



Qualitative Zoning of Groundwater of Birjand Plain in Terms of Drinking Using WQI And GQI Indices

Zahra Hoseinpour^{1,✉}, Mohammad Fouladi-Nasrabad², Abbas Khashei-Siuki³

1. Bachelor Student, Department of Occupational Health and Safety Engineering, Faculty of Health, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran.

2. Ph.D. Student, Department of Sciences and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand Birjand, Iran.

3. Professor, Department of Sciences and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand Birjand, Iran.

✉Corresponding Author: Hoseinpoor657@gmail.com

Received:
20 February 2024
Accepted:
16 March 2024
Published:
19 March 2024

Keywords:
Birjand plain,
GQI quality index,
WQI quality index,
GIS,
Zoning.

Extended abstract

Introduction

The increase in population and social progress, along with the improvement of the quality of life, increases the use of water resources in various cases, including Iran, to use different sectors, including urban, industrial and agricultural. Groundwater has attracted special attention as an important source due to its lower index and higher status than surface water (Islami et al., 2018). Also, groundwater resources are considered as essential support for all kinds of economic and social development, and wide aspects of ecosystem functions and services depend on them. These resources are facing problems, some of which are related to the level of exploitation and management of underground water resources, and the reason for these problems is due to the impact of human activities on these resources, many of these impacts are irreplaceable and many are extremely useless. (Pandey et al., 2020). Therefore, checking the quality of underground water resources is of great importance.

Materials and methods

The studied area is Birjand Plain, which is located in the northern part of Bagheran highlands with approximate coordinates of 32°34' to 33°8' latitude and 58°41' to 59°44' longitude.

Cite this article: Hoseinpour, Z., Fouladi-Nasrabad, M., & Khashei-Siuki, A. (2024). Qualitative zoning of groundwater of Birjand Plain in terms of drinking using WQI and GQI indices. *Journal of Aquifer and Qanat Title*, 4 (2), 115-130. DOI: <http://doi.org/10.22077/jaaq.2024.7355.1066>



Copyright: © 2024 by the authors. Licensee Journal of Aquifer and Qanat. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

To check the quality of underground water in Birjand Plain, the quality statistics of 29 wells were used and the quality information of the said wells was obtained from the regional water company of the province. For this purpose, 6 chemical parameters, including Na, Mg, Ca, Cl, So₄, and TDS, which have the most impact on the quality of drinking water and their analysis is inexpensive and are also mentioned in the world standard table, have been evaluated (Luka and Jonas., 2009). To calculate the GQI index, first in the GIS environment using the inverse distance interpolation method (IDW), point data, a concentration raster map was prepared for each of these 6 chemical parameters (Jodi, 2018) and using The following relations of GQI quality index value were calculated:

$$C = \frac{(X' - X)}{(X' + X)} \quad (1)$$

$$r = (0.5 \times C^2) + (4.5 \times C) + 5 \quad (2)$$

$$GQI = 100 - \left[\frac{(r_1 w_1 + r_2 w_2 + \dots + r_6 w_6)}{6} \right] \quad (3)$$

where the concentrations of each pixel are the value of the World Health Standard (WHO), r is the rank of each pixel from the ranked map and w is the relative weight of the parameters.

To calculate the WQI index, use the chemical parameters Na, Mg, Ca, Cl, So₄, TDS, Hco₃, No₃, Ph and the following relationships:

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n q_i \times w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (4)$$

$$q_i = \frac{V_a - V_i}{S_i - V_i} \quad (5)$$

$$w_i = \frac{k}{S_i} \quad (6)$$

$$k = \frac{1}{\sum \left(\frac{1}{S_i} \right)} \quad (7)$$

where q_i is the water quality rating according to the concentration of parameter i, w_i is relative weight, v_a is the value of parameter i at the time of sampling, v_i is the value of parameter i in the ideal state (v_i is 14.7 for oxygen, 7 for pH, and zero for other parameters) and s_i is the value of parameter i in standard mode and s_i is the value of parameter i in standard mode.

Results and discussion

To determine the GQI and WQI indicators, the results of the chemical analysis of 29 samples of water collected from the study area are used.

After calculating the mentioned indices, the results of the ranked maps and the numerical values of the WQI and GQI quality indices are shown in Figures 1 and 2 and Table No. 1, respectively.

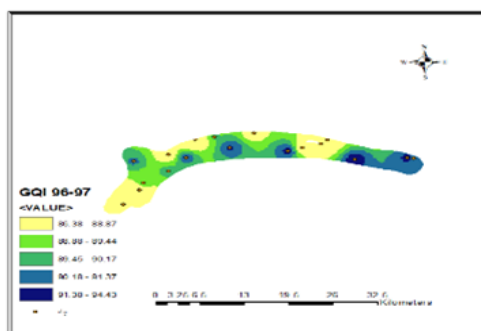


Fig 1. Final ranked map for GQI index.

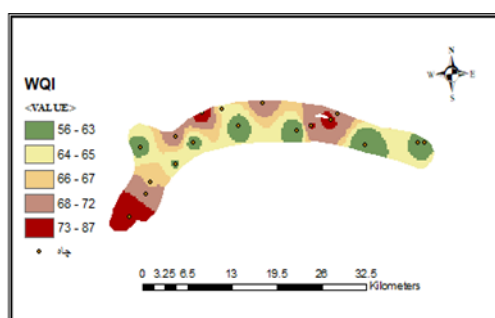


Fig 2. Final ranked map for WQI index.

Table 1. GQI quality index value in the study area.

Period	GQI Index Value
87-90	87.83-94.62
90-93	85.53-91.08
93-96	85.79-94.02
96-97	86.38-94.43

According to Figure No. 2 and Table No. 1, the quality of the underground water of the study area according to the drinking water standards of the World Health Organization (WHO), in terms of WQI and GQI indicators, is placed in the bad to very bad category and the acceptable to good category, respectively.

Conclusion

GQI and WQI indicators were used to check the quality of underground water in Birjand Plain in terms of drinking. To calculate GQI indicators, 6 chemical parameters Na, Mg, Ca, Cl, SO₄, and TDS were used, which have an impact on the quality of drinking water. To calculate the WQI index, in addition to the 6 mentioned parameters, NO₃, HCO₃, and PH parameters were used. By determining the amount of GQI and WQI indicators, it was found that the drinking water quality of the region was in the category of acceptable to good quality in terms of GQI index and the category of bad to very bad quality in terms of WQI index. Since the PH parameter had a high weight in the WQI index and this parameter was not used in the GQI index, and on the other hand, due to the increase in the concentration of this parameter between 1987-1997, it could be one of the reasons for the difference in the results in the aforementioned indices.



پهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی دشت بیرجند از نظر شرب با استفاده از شاخص‌های WQI و GQI

زهرا حسین‌پور^۱✉، محمد فولادی نصرآباد^۲، عباس خاشعی سیوکی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند، ایران.

