



Assessment of hydrochemical characteristics and quality of the Garmabdasht River, Golestan Province, NE Iran

Shaghayegh Samiee-Rad¹, Giti Forghani Tehrani^{2✉}, Hadi Jafari³

1. Msc Student, Earth Sciences Faculty, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. Email: shaghayegh.rad714@gmail.com
2. Associate professor, Earth Sciences Faculty, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. Email: forghani@shahroodut.ac.ir
3. Associate professor, Earth Sciences Faculty, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. Email: h_jafari@shahroodut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 10 September 2024
Received in revised form 22
October 2024
Accepted 29 October 2024

Keywords:

Garmabdasht River,
Hydrochemistry, Microbial
pollution, Water Quality
Index.

ABSTRACT

The Garmabdasht River as the first tributary of the Qarasu River, flows through the city of Gorgan and eventually flows into Gorgan Bay. In order to study the hydrochemistry and to assess the water quality, 10 water samples were collected in June 2022. Physicochemical properties (pH, electrical conductivity, total dissolved solids), major ion concentrations, and microbiological parameters (dissolved oxygen content, biological oxygen demand, chemical oxygen demand, and coliform bacteria) were measured by standard methods. The obtained results show that the pH of the water samples varies between 7.5 and 8.5 and the electrical conductivity of water samples varies between 376 and 665 $\mu\text{s}/\text{cm}$. In terms of hardness, water samples were classified as hard and very hard. The concentrations of the major ions, phosphate and nitrate were within the permissible range for drinking usage. By calculating the ionic ratios and drawing the Durov diagram, it was found that the water chemistry was mainly controlled by the dissolution process. The position of the samples on the Piper diagram shows that the type and facies of the river water samples were calcium bicarbonate, magnesium bicarbonate and calcium sulphate. According to the Wilcox diagram, the Garmabdasht river water was suitable for irrigation. The residual sodium carbonate and sodium percentage values confirm this conclusion; however, based on the magnesium hazard index, the studied samples were not suitable for irrigation. The values of dissolved oxygen in all samples were within the permissible limit. The amounts of biological oxygen demand and chemical oxygen demand in some stations exceeded the permissible limit due to the influx of livestock and agricultural effluents. The obtained results show that the samples were microbially polluted, which may induce the health problem in the local population. The values of NSFQI also shows that, except for the upstream samples of S1 and S2, the quality of the studied samples for drinking is in the bad to medium class.

Introduction

Water resources including rivers, lakes, natural glaciers, rainwater, and groundwater are the main components of the ecosystem. In addition to providing drinking water, these sources play an essential role in various economic sectors, including agriculture, livestock, forestry, industrial activities, hydropower generation, fisheries, and other activities. Population densities in river basins are usually high due to favorable living conditions such as access to

fertile land, and the possibility of providing water for various uses. Rivers also play an important role in transporting industrial, urban, and agricultural wastewater, which causes pollution of these valuable water resources. The pollution of surface waters can have a direct impact on human health. To maintain water quality through appropriate control measures, continuous monitoring of hydrochemical and microbial parameters is of crucial importance. Continuous monitoring of hydrochemical and

Cite this article: Samiee-Rad, S., Forghani Tehrani, G., Jafari, H. (2024). Assessment of hydrochemical characteristics and quality of the Garmabdasht River, Golestan Province, NE Iran. *Journal of Engineering Geology*, 18 (3), 450-478. <https://doi.org/10.22034/JEG.2024.18.3.1019212>



microbial parameters is essential to maintain water quality through appropriate control measures. The Garmabdasht River, a tributary of the Qarasu River, flows through the city of Gorgan and eventually flows into the Gorgan Bay. The present study aims to evaluate the hydrogeochemical properties and to assess the quality of Garmabdasht river water. The Garmabdasht river flows through the residential and a recreational area, and rural domestic, agricultural and livestock effluents are directly discharged into the river. The main objectives of the present study are to evaluate the hydrogeochemical characteristics and to assess the quality of the Garmabdasht river water.

Materials and methods

10 water samples were collected and analyzed by standard methods. pH, Electrical conductivity (EC), Total Dissolved Solids (TDS) and Dissolved Oxygen (DO) values were measured at field. The pH of the samples was measured using a SUNTEX pH meter. EC and TDS were measured by EC meter (HACH model). The concentrations of K^+ , Na^+ were measured by flame photometry, SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-} values were determined using spectrophotometry, and Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- and HCO_3^- contents were measured by titration methods. Biological and microbial parameters including biological oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), dissolved oxygen (DO), total and fecal coliform bacteria were also determined. BOD was measured by manometric method (change in oxygen pressure during 5 days at 20°C). COD was determined by spectrophotometry. Most Probable Number (MPN) method was applied to evaluate the microbial and bacteriological contamination of the water samples.

Results

The pH of Garmabdasht river water samples varies between 7.5 and 8.5, which was in the permissible range of pH set by the World Health Organization (WHO) for drinking and irrigation. The EC of Garmabdasht river water samples

varied between 376 and 592 $\mu\text{s}/\text{cm}$. EC values varies greatly along the river channel, which was probably related to the ion exchange, reverse ion exchange, evaporation, weathering, interaction of water and rocks, and anthropogenic pollution activities. TDS varied between 225.5 and 465.5 mg/L, which was within the optimal values of 500 and 1000 mg/L for drinking and irrigation, respectively, set by WHO. The total hardness (TH) of water samples varied between 254.97 and 330.8 mg/L and the samples were classified as hard and very hard; thus, the river water was not suitable for drinking purposes in terms of TH. The concentrations of the major ions and nitrate were within the permissible range of drinking water. The ionic ratios reveal that the water chemistry was mainly controlled by dissolution. The type and facies of the river water samples were calcium bicarbonate, magnesium bicarbonate and calcium sulfate. According to the Wilcox diagrams, all the samples of the Garmabdasht river were suitable for irrigation. The residual sodium carbonate (RSC) and sodium percentage (R %) values confirmed this conclusion, although based on the magnesium hazard index, the studied samples were not suitable for irrigation. DO values in all samples were within the permissible WHO limit of < 3 mg/L. The amount of BOD and COD in some stations has exceeded the WHO maximum permissible limit of < 5 and < 10 mg/L, respectively, which was probably due to the influx of livestock and agricultural effluents into the river. The values of NSFQI also shows that, except for the upstream samples of S1 and S2, the quality of the studied samples for drinking is in the bad to medium class. The obtained results show that all the samples were microbially polluted. A high level of bacterial contamination was recorded which may enhance the health problem in the local population.

Conclusion

Possible sources of pollution in the Garmabdasht River include agricultural effluents containing pesticides and fertilizers, rural sewage discharges, the influx of livestock effluents, as

well as pollutants from recreational activities. In terms of pH values, EC, TDS and concentration of major ions, the water samples were therefore suitable category for drinking. All river water samples fall into the hard and very hard class, and therefore were not suitable for drinking. The higher concentration of phosphate in some stations was probably due to the entry of agricultural and domestic effluents into the river. River water chemistry was also controlled by the dissolution process. BOD and COD values at

most stations were higher than the acceptable limits set by WHO, which was probably due to the discharge of domestic, livestock and agricultural effluents into the river. The water samples were highly contaminated with fecal and total coliform bacteria. Considering the negative impacts of microbial pollution on the health of water users, this issue should be taken into consideration and measures should be taken to remove the microbial pollution of the river water.



بررسی ویژگی‌های هیدروشیمیایی و کیفیت آب رودخانه گرمابدشت، استان گلستان، شمال شرق ایران

شقایق سمیعی‌راد^۱، گیتی فرقانی تهرانی^۲، هادی جعفری^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: shaghayegh.rad714@gmail.com

۲. دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: forghani@shahroodut.ac.ir

۳. دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: h_jajari@shahroodut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

به منظور مطالعه هیدروشیمی و ارزیابی کیفیت آب رودخانه گرمابدشت، ۱۰ نمونه آب در خرداد ماه ۱۴۰۱ در طول رودخانه برداشت شد. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (pH، هدایت الکتریکی، جامدات حل شده کل)، غلظت یون‌های اصلی و پارامترهای بیولوژیکی و میکروبی (مقدار اکسیژن حل شده، اکسیژن خواهی زیستی، اکسیژن خواهی شیمیایی و باکتری‌های کلی فرم) توسط روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که pH نمونه‌های آب بین ۷/۹ تا ۸/۴ و مقدار هدایت الکتریکی نمونه‌های آب بین ۳۷۶ تا ۶۶۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر متغیر است. از نظر سختی نمونه‌های آب در رده سخت قرار می‌گیرند. غلظت یون‌های اصلی، فسفات و نیترات در محدوده مجاز برای آشامیدن است. با محاسبه نسبت‌های یونی و رسم نمودار دورو، مشخص شد که شیمی آب رودخانه گرمابدشت توسط فرآیند انحلال کنترل می‌شود. موقعیت نمونه‌ها بر روی نمودار پایپر نشان می‌دهد که تیپ و رخساره نمونه‌های آب رودخانه بی‌کربناته کلسیک، بی‌کربناته منیزیک و سولفات کلسیک می‌باشد. بر اساس نمودار ویلکاکس، آب رودخانه گرمابدشت برای مصارف کشاورزی مناسب است. پارامترهای سدیم کربنات باقی‌مانده و درصد سدیم نیز مؤید این نتیجه‌گیری است، اما بر اساس شاخص خطر منیزیم، آب رودخانه گرمابدشت برای مصرف کشاورزی نامناسب است. نتایج آنالیزهای بیولوژیکی و میکروبی نشان می‌دهد که مقدار اکسیژن حل شده همه نمونه‌ها در حد مجاز است، اما میزان اکسیژن خواهی زیستی و اکسیژن خواهی شیمیایی در برخی ایستگاه‌ها به دلیل ورود پساب دامداری‌ها و کشاورزی از حد مجاز فراتر رفته است. همچنین تمام نمونه‌ها دارای آلودگی میکروبی هستند که این امر می‌تواند بر سلامت مصرف‌کنندگان آب رودخانه گرمابدشت تأثیرات منفی داشته باشد. بررسی شاخص کیفیت آب نیز نشان می‌دهد که به جز نمونه‌های بالادست، کیفیت سایر نمونه‌ها برای مصرف شرب در رده بد تا متوسط قرار دارد.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۸

کلیدواژه‌ها:

آلودگی میکروبی، شاخص کیفیت آب، رودخانه گرمابدشت، هیدروشیمی.

مقدمه

شیلات و سایر فعالیت‌ها نقش اساسی دارند (Wang et al., 2024; Effendi, 2016). تراکم جمعیتی در حوضه‌های رودخانه‌ای، به دلیل شرایط زندگی مطلوب مانند دسترسی به زمین‌های حاصلخیز، و امکان تأمین آب برای مصارف مختلف (شرب، کشاورزی و اهداف صنعتی)، معمولاً زیاد است (Bora and Goswami, 2017). از سوی دیگر،

منابع آب شامل رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، یخچال‌های طبیعی، آب باران، و آب‌های زیرزمینی از اجزاء اصلی تشکیل دهنده اکوسیستم هستند. این منابع علاوه بر تأمین آب آشامیدنی، در بخش‌های مختلف اقتصادی از جمله کشاورزی، دامداری، جنگل‌داری، فعالیت‌های صنعتی، تولید انرژی برقی،

استناد: سمیعی‌راد، ش.، فرقانی تهرانی، گ.، هادی جعفری، ه. (۱۴۰۳). بررسی ویژگی‌های هیدروشیمیایی و کیفیت آب رودخانه گرمابدشت، استان گلستان، شمال شرق

ایران. مجله زمین شناسی مهندسی، ۱۸ (۳)، ۴۵۰-۴۷۸. <https://doi.org/10.22034/JEG.2024.18.3.1019212>



رودخانه‌ها نقش مهمی در حمل فاضلاب‌های صنعتی، شهری، و کشاورزی دارند که باعث آلودگی این منابع آبی ارزشمند می‌شود (Milovanovic, 2007). کیفیت آب رودخانه‌ها تحت تأثیر عوامل طبیعی مانند بارندگی، رواناب‌های سطحی فصلی، و سازندهای زمین‌شناسی نیز قرار می‌گیرد. سازندهای زمین‌شناسی مختلف بر اساس مقاومت، ترکیب شیمیایی و بافت خود در برابر فرآیندهای طبیعی مانند هوازدگی و فرسایش واکنش نشان می‌دهند و می‌توانند باعث آلودگی آب‌ها شوند. از آن جا که رودخانه‌های یک حوضه آبخیز، به عنوان شریان‌های حیاتی و از مهم‌ترین منابع آب شیرین در دسترس انسان به شمار می‌آیند، هرگونه فعالیت بشری به صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر روی آن‌ها تأثیر می‌گذارد. افزایش شدت آلودگی آب نه تنها باعث کاهش کیفیت آن می‌شود بلکه تعادل اکوسیستم‌های آبی، توسعه اقتصادی و رونق اجتماعی را نیز به خطر می‌اندازد (Kumar Ravi et al., 2023). همچنین آلودگی آب‌های جاری توسط منابع آلاینده مختلف به طور مستقیم بر سلامت انسان تأثیرگذار است. برای حفظ مؤثر کیفیت آب از طریق اقدامات کنترلی مناسب، نظارت مستمر بر پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب (شامل ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی) ضروری است. به عبارت دیگر، ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌ها، از شروط لازم برای مدیریت مؤثر و کارآمد آب است، و با توجه به کمبود آب شیرین در سراسر جهان، به ویژه در مناطق خشک مانند ایران، حفاظت از این منابع بسیار ضروری است.

