

Estimating the groundwater quality changes (Case study: Rask Plain)

Maryam Nourzahi¹, Mahmoud Reza Mollaeinia^{2*}, Abdorrahman Mostafaei³, Nabi Jahantigh⁴

¹MSc Graduated, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Zabol University, Zabol, Iran

²Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Zabol University, Zabol, Iran

³Assistant Professor, Surveying Engineering Department, Faculty of Technology and Engineering, Zabol University, Zabol, Iran

⁴Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Zabol University, Zabol, Iran

Corresponding Author's E-mail: m_mollaeinia@uoz.ac.ir

Received: 11 July 2025
Revised: 12 Dec. 2025

Accepted: 03 Feb. 2026
Published: 24 Mar. 2024



Homepage: ijwer.uoz.ac.ir

Abstract: Today, the necessity of quantitative and qualitative monitoring of groundwater is inevitable. In this research, the quality changes of groundwater in Rask Plain, using Shuler and Wilcox methods was investigated, in the period of 2012 to 2017. The results showed that water quality decreases over time. Schuler's chart revealed that the water quality, at the Rusk station, had reduced to medium state at the end of the period, on drinking aspect. Furthermore, Wilcox's chart sed that it had reduced to class (C3_S3), on agricultural aspect. However, these changes are not significant for Firozabad, Cheraghan, Parod, and Hajiabad stations. In general, the worst and best water quality is related to Rask and Haji Abad stations, respectively. Despite of thatthe quantity of water quality parameters, except the TDS parameter, are in the range of the national standard of Iran, at all stations.

Keywords: Rask plain, Water quality, Wilcox chart, Schuler chart.

Introduction: Over-exploitation of groundwater has decreased the volume and quality of groundwater aquifers (Daneshvar Vousoughi and Dinpazhoh, 2013; Soleymani et. al., 2013; Ghomishoun et. al., 2013; Frid et. al., 2013; Moghadam et. al., 2013). As a result, groundwater quality has affected agricultural production (Ranjbar and Banakar, 2011; Salehi and Zeinivand 2014). Furthermore, in Iran, groundwater provides about 50% of the country's water needs (Farid et al., 2015; Najmi, et al., 2012). Therefore, monitoring the quality of groundwater resources and determining their usability for various uses, such as agriculture and drinking water, is important.

Various methods have been developed for quantitative and qualitative monitoring of groundwater, including: Spearman test to analyze the concentration of groundwater quality parameters in the Ardabil plain (Daneshvar Vousoughi and Dinpazhoh, 2013), Schuler diagram to determine groundwater quality in the Bam and Barvat plains (Malkutian and Akrami, 2004), Wilcox diagram to classify groundwater for agricultural use (Malkutian and Akrami, 2004), and Piper curve method to investigate the changes in quality parameters of the water of the Yellow River in Khuzestan Province (Mousavian et al., 2014).

In recent years, the Rask region has faced serious challenges in the management and use of water resources, thus, in this study, the quality of groundwater in the Rask Plain was assessed using the Wilcox and Schuler methods, and the water potential in different areas of the plain for consumption in the drinking and agricultural sectors was determined.

Methodology: Rask County is in the south of Sistan and Baluchestan Province at 24°60'E and 14°26'N (Fig. 1) (Ismail Rahmani et al., 2018). This county includes four cities: Rask, Sarbaz, Pishin, and Parud. The average rainfall in this region is 90 mm per year, which has decreased to less than 15 mm in 2019 (Sistan and Baluchestan Province Portal, 2019).

In this research, we use the Schoeller Diagram and the Wilcox Diagram to classify the quality of Rask water

sources for drinking water consumption and for agricultural use, respectively. The Schoeller Diagram is a semi-logarithmic diagram and displays the hydro-chemical classes of water in terms of the main ions dissolved in water (Baba et al., 2014). The threshold values of various parameters for classifying the quality of water sources for drinking water consumption are listed in [Table 3](#).

The Wilcox Diagram classifies water quality, based on the percentage of sodium dissolved in water and the electrical conductivity of the water (Salehi and Zeinivand 2014), to determine the suitability of water resources for agricultural use (Kumar, 2005). This diagram divides hydro-chemical parameters into four classes ([Tables 1 and 2](#)), which provide a total of sixteen different classes for classifying water quality for agricultural use (Ebadati and Houshmandzadeh, 2014).

Results and discussion: Qualitative changes in the Rask Plain were assessed at the Rask, Parud, Cheraghan, Hajiabad, and Firoozabad stations from 2003 to 2018. The annual average of calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na), chlorine (Cl), sulfate (SO₄), bicarbonate (HCO₃), total hardness (TH), and total dissolved solids (TDS) were used in this assessment.

The Schuller diagram is drawn at each station to determine the drinkability of Rask groundwater, [Figs. 3-7](#). [Fig. 3](#) shows that the TDS and TH levels are above the desirable threshold of the Iranian National Water Standard, which is 1500 and 500, respectively (source). Hence, it is not suitable for drinking. At the Firuzabad station, chlorine content and the amount of dissolved minerals in the water have not exceeded the acceptable range, and the total water hardness value has been in the good range in all years ([Fig. 4](#)). The SO₄ value at this station generally fluctuated from 7 units to 150 units. At Cheraghan station, the TDS value is within the acceptable quality range in all years and the SO₄ value in this station is 60 units and its maximum is about 200 units. At Paroud station, the value of SO₄ is more than 250 units for some years; since the value of Mg is less than 30 units for these years, it does not create any restrictions on water use. At Hajiabad station, the TDS value exceeded the good quality threshold only in 2015. Overall, the water is in the good class based on all indicators.

In [Figs. 8 to 12](#), Wilcox plots show the quality of groundwater for agricultural use at each of the stations of Rask, Firuzabad, Cheraghan, Parud, and Hajiabad. The Wilcox plot ([Fig. 8](#)) shows that at the Rusk station, the water quality has changed in classes (C3_S1), (C3_S2), and (C3_S3), respectively, meaning that the water quality trend is decreasing, making it unsuitable for agriculture in 2018. At Firouzabad station, the groundwater quality class in 2006 was (C2-S2), in 2007 (C3-S1), and in other years (C3-S2), so it is usable for agriculture. The sodium absorption ratio of the water was less than 13 units, and the water quality classes were (C3-S1) or (C3-S2), meaning the maximum salinity at the Cheraghan station is moderate ([Fig. 10](#)). Therefore, this water can be used for a variety of agricultural products. The trend of salinity changes at Parud station is almost consistent with that at Cheraghan station, although it experiences greater dispersion. The maximum sodium absorption ratio at Parud station has increased to 16. The Wilcox plot ([Fig. 12](#)) shows that the water salinity at Hajiabad station has not changed significantly except in 2007 and is mainly in class (C2_S1), moderate salinity, which shows the best water quality among all stations.

Conclusion: In this study, we evaluate groundwater quality in the Rask Plain, at Rask, Firouzabad, Cheraghan, Parud, and Hajiabad stations, using Schuller and Wilcox diagrams. The results showed that water quality, from a drinking perspective, has not differed significantly at each station during the years studied, however, the water quality is the worst at Rask station, while it is the best at Hajiabad station. From an agricultural perspective, the water quality varies from (C2_S1) at Hajiabad station to (C3_S3) at Rask station. The water quality was unsuitable for agriculture at Rask station; it was suitable for irrigation of lands with a drainage system at Firouzabad, Chiraghan, and Parod stations; and suitable and it was very suitable for agriculture at Hajiabad region.

© 2024 University of Zabol, Zabol, Iran.



