Environ. Water Eng., 2023, 9(4), 515-531 DOI: 10.22034/EWE.2023.363252.1810

Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir

ISSN: 2476-3683

Case Study

Evaluation of Suitability Groundwater Quality for Agricultural, Drinking and Industrial Purposes (Case Study: South of Chaharmahal and Bakhtiari Province)

Seyed Mohammad Reza Hosseini Vardanjani[1], Mojtaba Khoshravesh[2*], Marzieh Ghahreman[3] and Masoud Naderi[4]

[1]PhD Scholar, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[2]Assoc. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[3]M.Sc. Alumni, Department of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
[4]M.Sc. Alumni, Department of Water Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Article information

Received: September 25, 2022
Revised: February 09, 2023
Accepted: February 09, 2023

Keywords:
Drought
Groundwater
Inverse Distance Weighting
Kriging

*Corresponding author:
m.khoshravesh@sanru.ac.ir

Abstract

The significant reduction of surface water resources and recent recurrent droughts have increased the reliance on groundwater sources, leading to a decline in their quality. In this study, 28 samples of well water from different locations in Khanmirza, Lordegan, Borujen, Ardal and Kiar were collected in 2020-2021 and underwent chemical analysis in the laboratory. To evaluate the quality of the samples for use in agricultural, drinking and industrial sectors, the Wilcox diagram, Schuler diagram and Langlier index were used. Using interpolation methods, the chemical properties of the samples taken within the study area were examined and qualitative zoning maps were prepared using Kriging and inverse distance weighting methods. The results showed that according to the Wilcox diagram, most of the samples are within the range of C_2S_1 and are suitable for agricultural purposes. According to the Schuler diagram, these samples are within the range of good quality for drinking and based on the Langlier index, they are within the range of precipitating and consumable. This study helps decision-makers to have a clear view and plan comprehensively and effectively for the exploitation and preservation of groundwater resources, taking into account the qualitative maps of groundwater.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Introduction

Groundwater is considered an essential and important part of the renewable water ecosystem, and compared to surface water, it has various advantages, such as higher quality and lower levels of pollution. Groundwater is occasionally accessible in arid and semi-arid areas with very little surface water. However, the increase in population growth and water demand, the rise in standards of living, and the pollution of water resources due to the discharge of urban, industrial, and agricultural sewage and surface runoff have created an unfavorable

environmental situation and intensified water resource pollution. It has become very challenging to achieve rational management and logical decision-making regarding the quality of water used in various sectors, including industry, drinking and agriculture. The industrial sector is a fundamental element in the development and improvement of both product quality and societal health.

The lack of awareness regarding the quality of groundwater can lead to issues in managing water resources that could affect the health of people and hinder development in various regions. Thus, it is crucial to have knowledge of groundwater quality, its fluctuations, and to exercise control over it. Given the recent decline in rainfall, intermittent droughts, significant drops in groundwater levels in Lordegan and Borujen plains, and the increasing use of groundwater, assessing its quality is vital. Therefore, the objective of this study is to evaluate the quality of groundwater for agricultural, drinking, and industrial purposes in Khanmirza, Lordegan, Borujen, Ardal, and Kiar cities of Chahar Mahal and Bakhtiari provinces.

Material and Methods

The province of Chaharmahal and Bakhtiari, with an area of 16532 km^2, is situated between 31° 9′ to 32° 48′ north latitude and 49° 28′ to 51° 25′ east longitude. This province lies in the central part of the Zagros mountains, between the foothills of the Darn and Isfahan provinces. It is bordered by Isfahan province to the north and east, Khuzestan province to the west, Kahgiluyeh and Boyer Ahmad to the south, and Lorestan province to the northwest. This province is a mountainous region along the Zagros Mountain range that stretches from the northwest to the southeast. According to the Amberje method, the climate of the studied area varies from dry and cold in Borujen, Ardal, and Kiyar cities to humid in Lordegan and Khanmirza cities. In this study, 28 well water samples were collected from the cities of Khanmirza, Lordegan, Borujen, Ardal, and Kiar between 2020 and 2022 to investigate changes in groundwater and assess its suitability for agricultural, drinking, and industrial purposes. The collected samples were sent to the laboratory for analysis. The Wilcox diagram was used to evaluate the suitability of water resources for agricultural use. This diagram is a commonly used method for classifying water based on its agricultural potential. The diagram uses the horizontal axis to represent water salinity and the vertical axis to represent the sodium absorption ratio, resulting in 16 classes that describe water quality based on these two factors. The Schuler diagram is another standard method for classifying water quality for drinking purposes, which allows for checking water quality at specific points in a desired area. The Schuler diagram is a semi-logarithmic chart that displays the concentration of primary ions in milliequivalents per liter. Calcium, magnesium, sodium, TDS, TH, chloride, sulfate and bicarbonate are among the indicators used in this method to analyze water quality. For chemical analyses of water samples, the Langelier Saturation Index (LSI) was used to measure the tendency of industrial water to form scale or corrode. To calculate this index, it is necessary to analyze the parameters of alkalinity, calcium hardness, total solids, temperature, and pH. The quality of water, temperature change, or evaporation can affect the index. To prepare a map for assessing the groundwater quality of the region, the study area was drawn in the ArcGIS 10.5 software environment, and the locations of the 28 sampled wells were determined on the map. The kriging method and inverse distance weighting method (IDW) were used to draw changes in the parameters.

