

Research Article

Analysis of Groundwater Quality Spatial Distribution Pattern and Spatial Variations in Electrical Conductivity (Case Study: Hamadan Province)

Mostafa Kabolizadeh^{1*}, Sajad Zareie¹, Mohammad Abbasi²

1. Assistant Professor, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2. Ph.D. Student of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Keywords: *GIS, Groundwater quality, Spatial correlation, Spatial distribution pattern, Spatial variation.*

1-introduction

Rapid population growth, expanding irrigation, and increasing industrialization, as well as a shortage of surface water resources, have created an increasing demand for groundwater (Kazi et al. 2009). In this regard, excessive exploitation of groundwater resources mainly reduces the groundwater level and the quality of groundwater aquifers. This situation has been raised as an important problem in many countries. Therefore, groundwater resource management, especially temporal and spatial assessment of groundwater quality to find hazardous areas of pollution in groundwater aquifers on a regional scale is essential for sustainable management of groundwater resources (Kumar and Balamurugan 2018; Wagh et al. 2018). A spatial information system (GIS) can be used for the spatial analysis of groundwater quality. Spatial information systems can be used in mapping, monitoring, and modeling groundwater resources. The spatial information system can be used to better visualize the spatial distribution of the water quality index (Shamsi et al. 2005; Enwright et al. 2009; Kholghi et al. 2009; Teikeu et al. 2015; Yan et al. 2016; Gunarathna et al. 2016). In this regard, in the present study, spatial autocorrelation patterns and temporal changes of groundwater quality parameters in Hamadan province in the spatial information system environment have been studied. Spatial analysis can be effective in showing the trend of changes in water quality parameters, and as a result, it is possible to investigate the cause of these changes and provide supportive solutions to improve the quality of groundwater resources. Investigating the quality and pollution of groundwater resources is essential in planning and developing groundwater resources. The purpose of this study is to investigate and evaluate the spatial distribution pattern, spatial autocorrelation patterns and spatial-temporal changes of groundwater quality parameters in Hamadan province between 2009 and 2020 in the spatial information system environment.

2-Material and methods

The study area in this study is Hamedan province in western Iran. Unconventional use of these resources can have a devastating effect on the environment, so in order to achieve sustainable development goals, it is necessary to study the trend of groundwater quality. Calculations of the Moran index in 1988 show that all indices had a random spatial distribution. But in 1992, the parameters of electrical conductivity (EC) with 95% confidence level, total soluble solids (TDS) with 91% confidence level, and sodium absorption ratio (SAR) with 99% confidence level have a cluster distribution pattern and in 1996 The electrical conductivity (EC) parameters with a 90% confidence level and the sodium absorption ratio (SAR) with a 99% confidence level have a cluster distribution pattern. The important point is that the parameters of

* Corresponding author: m.kabolizade@scu.ac.ir

DOI: 10.22055/AAG.2022.39635.2271

Received 2022-01-09

Accepted 2022-03-15

electrical conductivity and sodium adsorption ratio in 1992 and 1996 have a cluster distribution pattern with a level of confidence above 90%. Statistical analysis of the data also shows that the average parameters of electrical conductivity, total soluble solids, acidity, hardness, total anions, and cations in the study area have increased from 2009 to 2020, and the parameter value of sodium adsorption ratio has decreased. In this study, indexing to evaluate the clustering of data with high or low values shows that indicators with cluster distribution have a high value, which indicates that large values are in the neighborhood of each other (Quino Lima et al. 2020). To study the temporal changes of groundwater quality in terms of electrical conductivity due to changes in its distribution pattern, first using the stable model ordinary kriging method (Belkhiria et al., 2020), suitable variograms for data interpolation are extracted, and then the electrical conductivity zoning map for in 2009, 2013, 2017 and 2020 produced. The difference between the map of 2017 and 2020 shows that the most changes in electrical conductivity are in the city of Hamedan. The results of this study show that the study of the groundwater pollution phenomenon can play an essential role in the optimal management and sustainable development of groundwater resources.

3-Results and discussion

Groundwater resources are one of the important sources of water supply for domestic and agricultural purposes. Unconventional use of these resources can have a devastating effect on the environment, so in order to achieve sustainable development goals, it is necessary to study the trend of groundwater quality. Calculations of the Moran index in 2009 show that all indices have a random spatial distribution. But in 2013, electrical conductivity (EC) parameters with 95% confidence level, total soluble solids (TDS) with 91% confidence level, and sodium absorption ratio (SAR) with 99% confidence level have a cluster distribution pattern and in 2017 Electrical conductivity (EC) parameters with 90% confidence level and sodium absorption ratio (SAR) with 99% confidence level have a cluster distribution pattern. The important point is that the parameters of electrical conductivity and sodium absorption ratio in 2013 and 2017 have a cluster distribution pattern with a level of confidence above 90%. Statistical analysis of the data also shows that the average parameters of electrical conductivity, total soluble solids, acidity, hardness, total anions, and cations in the study area have increased from 2009 to 2017 and the parameter value of sodium adsorption ratio has decreased. In this study, indexing to evaluate the clustering of data with high or low values shows that indicators with cluster distribution have a high value, which indicates that large values are in the neighborhood of each other. To investigate the temporal changes in groundwater quality in terms of electrical conductivity due to changes in its distribution pattern, first using the ordinary model kriging method, suitable variograms are extracted for data interpolation and then the electrical conductivity zoning map to 2009, 2013, and 2017 produced. The difference between the map of 2017 and 2009 shows that the most changes in electrical conductivity are in the city of Hamedan. The results of this study show that the study of the groundwater pollution phenomenon can play an essential role in the optimal management and sustainable development of groundwater resources.

4-Conclusion

The results of Moran and coefficient of gery show that the spatial distribution pattern of all water quality parameters in 2009 and 2020 is random and for the parameters of electrical conductivity and sodium adsorption ratio in 1992 and 1996, respectively, with a high level of confidence of 95% and 90%, respectively, it had a spatial distribution with a cluster pattern with high values. To investigate the spatial variations of electrical conductivity using the Kriging method, water quality maps in terms of electrical conductivity parameters for the years 2009, 2013, 2017, and 2020 have been prepared. The map of electrical conductivity changes prepared in the period of 2009 to 2020 years shows that the amount of electrical conductivity in the city of Hamedan (Qahvand) and Razan and Kaboudar Ahang plains has more increasing changes, which indicates a decrease in groundwater quality in the case study area. Therefore, planning is necessary to correct the decline in groundwater quality.

References

- Belkhiria, L., Tiria, A., Mounib, L., 2020. Spatial distribution of the groundwater quality using kriging and Co-kriging interpolations. *Groundwater for Sustainable Development* 11. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100473>.
- Enwright, N., Hudak, P.F., 2009. Spatial distribution of nitrate and related factors in the High Plains aquifer. *Texas Environmental Geology* 58, 1541–1548. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1655-8>.
- Gunarathna, M.H.J.P., Nirmanee, K.G.S., Kumari, M.K.N., 2016. Are geostatistical interpolation methods better than deterministic interpolation methods in mapping the salinity of groundwater? *International Journal of Research and Innovations in Earth Sciences* 3, 59–64.
- Kazi, T. G., Arain, M., Jamali, M. K., Jalbani, N., Afridi, H. I., Sarfraz, R. A., Baig, J. A. and Shah, A. Q., 2009. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72, 301-309. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.02.024>.
- Kholghi, M., Hosseini, S.M., 2009. Comparison of groundwater level estimation using neuro-fuzzy and ordinary kriging. *Environmental Modeling and Assessment* 14, 729–737. <https://doi.org/10.1007/s10666-008-9174-2>.
- Kumar, P. S. and Balamurugan, P., 2018. Evaluation of groundwater quality for irrigation purposes in Attur Taluk, Salem, Tamilnadu, India. *Water and Energy International* 61(4), 59-64.
- Quino Lima, I., Ramos Ramos, O.E., Ormachea Muñoz, M., Quintanilla Aguirre, J., Duwig, C., Maity, J.P., Sracek, O., Bhattacharya, P., 2020. Spatial dependency of arsenic, antimony, boron, and other trace elements in the shallow groundwater systems of the Lower Katari Basin, Bolivian Altiplano. *Science of The Total Environment* 719, 137505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137505>.
- Shamsi, U.M., 2005. *GIS Applications for Water, Wastewater, and Stormwater Systems*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA. <https://doi.org/10.1201/9781420039252>.
- Teikeu. W.A., Meli'I, J.L., Nouck, P.N., Tabod, C.T., Nyam, F.E.A., Aretouyap, Z. (2015). Assessment of groundwater quality in Yaounde' area, Cameroon, using geostatistical and statistical approaches. *Environmental Earth Sciences* 75, 2. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4779-7>
- Wagh, V.M., Panaskar, D. ., Varade, A.M., Mukate, S.V., Gaikwad, S.K., Pawar, R. ., Muley A.A. Aamalawar, M.L., 2016. Major ion chemistry and quality assessment of the groundwater resources of Nanded tehsil, a part of southeast Deccan Volcanic Province, Maharashtra, India. *Environmental Earth Sciences* 75(21), 1418. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6212-2>.
- Yan, W., Li, J., Bai, X., 2016. Comprehensive assessment and visualized monitoring of urban drinking water quality. *Artificial Intelligence Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 155, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2016.03.026>.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Kabolizadeh, M., Zareie, S., Abbsi, M., 2023. Assessment of pollution, and Analysis of Groundwater Quality Spatial Distribution Pattern and Spatial Variations in Electrical Conductivity (Case Study: Hamadan Province), *Adv. Appl. Geol.* 12(4), 747-767.