This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

برآورد تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت راسک)

مریم نورزهی^۱، محمودرضا ملائی‌نیا^{۲*}، عبدالرحمان مصطفائی^۳، نبی جهاننیک^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

^۲ دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

^۳ استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

^۴ دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

پست الکترونیکی نگارنده مسئول: m_mollaenia@uoz.ac.ir

وبگاه نشریه: ijwer.uoz.ac.ir



تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۴

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۱ تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۰۱/۰۵

چکیده: امروزه ضرورت پایش کیفی آب‌های زیرزمینی امری اجتناب‌ناپذیر است. در این پژوهش روند تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت راسک، با استفاده از روش‌های شولر و ویلکاکس، در دوره زمانی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷ بررسی، و میزان مناسب بودن منابع آب جهت مصارف شرب و کشاورزی تعیین شده است. نتایج نشان می‌دهد که از کیفیت آب در گذر زمان کاسته می‌شود. به‌گونه‌ای که، کیفیت آب در دسترس در ایستگاه راسک در پایان دوره از نظر شرب تا حد متوسط، براساس نمودار شولر، و از نظر کشاورزی تا کلاس (C3_S3) کاسته شده است. گرچه، این تغییرات برای ایستگاه‌های فیروزآباد، چراغان، پارود، و حاجی آباد قابل‌توجه نیست. به‌هرحال، بدترین و بهترین کیفیت آب به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های راسک و حاجی آباد است. علی‌رغم آن، به‌جز پارامتر TDS دیگر فراسنج‌های اندازه‌گیری‌شده در تمام ایستگاه‌ها در دامنه استاندارد ملی ایران قرار دارد. کیفیت آب در ایستگاه راسک برای کشاورزی نامناسب است؛ در ایستگاه‌های فیروزآباد، چراغان، و پارود، دارای هدایت الکتریکی کمتر از ۲۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر و نسبت جذب سدیم کمتر از ۱۸ واحد است، برای آبیاری زمین‌های با سیستم زهکشی مناسب است؛ و در منطقه حاجی‌آباد برای کشاورزی بسیار مناسب است.

کلیدواژه‌ها: دشت راسک، کیفیت آب، نمودار ویلکاکس، نمودار شولر.

۱- مقدمه

برداشت از منابع آب زیرزمینی از سال ۱۹۵۰ تا سال ۲۰۰۰ به‌طور متوسط ۵ برابر شده است (Samson et al., 2010). این امر، سبب کاهش حجم و کیفیت آب آبخوان‌ها شده (Daneshvar Vousoughi and Dinpazhoh, 2013; Soleymani et. al., 2013; Ghomishoun et. al., 2013;)

برداشت از منابع آب زیرزمینی خود بر کیفیت خاک و میزان تولید محصولات کشاورزی تاثیر گذاشته است (Ranjbar and Banakar, 2011; Salehi and Zeinivand 2014). از این‌رو،

سولفات، سدیم، و کلر محلول در آب رودخانه زرد در استان خوزستان استفاده کردند.

دشت راسک در جنوب استان سیستان و بلوچستان از مکان‌های مهم گردش‌گری و کشاورزی در استان به‌شمار می‌رود. رودخانه سرباز بزرگترین رودخانه فصلی منطقه است و بزرگترین سد استان بر روی این رودخانه در نزدیکی پیشین بنا شده است. در سال‌های اخیر، منطقه راسک از خشکسالی رنج می‌برد و با چالش‌های جدی در بخش مدیریت و استفاده از منابع آبی مواجه است. از این رو شناخت وضعیت منابع آب و پایش پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی در این حوضه ضروری به‌نظر می‌رسد.

در این پژوهش کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت راسک با استفاده از روش‌های ویلکاکس و شولر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، و قابلیت آب در مناطق مختلف دشت برای مصرف در بخش‌های شرب و کشاورزی تعیین می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهرستان راسک در جنوب استان سیستان و بلوچستان در طول شرقی $24^{\circ} 60'$ و عرض شمالی $14^{\circ} 26'$ قرار دارد (شکل ۱). این شهرستان 10568 کیلومتر مربع وسعت دارد و چهار شهر راسک، سرباز، پیشین، و پارود را دربر می‌گیرد. رودخانه راسک از به هم پیوستن شاخه‌های فرعی سرکور، هسانوچ، گویم‌رک، کیشکور و پشامگ و جزآن شکل گرفته است، در منطقه دشتیاری به رودخانه باهوکلالت تغییر نام می‌دهد، به دریای عمان می‌ریزد. متوسط بارندگی این منطقه 90 میلی‌متر در سال است که در سال‌های اخیر کاهش یافته است به‌گونه‌ای که در سال 1398 به کمتر از 15 میلی‌متر رسیده است. این خشکسالی بی‌سابقه بخش عظیمی از کشاورزی را نابود و حتی در بعضی مناطق مهاجرت اجباری مردم را سبب شده است.

۲-۲- داده‌ها

برای بررسی تغییرات کیفی دشت راسک، داده‌های

مدیریت منابع آب به‌ویژه آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران از اهمیت فراوانی برخوردار است (Abbasi, Jahangir and Soltani, 2015, 2014).

در ایران، آب‌های زیرزمینی یک‌سوم منابع آبی کشور را تشکیل می‌دهد ولی حدود 50 درصد نیازهای آبی کشور را تامین می‌کند (Farid et al., 2015; Najmi, et al., 2012). بنابراین، رصد کیفیت منابع آب زیرزمینی و تعیین قابلیت مصرف آن‌ها برای مصارف گوناگون مانند کشاورزی و شرب، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در مدیریت یکپارچه منابع آب به‌شمار می‌رود.

روش‌های مختلفی برای پایش کیفی آب‌های زیرزمینی توسعه‌یافته است. مقدم و همکاران (Moghadam et al., 2013) از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و منطق بولین برای مطالعه کیفیت آب استفاده کردند. آن‌ها بیان کردند که فعالیت‌های انسانی، تغییرات آب و هوایی، دمای آب، و نفوذ آلودگی از منابع دیگر سبب آلودگی آب می‌شود. حسنی و همکاران (Hasani et al., 2012) با استفاده از منطق فازی تغییرات 24 شاخص کیفی آب جاری در قنات‌های شهرستان یزد را بررسی و بیان کردند که کیفیت آب قنات‌ها برای شرب مطلوب نیست.

دانشور وثوقی و دین‌پژوه (Daneshvar Vousoughi and Dinpazhoh, 2013) با استفاده از آزمون اسپیرمن نشان دادند که غلظت تمام پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی در دشت اردبیل در طول سال‌های 1374 تا 1387 افزایش یافته است. ملکوتیان و اکرمی (Malkutian and Akrami, 2004) براساس نمودار شولر نشان دادند که در پی کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت‌های بم و براوات در مدت $1383-1376$ ؛ در سه دسته مناسب، مناسب در حالت اضطراری و نامناسب برای شرب قرار می‌گیرد. آن‌ها، همچنین، براساس نمودار ویلکاکس بیان کردند که آب این منطقه برای کشاورزی در سه گروه مناسب، مناسب در حالت اضطرار و نامناسب قرار می‌گیرد. موسویان و همکاران (Mousavian et al., 2014) از روش منحنی پایپر برای مطالعه تغییرات پارامترهای پتاسیم، کلسیم، منیزیم،

پارامترها خود به چهار کلاس تقسیم می‌شوند (جدول‌های ۲ و ۳)، که در مجموع شانزده کلاس مختلف برای طبقه‌بندی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی ارائه می‌دهند (Ebadiati and Houshmandzadeh, 2014).

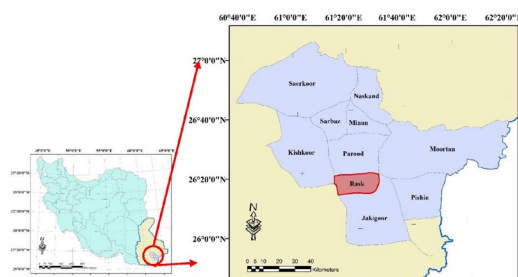


Fig. 1 Location of Rask Plain catchment area

شکل ۱ موقعیت حوزه آبریز دشت راسک

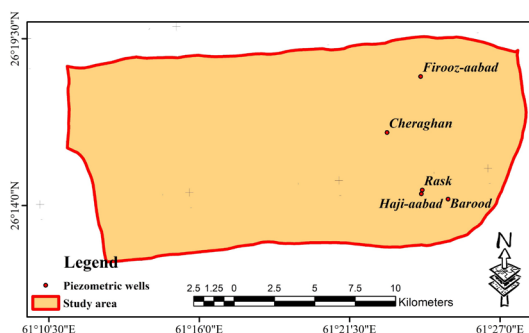


Fig. 2 Location of piezometric wells and qualitative sampling in the study plain

شکل ۲ موقعیت چاه‌های پیزومتری و نمونه‌برداری‌های کیفی در دشت مطالعاتی

جمع‌آوری شده از سال آبی ۱۳۸۲ تا سال ۱۳۹۷ در ایستگاه‌های فیروزآباد، چراغان، راسک، حاجی‌آباد، و پارود مورد ارزیابی قرار گرفت. میانگین سالانه EC، کلسیم Ca، منیزیم Mg، سدیم Na، کلر Cl، سولفات SO₄، بی کربنات HCO₃، سختی کل TH، و کل جامدات محلول TDS در ارزیابی به کار رفته است. شکل ۲ پراکنش چاه‌های پیزومتریکی کیفی آب را در گستره دشت نشان می‌دهد.

