Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Temporal and spatial investigation of groundwater quality with emphasis on industrial uses in Sefid-Rud Basin

Ebrahim Yousefi Mobarhan[1]*, Ebrahim Karimi Sanghchini[2], Sakineh Lotfinasabasl[3]

[1] Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Semnan, Iran
[2] Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Lorestan, Iran
[3] Assistant Professor, Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Abstract

Introduction

In most regions of Iran, the requisite water for population and industry is supplied by groundwater resources. Drought is an important factor, which affects groundwater quality. Groundwater is a renewable, limited, and vital resource for human life, social, and economic development. It is a valuable part of the ecosystem and is vulnerable to natural and human effects. Recognizing the quality of underground water, as one of the most important and vulnerable sources of water supply, has been a matter of course in recent decades. The effects of corrosiveness and sedimentation in water supply systems, water transmission, and distribution can increase operating costs and also create negative effects on human health. Therefore, the science of water quality will remain an important issue for engineers and scientists for years to come. Many methods and techniques have been invented and developed to investigate the chemical quality of water. Excessive harvests and recent meteorological droughts have changed the quality of underground water, but so far no study has been conducted in the entire Sefid-Rud Basin area to investigate the quality and the process of its changes. Therefore, the purpose of this study is to investigate the chemical quality of Sefid-Rud water which is used for the industry.

Materials and Methods

In this research, the chemical quality of underground water sources in the Sefid-Rud Basin has been studied and analyzed using the results of the qualitative analysis of water samples in deep wells, semi-deep wells, springs, and aqueducts, separately for three periods and according to the common statistical period of 18 years (2001-2018). The analyzed statistics and information include the results of a complete chemical analysis of water and parameters such as electrical conductivity (EC) values, total dissolved substances (TDS), pH, cations (Ca, Mg, Na, and K), anions (Cl, SO4, HCO3, and CO3), Na, and sodium absorption ratio (SAR) have been investigated. Water used by industries depending on the type of consumption in different sectors should also have certain qualities and characteristics. In this research, the Langiler index, which is an index for Corrosion and Scaling, was used to classify water quality for industrial purposes. To this end, the chemical quality of water in terms of chemical balance and occurrence of corrosion and scaling phenomena of underground water was classified into three categories: sedimentation, balanced, and corrosive. The Langelier index was used to measure water quality for the industry.

Results and Discussion

In the statistical analysis of groundwater in the Sefid-Rud Basin, while determining the maximum, minimum, and average values of qualitative parameters at the level of the study areas, the trend of qualitative changes at the level of their aquifers according to the EC map of the groundwater, has been analyzed. In the whole period of 18-year statistics (2001-2018) in the Goltapeh-Zarinabad and Tarom-Khalkhal areas, the average values of EC and TDS are higher than in other areas. there has been an increasing trend in the Goltapeh-Zarinabad area during the three study periods. Among the cations, the calcium ion had the highest amount (except for Goltapeh-

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Zarinabad and Tarom-Khalkhal areas), followed by the sodium ion. The highest amount of Na ion was observed in the area of Tarom-Khalkhal, the highest amount of Ca ion was observed in the Divandareh-Bijar, and the highest amount of Mg ion was observed in the Taleghan-Alamot. HCO3 and then SO4 ions were the main anions in the entire statistical period and all the study areas. It followed a relatively constant trend in all the study periods. According to the qualitative classification of industrial water, about 67% of the samples have corrosive properties and about 32% are depositors.

Conclusion

The values of EC and TDS in the three statistical periods in the area of Goltapeh-Zarinabad had an increasing trend. The sodium absorption ratio (SAR) in the entire statistical period was 2.9% with a maximum in the Tarom-Khalkhal range and a minimum of 0.8% in the Manjil and Sojas ranges. It shows the maximum values of cations for Ca ions with 3.6 in the Divandareh-Bijar range, Na with a value of 5.8 in the Tarom-Khalkhal range, and Mg with a value of 3.8 in the Goltapeh-Zarinabad range. Besides, the maximum amounts of anions including HCO3, SO4, and Cl were in Astane-Kuchesfehan, Divandareh-Bijar, and Tarom-Khalkhal areas, respectively. Qualitative assessment of groundwater resources in the Sefid-Rud Basin area for industrial use based on the Langiller index shows that the changing trend of this index has been relatively stable in the three periods, and out of 360 sources in the basin, 241 are corrosive sources, 115 are sedimentary sources and four sources have had a balanced situation. The analysis of qualitative zoning maps for industrial purposes showed that the Astana-Kuchsefahan and Divandre-Bijar aquifers, the central part of the Zanjan aquifer, and the western areas of the Goltape-Zarinanabad aquifer have sedimentation characteristics and other aquifers have corrosive characteristics.

Keywords: Corrosion index, Sedimentation, Sefid-Rud Basin, Trend, Water quality

Article Type: Research Article

Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to the Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO) for the financial and logistical supports who significantly contributed during the research project.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data availability statement:

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Ebrahim Yousefi Mobarhan: Writing - original draft preparation; **Ebrahim Karimi Sanghchini**: Resources, Software, Manuscript editing; **Sakineh Lotfinasabasl**: Conceptualization, methodology.

*Corresponding Author, E-mail: e.yousefi.m@gmail.com

Citation: Yousefi Mobarhan, E., Karimi Sanghchini, E., & Lotfinasabas, S. (2024). Temporal and spatial investigation of groundwater quality with emphasis on industrial uses in Sefid-Rud Basin . *Water and Soil Management and Modeling, 4*(1), 119-134.
DOI: 10.22098/mmws.2023.12220.1211

Received: 25 January 2023, Received in revised form: 10 February 2023, Accepted: 11 February 2023, Published online:11 February 2023
Water and Soil Management and Modeling, Year 2024, Vol. 4, No. 1, pp. 119-134

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۲۵٤٦

بررسی زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی با تأکید بر مصارف صنعتی در حوزهٔ آبریز سفیدرود

ابراهیم یوسفی مبرهن[۱*]، ابراهیم کریمی سنگچینی[۲]، سکینه لطفی‌نسب[۳]

[۱] استادیار، بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سمنان، ایران
[۲] استادیار، بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، لرستان، ایران
[۳] استادیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده

یکی از عوامل مهم و تعیین‌کننده در مصارف مختلف آب، کیفیت شیمیایی آن است. شناخت کیفیت آب زیرزمینی به‌عنوان ابزاری مناسب برای ارزیابی نحوهٔ مدیریت منابع آب در نظر گرفته شده است. بر همین اساس، در این مطالعه با هدف آشکارسازی کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی محدودهٔ حوزهٔ آبریز سفیدرود به‌منظور مصارف صنعتی و نیز بررسی روند تغییرات طی سه دورهٔ آماری (۱۳۹۷-۱۳۸۰)، متغیرهای هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، نسبت جذب سدیم، بی‌کربنات، کربنات، کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم برداشت شده از حوزهٔ آبریز انجام شد. برای نیل به اهداف از اطلاعات ۳۶۰ منبع بهره‌برداری در مقیاس سالانهٔ مربوط به دورهٔ آماری ۱۸ ساله استفاده شد. بر اساس اطلاعات موجود، به‌منظور تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی مصارف آب با شاخص لانژلیه، توزیع متغیرهای مؤثر در کیفیت مصارف صنعتی با استفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش درون‌یابی زمین‌آماری برای منطقهٔ مورد مطالعه انجام گرفت. نتایج روندیابی متغیرهای کیفی آب نشان داد آبخوان طارم-خلخال و گل‌تپه-زرین‌آباد با بیشینهٔ مقادیر هدایت الکتریکی (۱۷۷۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) و کل جامدات محلول (۱۱۳۵ میلی‌گرم بر لیتر)، از کیفیت آب زیرزمینی پایین‌تری نسبت به سایر محدوده‌ها در حوزهٔ آبریز سفیدرود برخوردار است. هم‌چنین، آبخوان طارم-خلخال در دورهٔ ۸۷-۸۰ بالاترین مقدار نسبت جذب سدیم (۳/۹ درصد) را نسبت به سایر آبخوان‌ها نشان داد. ارزیابی کیفیت آب صنعتی، نشان‌گر خورنده بودن ۶۷ درصد و رسوب‌گذار بودن ۳۲ درصد نمونه‌های آبی بود. تحلیل نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی جهت مصارف صنعتی نشان داد که آبخوان آستانه-کوچصفهان و دیواندره-بیجار و بخش مرکزی آبخوان زنجان و نواحی غربی آبخوان گل‌تپه-زرین‌آباد دارای ویژگی رسوب‌گذاری و سایر آبخوان‌ها دارای ویژگی خورندگی هستند. بنابراین، در استفاده از این منابع در صنعت، سامانه‌های آب‌رسانی شهری و کشاورزی، به‌خصوص در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار، می‌بایست تمهیدات لازم در نظر گرفته شود تا کم‌ترین آسیب به لوله‌ها و اتصالات فلزی وارد شود.

واژه‌های کلیدی: حوزهٔ سفیدرود، روند، رسوب‌گذاری، شاخص خورندگی، کیفیت آب

نوع مقاله: پژوهشی

[*] مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: e.yousefi.m@gmail.com

استناد: یوسفی مبرهن، ابراهیم، و لطفی‌نسب، سکینه (۱۴۰۳). بررسی زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی با تأکید بر مصارف صنعتی در حوزهٔ آبریز سفیدرود. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۱)، ۱۱۹-۱۳۴.
DOI: 10.22098/mmws.2023.12220.1211

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۲۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۲، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۱/۲۲
مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۱، صفحه ۱۱۹ تا ۱۳۴
ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

آب به‌عنوان یکی از حیاتی‌ترین عناصر، در تمامی جنبه‌های زندگی انسان از جمله رفاه بشر، توسعهٔ اقتصادی-اجتماعی و حیات بوم‌سازگان نقش بسیار مهمی را بازی می‌کند (An et al., 2014). آب علاوه‌بر این‌که برای زندگی بشر ضروری است، بلکه یکی از عوامل تعیین‌کنندهٔ نوع کیفیت زندگی است (Raju et al., 2011; Raju et al., 2014; Toumi et al., 2015). یکی از منابع مهم تأمین آب شیرین مورد نیاز انسان آب زیرزمینی است که بعد از یخچال‌ها بزرگ‌ترین ذخیرهٔ آب شیرین زمین را تشکیل می‌دهد (Todd and Mays, 2005). آب‌های زیرزمینی منابع تجدیدپذیر، محدود و حیاتی برای زندگی انسان، توسعهٔ اجتماعی و اقتصادی و یک جزء با ارزش از بوم‌سازگان و نسبت به اثرات طبیعی و انسانی آسیب‌پذیر هستند (Singh et al., 2011). در سال‌های اخیر به‌دلیل کاهش شدید حجم آب‌های زیرزمینی، بررسی کیفیت آن‌ها و به تبع آن حفاظت از آن‌ها حائز اهمیت بوده است. کیفیت آب تابعی از متغیرهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است و به‌طور عمده توسط دو عامل طبیعی و انسانی کنترل می‌شود. فرآیندهای طبیعی از قبیل زمین‌شناسی منطقه، سرعت حرکت آب زیرزمینی، کیفیت آب تغذیه شده، تعامل آب با سنگ و خاک، واکنش با آبخوان‌های دیگر و فعالیت‌های مربوط به دخالت انسان شامل فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی، توسعهٔ شهری و افزایش بهره برداری از منابع آب هستند (Chan, 2001).

