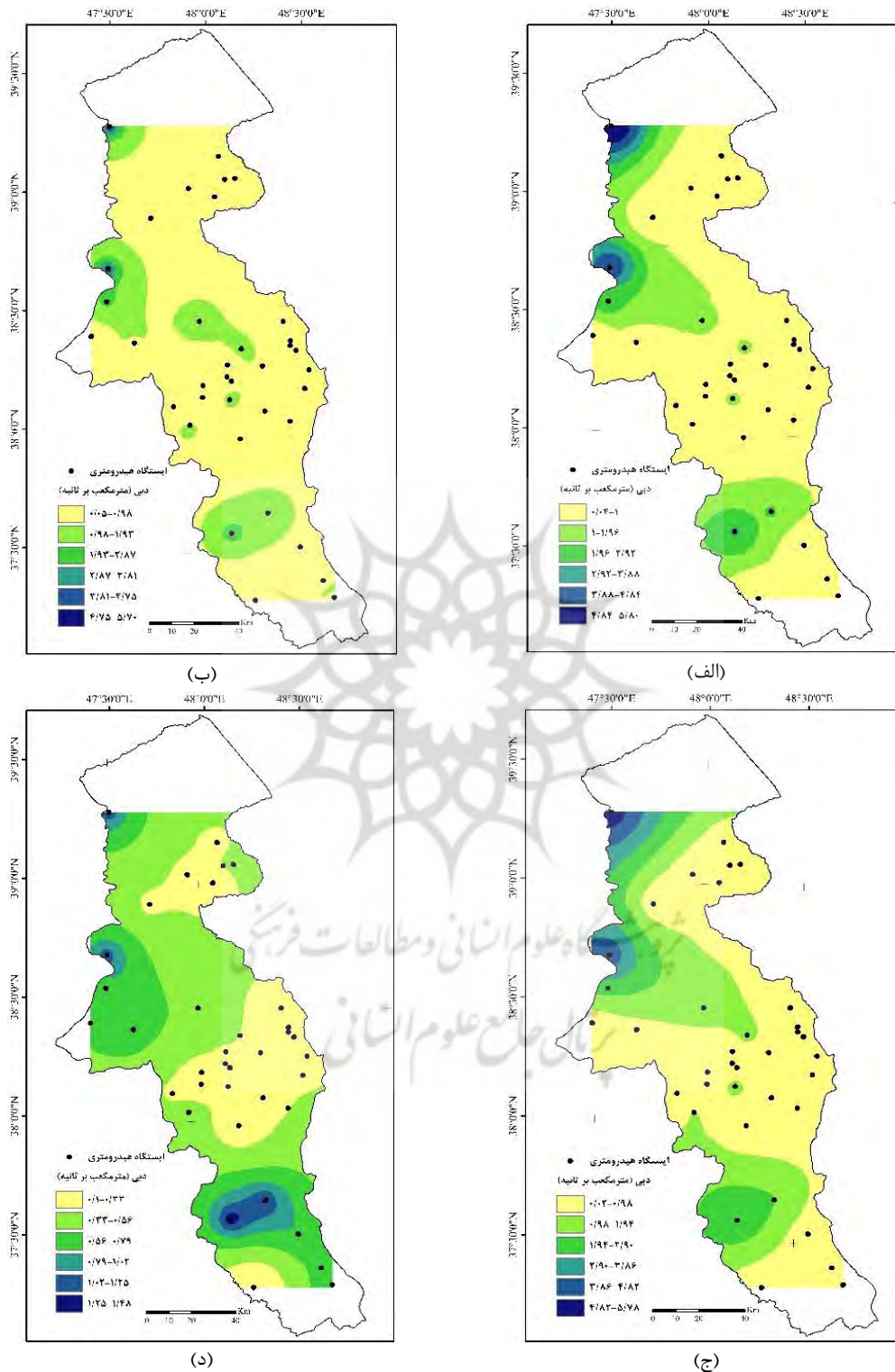
جدول ۲: مؤلفه‌های بهترین مدل نیم تغییرنمای برازش شده برای پارامترهای مورد مطالعه در استان اردبیل

ضریب تبیین (R <sup>2</sup> )	مجموع مربعات باقی‌مانده (RSS)	کلاس وابستگی	C/(C+C <sub>0</sub> )	دامنه تأثیر (R)	آستانه (C+C <sub>0</sub> )	اثر قطعه‌ای (C <sub>0</sub> )	مدل واریوگرام	پارامترهای مورد مطالعه
۰/۰۹	۲۲/۲	ضعیف	۰/۹۹	۹۵۴۰۰	۱/۳۵	۰/۰۰۱	نمایی	دبی (مترمکعب بر ثانیه)
۰/۶۳	۳/۰۳×۱۰ <sup>-۴</sup>	ضعیف	۱	۱۷۸۸۰۰	۰/۰۲۹	۱×۱۰ <sup>-۵</sup>	نمایی	رسوب ویژه (تن در هکتار در سال)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

اگر این نسبت کم‌تر از ۰/۲۵ باشد، ساختار مکانی قوی در صورتی که این نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ باشد، ساختار مکانی متوسط و اگر این نسبت بیش‌تر از ۰/۷۵ باشد، ساختار مکانی ضعیف خواهد بود (محمدی، ۱۳۸۰؛ عسگری، ۱۳۹۶؛ *Cambarrella et al, 1994*). با توجه به این موارد، ساختار مکانی هر دو متغیر دبی و رسوب ویژه مورد بررسی در تحقیق حاضر ساختار مکانی ضعیفی دارند. در مرحله بعد، تغییرات مکانی مقادیر دبی و رسوب در استان اردبیل با استفاده از نرم‌افزار ArcMap مورد بررسی قرار گرفت و متغیرها با روش‌های مختلف درون‌یابی شدند که نتایج آن در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده‌است.

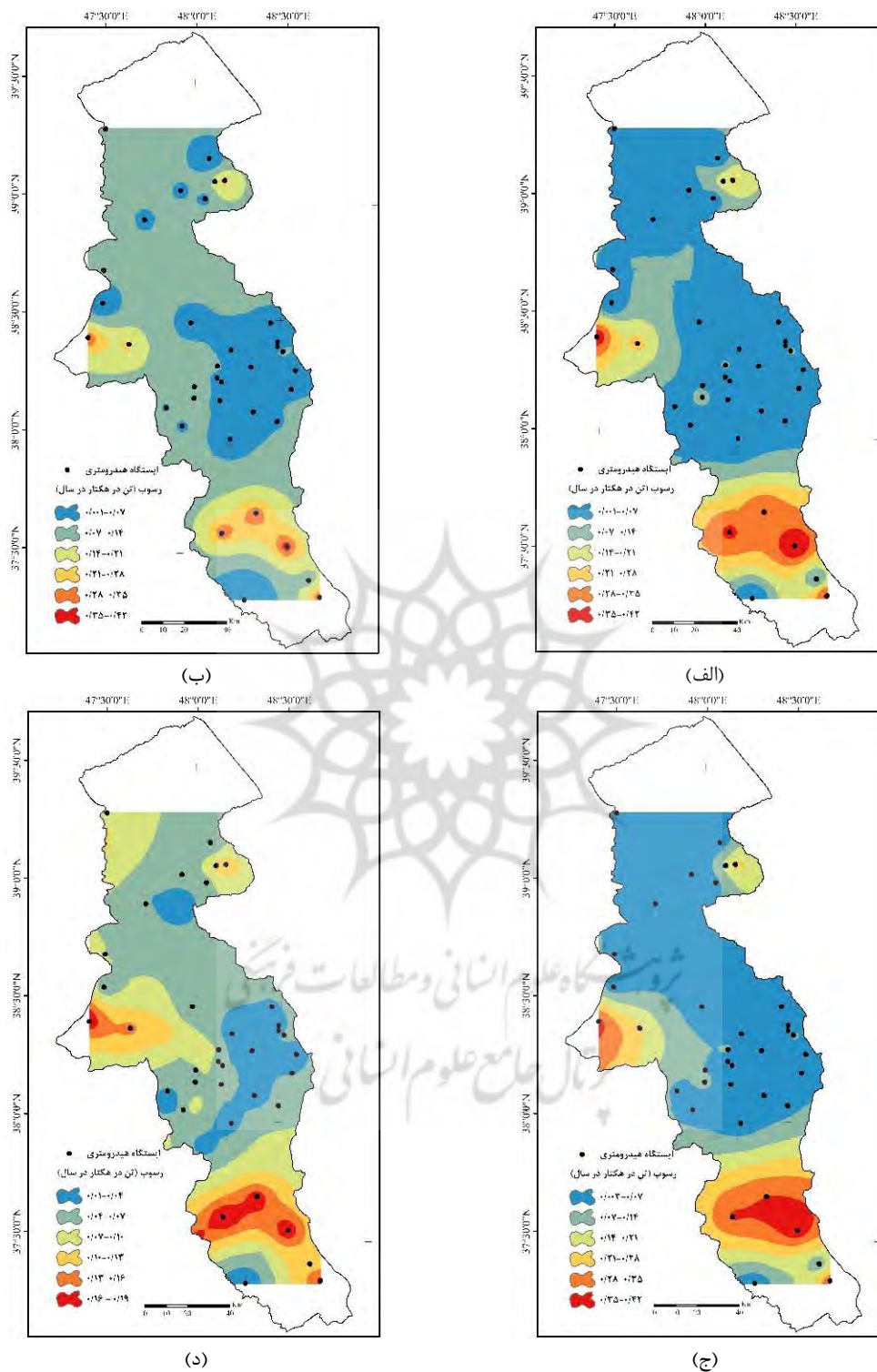
نتایج بررسی همسانگردی داده‌ها نشان داد که متغیرها همسانگرد هستند. براساس نتایج نیم تغییرنمای تجربی، مدل‌هایی که پارامترهای مجموع مربعات باقی‌مانده (RSS) کم‌تر و ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) بالاتری داشته باشند، مدل مناسب‌تری نسبت به سایر مدل‌ها هستند. بر این اساس مدل نمایی برای پارامترهای دبی و رسوب از بین مدل‌های مختلف به‌عنوان مدل مناسب انتخاب شد (جدول ۲). همچنین با بررسی نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه می‌توان به وابستگی مکانی یا ساختار مکانی متغیر مورد مطالعه پی‌برد که هرچه این نسبت کم‌تر باشد، نشان‌دهنده ساختار مکانی مناسب و بهتری برای آن متغیر است.



