

Research Paper

Investigating the Quality of Groundwater Using Statistical Techniques and Geographic Information System in Haraz Plain

Sayed Ebrahim Marashi¹, Karim Solaimani^{2*}, Mahmoud Habibnejad Roshan³, Afshin Jahanshahi⁴

¹ MS.c. Graduated, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

² Prof., Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

³ Prof., Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

⁴ Ph.D. Graduated, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran



10.22125/IWE.2022.364631.1676

Received:
September 25, 2022

Accepted:
January 23, 2022

Available online:
August 23, 2023

Keywords:
Groundwater, quality,
Plain Haraz, Man-
Kendal, zoning

Abstract

Groundwater is one of the most important sources of water for agriculture, drinking and industry, and investigating its quality changes is very important in planning and sustainable management of water resources. The aim of this study is to investigate the changes in groundwater quality of 23 selected wells in Haraz plain using non-parametric Mann-Kendall method. For this purpose, the statistics of 20 years (1996-2016), 23 measurement wells in Haraz plain, located in the north of Iran, were used. The investigated water quality and salinity parameters include TDS, Mg, Ca, K, HCO₃, SO₄, Cl, Na, SAR, EC, total anion and cation variables. The results showed that the trend of changes in most of the groundwater quality variables in this plain is decreasing. Considering the negative trend of most of the quality variables in Haraz plain, it can be said that the quality of groundwater has increased in this plain. EC in 22.65% of the wells has a decreasing trend, which shows the quality improvement in the studied area. The most negative trend is related to the variable Mg and the most positive trend is related to Ca. According to the EC zoning maps in the entire investigated period, it was found that most of the plain has increased in quality, which is better in spring than in autumn.

1. Introduction

In recent years, due to the decrease in rainfall in the country, underground water is of particular importance as one of the sources that are less affected by drought than surface water. These resources are considered as one of the most important factors of economic and social development. Groundwater is one of the most important natural resources in the world, and in the current situation, a significant part of Iran's water consumption, especially in the drinking and agricultural sectors, is provided by underground water (Khodai et al., 1384). Indiscriminate and excessive extraction of underground water

* Corresponding Author: Name

Address: Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran,

Email: s.ebrahim.marashi@gmail.com

Tel: 989119181611

resources causes disturbance of the balance of underground water tables, drop of water level and emptying of aquifers (Dogan et al., 2008), changes in the quality of underground water, subsidence the land, the destruction of the region's ecosystem and the drying of gardens (Abbas-Nejad and Shahidasht, 2012), the reduction of water resources and pollution due to the intrusion of sea water (Krishna et al., 2008), land subsidence (Chatterjee et al., 2006; Finn Wej et al., 2006) and groundwater salinity (Van-Camp et al., 2014; Wallravens et al., 2015). Saltwater intrusion into coastal aquifers is a global problem that increases with the increase of freshwater extraction in coastal areas (Priyanka and Mahisha, 2015; Singh, 2015). Mahmoudizadeh and Esmaili (1400) carried out the spatial changes of groundwater quality in central and Kanarak parts of Chabahar using GIS and Wilcox model. Their results showed that Kriging interpolation method with Gaussian variogram model was determined as the most suitable method for SAR parameter interpolation and Kriging interpolation method with spherical variogram model as the most suitable method for EC parameter interpolation in the region. The purpose of this study is to investigate the quality of underground water using statistical techniques and geographic information system in Plain Haraz in Mazandaran province.

2. Materials and Methods

Haraz Plain is bounded by the Caspian Sea from the north and the Alborz mountain range from the south, and includes the cities of Amol, Mahmood Abad, Sarkhrood and parts of Babil and Noor cities. This area is located at latitude "5 '36 ' to "40 '39 ° North and longitude "5 '19 °52 to "9 '35 ° East, and Haraz River is the main river of this area. The area of Haraz watershed is 328,527.2 hectares. Haraz watershed is divided into plains and mountains. Among the important cities in this basin are Amol, Mahmood Abad and Babol. The most important rivers in the basin are Noor, Afnesar, Shirklarud, Ziyar and Nemarstaq. The minimum altitude of the region is -26.6, adjacent to the shore of Caspian Lake, and the maximum altitude is about 5671 meters (Damavand peak) in the south of the study area. In this study, the qualitative data of 23 wells were used, which had appropriate statistics in terms of the length of the statistical period. Figure 2 shows the location of exploitation wells in the studied area. In this research, to check the homogeneity and normality of the data, the Run-test and the non-parametric Kolmogorov-Smirnov test were used in SPSS software. Also, the Mann-Kendall test was used to check the trend of the data.

3. Results

The results of Mann-Kendall test for salinity (EC) and salinity factors (sodium absorption ratio, sodium, chlorine, calcium, magnesium, sulfate, bicarbonate, total dry solutes, cation and anion) in the 20-year statistical period for the studied wells. The Mann-Kendall statistic was calculated and is shown in Table 1. The linear slope of the EC trend, 65.2% of the wells in both harvesting seasons (spring and autumn) has a decreasing trend. In the wells of Marzango, Sarkhroud and Eskandeh, the spring harvests have an increasing trend, which includes 6.5% of the harvests, and in the wells of Kolode and Kala Safa, there is a linear increasing trend, which is 4.4%. It is % of the total withdrawals. In Karun well, both harvests are decreasing, Sharm Kola both are increasing, Eskandeh well is increasing spring harvest and the opposite in autumn, Klodeh well is increasing in autumn and decreasing in spring.

4. Discussion and Conclusion

In this research, the measured variables of the underground water of Haraz plain include TDS, EC, Cl⁻, K, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, SAR, anion and cation based on the Chlorograph test. Smirnov, their normality was checked and after taking the logarithm of them, they had a normal distribution and due to the higher accuracy of work in logarithmic data, the logarithm of the quality data was used in the subsequent analyzes and for interpolation based on the index RMSE and ME were the best methods for zoning in the desired years and for each parameter. Then, the results obtained from the cross-validation method were determined by considering the evaluation indicators of the best interpolation method for all qualitative variables of the underground water of Haraz Plain. EC has a decreasing trend in 65.2% of the wells in both harvesting seasons (spring and autumn), in Form, Karun and Bala Ahmadvak wells, it has a significant decreasing trend in both spring and autumn seasons. In Marzango, Serkhrood and Eskandeh wells, the spring harvests have an increasing trend (only in the spring harvest of the Serkhrood well, there is a significant increasing trend at the 95% level), which includes 6.5% of the harvests. And in the wells of Kolodeh and Kalasafa in the autumn season, there is an increasing trend, which is 4.4%

of the total harvests. In total, most of the investigated wells in Plain Haraz showed a decreasing trend in terms of EC according to the Mann-Kendall test, and it can be said that the quality of underground water has improved, which is consistent with the results of Afzali and Shahdi (2013), Rahmani (1389) and does not match with Khanamani et al. (2013), Abarshi et al. (2014). In Haraz Plain in the study area, most of it is used for agriculture and the smaller part of it is made up of other uses, so a large part of the rainfall can have a chance to infiltrate and less of it is formed into runoff, which is the lack of to compensate for excessive extraction (which increases the concentration of soluble salts in underground water) to a certain extent, which can be one of the reasons for improving the quality of underground water resources. Among the investigated variables in Plain Haraz, the most frequency is related to SO_4 , which has 6 measurements at the 95% level (1.13% of the measurements have 95% significance) and 31 measurements at the 99% significance level (4.67% of the harvests are significant at the 99% level) which is a total of 37 harvests with a significant level, which is 80.43% of the total harvest, and HCO_3 has the lowest frequency, which is 2 harvests at the 95% level. % (4.4% of the harvest has a significance of 95%) and 3 harvests at the 99% level (56.6% of the harvest is significant at the 99% level) and a total of 5 harvests show a significant trend. gives that it is 9.10%. Among the studied wells, Karun well with 19 significant harvests and Ghiyath-Kola with 3 significant harvests have the highest and lowest frequency in terms of the number of significant variables, so that in Karun well, apart from HCO_3 , Ca, K, and in Ghiyath well, except for Cl, HCO_3 , Ca and K (in autumn), the rest of the variables show a decreasing trend. In this study, the results of zoning each of the groundwater quality variables in the IDW method were evaluated using the mutual evaluation approach of RMSE and MSE indices. According to the results of cross-validation, the result of this research is consistent with the results of Estwari et al. (2014), Naseri et al. And it does not match with the results of Adib and Zamani (2014) and Momeni Demeneh et al. (2015).

5. Six important references

- 1) Chatterjee, R.S., B. Funeau, J.P. Rudant, P.S. Roy. P.L. Frison, R.C. Lakhera, V.K. Dahwal and R. Saha. 2006. Subsidence of Kolkata (Calcutta) City, India During 1990s as observed from spacing differential synthetic aperture radar interferometry (D-InSAR) technique. *Remote sensing of environment*, 102(1-2). 178-185.
- 2) Dogan, A., H. Demirpence, and M. Cobaner. 2008. Prediction of Groundwater level from lake levels and climate data using ANN approach. *Water SA*, 34(2): 199-208.
- 3) Krishna, B., Y.R. Satyaji, T. Vijaya. 2008. Modeling groundwater levels in an urban coastal aquifer using Artificial Neural Networks. *Hydrological Processes*, 22: 1180-1188.
- 4) Singh, A. 2015. Managing the environmental problem of seawater intrusion in coastal aquifers through simulation–optimization modeling. *Ecological Indicators*. 48: 498-504.
- 5) Van Camp, M., Y. Mtoni, I.C. Mjemah, Ch. Bakundukize and K. Walraevens. 2014. Investigating seawater intrusion due to groundwater pumping with schematic model simulations: The example of the Dar es Salaam coastal aquifer in Tanzania. *Journal of African Earth Sciences*. 96: 71-78.
- 6) Walraevens, K., I.C. Mjemah, Y. Mtoni and M. Van Camp. 2015. Sources of salinity and urban pollution in the Quaternary sand aquifers of Dar es Salaam, Tanzania. *Journal of African Earth Sciences*. 102: 149-165.



بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های آماری و سامانه اطلاعات جغرافیایی در جلگه هراز

سید ابراهیم مرعشی^۱، کریم سلیمانی^{۲*}، محمود حبیب نژاد روشن^۳، افشین جهانشاهی^۴

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۷/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۲

مقاله مستخرج از پایاننامه کارشناسی ارشد

چکیده

از مهمترین منابع تأمین کننده آب مورد نیاز کشاورزی، شرب و صنعت سفره های زیر زمینی می باشد که بررسی روند تغییرات کیفیت آن اهمیت زیادی در برنامه ریزی و مدیریت پایدار منابع آب دارد. هدف این پژوهش، بررسی روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی ۲۳ چاه منتخب در جلگه هراز با استفاده از روش ناپارامتری من-کندال می باشد. برای این منظور از آمار ۲۰ ساله (۱۳۷۵-۱۳۹۴)، ۲۳ چاه اندازه گیری در جلگه هراز واقع در استان مازندران استفاده شد. پارامترهای کیفیت و شوری آب مورد بررسی، شامل متغیرهای TDS, Mg, Ca, K, HCO₃, SO₄, Cl, Na, SAR, EC، مجموع آنیون و کاتیون می باشد. نتایج نشان داد که روند تغییرات بیشتر متغیرهای کیفیت آب در جلگه هراز با روند کاهشی است. با توجه به منفی بودن روند بیشتر متغیرهای کیفی می توان بیان کرد کیفیت آب زیرزمینی در این جلگه افزایش یافته است. EC در ۶۵/۲۲ درصد از چاه ها دارای روند کاهشی بوده که بهبود کیفیت در محدوده مورد مطالعه را نشان می دهد. بیشترین روند منفی مربوط به متغیر Mg و بیشترین روند مثبت مربوط به Ca می باشد. با توجه به نقشه های پهنه بندی EC در کل دوره مورد بررسی مشخص گردید که قسمت اعظم جلگه با افزایش کیفیت آب همراه بوده که فصل بهار وضعیت بهتری را نسبت به پاییز نشان می دهد.

واژه های کلیدی: آب زیرزمینی، کیفیت، جلگه هراز، من-کندال، پهنه بندی

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، پست الکترونیکی: s.ebrahim.marashi@gmail.com

^۲ استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، پست الکترونیکی: k.solaimani@sanru.ac.ir (**نویسنده مسئول)

^۳ استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، پست الکترونیکی: m.habibnezhad@sanru.ac.ir

^۴ دانش آموخته دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، پست الکترونیکی: afshin.jahanshahi@yahoo.com



مقدمه

در چند سال اخیر با توجه به کاهش نزولات جوی در کشور، آب‌های زیرزمینی به عنوان یکی از منابعی که کمتر از آب‌های سطحی دستخوش تغییرات خشکسالی می‌شوند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. این منابع از مهم‌ترین عوامل توسعه اقتصادی و اجتماعی نیز به شمار می‌روند. بنابراین مدیریت این منابع، برنامه‌ریزی صحیح جهت حفظ و نگهداری از آن‌ها به عنوان بستر منابع طبیعی مطرح می‌باشد. آب‌های زیرزمینی از مهم‌ترین منابع طبیعی در جهان می‌باشند و در شرایط کنونی بخش قابل ملاحظه‌ای از مصارف آب ایران به خصوص در بخش شرب و کشاورزی توسط آب‌های زیرزمینی تأمین می‌گردد (خدائی و همکاران، ۱۳۸۴). برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی موجب برهم‌زدن تعادل سفره‌های آب زیرزمینی، افت سطح آب و تهی شدن سفره‌ها (دوگان و همکاران، ۲۰۰۸)، تغییر کیفیت آب زیرزمینی، از بین رفتن اکوسیستم منطقه و خشک شدن باغات (عباس‌نژاد و شاهی‌دشت، ۱۳۹۲)، کاهش منابع آب و آلودگی بدلیل نفوذ آب دریا (Krishna et al. 2008)، فرونشست زمین (Chatterjee et al. 2006) و شوری آب‌های زیرزمینی (Van Kamp et al. 2014؛ Walraevens et al. 2015) می‌شود. نفوذ آب شور به آبخوان‌های ساحلی یک مسئله جهانی است که با افزایش برداشت آب شیرین در مناطق ساحلی، شدت آن بیشتر می‌شود (Priyanka and Mahesha, 2015)؛ (Singh, 2015). آب‌های شور دریا و دریاچه‌ها تأثیر به‌سزایی در سفره‌های آب زیرزمینی ساحلی خود دارند. در آبخیزها و دشت‌های مناطق بیابانی به دلیل شرایط خاص طبیعی و هیدرولیکی، آب‌های شیرین به سمت آب‌های شور جریان یافته و بر روی آن‌ها قرار می‌گیرد مگر آنکه با بهره‌برداری بیش از اندازه از سفره‌های آب شیرین، تعادل هیدروستاتیکی تغییر کرده و آب‌های شور به سمت آب‌های شیرین جریان پیدا کند (گهرنژاد، ۱۳۸۱). بنابراین نفوذ آب دریا به آبخوان‌های ساحلی موجب مخلوط شدن آب‌های شیرین زیرزمینی با آب شور دریا شده و پهنه آبی با چگالی متفاوت ایجاد کرده که در نتیجه تغییرات پیوسته غلظت نمک در آب، موجب تشکیل ناحیه انتقالی نازک نمک به عنوان یکی از دلایل مهم کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی

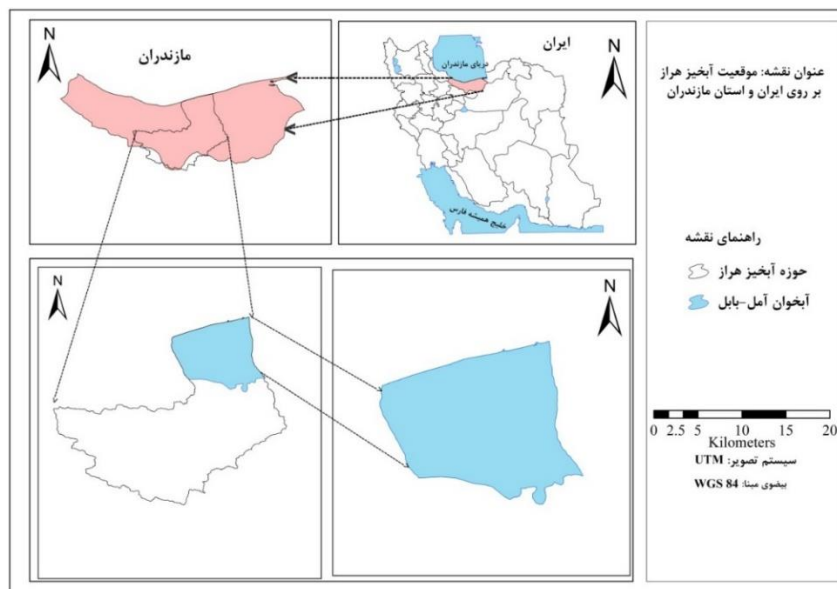
در آبخوان‌های ساحلی می‌گردد (Koussiss et al. 2015) که ممکن است آب‌های زیرزمینی منطقه را غیرقابل استفاده کند (عبدالحمید و جوادی، ۲۰۱۱). از دیگر عوامل تهدید-کننده آب‌های زیرزمینی مجاور سفره‌های آب شور، بالازدگی آب شور در اثر پمپاژ و ورود آن به داخل چاه می‌باشد، که اهمیت و مدیریت برداشت از منابع آب زیرزمینی را ایجاب می‌کند. استفاده از آب زیرزمینی شور موجب از بین رفتن خصوصیات فیزیکی خاک می‌گردد که متعاقباً کاهش محصولات را در پی خواهد داشت؛ کیفیت آب مورد استفاده از عوامل مهم مؤثر بر کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی می‌باشد (Lichtfouse, 2010). طبق مطالعات FAO، شوری ۷ درصد از زمین‌های جهان را تحت تأثیر قرار داده است. علاوه بر این آبیاری بیش از حد و زهکشی نامناسب خاک‌ها سبب افزایش شوری خاک می‌شود. از مهم‌ترین تنش‌های محیطی در ایران، تنش شوری است. شوری آب یکی از عواملی است که زراعت اکثر گیاهان را با مشکل مواجه می‌کند و می‌تواند بر جنبه‌های مختلف کیفی و کمی رشد و نمو گیاه تأثیر گذار بوده و در گیاهان دارویی باعث تغییر میزان مواد مؤثر و خاصیت دارویی آن‌ها شود (حسن‌پور درویشی، ۱۳۸۹). آبیاری با آب شور می‌تواند موجب دو مشکل عمده در تولید گیاهان زراعی شود: (۱) خطر شوری: نمک‌ها با گیاهان جهت آب رقابت می‌کنند، حتی اگر خاک شور از آب اشباع باشد، ریشه‌ها قادر به جذب آب نیستند و گیاه علائم تنش خشکی را نشان می‌دهد. آب شور معمولاً موجب سوختگی در حاشیه برگ‌ها شده و در موارد شدید، می‌تواند منجر به برگ‌ریزی و کاهش قابل ملاحظه عملکرد گیاه گردد. (۲) خطر سدیم: در اثر سدیم زیاد که می‌تواند برای گیاهان سمی باشد، موجب صدمه دیدن خاک‌های بافت متوسط و ریز می‌گردد. وقتی سطح سدیم در خاک بالا باشد، خاک ساختمان خود را از دست می‌دهد، متراکم می‌شود و سله‌های سخت روی سطح خاک تشکیل می‌شود (حسن‌پور درویشی، ۱۳۸۹). لذا اخیراً مطالعات زیادی در زمینه استفاده از زمین آمار و GIS برای بررسی تغییرات کیفی و کمی منابع آب سطحی و زیرزمینی در نقاط مختلف انجام شده است. پمپاژ بیش از حد سفره آب زیرزمینی، پیامدهای زیست محیطی فراوانی همچون تغییر کیفیت آب زیرزمینی، کاهش حجم افزایش مصرف

هدایت الکتریکی (EC)، بی‌کربنات (HCO_3^-)، کلرید (Cl)، سولفات (SO_4^{2-})، فلوراید (F^-)، کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، سدیم (Na^+) و پتاسیم (K^+) را با استفاده از روش استاندارد انجمن بهداشت عمومی آمریکا تجزیه و تحلیل نمودند. نتایج نشان داد که غلظت Na^+ و Cl^- در نمونه‌های آب زیرزمینی به ترتیب برابر ۴۳٪ و ۳۷٪ بوده که بیش از حد مجاز استاندارد WHO در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. براساس نتایج آب زیرزمینی به شدت تحت تأثیر فلوراید (F^-) بوده و حدود ۶۰ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی برای مصارف شرب در منطقه مورد مطالعه نامناسب نشان داده شده است. هدف این مطالعه بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های آماری و سامانه اطلاعات جغرافیایی در جلگه هراز در استان مازندران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

جلگه هراز از شمال به دریای خزر و از جنوب به جنگلهای هیرکانی محدود می‌گردد و شامل شهرهای آمل، محمود آباد، سرخورد و بخش‌هایی از شهر بابل و نور است. این منطقه در عرض جغرافیایی $36^{\circ}24'5''$ تا $39^{\circ}40'40''$ شمالی و طول جغرافیایی $52^{\circ}19'5''$ تا $52^{\circ}35'9''$ شرقی قرار دارد و رودخانه هراز، جریان اصلی این منطقه می‌باشد. وسعت حوضه هراز بالغ بر $328527/2$ هکتار است. حوزه آبخیز هراز به سه بخش جلگه‌ای، جنگلی و کوهستانی تقسیم می‌شود. حداقل ارتفاع منطقه $26/6-$ ، در مجاور ساحل دریاچه خزر و حداکثر ارتفاع حدود 5671 متر (قله دماوند) در جنوب محدوده مطالعاتی قرار دارد. در محدوده مطالعاتی دو ایستگاه تبخیرسنجی کرسنگ و گت کلا وجود دارد. موقعیت منطقه مورد مطالعه و مشخصات ایستگاه‌ها برترتیب در شکل و جدول (۱) نشان داده شده است.