Results

The increasing usage of groundwater and the necessity of evaluating its quality and suitability for agricultural, drinking, and industrial purposes are of great importance. Therefore, this study aimed to assess the quality of groundwater in the cities of Khanmirza, Lordegan, Borujen, Ardal, and Kiar in Chahar Mahal and Bakhtiari provinces for the aforementioned purposes. Based on the Wilcox diagram, most of the samples are categorized as C_2S_1 (slightly saline and suitable for agriculture) and have good quality for agricultural use. The samples falling under the C_3S_1 category (saline and suitable for agriculture with necessary measures) can also be used for agriculture with appropriate measures. According to the Wilcox diagram's qualitative classification of water and the frequency of data, approximately 82.14% of the samples are in the C_2S_1 and 17.86% are in the C_3S_1qualitative range. The qualitative evaluation of water for drinking purposes according to the Schuler diagram indicates that small changes in sodium, chlorine, and sulfate in the studied range will still fall into the suitable category. Additionally, the number of dissolved solids and the total hardness

of the water in the tested samples are classified into three categories: good, acceptable and average (Table 1).

Table 1 The percentage of each of Schuler classification classes for drinking purposes in the entire range

SO_4	Cl	Na	pH	TH	TDS	class
100	100	100	75	46.43	67.86	good
0	0	0	17.86	46.43	25	acceptable
0	0	0	7.14	7.14	7.14	medium
0	0	0	0	0	0	unsuitable
0	0	0	0	0	0	unpleasant
0	0	0	0	0	0	undrinkable

The Langelier index was used in this study to measure the tendency of the water to sediment or corrode in industrial applications. A negative index value indicates corrosive water, while positive values indicate sedimentary water. When the value is zero, the water is considered balanced (stable). The calculated LSI values for the samples in this study fell within the range of sedimentary and corrosive. To better understand the spatial changes in the study area, maps of the spatial distribution of parameters including EC, TDS, Na, Cl, TH, SO_4 and TDS, as well as the Langelier index, were created using ArcGIS 10.5 software. Choosing an optimal interpolation technique, is crucial for accurately estimating the studied characteristics in unsampled areas or spatially zoning the target area.

Conclusions

Considering the decrease in rainfall, recent intermittent droughts, the increase in withdrawal from groundwater tables, and the significant reduction in surface water resources, it is necessary to assess the quality of groundwater, including its suitability for drinking and other purposes. In this study, the qualitative assessment of groundwater for agricultural use was conducted in the Khanmirza, Lordegan, Borujen, Ardal, and Kiar counties of Chaharmahal and Bakhtiari provinces. To achieve this, 28 water samples were collected from underground sources (wells) in the region between 2020 and 2022 and subjected to chemical analysis in the laboratory. Interpolation methods were used to investigate the chemical characteristics of the groundwater for drinking, agriculture, and industry uses, and zoning maps were prepared using the kriging and inverse distance weighting (IDW) methods. The results showed that, according to the Wilcox diagram, most samples fell within the C_2S_1 range, indicating they are suitable for agricultural use. Also, according to the Schuler diagram, these samples are of good quality for drinking purposes and are suitable for consumption. Based on the Langelier index, they fall within the range of sedimentary and corrosive. Geostatistical studies also demonstrate the superiority of the Kriging interpolation method in zoning and estimating the groundwater's qualitative components in the region for most of the analyzed chemical components. Additionally, the water's sedimentation ability in the studied samples is more significant in the southeast and eastern parts of the study area.

Data Availability

The data can be requested from the corresponding author via email.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

دوره ۹، شماره ۴، صفحات: ۵۱۵-۵۳۱
DOI: 10.22034/EWE.2023.363252.1810

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

ISSN: 2476-3683

مطالعه موردی

ارزیابی تناسب کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت (مطالعه موردی: جنوب استان چهارمحال و بختیاری)

سید محمدرضا حسینی وردنجانی[۱]، مجتبی خوش‌روش[۲*]، مرضیه قهرمان[۳] و مسعود نادری[۴]

[۱]دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندس زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
[۲]دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
[۳]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
[۴]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