۲-۳- نمودار شولر

نمودار شولر یک نمودار نیمه‌لگاریتمی برای نمایش نتایج آنالیزهای یون‌های اصلی محلول در آب مانند SO₄، HCO₃، Cl، Mg، Ca، Na، و K و همچنین پارامتر TDS است. با این نمودار می‌توان کلاس‌های مختلف هیدروشیمیایی آب را تعیین کرد (Baba et al., 2014). مقدار حدی پارامترهای مختلف برای طبقه‌بندی کیفیت منابع آبی برای مصرف آب شرب، در جدول ۱ درج شده است.

۲-۴- نمودار ویلکاکس

طبقه‌بندی ویلکاکس کاربرد فراوانی برای تعیین میزان مناسب بودن منابع آبی برای مصارف کشاورزی دارد (Salehi and Zeinivand 2014). در این نمودار کیفیت آب براساس درصد سدیم محلول در آب و میزان هدایت الکتریکی آب طبقه‌بندی می‌شود (Kumar, 2005). این

جدول ۱ مقادیر حد آستانه برخی پارامترها برای طبقه‌بندی آب از نظر مصارف شرب با استفاده از نمودار شولر [۸].

Table 1 . Threshold values of some parameters in order to classify water in terms of drinking purposes using Schuler's diagram

Parameter	Good	Acceptable	Medium	Unpleasant	Totally unpleasant	Undrinkable
PH	7.3	7.8	9	10	11	More than 11
TDS	0-500	500-1000	1000-2000	2000-4000	4000-8100	More than 8100
TH	0-250	250-500	500-1000	1000-2000	2000-4000	More than 4000

جدول ۲ طبقه‌بندی آب کشاورزی بر اساس خطر قلیایی شدن

Table 2 Classification of agricultural water based on the risk of alkalization

Risk of alkalization	Symbol	The amount of SAR
Low	S ₁	Less than 10
Medium	S ₂	10-18
High	S ₃	18-26
Very High	S ₄	Bigger than 26

جدول ۳ طبقه بندی آب کشاورزی بر اساس هدایت الکتریکی

Table 3 Classification of agricultural water based on electrical conductivity

The amount of effect in the soil	Symbol	The amount of EC
Low	C1	100-250
Medium	C2	250-750
High	C3	750-2250
Very High	C4	Greater than 2250

بسیار قوی (بالای ۰.۹۵) با هدایت الکتریکی (EC) و کل مواد جامد محلول (TDS) همراهی می‌شوند. این رابطه نشان می‌دهد که این دو کاتیون، سهم زیادی در شوری آب دارند و احتمالاً از یک منبع مشترک و غالب، همچون انحلال سازندهای زمین‌شناسی شور یا ورود پساب، سرچشمه می‌گیرند. این هسته مرکزی شوری، با کلرید (Cl) و تا حدی با سولفات (So4) نیز پیوند مستحکمی دارد که الگوی یک آب شور سدیمی-کلریده با مولفه سولفاتی را تکمیل می‌کند. همچنین، رفتار کلسیم (Ca) و منیزیم (Mg) نشان می‌دهد این دو عنصر سازنده اصلی سختی آب هستند، در آبخوان شهر کرد نیز این دو عنصر بیشترین وزن را به‌خود اختصاص دادند (حشمتی و بیگی هرچگانی، ۲۰۱۲)، اما همبستگی نسبتاً بالای آن‌ها با پارامترهای هسته شوری بیان می‌کند که منشأ آن‌ها می‌تواند ناشی از فرآیندهای تبادل یونی در خاک باشد، جایی که ورود سدیم به سیستم، منجر به آزادسازی کلسیم و منیزیم از سطح ذرات رس می‌گردد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- همبستگی پارامترهای کیفی آب

برای بررسی همبستگی پارامترهای کیفی آب از روش غیرپارامتری اسپیرمن استفاده شد چرا که تعداد نمونه‌ها کم است. برای رعایت معجز بودن، به عنوان مثال، همبستگی پارامترها در ایستگاه راسک با استفاده از روش اسپیرمن (جدول ۴) محاسبه گردید. یافته‌ها نشان می‌دهد که بین اغلب متغیرهای شیمیایی اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها روابط معناداری وجود دارد. مشاهده می‌شود که هدایت الکتریکی (EC) و کل مواد محلول (TDS) دارای همبستگی کامل و مثبت هستند؛ این روند توسط خوش‌روش و همکاران (۲۰۲۴) و عباسی و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش شده است.

همچنین، سدیم (Na) و پتاسیم (K) با ضریب همبستگی

جدول ۴ ماتریس همبستگی اسپیرمن بین پارامترهای کیفی

Table 4 Spearman correlation matrix between qualitative parameters

	EC	TDS	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4
EC	1									
TDS	1.000**	1								
pH	-0.127	-0.127	1							
Ca	0.583*	0.583*	-0.011	1						
Mg	0.800**	0.800**	0.070	0.530	1					
Na	0.959**	0.959**	-0.248	0.394	0.659*	1				
K	0.963**	0.963**	-0.024	0.685*	9.804**	0.875**	1			
HCO3	0.284	0.284	0.487	0.043	0.446	0.208	0.407	1		
Cl	0.863**	0.863**	0.042	0.722**	0.663*	0.805**	0.836**	0.230	1	
So4	0.681*	0.681*	0- .597*	0.323	0.433	0.724**	0.549	0- .435	0.445	1.000

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

$$v_{p,stand} = \frac{v_p - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

v_p مقدار مشاهده و $v_{p,stand}$ مقدار نرمال شده پارامتر مورد مطالعه است.

یافته‌ها بیان می‌کند که:

۱. روند تغییرات پارامترهای کیفیت آب از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۸، نوسان‌های قابل توجهی در مقدار اکثر پارامترها تجربه کرده است (شکل ۳).

۲. هیدروگراف پارامترهای کیفی آب نشان می‌دهد که چندین پارامتر به‌طور هم‌زمان در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به حداکثر یا حداقل مقادیر خود در کل دوره رسیده‌است (نقاط بحرانی). اوج شوری و غلظت یون‌های اصلی در سال ۱۳۹۵ به عنوان بحرانی‌ترین نقطه نمودار قابل شناسایی است که نیازمند اقدامات فوری برای کنترل کیفیت آب است (شکل ۳).

۳. به طور کلی، روند افزایشی در پارامترهای شوری‌زای اصلی شامل EC، TDS، کلرید، پتاسیم و سدیم مشاهده می‌شود، که حاکی از افزایش تدریجی شوری در منابع آب دشت راسک است. این روند به‌ویژه در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ شدت بیشتری گرفته است. هم‌زمان، روند صعودی کلسیم و منیزیم نشان‌دهنده افزایش سختی آب است (شکل ۴).

به طور کلی، تغییر غلظت یون‌های کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، پتاسیم (K^+) و کلرید (Cl^-) در آب عمدتاً تابع فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی است. شکل ۵ نشان می‌دهد که تعادل یا عدم تعادل این واکنش‌ها تحت تاثیر عوامل محیطی مانند تبخیر، بارش و فعالیت‌های انسانی (مانند ورود پساب و کود) است.