در حال حاضر شناخت کیفیت آب‌های زیرزمینی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و آسیب‌پذیرترین منابع تأمین آب بوده است (Shokuhi et al., 2012). واضح است که شناخت بهتر روابط مکانی و زمانی بین کیفیت آب و متغیرهای جغرافیایی و محیطی می‌تواند نقش مهمی در برنامه‌ریزی مؤثر و کارآمد منابع داشته باشد. بسیاری از صنایع از آب برای مصارف مختلفی چون خنک کردن دستگاه‌ها، تولید مواد، استفاده در دیگ‌های بخار و نیروگاه‌های برق آبی و غیره استفاده می‌کنند. آب‌ها می‌توانند حالت خوردگی و یا حالت رسوب‌گذاری داشته باشند که در دو حالت اثرات نامطلوبی در صنعت دارند (Lotfinasabasl et al., 2020). اثرات خورندگی و رسوب‌گذاری در سامانه‌های آب‌رسانی، انتقال و توزیع آب، می‌تواند سبب افزایش هزینه‌های بهره‌برداری و ایجاد اثرات منفی برای سلامتی انسان شود (Ehsani et al., 2013; Bamdad Machiani et al., 2014). بنابراین، علم کیفیت آب به‌عنوان یک موضوع مهم برای مهندسین و دانشمندان برای سال‌های آتی باقی خواهد ماند (Arand et al., 2008).

روش‌های متعددی به‌منظور بررسی کیفیت شیمیایی آب، ابداع شده و توسعه یافته‌اند (Kelly, 1940; Najafzadeh and Zahiri, 2015; Najafzadeh and Tafarojnoruz, 2016). به‌عنوان مثال، هیدروژئوشیمیایی حوزهٔ آبخیز دامنهٔ سهند با استفاده از ترسیم دیاگرام پایپر توسط Naseri et al. (2010) مورد ارزیابی قرار گرفت. آن‌ها رخساره و تیپ آب زیرزمینی این حوزهٔ را کلسیم/سدیم بی‌کربناته معرفی کردند. هم‌چنین، کیفیت آب را از نظر شرب و کشاورزی، مناسب ارزیابی نمودند. در پژوهشی، Khmer et al. (2011) با بررسی کیفیت منابع آب در منطقهٔ معدنی کوه‌زر در غرب تربت حیدریه، پس از اندازه‌گیری کاتیون‌ها و آنیون‌های نمونه‌های آب برداشت شده از منابع زیرزمینی، تیپ آب منطقه را Na-Cl و $Na-HCO_3$ مشخص کردند و کیفیت آب را بر اساس نمودارهای شولر و ویلکاکس، از نظر شرب و کشاورزی نامناسب معرفی کردند. در پژوهش دیگری، Sahbaei Lotfi (2013) به بررسی وضعیت رودخانهٔ بابا امان از سرشاخه‌های رودخانهٔ اترک برای مصارف شرب، صنعت و کشاورزی و تغییرات درازمدت کیفیت آن پرداختند. نتایج مطالعه بر اساس نمودار ویلکاکس و شولر ترسیم شدند. نتایج نشان داد، آب این رودخانه در محل ایستگاه برای مصارف کشاورزی و شرب مناسب است و املاح آب در محل این ایستگاه در حال افزایش است. هم‌چنین، Hoseinsarbazy and Esmaili (2014) با بررسی شاخص‌های رسوب‌گذاری و خورندگی کیفیت آب زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که تمامی نمونه‌ها در دشت نیشابور دارای خاصیت رسوب‌گذاری می‌باشند. در ادامه، بررسی کیفیت هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی حوزهٔ سیاهو توسط Gholamdokht Bandari et al. (2018) انجام شد. آن‌ها نشان دادند با توجه به شاخص کیفی ویلکاکس و شولر آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در حد متوسط و از نظر شرب در حد قابل قبول قرار گرفتند و از نظر ضریب اشباع لانژلیه منابع آبی موجود خورنده تا رسوب‌گذار ارزیابی کردند. از دیگر پژوهش‌ها، Sadeghi Aghdam et al. (2019) به بررسی و پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت نقده جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت پرداختند. ارزیابی کیفیت آب صنعتی، نشان‌گر رسوب‌گذار بودن ۶۱ درصد و خورنده بودن ۳۹ درصد نمونه‌های آبی منطقهٔ مورد مطالعه بود.

ارزیابی کیفیت آب رودخانهٔ کوپال توسط Lotfinasabasl et al. (2020) بررسی شد که نتایج نشان داد، از کیفیت آب برای مصارف سه‌گانه (شرب، کشاورزی و صنعت) با حرکت به سمت سال‌های پایانی به‌خصوص پنج سال اخیر مورد مطالعه، به‌شدت کاسته شده است و به لحاظ صنعتی آب این رودخانه اثرات رسوب‌گذاری دارد. در مطالعه‌ای، Jiang et al. (2020)

خصوصیات هیدروشیمیایی و ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌ها را در مناطق مختلف شهرها مورد بررسی قرار دادند. نتایج ارزیابی کیفیت آب آبیاری نشان داد که نمونه‌های رودخانۀ Tuo دارای نمک زیاد و قلیایی کم، هستند و در شرایط آبشویی مناسب خاک می‌تواند برای آبیاری استفاده شوند، در حالی‌که نمونه‌های آب رودخانۀ Bian دارای نمک زیاد بودند و برای آبیاری گیاهان شورپسند مناسب خواهند بود. در ادامه، Chai et al. (2020) به بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی شهر دهوی در چین، بر اساس تحلیل آماری چندمتغیره پرداختند. نتایج حاصل برای توسعه و مدیریت منابع آب زیرزمینی مفید خواهد بود. هم‌چنین، کیفیت منابع آبی آبخوان کارستی روئین اسفراین استان خراسان شمالی توسط Motamedi Rad et al. (2021) بررسی شد. کیفیت آب چشمه‌های منطقه از لحاظ مصارف صنعتی نیز نشان داد کلیۀ نمونه‌های آب منطقه به‌جز چشمۀ سنگوا که دارای آب با خاصیت رسوب‌گذار است، دارای خاصیت خورنده می‌باشند. در نهایت، Yousefi et al. (2022) ارزیابی کیفیت آب قنات‌ها جهت مصارف مختلف در نائین بررسی نمودند و نمودارهای شولر، ویلکوکس و پایپر را ترسیم و کیفیت قنات‌ها برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت تعیین کردند و اکثر قنات‌های موردمطالعه جزء گروه رسوب‌گذار بودند و تنها دو قنات حیدرآباد و آرند در ردۀ خورنده از نظر کیفیت آب برای مصارف صنعت قرار داشتند. با مرور منابع مشخص شد، شاخص لانژلیه از شاخص‌های بسیار کاربردی و قابل اعتمادی در تعیین کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف صنعتی بوده و استفاده پژوهش‌گران از این شاخص موید این مطلب است.

در حوزۀ آبریز سفیدرود، بخش صنعت و معدن تقریباً دارای ۳۳۰۰ واحد صنعتی پراکنده و مجتمع است که در آن‌ها جمعیتی بالغ بر ۴۷۸۶۹ نفر مشغول به‌کار هستند (Mahab Quds Consulting Engineers, 2012). حوزۀ آبریز سفیدرود بخشی از استان‌های گیلان، آذربایجان‌شرقی، زنجان، تهران و کردستان را در بر گرفته است. این موقعیت حوزۀ آبریز سفیدرود می‌تواند فرصتی برای توسعۀ بخش صنعت و معدن است، اما توسعۀ این امر در گرو تأمین نیاز آبی پایدار است که با توجه به کمبود منابع آب دسترس در این حوزۀ و وابستگی شدید به منابع آب زیرزمینی می‌بایست بسیار مورد توجه واقع شود. از آن‌جایی‌که برداشت‌های بی‌رویه، خشکسالی‌های هواشناسی و روند تغییرات اقلیمی در دهه‌های اخیر شدت بیش‌تری یافته و موجب تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی شده است و از طرفی هنوز مطالعۀ همه‌جانبه و جامع کیفیت آب زیرزمینی در مصارف مختلف به‌ویژه جهت مصارف صنعتی در کل حوزۀ آبریز سفیدرود انجام نشده است، لذا این پژوهش سعی دارد، روند متغیرهای تأثیرگذار در کیفیت آب زیرزمینی در دوره‌های زمانی و محدوده‌های مکانی حوزۀ آبریز سفیدرود را بررسی کند و با استفاده از GIS، تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی را در منطقۀ مورد مطالعه برای مصارف صنعتی با شاخص لانژلیه پهنه‌بندی نماید که نتایج حاصله می‌توانند به‌منظور برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری مناسب منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقۀ مورد مطالعه