شکل ۳: نقشه‌های درون‌یابی شده‌ی مقادیر دبی با روش‌های IDW (الف)، کریجینگ ساده (ب)، کریجینگ معمولی

(ج) و کوکریجینگ (د) و پهنه‌بندی تهیه‌شده‌ی این مقادیر در سطح استان اردبیل

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ۴: نقشه‌های درون‌یابی شده مقادیر رسوب با روش‌های IDW (الف)، کریجینگ ساده (ب)، کریجینگ معمولی (ج) و کوکریجینگ (د) و پهنه‌بندی تهیه شده این مقادیر در سطح استان اردبیل

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

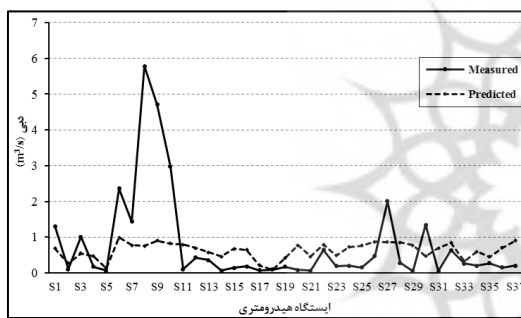
باید اشاره شود که در واحد هیدرولوژیک بالادست دره رود (بخش قره‌سو) سازندهای زمین‌شناسی همگی مربوط به دوران سنوزوئیک و کواترنر هستند. واحدهای سنگی دوران مزوزوئیک شامل ماسه‌سنگ‌ها و آهک‌های دوره ژوراسیک و ماسه‌سنگ و کنگلومرا و آهک‌های دوره کرتاسه است. سازندهای دوران سنوزوئیک که در دشت اردبیل گسترش دارند، دارای لیتولوژی سنگ‌های آندزیتی و بازالت مربوط به دوره ائوسن و توف‌ها و سنگ‌های آذرآواری و مارن گچ و نم‌دار سیلتستون و کنگلومرای مربوط به میوسن - پلیوسن در جنوب دشت اردبیل است. واحدهای سنگی دوران مزوزوئیک شامل آهک‌های مارنی کرتاسه و سنگ‌های آتشفشانی است که در بعضی مقاطع در اطراف رودخانه برونزد دارند. واحدهای سنگی دوران سنوزوئیک که تقریباً تمامی ارتفاعات را شامل می‌شود، شامل سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی و تراکیتی مربوط به دوره پالئوسن و ائوسن و تناوبی از ماسه‌سنگ، سیلتستون، شیل، کنگلومرا و سیلت رسی گچ‌دار مربوط به الیگوسن تا پلیوسن است. این منطقه را می‌توان تا حدی مناطق مقاوم در برابر فرسایش در نظر گرفت. رسوبات دوران کواترنری شامل آبرفت‌های شنی و ماسه‌ای و سیلتی حاشیه رودخانه‌ها و مسیل‌ها از جمله دره رود، سامبورچای و نیز تراس‌های آبرفتی قدیمی متشکل از سیلت رسی است. در واحد هیدرولوژیک بالهارود واحدهای سنگی دوران سنوزوئیک، تناوبی از سنگ‌های سیلتی و رسی و ماسه‌سنگی مربوط به الیگومیوسن است که به صورت طاق‌دیس و ناودیس‌های موازی گسترش یافته‌اند. رسوبات مربوط به دوران کواترنری را می‌توان در منطقه بالهارود به بخش‌های مجموعه‌ای از سیلت رسی و ماسه توفی در پای ارتفاعات که اغلب تپه ماهوری هستند، تراس‌های آبرفتی قدیمی متشکل از سیلت رسی و لایه‌های سفید

نقشه‌های درون‌یابی شده مقادیر رسوب نشان می‌دهد که قسمت اعظم رسوب تولیدی مربوط به حوزه قزل‌اوزن در جنوب استان است. در واحد هیدرولوژیک قزل‌اوزن در استان اردبیل، سازندهای زمین‌شناسی عموماً مربوط به دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک است. واحدهای سنگی دوران مذکور، اغلب شامل کنگلومرا، آهک، شیل و ماسه‌سنگ دوره ژوراسیک و کرتاسه هستند که در اطراف دشت خلخال برونزد دارند. واحدهای سنگی دوران سنوزوئیک شامل گدازه‌های آتشفشانی آندزیتی، توف و آهک‌های پالئوژن و رسوبات مارنی، سیلتی و ماسه‌ای نفوذ است که در اطراف دشت فیروزآباد-گیوی و غرب دشت خلخال برونزد دارند؛ علاوه بر این رسوبات کواترنری و پادگانه‌های آبرفتی اطراف رودخانه‌ها و مخروط افکنه‌ها با ضخامت کم در دشت‌های باریک هروآباد (خلخال)، گیوی و حوضه قزل‌اوزن گسترش دارند. علاوه بر این، در محدوده سرشاخه‌های اهرچای و اطراف مشگین‌شهر (در بخش غربی استان)، سازندهای زمین‌شناسی مربوط به دوران سنوزوئیک و کواترنر است. واحدهای سنگی دوران سنوزوئیک شامل گدازه‌های بازالتی، داسیتی و تراکیتی دوره ائوسن و توده‌های نفوذی گرانیتی و مونزونیتی دوره الیگوسن است که در جنوب دشت نودوز در غرب مشگین‌شهر و اطراف اهرچای گسترش دارند. واحدهای سنگی دوران کواترنر در این واحد هیدرولوژیک عمدتاً شامل رسوبات آبرفتی حاشیه رودخانه اهرچای و دامنه‌های شمال‌غربی سبلان است که بیش‌تر از کنگلومرا، سیلت و تراورتن تشکیل شده است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اردبیل، ۱۳۹۶)؛ از این رو مناطقی با مقادیر بالای رسوب با ویژگی‌های زمین‌شناسی و سازندهای فرسایش‌پذیر مطابقت دارند.

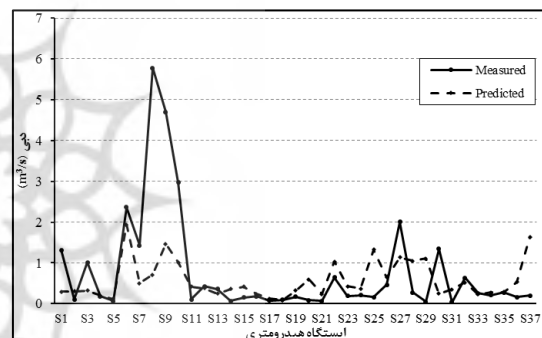


برعکس؛ یعنی در مناطق بامیزان دبی کم مقدار رسوب تولیدی نیز کم است. در شکل‌های ۵ و ۶ مقایسه مقادیر دبی و رسوب ویژه برآوردشده با روش‌های مختلف درون‌یابی و مقادیر اندازه‌گیری شده صورت گرفته است. در این شکل‌ها می‌توان مشاهده کرد که در چه ایستگاه‌هایی تخمین داده‌ها با روش‌های مختلف با دقت بالا و نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده است و در چه ایستگاه‌ها و محدوده‌هایی بین مقادیر برآوردی و مقادیر اندازه‌گیری شده اختلاف زیادی وجود داشته و دقت برآورد کم است.

