Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 45, No. 3, Fall 2022, p. 97-111

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Research Paper

EXTENDED ABSTRACT

Water quality assessment of surface and groundwater sources used for drinking and agriculture

E. Solgi [*1], F. Beigmohammadi[2], Z. Roozbehani[3] and Sh. Ghiasvand[4]

1- Corresponding Author Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, (e.solgi@malayeru.ac.ir).*
2- PhD student in Environmental Pollution, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University.
3- Master student of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University.
4- Bachelor of Environmental Graduate, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 6 August 2021
Revised: 28 November 2021
Accepted: 1 December 2021

Keywords:
Malayer Plain؛ Water quality؛ WQI Index؛ Wilcox Index.

TO CITE THIS ARTICLE:

Solgi, E., Bigmohammadi, F., Rozbhani, Z., Ghiasvand, S. (2022). 'Water quality assessment of surface and groundwater sources used for drinking and agriculture', *Irrigation Sciences and Engineering*, 45(3), pp. 97-111.

Introduction

Sustainable development is the most important challenge of human society in this century. In this regard, access to sufficient water resources of high quality is one of the effective factors to achieve sustainable development. One of the important applications of surface and groundwater resources is irrigation of agricultural products. Irrigation water quality affects soil quality (Kondash et al., 2020) and agricultural health (Aravinthasamy et al., 2020). Assessing the quality of water resources is one of the main requirements in the management, planning and development of water resources and their protection and control (Kumar et al., 2019). Given that the city of Malayer is globally known for its grapes, the study of water quality in this region is of great importance. One of the most effective methods for assessing water quality is the use of appropriate indicators for the assessment. Quality indicators convert the values of water quality characteristics (measured parameters) into a number to be used in the management and analysis of water quality and monitoring of water quality changes over time and place (Carbajal-Hernández et al., 2013).

Methodology

In the present study, 93 water samples including 61 wells, 9 springs, 16 rivers and 7 catchments were selected and NO3, pH, EC, Na and K parameters were measured. Water quality was estimated using WQI and Wilcox indices and one-way analysis of variance was applied to compare the quality of water resources. Furthermore, the values of the parameters were compared with WHO standard and Iranian national standard using one-sample t-test.

In order to evaluate water quality, WQI index was employed and equations (1) to (4) were used to calculate it. At first, according to the relative importance of each parameter, a weight was assigned to it Table (1) and then the relative weight was calculated using Equation (1). In the next step, the quality

rate scale was obtained from Equation (2) and finally, the WQI index was calculated by Equations (3) and (4).

$$WI=\frac{Wi}{\sum_{i=1}^{n} Wi} \quad (1)$$

$$Qi=\frac{Ci}{Si} \quad (2)$$

$$SIi=WI\times Qi \quad (3)$$

$$WQi=\sum_{i=1}^{n} SIi \quad (4)$$

Where, WI is the relative weight, Wi stands for weight of each parameter, n represents number of parameters, Qi is quality rate scale, Ci denotes concentration of each parameter, Si is standard of each chemical parameter, SIi represents sub-water quality index and WQi denotes water quality index. When the WQI indices are less than 50, between 50-100, 100-200, 200-300 and more than 300, the water quality is evaluated as excellent, good, poor, very poor and unsuitable for drinking purposes, respectively.

Table 1- Weight and the standard used for the studied parameters (Taloor et al., 2020)

Parameter	unit	Weight
pH	-	4
EC	µS/cm	4
Na		2
K	mg/L	2
NO_3		4

Results and discussion

As descriptive results for the studied parameters Table (2) indicated, the average EC, NO3 and Na in wells was higher compared with other sources and their pH was lower. Based on the results of Kruskal-Wallis test, there was a statistically significant difference among different sources in terms of pH, EC, NO3, Na and K parameters ($p < 0.05$). This was consistent with the findings of Bhardwaj and Singh (2011), Molla et al. (2015), Lasagna et al. (2016) and Mellander et al. (2014).

Table 2 - Mean and standard deviation of the studied parameters

	NO_3 (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	EC (µS/cm)	pH
Well	6.41±1.09	3.69±3.01	228.96±73.26	606.73±136.06	6.93±0.43
Fountain	5.20±2.11	3.52±3.44	177.55±69.20	529.11±141.45	7.39±0.41
River	4.23±1.86	7.8±9.8	167.62±51.09	551±137.7	7.34±0.49
Pond water	2.48±1.76	3.9±2.86	123.57±67.39	438±83.01	7.26±0.29

Based on the results of one-way analysis of variance (ANOVA), different sources were significantly different in terms of WQI index at the level of 5% ($p < 0.05$). Figure 1 shows the results of the Duncan test. Accordingly, the highest value of the index was related to well water and the lowest to reservoir, indicating that well water was of lower quality compared with other sources.

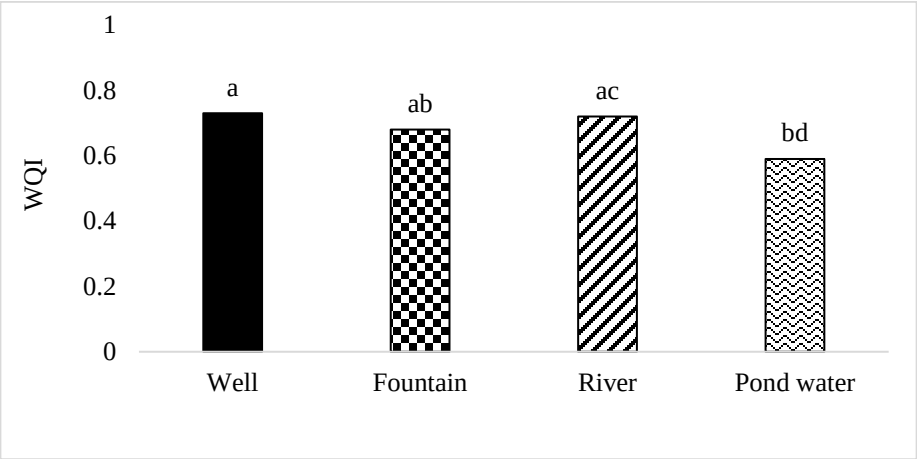

Fig. 1 - Duncan test results to compare the mean values of the WQI index in the study areas

According to Wilcox index, more than 10% of well, spring and river water samples had high salinity and in wells, springs and streams, 85.2%, 88.8% and 68.8% of the samples had medium salinity. EC in well, spring and river water was higher than WHO standard and in catchment, lower than it. Sodium in well water was higher than both standards and in other water sources was lower than them.

Conclusion

Well water in Malayer plain had lower quality compared with other sources. However, the residents use well water more than other sources to irrigate agricultural products. Therefore, periodic monitoring is required for the use of well water and the examination of the soil quality may reveal the need for improvement methods.

Acknowledgments

Thanks to the Environment Laboratory of Malayer University that cooperated with the authors in all stages of this research.

References

1- Aravinthasamy, P., Karunanidhi, D., Rao, N.S., Subramani, T. and Srinivasamoorthy, K., 2020. Irrigation risk assessment of groundwater in a non-perennial river basin of South India: implication from irrigation water quality index (IWQI) and geographical information system (GIS) approaches. *Arabian Journal of Geosciences, 13*(21), pp.1-14.

2- Bhardwaj, V. and Singh, D.S., 2011. Surface and groundwater quality characterization of Deoria District, Ganga plain, India. *Environmental Earth Sciences, 63(2)*, pp.383-395.