حوزۀ آبریز سفیدرود در تقسیم‌بندی کلی هیدرولوژی ایران، بخشی از حوزۀ آبریز دریای خزر محسوب شده و در محدودۀ تلاقی رشته کوه‌های البرز، زاگرس و مرکزی قرار دارد. این حوزۀ آبریز در طول ´۲۷ °۴۶ تا ´۱۱ °۵۱ شرقی و عرض ´۵۳ °۳۴ تا ´۵۶ °۳۷ شمالی قرار گرفته است، و از شمال به حوزه های آبریز تالش و ارس، از شرق به حوزه‌های آبریز دریای نمک و هراز تـا سفیدرود، از غرب به حوزۀ دریاچۀ ارومیه و از جنوب به حوزه‌های کرخه و سیروان منتهی می‌شود. مساحت حوزۀ آبریز آن برابر ۵۹۵۲۹ کیلومتر مربع بوده و بر اساس تقسیمات کوه و دشت تمـاب (سـازمان مدیریت منابع آب) ۴۳۳۷۳ کیلومتر مربع آن معادل ۷۲/۹ درصد در مناطق کوهستانی و حدود ۲۷/۱ درصـد آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها تشکیل داده است. در این حوزۀ آبریز دشت‌ها در دو بخـش علیا و بخش پایاب حوزۀ آبریز واقع شده و مناطق مرکزی آن کوهستانی است. بیش‌ترین ارتفاع ایـن حوزۀ آبریز ۴۳۵۵ متـر در ناحیۀ شرقی حوزۀ آبریز و بالای حوزۀ آبریز رودخانۀ شاهرود است. کم‌ترین ارتفاع آن نیز نـوار سـاحلی دریای خزر است. حدود ۴۲۰۰۰ کیلومتر از اراضی این حوزۀ آبریز (بیش از ۷۷ درصد سطح حوزۀ آبریز) در ارتفاع۱۳۰۰ تا ۲۳۰۰ متر واقع شده است. بیش از ۲۵۰۰۰ کیلومترمربع از اراضی این حوزۀ آبریز (۴۲/۶ درصد اراضی) در شیب‌های کم‌تر از ۸ درصد واقع شده و با توجه به طبقه‌بندی شیب فائو، کلاس شیب ۲۵-۱۲ درصد با پوشش ۲۲/۷ درصدی از کل، بیش‌ترین سطح را در حوزۀ آبریز دارا است (Mahab Quds Consulting Engineers, 2012).

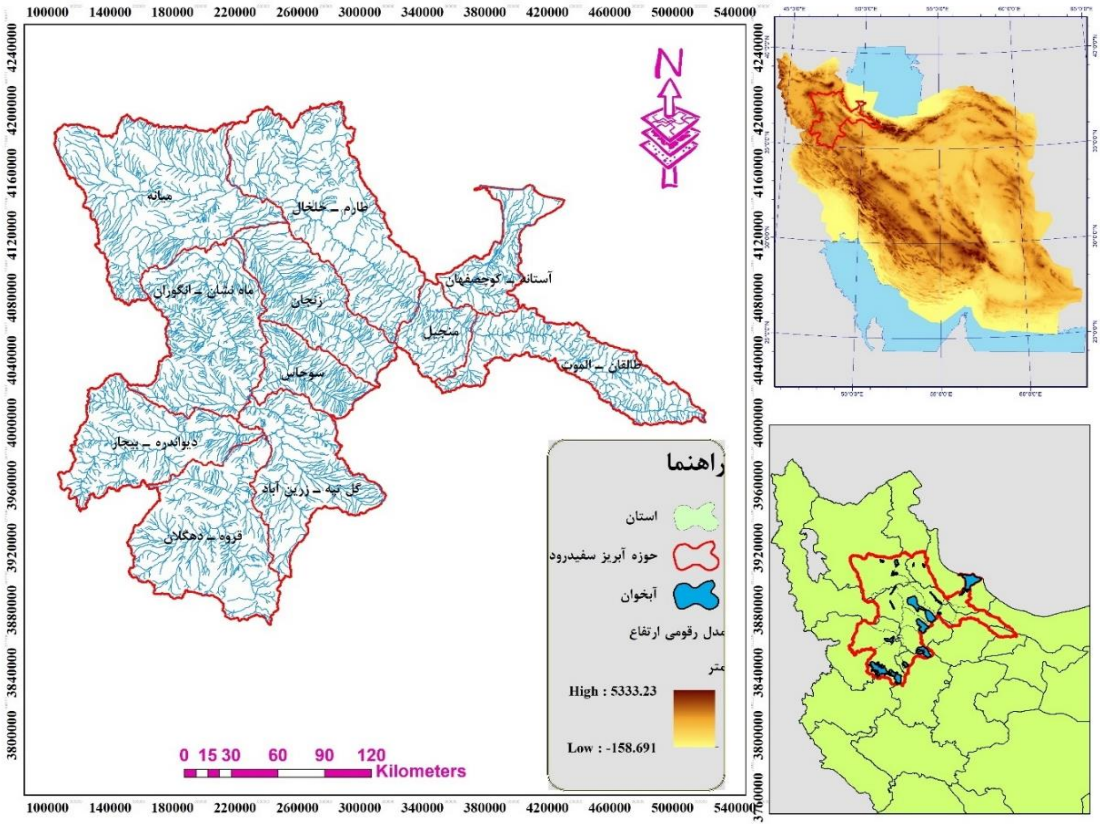
سفیدرود رودخانۀ اصلی این زیرحوزۀ آبریز است که از دو شاخۀ اصلی قزل اوزن و شاهرود تشکیل شده است و رژیم جریان آن برفی-بارانی است. حوزۀ آبریز سفیدرود را می‌توان به سه قسمت بالایی یعنی بالاتر از ایستگاه قره‌گونی (شاخه‌های واقع در استان کردستان)، قسمت میانی از روستای استور تا قره‌گونی و شاخۀ شاهرود و قسمت پایینی از روستای استور تا محل خروجی آن به دریای خزر تقسیم‌بندی کرد. در حوزۀ

رودخانهٔ قزل اوزن–سفیدرود ۲۱ رودخانهٔ اصلی به نام‌های چم‌تلوار، چم‌شور، شورچای، گامیشکای‌رود، سجاس، زنجان‌رود، انگوران‌چای، آیدوغموش، قرن‌قوچای، شهرچای، تیرچای، گرمی‌چای، آرپاچای، امام رود، طالقان رود، الموت رود، ذیلکی رود، فیروه‌رود، گوهررود، سیاه رود و دیشام رود قرار دارد. شکل‌های ۱ و ۲ به‌ترتیب موقعیت حوزهٔ آبریز سفیدرود در بین حوزه‌های آبریز ایران و موقعیت مکانی منابع بهره‌برداری از آب زیرزمینی را نشان می‌دهند.

۲-۲- آمار و اطلاعات کیفی

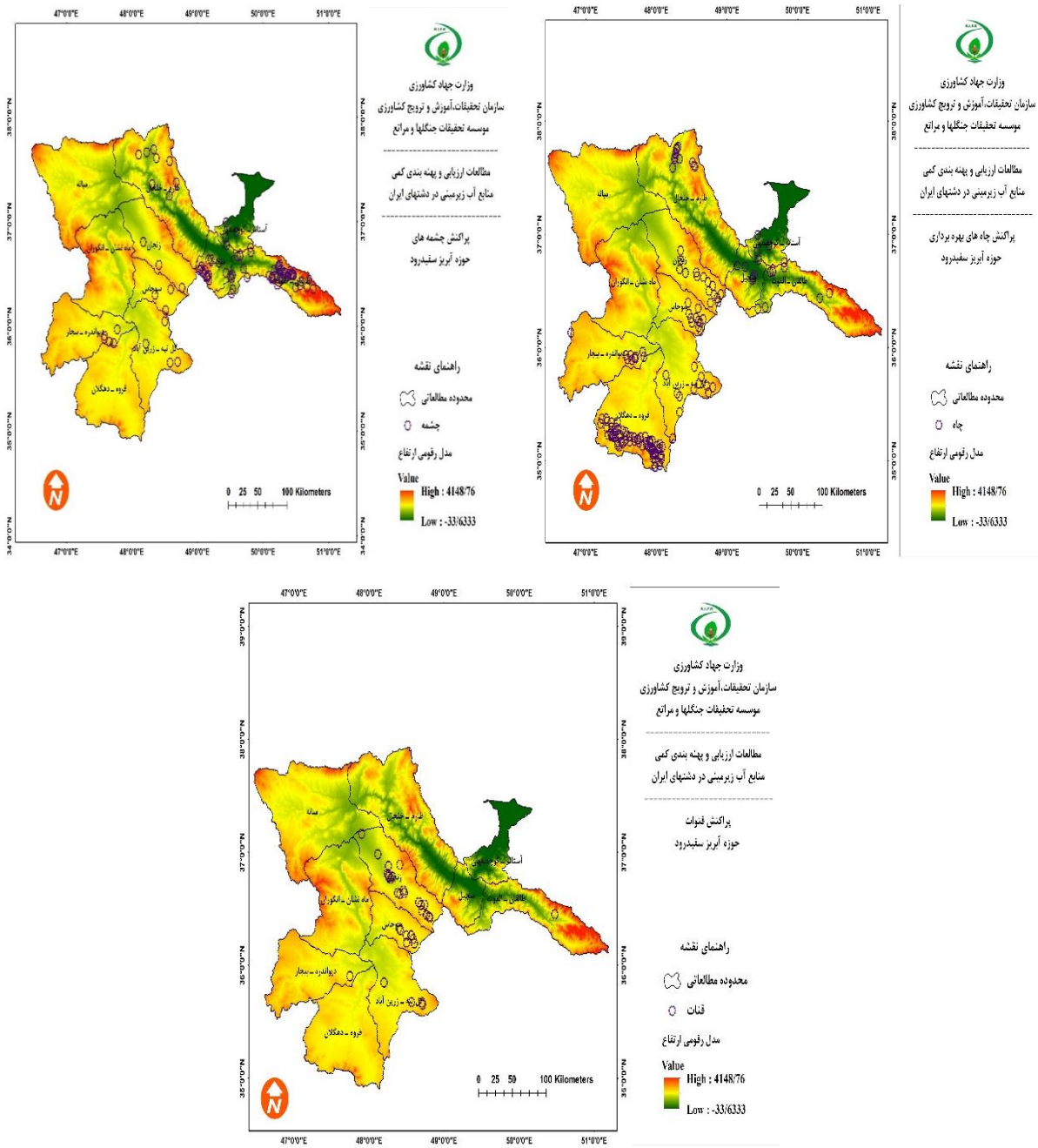
آمار و اطلاعات از منابع انتخابی کیفی در حوزهٔ آبریز سفیدرود برای ۱۱ محدودهٔ مطالعاتی (آستانه–کوچصفهان، دیواندره–بیجار، زنجان، سوجاس، ماه‌نشان–انگوران، میانه، طارم– خلخال، طالقان–الموت، قروه–دهگلان، گل‌تپه–زرین‌آباد و منجیل) در دسترس است. اولین گام در استفاده از داده‌های کیفیت آب، بررسی دقت داده‌های برداشت شده است. در بررسی داده‌های کیفی آب زیرزمینی پس از بررسی‌های اولیهٔ اطلاعات آخرین دوره نمونه‌برداری و برطرف نمودن خطاهای موجود، نمونه‌های دارای درصد خطای یونی بالاتر از پنج درصد مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار نگرفتند. لازم به ذکر است به‌همین دلیل، نُه محدوده (به‌جز محدوده‌های ماه‌نشان–انگوران و میانه) در تحلیل پارامترهای کیفی آب حوزهٔ آبریز سفیدرود استفاده شد و جمعا ۳۶۰ منبع آب زیرزمینی کیفی با ۷۰۹۹ نمونه آب به‌منظور سنجش کیفیت آب در آبخوان‌های این حوزهٔ آبریز برداشته شده است.