DOI:10.22055/AAG.2022.39635.2271

URL: https://aag.scu.ac.ir/article_17737.html

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

تحلیل الگوی توزیع مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی و تغییرات مکانی هدایت الکتریکی

در استان همدان

مصطفی کابلی‌زاده*

استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

سجاد زارعی

استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

محمد عباسی

دانشجوی دکتری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

* m.kabolizade@scu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۴

چکیده

تغییرات کیفیت منابع زیرزمینی به دلایل متعدد خصوصاً استفاده نامتعارف از این منابع می‌تواند تأثیرات مخربی بر محیط زیست داشته باشد، لذا جهت نیل به اهداف توسعه پایدار و برنامه‌ریزی در راستای اصلاح افت کیفیت آب‌های زیرزمینی لازم است الگوی توزیع مکانی و روند تغییرات مکانی زمانی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی بررسی گردد. هدف از این پژوهش، بررسی الگوهای خودهمبستگی مکانی و تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی در استان همدان می‌باشد. در راستای این تحقیق پارامترهای کیفیت آب‌های زیرزمینی شامل هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول، اسیدیته، نسبت جذب سدیم، سختی، بی‌کربنات، کلراید، سولفات، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها استفاده شده است. در این تحقیق از داده‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی مربوط به چاه‌های آب پیژومتری وابسته به شرکت آب منطقه‌ای استان همدان برای بازه‌های چهارساله در سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۹ در دشت‌های استان همدان استفاده شده است. نتایج حاصل از روش موران و ضریب گری نشان می‌دهد که الگوی توزیع مکانی همه پارامترهای کیفیت آب در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۹ بصورت تصادفی و برای پارامترهای هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ به ترتیباً سطح اطمینان بالای ۹۵ و ۹۰ درصد دارای توزیع مکانی با الگوی توزیع خوشه‌ای با مقادیر بالا بوده است. برای بررسی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی با استفاده از روش کریجینگ، نقشه‌های کیفیت منابع آب از نظر پارامتر هدایت الکتریکی برای سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۹ تهیه شده است. نقشه تغییرات هدایت الکتریکی تهیه شده در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۹ نشان می‌دهد که مقدار هدایت الکتریکی در شهرستان همدان (قهانود) و دشت رزن و کبودرآهنگ تغییرات افزایشی بیشتری داشته است که نشان‌دهنده افت کیفیت آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: الگوی توزیع مکانی، تغییرات مکانی، سیستم اطلاعات مکانی، کیفیت آب، همبستگی مکانی

۱- مقدمه

2000; Fienen et al., 2016; Shah et al., 2000; Wagh et al., 2016). همچنین رشد سریع جمعیت، گسترش آبیاری برای کشاورزی و افزایش صنعتی شدن، تقاضای فزاینده‌ای برای آب‌های زیرزمینی را برانگیخته است (Kazi et al.,

آب زیرزمینی منبع اصلی آب شرب، مصارف خانگی، صنعتی و کشاورزی در مناطق مختلف جهان است و در مناطقی که منابع آب سطحی ناکافی دارند، نقش بسزایی دارد (Shah et al.,

تعیین بهترین روش درون‌یابی کیفیت آب‌های زیرزمینی انجام شده است. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که روش زمین‌آماری کریجینگ معمولی، یک روش مناسب جهت میان‌یابی برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی می‌باشد (Barcea et al., 2008; Moradi et al., 2011; Osati et al., 2012; Piri2019). در پژوهش حاضر الگوهای خودهمبستگی مکانی برای شناسایی الگوی رفتار توزیع پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی در استان همدان در محیط سیستم اطلاعات مکانی مورد بررسی قرار گرفته است، همچنین شدت تغییرات زمانی مکانی شوری آب پس از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی با استفاده از روش‌های زمین‌آماری بررسی و تحلیل شده است.

در سال‌های مورد مطالعه تحلیل‌های مکانی می‌تواند در نمایش روند تغییرات پارامترهای کیفی آب موثر باشد و در نتیجه امکان بررسی علت این تغییرات را کشف و راه‌کارهای حمایتی برای بهبود کیفیت منابع آب زیرزمینی را ارائه نمود. بطور کلی بررسی کیفیت و آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی، در برنامه‌ریزی توسعه منابع آب زیرزمینی، امری ضروری است. افزایش سرعت شور شدن آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، یکی از مهمترین چالش‌های طراحی و اجرای روش‌های نوین آبیاری مانند آبیاری بارانی یا قطره‌ای می‌باشد، لذا در این پژوهش تغییرات مکانی زمانی شوری آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این پژوهش، بررسی و ارزیابی الگوهای توزیع خودهمبستگی مکانی پارامترهای کیفیت آب‌های زیرزمینی و بررسی تغییرات مکانی زمانی پارامتر هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی در استان همدان بین سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۹ در محیط سیستم اطلاعات مکانی می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه و داده‌های مورد مطالعه

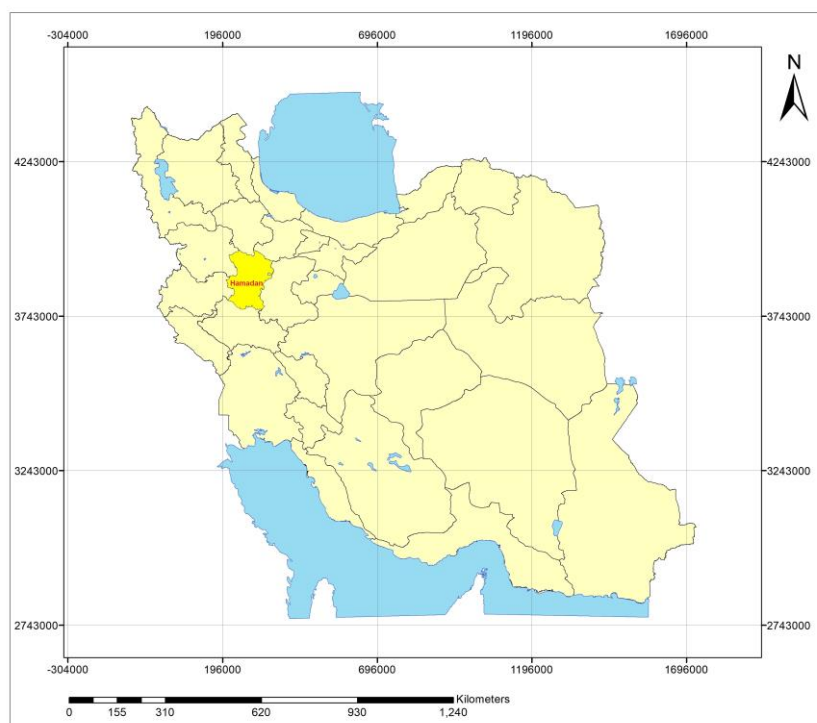
منطقه مورد مطالعه در این تحقیق استان همدان در غرب ایران می‌باشد. استان همدان با ۲۰۱۷۳ کیلومتر مربع وسعت، از سمت شمال به استان‌های زنجان و قزوین، از سمت جنوب به استان لرستان، از سمت شرق به استان مرکزی و از سمت

2009). بر این اساس، عواقب بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، عمدتاً باعث کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و افت کیفیت سفره‌های آب زیرزمینی می‌شوند. در دهه‌های اخیر این وضعیت در بسیاری از کشورها به عنوان یک مشکل مهم مطرح شده است (Thadchayini et al., 2005). از این رو، مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی خصوصاً ارزیابی و بررسی تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی برای یافتن مناطق خطرناک آلودگی در سفره‌های زیرزمینی در مقیاس منطقه‌ای برای مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی ضروری است (Ducci, 1999). در سراسر جهان، مطالعات هیدروژئوشیمیایی زیادی برای شناسایی فرایندهای ژئوشیمیایی و بررسی کیفیت آب زیرزمینی انجام شده است (Kumar and Balamurugan 2018; Wagh et al., 2018). آلودگی ژئوژنیک در منابع آب آشامیدنی و اثرات بهداشتی مرتبط با آن همچنان یک چالش جهانی برای تأمین آب سالم است (Bundschuh et al., 2016). جهت تحلیل مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌توان از سیستم اطلاعات مکانی (GIS) به عنوان ابزاری مناسب برای تحلیل‌های مکانی استفاده نمود. سیستم اطلاعات مکانی می‌تواند در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی، نظارت و مدل‌سازی کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی استفاده شود. می‌توان از سیستم اطلاعات مکانی با توجه به امکان تحلیل خودهمبستگی‌های مکانی برای تجسم بهتر و شناسایی الگوی توزیع مکانی شاخص کیفیت آب و رفتار آن استفاده نمود (Shamsi et al., 2005; Yan et al., 2008, 2016; Enwright et al., 2009; Kholghi et al., 2015 Gunarathna et al., 2016).