3- Carbajal-Hernández, J.J., Sánchez-Fernández, L.P., Villa-Vargas, L.A., Carrasco-Ochoa, J.A. and Martínez-Trinidad, J.F., 2013. Water quality assessment in shrimp culture using an analytical hierarchical process. *Ecological indicators. 29*,pp.148-58.

4- Kondash, A.J., Redmon, J.H., Lambertini, E., Feinstein, L., Weinthal, E., Cabrales, L. and Vengosh, A., 2020. The impact of using low-saline oilfield produced water for irrigation on water and soil quality in California. *Science of the Total Environment, 733*, p.139392.

5- Kumar, A., Kumar, K. and Alam, A.K., 2019. Spatial distribution of physicochemical parameters for groundwater quality evaluation in a part of Satluj River Basin, India. *Water Supply. 19(5)*, pp. 1480-1490.

6- Lasagna, M., De Luca, D.A. and Franchino, E., 2016. Nitrate contamination of groundwater in the western Po Plain (Italy): the effects of groundwater and surface water interactions. *Environmental Earth Sciences*, *75*(3), p.240.

7- Mellander, P.E., Melland, A.R., Murphy, P.N.C., Wall, D.P., Shortle, G. and Jordan, P., 2014. Coupling of surface water and groundwater nitrate-N dynamics in two permeable agricultural catchments. *The Journal of Agricultural Science*, *152*(1), pp.107-124.

8- Molla, M.M.A., Saha, N., Salam, S.M.A. and Rakib-uz-Zaman, M., 2015. Surface and groundwater quality assessment based on multivariate statistical techniques in the vicinity of Mohanpur, Bangladesh. International *Journal of Environmental Health Engineering*, *4(1)*, p.18.

9- Taloor, A.K., Pir, R.A., Adimalla, N., Ali, S., Manhas, D.S., Roy, S. and Singh, A.K., 2020. Spring water quality and discharge assessment in the Basantar watershed of Jammu Himalaya using geographic information system (GIS) and water quality Index (WQI). *Groundwater for Sustainable Development*, *10*, p.100364.

© 2022 Shahid Chamran Universiry of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۵، شماره‌ی۳، پاییز ۱۴۰۱، مقاله پژوهشی، ص. ۱۱۱-۹۷

ارزیابی کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت ملایر از نظر شرب و کشاورزی

عیسی سلگی[1*]، فوزیه بیگ محمدی[2]، زهره روزبهانی[3] و شهرزاد قیاثوند[4]

۱*- نویسنده مسئول، دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر e.solgi@malayeru.ac.ir
۲- دانشجوی دکتری آلودگی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر.
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر.
۴- کارشناسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر.

دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۵ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۰۷ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۹

چکیده

شهر ملایر یکی از قطب‌های کشاورزی استان همدان و به‌عنوان شهر جهانی انگور شناخته شده است، بر این اساس مطالعه کیفیت آب در این منطقه بسیار مهم است. در مطالعه حاضر ۹۳ نمونه آب که شامل ٦١ چاه، ۹ چشمه، ١٦ رودخانه و هفت آبگیر بود مورد نمونه‌برداری قرار گرفت و پارامترهای NO_3، pH، EC، Na و K اندازه‌گیری و کیفیت آب به کمک شاخص WQI و ویلکاکس برآورد شد. به‌منظور مقایسه کیفیت منابع آب آنالیز واریانس یک‌طرفه و برای مقایسه با استاندارد ملی ایران و WHO آزمون تی تک‌نمونه به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که منابع مختلف آب از نظر کیفیت دارای اختلاف آماری معنی‌دار و مقدار EC، NO3 و Na در آب چاه بالاتر از سایر منابع است، بنابراین کیفیت آب چاه پایین‌تر از سایر منابع برآورد شد. بر اساس شاخص ویلکاکس بیش از ۱۰ در صد نمونه‌های آب چاه، چشمه و رودخانه دارای شوری بالا و در مورد چاه، چشمه و روخانه ۸۵/۲، ۸۸/۸ و ٦٨/٨ در صد نمونه‌ها دارای شوری متوسط بودند. مقادیر EC در آب چاه، چشمه و رودخانه بالاتر و در مورد آبگیر پایین تر از استاندارد WHO برآورد شد. به نظر می‌رسد بالاتر بودن نیترات در آب چاه به دلیل مصرف کودهای کشاورزی در منطقه اتفاق افتاده است و به دلیل مشکلات ناشی از نیترات بر سلامت انسان استفاده از آب چاه برای شرب در بلند مدت توصیه نمی‌شود. به‌طور کلی در استفاده از آب چاه پایش‌های دوره‌ای ضروری است و با بررسی کیفیت خاک شاید نیاز به روش‌های اصلاح نیز باشد.

کلید واژه‌ها: دشت ملایر، کیفیت آب، شاخص WQI، شاخص ویلکاکس.

مقدمه

حرکت به سمت توسعه پایدار مهم‌ترین چالش فرا روی جامعه بشری در قرن حاضر است. در این راستا دسترسی به منابع آب کافی و با کیفیت مطلوب از فاکتورهای مؤثر برای دستیابی به توسعه پایدار هستند. کیفیت آب‌های سطحی در مناطق مختلف به دلیل عوامل طبیعی نظیر تنوع سازندهای زمین شناسی و عوامل هیدروژئولوژیکی و انسانی شامل آلودگی ناشی از تخلیه انواع فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، شیرابه محل‌های دفع زباله، رواناب‌های سطحی دائما در حال تغییر است (Aghaee et al., 2020). از آنجائی که رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از منابع مهم تامین کننده نیاز آبی جوامع بشری در بیشتر کشورها محسوب می‌شوند. بنابراین شناخت و بررسی کیفیت این منابع در مدیریت و استفاده بهینه از آن از اهمیت بالایی برخوردار است (Wang et al., 2015).

از طرفی بزرگترین منبع آب شیرین قابل دسترس برای انسان در زیرزمین و در داخل سازندهای زمین شناسی جای گرفته است. از دیرباز تمام تمدن‌های بشری در کنار منابع مطمئن آب بنا شده‌اند و در حال حاضر نیز نقش مهمی در توسعه همه جانبه مناطق شهری و روستایی دارد. افزایش روزافزون آلاینده‌های شیمیایی شهری و صنعتی و شیوه‌های نوین کشاورزی تهدیدی جدی برای آب‌های زیرزمینی به‌حساب می‌آیند (Shiri and Nourani, 2021). آب‌های زیرزمینی به‌عنوان بخش مهمی از آب‌های تجدید شونده جهان محسوب شده که حدود ۶۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر قابل دسترس را به خود اختصاص داده اند (Saadatmand et al., 2021).

