Research Paper

Hydrochemistry and Water Quality of Dooq River Using Graphical Methods, Cluster Analysis, and Quality Indices

Hamidreza Abbasimoghadam[1], Mojtaba Gharehmahmoodlu[2*], Nader Jandaghi[2], Ali Heshmatpoor[2], Mostafa Seyyed[3]
1. M.Sc student at Department of Watershed, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
2. Assistant prof. at Department of Watershed and Rangeland Management, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
3. Lecturer at University of Applied Science and Technology, Gonbad Branch, Gonbad Kavous, Iran

Received: 2019/04/27
Revised: 2020/12/17
Accepted: 2020/12/19

Use your device to scan and read the article online

DOI:
10.30495/wej.2021.21192.2145

Keywords:
Hydrochemical, Water quality, Water quality indices, Cluster analysis, Doogh River

Abstract

Introduction and objectives: Water quality and heath of rivers are the most important factors to achieve sustainable development. Doogh River is one of the main tributaries of Gorganroud river in the east of Golestan province, which has an important role in supplying drinking water to Gonbad Kavous. Furthermore, it is one of the water supply sources of Golestan dam with agriculture use. Therefore, the study of hydrochemical and water quality of this river for different uses (e.g., drinking, agricultural, and industrial), is of great importance

Materials and Methods: In this study, Stiff, Piper and Gibbs diagrams were used to investigate Doogh River hydrochemistry. Wilcox, sodium soluble percentage, magnesium ratio, and permeability index was evaluated to classify water for irrigation purpose. To investigate Doogh River water for drinking purpose, NSFWQI index, Schoeller diagram, and water quality standards were used. Eventually, water quality for industry was assessed using Langelier Saturation Index, Ryznar Stability Index, and corrosivity ratio.

Findings and discussion: Hydrochemical results showed Ca-Mg-HCO_3 is dominant hydrochemical facies and rock-water interaction is the main controlling factor in river water chemistry. According to NSFWQI index and Schoeller diagram, river water was in the acceptable class for drinking purpose. While, based on water quality standards, turbidity and fecal coliforms values were higher than drinking limit and needs to be purified. Based on the results of sodium percentage, magnesium ratio, and permeability index, water quality is well evaluated for agriculture purpose. Industrial indices indicate that the relatively corrosive property. According to the results of this study, Doogh River water requires two physical and microbial purifications for drinking purpose. Water quality for irrigation purpose is well evaluated and there is no need for soil regeneration after use. Although Doogh River water is relatively corrosive, but it is save to use all metallic equipment to transfer and extract water.

Citation: Abbasimoghadam H, Gharehmahmoodl M, Jandaghi N, Heshmatpoor A, Seyyed M. Hydrochemistry and Water Quality of Dooq River Using Graphical Methods, Cluster Analysis, and Quality Indices. Water Resources Engineering Journal. 2021; 14(49): 13- 29.

***Corresponding author:** Mojtaba Gharehmahmoodlu
Address: Assistant prof. at Department of Watershed and Rangeland Management, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.
Tell: 09113740012
Email: m.g.mahmoodlu@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Rivers are one of the main sources of drinking water in most parts of the world. Their health and water quality are the most important factors in achieving sustainable development. Lack of attention to the chemical quality of water, in addition to causing health damage, will not be ineffective from an agricultural and economic point of view. There are many criteria an
d indicators for surface and groundwater quality monitoring, the choice of which varies depending on the purpose of the study and the needs of stakeholders.

So far, many studies have been conducted to evaluate the quality of surface and groundwater, but in less research, in addition to the discussion of surface and groundwater hydrochemistry, the quality of these resources for all drinking, agricultural, and industrial uses have been evaluated. Therefore, conducting a relatively comprehensive study to investigate the hydrochemical and determine the use of surface water for drinking, agricultural, and industrial purposes can provide useful information to researchers, beneficiary organizations or even the general public. Therefore, in this study, first the hydrochemistry of Dooq Kalaleh river was investigated using graphic and statistical methods and then the factors affecting its chemical quality were determined. In the next stage, the water quality of the river and determining its use in the drinking, agricultural, and industrial sectors were evaluated using water quality indicators and existing standards

Methods

In order to study the water quality of Dooq River and identify the processes affecting its quality, the data of a six-month statistical period in two seasons of autumn and winter of 1397 were used. For this purpose, 10 water samples during six-month statistical period were taken from Dooq River in Ejenkhojeh Hydrometric Station and before recharge Felmaan wells. In this study, in addition to discharge, 22 physicochemical and microbial parameters of Dooq River water were measured in Gonbad Kavous Water and Wastewater Laboratory.

First, general hydrogeochemical investigations were performed to identify the general water status of Dooq River. For this purpose, in the first stage, the dominant type of river water chemical parameters was studied using Stiff, Piper and Gibbs diagrams. AqQa software was used to plot Stiff and Piper diagrams. Then, using Minitab16 software and cluster analysis method, the amount of hydrochemical changes in water samples during the period and the factors affecting the amount of physicochemical and microbial parameters of Dooq River were determined. In order to classify water for irrigation, various chemical parameters and indices such as Wilcox, soluble sodium percentage, magnesium ratio and permeability index were selected.

Schoeller diagram and NSFWQI index were used to study the water of Dooq River in the drinking section. Schoeller diagram was drawn in AqQa software and NSF-WQI online calculator software was used to calculate the NSFWQI index. In order to evaluate the water quality in the industrial sector, corrosion indices, Langelier Saturation Index (LSI) and Ryznar Stability Index (RSI) were used. LSI and RSI indices were calculated by LSI and RSI Calculator online software.

Findings and discussion

The results of Dooq River hydrochemical studies showed that the water-rock reaction is the most important factor in controlling the water chemistry of Dooq River. Also, the predominant hydrochemical facies of river water are calcium bicarbonate and magnesium-calcium bicarbonate, respectively.

Based on the degree of hydrochemical similarity between the water samples taken from Dooq River, two separate clusters can be distinguished. However, the difference between the two clusters is very small and both clusters can be considered as a single cluster. This indicates the existence of one

water source with a specific chemical composition. The results of the tree diagrams of the water samples are consistent with the results of the Stiff and Piper diagrams of a single water source with a specific chemical composition. Also, according to the tree diagram between the anions and some measured microbial parameters, two completely separate clusters can be identified. The first cluster contains the main anions of water (such as bicarbonate, sulfate ...). This cluster shows the effect of upstream basin rocks on the water quality of Dooq River. This could be an emphasis on the active role of the water-rock reaction in the chemical composition of the Dooq River water, which is also mentioned in the Gibbs River diagram.

Cluster two consists of the parameters of nitrate, phosphate, fecal coliform, etc. Due to the nature of the parameters in this cluster, human factors such as discharge of urban and rural wastewater and agricultural effluents can play an important role in changing the water quality of this river. Therefore, lithological and human factors are the two main factors in changing the amount of physicochemical and microbial parameters and consequently changing the water quality of Dooq River.

The value of the NSFWQI index calculated for the Doogh River in the whole period varies between 50 and 70. This value indicates the average quality of river water for drinking. While the results of the Schoeller diagram, the water quality of the Dooq River is in a good category. The results of comparing some physicochemical as well as microbial parameters with the existing standards for drinking water showed that except for turbidity and fecal coliform, all parameters can be used in the drinking section without special treatment. However, due to the low amount of fluoride in the Doogh River water for human consumption, it is necessary to add fluoride to drinking water. Also, to reduce turbidity and eliminate fecal coliforms from Dooq river water, it is necessary to perform two types of treatment, physical and microbial, respectively.

In all samples, the magnesium ratio is less than 50, which indicates the appropriate quality of water for irrigation. So that, the use of this water will not have an adverse effect on soil quality and yield of agricultural products. Also, based on the permeability index and the percentage of soluble sodium, all samples have good quality for irrigation and long-term use of Dooq river water will not have much effect on soil permeability. Based on the results of agricultural indicators, water quality for irrigation is good and there is no need to improve the soil after using the water of Dooq River. However, according to the Wilcox diagram, water quality for agriculture is in the middle. The results of water classification for industry vary slightly based on LSI and RSI indices, as well as the corrosion ratio. Due to LSI index, Doogh River is often relatively corrosive. In some river-related samples, there is little tendency for precipitation. It seems that due to the constant chemical composition of Dooq River water, it is likely that the temperature of the river plays a decisive role in the tendency of water to corrode or precipitate. So that with increasing temperature, water tends to precipitate and with decreasing temperature, water becomes corrosive. The results of the RSI showed that during whole water sampling period, water is relatively corrosive. Based on the corrosion ratio, a variety of metal pipes can be used to transfer water from the Dooq River without any problems.

Conclusion

Based on the results of the indices used in this study, it can be concluded that the water of Doogh River is of relatively good quality for use in various sectors of drinking, agriculture and industry. However, in the drinking water sector, it seems necessary to reduce some parameters such as turbidity and coliform.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All subjects full fill the informed consent.

Funding

This article is sponsored by Gonbad Kavous University in the form of a master's thesis of the first author, and thus the authors of the article express their gratitude to Gonbad

Kavous University.