رودخانه گرمابدشت یک رودخانه دائمی بوده که روند آن در ابتدا جنوبی-شمالی و سپس شرقی-غربی می‌باشد. طول رودخانه ۲۶/۷ کیلومتر است و در ارتفاعات شمال شرق گرگان و در حوزه آبخیز گرمابدشت جریان دارد. این رودخانه، اولین سرشاخه رودخانه قره‌سو است؛ رودخانه قره‌سو از

مهم‌ترین منابع تغذیه خلیج گرگان می‌باشد. از نظر زمین-شناسی، حوزه آبخیز قره‌سو در زون گرگان-رشت واقع شده است؛ شیست‌های سبز گرگان، سازندهای خوش بیلاق، مبارک، دورود، روته، شمشک و لار مهم‌ترین رخنمون‌های سنگی منطقه هستند. رودخانه گرمابدشت در مسیر خود، از کنار روستاهای متعدد و زمین‌های کشاورزی عبور می‌کند. این رودخانه یکی از منابع تأمین‌کننده آب شرب شهر گرگان است و پس از عبور از این شهر به رودخانه قره‌سو می‌پیوندد. هدف از این مطالعه ارزیابی کیفیت هیدروژئوشیمیایی آب رودخانه گرمابدشت می‌باشد. عبور رودخانه گرمابدشت از محدوده مسکونی و گردشگری (منطقه توسکستان)، تخلیه فاضلاب‌های خانگی و فضولات دامی به رودخانه، پخش گسترده زباله‌ها به شکل نامناسب توسط گردشگران در منطقه توسکستان، انجام فعالیت‌های کشاورزی، و همچنین زمین‌شناسی منطقه، از جمله عواملی هستند که ارزیابی کیفیت آب رودخانه گرمابدشت به عنوان یکی از سرشاخه‌های مهم رودخانه قره‌سو که در نهایت به خلیج گرگان وارد می‌شود را ضروری می‌سازد.

موقعیت جغرافیایی و آب و هوای منطقه

حوضه رودخانه گرمابدشت با مساحت ۱۹۱ کیلومترمربع در استان گلستان و جنوب شرقی شهر گرگان، بین طول‌های جغرافیایی "۱۱' ۳۲' ۵۴" تا "۱۴' ۵۴' ۵۴" شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۱۵' ۵۱' ۳۶" تا "۱۴' ۳۷' ۳۷" شمالی قرار دارد. دسترسی به آن از طریق جاده توسکستان به سمت گرگان امکان‌پذیر می‌باشد.

میانگین دمای سالانه حوضه، ۹/۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه حوضه گرمابدشت در بخش خروجی حوضه (ایستگاه پل اردوگاه) ۷۰۲ میلی‌متر و در ارتفاعات جنوب شرقی حوضه ۴۰۰ میلی‌متر است. با توجه به رابطه دمارتن (De Martonne) و بر مبنای میزان بارش و درجه

بطری‌های پلی‌اتیلن با حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتری استفاده شد. برای نمونه‌های آزمایش میکروبی و بیولوژیکی از بطری‌های ۵۰۰ میلی‌لیتر تیره رنگ استفاده شد. pH نمونه‌های آب توسط دستگاه pH متر مدل SUNTEX با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری شد.

هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity, EC) و جامدات حل شده کل (Total Dissolved Solids, TDS)، مقدار کل نمک‌های حل شده در آب را که خود نشان‌دهنده بار آلودگی غیر آلی آب است، مشخص می‌کنند (Garg et al., 2009). این دو پارامتر توسط EC متر مدل HACH با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری شد. دستگاه‌های pH متر و EC متر به ترتیب توسط محلول‌های بافر و آب مقطر یون زدوده کالیبره شدند. مقدار اکسیژن حل شده (Dissolved Oxygen, DO) هر نمونه در محل اندازه‌گیری شد. نمونه‌های برداشت شده تا هنگام انتقال به آزمایشگاه در دمای ۴ C نگهداری شدند و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شده و توسط روش‌های استاندارد آنالیز شدند. پارامترهای بیولوژیکی اکسیژن‌خواهی زیستی (Biological Oxygen Demand, BOD) و اکسیژن‌خواهی شیمیایی (Chemical Oxygen Demand, COD) و میکروبی (کلی‌فرم کل و مدفوعی) نمونه‌ها در آزمایشگاه منابع طبیعی ساری و غلظت یون‌های اصلی (منیزیم، کلسیم، سدیم، پتاسیم، سولفات، کلرید و بی-کربنات) در آزمایشگاه پارک علم و فناوری سمنان و بر اساس روش‌های ارائه شده توسط انجمن بهداشت عمومی آمریکا (American Public Health Association, 1989) اندازه‌گیری شد.

غلظت یون‌های پتاسیم، سدیم، کلسیم، منیزیم، کلرید، بی-کربنات، نیترات، سولفات و فسفات توسط روش‌های ذکر شده در جدول ۱ اندازه‌گیری شد.

حرارت سالانه میانگین، می‌توان آب و هوای یک منطقه را مشخص نمود (رابطه ۱):

$$A = \frac{P}{(T+10)} \quad (1)$$

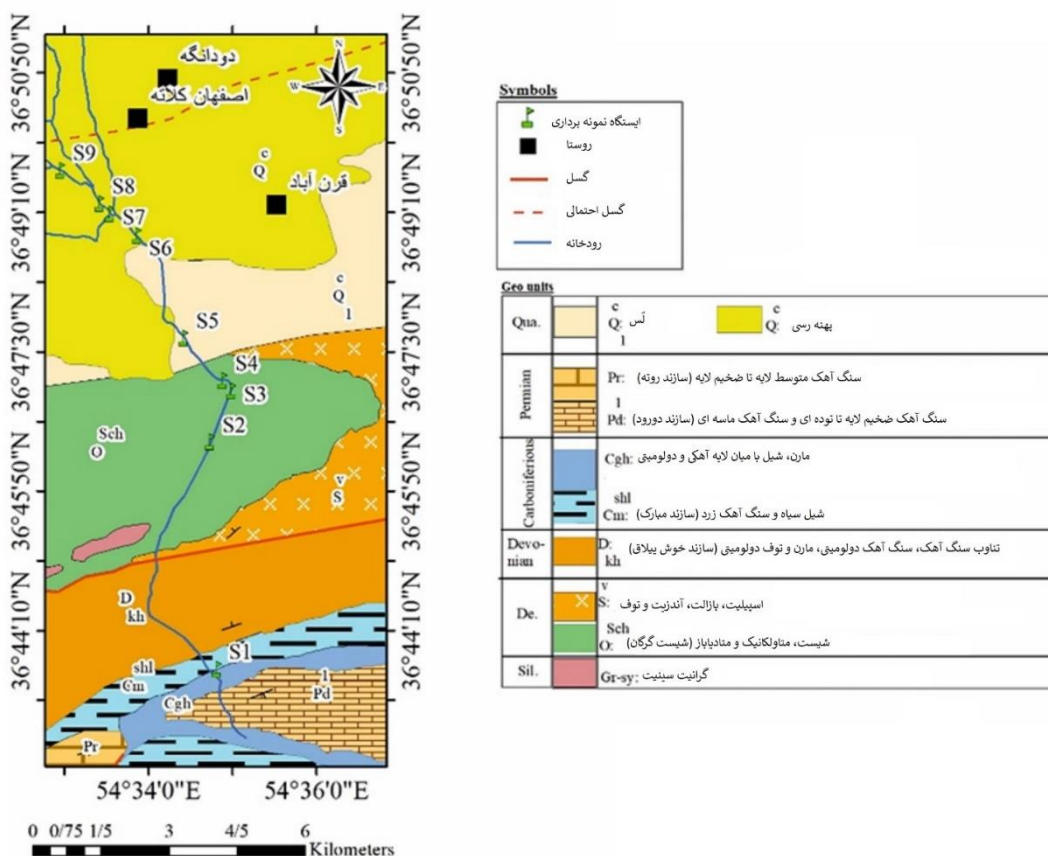
در این رابطه A میزان شاخص خشکی (Aridity Index)، P میزان بارندگی سالانه (بر حسب میلی‌متر) و T درجه حرارت سالانه (بر حسب درجه سانتی‌گراد) است. با توجه به مقادیر میانگین بارندگی و دمای سالانه حوضه گرمابدشت و بر اساس رده‌بندی اقلیمی دمارتن، آب و هوای منطقه از نوع بسیار مرطوب ($A > 35$) است.

زمین‌شناسی حوضه گرمابدشت

بر اساس نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۱)، مهم‌ترین واحدهای رخنمون یافته در حوضه گرمابدشت عبارت‌اند از شیست‌های گرگان به سن اردوئیسین، آهک و آهک دولومیتی و شیل خاکستری تیره به سن دونین، آهک‌های ناپیوسته کربونیفر، آهک و آهک دولومیتی ضخیم تا توده‌ای با میان لایه مارن به سن پرمین فوقانی، ماسه‌سنگ خاکستری و شیل به سن ژوراسیک زیرین، لس‌های کواترنر و کفه‌های رسی کواترنر.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی کیفیت و ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی آب رودخانه گرمابدشت، پس از مطالعه گزارش‌های موجود و بازدید میدانی از منطقه، نمونه‌برداری در خرداد ماه ۱۴۰۱ صورت گرفت. پس از بازدید میدانی از منطقه، موقعیت مکانی منابع آلاینده مختلف در مسیر رودخانه گرمابدشت تعیین شد و با توجه به امکان دسترسی به محل نمونه‌برداری، از ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری شد. موقعیت هر ایستگاه توسط دستگاه GPS ثبت شد (شکل ۱). از آنجا که نمونه‌های برداشت شده باید معرف شرایط عمومی آب رودخانه باشند، نمونه‌برداری از قسمت میانی مقطع جریان انجام شد. برای نمونه‌برداری از



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر روی نقشه زمین‌شناسی حوضه گرمابدشت
 Fig. 1. the location of sampling sites on the geological map of the Garmabdasht basin

جدول ۱. روش‌های اندازه‌گیری غلظت یون‌های اصلی در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت

Table 1. Applied methods for the measurement of major ions in the water samples of the Garmabdasht River

| Parameter | Method of measurement |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| K ⁺ , Na ⁺ | Flame photometry |
| Mg ²⁺ , Ca ²⁺ | Titration with EDTA |
| Cl ⁻ | Titration with AgNO ₃ |
| HCO ₃ ⁻ | Titration with H ₂ SO ₄ |
| SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻ | Spectrophotometry |

درصد خطای آنالیز بین ۰/۳ تا ۱/۵۴ متغیر است که مؤید صحت نتایج آنالیز است. پارامترهای بیولوژیکی و میکروبی شامل اکسیژن‌خواهی زیستی (BOD)، اکسیژن‌خواهی

درصد خطای آنالیز یون‌های اصلی در هر نمونه آب از طریق رابطه (۲) تعیین شد (Ravikumar et al., 2011):

$$\text{درصد خطا} = \left| \frac{\text{مجموع آنیون‌ها} - \text{مجموع کاتیون‌ها}}{\text{مجموع آنیون‌ها} + \text{مجموع کاتیون‌ها}} \right| \times 100 \quad (2)$$

سوی دیگر به علت این که آلودگی‌های میکروبی نسبت به آلودگی‌های شیمیایی اثرات فوری تری بر سلامت دارند، بررسی این آلاینده‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد (Garg et al., 2009). در آزمایش باکتریولوژیکی آب از روش آزمایش MPN ۹ لوله‌ای استفاده شد. این آزمون در ۳ مرحله شامل مرحله احتمالی، تأییدی و تکمیلی صورت می‌پذیرد. در مرحله احتمالی که روشی دقیق برای اندازه‌گیری کلی‌فرم‌ها می‌باشد، از محیط کشت لاکتوز استفاده می‌شود. مرحله تأییدی، تأیید مرحله احتمالی است و در آن مشخص می‌شود باکتری‌ها کلی‌فرم هستند یا خیر و تأیید می‌کند که اشریشیاکلای نباشند. سپس اگر تعداد کلی‌فرم‌ها از حد مجاز کمتر بود از مرحله تکمیلی استفاده می‌شود. در تمامی این مراحل وجود کدورت و گاز درون لوله‌ها نشانه آلودگی میکروبی است. در این مطالعه از نرم‌افزار Arc GIS 10 برای تهیه نقشه زمین‌شناسی حوضه، از نرم‌افزار Work Ware AqQA برای ترسیم نمودارهای پایپر و دورو، از نرم‌افزار Chemistry برای ترسیم نمودار ویلکاکس از نرم‌افزار water quality index برای محاسبه شاخص کیفیت آب، از نرم‌افزار SPSS برای تحلیل آماری داده‌ها و از نرم‌افزار Excel 2010 برای ترسیم نمودارهای پراکندگی استفاده شد.