یکی از کاربردهای مهم منابع آب سطحی و زیر زمینی آبیاری محصولات کشاورزی است. کیفیت آب آبیاری در کیفیت خاک Kondash et al. (2020) و سلامت محصولات کشاورزی Aravinthasamy et al. (2020) مؤثر است، به‌طوری که مصرف آب با کیفیت نامطلوب برای امور کشاورزی، روی رشد گیاهان و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک تأثیر منفی می‌گذارد (Mahmoudizadeh and Ismaili, 2021). بر این

DOI: 10.22055/JISE.2021.38175.1985

اساس کیفیت آب آبیاری یک ضرورت برای نظارت منظم برای توسعه پایدار در مناطق کشاورزی است (Aravinthasamy et al., 2020). در دشت ملایر که شغل اصلی ساکنان آن باغداری و کشاورزی است بررسی کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

آگاهی از کیفیت منابع آب یکی از نیازمندی های مهم در مدیریت، برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب و حفاظت و کنترل آن‌ها می‌باشد (Kumar et al., 2019). یکی از مؤثرترین روش‌های بررسی کیفیت آب؛ استفاده از شاخص‌های مناسب برای ارزیابی کیفیت آب است. استفاده از شاخص‌ها در برنامه‌های پایش برای ارزیابی سلامت اکوسیستم بسیار مفید بوده و می‌تواند به‌عنوان یک معیار برای ارزیابی موفق و مناسب در استراتژی‌های مدیریتی برای بهبود کیفیت آب استفاده شود (Dwivedi and Pathak, 2007). شاخص‌های کیفی، روش‌هایی هستند که مقادیر ویژگی‌های کیفی آب (پارامترهای اندازه گیری شده) را به یک عدد تبدیل می‌نمایند تا برای مدیریت و تحلیل کیفیت آب و هم‌چنین پایش تغییرات کیفی آب در طول زمان و مکان مورد استفاده قرار گیرند (Carbajal-Hernández et al., 2013). شاخص کیفیت آب Water quality index (WQI) می‌تواند مجموعه ای از داده‌های پارامترهای کیفی آب در زمان‌ها و مکان‌های مختلف را استفاده کرده و اطلاعات آن‌ها را به یک ارزش واحد برای دوره‌هایی از زمان و مکان تبدیل کند (Rickwood and Carr, 2009).

در دشت ملایر به‌عنوان منطقه مورد مطالعه روی منابع آب زیر زمینی و آب شرب مطالعه شده است اما تاکنون پژوهشی با هدف بررسی کیفیت منابع مختلف آب یعنی منابع آب سطحی و زیر زمینی به‌طور همزمان انجام نشده است. کاربرد روش‌های آماری و شاخص‌های کیفیت در مطالعه‌های متعدد مد نظر قرار گرفته است از جمله می‌توان به مطالعه Sabzevari et al. (2020)؛ Ganjaei et al. (2020)؛ Aravinthasamy et al. (2020)؛ Udeshani et al. (2020) و Deep et al. (2020) اشاره کرد. در پژوهش حاضر کیفیت منابع آب سطحی و زیر زمینی در دشت ملایر با استفاده از شاخص WQI و ویلکاکس از نظر شرب و کشاورزی بررسی و از روش‌های آماری برای مقایسه کیفیت آن‌ها استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت ملایر به‌عنوان منطقه مورد مطالعه در این پژوهش در نظر گرفته شد و کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی در این دشت مورد بررسی قرار گرفت. از جمله رو ستاهای محدوده مورد مطالعه می‌توان به ورچق، انجیره، مهدی آباد، خرم‌آباد، سلطان آباد، آورزمان، دهریز و... اشاره کرد. شغل اصلی مردم در این مناطق کشاورزی و باغداری است و مهم‌ترین استفاده از منابع آب سطحی و زیر زمینی در منطقه برای کشاورزی و باغداری می‌باشد. در شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری ارائه شده است.

نمونه‌برداری

به‌منظور بررسی کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی در دشت ملایر منابع آب شامل چاه، چشمه، رودخانه و آبگیر به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری شدند. در مجموع ۹۳ نمونه که شامل ۶۱ چاه، نه چشمه، ۱۶ رودخانه و هفت آبگیر بود مورد نمونه‌برداری قرار گرفت. نمونه‌های برداشت شده در شرایط استاندارد به آزمایشگاه منتقل شدند.

سنجش پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب

پارامترهای pH، EC، NO_3، Na و K برای هر یک از نمونه‌های جمع‌آوری شده اندازه‌گیری شد. آنالیز در این پژوهش بر اساس کتاب استاندارد متد (۲۰۱۲) انجام شد. (APHA, 2012). pH (S.M-4500 pH-B) با استفاده از pH متر (AZ 86552) و EC (S.M-2510 EC-B) با استفاده از EC متر(AZ 86505) سنجش شد. اندازه‌گیری نیترات به‌روش رنگ سنجی انجام شد که پس از صاف کردن نمونه‌ها به ۵۰ میلی‌لیتر از هر نمونه، یک میلی‌لیتر اسید کلریدریک یک نرمال اضافه و در طول موج ۲۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر (DR 6000) اندازه‌گیری نیترات (S.M-4500 NO_3-B) انجام گرفت. برای اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم تا زمان قرائت، نمونه‌ها در دمای ۴- درجه سانتی‌گراد و pH کمتر از دو (با استفاده از اسید نیتریک) نگهداری شدند و با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (405G) سنجش سدیم (S.M-3500 Na- B) و پتاسیم (S.M-3500 K-B) انجام شد.

مقایسه کیفیت منابع آب سطحی و زیر زمینی

پس ورود داده‌های به‌دست آمده از آنالیزهای آزمایشگاهی به نرم‌افزار SPSS، آماره‌های توصیفی داده‌ها از جمله میانگین و انحراف معیار محاسبه شد و سپس توزیع نرمال داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف اسمیرونف انجام شد. به‌منظور مقایسه کیفیت منابع آب مورد بررسی با یکدیگر از نظر پارامترهای اندازه‌گیری شده با توجه به نرمال نبودن توزیع داده‌ها از آزمون کروسکال والیس استفاده شد و آزمون من ویتنی یو برای مقایسه‌های دو به دو به کار گرفته شد. برای مقایسه کیفیت منابع آب سطحی و زیر زمینی مقادیر شاخص WQI از طریق آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) تحلیل شدند. به‌منظور مقایسه‌ی پارامترهای اندازه‌گیری شده برای منابع آب با استانداردهای مختلف، از آزمون تی تک‌نمونه استفاده شد. در این مطالعه استاندارد WHO و استاندارد ملی ایران مورد استفاده قرار گرفتند.

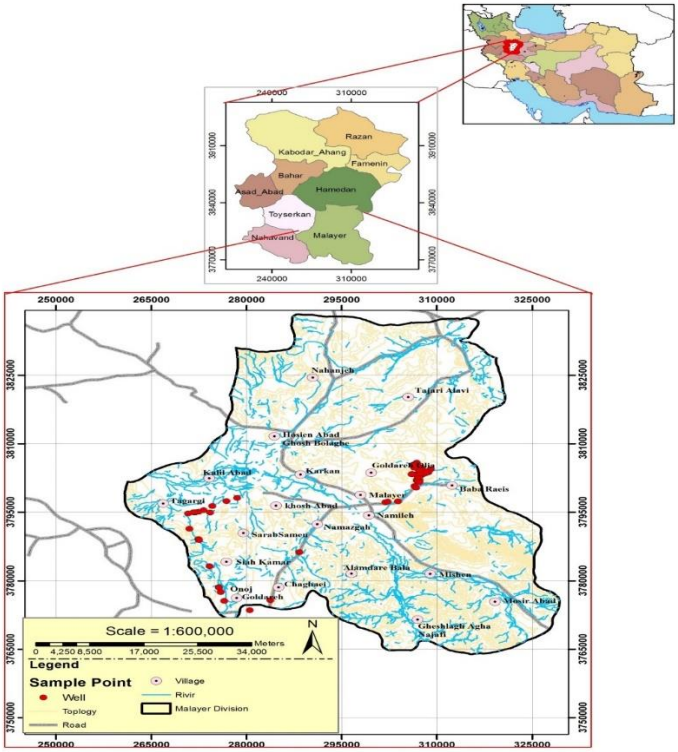

Fig. 1- Location of the study area and sampling points
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری

شاخص‌های کیفیت آب از نظر شرب

به‌منظور ارزیابی کیفیت آب از نظر شرب شاخص WQI استفاده شد که روابط (۱) تا (۴) برای محاسبه آن به‌کار گرفته می‌شوند. برای محاسبه این شاخص ابتدا با توجه به اهمیت نسبی هر پارامتر وزنی به آن اختصاص داده می شود جدول (۱) و پس از آن وزن نسبی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می شود، در مرحله بعدی مقیاس نرخ کیفیت با استفاده از رابطه (۲) به‌دست می‌آید و در نهایت شاخص WQI با استفاده از رابطه‌های (۳) و (۴) محاسبه می‌شود (Taloor et al., 2020).

$$WI=\frac{Wi}{\sum_{i=1}^{n} Wi} \quad (۱)$$

$$Qi=\frac{Ci}{Si} \quad (۲)$$

$$SIi=WI\times Qi \quad (۳)$$

$$WQi=\sum_{i=1}^{n} SIi \quad (۴)$$

در این روابط WI: وزن نسبی، Wi: وزن هر پارامتر، n: تعداد پارامتر، Qi: مقیاس نرخ کیفیت، Ci: غلظت هر پارامتر، Si: استاندارد هر پارامتر شیمیایی، SIi: زیر شاخص کیفیت آب و WQi: شاخص کیفیت آب است. زمانی که مقدار شاخص WQI کمتر از ۵۰، ۱۰۰-۵۰، ۲۰۰-۱۰۰، ۳۰۰-۲۰۰ و بیشتر از ۳۰۰ به دست آید کیفیت آب به ترتیب عالی، خوب، ضعیف، بسیار ضعیف و نامناسب برای اهداف آشامیدن ارزیابی می‌شود.

شاخص‌های کیفیت آب از نظر کشاورزی

شاخص ویلکاکس از شاخص‌های سنجش کیفیت آب در کشاورزی است و یکی از معیارهای طبقه‌بندی آن، هدایت الکتریکی است که در این بررسی از آن استفاده شده است (Wilcox, 1955).

نتایج و بحث

نتایج مقایسه کیفیت منابع آب سطحی و زیر زمینی

در جدول (۲) نتایج توصیفی برای پارامترهای مورد بررسی به تفکیک منابع آب نمونه‌برداری شده ارائه شده است. بر اساس این نتایج میانگین EC، NO_3 و Na برای چاه‌های مورد بررسی بیشتر از سایر منابع است و در مورد pH این مقدار در مورد چاه نسبت به سایر منابع کمتر است.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین آزمون کروسکال والیس بین منابع مختلف از نظر پارامترهای pH، EC، NO_3، Na و K اختلاف آماری معنی داری وجود داشت ($p<0.05$). نتایج آزمون من ویتنی یو برای این پارامترها در شکل (۲) تا (۴) ارائه شده است.

DOI: 10.22055/JISE.2021.38175.1985

جدول ۱- وزن و استاندارد مورد استفاده برای پارامترهای مورد بررسی (Taloor et al., 2020)

Table 1- Weight and standard used for the studied parameters (Taloor et al., 2020)

Parameter	Unit	Weight
pH	-	4
EC	µS/cm	4
Na		2
K	mg/L	2
NO_3		4

جدول ۲- میانگین و انحراف معیار پارامترهای مورد بررسی به تفکیک منابع آب

Table 2 - Mean and standard deviation of the studied parameters by water resources

	NO_3 (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	EC (µS/cm)	pH
Well	6.41±1.09	3.69±3.01	228.96±73.26	606.73±136.06	6.93±0.43
Spring	5.20±2.11	3.52±3.44	177.55±69.20	529.11±141.45	7.39±0.41
River	4.23±1.86	7.8±6.8	167.62±51.09	551±137.7	7.34±0.49
Pond	2.48±1.76	3.9±2.86	123.57±67.39	438±83.01	7.26±0.29

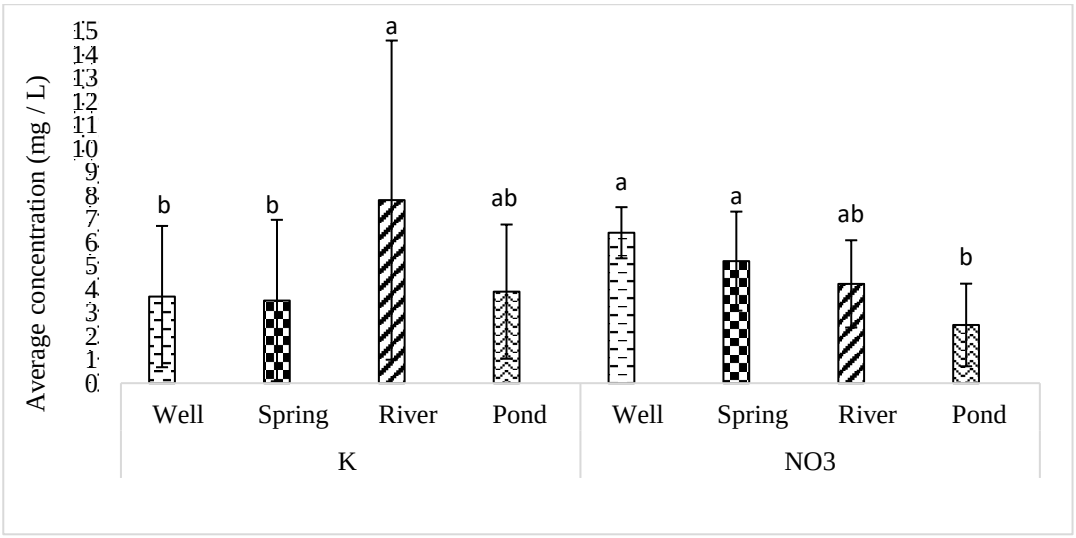

Fig. 2- Mann-Whitney U test results to compare the average concentration of nitrate and potassium in the studied water resources

شکل ۲- نتایج آزمون من ویتنی یو برای مقایسه میانگین منابع آب مورد بررسی از نظر نیترات و پتاسیم

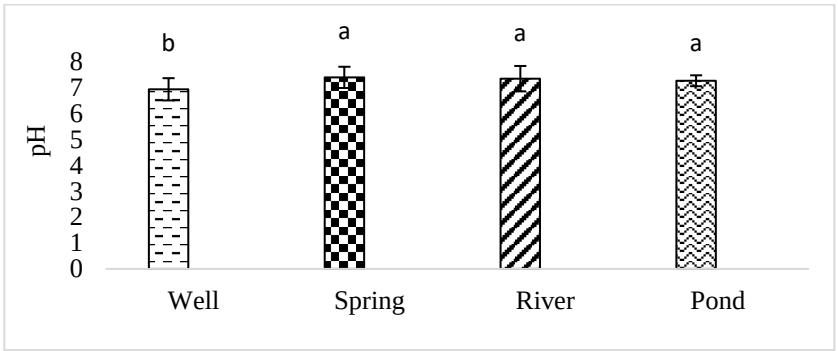

Fig. 3- Mann-Whitney U test results to compare the mean pH of the studied water resources

