Research Paper

Relationship Between Physico-Chemical Parameters and Water Quality Indices for Different Uses

Mojtaba Ghareh Mahmoodlu[1,*], Maryam Sayadi[2]
1. Assistant Professor of Range and Watershed Management, College of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.
2. Ph.D. Student in water resources engineering, College of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

Received: 2021/01/13
Revised: 2021/01/25
Accepted: 2021/06/27

Use your device to scan and read the article online

DOI: 10.30495/wej.2023.23850.2224

Keywords:
Kolmogorov-Smirnov Test, Water quality parameters, Linear Regression, Water quality indices

Abstract

Introduction: It is important to find a simple connection between physic-chemical parameters and indices due to complexity and difficulties of using some indices. This research was performed to determine the relationship between physicochemical parameters and water quality indices

Methods: In this research, dominant water type of Gamasyab and GharehSou rivers was first determined using radial diagram. Then, to classify the water quality of two rivers, 14 quality water indices together with national standards for drinking water 1053 and WHO were used. Linear regression was used to determine the relationships between quality indices and physicochemical parameters. Finally, for the accuracy of the results of linear regression, the obtained relationships were tested for two other water sources (river and Gorgan Bay).

Findings: Based on hydrochemical results, the predominant type of water in both rivers is Ca-HCO_3. Based on diagrams and criteria related to drinking and agriculture, the water quality of both rivers is in the desired range. The results of Langelier, Ryznar, Larsson-Skold and Puckorius indices showed that water quality for the industrial sector was relatively corrosive. Also, the water quality at the study stations is suitable for livestock drinking. The results of linear regression between quality indices with physicochemical parameters of water and some ion ratios showed that the resulting relationships for calculating quality indices can be used for different water types from fresh to saline. Also, comparing the results of linear regression simulations with water quality indicators, indicates the high accuracy of the relationships in water classification for different uses.

Citation: Ghareh Mahmoodlu, M., Sayadi, M. Relationship between physico-chemical parameters and water quality indices for different uses. Water Resources Engineering Journal. 2023; 15 (55): 19-34.

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

Extended Abstract

Introduction

The increase in water consumption, the decrease in natural water reserves, environmental pollution and the increase in human activities have caused the assessment of the quality of water resources to be considered one of the important issues in recent years.

Water resources in Iran, especially in the last three decades, have been affected due to excessive consumption in various uses and have faced a significant decrease due to climate changes in these years. The quality of river water is definitely affected by the quantitative and qualitative uses of its various sources. It is necessary to pay attention to the desired physical, chemical and microbial quality of water in line with the type of use in drinking, agriculture, industry and releasing it into the environment. Controlling the concentration of some pollutants is necessary to ensure people's health. Such actions include conducting physicochemical and microbial tests on water supply sources

Corrosion is a physic-chemical reaction that occurs due to the contact of materials with the surrounding environment and changes the properties of the material. The internal corrosion of the pipe can be caused by several factors such as the microbial quality of the water, the physical-chemical quality of the water (oxygen concentration, the concentration and type of residual chlorine and the concentration of chloride ions, sulfate, calcium, water temperature), the hydraulic conditions of the water in the pipe (flow speed) and The material of the pipe should be established. The use of corrosiveness indicators is an indirect method of measuring and simply diagnosing the tendency of water to corrosiveness and sedimentation. Common indices in this field are: Langelier Saturation Index (LSI), Ryznar Stability Index (RSI), Puckorius Index (PSI) and Larson-Skold Index (L-SI).

One of the important issues in the quality monitoring of water resources systems is the detection and separation of physical, chemical and microbial parameters and determining the relationship between quality parameters and quality indicators. Finding these connections using laboratory methods, in addition to their complexity and problems, requires a lot of time and money. One of the methods used to reduce costs is determining the relationships between quality indicators using linear equations.

Materials and Methods

In this research, the statistics and results of physicochemical parameters (including: calcium, magnesium, sodium, bicarbonate, chloride, sulfate, electrical conductivity, total dissolved solids, total hardness, and pH) of two water stations and Polchehr of Gamasyab River and also Doab Mereg station of GharehSou River was prepared from the regional water company of Kermanshah province in 2013-2017. First, the Kolmogorov-Smirnov statistical test was used to check the normal distribution or non-normality of the research data (physicochemical parameters of the studied rivers). For this purpose, the command Analysis→Nonparametric Tests→Legacy Dialogs→1-Sample K-S was used in SPSS23 software. Radial, Schoeller, and Wilcox diagrams were drawn, respectively, to analyze hydrochemical data, measure water quality in the drinking and agricultural sectors, using Aquachem2014.2 software. In addition, drinking water standards of Iran 1053 and WHO were used to measure water quality in the drinking sector. In the agricultural sector, Na, SAR, MR, RSC, RSBC and KR indices were used, and in the industrial sector, the indices of Ryznar, Puckkorius, Larson-Skold and corrosion ratio were used. Then, the Australian livestock drinking water standard was used to determine water use in this sector. In the next step, using linear regression analysis, the relationships between physicochemical parameters and water classification indicators were determined and compared with some common indicators in drinking, agriculture, industry and livestock sectors. The resulting relationships were used to check the accuracy of their efficiency with different types of water, including fresh (Oghan River) and salty (Gorgan Bay).

Findings

Based on hydrochemical results, the predominant type of water in both rivers is Ca-HCO_3. Based on diagrams and criteria related to drinking and agriculture, the water quality of both rivers is in the desired range. The results of Langelier, Ryznar, Larsson-Skold and Puckorius indices showed that water quality for the industrial sector was relatively corrosive. Also, the water quality at the study stations is suitable for livestock drinking. The results of linear regression between quality indices with physicochemical parameters of water and some ion ratios showed that the resulting relationships for calculating quality indices can be used for different water types from fresh to saline. Also, comparing the results of linear regression simulations with water quality indicators, indicates the high accuracy of the relationships in water classification for different uses.

Conclusion

According to the radial diagram, the predominant type of water in Gamasyab and Ghareh Sou rivers is calcic bicarbonate. This indicates that carbonate rocks play an important role in feeding these two rivers.

The results of water quality in the drinking sector indicate that the physicochemical parameters of the two rivers are within the limits of drinking water standards of Iran 1053 and WHO. Of course, except for EC and TH, which are higher than the WHO standard. According to the Wilcox chart, the quality of water in the agricultural sector is in the C_2S_1 class. Also, according to Na, SAR, EC, MR, RSC, RSBC and KR indicators, the water quality is suitable for irrigation.

According to Langelier, Ryznar, Puckorios, Larson-Skold indices and water corrosion ratio of Gamasyab and GharehSou watersheds, it is also suitable for the industry sector. However, due to the relatively corrosiveness of the water in the studied rivers, it is suggested that water transmission and distribution lines should be made of resistant material, or measures such as covering the inner wall of the pipe or improving the water quality should be carried out.

According to the standard of total dissolved solids in water, the water quality of all three stations is also suitable for livestock drinking.

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

Design and conceptualization: Mojtaba Ghareh Mahmoodlu, Maryam Sayadi

Methodology and data analysis: Maryam Sayadi

Supervision and final writing: Mojtaba Ghareh Mahmoodlu, Maryam Sayadi

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

ارتباط بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و شاخص‌های کیفی آب برای مصارف مختلف

مجتبی قره‌محمودلو[۱*]، مریم صیادی[۲]
۱. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران
۲. دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲٤
تاریخ داوری: ۱۳۹۹/۱۱/۰٦
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۰٤/۰٦

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

DOI:
10.30495/wej.2023.23850.2224

واژه‌های کلیدی:
آزمون کولموگروف-اسمیرنوف؛ پارامترهای کیفی آب؛ رگرسیون خطی؛ شاخص‌های کیفی آب

چکیده

مقدمه: با توجه به پیچیدگی و مشکلات استفاده از برخی شاخص‌ها، یافتن ارتباط ساده‌تر بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و شاخص‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. این پژوهش به‌منظور تعیین روابط بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و شاخص‌های کیفی آب در بخش‌های مختلف انجام شد.

روش: در این پژوهش، ابتدا تیپ غالب آب رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو با استفاده از نمودار شعاعی تعیین گردید. سپس به‌منظور طبقه‌بندی کیفی آب این دو رودخانه از چهارده شاخص کیفی آب در بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت به همراه استانداردهای ملی آب شرب ۱۰۵۳ و WHO استفاده شد. جهت تعیین روابط بین شاخص‌های کیفی و پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب از رگرسیون خطی استفاده شد. در نهایت برای صحت و سقم نتایج حاصل از رگرسیون خطی، روابط بدست آمده برای دو منابع آبی دیگر (رودخانه و خلیج گرگان) آزمایش شد.

یافته‌ها: براساس نتایج هیدروشیمی، تیپ غالب آب هر دو رودخانه $Ca\text{-}HCO_3$ می‌باشد. براساس دیاگرام‌ها و معیارهای مربوط به شرب و کشاورزی، کیفیت آب هر دو رودخانه در محدوده مطلوب قرار دارد. نتایج شاخص‌های لانژیلر، رایزنر، لارسون-اسکلد و پوکوریوس نشان داد که آب رودخانه‌ها در بخش صنعت خورنده می‌باشد. همچنین وضعیت کیفی آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه جهت شرب دام مناسب می‌باشد. نتایج حاصل از رگرسیون خطی بین شاخص‌های کیفی با پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب و برخی نسبت‌های یونی نشان داد روابط حاصله برای محاسبه شاخص‌های کیفی را می‌توان برای تیپ‌های مختلف آب از شیرین تا شور استفاده نمود. همچنین، مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی رگرسیون خطی با شاخص‌های کیفی آب، نشان از دقت بالای روابط حاصله در طبقه‌بندی آب برای مصارف مختلف دارد.