Authors' contributions

Design and ideation: Gharehmahmoudlu, Nader Jandaghi, and Ali Heshmatpour; Methodology and data analysis: Hamidreza Abbasi Moghaddam and Mostafa Seyed.
Final supervision and writing: Mojtaba Gharehmahmoudlu.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

هیدروشیمی و کیفیت آب رودخانه دوغ کلاله با استفاده از روش‌های گرافیکی، تحلیل خوشه‌ای و شاخص‌های کیفی

حمیدرضا عباسی‌مقدم[۱]، مجتبی قره‌محمودلو[۲*]، نادر جندقی[۲]، علی حشمت‌پور[۲]، مصطفی سید[۳]
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، ایران.
۲. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، ایران.
۳. مربی دانشگاه جامع علمی کاربردی مرکز آموزشی گنبد کاووس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۷
تاریخ داوری: ۱۳۹۹/۰۹/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۹

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

DOI: 10.30495/wej.2021.21192.2145

واژه‌های کلیدی:
هیدروشیمی، کیفیت آب، شاخص‌های کیفی آب، تحلیل خوشه‌ای، رودخانه‌دوغ

چکیده

مقدمه و هدف: رودخانه دوغ یکی از سرشاخه‌های اصلی گرگانرود در شرق استان گلستان می‌باشد که نقش مهمی در تامین آب شرب شهر گنبد کاووس دارد. علاوه براین، یکی از منابع تامین کننده آب سد گلستان می‌باشد. از این‌رو بررسی هیدروشیمی و کیفی آب این رودخانه در بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت از اهمیت بالایی برخوردار است.

مواد و روش: در این پژوهش، جهت بررسی هیدروشیمی آب رودخانه دوغ از دیاگرام‌های استیف، پایپر و گیبس استفاده‌شد. کیفیت آب در بخش کشاورزی با استفاده از معیار ویلکوکس، درصد سدیم، نسبت منیزیم و اندیس نفوذپذیری ارزیابی شد. جهت بررسی آب در بخش شرب از شاخص NSFWQI، نمودار شولر و استانداردهای کیفیت آب استفاده‌شد. در نهایت کیفیت آب به لحاظ صنعت با استفاده از شاخص‌های خوردگی، لانژلیه و رایزنر ارزیابی شد.

یافته‌ها و نتیجه‌گیری: نتایج هیدروشیمیایی نشان داد که $Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$ رخساره غالب هیدروشیمیائی و واکنش‌آب–سنگ عامل اصلی در کنترل شیمی آب رودخانه دوغ می‌باشند. براساس شاخص NSFWQI و دیاگرام شولر آب رودخانه در رده قابل قبول برای شرب قرار می‌گیرد. اما باتوجه به استانداردهای کیفی آب شرب، دو پارامتر کدورت و کلیفرم مدفوعی بالاتر از حد مجاز می‌باشند. از این رو آب رودخانه دوغ در بخش شرب نیاز به دو تصفیه فیزیکی و میکروبی دارد. براساس نتایج حاصل از درصد سدیم، نسبت منیزیم، شاخص نفوذپذیری و دیاگرام ویلکوکس، کیفیت آب این رودخانه برای کشاورزی خوب ارزیابی شد و نیازی به اصلاح خاک بعد از مصرف آن ندارد. اگرچه از نظر شاخص‌های مربوط به صنعت، آب تمایل نسبتا کمی به خورندگی دارد. اما استفاده از تجهیزات فلزی برای استحصال و انتقال آب بلامانع می‌باشد.

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

مقدمه

رودخانه‌ها یکی از منابع اصلی آب آشامیدنی در بیشتر نقاط دنیا به حساب می‌آیند. سلامت و کیفیت آب آنها یکی از مهمترین عوامل دستیابی به توسعه پایدار می‌باشد. عدم توجه به کیفیت شیمیایی آب، علاوه برآنکه موجب آسیب‌های بهداشتی می‌شود از نظر کشاورزی و اقتصادی نیز بی‌تأثیر نخواهد بود(۱۰ و ۷). از مهمترین عوامل کاهش کیفیت و افزایش آلودگی آب رودخانه‌ها می‌توان به زمین‌شناسی حوضه آبریز آنها، تخلیه انواع فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، شیرابه محل‌های دفع زباله و رواناب‌های سطحی اشاره‌کرد. یکی از دغدغه‌های کنونی دولت و مراکز تصمیم‌گیری، تأمین آب سالم و بهداشتی و حفاظت از منابع آب در برابر آلودگی است (۳). از گام‌های اصلی مدیریت کیفیت رودخانه‌ها، شناسایی و پایش آن‌ها به منظور شناخت کیفیت آب آن‌ها جهت متناسب بودن برای مصارف مختلف می‌باشد که این پایش‌ها، مشکلات آب را بررسی و مدارک مستند و رسمی را به سازمان‌های ذینفع و یا عموم مردم ارائه می‌نماید.

معیارها و شاخص‌های زیادی برای پایش کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی وجود دارد که انتخاب آنها بسته به هدف مطالعه و نیاز سازمان‌های ذینفع متغیر می‌باشد. بعنوان مثال برای بررسی سریع کیفیت آب در بخش شرب از شاخص آلودگی آب (WQI[1]) و یا دیاگرام شولر استفاده می‌شود که این شاخص‌ها به دور از پیچیدگی‌های ریاضی و آماری، کیفیت آب را بیان می‌کنند. در بخش کشاورزی شاخص‌های فراوانی نظیر شاخص نفوذپذیری، شاخص ویلکوکس، درصد سدیم محلول، نسبت منیزیم و... وجود دارد. شاخص‌های اشباع لانژلیه، پایداری رایزنر و نسبت خورندگی از معیارهای مهم برای طبقه‌بندی آب در بخش صنعت می‌باشند.

تاکنون مطالعات فراوانی برای ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی صورت گرفته که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود. فرید گیگلو و همکاران تغییرات کیفیت آب رودخانه زرین‌گل در استان گلستان با استفاده از روش‌های گرافیکی و آماری پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که آب رودخانه زرینگل مربوط به تیپ آبهای شورمزه بوده و به‌سمت کلریده میل می‌کند. یونهای کلسیم و منیزیم نقش مهمی در تعیین تیپ آب رودخانه داشته‌اند. آب این رودخانه از نظر شرب و کشاورزی در حد متوسط به پایین ارزیابی شد (۴). قاسمی دهنوی و همکاران در پژوهشی، هیدروشیمی و کیفیت آب رودخانه ازنا لرستان را در دو دوره خشک و مرطوب برای مصرف شرب مطالعه کردند. نتایج کلی این پژوهش نشان از تیپ بی‌کربناته کلسیک آب دارد و کیفیت آب رودخانه ازنا از نظر شرب در حد خوب تا قابل قبول می‌باشد (۵). خادم‌پور و شهیدی کیفیت رودخانه قاین را در خراسان جنوبی از نظر مصارف کشاورزی، شرب، احشام و آبزیان با استفاده از روش CWQI[2] مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که آب این رودخانه بدلیل ورود پسابهای کشاورزی، صنعتی و فاضلاب شهری برای مصارف شرب، آبزی‌پروری، آبیاری و احشام در رتبه بد قرار دارد (۲). مروج و همکاران براساس شاخص کیفیت آب با استفاده از GIS و مدل‌سازی سری زمانی کیفیت آب رودخانهٔ کارون را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که کیفیت رودخانهٔ کارون نسبت به گذشته اندکی افزایش یافته و با اتصال رودخانهٔ دز، شاخص کیفیت آب به میزان نسبتاً زیادی کاهش می‌یابد که این امر می‌تواند بیانگر پایین‌تربودن کیفیت آب رودخانهٔ دز به‌دلیل ورود آلودگی به آن در پایین‌دست ایستگاه دزفول باشد (۸).

در پژوهشی ری و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از شاخص‌های کیفی آب و تحلیل چند متغیره به بررسی هیدروشیمی و کیفی آب رودخانه مایور[3] در منطقه ساحلی واقع در جنوب غرب بنگلادش پرداختند. نتایج این تحقیق نشان از تغییرات مکانی و زمانی قابل ملاحظه‌ای در پارامترهای کیفی آب رودخانه دارد. همچنین نتایج نشان داد که با گذر رودخانه از مناطق کشاورزی میزان غلظت برخی از پارامترها نظیر سدیم، پتاسیم و اکسیژن محلول افزایش قابل ملاحضه‌ای داشته است. در مقابل، با عبور رودخانه از شهرها و ورود فاضلاب‌های شهری به آن، میزان پارامترهایی نظیر شوری، فسفات، نیترات، بیکربنات، کلراید، هدایت الکتریکی و کل جامدات معلق افزایش یافته‌است. علاوه بر موارد فوق جز و مد نقش مهمی در کاهش کیفیت آب رودخانه مذکور داشته‌است (۱۶).

ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی هیدروشیمی و کیفیت آب رودخانه سیردَریا (قزاقستان) را در بخش کشاورزی مطالعه کردند. بدین منظور از ۳۹ نقطه بر روی رودخانه مذکور نمونه‌برداری شد. نتایج هیدروشیمیایی نشان داد که هوازدگی سنگهای حوزه آبریز به همراه تبخیر از عوامل مهم در کنترل شیمی آب رودخانه می‌باشند. اگرچه نقش فعالیت‌های انسانی نظیر پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری در تغییر شیمی آب را نباید نادیده گرفت. ارزیابی نمونه‌ها براساس شاخص‌هایی کشاورزی نظیر نسبت جذب سدیم، در سدیم تعادلی و شاخص کلی نشان داد که آب رودخانه برای استفاده در بخش کشاورزی مناسب می‌باشد (۲۲).