شکل ۳- نتایج آزمون من ویتنی یو برای مقایسه میانگین منابع آب مورد بررسی از نظر pH

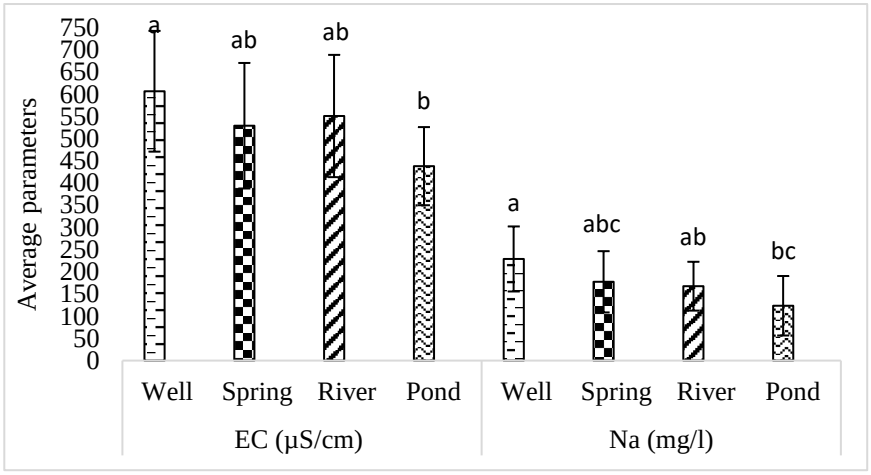

Fig. 4- Mann-Whitney U test results to compare the mean of sodium and EC in the studied water resources

شکل ٤- نتایج آزمون من ویتنی یو برای مقایسه میانگین منابع آب مورد بررسی از نظر سدیم و EC

جدول ۳- مقایسه میانگین پارامترهای مورد بررسی با استاندارد آب آشامیدنی

Table 3- Comparison of the mean of the studied parameters with the drinking water standard

		Significant level for comparison with Iranian standard				Iranian standard	Significant level for comparison with WHO standard				WHO standard
	unit	Pond	River	Spring	Well		Pond	River	Spring	Well	
pH	-	0.07	0.23	0.47	0.00	6.5-8.5	0.07	0.23	0.47	0.00	6.5-8.5
EC	(µS/cm)	-	-	-	-	-	0.09	0.40	0.55	0.00	500
Na		0.002	0.02	0.35	0.003	200	0.002	0.02	0.35	0.003	200
K	(mg/L)	0.00	0.11	0.00	0.00	12	0.00	0.11	0.00	0.00	12
NO3		0.00	0.00	0.00	0.00	50	0.00	0.00	0.00	0.00	50

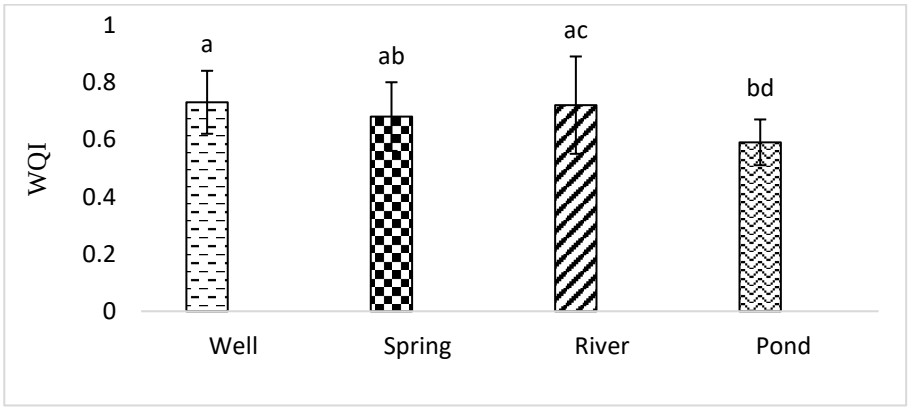

Figure 4 - Duncan test results to compare the mean values of the WQI index in the study areas

شکل ٥- نتایج آزمون دانکن برای مقایسه میانگین مناطق مورد بررسی از نظر مقادیر شاخص WQI

در جدول (۳) نتایج مقایسه میانگین پارامترهای مورد بررسی با استانداردهای WHO و استاندارد ملی ایران ارائه شده است. بر اساس این نتایج مقادیر پارامترهای مورد بررسی برای آب چاه با استاندارد ملی ایران و استاندارد WHO دارای اختلاف آماری معنی داری است و در مورد EC و سدیم بیشتر از استاندارد، برای پتاسیم و نیترات کمتر از استاندارد و در مورد pH در محدوده استاندارد قرار داشت. هم‌چنین نیترات در همه منابع آب مورد بررسی دارای اختلاف آماری معنی داری با استاندارد ایران و استاندارد WHO است.

بر اساس نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) بین منابع مختلف مورد بررسی از نظر شاخص WQI در سطح پنج درصد اختلاف آماری معنی داری وجود داشت ($p<0.05$). در شکل (۵) نتایج آزمون دانکن برای این مقایسه میانگین ارائه شده است. بر اساس این نتایج بیشترین مقدار این شاخص مربوط به آب چاه و کمترین آن برای آبگیر برآورد شد.

DOI: 10.22055/JISE.2021.38175.1985

جدول ٤- وضعیت نمونه‌های مورد بررسی بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس برای هدایت الکتریکی
Table 4 - Status of the samples according to Wilcox classification for electrical conductivity

Domain	Type of water	Quality	Status for irrigation	Number of samples				Percentage of samples			
				River	Spring	Well	Pond	Well	Spring	River	Pond
250<	Low salinity	Excellent	Suitable for irrigating all types of crops and soils	3	-	1	-	1.6	-	18.8	-
250-750	Medium salinity	Good	If soil leaching is moderate, it can be used. Halophytes can usually grow without salinity control	11	8	52	7	85.2	88.9	68.8	100
750-2250	High salinity	Suspicious	Unsuitable for soils with limited drainage	2	1	3	-	13.1	11.1	12.5	-
2250<	Very high salinity	Unsuitable	Unsuitable for irrigation		-	-	-	-	-	-	-

نتایج ارزیابی کیفیت منابع آب از نظر کشاورزی

در جدول (۴) کیفیت نمونه های مورد بررسی بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس برای هدایت الکتریکی ارائه شده است. بر ا ساس این نتایج، بیشترین تعداد و در صد نمونه‌های مورد برر سی در همه منابع آب (چاه، چشمه، رودخانه و آبگیر) در طبقه دوم که شوری متوسط است قرار می‌گیرند.

نتایج ارزیابی کیفیت منابع آب از نظر شرب

مقادیر شاخص WQI برای منابع آب مورد بررسی کمتر از ۵۰ براورد شد که از نظر طبقه بندی این شاخص در طبقه کیفیت خوب قرار می‌گیرند. این مقادیر برای چاه، چشمه، رودخانه و آبگیر به ترتیب ۰/۷۳، ۰/۶۸، ۰/۷۲ و ۰/۵۹ به‌دست آمد.

