Research Paper

Evaluation of the corrosiveness and precipitation potential in the drinking water supply wells of Gorgan city

Hasan Mazani[1], Mojtaba G. Mahmoodlu[2*], Nader Jandaghi[3], Mostafa Raghimi[4], Ali Heshmatpour[5]
1. Former Master Student in Watershed, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
2. Associate Professor at Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
3. Assistant Professor at Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
4. Professor at Faculty of Basic Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran
5. Assistant Professor at Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

Received: 2023/04/04
Revised: 2023/04/14
Accepted: 2024/01/04

Use your device to scan and read the article online

DOI: 10.30495/wej.2024.31749.2383

Keywords:
Groundwater, Water quality, Hydrogeochemistry, Water supply facilities, Gorgan city

Abstract

Introduction: Corrosion and precipitation are two problems of water quality management for the water transmission and distribution systems. Hence, the present research was conducted to investigate the potential of corrosiveness and precipitation in the drinking water supply wells of Gorgan city using some indicators.

Methods: Here, the results of chemical analysis of 63 wells supplying drinking water in spring and autumn were used. First the temporal and spatial changes of physicochemical parameters were investigated using one-way variance statistical test and IDW method, respectively. The dominant type, the origin of chemical ions, and their evolution process in Gorgan aquifer were studied. In this research, water hardness, LSI, RSI, CR and LS were used to determine the corrosion and precipitation potential of drinking water in Gorgan city. Finally, the temporal and spatial changes of indices calculated in two seasons were investigated.

Findings: The high concentration of calcium ions in groundwater, due to the recharge of the aquifer by the limestone series located in the southern highlands, has increased its hardness. The results of RSI and LSI revealed that the majority of wells are corrosive and their water has the potential to decompose $CaCO_3$. Also, the corrosive property of water in the direction of groundwater movement is significantly reduced and the water precipitation property is increased. Also, 90 and 98% of the groundwater resources of Gorgan city have a corrosion ratio of less than one. Therefore, it is possible to transfer water from most wells with any type of metal pipes.

Citation: Mazani, H, G. Mahmoodlu, M, Jandaghi, N, Raghimi, M, Heshmatpour, A, Evaluation of the corrosiveness and precipitation potential in the drinking water supply wells of Gorgan city. Water Resources Engineering Journal. 2024; 17 (61): 52- 64.

⁎**Corresponding author:** Mojtaba Ghareh Mahmoodlu
Address: Department of Rangeland and Watershed Department, College of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.
Tell: +989113740012
Email: m.g.mahmoodlu@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Corrosion and precipitation are two problems of water quality management for the water transmission and distribution systems. In our country, the accurate statistics of the damage amount caused by corrosion and precipitation in the water distribution network are not available, but some studies show that the water loss in the distribution network is about 30%. This is because of the decay in the water pipelines due to corrosion. Based on the global standards, the corrosion and precipitation control indicators should be determined at least once a year for the water distribution networks that use groundwater sources. Hence, the present research was conducted in 2016 to investigate the potential of corrosiveness and precipitation in the drinking water supply wells of Gorgan city using some indicators. The results of this study can identify the sanitary condition of drinking water in Gorgan city and finally minimize the damages caused by using different methods of corrosiveness control.

Materials and Methods

In this research, the results of chemical analysis of 63 wells supplying drinking water in spring and autumn of 2016 were used. Some parameters such as pH, temperature, and electrical conductivity were measured during sampling. While the amount of chemical parameters such as total dissolved solids, bicarbonate, chloride, sulfate, nitrate, nitrite, fluoride, phosphate, calcium, magnesium, sodium, potassium, and iron were measured in the chemical laboratory of Gorgan Water and Wastewater Department.

After measuring the amount of hydrochemical parameters using the current standard methods, first the temporal changes of physicochemical parameters were investigated using one-way variance statistical test. Then, using ArcGIS software and IDW method, the spatial changes of some hydrochemical parameters in the studied area were considered.

In this research, to investigate the hydrogeochemistry of the Gorgan city aquifer, the changes in the concentration of ions in two seasons were first investigated using a box diagram. Then, the dominant type, the origin of chemical parameters, and their evolution process in Gorgan aquifer were studied using Stiff and triangular diagrams. Here, AqQa software was used to depict Stiff and triangular diagrams.

In this research, water hardness, Langelier saturation index (LSI), Ryznar stability index (RSI), corrosion ratio (CR) and Larson-Skold (LS) indices were used to determine the corrosion and sedimentation potential of drinking water in Gorgan city. Finally, the temporal and spatial changes of the indices calculated in spring and autumn of 2016 were investigated.

Findings

The recharge of the aquifer by the limestone series located in the southern highlands causes the abundance of bicarbonate anion and calcium cation concentration and then the abundance of calcium bicarbonate type in the groundwater resources of Gorgan city in every spring and autumn season. Furthermore, the high concentration of calcium ions in groundwater has increased its hardness. The infiltration of municipal sewage and salt water intrusion into the aquifer due to the high depth of the well or the high pumping rate is the most likely reason for the increase in the concentration of chlorine and sodium ions in some wells.

The results revealed that most of the water supply wells are in the hard to very hard class. The amount of dissolved solutes and subsequently, the hardness of the total water resources in the studied area increases along the path of groundwater movement towards the north of the studied area. This case is in the line with an increase in the

concentration of ions in the direction of water.

Based on the LSI, out of the 63 investigated wells, the water of only one well has neutral properties, and about 85% of the water resources have corrosive properties. The water of the rest of the wells has precipitation properties based on the LSI. This result seems obvious due to the proximity of most of the water sources to the groundwater supply area. The results of the RSI are similar to the LSI. Except for one well, which is neutral, the rest of the wells are corrosive and their water has the potential to decompose $CaCO_3$. Also, based on the distribution map of LSI and RSI in the studied area, the corrosive property of water in the direction of groundwater movement is significantly reduced and the property of water precipitation is increased. This result is consistent with the increase in the amount of groundwater salts in the north direction.

The results of water classification of groundwater resources of Gorgan based on LS are somewhat different from the results of LSI and RSI. So that about 55% of the wells in the spring season are not corrosive and the rest of the wells are corrosive to high corrosive.

Based on the calculated values for the corrosion ratio in spring and autumn, respectively, 90 and 98% of the groundwater resources of Gorgan city have a corrosion ratio of less than one. Therefore, it is possible to transfer water from most wells with any type of metal pipes. However, to transfer the water from the rest of the wells, pipes with high strength and resistance should be used, and it is not possible to transfer their water through the metal pipes.

Conclusion

Statistical difference in 8 physicochemical parameters in spring and autumn has caused the variety of hydrogeochemical types and facies in these two seasons. Although the dominant type of groundwater in both spring and autumn is calcium bicarbonate.

The increase in the concentration of groundwater ions in the direction of groundwater movement to the north of the studied area has caused the water hardness to increase in the direction of groundwater movement. In general, Gorgan city groundwater is classified as hard to very hard. Also, based on the distribution map of these indicators in the studied area, the water corrosive property in the groundwater movement direction is significantly reduced and water precipitation property is increased.

The results of the paired t-test show that there is a statistical difference in the corrosion ratio, LS and LSI in spring and autumn. However, no statistical difference was observed for RSI in spring and autumn.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Hasan Mazani: collecting the data, visualization, interpretation, and chemical analyses. Mojtaba G. Mahmoodlu: supervision, writing the main draft, revising and editing the manuscript, conceptualization, chemical analyses. Nader Jandaghi: statistical analyses and conceptualization. Mostafa Raghimi: conceptualization, collecting the data. Ali Heshmatpour: visualization, revising and editing the manuscript.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

ارزیابی پتانسیل خورندگی و ترسیب در چاه‌های تامین کننده آب شرب شهر گرگان

حسن مازنی[۱]، مجتبی قره‌محمودلو *[۲]، نادر جندقی[۳]، مصطفی رقیمی[۴]، علی حشمت‌پور[۵]
۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران
۲. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران
۳. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران
۴. استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
۵. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۵
تاریخ داوری: ۱۴۰۲/۰۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۴

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

DOI:
10.30495/wej.2024.31749.2383

واژه‌های کلیدی:
آب زیرزمینی، کیفیت آب، هیدروژئوشیمی، تأسیسات آبرسانی، شهر گرگان

چکیده

مقدمه: یکی از مشکلات مدیریت کیفی آب و همچنین سیستم‌های انتقال و توزیع آب، خورنده و یا رسوب‌گذار بودن آب است. پژوهش حاضر به‌منظور تعیین پتانسیل رسوب‌گذاری و خورندگی منابع آب آشامیدنی شهر گرگان در دو فصل بهار و پاییز انجام شد.