۲. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۳. استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

✉ نویسنده مسئول: Hoseinpoor657@gmail.com

چکیده

استان خراسان جنوبی با توجه به قرار گرفتن در کمربند خشک، توأم با افزایش و توسعه بخش‌های کشاورزی و صنعتی با افزایش روزافزون تقاضای آب مواجه است که مدیریت اصولی متناسب با شرایط اقلیمی منطقه را طلب می‌نماید. بنابراین مطالعه کمی و کیفی آب منطقه جهت بهره‌برداری مناسب و مدیریت بهینه ضروری است. شاخص‌های مختلف به منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف شرب وجود دارد که شاخص‌های WQI و GQI از جمله این شاخص‌ها است. در این مقاله برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت بیرجند با استفاده از شاخص‌های WQI, GQI از داده‌های کیفی ۱۰ ساله تعداد ۲۹ حلقه چاه که شامل پارامترهای Na, Mg, Ca, Cl, So4, TDS, Hco3, No3 و Ph می‌باشد استفاده گردید. نقشه‌های رستری غلظت این پارامترها با استفاده از روش معکوس فاصله (IDW) در نرم‌افزار GIS تهیه گردید. مقدار GQI برای دشت بیرجند در بازه سال‌های ۸۷-۹۰، ۸۷-۹۳، ۹۰-۹۳، ۹۳-۹۶ و ۹۶-۹۷ به ترتیب بین ۸۷-۹۴، ۸۵-۹۳، ۸۵-۹۴ و ۸۶-۹۴ قرار گرفت. مقدار شاخص WQI در بازه سال‌های ۸۷-۹۷ بین ۵۶-۸۴ قرار گرفت. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که منطقه مورد مطالعه از نظر شاخص GQI در رده قابل قبول تا مناسب و از نظر شاخص WQI در رده کیفی بد تا خیلی بد قرار گرفت.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۹

کلیدواژه‌ها:

دشت بیرجند،

شاخص کیفی GQI،

شاخص کیفی WQI،

GIS

پهنه‌بندی.

مقدمه

افزایش جمعیت و پیشرفت رفاه اجتماعی، همراه با بهبود کیفیت زندگی، باعث افزایش تقاضا برای منابع آب در کشورهای مختلف از جمله ایران، به منظور استفاده در بخش های مختلف از جمله شهری، صنعتی و کشاورزی شده است. آب های زیرزمینی به دلیل کمتر بودن شاخص آلودگی و ظرفیت ذخیره بالاتر نسبت به آب های سطحی، به عنوان یک منبع مهم، توجه ویژه ای را به خود جلب کرده اند (Eslami et al., 2018). همچنین، منابع آبی زیرزمینی به عنوان یک پشتیبان اساسی برای انواع توسعه های اقتصادی و اجتماعی محسوب می شوند و جنبه های گسترده ای از عملکردها و خدمات اکوسیستم به آن ها وابسته است. این منابع با مشکلاتی مواجه هستند که بخشی از آن ها مربوط به میزان بهره برداری و مدیریت منابع آب زیرزمینی است و دلیل این مشکلات به علت تأثیرگذاری فعالیت های انسانی بر این منابع ناشی می شود که بسیاری از این تأثیرات بدون جایگزین و بسیاری به شدت بی بهره هستند (Pandey et al., 2020). آب آشامیدنی با استفاده از شاخص های کیفی متعدد، از نظر خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی قابل بررسی می باشد. حد مجاز غلظت این یون ها در آب آشامیدنی توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO World Health Organization) (Joudi, 2009).

در دهه های اخیر، تحقیقات گسترده ای در زمینه ارزیابی شاخص های کیفی آب در نقاط مختلف جهان انجام شده است. به عنوان مثال، در مطالعه انجام شده توسط Bodrud-Doza et al. (۲۰۱۶) در منطقه ای از بنگلادش، براساس شاخص های کیفیت آب زیرزمینی، حدود ۴۷ درصد از نمونه های مورد آزمایش از نظر کیفیت آب مناسب برای مصرف شرب بودند. همچنین، یک پژوهش انجام شده در کشور غنا توسط Kulinkina et al. (۲۰۱۷)، برخی از پارامترهای کیفیت آب مانند کلراید، آهن، منگنز و pH را اندازه گیری کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که مقادیر برخی از این پارامترها در مناطق روستایی بیشتر از حد مجاز استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO) بوده و این نیاز به تصفیه آب قبل از استفاده برای مصارف شرب را الزامی می سازد. در همین راستا، یک مطالعه با هدف تحلیل

تغییرات مکانی-زمانی در کیفیت آب زیرزمینی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ در حوضه آبی گرام بالیا، واقع در شمال تونس، توسط Slama and Seberi (۲۰۲۰) انجام شد. نتایج پژوهش آن ها نشان داد که توزیع فضایی یون ها حدوداً یکسان است، اما نقشه های مکانی-زمانی برای دوره زمانی میان سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ برای هر یون، الگوهای مختلفی را نشان دادند. در پژوهشی دیگر به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI^۱) و GIS^۲ در منطقه ماهوبا در هند، توسط Ram et al. (۲۰۲۱) پرداخته شد. نتایج این مطالعه نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی در حال کاهش است و نیاز به تصفیه قبل از مصرف دارد. علاوه بر این، برای جلوگیری از آلودگی های انسانی و طبیعی، حفاظت از این منابع ضروری است. از جمله مطالعاتی که در کشور ایران انجام شده است، می توان به مطالعه انجام شده توسط Sargazi et al. (۲۰۲۰) اشاره کرد. در این مطالعه، با هدف ارزیابی پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری آب های زیرزمینی شهر زاهدان برای مصارف صنعتی، تحقیقاتی صورت گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که مقادیر کل جامدات محلول (TDS^۳) و هدایت الکتریکی (EC) در تمامی نمونه ها از حدود استاندارد آب آشامیدنی WHO فراتر رفته اند. همچنین، کل آب های زیرزمینی این منطقه دارای تمایل قابل توجهی به خوردگی بوده و ۹۶ درصد نمونه ها نیز نرخ بالایی از خوردگی موضعی را نشان داده اند.

Dehrami and Amiri (۲۰۲۳) در تحقیق خود، به بررسی کیفیت آب زیرزمینی حوضه آبخیز دهرم در استان فارس با استفاده از شاخص GQI پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین شاخص GQI از ۸۲/۴۶ به ۵۷/۳۶ در یک دوره هفت ساله کاهش یافته است که این نشانگر کاهش کیفیت آب است.

Abbasi et al. (۲۰۱۹) در یک پژوهش به ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی در دشت عجب شیر بر اساس شاخص کیفی آب زیرزمینی GQI پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار شاخص کیفی آب زیرزمینی GQI در بازه ۶۱ تا ۸۱ قرار گرفته است که به عنوان رده متوسط تا قابل قبول در نظر گرفته می شود. همچنین،