در پژوهش حاضر کیفیت شیمیایی منابع آب زیرزمینی در حوزهٔ سفیدرود با استفاده از نتایج تحلیل کیفی نمونه‌های آب در محل چاه‌های عمیق، نیمه‌عمیق، چشمه‌ها و قنات‌ها به تفکیک سه دوره (دوره‌های ۱۳۸۷–۱۳۸۰، ۱۳۹۲–۱۳۸۸ و ۱۳۹۷–۱۳۹۳) و برحسب دورهٔ آماری مشترک ۱۸ ساله (۱۳۹۷–۱۳۸۰) مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. آمار و اطلاعات مورد بررسی شامل نتایج حاصل از تحلیل کامل شیمیایی آب است و متغیرهایی نظیر مقادیر هدایت الکتریکی، مجموع مواد محلول، اسیدیته، کاتیون‌ها (کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم)، آنیون‌ها (کلر، سولفات، بی‌کربنات و کربنات)، درصد سدیم، نسبت جذب سدیم مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۱- موقعیت حوزهٔ آبریز سفیدرود و آبخوان‌های موجود در آن

Figure 1- Location of Sefid-Rud Basin and its aquifers



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها در حوزهٔ آبریز سفیدرود

Figure 2- Geographical location of wells, springs, and aqueducts in Sefid-Rud Basin

۲-۳- شاخص کیفیت آب بر اساس مصارف صنعتی

شاخص لانژلیه (Langelier) برای سنجش کیفیت آب برای صنعت بر اساس رابطه‌های (۱) و (۲) استفاده شد (Llyod and Heathcote, 1985; Rahimi et al., 2016; Sadeghi Aghdam et al., 2019).

$$LI = PH_a - PH_s \quad (۱)$$

$$PH_s = A + B + C \quad (۲)$$

در معادلات فوق، pH: اسیدیتهٔ اندازه‌گیری شده آب، pH_c: اسیدیتهٔ اصلاح شده، A: لگاریتم منفی مجموع غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، B: لگاریتم منفی مجموع غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم و C: لگاریتم منفی یون‌های کربنات و بی‌کربنات است. در این رابطهٔ (۲) غلظت یون‌ها بر حسب اکی والان بر لیتر است. در این رابطهٔ (۱) LI شاخص لانژلیه است که شاخصی برای بیان خوردگی و رسوب‌گذاری بیان می‌کند. جدول ۱ طبقه‌بندی کیفیت آب برای مصارف صنعتی بر اساس شاخص لانژلیه (LI) را نشان می‌دهد. آب‌های دارای شاخص اشباع منفی، خورنده بوده و می‌تواند روی منصوبات چاه و

تأسیسات آب‌رسانی اثر نامطلوب برجای گذارد. آب‌های دارای شاخص اشباع مثبت، رسوبده بوده و استفاده از آن‌ها در دیگ‌های بخار و گرمکن‌های فشار ضعیف در صنعت جایز نیست. آب‌هایی با شاخص اشباع صفر دارای حالت تعادل بوده و خاصیت خوردندگی و رسوب‌دهی ندارند (Gholamdokht Bandari et al., 2018).

به‌منظور نمایش داده‌های کیفیت آب و روند تغییرات عوامل مؤثر در کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف صنعتی، از پهنه بندی استفاده می‌شود (Yang et al., 2004). نقشهٔ توزیع هر یک از عوامل مؤثر در طبقه‌بندی برای ۳۶۰ نقطه نمونه‌برداری شده، در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5 با استفاده از روش کریجینگ تهیه شد. روش درون‌یابی کریجینگ بر اساس میانگین متحرک وزن‌دار محاسبه می‌شود و بهترین تخمین‌گر خطی ناریب با حداقل واریانس تخمین است (Nadiri et al., 2015). هر یک از عوامل مؤثر در طبقه‌بندی کیفی آب با توجه به نوع کاربری شرب، کشاورزی و صنعت به روش درون‌یابی کریجینگ عادی و مدل نوع Gaussian تهیه شد. در ادامه، هر یک از لایه‌ها بر اساس شاخص لانژلیه (صنعتی) طبقه‌بندی شدند.

جدول ۱- کیفیت آب‌های زیرزمینی حوزهٔ آبریز سفید رود بر اساس شاخص لانژلیه (Lotfinasabasl et al., 2020)

Table 1- Quality of underground water in Sefid-Rud Basin based on Langelier index (Lotfinasabasl et al., 2020)

مقدار (LI)	کیفیت (لانژلیه)
LI<0	آب فوق اشباع است و تمایل به رسوب‌گذاری $CaCO_3$ دارد.
LI=0	آب از $CaCO_3$ اشباع است و تمایل به ایجاد یا تجزیهٔ $CaCO_3$ ندارد.
LI>0	آب زیر اشباع است و تجزیهٔ $CaCO_3$ جامد انتظار نمی‌رود.

۳- نتایج و بحث

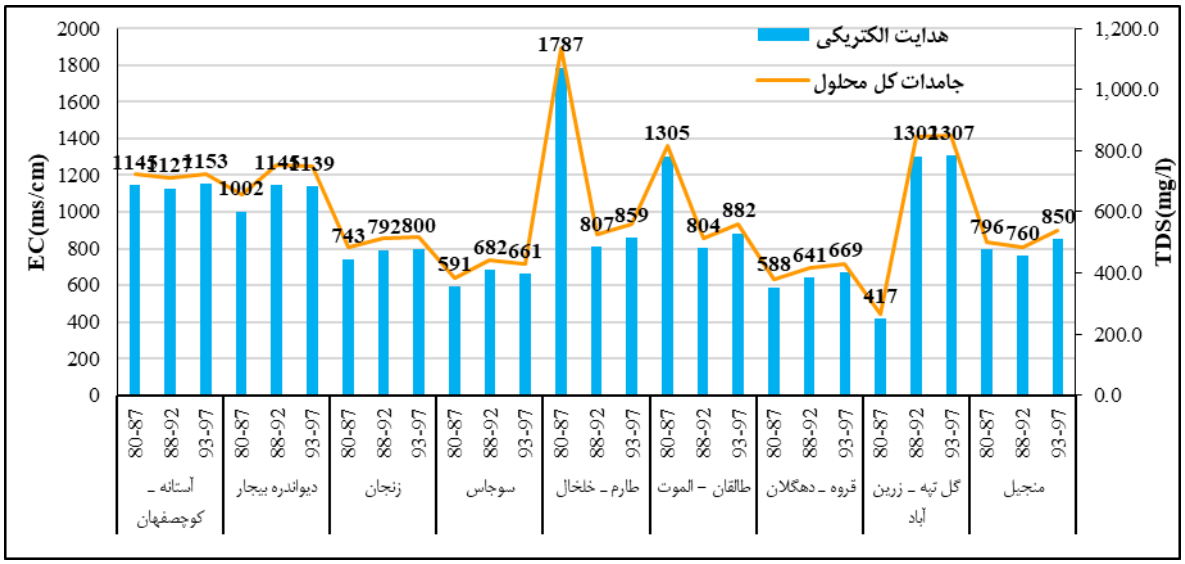
۳-۱- تحلیل آمار و اطلاعات کیفی

در تحلیل آماری آب‌های زیرزمینی در حوزهٔ آبریز سفیدرود، ضمن تعیین بیشینه، کمینه و میانگین مقادیر متغیرهای کیفی در سطح محدوده‌های مطالعاتی و روند تغییرات کیفی در سطح آبخوان‌های آن‌ها با توجه به نقشهٔ هدایت الکتریکی آب زیرزمینی بررسی و تحلیل شده است.

با توجه به شکل ۳، مشاهده می‌شود که در کل هفت محدودهٔ حوزهٔ آبریز سفیدرود و در هر سه مقیاس زمانی مقدار شوری از حداکثر مقدار ارائه شده توسط ویلکاکس (۲۲۵۰) کم‌تر بوده و می‌توان گفت که حوزهٔ آبریز سفیدرود وضعیت مناسبی از نظر شوری دارد. در کل دورهٔ آماری ۱۸ ساله (۱۳۹۷-۱۳۸۰) مورد بررسی در محدودهٔ گل‌تپه-زرین‌آباد و طارم-خلخال میانگین مقادیر EC و TDS بیش‌تر از سایر محدوده‌ها بوده و محدودهٔ گل‌تپه-زرین‌آباد در طی سه دورهٔ زمانی مورد مطالعه، روند افزایشی داشته است. هم‌چنین، در محدودهٔ قروه-دهگلان میانگین مقادیر EC و TDS در دورهٔ آماری ۱۸ ساله کم‌تر از سایر محدوده‌ها است (شکل ۳). لازم به ذکر است که آبخوان قروه-دهگلان روند افزایشی هدایت الکتریکی در هر سه دورهٔ آماری را نشان می‌دهد که با یافته‌های Abbasi et al. (2016) هم‌خوانی دارد به‌طوری که آن‌ها بیان داشتند کیفیت آب زیرزمینی در دشت قروه-دهگلان رو به کاهش است و اگر روند کنونی ادامه یابد در آیندهٔ نزدیک می‌تواند بحران‌های زیادی را از نظر مصارف مختلف ایجاد کند.