کاهش چشمگیر منابع آب سطحی و خشکسالی‌های متناوب اخیر استفاده از منابع آب زیرزمینی را بیشتر نموده و باعث کاهش کیفیت این آب‌ها شده است. در این پژوهش ۲۸ نمونه از آب چاه نقاط مختلف در شهرستان خانمیرزا، لردگان، بروجن، اردل و کیار در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ برداشت و در آزمایشگاه مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت. برای ارزیابی کیفی نمونه‌ها جهت استفاده در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت از دیاگرام ویلکوکس، دیاگرام شولر و شاخص لانژیلر استفاده شد. با استفاده از روش‌های درونیابی، خصوصیات شیمیایی نمونه‌های برداشت شده در محدوده مورد مطالعه بررسی و نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی با روش کریجینگ و وزن دهی عکس فاصله تهیه شد. نتایج نشان داد که بر طبق دیاگرام ویلکوکس اکثر نمونه‌ها در محدوده c_2s_1 قرار دارند و برای مصارف کشاورزی مناسب هستند. این نمونه‌ها بر طبق دیاگرام شولر برای مصارف شرب در محدوده کیفیت خوب و برای شرب مناسب و بر مبنای شاخص لانژیلر در محدوده رسوب‌گذار و خورنده قرار می‌گیرند. این پژوهش کمک می‌نماید تا تصمیم‌گیران با داشتن دیدی روشن با توجه به نقشه‌های کیفی آب زیرزمینی، بتوانند برنامه‌ریزی جامع و مفیدی در خصوص بهره‌برداری و نگهداری از منابع آب زیرزمینی داشته باشند.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۷/۰۳]
تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۱۱/۲۰]
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۱۱/۲۰]

واژه‌های کلیدی:
آب زیرزمینی
خشکسالی
کریجینگ
وزن‌دهی عکس فاصله

***نویسنده مسئول:**
m.khoshravesh@sanru.ac.ir

۱- مقدمه

آب‌های زیرزمینی به‌عنوان بخش مهمی از آب‌های تجدید-پذیر بوم‌سازگان به‌حساب می‌آیند و در مقایسه با آب‌های سطحی دارای مزیت‌های مختلفی مانند کیفیت بالاتر و آلودگی کمتر هستند. در اغلب موارد آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک که آب‌های سطحی خیلی کم می‌باشند قابل‌دسترس هستند (Nas and Berktay 2010).

افزایش رشد جمعیت و تقاضای آب، بالا رفتن سطح زندگی، گسترش آلودگی منابع آب ناشی از تخلیه فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی و رواناب‌های سطحی، موجب ایجاد وضع نامساعد زیست‌محیطی و تشدید آلودگی منابع آب شده است و مدیریت معقول و منطقی آن را بسیار دشوار کرده‌است (Rezaei et al. 2015). افزایش جمعیت و بهره-برداری از این منابع ارزشمند باعث گردیده است که علاوه بر کمیت، کیفیت این منابع نیز کاهش یابد (BamdadMachiani et al. 2014). عدم آگاهی از وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌تواند مشکلاتی را برای مدیریت منابع آب از نظر وضعیت بهداشتی و سلامت مردم و هم‌چنین توسعه‌های موردنیاز در هر منطقه ایجاد نماید، لذا آگاهی از وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی، تغییرات و کنترل آن یکی از نیازهای مدیریتی بوده و بسیار ضروری است. ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی یکی از مباحث مهم در طرح‌های توسعه منابع آب کشور است (Sarbazy and Esmaili 2014).

در بررسی کیفی منابع آبی جهت استفاده در بخش‌های مختلف مطالعات متعددی صورت گرفته است. در پژوهشی در کشور سریلانکا به بررسی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت چوناکام جهت استفاده در کشاورزی پرداخته شد. نتایج نشان داد که ۱۶٪ نمونه‌ها با شوری متوسط و خطر قلیایی کم، جهت استفاده در کشاورزی مناسب هستند. همچنین مشخص شد که آب‌های زیرزمینی در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه کیفیت مناسب ندارند که به دلیل وجود دریاچه نمک در این منطقه می‌باشد (Sutharainy et al. 2012). Homayoonnezhad et al. (2016) به ارزیابی کیفیت آب مخازن چاه نیمه‌ی زابل از نظر شرب و کشاورزی با تکیه بر نمودارهای شولر و ویلکوکس پرداختند. نتایج نشان داد که بر طبق نمودار شولر کیفیت مخازن به لحاظ شرب در طبقه قابل‌قبول جای دارد. بر طبق دیاگرام ویلکوکس به لحاظ کشاورزی در طبقه متوسط قرار دارد و به شرط بافت سبک خاک می‌توان از آن برای کشاورزی استفاده کرد. (Sajadi Minaab and Yaghob (2017 به ارزیابی ژئوشیمیایی کیفیت آب زیرزمینی دشت برازجان برای مصارف کشاورزی در شمال استان بوشهر پرداختند. آن‌ها از ۲۱ نمونه آب زیرزمینی در اردیبهشت ۱۳۹۱ استفاده نمودند. با بررسی مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی مشخص شد آب‌های زیرزمینی دشت مذکور برای مصارف کشاورزی از کیفیت متوسط برخوردارند. در پژوهشی در کشور هند آب زیرزمینی منطقه‌ای را در جنوب غرب پنجاب هند برای مصارف شرب و کشاورزی با استفاده از استانداردهای آن کشور و نسبت جذب سدیم، نسبت منیزیم و نسبت خورندگی ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه از نظر شیمیایی برای مصارف شرب و کشاورزی نامناسب بود (Kaur et al. 2017).