³ Total Dissolved Solids

¹ Water Quality Index

² Geographic Information System

مواد و روش‌ها

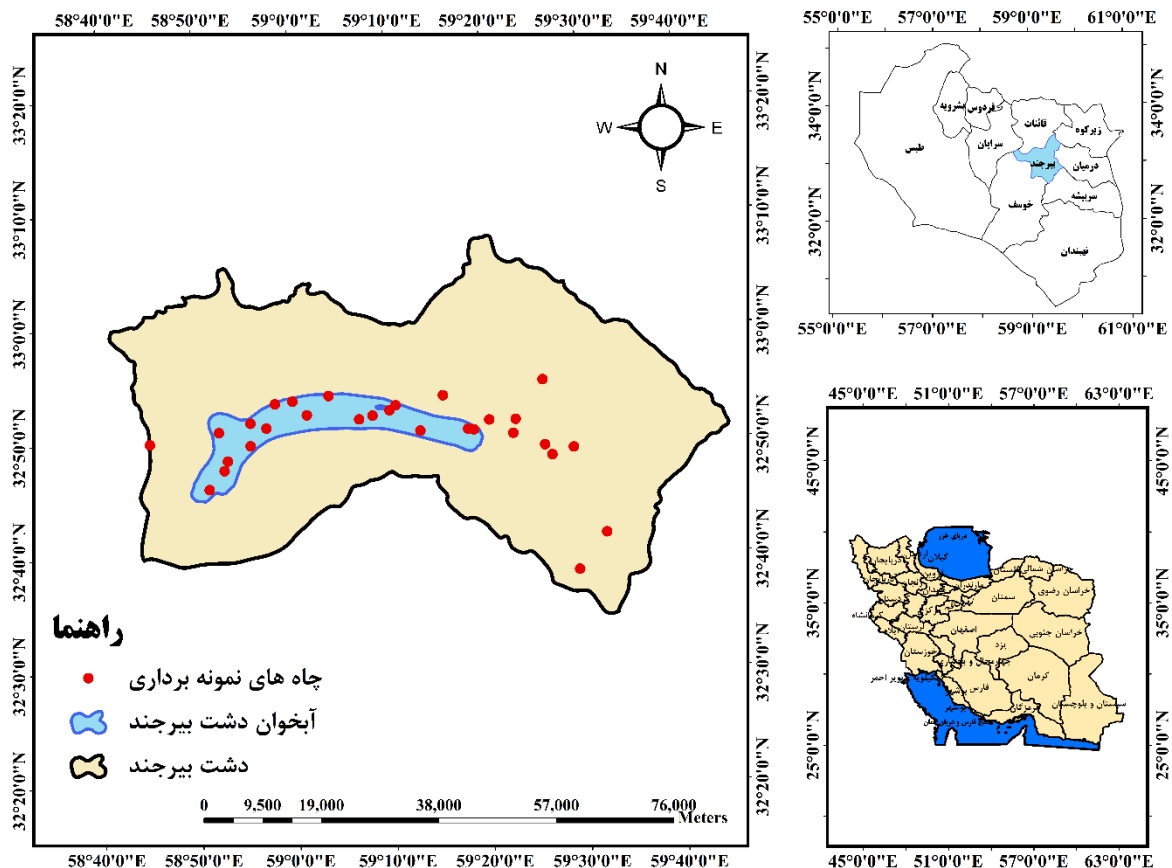
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه دشت بیرجند است که در قسمت شمالی ارتفاعات باقران با مختصات تقریبی ۳۲ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۸ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۸ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۴۴ دقیقه طول جغرافیایی قرار گرفته‌است. حوضه آبریز بیرجند دارای وسعت ۳۱۵۵ کیلومتر مربع بوده که ۱۸۴۵ کیلومتر دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهند. دشت بیرجند طبق طبقه‌بندی اقلیمی جز مناطق خشک محسوب می‌شود و از نظر توپوگرافی حداکثر ارتفاع حوضه از سطح دریا ۲۷۸۷ متر در ارتفاعات شمالی منطقه و حداقل ارتفاع نیز ۱۱۸۰ متر در خروجی دشت می‌باشد. شکل ۱ موقعیت دشت بیرجند را نمایش می‌دهد

تحلیل حساسیت این مدل نشان داد که شاخص کیفی GQI نسبت به پتانسیم حساسیت بیشتری دارد.

در مطالعه انجام‌شده توسط Mojarad et al. (۲۰۲۱)، کیفیت آب زیرزمینی در شهرستان دیر استان بوشهر با استفاده از شاخص کیفی GQI مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، از نتایج تحلیل ۱۱ پارامتر شیمیایی آب زیرزمینی استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار شاخص کیفی آب بین ۵۱ تا ۶۱ در این شهرستان متغیر است.

بنابراین مطالعات گذشته نشان می‌دهد که شاخص‌های کیفی WQI و GQI در تحلیل و بررسی میزان کیفیت آب زیرزمینی کاربردهای بسیاری دارند. به همین منظور، در این تحقیق به پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت بیرجند از نظر مصارف شرب با استفاده از شاخص‌های WQI و GQI پرداخته شد.



شکل ۱. نقشه آبخوان دشت بیرجند.

Fig 1. Birjand Plain Aquifer Map.

شاخص کیفیت آب زیرزمینی GQI

برای بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت بیرجند از آمار کیفی ۲۹ حلقه چاه استفاده و اطلاعات کیفی چاه‌های مذکور از شرکت آب منطقه‌ای استان تهیه گردید. برای این منظور ۶ پارامتر شیمیایی شامل Na, Mg, Ca, Cl, SO₄, TDS که بیش‌ترین تأثیر بر کیفیت آب شرب داشته و آنالیز آن‌ها کم‌هزینه بوده و هم‌چنین در جدول استاندارد جهان به آن‌ها اشاره شده، مورد ارزیابی قرار گرفته است (Luka and Jonas, 2009). جهت محاسبه شاخص GQI ابتدا در محیط GIS با استفاده از روش درون‌یابی معکوس فاصله (IDW^۱)، داده‌های نقطه‌ای، برای هر یک از این ۶ پارامتر شیمیایی نقشه رستری غلظت تهیه گردید (Joudi, 2009). در مرحله بعد برای اینکه داده‌ها دارای یک مقیاس مشترک شوند با استفاده از رابطه ۱ غلظت‌های هر پیکسل نقشه‌های رستری با مقدار استاندارد جهانی بهداشت (WHO) آن پارامتر ارتباط برقرار نمودند.

$$C = \frac{(X' - X)}{(X' + X)} \quad (1)$$

که در آن (X') غلظت‌های هر پیکسل و (X) مقدار استاندارد جهانی بهداشت (WHO) آن پارامتر است. حال به منظور تهیه نقشه رتبه‌بندی شده، با استفاده از رابطه (۲) نقشه ایجاد شده در مرحله قبل که مقادیر آن بین ۱ و

۱- است را به نقشه‌هایی با مقادیر بین ۱ و ۱۰ تبدیل می‌کنیم. بدین صورت که مقدار ۱ نشان‌دهنده کیفیت خوب و مقدار ۱۰ نشانگر کیفیت نامناسب آب زیرزمینی می‌باشد (Babiker et al., 2007).

$$r = (0.5 \times C^2) + (4.5 \times C) + 5 \quad (2)$$

در مرحله بعد لازم است برای هر یک از پارامترها یک مقدار وزن نسبی که برابر مقدار میانگین نقشه رتبه‌بندی شده است در نظر گرفته شود.

به منظور ایجاد یک نقشه که نماینده تمام ۶ پارامتر شیمیایی باشد و وضعیت کل کیفیت آب زیرزمینی را در مقایسه با استاندارد WHO نشان‌دهند، با استفاده از شاخص کیفیت آب زیرزمینی GQI لایه‌های مربوط به پارامترها تلفیق گردید.

$$GQI = 100 - \left[\frac{(r_1 w_1 + r_2 w_2 + \dots + r_6 w_6)}{6} \right] \quad (3)$$

که در آن r رتبه هر پیکسل از نقشه رتبه‌بندی شده و W وزن نسبی پارامترها می‌باشد. برای محاسبه GQI در واقع از پارامترهای مختلف میانگین وزن گرفته شده که پارامترهای مقدار بیشتر (تفاوت بیشتر با مقدار استاندارد) دارای وزن نسبی بیشتر و در نتیجه تأثیرگذاری بیشتر بودند (Hiyama, 2010). مقادیر طبقه‌بندی کیفی آب براساس شاخص کیفی GQI در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. مقادیر طبقه‌بندی کیفی آب با توجه به شاخص GQI.

Table 1. Water Quality Classification Values According to The GQI Index.

میزان GQI GQI rate	وضعیت Condition
۹۱-۱۰۰	مناسب Appropriate
۷۱-۹۰	قابل قبول acceptable
۵۱-۷۰	متوسط medium
۲۶-۵۰	نامناسب Inappropriate
۰-۲۵	کاملاً نامطبوع Totally unpleasant

¹ Inverse Distance Weighting

$$q_i = \frac{V_a - V_i}{S_i - V_i} \quad (5)$$

که در آن V_a مقدار پارامتر i در زمان نمونه‌برداری V_i مقدار پارامتر i در حالت ایده‌آل (V_i برای اکسیژن ۱۴/۷ و برای PH برابر ۷ و برای سایر پارامترها مقدار صفر می‌باشد) و S_i مقدار پارامتر i در حالت استاندارد می‌باشد. هم‌چنین جهت محاسبه W_i از رابطه (۶) و (۷) استفاده شد.

$$w_i = \frac{k}{S_i} \quad (6)$$

$$k = \frac{1}{\sum \left(\frac{1}{S_i} \right)} \quad (7)$$

که در آن S_i مقدار پارامتر i در حالت استاندارد می‌باشد. برای استفاده از روابط بالا ابتدا به روش معکوس فاصله (IDW) برای هر ۹ پارامتر شیمیایی درون‌یابی انجام و سپس رابطه (۵) را در هر نقشه رستری مربوط به هر پارامتر در محیط GIS اجرا شد و در نهایت با استفاده از رابطه‌ی (۴) مقدار شاخص WQI محاسبه گردید. مقادیر طبقه‌بندی کیفی آب با توجه به شاخص WQI در جدول ۲ آمده‌است.