نتیجه‌گیری: یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای تعیین کاربری آب در بخش‌های مختلف استفاده از شاخص‌های کیفی آب است. نتایج حاصل از روابط حاصله از رگرسیون خطی نشان از عملکرد و کارایی بهتری نسبت به روش‌های طبقه‌بندی پیشین آب دارد. برازش پارامترهای کیفی رودخانه اوغان و خلیج گرگان با روابط بدست آمده از رگرسیون خطی نشان از همپوشانی و برازش مطلوب روابط استخراجی با شاخص‌های کیفی آب دارد. این امر بیانگر سازگاری روابط حاصله با تیپ آب‌های شیرین و شور می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که از این روابط در رودخانه‌های تیپ بی‌کربنات کلسیک و کلره سدیک در طبقه‌بندی آب جهت مصارف مختلف استفاده شود.

* **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

افزایش مصرف آب، کاهش ذخایر آب‌های طبیعی، آلودگی‌های محیط زیستی و افزایش فعالیت‌های انسانی باعث شده تا ارزیابی کیفیت منابع آب از موضوعات مهم در سال‌های اخیر محسوب شود(1).

منابع آب در ایران، به ویژه در سه دهه گذشته به دلیل مصرف بیش از حد در کاربری‌های مختلف تحت تأثیر قرار گرفته و به علت تغییرات آب و هوایی در این سال‌ها با کاهش قابل توجهی مواجه شده‌است. کیفیت آب رودخانه به طور حتم متأثر از کاربری‌های کمی و کیفی منابع مختلف آن است. توجه به کیفیت مطلوب فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب در راستای نوع استفاده در بخش شرب، کشاورزی، صنعت و رهاسازی آن در محیط زیست ضروری است. کنترل غلظت برخی آلاینده‌ها جهت تأمین سلامتی مردم ضروری است. این گونه اقدامات شامل انجام آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی بر روی منابع تأمین آب می‌باشند [2]

خورندگی واکنش فیزیکی- شیمیایی است که در اثر تماس مواد با محیط اطراف ایجاد و باعث تغییر خواص ماده می‌شود. خورندگی داخلی لوله می‌تواند در اثر عوامل متعددی همچون کیفیت میکروبی آب، کیفیت فیزیکی- شیمیایی آب (غلظت اکسیژن، غلظت و نوع کلر باقیمانده و غلظت یون‌های کلرور، سولفات، کلسیم، دمای آب)، شرایط هیدرولیکی آب در لوله (سرعت جریان) و جنس لوله ایجاد شود [3]. کاربرد شاخص‌های خورندگی روشی غیرمستقیم در اندازه‌گیری و تشخیص ساده تمایل آب به خورندگی و رسوبگذاری می‌باشد. شاخص‌های متداول در این زمینه عبارتنداز: شاخص‌های اشباع لانژیلر[1](LSI)، شاخص پایداری رایزنر[2](RSI)، شاخص پوکوریوس [3](PSI) و شاخص لارسون-اسکلد [4](L-SI).

یکی از مسائل مهم در پایش کیفی سیستم‌های منابع آب، تشخیص و تفکیک پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و میکروبی و تعیین رابطه بین پارامترهای کیفی و شاخص‌های کیفی می‌باشد. یافتن این ارتباطات با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی علاوه بر پیچیدگی و مشکلات آنها نیازمند زمان و هزینه زیاد است. یکی از روش‌هایی که در جهت کاهش هزینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، تعیین روابط بین شاخص‌های کیفی با استفاده از معادلات خطی می‌باشد.

تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی صورت گرفته است که در اینجا به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. نوری و ملکیان (۱۳۹۵) به مطالعه عوامل مؤثر بر کیفیت آب رودخانه‌های سیمره و کشکان در استان‌های ایلام و لرستان پرداختند. نتایج این پژوهش نشان از افزایش میزان پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب در طول رودخانه کشکان و سرشاخه‌های آن بدلیل انحلال تشکیلات زمین‌شناسی منطقه به ویژه سازندهای تبخیری نظیر گچساران و آغاجاری دارد[4]. قائدامینی و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی کیفیت آب رودخانه پیرغار در بخش‌های شرب و آبزی‌پروری پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد، درجه آلودگی باکتریایی رودخانه طبق استاندارد اروپایی سازمان بهداشت جهانی، براساس میزان کلیفرم کل در گروه سوم و با توجه به میزان کلیفرم مدفوعی در گروه اول قرار می‌گیرد[2]. ایرانی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی کیفیت آب رودخانه زرینه‌رود آذربایجان غربی پرداختند. نتایج این پژوهش براساس دیاگرام ویلکوکس نشان داد کیفیت آب رودخانه فقط در سال ۱۳۸۳ (دوره خشک) در کلاس C3-S1 و بقیه سال‌ها دارای کیفیت بهتری بوده و در کلاس C2-S1 قرار گرفته‌است. همچنین براساس دیاگرام شولر، کیفیت آب رودخانه برای شرب بطورکلی در رده خوب قرار می‌گیرد و تنها در سال ۱۳۸۳ (دوره خشک) در رده قابل قبول قرار می‌گیرد[5]. در پژوهشی چانها و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر کاربری اراضی بر کیفیت آب‌های سطحی جهت تأمین آب آشامیدنی سائو پائولو (برزیل) را بررسی کردند. برای این پژوهش از ۵۰ نقطه بر روی رودخانه شامل نواحی صنعتی، شهری، کشاورزی و جنگلی در فواصل زمانی مختلف نمونه‌برداری کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان‌داد به ترتیب نمونه‌های مربوط به نواحی جنگلی و صنعتی دارای بهترین و بدترین کیفیت آب می‌باشند[6]. فلاح و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی کیفیت هیدروشیمیایی آب رودخانه تیره پرداختند. با توجه به نمودار پایپر بیشتر نمونه‌ها دارای رخساره بیکربنات کلسیک بودند. نتایج آن‌ها نشان داد تقریباً تمام نمونه‌ها با توجه به استاندارد WHO[5] دارای شرایط مناسبی برای شرب هستند. علاوه براین کیفیت نمونه‌ها در مقایسه با استاندارد کشاورزی (FAO)، از پتانسیل خوبی برای آبیاری برخوردار هستند. همچنین براساس نمودار ویلکوکس ۷۸ درصد از نمونه‌ها در کلاس C_3-S_1 و ۲۱/۵ درصد در کلاس C_2-S_1 قرار گرفتند که از کیفیت قابل قبولی برخوردارند[7].

بطورکلی بررسی کیفی آب‌های سطحی جهت مصارف مختلف از اهمیت بالایی برخوردار است و یک مطالعه نسبتاً جامع در این زمینه می‌تواند اطلاعات مفیدی جهت استفاده از آن توسط سازمان‌های و ارگان‌ها ذینفع ارائه دهد. اگرچه استفاده از شاخص‌های کیفی آب برای تعیین کاربری آب در بخش‌های مختلف بسیار رایج می‌باشد اما باتوجه به پیچیدگی و مشکلات استفاده از برخی شاخص‌ها، یافتن ارتباط ساده‌تر بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و شاخص‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. از اینرو، پژوهش حاضر در راستای (۱) بررسی هیدروشیمیایی رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو، (۲) ارزیابی کیفی آب رودخانه‌های مورد مطالعه در بخش شرب، کشاورزی، صنعت و دام و (۳) تعیین روابط بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و شاخص‌های کیفی آب انجام شده‌است.

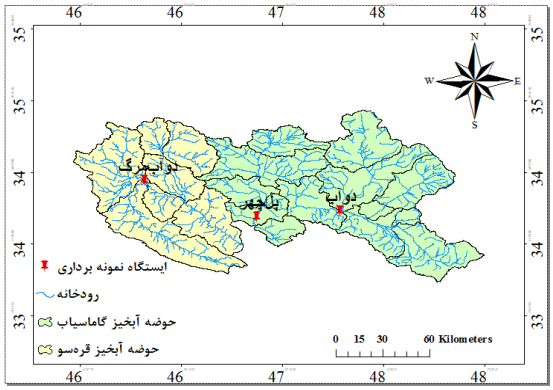
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

رودخانه قره‌سو یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های استان کرمانشاه است که سرچشمه اصلی آن در ۵۰ کیلومتری شمال غرب کرمانشاه می‌باشد. براساس مطالعات انجام شده میزان متوسط آب‌دهی سالانه در محل

[1] Langelier Saturation Index(LSI)
[2] Ryznar Stability Index(RSI)
[3] Puckorius Scaling Index(PSI)
[4] Larson-Skold Index(L-SI)
[5] World Health Organization

ایستگاه هیدرومتری دو آب مرگ ۶/۶۶۱ مترمکعب در ثانیه است. این رودخانه با مسیر پر پیچ و خم، در سطح دشت جریان یافته و در نزدیکی روستای قزانچی، رودخانه مرگ به آن متصل می‌شود و با یک شیب آرام از داخل شهر کرمانشاه عبور کرده و در نزدیکی فرامان به رودخانه گاماسیاب می‌پیوندد (شکل۱). رودخانه گاماسیاب یکی از بزرگترین رودخانه‌های ایران و همچنین یکی از زیر شاخه‌های اصلی رودخانه کرخه می‌باشد که تا محل تلاقی با رودخانه قره‌سو به این نام خوانده می‌شود. حوضه آبخیز آن به وسعت ۲۴۳۶۱ کیلومتر مربع عمدتاً توسط استان‌های کرمانشاه و همدان پوشش می‌یابد (شکل۱).