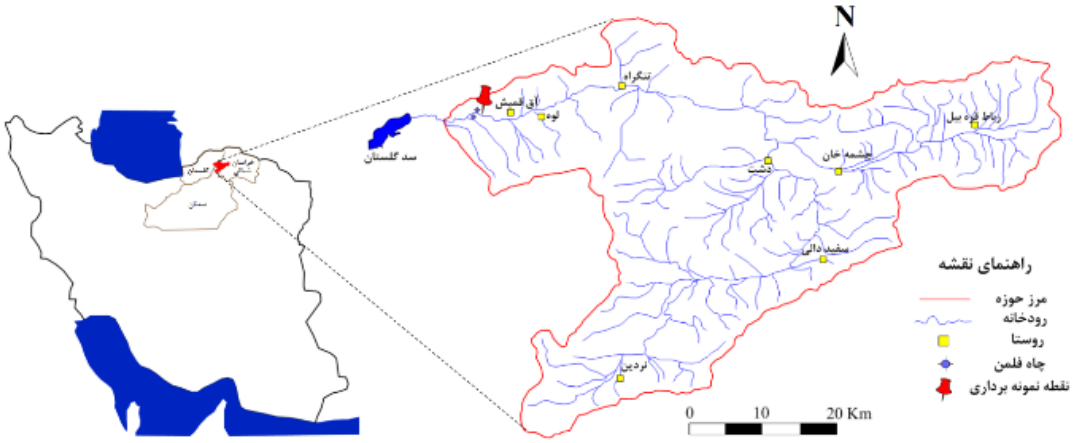
باتوجه به موارد مذکور در کمتر پژوهشی علاوه بر بحث هیدروشیمی آب‌های سطحی و زیرزمینی، کیفیت این منابع برای تمامی مصارف شرب، کشاورزی و صنعت ارزیابی شده‌است. بنابراین، انجام یک مطالعه نسبتا جامع جهت بررسی هیدروشیمیایی و تعیین کاربری آب‌های سطحی برای اهداف شرب، کشاورزی و صنعت می‌تواند اطلاعات مفیدی به محققین، سازمان‌های ذینفع و یا حتی عموم مردم ارائه دهد. از این رو در این پژوهش، ابتدا هیدروشیمی رودخانه دوغ کلاله با استفاده از روش‌های گرافیکی و آماری بررسی شد و سپس عوامل موثربر کیفیت شیمیایی آن تعیین شد. در مرحله بعد کیفیت آب رودخانه و تعیین کاربری آن در بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت با استفاده از شاخص‌ها کیفی آب و استانداردهای موجود ارزیابی شد.

[1] Water quality index
[2] Canadian Water Quality Index
[3] Mayur River

مواد و روش ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه دوغ یا مادرسو، یکی از زیرحوضه‌های اصلی گرگان رود است که با وسعتی در حدود ۲۱۲۰ کیلومتر مربع در جنوب شرق دریای خزر واقع شده‌است. این رودخانه به طور مشترک بخش‌هایی از سه استان خراسان شمالی، سمنان و گلستان را زهکشی می‌کند (شکل۱). بخشی از حوضه که در استان گلستان واقع شده تفاوت‌های زیادی از نظر شرایط اقلیمی، پوشش گیاهی، زمین شناسی، فیزیوگرافی و ژئومورفولوژی، با دیگر قسمت‌های حوضه دارد (۵). این رودخانه پس از خارج شدن از حوزه مورد نظر، در دشت بین شهرهای کلاله و گنبد وارد دریاچه سد گلستان یک می‌شود. این سد علاوه بر مهار سیل‌های این منطقه از استان گلستان نقش مهمی در آبرسانی حدود ۵۶۰۰ هکتار از اراضی استان را دارد. از این‌رو بررسی کیفیت آب رودخانه دوغ به لحاظ کشاورزی نیز از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. علاوه براین، این رودخانه نقش مهمی در تامین آب شرب شهر گنبد کاووس بعنوان دومین شهر مهم استان گلستان را دارد. درنتیجه بررسی کیفیت آب رودخانه برای شرب و صنعت حائز اهمیت می‌باشد.



شکل۱- حوزه آبریز رودخانه دوغ (مادرسو) و موقعیت آن در کشور

روش‌کار

به منظور بررسی کیفی آب رودخانه دوغ و تشخیص فرآیندهایی که کیفیت آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند، از اطلاعات یک دوره آماری شش ماهه در دو فصل پاییز و زمستان ۱۳۹۷ استفاده شد (جدول ۱). بدین منظور از رودخانه دوغ، در ایستگاه هیدرومتری اجن‌خوجه و قبل از تغذیه چاههای فلمن تعداد ۱۰ نمونه آب دوره آماری شش ماهه برداشت‌شد (شکل۱). در این تحقیق علاوه بر دبی، تعداد ۲۲ پارامترهای فیزیکوشیمیایی و میکروبی آب رودخانه دوغ شامل دما، رنگ، EC، سختی کل، سختی کلسیم، کلراید، سولفات، بیکربنات، نیتریت، نیترات، آمونیاک، فسفات، فلوراید، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، آهن، منگنز، COD، BOD و کلیفرم در آزمایشگاه آب و فاضلاب شهر گنبدکاووس اندازه‌گیری شد(جدول ۱).

ابتدا مطالعات اجمالی هیدروژئوشیمی به منظور شناخت وضعیت کلی آب رودخانه دوغ صورت گرفت. بدین منظور در مرحله اول با استفاده از نمودارهای استیف، پایپر و گیبس تیپ غالب و منشاء پارامترهای شیمیایی آب رودخانه مطالعه شد. برای ترسیم نمودارهای استیف و پایپر از نرم افزار AqQa استفاده شد. سپس با استفاده از نرم افزار Minitab16 و روش تحلیل خوشه‌ای میزان تغییرات هیدروشیمیایی نمونه‌های آب در طول دوره و عوامل تاثیرگذار بر میزان پارامترهای فیزیکوشیمیایی و میکروبی رودخانه دوغ تعیین گردید. بطورکلی تحلیل خوشه‌ای براساس میزان شباهت بین متغیرهای اصلی آب، ترکیب کلی آن را به تعداد محدودی خوشه تقسیم بندی می‌نمایدکه هر خوشه نشان دهنده یک حالت هیدروژشیمیایی مشابه و مشخص از آب است (۶).

به‌منظور طبقه‌بندی آب برای آبیاری از پارامترهای شیمیایی و اندیس‌های مختلف نظیر ویلکوکس، درصد سدیم محلول، نسبت منیزیم و اندیس نفوذپذیری انتخاب شد). جهت بررسی آب رودخانه دوغ در بخش شرب از نمودار شولر و شاخص NSFWQI استفاده شد. نمودار شولر در نرم افزار AqQa ترسیم گردید و برای محاسبه شاخص NSFWQI[1] از نرم افزار آنلاین Calculator NSF-WQI[2] استفاده شد. به‌منظور ارزیابی کیفیت آب در بخش صنعت از شاخص‌های

[1] National Sanitation Foundation Water Quality Index

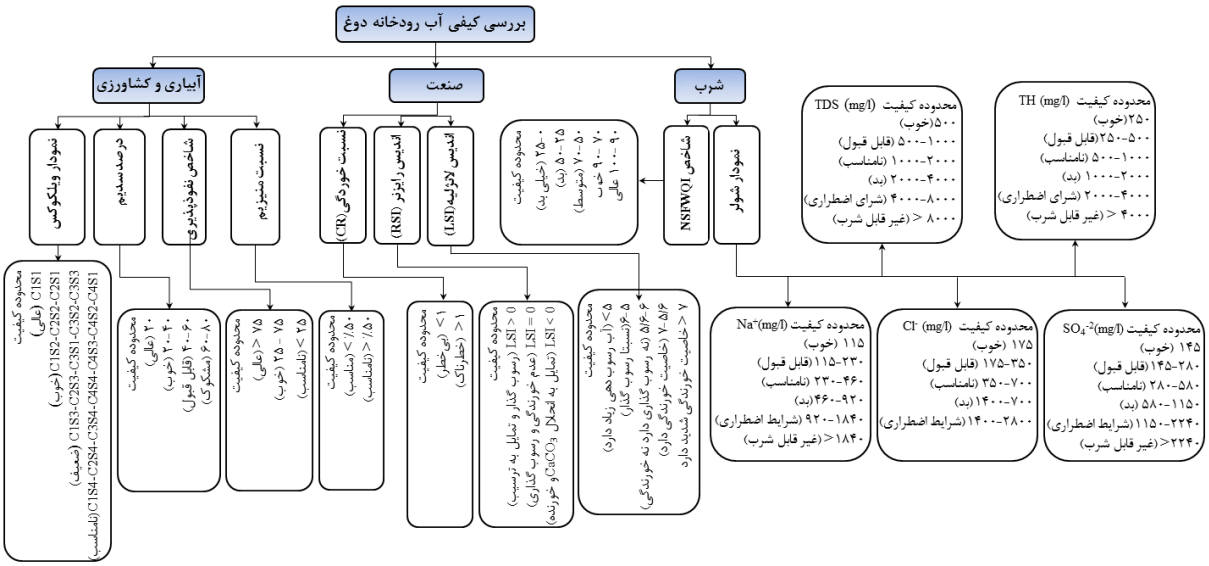
[2] http://www.water-research.net/watrqualindex/index.htm

خوردگی، لانژلیه (LSI[1]) و شاخص پایداری رایزنر (RSI[2]) استفاده شد.
شاخص‌های LSI و RSI توسط نرم افزار آنلاین LSI and RSI Calculator[3] محاسبه گردید (شکل۲).