Eslami et al. (2018) به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت یزد اردکان برای اهداف کشاورزی با استفاده از آمار کیفی ۱۰ ساله ۷۵ حلقه چاه با نرم‌افزار GIS پرداختند. نتایج نشان داد که در ۵۳/۱۸٪ از نواحی دشت یزد اردکان کیفیت آب برای آبیاری مناسب، ۲۸/۶۵٪ کیفیت متوسط و در ۱۸/۱۷٪ کیفیت آب نامناسب است. (Pourkhbaz et al. 2017) به پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی جهت استفاده در کشاورزی بر اساس طبقه‌بندی ویلکوکس در دشت قزوین پرداختند. نتایج نشان داد که ۳۴٪ از منطقه برای کشاورزی مناسب، ۵۱٪ نسبتاً مناسب و ۱۵٪ نامناسب می‌باشند. پژوهشی در کشور غنا برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای آبیاری و تأمین آب خانگی در شهرداری گاغرب انجام شد. نتایج نشان داد که تمام پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب‌های موردبررسی به‌جز TDS، Na و Cl در محدوده قابل‌قبول سازمان جهانی (WHO) می‌باشد. همچنین نمودار ویلکوکس نشان‌دهنده خطر کم تا متوسط سدیم با مقادیر شوری زیاد تا بسیار زیاد که نشان‌دهنده مناسب بودن آب برای اهداف آبیاری می‌باشد (Sunkari and Suchullo 2019).

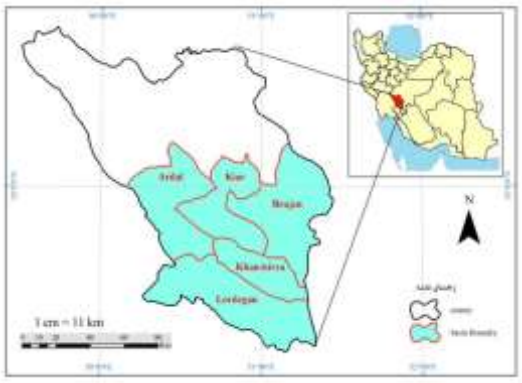
در پژوهشی در کشور ترکیه به بررسی قابلیت استفاده از آب‌های زیرزمینی جهت مصارف شرب و کشاورزی و اثرات آلودگی صنعتی و کشاورزی بر روی آب‌های زیرزمینی در استان کارابوک پرداخته شد. نتایج نشان داد که همه مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده از نظر آشامیدنی در حد بالایی بودند و از نظر کشاورزی فقط یکی از چاه‌ها قابل استفاده در فصل مرطوب است (Esmeray and Gokcokli 2020). MotamediRad et al. (2021) به ارزیابی کیفیت منابع آبی از نظر شرب، کشاورزی و صنعت در آبخوان کارستی روئین اسفراین استان خراسان شمالی پرداختند. نتایج نشان داد که از نظر آشامیدن و کشاورزی منابع آب موردبررسی در رده مناسب قرار می‌گیرند. در پژوهشی در کشور هند و ایالت

راجستان به بررسی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی جهت مصارف شرب پرداخته شد. برای محاسبه شاخص کیفیت آب ۱۵ نمونه آب جمع‌آوری و برای اجزای مختلف موجود در آب به دلیل آلودگی صنایع چاپ و رنگرزی اطراف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که ۴۰٪ از نمونه‌های آب از نظر کیفیت برای مصارف آشامیدنی عالی، ۲۰٪ از نمونه‌ها خوب و ۴۰٪ از نمونه‌های آب باقیمانده به دلیل مقدار بیش از حد آلاینده موجود در آب زیرزمینی، برای مصارف آشامیدنی و کشاورزی بسیار مضر خواهند بود (Shahnawaz et al. 2021). با توجه به کاهش بارندگی‌ها و خشکسالی‌های متناوب اخیر و افت شدید سفره آب زیرزمینی در دشت‌های لردگان و بروجن، و افزایش روزافزون استفاده از آب‌های زیرزمینی، این تحقیق درصدد است به ارزیابی کیفی و تحلیل تغییرات مکانی آب زیرزمینی در شهرستان‌های خانمیرزا، لردگان، بروجن، اردل و کیار از توابع استان چهارمحال و بختیاری پرداخته و اطلاعات کاربردی از وضعیت کیفیت منابع آب این مناطق ارائه نماید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