نتایج و بحث

در جدول ۲ پارامترهای کیفی آب رودخانه گرمابدشت ارائه شده است. درجه حرارت آب تحت تأثیر دمای محیط تغییر می‌کند و می‌تواند بر میزان BOD COD, DO, pH و پارامترهای میکروبی آب تأثیرگذار باشد (Sharma et al., 2013). درجه حرارت نمونه‌های آب مورد مطالعه از ۱۰ تا ۱۹ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده و میزان آن در طی مسیر رودخانه افزایش یافته است. کمترین مقدار درجه حرارت در ایستگاه S1 (بالادست رودخانه) قبل از ورود به مناطق مسکونی، کشاورزی و ورود پساب‌ها به رودخانه و بیشترین

شیمیایی (COD)، اکسیژن حل‌شده (DO)، باکتری‌های کلی‌فرمی کل و مدفوعی تعیین شد. مقدار BOD_5^{20} یک نمونه آب به اکسیژن مورد نیاز برای واپاشی مواد آلاینده تجزیه‌پذیر توسط میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده اشاره می‌کند. بنابراین هرچه میزان اکسیژن‌خواهی زیستی بیشتر باشد آب آلوده‌تر خواهد بود (Girija et al., 2007). اندازه‌گیری این پارامتر با روش مانومتري (تغییر فشار اکسیژن در طی ۵ روز در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد) صورت گرفت. اکسیژن‌خواهی شیمیایی تخمینی از مقدار کل اکسیژن مورد نیاز برای اکسایش مواد آلی به دی‌اکسید کربن و آب تحت شرایط به شدت اکسیدان است (Mandal et al., 2010). پارامتر COD مکمل پارامتر BOD است و یکی دیگر از شاخص‌های درجه آلودگی آب می‌باشد (Girija et al., 2007). این پارامتر با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نوری اندازه‌گیری شد. میزان اکسیژن حل‌شده در آب به درجه حرارت، شوری، فشار بارومتريک و جامدات حل شده کل بستگی دارد. علاوه بر این، شرایط آب و هوایی و فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی و میکروبی نیز در تغییر DO آب مؤثرند (Yang et al., 2007). میزان DO آب می‌تواند به دلیل اکسایش مواد آلی کاهش یابد (Onojake et al., 2011). مقدار این پارامتر توسط دستگاه DO متر اندازه‌گیری شد. باکتری‌های کلی‌فرم در واقع میکروارگانیسم‌های بدون اسپور، هوازی و بی‌هوازی هستند که وارد روده بزرگ انسان و حیوانات خون‌گرم شده و می‌توانند در شرایط هوازی در دمای 35 ± 0.5 و 37 ± 0.5 درجه سلسیوس در محیط مایع لاکتوز رشد کرده و در مدت ۴۸ ساعت با تخمیر قند لاکتوز تولید اسید و گاز کنند. این گروه از باکتری‌ها به دلیل طیف گسترده گونه‌ها، متنوع بودن نرخ بقا و اثرات بهداشتی گوناگون، اهمیت بسیار زیادی دارند (Sharma et al., 2013). حضور باکتری‌های کلی‌فرم در آب معیاری برای تعیین قابلیت شرب آن از نظر آلودگی بیولوژیکی است. از

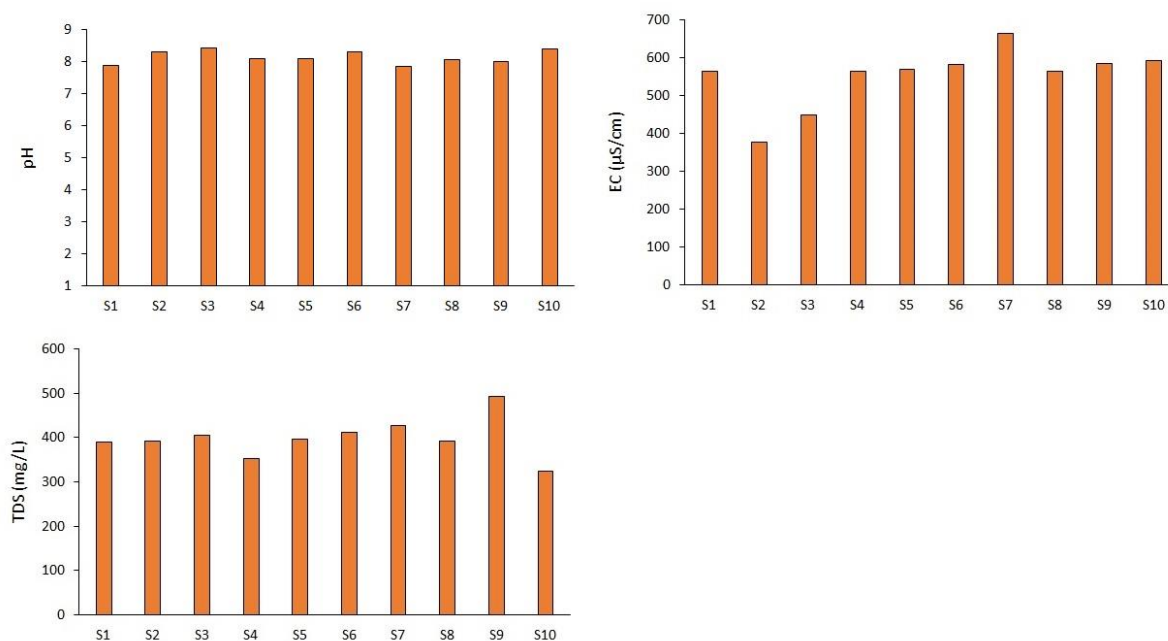
بر لیتر پیشنهاد می‌کند. در نتیجه نمونه‌های مورد مطالعه از نظر مقدار TDS در محدوده مطلوب برای شرب و کشاورزی قرار دارند. بیشترین مقدار TDS در ایستگاه S9 (پایین دست رودخانه) مشاهده می‌شود. سختی آب عبارت است از مجموع غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم، و بر حسب میلی‌گرم بر لیتر معادل کربنات کلسیم بیان می‌شود. سختی آب می‌تواند موقت (ناشی از کربنات کلسیم و منیزیم) یا دائمی (ناشی از کلسیم و منیزیم همراه با سولفات و کلرید) باشد. سختی کل (Total Hardness) توسط رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Garg et al., 2009):

$$TH = 2.497 Ca^{2+} + 4.115 Mg^{2+} \quad (3)$$

سختی معیاری مهم برای مناسب بودن آب جهت مصارف خانگی و صنعتی است. سختی آب باعث اختلال در مصرف مواد شوینده و همچنین بروز مشکلات قلبی می‌شود. استفاده از آب سخت برای مصارف صنعتی باعث رسوب کلسیم و منیزیم به شکل کربنات کلسیم در دیگ‌های بخار و بنابراین کاهش هدایت گرما در صنایع می‌شود. آب‌ها از نظر سختی به چهار رده نرم (سختی کمتر از ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر معادل کربنات کلسیم)، نسبتاً سخت (سختی بین ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر معادل کربنات کلسیم)، سخت (سختی بین ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر معادل کربنات کلسیم)، و بسیار سخت (سختی بیشتر از ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر معادل کربنات کلسیم) تقسیم می‌شوند. سختی نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت بین ۲۵۵ تا ۳۳۱ میلی‌گرم بر لیتر تغییر می‌کند و نمونه‌ها در رده آب‌های سخت و خیلی سخت قرار می‌گیرند (شکل ۳). بیشترین مقدار سختی در ایستگاه S10 و کمترین مقدار آن در ایستگاه S1 مشاهده می‌شود و تمام نمونه‌ها از نظر میزان سختی برای مصارف شرب نامناسب هستند. سختی زیاد نمونه‌های آب ناشی از غلظت زیاد یون‌های کلسیم و منیزیم می‌باشد، که می‌تواند از انحلال کانی‌های کلسیت و دولومیت و رخداد فرآیند تبادل یونی معکوس

آن در ایستگاه S8 (پایین دست رودخانه) مشاهده می‌شود که احتمالاً به دلیل ورود فاضلاب‌های روستایی، پساب کارخانه سوبابین و شالیزارها به رودخانه است. با توجه به شکل ۲ الف، pH نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت بین ۷/۹ تا ۸/۴ (میانگین ۸/۱) متغیر است. بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2018)، مقدار pH مطلوب برای مصارف شرب و کشاورزی بین ۶/۵ تا ۸/۵ است. آب آبیاری با pH خارج از محدوده نرمال (۶/۸-۵/۵) می‌تواند باعث عدم تعادل مواد مغذی و یا ایجاد سمیت یونی شود. بر اساس مقدار pH، تمامی نمونه‌ها در رده بدون مشکل برای مصارف شرب و کشاورزی قرار دارند. کمترین مقدار pH در ایستگاه S7 مشاهده می‌شود. pH کم آب، اغلب در نتیجه غلظت زیاد کربن دی‌اکسید یا تجزیه مواد آلی موجود در فاضلاب در آب رودخانه حاصل می‌شود (Girija et al., 2007). بیشترین میزان pH در ایستگاه S3 مشاهده می‌شود که می‌تواند ناشی از ورود فاضلاب خانگی و پساب دامداری باشد. میزان EC نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت بین ۳۷۶ تا ۵۹۲ (میانگین ۴۸۴) میکروزیمنس بر سانتی‌متر متغیر است. مقدار EC در طول رودخانه تغییرات زیادی نشان می‌دهد (شکل ۲ ب). این امر می‌تواند ناشی از رخداد فرایندهای تبادل یونی، تبادل یونی معکوس، تبخیر، هوازدگی، برهم‌کنش بین آب و سنگ و منابع آلودگی انسان‌زاد مانند تخلیه فاضلاب‌های مسکونی باشد (Li et al., 2009). این عوامل در بخش منشأ یون‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد. مجموعه یون‌های محلول در آب که قابلیت عبور از فیلتر ۰/۴۵ میکرون را دارند جامدات حل شده کل (TDS) را تشکیل می‌دهند (Jin et al., 2013). با توجه به شکل ۲ ج، میزان کل جامدات حل شده بین ۲۲۵/۵ تا ۴۶۵/۵ (میانگین ۳۶۵/۹) میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. سازمان بهداشت جهانی حداکثر مقدار مطلوب و مجاز TDS برای آب‌های آشامیدنی و کشاورزی را به ترتیب ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم

حاصل شود. طی فرآیند تبادل یونی معکوس کلسیم و منیزیم وارد توده آب می‌شوند.