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه‌های آبخیز گاماسیاب و قره‌سو

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

حوضه‌های آبخیز گاماسیاب و قره‌سو باتوجه به گستردگی آنها در دو زون زاگرس مرتفع و سنندج-سیرجان قرار می‌گیرد. در این ناحیه، واحدهای چینه‌شناسی از جنس آهک رخنمون دارند. از قدیمی‌ترین واحدهای سنگی موجود در منطقه مورد مطالعه می‌توان به واحدهای آهکی-شیستی ماقبل ژوراسیک و ژوراسیک و همچنین آهک‌های بیستون و رادیولاریت‌های کرمانشاه اشاره کرد. که محدوده سنی آن‌ها از تریاس پایانی تا کرتاسه پایانی متغیر می‌باشد. علاوه بر فراوانی و پراکندگی سازندهای آهکی در هر دو حوضه، سازندهای تبخیری، شیلی-ماسه‌سنگی به همراه میان لایه‌های سیلتی و آذرینی نیز دیده می‌شود.

آزمون کولموگروف-اسمیرنوف

یکی از اصلی‌ترین ملاک‌ها برای انتخاب آزمون آماری، انجام آزمون کولموگروف-اسمیرنوف است. آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، نرمال نبودن توزیع داده‌ها را نشان می‌دهد. یعنی اینکه توزیع یک صفت در یک نمونه را با توزیعی که برای جامعه، مفروض است مقایسه می‌کند. اگر تست کولموگروف- اسمیرنوف رد شود، داده‌ها دارای توزیع نرمال می‌باشند و امکان استفاده از آزمون‌های آماری پارمتریک برای تحقیق، وجود دارد. بالعکس، اگر تست کولموگروف-اسمیرنوف تأیید شود، یعنی داده‌ها دارای توزیع نرمال نیستند، بنابراین باید از آزمون‌های ناپارمتریک در تحقیق استفاده کرد[8].

روش کار

در این پژوهش آمار و نتایج پارامترهای فیزیکو شیمیایی (شامل: کلسیم، منیزیم، سدیم، بی‌کربنات، کلراید، سولفات، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، سختی کل وpH) دو ایستگاه دوآب و پل‌چهر رودخانه گاماسیاب و همچنین ایستگاه دوآب‌مرگ رودخانه قره‌سو در طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۳ از شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه تهیه گردید. ابتدا جهت بررسی توزیع نرمال یا عدم نرمال بودن داده‌های تحقیق (پارامترهای فیزیکوشیمیایی رودخانه‌های مورد مطالعه) از آزمون آماری کولموگوف-اسمیرنوف استفاده‌شد. بدین منظور از دستور Analysis→Nonparametric Tests→Legacy Dialogs→1-Sample K-S در نرم‌افزار SPSS23 استفاده‌شد. دیاگرام‌های شعاعی[۶]، شولر[۷] و ویلکوکس[۸] به ترتیب جهت تحلیل داده‌های هیدروشیمیایی، سنجش کیفیت آب در بخش شرب و کشاورزی با استفاده از نرم‌افزار Aquachem2014.2 ترسیم شدند. علاوه براین استانداردهای شرب آب ایران ۱۰۵۳ و WHO برای سنجش کیفیت آب در بخش شرب به کار گرفته‌شدند. در بخش کشاورزی از شاخص‌های %Na[۹]، SAR[۱۰]، MR[۱۱]، RSC[۱۲]، RSBC[۱۳] و KR[۱۴] و در بخش صنعت از شاخص‌های، رایزنر، پوکوریوس، لارسون-اسکلد و نسبت خوردگی استفاده‌شد. سپس از استاندارد آب شرب دام کشور استرالیابرای تعیین کاربری آب در این بخش استفاده گردید. در مرحله بعد با استفاده از آنالیز رگرسیون خطی، روابط بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و شاخص‌های طبقه‌بندی آب تعیین و با برخی از شاخص‌های متداول در بخش‌های شرب، کشاورزی، صنعت و دام مقایسه گردید. روابط حاصله برای بررسی صحت کارایی آنها با تیپ‌های مختلف آب اعم از شیرین (رودخانه اوغان) و شور (خلیج گرگان) بکار گرفته شد.

شاخص‌ها و پارامترهای کیفی آب

کاربرد و روابط شاخص‌های کیفی بکار برده شده در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است.

۶ Radial
۷ Schoeller
۸ Wilcox
۹ Soluble Sodium Percentage (%Na)
۱۰ Sodium Absorption Ratio (SAR)
۱۱ Magnesium Ratio (MR)
۱۲ Residual Sodium Carbonate (RSC)
۱۳ Residual Sodium Bicarbonate (RSBC)
۱۴ Kell's Ratio (KR)

جدول ۱. شاخص‌های کیفی آب و کاربرد آنها در بخش‌های مختلف

شاخص	نوع کاربری	رابطه	اهمیت
SAR	کشاورزی	$SAR = Na^+ / (\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2})^{\frac{1}{2}}$	نفوذپذیری خاک (9)
EC	کشاورزی	–	رشد گیاه، عملکرد و کیفیت محصولات زراعی (10)
%Na	کشاورزی	$\%Na = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \times 100$	نفوذپذیری و زهکشی داخلی خاک (11)
MR	کشاورزی	$MR = \frac{Mg^{2+}}{Mg^{2+} + Ca^{2+}} \times 100$	قلیایی شدن خاک و عملکرد کیفیت محصولات زراعی (12)
RSC	کشاورزی	$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$	رشد گیاهان زراعی
RSBC	کشاورزی	$RSBC = HCO_3^- - Ca^{2+}$	رشد گیاهان زراعی
KR	کشاورزی	$KR = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$	ارزیابی آب آبیاری
LSI	صنعت	$LSI = pH - pHs$	درجه اشباع آب با کربنات کلسیم (13)
RSI	صنعت	$RSI = 2(pHs) - pH$	ارتباط بین اشباع کربنات کلسیم و تشکیل پوسته (14)
PSI	صنعت	$PSI = 2(pH_s) - pH_{eq}$	وضعیت اشباع و طرفیت بافری (14)
L-SI	صنعت	$L - SI = \frac{epmCl^- + epmSO_4^{2-}}{epmHCO_3^- + epmCO_3^{2-}}$	خوردگی آب نسبت به فولاد ضعیف (15)
CR	صنعت	$CR = \left[\frac{Cl}{35.5} + 2(\frac{SO_4^{2-}}{96})\right] / \left[2(\frac{HCO_3^- + CO_3^{2-}}{100})\right]$	بررسی کیفیت آب در لوله‌های انتقال به مزارع (16)
TDS	شرب	–	بیماری‌های قلبی،کلیوی، سرطان و... (17)
TH	شرب	$TH = (2.497 \times Ca) + (4.115 \times Mg)$	بیماریه‌های قلبی، آرتریواسکلروزیس، سرطان و... (18)
SO4	شرب–صنعت	–	بیماری اسهال–خوردگی فلزات (17)
Na	شرب–کشاورزی	–	بیماری قلبی– مسمومیت گیاه (17)
Cl	شرب	–	سقط جنین– بیماری‌های مغز و اعصاب و... (17)

نتایج

آزمون کولموگروف–اسمیرنوف

با استفاده از آزمون کولموگروف–اسمیرنوف نرمال یا عدم نرمال بودن داده‌های تحقیق را مورد بررسی قرارگرفت. نتایج این آزمون در جدول۲ ارائه شده‌است. در این آزمون فرض H_0 نرمال بودن داده‌ها و فرض H_1 عدم نرمال بودن داده‌ها می‌باشد. بنابراین اگر سطح معنی‌داری آزمون بیشتر از ۰/۰۵ باشد داده‌ها نرمال بوده و در غیر اینصورت داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نخواهد کرد. با توجه به نتایج جدول۲، در ایستگاه پل‌چهر پارامترهای TH، HCO_3، TDS، EC و pH از توزیع نرمال پیروی کرده و سایر پارامترها دارای توزیع غیر نرمال می‌باشند. در ایستگاه دوآب پارامترهای TH، SO_4، TDS، EC و pH دارای توزیع غیر نرمال بوده و سایر پارامترها دارای توزیع نرمال می‌باشند. نتایج توزیع پارامترها در دو ایستگاه پل‌چهر و دوآب با توجه به اینکه در یک رودخانه واقع می‌باشند کاملاً برعکس یکدیگر می‌باشند. دلیل این امر می‌تواند روند کاهشی پارامترهای کیفی در ایستگاه دوآب و روند افزایش آن در ایستگاه پل‌چهر باشد. در نهایت در ایستگاه دوآب‌مرگ پارامترهای pH، Ca، Na و TH از توزیع نرمال پیروی می‌کنند.