منابع آب در منطقه در دو دسته کلی سطحی و زیر زمینی قرار می‌گیر ند. در ایران به دلیل محدود یت و نا پا یداری منابع آب سطحی، به طور گسترده‌ای از آب‌های زیرزمینی برای اهداف شرب، آبیاری و صنعت به‌عنوان منبع آب جایگزین استفاده می‌شود (Riahi Madvar and Seifi, 2016). نتایج مقایسه میانگین برای پارامترهای EC، NO_3، pH و Na نشان داد که بین منابع آب مورد بررسی از نظر این پارامترها اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد و میانگین EC، NO_3 و Na در چاه‌ها بیشتر از سایر منابع ا ست که با نتایج Bhardwaj و Singh (2011) که در آن EC و Na در آب زیرزمینی بیشتر از آب سطحی بود و نتایج Molla et al. (2015) که مقدار EC در آب زیرزمینی بیشتر از آب سطحی بود هم‌خوانی دارد. هم‌چنین با نتایج Lasagna et al. (2016) و Mellander et al. (2014) که در آن‌ها میزان نیترات در آب زیر زمینی بیشتر از آب سطحی بود همخوانی دارد. در حالی که نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های مطالعه Tong et al.(2021) هم‌خوانی ندارد که در آن کیفیت منابع آب زیرزمینی بهتر از آب سطحی براورد شد. در این بررسی فلزات سنگین مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و به‌علت وجود منابع آلاینده و ورود فاضلاب به رودخانه‌ها در منطقه مورد مطالعه این نتایج حاصل شده است. بالا بودن EC در آب زیرزمینی نسبت به آب‌های سطحی نشان دهنده معدنی شدن بیشتر آب زیرزمینی نسبت به آب سطحی است (Molla et al., 2015). این نتایج نشان از کیفیت پایین آب چاه نسبت به رود خا نه، چشمه و آبگیر در دشت ملایر دارد که با نتایج Motamedi Rad et al (2021) مخالف است که در مطالعه آن‌ها بر خلاف مطالعه حاضر آب چاه مورد ارزیابی قرار نگرفته و چشمه به‌عنوان نماینده آب‌های زیر زمینی بررسی شده است. منابع آب زیرزمینی به‌دلیل عبور از لا یه های مختلف پوسته زمین از کیفیت متفاوتی برخوردارند و افزایش تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، مواد زائد و جامد و کاربرد سموم و کودهای شیمیایی نیز به این روند شتاب بیشتری بخشیده است (Parsaie et al., 2021). هم‌چنین در مورد آب‌های زیرزمینی، زمین‌شناسی و سازندهای هر منطقه از عوامل تاثیر گذار بر کیفیت آب هستند (Zanotti et al., 2019).

بر اساس نتایج، pH آب چاه در دشت ملایر کمتر از سایر منابع است که با نتایج مطالعه Kiani و Mel Hosseini

Darani (2020) و Molla et al. (2015) هم‌خوانی دارد. مقدار pH بالاتر آب سطحی نسبت به آب زیرزمینی می‌تواند به دلیل افزایش جذب فتوسنتزی کربن غیر آلی محلول توسط پلانکتون باشد (Molla et al., 2015). هم‌چنین میزان pH آب های زیرزمینی تحت تأثیر نوع خاک است به‌طوری که چاه‌های که در مناطقی با خاک لیتولیک (خاک نازک بر بستر سنگ) وجود دارند pH بالاتری دارند و چاه‌های که در خاک‌های اکسیسول هستند pH پایین‌تری دارند (Silva et al., 2021). pH پایین‌تر موجب حلالیت بیشتر املاح و آلاینده‌ها می‌شود Radfard et al. (2018) و روی دستیابی زیستی آلاینده‌ها و در نتیجه سلامت موجودات زنده و کیفیت خاک تأثیر بیشتری دارد.

مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده با استاندارد WHO و استاندارد ملی ایران نشان داد بین مقادیر پارامترها در منابع آب مورد بررسی و این استانداردها اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد. به‌طوری که EC در آب چاه، چشمه و رودخانه بالاتر از استاندارد WHO برآورد شد و تنها در مورد آبگیر پایین تر از استاندارد WHO بود. سدیم در آب چاه بالاتر از هر دو استاندارد و در سایر منابع آب پایین‌تر از هر دو استاندارد بود. در مطالعه Solgi و Nasiri (2019) روی کیفیت آب شرب شهر ملایر، مقادیر pH، EC، Na، K و NO_3 پایین‌تر از استاندارد WHO و استاندارد ملی ایران بود که احتمالاً به‌خاطر تصفیه صورت گرفته روی آب شرب شهر ملایر این شرایط برقرار شده است.

کیفیت آب آبیاری روی خصوصیات خاک تأثیرگذار است. پایداری خاکدانه‌ها و منافذ بین آن‌ها، نقش مهمی در حرکت و ذخیره آب، تهویه و فعالیت‌های بیولوژیکی و رشد ریشه ایفا می‌کنند و این موارد تحت تأثیر کیفیت آب آبیاری قرار می‌گیرند (Safadoust et al., 2018). زمانی که خاکی با آب دارای سدیم بالا آبیاری می‌شود، خاکی با درصد سدیم بالا در لایه سطحی ایجاد می‌شود که موجب تضعیف ساختمان خاک می‌گردد. در نتیجه خاکدانه‌های خاک سطحی به ذرات کوچک‌تر شکسته شده که باعث بسته شدن منافذ خاک و کاهش نفوذپذیری می‌گردد (Ayers and Westcot, 1989). EC بر ضخامت لایه پخشیده اثر گذاشته و سبب تغییر در توزیع اندازه منافذ و مقدار نگه داشت رطوبت در خاک می‌شوند (Dexter, 2004).

در مورد پتاسیم و نیترات نیز منابع آب مورد بررسی مقادیر پایین‌تری نسبت به استاندارد داشتند که در مورد نیترات با مطالعه Toolabi et al. (2021) هم‌خوانی دارد. با این وجود غلظت نیترات در آب چاه دشت ملایر بالاتر از سایر منابع بود. غلظت زیاد نیترات در آب‌های زیرزمینی یک مشکل جهانی است که دفع نامناسب پسماند و استفاده گسترده از کودهای شیمیایی مهم‌ترین دلایل آن است (Wang et al., 2018). نیترات محلول، بسیار متحرک و به طور بالقوه از منطقه اشباع نشده به آب‌های زیرزمینی شسته می‌شود. در واقع افزایش استفاده از کودهای ازت مصنوعی و کود آلی طی چند دهه گذشته منجر به افزایش شستشو و رواناب نیترات شده است که کیفیت آب را به‌ویژه در مناطق کشاورزی تهدید می‌کند (Lasagna et al., 2016). بسیاری از مطالعه‌ها نشان داده‌اند که همبستگی زیادی بین کشاورزی و غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی وجود دارد (Debernardi et al. 2008). بر این اساس در دشت ملایر به‌دلیل کشاورزی و استفاده از کود، میزان نیترات در آب چاه بیشتر بوده Sakizadeh (2017) و به نظر می‌رسد با گذشت زمان آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی بیشتر شده و اگر چه در حال حاضر این مقدار پایین‌تر از استاندارد است، اما در آینده ممکن است مشکلات زیادی را برای ساکنان منطقه ایجاد کند Sakizadeh (2017) که به‌منظور جلوگیری از این مسئله مدیریت صحیح در کاربرد کودها و پایش دوره‌ای آب در منطقه می‌تواند مؤثر باشد. نیترات به‌طور مستقیم به بدن انسان آسیب نمی‌رساند. با این حال، هنگامی که به نیتریت تبدیل می‌شود، می‌تواند بیماری‌های از جمله متهموگلوبینمی و سرطان را باعث شود (Manassaram et al., 2010).