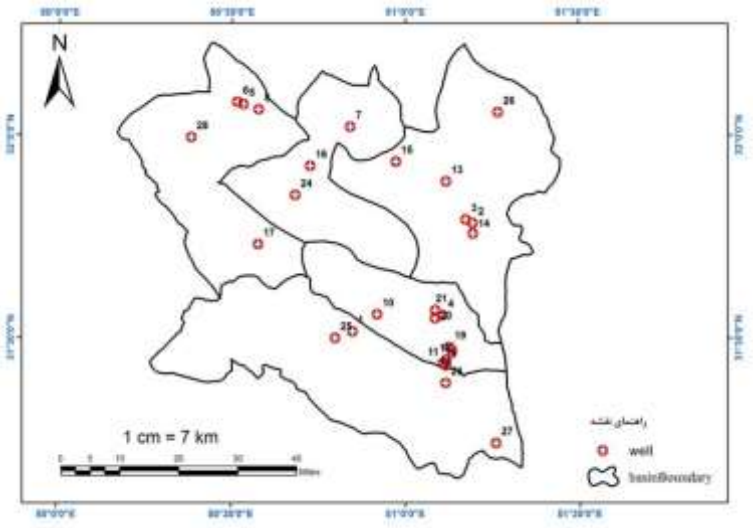
استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۵۳۲ km^2 بین ۳۱° و ´۹ تا ۳۲° و ´۴۸ عرض شمالی و نیز ۴۹° و ´۲۸ تا ۵۱° و ´۲۵ طول شرقی قرار دارد. این استان در بخش مرکزی کوه‌های زاگرس بین پیش کوه‌های داخل و استان اصفهان واقع شده است. از شمال و شرق به استان اصفهان، از غرب به استان خوزستان، از جنوب به کهگیلویه و بویراحمد و از شمال غرب به استان لرستان محدود است. این استان در مجموع منطقه‌ای است کوهستانی در امتداد سلسله کوه‌های زاگرس که از شمال غربی به طرف جنوب شرقی امتداد دارد. وجود تنوع ناهمواری از یک‌سو و قرارگیری این استان بر سر راه توده هواهای غربی زمستانه از سوی دیگر سبب ایجاد خرد اقلیم‌های متمایزی در استان شده‌است (Abbasnia and Baaghideh 2015). منطقه مطالعاتی در این پژوهش شهرستان‌های خانمیرزا، لردگان، بروجن، اردل و کیار می‌باشند که در شکل (۱) نشان داده شده است. اقلیم منطقه مورد مطالعه بر مبنای روش آمبرژه از خشک سرد در شهرستان‌های بروجن، اردل و کیار تا اقلیم مرطوب در شهرستان‌های لردگان و خانمیرزا متغیر است. همچنین اقلیم محدوده مورد مطالعه به چهار دسته اقلیم نیمه مرطوب معتدل سرد (شلمزار و ناغان در شهرستان کیار و بخش‌های مرکزی شهرستان بروجن)، اقلیم مرطوب معتدل سرد (بخش دیناران در شهرستان اردل و نواحی امام قیس در شهرستان بروجن)، اقلیم نیمه مرطوب کمی سرد (شهرستان لردگان) و اقلیم نیمه‌مرطوب بسیار گرم (حاشیه رودخانه ارمند در شهرستان لردگان) می‌باشد (Anonymous 2023). به دلیل محدودیت عمق آبرفت، ذخیره دشت‌ها محدود است و برداشت‌های بی‌رویه که نتیجه عدم رعایت و شناخت بیلان دشت بوده باعث افت شدید سطح آب در این دشت‌ها شده و علاوه بر کمیت، بر کیفیت آن‌ها نیز اثرگذار است. از طرفی خشکسالی‌های متناوب اخیر و کاهش بارندگی و نزولات جوی نیز بر افت چشمگیر سطح آب زیرزمینی اثر گذاشته‌است (Anonymous 2021).



شکل ۱- محدوده مطالعاتی
Fig. 1 Study area

۲-۲- گردآوری داده‌ها

در این پژوهش جهت بررسی تغییرات آب زیرزمینی و ارزیابی تناسب آن برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت از ۲۸ حلقه چاه در شهرستان‌های خانمیرزا، لردگان، بروجن، اردل و کیار در بازه‌ی زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ نمونه‌برداری شد. پراکنش چاه‌های نمونه‌برداری شده در شکل (۲) نشان داده شده‌است. نمونه‌های برداشت شده در آزمایشگاه مورد آنالیز و ارزیابی قرار گرفت. در جدول (۱) مشخصه‌های آماری مؤلفه‌های مختلف شیمیایی مورد آزمون، آورده شده است. در حال حاضر کاربری چاه‌های فوق برای مصارف کشاورزی می‌باشد. با توجه به خشکسالی‌های متناوب اخیر و کمبود منابع آب، قابلیت نمونه‌های موجود برای مصارف شرب و صنعت نیز مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۲- پراکنش چاه‌های موردبررسی در محدوده مورد مطالعه
Fig. 2 Distribution of investigated wells in the studied area

جدول ۱- مشخصه‌های آماری مؤلفه‌های مختلف شیمیایی
Table 1 Statistical characteristics of different chemical components