روش: در این پژوهش ابتدا از ۶۳ چاه آب شرب شهر گرگان نمونه‌برداری و ۱۷ پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب آن‌ها آنالیز شد. به‌منظور بررسی هیدروژئوشیمیایی منابع آبی از دیاگرام‌های استیف و مثلثی استفاده شد. سپس شاخص‌های پتانسیل ترسیب کربنات کلسیم، خورندگی لانژلیه، رایزنر، لارسون-اسکلد و نسبت خورندگی منابع آب آشامیدنی شهر گرگان محاسبه و نقشه پراکندگی مکانی آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار GIS و روش IDW تهیه شد. درنهایت با استفاده از آزمون آماری واریانس یک‌طرفه، سطح معناداری شاخص‌ها در منابع آب آشامیدنی شهر گرگان در دو فصل بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از مطالعه هیدروشیمیایی نشان داد که غلظت اکثر پارامترهای فیزیکوشیمیایی در طول مسیر حرکت به سمت شمال منطقه افزایش می‌یابد. براساس نحوه پراکنش و الگوی پراکندگی نمونه‌ها در دیاگرام‌های استیف مثلثی، تیپ غالب آب زیرزمینی در حاشیه ارتفاعات $Ca\text{-}HCO_3$ می‌باشد. نتایج حاصل از سختی آب زیرزمینی نشان داد بیش‌تر منابع آبی جز آب‌های سخت تا خیلی سخت می‌باشند. هم‌چنین میزان سختی در طول مسیر حرکت آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. براساس شاخص‌های خورندگی، در آب بیش از ۸۴٪ چاه‌ها تمایل به خورندگی وجود دارد. اگرچه خاصیت تغییرات خورندگی مشابه سختی آب است. به‌طوریکه در حاشیه ارتفاعات بیشتر و به سمت شمال با افزایش املاح، خاصیت رسوبگذاری آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. هم‌چنین نتایج آماری نشان داد که به‌جز شاخص لارسون-اسکلد در بقیه شاخص‌ها اختلاف معنی‌داری در میزان شاخص‌ها در دو فصل بهار و پاییز وجود ندارد.

نتیجه‌گیری: با توجه به شاخص‌های محاسبه‌شده در محدوده موردمطالعه، خاصیت خورنده بودن آب در جهت حرکت آب زیرزمینی (به سمت شمال) کاهش چشمگیری داشته و بر خاصیت ترسیب آب افزوده می‌شود. این نتیجه با توجه به افزایش میزان املاح آب زیرزمینی در جهت شمال خصوصا در مناطق شهری به‌دلیل ورود املاح ناشی از پساب‌های شهری تصفیه نشده و احتمالا ورود جزئی آب شور لایه‌های همخوانی دارد.

* **نویسنده مسئول:** مجتبی قره‌محمودلو
نشانی: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران
تلفن: ۰۹۱۱۳۷۴۰۰۱۲
پست الکترونیکی: m.g.mahmoodlu@gmail.com

مقدمه

یکی از مشکلات مدیریت کیفی آب و هم‌چنین سیستم‌های انتقال و توضیع آب، خورنده و یا رسوب‌گذار بودن آب است (۱). اصولا آب‌های رسوب‌گذار، آب‌هایی هستند که املاح محلول در آن‌ها نظیر بی‌کربنات کلسیم ($Ca(HCO_3)2$) به صورت کربنات کلسیم ($CaCO_3$) در سیستم‌های آبرسانی رسوب می‌کند. این رسوب کلسیم سبب ایجاد لایه‌های ضخیم رسوبی بر روی سطوح و دیواره‌های تأسیسات تبادل حرارتی و هم‌چنین سیستم‌های آبرسانی شهری و کشاورزی می‌شود. از این‌رو، فرآیند فوق کـه یکی مهم‌ترین مشکلات در بخش‌های صنعت، کشاورزی و آبرسانی شهری است. در مقابل فرآیند خوردگی یک واکنش فیزیکی–شیمیایی ناشی از تاثیر چندین عامل شیمیایی، الکتریکی، فیزیکی و بیولوژیکی است. پارامترهای زیادی در فرآیند خورندگی تاثیر هستند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان pH، درجه حرارت، سختی، اسیدیته، کلر باقی‌مانده، کل جامدات محلول، نمک‌های محلول و میکروارگانیسم‌ها در آب اشاره کرد (۲).

مطالعات نشان داده که در صورت خورنده بودن آب، لایه پوششی کربنات کلسیم در جدار داخلی لوله‌ها حل شده و سبب ورود برخی از فلزات سنگین نظیر آهن، سرب، مس، قلع و غیره از لوله‌های فلزی به‌داخل آب می‌گردد که این امر می‌تواند مشکلاتی را برای سلامتی مصرف‌کنندگان آب را در پی داشته باشد (۳). علاوه بر این، واکنش‌های خورندگی می‌تواند به‌طور مستقیم بر مصرف گندزداهای آب اثر گذاشته و موجب به حداقل رساندن باقی گندزدا در آب شود که این امر فعالیت زیستی میکروارگانیسم‌ها را افزایش می‌دهد (۴). یکی دیگر از مشکلات فرآیند خوردگی، ایجاد حفره در لوله‌ها، کاهش عمر تأسیسات و هدر رفت آب می‌باشد که این موضوع هزینه‌های زیادی را برای کشورهایی که کمبود آب دارند به دنبال خواهد داشت (۵).

تاکنون مطالعات زیادی در داخل و خارج کشور بر روی خورنده یا رسوب‌گذار بودن آب شرب در سیستم‌های آبرسانی انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. اشاره کرد. در پژوهشی فریدی‌راد و قلی‌نژاد (۱) شاخص‌های خورندگی و رسوب‌گذاری آب شرب تصفیه‌خانه پردیس با استفاده از پتانسیل خورندگی آب از شاخص‌های لانژلیه[۱]، رایزنر[۲]، خورندگی، پورکوریوس و لارسون[۳] محاسبه شد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که آب ورودی به تصفیه‌خانه تمایل به خورندگی دارد. از این‌رو توصیه می‌شود خطوط انتقال و توزیع آب از به داخل تصفیه‌خانه از جنس مقاوم انتخاب شود یا اصلاح کیفیت آب انجام گیرد. در مقابل آب خروجی از تصفیه‌خانه کمی رسوبگذار بوده و کیفیت مطلوبی دارد. قره‌محمودلو و همکاران (۶) در پژوهشی به بررسی میزان خورندگی و رسوب‌گذاری در طول رودخانه گرگانرود در استان گلستان پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها بر اساس سنجه‌های رایزنر، پوکورویس و لارسون–اسکولد نشان داد که آب تمایل به خورندگی دارد. در مقابل براساس سنجه لانژلیه آب رودخانه گرگانرود در کل طول مسیر تمایل به رسوب‌گذاری دارد. در پژوهشی ولی‌پور (۷) منابع آب زیرزمینی جنوب غرب قوچان جهت مصارف صنعتی بر اساس شاخص‌های لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج پژوهش آنها نشان داد آب زیرزمینی منطقه از لحاظ صنعتی دارای خورندگی بالایی می‌باشد. این امر در درازمدت می‌تواند سبب ایجاد خوردگی شدید به همراه کاهش عمر تأسیسات و هدر رفت آب شود. اومکا و همکاران (۸) به بررسی هیدروژئوشیمی و پتانسیل خورندگی و ترسیب آب‌های زیرزمینی در منطقه زراعی اوگبارو واقع در نیجریه پرداختند. برای این منظور از تعدادی گمانه موجود در منطقه نمونه‌برداری و سپس تعداد ۱۷ پارامتر فیزیکوشیمیایی با روش‌های استاندارد مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج هیدروژئوشیمیایی این پژوهش نشان از غالب بودن رخساره‌های کربناته دارد که این امر باعث افزایش سختی و نامناسب بودن آن برای استفاده در بخش لباس‌شویی دارد. نتایج حاصل از شاخص‌های خورندگی نشان داد که آب اکثر چاه‌ها بسیار خورنده و خاصیت تهاجمی دارد. از این‌رو استفاده از آب آن‌ها خطر بالایی در زوال سیستم‌های توزیع و ذخیره آب فلزی در منطقه اوگبارو دارد. در پژوهشی سارکار و همکاران (۹) پتانسیل خصوصیات خوردگی و ترسیب آب زیرزمینی در سفره‌های کواترنری حوضه بنگال واقع در کشور هند را با استفاده از پنج شاخص کیفی آب نظیر لانژلیه، رایزنر و بررسی کردند. نتایج هیدروژئوشیمیایی نشان داد که $Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$ و Ca-Mg-Cl دو رخساره غالب آب زیرزمینی می‌باشند. نتایج حاصل از شاخص‌های خوردگی نشان داد که آب زیرزمینی منطقه موردمطالعه دارای پتانسیل پوسته‌پوسته شدن بالایی هستند. علاوه بر این، شاخص‌ها به لحاظ مکانی تغییرات قابل‌توجهی را از خود نشان می‌دهند به‌طوریکه در قسمت جنوبی منطقه موردمطالعه پتانسیل خوردگی بالاتری را از خود نشان می‌دهند درحالی‌که قسمت شرقی تمایل پوسته گیری بالاتری را دارند.