انرژی استحصال آب زیرزمینی، افزایش آسیب‌پذیری دشت نسبت به خشکسالی، نشست زمین و ایجاد درز و شکاف در سطح زمین و ابنیه و ... را به دنبال خواهد داشت. بنابراین چنانچه اقدام جدی و مؤثری در این زمینه صورت نگیرد، علاوه بر تشدید پیامدهای زیست محیطی با چالش‌های اقتصادی و اجتماعی نیز رو به رو خواهیم شد. محمودی‌زاده و اسماعیلی (۱۴۰۰) تغییرات مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی در بخش‌های مرکزی و کنارک، چابهار را با استفاده از GIS و مدل ویلکوکس انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش درون‌یابی کریجینگ با مدل واریوگرامی گوسین به‌عنوان مناسب‌ترین روش جهت درون‌یابی پارامتر SAR و روش درون‌یابی کریجینگ با مدل واریوگرامی کروی به‌عنوان مناسب‌ترین روش جهت درون‌یابی پارامتر EC در منطقه تعیین شدند. علیمرادی و همکاران (۱۴۰۱) به پیش‌بینی و پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش‌های یادگیری ماشین در دشت زاهدان پرداخته و از داده‌های ورودی بر اساس نمونه‌برداری‌های کیفیت آب در سال آبی ۱۳۹۷ از ۵۹ حلقه چاه مشاهداتی استفاده کردند. نتایج نشان داد که پارامترهای EC، SAR و TDS دارای تغییرپذیری زیاد ($CV\% < 41$) و اسیدیته دارای تغییرپذیری کم ($CV\% = 4/16$) می‌باشد. Boufekane and Saighi (2019) به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آماری در دشت وادی نیل در شمال شرقی الجزیره پرداختند. نتایج نشان داد که مدل کوکریجینگ نمایی از دقت بیشتری نسبت به دو روش کریجینگ و وزن‌دهی فاصله معکوس برای هر دو شاخص EC و SAR است. Adimalal et al. (2022) به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی و مناسب بودن آن برای مصارف شرب در منطقه نیمه خشک جنوب هند در محیط GIS پرداخته و پارامترهای pH، سختی کل (TH)، کل جامدات محلول (TDS)،



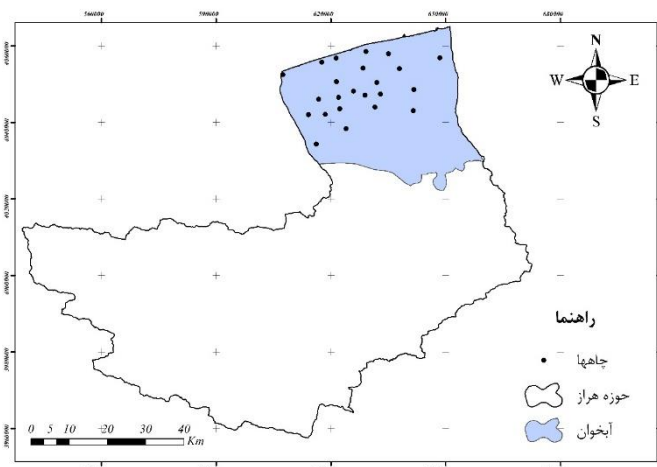
شکل (۱): موقعیت حوضه هرآز در استان مازندران و کشور

جدول (۲): مشخصات ایستگاه‌های باران سنجی در حوضه هرآز و اطراف

نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	تاریخ تاسیس
بلده	۱۸۷۵	۵۱° ۴۷' ۵۲"	۳۶° ۱۱' ۳۲"	۱۳۶۴
بابل کشتارگاه	۰	۵۲° ۶۶' ۰۰"	۳۶° ۵۳' ۰۰"	۱۳۳۷
پنجاب	۹۲۰	۵۲° ۱۶' ۱۴"	۳۶° ۰۵' ۵۰"	۱۳۴۴
دیوا	۱۶۰	۵۲° ۳۳' ۵۴"	۳۶° ۱۹' ۰۲"	۱۳۴۹
رزن	۱۲۴۰	۵۲° ۱۰' ۴۹"	۳۶° ۱۱' ۴۷"	۱۳۴۸
سرخرود	-۲۰	۵۲° ۲۶' ۵۳"	۳۶° ۴۰' ۱۵"	۱۳۴۴
قرآن تالار	۱۰۲	۵۲° ۴۶' ۳۰"	۳۶° ۱۸' ۳۸"	۱۳۴۱
کره سنگ	۲۲۰	۵۲° ۲۱' ۵۹"	۳۶° ۱۷' ۶۰"	۱۳۳۷
گلوگاه بندپی	۲۰۰	۵۲° ۳۷' ۲۷"	۳۶° ۱۸' ۰۷"	۱۳۵۳
محمودآباد	-۲۵	۵۲° ۱۵' ۳۱"	۳۶° ۳۷' ۵۷"	۱۳۴۴
میان‌دشت	-۱۸	۵۲° ۳۹' ۶۵"	۳۶° ۴۱' ۰۳"	۱۳۴۴
نمارستاق	۲۱۲۰	۵۲° ۰۵' ۰۰"	۳۶° ۰۶' ۰۰"	۱۳۴۸
آمل	۲۳	۵۲° ۲۱' ۸۰"	۳۶° ۲۷' ۷۷"	۱۳۶۳

که دارای آمار مناسبی از نظر طول دوره آماری بودند. شکل (۲) موقعیت چاه‌های بهره‌برداری در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در منطقه مورد مطالعه ۳۱۶۶ حلقه چاه وجود دارد. که میزان تخلیه از این چاه‌ها ۸۸۱۷۷۵/۵ میلیون متر مکعب در سال اندازه‌گیری شده است (افضلی، ۱۳۹۳). در این مطالعه از داده‌های کیفی ۲۳ حلقه چاه استفاده شده است



شکل (۲): نقشه پراکنندگی چاه‌های بهره‌برداری در آبخوان جلگه هراز

که n تعداد مشاهدات سری، X_j و X_k به ترتیب داده-های زام و k ام سری می‌باشند. تابع علامت هم بصورت زیر قابل محاسبه است:

$$\begin{cases} \text{Sign}(X_j - X_k) = -1, & \text{for}(X_j - X_k) < 0 \\ \text{Sign}(X_j - X_k) = 0, & \text{for}(X_j - X_k) = 0 \\ \text{Sign}(X_j - X_k) = 1, & \text{for}(X_j - X_k) > 0 \end{cases} \quad (2)$$

مقادیر میانگین $E(S)$ و واریانس $Var(S)$ آماره S به

شکل زیر تعریف می‌شود:

$$E(S) = 0 \quad (3)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i-5)}{18} \quad \text{if: } n > 10 \quad (4)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{if: } n \leq 10 \quad (5)$$

که n تعداد داده‌های مشاهده‌ای و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است.

استخراج آماره Z به کمک یکی از روابط زیر است:

$$\text{sig} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

در یک آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد.

$$|z| = z_a/2 \quad (7)$$

که a سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و z_a آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌دار a می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از

روش تحقیق

در این تحقیق برای بررسی همگنی و نرمال بودن داده‌ها به ترتیب از آزمون ران-تست و آزمون ناپارامتریک کولموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. همچنین برای بررسی روند داده‌ها از آزمون من-کندال استفاده گردید.

آزمون من کندال ابتدا توسط Mann (1945) ارائه شد و سپس توسط Kendall (1975) بسط و توسعه یافت Serrano et al. (1999). این روش به طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به کار گرفته می‌شود (Lettenmaier et al., 1994). از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی اشاره نمود که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در سری‌های زمانی مشاهده می‌شود نیز از مزایای دیگر این روش است (Turgay and Ercan, 2005). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. مراحل محاسبه آماره این آزمون در زیر توضیح داده شده است.

الف) محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر

و اعمال تابع و استخراج پارامتر S به شرح زیر است:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{Sig}(X_j - X_k) \quad (1)$$



$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (۸)$$

که در آن $\gamma(h)$ مقدار نیم تغییرنا برای جفت نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند، n تعداد نقاط اندازه‌گیری و $Z(x_i+h)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیری که به فاصله h از x قرار دارد و $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان x_i است.

نتایج

نتایج آزمون من-کندال برای شوری (EC) و عوامل آن (نسبت جذب سدیمی، سدیم، کلر، کلسیم، منیزیم، سولفات، بی‌کربنات، مجموع املاح خشک، کاتیون و آنیون) که در دوره آماری ۲۰ ساله برای چاه‌های مورد مطالعه آماره من-کندال محاسبه گردید در جدول (۱) آمده است.

$a/2$ استفاده شده است. در صورتی که آماره z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در بر گرفته می‌شود.

از جمله روش‌هایی که می‌توان برای تخمین متغیرهای مکانی از قبیل پارامترهای کیفیت و تراز آب در هر منطقه بکار برد، روش‌های زمین‌آماري است. جهت توصیف و نمایش تغییرات مکانی متغیرهای مورد نظر، می‌توان مقادیر آن‌ها را در نقاطی که نمونه‌برداری نشده‌اند با در نظر گرفتن اطلاعات موجود از محل‌های نمونه‌برداری شده برآورد نمود (Vaughan et al. 1995). تخمین‌گرهای زمین‌آماري مقادیر مجهول را با استفاده از مقادیر معلوم و واریوگرام برآورد می‌کنند. به این منظور مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که به فاصله معلوم h از یکدیگر قرار دارند محاسبه و در مقابل h رسم گردید. معادله ۸ فرم محاسباتی از یک واریوگرام را نشان می‌دهد (شیخ‌گودرزی و همکاران، ۱۳۹۱؛ معروفی و همکاران، ۱۳۸۸).

جدول (۱): نتایج حاصل از آزمون من-کندال در سطح ۹۵٪ و ۹۹٪.