جدول۲. توزیع غلظت پارامترهای فیزیکوشیمیایی در رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو (آزمون کولموگروف-اسمیرنوف)

حوضه	ایستگاه		TH	HCO_3	SO_4	Cl	Na	Mg	Ca	TDS	EC	pH
گاماسیاب	پل‌چهر	Kolmogorov-Smirnov Z	۰/۱۳۹	۰/۱۴۶	۰/۱۹۱	۰/۲۵۹	۰/۲۰۷	۰/۱۷۰	۰/۲۳۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۴	۰/۰۸۷
		Asymp. Sig. (2-tailed)	۰/۱۳۳	۰/۰۹۲	۰/۰۰۶	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۲۳	۰	۰/۲۰۰	۰/۲۰۰	۰/۲۰۰
	دوآب	Kolmogorov-Smirnov Z	۰/۱۴۶	۰/۱۳۰	۰/۱۴۹	۰/۱۲۰	۰/۱۲۱	۰/۱۲۸	۰/۱۳۳	۰/۱۵۳	۰/۱۶۸	۰/۲۹۵
		Asymp. Sig. (2-tailed)	۰/۰۳۶	۰/۰۹۶	۰/۰۲۹	۰/۱۶۹	۰/۱۵۵	۰/۱۰۶	۰/۰۸۱	۰/۰۲۲	۰/۰۰۷	۰
قره‌سو	دوآب‌مرگ	Kolmogorov-Smirnov Z	۰/۱۲۳	۰/۱۷۸	۰/۲۶۲	۰/۱۸۸	۰/۰۹۴	۰/۲۰۵	۰/۱۲۵	۰/۱۴۸	۰/۱۴۱	۰/۰۹۵
		Asymp. Sig. (2-tailed)	۰/۰۹۲	۰/۰۰۱	۰	۰	۰/۲۰۰	۰	۰/۰۸۱	۰/۰۱۶	۰/۰۲۹	۰/۲۰۰

هیدروشیمی

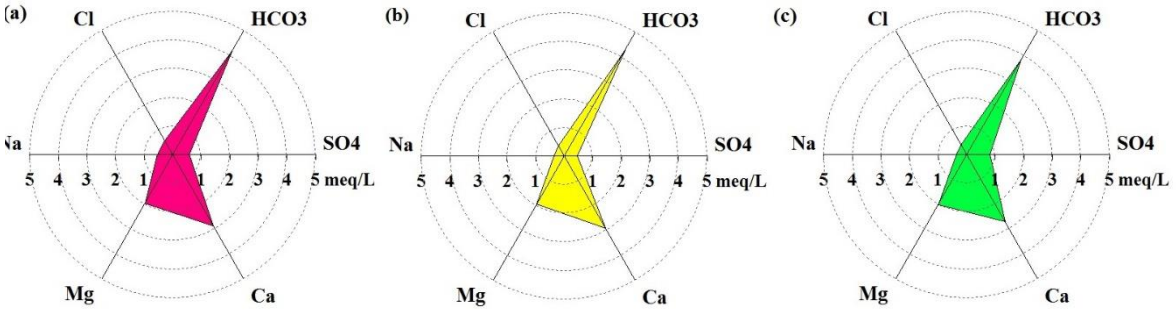
به‌منظور بررسی هیدروشیمی آب رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو از میانگین سالانه نتایج آنالیز شیمیایی یک دوره ۵ ساله (۱۳۹۳-۱۳۹۷) در ایستگاه‌های دوآب، پل‌چهر و دوآب‌مرگ استفاده شد (جدول۳). میزان TDS نمونه‌ها در طی سال‌های نمونه‌برداری بین ۲۸۰ تا ۳۷۸ میلی‌گرم در لیتر متغیر است. میزان سختی کل نمونه‌ها بین ۱۹۷ تا ۲۵۲ میلی‌گرم کربنات‌کلسیم بر لیتر متغیر است. وجود یون‌های کلسیم و منیزیم در آب سبب ایجاد سختی آن می‌شوند. بنابراین با توجه به غلظت‌های کلسیم و منیزیم در (جدول۳)، کاتیون کلسیم نسبت به کاتیون منیزیم در سختی کل آب سه ایستگاه مورد مطالعه تأثیرگذارتر بوده است. میزان آنیون‌های سولفات و کلراید و هم‌چنین کاتیون سدیم در تمامی ایستگاه‌ها کمتر از یک میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشند. در هر دو رودخانه گاماسیاب و قره‌سو میزان غلظت کاتیون کلسیم و آنیون بی‌کربنات بیشتر از غلظت سایر یون‌ها می‌باشند. با توجه به جنس سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه که غالباً از نوع تشکیلات آهکی هستند بالا بودن غلظت این دو یون دور از انتظار نیست. ایستگاه دوآب واقع در رودخانه گاماسیاب بالادست ایستگاه پل‌چهر در این رودخانه می‌باشد بنابراین انتظار می‌رود میزان پارامترهای اندازه‌گیری‌شده از ایستگاه دوآب به ایستگاه پل‌چهر افزایش یابد(جدول۳).

جدول۳. نتایج پارامترهای فیزیکوشیمیایی رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو در سال‌های۱۳۹۷- ۱۳۹۳(غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها برحسب meq/l، TDS برحسب mg/l، EC برحسب µmho/cm، TH بر حسب $mg/l\ CaCO_3$ و دما بر حسب °C)

نمونه	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	TDS	EC	pH	Temp	TH
پل چهر ۹۳	۳	۰/۹۵	۰/۳۴	۳/۶۵	۰/۲۷	۰/۳۵	۲۸۰/۵	۴۳۸/۲۵	۸/۱۴	۸/۲۵	۱۹۷/۵
پل چهر ۹۴	۲/۶۲	۱/۴۲	۰/۴۹	۳/۷۴	۰/۲۵	۰/۵۲	۲۹۷	۴۶۴/۴	۸/۱۹	۹/۶	۲۰۲
پل چهر ۹۵	۲/۸۱	۱/۵۶	۰/۱۹	۳/۶۶	۰/۴۱	۰/۴۸	۲۹۹/۱۳	۴۶۷/۲۵	۸/۰۹	۱۲/۶۷	۲۱۸/۵
پل چهر ۹۶	۲/۸۱	۱/۸۹	۰/۵۷	۴/۱۳	۰/۵۸	۰/۵۵	۳۴۴/۷۴	۵۳۸/۵	۷/۹۶	۱۳/۸۶	۲۳۵
پل چهر ۹۷	۲/۹	۱/۹۳	۰/۳۵	۴/۲۷	۰/۴۷	۰/۴۳	۳۳۷/۵	۵۲۷/۱۷	۷/۸۳	۸/۷۵	۲۴۱/۶۷
دو آب ۹۳	۳/۳۷	۱/۶۶	۰/۷۱	۴/۷۴	۰/۳۰	۰/۶۷	۳۵۲/۸۶	۵۸۴/۸۶	۸/۱۰	۱۲/۷۱	۲۵۱/۴۳
دو آب ۹۴	۳/۰۱	۱/۸۸	۰/۸۲	۴/۶۹	۰/۳۰	۰/۶۹	۳۷۰/۳۳	۵۷۸/۶۷	۸/۱۴	۱۲/۶	۲۴۴/۴۴
دو آب ۹۵	۲/۸۶	۱/۶۳	۰/۵۸	۴/۱۴	۰/۳۷	۰/۵۴	۳۳۳	۵۱۸/۸۸	۷/۵۷	۱۳	۲۲۴/۳۸
دو آب ۹۶	۳/۱۶	۱/۷۲	۰/۶۴	۴/۴۴	۰/۴۸	۰/۵۸	۳۵۹	۵۶۱	۷/۷۲	۱۲/۸۸	۲۴۳/۸۹
دو آب ۹۷	۲/۸۵	۱/۹۵	۰/۵۴	۴/۱۷	۰/۵۹	۰/۵۷	۳۴۷/۸۳	۵۴۳/۸۳	۷/۹۵	۱۱/۴	۲۴۰
دو آب مرگ ۹۳	۳/۰۵	۱/۳۰	۰/۵۰	۳/۸۶	۰/۳۴	۰/۵۸	۳۲۶/۸۸	۵۰۹/۲۵	۸/۳۶	۸/۵	۲۱۷/۵
دو آب مرگ ۹۴	۲/۸۳	۱/۱۷	۰/۳۸	۳/۵۵	۰/۲۵	۰/۴۷	۲۸۷	۴۴۸/۵	۸/۵۸	۸	۲۰۰
دو آب مرگ ۹۵	۲/۸۱	۱/۴۷	۰/۳۲	۳/۷۶	۰/۳۶	۰/۴۷	۳۰۰/۸۹	۴۷۰/۳۳	۸/۰۷	۱۳/۷۸	۲۱۴
دو آب مرگ ۹۶	۳/۱۱	۱/۹۳	۰/۵۷	۳/۹۱	۰/۹۶	۰/۷۲	۳۶۶/۸۶	۵۲۷/۲۵	۸/۰۴	۱۴/۷۵	۲۵۲
دو آب مرگ ۹۷	۲/۷۰	۲	۰/۳۶	۳/۸۳	۰/۸۱	۰/۴۰	۳۳۲/۱۱	۵۱۹	۸/۰۵	۱۲/۸۹	۲۳۵
حداکثرمطلوب۱۰۵۳(mg/L)	۳۰۰	۲۰۰	۳۰	–	۲۵۰	۲۵۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۸/۵-۶/۵	–	۲۰۰
حداکثرمجاز۱۰۵۳(mg/L)	۴۰۰	۳۰۰	۱۵۰	–	۴۰۰	۴۰۰	۱۵۰۰	۱۸۰۰	۹-۶/۵	–	۵۰۰
WHO(mg/L)	۲۰۰	۲۰۰	۵۰	۱۲۰	۲۵۰	۲۵۰	۱۰۰۰	۳۰۰	۸/۵-۶/۵	–	۲۰۰