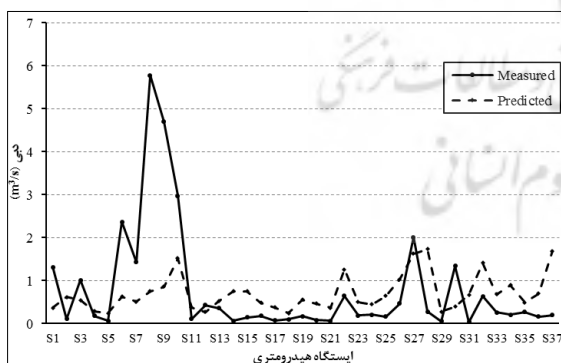
توفی که تراس دوم دشت مغان بیل‌سوار را شامل می‌شود، آبرفت‌های جدید که در بستر رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی آن‌ها تشکیل شده‌اند یا درحال تشکیل هستند (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اردبیل، ۱۳۹۰). باید گفت که علاوه بر تحلیل‌های زمین‌شناسی، نحوه استفاده از اراضی را نیز می‌توان در تحلیل تغییرات رسوب معلق مؤثر دانست. با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ مقادیر دبی و رسوب در سطح استان اردبیل تا حدودی متناظر هم هستند؛ به‌طوری‌که در بخش‌هایی از استان که مقادیر دبی بالا است، در همان مناطق مقادیر رسوب نیز بیشتر است و



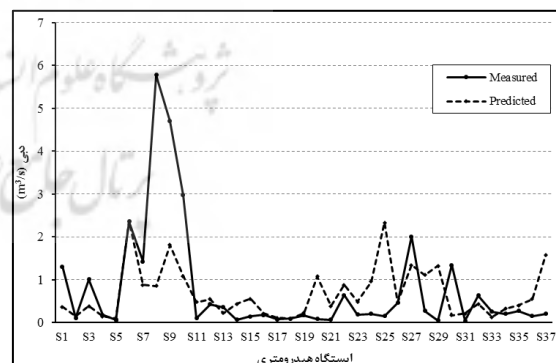
(ب)



(الف)



(د)



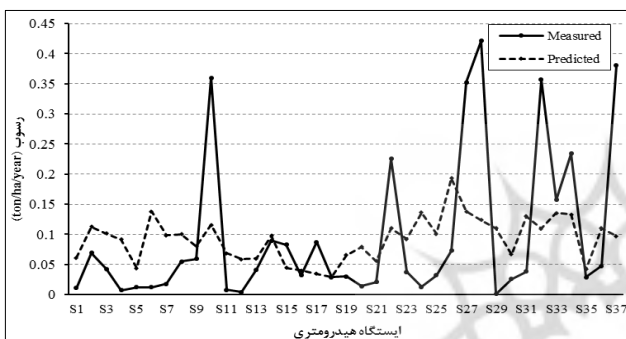
(ج)

شکل ۵: مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر برآوردشده به وسیله روش‌های مختلف درون‌یابی IDW (الف)، کریجینگ ساده (ب)، کریجینگ معمولی (ج) و کوکریجینگ (د) برای متغیر دبی در استان اردبیل

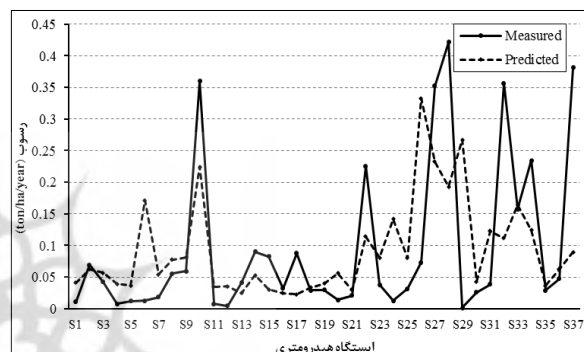
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

کم متغیر نسبت به مقادیر بالای آن زیاد است؛ به عبارت دیگر مقادیر حداقل و کم به نسبت مقادیر حداکثر بهتر و با دقت بالاتری پیش بینی شده‌اند. همچنین نتایج برآورد تمام روش‌ها بالاتر از مقادیر اندازه‌گیری شده بوده و روش‌های مختلف مورد استفاده مقادیر را بیش‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد کرده‌اند.

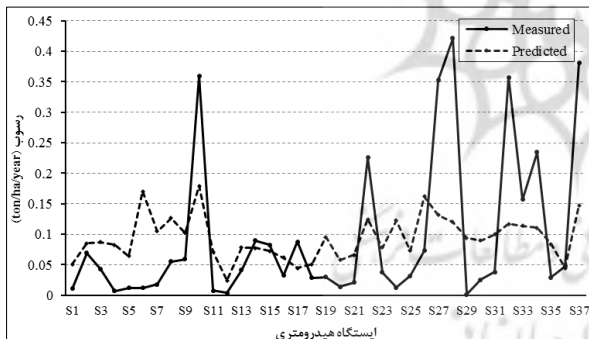
باتوجه به شکل ۵، به صورت بصری از بین روش‌های مختلف استفاده شده به منظور درون‌یابی متغیر دبی، روش IDW (الف) نسبت به سایر روش‌ها مقادیر این متغیر را بهتر و نزدیک‌تر به مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد کرده‌است. قابل ذکر است که تمام روش‌ها مقادیر دبی کم را نسبت به مقادیر بالای آن بهتر تخمین زده‌اند و دقت روش‌ها برای مقادیر حداقل و



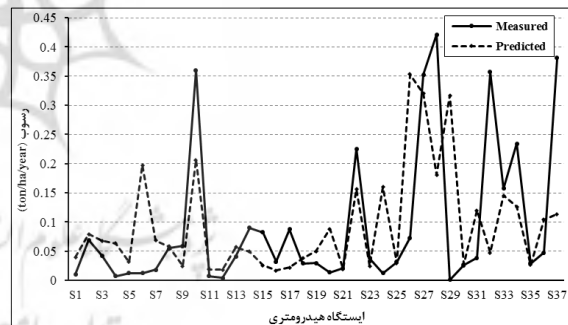
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۶: مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر برآورد شده به وسیله روش‌های مختلف درون‌یابی IDW (الف)، کریجینگ ساده (ب)، کریجینگ معمولی (ج) و کوکریجینگ (د) برای متغیر رسوب ویژه در استان اردبیل

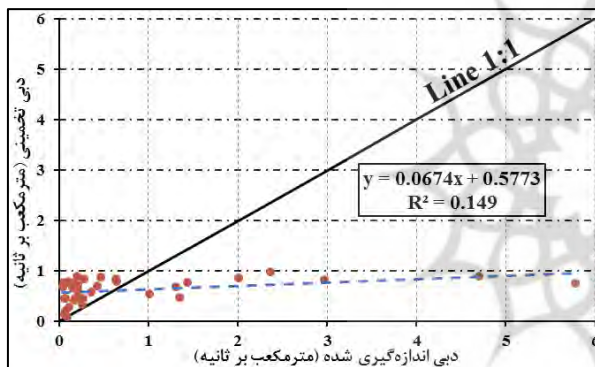
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

معمولی و مقادیر اندازه‌گیری شده وجود ندارد. با توجه به نتایج درون‌یابی متغیر رسوب ویژه، مقادیر تخمینی و برآوردی در اکثر نقاط بیش‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد و تخمین زده شده‌اند. به صورت بصری می‌توان گفت که در مجموع دقت برآورد مقادیر دبی در تمام روش‌های درون‌یابی بیش‌تر از دقت برآورد مقادیر رسوب معلق است.

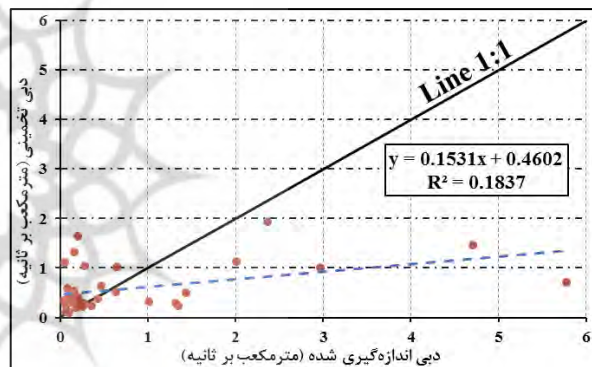
باتوجه به شکل ۶، می‌توان گفت که روش کریجینگ معمولی (ج) نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی مقادیر رسوب ویژه را بهتر و با دقت بالاتر از سایر روش‌های درون‌یابی برآورد کرده‌است؛ به طوری که مقادیر برآوردی با این روش به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر است و در مقایسه با روش‌های دیگر اختلاف زیادی بین این مقادیر برآوردی با روش کریجینگ

باشد، نقاط دقیقاً بروی خط ۴۵ درجه قرار می‌گیرند. پراکندگی نقاط در اطراف این خط نشان‌دهنده تفاوت بیش‌تر مقادیر برآوردی با مشاهده‌ای است. از طرف دیگر، اگر تجمع نقاط در زیر خط ۴۵ درجه باشد (و محور Xها مقادیر مشاهده‌ای باشد) نشان‌دهنده این است که روش مقادیر را کم‌تر از واقعیت برآورد کرده است. برعکس، در صورتی که تجمع نقاط در بالای این خط باشد، نشان‌دهنده برآورد دست بالای روش است. برای کمی‌کردن این کردار می‌توان ضریب همبستگی مقادیر مشاهده‌ای با برآوردی را محاسبه و روش‌های مختلف را با هم مقایسه کرد.