ردیف	نام چاه	فصل	So ₄	Cl	Hco ₃	K	Na	Mg
۱	اسپی کلا	بهار	**۳/۷۶۷-	۰/۵۸۰-	۰/۰۴۱	۰/۲۹۷-	*۲/۲۳۳-	۱/۷۳۳-
		پاییز	**۳/۰۹۲-	۰/۶۲۲-	۱/۳۶۳-	۰/۱۲۵	۱/۸۱۲-	۱/۱۱۳-
۲	اسکنده	بهار	۱/۰۸۲-	۱/۳۷۵	۱/۲۰۰	**۲/۲۸۲	۰/۷۴۴-	۰/۷۴۴-
		پاییز	**۲/۶۸۴-	۱/۰۴۴	۰/۹۵۰	۱/۵۹۳	**۳/۰۶-	**۲/۶۰۳-
۳	اشکار کلا	بهار	*۲/۱۴۹-	۰/۶۲۶-	۰/۵۳۶-	۰/۷۱۰۶	۰/۷۸۶-	۱/۳۲۳-
		پاییز	**۲/۴۴۲-	۰/۰۴۲-	۱/۱۱۳	**۳/۵۲۶۶	*۲/۴۴۱-	*۲/۵۲۳-
۴	افراسرا	بهار	**۲/۷۷۲-	۰/۹۱۴	۰/۶۱۸	*۲/۴۶۳	۱/۱۵۸-	**۳/۲۳۱-
		پاییز	**۳/۶۱۶-	۰/۷۱۳	۰/۶۶۳	*۲/۳۸۵	*۲/۰۶۳-	**۲/۹۷۱-
۵	آغوزبن	بهار	۱/۰۶۳-	**۳/۹۴۰-	۰/۹۹۳-	۰/۳۶۸-	**۳/۷۴۸-	۱/۵۸۴-
		پاییز	۰/۴۵۹-	**۳/۳۹۶-	*۲/۰۴۸	۱/۸۲۲	**۳/۴۰۶-	**۲/۷۴۹-
۶	دریا کنار	بهار	**۳/۱۴۱-	**۲/۶۰۸-	۱/۴۰۱	**۲/۷۳۵	**۳/۰۴۸-	**۲/۶۳۷-
		پاییز	**۲/۹۸۳-	۰/۰۸۳	۰/۲۰۶	**۲/۸۹۳	۱/۵۷۱-	۱/۶۱۱-
۷	بالا میرده	بهار	**۳/۱۸۲-	۱/۱۲۶-	۰/۲۹۱-	۰/۳۴۰	۱/۶۹۷-	**۲/۹۰۵-
		پاییز	**۴/۲۱۸-	*۲/۰۹۲-	۱/۰۳۲	۱/۷۰۴	**۲/۸۷۱-	۱/۳۶۵-
۸	بنه کنار	بهار	**۲/۶۴۵-	۰/۷۹۱	۰/۰۴۱-	۰/۰۸۴-	**۲/۸۸۸-	**۲/۹۳۹-
		پاییز	**۲/۳۳۹-	۱/۵۴۳-	۱/۶۹۳-	۱/۰۵۳	**۳/۱۵۹-	**۲/۸۱۹-
۹	بیشه کلا	بهار	*۲/۳۰۳-	۰/۲۷۳	۰/۵۸۶-	۰/۸۷۵-	۱/۳۹۷-	*۲/۴۳۶-
		پاییز	*۲/۰۹۴-	۱/۲۱۹-	۰/۲۲۵-	۰/۸۶۹	*۲/۲۶۲-	۱/۸۵۲-
۱۰	تلیکران	بهار	*۱/۹۸۱-	۰/۲۰۶-	۰/۹۵۰	۰/۶۳۲-	۱/۱۱۵-	*۱/۹۶۶-
		پاییز	**۳/۰۹۷-	۰/۷۸۳-	۰/۷۴۷	۱/۶۸۳	۱/۴۸۳-	۱/۸۹۸-
۱۱	حسین آباد	بهار	۰/۱۲۶	۱/۹۵۸	۱/۶۱۱	۱/۸۳۱	۱/۶۶۷	**۳/۰۵۳-
		پاییز	**۲/۹۱۲-	*۲/۴۷۸	۱/۶۱۷	*۲/۸۷۰	۱/۶۶۷-	۱/۶۹۷-
۱۲	خشت سر	بهار	*۲/۳۹۳-	۱/۶۸۴	۱/۸۵۲	۰/۹۷۶-	۰/۲۷۱	**۲/۶۶۶-
		پاییز	۱/۶۷۱-	۱/۵۹۵	۱/۸۰۵	*۲/۲۲۳-	۱/۰۹۵-	۰/۵۴۵-



ادامه جدول (۱): نتایج حاصل از آزمون من-کندال در سطح ۹۵٪ و ۹۹٪

ردیف	نام چاه	فصل	Ca	TDS	SAR	EC	Anion	Cation
۱۳	رود بار	بهار	۰/۹۹۵	۰/۸۶۶-	*۲/۳۸۹-	۰/۵۳۶-	۱/۱۱۳-	۰/۴۹۴-
		پاییز	۱/۲۸۰	۱/۳۲۰-	**۳/۰۱۰-	۰/۸۲۴-	۱/۲۸۳-	۱/۲۳۶-
۱۴	سرخ رود	بهار	**۳/۴۵۲	۱/۸۹۵	۰/۸۷۱-	*۲/۰۸۶	۱/۸۹۵	*۱/۹۷۴
		پاییز	۱/۲۹۱	۰/۳۷۹-	۰/۴۹۲-	۰/۵۳۱-	۱/۰۶۳-	۱/۰۲۳-
۱۵	شرم کلا	بهار	*۲/۴۷۶	*۲/۱۴۲	۱/۶۴۸-	*۲/۳۱۱	*۲/۰۳۵	۱/۶۰۸
		پاییز	۱/۸۹۵	۱/۶۴۸	۱/۳۱۸-	*۱/۹۷۷	۱/۶۹۰	۱/۷۳۰
۱۶	غیاث کلا	بهار	۰/۹۵۰	۰/۶۵۹-	۱/۰۷۱-	۱/۰۳۱-	۰/۹۰۸-	۱/۰۷۱-
		پاییز	۰/۳۷۱	۱/۴۰۱-	۱/۰۷۱-	۱/۷۷۳-	۱/۴۸۵-	۱/۳۲۰-
۱۷	فرم	بهار	۰/۰۴۱-	*۲/۱۰۳-	*۲/۴۷۲-	**۲/۷۱۹-	*۲/۳۸۹-	*۲/۳۰۷-
		پاییز	۱/۵۷۵-	**۳/۵۰۴-	*۱/۹۷۷-	**۳/۱۷۵-	**۳/۱۳۶-	**۲/۸۰۱-
۱۸	کارون	بهار	*۲/۵۱۹	*۲/۱۰۳-	*۳/۷۹۰-	*۲/۲۲۴-	*۲/۰۶۰-	**۲/۱۸۵-
		پاییز	۱/۴۸۹	**۳/۵۴۳-	**۳/۸۷۲-	**۳/۵۴۳-	**۳/۵۴۹-	**۳/۶۶۹-
۱۹	کلا صفا	بهار	**۲/۶۸۰	۰/۴۹۴-	۱/۳۱۸-	۰/۲۸۹-	۰/۴۹۴-	۰/۵۷۷-
		پاییز	*۲/۱۰۳	۱/۱۹۶	۰/۳۳۰-	۱/۱۱۳	۱/۲۰۰	۱/۰۷۱
۲۰	کلوده	بهار	۱/۸۵۵	۰/۸۲۵-	۰/۷۴۱-	۰/۹۴۸-	۰/۸۶۶-	۰/۹۴۸-
		پاییز	**۳/۳۴۵	۱/۶۹۰	۱/۶۴۸-	۱/۴۸۳	۱/۶۱۴	۱/۷۳۳
۲۱	مرزنگو	بهار	۱/۹۴۷	۰/۸۱۲	۱/۸۹۱-	۱/۲۶۱	۱/۰۳۷	۱/۱۲۷
		پاییز	۰/۷۸۸	۰/۴۱۳-	**۲/۲۲۴-	۰/۱۲۴-	۰/۳۳۲-	۰/۰۸۳
۲۲	نو کلا	بهار	۰/۱۶۵	۱/۱۵۳-	۱/۷۳۰-	۱/۳۱۸-	۱/۶۰۸-	**۲/۰۶۰-
		پاییز	۰/۴۱۶	*۱/۹۷۷-	*۲/۳۰۷-	۱/۸۹۵-	*۲/۱۴۶-	*۲/۰۲۰-
۲۳	یمچی	بهار	۱/۰۶۳	**۲/۸۸۵-	۱/۶۲۹-	**۲/۸۱۰-	*۲/۴۲۶-	*۲/۴۶۶-
		پاییز	۰/۵۳۲	۱/۸۵۶-	*۲/۱۵۹-	۱/۸۵۶-	۱/۷۸۰-	۱/۷۰۴-