در این راستا بررسی الگوی خود همبستگی مکانی و شناسایی تغییرات مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌تواند در مدیریت بهینه کیفیت منابع آب زیرزمینی و برنامه‌ریزی مناسب در راستای توسعه پایدار مفید باشد. با توجه به اینکه امکان نمونه‌برداری با تراکم بالا برای تحلیل‌های کیفیت منابع آب زیرزمینی وجود ندارد. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی می‌توان از روش‌های درون‌یابی مبتنی بر فاصله و زمین‌آماری در محیط سیستم‌های اطلاعات مکانی استفاده نمود. مطالعات و پژوهش‌های متعددی در راستای

بی‌کربنات (HCO_3)، کلراید (Cl)، سولفات (SO_4)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na)، پتاسیم (K) و مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها می‌باشد. در این تحقیق از داده‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی مربوط به چاه‌های آب پیژومتری وابسته به شرکت آب منطقه‌ای استان همدان برای بازه‌های چهارساله در سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۹ در دشت‌های استان همدان استفاده شده است. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه در این تحقیق را نشان می‌دهد.

غرب به استان‌های کردستان و کرمانشاه محدود شده است. این استان بین مدارهای ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۷ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. متوسط بارندگی منطقه منطقه ۳۵۰ میلیمتر و آب و هوای آن سرد نیمه خشک است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق پارامترهای کیفیت آب‌های زیرزمینی شامل هدایت الکتریکی (EC)، کل مواد جامد محلول (TDS)، اسیدیته (PH)، نسبت جذب سدیم (SAR)، سختی (TH)،



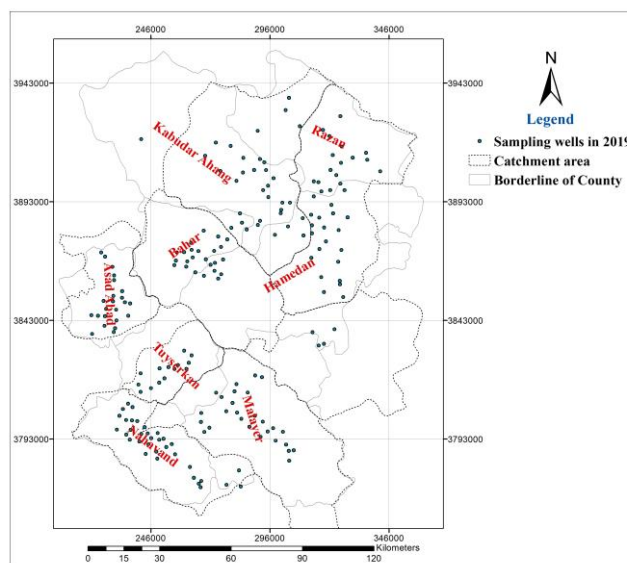
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 1. Location of the study area

در سیستم تصویر UTM تهیه شده است. با توجه به اینکه تعدادی از محل‌های نمونه‌برداری برای هر سال متفاوت بوده است، نقشه‌های توزیع مکانی چاه‌ها برای هر سال تهیه شده است. شکل ۲ موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری شده را به عنوان نمونه برای سال ۱۳۹۶ نشان می‌دهد. در نقشه، مرز حوضه‌های آبخیز و مرز شهرستان‌های استان همدان نشان داده شده است.

۲-۲- روش تحقیق

در این تحقیق، ابتدا صحت داده‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، مورد بررسی قرار گرفته است، سپس با استفاده از مختصات موقعیت چاه‌های منطقه مورد مطالعه، نقشه‌ای نقطه‌ای موقعیت مکانی چاه‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS برای همه سال‌های مورد مطالعه (۱۳۸۸ تا ۱۳۹۹)



شکل ۲- موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری شده در سال ۱۳۹۶ برای منطقه مورد مطالعه

Fig. 2. Location of wells sampled in 2017 for the study area

شده است. با این حال، نتایج این روش بسیار وابسته به تعریف عملکرد همسایگی، وجود مقادیر شدید و غیر عادی بودن مقادیر داده در فضای ویژگی است (Zhang et al., 2008; Nas, 2009). روش‌های زمین آماری ابزاری مفید برای تجزیه و تحلیل ساختار تنوع مکانی، تعامل بین مشاهدات نقطه‌ای و ایجاد نقشه‌های درون‌یابی همراه با خطای مرتبط است (Zhou et al., 2011; Arslan, 2012).

۳-۱- خود همبستگی فضایی (Moran I)

ابزار تحلیل خودهمبستگی فضایی موران به بررسی خودهمبستگی فضایی بر اساس مکان و مقدار خصیصه موردنظر عوارض جغرافیایی می‌پردازد. این تحلیل، الگوی توزیع عوارض در فضا را با ملاحظه همزمان موقعیت مکانی و خصیصه انتخاب شده، مورد ارزیابی قرار می‌دهد. نتایج حاصل از این تحلیل نشان می‌دهد که آیا عوارض به صورت تصادفی، پراکنده و یا خوشه‌ای در فضا توزیع شده‌اند. این ابزار در حقیقت آماره موران و یا شاخص موران را محاسبه می‌کند و با استفاده از امتیاز استاندارد Z و p به ارزیابی و معنادار بودن شاخص محاسبه شده می‌پردازد. ضریب موران به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود. ضریب موران از -1 تا $+1$ تغییر می‌کند. مقدار بالای

۳- تحلیل‌های شناخت الگوی توزیع

بطور کلی الگوهای شناخت توزیع نقاط، موقعیت نقاط را نسبت به همدیگر در نظر می‌گیرند، که نتیجه آن می‌تواند تصادفی، خوشه‌ای یا پراکنده باشد. در این تحقیق، برای شناخت الگوی توزیع پارامترهای مورد نظر کیفیت آب از روش‌های خودهمبستگی مکانی موران I و خوشه‌بندی زیاد/کم استفاده شده است.

از آمار محلی Moran's I برای شناسایی سطح همبستگی مکانی بر اساس یک متغیر جغرافیایی معین با توجه به همسایگان خود استفاده می‌شود (Anselin 1995; DasMajumdar and Biswas 2018) و با موفقیت در بسیاری از پروژه‌های تحقیقاتی قبلی مربوط به متغیرهای محیطی اجرا شده است (Su et al., 2000; Eamer et al., 2013; Guo et al., 2015; DasMajumdar et al., 2016). بعلاوه، روش خوشه‌بندی زیاد/کم از شناسایی نقاط گرم و نقاط سرد پشتیبانی می‌کند (Anselin 1995; Quino 2020). با توجه به سادگی و توانایی آزمایش میزان ارتباط بین مشاهدات فردی و همسایگان، از تحلیل آماری محلی Moran's I در مطالعات مبتنی بر مکان استفاده

کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی و کریجینگ مشترک، که معمولاً در تخمین توزیع مکانی متغیرها اعمال می‌شود (Dindaroglu 2014; Gyamfi et al., 2016). کریجینگ یک روش زمین آماری است که برای استحکام بخشی از یک مجموعه پراکنده از نقاط شناخته شده استفاده می‌کند که در آن می‌توان سطح مداوم مقادیر را بین مکان‌های شناخته شده پیش‌بینی کرد. مدل واریوگرام وزن‌های کریجینگ را کنترل می‌کند. واریوگرام از نظر ریاضی به عنوان معیار سنجش نیمه واریانس به عنوان تابعی از فاصله تعریف می‌شود (Belkhiria et al., 2020). کریجینگ معمولی یک روش درونیابی زمین آماری بر اساس واریانس وابسته به مکان است که از آن برای یافتن بهترین برآورد بی‌طرفانه خطی استفاده می‌شود (Guettaf et al., 2014). رابطه ۴ فرم کلی معادله کریجینگ معمولی را نشان می‌دهد:

$$\hat{Z}(x_p) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن $\hat{Z}(x_p)$ مقدار تخمینی متغیر Z و در موقعیت x_p است. $Z(x_i)$ مقدار معلوم در موقعیت x_i است و λ_i وزن مرتبط با داده است.

۴- یافته‌ها و بحث

۴-۱- تحلیل‌های شناخت الگوی توزیع

با توجه به تعداد پارامترهای اندازه‌گیری شده و وابستگی برخی از پارامترها به یکدیگر الگوی توزیع برای پارامترهای کیفیت آب‌های زیرزمینی شامل هدایت الکتریکی (EC)، کل مواد جامد محلول (TDS)، اسیدیته (PH)، نسبت جذب سدیم (SAR)، سختی (TH)، و مجموع آنیون‌ها (بی‌کربنات، کلراید، سولفات) و کاتیون‌ها (کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم) بررسی و تهیه شده است. با توجه به اینکه بررسی الگوی توزیع داده‌ها در سال‌های مختلف نیازمند تعداد نمونه‌ها و پراکندگی یکسان از نظر مکانی و همچنین رعایت بازه زمانی همسان دارد. داده‌های سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۹ در این تحقیق انتخاب شده‌اند. جدول ۱ اطلاعات آماری کلی شامل تعداد نمونه‌ها، مینیمم، ماکزیمم و میانگین در سال‌های مختلف را نشان می‌دهد.