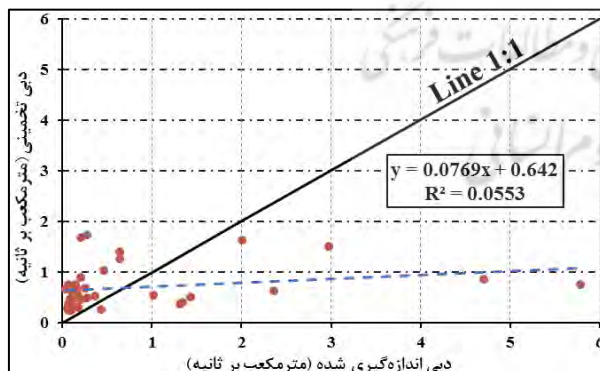
برای مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده از کردار پراکنش مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی استفاده شد. کردار مقادیر اندازه‌گیری شده دبی و رسوب ویژه در برابر مقادیر برآورد شده و تخمینی به وسیله روش‌های مختلف درون‌یابی ترسیم و خط رگرسیون حداقل مربع نیز برای بررسی همبستگی بین این مقادیر رسم شد که نتایج آن در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. در این نوع مقایسه کردار مقادیر مشاهده‌ای در مقابل مقادیر برآوردی رسم می‌شود. هر چقدر پراکنش مقادیر به خط ۴۵ درجه یا یک‌به‌یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌گر برآورد دقیق‌تر روش است. اگر مقادیر مشاهده‌ای کاملاً برابر با مقادیر برآوردی



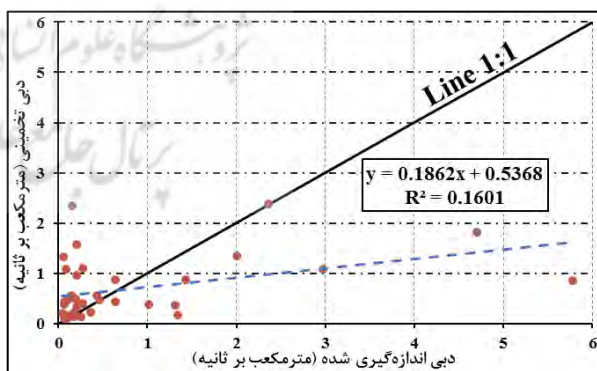
(ب)



(الف)



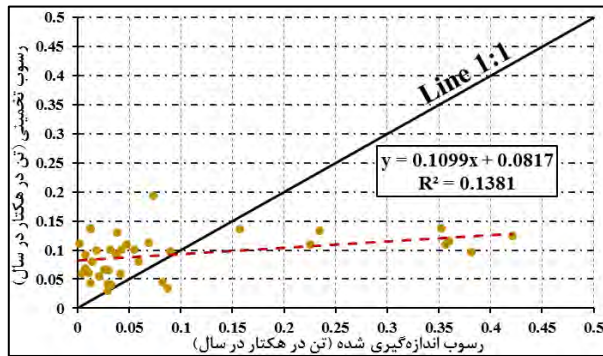
(د)



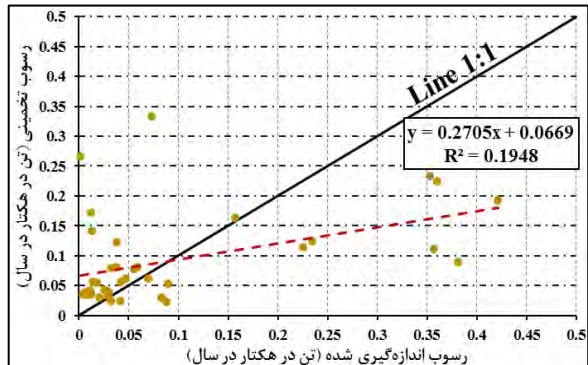
(ج)

شکل ۷: کردار پراکنش مقادیر اندازه‌گیری شده در برابر مقادیر تخمینی به وسیله روش‌های مختلف درون‌یابی IDW (الف)، کریجینگ ساده (ب)، کریجینگ معمولی (ج)، کوکریجینگ (د). برای متغیر رواناب در استان اردبیل

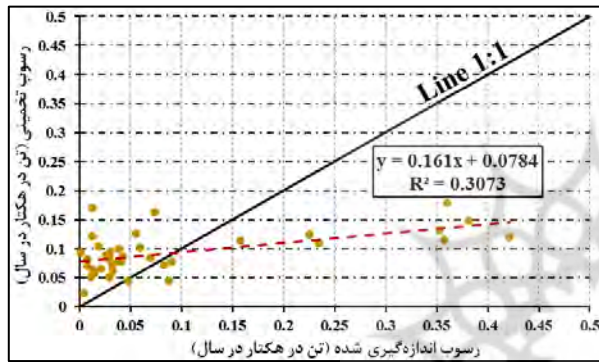
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸



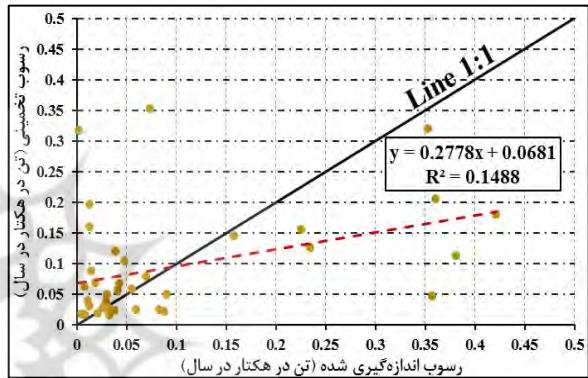
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۸: کردار پراکنش مقادیر اندازه‌گیری شده در برابر مقادیر تخمینی به وسیله روش‌های مختلف درون‌یابی IDW

(الف). کریجینگ ساده (ب). کریجینگ معمولی (ج). کوکریجینگ (د). برای متغیر رسوب ویژه در استان اردبیل

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

پس از انجام تحلیل‌های مکانی به‌منظور ارزیابی به‌منظور ارزیابی MBE و MSE در پژوهش حاضر استفاده شد. نتایج حاصل از روش‌های مختلف درون‌یابی متغیرهای این آماره‌ها در جدول ۳ ارائه شده‌است. مورد مطالعه، از معیارهای ارزیابی MAE، RMSE،

جدول ۳: مقادیر شاخص‌های ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی برای متغیرهای مورد مطالعه

MSE	MBE	MAE	RMSE	روش‌های درون‌یابی	متغیر مورد بررسی
۱/۳۷۳	-۰/۲	۰/۶۴۴	۱/۱۷۲	IDW	دبی (مترمکعب بر ثانیه)
۱/۴۷۶	-۰/۱۵	۰/۷۲۱	۱/۲۱۵	کریجینگ ساده	
۱/۳۸	-۰/۰۹	۰/۶۶۷	۱/۱۷۴	کریجینگ معمولی	
۱/۵۵۳	-۰/۰۷	۰/۷۸	۱/۲۴۶	کوکریجینگ	
۰/۰۱۲	-۰/۰۰۲	۰/۰۷۴	۰/۱۱۲	IDW	رسوب ویژه (تن در هکتار در سال)
۰/۰۱۳	-۰/۰۰۲	۰/۰۸۴	۰/۱۱۴	کریجینگ ساده	
۰/۰۱۴	-۰/۰۰۰۵	۰/۰۷۶	۰/۱۲	کریجینگ معمولی	
۰/۰۱۱	-۰/۰۰۱	۰/۰۸	۰/۱۰۷	کوکریجینگ	

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸



شاخص‌های ارزیابی وضعیت بهتری دارد. برای این متغیر مقادیر شاخص‌های RMSE و MSE وضعیت مناسبی را نسبت به سایر روش‌ها نشان می‌دهند. مقادیر شاخص‌های MAE و MBE اختلاف چندانی با مقادیر مناسب این شاخص‌ها نداشته‌اند؛ از این رو روش کوکریجینگ نسبت به دیگر روش‌های درون‌یابی انجام گرفته مقادیر رسوب ویژه را بهتر تخمین زده و برآورد می‌کند.

در جدول ۴ ضرایب همبستگی پیرسون بین مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمینی با روش‌های درون‌یابی انجام گرفته متغیرهای مورد بررسی دبی و رسوب ویژه در پژوهش حاضر ارائه شده است.

با توجه به جدول ۳، در بین روش‌های درون‌یابی استفاده شده برای متغیر دبی، بالاترین دقت درون‌یابی به دلیل کم بودن مقدار خطاها مربوط به روش IDW است. این روش عمل درون‌یابی را نسبت به سایر روش‌ها بهتر انجام داده است و مقادیر را نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده و با خطای کم‌تری پیش‌بینی کرده است. با توجه به شاخص‌های ارزیابی، در این روش مقادیر سه شاخص RMSE، MAE و MSE مقادیر بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارند. همچنین دقت پایین نیز با توجه به بالا بودن مقادیر خطا مربوط به روش کوکریجینگ است. برای متغیر رسوب ویژه، روش کوکریجینگ نسبت به سایر روش‌ها از نظر

جدول ۴: جدول همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمینی در روش‌های مختلف درون‌یابی برای متغیرهای مورد بررسی

همبستگی				
نتایج روش‌های درون‌یابی	دبی/رسوب تخمینی روش IDW (m <sup>3</sup> /s)/(ton/ha/year)	دبی/رسوب تخمینی روش کوکریجینگ ساده (m <sup>3</sup> /s)/(ton/ha/year)	دبی/رسوب تخمینی روش کوکریجینگ معمولی (m <sup>3</sup> /s)/(ton/ha/year)	دبی/رسوب تخمینی روش کوکریجینگ (m <sup>3</sup> /s)/(ton/ha/year)
همبستگی پیرسون	۰/۴۲۹**	۰/۳۸۶*	۰/۴۰۰*	۰/۲۳۵
دبی اندازه‌گیری شده (m <sup>3</sup> /s)	۰/۰۰۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۴	۰/۱۶۱
تعداد نمونه	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷
همبستگی پیرسون	۰/۴۴۱**	۰/۳۷۲*	۰/۳۸۶*	۰/۵۵۴**
اندازه‌گیری شده (ton/ha/year)	۰/۰۰۶	۰/۰۲۴	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰
تعداد نمونه	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷

\*معنی‌داری در سطح ۵ درصد، \*\*معنی‌داری در سطح ۱ درصد مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

شده و مقادیر برآوردی با روش کوکریجینگ است (I=۰/۵۵۴) که این همبستگی نیز در سطح ۱ درصد معنی‌دار است؛ به عبارت دیگر، در بین روش‌های بررسی شده در پژوهش حاضر روش کوکریجینگ مقادیر متغیر رسوب ویژه را بهتر و نزدیک‌تر به مقادیر اندازه‌گیری شده تخمین زده و برآورد می‌کند. قابل ذکر است که نتایج به دست آمده از آزمون همبستگی با نتایج شاخص‌های ارزیابی روش‌های درون‌یابی نیز مطابقت دارد.