۴. گرچه پارامتر pH در محدوده استاندارد نوسان دارد، اما تمایل به کاهش (اسیدی‌شدن) در سال‌های پایانی دوره مشهود است.

همبستگی معکوس و معنادار بین سولفات (SO_4) و pH نشان می‌دهد که اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی (مانند پیریت) در محیط، منجر به تولید اسید سولفوریک و در نتیجه، افزایش غلظت سولفات و کاهش هم‌زمان pH می‌شود. این مکانیسم، یک فرآیند طبیعی اسیدی‌سازی را برای منبع آب توصیف می‌کند. در مقابل، بیکربنات (HCO_3) که معمولاً به عنوان تثبیت‌کننده اصلی pH عمل می‌کند، در این مجموعه داده رفتاری نسبتاً مستقل و خنثی از خود نشان می‌دهد؛ یعنی سیستم بافری کربناتی نقش کم‌رنگی در کنترل اسیدیته آب زیرزمینی دشت راسک دارد.

روند تغییرات کیفی آب نشان از یک محرک اولیه دارد که افزایش غلظت یون‌ها و شور شدن آب را بر پایه سدیم و پتاسیم سبب شده است. از محرک‌های اولیه می‌توان به خشکسالی، در نواحی مرکزی و شرقی استان سیستان و بلوچستان با احتمال بیش از ۵۰ درصد رخ می‌دهد (رضی و همکاران، ۱۳۸۶) و برداشت بی‌رویه (دستورانی و همکاران، ۲۰۱۷) اشاره نمود. این شوری غالب، سایر کاتیون‌ها مانند کلسیم و منیزیم را نیز تحت تاثیر قرار داده است. هم‌زمان، یک فرآیند ثانویه مانند اکسیداسیون سولفور، با کاهش pH، بر پیچیدگی و حساسیت سیستم افزوده و آن را در معرض خطر اسیدی شدن بیشتر قرار داده است. بنابراین، راهکارهای مدیریتی باید به‌طور هم‌زمان بر کنترل منابع شوری و همچنین پایش و مهار فرآیندهای اسیدی‌ساز متمرکز شوند.

۳-۲- روند تغییر مقدار پارامترهای کیفی آب

برای تحلیل روند تغییرات پارامترها روند تغییرات سالیانه، به عنوان مثال برای ایستگاه راسک، ارزیابی گردید. چون دامنه مقدار پارامترهای کیفی متفاوت است برای یکپارچگی فرآیند تغییرات آن‌ها، داده‌ها با استفاده از روش نرمال‌سازی Z-score، رابطه (۱)، نرمال گردید در این روش ویژگی‌ها به‌گونه‌ای تغییر می‌کنند که میانگین (μ)^۱ برابر با ۰ و انحراف معیار (σ)^۲ برابر با ۱ باشد.

^۱ Mean

^۲ Standard Deviation

سال‌ها در محدوده قابل قبول و متوسط قرار دارد. به‌هرحال، مقدار TDS و TH بیش از آستانه مطلوب استاندارد ملی آب ایران و به‌ترتیب برابر ۱۵۰۰ و ۵۰۰ است (Standard N. 1053, 2009). از این رو برای آشامیدن مطلوب نیست، گرچه، مقدار سولفات (SO_4) از آستانه کیفیت خوب فراتر نرفته است؛ و حداکثر مقدار HCO_3 و Ca به ترتیب برابر ۴۵۰ و ۶۰ واحد را تجربه می‌کند. همچنین، مقدار Mg تا ۶۷ واحد در برخی از سال‌ها افزایش یافته است، ولی مقدار SO_4 بسیار کمتر از ۲۵۰ واحد می‌باشد، از این نقطه نظر در حد مطلوب قرار دارد (Standard N. 1053, 2009).

همچنین، مشاهده می‌شود که هرچه SO_4 افزایش یافته است از مقدار HCO_3 کاسته شده است یعنی ارتباط تنگانی بین این دو پارامتر وجود دارد. وجود بی کربنات بالا ممکن است به دلیل فرسایش و هوازدگی کانی‌های کربناته باشد (Salgi and Nasiri, 2019) که احتمالاً در سازند زمین‌شناسی منطقه وجود دارد.

ایستگاه فیروزآباد

شکل ۷ بیان می‌کند که در ایستگاه فیروزآباد مقدار کانی‌های محلول در آب و مقدار کلر آن از دامنه قابل قبول فراتر نرفته است و مقدار سختی کل آب در تمام سال‌ها در دامنه خوب قرار دارد. مقدار SO_4 در این ایستگاه، به طور کلی، از مقدار ۷ واحد تا ۱۵۰ واحد نوسان داشته است (در برخی از سال‌ها کمی از مرز کیفیت خوب فراتر رفته است)، برای این سال‌ها با افزایش مقدار SO_4 به حدود ۱۵۰ واحد مقدار HCO_3 به کمتر از ۸۰ واحد کاهش یافته است؛ که نشان‌دهنده گذار از محیط‌های آهکی به محیط‌های گچی یا سولفاته است (Gaillardet et al., 2019). مقدار Ca حدود ۳۰ واحد است که بسیار کوچک‌تر از آستانه مطلوب ۳۰۰ میلی گرم در لیتر استاندارد ملی آب ایران است (Standard N. 1053, 2009).

مقدار Mg به ندرت از ۳۰ میلی گرم در لیتر تجاوز کرده است چون مقدار SO_4 کمتر از ۲۵۰ میلی گرم در لیتر است. کیفیت آب برحسب این دو پارامتر از حد خوب عبور نمی‌کند.

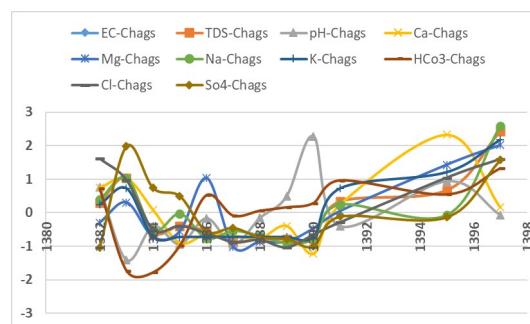


Fig. 3 Hydrographs of water quality parameters

شکل ۳ هیدروگراف‌های پارامترهای کیفی آب

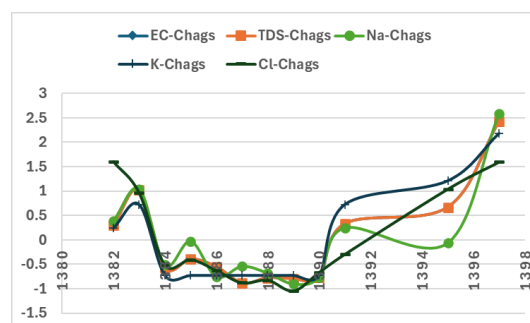


Fig. 4 Hydrographs of main salinizers parameters

شکل ۴ هیدروگراف پارامترهای اصلی شوری‌زا

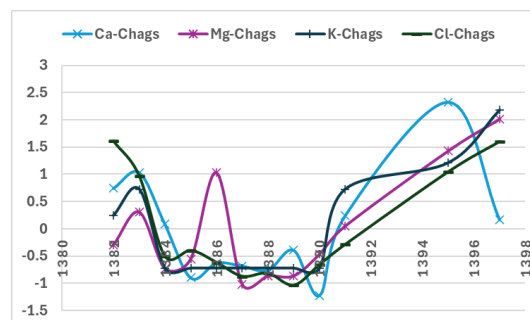


Fig. 5 Hydrographs of main salinizers parameters

شکل ۵ هیدروگراف پارامترهای اصلی شوری‌زا

۳-۳- کیفیت منابع آب از نظر شرب

نمودار شولر برای هر یک از ایستگاه‌ها رسم و در شکل‌های ۶-۱۰ نشان داده شده است.