آن بیشتر از صفر تا یک بیانگر الگوی خوشه‌ای، مقدار صفر به معنای الگوی تصادفی و مقدار منفی آن نشانگر الگوی پراکنده است. در رابطه ۱، n تعداد خرده نواحی، x_i جمعیت یا اشتغال خرده ناحیه i ، x_j جمعیت یا اشتغال خرده ناحیه j ، x متغیر جمعیت یا اشتغال و w_{ij} وزن بین خرده ناحیه‌ها مشخص می‌کند (Anselin 1995; DasMajumdar and Biswas 2018).

$$I = \frac{n \sum \sum w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum \sum w_{ij} \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

۲-۳- خوشه‌بندی زیاد/کم

از آنجایی که ضریب موران قادر به تشخیص تفاوت‌های محلی نیست و چنین می‌توان برداشت نمود که هم نواحی با تمرکز بالا و هم نواحی با تمرکز پایین در مجاورت یکدیگر قرار دارند، برای غلبه بر این مشکل از ضریب‌گیری یا خوشه‌بندی زیاد/کم (High/Low Clustering) استفاده می‌شود. در واقع اگر مقدار Z به دست آمده مثبت باشد، آنگاه می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر زیاد و یا بالای خصیصه مورد نظر خوشه‌بندی شده‌اند و اگر مقدار Z محاسبه شده منفی باشد، آنگاه نتیجه گرفته می‌شود که مقادیر کم و یا پایین خصیصه مورد مطالعه خوشه‌بندی شده است (Getis and Ord 1992; Mitchell 2005).

ضریب‌گیری مشابه ضریب موران است، اما به جای انحراف از میانگین، طبق رابطه ۲ اختلاف هر ناحیه را نسبت به دیگری برآورد می‌کند.

$$\text{Geary} \quad (\text{رابطه ۲}) \\ = \frac{(n-1) \sum \sum w_{ij} (x_i - x_j)^2}{2 \sum \sum w_{ij} \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

ضریب‌گیری بین ۰ تا ۲ تغییر می‌کند که به منظور داشتن مقیاسی شبیه موران می‌توان از رابطه ۳ استفاده نمود.

$$\text{djusted Geary} = -(\text{Geary} - 1) \quad (\text{رابطه ۳})$$

۳-۳- روش درونیابی زمین آمار کریجینگ

کریجینگ یکی از رویکردهای اساسی درونیابی زمین آماری متشکل از چندین روش است، از جمله کریجینگ شاخص،

جدول ۱- اطلاعات آماری پارامترهای کیفیت آب در سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۹

Table 1. Statistical data of water quality parameters in 2009, 2013, 2017 and 2020

SAR			PH			TDS (mg/l)			EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)			Number of samples	Year
Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min		
1.88	11.85	0.146	7.7	8.4	6.2	715	4147	174	1089	6190	276	222	2009
1.67	9.78	0.191	7.6	8.2	6.2	736	4737	178	1124	7070	283	230	2013
1.57	7.93	0.203	7.56	8.05	6.49	777	6365	211	1181	9500	330	233	2017
1.41	6.59	0.218	7.53	8.10	6.50	736	6499	237	1121	9700	370	200	2020

ادامه جدول ۱- اطلاعات آماری پارامترهای کیفیت آب در سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۹

Table 1 (continue). Statistical data of water quality parameters in 2009, 2013, 2017 and 2020

Total cations (mg/l)			Total anions (mg/l)			TH (mg/l)			Number of samples	Year
Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min		
11.05	65.4	2.88	10.9	63.7	3	351.3	2075	135	222	2009
11.33	74.3	2.97	11.2	72.1	2.9	376.5	2245	135	230	2013
11.54	79.8	2.98	11.4	78.9	2.93	397.1	2360	130	233	2017
11.13	93.8	3.08	11	93	3.04	397.1	3200	135	200	2020

خود همبستگی فضایی موران در محیط نرم افزار ArcGIS استفاده شده است. نتایج الگوی توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب با استفاده از روش خود همبستگی فضایی موران در جدول ۲ برای سال ۱۳۸۸، در جدول ۳ برای سال ۱۳۹۲، در جدول ۴ برای سال ۱۳۹۶ و در جدول ۵ برای سال ۱۳۹۹ نشان داده شده است.

نتایج جدول فوق نشان می‌دهد که پارامترهای هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول، سختی، مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها در منطقه مورد مطالعه از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۹ روندی نسبتاً افزایشی یا ثابت داشته است و مقدار پارامتر نسبت جذب سدیم و اسیدیته روندی نسبتاً کاهشی داشته است. در این پژوهش جهت بررسی خودهمبستگی مکانی و الگوی توزیع مکانی داده‌های کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه از روش

جدول ۲- شاخص موران و الگوی توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب سال ۱۳۸۸

Table 2. Moran index and spatial distribution pattern of water quality parameters in 2009

Pattern type	P-Value	Z-Score	Variance	Moran's I	Index
Random	0.554938	0.590377	0.682360	0.483156	EC
Random	0.561824	0.580134	0.682577	0.474772	TDS
Random	0.768119	0.294837	0.716513	0.245046	PH
Random	0.421218	0.804311	0.704862	0.670743	SAR
Random	0.650412	0.453189	0.666245	0.365385	TH
Random	0.601848	0.521744	0.681308	0.426130	Total anions
Random	0.586481	0.543942	0.680364	0.444141	Total cations

جدول ۳- شاخص موران و الگوی توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب سال ۱۳۹۲

Table 3. Moran index and spatial distribution pattern of water quality parameters in 2013

Pattern type	P-Value	Z-Score	Variance	Moran's I	Index
Cluster	0.046376	1.991956	0.142100	0.746523	EC
Cluster	0.088531	1.703196	0.142012	0.637473	TDS
Random	0.419144	0.807908	0.146504	0.304867	PH
Cluster	0.000003	4.691712	0.147318	1.796405	SAR
Random	0.312853	1.009254	0.138101	0.370692	TH
Random	0.111714	1.590535	0.141534	0.594008	Total anions
Random	0.108924	1.603047	0.141313	0.598245	Total cations

جدول ۴- شاخص موران و الگوی توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب سال ۱۳۹۶

Table 4. Moran index and spatial distribution pattern of water quality parameters in 2017

Pattern type	P-Value	Z-Score	Variance	Moran's I	Index
Cluster	0.099396	1.647787	0.144225	0.621451	EC
Random	0.193888	1.299163	0.142204	0.485603	TDS
Random	0.488056	0.693404	0.071582	0.181095	PH
Cluster	0.000002	4.741524	0.153573	1.853818	SAR
Random	0.412957	0.818702	0.139128	0.301065	TH
Random	0.188101	1.316218	0.142774	0.493029	Total anions
Random	0.189604	1.311752	0.142718	0.491244	Total cations

جدول ۵- شاخص موران و الگوی توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب سال ۱۳۹۹

Table 5. Moran index and spatial distribution pattern of water quality parameters in 2020

Pattern type	P-Value	Z-Score	Variance	Moran's I	Index
Random	0.745097	0.325111	0.541685	0.234229	EC
Random	0.742833	0.328104	0.542597	0.236635	TDS
Random	0.701784	0.382914	0.632292	0.299430	PH
Random	0.788598	0.268132	0.630004	0.207773	SAR
Random	0.719959	0.358514	0.526091	0.254987	TH
Random	0.729900	0.345258	0.538400	0.248285	Total anions
Random	0.730209	0.344848	0.538884	0.248098	Total cations

خوشه‌ای هستند. در سال ۱۳۹۹ نیز کلیه پارامترهای کیفیت آب‌های زیرزمینی دارای الگوی توزیع مکانی تصادفی هستند. در این پژوهش برای بررسی الگوی توزیع مکانی از لحاظ خوشه‌بندی زیاد/کم از روش گری در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده است. نتایج الگوی توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب از لحاظ خوشه‌بندی زیاد/کم با استفاده از روش گری در جدول ۶ برای سال ۱۳۸۸، در جدول ۷ برای سال ۱۳۹۲، در جدول ۸ برای سال ۱۳۹۶ و در جدول ۹ برای سال ۱۳۹۹ نشان داده شده است.

بررسی نتایج حاصل از روش موران نشان می‌دهد که در سال ۱۳۸۸ پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، کل مواد جامد محلول (TDS)، اسیدیته (PH)، نسبت جذب سدیم (SAR)، سختی (TH)، مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها دارای الگوی توزیع تصادفی هستند، اما در سال ۱۳۹۲ پارامترهای هدایت الکتریکی (EC) با سطح اطمینان ۹۵ درصد، کل مواد جامد محلول (TDS) با سطح اطمینان ۹۱ درصد و نسبت جذب سدیم (SAR) با سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای الگوی توزیع خوشه‌ای هستند و در سال ۱۳۹۶ پارامترهای هدایت الکتریکی (EC) با سطح اطمینان ۹۰ درصد و نسبت جذب سدیم (SAR) با سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای الگوی توزیع

جدول ۶- شاخص خوشه‌بندی زیاد/کم و الگوی توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب سال ۱۳۸۸

Table 6. High/low clustering index and spatial distribution pattern of water quality parameters in 2009

Pattern type	P-Value	Z-Score	G	Index
Random	0.578986	-0.554867	0.000016	EC
Random	0.589695	-0.539278	0.000016	TDS
Random	0.450534	-0.754525	0.000046	PH
Random	0.611884	-0.507386	0.000012	SAR
Random	0.577318	-0.557306	0.000021	TH
Random	0.607006	-0.514352	0.000016	Total anions
Random	0.604306	-0.518218	0.000016	Total cations