با توجه به جدول ۴، با مقایسه نتایج آزمون همبستگی پیرسون مشاهده می‌شود که برای متغیر دبی بیش‌ترین و بالاترین همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمینی، مربوط به روش IDW است (I=۰/۴۲۹) که این مقدار در سطح ۱ درصد معنی‌دار است؛ به عبارت دیگر، روش IDW مقادیر متغیر دبی را نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی در پژوهش حاضر بهتر و با دقت بالاتری برآورد می‌کند. برای متغیر رسوب ویژه نیز بیش‌ترین مقدار همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری

## بحث

استان می‌شود. همچنین در این قسمت استان به دلیل حرکت رواناب از قسمت‌های مرتفع به سمت مناطق دشتی و کم‌ارتفاع و پست‌تر استان و چون خاک فرسایش‌یافته هنوز به مرحله ته‌نشست شدن نرسیده و تثبیت نیافته‌است؛ از این رو بیش‌تر رسوب تولیدشده در مسیر حرکت رواناب در ایستگاه‌های هیدرومتری سنجیده می‌شود و همین عامل از دلایل دیگر بالابودن مقادیر رسوب در این بخش از استان نیز می‌تواند است. در بخش‌های جنوبی استان اغلب سازندهای زمین‌شناسی این مناطق از نوع سازندهای مارنی و تا حدودی حساس به فرسایش و رسوبی ناپایدار هستند. به‌طور کلی اغلب سازندهای این بخش در دو بخش کم‌مقاوم و نیمه‌مقاوم قرار دارند (ملک‌نژاد، ۱۳۹۴: ۵).

## نتیجه

با توجه به این‌که توپوگرافی این منطقه که وجود توأم دشت‌ها و رشته‌کوه‌های کم‌ارتفاع، از مواردی است که سبب می‌شود تا مقادیر دبی در این مناطق تا حدودی کم (۲/۹۲ - ۱/۹۶ مترمکعب بر ثانیه) ولی همین مقادیر کم رواناب مقادیر بالایی از رسوب را با خود حمل می‌کند و سبب می‌شود تا مقادیر رسوب در حداکثر مقدار خود (۰/۱۹ - ۰/۱۶ تن در هکتار در سال) باشد. مددی و نیک‌پور (۱۳۹۲) در آبخیز رودخانه زال (جنوب استان اردبیل) مقدار رواناب را در حد تقریباً بالا و شدت رسوب‌دهی را متوسط به دست آوردند. بخش‌های شمالی استان اردبیل مناطق کم‌ارتفاع و پست و بیش‌تر به‌صورت مناطق هموار مسطح هستند و تیپ موفولوژی دشت (مانند دشت مغان) دارند. شیب کم، ارتفاع کم و پست‌بودن این مناطق و داشتن تیپ دشتی این بخش از استان، حاصلخیزی بالای خاک این مناطق به دلیل این‌که خاک‌های این مناطق آبرفتی هستند و غنی‌بودن از نظر منابع آب سطحی از جمله دلایلی است که سبب

در تحقیق حاضر ارتباط مقادیر دبی و رسوب و نیز پهنه‌بندی مقادیر آن‌ها با روش‌های مختلف درون‌یابی در استان اردبیل انجام شده‌است. با توجه به نتایج شاخص‌های ارزیابی روش‌های درون‌یابی و همچنین نتایج حاصل از آزمون همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمینی با روش‌های مختلف درون‌یابی، روش درون‌یابی IDW برای تخمین مقادیر متغیر دبی و روش درون‌یابی کوکریجینگ به‌عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی نسبت به سایر روش‌ها برای تخمین و برآورد مقادیر متغیر رسوب ویژه انتخاب شدند. در نقشه تهیه شده به وسیله این روش‌ها در بخش غربی استان اردبیل به دلیل این‌که روند تغییرات ارتفاعی از قسمت مرکزی به سمت شرق، جنوب و غرب سیر صعودی داشته و در بخش غربی به حداکثر می‌رسد (قله سلان) و همچنین به سمت شمال تغییرات ارتفاعی کاهش می‌یابد (کاکه‌ممی، ۱۳۹۵: ۱۰۴) و با توجه به کوهستانی‌بودن این منطقه (قسمت غربی استان اردبیل) به‌ویژه وجود قله سلان و ارتفاعات مشرف به این قله و با توجه به این‌که با افزایش ارتفاع عموماً بر مقدار بارش‌ها افزوده می‌شود (Elliot & Hovind, 1964: Duckstein et al, 1973: 31) از این رو مقادیر دبی نیز به تبع بیش‌تر خواهد بود. بخش‌های مرتفع و کوهستانی اغلب به دلیل سنگلاخی‌بودن و وجود سنگ و صخره زیاد و برعکس توسعه کم و اندک خاک و در این مناطق پوشش گیاهی اغلب تنک و کم بوده و این پوشش گیاهی نیز بیش‌تر به‌صورت گیاهان با تراکم و ارتفاع کم هستند. همین عامل تأثیر زیادی در بالابودن مقدار رواناب و این مقدار بالای رواناب به دلیل قدرت بالای آن مقادیر زیادی از خاک موجود در این بخش‌ها را فرسوده و با خود حمل می‌کند و باعث بالابودن مقدار رسوب تولیدی در بخش غربی این

داشتن تیپ دشت (مانند دشت اردبیل) مقادیر دبی و رسوب کمی دارند؛ از طرف دیگر، به دلیل واقع شدن اغلب سدهای بزرگ استان مانند سد یامچی و سد سبلان در بخش‌های مرکزی و با توجه به حجم نسبتاً بالای مخازن این سدها، مقدار زیادی از رواناب‌های تولیدشده در بخش‌های مختلف حوضه این سدها در این بخش در جهت مصارف شرب و به خصوص کشاورزی و رسوب حمل‌شده به وسیله این رواناب‌ها در مخزن این سدها ذخیره و ته‌نشست می‌شوند. از یک جنبه با توجه به این‌که شهرهای واقع شده در قسمت‌های مرکزی استان بزرگ و پرجمعیت هستند و بخشی از تأمین آب این شهرها از آب این سدها تأمین می‌شود. از جنبه دیگر، وجود همین سدها همراه با خاک حاصلخیز مناطق دشتی بخش‌های مرکزی استان باعث گسترش بیش‌تر کاربری کشاورزی به‌ویژه زراعت آبی در این مناطق شده‌است و این عامل سبب استفاده بیش‌تر از رواناب‌های سطحی در این بخش از استان شده‌است؛ از طرف دیگر، زهکشی طبیعی قسمت‌هایی از بخش‌های مرکزی استان از طریق رودخانه‌هایی انجام می‌گیرد و این امر سبب تشکیل آب‌بندان‌های موقتی و دائمی در اراضی پست کناره این رودخانه‌ها می‌شود. تشکیل این آب‌بندان‌ها با افزایش دبی رودخانه و نیز نزولات جوی ارتباط مستقیمی دارد؛ به‌همین دلیل در فصول پرآب تشکیل این آب‌بندان‌ها شروع می‌شود و چه‌بسا که تعدادی از آن‌ها به‌هم‌پیوسته منطقه وسیعی را فرامی‌گیرند و مناطق مناسبی را برای پرورش انواع آبزیان فراهم می‌آورد و این استفاده تاحدودی دائمی از آب رودخانه‌ها، سبب می‌شود تا از دبی رودخانه‌ها کاسته شود و به این دلایل مقادیر دبی (۰/۰۴-۰/۰۱ مترمکعب بر ثانیه) و رسوب (۰/۰۴-۰/۰۱ تن در هکتار در سال) در این بخش‌های استان اردبیل کم است.