ادامه جدول (۱): نتایج حاصل از آزمون من-کندال در سطح ۹۵٪ و ۹۹٪

ردیف	نام چاه	فصل	Ca	TDS	SAR	EC	Anion	Cation
۱	اسمی کلا	بهار	۱/۲۸۰	۱/۹۳۸-	*۲/۴۸۰-	*۲/۲۲۴-	۱/۶۹۰-	۱/۶۵۱-
		پاییز	۱/۲۸۱-	۱/۸۹۵-	۱/۸۱۲-	۱/۶۹۴-	۱/۸۵۵-	۱/۶۴۸-
۲	اسکنده	بهار	**۲/۵۹۷	۰/۶۵۹	۰/۹۰۶-	۰/۹۰۶	۰/۹۴۸	۰/۷۸۳
		پاییز	*۱/۹۸۱	۰/۵۷۷-	**۳/۰۴۸-	۱/۰۳۱-	۰/۷۸۶-	۰/۸۲۴-
۳	اشکار کلا	بهار	*۲/۰۶۳	۰/۰۴۱-	۰/۷۴۱-	۰/۵۳۷-	۰/۲۰۶-	۰/۰۰۰
		پاییز	*۲/۳۱۱	۰/۸۶۶	*۲/۴۳۲-	۱/۳۲۰-	۱/۱۱۳-	۰/۹۰۶-
۴	افراسرا	بهار	۱/۳۶۱	۰/۶۶۰-	۱/۶۴۸-	۰/۱۲۴-	۰/۹۹۶-	۰/۲۴۷-
		پاییز	*۲/۰۲۰	۱/۱۵۳-	*۲/۰۶۰-	۰/۹۴۸-	۱/۲۷۸-	۱/۱۱۳-
۵	آغوزین	بهار	۰/۴۵۱-	۱/۷۵۸-	**۳/۷۸۲-	۱/۳۵۱-	۱/۸۹۵-	۱/۶۶۸-
		پاییز	۱/۳۱۳	۱/۲۱۷-	**۳/۲۴۲-	۰/۷۲۰-	۱/۲۷۲-	۱/۰۸۳-
۶	دریا کنار	بهار	۱/۹۳۸	**۴/۰۰۸-	۱/۶۰۸-	**۴/۰۶۷-	**۴/۰۸۲-	**۳/۶۶۹-
		پاییز	۰/۹۰۸	۱/۰۳۱-	۱/۳۶۱-	*۲/۰۲۰-	۱/۶۹۰-	۱/۵۲۵-
۷	بالا میرده	بهار	۱/۲۷۸	*۲/۲۶۸-	*۱/۹۷۷-	۱/۵۶۸-	۱/۹۰۱-	*۲/۱۰۳-
		پاییز	۰/۶۶۲	۱/۵۲۵-	**۳/۲۱۳-	۱/۶۵۱-	۱/۹۰۶-	۱/۶۹۳-
۸	بنه کنار	بهار	*۲/۱۰۳	۱/۳۲۰-	**۲/۸۸۳-	۱/۵۲۸-	۱/۴۸۵-	۱/۵۶۵-
		پاییز	۱/۴۵۴	*۲/۴۷۶-	**۳/۵۴۳-	*۲/۴۳۲-	**۲/۷۲۳-	*۲/۴۷۲-
۹	بیشه کلا	بهار	۰/۷۲۲	۱/۸۰۱-	۱/۳۵۱-	۱/۷۵۸-	۱/۴۸۷-	۱/۶۲۱-
		پاییز	۰/۰۹۰	۱/۲۶۱-	*۲/۲۵۱-	۱/۶۲۱-	۱/۴۸۷-	۱/۴۴۱-
۱۰	تلیکران	بهار	۱/۵۳۲	۰/۲۴۷	۱/۵۶۵-	۰/۶۵۹-	۰/۰۸۳-	۰/۰۸۲-
		پاییز	**۳/۳۶۴	۰/۵۳۶-	۱/۵۶۵-	۰/۴۵۴-	۰/۵۷۷-	۰/۴۹۴-
۱۱	حسین آباد	بهار	**۲/۸۱۲	*۲/۲۲۴	۰/۹۸۹	۱/۹۳۸	۱/۹۴۱	*۲/۱۰۳
		پاییز	۱/۹۴۴	۰/۶۶۰	*۱/۹۷۷-	۰/۵۷۷	۱/۲۸۰	۰/۶۱۸
۱۲	خشت سر	بهار	*۲/۲۶۲	۰/۰۰	۰/۷۲۰-	۰/۴۰۷	۰/۱۳۶-	۰/۴۰۶
		پاییز	*۲/۴۴۸	۰/۰۰	۱/۵۳۱-	۰/۰۹۰	۰/۴۰۸	۰/۲۷۰

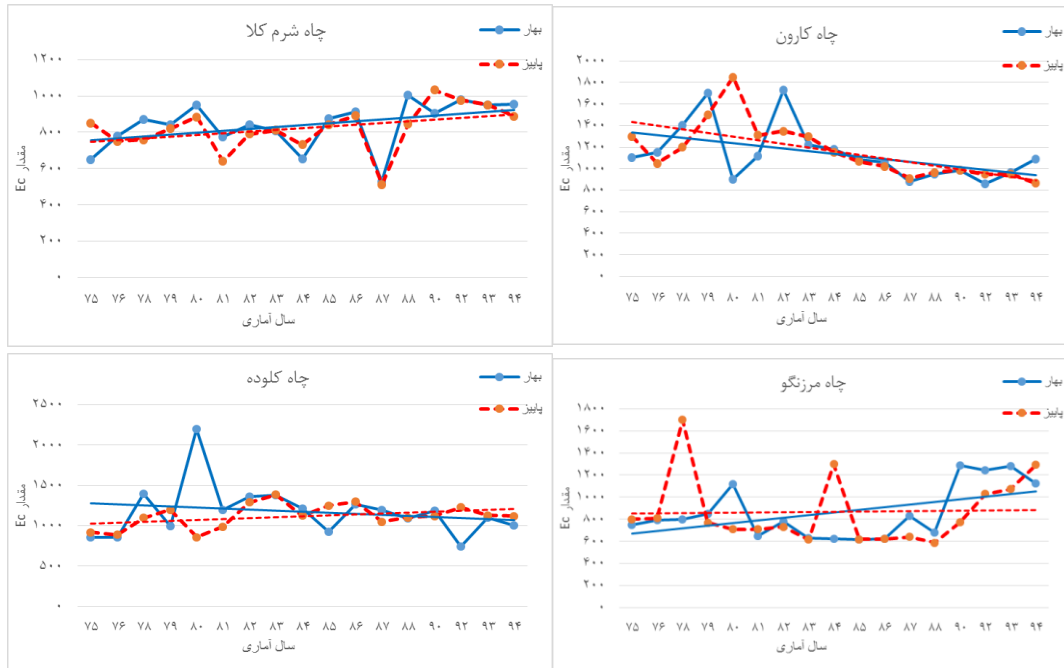
*وجود روند در سطح ۹۵٪ و **وجود روند در سطح ۹۹٪

ادامه جدول (۱): نتایج حاصل از آزمون من-کندال در سطح ۹۵٪ و ۹۹٪

Mg	Na	K	Hco ₃	Cl	So ₄	فصل	نام چاه	ردیف
*۲/۱۸۹-	۱/۶۱۱-	۰/۱۷۰	۰/۲۰۶	۰/۸۴۳	**۳/۰۹۷-	بهار	رودبار	۱۳
۲/۲۷۷-	**۳/۵۱۰-	۰/۴۲۴	۱/۳۲۰	۱/۰۴۸-	**۳/۹۶۸-	پاییز		
۱/۱۰۴-	۰/۳۰۴-	۱/۹۲۹	**۲/۸۸۱	۱/۱۸۵	**۲/۳۸۶-	بهار	سرخ رود	۱۴
**۲/۸۰۹-	۰/۵۳۴-	**۳/۱۳۵	۰/۱۹۱	۱/۶۸۲	**۳/۱۲۵-	پاییز		
۱/۸۱۶-	*۲/۳۹۷-	۱/۶۴۲	۱/۸۱۶	۱/۸۷۰	۲/۵۵۸-	بهار	شرم کلا	۱۵
۰/۷۴۷-	۱/۲۸۲-	*۲/۱۱۹	**۳/۰۹۷	*۲/۰۴۷	**۳/۲۲۶-	پاییز		
**۲/۳۱۱-	۱/۱۵۷-	۰/۹۲۰-	۰/۲۰۱	۱/۴۰۵	**۲/۷۲۳-	بهار	غیاث کلا	۱۶
۱/۸۲۳-	۱/۲۴۱-	۱/۶۳۳	۰/۱۲۴	۱/۲۰۲	**۲/۹۳۲-	پاییز		
*۲/۰۶۸-	*۲/۳۹۹-	۰/۰۸۴-	۱/۴۴۹-	۰/۳۷۳-	**۳/۲۱۸-	بهار	فرم	۱۷
*۲/۴۳۲-	*۲/۲۶۸-	۰/۴۶۶	۱/۸۹۸-	۱/۲۳۸-	**۳/۲۱۸-	پاییز		
**۳/۰۶۴-	**۳/۶۳۱-	۰/۰۴۲	۰/۰۴۱	*۲/۰۳۲-	**۲/۷۸۳-	بهار	کارون	۱۸
*۲/۰۲۷-	**۳/۹۹۹-	۰/۵۵۷	۰/۱۲۴	**۳/۲۷۰-	**۳/۸۸۵-	پاییز		
**۳/۱۷۵-	۱/۱۶۰-	۰/۰۴۲	۱/۵۷۲	۰/۸۰۴	**۲/۸۰۶-	بهار	کلا صفا	۱۹
۱/۳۶۶-	۰/۱۶۵	**۳/۳۱۶	*۲/۳۵۴	۱/۲۸۰	۱/۶۰۸-	پاییز		
۱/۸۵۸-	۰/۹۹۲-	۰/۱۷۰	۰/۳۷۳	۰/۴۵۸	۱/۶۵۷-	بهار	کلوده	۲۰
۰/۷۴۴-	۰/۷۸۳-	**۳/۸۹۹	**۲/۸۹۵	**۲/۵۴۲	**۲/۷۳۴-	پاییز		
۰/۸۱۹-	۰/۷۶۸-	۰/۲۲۷	۱/۶۶۸	۱/۶۸۶	۱/۴۹۷-	بهار	مرزنگو	۲۱
*۱/۹۷۲-	*۲/۰۲۴-	۱/۸۱۷	۰/۶۲۱-	۱/۹۲۴	*۲/۳۵۹-	پاییز		
*۲/۱۹۴-	۰/۷۰۲-	۰/۶۷۵-	۰/۲۴۸-	*۲/۵۲۲-	**۳/۰۲۲-	بهار	نو کلا	۲۲
**۲/۶۵۷-	۱/۳۳۳-	۰/۲۹۵-	۰/۵۷۸-	۱/۳۳۹-	**۳/۰۱۵-	پاییز		
**۲/۶۲۱-	۱/۷۴۴-	۱/۶۹۶	۰/۰۳۸	۰/۳۰۵	**۳/۸۳۹-	بهار	بیمچی	۲۳
۱/۸۲۲-	۱/۸۲۲-	۰/۸۶۶	۱/۷۰۹	۰/۶۸۷	**۳/۶۷۹-	پاییز		

کلوده و کلا صفا در فصل پاییز روند خطی افزایشی است که ۱/۴٪ از کل برداشت‌ها می‌باشد. در چاه کارون هر دو برداشت کاهش می‌یابد، چاه شرم کلا هر دو افزایشی، چاه اسکنده برداشت بهاره افزایشی و در پاییز عکس آن، چاه کلوده در پاییز افزایشی و بهار کاهش می‌یابد.