جدول۱ - نتایج آنالیز پارامترهای فیزیکوشیمیایی و میکروبی رودخانه دوغ در پاییز و زمستان ۱۳۹۷

پارامتر	تعداد نمونه	بیشترین	کمترین	متوسط	واریانس	انحراف معیار	ضریب تغییرات
دما (ºC)	۱۰	۲۳	۹	۱۳/۴	۲۳/۶	۴/۸۶	۰/۳۶
کدورت (NTU)	۱۰	۳۹/۱	۸/۴۹	۲۴/۰۵	۹۲/۱	۹/۶	۰/۴۰
رنگ (pt.co)	۱۰	۴	۱	۲	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۴۷
EC (µmhos/cm)	۱۰	۸۸۲	۸۳۴	۸۵۸/۷	۳۱۴/۹	۱۷/۷۴	۰/۰۲
TDS (mg/L)	۱۰	۵۱۲	۴۸۴	۴۹۸/۲	۱۰۱/۲۹	۱۰/۰۶	۰/۰۲
pH	۱۰	۷/۸۵	۷/۷	۷/۷	۰/۰۰۳	۰/۰۵	۰/۰۰۷
سختی کل (mg/L)	۱۰	۳۵۲	۳۲۴	۳۳۳/۲	۸۱/۹۶	۹/۰۵	۰/۰۲۷
سختی کلسیم (mg/L)	۱۰	۲۴۴	۲۲۰	۲۲۸/۸	۵۶/۱۸	۷/۴۹	۰/۰۳۲
کلراید (mg/L)	۱۰	۶۴	۵۳	۵۷/۳	۱۰/۴۶	۳/۲۳	۰/۰۵۶
سولفات (mg/L)	۱۰	۸۰	۷۲	۷۶/۲	۸/۱۸	۲/۸۶	۰/۰۳۷
بیکربنات (mg/L)	۱۰	۳۱۲	۲۸۸	۲۹۹/۳	۷۹/۱۲	۸/۸۹	۰/۰۳
نیتریت (mg/L)	۱۰	۰/۰۳۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۶	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۱۲
نیترات (mg/L)	۱۰	۲۷/۲۷	۲۰/۲۴	۲۴/۴۵	۳/۹۹	۱/۹۹	۰/۰۸
آمونیاک (mg/L)	۱۰	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۰۰۲	۰/۰۱	۰/۳۲
فسفات (mg/L)	۱۰	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۰۰۰۸	۰/۰۳	۰/۱۵
فلوراید (mg/L)	۱۰	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۰۰۱	۰/۰۳	۰/۱۶
کلسیم (mg/L)	۱۰	۹۷/۶	۸۶/۴	۹۱/۵۲	۹/۵۶	۳/۰۹	۰/۰۳
منیزیم (mg/L)	۱۰	۲۵/۹۲	۲۴	۲۴/۹۶	۰/۶۱	۰/۷۸	۰/۰۳
سدیم (mg/L)	۱۰	۴۸	۴۰	۲۴/۵	۵/۶۱	۲/۳۷	۰/۰۶
پتاسیم (mg/L)	۱۰	۱/۳	۱	۱/۱۵	۰/۰۰۷	۰/۰۸	۰/۰۷
آهن (mg/L)	۱۰	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۱	۰/۲۵
منگنز (mg/L)	۱۰	۰/۰۵	۰/۰۲۵	۰/۰۴	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۱	۰/۲۲
COD (mg/L)	۱۰	۳۶	۲۶	۳۰/۶	۹/۱۶	۳/۰۳	۰/۱
BOD (mg/L)	۱۰	۲/۸	۲/۲	۲/۴۷	۰/۰۴	۰/۲۰	۰/۰۸
MPN/100ml	۱۰	۱۱۰۰	۱۵۰	۶۰۲	۱۸۹۶۶۲/۲۲	۴۳۵/۵۰	۰/۷۲
دبی(L/s)	۱۰	۳۱۵	۱۱۶	۲۳۴/۴	۲۹۲۹/۶	۵۴/۱۳	۰/۲۳

[1] Langelier Saturation Index
[2] Ryznar Stability Index
[3] https://www.lenntech.com/calculators/calculators.htm

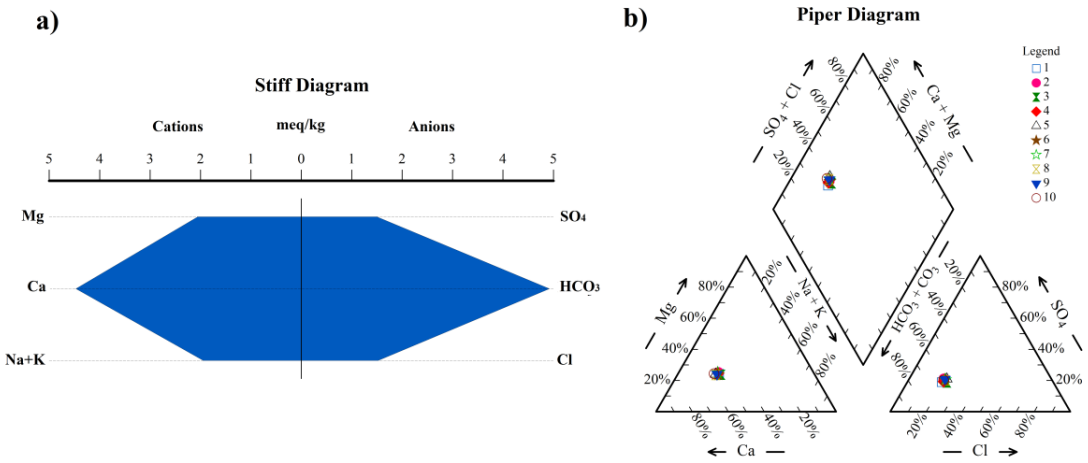


شکل ۲- شاخص‌های کیفی استفاده شده جهت طبقه‌بندی آب رودخانه دوغ در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت

بحث و نتایج

هیدروشیمی: به‌منظور بررسی کیفیت هیدروشیمی آب رودخانه دوغ ابتدا از دیاگرام‌های استیف و پایپر استفاده‌شد (شکل ۳). براساس دیاگرام استیف تیپ آب رودخانه در ۱۰ دوره نمونه‌برداری بیکربنات کلسیک می‌باشد (شکل۳-a). ثابت بودن تیپ آب در کل دوره نشان از منشاء واحد پارامترهای کیفی آب دارد.

رخساره‌های هیدروشیمیائی[1] آب‌زیرزمینی معین‌کننده توده‌های آبی با ماهیت ژئوشیمی متفاوت می‌باشند (۱۸). در این تحقیق جهت تعیین رخساره‌های هیدروشیمیائی از نمودار پایپر استفاده شد (شکل۳-b). براساس نمودار پایپر رخساره هیدروشیمیائی آب رودخانه دوغ Ca-Mg-HCO_3 می‌باشد. این رخساره از لحاظ سختی در رده سبک قرار می‌گیرد و نسبتاً شیرین و قابل شرب می‌باشند.

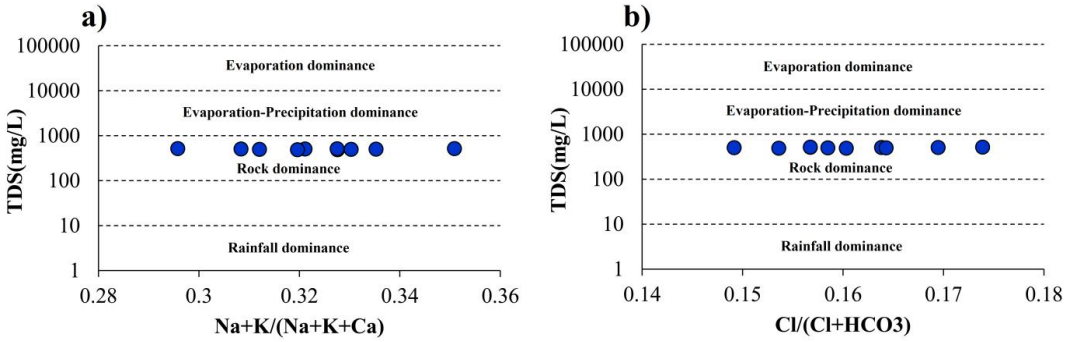


شکل۳- دیاگرام‌های استیف (a) و پایپر (b) روخانه دوغ در ایستگاه اجن قره خوجه

به منظور تفسیر بهتر وضعیت هیدروشیمیائی رودخانه دوغ و عوامل کنترل کننده شیمی آب از نمودار گیبس (TDS در مقابل نسبت‌های کاتیونی $Na^+ + K^+ / (Na^+ + K^+ + Ca^{2+})$ و آنیونی $Cl^- / (Cl^- + HCO_3^-)$ استفاده شد (شکل۴). باتوجه به پراکندگی نمونه‌ها در نمودار گیبس ترکیب شیمیایی تمامی نمونه‌ها توسط سنگ

[1] Hydrochemical Facies

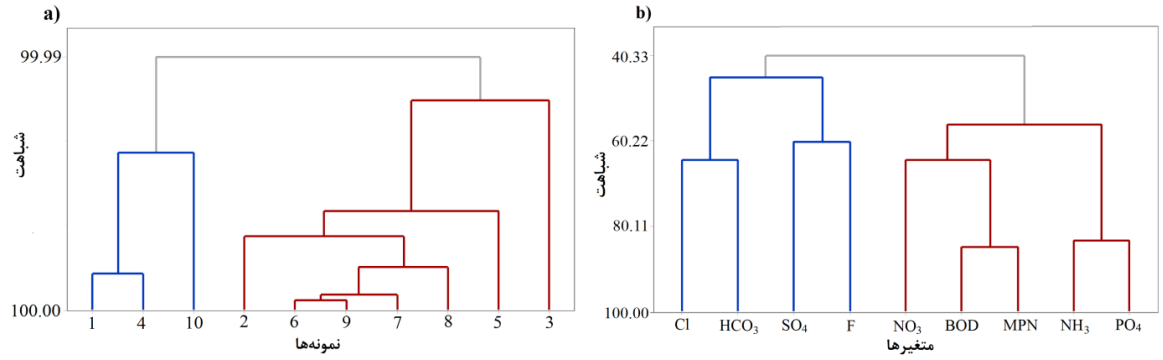
بستر رودخانه کنترل می‌شود. از این رو واکنش‌آب–سنگ مهمترین عامل در تغییر کیفیت شیمیایی آب رودخانه دوغ می‌باشد.