گسترش کشاورزی به‌صورت مدرن در جهت بهره‌برداری بیش‌تر و بهینه از این منابع در این مناطق شده‌است؛ به‌همین دلیل بخش قابل‌توجهی از رواناب‌های سطحی این بخش استان بیش‌تر در اراضی و زمین‌های کشاورزی و برای این‌فعالیات مورد استفاده قرار می‌گیرد و مقدار اندکی از رواناب به ایستگاه‌های هیدرومتری می‌رسد و این مقدار کم رواناب ظرفیت حمل مقدار زیاد رسوب را نداشته‌است؛ از این‌رو مقدار رسوب نیز در این بخش‌ها حداقل مقدار خود را دارد. از طرفی دیگر، همین مقدار اندک رسوب در این بخش‌ها نیز مربوط به همین مناطق کشاورزی است که در اثر شخم زمین و از هم‌گسیختگی خاک در این مناطق تولید شده‌است. بخش شرقی استان اردبیل هم‌جوار با استان گیلان است و جزء مناطق جنگلی این استان اردبیل محسوب می‌شود (مانند جنگل فندقلو). در این بخش تیپ جنگلی از نوع درختانی مانند فندق، ازگیل، زالزالک، نسترن وحشی تشکیل شده‌است. خاک مناطق جنگلی به‌دلیل بالا بودن مقدار کربن آلی سبب بهبود کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌شود؛ بنابراین خاک بافت و ساختمان اصلی خود را حفظ کرده و در برابر فرسایش از خود مقاومت نشان می‌دهد؛ از طرف دیگر، شرایط مناسب خاک استقرار بهتر پوشش گیاهی و درختی را در این مناطق میسر می‌سازد؛ در نتیجه این پوشش گیاهی، هم فرصت لازم برای نفوذ رواناب تولیدشده به خاک را فراهم می‌کند و هم با بهبود وضعیت خاک و تثبیت آن و جلوگیری از فرسایش و تولید رسوب می‌شود. این عوامل از جمله دلایلی است که سبب کاهش مقادیر رواناب و رسوب در مناطق جنگلی و این بخش از استان اردبیل می‌شود. طولابی و همکاران (۱۳۹۴) نیز در مطالعه‌ای در حوضه سولاچای در شرق استان اردبیل رسوب تولیدی را ناچیز عنوان کردند. بخش‌های مرکزی استان نیز به‌دلیل واقع شدن در مناطق کم‌ارتفاع و

## منابع

- جعفریان جلودار، زینب (۱۳۸۸). توزیع مکانی خصوصیات خاک با روش‌های زمین‌آماری در مراتع رینه، نشریه مرتع. ۱۳/ ۱۲۰-۱۰۷.
- <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=101910>
- جوادی، محمدرضا؛ شعبانعلی غلامی؛ جعفر دستورانی (۱۳۹۳). مقایسه رواناب و غلظت رسوب معلق در واحدهای کاری مختلف در حوزه آبخیز لایبج، فصل‌نامه اکوسیستم‌های طبیعی ایران. ۱۵(۱). ۸۵-۹۶.
- [http://nejjournal.iaunour.ac.ir/article\\_528339.html](http://nejjournal.iaunour.ac.ir/article_528339.html)
- حسنی‌پاک، علی‌اصغر (۱۳۹۴). زمین‌آمار (ژئواستاتیک) چاپ پنجم. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۱۴ ص.
- <https://www.asrketab.com/Product/18954/%DA%A9%D8%AA%D8%A7%D8%A8-9%D8%B2%D9%85%DB%8C%D9%86-%D8%A2%D9%85%D8%A7%D8%B1-%DA%98%D8%A6%D9%88%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D8%A7%D8%AA%DB%8C%D8%B3%D8%AA%DB%8C%DA%A9>
- خزایی‌موغانی، سولماز؛ علی نجفی‌نژاد؛ مجیدعظیم محسنی؛ واحد بردی‌شیخ (۱۳۹۲). تغییرات مکانی و فصلی رسوب‌معلق در ایستگاه‌های واقع در طول رودخانه گرگانرود، استان گلستان، نشریه پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. ۴(۷). ۱-۱۵.
- <http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-231-fa.html>
- خسروی، یونس؛ اسماعیل عباسی (۱۳۹۵). تحلیل فضایی داده‌های محیطی با زمین‌آمار، انتشارات آذرکلک. چاپ اول. ۲۸۰ ص.
- <https://www.gisoom.com/book/11214717/%DA%A9%D8%AA%D8%A7%D8%A8-%D8%AA%D8%AD%D9%84%DB%8C%D9%84-%D9%81%D8%B6%D8%A7%DB%8C%DB%8C-%D8%AF%D8%A7%D8%AF%D9%87-%D9%87%D8%A7%DB%8C-%D9%85%D8%AD%DB%8C%D8%B7%DB%8C-%D8%A8%D8%A7-%D8%B2%D9%85%DB%8C%D9%86-%D8%A2%D9%85%D8%A7%D8%B1/>
- اسمعیلی‌عوری، اباذر؛ خدایار عبداللهی (۱۳۹۰). آبخیزداری و حفاظت خاک، انتشارات محقق اردبیلی. چاپ دوم. ۶۱۲ ص.
- <https://www.avayezohoor.ir/book/76/%D8%A2%D8%A8%D8%AE%DB%8C%D8%B2%D8%AF%D8%A7%D8%B1%DB%8C-%D9%88-%D8%AD%D9%81%D8%A7%D8%B8%D8%AA-%D8%AE%D8%A7%DA%A9/>
- پیری، عبدالسلام؛ میرخالق ضیاء تباراحمدی؛ محمود حبیب‌نژادروشن؛ ابوالفضل مساعدی و کریم سلیمانی (۱۳۸۳). بهینه‌سازی رابطه دبی آب و رسوب در حوضه معرف امامه، فصل‌نامه جنگل و مرتع. ۶۵. ۴۰-۳۰.
- <https://www.magiran.com/paper/375443>
- ترابی‌آزاد، مسعود؛ امیر سیه‌سرانی؛ رحیم افتخاری (۱۳۹۵). آموزش جامع تحلیل‌گر زمین‌آماری نرم‌افزار ArcGIS، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. چاپ دوم. ۴۷۶ ص.
- <https://www.gisoom.com/book/11395168/%DA%A9%D8%AA%D8%A7%D8%A8-%D8%A2%D9%85%D9%88%D8%B2%D8%B4-%D8%AC%D8%A7%D9%85%D8%B9-%D8%AA%D8%AD%D9%84%DB%8C%D9%84-%DA%AF%D8%B1-%D8%B2%D9%85%DB%8C%D9%86-%D8%A2%D9%85%D8%A7%D8%B1%DB%8C-%D9%86%D8%B1%D9%85-%D8%A7%D9%81%D8%B2%D8%A7%D8%B1-Arc-GIS/>
- تلوری، عبدالرسول؛ نادر بیرویدیان؛ اسماعیل منوچهری (۱۳۸۶). مدل‌سازی تغییرات زمانی رسوب، مطالعه موردی: حوزه آبخیز گاران در استان کردستان، نشریه پژوهش و سازندگی. ۷۵. ۷۰-۶۴.
- <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?id=72100>



- سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل (۱۳۹۷). داده‌های دبی و رسوب اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل.  
<http://www.arrw.ir/>
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اردبیل (۱۳۹۶). سالنامه آماری استان اردبیل ۱۳۹۵، انتشارات سازمان بودجه و برنامه‌ریزی کشور. ۶۴۶ ص.  
<https://ardabilmpo.ir/index.aspx?fkeyid=&siteid=1&pageid=387>
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اردبیل (۱۳۹۶). مطالعات طرح آمایش استان اردبیل جلد اول: تحلیل وضعیت و ساختار، فصل اول: تحلیل وضعیت استان، بخش اول: تحلیل وضعیت منابع طبیعی و محیط زیست، پیوست ۵: منابع آب سطحی و زیرزمینی، انتشارات سازمان بودجه و برنامه‌ریزی کشور. ۱۹۵ ص.  
<http://ardabilmpo.ir/uploads/%D8%B7%D8%B1%D8%AD%20%D8%A2%D9%85%D8%A7%DB%8C%D8%B4%20%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D8%A7%D9%86%20%D8%A7%D8%B1%D8%AF%D8%A8%DB%8C%D9%84.pdf>
- صادقی، سیدحمیدرضا؛ سهیلا آقابگی‌امین؛ بنفشه یثربی؛ مهدی وفاخواه؛ عباس اسماعیلی‌ساروی (۱۳۸۴). تغییرات زمانی و مکانی تولید رسوب معلق زیرحوزه‌های آبخیز هراز، نشریه پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر. ۳. ۲۹-۱۵.  
<https://www.magiran.com/paper/375442>
- طولابی، سوسن؛ موسی عابدینی؛ اباذر اسمعلی‌عوری (۱۳۹۴). ارزیابی کارایی مدل WEAP در برآورد رسوب حوزه آبخیز سولاچای- اردبیل، نشریه پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. ۶(۱۲). ۱۹۲-۱۸۴.  
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=269035>
- عسگری، ابراهیم (۱۳۹۶). تعیین اثرات فرسایش‌پذیری و پایداری خاکدانه‌ها بر تولید رواناب و رسوب در سازندهای مختلف زمین‌شناسی در حوزه آبخیز قره‌شیران اردبیل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشگاه محقق اردبیلی. ۷۳ ص.  
<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/3365a1aa853423777b6b1fa11647870c>
- عسگری، ابراهیم؛ اباذر اسمعلی‌عوری؛ رئوف مصطفی‌زاده؛ غلامرضا احمدزاده (۱۳۹۷). تغییرات مکانی رواناب رسوب و آستانه شروع رواناب در حوزه آبخیز قره‌شیران اردبیل، فیزیک زمین و فضا. ۴۴(۳). ۷۱۳-۶۹۷.  
[https://jesphys.ut.ac.ir/article\\_67783.html](https://jesphys.ut.ac.ir/article_67783.html)
- فرج‌زاده، منوچهر؛ مرتضی قره‌چورلو (۱۳۹۰). تحلیل مکانی و زمانی رسوب معلق در حوزه آبریز قره‌سو، مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی. ۳. ۸۴-۶۱.  
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=186255>
- کاکه‌ممی، آزاد (۱۳۹۵). بررسی تغییرات کاربری اراضی استان اردبیل در دو دهه اخیر به دو صورت تفسیر چشمی و رقومی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرتع‌داری. دانشگاه محقق اردبیلی. ۱۱۲ ص.  
<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/b74554048e5364f306ca100055abd333>
- کالوندی، سیدمحمد؛ سیدرضا خدانشناس؛ بیژن قهرمان؛ رمضان طهماسبی (۱۳۸۹). آنالیز روش‌های مختلف منحنی سنج در برآورد رسوب ورودی به سد‌ها (مطالعه موردی: سد دوستی)، مهندسی آبیاری و آب. ۱(۱). ۲۰-۱۰.  
[http://www.waterjournal.ir/article\\_69660.html](http://www.waterjournal.ir/article_69660.html)