با توجه به شکل (۲) می‌توان دریافت که شیب خطی روند EC، ۶۵/۲ درصد از چاه‌ها در هر دو فصل (بهار و پاییز) برداشت دارای روند کاهش می‌باشد. در چاه‌های مرزنگو، سرخود و اسکنده برداشت‌های بهار دارای روند افزایشی بوده و ۶/۵٪ از برداشت‌ها را شامل می‌شود و در چاه‌های



شکل (۲): نمودار روند EC و شیب خطی آن

جدول (۲): درصد فراوانی هر یک از متغیرهای کیفیت در سطح ۹۵٪ و ۹۹٪

ردیف	متغیر	معنی‌داری متغیر	تعداد	درصد
۱	So ₄	سطح ۰/۹۵	۶	۱۳/۱
		سطح ۰/۹۹	۳۱	۶۷/۴
۲	Cl	سطح ۰/۹۵	۵	۱۰/۹
		سطح ۰/۹۹	۵	۱۰/۹
۳	HCO ₃	سطح ۰/۹۵	۲	۴/۴
		سطح ۰/۹۹	۳	۶/۵۶
۴	K	سطح ۰/۹۵	۴	۸/۷
		سطح ۰/۹۹	۷	۱۵/۲۲
۵	Na	سطح ۰/۹۵	۸	۱۷/۴
		سطح ۰/۹۹	۱۰	۲۱/۷۳
۶	Mg	سطح ۰/۹۵	۹	۱۹/۵۶
		سطح ۰/۹۹	۱۶	۳۴/۷۸
۷	Ca	سطح ۰/۹۵	۱۰	۲۱/۷۳
		سطح ۰/۹۹	۶	۱۳/۱
۸	TDS	سطح ۰/۹۵	۷	۱۵/۲۲
		سطح ۰/۹۹	۴	۸/۷
۹	SAR	سطح ۰/۹۵	۱۱	۲۳/۹
		سطح ۰/۹۹	۱۰	۲۱/۷۳
۱۰	EC	سطح ۰/۹۵	۷	۱۵/۲۲
		سطح ۰/۹۹	۵	۱۰/۹
۱۱	آنیون	سطح ۰/۹۵	۵	۱۰/۹
		سطح ۰/۹۹	۴	۸/۷
۱۲	کاتیون	سطح ۰/۹۵	۷	۱۵/۲۲
		سطح ۰/۹۹	۵	۱۰/۹



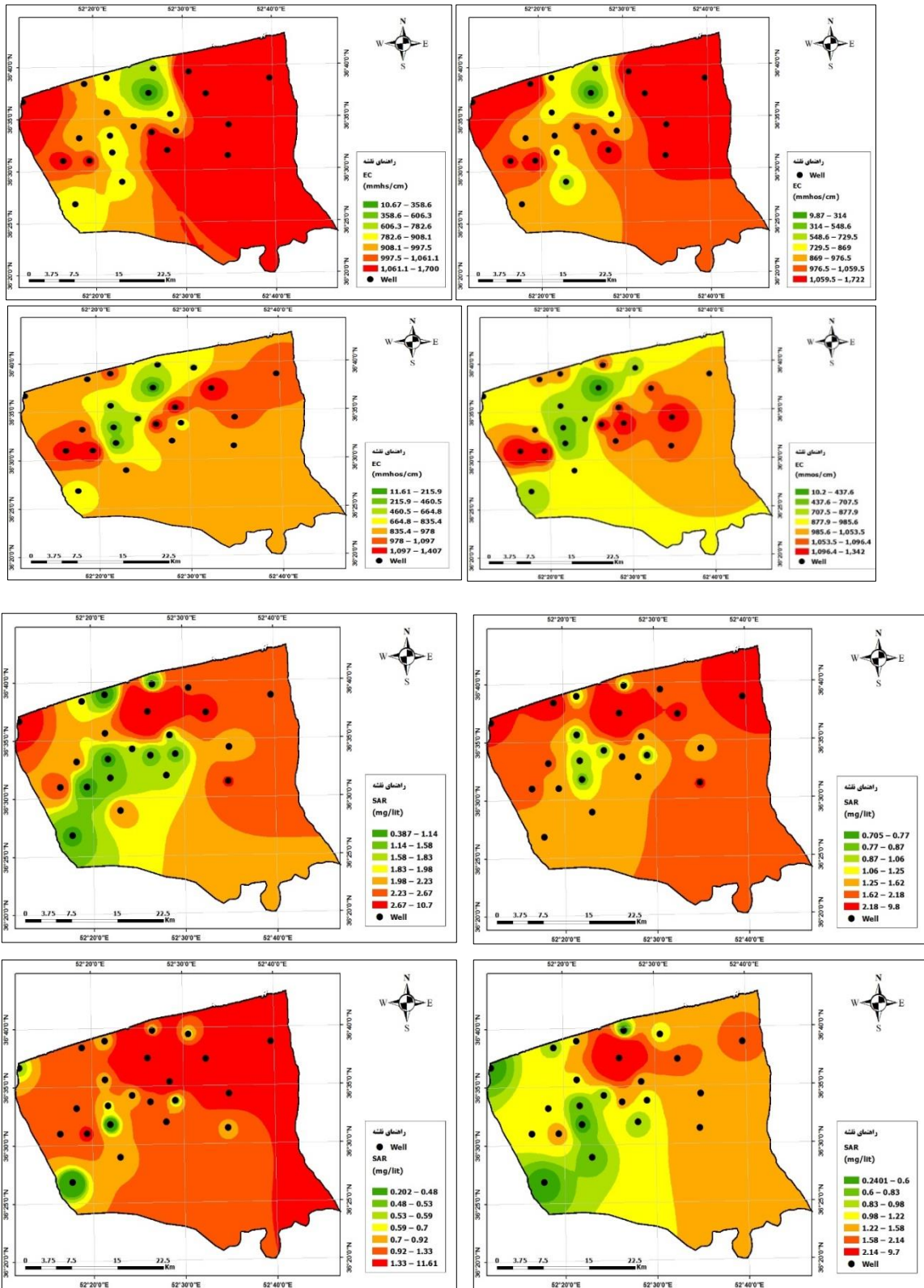
معنی‌داری است که ۸۰/۴۳٪ از کل برداشت را دارا است و HCO_3 کمترین فراوانی را دارد که ۲ برداشت در سطح ۹۵٪ (۴/۴٪ از برداشت دارای معنی‌داری ۹۵٪ است) و ۳ برداشت در سطح ۹۹٪ (۶/۵۶٪ از برداشت در سطح ۹۹٪ معنی‌دار است) و در کل ۵ برداشت روند معنی‌دار را نشان می‌دهد که ۱۰/۹٪ است. نتایج حاصل از روش IDW برای پارامترهای کیفیت آب منطقه مورد مطالعه به صورت زیر قابل مشاهده است (جدول ۳).

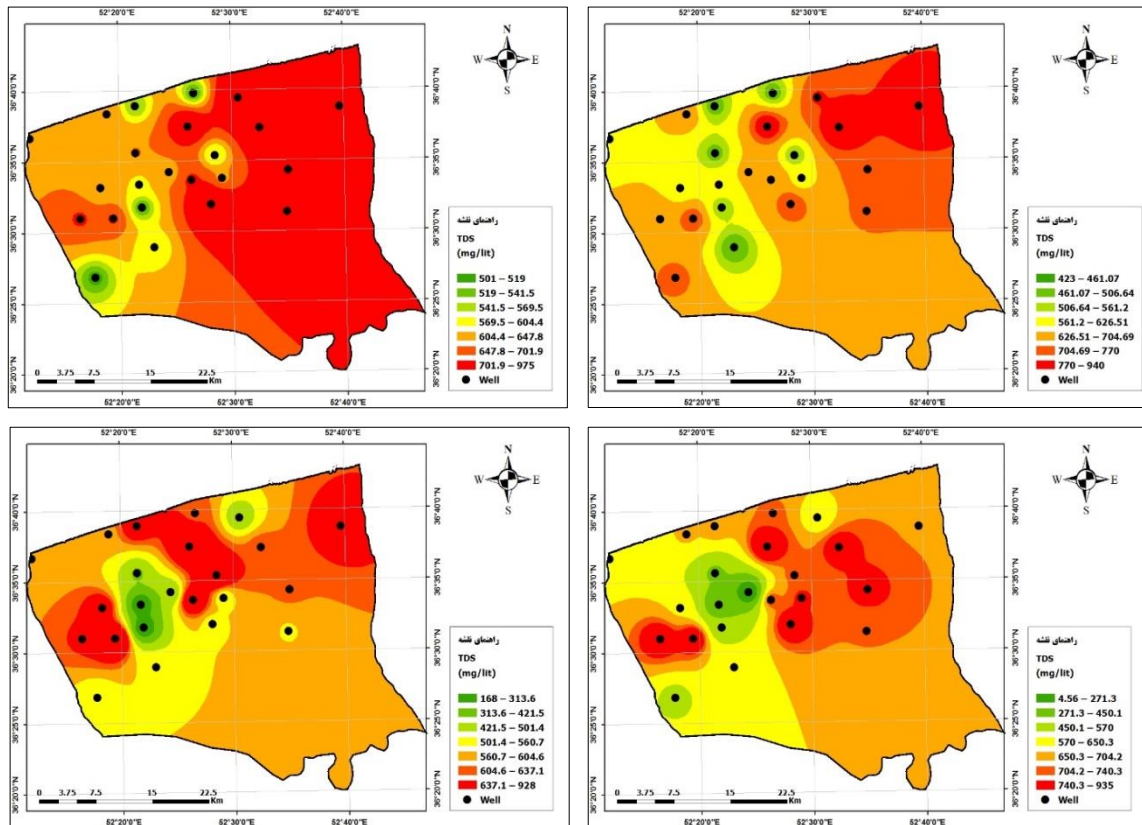
با توجه به جدول (۲)، EC در ۷ برداشت در سطح ۹۵٪ (۱۵/۲۲٪ از برداشت‌ها) و ۵ برداشت در سطح ۹۹٪ (۱۰/۹٪ از برداشت‌ها) که در مجموع ۲۶/۹٪ از کل برداشت دارای روند معنی‌دار است. بیشترین فراوانی مربوط به SO_4 است که دارای ۶ برداشت در سطح ۹۵٪ (۱۳/۱٪ از برداشت دارای معنی‌داری ۹۵٪ است) و ۳۱ برداشت در سطح معنی‌داری ۹۹٪ (۶۷/۴٪ از برداشت در سطح ۹۹٪ معنی‌دار است) می‌باشد که در مجموع ۳۷ برداشت دارای سطح