جدول ۲. مقادیر طبقه‌بندی کیفی آب با توجه به شاخص WQI.

Table 2. Water Quality Classification Values According to The WQI Index.

میزان شاخص WQI The amount of WQI index	وضعیت Condition
۹۱-۱۰۰	غیرقابل آشامیدن undrinkable
۷۱-۹۰	خیلی بد very bad
۵۱-۷۰	بد Bad
۲۶-۵۰	خوب Good
<۵۰	عالی Excellent

برداشت‌شده از منطقه مورد مطالعه استفاده و در جدول ۳ نشان داده شده‌است.

مقادیر استاندارد هریک از پارامترها براساس استانداردهای سازمان جهانی بهداشت WHO و وزن نسبی آن‌ها در جدول ۴ آورده شده‌است (WHO, 2004).

شاخص کیفیت آب زیرزمینی WQI:

شاخص کیفیت آب برای مصارف آشامیدنی و یا آبیاری، کیفیت کل آب را از طریق یک عدد واحد در یک زمان و مکان مشخص براساس پارامترهای کیفی مختلف آب بیان می‌کند. با محاسبه زیر شاخص‌های مربوط وزن‌دهی، در نهایت مقدار نهایی شاخص محاسبه می‌شود.

جهت محاسبه مقدار شاخص WQI از رابطه (۴) و داده‌های کیفی سال‌های ۹۷-۸۷ که از شرکت آب و منطقه‌ای استان خراسان جنوبی تهیه شده‌بود استفاده شد. برای محاسبه شاخص WQI از پارامترهای شیمیایی Na, Mg, Ca, Cl, SO_4 , TDS, HCO_3 , NO_3 , Ph استفاده گردید.

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n q_i \times w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (4)$$

در این رابطه q_i رتبه کیفیت آب را با توجه به غلظت پارامتر i نشان می‌دهد و w_i وزن نسبی می‌باشد که بستگی به اهمیت پارامتر کیفی از نظر بهداشت و سلامتی دارد. به‌منظور تعیین q_i از رابطه (۵) استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص GQI :

به‌منظور تعیین شاخص GQI بررسی کیفیت آب زیرزمینی در مقایسه با استانداردهای سازمان جهانی بهداشت WHO از نتایج آنالیز شیمیایی ۲۹ نمونه آب

جدول ۳. نتایج آنالیز شیمیایی ۲۹ نمونه آب برداشت شده از منطقه مورد مطالعه در طول دوره آماری.

Table 3. Results of Chemical Analysis Of 29 Water Samples Collected from The Study Area in 2017-2019.

Row	Area	UTM x	UTM y	Na	Mg	Ca	SO4	Cl	TDS
ردیف	منطقه	۶۶۳۹۶۷	۳۶۳۴۳۲۰	۴/۴۶	۲/۱۸	۲/۰۱	۱/۶۳	۳/۱۷	۵۵۵/۰۴
۱	دستگرد	۶۷۳۶۳۱	۳۶۲۷۰۹۷	۷۸/۱۱	۲۸/۸۵	۱۵/۲۵	۱۸/۸۷	۹۶/۷۳	۸۰۱۶/۱۱
۲	کلاته قاضی	۶۷۵۱۲۶	۳۶۳۶۳۰۷	۲۵/۶۵	۷/۸۱	۴/۸۲	۱۰/۷۰	۲۲/۶۰	۲۴۸۱/۴۶
۳	شاهزله	۶۷۶۰۴۱	۳۶۳۰۱۵۲	۳۵/۸۷	۱۹/۱۱	۷/۶۰	۱۱/۰۱	۴۶/۹۲	۴۰۰۶/۸۰
۴	نصر آباد	۶۷۶۵۸۳	۳۶۳۱۷۲۹	۲۵/۶۷	۱۵/۵۸	۶/۷۸	۷/۳۲	۳۶/۰۰	۳۰۷۳/۳۱
۵	مهدیه	۶۸۰۲۳۲	۳۶۳۷۸۲۷	۴۷/۵۸	۱۶/۳۲	۸/۵۳	۱۵/۳۲	۵۲/۷۵	۴۶۱۳/۵۵
۶	تقاب	۶۸۰۲۵۹	۳۶۳۴۱۹۱	۱۸/۰۷	۱۶/۸۶	۵/۹۷	۹/۷۷	۲۲/۴۳	۲۶۰۲/۰۳
۷	معصوم آباد	۶۸۲۸۲۱	۳۶۳۷۰۵۷	۱۶/۵۰	۹/۹۱	۴/۴۱	۵/۹۲	۱۹/۵۲	۱۹۸۸/۸۴
۸	سیوجان	۶۸۴۱۷۲	۳۶۴۰۹۷۵	۴۹/۳۹	۲۲/۳۲	۱۲/۶۷	۱۶/۲۷	۶۴/۰۶	۵۴۸۸/۲۰
۹	سیوجان	۶۸۷۰۱۴	۳۶۴۱۴۰۹	۲۵/۴۶	۱۳/۸۱	۶/۶۳	۸/۵۲	۳۳/۶۳	۲۹۸۸/۴۰
۱۰	سیوجان	۶۸۹۳۳۰	۳۶۳۹۱۸۹	۱۱/۲۶	۸/۱۵	۳/۵۳	۵/۵۲	۱۲/۶۶	۱۴۶۹/۵۶
۱۱	محمدیه	۶۹۲۸۵۰	۳۶۴۲۳۲۱	۳۱/۸۰	۱۹/۵۰	۹/۰۸	۱۲/۹۶	۴۳/۷۰	۳۹۲۰/۱۸
۱۲	شمال رکات	۶۹۷۷۹۶	۳۶۳۸۵۵۱	۸/۲۶	۶/۸۸	۳/۱۷	۳/۲۲	۱۰/۱۴	۱۱۹۱/۰۴
۱۳	شمس آباد	۶۹۹۹۵۴	۳۶۳۹۱۶۳	۳۵/۴۲	۱۸/۱۲	۸/۹۷	۱۲/۰۱	۴۵/۲۳	۴۰۵۳/۹۷
۱۴	امیرآباد	۷۰۲۷۰۷	۳۶۴۰۰۲۵	۳۳/۵۲	۲۲/۰۰	۱۳/۳۹	۱۱/۴۰	۵۲/۸۵	۴۴۱۴/۰۹
۱۵	آبادحاجی	۷۰۳۶۸۶	۳۶۴۰۸۱۶	۴۶/۲۵	۱۵/۷۲	۸/۲۱	۸/۱۲	۵۷/۵۹	۴۵۵۴/۷۳
۱۶	حاجی آباد	۷۰۷۷۱۲	۳۶۴۶۷۴۴	۸/۳۱	۵/۱۷	۲/۹۱	۲/۴۳	۸/۶۸	۱۰۹۹/۹۰
۱۷	سطح شهر	۷۱۱۳۵۴	۳۶۴۲۴۵۱	۳۷/۴۳	۱۷/۷۹	۱۴/۸۷	۱۱/۳۲	۵۴/۳۹	۴۵۰۳/۸۹
۱۸	سطح شهر	۷۱۵۴۱۷	۳۶۳۷۰۵۵	۱۰/۵۴	۶/۱۴	۳/۶۲	۴/۸۸	۸/۴۸	۱۳۰۵/۹۲
۱۹	شوکت آباد	۷۱۶۳۷۴	۳۶۳۶۹۴۶	۱۶/۵۹	۷/۷۵	۳/۰۱	۷/۹۵	۱۲/۵۹	۱۷۷۰/۷۲
۲۰	شوکت آباد	۷۱۸۸۴۵	۳۶۳۸۵۴۲	۳۲/۶۳	۱۴/۱۰	۷/۷۲	۱۰/۱۳	۴۰/۸۵	۳۵۲۷/۶۷
۲۱	بجد	۷۲۲۷۳۷	۳۶۳۶۳۹۳	۳۴/۴۰	۱۵/۳۰	۷/۵۱	۹/۱۵	۴۴/۰۷	۳۷۰۶/۲۹
۲۲	بجد	۷۲۳۱۱۴	۳۶۳۸۶۴۷	۱۹/۷۸	۶/۳۸	۵/۷۴	۶/۸۶	۲۰/۴۱	۲۰۴۵/۲۲
۲۳	بجد	۷۲۷۴۵۵	۳۶۴۵۰۶۵	۳۴/۲۳	۱۲/۵۷	۷/۴۶	۹/۷۱	۳۳/۲۱	۳۴۹۳/۳۸
۲۴	مرک	۷۲۷۸۸۸	۳۶۳۴۵۲۸	۱۵/۵۲	۱۰/۲۴	۳/۴۷	۱۰/۶۰	۱۲/۳۱	۱۹۰۶/۴۳
۲۵	علی آباد	۷۲۹۰۶۷	۳۶۳۲۹۲۶	۲۹/۰۶	۱۱/۵۵	۹/۶۳	۹/۷۹	۳۶/۷۳	۳۲۵۲/۲۷
۲۶	خراشاد	۷۳۲۵۲۶	۳۶۳۴۱۶۴	۲۷/۲۴	۱۲/۲۴	۱۳/۹۴	۹/۴۷	۳۸/۲۶	۳۴۶۴/۸۰
۲۷	مهدی آباد	۷۳۳۵۵۵	۳۶۱۴۴۱۱	۳/۶۳	۳/۳۲	۲/۰۲	۲/۱۹	۲/۷۰	۵۷۵/۷۳
۲۸	فتود	۷۳۷۹۰۶	۳۶۲۰۴۴۴	۱۰/۵۵	۶/۶۶	۲/۹۳	۵/۲۲	۷/۶۲	۱۲۹۶/۱۴