هم‌چنین نتایج نشان داد که بر اساس شاخص WQI منابع آب مورد بررسی از کیفیت متفاوتی برخوردار بود و بین آن‌ها از نظر مقادیر این شاخص اختلاف آماری معنی‌داری وجود داشت و بیشترین و کمترین مقدار این شاخص به‌ترتیب برای آب چاه و آبگیر برآورد شد. اما در کل همه منابع در طبقه کیفیت خوب طبقه‌بندی شدند که بخشی از این نتایج در مورد چاه با نتایج مطالعه Sakizadeh (2017) مطابقت دارد که بر اساس نتایج آن کیفیت آب‌های زیرزمینی ملایر ناچیز تا متوسط ارزیابی شد. مطالعه Ram et al. (2021) در منطقه ماهوبای هند نشان داد که نتایج شاخص WQI در منطقه حاکی از این است که آب زیرزمینی به جز در چند ناحیه ایمن و قابل آشامیدن است که تا حدودی همسو با نتایج تحقیق حاضر است. Verma et al (2020) ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی توسط شاخص WQI در منطقه Bokaro هند مخالف نتایج تحقیق حاضر است که به این نتیجه رسیدند که برای استفاده مستقیم مناسب نیست و قبل از استفاده برای آشامیدن نیاز به تصفیه دارد. Berhe (2020) ، آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه آمهارای شرقی، اتیوپی مورد مطالعه قرار دادند، نتایج WQI نشان داد که نمونه های آب زیرزمینی در دو فصل خشک و تر در طبقه کیفیت عالی و خوب قرار دارند. طبقه‌بندی ویلکاکس برای نمونه‌های آب مورد بررسی نشان داد که بیش از ۱۰ درصد نمونه‌های آب چاه، چشمه و رودخانه دارای شوری بالا و در مورد چاه، چشمه و روخانه ۸۵/۲، ۸۸/۸ و ۶۸/۸ درصد نمونه‌ها دارای شوری متوسط بودند. تمام نمونه‌های آبگیر در این مطالعه در طبقه شوری متوسط قرار داشتند. بنابراین آب چاه در دشت ملایر نسبت به سایر منابع از کیفیت پایین‌تری برخوردار است. این در حالی است که مردم منطقه از آب چاه بیشتر از سایر منابع برای آبیاری محصولات کشاورزی استفاده می‌کنند. بنابراین در استفاده از آب چاه پایش‌های دوره‌ای ضروری است و با بررسی کیفیت خاک شاید نیاز به روش‌های اصلاح نیز

DOI: 10.22055/JISE.2021.38175.1985

با شد. Oroji et al (2010) در مطالعه خود روی کیفیت آب‌های زیرزمینی د شت ملایر به این نتیجه ر سیدند که در طی زمان EC در آب زیرزمینی افزایش یافته اســت و برداشــت بی رویه یکی از عوا مل موثر بر کاهش کیفیت آب زیرزمینی در منطقه اســت. مدیریت مناســب در برداشــت آب و مصــرف کودهای شــیمیایی می‌تواند در کنترل کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه موثر باشد.

نتیجه گیری

بر اســاس نتایج حاصــل از پژوهش حاضــر کیفیت آب چاه در د شت ملایر پایین‌تر از آب چشمه، رودخانه و آبگیر است و با توجه به بالاتر بودن نتیرات در آب چاه نسبت به سایر منابع برای مصارف شرب تو صیه نمی‌گردد. بالا بود سدیم و EC در آب چاه نسبت به استاندارد ایران و WHO و همچنین حضور ۸۵/۲ درصد نمونه‌های آب چاه در طبقه شوری متوسط بر اساس شاخص ویلکاکس نشان دهنده کیفیت پایین آن نسبت به سایر منابع برای کشاورزی است. به علاوه ۸۸/۸ و ۶۸/۸ در صد نمونه‌های آب چ شمه و رودخانه نیز در طبقه شوری متوسط قرار دارند. بنابراین با توجه به نقش کیفیت منابع آب آبیاری بر کیفیت خاک و همچنین نقش مصرف آب آلوده بر سلامت انسان، پایش دوره‌ای منابع آب و خاک در منطقه توصیه می‌گردد.

تقدیر و تشکر

از آزمایشــگاه گروه محیط زیســت دانشــگاه ملایر که در تمام مراحل اجرای این پژوهش با ما همکاری داشــتند کمال تشــکر را داریم.

References

1- Aghaee, M., Heshmatpour, A., G. Mahmoodlu, M. and Seyedian, S., 2020. 'Investigation of water quality of chehelchay river using IRWQIsc index, *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(5), pp. 153-166. (In Persian)

2- APHA, 2012. Standard methods for examination of water and wastewater. 22nd ed. edited by Rice W. Eugene, Baird B. Rodger, Eaton D. Andrew. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association,Water Environmental Federation Washington, DC, USA.

3- Aravinthasamy, P., Karunanidhi, D., Rao, N.S., Subramani, T. and Srinivasamoorthy, K., 2020. Irrigation risk assessment of groundwater in a non-perennial river basin of South India: implication from irrigation water quality index (IWQI) and geographical information system (GIS) approaches. *Arabian Journal of Geosciences*, *13*(21), pp.1-14.

4- Ayers, R.S. and Westcot D.W., 1989. Water quality for agriculture. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, No. 29. 174p.

5- Berhe, B.A., 2020. Evaluation of groundwater and surface water quality suitability for drinking and agricultural purposes in Kombolcha town area, eastern Amhara region, Ethiopia. *Applied Water Science*, 10, 127.

6- Bhardwaj, V. and Singh, D.S., 2011. Surface and groundwater quality characterization of Deoria District, Ganga plain, India. *Environmental Earth Sciences, 63(2),* pp.383-395.

7- Carbajal-Hernández, J.J., Sánchez-Fernández, L.P., Villa-Vargas, L.A., Carrasco-Ochoa, J.A. and Martínez-Trinidad, J.F., 2013. Water quality assessment in shrimp culture using an analytical hierarchical process. *Ecological indicators. 29*,pp.148-58.

8- Debernardi, L., De Luca, D.A. and Lasagna, M., 2008. Correlation between nitrate concentration in groundwater and parameters affecting aquifer intrinsic vulnerability. *Environmental Geology*, *55*(3), pp.539-558.

9- Deep, A., Gupta, V., Bisht, L. and Kumar, R., 2020. Application of WQI for water quality assessment of high-altitude snow-fed sacred Lake Hemkund, Garhwal Himalaya. *Sustainable Water Resources Management*, *6*(5), pp.1-8.

10- Dexter, A.R., 2004. Soil physical quality. Part I. Theory effects of soil texture, density and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, *120*, pp. 201–214.

11- Dwivedi, S.L. and Pathak, V., 2007. A preliminary assignment of water quality index to Mandakini River, Chitrakoot. *Indian Journal of Environmental Protection*, *27*(11), p.1036.

12- Ganjaei, S., Shiri, N. and Shiri, J., 2020. Spatial modeling of groundwater quality parameters in Azarshahr plain for agricultural use using geostatistical methods. *Water and Soil Knowledge, 30 (4)*, pp.75-87. (In Persian).

13- Kiani, V. and Mel Hosseini Darani, K., 2020. Analytical comparison of compounds and solubility of salts by river water, wells, mixed and pure, *Water and Wastewater Science and Engineering, 5 (3)*, pp. 66-60. (In Persian)

14- Kondash, A.J., Redmon, J.H., Lambertini, E., Feinstein, L., Weinthal, E., Cabrales, L. and Vengosh, A., 2020. The impact of using low-saline oilfield produced water for irrigation on water and soil quality in California. *Science of the Total Environment*, *733*, p.139392.

15- Kumar, A., Kumar, K. and Alam, A.K., 2019. Spatial distribution of physicochemical parameters for groundwater quality evaluation in a part of Satluj River Basin, India. *Water Supply. 19(5)*, pp. 1480-1490.

16- Lasagna, M., De Luca, D.A. and Franchino, E., 2016. Nitrate contamination of groundwater in the western Po Plain (Italy): the effects of groundwater and surface water interactions. *Environmental Earth Sciences*, *75*(3), p.240.