شکل ۲. تغییرات مقادیر درجه حرارت، هدایت الکتریکی (EC) و جامدات حل شده کل (TDS) در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت
 Fig. 2. Variations of temperature, electrical conductivity (EC) and total dissolved solids (TDS) values in the water samples of the Garmabdasht Rive

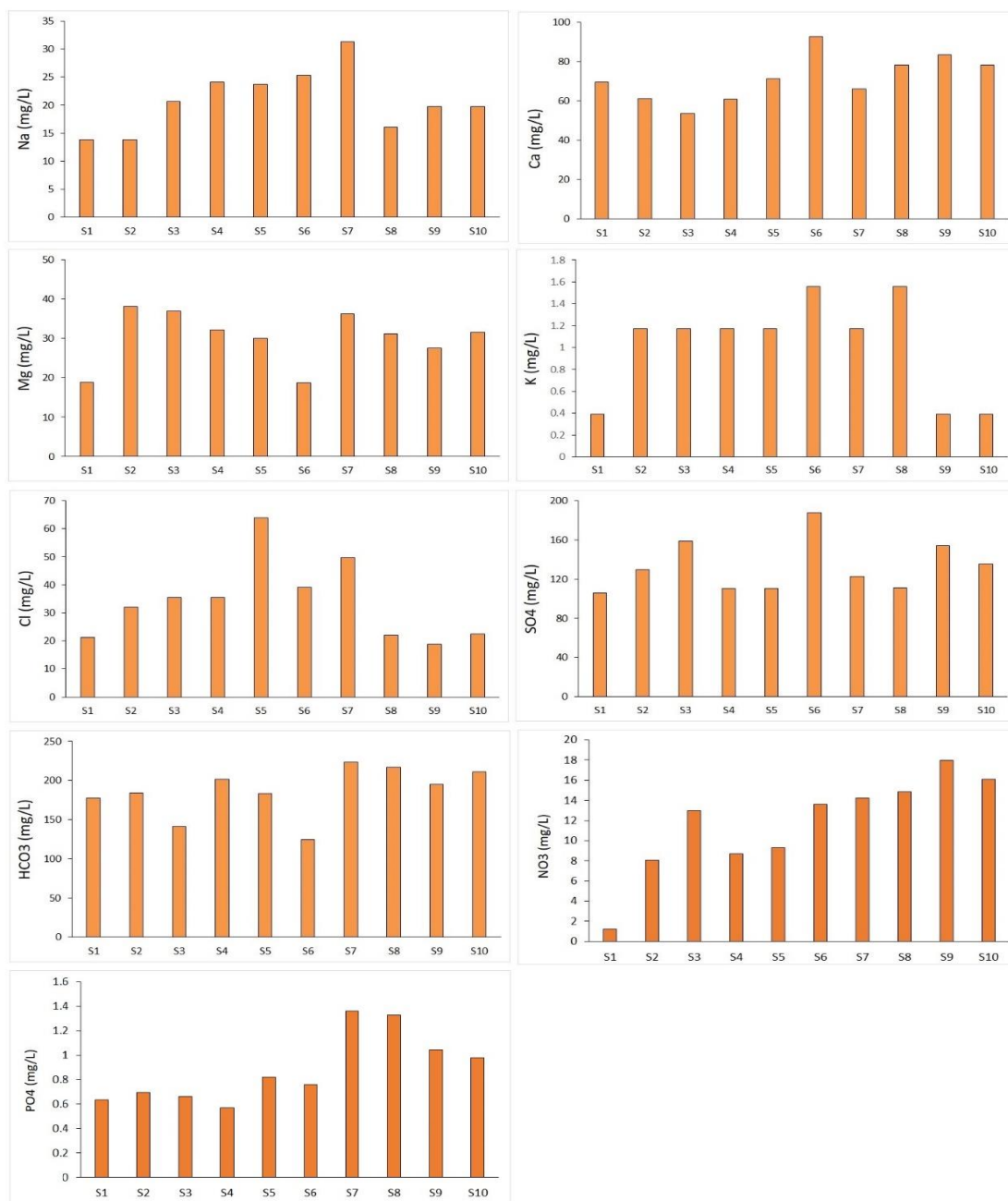
جدول ۲. پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت
 Table 2. The measured qualitative parameters in the water samples of the Garmabdasht River

| Station | T (°C) | pH | EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$) | TDS (mg/L) | TH (mg/L CaCO ₃) | Na ⁺ (mg/L) | K ⁺ (mg/L) | Ca ²⁺ (mg/L) | Mg ²⁺ (mg/L) | Cl ⁻ (mg/L) | SO ₄ ²⁻ (mg/L) | HCO ₃ ⁻ (mg/L) | NO ₃ ⁻ (mg/L) | PO ₄ ³⁻ (mg/L) | Error (%) |
|---------|-----------|-----|-----------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------|
| S1 | 10 | 7.9 | 563 | 390 | 255 | 13.8 | 0.4 | 19.2 | 69.7 | 21.3 | 105.7 | 177.5 | 1.2 | 0.6 | 0.7 |
| S2 | 12 | 8.3 | 376 | 392 | 316 | 13.8 | 1.2 | 38.6 | 61.3 | 31.9 | 129.7 | 184.3 | 8.1 | 0.7 | 0.7 |
| S3 | 14 | 8.4 | 450 | 405 | 292 | 20.7 | 1.2 | 37.4 | 53.7 | 35.5 | 158.5 | 141.5 | 13.0 | 0.7 | 1.2 |
| S4 | 14 | 8.1 | 565 | 352 | 299 | 24.1 | 1.2 | 32.6 | 60.9 | 35.5 | 110.5 | 201.9 | 8.7 | 0.6 | 0.2 |
| S5 | 15 | 8.1 | 570 | 397 | 306 | 23.7 | 1.2 | 30.4 | 71.3 | 63.8 | 110.5 | 183.6 | 9.3 | 0.8 | 1.2 |
| S6 | 16 | 8.3 | 583 | 412 | 312 | 25.3 | 1.6 | 19 | 93 | 39 | 187.8 | 124.5 | 13.6 | 0.8 | 0.3 |
| S7 | 18 | 7.9 | 665 | 428 | 320 | 31.3 | 1.2 | 36.7 | 66.3 | 49.6 | 123 | 223.3 | 14.3 | 1.4 | 1.1 |
| S8 | 19 | 8.1 | 565 | 391 | 329 | 16.1 | 1.6 | 31.6 | 78.6 | 22 | 110.9 | 216.6 | 14.9 | 1.3 | 0.8 |
| S9 | 15 | 8.0 | 584 | 492 | 326 | 19.8 | 0.4 | 28 | 83.6 | 18.8 | 154.2 | 195.2 | 18.0 | 1.0 | 0.5 |
| S10 | 14 | 8.4 | 592 | 324 | 331 | 19.8 | 0.4 | 32.1 | 78.4 | 22.3 | 135.4 | 211.1 | 16.1 | 1.0 | 1.5 |

برای مصرف شرب است. غلظت منیزیم در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت بین ۱۹ تا ۳۸/۶ (میانگین ۳۰/۶) میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. سازمان بهداشت جهانی، حد مجاز منیزیم در آب شرب را ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته است، در نتیجه در برخی از نمونه‌ها غلظت منیزیم بیش از حد مجاز برای مصرف شرب است. بیشترین غلظت منیزیم تحت تأثیر ورود فاضلاب و پساب در ایستگاه S2 مشاهده می‌شود.

غلظت کلرید در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت بین ۱۸/۸ تا ۶۳/۸ (میانگین ۳۴) میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. سازمان بهداشت جهانی حداکثر غلظت مجاز کلرید را ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشخص کرده است. بر این اساس تمام نمونه‌ها از نظر غلظت کلرید در محدوده مجاز می‌باشند. غلظت سولفات در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت بین ۱۰۵/۶ تا ۱۸۷/۷ (میانگین ۱۳۲/۶) میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. با توجه به استاندارد سازمان بهداشت جهانی حداکثر غلظت مجاز سولفات در آب آشامیدنی ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر است. بر این اساس تمامی نمونه‌ها در محدوده مجاز برای شرب قرار دارند. بیشترین غلظت سولفات در ایستگاه S6 می‌باشد که علت آن می‌تواند تخلیه پساب و فاضلاب و همین‌طور انحلال سنگ آهک‌های ژئوسپار در مسیر رودخانه باشد. غلظت بی‌کربنات در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت بین ۱۲۴/۵ تا ۲۲۳/۳ (میانگین ۱۸۶) میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. منشأ بی‌کربنات می‌تواند انحلال کانی‌های کربناته، هوازگی سیلیکات‌ها یا اختلاط با آب باران حاوی کربن‌دی‌اکسید و منابع انسان‌زاد مثل تخلیه فاضلاب‌های صنعتی و خانگی باشد (Subrahmanyam and Yadaiah, 2001). حضور کربنات و بی‌کربنات در آب می‌تواند باعث رسوب برخی فلزات سمی مانند سرب، آرسنیک و کادمیم شود.

شکل ۴ تغییرات غلظت یون‌های اصلی را در طول رودخانه گرمابدشت نشان می‌دهد. غلظت سدیم در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت بین ۱۳/۸ تا ۳۱/۳ (میانگین ۲۰/۸) میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. سازمان بهداشت جهانی حداکثر غلظت مجاز سدیم را ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پیشنهاد کرده است. بر این اساس تمام نمونه‌ها از نظر غلظت سدیم در محدوده مجاز قرار دارند. منشأ احتمالی سدیم می‌تواند انحلال هالیت، هوازگی کانی‌های سدیم‌دار و یا تخلیه فاضلاب به آب باشد (Ramesh and Elango, 2014). بیشترین غلظت سدیم در ایستگاه S7 مشاهده می‌شود که علت آن می‌تواند ورود پساب‌های کشاورزی و فاضلاب به آب رودخانه باشد. غلظت پتاسیم در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت بین ۰/۴ تا ۱/۶ (میانگین ۱) میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. پتاسیم یکی از اجزاء اصلی کانی‌های سیلیکاتی (مانند فلدسپات پتاسیم) و محصولات دگرسانی آن‌ها است (Kumar and James, 2013). سازمان بهداشت جهانی حد مجاز پتاسیم آب آشامیدنی را ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته است. بر این اساس همه نمونه‌ها از نظر غلظت پتاسیم در محدوده مجاز می‌باشند. سطح پایین پتاسیم در آب‌های طبیعی در نتیجه تمایل آن به تثبیت به وسیله کانی‌های رسی و همچنین مقاومت کانی‌های حاوی پتاسیم نسبت به هوازگی است. غلظت کلسیم در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت بین ۵۳/۷ تا ۹۳ (میانگین ۷۱/۷) میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. منشأ کلسیم می‌تواند ناشی از انحلال کربنات کلسیم، ژئوسپ، سیلیکات‌ها یا فرآیند تبادل یونی معکوس و منابع انسان‌زاد باشد. با توجه به استاندارد سازمان بهداشت جهانی، حد مجاز کلسیم در آب شرب ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر است، در نتیجه در برخی از نمونه‌ها غلظت کلسیم بیشتر از حد مجاز

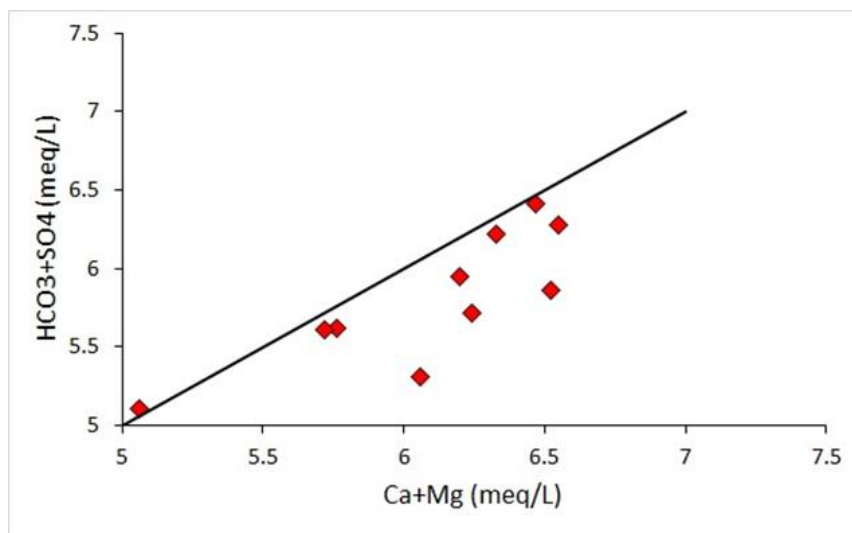


شکل ۴. تغییرات غلظت یون‌های اصلی، نیترات و فسفات در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت

Fig. 4. Variations of major ions, nitrate and phosphate concentrations in the water samples of the Garmabdasht River

نظر غلظت نیترات در محدوده مجاز برای شرب قرار دارند، اما در برخی ایستگاه‌ها غلظت این یون در اثر ورود منابع انسانی افزایش یافته است. منشأ نیترات می‌تواند بارندگی و یا آبشویی کودها باشد. غلظت فسفات در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت بین ۰/۶ تا ۱/۴ (میانگین ۰/۹) میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. به طور کلی غلظت فسفات در نمونه‌های آب به دلیل جذب سریع این آنیون کم است (Herrera and Espinosa, 2008). فسفات می‌تواند ناشی از ورود کودهای شیمیایی کشاورزی یا فاضلاب‌های خانگی حاوی مواد شوینده باشد که باعث آلودگی آب و افزایش رشد جلبک‌ها می‌شود. علاوه بر این ورود فاضلاب‌های صنعتی نیز می‌تواند از منابع احتمالی فسفات باشد. سازمان بهداشت جهانی غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر فسفات را برای زندگی آبزیان و مصارف شرب مناسب می‌داند. بر این اساس در تمامی ایستگاه‌ها، غلظت فسفات در محدوده مقادیر استاندارد است.