به‌طورکلی فرآیند خوردگی در درازمدت علاوه بر این‌که می‌تواند بر سلامت انسان‌ها تاثیرگذار باشد می‌تواند مشکلات اقتصادی، اجتماعی، فنی مهندسی و زیباشناختی را به دنبال داشته باشد. در کشور ما آمار دقیقی از میزان خسارت دو پدیده خورندگی و رسوب‌گذاری در شبکه توضیع آب در دسترس نیست، اما برخی از بررسی‌ها نشان می‌دهد که حدود ۳۰ درصد از آب در شبکه توزیع به دلیل پوسیدگی لوله‌ها ناشی خوردگی هدر می‌رود (۱۰). براساس معیارهای جهانی، شاخص‌ها کنترل خورندگی و رسوب‌گذاری باید حداقل سالی یک‌بار برای شبکه‌های توزیع آب که از منابع آب زیرزمینی استفاده می‌کنند تعیین گردند (۱۱). از این‌رو، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی پتانسیل خورندگی و ترسیب در چاه‌های تامین کننده آب شرب شهر گرگان با استفاده از برخی شاخص‌ها در سال ۱۳۹۶ انجام شده است. نتایج این مطالعه می‌تواند سبب شناسایی وضعیت بهداشتی آب شرب شهر گرگان و درنهایت با استفاده از روش‌های مختلف کنترل خورندگی موجب به حداقل رساندن خسارات ناشی از آن گردد.

پژوهش حاضر با اهداف (۱) بررسی هیدروشیمی چاه‌های تامین کننده آب شرب شهر گرگان و تغییرات آن‌ها در دو فصل بهار و پاییز سال ۱۳۹۶، (۲) بررسی تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی

[۱] Langelier
[۲] Ryznar
[۳] Larson-Skold

در دو دوره موردمطالعه، (۳) تخمین شاخص‌های خورندگی و رسوبگذاری توسط شاخص‌های
پتانسیل ترسیب کربنات کلسیم، خورندگی لانژلیه، رایزنر، لارسون-اسکلد و نسبت خورندگی و درنهایت (۴) بررسی سطح معناداری شاخص‌ها در منابع آب آشامیدنی شهر گرگان در دو فصل بهار و پاییز با استفاده از آزمون آماری واریانس انجام شد.

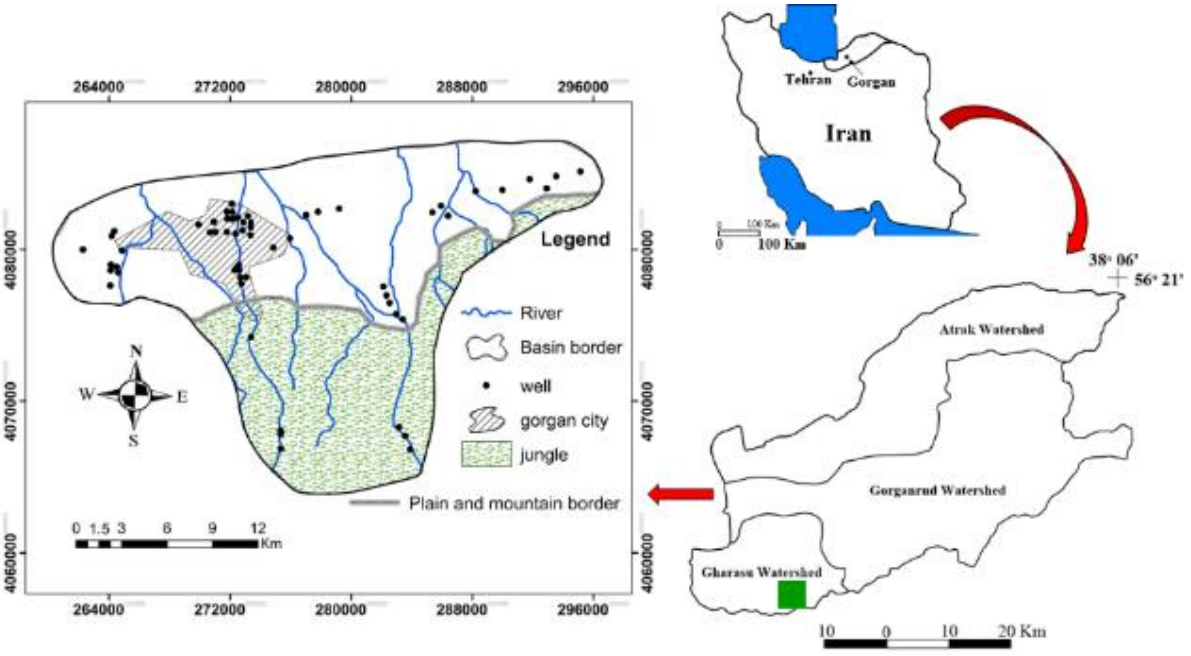
مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

شهر گرگان با موقعیت طول جغرافیایی ۵۴/۲۶ و عرض جغرافیایی ۳۶/۵۰، مساحت حدودا ۱۶۱۵ کیلومترمربع و ارتفاع ۱۶۰ متر از سطح دریا مرکز استان گلستان می‌باشد (شکل ۱). این شهر از جنوب به استان سمنان، از شمال به شهرهای آق‌قلا و ترکمن، از شرق به شهر علی‌آباد و از غرب به کردکوی محدود می‌شود. براساس سرشماری سال ۱۳۹۵، شهر گرگان نزدیک به نیم میلیون نفر جمعیت دارد. این شهر به‌تنهایی بالغبر ۳۵ درصد جمعیت شهری استان را در خود جا داده است. شهر گرگان دارای آب‌وهوای معتدل خزری یا مدیترانه‌ای است که به‌طورمعمول از غرب مازندران بارش کمتری دارد. هرچند تابستان‌های آن نسبتاً گرم و شرجی است. مهمترین رودهای گرگان که به دریای خزر می‌ریزند رودهای قره‌سو، کفشگیری و زیارت هستند. آبخوان شهر گرگان (زیارت) بیشتر تحت تاثیر رسوب‌گذاری رودخانه زیارت می‌باشد (۱۲، ۱۳). این آبخوان با مساحت تقریبی ۴۰ کیلومترمربع از زیر شهر گرگان با سمت شمال کشیده شده است. اندازه ذرات آبخوان با توجه به لاگ چاه‌های حفاری‌شده در منطقه از جنوب به سمت شمال کاهش می‌یابد. هم‌چنین جهت شیب هیدرولیکی آبخوان به شمال منطقه می‌باشد (۱۲).

زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه

ازنظر زمین‌شناسی، شهر گرگان در زون ساختاری البرز واقع‌شده است. از مهمترین واحدهای سازندهای منطقه موردمطالعه می‌توان به سازندهای مربوط به پالئوزوئیک شامل شیست‌های سبز گرگان، مجموعه شیست‌ها و سنگ آهک‌های ژوراسیک به همراه سنگ آهک‌های کرتاسه پایانی اشاره کرد. در این میان سازندهای لار و مزدوران با سن ژوراسیک بالایی بیشترین برونزد را در حوزه آبریز رودخانه زیارت دارد. واحدهای سنگ چینه‌ای سنوزوئیک دارای گسترش محدودی در این حوزه است که در این میان رسوبات نئوژن شامل شیل، مارن، ماسه و کنگلومرا دارای بیشترین گسترش سطحی است. نهشته‌های لسی از گسترده‌ترین رسوبات دوران چهارم است که به‌صورت تپه‌ماهوری برونزد دارد (۱۲، ۱۳).



شکل ۱: موقعیت منطقه موردمطالعه به همراه چاه‌های نمونه‌برداری در ایران و استان گلستان

روش پژوهش

در این پژوهش از نتایج آنالیز شیمیایی مربوط به ۶۳ حلقه چاه تامین کننده آب شرب در دو فصل بهار و پاییز سال ۱۳۹۶ استفاده شد. میزان برخی از پارامترهای نظیر pH، درجه حرارت (T) و هدایت الکتریکی (EC) در هنگام نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. درحالی‌که میزان پارامترهای شیمیایی نظیر کل مواد جامد محلول (TDS)، بی‌کربنات (HCO_3^-)، کلراید (Cl^-)، سولفات (SO_4^{2-})، نیترات (NO_3^-)، نیتریت (NO_2^-)، فلوراید (F^-)، فسفات (PO_4^{2-})، کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، سدیم (Na^+)، پتاسیم

(K^+) و آهن (Fe^{2+}) در آزمایشگاه شیمی اداره آب و فاضلاب گرگان اندازه‌گیری شد.

در این مطالعه مقدار برخی پارامترهایی نظیر دما، pH و هدایت الکتریکی در محل و با استفاده از دستگاه مولتی پارامتر قابل‌حمل (WTW Multi 3430) و الکترودهای مناسب (WTW, Weilheim, Germany) تعیین شد. مقادیر مابقی پارامترها در آزمایشگاه با استفاده از روش‌های استاندارد موجود برآورد شد. برای اندازه‌گیری غلظت آنیون‌های بیکربنات و کلراید از روش تیتراسیون[۴] استفاده شد. در حالی‌که اندازه‌گیری غلظت آنیون سولفات با استفاده از روش کلرید باریم و دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد. جهت اندازه‌گیری کاتیون‌ها ی سدیم و پتاسیم از روش فلیم فتومتر[۵] استفاده شد. غلظت کاتیون‌ها ی کلسیم و منیزیم با استفاده از روش تیتراسیون تعیین شد. مقادیر آهن و منگنز نمونه‌های آب با استفاده از روش اسپکتروفتومتر جذب اتمی (Model AA-670, Japan) اندازه‌گیری شد. غلظت آنیون‌های نیتریت، نیترات و فسفات با استفاده از اسپکتروفتومتر (HACH, DR5000) با استفاده از روش‌های استاندارد برآورد شد و درنهایت غلظت فلوراید نمونه‌های آب زیرزمینی با استفاده از دستگاه یون کروماتوگراف (Metrohm 861) تعیین شد (۱۴).

پس از اندازه‌گیری مقدار پارامترهای هیدروشیمیایی، تغییرات زمانی و مکانی پارامترها به با استفاده روش آماری از آزمون آماری واریانس یک‌طرفه به بررسی سطح معناداری پارامترها و استفاده از نرم‌افزار ArcGIS (روش IDW) بررسی شد (۱۵). هدف اصلی از انتخاب این روش تعیین مقدار پارامترهای بررسی‌شده در مناطقی بود که در آن‌ها نمونه‌برداری انجام نشده است. این کار نیز با توجه به نقاط همسایه و با میانگین‌گیری از نقاط نمونه که در همسایگی هر نقطه مجهول قرار دارند انجام شده است. در این پژوهش به‌منظور تعیین پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب آشامیدنی شهر گرگان از شاخص‌های خوردگی لانژلیه، رایزنر، نسبت خوردگی و لارسون–اسکلد استفاده شد. درنهایت تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های محاسبه‌شده در سال بهار و پاییز ۱۳۹۶بررسی شد.

۳-۲- شاخص‌های خورندگی و ترسیب

سختی آب: این شاخص معیار مهمی برای ارزیابی کیفیت آب در بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت می‌باشد. ازنظر پزشکی، آب سخت باعث بروز سنگ کلیه، اختلالات قلبی–عروقی و شیوع برخی از انواع سرطان می‌شود (۱۶). در بخش صنعت، آب‌های سخت هم‌چنین می‌توانند سبب تشکیل رسوب و پوسته در آبگرمکن‌ها، لوله‌های انتقال آب، پمپ‌های چاه‌ها، دیگ‌های بخار و هم‌چنین وسایل پخت‌وپز شوند. سختی کل (برحسب CaCO3) نمونه‌های آب را می‌توان بر اساس غلظت دو یون کلسیم و منیزیم و با استفاده از رابطه زیر محاسبه کرد (۱۷):

$$[CaCO_3] = 2.5[Ca^{2+}] + 4.1[Mg^{2+}] \qquad (۱)$$

سنجه اشباع لانژلیه (LSI): این شاخص مدلی است مشتق شده از مفهوم تئوریکی اشباع و شاخصی از درجه اشباع آب با کربنات کلسیم را ارائه می‌نماید. میزان شاخص لانژلیه مفهوم اشباع را با استفاده از pH به‌عنوان یک متغیر اصلی بیان می‌نماید. این شاخص تاثیر پارامترهایی نظیر کلسیم، قلیایت کل، جامدات محلول و دما را در محاسبه مقادیر pH اشباع (pHS) نشان می‌دهد. LSI می‌تواند به‌عنوان تغییر موردنیاز pH جهت رسیدن آب به تعادل تعبیر گردد. شاخص اشباع لانژلیه از رابطه زیر قابل‌محاسبه می‌باشد (۱۸):

$$LSI = pH - pH_s] \qquad (۲)$$

سنجه اشباع رایزنر: این شاخص نوع اصلاح‌شده‌ی شاخص لانژلیه است که برخلاف نوع لانژلیه مقادیر آن مثبت می‌باشد وضعیت آب برای مقادیر مختلف شاخص رایزنر در جدول۳ مشخص‌شده است. شاخص رایزنر از رابطه (۳) تعیین مقدار می‌شود. در این رابطه مقادیر pHS با استفاده از pH واقعی، غلظت یون‌های کلسیم و بی‌کربنات، TDS و دما محاسبه می‌گردد (۱۹).

$$RSI = 2pH_s - pH \qquad (۳)$$

نسبت خوردگی CR: این نسبت جهت ارزیابی خورندگی آب مورداستفاده قرار می‌گیرد. CR را می‌توان طبق رابطه زیر محاسبه نمود چنانچه CR کوچکتر از ۱ باشد انتقال آب با هر نوع لوله بلامانع است، اما اگر CR بزرگتر از ۱ باشد نمی‌توان از لوله‌های فلزی برای انتقال استفاده نمود.

$$CR = \left[\left(\frac{Cl}{35.5}\right) + 2\left(\frac{SO_4}{96}\right)\right] / \left[\frac{2(HCO_3 + CO_3)}{100}\right] \qquad (۴)$$

سنجه لارسون–اسکلد (LS): این رابطه بر اساس مجموع غلظت کلراید و سولفات به قلیاییت(مجموع کربنات و بی‌کربنات) به‌دست می‌آید (۱).

$$LS = (Cl + SO_4)/(HCO_3 + CO_3) \qquad (۵)$$

بر اساس رابطه (۵) چنانچه LS کمتر از ۰/۸ باشد آب خاصیت خوردگی ندارد درصورتی که بین ۰/۸ تا ۱/۲ باشد آب خورنده است چنانچه بیش از ۱/۲ باشد آب خورندگی بالایی دارد.