تیپ آب رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو

به‌منظور بررسی تیپ غالب و منشاء هیدروشیمیایی آب رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو از نمودار شعاعی استفاده‌شد (شکل ۲). براین اساس کاتیون و آنیون غالب آب رودخانه‌ها در هرسه ایستگاه مورد مطالعه به‌ترتیب کلسیم و بی‌کربنات می‌باشند. غالب بودن این دو یون نشان دهنده تیپ بی‌کربنات کلسیت در رودخانه‌های مورد مطالعه می‌باشد. این امر باتوجه به تغذیه‌ای بودن منطقه و همچنین گسترش بالای سنگهای آهکی در حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه بدیهی به‌نظر می‌رسد. همچنین میزان غلظت یون منیزیم در هر سه ایستگاه نسبتا بالا می‌باشد. این امر می‌تواند نشان از رخساره منطقه تغذیه یعنی Ca-Mg-HCO_3 باشد. این رخساره در تقسیم‌بندی کیفی آب جز تیپ آب شیرین بوده که از نظر سختی در رده سبک قرار دارد و نسبتاً شیرین و قابل شرب است. مقدار مواد جامد محلول این تیپ آب حدود ۲۱۰ تا ۷۵۵ میلی‌گرم بر لیتر است و مقدار متوسط بی‌کربنات آن بیشتر از کلراید آن می‌باشد. همچنین هم‌شکل بودن دیاگرام‌های (a، b و c) در شکل ۲، بیانگر منشأ واحد منبع آبی هر سه ایستگاه می‌باشد. افزایش میزان سولفات نسبت به دو ایستگاه پل‌چهر و دوآب می‌تواند نشان از انحلال تشکیلات ژیپسی در سطح این حوضه باشد. بنابراین با توجه به این نتایج می‌توان دریافت که، در حوضه آبخیز قره‌سو نسبت به حوضه آبخیز گاماسیاب انحلال تشکیلات ژیپسی علاوه بر انحلال تشکیلات کربناتی بر پارامترهای کیفی آب منطقه تأثیرگذار می‌باشد. نتایج هیدروشیمی آب مبنی بر غالب بودن تیپ بی‌کربناته و رخساره منطقه تغذیه با نتایج پژوهش‌های فلاح و همکاران (۲۰۱۷)[7]، اسلام و همکاران (۲۰۱۷)[19]، ژائو و همکاران (۲۰۱۸) [20]و لاکسمن‌کومار و همکاران (۲۰۱۹) [21]همخوانی دارد.



شکل۲. دیاگرام شعاعی رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو، a) دوآب، b) پل‌چهر و c) دو آب مرگ

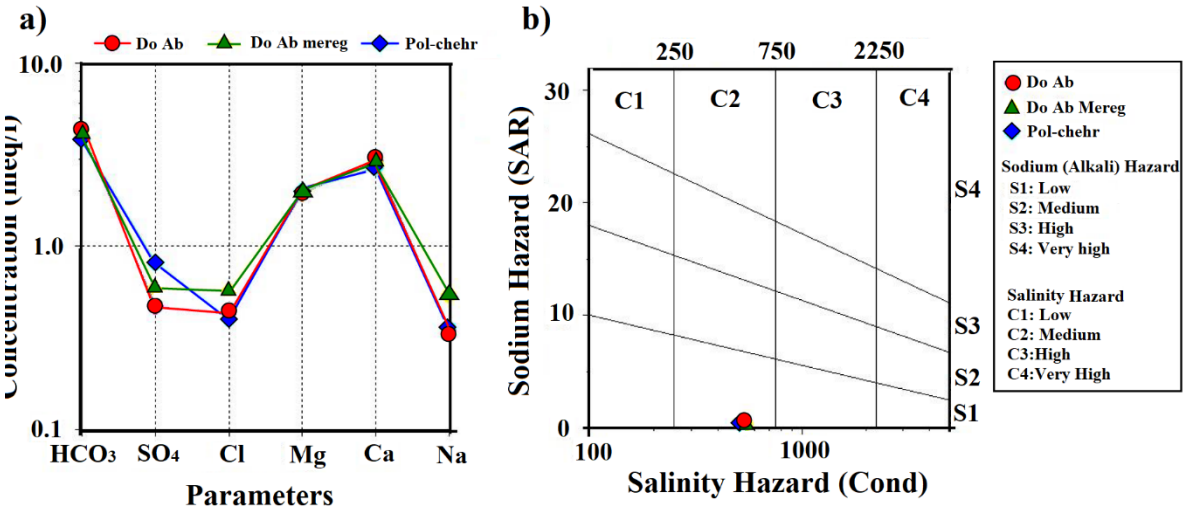
کیفیت آب برای شرب

مقایسه پارامترهای فیزیکوشیمیایی با استانداردهای شرب (استاندار ۱۰۵۳ ایران) و WHO

برای تعیین کیفیت آب رودخانه‌های مورد مطالعه در بخش شرب و بهداشت عمومی از پارامترهای هیدروشیمیایی ارائه شده در جدول ۲ استفاده شد. بدین منظور ابتدا پارامترهای مذکور با استانداردهای آب شرب ایران ۱۰۵۳ و WHO مقایسه شد. با توجه به نتایج پارامترهای فیزیکوشیمیایی در جدول ۳ غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی (بجز EC و TH) در محدوده استانداردهای ذکر شده قرار دارند. با توجه به استاندارد WHO، EC و TH در هر سه ایستگاه مورد مطالعه بیشتر از حد استاندارد می‌باشند. براساس استاندارد WHO بیشترین میزان EC، ۳۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است در حالی که EC اندازه‌گیری شده نمونه‌ها در هر سه ایستگاه بین ۴۸۷ تا ۵۶۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر متغیر است. به نظر می‌رسد افزایش یون‌های آب بدلیل انحلال سنگ‌های دو حوضه آبریز و همچنین ورود فاضلاب شهری و خانگی و پساب کشاورزی نقش مهمی در بالا بودن غلظت آن داشته باشند.

نمودار شولر

نمودار نیمه‌لگاریتمی شولر جهت نمایش یون‌های اصلی بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر، و برای نمایش اختلاف شیمیایی نمونه‌ها در یک نمودار به کار می‌رود. در گزارش‌های آب‌شناسی برای طبقه‌بندی آب از نظر شرب معمولاً از نمودار شولر استفاده می‌شود (فورکان سنر و بابا، 2019). براساس نمودار شولر کیفیت آب‌ها از نظر شرب به شش گروه شامل خوب، قابل قبول، متوسط، نامناسب، کاملا نامناسب و غیر قابل شرب تقسیم می‌شوند. باتوجه به دیاگرام شولر، تمام یون‌ها دارای غلظت مجاز می‌باشند و کیفیت آب رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو در رده خوب قرار می‌گیرند (شکل۳a). اما برای قضاوت بهتر درمورد قابل شرب بودن آب رودخانه‌های مورد مطالعه می‌بایست پارامترهای شیمیایی بیشتری(نظیر نیترات، فلورید و ...) به همراه پارامترهای میکروبی بررسی شود. زیرا نمی‌توان تنها با داشتن غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی یک منبع آبی، درمورد قابلیت شرب آن تصمیم‌گیری کرد.



شکل۳. دیاگرام‌های (a) شولر و (b) ویلکوکس رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو

کیفیت آب برای کشاورزی

نمودار ویلکوکس

طبقه‌بندی کیفیت آب برای آبیاری با کاربرد نمودار ویلکوکس بر مبنای نسبت جذبی سدیم و هدایت الکتریکی صورت می‌گیرد. برای تعیین کیفیت آب رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو در کشاورزی از نمودار ویلکوکس استفاده‌شد (شکل۳b). طبق نمودارهای ویلکوکس ترسیم شده کیفیت آب رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو در کلاس C2S1 (خوب) قرار دارند.

شاخص‌های کشاورزی برای رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو محاسبه و نتایج آن در جدول۴ ارائه شده‌است. نتایج حاکی از آن است که، درصد سدیم در همه ایستگاه بین ۴ تا ۱۵ درصد می‌باشد. این مقادیر بیانگر کیفیت عالی آب ایستگاه‌ها برای آبیاری می‌باشد. هم‌چنین میزان شاخص نسبت منیزیم در همه ایستگاه‌ها کمتر از ۵۰ می‌باشد که در طبقه مناسب برای آبیاری قرار می‌گیرند. نسبت جذب سدیم ایستگاه‌ها کمتر از یک می‌باشد. از اینرو خطر قلیایی شدن بسیار کم است. میزان خطر هدایت الکتریکی برای خاک در همه ایستگاه‌ها متوسط می‌باشد. میزان RSC نمونه‌ها کمتر از ۱ می‌باشد که نشان از مناسب بودن آب ایستگاه‌های مورد مطالعه برای آبیاری می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج RBSC و KR کیفیت آب هر سه ایستگاه مورد مطالعه مناسب جهت آبیاری و رشد گیاهان زراعی می‌باشد. نتایج مربوط به کیفیت آب در بخش کشاورزی با نتایج تحقیقات فلاح و همکاران (۲۰۱۷)(7) و ایرانی و همکاران (۱۳۹۸) (5)همخوانی دارد.