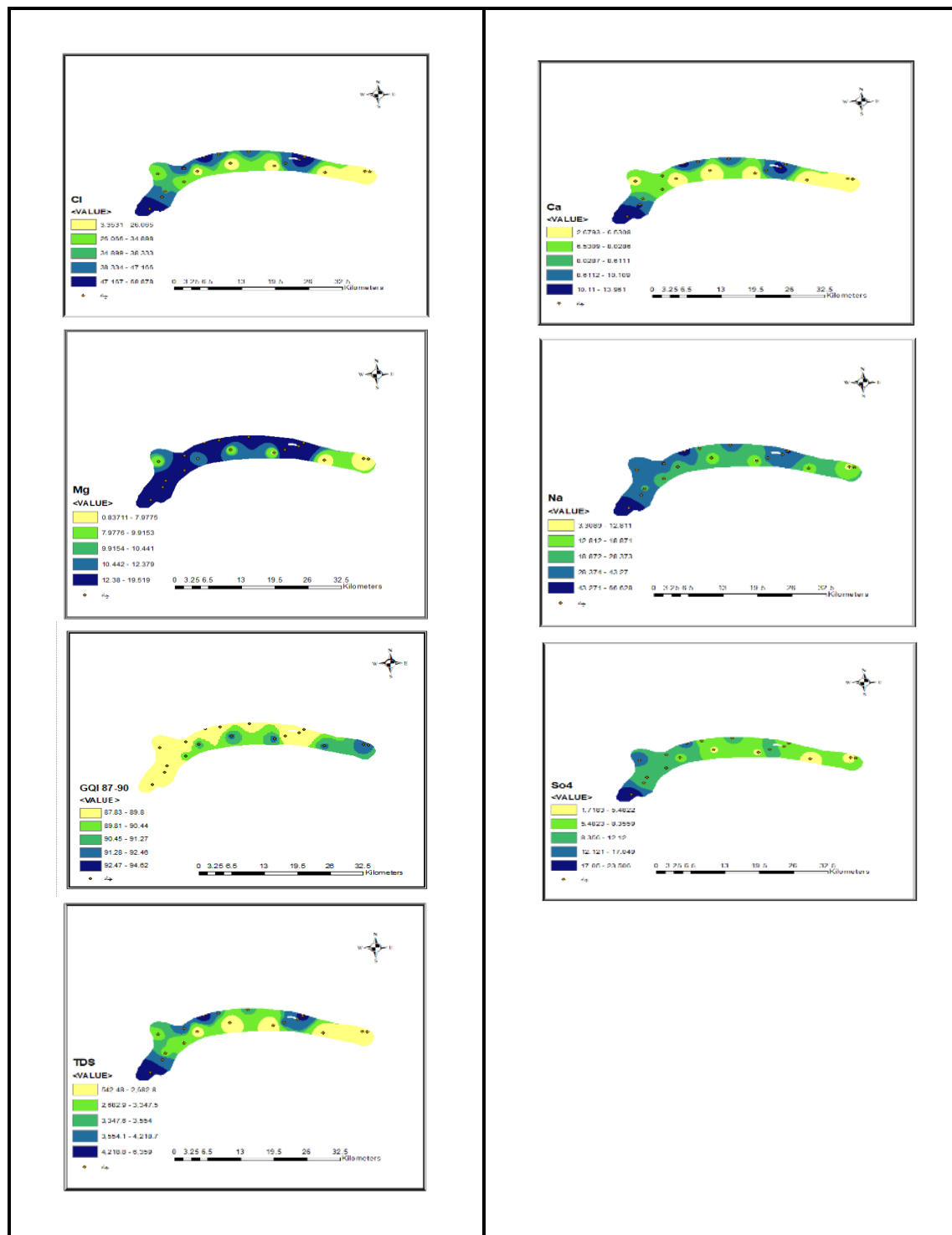
جدول ۴. مقادیر استاندارد هریک از پارامترها براساس استانداردهای سازمان جهانی بهداشت WHO و وزن نسبی آن‌ها.

Table 7. The Standard Values of Each of The Parameters Are Based on WHO Standards and Their Relative Weight.

WI (۹۶-۹۷)	WI (۹۳-۹۶)	WI (۹۰-۹۳)	WI (۸۷-۹۰)	wi	k	1/si	SI	par
۲/۲۱	۲/۲۶	۲/۱۳	۱/۹۹	۰/۱۲	۲۵/۶۴	۰/۰۰۵	۲۰۰	Na
۲/۶۲	۲/۵۹	۲/۸۹	۲/۱۱	۰/۵۱		۰/۰۲	۵۰	Mg
۱/۳۱	۱/۲۹	۱/۳۱	۱/۲۹	۰/۱۲		۰/۰۰۵	۲۰۰	Ca
۱/۳۵	۱/۴	۱/۲۴	۱/۳۳	۰/۱۰		۰/۰۰۴	۲۵۰	SO4
۲/۰۶	۲/۱۰	۲/۱۹	۱/۸۵	۰/۱۰		۰/۰۰۴	۲۵۰	Cl
۶/۲۳	۶/۳۶	۶/۳۵	۶/۱۲	۰/۰۲		۰/۰۰۱	۱۰۰۰	TDS
میانگین ارزش پیکسل‌ها				۱		۰/۰۳		