Parameter	EC	TDS	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	Cl	SO_4
unit	µmho/cm	ppm	-	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
The number of samples	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Arithmetic mean	606.1	429.3	7.7	78.5	21.9	14.5	2.1	289.3	3.9	53.0	3.3
Standard deviation	290.9	238.99	0.35	34.11	11.13	9.21	1.79	137.1	5.13	29.33	5.35
coefficient of Variation (%)	47.9	55.6	4.5	43.4	50.7	63.3	82.1	47.4	130.5	55.2	162.1
Maximum	1577	1225.7	8.7	188	60.7	35.2	7.02	744.8	15.6	116.4	29.2
Minimum	264	167.3	7.1	38.6	7.1	0.2	0.4	122.6	0	14.5	0.05
Mode	732	514.3	7.8	98.6	19.8	20.9	0.8	236.7	0	45.8	3.8
The middle	553.5	390.6	7.8	66.8	19.9	14.8	1.5	252.8	0.3	42.8	2.16
Range of changes	1313	1058.4	1.6	149.4	53.6	35.0	6.6	622.2	15.6	101.9	29.2
Skewness	1.8	1.9	0.6	1.8	1.7	0.3	1.5	2	1.1	1.1	4.5
Variance	84630	57115	0.1	1163.6	123.9	84.7	3.2	18809	26.3	860.2	28.6

۲-۳- ارزیابی منابع آبی برای مصارف کشاورزی

برای ارزیابی منابع آبی جهت استفاده در کشاورزی از دیاگرام ویلکوکس استفاده شد. دیاگرام ویلکوکس روشی بسیار متداول در طبقه‌بندی آب‌ها از نظر کشاورزی است. در این دیاگرام محور افقی به شوری آب و محور عمودی به نسبت جذبی سدیم اختصاص دارد. از تلفیق این دو عامل، کیفیت آب‌ها به ۱۶ طبقه تقسیم می‌شود. جدول (۲) که از C_1S_1 (عالی) شروع و به C_4S_4 (نامناسب) ختم می‌شود (Wilcox 1955) به کمک غلظت‌های کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg) و سدیم (Na) نسبت جذبی سدیم با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Mg+Ca}{2}}} \quad (۱)$$

که، غلظت سدیم، کلسیم و منیزیم بر حسب meq/l بیان می‌شود.

جدول۲- طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی بر اساس معیار ویلکوکس (Wilcox 1955)
Table 2 Classification of water in terms of agriculture according to Wilcox criteria

number	Class	Quality type for use in agriculture	SAR	Class	Description	EC	Class
1	c_1s_1	Sweet and Harmless for use in agriculture	0-10	S_1	Excellent	0-250	C_1
2	c_2s_1، c_2s_2،c_1s_2	A little salt is almost suitable for agriculture	10-18	S_2	Good	250-750	C_2
3	c_3s_3،c_3s_2،c_3s_1،c_2s_3،c_1s_3	salt and suitable for agriculture by applying the necessary measures	18-26	S_3	Normal	750-2250	C_3
4	c_4s_3،c_4s_1،c_4s_2،c_4s_4،c_3s_4،c_2s_4،c_1s_4	Too much salt is harmful for agriculture	26-32	S_4	Unsuitable	2250-5000	C_4

۲-۴- ارزیابی منابع آب برای مصارف شرب

آب زیرزمینی منبع قابل توجهی برای مصرف انسان است و حفظ آن ازنظر کیفیت و در دسترس بودن برای نسل‌های آینده از اهمیت بالایی برخوردار است (Khanoranga and Khalid 2019). این منابع را می‌توان در مجموع ویژگی-های فیزیکی، شیمیایی، سموم، باکتریولوژیکی و رادیولوژیکی مورد بررسی قرار داد (Jahangir and Soltani 2018). از روش‌های متداول جهت طبقه‌بندی آب برای مصارف شرب، دیاگرام شولر[1] می‌باشد که امکان بررسی آب را در یک نقطه خاص از منطقه موردنظر ارائه می‌دهد. سختی کل (بر حسب $CaCO_3$) نمونه‌های آب را می‌توان با استفاده از رابطه (۲) محاسبه کرد (Bhat et al. 2018).

$$[CaCO_2] = 2.5\,[Ca^{2+}]+4.1[Mg^{2+}] \qquad (۲)$$

که، غلظت یون‌ها برحسب meq/l می‌باشد. طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس دیاگرام شولر می‌باشد (Talebi et al. 2017).

۲-۵- ارزیابی منابع آبی برای مصارف صنعت

خواص خوردگی و یا باز دارندگی یون‌ها علاوه بر نوع آن‌ها به غلظت یون نیز بستگی دارد. غالباً مقدار یون‌هایی که خاصیت بازدارندگی دارند باید بیش از مقدار اکسیژن حل شده در محلول باشد تا سرعت واکنش کاتدی احیاء اکسیژن کاهش یابد (Sarbazy and Esmaili 2014). در این پژوهش برای بررسی‌های شیمیایی نمونه‌ی آب در سنجش تمایل به رسوب‌گذاری یا خوردگی در صنعت از شاخص لانژیلر (LSI) استفاده شد. برای محاسبه این شاخص تحلیل پارامترهای قلیائیت، سختی کلسیمی، کل مواد جامد، درجه حرارت و pH ضروری است. کیفیت آب، تغییر درجه حرارت و یا تبخیر می‌تواند این شاخص را تحت تأثیر قرار دهد. این شاخص از رابطه (۳) محاسبه شد (Azari et al. 2016).

$$LSI = pH\text{-}pH_c \qquad (۳)$$

که، pH اسیدیته آب اندازه‌گیری شده و pH_c اسیدیته محاسباتی که از رابطه (۴) به‌دست می‌آید.

$$pHc = (9.3+A+B)-(C+D) \qquad (۴)$$

که، A، B، C و D به ترتیب ضرایب مربوط به املاح محلول در آب برحسب ppm، درجه حرارت بر حسب °C، سختی کلسیم بر حسب ppm کلسیم کربنات و قلیائیت بر حسب ppm کلسیم کربنات می‌باشند.