جدول٤. مقادیر محاسبه شده شاخص‌های کشاورزی برای رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو

حوضه	ایستگاه		EC	SAR	%MR	%Na	RSC	RBSC	KR
گاماسیاب	دوآب	میانگین	۴۸۷/۶۹	۰/۴۲	۳۶/۷۰	۱۱/۷۸	−۰/۳۸	۱/۳۹	۰/۱۴
		کمترین	۳۳۷	۰/۳۵	۳۲/۹۵	۹/۹۴	−۰/۶۳	۱/۲۸	۰/۱۱
		بیشترین	۶۷۸	۰/۵۳	۴۰/۶۳	۱۴/۳	−۰/۲۰	۱/۶۸	۰/۱۷
		انحراف‌معیار	۷۷/۴۲	۰/۰۶	۲/۹۴	۱/۶۲	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۰۲
		واریانس	۵۹۹۵/۳	/۰۰۴	۸/۶۵	۲/۶۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰
	پل‌چهر	میانگین	۵۵۹/۸۴	۰/۲۶	۳۵/۰۱	۷/۹۱	−۰/۴۹	۱/۰۶	۰/۰۹
		کمترین	۴۰۹	۰/۱۳	۲۴/۰۵	۴/۱۳	−۰/۷۱	۰/۶۵	۰/۰۴
		بیشترین	۶۷۹	۰/۳۷	۴۰/۱۶	۱۰/۴۹	−۰/۳۰	۱/۳۷	۰/۱۲
		انحراف‌معیار	۷۶/۴۸	۰/۰۹	۶/۵۵	۲/۶۹	۰/۱۸	۰/۳۱	۰/۰۳
		واریانس	۵۸۴۹/۲	/۰۰۹	۴۳/۰۱	۷/۲۵	۰/۰۳	۰/۰۹	۰
قره‌سو	دوآب‌مرگ	میانگین	۵۱۱/۹۰	۰/۲۷	۳۴/۸۵	۸/۰۰	−۰/۶۹	۰/۸۸	۰/۰۹
		کمترین	۳۷۳	۰/۲۲	۲۹/۱۷	۶/۶۸	−۱/۱۳	۰/۷۲	۰/۰۸
		بیشترین	۸۲۴	۰/۳۵	۴۲/۵۵	۹/۵۳	−۰/۴۵	۱/۱۳	۰/۱۱
		انحراف‌معیار	۱۰۱/۰۱	۰/۰۵	۵/۶۷	۱/۳۳	۰/۲۹	۰/۱۶	۰/۰۱
		واریانس	۱۰۲۰۴	/۰۰۳	۳۲/۱۷	۱/۷۶	۰/۰۸	۰/۰۲	۰

کیفیت آب برای صنعت

مقادیر شاخص‌های کیفیت آب در بخش صنعت برای رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو محاسبه و در جدول۵ ارائه شد. با توجه به نتایج شاخص LSI و RSI کیفیت آب در همه ایستگاه‌ها تحت اشباع بوده و پتانسیل انحلال $CaCO_3$ را دارند. از اینرو آب هر دو رودخانه خاصیت خورندگی دارد. نتایج شاخص PSI نیز حاکی از خورنده بودن آب ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. نتایج شاخص لارسون–اسکلد در هر سه ایستگاه نیز کمتر از ۰/۸ می‌باشد. این مقدار بیانگر آن است که احتمال تشکیل لایه‌های نازک طبیعی حاوی یون‌های کلراید و سولفات وجود ندارد. همچنین براساس نتایج نسبت خوردگی، انتقال آب با هر نوع لوله‌ای در هر سه ایستگاه مناسب است. با توجه به نتایج ارئه شده در جدول۵، میزان خورندگی آب رودخانه قره‌سو نسبت به رودخانه گاماسیاب کمتر می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط چین و همکاران (۲۰۰۹) با هدف بررسی وضعیت کیفیت باکتریولوژیکی و شیمیایی آب شبکه لوله‌کشی یکی از شهرهای تایوان از نظر تشکیل رسوب و خورندگی انجام شد به این نتیجه رسیدند که کیفیت شیمیایی آب شرب شهر دارای خاصیت خورندگی می‌باشد که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد(22). رضایی‌کلانتری و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای با اعلام مقادیر میانگین شاخص‌های LSI (۱/۶۲)، AI (۱۱/۶۲)، RSI (۱۰/۵) و AIE (۱۲/۰۳) نشان دادند آب روستاهای قم وضعیت خورنده دارد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد(23). این نتیجه با نتایج عسگری و همکاران (۱۳۹۴) که به بررسی کیفیت شیمیایی و شاخص‌های خورندگی شبکه آب آشامیدنی بوشهر پرداختند و نشان دادند که، آب شرب شهر بوشهر بر اساس شاخص رایزنر اندکی رسوب‌گذار و سایر شاخص‌ها نشان دهنده خورنده بودن آب است(24). در کل کیفیت آب متمایل به خورنده می‌باشد نیز مطابقت دارد.

جدول۵. میزان شاخص‌های محاسبه شده در بخش صنعت برای رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو

حوضه	ایستگاه	LSI	RSI	PSI	L-SI	CR
گاماسیاب	دوآب	−۱/۴۵	۱۰/۸۱	۱۳/۲۱	۰/۲۸	۰/۲۸
	پل‌چهر	−۱/۴۳	۱۰/۹۱	۱۳/۵۵	۰/۲۱	۰/۲۷
قره‌سو	دوآب‌مرگ	−۱/۲۳	۱۰/۶۸	۱۳/۵۱	۰/۳۲	۰/۳۴

کیفیت آب جهت شرب دام

در جدول۶، استاندارد حداکثر مجاز کل املاح موجود در آب شرب دام در استرالیا ارائه شده‌است. با توجه به فقدان اطلاعات داخلی در کشور و تشابه مناطق غربی استرالیا با مساحت وسیعی از مراتع کشور ایران، طبقه‌بندی مذکور می‌تواند در کشورمان مورد استفاده قرار بگیرد. با توجه به میزان TDS ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۳ و مطابقت آن با استاندارد آب شرب دام ارائه شده در جدول ۶، کیفیت آب هر سه ایستگاه برای شرب دام مناسب می‌باشد. ایراندوست و محمدزاده (۱۳۹۶) که به بررسی کیفیت آب شرب مصرفی دام و طیور در استان اصفهان پرداختند با اندازه‌گیری میزان TDS نمونه‌های آبی نشان دادند که، کیفیت آب شرب مصرفی دام و طیور از نظر کل جامدات محلول در وضعیت مطلوبی قرار دارد(25) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

جدول ٦. حداکثر مجاز کل املاح در آب شرب دام

نوع دام	TDS(mg/L)
گوسفند	۱۲۸۰۰
گاو شیری	۷۱۰۰
گاو گوشتی	۱۰۰۰۰
اسب	۶۴۰۰

روابط بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و شاخص‌های کیفی آب

یکی از اهداف این پژوهش یافتن روابطی جدید بین برخی از شاخص‌های کیفی آب (نظیر: TDS، TH، CR، MR، EC و SAR) با عناصر اصلی و یا نسبت‌های یونی می باشد. بدین منظور از مدل رگرسیون خطی موجود در نرم‌افزار SPSS23 استفاده شد. روابطی را که بیشترین همبستگی را بین شاخص‌های کیفی و پارامترها و یا نسبت‌های یونی داشتند در زیر ارائه شده‌است:

$$TDS = 21.819 + (0.578 \times EC) + (1.765 \times sumanion) \quad R=0.984 \quad (۱)$$

$$TH = -0.474 + (50.034 \times Mg) + (50.108 \times Ca) + (0.081 \times Ca / (SO4 + Ca)) \quad R=1 \quad (۲)$$

$$CR = 0.207 + (0.018 \times \%Na) + (0.314 \times SO4) - (0.238 \times Na / Cl) \quad R=0.979 \quad (۳)$$

$$SAR = 0.023 + (0.568 \times Na) - (0.064 \times Cl) + (0.370 \times Na / Na + Ca) \quad R=0.997 \quad (۴)$$