ایستگاه راسک

شکل ۶ نشان می‌دهد در ایستگاه راسک میزان کل مواد جامد محلول (TDS) و میزان سدیم (Na) موجود در آب به‌قدری است که کیفیت آب در ایستگاه راسک برای تمام

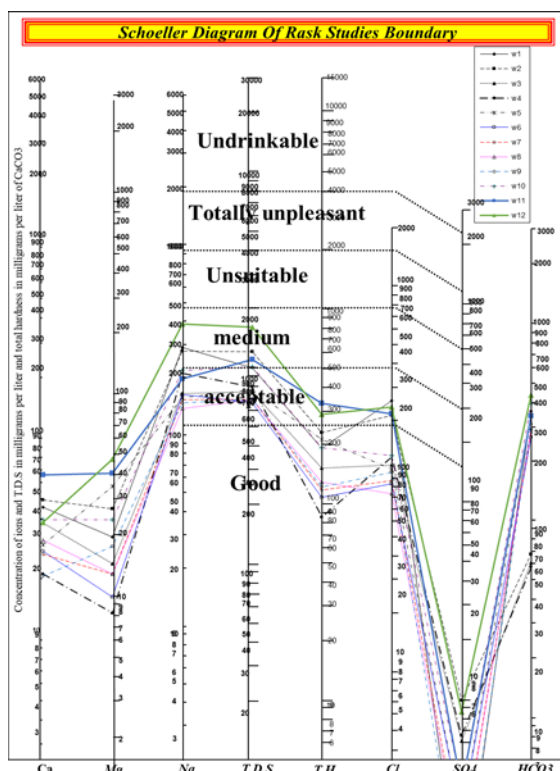


Fig. 6 Drinking water Classification, Rask station

شکل ۶ طبقه بندی آب برای مصارف شرب در ایستگاه راسک

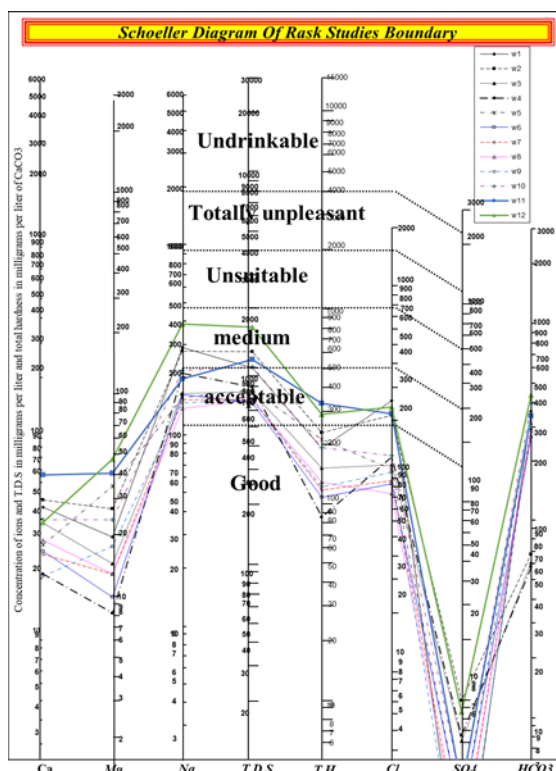


Fig. 7 Drinking water Classification, Firouzabad station

شکل ۷ طبقه بندی آب برای مصارف شرب در ایستگاه فیروزآباد

Cl همگون با مقدار و روند آن‌ها در ایستگاه فیروزآباد تغییر کرده است (شکل ۹). مقدار SO_4 برای برخی سال‌ها بیش از ۲۵۰ واحد است؛ از آنجا که مقدار Mg برای این سال‌ها کمتر از ۳۰ واحد می‌باشد، محدودیتی در استفاده از آب ایجاد نمی‌کند.

ایستگاه حاجی آباد

در این ایستگاه مقدار TDS فقط در سال ۱۳۹۴ از آستانه کیفیت خوب فراتر رفته است، بطور کلی، آب برحسب تمام سنج‌ها در کلاس خوب قرار دارد. علی‌رغم آن، روند تغییرات سنج‌ها شبیه روند آن‌ها در ایستگاه راسک است، گرچه مقدار SO_4 در این ایستگاه مقداری بیشتر از راسک است (شکل ۱۰).

۴-۳- کیفیت منابع آب دشت راسک از نظر کشاورزی

برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی

ایستگاه چراغان

در این ایستگاه، فراسنج‌های SO_4 و HCO_3 زیاد نوسان داشته است که می‌تواند در نتیجه ورود آلاینده‌گی در اثر نفوذ آب به آبخوان باشد. مقدار TDS در یکی از سال‌ها انحراف بسیار زیادی نسبت به مقدار آن در دیگر سال‌ها دارد که

احتمالا در اثر خطای رخ داده در قرائت یا آزمایش است (شکل ۸). همچنین، فرآیند تغییر کیفیت آب در این ایستگاه تقریبا هم‌نوا با شرایط ایستگاه فیروزآباد است. البته مقدار TDS در تمام سال‌ها در محدوده کیفیت قابل قبول قرار دارد و مقدار SO_4 در این ایستگاه برابر ۶۰ واحد و حداکثر آن در حدود ۲۰۰ واحد است که افزایش معنی‌داری نسبت به ایستگاه فیروزآباد را تجربه می‌کند.

ایستگاه پارود

در این ایستگاه، مقدار فراسنج‌های Ca، Mg، TDS، TH و

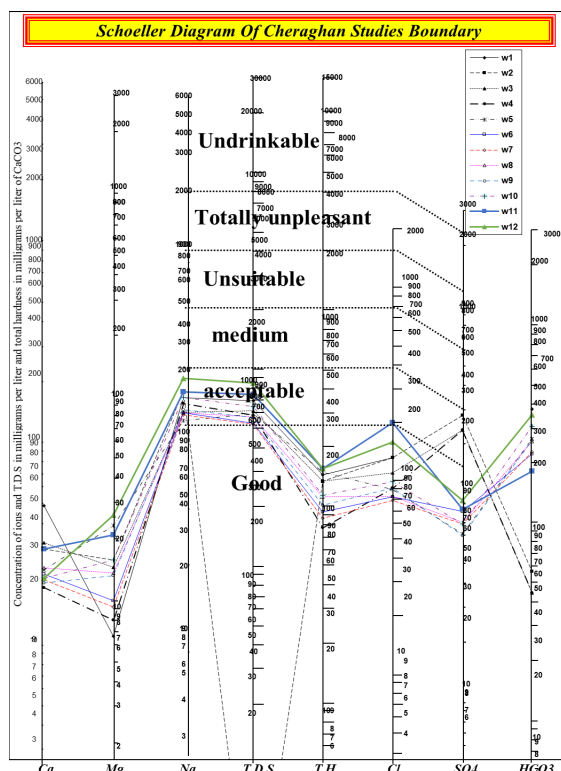


Fig. 8 Drinking water Classification, Cheraghan station

شکل ۸ طبقه بندی آب برای مصارف شرب در ایستگاه چراغان

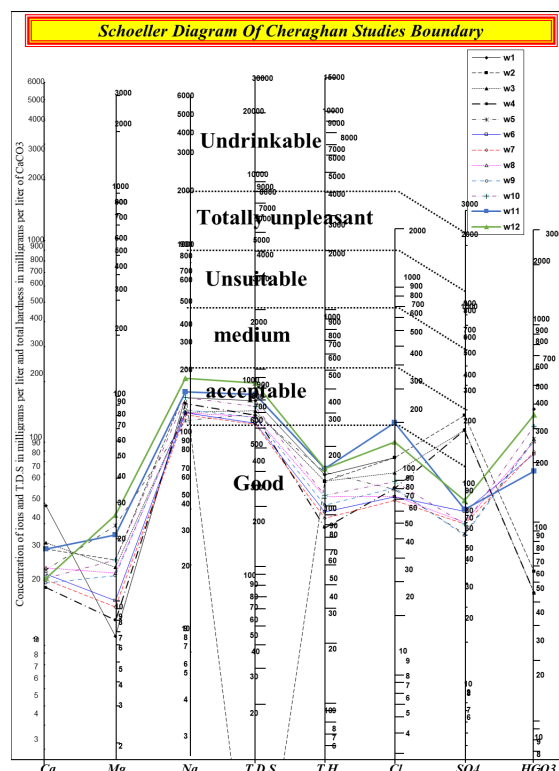


Fig. 9 Drinking water Classification, Paroud station

شکل ۹ طبقه بندی آب برای مصارف شرب در ایستگاه پارود

تنها با اقدامات اصلاحی گسترده (مانند شست‌وشوی خاک، افزودن اصلاح‌کننده‌ها) امکان‌پذیر است (Noori et al., 2019).