۲-۶- تهیه نقشه تغییرات مکانی پارامترها

برای تهیه نقشه ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی منطقه، مرز محدوده مطالعاتی در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5 تهیه شده و موقعیت ۲۸ حلقه چاهی که نمونه‌برداری از آن منابع صورت گرفته بود روی نقشه مشخص شد. سپس برخی مؤلفه‌های شیمیایی آب در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. از دو روش میانیابی کریجینگ و روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) جهت پهنه‌بندی و ترسیم نقشه رستری، تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب در محدوده مطالعاتی استفاده شد.

۲-۷ - روش‌های درون‌یابی

درون‌یابی یک نوع تحلیل ریاضی-آماری است که با استفاده از آن می‌توان برای نقاطی که هیچگونه برداشت

[1] Schuler diagram

اطلاعاتی انجام نشده است، مقادیری را برآورد نمود. یکی از معمول‌ترین روش‌های درون‌یابی روش وزن دهی عکس فاصله (IDW) برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری شده بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، وزنی بر اساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می‌گیرد. سپس این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود، به‌طوری‌که توان‌های بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچکتر وزن‌ها را به‌طور یکنواخت‌تری بین نقاط هم‌جوار توزیع می‌کنند. از دیگر روش‌های درون‌یابی می‌توان به روش پیشرفته کریجینگ اشاره نمود که با کمترین واریانس تخمین، درون‌یابی نموده و میزان خطای آن تابع مشخصات تغییرنما می‌باشد و از دقت بالایی برخوردار است. این روش بر اساس میانگین متحرک‌وزنی به‌عنوان بهترین تخمین‌گر ناریب شناخته شده‌است (Sadeghiet al. 2016; Ghahrodi Tali 2005).سپس داده‌ها از لحاظ نرمال بودن بررسی شد و مقایسه این دو روش با ابزار Geostatistical Analyst انجام و از شاخص آماری RMSE استفاده شد که از رابطه (۵) به‌دست آمد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(O_i - P_i)^2}{n}} \quad (۵)$$

که، O_i شاخص محاسبه شده؛ P_i شاخص پیش بینی شده؛ RMSE مجذور میانگین مربعات خطا که هر چه این شاخص به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده خطای کمتر و دقت بالای مدل می‌باشد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- ارزیابی بر اساس دیاگرام ویلکوکس

از ویژگی‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک مشکلات شوری و سدیمی بودن اراضی و منابع آبی مورد استفاده در آبیاری محصولات کشاورزی است (Osati and Nahvinia 2016).

جدول ۳- کیفیت چاه‌های موردبررسی بر طبق دیاگرام ویلکوکس

Table 3 The quality of investigated wells according to the Wilcox diagram

number	Point	SAR	EC	Class	Qualty for agriculture
1	Lordegan	0.21	468	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
2	Brujen	0.43	1325	C_3S_1	salt and suitable for agriculture by applying the necessary measures
3	Brujen	0.3	730	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
4	khanmirza	0.02	570	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
5	Ardal	0.09	297	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
6	Ardal	0.41	1577	C_3S_1	salt and suitable for agriculture by applying the necessary measures
7	Ardal	0.24	564	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
8	Ardal	0.38	880	C_3S_1	salt and suitable for agriculture by applying the necessary measures
9	Lordegan	0.17	359	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
10	khanmirza	0.61	304	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
11	Lordegan	0.4	504	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
12	khanmirza	0.5	732	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
13	Brujen	0.19	488	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
14	Brujen	0.62	350	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
15	Brujen	0.1	318	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
16	kiar	0.53	761	C_3S_1	salt and suitable for agriculture by applying the necessary measures
17	Ardal	0.86	543	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
18	khanmirza	0.5	732	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
19	khanmirza	0.27	715	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
20	khanmirza	0.26	535	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
21	khanmirza	0.43	548	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
22	khanmirza	0.26	559	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
23	Lordegan	0.44	546	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
24	Kiar	0.01	350	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
25	Lordegan	0.53	750	C_3S_1	salt and suitable for agriculture by applying the – salty necessary measures for agriculture
26	Brujen	0.57	641	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
27	Lordegan	0.81	563	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty
28	Ardal	0.16	264	C_2S_1	Suitable for agriculture – A little salty

مهم‌ترین عوامل در تعیین کیفیت آب آبیاری، طبقه‌بندی ویلکوکس با استفاده از مقادیر هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذبی سدیم (SAR) می‌باشند. این دو نه تنها بر رشد گیاه مؤثرند، بلکه درجه تناسب آب را از نظر آبیاری و تأثیر آن بر نفوذپذیری خاک مشخص می‌سازند. با توجه به مقادیر نسبت جذبی سدیم و مقادیر هدایت الکتریکی حاصل از تجزیه شیمیایی به کمک دیاگرام ویلکوکس به ارزیابی کیفیت نمونه‌ها پرداخته شد (جدول ۳).