17- Mahmoudizadeh, S. and Ismaili, A., 2021. Geostatistical modeling of spatial changes in groundwater quality using GIS and Will Cox model (Case study of Central and Konarak, Chabahar). *Environment and Water Engineering, 7 (1)*, pp. 118-103. (In Persian)

18- Manassaram, D.M., Backer, L.C., Messing, R., Fleming, L.E., Luke, B. and Monteilh, C.P., 2010. Nitrates in drinking water and methemoglobin levels in pregnancy: a longitudinal study. *Environmental Health*, *9*(1), pp.1-12.

19- Mellander, P.E., Melland, A.R., Murphy, P.N.C., Wall, D.P., Shortle, G. and Jordan, P., 2014. Coupling of surface water and groundwater nitrate-N dynamics in two permeable agricultural catchments. *The Journal of Agricultural Science*, *152*(1), pp.107-124.

20- Molla, M.M.A., Saha, N., Salam, S.M.A. and Rakib-uz-Zaman, M., 2015. Surface and groundwater quality assessment based on multivariate statistical techniques in the vicinity of Mohanpur, Bangladesh. International *Journal of Environmental Health Engineering, 4(1)*, p.18.

21- Motamedi Rad, M., Goli Mokhtari, L., Bahrami, S. and zanganeh asadi, M.A., 2021. Assessment of the quality of water resources for drinking, agriculture and industry in karstic aquifer of Roein Esfarayen basin of North khorasan province. *Researches in Geographical Sciences*. *21 (62)*, pp. 73-93. (In Persian).

22- Oroji, B., Vosough Gol Tappeh, B. and Fazel Tavassol, S., 2010. The trend of qualitative changes in groundwater resources of Malayer plain (Hamadan) and its evaluation with international standards, *the First National Conference to Review the Achievements of Iranian Earth Scientists, Tehran*. https://civilica.com/doc/87947. (In Persian).

23- Parsaie, F., Mahmoodi, M. A. and Egdernezhad, A., 2021. Assessment of Groundwater Quality for Drinking and Agriculture in Qorveh Plain. *Wetland Ecobiology*, *12 (1)* , pp. 65-80. (In Persian)

24- Radfard, M., Yunesian, M., Nabizadeh, R., Biglari, H., Nazmara, S., Hadi, M., Yousefi, N., Yousefi, M., Abbasnia, A. and Mahvi, A.H., 2018. Drinking water quality and arsenic health risk assessment in Sistan and Baluchestan, Southeastern Province, Iran. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. pp. 949-965.

25- Ram, A., Tiwari, S.K., Pandey, H.K., Chaurasia, A.K., Singh, S. and Singh, Y.V., 2021. Groundwater quality assessment using water quality index (WQI) under GIS framework. *Applied Water Science*, *11*(2), pp.1-20.

26- Riahi Madvar, H. and Seifi, A., 2016. Spatial group analysis and fuzzy spatial analysis of Shahr-e-Babak plain groundwater quality for drinking and irrigation, *Iran-Water Resources Research*, *12(2)*, pp. 152-157. (In Persian)

27- Rickwood, C.J. and Carr, G.M., 2009. Development and sensitivity analysis of a global drinking water quality index, *Environmental Monitoring and Assessment*, *156(4)*, pp. 73-90.

28- Saadatmand, A., Noorollahi, Y., Yousefi, H. and Mohammadi, A., 2021. Investigation, modeling and analysis of qualitative parameters of groundwater resources in Kurdistan's Kamyaran plain. *Iranian Journal of Ecohydrology*, *8*(2), pp.357-367. (In Persian).

29- Sabzevari, Y., Haghiabi, A. H. and Nasrollahi, A. H., 2020. Evaluation of Groundwater Resources Quality and Its Effect on soil permeability in Borujerd-Doroud Plain Using statistical and geostatistical analysis. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, *8(25)*, pp. 27-38. (In Persian)

30- Safadoust, A., Dasht Pima, B., Mosadeghi, M. R. and Asgarzadeh, H., 2018. Effects of Irrigation Water Quality on Some Soil Physical Indicators, *Applied Soil Research*, 6(2), pp. 58-69. (In Persian)

31- Sakizadeh, M. 2017. The Quality Variation of Groundwater in Malayer City with an Emphasis on the Impacts of Agricultural Land Use on the Quality of Water. *Human & Environment, 15(1)*, pp. 25-36. (In Persian).

32- Shiri, N. and Nourani, V., 2021. Qualitative zoning of Tabriz Plain groundwater Resources with using WQI, *Hydrogeology*, https://hydro.tabrizu.ac.ir/article_12703.html?lang=en. (In Persian)

33- Silva, M.I., Gonçalves, A.M.L., Lopes, W.A., Lima, M.T.V., Costa, C.T.F., Paris, M., Firmino, P.R.A. and De Paula Filho, F.J., 2021. Assessment of groundwater quality in a Brazilian semiarid basin using an integration of GIS, water quality index and multivariate statistical techniques. *Journal of Hydrology*, *598*, p.126346.

34- Solgi, E. and Nasiri, M., 2019. Zoning of Some Drinking Water Quality Parameters Using GIS (Case Study: Malyer City). *Irrigation and Water Engineering*, *9(4),* pp. 177-190. (In Persian).

35- Taloor, A.K., Pir, R.A., Adimalla, N., Ali, S., Manhas, D.S., Roy, S. and Singh, A.K., 2020. Spring water quality and discharge assessment in the Basantar watershed of Jammu Himalaya using geographic information system (GIS) and water quality Index (WQI). *Groundwater for Sustainable Development*, *10*, p.100364.

36- Tong, S., Li, H., Tudi, M., Yuan, X. and Yang, L., 2021. Comparison of characteristics, water quality and health risk assessment of trace elements in surface water and groundwater in China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *219*, p.112283.

37- Toolabi, A., Bonyadi, Z., Paydar, M., Najafpoor, A.A. and Ramavandi, B., 2021. Spatial distribution, occurrence, and health risk assessment of nitrate, fluoride, and arsenic in Bam groundwater resource, Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, *12*, p.100543.

38- Udeshani, W.A.C., Dissanayake, H.M.K.P., Gunatilake, S.K. and Chandrajith, R., 2020. Assessment of groundwater quality using water quality index (WQI): A case study of a hard rock terrain in Sri Lanka. *Groundwater for Sustainable Development*, *11*, p.100421.

39- Verma, P., Singh, P.K., Sinha, R.R., and Tiwari, A.K., 2020. Assessment of groundwater quality status by using water quality index (WQI) and geographic information system (GIS) approaches: a case study of the Bokaro district, India. *Applied Water Science*, 10:27.

40- Wang, Q., Wu, X., Zhao, B., Qin, J. and Peng, T., 2015. Combined multivariate statistical techniques, water pollution index (WPI) and Daniel trend test methods to evaluate temporal and spatial variations and trends of water quality at Shanchong River in the Northwest Basin of Lake Fuxian, China. *PloS one*, *10*(4), p.e0118590.

41- Wang, Z., Jiang, Y., Awasthi, M.K., Wang, J., Yang, X., Amjad, A., Wang, Q., Lahori, A.H. and Zhang, Z., 2018. Nitrate removal by combined heterotrophic and autotrophic denitrification processes: impact of coexistent ions. *Bioresource Technology*. *250*, pp. 838–845.

42- Wilcox, L.V., 1955. Classification and Use of Irrigation Water. US Department of Agriculture, Washington, pp. 19 Circular No. 969.

43- Zanotti, C., Rotiroti, M., Fumagalli, L., Stefania, G.A., Canonaco, F., Stefenelli, G., Prévôt, A.S.H., Leoni, B. and Bonomi, T., 2019. Groundwater and surface water quality characterization through positive matrix factorization combined with GIS approach. *Water Research*, *159*, pp.122-134.