ایستگاه فیروزآباد

شکل ۱۲ نشان می‌دهد که آب ایستگاه فیروزآباد در سال ۱۳۸۵ از شوری متوسط برخوردار است و در سایر سال‌ها، شوری آب زیاد است. میزان قلیائیت آب در سال ۸۶ کم و در دیگر سال‌ها در دامنه متوسط قرار دارد. به طور کلی، نسبت جذب سدیم آب کمتر از ۱۸ واحد است. کیفیت آب در سال ۱۳۸۵ در کلاس (C₂-S₂)، در سال ۱۳۸۶ در کلاس (C₃-S₁)، و در سال‌های دیگر در کلاس (C₃-S₂) قرار دارد، و برای کشاورزی قابل استفاده است.

ایستگاه چراغان

نسبت جذب سدیم آب در ایستگاه چراغان، به طور کلی،

در گستره دشت راسک، دیاگرام ویلکاکس در هر یک از ایستگاه‌های راسک، فیروزآباد، چراغان، پارود، و حاجی‌آباد در شکل‌های ۱۱-۱۵ رسم داده شده است.

ایستگاه راسک

پراکنش نقاط در دیاگرام ویلکاکس (شکل ۱۱) نشان می‌دهد که در ایستگاه راسک، در تمام سال‌ها، کیفیت آب برحسب ضریب هدایت الکتریکی در کلاس C₃ یعنی شوری زیاد قرار دارد؛ ولی مقدار قلیائیت آب در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۹ کم (S₁)، در سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۸۵، ۱۳۸۸-۱۳۸۷، و ۱۳۹۵ متوسط (S₂)، و در سال ۱۳۹۷ زیاد (S₃) است، و به طور کلی، به ترتیب در کلاس (C₃-S₁)، (C₃-S₂)، و (C₃-S₃) قرار دارند، که بیان می‌کند خطر سدیمی به مرور افزایش یافته است به گونه‌ای که در سال ۱۳۹۷ برای کشاورزی مناسب نیست. استفاده از این آب برای آبیاری

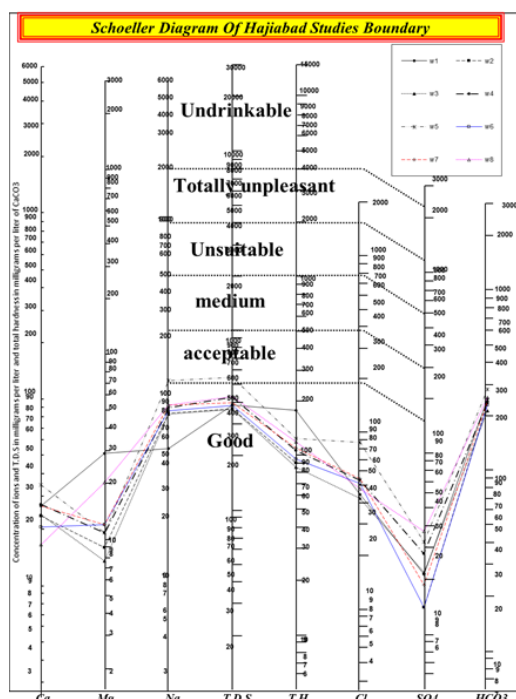


Fig. 10 Drinking water Classification, Hajiabad station
شکل ۱۰ طبقه‌بندی آب برای مصارف شرب؛ ایستگاه حاجی‌آباد.

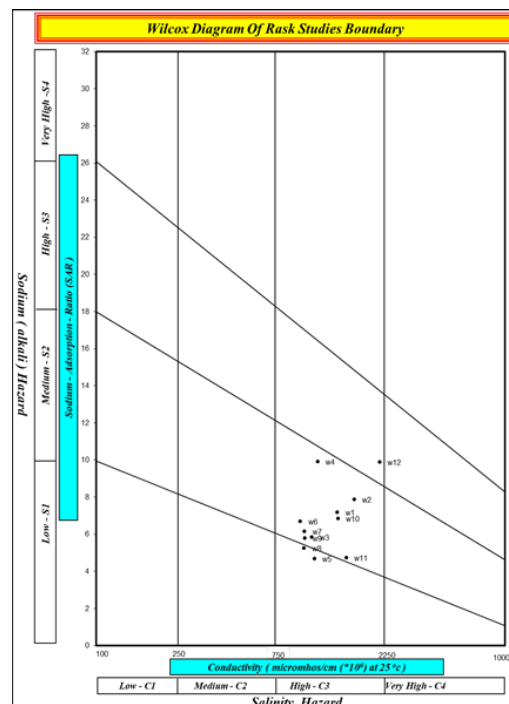


Fig. 11 Agricultural water Classification, Rusk station
شکل ۱۱ طبقه‌بندی آب برای مصرف کشاورزی در ایستگاه راسک

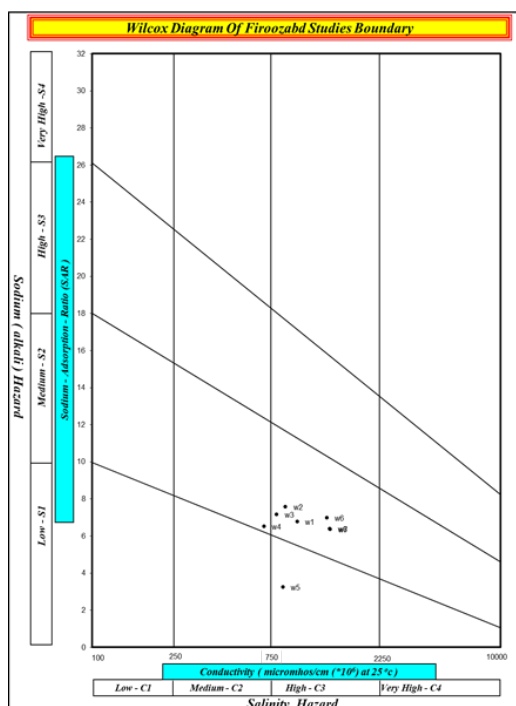


Fig. 12 Agricultural water Classification, Firoozabad station

شکل ۱۲ طبقه‌بندی آب برای کشاورزی در ایستگاه فیروزآباد

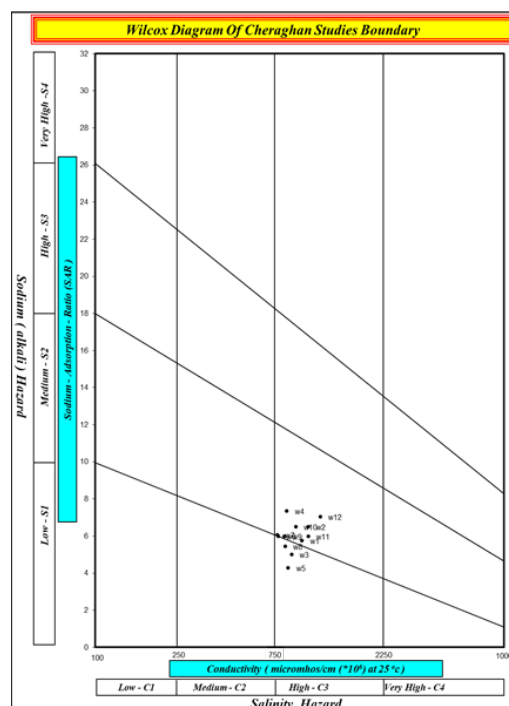


Fig. 13 Agricultural water Classification, Cheraghan station

شکل ۱۳ طبقه‌بندی آب برای کشاورزی در ایستگاه چراغان

ایستگاه حاجی آباد

پراکنش نقاط در دیاگرام ویلکاکس (شکل ۱۵) نشان می‌دهد که شوری آب در ایستگاه حاجی‌آباد به‌جز در سال ۱۳۸۶ تغییر قابل‌توجهی را تجربه نکرده است و عمدتاً در کلاس (C2-S1)، شوری متوسط قرار دارد، و از بهترین کیفیت آب در میان تمام ایستگاه‌ها برخوردار است.