شکل٤–عوامل کنترل‌کننده شیمی آب رودخانه دوغ. a) براساس کاتیون‌های غالب، b) برحسب آنیون‌های غالب آب رودخانه

نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای پارامترهای کیفی آبی رودخانه دوغ نشان داد که نمونه‌های آبی در این دوره به لحاظ هیدروشیمیایی و تغییر میزان پارامترهای کیفی شباهت زیادی با هم دارند (شکل ۵–a). نمودار درختی رسم شده نشان از دو خوشه مجزا دارد. این امر بیانگر میزان شباهت بالای نمونه‌های آبی هر خوشه به لحاظ ترکیب شیمیایی با یکدیگر می‌باشد. اگر چه اختلاف بین دو خوشه بسیار ناچیز است و می‌توان از آن چشم پوشی نمود. نتایج حاصل از نمودار درختی با نتایج دیاگرام‌های استیف و پایپر مبنی بر وجود یک منبع آبی با ترکیب شیمیایی مشخص مطابقت دارد.

باتوجه به شکل ۵–b، در بین پارامترها کیفی آب بیشترین شباهت بین پارامترهای اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی و کلیفرم مدفوعی با بیش از ۸۵٪ و سپس بین یونهای فسفات و آمونیاک با بیش از ۸۰٪ وجود دارد. این موضوع بیانگر ارتباط پارامترهای مذکور با یکدیگر و تغییرات کم غلظت آنها در این دوره نمونه‌برداری می‌باشد. براساس شکل ۵–b، می‌توان دو خوشه کاملا مجزا را تشخیص داد. خوشه اول که دارای آنیون‌های اصلی آب (نظیر بیکربنات، سولفات...) می‌باشد. این خوشه نشان از تاثیر سنگ‌های حوضه بالادست (عامل لیتولوژیکی) در کیفیت آب رودخانه دوغ دارد. در مقابل، خوشه دو متشکل از پارامترهای نیترات، فسفات، کلیفرم مدفوعی و... است. با توجه به ماهیت پارامترها در این خوشه، عامل انسانی نظیر تخلیه فاضلابهای شهری و روستایی و فعالیت‌های کشاورزی نقش مهمی در تغییر کیفیت آب این رودخانه دارد.



شکل ۵– نمودار درختی نمونه‌های آبی (a) پارامترهای کیفی(b) آب رودخانه دوغ

طبقه‌بندی آب برای شرب

شاخص ملی کیفیت آب (NSFWQI): شاخص NSFWQI در سال ۱۹۷۰ با حمایت سازمان بهداشت ملی آمریکا ارایه گردید. استفاده از این شاخص بسیار متداول بوده و برای طبقه‌بندی کیفی منابع آب سطحی از لحاظ آشامیدن، شاخصی کامل و جامع محسوب می‌شود که با به کارگیری آن می‌توان دید مناسبی در مورد کیفیت آب رودخانه‌ها به‌دست آورد (۱۴). بطورکلی ۹ عامل را برای ایجاد شاخص استفاده می‌شوند عبارتنداز: اکسیژن خواهی زیست–شیمیایی(BOD[1])، اکسیژن

[1] Biochemical Oxygen Demand

محلول (DO[1])، کلیفرم مدفوعی، نیترات (NO_3^-)، pH، تغییرات درجه حرارت، کل مواد جامد، فسفات (PO_4^{3-}) و کدورت. NSFWQI از مجموع حاصل ضرب دو عامل وزن پارامتر (Wi) و کیفیت پارامتر (Qi) محاسبه مطابق رابطه۱محاسبه می‌گردد:

$$NSFWQI = \sum Wi \times Qi \qquad (۱)$$

در این مطالعه به منظور محاسبه دقیق شاخص، از نرم افزار NSFWQI Calculator استفاده شده‌است. جدول ۲ عوامل وزنی شاخص کیفیت آب را ارائه می‌دهد.

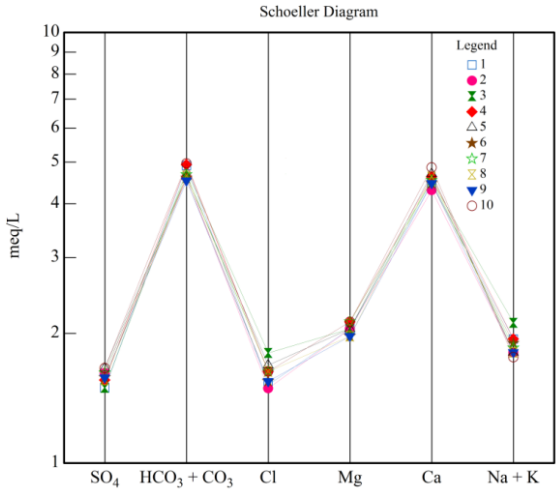
با قراردادن مقدار هر پارامتر در نرم افزار مذکور مقدار شاخص برای هر پارامتر محاسبه شد و در نهایت با بدست آوردن میانگین مقادیر شاخص برای هر ماه تعیین شد. این شاخص دارای مقداری بین صفر تا ۱۰۰می‌باشد که کیفیت آب را به صورت عالی (۱۰۰–۹۰)، خوب (۹۰–۷۰)، متوسط (۷۰–۵۰)، بد (۵۰–۲۵) و خیلی بد (۲۵–۰) درجه‌بندی می‌کند. مقادیر محاسبه شاخص NSFWQI برای رودخانه دوغ در کل دوره بین ۵۰ تا ۷۰ می‌باشد که این مقدار بیانگر کیفیت متوسط آب رودخانه برای شرب می‌باشد.

جدول۲- عوامل وزنی شاخص NSFWQI

پارامترها	کدورت (NTU)	BOD* (mg/l)	DO** (mg/l)	کلی فرم مدفوعی	NO_3^- (mg/l)	pH (-)	T (C°)	TDS (mg/l)	PO_4^{3-} (mg/l)
فاکتور وزنی	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۱۰

* اکسیژن خواهی زیست- شیمیایی، ** اکسیژن محلول

دیاگرام شولر[2]: دیاگرام شولر یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها جهت بررسی کیفیت منابع آب از نظر شرب می‌باشد. این دیاگرام بر پایه غلظت یون‌های اصلی سدیم، کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم استوار است. 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، کیفیت آب رودخانه دوغ در رده خوب قرار می‌گیرد (شکل۶). اگرچه که برای اطمینان بیشتر از سلامت آب رودخانه دوغ در بخش شرب، نمونه‌های آبی باید به لحاظ میکروبی و دیگر پارامترهای شیمیایی نظیر نیترات و نیتریت بررسی شوند.



شکل٦: دیاگرام شولر آب رودخانه دوغ

مقایسه برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی و میکروبی با استاندار شرب: به‌منظور ارزیابی بهتر کیفیت آب رودخانه دوغ جهت مصرف در بخش شرب، میزان برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی و میکروبی نظیر کدورت، رنگ، نیتریت، نیترات، آمونیاک، آهن، منگنز، فلوراید و کلیفرم با استانداردهای موجود برای آب شرب مقایسه شد.

نتایج این مقایسه نشان داد بجز کدورت و میزان کلیفرم کل، تمامی پارامترها بدون استفاده از تصفیه خاصی قابل استفاده در بخش شرب می‌باشند (جدول۳). اگرچه بدلیل پایین بودن میزان فلوراید در آب رودخانه دوغ اضافه نمودن فلوراید به آب آشامیدنی (فلورایدتراپی) توصیه می‌شود. متوسط میزان کدورت در آب رودخانه دوغ ۲۴/۰۵ نفلومتر است که این میزان بالاتر از حد مجاز (۵ نفلومتر) می‌باشد. نتایج

[1] Dissolved Oxygen

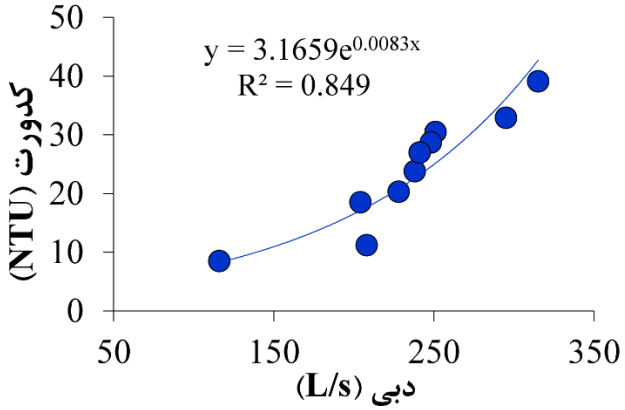
[2] Schoeller Diagram

این پژوهش نشان از همبستگی بالای بین پارامترهای دبی و کدورت بعنوان یک فاکتور مهم در تصفیه فیزیکی آب دارد. بطوریکه با افزایش میزان دبی رودخانه دوغ، مقدار کدورت افزایش چشمگیری از خود نشان می‌دهد (شکل۷). محدوده تغییرات باکتری‌های کلیفرم برحسب MPN[1] در آب رودخانه دوغ ۱۱۰۰–۱۵۰ می‌باشد که این میزان در آب رودخانه دوغ بالاتر از حد مجاز (آب آشامیدنی باید فاقد کلیفرم باشد) است.