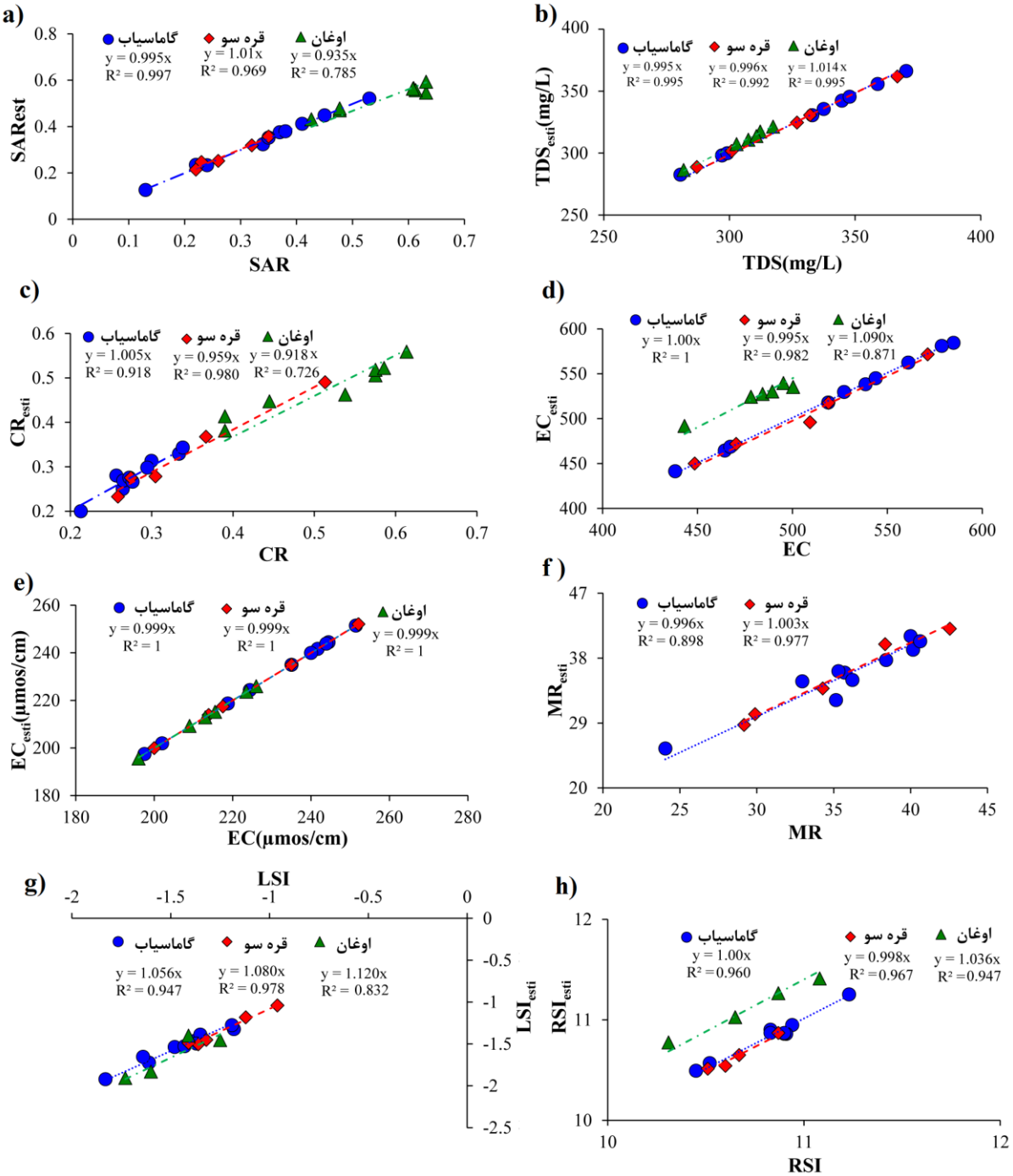
$$EC = 17.417 + (98.783 \times sumcation) \quad R=0.997 \quad (۵)$$

$$MR = 12.156 - (5.242 \times Na) + (15.906 \times Mg) \quad R=0.968 \quad (۶)$$

$$LSI = -10.048 + (0.097 \times HCO3) + (0.001 \times TDS) + (0.981 \times pH) \quad R=0.985 \quad (۶)$$

$$RSI = 19.963 - (0.908 \times pH) - (0.208 \times sumanion) - (0.274 \times Ca) \quad R=0.963 \quad (۷)$$

نتایج این تحقیق نشان داد که TDS و EC، به‌ترتیب با مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها همبستگی بالایی را نشان می‌دهد (رابطه ۱ و ۵). بیشترین همبستگی EC با کاتیون سدیم می‌باشد. بطورکلی سختی کل براساس غلظت کاتیون‌های کلسیم و منیزیم قابل محاسبه است. در حالیکه در این تحقیق براساس رابطه بدست آمده برای سختی کل، این شاخص علاوه بر کاتیون‌های کلسیم و منیزیم، به نسبت یونی $Ca/(Ca+SO_4)$ نیز وابسته است (رابطه ۲). نسبت خوردگی متأثر از غلظت آنیون‌ها می‌باشد، در حالیکه با توجه به رابطه بدست آمده برای این نسبت (رابطه ۳)، کاتیون سدیم و درصد سدیم محلول نیز از عامل‌های تأثیرگذار بر این شاخص می‌باشند. رابطه SAR با استفاده از غلظت کاتیون‌های اصلی محاسبه می‌شود. اما براساس نتایج این پژوهش، آنیون کلراید نیز می‌تواند عاملی مؤثر در تعیین این شاخص باشد (رابطه ۴). همبستگی نسبت جذب سدیم با کلسیم، سدیم و کلراید برابر با ۰/۹۹۷ می‌باشد. کلسیم و منیزیم پارامترهای تعیین کننده برای محاسبه نسبت منیزیم می‌باشند

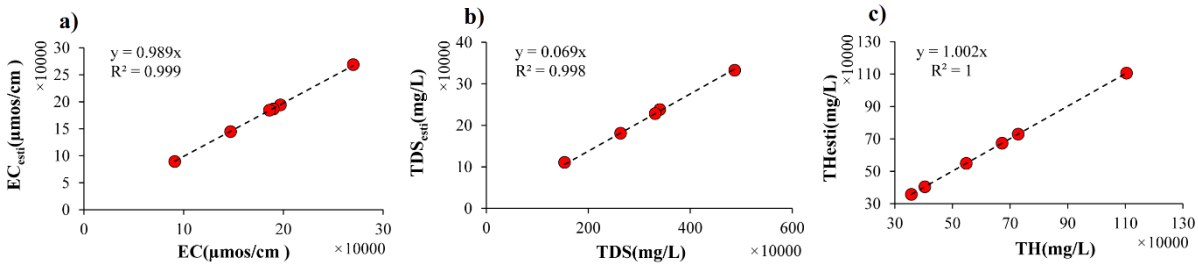


شکل٤. مقایسه مقادیر حاصل از شاخص‌های کیفی با مقادیر تخمین زده شده از طریق روابط ارائه شده در این پژوهش برای رودخانه‌های گاماسیاب، قره‌سو و اوغان(تیپ بیکربناته)

این در حالی است که در رابطه خطی بدست آمده در این پژوهش، علاوه برکاتیون منیزیم، غلظت سدیم نیز می‌تواند بر میزان این نسبت منیزیم تأثیرگذار باشند. شاخص‌های لانژیلر و رایزنر درجه اشباع آب را با کربنات کلسیم بصورت کمی نشان می‌دهند. با توجه به رابطه بدست آمده برای شاخص لانژیلر، TDS و بی‌کربنات دو پارامتر مهم و تأثیرگذار در تعیین این شاخص می‌باشند (رابطه ۶). همچنین شاخص رایزنر با جمع آنیون‌های اصلی و کاتیون کلسیم همبستگی بالایی دارد (رابطه ۷).

یکی از مواردی که باید به آن توجه داشت تیپ بیکربنات کلسیک (رخساره آب شیرین) رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو است. یک سوال هنوز باقی است که آیا روابط حاصله را می‌توان عیناً برای رودخانه‌های دیگر با تیپ مشابه و یا متفاوت استفاده نمود. برای یافتن پاسخ این سوال، عملیات مشابه‌ای بر روی رودخانه اوغان (واقع در استان گلستان) با تیپ مشابه بیکربنات کلسیک و همچنین خلیج گرگان با تیپ کلرید سدیک (آب شور) انجام شد.

برازش پارامترهای کیفی آب با روابط حاصله در رودخانه اوغان (با تیپ مشابه بیکربنات کلسیک) و خلیج گرگان (تیپ کلرید سدیک) با رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو نشان از همپوشانی و برازش مطلوب روابط استخراجی با شاخص‌های کیفی آب رودخانه اوغان و خلیج گرگان دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که، روابط بدست آمده برازش خوبی با منابع آبی مذکور با تیپ مشابه و متفاوت دارند. با توجه به شکل‌های ۴ و ۵، شیب خط روابط بدست آمده از نمودارها بصورت جزئی تغییر کرده است که این موضوع دلیل بر تغییر غلظت پارامترهای کیفی آب در رودخانه اوغان و خلیج گرگان می‌باشد اگرچه از میزان همبستگی بالایی برخوردار هستند.



شکل ۵. مقایسه مقادیر حاصل از شاخص‌های کیفی با مقادیر تخمین زده شده از طریق روابط ارائه شده در این پژوهش برای خلیج گرگان (تیپ کلریده)

براساس نتایج این پژوهش، روابط حاصله برای محاسبه شاخص‌های کیفی برای آب‌های شیرین و شور صادق است. با این تفاوت که هر چقدر میزان غلظت پارامترها در روابط تغییر کند شیب معادلات بصورت جزئی تغییر کرده اما میزان همبستگی تغییر چندانی نمی‌کند. مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی رگرسیون خطی با شاخص‌های کیفی آب، نشان از دقت بالای روابط حاصله در طبقه‌بندی آب برای مصارف مختلف دارد (شکل‌های۴ و۵). بنابراین با توجه به ماهیت روابط بررسی شده در بالا، روابط مربوط به TDS، TH، EC و CR را می‌توان برای طبقه‌بندی آب شرب، SAR، EC و MR برای طبقه‌بندی آب در بخش آبیاری و روابط بدست آمده برای LSI و RSI را می‌توان در طبقه‌بندی آب در بخش صنعت جایگزین روابط حال حاضر نمود.

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر ارزیابی کیفی منابع آبی برای مصارف مختلف همزمان با کاهش کمیت و کیفیت آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار بوده‌است. غلظت مواد موجود در آب، هر چند که ناچیز باشد می‌تواند نقش زیادی در استفاده از آن برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت داشته باشند. پژوهش حاضر نیز به منظور بررسی کیفیت آب رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو در بخش شرب انسان و دام، کشاورزی و صنعت و همچنین تعیین روابط بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و شاخص‌های کیفی آب انجام شد.