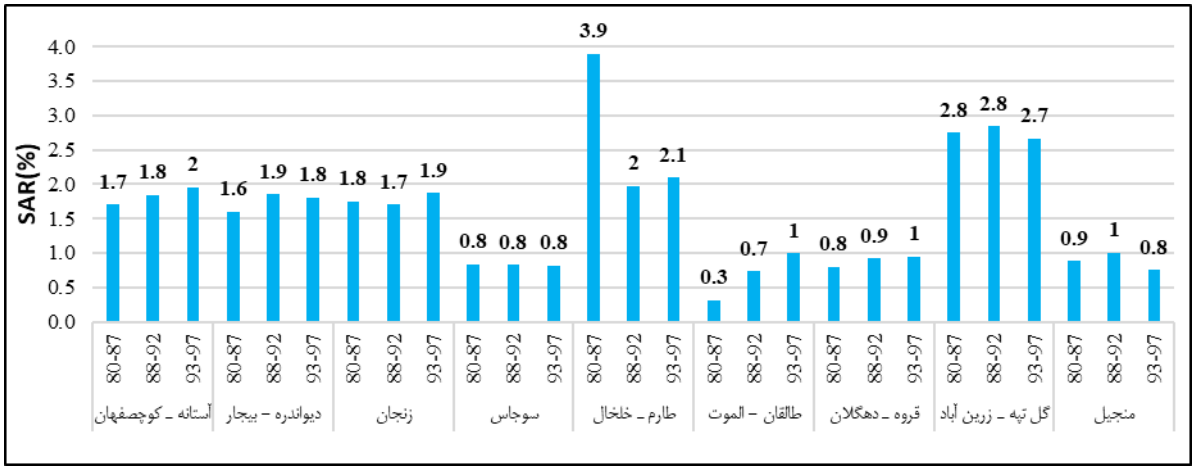
بیشینه هدایت الکتریکی (EC) و جامدات کل محلول (TDS) در دورهٔ زمانی ۱۳۸۷-۱۳۸۰ بوده که به‌ترتیب در محدودهٔ طارم-خلخال (۱۷۷۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و ۱۰۹۹ میلی‌گرم بر لیتر) و محدودهٔ گل‌تپه-زرین‌آباد (۴۱۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و ۲۶۶ میلی‌گرم بر لیتر) مشاهده شده است. علاوه‌بر این، نتایج نشان داد افزایش TDS تأثیر فراوانی بر افزایش هدایت الکتریکی به‌خصوص در سال‌های انتهایی مورد مطالعه داشته است. شکل ۴ نشان می‌دهد که مقدار نسبت جذب سدیم (SAR) در محدودهٔ گل‌تپه-زرین‌آباد و طارم-خلخال نسبت به سایر محدوده‌ها بیش‌تر است هم‌چنین، بیشینه و کمینه مقدار نسبت جذب سدیم مربوط است به سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۸۰ که به‌ترتیب در محدودهٔ طارم-خلخال (۳/۹ درصد) و محدودهٔ طالقان-الموت (۰/۳ درصد) مشاهده شده است.

با توجه به شکل ۵، در بین کاتیون‌ها، بیش‌ترین مقدار مربوط به یون کلسیم بوده (به جز محدودهٔ گل‌تپه-زرین‌آباد و طارم-خلخال) و بعد از آن یون سدیم بیش‌ترین مقدار را داشته است. این احتمال می‌رود وجود یون کلسیم به‌دلیل وجود انحلال کانی‌های کربناته در زمین‌شناسی منطقه باشد. هم‌چنین، انحلال کانی‌های کربناته از جمله دولومیت و کلسیت و کانی‌های حاوی یون منیزیم می‌تواند دلیل افزایش منیزیم آب باشد. بیش‌ترین میزان یون سدیم در محدودهٔ طارم-خلخال، بیش‌ترین میزان یون کلسیم در محدودهٔ دیواندره-بیجار، بیش‌ترین میزان یون منیزیم در محدودهٔ طالقان-الموت مشاهده شد. یون بی‌کربنات و بعد از آن یون سولفات آنیون‌های غالب در کل دورهٔ آماری و در تمامی محدوده‌های مطالعاتی بوده و در تمامی سال‌های مورد بررسی روند نسبتا ثابت را داشته است (شکل ۶).



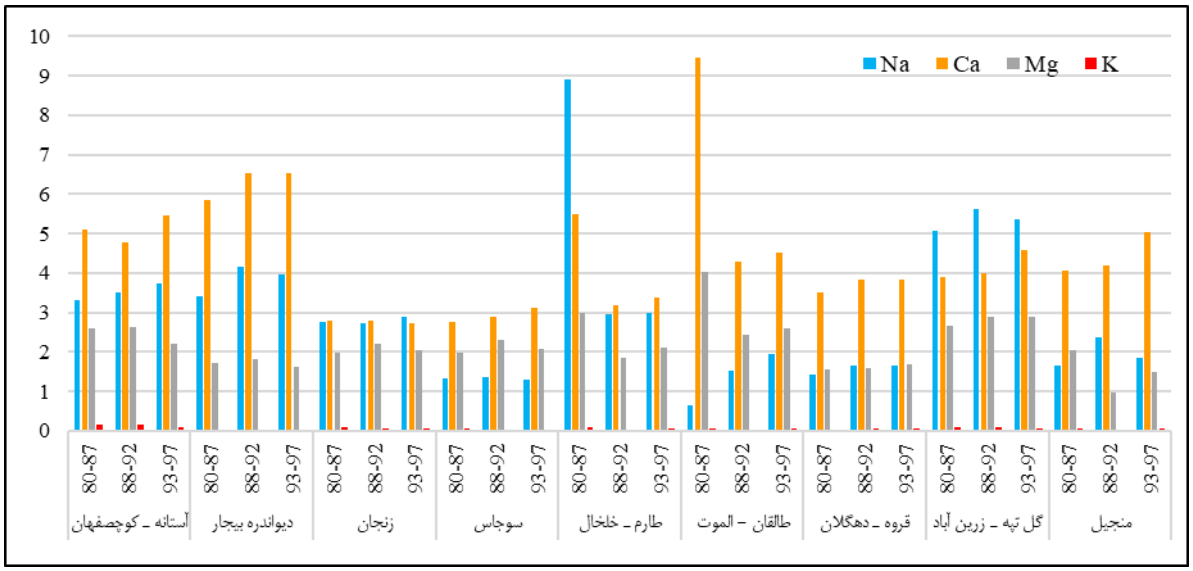
شکل ۳- مقادیر هدایت الکتریکی و جامدات کل محلول در آب‌های زیرزمینی حوزهٔ آبریز سفیدرود

Figure 3- The values of EC and TDS in groundwater of Sefid-Rud Basin



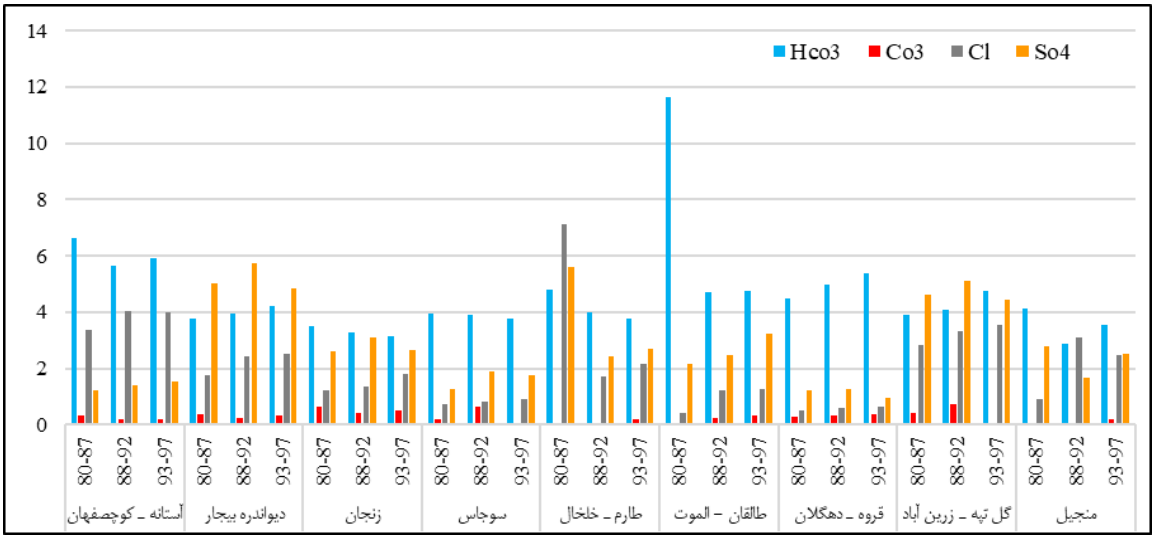
شکل ٤- مقادیر نسبت جذب سدیم (SAR) در آب‌های زیرزمینی حوزهٔ آبریز سفیدرود

Figure 4- The values of SAR in groundwater of the Sefid-Rud Basin



شکل ٥- مقادیر کاتیون‌ها (سدیم، کلسیم، منیزیم و پتاسیم) در آب‌های زیرزمینی حوزهٔ آبریز سفیدرود

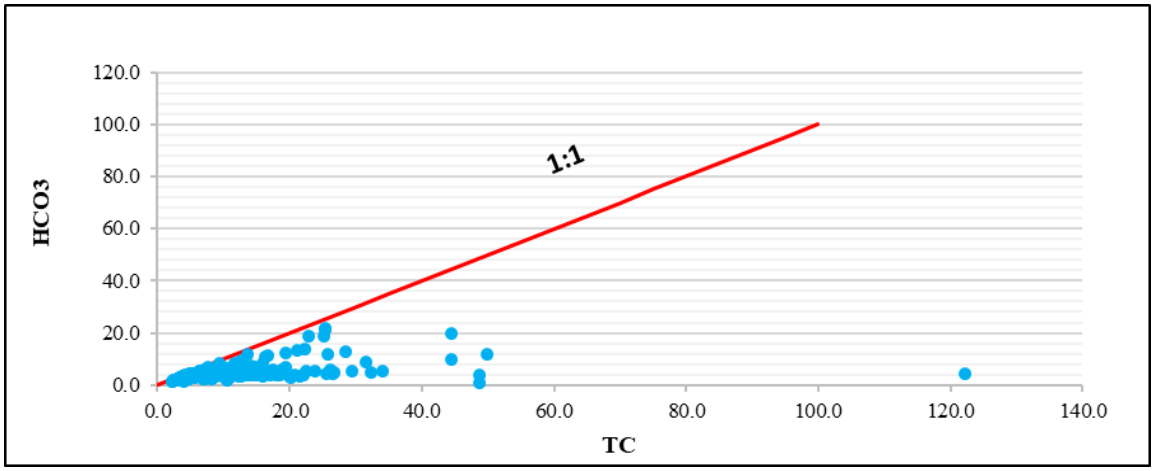
Figure 5- The values of cations (Na, Ca, Ma, and K) in the groundwater of the Sefid-Rud Basin



شکل ٦- مقادیر آنیون‌ها (بی‌کربنات، کربنات، کلر و سولفات) در آب‌های زیرزمینی حوزهٔ آبریز سفیدرود