جدول ۷- شاخص خوشه‌بندی زیاد/کم و الگوی توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب سال ۱۳۹۲

Table 7. High/low clustering index and spatial distribution pattern of water quality parameters in 2013

Pattern type	P-Value	Z-Score	G	Index
High cluster	0.028129	2.195477	0.000531	EC
High cluster	0.054956	1.919223	0.000239	TDS
Random	0.601309	-0.522519	0.000237	PH
High cluster	0.000003	4.642723	0.001031	SAR
Random	0.286601	1.065607	0.000349	TH
High cluster	0.068327	1.822844	0.000490	Total anions
High cluster	0.062880	1.860037	0.000496	Total cations

جدول ۸- شاخص خوشه‌بندی زیاد/کم و الگوی توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب سال ۱۳۹۶

Table 8. High/low clustering index and spatial distribution pattern of water quality parameters in 2017

Pattern type	P-Value	Z-Score	G	Index
Random	0.067658	1.827281	0.000478	EC
Random	0.135935	1.491101	0.000460	TDS
Random	0.253563	-1.141739	0.000238	PH
High cluster	0.000003	4.642712	0.000888	SAR
Random	0.380209	0.877512	0.000339	TH
Random	0.115809	1.572611	0.000465	Total anions
Random	0.116675	1.568882	0.000465	Total cations

جدول ۹- شاخص خوشه‌بندی زیاد/کم و الگوی توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب سال ۱۳۹۹

Table 9. High/low clustering index and spatial distribution pattern of water quality parameters in 2020

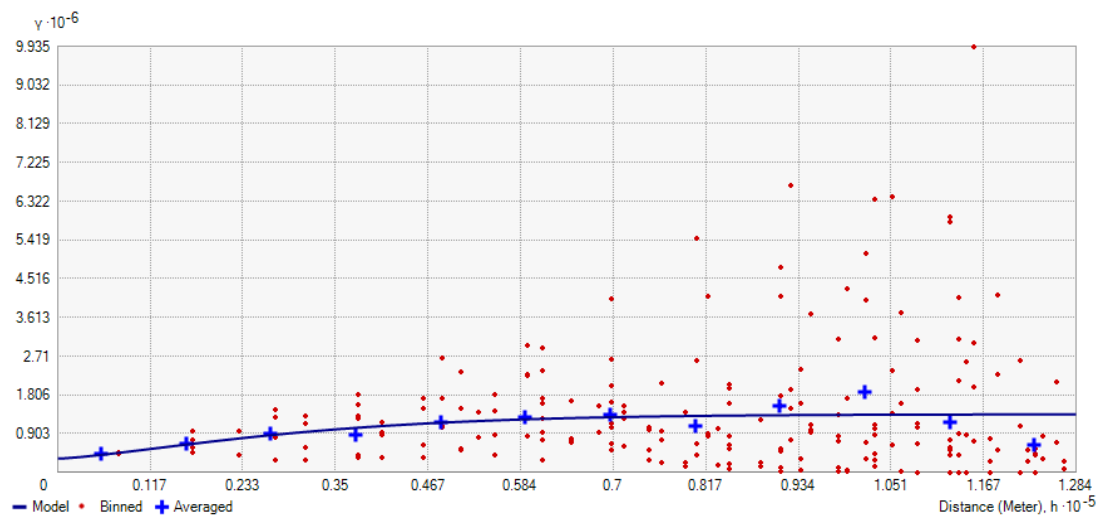
Pattern type	P-Value	Z-Score	G	Index
Random	0.665590	-0.432209	0.000030	EC
Random	0.669692	-0.426571	0.000030	TDS
Random	0.367642	0.900898	0.000066	PH
Random	0.769201	-0.293421	0.000041	SAR
Random	0.608576	-0.512108	0.000030	TH
Random	0.651580	-0.451568	0.000029	Total anions
Random	0.651178	-0.452127	0.000029	Total cations

نتایج خوشه‌بندی زیاد/کم نشان می‌دهد که برای مکانی پارامترهای کیفیت منابع آب با استفاده از روش گری پارامترهای مختلف که دارای توزیع خوشه‌ای هستند، برای مقادیر بالا دارای توزیع خوشه‌ای هستند. یعنی الگوی توزیع معتبر می‌باشد.

۲-۴- ارزیابی تغییرات زمانی مکانی هدایت الکتریکی

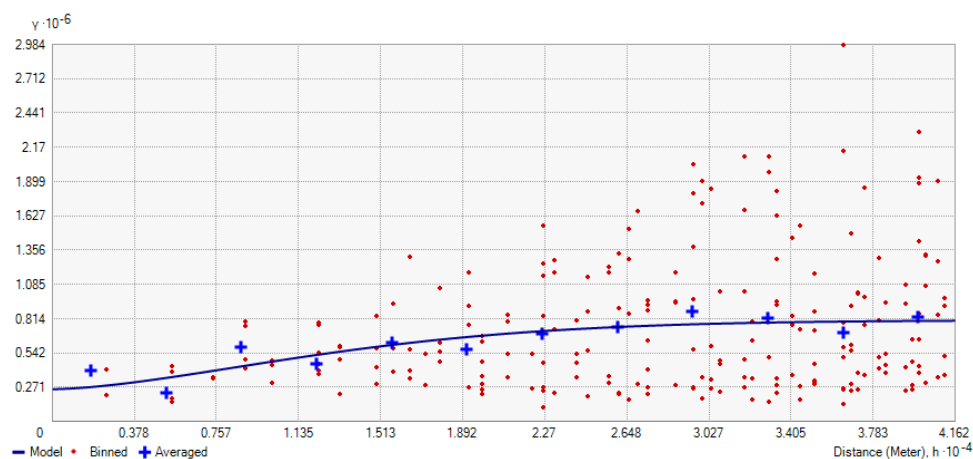
جهت بررسی تغییرات زمانی مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی نیاز به تهیه نقشه پهنه‌بندی می‌باشد. با توجه به اینکه الگوی توزیع پارامتر هدایت الکتریکی در سال‌های مورد مطالعه، خوشه‌ای زیاد بوده است و اهمیت شوری خاک در منطقه مورد مطالعه پارامتر هدایت الکتریکی برای بررسی تغییرات زمانی مکانی انتخاب شده است. بر اساس پژوهش‌های پیشین روش زمین آمار، کریجینگ دارای دقت مناسبی برای تهیه نقشه‌های

پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی است (Barcea et al., 2008; Moradi et al., 2011; Ostai et al., 2012; Piri, 2019). لذا نقشه پهنه‌بندی برای سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۹ برای پارامتر هدایت الکتریکی در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. در این تحقیق از روش کریجینگ معمولی (ordinary) مدل stable استفاده شده است. شکل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ بهترین واریوگرام برازش شده را برای سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۹ نشان می‌دهند.



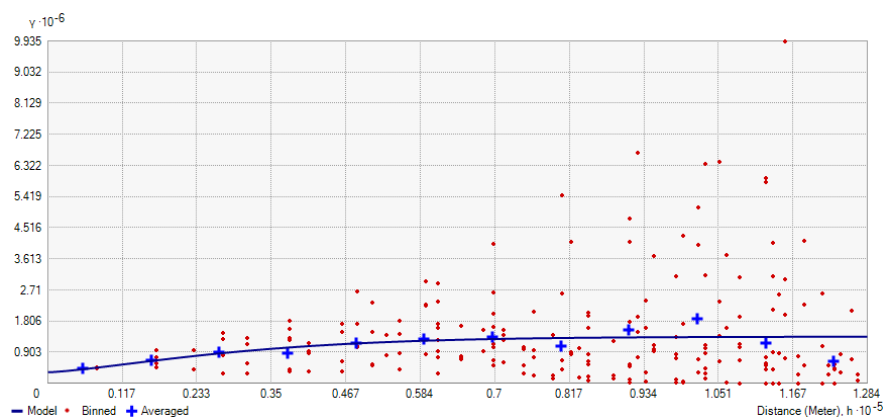
شکل ۳- بهترین واریوگرام برازش شده برای پارامتر هدایت الکتریکی در سال ۱۳۸۸

Fig.3. The best fitted variogram for the electrical conductivity parameter in 2009



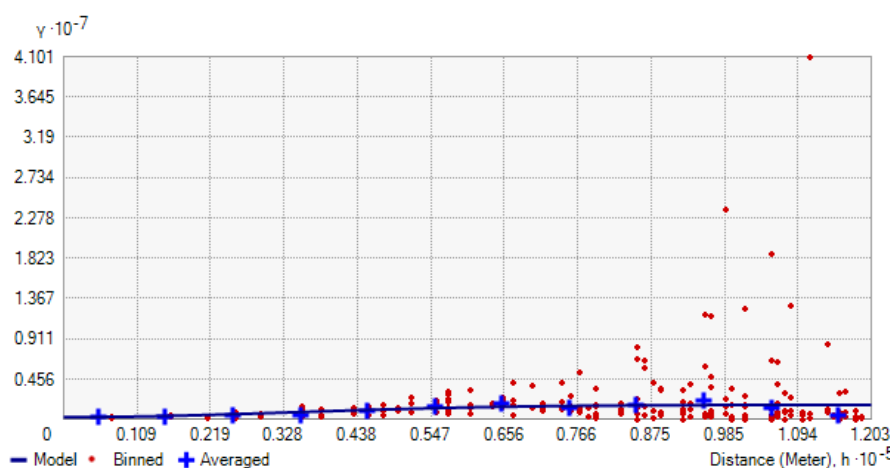
شکل ۴- بهترین واریوگرام برازش شده برای پارامتر هدایت الکتریکی در سال ۱۳۹۲