نتایج

–هیدروشیمی: در این پژوهش به‌منظور بررسی تفاوت آماری بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی چاه‌های آب شرب شهر گرگان در دو دوره موردبررسی (فصل بهار و پاییز) از آزمون T زوجی در سطح احتمال ۰/۰۵ در محیط نرم‌افزار مینی‌تب استفاده شد. از بین فاکتورهای موردبررسی ۸ پارامتر Ca، NO_3، HCO_3، SO_4، Cl، EC، TDS و TH در دو فصل بهار و پاییز اختلاف معنی‌دار مشاهده شده‌است و برای سایر فاکتورها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. کلسیم و بی‌کربنات و TH (که وابسته به غلظت کلسیم است) می‌تواند به دلیل نرخ تغذیه متفاوت آبخوان توسط جبهه کوهستان باشد. اختلاف غلظت نیترات، سولفات، کلراید و در پی آن TDS و EC می‌تواند نتیجه فعالیت‌های بشری نظیر

[۴] Titration method

[۵] Flame photometer

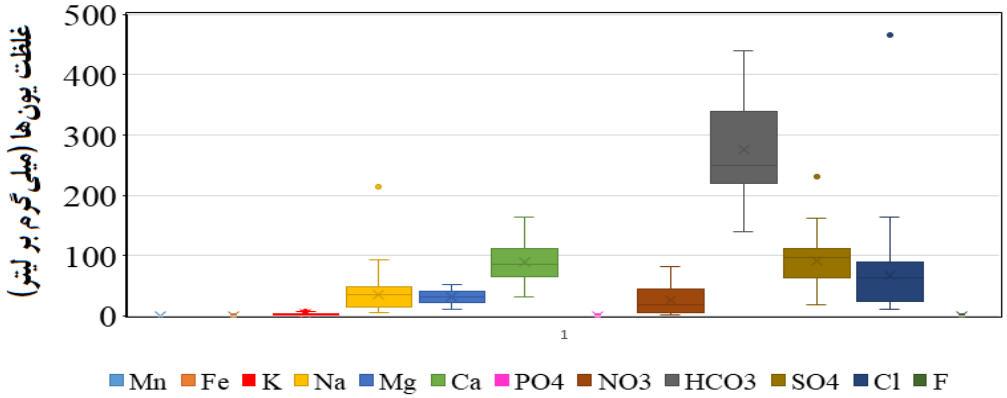
نفوذ پسآب‌های شهری و صنعتی، نفوذ آب شور درنتیجه‌ی برداشت بیش‌ازحد از سفره باشد.

به منظور بررسی هیدروشیمیایی منابع آب زیرزمینی شهر گرگان از آنالیز شیمیایی ۱۲ پارامتر فیزیکوشیمیایی استفاده شد (شکل۲). نتایج نشان داد آنیون بیکربنات و کاتیون کلسیم به ترتیب بیشترین مقدار را در منابع آب زیرزمینی شهر گرگان دارند. این امر می‌تواند در نتیجه تغذیه آبخوان توسط مجموعه سنگ آهک‌های مربوط به دوران ژوراسیک (سازندهای لار و مزدوران) به همراه سنگ آهک‌های کرتاسه پایانی باشد که عمدتا دارای ترکیب کربنات کلسیم هستند. علاوه براین، چون یون کلسیم یکی از عناصر اصلی در افزایش میزان سختی آب زیرزمینی است (رابطه ۱)، می‌توان انتظار داشت که آب زیرزمینی آبخوان گرگان از سختی بالایی برخوردار باشند.

به منظور بررسی تیپ منابع آب زیرزمینی شهر گرگان از دیاگرام استیف استفاده شد. براساس دیاگرام استیف آب زیرزمینی منطقه موردمطالعه در فصل بهار به ترتیب سه تیپ شیمیایی $Ca\text{-}HCO_3$، Na-Cl و Ca-Cl دارد و در فصل پاییز چهار رخساره شامل $Mg\text{-}HCO_3$، Ca-HCO3، Na-HCO_3 و Na-Cl را نشان می‌دهند (جدول۱). نتایج حاصل از بررسی فراوانی تیپ آب مربوط به منابع آب زیرزمینی شهر گرگان نشان داد که تیپ غالب منطقه موردمطالعه در فصل بهار و پاییز بی‌کربنات کلسیک است. غالب بودن تیپ آب در آب زیرزمینی ارتباط مستقیم با غلظت یون‌های آب دارد. از آنجایی که یون‌های کلسیم و بی‌کربنات در آب زیرزمینی آبخوان شهر گرگان فراوان است، غالب بودن تیپ بی‌کربنات کلسیک بدیهی می‌باشد.

هم‌چنین براساس دیاگرام‌های مثلثی تجمع بیشتر نمونه‌ها در داخل مثلث‌های است که غنی از کلسیم و بیکربنات هستند (شکل۳). با توجه به اینکه دو یون کلسیم و منیزیم بیشترین غلظت را در منابع آب زیرزمینی شهر گرگان دارند، نتایج مربوط به دیاگرام‌های مثلثی بدیهی به نظر می‌رسد. براساس مثلث کاتیون‌ها تعداد تنها دو نمونه‌ها تمایل به سمت مرکز مثلث دارند. از این‌رو این دو نمونه فاقد یک کاتیون غالب هستند. در چاه شماره ۹ میزان آنیون و کاتیون غالب آب زیرزمینی به ترتیب کلر و سدیم می‌باشند. با توجه به اینکه که محدوده موردمطالعه بر روی مخروط افکنه رودخانه زیارت قرار دارد و می‌بایست دارای تیپ مناطق تغذیه باشند نفوذ آب شور به داخل آبخوان به‌دلیل عمق بالای چاه و یا نرخ بالای پمپاژ محتمل‌ترین دلیل برای افزایش غلظت یون‌های کلر و بی‌کربنات می‌باشد.

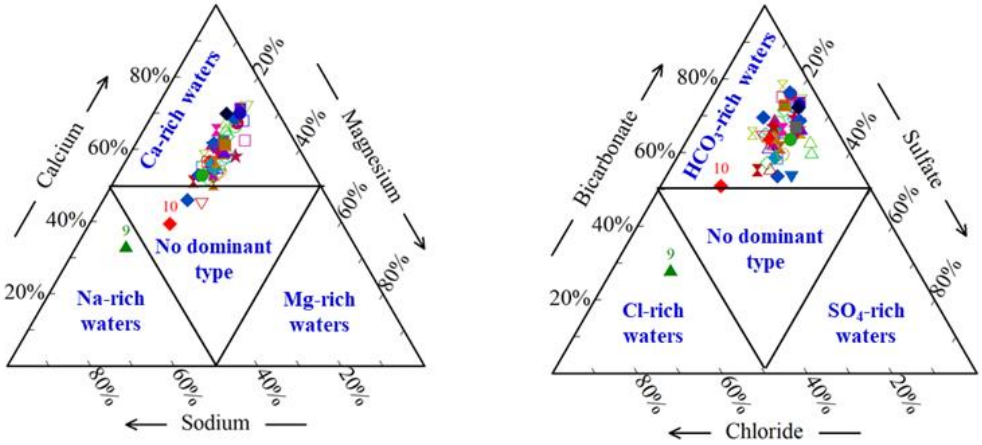
براساس الگوی پراکنش یون‌ها در آب زیرزمینی، غلظت اکثر پارامترها در جهت حرکت آب زیرزمینی به سمت شمال محدوده موردمطالعه در حال افزایش می‌باشد. با توجه به شکل۴، بیش‌ترین غلظت پارامترهای نظیر سولفات، کلسیم و هدایت الکتریکی که نقش مهمی در ایجاد خورندگی و ترسیب آب زیرزمینی دارند در محدوده شهر گرگان و در قسمت منطقه مسکونی با بافت قدیم مشاهده نمود. البته این امر علاوه بر نفوذ پسآب‌های شهر می‌تواند نتیجه برداشت بیش‌ازحد آب زیرزمینی و احتمالا نفوذ آب شور لایه‌های زیرین باشد.