- گل محمدی، گلر؛ صفر معروفی؛ کوروش محمدی (۱۳۸۷). منطقه‌ای کردن ضریب رواناب در استان همدان با استفاده از روش‌های زمین‌آماري و GIS. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۱۲(۴۶): ۵۱۴-۵۰۱.  
<https://jstnar.iut.ac.ir/article-1-1139-fa.html>
- محمدی، امین؛ ابوالفضل مساعدی؛ علی حشمت‌پور (۱۳۸۶). تعیین مناسب‌ترین روش برآورد رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری قزاقلی رودخانه گرگانرود، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۴(۴): ۲۴۰-۲۳۲.  
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=70358>
- محمدی، جهانگرد (۱۳۸۰). مروری بر مبانی ژئواستاتیسیتیک و کاربرد آن در خاک‌شناسی، نشریه علوم خاک و آب. ۱. ۱۲۱-۹۹.  
<https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?id=7158>
- محمدی، جهانگرد (۱۳۸۵). پدومتری آمار مکانی، انتشارات پلک. جلد دوم. ۴۵۳ ص.  
<https://www.adinehbook.com/gp/product/9648624823>
- محمدی، محمدایوب؛ عطالله کاویان (۱۳۹۰). بررسی تغییرات زمانی رواناب و رسوب‌دهی در مقیاس کرت (مطالعه موردی: حوزة آبخیز معرف خامسان)، دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، تبریز. ۱۲ تا ۱۴ شهریور. دانشگاه تبریز.
- مددی، عقیل؛ شهرام نیک‌پور (۱۳۹۲). برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزة آبخیز رودخانه زال با استفاده از روش‌های پسیاک، پسیاک اصلاح‌شده و GIS. مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. ۲(۱): ۱۵۴-۱۳۳.  
[http://www.geomorphologyjournal.ir/article\\_779054dbd6aa08c7bb2539c68f8945d3add1a.pdf](http://www.geomorphologyjournal.ir/article_779054dbd6aa08c7bb2539c68f8945d3add1a.pdf)
- مدنی، حسن (۱۳۹۳). مبانی زمین‌آمار، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. چاپ دوم. ۶۶۰ ص.  
<https://saneibook.com/Products/%DA%A9%D8%AA%D8%A7%D8%A8-%D9%85%D8%A8%D8%A7%D9%86%D9%8A-%D8%B2%D9%85%D9%8A%D9%86-%D8%A2%D9%85%D8%A7%D8%B1-8476>
- ملک‌نژاد، حسن (۱۳۹۴). بررسی حساسیت سازندهای زمین‌شناسی روستای اندبیل شهرستان خلخال نسبت به فرسایش، سومین همایش ملی انجمن‌های علمی-دانشجویی رشته‌های کشاورزی و منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. کرج. ۱۶ و ۱۷ اردیبهشت ۱۳۹۴. ۱-۷.  
<https://civilica.com/doc/457738/>
- مهری، سونیا؛ رئوف مصطفی‌زاده؛ اباذر اسمعیل‌عوری؛ اردوان قربانی (۱۳۹۶). تغییرات زمانی و مکانی شاخص جریان پایه در رودخانه‌های استان اردبیل، مجله فیزیک زمین و فضا. ۴۳(۳): ۶۳۴-۶۲۳.  
[https://jesphys.ut.ac.ir/article\\_60293.html](https://jesphys.ut.ac.ir/article_60293.html)
- نورزاده حداد، مهدی؛ محمدحسین مهدیان؛ محمدجعفر ملکوتی (۱۳۹۲). مقایسه کارایی برخی روش‌های زمین‌آماري به‌منظور بررسی پراکنش مکانی عناصر ریزمغذی در اراضی کشاورزی، مطالعه موردی: استان همدان، نشریه دانش آب و خاک. ۲۳(۱): ۸۱-۷۱.  
[https://journals.tabrizu.ac.ir/article\\_179.html](https://journals.tabrizu.ac.ir/article_179.html)
- واعظی، علیرضا؛ حسینعلی بهرامی؛ سیدحمیدرضا صادقی؛ محمدحسین مهدیان (۱۳۸۷). تغییرات مکانی رواناب در بخشی از خاک‌های آهکی ناحیه نیمه‌خشک در شمال‌غربی ایران، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۵(۵): ۱۴-۱.  
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=87760>

- Chen, S. H., Lin, Y. H., Chang, L. C. & Chang, F. J. (2006). The strategy of building a flood forecast model by neuro-fuzzy network. *Hydrological Processes*, 20(7): 1525-1540.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hyp.5942>
- Coote, G. G. & Cornish, E. A (1958). The correlation of monthly rainfall with position and altitude of observing stations, Technical Paper, 4: 33p.  
<https://books.google.com/books/about/The%20%93%20Correlation%20of%20monthly%20rainfall%20wi.html?id=SQP7vgEACAAJ>
- Coppus, R., Imeson, A. C. & Serink, J. (2003). Identification, distribution and characteristics of erosion sensitive areas in three different central Andean ecosystems, *Catena*, 51(3): 315-328.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816202001698>
- D'Haen, K., Verstraeten, G. & Degryse, P. (2012). Fingerprinting historical fluvial sediment fluxes. *Progress in Physical Geography*, 36(2): 154-186.  
<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0309133311432581>
- Davis, B. M. (1987). Uses and abuses of cross-validation in geostatistics. *Mathematical Geology*, 19(3): 241-248.  
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00897749>
- Duckstein, L., Fogel, M. M. & Thames, J. L. (1973). Elevation effects on rainfall: A stochastic model. *Journal of Hydrology*, 18: 21-35.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022169473900231>
- Elliot, R. D. & Hovind, E. L. (1964). The water balance of Orographic clouds. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 3: 235-239.  
[https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/3/3/1520-0450\\_1964\\_003\\_0235\\_twbooc\\_2\\_0\\_co\\_2.xml?tab\\_body=fulltext-display](https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/3/3/1520-0450_1964_003_0235_twbooc_2_0_co_2.xml?tab_body=fulltext-display)
- وروانی، جواد؛ سادات فیض‌نیا؛ حسن احمدی؛ محمد جعفری (۱۳۸۶). ارزیابی کارایی مدل‌های تجربی برآورد رسوب حوزه‌های آبخیز در زمان سیلاب‌های منفرد و ارائه ضرائب اصلاحی، *مجله منابع طبیعی ایران*. ۶۰(۴): ۱۲۲۵-۱۲۳۹.  
[https://journals.ut.ac.ir/article\\_27839.html](https://journals.ut.ac.ir/article_27839.html)
- Altunkaynak, A. & Wang, K (2010). Triple diagram models for prediction of suspended solid concentration in Lake Okeechobee, Florida. *Journal of Hydrology*, 387: 165-175.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169410001721>
- Asselman, N. E. M. (2000). Fitting and interpretation of sediment rating curves. *Journal of Hydrology*, 234: 228-248.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169400002535>
- Barua, S. & Perera, B. J. C. (2012). Artificial neural network-based drought forecasting using a nonlinear aggregated drought index. *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE 17: 1408-1413.  
[https://www.researchgate.net/publication/273748014\\_Artificial\\_Neural\\_Network-Based\\_Drought\\_Forecasting\\_Using\\_a\\_Nonlinear\\_Aggregated\\_Drought\\_Index](https://www.researchgate.net/publication/273748014_Artificial_Neural_Network-Based_Drought_Forecasting_Using_a_Nonlinear_Aggregated_Drought_Index)
- Blume, T., Zehe, E. & Bronstert, A. (2007). Rainfall-runoff response, event-based runoff coefficients and hydrograph separation. *Hydrological Sciences Journal*, 52(5): 843-862.  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1623/hysj.52.5.843>
- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F. & Konopka, A. E. (1994). Field-Scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58: 1501-1511.  
<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>