با توجه به نمودار شعاعی، تیپ غالب آب رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو بی‌کربنات کلسیک می‌باشد. این امر بیانگر آنست که سنگ‌های کربناته نقش مهمی در تغذیه این دو رودخانه دارند.

نتایج کیفیت آب در بخش شرب حاکی از آن است که، پارامترهای فیزیکوشیمیایی دو رودخانه در محدوده استانداردهای شرب آب ایران ۱۰۵۳ و WHO قرار دارند. البته بجز EC و TH که بالاتر از میزان استاندارد WHO می‌باشند. براساس به نمودار ویلکوکس کیفیت آب در بخش کشاورزی در کلاس C_2S_1 قرار دارد. همچنین با توجه به شاخص‌های Na%، SAR، EC، MR، RSC، RSBC و KR کیفیت آب برای آبیاری مناسب می‌باشد.

با توجه به شاخص‌های لانژیلر، رایزنر، پوکوریوس، لارسون–اسکلد و نسبت خوردگی آب حوضه‌های آبخیز گاماسیاب و قره‌سو در بخش صنعت نیز مناسب است. اما با توجه به نسبتاً خورنده بودن آب رودخانه‌های مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود خطوط انتقال و توزیع آب از جنس مقاوم انتخاب شود یا اقداماتی همچون پوشش دیواره داخلی لوله یا اصلاح کیفیت آب انجام گیرد.

با توجه به استاندارد کل املاح محلول در آب، کیفیت آب هر سه ایستگاه برای شرب دام نیز مناسب می‌باشد.

یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای تعیین کاربری آب در بخش‌های مختلف استفاده از شاخص‌های کیفی آب است. نتایج حاصل از روابط حاصله از رگرسیون خطی نشان از عملکرد و کارایی بهتری نسبت به

روش‌های طبقه‌بندی پیشین آب دارد. برازش پارامترهای کیفی رودخانه اوغان و خلیج گرگان با روابط بدست آمده از رگرسیون خطی نشان از همپوشانی و برازش مطلوب روابط استخراجی با شاخص‌های کیفی آب دارد. این امر بیانگر سازگاری روابط حاصله با تیپ آب‌های شیرین و شور می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که از این روابط در رودخانه‌های تیپ بی‌کربنات کلسیک و کلره سدیک در طبقه‌بندی آب جهت مصارف مختلف استفاده شود.

پیشنهادها

یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای تعیین کاربری آب در بخش‌های مختلف استفاده از شاخص‌های کیفی آب است. نتایج حاصل از روابط حاصله از رگرسیون خطی نشان از عملکرد و کارایی بهتری نسبت به روش‌های طبقه‌بندی پیشین آب دارد. برازش پارامترهای کیفی رودخانه اوغان و خلیج گرگان با روابط بدست آمده از رگرسیون خطی نشان از همپوشانی و برازش مطلوب روابط استخراجی با شاخص‌های کیفی آب دارد. این امر بیانگر سازگاری روابط حاصله با تیپ آب‌های شیرین و شور می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که از این روابط در رودخانه‌های تیپ بی‌کربنات کلسیک و کلره سدیک در طبقه‌بندی آب جهت مصارف مختلف استفاده شود.

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 منطقه‌ای کرمانشاه به منظور در اختیار گذاشتن آمار کیفی رودخانه‌های گاماسیاب و قره‌سو تشکر و قدردانی می‌شود. این مقاله حاصل قسمتی از نتایج طرح تحقیقاتی تحت عنوان " ارتباط بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و شاخص‌های کیفی آب برای مصارف مختلف " با شماره پرونده ۶/۳۷۵ و حمایت مالی دانشگاه گنبدکاووس می‌باشد.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: مجتبی قره‌محمودلو، مریم صیادی
روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: مریم صیادی
نظارت و نگارش نهایی: مجتبی قره‌محمودلو، مریم صیادی

تعارض منافع

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

References

1. Khalaji M, Ebrahimi E, Motaghe E, Asadola S, Hashemenejad H. Water quality assessment of the Zayandehroud Lake using WQI index TT - WQI. Isfj [Internet]. 2017;25(5):51–63. [In Persian]
2. Ghaedamini F, Zamani-Ahmadmahmoodi R, Najafi M. Water quality assessment of Pireghar river in order to drinking and aquaculture, Chaharmahal & Bakhtiari Province. J Nat Environ [Internet]. 2018;70(3):673–84. [In Persian]
3. Mokhtari SA, Aalighadri M, Hazrati S, Sadeghi H, Gharari N, Ghorbani L. Evaluation of Corrosion and Precipitation Potential in Ardebil Drinking Water Distribution System by Using Langelier & Ryznar Indexes. J Heal [Internet]. 2010;1(1):14–23.[In Persian]
4. noori zahra, malekian A. The Effective Factors on Water Quality of Seimareh and Kashkan Rivers in Ilam and Lorestan Provinces. J Nat Environ [Internet]. 2016;69(2):549–64. [In Persian]
5. Irani T, Miryaghoubzadeh MH. The investigation of land use change trends and its impact on water quality of Zarrinehroud (West Azarbaijan). Watershed Eng Manag [Internet]. 2019;11(1):76–87. [In Persian]
6. Cunha DGF, Sabogal-Paz LP, Dodds WK. Land use influence on raw surface water quality and treatment costs for drinking supply in São Paulo State (Brazil). Ecol Eng. 2016;94:516–24.
7. Falah F, Haghizadeh A. Hydrochemical evaluation of river water quality—a case study: Horroud River. Appl Water Sci. 2017;7(8):4725–33.
8. Bastanifar I. Analysis of a planner institution to avoid time inconsistency of civil budgeting (Case Study: Isfahan Municipality). J Econ Res (Tahghighat- E-Eghtesadi) [Internet]. 2016;51(2):275–306. [In Persian]
9. Jain CK, Vaid U. Assessment of groundwater quality for drinking and

irrigation purposes using hydrochemical studies in Nalbari district of Assam, India. Environ Earth Sci. 2018;77(6):3301–16.
10. Kumar M, Kumari K, Ramanathan A, Saxena R. A comparative evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in two intensively cultivated districts of Punjab, India. Environ Geol. 2007;53(3):553–74.
11. Wilcox L V. Classification and Use of Irrigation Waters. Vol. Circular N, United States Department of Agriculture. US Department of Agriculture; 1955. 19 p.
12. Paliwal K V. Irrigation with saline water. IARI, Monograph no. 2. New Sci New Delhi. 1972;
13. You SH, Tseng DH, Guo GL. A case study on the wastewater reclamation and reuse in the semiconductor industry. Resour Conserv Recycl. 2001;32(1):73–81.
14. Strauss SD, Puckorius PR. Cooling-water treatment for control of scaling, fouling, corrosion. Power. 1984;128(6):S1–24.
15. LARSON TE, SKOLD R V. Laboratory Studies Relating Mineral Quality of Water To Corrosion of Steel and Cast Iron. Corrosion. 1958;14(6):43–6.
16. Tripathi BM, Kim M, Lai-Hoe A, Shukor NAA, Rahim RA, Go R, et al. PH dominates variation in tropical soil archaeal diversity and community structure. FEMS Microbiol Ecol. 2013;86(2):303–11.
17. Organization WH, WHO. Guidelines for drinking-water quality. Vol. 1. World Health Organization; 2004.
18. Bhat MS, Ray S, Datta PM. A new assemblage of freshwater sharks (Chondrichthyes: Elasmobranchii) from the Upper Triassic of India. Geobios. 2018;51(4):269–83.
19. Atikul Islam M, Zahid A, Rahman MM, Rahman MS, Islam MJ, Akter Y, et al. Investigation of Groundwater Quality and Its Suitability for Drinking and Agricultural Use in the South Central Part of the Coastal Region in Bangladesh. Expo Heal. 2017;9(1):27–41.
20. Zhao G, Li W, Li F, Zhang F, Liu G. Hydrochemistry of waters in snowpacks, lakes and streams of Mt. Dagu, eastern of Tibet Plateau. Sci Total Environ. 2018;610–611:641–50.
21. Laxmankumar D, Satyanarayana E, Dhakate R, Saxena PR. Hydrogeochemical characteristics with respect to fluoride contamination in groundwater of Maheshwarm mandal, RR district, Telangana state, India. Groundw Sustain Dev. 2019;8:474–83.
22. Chien CC, Kao CM, Chen CW, Dong CD, Chien HY. Evaluation of biological stability and corrosion potential in drinking water distribution systems: A case study. Environ Monit Assess. 2009;153(1–4):127–38.
23. Rezaei Kalantary R, Azari A, Ahmadi E, Ahmadi Jebelli M. Quality evaluation and stability index determination of Qom rural drinking water resources. J Heal F [Internet]. 2014 Apr 6;1(3):9–16. [In Persian]
24. Asgari G, Ramavandi B, Tarlaniazar M, Fadaie nobandegani A, Berizie Z. Survey of chemical quality and corrosion and scaling potential of drinking water distribution network of Bushehr city. ISMJ [Internet]. 2015;18(2):353–61.[In Persian]
25. Irandoust H, Mohammadzadeh H. Evaluation chemical quality of drinking water for livestock animals in different regions of Isfahan province. Anim Sci J [Internet]. 2017;30(115):243–54. [In Persian]