سازمان بهداشت جهانی برای این آنیون استاندارد ارائه نکرده است. در نمودار Ca+Mg در برابر $\text{SO}_4 + \text{HCO}_3$ (شکل ۵)، به جز یک نمونه، تمام نمونه‌ها زیر خط تعادل هستند که نشان می‌دهد غلظت کلسیم و منیزیم در نمونه‌ها بیش از بی‌کربنات و سولفات است و کلسیم و منیزیم با آنیون‌های دیگری نیز موازنه می‌شوند. منشأ احتمالی کلسیم و منیزیم در نمونه‌ها، انحلال کانی‌های کربناتی و یا فرایند تبادل یونی معکوس است که به افزایش سختی نمونه‌ها نیز منجر شده است. غلظت نیترات در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت بین ۲/۱ تا ۱۸ (میانگین ۱۱/۷) میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. سازمان بهداشت جهانی غلظت استاندارد نیترات در آب آشامیدنی را ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر پیشنهاد کرده است. همچنین بیشتر بودن غلظت نیترات از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر (مانند نمونه S9) به عنوان شاخص آلودگی انسان‌زاد در نظر گرفته می‌شود (Hounslow, 1995). بنابراین بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی، تمام نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت از



شکل ۵. نمودار تغییر غلظت $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ در برابر $\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-$ در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت

Fig. 5. The diagram of values of $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ versus $\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-$ in the water samples of the Garmabdasht River

منیزیم و کلسیم نیز نشان‌دهنده انحلال دولومیت در نمونه‌های آب رودخانه است.

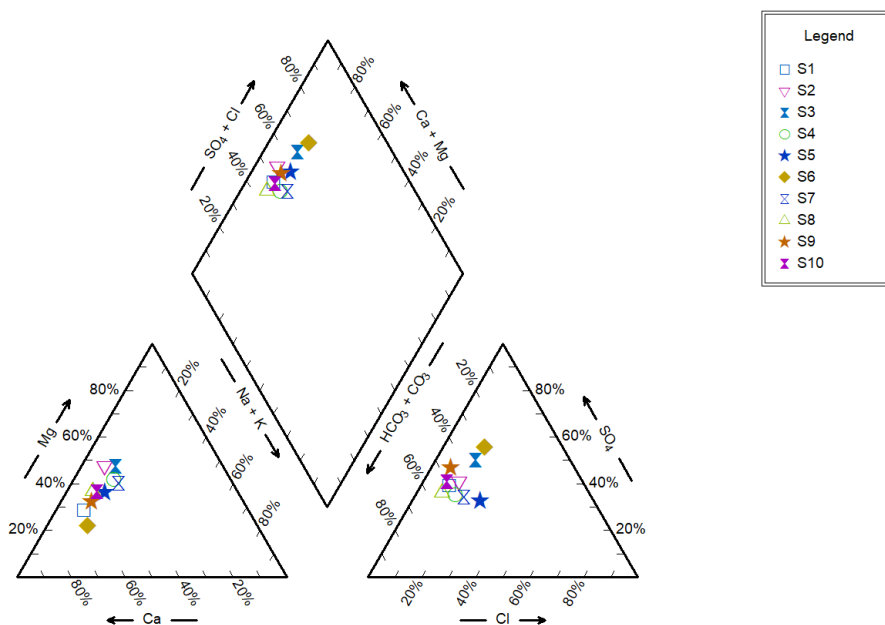
از نمودار پایپر (Piper Diagram) می‌توان برای تعیین تیپ و رخساره نمونه‌های آب استفاده کرد (Krishna Kumar et al., 2015). در نمودار پایپر فراوان‌ترین آنیون اصلی، تیپ آب (بی‌کربناته، سولفات و کلروره) و فراوان‌ترین کاتیون اصلی، رخساره آب (کلسیک، منیزیک و سدیک) را تعیین می‌کند. شکل ۶ نمودار پایپر نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار و جدول ۴، تیپ و رخساره نمونه‌های آب مورد مطالعه، بی‌کربنات کلسیک، سولفات منیزیک و سولفات کلسیک می‌باشد. غالب بودن تیپ بی‌کربناته کلسیک می‌تواند به علت رخنمون سنگ‌های کربناتی در منطقه و یا رخداد فرآیند تبادل یونی معکوس باشد.

همبستگی قوی بین عناصر به طور کلی بیانگر منابع ورودی و یا رفتار ژئوشیمیایی یکسان است (Xiao et al., 2016). ضرایب همبستگی اسپیرمن (جدول ۳) نشان‌دهنده عدم همبستگی قوی بین pH و غلظت یون‌های اصلی است، در نتیجه pH کنترل‌کننده اصلی غلظت یون‌ها نیست. EC همبستگی بالایی با غلظت سدیم نشان می‌دهد، در نتیجه یون سدیم می‌تواند در میزان هدایت الکتریکی نقش مهم‌تری داشته باشد. همبستگی بالای یون سدیم با کلرید نشان‌دهنده منشأ یکسان این دو یون (انحلال هالیت) است. همبستگی سولفات و بی‌کربنات در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت، منشأ مشترک آن‌ها (انحلال ژنپس و کربنات کلسیم) را بیان می‌کند. همبستگی قوی بین یون نیترات با سختی آب می‌تواند بیانگر تأثیر غلظت یون نیترات بر افزایش سختی آب باشد. همبستگی

جدول ۳. ضرایب همبستگی اسپیرمن یون‌های اصلی در آب رودخانه گرمابدشت

Table 3. Spearman correlation coefficients of major ions in the water samples of the Garmabdasht River

| | pH | EC | TDS | TH | K ⁺ | Na ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ | PO ₄ ³⁻ | NO ₃ ⁻ | HCO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Cl ⁻ |
|-------------------------------|--------|--------|--------|---------|----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| pH | 1 | | | | | | | | | | | | |
| EC | -0.556 | 1 | | | | | | | | | | | |
| TDS | -0.395 | 0.106 | 1 | | | | | | | | | | |
| TH | 0.261 | 0.168 | 0.111 | 1 | | | | | | | | | |
| K ⁺ | 0.172 | -0.147 | -0.034 | 0.213 | 1 | | | | | | | | |
| Na ⁺ | -0.185 | 0.642* | 0.147 | 0.262 | 0.301 | 1 | | | | | | | |
| Mg ²⁺ | 0.244 | -0.368 | -0.160 | 0.384 | 0.205 | 0.104 | 1 | | | | | | |
| Ca ²⁺ | -0.042 | 0.498 | 0.245 | 0.389 | -0.040 | 0.098 | -0.701* | 1 | | | | | |
| PO ₄ ³⁻ | -0.146 | 0.096 | -0.034 | 0.352 | 0.409 | -0.260 | 0.052 | 0.219 | 1 | | | | |
| NO ₃ ⁻ | 0.283 | 0.301 | 0.305 | 0.848** | 0.090 | 0.370 | 0.235 | 0.421 | 0.261 | 1 | | | |
| HCO ₃ ⁻ | -0.478 | 0.386 | -0.150 | 0.399 | -0.246 | 0.062 | 0.415 | -0.106 | 0.368 | 0.167 | 1 | | |
| SO ₄ ²⁻ | 0.556 | -0.101 | 0.365 | 0.243 | 0.136 | 0.202 | -0.238 | 0.425 | -0.280 | 0.511 | -0.698* | 1 | |
| Cl ⁻ | -0.083 | 0.139 | 0.015 | -0.008 | 0.477 | 0.651* | 0.206 | -0.212 | -0.284 | -0.109 | -0.128 | -0.082 | 1 |



شکل ۶. نمودار پایپر نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت

Fig. 6. The piper diagram of the water samples of the Garmabdasht River

جدول ۴. تیپ و رخساره نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت

Table 4. The type and facies of the water samples of the Garmabdasht River

| Station | Cations | Anions | Type | Facies |
|---------|----------------|-----------------------------------------|------------------|--------|
| S1 | Ca > Mg > Na+K | HCO ₃ > SO ₄ > Cl | HCO ₃ | Ca |
| S2 | Mg > Ca > Na+K | HCO ₃ > SO ₄ > Cl | HCO ₃ | Mg |
| S3 | Mg > Ca > Na+K | SO ₄ > HCO ₃ > Cl | SO ₄ | Mg |
| S4 | Ca > Mg > Na+K | HCO ₃ > SO ₄ > Cl | HCO ₃ | Ca |
| S5 | Ca > Mg > Na+K | HCO ₃ > SO ₄ > Cl | HCO ₃ | Ca |
| S6 | Ca > Mg > Na+K | SO ₄ > HCO ₃ > Cl | SO ₄ | Ca |
| S7 | Ca > Mg > Na+K | HCO ₃ > SO ₄ > Cl | HCO ₃ | Ca |
| S8 | Ca > Mg > Na+K | HCO ₃ > SO ₄ > Cl | HCO ₃ | Ca |
| S9 | Ca > Mg > Na+K | SO ₄ > HCO ₃ > Cl | SO ₄ | Ca |
| S10 | Ca > Mg > Na+K | HCO ₃ > SO ₄ > Cl | HCO ₃ | Ca |

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n WQWS_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (۴)$$

در این رابطه، n تعداد پارامترها، و w_i ضریب وزنی زیرشاخص نام است. $WQWS_i$ با استفاده از روابط (۵ و ۶) محاسبه می-شود:

$$WQWS_i = w_i \times WQR_i \quad (۵)$$

$$WQR_i = \frac{(Actual_i - Ideal_i)}{(Standard_i - Ideal_i)} \times 100 \quad (۶)$$

$Actual_i$ ، $Ideal_i$ و $Standard_i$ به ترتیب مقادیر به دست آمده طی تجزیه شیمیایی، مقدار مطلوب و مقدار استاندارد پارامتر مورد نظر است. در جدول ۵، وزن یا ارزش عددی هر یک از پارامترها (بر مبنای اهمیت آن در مصارف عمومی آب)، مقادیر مطلوب و مقادیر استاندارد برای هر پارامتر ارائه شده است. جدول ۶، رده بندی کیفی آب بر اساس شاخص NSFQI را نشان می دهد.

جدول ۵. فاکتورهای وزنی شاخص کیفیت آب، مقادیر مطلوب و استاندارد هر پارامتر

Table 5. Parameter unit weights of water quality index, ideal and standard values for each parameter

| Parameter | Standard _i | Ideal _i | W _i |
|--------------------------|-----------------------|--------------------|----------------|
| DO (mg/L) | 10 | 14.6 | 0.11 |
| Fecal coliforms | 0 | 0 | 0.2 |
| pH | 8.5 | 7 | 0.11 |
| BOD (mg/L) | 5 | 0 | 0.11 |
| NO ₃ - (mg/L) | 45 | 0 | 0.02 |
| EC (μS/cm) | 1000 | 0 | 0.01 |

جدول ۶. رده بندی کیفی آب بر اساس شاخص NSFQI

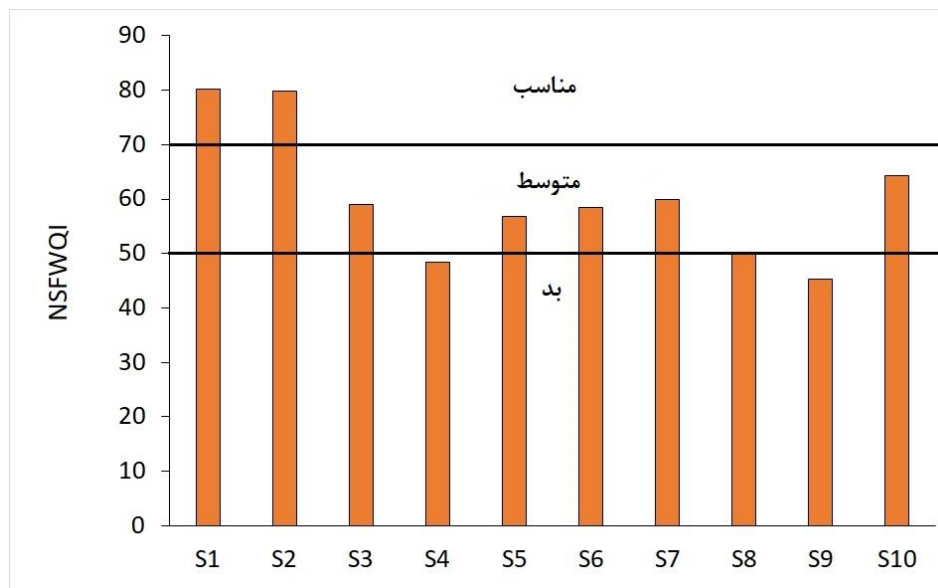
Table 6. Water quality classification based on NSFQI

| NSFQI value | Water quality | Studied samples |
|-------------|---------------|---------------------|
| 0-25 | Very low | - |
| 26-50 | Low | S4, S8, S9 |
| 51-70 | Medium | S3, S5, S6, S7, S10 |
| 71-90 | High | S1, S2 |
| 91-100 | Very high | - |

رده بندی کیفی آب

رده بندی کیفی نمونه های آب برای مصارف شرب استفاده از شاخص های کیفیت آب (Water Quality Index, WQI) پرکاربردترین روش برای بررسی کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی است (Berry et al. 2020). با استفاده از شاخص های کیفیت آب می توان با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، یک عدد واحد که نمایانگر کیفیت آب است به دست آورد. شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت (National Sanitation Foundation Water Quality Index, NSFQI) از پرکاربردترین شاخص های کیفیت آب است. مقدار این شاخص بر اساس وزن دهی پارامترهای BOD، DO، pH، EC، NO₃ و باکتری های کلیفرم مدفوعی که نقش بسیار مهمی در کیفیت آب دارند، و با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می شود (Mohd Zebaral, Hoque et al., 2022).