جدول (۳): ضریب خطای ME و RMSE در روش IDW

ردیف	متغیر	ضریب	بهار	پاییز	بهار	پاییز
۱	SO_4	ME	-۰/۰۶	-۰/۰۴	۰/۰۵۶	-۰/۰۰۹
		RMSE	۱/۱۱	۱/۰۹	۰/۶۶	۰/۴۶
۲	Cl	ME	-۰/۲۶	-۰/۳۴	-۰/۰۴۷	-۰/۰۰۷
		RMSE	۱/۱۷	۰/۳۲	۰/۸۱	۱/۰۹
۳	HCO_3	ME	-۰/۰۳	-۰/۰۴	-۰/۲۳	-۰/۱۵
		RMSE	۱/۲۲	۱/۲۹	۱/۶۸	۱/۶۸
۴	K	ME	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۲
		RMSE	۰/۲۸	۰/۵۶	۰/۲	۰/۶۹
۵	Na	ME	-۰/۳۵	-۰/۳۵	-۰/۰۴۱	-۰/۰۲۲
		RMSE	۱/۸۱	۱/۶۸	۱/۰۲	۱/۰۸
۶	Mg	ME	-۰/۰۸	-۰/۰۴۶	۰/۰۷	۰/۰۱
		RMSE	۰/۹۴	۰/۸	۰/۴۴	۱/۵۵
۷	Ca	ME	۰/۰۳	-۰/۰۴	-۰/۲	-۰/۰۵
		RMSE	۱/۲	۰/۹۳	۱/۶۵	۱/۶۸
۸	TDS	ME	-۱/۳۵	-۱/۶۱	-۲/۰۱	-۲/۳
		RMSE	۲/۳۶۶	۲/۲۶	۳/۲۳	۳/۵
۹	SAR	ME	-۰/۱	-۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۶
		RMSE	۲/۰۴	۲/۲	۲/۰۲	۲/۴۳
۱۰	EC	ME	-۱/۶۲	-۲/۰۴	-۱/۵۵	-۱/۱۲
		RMSE	۲/۴۷	۳/۱۶	۲/۵	۲/۶
۱۱	آنیون	ME	-۰/۴۴	-۰/۵	-۰/۲	-۰/۲
		RMSE	۳/۱	۳/۲۷	۳/۲	۳/۵
۱۲	کاتیون	ME	-۰/۵	-۰/۴۷	-۰/۲۷	-۰/۲۱
		RMSE	۳/۱۳	۳/۰۴	۳/۱۸	۳/۲۶

نتایج نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی نیز به صورت زیر قابل ملاحظه است (شکل ۳).





شکل (۳): نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی در جلگه هراز

شرق و نقاط کوچکی در مرکز شمال و جنوب غربی شدت زیاد دارد و در پاییز شدت آن در سمت شمال شرقی، شرق، جنوب شرق و قسمت محدودی در غرب آبخوان به بیشترین شدت رسیده است. در انتهای سال آخر در فصل بهار در سمت شرق و کمی در مرکز و غرب مقدار آن بیشتر بوده و در پاییز همان سال به سمت شمال شرق، شرق و کمی به سمت شمال و غرب کشیده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه روش‌های نوین هوشمند و مدل‌های ریاضی برای تخمین و برآورد مؤلفه‌های کیفیت آب زیرزمینی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در همین راستا در این پژوهش، متغیرهای اندازه‌گیری شده آب زیرزمینی جلگه هراز شامل TDS، EC، K^+ ، Cl^- ، Na^+ ، Ca^{+2} ، Mg^{2+} ، HCO_3^- ، SO_4^{2-} ، SAR، آنیون و کاتیون بر اساس آزمون کلوموگروف اسمیرنوف، نرمال بودن آن‌ها بررسی و پس از لگاریتم گرفتن از آن‌ها دارای توزیع نرمال شده و به دلیل بالاتر بودن

با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی پارامتر EC در بهار و پاییز سال اول در قسمت‌های شرقی و مرکزی و بخشی از شمال غربی جلگه هراز دارای شدت بیشتر بوده که در انتهای دوره در بخش کمی از مرکز، شرق و غرب جلگه دارای بیشترین شدت بوده که در نهایت با توجه به نقشه کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ شوری (EC) بهبود یافته است. نقشه پهنه‌بندی SAR برای بهار و پاییز سال‌های ابتدا و انتها تهیه شد و نشان می‌دهد که در بهار ابتدای دوره (سال اول) همه آبخوان‌ها به جز بخشی از مرکز و جنوب غربی و نیز بخش خیلی کوچکی از شمال دارای شدت بیشتر است که در پاییز همان سال این شدت در بخش‌هایی از شمال و شرق و بخش کوچکی از شمال غرب محدود شده است و از نظر کیفیت بهبود یافته است ولی در بهار انتهای دوره در بخش کوچکی از شمال شرق و شمال دارای بیشترین شدت بوده است که در پاییز همان سال تمام منطقه به جز بخش کوچکی در مرکز، جنوب غرب و شمال غرب را فراگرفته است. با پهنه‌بندی متغیر TDS در فصل بهار ابتدا TDS در سمت شمال

٪ از برداشت دارای معنی داری ۹۵٪ است) و ۳ برداشت در سطح ۹۹٪ (۶/۵۶٪ از برداشت در سطح ۹۹٪ معنی دار است) و در کل ۵ برداشت روند معنی دار را نشان می‌دهد که ۱۰/۹٪ است. در بین چاه‌های مورد بررسی چاه کارون با ۱۹ برداشت معنی دار و غیاث کلا با ۳ برداشت معنی دار بیشترین و کمترین فراوانی را از نظر تعداد متغیرهای معنی دار دارند، به طوری که در چاه کارون به غیر از HCO_3 ، Ca ، K و در چاه غیاث کلاً به غیر از Ca ، HCO_3 ، Cl و K (در فصل پاییز) بقیه متغیرها روند کاهشی را نشان می‌دهند. در این مطالعه نتایج حاصل از پهنه‌بندی هر یک از متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی در روش IDW با استفاده از رویکرد ارزیابی متقابل از شاخص‌های RMSE و MSE مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصل از اعتبارسنجی متقابل، نتیجه این تحقیق با نتایج جهانشاهی و همکاران (۱۳۹۲)، استواری و همکاران (۱۳۹۱)، ناصری و همکاران (۱۳۹۴) که مناسب‌ترین روش برای پهنه‌بندی متغیرهای کیفیت را وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) معرفی کردند، مطابقت دارد و با نتایج ادیب و زمانی (۱۳۹۴) و مومنی دمنه و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت ندارد. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی شکل (۳) مشخص است که EC در بهار و پاییز سال اول در قسمت‌های شرقی و مرکزی و بخشی از شمال غربی دارای شدت بیشتر بوده که در انتهای دوره در بخش کمی از مرکز شرق و غرب دارای بیشترین شدت بوده که با مقایسه نقشه‌های بهار و پاییز به وضوح معلوم است که کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ شوری (EC) بهبود یافته است. یکی از دلایل بهبود EC می‌تواند متغیرهای SO_4 (در تمام چاه‌ها به غیر از چاه حسین‌آباد در فصل بهار داری روند کاهشی است و ۸۰/۴۳٪ از برداشت دارای روند معنی دار است)، Mg (در تمام چاه‌ها دارای روند کاهشی است و در ۵۴/۳۵٪ از برداشت‌ها روند معنی دار دارد) و SAR (در ۴۶/۶۵٪ از برداشت‌ها روند معنی دار را نشان داد و در تمام چاه‌ها بجز در چاه حسین‌آباد در فصل بهار روند کاهشی دارد) بخاطر روند کاهشی و تعداد معنی‌داری بالای این متغیرها باشد. SO_4 در بهار در شمال شرق، گوشه‌ای در شمال غربی و در بخش‌های کوچکی از مرکز آبخوان دارای بیشترین شدت بوده و در پاییز همان سال در

دقت کار در داده‌های لگاریتمی، در آنالیزهای بعدی از لگاریتم داده‌های کیفیت استفاده شد. برای درون‌یابی براساس شاخص‌های RMSE و ME بهترین روش جهت پهنه‌بندی در سال‌های مورد نظر و برای هر پارامتر انجام گردید. سپس نتایج حاصل از روش اعتبارسنجی متقابل با در نظر گرفتن شاخص‌های ارزیابی بهترین روش درون‌یابی برای کلیه متغیرهای کیفی آب زیرزمینی جلگه هراز مشخص گردید. EC در ۶۵/۲ درصد از چاه‌ها در هردو فصل (بهار و پاییز) برداشت دارای روند کاهشی می‌باشد، در چاه‌های نواحی فرم، کارون و بالااحمدکلا در هر دو فصل بهار و پاییز دارای روند کاهشی معنی دار است. در چاه‌های مرزنگو، سرخورد و اسکنده برداشت‌های بهار دارای روند افزایشی هستند (فقط در برداشت بهاره چاه سرخورد دارای روند افزایشی معنی دار در سطح ۹۵٪ است) که ۶/۵٪ از برداشت‌ها را شامل می‌شود و در چاه‌های کلوده و کلاصفا در فصل پاییز روند افزایشی است که ۴/۴٪ از کل برداشت‌ها می‌باشد. در مجموع بیشتر چاه‌های مورد بررسی در جلگه هراز از نظر EC با توجه به آزمون من-کندال روند کاهشی را نشان دادند و می‌توان گفت که کیفیت آب زیرزمینی بهبود یافته است که با نتایج افضلی و شاهی (۱۳۹۳)، رحمانی (۱۳۸۹) مطابقت دارد و با خنامانی و همکاران (۱۳۹۳)، ابارشی و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت ندارد. در محدوده مورد مطالعه جلگه هراز کاربری غالب کشاورزی بوده و سطح کم‌تر آن را کاربری‌های دیگر تشکیل داده است، بنابراین قسمت زیادی از بارندگی می‌تواند فرصت نفوذ داشته و کمبود حاصل از برداشت بی‌رویه (که باعث افزایش غلظت نمک‌های محلول در آب زیرزمینی) را تا حدی جبران کرده که می‌تواند یکی از دلایل بهبود کیفیت منابع آب زیرزمینی باشد. در بین متغیرهای مورد بررسی در جلگه هراز بیشترین فراوانی مربوط به SO_4 است که دارای ۶ برداشت در سطح ۹۵٪ (۱۳/۱٪ از برداشت دارای معنی داری ۹۵٪ است) و ۳۱ برداشت در سطح معنی داری ۹۹٪ (۶۷/۴٪ از برداشت در سطح ۹۹٪ معنی دار است) می‌باشد که در مجموع ۳۷ برداشت دارای سطح معنی داری است که ۸۰/۴۳٪ از کل برداشت را دارا است و HCO_3 کمترین فراوانی را دارد که ۲ برداشت در سطح ۹۵٪ (۴/۴٪



کیفیت ضعیف‌تری را نشان دهد که چاه‌ها در ماه‌های قبل (فصل تابستان و اواخر فصل بهار) به دلیل کشاورزی در دوره‌ی بحرانی از نظر بهره‌برداری قرار داشته و نزولات جوی به حداقل خود می‌رسد. با روی هم‌گذاری نقشه‌های EC، SAR، Cl و Na متوجه می‌شویم که EC با متغیرهای نام-برده در ارتباط بود و در مناطقی که بهبود یافته آب زیرزمینی از نظر EC بهتر بوده و عکس این حالت نیز اتفاق افتاده است. افزایش روزافزون جمعیت و توسعه‌ی فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی باعث برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی شده است. فاضلاب‌های شهری، پساب‌های کشاورزی و صنعتی از راه آب‌های نفوذی به آب‌های زیرزمینی راه یافته و احتمال کاهش کیفیت آب زیرزمینی را بالا می‌برد.