جدول۳- مقایسه پارامترهای شیمیایی آب رودخانه دوغ با استاندارد آب شرب ایران (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۱)

پارامتر	حد مطلوب	حد مجاز	متوسط رودخانه	توضیح کیفیت آب رودخانه دوغ
کدورت (NTU)	کمتر یا مساوی ۱	حداکثر ۵	۲۴	آب آلوده بوده و نیاز به تصفیه فیزیکی دارد
رنگ (pt.co)	–	حداکثر ۱۵	۲	آب سالم بوده و نیاز به تصفیه ندارد
pH (-)	۶/۵ تا ۸/۵	۶/۵ تا ۹	۷/۷	آب سالم بوده و نیاز به تصفیه ندارد
منگنز (mg/L)	۰/۱	۰/۴	۰/۰۳۷	آب سالم بوده و نیاز به تصفیه ندارد
نیترات (mg/L)	–	۵۰	۲۴	آب سالم بوده و نیاز به تصفیه ندارد
نیتریت (mg/L)	–	۳	۰/۰۲۶	آب سالم بوده و نیاز به تصفیه ندارد
آمونیاک (mg/L)	۱/۵	–	۰/۰۴۴	آب سالم بوده و نیاز به تصفیه ندارد
آهن (mg/L)	۰/۳	–	۰/۰۲۷	آب سالم بوده و نیاز به تصفیه ندارد
فلوراید*(mg/L)	–	۱/۵	۰/۲	آب سالم بوده ولی نیاز به فلورایدتراپی دارد
باکتری‌های کلیفرم(MPN)	–	صفر	۶۰۲	آب آلوده و نیاز به تصفیه میکروبی دارد

*حداقل مقدار فلوراید در آب ۰/۵ mg/L می‌باشد



شکل ۷- رابطه بین میزان دبی و کدورت رودخانه دوغ

طبقه‌بندی آب برای کشاورزی

درصد سدیم محلول[2]: بطورکلی یون سدیم موجود در آب می‌تواند جایگزین یون‌های دو ظرفیتی منیزیم و کلسیم موجود در ذرات خاک شود (۱۳). این فرآیند باعث کاهش نفوذپذیری و همچنین کاهش زهکشی داخلی خاک می‌شود. بطورکلی غلظت بالای یون سدیم حرکت آب و هوا را در خاک‌های مرطوب کاهش می‌دهد. اما در شرایطی که خاک خشک است، باعث سخت شدن آن می‌شود (۱۷). میزان درصد سدیم محلول (%Na) را می‌توان از رابطه ۲ محاسبه نمود (۲۱):

$$\%Na = \frac{Na^{+} + K^{+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+}} \times 100 \qquad (۲)$$

به منظور طبقه‌بندی آب براساس میزان درصد سدیم محلول از جدول۴ استفاده شد. براین اساس در بیشتر نمونه‌ها درصد سدیم بین ۲۰ تا ۴۰ می‌باشد که بیانگر کیفیت خوب نمونه‌ها برای آبیاری می‌باشد (جدول۴).

نسبت منیزیم (MR[3]): به طورکلی در بیشتر آب‌ها طبیعی غلظت یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} با هم در تعادل هستند. زمانی که میزان منیزیم در آب زیاد می‌شود. اثر معکوس بر کیفیت خاک دارد. بطوریکه باعث قلیایی شدن خاک و در نتیجه کاهش بازدهی محصولات کشاورزی می‌شود. براساس نسبت منیزیم می‌توان آب را با استفاده از

[1] Most Probable Number

[2] Soluble Sodium Percentage

[3] Magnesium ratio

جدول۴ در بخش کشاورزی طبقه‌بندی کرد. این نسبت را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

درصورتیکه نسبت منیزیم بزرگتر از ۵۰ باشد آب برای آبیاری مناسب نمی‌باشد. در تمامی نمونه‌ها برداشت شده از رودخانه دوغ، میزان این

جدول٤- طبقه بندی نمونه‌های آب رودخانه برای آبیاری

پارامترها	مقدار	طبقه بندی	متوسط رودخانه	شماره نمونه‌ها
درصد سدیم (%Na) (۲۱)	<۲۰	عالی	۲۷/۲	–
	۲۰–۴۰	خوب		۱ تا۱۰
	۴۰–۶۰	قابل قبول		–
	۶۰–۸۰	با احتیاط استفاده شود		–
	>۸۰	غیر قابل قبول		–
نسبت منیزیم (MR) (۱۵)	<٪۵۰	مناسب	۲۱/۴	۱ تا۱۰
	>٪۵۰	نامناسب		–
شاخص نفوذپذیری(PI) (۱۲)	<۲۵	نامناسب	۳۷/۶	–
	۲۵–۷۵	خوب		۱ تا ۱۰
	>۷۵	عالی		–

$$MR = \frac{Mg^{2+}}{Mg^{2+} + Ca^{2+}} \times 100 \qquad (۳)$$

نسبت کمتر از ۵۰ می‌باشد. از این‌رو کیفیت آب رودخانه دوغ براساس این شاخص برای آبیاری مناسب می‌باشد (جدول۴).

شاخص نفوذپذیری ([1]PI): نفوذپذیری خاک تحت تاثیر ترکیب و غلظت برخی از یون‌ها نظیر Na^+، Mg^{2+}، Ca^{2+} و HCO_3^- موجود در آب آبیاری می‌باشد. از این‌رو استفاده طولانی مدت از آب با شوری و میزان بالای سدیم سبب کاهش نفوذپذیری خاک می‌گردد. شاخص نفوذپذیری را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد (۱۲):

$$PI = (Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}) \times 100 / (Na^+ + Mg^{2+} + Ca^{2+}) \qquad (۴)$$

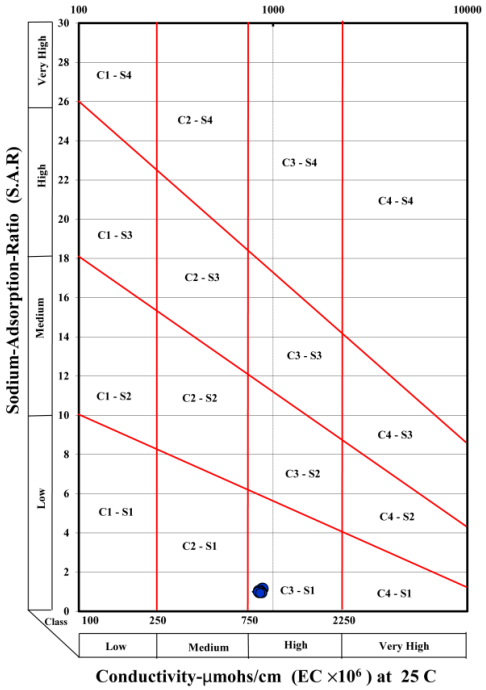
درصورتیکه مقدار PI بزرگتر از ۷۵٪ باشد (کلاس I) نشان از کیفیت عالی آب برای آبیاری دارد. اگر مقدار PI بین ۲۵ ٪ تا ۷۵٪ باشد (کلاس II) کیفیت آب برای آبیاری خوب می‌باشد و درصورتیکه مقدار PI کمتر از ۲۵٪ باشد (کلاس III) که کیفیت آب برای آبیاری نامناسب ارزیابی می‌شود (جدول۴). مقادیر حاصل از شاخص نفوذپذیری برای آب رودخانه دوغ نشان داد که تمامی نمونه‌ها در کلاس دوم قرار می‌گیرد. در نتیجه کیفیت آب رودخانه دوغ براساس شاخص نفوذپذیری خوب ارزیابی می‌شود (جدول۴).

شاخص ویلکوکس[2]: ویلکوس با استفاده از دو پارامتر هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR[3]) کیفیت آب را برای کشاورزی طبقه‌بندی نمود (۲۱). هدایت الکتریکی یکی از مهمترین پارامترها در تعیین کیفیت آب برای کشاورزی است که می‌تواند بر رشد گیاه، عملکرد و کیفیت محصولات زراعی تاثیر گذار باشد (۱۳). افزایش شوری سبب جذب آب و مواد مغذی از خاک و در پی آن کاهش فعالیت‌های اسمزی در گیاهان می‌شود (۱۷). نسبت جذب سدیم (SAR) بعنوان یک شاخص موثر در ارزیابی خطر بالقوه سدیم در محلول در حال تعادل با فاز جامد خاک و همچنین خطر قلیایی شدن خاک است (۱۳ و ۱۹). کلسیم، منیزیم و سدیم کاتیون‌های مهم از نظر آب مصرفی در بخش کشاورزی هستند. یون‌های سدیم و پتاسیم، پراکندگی ذرات رس را تسهیل می‌کنند همچنین باعث کاهش نفوذپذیری خاک می‌شوند (۱۳). نسبت جذب سدیم برای هر نمونه آب با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$SAR = Na^+ / \left(\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (۵)$$

در شاخص ویلکوکس، S نماینده SAR و C نماینده EC بوده که در کل کیفیت آب برای کشاورزی را در ۴ دسته خیلی خوب، خوب، متوسط و بد طبقه‌بندی می‌شود. براساس تجمع نمونه‌ها در نمودار ویلکوکس کیفیت آب رودخانه دوغ در کلاس C3S1 قرار می‌گیرد (شکل۸) که برای کشاورزی دارای کیفیت متوسط می‌باشد.