محاسبه این شاخص (شکل ۷) نشان می‌دهد که نمونه‌های S1 و S2 (بالادست رودخانه) در رده مناسب، نمونه‌های S3، S5، S6، S7 و S10 در رده متوسط و نمونه‌های S4، S8 و S9 در رده بد قرار دارند و برای مصرف شرب مناسب نیستند.



شکل ۷. شاخص NSFQI برای نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت

Fig. 7. The NSFQI values for the water samples of the Garmabdasht River

برای مصارف کشاورزی از شاخص‌های خطر منیزیم (Magnesium Hazard, MH)، سدیم کربنات باقی‌مانده (Residual Sodium Carbonate, RSC)، درصد سدیم (Na%)، نسبت جذب سدیم (Sodium Adsorption Ratio, SAR) و همچنین نمودار ویلکاکس (Wilcox diagram) استفاده می‌شود. جدول ۷ مقادیر عددی این شاخص‌ها در نمونه‌های آب مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

رده‌بندی کیفی نمونه‌های آب برای مصارف کشاورزی مناسب بودن آب برای مصارف کشاورزی، به حضور املاح محلول در آب و همچنین پارامترهای فیزیکوشیمیایی مانند EC، TDS و pH بستگی دارد (Sanjay et al., 2010). افزایش غلظت یون‌های حل شده در آب می‌تواند اثرات منفی روی خاک و گیاهان منطقه داشته باشد (Ravikumar et al., 2011). برای تعیین کیفیت آب

جدول ۷. مقادیر شاخص‌های تعیین کیفیت آب برای مصارف کشاورزی در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت

Table 7. The values of water quality indices for irrigation purposes in the water samples of the Garmabdasht River

| Station | SAR | Na% | RSC | MH |
|-----------------|------|-------|-------|--------|
| S _۱ | 0.53 | 10.76 | 0.38 | 62.45 |
| S _۲ | 0.47 | 9.05 | -0.1 | 101.92 |
| S _۳ | 0.72 | 13.38 | -0.56 | 106.94 |
| S _۴ | 0.87 | 15.47 | 0.36 | 96.95 |
| S _۵ | 0.84 | 14.89 | -0.02 | 82.51 |
| S _۶ | 0.88 | 15.53 | -1.06 | 50.32 |
| S _۷ | 1.08 | 18.01 | 0.5 | 95.42 |
| S _۸ | 0.55 | 10.19 | 0.29 | 79.76 |
| S _۹ | 0.68 | 11.58 | -0.04 | 71.10 |
| S _{۱۰} | 0.67 | 11.73 | 0.19 | 80.61 |

خطر منیزیم (MH)

مناسب هستند. RSC منفی در نمونه‌های آب مورد مطالعه نشان می‌دهد غلظت کلسیم و منیزیم بیش از کربنات و بی‌کربنات است.

درصد سدیم (%Na)

درصد سدیم از طریق رابطه (۹) محاسبه می‌شود (Bouderbala, 2017):

$$\%Na = \frac{Na^{+} + K^{+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+}} \times 100 \quad (9)$$

وقتی که فرآیند تبادل یونی طبیعی در آب صورت گیرد، کاتیون سدیم جایگزین یون‌های کلسیم و منیزیم آب می‌شود. فرآیند تبادل سدیم باعث افزایش یون سدیم در آب آبیاری، کاهش نفوذپذیری خاک و تشکیل خاک‌های سخت می‌شود (Anuja et al., 2024). با توجه نتایج به دست آمده، درصد سدیم در تمام نمونه‌ها کمتر از ۲۰ بوده و بنابراین نمونه‌های آب رودخانه گرمادشت در رده عالی قرار می‌گیرند.

نمودار ویلکاکس (Wilcox Diagram)

نمودار ویلکاکس بر اساس دو پارامتر هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) ترسیم می‌شود و آب را برای مصارف کشاورزی رده‌بندی می‌نماید. هدایت الکتریکی مهم‌ترین پارامتر در تخمین کیفیت آب برای اهداف کشاورزی است، چرا که هدایت الکتریکی بالای آب باعث افزایش شوری و تجمع نمک در خاک و کاهش کیفیت محصولات کشاورزی می‌شود. پارامتر نسبت جذب سدیم، با توجه به اینکه با درصد تبادل سدیم در خاک و در نتیجه خطر شوری، تخریب خصوصیات فیزیکی و ساختاری خاک و کاهش نفوذپذیری خاک مرتبط می‌باشد، برای ارزیابی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی مهم است. درصد جذب

در اغلب آب‌های طبیعی غلظت کلسیم و منیزیم در تعادل است اما این دو عنصر در سیستم خاک رفتار یکسانی ندارند. غلظت بالای منیزیم در آب آبیاری تأثیر منفی بر خاک و گیاهان دارد. در آب‌های شور، مقدار منیزیم بیش از حد در آب (بیش از ۵۰ درصد) باعث جایگزینی سدیم خاک توسط منیزیم، افزایش خطر قلیایی شدن آب و در نتیجه پراکندگی ذرات رسی و تخریب ساختار خاک می‌شود. شاخص خطر منیزیم از رابطه (۷) محاسبه می‌شود (Ramesh and Elango, 2014).

$$MH = \frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 100 \quad (7)$$

بر اساس نتایج به دست آمده، مقدار این شاخص برای همه نمونه‌های آب مطالعه شده بیشتر از ۵۰ می‌باشد و بنابراین آب رودخانه گرمادشت با توجه به این شاخص، برای کشاورزی نامناسب است.

سدیم کربنات باقی‌مانده (RSC)

این شاخص از طریق رابطه (۸) محاسبه می‌شود (Eiazhari et al., 2021):

$$RSC = (HCO_3^{-} + CO_3^{2-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (8)$$

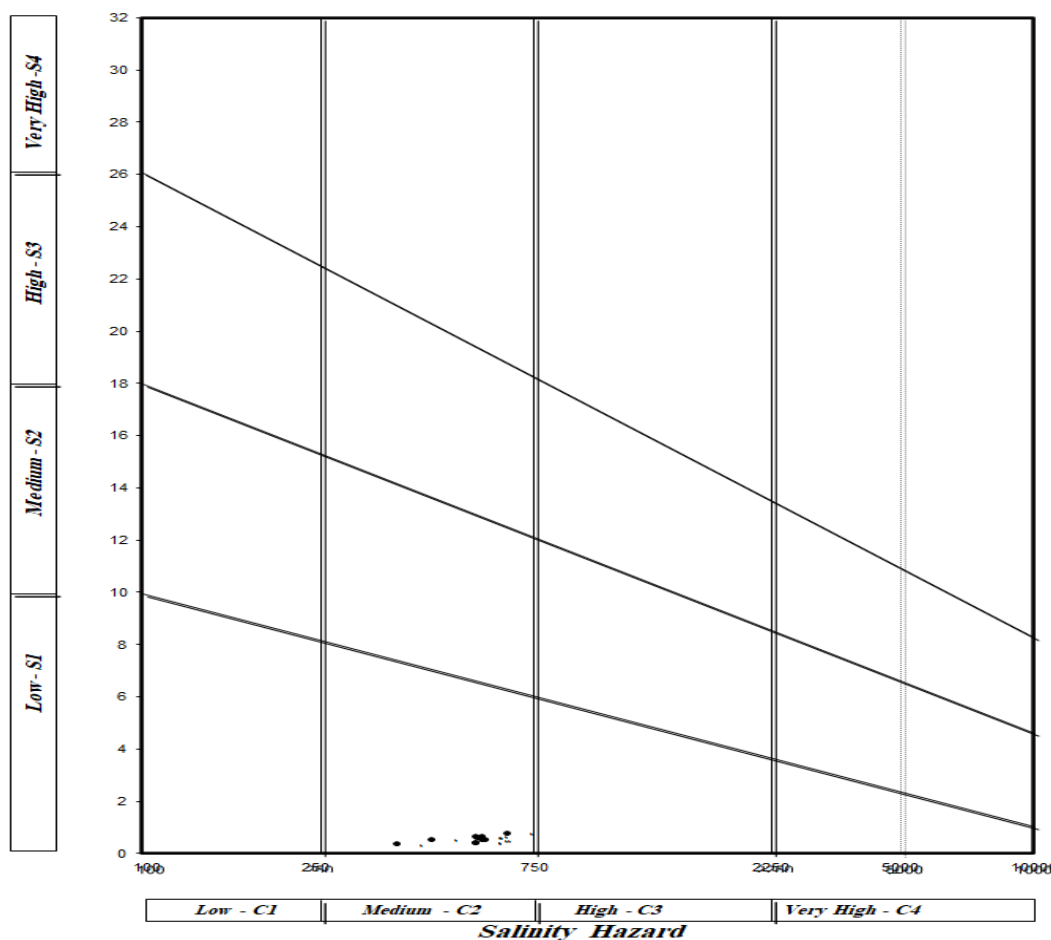
آب‌های آبیاری با RSC کمتر از ۱/۲۵ برای کشاورزی مناسب‌اند، اما آب‌ها با RSC بیش از ۲/۵ نامناسب می‌باشند. استفاده از آب با RSC زیاد، باعث قلیائیت خاک شده و برای رشد گیاهان مضر است و همچنین باعث سوختگی برگ‌ها می‌شود (Ramesh and Elango, 2014). بر اساس رده‌بندی آب‌ها بر اساس پارامتر RSC تمامی نمونه‌های مورد مطالعه به دلیل RSC منفی و کمتر از ۱/۲۵ برای کشاورزی

کشاورزی) قرار می‌گیرند. به طور کلی، رخنمون سازندهای تبخیری که باعث افزایش سدیم و هدایت الکتریکی آب می‌شوند، در منطقه کم است و نمونه‌های آب احتمالاً تحت تأثیر فرآیند تبادل یونی معکوس هستند که باعث کاهش غلظت سدیم آب می‌شود، به همین دلیل کیفیت آب برای مصارف کشاورزی مناسب است (Ravikumar et al., 2011).

سدیم بر اساس رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود (Yasser et al., 2021):

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (10)$$

بر اساس نمودار ویلکاکس (شکل ۸)، همه نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت در رده C2S1 (کمی شور- مناسب برای



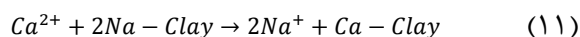
شکل ۸. نمودار ویلکاکس نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت

Fig. 8. The Wilcox diagram of the water samples of the Garmabdasht River

تعیین منشأ یون‌ها و تشخیص فرآیندهای مؤثر بر کیفیت آب استفاده می‌شود. علاوه بر این، این نسبت‌ها در تشخیص آلودگی آب‌ها و مخلوط شدن آن‌ها از منابع مختلف مفید می‌باشند (Abdalla et al., 2012). نسبت‌های یونی محاسبه شده برای نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت در

منشأ یون‌ها در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت و عوامل مؤثر بر غلظت آن‌ها

برای تعیین منشأ یون‌ها در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت از نسبت‌های یونی، نمودار پراکندگی، شاخص اشباع و نمودار دورو استفاده شد. از نسبت‌های یونی برای



فرآیند تبادل یونی معکوس در آب‌هایی رخ می‌دهد که در تماس با رس‌های غنی از کلسیم و منیزیم هستند و کلسیم و منیزیم جایگزین سدیم آب می‌شود.