Fig.4. The best fitted variogram for the electrical conductivity parameter in 2013



شکل ۵- بهترین واریوگرام برازش شده برای پارامتر هدایت الکتریکی در سال ۱۳۹۶

Fig.5. The best fitted variogram for the electrical conductivity parameter in 2017



شکل ۶- واریوگرام برازش شده برای پارامتر هدایت الکتریکی در سال ۱۳۹۹

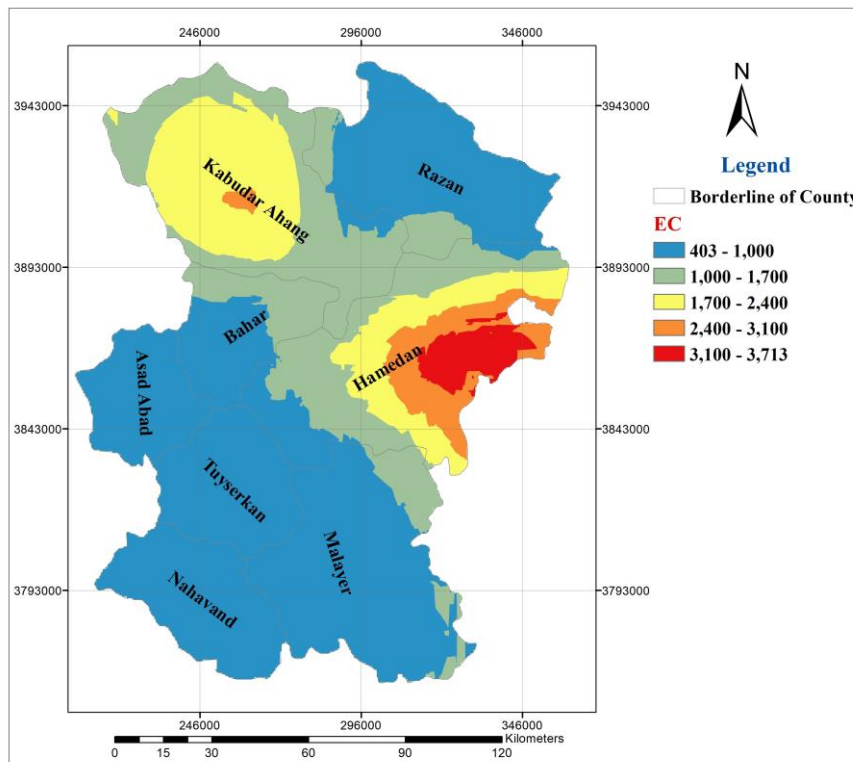
Fig.6. The best fitted variogram for the electrical conductivity parameter in 2020

جدول (۱۰) مشخصات پارامترهای ارزیابی دقت شامل (خطای استاندارد شده (Root Mean Square Error) میانگین خطا (Mean Error)، ریشه میانگین مربع خطا (Standardized Error) و میانگین استاندارد خطا (Average Standard Error Error) (Root Mean Square Error)، میانگین خطای استاندارد شده (Mean Standardized Error)، ریشه میانگین مربع

جدول ۱۰- مشخصات دقت بهترین مدل‌های برازش داده شده برسمی واریوگرام تجربی هدایت الکتریکی (کریجینگ معمولی)

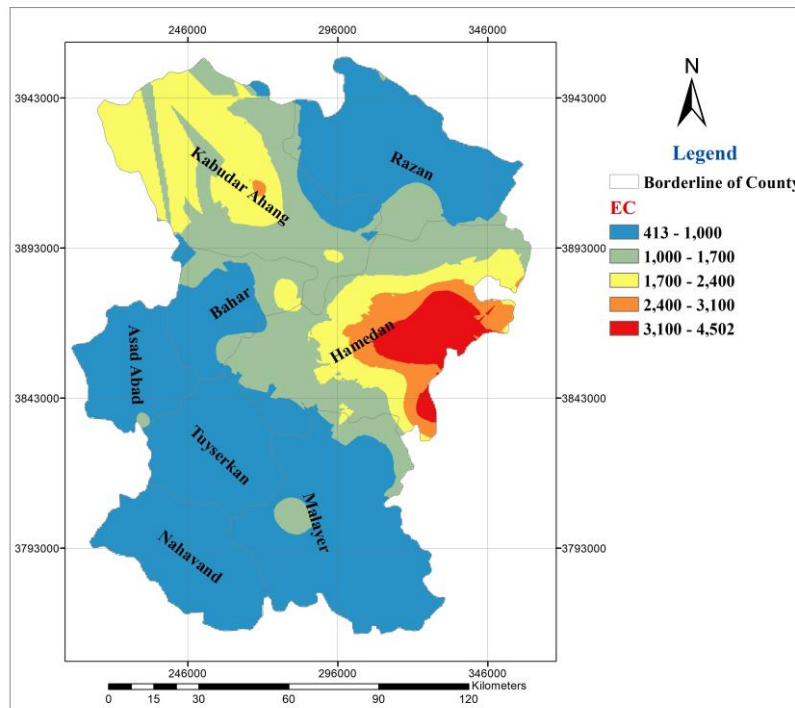
Table 10. Accuracy specifications of the best models fitted to the toxic experimental electrical conductivity variogram (conventional kriging)

Average Standard Error	Root Mean Square Standardized Error	Mean Standardized Error	Root Mean Square Error	Mean Error	Year
616.59	1.04	-0.013	647.56	-8.33	2009
610.21	1.16	-0.001	712.84	-1.06	2013
658.39	1.12	-0.003	742.29	-1.57	2017
515.03	1.50	0.0008	798.01	2.31	2020



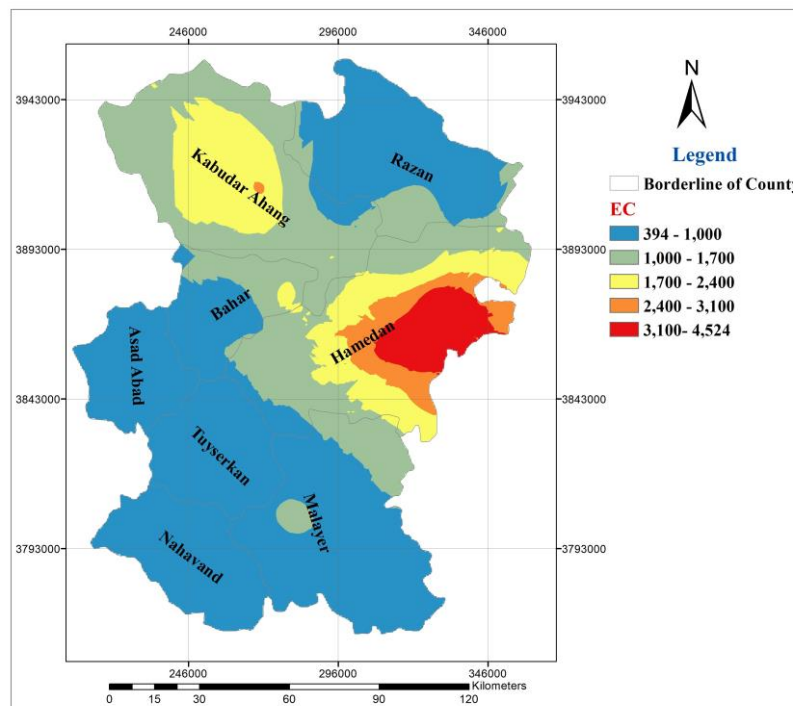
شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی پارامتر هدایت الکتریکی در سال ۱۳۸۸
Fig.7. Electrical conductivity parameter zoning map in 2009

- (رابطه ۷) رابطه ۵ تابع رگرسیون برای سال ۱۳۸۸ را بین مقادیر مدل برازش داده شده با مقدار اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد.
- $$y = 0.609137402193549 * x + 388.748671445365$$
- (رابطه ۵) رابطه ۶ تابع رگرسیون برای سال ۱۳۹۲ را بین مقادیر مدل برازش داده شده با مقدار اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد.
- $$y = 0.581754015207452 * x + 402.481958030725$$
- (رابطه ۸) رابطه ۷ تابع رگرسیون برای سال ۱۳۹۶ را بین مقادیر مدل برازش داده شده با مقدار اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد.
- $$y = 0.557317220264606 * x + 425.461043589862$$
- (رابطه ۶) رابطه ۷ تابع رگرسیون برای سال ۱۳۹۶ را بین مقادیر مدل برازش داده شده با مقدار اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد.
- $$y = 0.534366306428619 * x + 451.957076751299$$
- شکل‌های ۷، ۸، ۹ و ۱۰ نقشه پهنه‌بندی هدایت الکتریکی را برای سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۹ نشان می‌دهند. با توجه به نقشه‌های تولید شده، مقدار EC در شهرستان همدان و مرز شهرستان‌های رزن - کبودرآهنگ بیشتر از سایر مناطق استان همدان افزایش یافته است.