Figure 6- The values of anions (HCO3, CO3, Cl and SO4) in the groundwater of the Sefid-Rud Basin

فعالیت‌های انسانی از جمله فعالیت‌های صنعتی و آب‌های برگشتی کشاورزی می‌توانند از عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی باشند. اثر فعالیت‌های انسانی بر شیمی آب زیرزمینی را می‌توان از نمودار HCO3 در مقابل کل کاتیون‌ها (TC) بررسی کرد (Kim al et., 2003; Reddy et al., 2012) اگر انحلال سیلیکات‌ها و کربنات‌ها فرآیند عمدهٔ کنترل‌کنندهٔ ترکیب‌های شیمیایی آب زیرزمینی باشد، در این صورت نسبت بین بی‌کربنات و مجموع کاتیون‌ها، ۱:۱ خواهد بود (Barzegar et al., 2016) در این نمودار موقعیت نمونه‌هایی که نزدیک خط یک به یک هستند؛ نشان‌گر تأثیر سازندهای منطقه (انحلال کانی‌ها) در آب زیرزمینی است و نمونه‌هایی که از خط یک به یک فاصله گرفته‌اند، فرآیندهای ثانویه، مانند فعالیت‌های انسانی را به‌عنوان کنترل‌کنندهٔ غلظت یونی آب زیرزمینی نشان می‌دهند. از شکل ۷ می‌توان به این نتیجه رسید که علاوه‌بر آن‌که ترکیب شیمیایی آب توسط هوازدگی و انحلال سنگ‌ها و کانی‌ها کنترل می‌شود فعالیت‌های انسانی نیز در آب زیرزمینی منطقه تأثیر دارند.



شکل ۷- نمودار بی‌کربنات (HCO3) در مقابل مجموع کاتیون‌ها (TC) در آب‌های زیرزمینی حوزهٔ آبریز سفیدرود

Figure 7- The diagram of HCO3 versus TC in the groundwater of the Sefid-Rud Basin

۳-۲- تحلیل کیفیت آب بر اساس مصارف صنعتی

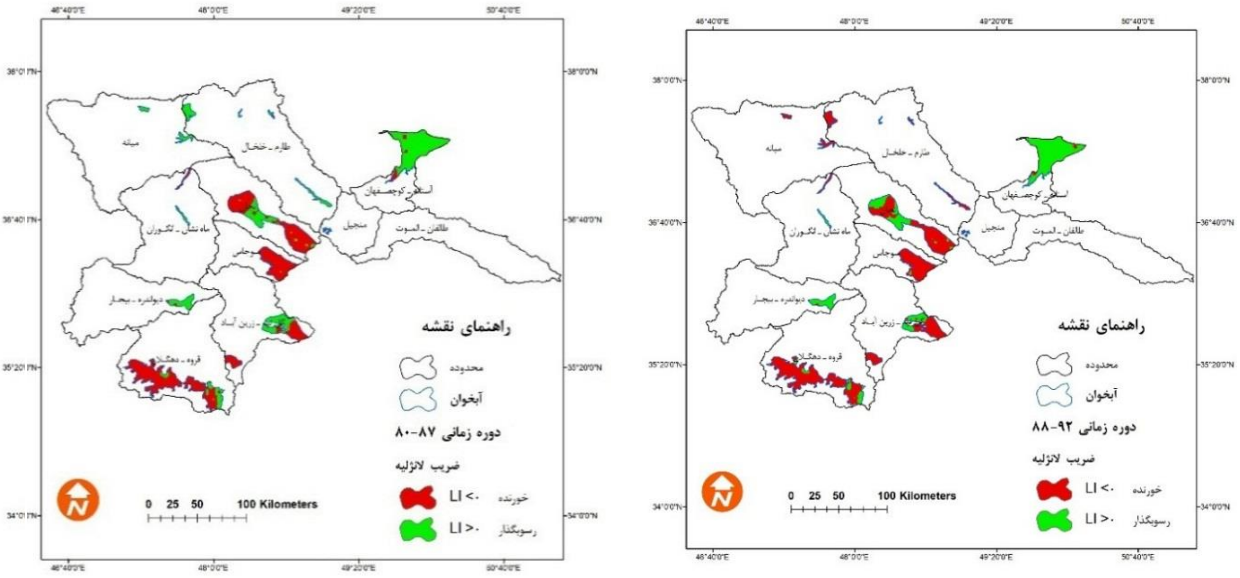
در طبقه‌بندی آب برای مصارف صنعتی، شوری و میزان املاح، درجهٔ سختی (دائم و موقت) و محیط واکنش آن بسیار حائز اهمیت است. بنابراین، در ابتدا پس از محاسبهٔ سختی قلیائیت، TDS، pH و درجهٔ حرارت، مقدار pH آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم (pHs) محاسبه شده از رابطهٔ (۲)، در نهایت به‌ترتیب با استفاده از رابطهٔ (۱) مقادیر شاخص لانژلیه (LI) برای تعیین خاصیت خورندگی و رسوب‌گذار بودن آب حوزهٔ

آبریز سفیدرود برای دوره‌های آماری مورد بررسی تعیین شد. شکل ۸، پهنه‌بندی مصارف صنعتی حوزهٔ آبریز سفیدرود به تفکیک سه دوره (سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۸۰، ۱۳۹۲-۱۳۸۸ و ۱۳۹۷-۱۳۹۳) را نمایش می‌دهد. کیفیت آب بر اساس مصارف صنعتی در کل آبخوان‌ها به‌جز طارم-خلخال و میانه و در هر سه دورهٔ آماری روند نسبتاً ثابت بوده و تغییرات محسوسی در دوره‌های آماری مشاهده نشد. ولی در آبخوان طارم-خلخال و میانه در دورهٔ آماری اول (۸۷-۸۰) دارای ویژگی رسوب‌گذاری بوده و از سال ۸۸ دارای ویژگی خورنده شده است. آبخوان آستانه-کوچصفهان و دیواندره-بیجار و بخش مرکزی آبخوان زنجان و نواحی غربی آبخوان گل‌تپه-زربن‌آباد دارای ویژگی رسوب‌گذاری و سایر آبخوان‌ها دارای ویژگی خورندگی هستند. توزیع کیفی مصارف صنعتی نمونه‌های آب زیرزمینی حوزهٔ آبریز سفیدرود برای کل دورهٔ آماری (۱۳۹۷-۱۳۸۰) در شکل ۹ مشاهده می‌شود. هم‌چنین، بر اساس طبقه‌بندی لانژلیه ۶۷ درصد از نمونه‌ها دارای ویژگی خورنده و ۳۲ درصد رسوب‌گذار هستند (جدول ۲) که یافته‌های این پژوهش با نتایج پژوهش‌های Motamedi Rad et al. (2021)، Rahimi et al. (2016) و Gholamdokht Bandari et al. (2018) هم‌خوانی دارد. آن‌ها در مطالعهٔ خود به این نتایج دست یافته‌اند که کیفیت آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه، از لحاظ مصارف صنعتی منطقه، اغلب خاصیت خورنده دارند.

جدول ۲- طبقه‌بندی کیفی آب صنعتی بر اساس شاخص لانژلیه (LI)

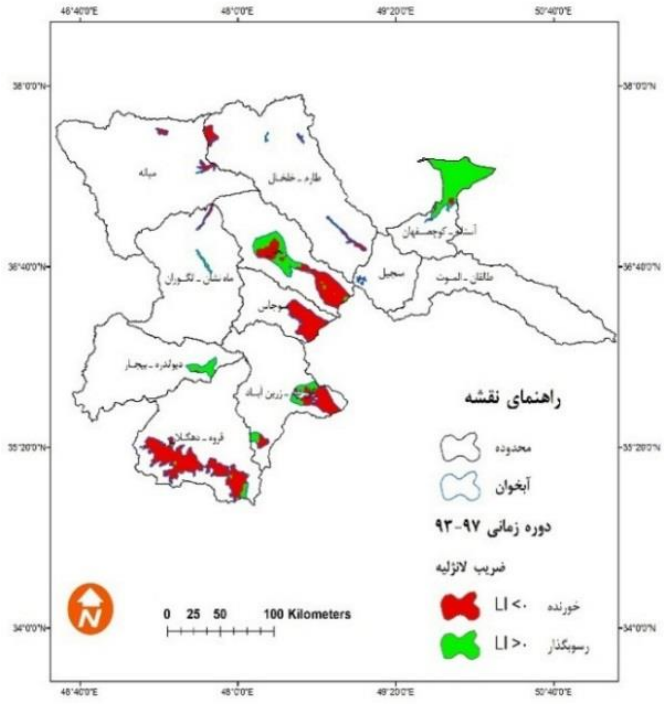
Table 2- Classification of industrial water quality based on the Langiller index (LI)

کیفیت آب برای مصارف صنعتی	شاخص لانژلیه	درصد نمونه‌ها
خورنده	LI<0	67
متعادل	0	1
رسوب-گذار	LI>0	32



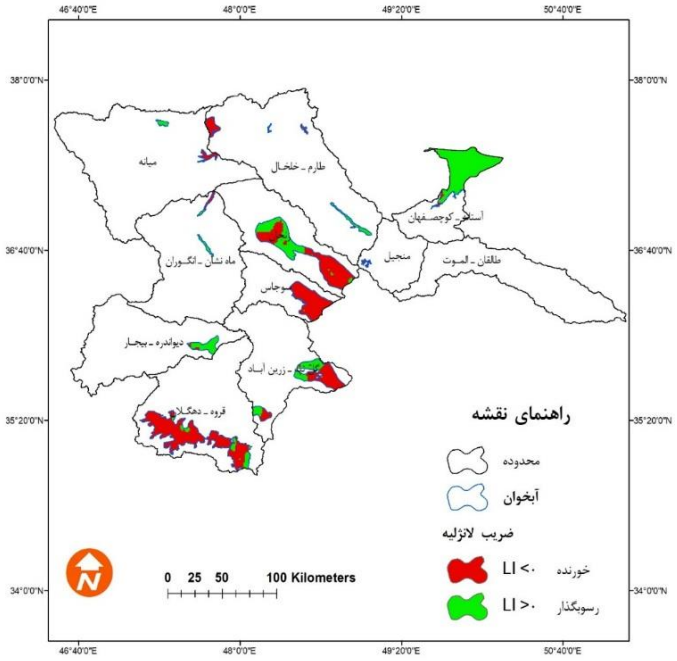
شکل ۸- پهنه‌بندی مصارف صنعتی حوزهٔ آبریز سفیدرود به تفکیک سه دورهٔ آماری