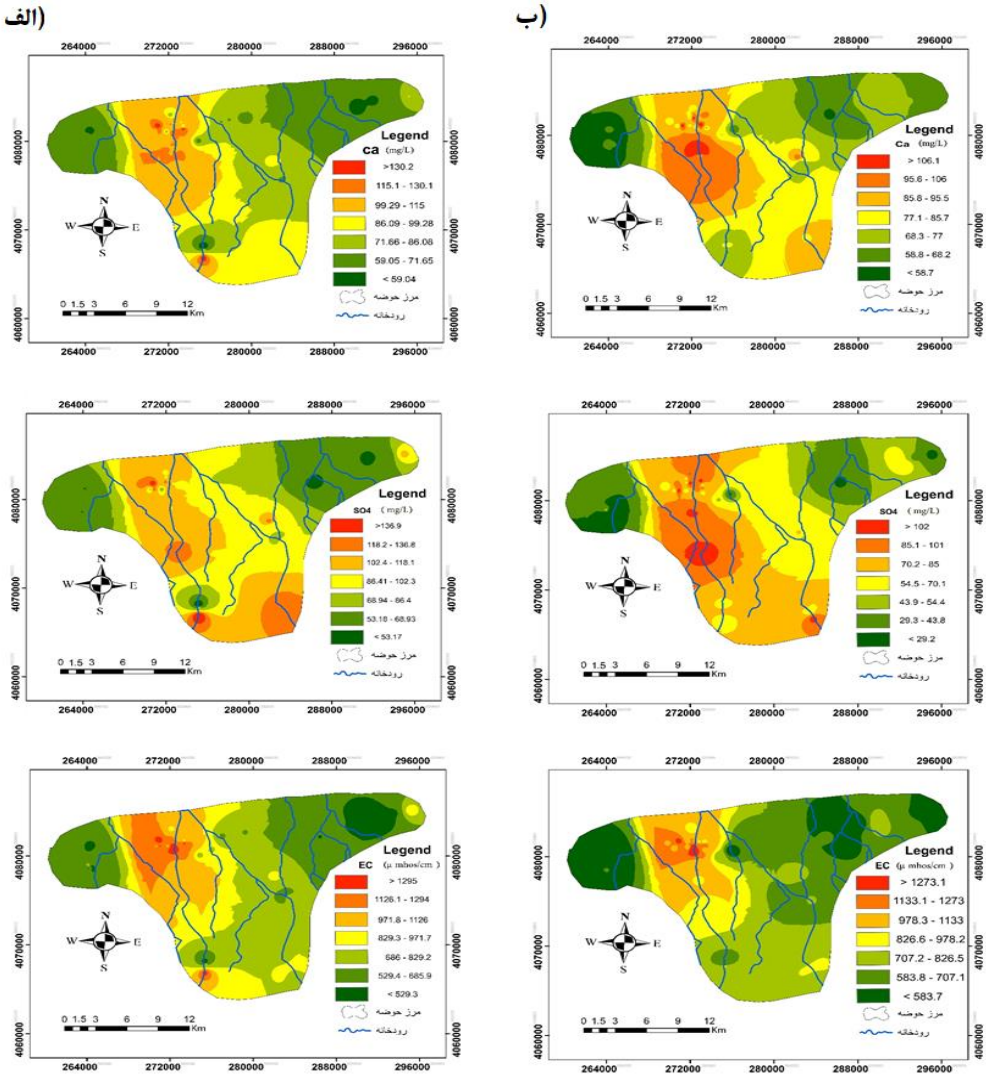
شکل۲: دیاگرام جعبه‌ای غلظت متوسط یون‌های آب زیرزمینی

جدول۱: تیپ آب چاه‌های منطقه موردمطالعه در فصل‌های بهار و پاییز

فصل	تیپ‌های آب	تعداد چاه	شماره چاه	درصد تیپ نمونه‌ها
بهار	$Ca\text{-}HCO_3$	۶۱	بقیه چاه‌ها	۹۶/۸
	Na-Cl	۱	۹	۱/۶
	Ca-Cl	۱	۱۰	۱/۶
پاییز	$Ca\text{-}HCO_3$	۵۷	بقیه چاه‌ها	۹۰/۵
	Na-Cl	۱	۹	۱/۶
	$Mg\text{-}HCO_3$	۴	۲۰،۱۴،۳،۱	۶/۳
	$Na\text{-}HCO_3$	۱	۱۷	۱/۶



شکل۳: دیاگرام مثلثی منابع آب زیرزمینی شهر گرگان



شکل۴: تغییرات مکانی و زمانی برخی از پارامترهای شیمیایی در منابع آب زیرزمینی شهر گرگان (الف: بهار و ب: پاییز)

-شاخص‌های خوردگی و ترسیب

سختی آب: در این پژوهش ابتدا میزان سختی کل در منابع آب زیرزمینی شهر گرگان بررسی شد (جدول۲). نتایج نشان داد تنها یک چاه در پاییز در رده آب‌های سبک (۵۰-۰ mg/L) طبقه‌بندی می‌شود. بیشتر چاه‌های تامین‌کننده آب در رده سخت (۳۰۰-۲۰۱ mg/L) تا خیلی سخت (>۳۰۰ mg/L) قرار می‌گیرد. با توجه به غلظت بالای یون کلسیم

در اکثر چاه‌های آب زیرزمینی این امر بدیهی به‌نظر می‌رسد. هم‌چنین تغییرات سختی در هر دو فصل بهار و پاییز تقریبا مشابه است که این امر به‌دلیل غلظت مشابه یون‌های کلسیم و منیزیم در دو فصل بهار و پاییز می‌باشد. همان‌طور که انتظار می‌رفت میزان سختی کل محاسبه‌شده در محدوده موردمطالعه در طول مسیر حرکت آب زیرزمینی از شمال به جنوب افزایش می‌یابد. این مورد با افزایش میزان غلظت یون‌ها در جهت آب مطابقت دارد.

طبقه‌بندی سختی آب زیرزمینی شهر گرگان براساس میزان کلسیم نسبت به سختی کل متنوع‌تر می‌باشد به‌طوریکه سختی آب براساس این شاخص از آب‌های سبک تا خیلی سخت طبقه‌بندی می‌شود. اگرچه براساس این طبقه‌بندی بیشتر منابع آب زیرزمینی شهر گرگان در رده نسبتا سخت تا سخت قرار می‌گیرد. برخلاف طبقه‌بندی براساس سختی

جدول۲: طبقه‌بندی سختی آب زیرزمینی شهر گرگان براساس میزان کربنات کلسیم و غلظت یون کلسیم

سختی	کربنات کلسیم (mg/l)						کلسیم (mg/l)		
	طبقه‌بندی ۱			طبقه‌بندی۲					
	مقدار	بهار	پاییز	مقدار	بهار	پاییز	مقدار	بهار	پاییز
سبک	۰-۵۰	۰	۱	۰-۷۵	۰	۱	۰-۲۰	۰	۰
نسبتا سبک	۵۱-۱۰۰	۰	۰	-	۰	۰	۲۱-۴۰	۱	۱
کمی سخت	۱۰۱-۱۵۰	۱	۱	-	۰	۰	۴۱-۶۰	۵	۱۳
نسبتا سخت	۱۵۱-۲۰۰	۰	۰	۷۶-۱۵۰	۱	۱	۶۱-۸۰	۲۴	۲۱
سخت	۲۰۱-۳۰۰	۲۶	۲۶	۱۵۱-۳۰۰	۲۶	۲۶	۸۱-۱۲۰	۲۵	۲۷
خیلی سخت	>۳۰۰	۳۶	۳۶	>۳۰۰	۳۶	۳۶	>۱۲۰	۸	۱

کل، نتایج حاصل از طبقه‌بندی براساس کلسیم نشان داد که تغییرات نسبتا جزئی در فصل بهار و پاییز دیده می‌شود که این امر با توجه به تغییرات جزئی یون کلسیم در دو فصل موردمطالعه بدیهی به نظر می‌رسد.