۴- نتیجه‌گیری

بهره‌برداری بهینه از آب ایجاب می‌کند پارامترهای مبین کیفیت منابع آب برای مصارف مختلف ازجمله شرب و کشاورزی همواره پایش و کنترل گردد. در این تحقیق، کیفیت آب در پهنه دشت راسک با استفاده از داده‌های در دسترس ایستگاه‌های راسک، فیروزآباد، چراغان، پارود، و حاجی آباد؛ براساس روش‌های شولر و ویلکاکس مورد

کمتر از ۱۳ واحد است، و در دو کلاس (C3-S1) و (C3-S2) یعنی تا شوری متوسط قرار دارد (شکل ۱۳). بنابراین، آب در این ایستگاه را می‌توان برای انواع خاک‌ها و محصولات کشاورزی استفاده نمود. باید توجه نمود که خطر سدیمی متوسط، ممکن است در خاک‌های سنگین مشکل نفوذپذیری ایجاد کند، در این صورت، خاک (مثلاً با گچ) اصلاح شود (Shakour et al., 2023).

ایستگاه پارود

روند تغییر شوری آب در ایستگاه پارود تقریباً با روند تغییر شوری در ایستگاه چراغان هم‌نوا است، گرچه پراکنش بیشتری را تجربه می‌کند و بیشینه نسبت جذب سدیم در ایستگاه پارود تا ۱۶ بالا رفته است (شکل ۱۴).

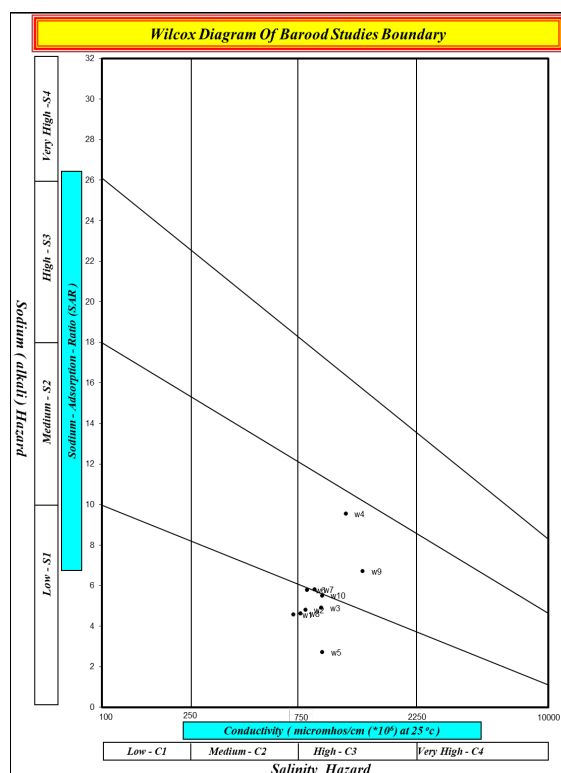


Fig. 14 Wilcox's diagram, classification of water for agricultural purposes at Paroud station

شکل ۱۴ نمودار ویلکاکس، طبقه‌بندی آب برای مصارف کشاورزی در ایستگاه پارود

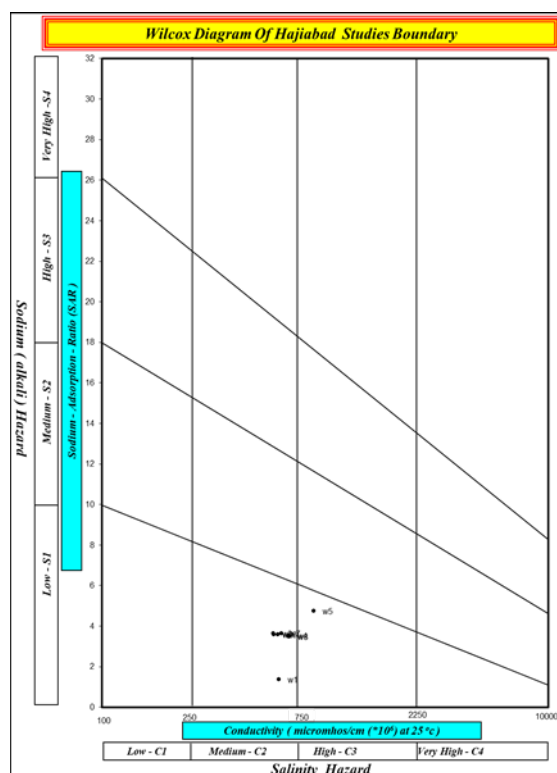


Fig. 15 Wilcox's diagram, classification of water for agricultural purposes at Hajiabad station

شکل ۱۵ نمودار ویلکاکس، طبقه‌بندی آب برای مصارف کشاورزی در ایستگاه حاجی‌آباد

از جنبه: کشاورزی، کیفیت آب از (C2_S1) در ایستگاه حاجی‌آباد تا (C3_S3) در ایستگاه راسک متغیر است. به عبارت دیگر، به ترتیب از شوری حداکثر ۷۵۰ و نسبت جذب سدیم کمتر از ۱۰ تا شوری بیش از ۲۲۵۰ و نسبت جذب سدیم بیش از ۱۸ واحد تغییر می‌کند. بنابراین، استفاده از منبع آب ایستگاه راسک برای کشاورزی نامناسب است. آب موجود در ایستگاه‌های فیروزآباد، چراغان، و پارود که از هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم به ترتیب کمتر از ۲۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر و کمتر از ۱۸ واحد برخوردار هستند، برای برای آبیاری زمین‌های با سیستم زهکشی مناسب است. ولی آب منطقه حاجی‌آباد از کیفیت بسیار مناسبی برای کشاورزی برخوردار است.

ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که کیفیت آب، از منظر شرب، از خوب در ایستگاه حاجی‌آباد تا متوسط در ایستگاه راسک تغییر می‌کند، ولی کیفیت آب در هر ایستگاه در سال‌های مورد بررسی تفاوت معناداری ندارد. به هر حال، کیفیت آب در ایستگاه راسک بدترین و در ایستگاه حاجی‌آباد بهترین کیفیت را در میان ایستگاه‌ها دارا است. از این رو، پیشنهاد می‌شود برای تامین آب شرب منطقه از منابع آب ایستگاه حاجی‌آباد استفاده شود. همچنین، مقدار فراسنج‌های کیفی آب در ایستگاه راسک تفاوت معناداری با مقدار آن‌ها در دیگر ایستگاه‌ها دارد. علی‌رغم آن، به جز پارامتر سختی کل دیگر فراسنج‌های اندازه‌گیری‌شده در تمام ایستگاه‌ها در دامنه استاندارد ملی ایران قرار دارد.

5- List of symbols

Ca (mg/lit)	Calcium
Mg (mg/lit)	Magnesium
Na (mg/lit)	Sodium
TDS (mg/lit)	Total Dissolved Solids
TH (mg/lit)	Total Hardness
Cl (mg/lit)	Chlorine
SO ₄ (mg/lit)	Sulfate
HCO ₃ (mg/lit)	Bicarbonate
EC (μs/cm)	Electrical Conductivity
SAR	Sodium Absorption Ratio
C _a -S _b	Water classification class in the Wilcox method a & b = 1, 2, 3, 4

Acknowledgments

The authors thank the Rask Regional Water Organization for providing information on this research.