Figure 8- Zoning industrial uses of Sefid-Rud Basn, separated by three statistical periods



ادامه شکل ۸- پهنه‌بندی مصارف صنعتی حوزهٔ آبریز سفیدرود به تفکیک سه دورهٔ آماری

Continued Figure 8- Zoning industrial uses Sefid-Rud Basin separated by three statistical periods



شکل ۹- پهنه‌بندی مصارف صنعتی حوزهٔ آبریز سفیدرود برای کل دورهٔ آماری

Figure 9- Zoning industrial uses of Sefid-Rud Basin for the entire statistical period

٤- نتیجه‌گیری

آب‌های سطحی به‌ویژه رودخانه‌ها از مهم‌ترین منابع آبی بوده که برای رفع نیاز جوامع بشری و مصارف مختلف اعم از شرب، صنعت و کشاورزی استفاده می‌شوند. لذا، کیفیت آب همانند کمیت آن از مهم‌ترین عوامل مشخص‌کننده به‌منظور کاربرد آن در مصارف مختلف به‌شمار می‌رود. متغیرهای شیمیایی آب نقش مهمی در طبقه‌بندی و ارزیابی کیفیت آب دارند. بنابراین، اندازه‌گیری و بررسی این متغیرها ضروری است. در این مطالعه

به‌منظور بررسی کیفیت آب حوزهٔ آبریز سفیدرود و بررسی روند تغییرات آن متغیرهای شیمیایی آب بررسی شدند. نتایج مطالعه نشان داد که در دورهٔ آماری ۱۸ ساله میانگین مقادیر EC و TDS در محدودهٔ گل‌تپه–زرین‌آباد در استان زنجان و محدودهٔ طارم–خلخال در استان‌های آذربایجان‌شرقی، اردبیل و زنجان بیش‌تر از سایر محدوده‌ها در حوزهٔ آبریز سفیدرود بوده است. هم‌چنین، افزایش TDS تأثیر به‌سزایی بر افزایش هدایت الکتریکی به‌خصوص در سال‌های انتهایی مورد مطالعه داشته است مقادیر EC و TDS در سه دورهٔ آماری در محدودهٔ گل‌تپه–زرین‌آباد روند افزایشی را نشان می‌دهد. نسبت جذب سدیم (SAR) در کل دورهٔ آماری با بیشینهٔ ۲/۹ درصد در محدودهٔ طارم–خلخال و کمینهٔ ۰/۸ درصد در محدودهٔ منجیل و سوجاس بوده است. بالاترین مقادیر کاتیون‌ها برای یون‌های کلسیم در محدودهٔ دیواندره–بیجار، سدیم در محدودهٔ طارم–خلخال و منیزیم در محدودهٔ گل‌تپه–زرین‌آباد نشان می‌دهد. بالاترین مقادیر آنیون‌ها شامل بی‌کربنات، سولفات و کلر که به‌ترتیب در محدوده‌های آستانه–کوچصفهان، دیواندره–بیجار و طارم–خلخال بوده است.

نتایج مقادیر بی‌کربنات در مقابل مجموع کاتیون‌ها در آب‌های زیرزمینی حوزهٔ آبریز سفیدرود نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی آب منطقهٔ مورد مطالعه متأثر از هوازدگی و انحلال سنگ‌ها و کانی‌ها بوده و فعالیت‌های انسانی نیز در آب زیرزمینی منطقه تأثیر دارند. ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی حوزهٔ آبریز سفیدرود جهت مصارف صنعتی براساس شاخص لانژلیه نشان داد که روند تغییرات این شاخص در سه دورهٔ زمانی مورد مطالعه نسبتا ثابت بوده است و از ۳۶۰ منبع موجود در حوزهٔ آبریز، ۲۴۱ منبع ویژگی خورنده، ۱۱۵ منبع ویژگی رسوب‌گذار و چهار منبع (در محدودهٔ آبخوان طالقان–الموت) وضعیت متعادل داشته‌اند. هم‌چنین، نتایج نشان داد که آب زیرزمینی اغلب آبخوان‌های حوزهٔ آبریز سفیدرود دارای خاصیت خورندگی بوده و استفاده از آن در سامانه‌های آبرسانی شهری، سبب بروز بیماری در انسان و مسائل مختلف ناشی از خوردگی لوله‌ها خواهد شد. بنابراین، در استفاده از این منابع در صنعت، سامانه‌های آبرسانی شهری و کشاورزی، به‌خصوص در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار، می‌بایست تمهیدات لازم در نظر گرفته شود تا کم‌ترین آسیب به لوله‌ها و اتصالات فلزی وارد شود هم‌چنین، با کاهش برداشت آب زیرزمینی و کاهش سطح کشت در مناطقی که آب مورد نیاز فقط از طریق آبخوان‌ها تأمین می‌شود، می‌توان کیفیت آب زیرزمینی را حتی در سال‌های خشک مدیریت کرد.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از بخشی از نتایج طرح پژوهشی با کد مصوب ۹۹۰۵۴۲–۹۹۰۲۵–۰۳۰–۰۹–۰۹–۰۱ در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (تات) است و بدین‌وسیله از مسئولین محترم پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سرکار خانم‌ها دکتر سمیرا زندی‌فر، مریم نعیمی و جناب آقای دکتر عادل جلیلی قدردانی به عمل می‌آید.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

ابراهیم یوسفی مبرهن: مفهوم‌سازی، تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله؛ **ابراهیم کریمی سنگچینی:** منابع، نرم‌افزار، ویرایش و بازبینی مقاله؛ **سکینه لطفی نسب:** مفهوم‌سازی، بازبینی متن مقاله.

منابع

احسانی، سعید، صالحپور، مجید، احسانی اردکانی، حمید، و عباسی‌مائده، پویان (۱۳۹۲). بررسی پتانسیل شوری، رسوب‌گذاری و خورندگی آب زیرزمینی شهر ساری با نگرش کاربری صنعتی، شهری و کشاورزی. *انسان و محیط زیست*، ۱۱(۱)، ۱۹–۳۰. https://journals.srbiau.ac.ir/article_3259.html

آرند، رضا، علیپور، شاهین، و نصر اصفهانی (۱۳۸۷). ارزیابی کیفیت آب کرج در تصفیه خانه شماره ۲ اهواز. اولین همایش بهره برداری بهینه از منابع آب در استان لرستان.

بامداد ماچیانی، سلمان، خالدیان، محمدرضا، رضایی، مجتبی، و تاجداری، خسرو (۱۳۹۲). ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی استان گیلان برای مصارف کشاورزی و صنعتی. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۸(۲)، ۲۴۶–۲۵۶. https://idj.iaid.ir/article_54718.html?lang=fa

حسین سربازی، آرش، و اسماعیلی، کاظم (۱۳۹۳). بررسی تغییر کیفیت منابع آب زیرزمینی بر کشاورزی و فناوری (مطالعه موردی: دشت نیشابور). *آبیاری و زهکشی ایران*، ۸(۱)، ۷۲–۸۳. https://idj.iaid.ir/article_54553.html

خمر، زهرا، محمودی قرایی، محمدحسین، عمرانی، سمیه، و سیاره، علیرضا. (۱۳۹۱). ارزیابی کیفیت منابع آب در محدوده معدنی زر، غرب تربت حیدریه (زمین‌شناسی زیست‌محیطی). چهارمین همایش انجمن

زمین‌شناسی اقتصادی ایران، بیرجند. https://civilica.com/doc/169133

رحیمی، مینا، بشارت، سینا، و وردی‌نژاد، وحیدرضا (۱۳۹۵). ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی آبخوان اردبیل برای مصارف شرب و کشاورزی. *محیط زیست و مهندسی آب*، ۲(۴)، ۳۶۰-۳۷۵. https://www.jewe.ir/article_41172.html?lang=fa

شکوهی، رضا، حسین‌زاده، ادریس، روشنایی، قدرت‌الله، علیپور، مهدی، و حسین‌زاده، سامان (۱۳۹۰). بررسی کیفیت آب دریاچه پشت سد آیدغموش با استفاده از شاخص ملی کیفیت آب (NSFWQI) و تغییرات پارامترهای کیفی آب. *سلامت و محیط زیست*، ۴(۴)، ۴۳۹-۴۵۰. http://ijhe.tums.ac.ir/article-۱-۵۰-fa.html

صادقی‌اقدم، فریبا، ندیری، عطاالله، اصغری‌مقدم، اصغر، و عباس نوین‌پور، اسفندیار (۱۳۹۷). ارزیابی کارایی و پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت نقده جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۹(۴)، ۱۷-۳۶. dor:20.1001.1.26767082.1397.9.4.2.8

صهبائی لطفی، امیررضا (۱۳۹۲). نوان طبقه‌بندی کیفی آب جهت مصارف شرب، کشاورزی، صنعت (مطالعه موردی ایستگاه باباامان رودخانه اترک). اولین همایش ملی چالش‌های منابع آب و کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی خوراسگان اصفهان. https://civilica.com/doc/537914

عباسی، فریده، فرزادمهر، جلیل، چپی، کامران، بشیری مهدی، و آذرخشی، مریم (۱۳۹۵). تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت قروه و دهگلان و ارتباط آن با خشکسالی. *هیدروژئولوژی*، ۱(۲)، ۱۱-۲۳. doi: 10.22034/hydro.2016.5002

غلام‌دخت‌بندری، مهدی، رضائی، پیمان، و غلام‌دخت‌بندری، زهرا (۱۳۹۷). ارزیابی کیفیت هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی حوزهٔ سیاهو، شمال شرق شهر بندرعباس. *سلامت و محیط زیست*، ۱۱(۱)، ۱۱۰-۹۷. http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-5957-fa.html

لطفی‌نسب اصل، سکینه، درگاهیان، فاطمه، خسروشاهی، محمد (۱۳۹۹). ارزیابی کیفیت آب رودخانه گوپال و روند تغییرات آن واقع در حوزهٔ آبخیز مارون-جراحی. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۲(۳)، ۸۳۵-۸۵۲. doi:10.22092/ijwmse.2019.114876.1337

معتمدی‌راد، محمد، گلی‌مختاری، لیلا، بهرامی، شهرام، زنگنه اسدی، و م حمدعلی (۱۴۰۰). ارزیابی کیفیت منابع آبی از نظر شرب، کشاورزی و صنعت در آبخوان کارستی روئین اسفراین استان خراسان شمالی. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۱(۶۲)، ۷۳-۹۳.