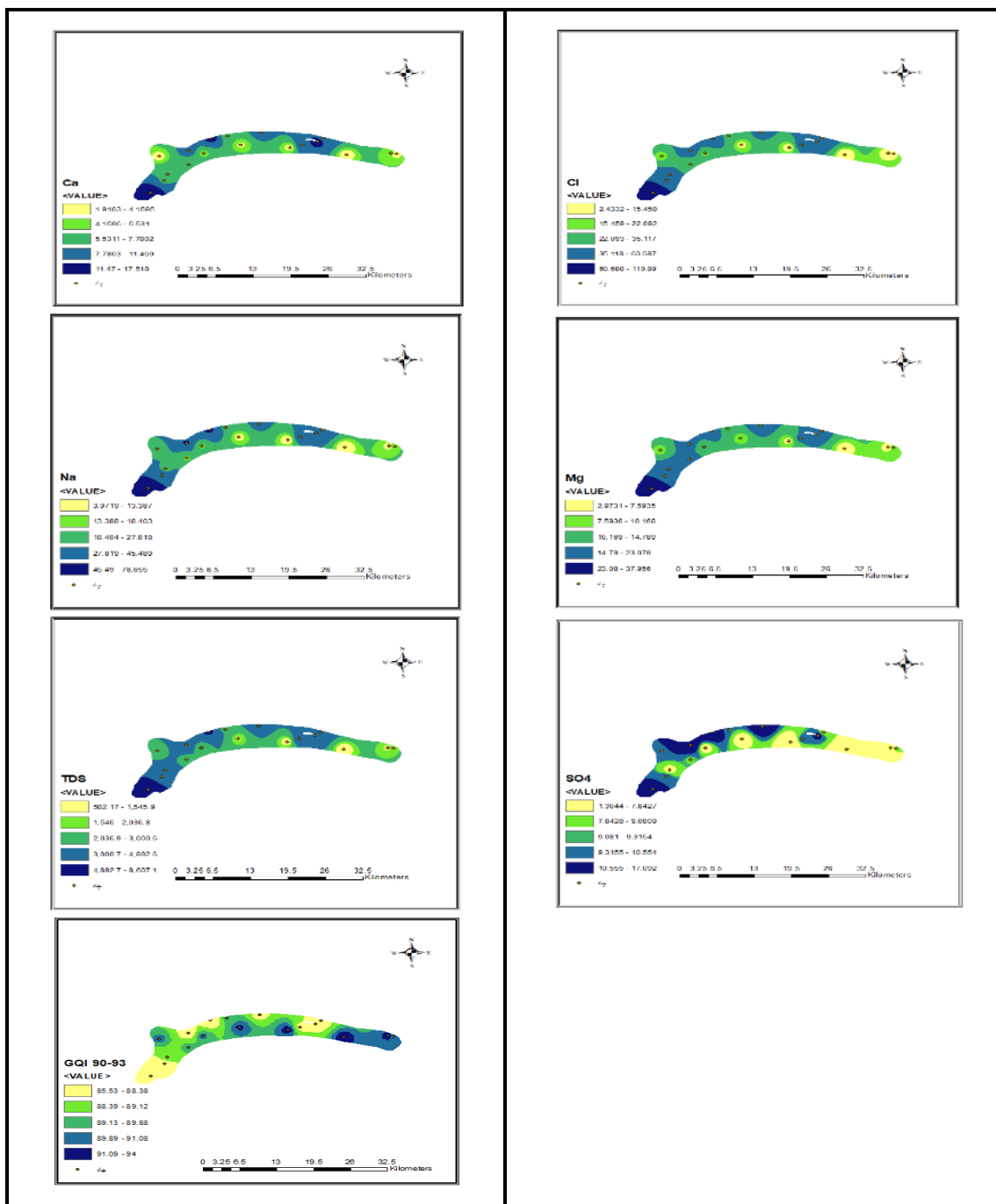
داده شده‌است. این نقشه‌ها مناطق بحرانی آبخوان را نسبت به هریک از پارامترها نشان می‌دهد.

نقشه‌های رتبه‌بندی شده برای هریک از پارامترها در بازه‌های زمانی مشخص در شکل‌های ۲ و ۳ و ۴ و ۵ نشان

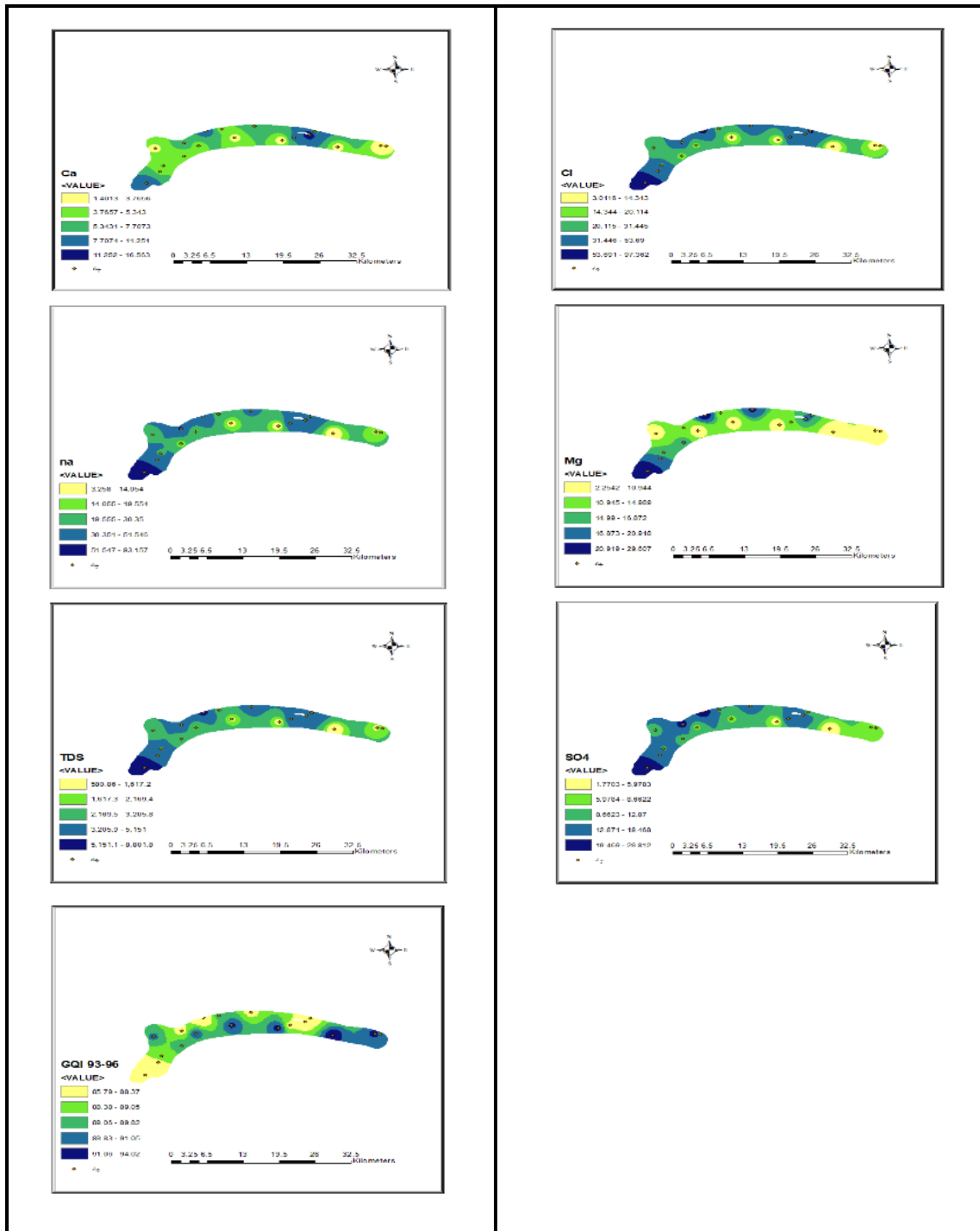


شکل ۲. نقشه‌های رتبه‌بندی شده برای هریک از پارامترها در بازه‌های زمانی سال‌های ۹۰-۱۳۸۷.