جدول ۸ ارائه شده است. فرآیند تبادل یونی طبیعی در شرایطی رخ می‌دهد که رس‌های سدیم‌دار با یون‌های کلسیم و منیزیم آب واکنش دهند و سدیم جایگزین کلسیم و منیزیم آب شود. در این شرایط سدیم آب افزایش می‌یابد، در حالی که کلسیم و منیزیم کاهش یافته و به این ترتیب با حذف کلسیم و منیزیم از توده‌ی آب، نرم‌شدگی طبیعی اتفاق می‌افتد (Hounslow, 1995). رابطه (۱۱) فرآیند تبادل یونی طبیعی را نشان می‌دهد:

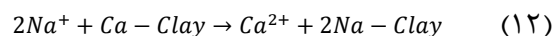
جدول ۸. مقادیر نسبت‌های یونی در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت

Table 8. The values of ionic ratios in the water samples of the Garmabdasht River

| Station | $\frac{Ca^+}{Mg^{2+}}$ | $\frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$ | $\frac{Na^+}{Na^+ - Cl^-}$ | $\frac{Na^+ + K^+ - Cl^-}{Na^+ + K^+ - Cl^- + Ca^{2+}}$ |
|-----------------|------------------------|-------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------|
| | S _۱ | 2.2 | 0.31 | 0 |
| S _۲ | 0.96 | 0.51 | -1.91 | -0.100 |
| S _۳ | 0.87 | 0.54 | -6.14 | -0.043 |
| S _۴ | 1.13 | 0.49 | 21 | -0.026 |
| S _۵ | 1.42 | 0.41 | -1.34 | -0.026 |
| S _۶ | 2.97 | 0.25 | 0 | 0.009 |
| S _۷ | 1.10 | 0.48 | -34 | -0.003 |
| S _۸ | 1.51 | 0.40 | 8.75 | 0.030 |
| S _۹ | 1.81 | 0.36 | 2.61 | 0.080 |
| S _{۱۰} | 1.48 | 0.40 | 3.74 | 0.058 |

نشان‌دهنده انحلال کانی به غیر از هالیت مانند آل‌بیت (پلاژیوکلاز)، رخداد تبادل یونی، و یا تأثیر تخلیه فاضلاب بر شیمی آب رودخانه باشد (Hounslow, 1995). با توجه به این که pH نمونه‌های آب در حد خنثی تا قلیایی است، انحلال سیلیکات‌ها چندان محتمل نیست و تبادل یونی یا آلودگی انسان‌زاد، عامل اصلی افزایش غلظت یون سدیم می‌باشد. افزایش غلظت یون کلرید در برخی نمونه‌ها نیز نشانگر تأثیر ورود فاضلاب‌های مختلف (کشاورزی و مسکونی) بر کیفیت آب رودخانه گرمابدشت است. در نمودار تغییرات غلظت سولفات در مقابل کلسیم (شکل ۹ ب) اکثر نمونه‌ها بالای خط تعادل قرار گرفته‌اند. غلظت بیشتر سولفات نسبت به کلسیم در نمونه‌های آب می‌تواند نشان‌دهنده منبعی غیر

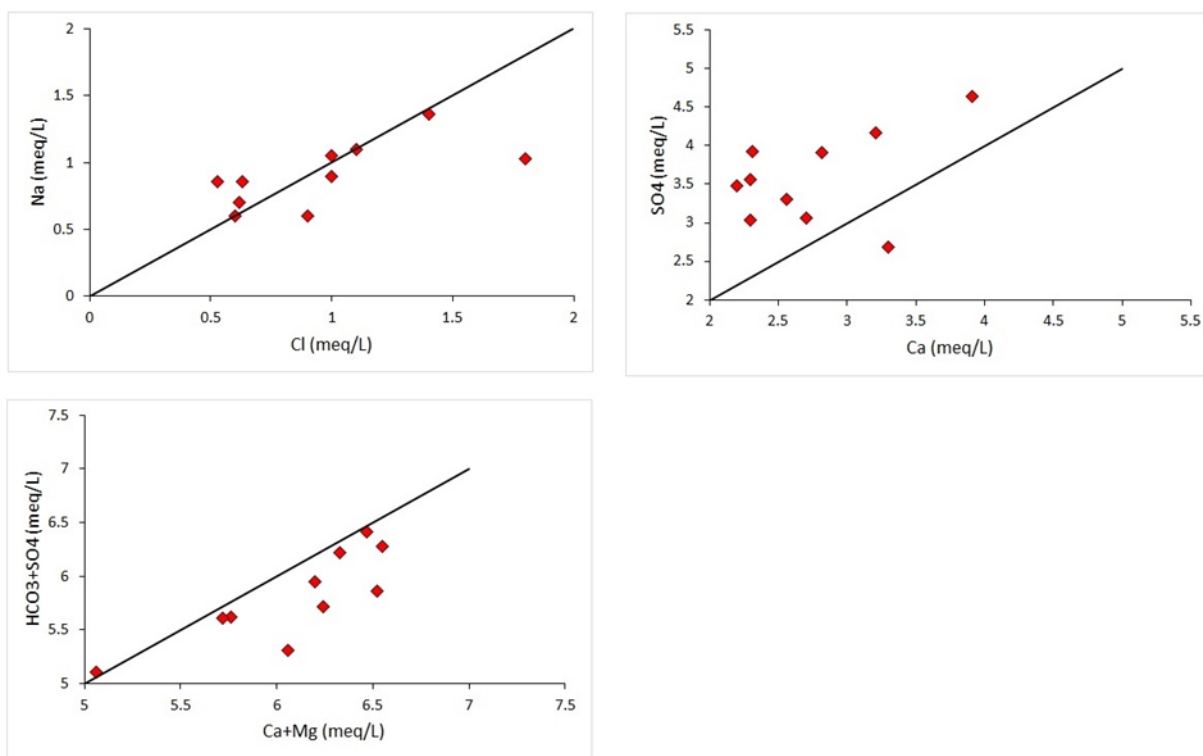
فرآیند تبادل یونی معکوس به کاهش غلظت سدیم در آب منجر می‌شود. این فرآیند با رابطه (۱۲) مشخص می‌شود:



با توجه به شکل ۹ الف، در نمونه‌هایی که بالای خط تعادل قرار گرفته‌اند و به عبارتی در آن‌ها غلظت سدیم بیش از کلرید است، احتمال رخداد فرآیندهایی چون انحلال سیلیکات‌ها و یا تبادل یونی وجود دارد (Kumar and James, 2013). با توجه به محاسبه نسبت یونی سدیم و کلرید در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت، و مقادیر بدست آمده در بیشتر ایستگاه‌ها این نسبت بین ۱ تا ۱/۵ است که می‌تواند

از ۰/۵ باشد به ترتیب نشان دهنده انحلال دولومیت، کلسیت و انحلال دولومیت یا ته‌نشست کلسیت می‌باشد (Hounslow, 1995). با توجه به جدول ۸، احتمال رخداد انحلال کلسیت در تمام نمونه‌ها مورد انتظار است. شکل ۹ ج نمودار تغییرات غلظت بی‌کربنات در مقابل غلظت کلسیم و منیزیم را نشان می‌دهد. با توجه به این که همه نمونه‌ها زیر خط تعادل قرار گرفته‌اند، احتمالاً غیر از انحلال کربنات‌ها، فرآیند دیگری (همچون تبادل یونی معکوس) بر افزایش غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم مؤثر بوده است (Hounslow, 1995).

از انحلال ژپس (مانند تخلیه فاضلاب به رودخانه) باشد. با استفاده از نسبت Ca/Mg می‌توان نقش انحلال کانی‌های کلسیت و دولومیت را بر کیفیت آب مشخص کرد. اگر این نسبت برابر یک و بیشتر از یک باشد به ترتیب نشانگر انحلال دولومیت و انحلال کلسیت می‌باشد (Hounslow, 1995). با توجه به جدول ۸، نسبت کلسیم به منیزیم نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت بین ۱/۴۳ تا ۱/۶۲ قرار می‌گیرد. بر اساس این نسبت احتمال رخداد انحلال کلسیت وجود دارد. اگر نسبت یونی $\frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+}+Mg^{2+}}$ برابر ۰/۵، کمتر از ۰/۵ و بیشتر



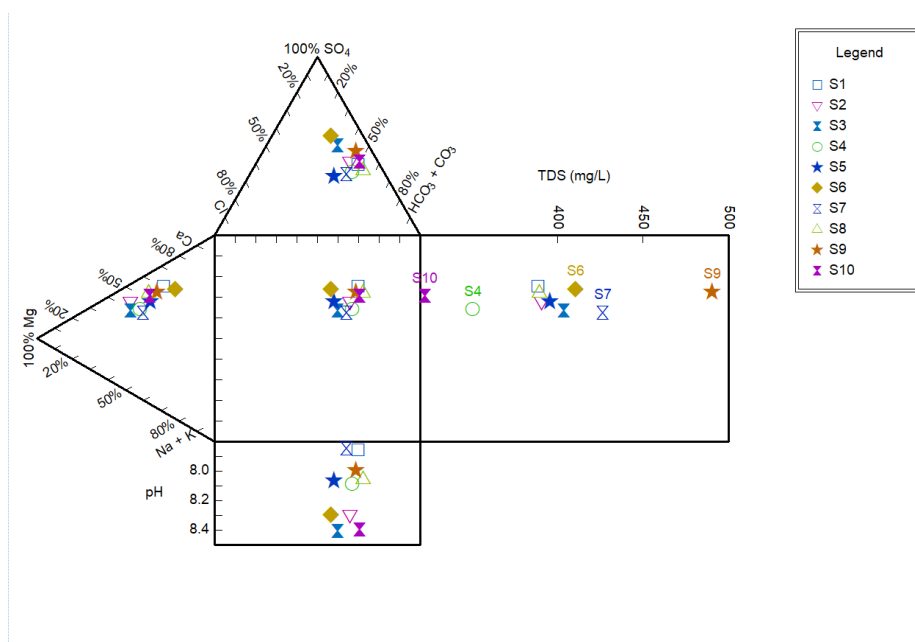
شکل ۹. تغییرات الف: غلظت کلرید در مقابل غلظت سدیم، ب: سولفات در مقابل غلظت کلسیم، ج: بی‌کربنات در مقابل غلظت کلسیم و منیزیم نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت

Fig. 9. The variation of (a) Cl vs Na, (b) SO₄ vs Ca, and (c) HCO₃ vs Ca+Mg concentrations in the water samples of the Garmabdasht River

میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. بر اساس نمودار دورو تمام نمونه‌های آب رودخانه بر روی روند مربوط به انحلال یا اختلاط قرار دارند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت ترکیب آب رودخانه گرمابدشت بیشتر توسط فرآیند انحلال کانی‌ها و واکنش بین آب و سنگ و اختلاط آب‌ها کنترل می‌شود.

نمودار دورو (Durov Diagram)

شکل ۱۰ نمودار دورو مربوط به نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت را نشان می‌دهد. در این نمودار غلظت یون‌های اصلی بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر و TDS بر حسب



شکل ۱۰. نمودار دورو نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت

Fig. 10. The Durove diagram of the water samples of Garmabdasht River

زیستی را مشخصه آب‌های آلوده دانسته است، بنابراین نمونه‌های S3، S4، S5، S8، S9 و S10 آلوده هستند. افزایش میزان BOD ناشی از تخلیه فاضلاب‌های دامداری و پساب‌های کشاورزی حاوی آفت‌کش‌ها و کودها است. بر اساس جدول ۹، مقدار اکسیژن‌خواهی شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه بین ۲ تا ۲۱ (میانگین ۱۱/۸) میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. سازمان بهداشت جهانی مقدار بیشتر از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر COD را مشخصه آب‌های آلوده در نظر گرفته است، بنابراین نمونه‌های S3، S4، S5، S8 و S9 آلوده هستند. بیشترین میزان COD در ایستگاه‌هایی که تحت تأثیر فاضلاب و پساب‌های کشاورزی و دامداری قرار دارند، مشاهده می‌شود. سازمان بهداشت جهانی مقدار

آلودگی بیولوژیکی آب رودخانه گرمابدشت

پارامترهای بیولوژیکی اکسیژن‌خواهی زیستی (BOD)، اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD)، اکسیژن حل شده (DO)، و باکتری‌های کلی فرم از جمله پارامترهای مورد استفاده برای ارزیابی کیفیت میکروبی آب می‌باشند. در بین این پارامترها، اکسیژن حل شده و میزان باکتری‌های کلی فرم بیشترین تأثیر را بر سلامت عمومی آب دارد. در جدول ۹، مقادیر پارامترهای BOD، COD و DO نمونه‌های آب مورد مطالعه ارائه شده است. مقدار اکسیژن‌خواهی زیستی نمونه‌ها بین ۲ تا ۱۰ (میانگین ۶) میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. سازمان بهداشت جهانی مقدار بیشتر از ۵ میلی‌گرم بر لیتر اکسیژن‌خواهی

فاضلاب‌های خانگی به آب رودخانه‌ها، فعالیت‌های کشاورزی و همچنین تفریحی در اطراف رودخانه‌ها، میزان باکتری‌های کلی‌فرم افزایش می‌یابد (Anh et al., 2023). بر اساس جدول ۱۰ همه نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت دارای آلودگی میکروبی هستند که احتمالاً ناشی از ورود فاضلاب‌ها و پساب‌های خانگی و کشاورزی در مناطق روستایی و گردشگری، ورود فضولات انسانی و حیوانی، و افزایش غلظت ماده مغذی نیترات که همگی باعث افزایش نرخ رشد باکتری‌ها شده‌اند، است. حضور باکتری‌های کلی‌فرم در نمونه‌های آب می‌تواند به شدت سلامت انسان را تهدید نموده و باعث بروز بیماری‌های عفونی خطرناک شود.