Credit Authorship Contribution Statement

Conceptualization, M.R.M., and A.M.; methodology, M.N., M.R.M., A.M.; and N.J. software, M.N., and A.M. data analysis, M.N., M.R.M., A.M.; and N.J.; writing—original draft preparation, M.S. M.R.M., writing—review and editing, M.R.M., A.M.; and N.J.; supervision, M.R.M., and A.M.. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding

This work was not financially supported by any organ

Data Availability Statement

All data generated or analyzed during this study are included in this article. The datasets used and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author upon reasonable request. No additional data are available beyond what is presented in the manuscript.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Samson, M., Swaminathan, G., and Kumar, N.V., (2010), Assessing groundwater quality for potability using a fuzzy logic and GIS—A case study of Tiruchirappalli city—India, Computer Modeling and New Technologies, 14(2): pp. 58-86. <https://doi.org/10.22059/jes.2013.29860>.
- Daneshvar Vousoughi, F. and Dinpazhoh, Y., 2013. Trends of groundwater quality of Ardabil plain using the Spearman method. Journal of Environmental Studies, 38(4), pp.17-28 (In Persian). <https://doi.org/10.22071/gsj.2013.53601>.
- Soleymani, S., Mahmudy Gharai, M.H., Ghasemzadeh, F. and Sayyareh, A., (2013). Investigation on water resources quality by application of GQI index and GIS in west of Kooch-Sorkh. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 23(89), pp.175-182 (In Persian). <https://doi.org/10.22092/jjdr.2012.3798>.
- Ghomishoun, M., Malekian, A., Hosseini, K., Gharachelo, S. and Khamoushi, M.R., (2012). A survey on spatial variations of groundwater quality in Semnan/Sorkheh plain using

- geostatistical techniques, Scientific and Research Monthly of Pasture and Desert Research of Iran, issue 19, vol. 3, p. 535-545 (In Persian).
- Farid, G.B., Najafi, N.A., Moghani, B.V. and Ghiyasi, A., (2013). Evaluation of water quality variation of Zarringol River, Golestan province., *Journal of Water and Soil Conservation Research*, issue. 20, vol. 1, p. 77-96 (In Persian).
- Moghadam, A., Qalaban Takme Dash, M., Esmaili, K., (2013), Investigating the trend of temporal and spatial changes in Mashhad plain water quality parameters using geographic information system, *Journal of Water and Soil Conservation Research*, issue 20, no.: 3, p. 211-225 (In Persian).
- Malkutian, M., Akrami, A., (2004). Investigating the changes in the chemical quality of the underground water sources of Dasht Bam and Barvat during the years 1376-1383, *Hormozgan Medical Magazine*, year 8, no. Two, p. 109-116 (In Persian). doi: [10.22092/ijsr.2011.126637](https://doi.org/10.22092/ijsr.2011.126637).
- Ranjbar, G.H. and Banakar, M.H., (2011). Salt tolerance threshold of four commercial wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Iranian Journal of Soil Research*, 24(3), pp.237-242 (In Persian).
- Salehi, H. and Zeinivand, H., (2014). Assessing groundwater quality and selection of the most appropriate spatial interpolation method (Case study: West of Marivan city, Iran). *Iranian journal of Ecohydrology*, 1(3), pp.153-166 (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ije.2015.55124>.
- Jahangir, M.H. and Soltani, K., (2015). The causes of and management strategies for restoring rivers by using SWOT analysis (Case study: Gamasyab river). *Iranian journal of Ecohydrology*, issue 2, N.: 1, p.1.-10 (In Persian).
- Abbasi M. 2014. Investigating the qualitative effects of Chah-Nimeh water entering Zahedan plain. University of Sistan and Baluchestan. Zahedan, Iran, (In Persian).
- Farid G. B., Najafi Nezhad, A., Moghani Bilehsavar, V., Ghiyasi, A., (2015). Study of changes in water quality of the Zarringol River in Golestan Province. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, Volume 20, No. 1, pp. 77-96 (In Persian). DOR: [10.1001.1.23222069.1392.20.1.4.2](https://doi.org/10.1001.1.23222069.1392.20.1.4.2).
- Najmi, N., Sakizadeh, M., Hashemi, S.H., (2012). "Groundwater Quality Monitoring Guidelines", Publication No. 620, Ministry of Energy, Presidential Office of Strategic Planning and Monitoring (In Persian). <https://waterstandard.wrm.ir/cs/WRMResearch/278/304>.
- Moghadam, A., Qaleban Takmeh Dash, M., and Esmaili, K., (2013). Studying the temporal and spatial changes in water quality parameters of Mashhad plain using geographic information system, *Journal of Soil and Water Conservation Research*, Volume 20, No. 3, pp. 211-225 (In Persian).
- Hassani G, Mahvi A, Nasser S, Arabalibeik H, Yunesian M, Gharibi H., (2012). Designing Fuzzy-Based Ground Water Quality Index. *Journal of health*, 3 (1):18-31 (In Persian). <http://healthjournal.arums.ac.ir/article-1-79-fa.html>.
- Mousavian, M., Haghizadeh, A., Dehdari, S. and Hazbavi, Z., (2014). Affective Environmental Factors on Temporal Variations of Water Quality Properties in Zard River in Khuzistan Province. *Iranian journal of Ecohydrology*, issue 1, N.: 1, pp.59-68 (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ije.2014.52526>.
- Baba, A., Bundschuh, J., Chandrasekaram, D., Geothermal Systems and Energy Resources Turkey and Greece (2014). CRC Press publisher.
- Kumar, A., Fundamentals of Limnology (2005). APH publisher, New Delhi, India.
- Ebadati, N., Houshmandzadeh, M., (2014). Study of Dez River water quality at Dezful hydrometric station, *Ecohydrology*, Volume 1, No. 2, pp. 69-81 (In Persian). Doi: 10.22059/ije.2014.53544
- Khoshraveh, M., Hosseini Vardanjani, S. M. R., Taheri Soudjani, H., & Ghahreman, S. (2024). Evaluation of Groundwater Quality using the GQI Index for Drinking Purposes. *J Watershed Manage Res*, 15(2), 119-131. <https://doi.org/10.61186/jwmr.15.2.119>
- Abbasi, Z., H. Azimzadeh, A. Talebi, and A. Sotoudeh. 2018. 'Evaluating Quality of Ajabshir Groundwater Resources Based on Groundwater Quality Indicator (GQI) and Geographical Information System', *Journal of Water and Soil Science*, 22: 99-108
- Heshmati, S.S. and Beigi Harchegani, H., 2012, Zoning of groundwater quality indicators in Shahrekord for use in designing irrigation systems, <https://civilica.com/doc/1467909>
- Raziei, Tayeb and Danesh Kar-Arasateh, Peyman and Akhtari, Rooh-e-Haziz and Thaqfian, Bahram, 2007, Investigation of Meteorological (Climatic) Droughts in Sistan and Baluchestan Province Using SPI Index and Markov Chain Model, <https://civilica.com/doc/1606657>
- Salgi, I., Nasiri, M., (2019). Zoning of some drinking water quality parameters using GIS (Case study: Malayer city), *Irrigation and Water of Iran*, Volume 9, Issue 4, pp. 190-177 (In Persian). <https://doi.org/10.22125/iwe.2019.90262>
- Gaillardet, J., Calmels, D., Romero-Mujalli, G., Zakharova, E. and Hartmann, J., 2019. Global climate control on carbonate weathering

- intensity. Chemical Geology, 527, p.118762.:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009254118302298>
- Pourmohammadi S, Dasturani M, Jafari H, Bavani A.M., Goodarzi M, Bagheri F, and Rahimian M. 2017. 'Investigation of the effects of meteorological and hydrogeological drought on the groundwater balance of Tuyserkan Plain', Watershed Engineering and Management, Year 9: 46-57
- Noori, A., Ranjbari, F. and Bonakdari, H., 2023. Investigation of groundwater resources quality for drinking purposes using GWQI and GIS: A case study of Ottawa city, Ontario, Canada. Environmental Sciences Proceedings, 25(1), p.74. <https://doi.org/10.3390/ECWS-7-14314>
- Shakour, S., Chitsazan, M. and Mirzaee, S.Y., 2023. Zonation of groundwater quality in terms of drinkability, using Fuzzy Logic and Schoeller deterministic method for Northern Dezful-Andimeshk Plain, Iran. Discover Water, 3(1), p.22. <https://doi.org/10.1007/s43832-023-00046-w>
- Standard N. 1053 (2009), Drinking water - physical and chemical properties, Iranian Institute of Standards and Industrial Research, Fifth revision (In Persian)