[1] Permeability index
[2] Wilcox Index
[3] Sodium Adsorption Ratio



شکل۸- دیاگرام ویلکوکس آب رودخانه دوغ

طبقه‌بندی آب برای صنعت

شاخص اشباع لانژلیه (LSI): این شاخص مدلی است مشتق شده از مفهوم تئوریکی اشباع و شاخصی از درجه اشباع آب با کربنات کلسیم را ارائه می‌نماید. میزان LSI، مفهوم اشباع را با استفاده از pH به عنوان یک متغیر اصلی بیان می‌نماید (۱۱). شاخص اشباع لانژلیه از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$LSI = pH - pHs \qquad (۶)$$

که pHs، در واقع pH اشباع آب از کلسیت یا کربنات کلسیم می‌باشد. pHs یا pH اشباع تاثیر پارامترهایی نظیر کلسیم، قلیایت کل، جامدات محلول و دما را در محاسبه شاخص نشان می‌دهد و از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$pH_s = \left[(9.3+\log A+\log B)-(\log C-\log D)\right] \qquad (۷)$$

در رابطه بالا پارامتر A بیانگر TDS آب (میلی‌گرم بر لیتر)، B دمای آب (درجه سلسیوس)، C سختی کلسیم (میلی‌گرم بر لیترکربنات کلسیم) و D قلیایت آب (میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم) می‌باشند. براساس شاخص LSI، آب دارای خاصیت نسبتا خورنده‌است. اگرچه در دو نمونه آب برداشت شده در طول زمان نمونه‌برداری از خاصیت خورندگی آب کم شده و تمایل به رسوبگذاری در آب رودخانه دیده می‌شود.

شاخص پایداری رایزنر (RSI): این شاخص ارتباط بین یک سری داده‌های تجربی با ضخامت پوسته مشاهده شده در سیستم‌های آب شهری را با شیمی آب تبیین می‌نماید. نظیر شاخص LSI، RSI نیز بر مبنای مفهوم سطح اشباعیت می‌باشد. RSI ارتباط بین حالت اشباع کربنات کلسیم و تشکیل پوسته را بصورت کمی نشان می‌دهد. شاخص پایداری رایزنر از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$RSI = 2(pHs) - pH \qquad (۸)$$

درصورتیکه مقدار RSI کمتر از ۶ باشد آب رسوبگذار، بین ۶ تا ۶/۵ خنثی و بیشتر از ۶/۵ خاصیت خورندگی دارد.

نسبت خورندگی[1](CR): خورندگی یک پروسه الکترولیتی است که در سطح فلزات ایجاد می‌شود و باعث تخریب و سوراخ شدن دیواره‌های فلزی می‌گردد. در کشاورزی این عامل بوسیله پارامتر نسبت خورندگی یا CR جهت بررسی کیفیت آب در لوله‌های انتقال به مزارع مورد بررسی قرار می‌گیرد. این نسبت را می‌توان از رابطه ۹ محاسبه نمود:

$$CR = \left[\frac{Cl}{35.5} + 2\left(\frac{SO_4^{2-}}{96}\right)\right] \Big/ \left[2\left(\frac{HCO_3^- + CO_3^{2-}}{100}\right)\right] \qquad (۹)$$

آبهای سطحی و زیرزمینی با میزان CR کمتر از یک برای انتقال آب با هر نوع لوله‌ای مناسب‌اند اما اگر این نسبت (CR) بیش از یک باشد، برای انتقال آب نمی‌توان از لوله‌های فلزی استفاده نمود (۲۰). باتوجه به مقادیر نسبت خورندگی ارائه شده در جدول۵، در طول کل دوره نمونه‌برداری، آب برای انتقال با لوله‌های فلزی مناسب می‌باشد.

[1] Corrosivity ratio

جدول۵: مقادیر محاسبه شده شاخص‌های لانژلیه، رایزنر و نسبت خورندگی برای رودخانه دوغ

شماره نمونه	شاخص LSI	شاخص RSI	نسبت CR	تفسیر شاخص LSI	تفسیر شاخص RSI	تفسیر نسبت CR
۱	۰/۰۳۳	۷/۲	۰/۴۹	نسبتا رسوب‌گذار	نسبتا خورنده	بی‌خطر
۲	۰/۲۴	۷	۰/۵۳	نسبتا خورنده	نسبتا متعادل	بی‌خطر
۳	-۰/۰۱۱	۷/۲	۰/۵۴	نسبتا خورنده	نسبتا خورنده	بی‌خطر
۴	-۰/۰۳۶	۷/۶	۰/۵۱	نسبتا خورنده	نسبتا خورنده	بی‌خطر
۵	۰/۰۱۲	۷/۸	۰/۵۷	نسبتا رسوب‌گذار	نسبتا خورنده	بی‌خطر
۶	-۰/۰۴۴	۷/۸	۰/۵۴	نسبتا خورنده	نسبتا خورنده	بی‌خطر
۷	-۰/۰۰۷۶	۷/۸	۰/۵۵	نسبتا خورنده	نسبتا خورنده	بی‌خطر
۸	-۰/۲۹	۷/۵	۰/۵۴	نسبتا خورنده	نسبتا خورنده	بی‌خطر
۹	-۰/۰۲۳	۷/۷	۰/۵۴	نسبتا خورنده	نسبتا خورنده	بی‌خطر
۱۰	-۰/۰۹۶	۷/۶	۰/۵۳	نسبتا خورنده	نسبتا خورنده	بی‌خطر

نتیجه‌گیری

این مطالعه به‌منظور بررسی هیدروشیمی و تعیین کاربردهای آب‌های سطحی با استفاده از شاخص‌های شرب، کشاورزی و صنعت انجام شد. نتایج حاصل از بررسی‌های هیدروشیمیایی رودخانه دوغ نشان داد که واکنش‌آب-سنگ مهمترین عامل در کنترل شیمی آب رودخانه دوغ می‌باشد. همچنین رخساره‌های هیدروشیمیائی غالب آب رودخانه به‌ترتیب بی‌کربنات کلسیک و بی‌کربنات منیزیک-کلسیک می‌باشد.

براساس میزان شباهت هیدروشیمیایی میان نمونه‌های آبی برداشت شده از رودخانه دوغ، دو خوشه مجزا را می‌توان تفکیک نمود. اگرچه اختلاف بین دو خوشه بسیار ناچیز است و می‌توان هر دو خوشه را یک خوشه واحد در نظر گرفت. این امر بیانگر وجود یک منبع آبی با ترکیب شیمیایی مشخص می‌باشد.

نتایج حاصل از نمودار درختی مربوط به نمونه‌های آبی با نتایج دیاگرام‌های استیف و پایپر مبنی بر وجود یک منبع آبی واحد با ترکیب شیمیایی مشخص مطابقت دارد. همچنین، باتوجه به نمودار درختی بین آنیون‌های و برخی از پارمترهای میکروبی اندازه‌گیری شده، می‌توان دو خوشه کاملا مجزا را تشخیص داد. خوشه اول دارای آنیون‌های اصلی آب (نظیر بیکربنات، سولفات...) می‌باشد. این خوشه نشان از تاثیر سنگ‌های حوضه بالادست در کیفیت آب رودخانه دوغ دارد. این امر می‌تواند تاکیدی بر فعال بودن نقش واکنش آب-سنگ در ترکیب شیمیایی آب رودخانه دوغ باشد که در نمودار گیبس رودخانه نیز به آن اشاره‌شد. خوشه دو متشکل از پارامترهای نیترات، فسفات، کلیفرم مدفوعی و... است. با توجه به ماهیت پارامترها در این خوشه، عامل انسانی نظیر تخلیه فاضلابهای شهری و روستایی و پساب‌های کشاورزی می‌تواند نقش مهمی در تغییر کیفیت آب این رودخانه داشته باشد. از اینرو عوامل لیتولوژیکی و انسانی دو عامل اصلی در تغییر میزان پارامترهای فیزیکوشیمیایی و میکروبی و درنتیجه تغییر کیفیت آب رودخانه دوغ بشمار می‌روند.

مقدار شاخص NSFWQI محاسبه شده برای رودخانه دوغ در کل دوره بین ۵۰ تا ۷۰ متغیر است. این مقدار بیانگر کیفیت متوسط آب رودخانه برای شرب می‌باشد. درحالیکه نتایج حاصل از دیاگرام شولر، کیفیت آب رودخانه دوغ در رده خوب قرار می‌گیرد. نتایج مقایسه برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی و همچنین میکروبی با استانداردهای موجود برای آب شرب نشان داد که بجز کدورت و کلیفرم مدفوعی، تمامی پارامترها بدون انجام تصفیه خاصی قابل استفاده در بخش شرب می‌باشند. اگرچه بدلیل پایین بودن مقدار فلوراید در آب رودخانه دوغ برای مصرف انسان، نیاز به اضافه نمودن فلوراید به آب آشامیدنی است. همچنین برای کاهش کدورت و از بین بردن کلیفرم مدفوعی از آب رودخانه دوغ انجام دو نوع تصفیه به ترتیب فیزیکی و میکروبی الزامی می‌باشد.