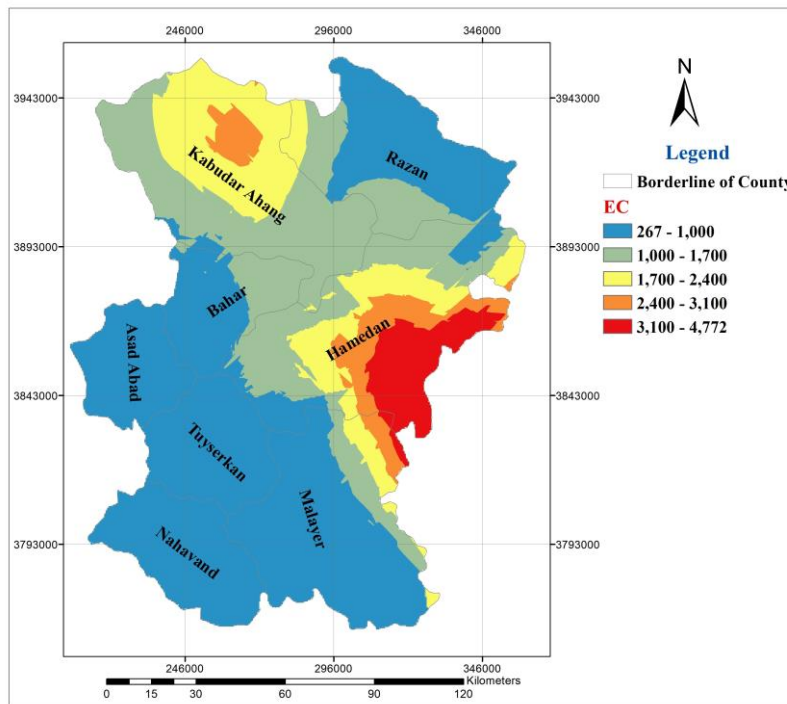
شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی پارامتر هدایت الکتریکی در سال ۱۳۹۲

Fig.8. Electrical conductivity parameter zoning map in 2013

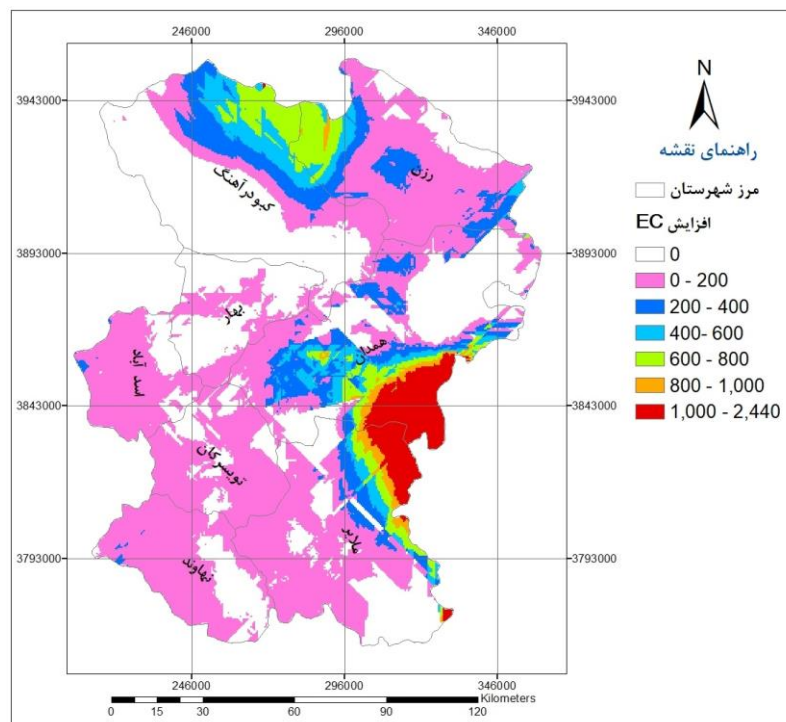


شکل ۹- نقشه پهنه‌بندی پارامتر هدایت الکتریکی در سال ۱۳۹۶

Fig.9. Electrical conductivity parameter zoning map in 2017



شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی پارامتر هدایت الکتریکی در سال ۱۳۹۹
 Fig.10. Electrical conductivity parameter zoning map in 2020



شکل ۱۱- نقشه افزایش‌تغییرات پارامتر هدایت الکتریکی از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۹
 Fig.11. Map of increasing changes in electrical conductivity parameter from 2009 to 2020

بالای ۹۰ درصد هستند. بررسی آماری داده‌ها هم نشان می‌دهد که میانگین پارامترهای هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول، اسیدیته، سختی، مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها در منطقه مورد مطالعه از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۹ نسبتاً افزایش یافته است و مقدار پارامتر نسبت جذب سدیم کاهش یافته است. شاخص گری برای ارزیابی خوشه‌ای بودن داده‌ها با مقدار زیاد یا کم نشان می‌دهد که شاخص‌های دارای توزیع خوشه‌ای با مقدار بالا هستند که این امر بیانگر آن است که مقادیر زیاد در همسایگی همدیگر قرار دارند.

برای بررسی تغییرات زمانی کیفیت آب‌های زیرزمینی از نظر هدایت الکتریکی با توجه به تغییرات الگوی توزیع آن، ابتدا با استفاده از روش کریجینگ معمولی (ordinary) مدل stable واریوگرام‌های مناسب برای درون‌یابی داده‌ها استخراج و سپس نقشه پهنه‌بندی هدایت الکتریکی برای سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۹ تولید شده است. اختلاف نقشه پهنه‌بندی هدایت الکتریکی سال ۱۳۹۹ از سال ۱۳۸۸ (شکل ۱۱) نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات افزایشی هدایت الکتریکی در شهرستان همدان و مرز شهرستان‌های رزن - کبودرآهنگ اتفاق افتاده است.

بطور کلی نتایج تحقیق نشان می‌دهد که الگوی توزیع مکانی پارامترهای EC و SAR از لحاظ زمانی از سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۶ از حالت تصادفی به حالت خوشه‌ای با مقدار بالا تغییر یافته‌اند و با بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی EC بیشترین مقدار این تغییرات به صورت افزایشی در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۸ الی ۱۳۹۹ در شهرستان همدان (دشت قهواند) و دشت رزن - کبودرآهنگ اتفاق افتاده است که با نتایج حاصل از پژوهش قاسمی و همکاران در منطقه مورد مطالعه مبنی بر افت کیفیت آب‌های زیرزمینی در طول زمان مطابقت دارد (Ghasemiet al., 2010). همچنین نتایج حاصل از این پژوهش با داده‌های شرکت‌های طراحی روش‌های نوین آبیاری استان همدان مطابقت دارد. در این راستا نیاز به برنامه‌ریزی مدیریت بهینه استفاده از منابع آب‌های زیرزمینی در کشاورزی استان همدان و توجه بیش از پیش به افت کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت‌های استان همدان در راستای توسعه پایدار بیش از پیش احساس می‌شود.

جهت بررسی افزایش EC در منطقه مورد مطالعه اختلاف نقشه سال ۱۳۹۹ از نقشه سال ۱۳۸۸ تولید شده است. شکل ۱۱ نقشه تغییرات EC در بازه ۱۱ ساله را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود بیشترین تغییرات هدایت الکتریکی در شهرستان همدان اتفاق افتاده است. میزان افزایش این تغییرات در دشت همدان بسیار زیاد بوده است و لزوم برنامه‌ریزی سریع برای مدیریت بهینه کیفیت منابع آب زیرزمینی در راستای توسعه پایدار احساس می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

منابع آب‌های زیرزمینی یکی از منابع مهم تامین آب موردنیاز برای مصارف خانگی و کشاورزی می‌باشد. استفاده نامتعارف از این منابع می‌تواند تاثیر مخربی بر محیط زیست داشته باشد، لذا جهت نیل به اهداف توسعه پایدار لازم است روند کیفیت آب‌های زیرزمینی بررسی گردد. در این پژوهش الگوی توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب‌های زیرزمینی شامل هدایت الکتریکی (EC)، کل مواد جامد محلول (TDS)، اسیدیته (PH)، نسبت جذب سدیم (SAR)، سختی (TH)، و مجموع آنیون‌ها (بی‌کربنات، کلراید، سولفات) و کاتیون‌ها (کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم) برای سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۹ در منطقه مورد مطالعه بررسی شده است. طبق شاخص موران در سال ۱۳۸۸ همه شاخص‌ها دارای توزیع مکانی تصادفی بوده‌اند. اما در سال ۱۳۹۲ پارامترهای هدایت الکتریکی (EC) با سطح اطمینان ۹۵ درصد، کل مواد جامد محلول (TDS) با سطح اطمینان ۹۱ درصد و نسبت جذب سدیم (SAR) با سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای الگوی توزیع خوشه‌ای هستند و در سال ۱۳۹۶ پارامترهای هدایت الکتریکی (EC) با سطح اطمینان ۹۰ درصد و نسبت جذب سدیم (SAR) با سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای الگوی توزیع خوشه‌ای هستند و در سال ۱۳۹۹ کلیه شاخص‌ها دارای الگوی توزیع مکانی تصادفی هستند. نکته مهم این است که پارامترهای هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ دارای الگوی توزیع خوشه‌ای با سطح اطمینان