در این پژوهش مقادیر شاخص‌های کیفیت آب در بخش صنعت (لانژلیه، رایزنر، لارسون–اسکلد و نسبت خوردگی) برای منابع آب زیرزمینی شهر گرگان محاسبه شد(جدول ۳). با توجه به شاخص لانژلیه از ۶۳ چاه بررسی شده تنها آب یک چاه دارای خاصیت خنثی (LSI=0) می‌باشد و در حدود ۸۵ درصد از منابع آبی دارای خاصیت خورنده (LSI<0) هستند. آب بقیه چاهها (در حدود ۱۴ درصد) براساس شاخص لانژلیه دارای خاصیت رسوبگذار هستند (LSI>0). این نتیجه با توجه به هم جواری اکثر منابع آبی با منطقه تغذیه آب زیرزمینی بدیهی بنظر می‌رسد. با توجه به نقشه پراکنش شاخص لانژلیه در محدوده موردمطالعه، خاصیت خورنده بودن آب در جهت حرکت آب زیرزمینی (به سمت شمال) کاهش چشمگیری داشته و بر خاصیت ترسیب آب افزوده می‌شود. این نتیجه با توجه به افزایش میزان املاح آب زیرزمینی در جهت شمال همخوانی دارد.

نتایج شاخص رایزنر هم مشابهه شاخص لانژلیه می‌باشد. به‌طوریکه بجز یک چاه که خاصیت خنثی (6<RSI<7) دارد مابقی چاهها خاصیت خورندگی (RSI>7) دارند و آب آن‌ها پتانسیل تجزیه $CaCO_3$ را دارد (جدول ۳). هم‌چنین براساس نقشه پراکنش این شاخص، در جهت حرکت آب زیرزمینی خصوصا در مناطق شهری به‌دلیل ورود املاح ناشی از پساب‌های شهری تصفیه نشده و احتمالا ورود جزئی آب شور لایه‌های تحتانی از میزان خورنده بودن آب کاسته شده و تمایل آب بر رسوبگذاری افزایش می‌یابد.

در شاخص خورندگی لارسون–اسکلد نقش آنیون‌های سولفات، کلراید و گونه‌های کربناته و بی‌کربناته بر تمایل آب به خورندگی در نظر گرفته می‌شود. نتایج حاصل از طبقه‌بندی آب منابع آب زیرزمینی شهر گرگان براساس شاخص لارسون–اسکلد (LS) تا حدودی با نتایج دو شاخص قبل (لانژلیه و رایزنر) متفاوت می‌باشد. با توجه به نتایج ارائه‌شده از این شاخص در جدول ۳، در حدود ۵۵٪ از چاه‌های در فصل بهار خاصیت خورندگی ندارند و بقیه چاه‌ها دارای خاصیت خورندگی تا خورندگی بالا هستند. اما این وضعیت در فصل پاییز تغییر کرده و از خاصیت خورندگی چاه‌ها کاهش می‌یابد و بر خاصیت رسوبگذار بودن آن‌ها افزوده می‌شود. به‌طوریکه بیش از ۹۸ درصد چاه‌ها در این فصل خاصیت خورندگی ندارند

در این پژوهش نسبت خوردگی نیز برای منابع آب زیرزمینی شهر گرگان محاسبه شد (جدول ۳). با توجه به مقادیر محاسبه شده برای این نسبت در فصل بهار و پاییز به ترتیب ۹۰ و ۹۸ درصد از منابع آب زیرزمینی شهر گرگان دارای نسبت خوردگی کمتر از یک می‌باشد. ازاین‌رو انتقال آب بیشتر چاه‌ها با هر نوع لوله‌های فلزی امکان‌پذیر می‌باشد. اما برای انتقال آب باقی مانده چاه‌ها می‌بایست از لوله‌هایی با استحکام و مقاومت بالا استفاده شود و انتقال آب آن‌ها به وسیله لوله‌های فلزی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

جدول ۳: طبقه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی شهر گرگان با استفاده از شاخص‌های LSI، RSI، CR و LS در فصول بهار و پاییز سال ۱۳۹۶

شاخص	درصد چاه		تعداد چاه		مقدار شاخص	طبقه‌بندی
	پاییز	بهار	پاییز	بهار		
لانژلیه (LSI)	۱۴/۲۹	۱۴/۲۹	۹	۹	LSI>0	آب فوق اشباع بوده و تمایل به رسوب $CaCO_3$ دارد
	–	۱/۵۹	–	۱	LSI = 0	آب خنثی می‌باشد
	۸۵/۷۱	۸۴/۱۲	۵۴	۵۳	LSI<0	آب تحت اشباع بوده و پتانسیل تجزیه $CaCO_3$ را دارد
رایزنر (RSI)	–	–	–	–	RSI<6	آب فوق اشباع بوده و تمایل به رسوب $CaCO_3$ دارد
	۱/۵۹	–	۱	–	6<RSI<7	آب خنثی می‌باشد
	۹۸/۴۱	۱۰۰	۶۲	۶۳	RSI>7	آب تحت اشباع بوده و پتانسیل تجزیه $CaCO_3$ را دارد
لارسون–اسکلد (LS)	۹۸/۴۱	۵۵/۵۶	۶۲	۳۵	LSI<0.8	آب خاصیت خوردگی ندارد
	۱/۵۹	۳۳/۳۳	۱	۲۱	0.8<LSI<1.2	آب خورنده است
	–	۱۱/۱۱	–	۷	LSI>1.2	آب خاصیت خورندگی بالایی دارد
نسبت خوردگی (CR)	۹۸/۴۱	۹۰/۴۸	۶۲	۵۷	CR<1	انتقال آب با هر نوع لوله بدون مانع است
	۱/۵۹	۹/۵۲	۱	۶	CR>1	انتقال آب با لوله فلزی مجاز نیست

جدول ۴: مقادیر p-value آزمون T زوجی برای شاخص‌های محاسبه شده در فصل بهار و پاییز

نام شاخص	رایزنر (RSI)	لارسون– اسکلد (LS)	لارسون– اسکلد (LS)	نسبت خوردگی(CR)
مقدار p-value	۰/۱۲۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی پتانسیل خورندگی و ترسیب در چاه‌های آب شرب شهر گرگان در دو فصل بهار و پاییز انجام شد.

وجود اختلاف آمارای در ۸ پارامتر فیزیکوشیمیایی در دو فصل بهار و پاییز باعث تنوع تیپ و رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی در این دو فصل شده‌است. به‌طوریکه در فصل بهار به ترتیب سه تیپ شیمیایی $Ca\text{-}HCO_3$، Na-Cl و Ca-Cl مشاهده شد. اما در فصل پاییز به چهار رخساره $Mg\text{-}HCO_3$، $Ca\text{-}HCO_3$، $Na\text{-}HCO_3$ و Na-Cl تغییر کرده‌است. اگرچه تیپ غالب آب زیرزمینی در هر دو فصل بهار و پاییز بی‌کربنات کلسیک است. هم‌چنین براساس نمودار مثلثی تجمع بیشتر نمونه‌ها در داخل مثلث‌های است که دارای غنی از کلسیم و بیکربنات هستند. پراکندگی مکانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی نشان داد که غلظت بیشتر پارامترها در جهت حرکت آب زیرزمینی به سمت شمال و خصوصا در محدوده شهر گرگان به‌دلیل واکنش‌آب–سنگ، تغذیه آب‌زیرزمینی توسط پساب‌های شهری و در برخی مناطق نفوذ آب شور لایه‌های تحتانی به بیشترین مقدار خود رسیده‌است.

افزایش میزان غلظت یون‌های آب زیرزمینی خصوصا کلسیم و منیزیم در جهت حرکت آب زیرزمینی به سمت شمال منطقه موردمطالعه باعث شده‌است که میزان سختی کل و سختی ناشی از کلسیم در جهت حرکت آب زیرزمینی افزایش یابد. به‌طور کلی آب زیرزمینی شهر گرگان در رده سخت تا خیلی سخت قرار می‌گیرد. هم‌چنین تغییرات سختی کل در هر دو فصل بهار و پاییز تقریبا مشابه است. برخلاف طبقه‌بندی براساس سختی کل، نتایج حاصل از طبقه‌بندی براساس کلسیم نشان داد که تغییرات نسبتا جزئی در فصل بهار و پاییز دیده می‌شود.