مهندسین مشاور مهاب قدس (۱۳۹۲). گزارش بهنگام سازی تلفیق مطالعات منابع آب حوزه آبریز رحوزه آبریز سفیدرود. جلد دوم: مصارف و نیاز آب صنعت و معدن و فاضلاب تولیدی در سال افق (۱۴۲۰). فتر مطالعات پایه منابع آب شرکت سهامی آب منطقه ای گیلان . ۲۲۳ صفحه.

ناصری، ناصر، محمدزاده، حسین، و ابراهیم‌پور، صلاح‌الدین (۱۳۸۹). بررسی هیدروژئوشیمی حوزهٔ سد سهند. اولین کنفرانس منابع آب کاربردی ایران، دانشگاه صنعتی کرمانشاه.

ندیری، عطاالله، صادقی‌اقدم، فریبا، آقاری‌مقدم، اصغر، و نادری، کیوان (۱۳۹۴). ارزیابی شوری و آرسنیک به‌عنوان عوامل مخرب مؤثر بر کیفیت آب سطحی و زیرزمینی حوزهٔ آب سد سهند. *هیدروژئومورفولوژی*، ۲(۴)، ۷۹-۹۹. dor:20.1001.1.23833254.1394.2.4.5.8

یوسفی، ح، ریحانی، ا، امینی، لیلی، و قاسمی، ل (۱۴۰۱). ارزیابی کیفیت آب قنات‌ها با استفاده از برنامه Chemistry جهت مصارف مختلف در نائین. *مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۳(۲)، ۴۶۳-۴۸۴. doi:10.22125/iwe.2022.163668

References

Abbasi, F., Farzadmehr, J., Chapi, K., Bashiri, M., & Azarakhshi, M. (2016). Spatial and temporal variations of groundwater quality parameters in Qorveh- Dehgolan plain and its relationship with drought. *Hydrogeology*, *1*(2), 11-23. doi: 10.22034/hydro.2016.5002. [In Persian]

Arand, R., Alpour Sh., & Nasr Esfahani, M. (2008). Karaj water quality assessment at Ahvaz No. 2 water treatment plant. The First Conference on Optimal Utilization of Water Resources in Lorestan Province, Lorestan, Iran. [In Persian]

Bamdad Machiani, S., Khaledian, M.R., Rezaei, M., & Tajdari, Kh. (2014). Evaluation of groundwater quality in Gilan province for agricultural and industrial uses. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *8*(2), 246-256. https://idj.iaid.ir/article_54718.html?lang=en. [In Persian]

Barzegar, R., Asghari Moghaddam, A., Najib, M., Kazemian, N., & Adamowsk, J. (2016). Characterization of hydrogeologic properties of the Tabriz plain multilayer aquifer system, NW Iran. Arabian Journal of Geosciences, 9, 1-17. doi: 10.1007/s12517-015-2229-1

Chai, T., Xiao, C., Li, M., & Liang, X. (2020). Hydrogeochemical characteristics and groundwater quality evaluation based on multivariate statistical analysis. *Water*, *12*, 2792. doi:org/10.3390/w12102792

Chan, H.J. (2001). Effect of landuse and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea. *Journal of Hydrology*, 253, 194–210. doi: 10.1016/S0022-1694(01)00481-4

Ehsani S., Salehpur M., Ehsani-Ardekani H., & Abbasi-Maede P. (2013). Assessment of salinity and corrosion potential of Sari groundwater with emphasis for using in industry, agriculture and urban. *Human and Environment*, *11*(1), 19-30. https://journals.srbiau.ac.ir/article_3259.html. [In Persian]

Gholamdokht Bandari, M., Rezaee, P., & Gholamdokht Bandari, Z. (2018). Assessment of the hydrogeochemical quality of underground in the Siahoo region, northeast of Bandar Abbas.

Iranian Journal of Health and Environment, 11(1), 97-110. http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-5957-fa.html. [In Persian]

Hoseinsarbazy A., & Esmaili, K. (2014). Investigation of groundwater resource quality change on agriculture and technology (Case study: the plain of Neyshabour). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *8*(1), 72-83. https://idj.iaid.ir/article_54553.html?lang=en [In Persian]

Jiang, Y., Gui, H., Yu, H., Wang, M., Fang, H., Wang, Y., Chen. C., Zhang, Y., & Huang, Y. (2020).Hydrochemical characteristics and water quality evaluation of rivers in different regions of cities: A Case Study of Suzhou City in Northern Anhui Province, China. *Water*, *12*, 950. doi.org/10.3390/w12040950

Kelley, W. P. (1940). Permissible composition and concentration of irrigated waters. *Proceedings of ASCF*,66, 607.

Khmer, Z., Mahmoudi Qara'I, M.H., Omrani, S., & Sayareh, A. (2011). Quality water resources assessment in Kuh Zar mineral area, West of Torbat Heydarieh. Fourth Conference of the Iranian Economic Geological Society, Birjand, Iran. https://civilica.com/doc/169133. [In Persian]

Kim, K. (2003) Long-term disturbance of groundwater chemistry following well installation. *Groundwater*, *41*, 780–789. doi:10.1111/j.1745 6584.2003.tb02419.x

Llyod, J., Heathcote, J. (1985). Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater: an introduction. Clarendon Press, Oxford. 296 pages.

Lotfinasabasl, S., Dargahian, F., & Khosroshahi, M. (2020). Water quality assessment of Gopal River and its variations in the Maroon basin. *Basin Engineering and Management*, *12*(3), 835-852. doi:10.22092/ijwmse.2019.114876. 1337. [In Persian]

Mahab Quds Consulting Engineers (2012). Update report on the integration of studies on water resources of the Sefidroud watershed. The second volume: water consumption and demand of industry and mining and production waste water in the year of horizon (2040). Basic studies of water resources of Gilan Regional Water Joint Stock Company. 223 pages. [In Persian]

Motamedi Rad, M., Goli Mokhtari, L., Bahrami, S., & 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. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, *21*(62), 73-93. [In Persian]

Nadiri, A., Sadeghi Aghdam, F., Aghari Moghaddam, A., & Naderi, K. (2015). The assessment of salinity and arsenic as the destructive factors affecting on surface and ground water quality of Sahand Dam water basin. *Hydrogeomorphology*, *2*(4), 79-99 dor:20.1001.1.23833254.1394.2.4.5.8. [In Persian]

Najafzadeh, M., & Tafarojnoruz, A. (2016). Evaluation of neuro-fuzzy GMDH-based particle swarm optimization to predict longitudinal dispersion coefficient in rivers. Environmental Earth Sciences, 75, 157-169. doi: 10.1007/s12665-015-4877-6

Najafzadeh, M., & Zahiri, A. (2015). Neuro-fuzzy GMDH-based evolutionary algorithms to predict flow discharge in straight compound channels. *Journal of Hydrologic Engineering*, *20*, 04015035. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.000118

Naseri, N., Mohammadzadeh, H., & Ebrahimpour, S. (2010). Hydrogeochemical study of Sahand Dam Basin. The First Conference on Applied Water Resources of Iran, Kermanshah University of Technology, Kermanshah, Iran. [In Persian]

Rahimi, M., Besharat, S., & Verdinejad, V. (2016). Quality evaluation of groundwater resources of Ardabil aquifer for agricultural and drinking uses. *Environment and Water Engineering*, *2*(4), 360-375. https://www .jewe.ir/article_41172.html?lang=en. [In Persian]

Raju, N.J., Ram P., & Gossel, W. (2014). Evaluation of groundwater vulnerability in the lower Varuna catchment area, Uttar Pradesh, India using AVI concept. *Journal of the Geological Society of India*, *83*(3), 273-278. doi:10.1007/s12594-014-0039-9.

Raju, N.J., Shukla U.K., & Ram, P. (2011). Hydrogeochemistry for the assessment of groundwater quality in Varanasi: a fast-urbanizing center in Uttar Pradesh, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 173(1-4), 279-300. doi:10.1007/s10661-010-1387-6

Reddy, A.G., Saibaba, B., & Sudarshan, G. (2012). Hydrogeochemical characterization of contaminated groundwater in Patancheru industrial area, southern India. *Environmental Monitoring and Assessment*, *184*, 3557–3576. doi: 10.1007/s10661-011-2208-2

Sadeghi Aghdam, F., Nadiri, A.A., Asgharai Moghaddam, A., & Abbas Novinpour, E. (2019). Assessing the suitability and quality zoning of groundwater resources of Naqadeh plain for drinking, agriculture, and industrial purposes. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, *9*(4), 17-36. dor:20.1001.1.26767082.1397.9.4.2.8. [In Persian]

Sahbaei Lotfi, A. (2013). Qualitative water classification for drinking, agriculture, industry, case study of Babaaman Station of Atrak River.

The First National Conference on Water and Agriculture Resources Challenges, Irrigation and Drainage Association of Iran, Isfahan. https://civilica.com/doc/537914. [in Persian]

Shokuhi, R., Hosinzadeh, E., Roshanaei, G., Alipour, M., & Hoseinzadeh, S. (2012). Evaluation of Aydughmush dam reservoir water quality by national sanitation foundation water quality index (NSFWQI) and water quality parameter changes. *Journal Health and Environment*, *4*(4), 439-450 http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-50-fa.html. [In Persian]

Singh, K., Hundal, H.S., & Singh, D. (2011) Geochemistry and assessment of hydrogeochemical processes in groundwater in the southern part of Bathinda district of Punjab, northwest India. *Environmental Earth Sciences*, 1833(64), 18-23. doi: 10.4236/jwarp.2013.510096

Todd, D.k., & Mays, L.W. (2005). Groundwater hydrology. 3th Edition. Join Wiley & Sons, New York, 636 p.

Toumi, N., Hussein, B.H., Rafrafi, S., & El Kassas, N. (2015). Groundwater quality and hydrochemical properties of Al-Ula region, Saudi Arabia. *Environmental Monitoring and Assessment*, *187*(3), 1-84. doi: 10.1007/s10661-014-4241-4

Yang, C.S., Kao, S.P., Lee, F.B., & Hung, P.S. (2004). Twelve different interpolation methods: A case study of Surfer 8.0. In: Proceedings of the XXth ISPRS Congress. pp 778-785.

Yousefi, H., Reyhani, E., Amini, L., & Ghasemi, L. (2022). Evaluation of aqueduct water quality using chemistry program for different uses in Nain. *Irrigation and Water Engineering*, *13*(2), 463-484 doi:10.22125/iwe.2022.163668. [In Persian]