در تمامی نمونه‌ها نسبت منیزیم کمتر از ۵۰ می‌باشد که این امر بیانگر کیفیت مناسب آب برای آبیاری است. بطوریکه استفاده از این آب اثر معکوسی بر کیفیت خاک و بازدهی محصولات کشاورزی نخواهد داشت. همچنین باتوجه به شاخص نفوذپذیری و درصد سدیم محلول تمامی نمونه‌ها دارای کیفیت خوب برای آبیاری هستند و استفاده طولانی مدت از آب رودخانه دوغ تاثیر چندانی بر روی نفوذپذیری خاک نخواهد داشت. براساس نتایج حاصل از شاخص‌های کشاورزی، کیفیت آب برای آبیاری خوب ارزیابی شده‌است و نیازی به اصلاح خاک بعداز استفاده از آب رودخانه دوغ نیست. اگرچه براساس دیاگرام ویلکوکس کیفیت آب برای کشاورزی در رده متوسط قرار می‌گیرد.

نتایج طبقه‌بندی آب برای صنعت براساس شاخص‌های اشباع لانژلیه (LSI) و پایداری رایزنر (RSI) و همچنین نسبت خوردگی کمی متفاوت می‌باشد. باتوجه به شاخص اشباع لانژلیه، آب‌رودخانه دوغ غالبا خاصیت نسبتاً خورنده دارد. در برخی از نمونه‌ها مربوط به رودخانه تمایل کمی به رسوبگذاری وجود دارد. به‌نظر می‌رسد باتوجه به ثابت بودن ترکیب شیمیایی آب رودخانه دوغ، به احتمال فراوان دمای آب‌رودخانه نقش تعیین کننده‌ای در تمایل آب برای خورندگی و یا رسوبگذاری دارد. بطوریکه با افزایش دما آب تمایل به رسوبگذاری دارد و با کاهش دما آب خورنده می‌شود. از آنجائیکه اغلب نمونه‌ها در فصول سرد برداشت شده‌است این امر بدیهی به نظر می‌رسد. نتایج حاصل از شاخص

پایداری رایزنر نشان داد که در کل دوره نمونه‌برداری آب خاصیت نسبتاً خورنده دارد. براساس نسبت خوردگی، برای انتقال آب رودخانه دوغ می‌توان از انواع لوله‌های فلزی بدون هیچ مشکلی استفاده نمود.
باتوجه به نتایج حاصل از شاخص‌های بکار گرفته شده در این پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت که آب رودخانه دوغ از کیفیت نسبتا خوبی برای استفاده در بخش‌های مختلف شرب، کشاورزی و صنعت برخوردار است. اگرچه در بخش شرب تصفیه آب برای کاهش برخی از پارامترها نظیر کدورت و کلی‌فرم ضروری به‌نظر می‌رسد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان مقاله اعالم می نمایند که از اصول اخالقی انجام و انتشار پژوهش پیروی نموده اند.

حامی مالی

حمایت مالی این مقاله در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول، توسط دانشگاه گنبدکاووس انجام شده و بدینوسیله نویسندگان مقاله، مراتب قدردانی خود را از دانشگاه گنبدکاووس ابراز می‌دارند.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی: مجتبی قره‌محمودلو، نادر جندقی و علی حشمت‌پور؛ روش شناسی و تحلیل داده‌ها: حمیدرضا عباسی‌مقدم و مصطفی سید.
نظارت و نگارش نهایی: مجتبی قره‌محمودلو.

تعارض منافع

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

منابع

۱. حسینی س.ر، جاهدی طرقی م. ۱۳۸۱. تجزیه و تحلیل ژئومورفولوژیکی سیلاب های رودخانه مادرسو (استان گلستان). مجله جغرافیا و توسعه منطقه‌ای. ۷: ۱۱۵-۸۹.
doi: 10.22067/GEOGRAPHY.V4I7.4197

۲. خادم‌پور ف. شهیدی ع. ۱۳۹۶. ارزیابی کیفی آب های سطحی با استفاده از روش CWQI و نرم افزار Aquachem (مطالعه موردی: رودخانه قاین در خراسان جنوبی). فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط. ۳۰ (۳): ۷۸۶-۱۷۹.
doi:10.22038/JREH.2018.28890.1194

۳. سالاری م، رادمنش ف.، زارعی ح. ۱۳۹۲. ارزیابی کمی و کیفی آب رودخانه کارون با استفاده از شاخص NSFWQI و روش AHP. مجله انسان و محیط زیست. ۱۰(۲۳)۲۲-۱۳.
https://he.srbiau.ac.ir/article_3459.html

۴. فریدگیگلو ب، نجفی‌نژاد ع، مغانی بیلهسوار و، غیاثی ا. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه زرینگل استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۰(۱): ۹۵-۷۷.
https://jwsc.gau.ac.ir/article_1086.html

۵. قاسمی دهنوی ع، ساریخانی ر، حسینی س.ح، احمدنژاد ز، ابراهیمی ب. ۱۳۹۶. ارزیابی کمی و کیفی آب‌های سطحی با استفاده از تحلیل آماری در رودخانه آزنا لرستان. مجله محیط ریست و مهندسی آب. ۲(۴): ۳۲۱-۳۰۶.
https://www.jewe.ir/article_40977.html

۶. قره‌محمودلو م، رقیمی م، صفارزاده ع، خدایی ک. ۱۳۸۷. استفاده از روش‌های گرافیکی و آماری چند متغیره در تعیین عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی شهر بندرگز. فصلنامه زمین شناسی ایران. ۲(۷): ۲۷-۱۳.
https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=109379

۷. محسنی بندپی ع، مجلسی م، کاظم پور ا. ۱۳۹۳. ارزیابی کیفیت آب رودخانه گل‌گل در استان ایلام بر اساس شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI). مجله سلامت در حوزه. ۱(۴): ۵۳-۴۵.
https://journals.sbmu.ac.ir/jhf/article/view/5561/5788

۸. مروج م، ابراهیمی ک، کریمی‌راد ا. ۱۳۹۷. ارزیابی وضعیت کیفی رودخانه کارون براساس شاخص کیفیت آب و استفاده از GIS. فصلنامه اکوهیدرولوژی. ۱(۴): ۲۳۳-۲۲۳.
doi:https://dx.doi.org/10.22059/ije.2017.60905

۹. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. ۱۳۹۱. آب آشامیدنی-ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی (۱۰۵۳).
https://vct.iums.ac.ir/uploads/payvast1_ab_1053.pdf

۱۰. میرزایی ر، عباسی ن، ساکی‌زاده م. ۱۳۹۶. ارزیابی کیفیت آب رودخانه ها در استان بوشهر با استفاده از کیفیت آب در طول سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۹۰. مجله طب جنوب. ۲۰(۵): ۴۸۰-۴۷۰.
http://ismj.bpums.ac.ir/article-1-899-fa.html

11. Clesceri LS. 2005. Standard method for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. 15: 3635-42.
12. Doneen LD. 1964. Water quality for agriculture. Department of Irrigation, University of California, Davis. USA. https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1927051
13. Kumar M, Kumari K, Ramanathan AL, Saxena R. 2007. Acomparative evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in two intensively cultivated districts of Punjab. India. Journal of Environmental Geology. 53: 553-574.

https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10661-019-7713-8

https://link.springer.com/article/10.1007/s00254-007-0672-3

14. Liou S, Losl H. 2003. Application of two stage fuzzy set theory to river quality evaluation in https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00479-7 aiwan. Water Research. 37: 1406-1416.
15. Palliwal KV. 1972. Irrigation with saline water, ICARI Monograph No.2, New Delhi. 198 pp. https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2016024859
16. Roy K, Karim MR, Akter F, Islam MS, Ahmed K, Rahman M, Datta DK, Khan MSA. 2018. Hydrochemistry, water quality and land use signatures in an ephemeral tidal river: implications in water management in the southwestern coastal region of Bangladesh. Applied water science. 8(2):78. http://dx.doi.org/10.1007/s13201-018-0706-x
17. Saleh A, Al-Ruwaih F, Shehata M. 1999. Hydrogeochemical processes operating within the main aquifers of Kuwait. Journal of Arid Environments. 42: 195-209. https://doi.org/10.1006/jare.1999.0511
18. Sikdar PK, Sarkar SS, Palchoudhury S. 2001. Geochemical evolution of groundwater in the Quaternary aquifer of Calcutta and Howrah, India. Journal of Asian Earth Scince. Revista BISTUA. 19: 579-594. https://doi.org/10.1016/S1367-9120(00)00056-0
19. Subramani T, Elango L, Damodarasamy SR. 2005. Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Chithar River Basin. Tamil Nadu. India. Journal of Environmental Geology. 47: 1099-1110. http://dx.doi.org/10.1007/s00254-005-1243-0
20. Tripathi AK, Mishra UK, Mishra A, Tiwari S, Dubey P. 2012. Studies of hydrogeochemical in groundwater quality around Chakghat area. Rewa district. Madhya Pradesh. India. International Journal of Modern Engineering Research. 2(6): 4051-4059.
21. Wilcox LV. 1955. Classification and use of irrigation waters. U.S. Department of Agriculture. Circ. Washington. DC. US. https://www.worldcat.org/title/classification-and-use-of-irrigation-waters/oclc/1042101340
22. Zhang W, Ma L, Abuduwaili J, Ge Y, Issanova G, Saparov G. 2019. Hydrochemical characteristics and irrigation suitability of surface water in the Syr Darya River, Kazakhstan. Environmental Monitoring and Assessment. 191(9): 572.