قسمت شرق پیشروی کرده است. بر اساس نتایج نقشه پهنه‌بندی تفاضلی EC، چاه‌هایی که دارای کیفیت متوسط تا بسیار خوب در بهار ابتدا و انتهای دوره هستند در شمال شرقی، شمال غربی و بخشی در مرکز آبخوان قرار دارند و بقیه چاه‌ها دارای کیفیت بد و بدتر بوده که در پاییز قسمت-های جنوبی و جنوب شرقی بدتر می‌شود. با توجه به نقشه-های تفاضلی به دست آمده، اکثر متغیرها (EC، SAR، Na، Cl، K، Mg، SO₄ و آنیون) در فصل پاییز غلظت آن‌ها افزایش پیدا کرده و کیفیت آب زیرزمینی کاهش یافته است. دلیل کیفیت بهتر آب زیرزمینی در فصل بهار می‌تواند بارندگی ماه‌های قبل آن (در فصل زمستان و پاییز) و از طرفی استراحت زمستانه چاه‌های بهره‌برداری در فصل‌های پاییز و زمستان به دلیل عدم فعالیت کشاورزی (برنج‌کاری که به آب زیادی نیاز دارد) که پمپاژ از چاه‌ها بسیار کم می‌شود و همچنین نقشه‌های پاییزه به این دلیل می‌تواند

منابع

- ابارشی، ف.، م. مفتاح‌هلقی، و ا.ا. دهقانی. ۱۳۹۳. روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت زرین گل با استفاده از آزمون ناپارامتری من کندانال اصلاح شده و تخمین گر شیب سن. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. شماره ۳، جلد ۲۱، ص ۱۰۰-۷۹.
- ادیب، ا.، ر. زمانی. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات مکانی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت دزفول با استفاده از زمین‌آمار. مجله‌ی مهندسی منابع آب. شماره ۱، جلد ۸، ص ۱۲-۱.
- استواری، ی.، ح. ا. بیگی هرچگانی، و ع.ر. داودیان. ۱۳۹۱. بررسی تغییرات نیترات در آب زیرزمینی دشت لردگان. مجله مدیریت آب و آبیاری، شماره ۱، جلد ۲، ص ۶۷-۵۵.
- افضلی، آ. و ک. شاهدی. ۱۳۹۳. بررسی روند تغییرات کیفی و کمی آب زیرزمینی دشت آمل-بابل. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. شماره ۵، جلد ۱۰، ص ۱۵۶-۱۴۴.
- افضلی، آ. ۱۳۹۳. ارزیابی اثرات برداشت آبخوان بر کیفیت آب زیرزمینی مخروط افکنه هراز. رساله دکترا، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- جهانشاهی، ا.، ع.ا. روحی مقدم و ع. دهواری. ۱۳۹۲. ارزیابی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از GIS و زمین‌آمار (مطالعه موردی: آبخوان دشت شهربابک). دوره ۲، شماره ۲۴، ص ۱۹۷-۱۸۳.
- حسن‌پور درویشی، ح. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر آب شور بر صفات کمی و کیفی بذور در گیاه دارویی شوید. مجله زراعت و اصلاح نباتات. شماره ۲، جلد ۶، ص ۲۰-۱۳.
- خدائی، ک.، ع.ا. شهبساری، ب. اعتباری و ر. هاتفی. ۱۳۸۴. پهنه بندی آسیب پذیری ذاتی آبخوان دشت جوین در مقابل آلودگی با استفاده از روش‌های DRASTIC و GODS. کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان.
- خنامانی، ع.، ا. دودانگه، ک. سلیمانی، ح.ر. کریم‌زاده، و س. سلطانی. ۱۳۹۳. بررسی روند تغییرات برخی از خصوصیات شیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت سگری اصفهان طی سال‌های آماری ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۸. مجله علوم آب و خاک. شماره ۱۸، جلد ۶۷، ص ۶۸-۵۹.



- رحمانی، ا. ۱۳۸۹. بررسی روند تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی مطالعه موردی دشت قائم‌شهر-جویبار، استان مازندران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۱۴۸ ص.
- شیخ‌گودرزی م.، س.ح. موسوی و ا. خراسانی. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی تغییرات مکانی در ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: دشت تهران-کرج)، مجله منابع طبیعی ایران. شماره ۱، جلد ۶۵. ص ۹۳-۸۳.
- عباس‌نژاد، ا.، و ع. شاه‌دشت. ۱۳۹۲. بررسی آسیب‌پذیری دشت سیرجان با توجه به برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی منطقه. مجله جغرافیا و آمایش شهری. شماره ۳، جلد ۷. ص ۹۶-۸۵.
- علی‌مرادی، ه.، ع.ا. روحی مقدم، م. خالقی و ا. بامری. ۱۴۰۱. پیش‌بینی و پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش‌های یادگیری ماشین (مطالعه موردی: دشت زاهدان). هیدروژئولوژی، انتشار آن‌لاین ۲۵ خرداد.
- گهرنژاد، ح. ۱۳۸۱. آب‌های شور و لب شور، بررسی مسائل، تأثیرات و راه‌کارهای بهره‌برداری. مجموعه مقالات نخستین همایش دانشجویی منابع آب و خاک، دانشگاه ارومیه، ص ۳۱۰-۳۰۱.
- معروفی، ص.، ا. ترنجیان و ح. زارع‌ابانه. ۱۳۸۸. ارزیابی روش‌های زمین‌آمار جهت تخمین هدایت الکتریکی و PH زه‌آب‌های آبراه‌های دشت همدان-بهار. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. شماره ۲، جلد ۱۶. ص ۱۸۷-۱۶۹.
- مومنی‌دمنه، ج.، ف. جولایی، ح. علی‌دادی و ر. پیروی. ۱۳۹۴. ارزیابی روش‌های درون‌یابی جهت تعیین تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت گناباد). مجله پژوهش در بهداشت محیط. شماره ۱، جلد ۳. ص ۱۷۶-۱۶۵.
- مهدوی، م. ۱۳۸۱. هیدرولوژی کاربردی، جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، ۳۶۴ ص.
- محمودی‌زاده، س.، و ع. اسماعیلی. ۱۴۰۰. مدل‌سازی زمین‌آمار تغییرات مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از GIS و مدل ویلکوکس (مطالعه موردی: بخش‌های مرکزی و کنارک، چابهار). محیط زیست و مهندسی آب. جلد ۱، شماره ۷. ص ۱۱۸-۱۰۳.
- ناصری ن.، ا. خدادادی و ع. منصور. ۱۳۹۴. به بررسی کیفیت آب زیرزمینی شهرستان نهاوند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). اولین کنگره بین‌المللی زمین، فضا و انرژی پاک. دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
- Abd-Elhamid, H. and A. Javadi. 2011. A cost-effective method to control seawater intrusion in coastal aquifers. *Water Resour. Manage.* 25: 2755-2780.
- Adimalla, N., Y.Z. Ravi Manne, X. Panpan and Q. Hui. 2022. Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking purposes in semi-arid region of Southern India: An application of GIS. *Geocarto International*, 25: 1-12.
- Boufekane, A. and O. Saighi. 2019. Assessing groundwater quality for irrigation using geostatistical method Case of wadi Nil Plain (North-East Algeria). *Groundwater for Sustainable Development*, 8: 179-186.
- Chatterjee, R.S., B. Funeau, J.P. Rudant, P.S. Roy. P.L. Frison, R.C. Lakhera, V.K. Dahwal and R. Saha. 2006. Subsidence of Kolkata (Calcutta) City, India During 1990s as observed from spacing differential synthetic aperture radar interferometry (D-InSAR) technique. *Remote sensing of environment*, 102(1-2). 178-185.
- Dogan, A., H. Demirpence, and M. Cobaner. 2008. Prediction of Groundwater level from lake levels and climate data using ANN approach. *Water SA*, 34(2): 199-208.
- Koussis, A.D., K. Mazi, F. Riou, G. Destiuni. 2015. A correction for Dupuit- Forchheimer interface flow models of seawater intrusion in unconfined coastal aquifers. *Journal of Hydrology*. 525: 277-285.
- Krishna, B., Y.R. Satyaji, T. Vijaya. 2008. Modeling groundwater levels in an urban coastal aquifer using Artificial Neural Networks. *Hydrological Processes*, 22: 1180-1188.



- Lettenmaier D.P., E.F. Wood. and J.R. Wallis. 1994. Hydro-climatological Trends in the continental United States, 1948-88. *Journal of Climate*, 7(4): 586-670.
- Lichtfouse, E. 2010. Sustainable Agriculture reviews 6. Alternative farming systems management. 82: 177-192.
- Phine-Wej, N., P.H. Giao and P. Nutalaya. 2006. Land subsidence in Bangkok Thailand. *Engineering Geology*, 82(4): 187-201.
- Priyanka, B.N. and A. Mahesha. 2015. Parametric Studies on Saltwater Intrusion into Coastal Aquifers for Anticipate Sea Level Rise. *Aquatic Procedia*. 4:103-108.
- Serrano A., V.L. Mateos and J.A. Garcia. 1999. Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921-1995. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*. 24(1-2): 85-90.
- Singh, A. 2015. Managing the environmental problem of seawater intrusion in coastal aquifers through simulation–optimization modeling. *Ecological Indicators*. 48: 498-504.
- Turgay P. and K. Ercan. 2005. Trend Analysis in Turkish Precipitation data, *Hydrological Processes*. 2(9): 2011-2026.
- Van Camp, M., Y. Mtoni, I.C. Mjemah, Ch. Bakundukize and K. Walraevens. 2014. Investigating seawater intrusion due to groundwater pumping with schematic model simulations: The example of the Dar es Salaam coastal aquifer in Tanzania. *Journal of African Earth Sciences*. 96: 71-78.
- Vaughan, P.J., S.M. Lesch, D.L. Corwin and D.G. Cone. 1995. Water content effect on soil salinity prediction: A geostatistical study using cokriging. *Soil Sciences of America Journal*, 59(4): 1146-1156.
- Walraevens, K., I.C. Mjemah, Y. Mtoni and M. Van Camp. 2015. Sources of salinity and urban pollution in the Quaternary sand aquifers of Dar es Salaam, Tanzania. *Journal of African Earth Sciences*. 102: 149-165.