استاندارد اکسیژن حل شده برای رشد ماهی‌ها و ارگانسیم‌های آبی را ۵ میلی‌گرم بر لیتر تعیین کرده است. میزان DO کمتر از ۳ میلی‌گرم بر لیتر مشخصه آب‌های آلوده است. بر اساس جدول ۹، مقدار DO در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت بین ۳/۱۵ تا ۶/۲۹ (میانگین ۴/۷۲) میلی‌گرم بر لیتر متغیر است و بر این اساس هیچ یک از نمونه‌ها آلوده نیستند. نمونه ایستگاه S7 با اکسیژن حل شده ۳/۱۵ میلی‌گرم بر لیتر در مرز آلودگی قرار دارد. این ایستگاه بعد از مناطق مسکونی و کارخانه سویابین واقع شده است و کاهش اکسیژن حل شده در این ایستگاه می‌تواند ناشی از تخلیه فاضلاب‌ها باشد. در اثر ورود فضولات حیوانی و

جدول ۹. مقادیر پارامترهای BOD، COD و DO نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت (برحسب میلی‌گرم بر لیتر)

Table 9. The values of BOD, COD and DO (mg/L) in the Water samples of Garmabdasht River

| Station | DO | COD | BOD |
|-----------------|------|-----|------|
| S _۱ | 5.49 | 5 | 4.1 |
| S _۲ | 5.72 | 2 | 3.3 |
| S _۳ | 4.50 | 14 | 8.3 |
| S _۴ | 5.30 | 21 | 10.0 |
| S _۵ | 5.04 | 16 | 9.7 |
| S _۶ | 5.29 | 8 | 2.0 |
| S _۷ | 3.15 | 6 | 3.9 |
| S _۸ | 5.00 | 12 | 7.0 |
| S _۹ | 6.29 | 19 | 10.0 |
| S _{۱۰} | 5.09 | 15 | 9.0 |

جدول ۱۰. نتایج ارزیابی باکتریولوژیکی در نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت (بر حسب MPN/100mL)

Table 10. The results of bacteriological assessment (MPN/100mL) in the water samples of the Garmabdasht River

| Station | Total coliforms | Fecal coliforms |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| S _۱ | >1100 | 230 |
| S _۲ | >1100 | 715 |
| S _۳ | >1100 | 1000 |
| S _۴ | >1100 | 1100 |
| S _۵ | >1100 | 580 |
| S _۶ | >1100 | 930 |
| S _۷ | >1100 | 1200 |
| S _۸ | >1100 | 1100 |
| S _۹ | >1100 | 1300 |
| S _{۱۰} | >1100 | 1000 |

نتیجه‌گیری

نمودار ویلکاکس و محاسبه شاخص‌های سدیم کربنات باقی‌مانده و درصد سدیم نشان می‌دهد که نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت برای مصارف کشاورزی مناسب هستند. آب رودخانه گرمابدشت از نظر شاخص خطر منیزیم، برای کشاورزی نامناسب است. بررسی پارامترهای بیولوژیکی، نظیر اکسیژن‌خواهی زیستی، اکسیژن‌خواهی شیمیایی و اکسیژن حل شده نشان می‌دهد مقدار اکسیژن حل شده در تمامی نمونه‌ها در حد مجاز است. میزان اکسیژن‌خواهی زیستی و اکسیژن‌خواهی شیمیایی در ۶ ایستگاه تحت تأثیر فاضلاب و پساب‌های دامداری و کشاورزی از حد مجاز بیشتر است. از نظر آلاینده‌های میکروبی (کلی‌فرم مدفوعی و کلی‌فرم کل)، آب رودخانه گرمابدشت به شدت آلوده است. نتایج محاسبه شاخص کیفیت آب NSFQI نشانگر کیفیت مناسب دو نمونه برداشت شده از بالادست رودخانه، و کیفیت متوسط تا بد سایر نمونه‌ها برای مصرف شرب است. با توجه به تأثیرات منفی آلودگی میکروبی بر سلامت مصرف‌کنندگان آب، این مسئله باید مدنظر قرار گرفته و اقداماتی جهت کاهش بار آلودگی میکروبی رودخانه انجام شود. به منظور تکمیل این پژوهش، پیشنهاد می‌شود غلظت عناصر بالقوه سمی در آب

منابع احتمالی آلاینده رودخانه گرمابدشت شامل منابع صنعتی مانند پساب کارخانه سویابین، پساب‌های کشاورزی حاوی آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی، تخلیه فاضلاب مناطق روستایی، ورود پساب‌های و فضولات دامداری‌ها بر اثر شستشوی باران، و نیز آلاینده‌های حاصل از گردشگری در مناطق تفریحی می‌باشد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که نمونه‌های آب رودخانه گرمابدشت از نظر مقادیر pH، هدایت الکتریکی و جامدات حل شده کل در رده مناسب برای آشامیدن قرار دارند. غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم در برخی ایستگاه‌ها بیشتر از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی برای مصرف شرب است. تمام نمونه‌های آب رودخانه در رده سخت قرار می‌گیرند و بنابراین برای مصارف آشامیدنی نامناسب هستند. غلظت فسفات در برخی ایستگاه‌های پایین‌دست رودخانه، به دلیل ورود پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های مسکونی به رودخانه افزایش یافته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که علاوه بر عوامل انسان‌زاد، شیمی آب رودخانه توسط فرآیند انحلال نیز کنترل می‌شود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب سپاس خود را از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود برای فراهم کردن امکانات انجام این پژوهش ابراز می‌دارند. همچنین از هیأت تحریریه محترم نشریه زمین‌شناسی مهندسی و داوران مقاله قدردانی می‌شود.

References

- Abdalla, F.A., & Scheytt, T. (2012). Hydrochemistry of surface water and groundwater from a fractured carbonate aquifer in the Helwan area, Egypt. *Journal of Hydrochemistry*, 121, 109-124.
- American Public Health Association (1989)., Standard methods for examination of water and wastewater, 17th ed.: Washington, DC, American Public Health Association.
- Anh, N.T., Can, L.K., Nhan, N.Th., Schmalz, B., & Luu, T.L. (2023). Influences of key factors on river water quality in urban and rural areas: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100424
- Anuja, S.A., Kavitha, P., Jothi, C.H., & Jemila Rose, R. (2024). Seasonal assessment of water quality for irrigation using multiple indices in Thamirabarani river, Kanyakumari district, India. *Desalination and Water Treatment*, 317, 100206.
- Berry, L., Steffy, Y., & Shank, K. (2020). Development of a water quality index (WQI) for the Susquehanna River basin. S.R.B.C., New York. U.S.A.
- Bora, M., & Goswami, D.C. (2017). Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index (WQI): Case Study of the Kolong River, Assam, India. *Applied Water Science*, 7, 3125-3135.
- Bouderbala, A. (2017). Assessment of water quality index for the groundwater in the upper Cheliff plain, Algeria. *Journal of the Geological Society of India*, 90 (3), 347-356.
- Effendi, H. (2016). River Water Quality Preliminary Rapid Assessment Using Pollution Index. *Procedia Environmental Sciences*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.108>.
- Eiazhari, H., EIKhalil, Ch., EIMustapha, A.D., Yachou, H., Joquim, C.G., de silva, E., &

رودخانه گرمابدشت و همچنین آلودگی میکروبی و فلزی رودخانه قره سو مورد بررسی قرار گیرد و سهم رودخانه گرمابدشت در بار آلودگی این رودخانه که در نهایت به آلودگی آب دریای خزر منجر می‌شود، بررسی شود.

- Salmoun, F. (2021). Assessment of surface water quality using the Water Quality Index (IWQI) Multivariate statistical Analysis (MSA) and Geographic Information System (GIS) in Oued Laou Mediterranean. Watershed Morocco. *Water*, 15, 130. DOI: a0.3390/w15010130.
- Garg, V. K., Suthar, S., Singh, S., Sheoran, A., Meenakshi, G., & Jain, S. (2009). Drinking water quality in villages of southwestern Haryana, India: assessing human health risks associated with hydrochemistry. *Environmental Geology*, 58, 1329-1340.
- Girija, T.R., Mahanta, Ch., & Chandramouli, V. (2007). Water Quality Assessment of an Untreated Effluent Impacted Urban Stream: The Bharalu Tributary of the Brahmaputra River, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 130, 221-236.
- Herrera, M.L., & Espinosa, R.J. (2008). Impact of agricultural activity and geologic controls on groundwater quality of the alluvial aquifer of the Guadalquivir River (province of Jae'n, Spain): a case study. *Environmental Geology*, 54, 1391-1402.
- Hounslow, A.W. (1995). Water quality data: Analysis and interpretation. CRCpress, 1 st edition, 416.
- Jin, Y.S., Artigas, F., Hobble, Ch., & Lee, Y.S. (2013). Assessment of anthropogenic influences on surface water quality in urban estuary, northern New Jersey: multivariate approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 2777-2794.
- Krishna Kumar, S., Logeshkumaran, A., Magesh, N.S., Godson, S., & Chandrasekar, N. (2015). Hydro-geochemistry and application of water quality index (WQI) for groundwater quality assessment, Anna Nagar, part of Chennai City,

- Tamil Nadu, India. *Applied Water Sciences*, 5, 335–343.
- Kumar, S.P.J., & James, E.J. (2013). Physicochemical parameters and their sources in groundwater in the Thirupathur region, Tamil Nadu, South India. *Applied Water Science*, 3, 219–228.
- Kumar Ravi, N., Kumar Jha, P., Varma, K., Tripathi, P., Kumar Gautam, S., Ram, K., Kumar, M., & Tripathi, V. (2023). Application of water quality index (WQI) and statistical techniques to assess water quality for drinking, irrigation, and industrial purposes of the Ghaghara River, India. *Total Environment Research Themes*, 6, 100049.
- Li, S., Xu, Zh., Wang, H., Wang, J., & Zhang, Q. (2009). Geochemistry of the upper Han River basin, China: Anthropogenic inputs and chemical weathering to the dissolved load. *Chemical Geology*, 264, 89–95.
- Mandal, P., Upadhyay, R., & Hasan, A. (2010). Seasonal and spatial variation of Yamuna River water quality in Delhi, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 170, 661–670.
- Milovanovic, M. (2007). Water quality assessment and determination of pollution sources along the Axios/Vardar River, Southeastern Europe. *Desalintation*, 213, 159–173.
- Mohd Zebaral Hoque, J., Ab. Aziz, N.A., Alelyani, S., Mohana, M., & Hosain, M. (2022). Improving Water Quality Index Prediction Using Regression Learning Models. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 13702.
- Onojake, M.C., Ukerun, S.O., & Iwuoha, G. (2011). A statistical approach for evaluation of the effects of industrial and municipal wastes on Warri Rivers, Niger Delta, Nigeria. *Water Quality Exposure and Health*, 3, 91–99
- Ramesh, K., & Elango, L. (2014). Impact of Groundwater Quality from Industrial East Coastal Town, Southern India. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4, 346–354.
- Ravikumar, P., Somashekar, R.K., & Angami, M. (2011). Hydrochemistry and evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in the Markandeya River basin, Belgaum District, Karnataka State, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 173, 459–487.
- Sanjay, S., Phadnis, L., Mukul, K. & Meenal, P. (2010). Participatory Approach for Socially and Environmentally Sustainable Modernisation of Existing Irrigation and Drainage Schemes in India. *International Journal of Environmental Sciences*, 1(2), 260 -269.
- Sharma, S.B., Sayyed, R.Z., Trivedi M.H., & Gobi, T.A. (2013). Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *Springerplus*, 2, 587–600.
- Subrahmanyam, K., & Yadaiah, P. (2001). Assessment of the impact of industrial effluents on water quality in Patancheru and environs, Medak district, Andhra Pradesh, India. *Hydrogeology Journal*, 9(3), 297-312.
- Wang, Y.B. Junaid, M., Deng, J.Y., Tang, Q.P., Luo, L., Xie, Z.Y., & Pei, D.Sh. (2024). Effects of land-use patterns on seasonal water quality at multiple spatial scales in the Jialing River, Chongqing, China, *Catena*, 234, 107646.
- World Health Organization (WHO) (2018). *Guidelines for drinking-water quality incorporating first addendum to Third Edition. Recommendations Geneva 1:595.*
- Yasser A, El-Amier, Wafaa, K., Kotb, G.B., Fakhry, H., Marraiki, N.A., & Abd-El Gawad, AM. (2021). Hydrochemical assessment of the irrigation water quality of the El-Salam Canal. *Egypt Water*, 13(17), 2428.
- Yang, H.J., Shen, Z.M., Zhang, J.P., & Wang, W.H. (2007). Water quality characteristics along the course of the Huangpu River (China). *Journal of Environmental Sciences*, 19, 1193–1198.
- Xiao, C., Ye, J., Esteves, R.M., & Rong, C. (2016). Using Spearman's correlation coefficients for exploratory data analysis on big dataset. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 28(14), 3866-3878.