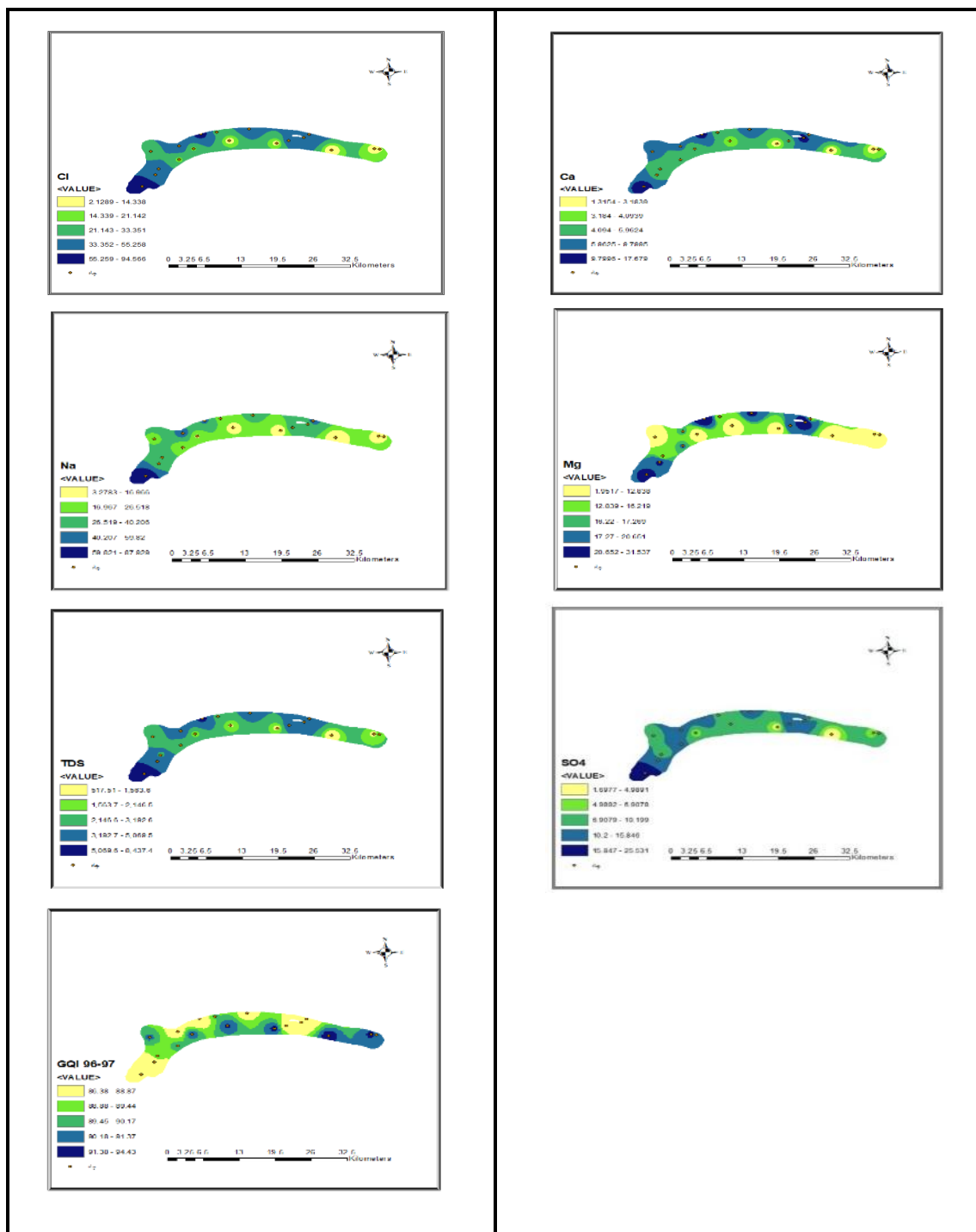
Fig 2. Ranked Maps for Each of The Parameters in The Time Frames of 2017-2018.



شکل ۳. نقشه‌های رتبه‌بندی شده برای هر یک از پارامترها در بازه‌های زمانی سال‌های ۱۳۹۰-۹۳. Fig 3. Ranked Maps for Each of The Parameters in The Time Frames of 2013-2015.



شکل ۴. نقشه‌های رتبه‌بندی شده برای هریک از پارامترها در بازه‌های زمانی سال‌های ۹۶-۱۳۹۳.
 Fig 4. Ranked Maps for Each of The Parameters in The Periods of 2013-2016.



شکل ۵. نقشه‌های رتبه‌بندی شده برای هر یک از پارامترها در بازه‌های زمانی سال‌های ۹۷-۱۳۹۶.
Fig 5. Ranked Maps for Each of The Parameters in The Time Frames of 2016-2017.

از نتایج آنالیز شیمیایی ۲۹ نمونه آب برداشت شده از منطقه مورد مطالعه استفاده و در جدول ۹ نشان داده شده‌است. مقادیر استاندارد هر یک از پارامترها براساس استانداردهای سازمان جهانی بهداشت WHO و وزن نسبی آن‌ها در جدول ۶ آورده شده‌است.

شاخص WQI:

به‌منظور تعیین شاخص WQI بررسی کیفیت آب زیرزمینی در مقایسه با استانداردهای سازمان جهانی بهداشت WHO

جدول ۶. مقادیر استاندارد هریک از پارامترها براساس استانداردهای سازمان جهانی بهداشت WHO و وزن نسبی آن‌ها.

Table 6. The Standard Values of Each Parameter Are Based on WHO Standards and Their Relative Weight.

WI	K	1/SI	SI	par
۰/۰۲	۵/۵۵	۰/۰۰۵	۲۰۰	Na
۰/۱۱		۰/۰۲	۵۰	Mg
۰/۰۲		۰/۰۰۵	۲۰۰	Ca
۰/۰۲		۰/۰۰۴	۲۵۰	SO ₄
۰/۰۲		۰/۰۰۴	۲۵۰	Cl
۰/۰۱		۰/۰۰۳	۳۰۰	HCO ₃
۰/۰۰۵		۰/۰۰۱	۱۰۰۰	TDS
۰/۱۱		۰/۰۲	۵۰	NO ₃
۰/۶۵		۰/۱۱	۸/۵	PH
۱		۰/۱۷		

نقشه‌های رتبه‌بندی شده برای هریک از پارامترها در بازه زمانی مشخص در شکل ۶ نشان داده شده‌است. این نقشه‌ها مناطق بحرانی آبخوان را نسبت به هریک از پارامترها نشان می‌دهد. با توجه به نقشه WQI کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از نظر استانداردهای آب آشامیدنی سازمان جهانی بهداشت WHO در رده بد تا خیلی بد قرار گرفته‌است.