مراجع

- Anselin, L., 1995. Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical analysis*. 27, 93–115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>.
- Arslan, H., 2012. Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging: the case of Bafra Plain. *Turkish Journal of Water Science and Management* 113, 7–63. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.015>.
- Barca, E. and Passarella, G., 2008. Spatial evaluation of the risk of groundwater quality degradation: A comparison between disjunctive kriging and geostatistical simulation. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment* 137(1-3), 261-273. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9758-3>.
- Belkhiria, L., Tiria, A., Mounib, L., 2020. Spatial distribution of the groundwater quality using kriging and Co-kriging interpolations. *Groundwater for Sustainable Development* 11. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100473>.
- Bundschuh, J., Maity, J.P., Mushtaq, S., Vithanage, M., Seneweera, S., Schneider, J., Bhattacharya, P., Khan, N.I., Hamawand, I., Guilherme, L.R.G., Reardon-Smith, K., Parvez, F., Morales-Simfors, N., Ghaze, S., Pudmenzky, C., Kouadio, L., Chen, C. Y., 2017. Medical geology in the framework of the sustainable development goals. *Science of the Total Environment* 581–582, 87–104. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.208>.
- DasMajumdar, D., Biswas, A., 2016. Quantifying land surface temperature change from LISA clusters: An alternative approach to identifying urban land use transformation. *Landscape and Urban Planning*. 153, 51–65. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.05.001>.
- Dindaroglu, T., 2014. The use of the GIS Kriging technique to determine the spatial changes of natural radionuclide concentrations in soil and forest cover. *Journal of Environmental Health Science and Engineering* 12, 130. <https://doi.org/10.1186/s40201-014-0130-6>.
- Ducci, D., 1999. GIS techniques for mapping groundwater contamination risk. *Natural Hazards* 20, 79–294. <https://doi.org/10.1023/A:1008192919933>.
- Eamer, J.B.R., Walker, I.J., 2013. Quantifying spatial and temporal trends in beach-dune volumetric changes using spatial statistics. *Geomorphology* 191, 94–108. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.03.005>.
- Enwright, N., Hudak, P.F., 2009. Spatial distribution of nitrate and related factors in the High Plains aquifer. *Texas Environmental Geology* 58, 1541–1548. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1655-8>.
- Fiene, M. N. and Arshad, M., 2016. The International Scale of the Groundwater Issue. In: Jakeman A.J., Barreteau O., Hunt R.J., Rinaudo J.D., Ross A., (Eds.), *Integrated Groundwater Management*. Springer, Cham, 21-48. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23576-9>.
- Getis, A. Ord, J. K., 1992. The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis* 24, no. 3. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1992.tb00261.x>.
- Ghasemi, A., Zare Abyaneh, H., Shahsavari, A., and Yaghoobi Kikleh, b., 2010. Investigation of quantitative and qualitative changes in groundwater in Hamadan plain - spring. *Plant and Ecology*, 6 (23), 109-127 [In Persian].
- Gunarathna, M.H.J.P., Nirmanee, K.G.S., Kumari, M.K.N., 2016. Are geostatistical interpolation methods better than deterministic interpolation methods in mapping the salinity of groundwater? *International Journal of Research and Innovations in Earth Sciences* 3, 59–64.
- Guettaf, M., Maoui, A., Ihdene, Z., 2014. Assessment of water quality: a case study of the seyhouse river (North East of Algeria). *Applied Water Sciences* 7, 295–307. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0245->
- Guo, G., Wu, Z., Xiao, R.; Chen, Y., Liu, X., Zhang, X., 2015. Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. *Landscape Urban Planning* 135, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.11.007>.

- Gyamfi, C., Ndambuki, J., Diabene, P., Kifanyi, G., Githuku, C., Alexander, A., 2016. Using GIS for spatial exploratory analysis of borehole data: the first-hand approach towards groundwater development. *Journal of Science and Technology* 36, 38–48. <https://doi.org/10.4314/just.v36i1.7>.
- Kazi, T. G., Arain, M., Jamali, M. K., Jalbani, N., Afridi, H. I., Sarfraz, R. A., Baig, J. A. and Shah, A. Q., 2009. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72, 301-309. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.02.024>.
- Kholghi, M., Hosseini, S.M., 2009. Comparison of groundwater level estimation using neuro-fuzzy and ordinary kriging. *Environmental Modeling and Assessment* 14, 729–737. <https://doi.org/10.1007/s10666-008-9174-2>.
- Kumar, P. S. and Balamurugan, P., 2018. Evaluation of groundwater quality for irrigation purposes in Attur Taluk, Salem, Tamilnadu, India. *Water and Energy International* 61(4), 59-64.
- Mitchell, A., 2005. *The ESRI Guide to GIS Analysis, Volume 2*. ESRI Press,
- Moradi, M., Vagharfard, H., Khorani, A. and Mahmoudinejad, V., 2011. Evaluation of different interpolation methods in the zoning of groundwater salinity using cross-validation technique (Case study of Shahrekurd plain). *Journal of Remote Sensing and GIS* 3(1), 35-44 (In Persian with English abstract).
- Nas, B., 2009. A geostatistical approach to the assessment of the spatial distribution of groundwater quality. *Polish Journal of Environmental Studies* 18 (6).
- Osati, Kh., Salajegh, A. and Arekhi, S., 2012. Spatial variations of nitrate concentrations in groundwater by geostatistics (Case study: Kurdan Plain). *Journal of Range and Watershed Management* 65(4), 461-472 (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jrwm.2012.32045>.
- Piri, H., 2019. Modeling and monitoring of subsurface water quality indicators of Sistan Plain using geographic information systems. *Environment and Water Engineering* 5(1), 15– 22. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/jewe.2019.138356.1268>.
- Quino Lima, I., Ramos Ramos, O.E., Ormachea Muñoz, M., Quintanilla Aguirre, J., Duwig, C., Maity, J.P., Sracek, O., Bhattacharya, P., 2020. Spatial dependency of arsenic, antimony, boron, and other trace elements in the shallow groundwater systems of the Lower Katari Basin, Bolivian Altiplano. *Science of The Total Environment* 719, 137505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137505>.
- Shah, T., Molden, D., Sakthivadivel, R., Seckler, D., 2000. *The Global Groundwater Situation: Overview of Opportunities and Challenges*; International Water Management Institute: Colombo, Sri Lanka, 2–22. <http://dx.doi.org/10.5337/2011.0051>.
- Shamsi, U.M., 2005. *GIS Applications for Water, Wastewater, and Stormwater Systems*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA. <https://doi.org/10.1201/9781420039252>.
- Su, W., Zhang, X., Wang, Z., Su, X., Huang, J., Yang, S., Liu, S., 2011. Analyzing disaster-forming environments and the spatial distribution of flood disasters and snow disasters that occurred in China from 1949 to 2000. *Mathematical and Computer Modelling* 54, 1069–1078. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.037>.
- Like, W.A., Meli'I, J.L., Nouck, P.N., Tabod, C.T., Nyam, F.E.A., Aretouyap, Z., 2015. Assessment of groundwater quality in Yaounde area, Cameroon, using geostatistical and statistical approaches. *Environmental Earth Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4779-7>.
- Thadchayini, T., Thiruchelvam, S., 2005. An economic evaluation of drip irrigation project for banana cultivation in Jaffna district. In *Water Resources Research in Sri Lanka, Proceedings of the Symposium of the Water Professionals Day, Peradeniya, Sri Lanka, Galagedara, L.G., (Eds.), Postgraduate Institute of Agriculture: Peradeniya, Sri Lanka, 111–126*.
- Wagh, V.M., Panaskar, D.B., Varade, A. M., Mukate, S.V., Gaikwad, S.K., Pawar, R.S., Muley A.A., Aamalawar, M.L., 2016. Major ion chemistry and quality assessment of the groundwater resources of Nanded tehsil, a part of southeast Deccan Volcanic Province, Maharashtra, India. *Environmental Earth Sciences* 75(21), 1418. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6212-2>.

- Wagh, V., Panaskar, D., Aamalawar, M.L., Lolage, Y.P., Mukate, S., and Narshimma, A., 2018. Hydrochemical characterization and groundwater suitability for drinking and irrigation use in the semiarid region of Nashik, Maharashtra, India. *Hydrospatial Analysis* 2(1), 43-60. <https://doi.org/10.21523/gcj3.18020104>.
- Yan, F., Cao, S., Liu, X., Yang, K., 2008. Design of groundwater level monitoring network with ordinary kriging. *International Journal of Hydrogen Energy* 20, 339–346. [http://dx.doi.org/10.1016/S1001-6058\(08\)60066-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1001-6058(08)60066-9).
- Yan, W., Li, J., Bai, X., 2016. Comprehensive assessment and visualized monitoring of urban drinking water quality. *Artificial Intelligence Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 155, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2016.03.026>.
- Zhang, C., Luo, L., Xu, W., Ledwith, V., 2008. Use of local Moran's I and GIS to identify pollution hotspots of Pb in urban soils of Galway, Ireland. *Science of The Total Environment* 398 (1), 212–221. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.03.011>.
- Zhou, Z.M., Zhang, G.H., Wang, J.Z., Yan, M.J., 2011. Risk assessment of soil salinity by multiple-variable indicator kriging in the low plain around the Bohai Sea. *Shuili Xuebao* 42(10), 1144–1151.