براساس شاخص‌های لانژلیه و رایزنر بیشتر منابع آبی دارای خاصیت خورنده هستند و آب آن‌ها پتانسیل تجزیه CaCO3 را دارد. این امر با توجه به هم جواری اکثر منابع آبی با منطقه تغذیه آب زیرزمینی بدیهی بنظر می‌رسد. با توجه به نقشه پراکنش این شاخص‌ها در محدوده موردمطالعه، خاصیت خورنده بودن آب در جهت حرکت آب زیرزمینی (به سمت شمال) کاهش چشمگیری داشته و بر خاصیت ترسیب آب افزوده می‌شود. این نتیجه با توجه به افزایش میزان املاح آب زیرزمینی در جهت شمال خصوصا در مناطق شهری به‌دلیل ورود املاح ناشی از پساب‌های شهری تصفیه نشده و احتمالا ورود جزئی آب شور لایه‌های همخوانی دارد.

نتایج حاصل از طبقه‌بندی آب منابع آب زیرزمینی شهر گرگان براساس شاخص لارسون–اسکلد تا حدودی با نتایج دو شاخص قبل (لانژلیه و رایزنر) متفاوت می‌باشد. به‌طوریکه در حدود ۵۵ درصد از چاه‌های در فصل بهار خاصیت خورندگی ندارند و بقیه چاه‌ها دارای خاصیت خورندگی تا خورندگی بالا هستند. اما این وضعیت در فصل پاییز تغییر کرده و از خاصیت خورندگی چاه‌ها کاهش می‌یابد و بر خاصیت رسوبگذار بودن آن‌ها افزوده می‌شود. به‌طوریکه بیش از ۹۸درصد چاه‌ها در این فصل خاصیت خورندگی ندارند

نتایج آزمون تی جفت شده نشان از وجود اختلاف آماری شاخص‌های نسبت خوردگی، لارسون–اسکلد و لانژلیه در دو فصل بهار و پاییز دارد. اما برای شاخص رایزنر اختلاف آماری در دو فصل بهار و پاییز مشاهده نشد.

با توجه به مقادیر محاسبه شده برای این نسبت خوردگی در فصل بهار و پاییز به ترتیب ۹۰ و ۹۸ درصد از منابع آب زیرزمینی شهر گرگان دارای نسبت خوردگی کمتر از یک می‌باشد. ازاین‌رو انتقال آب بیشتر چاه‌ها با هر نوع لوله‌های فلزی امکان‌پذیر می‌باشد. اما برای انتقال آب باقی مانده چاه‌ها می‌بایست از لوله‌هایی با استحکام و مقاومت بالا استفاده شود و انتقال آب آن‌ها به وسیله لوله‌های فلزی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

بدین وسیله از شرکت آب و فاضلاب شهر گرگان به منظور در اختیار گذاشتن آمار کیفی چاهها تشکر و قدردانی می‌شود. این مقاله حاصل قسمتی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان "بررسی هیدروژئوشیمی و آلودگی آبخوان شهر گرگان " و حمایت مالی دانشگاه گنبدکاووس می‌باشد.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: مجتبی قره‌محمودلو

روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: مجتبی قره‌محمودلو، نادر جندقی، مصطفی رقیمی

نظارت و نگارش نهایی: مجتبی قره‌محمودلو، علی حشمت‌پور، حسن مازنی

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. Faridirad F, Gholinezhad M. Investigating corrosion and scaling Indices of potable water in city of Pardis water treatment plant. Journal of Water & Wastewater Science and Engineering. 2021; 6(3): 16-24. [In Persian]
2. Refait P, Jeannin M, Sabot R, Antony H, Pineau S. (2015). Corrosion and cathodic protection of carbon steel in the tidal zone: Products, mechanisms and kinetics. Corrosion Science. 2021; 90: 375-382.
3. Palazzo A, van der Merwe J, Combrink G. The accuracy of calcium-carbonate-based saturation indices in predicting the corrosivity of hot brackish water towards mild steel. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2015; 115 (12):1229-1238.
4. Vasconcelos HC, Fernández-Pérez BM, González S, Souto RM, Santana JJ. Characterization of the corrosive action of mineral waters from thermal sources: a case study at Azores Archipelago, Portugal. Water. 2015; 7 (7): 3515-3530.
5. Reyes, A., Letelier, M., Delaiglesia, R., Gonzalez, B. Lagos, G. (2008). Microbiologically induced corrosion of copper pipes in low-pH water. International Biodeterioration and Biodegradation. 61, 135-141.
6. Ghareh Mahmoodlu, M., Jandaghi, N., Sayadi, M. Investigating the factors affecting corrosion and precipitation changes along Gorganroud River, Golestan Province, Environmental Science Quarterly. 2021; 19 (2): 71-90 [In Persian].
7. Fazel Valipour ME. Evaluation of underground water resources southwest of Qochan (Razavi Khorasan Province) for drinking and industrial purposes based on quality indicators. New Approaches in Civil Engineering. 2021; 5(3): 68-81. [In Persian].
8. Omeka ME, Egbueri JC, Unigwe CO. Investigating the hydrogeochemistry, corrosivity and scaling tendencies of groundwater in an agrarian area (Nigeria) using graphical, indexical and statistical modelling. Arabian Journal of Geosciences. 2022; 15 (13): p.1233.
9. Sarkar B, Islam A, Das BC, Nandy S. Corrosion and scaling potential of groundwater in Quaternary aquifers of Bengal Basin, India. Arabian Journal of Geosciences. 2022; 15 (12): p.1152.
10. Nabizadeh Nodehi R, Mesdaghinia AR, Nasseri S, Hadi M, Soleimani H, Bahmani P. Analysis of water corrosion tendency in water supply system using qualitative

indices and calcium carbonate precipitation potential index. Iranian Journal of Health and Environment. 2017; 9 (4): 457-470. [In Persian]
11. Hoseinzadeh E, Yusefzadeh A, Rahimi N, Khorsandi H. Evaluation of corrosion and scaling potential of a water treatment plant. Archives of Hygiene Sciences. 2013; 2 (2): 41-47.
12. Raghimi M, Rahimi Chakdel A, Ghareh Mahmoodlu M, Shahpasandzadeh M, Khademi SM. The effects of geological factors on chemical quality of drinking water of Gorgan, Iran, Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. 2008; 15(1): 1-13. [In Persian]
13. Mazani H. Investigation of hydrogeochemistry and contamination of Gorgan aquifer. MSc Thesis, Gonbad Kavous University. 2022. [In Persian]
14. Ghezelsofloo E, Raghimi M, Mahmoodlu MG, Rahimi-Chakdel A, Khademi SMS. Saltwater intrusion in drinking water wells of Kordkuy, Iran: an integrated quantitative and graphical study. Environmental Earth Sciences. 2021; 80 (16): p.520.
15. Izanloo S, Ghareh Mahmoodlu M, Jandaghi N, Ghorbani Vaghei H. Evaluation of Saturated Hydraulic Conductivity Changes in Surface and Subsurface Layers of Loess Soils of East of Golestan Province, Applied Soil Research. 2022; 10(2): 103-119. [In Persian]
16. Durvey VS, Sharma LL, Saini VP, Sharma BK. Handbook on the Methodology of Water Quality Assessment. Rajasthan Agriculture University, India. 1991.
17. Bhat MA, Wani AS, Vijay K, Jyotirmaya S, Dinesh T, Sanswal R. An overview of the assessment of groundwater quality for irrigation. Journal of Agricultural Science and Food Research. 2018; 9 (1): 1-9.
18. You SH, Tseng DH, Guo GL. A case study on the wastewater reclamation and reuse in the semiconductor industry. Resources, Conservation and Recycling. 2001; 32: 73-81.
19. Marangou V S, Savvides K. First desalination plant in Cyprus-product water aggresivity and corrosion control. Desalination. 2001; 138 (1-3): 251-258.