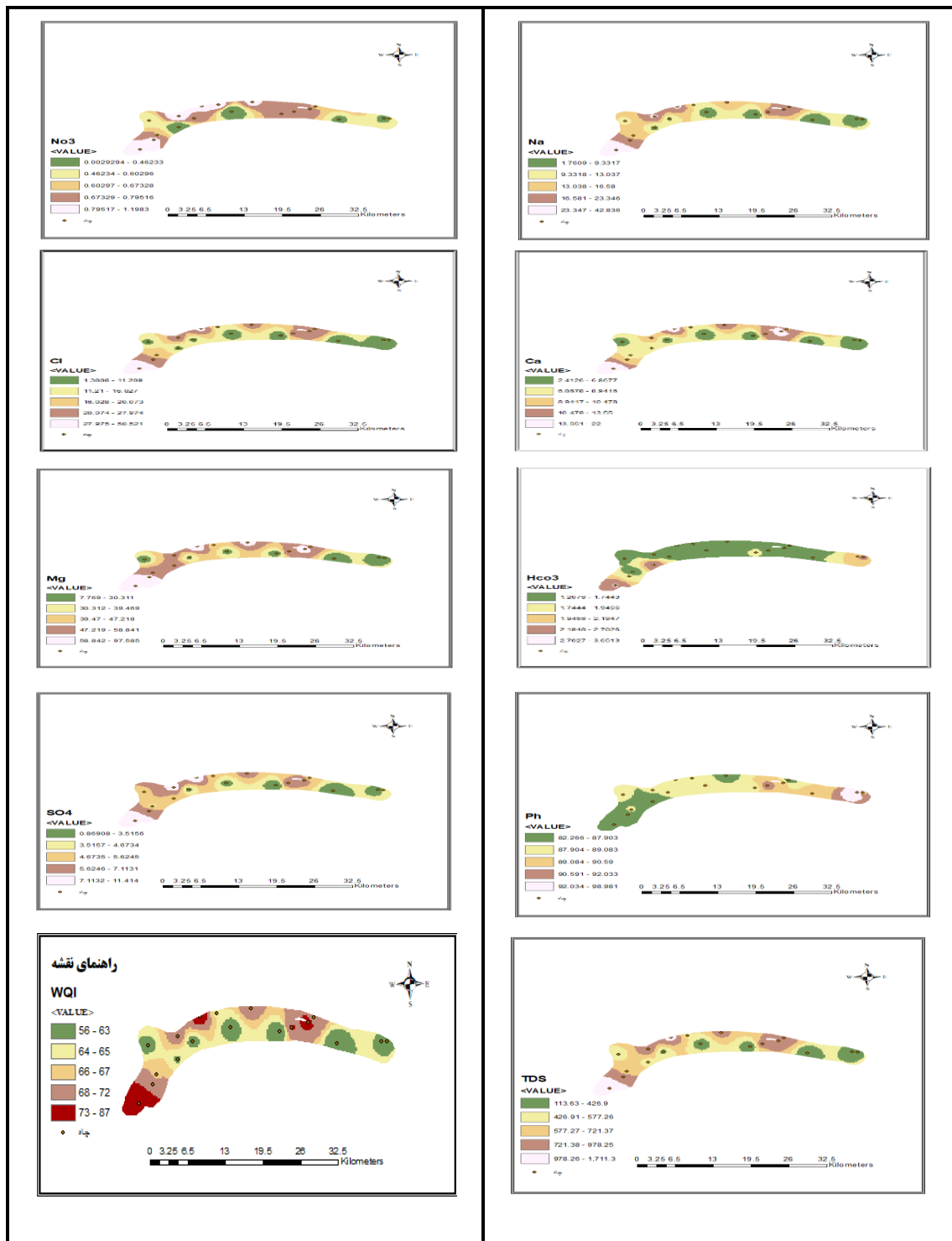
نتیجه‌گیری

برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت بیرجند از لحاظ شرب، از شاخص‌های WQI, GQI استفاده شد برای محاسبه شاخص‌های GQI از ۶ پارامتر شیمیایی Na, Mg,

Ca, Cl, SO₄, TDS که در کیفیت آب شرب تأثیرگذار هستند استفاده شد. برای محاسبه شاخص WQI علاوه بر 6 پارامتر ذکر شده از پارامترهای NO₃, HCO₃, PH استفاده گردید. با تعیین میزان شاخص‌های WQI و GQI مشخص گردید که کیفیت آب شرب منطقه از نظر شاخص GQI در رده کیفیت قابل قبول تا مناسب و از لحاظ شاخص WQI در رده کیفیت بد تا خیلی بد قرار گرفت. از آنجایی که پارامتر PH دارای وزن بالایی در شاخص WQI بود و این پارامتر در شاخص GQI مورد استفاده قرار نگرفته و از طرفی با توجه به افزایش غلظت این پارامتر در فاصله سال‌های ۹۷-۸۷ می‌تواند یکی از علل این اختلاف نتیجه در شاخص‌های مذکور باشد.

نتیجه‌گیری

برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت بیرجند از لحاظ شرب، از شاخص‌های WQI, GQI استفاده شد برای محاسبه شاخص‌های GQI از ۶ پارامتر شیمیایی Na, Mg,



شکل ۶. نقشه‌های رتبه‌بندی شده برای هر یک از پارامترها در بازه‌های زمانی مشخص.
Fig 6. Ranked Maps for Each Parameter in Certain Time Intervals.

Characterisation of groundwater quality using water evaluation indices, multivariate statistics and geostatistics in central Bangladesh. *Journal of Water Science*, 30(1), 19–40.
 Eslami, H., Almodaresi, S., Khosravi, R., Fallahzadeh, R., Peirovi, R., & Taghavi, M. (2018). Assessment of groundwater quality in Yazd-

منابع

Babiker, I. S., Mohamed, M. A., & Hiyama, T. (2007). Assessing groundwater quality using GIS. *Water Resources Management*, 21, 699-715.
 Bodrud-Doza, M., Islam, A.R.M.T., Ahmed, F., Das, S., Saha, N., & Rahman, M.S. (2016).

Information System, *Journal of Hydrology and Soil Science*, 22(4), 99-108.

Ardakan plain for agricultural purposes using geographic information system (GIS). *Journal of Health*, 8(5), 575-586. [In Persian]

Hiyama, T. (2010). *Evaluation of groundwater vulnerability (and sustainability)*. 20th UNESCO – IHP training course DOI 10.1007/S11269-006-9059-6.

Joudi, A. (2009). *Introduction of the GQI index for evaluating groundwater quality for drinking purposes*. In Proceedings of the 27th Earth Sciences Conference and the 13th Symposium of the Iranian Geological Society. [In Persian]

Kulinkina, A.V., Plummer, J.D., Chui, K.K.H., Kosinski, K.C., Adomako-Adjei, T., Egorov, A.I., et al. (2017). Physicochemical parameters affecting the perception of borehole water quality in Ghana. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220(6), 990-7.

Luka, F., Jonas, L. (2009). *Groundwater: Modeling, Management and Contamination*. Nova Science Publishers, Inc.

Mojarad, Z., Pazira, A. R., & Tabatabaie, T. (2021). Evaluation of groundwater quality in Dayyer City Bushehr using groundwater quality index (GQI). *Journal of Nature and Spatial Sciences (JONASS)*, 1(2), 75 -90.

Pandey, H.K., Tiwari, V., Kumar, S., Yadav, A., & Srivastava, S.K. (2020). Groundwater quality assessment of Allahabad smart city using GIS and water quality index. *Sustainable Water Resources Management*, 6(2), 1-14.

Ram, A., Tiwari, S.K., Pandey, H.K., Chaurasia, A.K., Singh, S., & Singh, Y.V. (2021). Groundwater quality assessment using water quality index (WQI) under GIS framework. *Applied Water Science*, 11(2), 1-20.

Dehrami, R., & Amiri, F. (2023). Impact assessment of land-use changes on groundwater quality in Dahram watershed of Fars province, *Journal of Water and Soil Management and Modeling*, 3(1), 165-180. [In Persian]

Sargazi, S., Almodaresi, S.A., Ebrahimi, A.A., Dalvand, A., Sargazi, H., & Khatebasreh, M. (2020). Assessment of groundwater quality for industrial purposes using geographical information system (GIS) in Zahedan, Sistan and Baluchestan Province, Iran. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*, 5(4), 1162-1172.

Slama, T., & Sebei, A. (2020). Spatial and temporal analysis of shallow groundwater quality using GIS, Grombalia aquifer, Northern Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*, 170, 103915.

WHO, World Health Organization. (2004). *Guidelines for drinking-water quality*, vol 1, 3rd edn, recommendations. WHO, Geneva, Switzerland.

Abbasi, Z., Azimzadeh, H., Talebi, A., & Sotoudeh, A. (2019). Evaluating Quality of Ajabshir Groundwater Resources Based on Groundwater Quality Indicator (GQI) and Geographical