- Houlding, S. W. (2000). Practical geostatistics: Modeling and spatial analysis. Springer-Verlag, New York, 159p.  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13658810310001620852>
- Hu, B., Wang, T. H., Yang, Z. & Sun, X. (2011). Temporal and spatial variations of sediment rating curves in the Changjiang (Yangtze River) basin and their implications. Quaternary International, 320: 34-43.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1040618209002894>
- Issak, H. E. & Srinivasta, R. M. (1989). Applied geostatistics, Oxford University Press: Oxford. 561p.  
[https://books.google.com/books/about/Applied\\_Geostatistics.html?id=vC2dcXFLI3YC](https://books.google.com/books/about/Applied_Geostatistics.html?id=vC2dcXFLI3YC)
- Johnston, K., M. VerHoef, J., Krivoruchko, K. & Lucas, L. (2004). ArcGIS 9: Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI, 300p.  
[http://downloads2.esri.com/support/documentation/ao/Using\\_ArcGIS\\_Geostatistical\\_Analyst.pdf](http://downloads2.esri.com/support/documentation/ao/Using_ArcGIS_Geostatistical_Analyst.pdf)
- Jordan, J. P. (1994). Spatial and temporal variability of streamflow generation processes on a Swiss catchment, Journal of Hydrology, 153: 357-382.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022169494901996>
- Journel, A. G. & Huijbregts, C. J. (1978). Mining geostatistics. The Blackburn Press, 600p.  
[https://books.google.com/books/about/Mining\\_Geostatistics.html?id=Id1GAAAAYAAJ](https://books.google.com/books/about/Mining_Geostatistics.html?id=Id1GAAAAYAAJ)
- Kitanidis, P. K. (1997). Introduction to geostatistics: Applications in hydrogeology. Cambridge University Press, 249p.  
<http://carlosreynoso.com.ar/archivos/articulos/Kitanidis-Introduction-to-Geostatistics-Applications-to-Hydrogeology.pdf>
- Gamma Design Software. (2008). GS<sup>+</sup> user's guide. Gamma Design Software, LLC Plainwell, Michigan 49080, 179p.  
<https://geostatistics.com/>
- Gellis, A. C. (2013). Factors influencing storm-generated suspended-sediment concentrations and loads in four basins of contrasting land use, humid-tropical Puerto Rico. Catena, 104: 39-57.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S034181621200224X>
- Gracia-Sanchez, J. (1996). Generation of synthetic sediment graphs. Hydrological Processes, 10(9): 1181-1191.  
[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199609\)10:9%3C1181::AID-HYP369%3E3.0.CO;2-X](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/(SICI)1099-1085(199609)10:9%3C1181::AID-HYP369%3E3.0.CO;2-X)
- Green, I. R. A. & Stephenson, D. (1986). Criteria for comparison of single event models. Hydrological Sciences Journal, 31(3): 395-411.  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02626668609491056>
- Harrison, C. G. A. (2000). What factor control mechanical erosion rates. International Journal of Earth Sciences, (531): 78-92.  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s005310050303>
- Horowitz, A. J. (2003). An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations. Hydrological Processes, 17(17): 3387-3409.  
<https://pubs.er.usgs.gov/publication/70024634>
- Hosseini, S. Z., Kappas, M., Bagheri Bodaghabadi, M., ZareChahouki, M. A. & RanjinehKhojasteh, E. (2014). Comparison of different geostatistical methods for soil mapping using remote sensing and environmental variables in rangelands. Polish Journal of Environmental Studies, 23(3): 737-751.  
<http://www.pjoes.com/Comparison-of-Different-Geostatistical-Methods-r-nfor-Soil-Mapping-Using-Remote-Sensing.89245.0.2.html>



- Oliver, M. A. & Webster, R. (1991). How geostatistics can help you. *Soil Use and Management*, 7: 206-217.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1475-2743.1991.tb00876.x>
- Prathapar, S. A. & Abdulla, A. B. (2014). Impact of sedimentation on groundwater recharge at Sahalanowt Dam, Salalah, Oman. *Water International*, 39(3): 381-393.  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02508060.2014.895889>
- Sadeghi S. H. R. & Singh J. K. (2005). Development of a synthetic sediment graph using hydrological data. *Journal of Agricultural Science and Technology (JAST)*, 7: 69-77.  
<http://iem.modares.ac.ir/article-23-10480-en.pdf>
- Schmidt, K-H. & Morche, D. (2006). Sediment output and effective discharge in two small high mountain catchments in the Bavarian Alps, Germany. *Geomorphology*, 80: 131-145.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X06000614>
- Seeger, M. (2007). Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *Catena*, 71: 56-67.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816206002001>
- Sun, Y., Kang, S., Li, F. & Zhang, L. (2009). Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of NorthWest China. *Environmental Modelling & Software*, 10: 1163-1170.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364815209000796>
- Tatsumi, K. & Yamashiki, Y. (2015). Effect of irrigation water withdrawals on water and energy balance in the Mekong River Basin using an improved VIC land surface model with fewer calibration parameters. *Agricultural Water Management*, 159: 92-106.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377415300020>
- Lu, X. X. (2005). Spatial variability and temporal change of water discharge and sediment flux in the Lower Jinsha tributary: Impact of environmental changes. *River Research and Applications*, 21(2-3): 229-243.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/rra.843>
- Ma, Y., Hung, H. G., Xu, J., Brierly, G. J. & Yao, Z. (2010). Variability of effective discharge for suspended sediment transport in a large semi-arid river basin. *Journal of Hydrology*, 388: 357-369.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169410002775>
- Matheron, G. (1971). The theory of regionalized variables and its applications (Les Cahiers du Centre de morphologie mathématique de Fontainebleau). *École National Supérieure des Mines*, 5: 211p.  
[https://www.scrip.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1163810](https://www.scrip.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1163810)
- McBratney, A. B. & Webster, R. (1986). Choosing functions for semivariogram of soil properties and fitting them to sampling estimates. *Journal of Soil Science*, 37(4): 617-639.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2389.1986.tb00392.x>
- MohamadRezaPour, O., Shui, L. T. & Dehghani, A. A. (2012). Comparison of ant colony optimization and genetic algorithm models for identifying the relation between flow discharge and suspended sediment load (Gorgan River - Iran). *Scientific Research and Essays*, 7(42): 3584-3604.  
<https://academicjournals.org/journal/SRE/article-abstract/5C22BCE28943>
- Norbiato, D., Borga, M., Merz, R., Blöschl, G. & Carton, A. (2008). A control on event runoff coefficients in the Eastern Italian Alps. *Journal of Hydrology*, 375: 312-325.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169409003485>

- Wosten, J. H. M., Pachepsky, Y. A. & Rawls, W. J. (2001). Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of Hydrology*, 251:123-150.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169401004644>
- Zehe, E. & Sivapalan, M. (2009). Threshold behavior in hydrological systems at (human) geoecosystems: Manifestations, controls, implications. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13: 1273-1297.  
<https://hess.copernicus.org/articles/13/1273/2009/>
- Zhai, H. J., Hub, B., Luoa, X. Y., Qiua, L., Tangb, W. J. & Jiangb, M. (2016). Spatial and temporal changes in runoff and sediment loads of the Lancang River over the last 50 years. *Agricultural Water Management*, 174: 74-81.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377416300877>
- Zhang, S. R., Lu, X. X., Higgitt, D. L., Chen, Ch. T. A., Han, J. & Sun, H. (2008). Recent changes of water discharge and sediment load in the Zhujiang (Pearl River) Basin, China. *Global Planet Change*, 60: 365-380.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092181810700080X>
- Vaezi, A. R., Bahrami, H. A., Sadeghi, S. H. R. & Mahdian, M. H. (2010). Modeling relationship between runoff and soil properties in dry farming lands, NW Iran. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 7: 2577-2607.  
[https://www.researchgate.net/publication/43656581\\_Modeling\\_relationship\\_between\\_runoff\\_and\\_soil\\_properties\\_in\\_dry-farming\\_lands\\_NW\\_Iran](https://www.researchgate.net/publication/43656581_Modeling_relationship_between_runoff_and_soil_properties_in_dry-farming_lands_NW_Iran)
- Verstraeten, G. & Poesen, J. (2001). Factors controlling sediment yield from small intensively cultivated catchments in temperate humid climate. *Geomorphology*, 40: 123-144.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X0100040X>
- Wang, S., Yan, Y. & Li, Y. (2012). Spatial and temporal variations of suspended sediment deposition in the alluvial reach of the upper Yellow River from 1952 to 2007. *Catena*, 92:30-37.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816211002128>
- Wilson, R. C., Freeland, R. S., Wilkerson, J. B. & Hart, W. E (2005). Interpolation and data collection error sources for electromagnetic induction-soil electrical conductivity mapping. *Applied Engineering in Agriculture*, 21(2): 277-283.  
[https://www.researchgate.net/publication/228677159\\_Interpolation\\_and\\_data\\_collection\\_error\\_sources\\_for\\_electromagnetic\\_induction-soil\\_electrical\\_conductivity\\_mapping](https://www.researchgate.net/publication/228677159_Interpolation_and_data_collection_error_sources_for_electromagnetic_induction-soil_electrical_conductivity_mapping)