همان‌طور که از جدول (۴) مشخص است، اکثر نمونه‌ها در محدوده C_2S_1 (کمی شور و مناسب برای کشاورزی) قرار می‌گیرند و از کیفیت خوب برای استفاده درکشاورزی برخوردار می‌باشند و نمونه‌هایی که در محدوده C_3S_1 (شور برای کشاورزی با اعمال تمهیدات لازم) قرار می‌گیرند که با اعمال تمهیدات مناسب می‌توان از آن‌ها برای کشاورزی استفاده کرد. با توجه به طبقه‌بندی کیفی آب به روش ویلکوکس و فراوانی داده‌ها حدود ۸۲/۱۴٪ از نمونه‌ها در محدوده کیفی C_2S_1 و میزان ۱۷/۸۶٪ از آن‌ها در محدوده کیفی C_3S_1 واقع است. BamdadMachiani et al. (2014) به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی استان گیلان برای مصارف کشاورزی و صنعت پرداختند. نتایج نشان داد که بر طبق دیاگرام ویلکوکس، آب‌های زیرزمینی منطقه اغلب در گروه‌های خوب و متوسط قرار گرفته و هیچ محدودیتی از لحاظ استفاده در بخش کشاورزی ندارند.

۳-۲- ارزیابی بر اساس دیاگرام شولر

برای ارزیابی کیفی منابع آب موردبررسی در این پژوهش برای مصارف شرب از دیاگرام شولر استفاده شد. از شاخص‌هایی که این روش برای تحلیل وضعیت آب از آنها استفاده می‌کند می‌توان به کلسیم، منیزیم، سدیم، کل املاح محلول در آب، سختی آب، کلر، سولفات و بی‌کربنات نام برد. سختی کل در نمونه‌های آب با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد. مقادیر محاسبه شده در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ۴- کیفیت آب بر اساس سختی کل

Table 4 Water quality based on total hardness

Number	Point	TH (total)	Temporary hardness	Noncarbonate hardness
1	Lordegan	218.85	163.5	55.35
2	Brujen	594.8	523	71.8
3	Brujen	339.87	305.5	34.37
4	khanmirza	260.82	225.5	35.32
5	Ardal	144.98	133.5	11.48
6	Ardal	719.3	636.5	82.8
7	Ardal	264.61	240.5	24.11
8	Ardal	395.43	338.55	56.88
9	Lordegan	171.2	151	20.2
10	khanmirza	199.65	196	3.65
11	Lordegan	233.42	206.5	26.92
12	khanmirza	327.68	202	125.68
13	Brujen	229.2	192	37.2
14	Brujen	169.35	169.35	0
15	Brujen	275.49	237	38.49
16	kiar	323.56	216	107.56
17	Ardal	249.05	249.05	0
18	khanmirza	327.68	202	125.68
19	khanmirza	335.35	292	43.35
20	khanmirza	246.6	171	75.6
21	khanmirza	236.81	214	22.81
22	khanmirza	253.58	214.5	39.08
23	Lordegan	234.87	202	32.87
24	Kiar	167.86	107	60.86
25	Lordegan	324.48	270	54.48
26	Brujen	292.71	250.5	42.21
27	Lordegan	354.49	354.49	0
28	Ardal	125.52	100.5	25.02

درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی دیاگرام شولر برای مصارف شرب در محدوده مورد مطالعه در جدول (۵) ذکر شده است. ارزیابی کیفی آب جهت استفاده در مصارف شرب بر طبق دیاگرام شولر حاکی از آن است که تغییرات اندک

سدیم، کلر و سولفات در محدوده مورد مطالعه در طبقه خوب قرار خواهد گرفت. همچنین میزان املاح محلول و سختی کل آب در نمونه‌های آزمون شده در سه طبقه خوب، قابل‌قبول و متوسط دسته‌بندی شده‌است. لذا می‌توان گفت در این محدوده مطالعاتی میزان غلظت نمک‌های محلول و سختی کل، تعیین کننده کیفیت آب شرب خواهد بود. همچنین میزان نمکهای محلول و سختی کل آب در نمونه های آزمون شده در سه طبقه خوب، قابل‌قبول و متوسط دسته‌بندی شده‌اند. Ige et al. (2017) به بررسی تعیین مناسب بودن منابع آب منطقه ایوغربی نیجریه برای اهداف شرب و کشاورزی با استفاده از ۲۰ نمونه آب جمع‌آوری شده از چاه‌ها پرداختند. نتایج نشان‌دهنده مناسب بودن اکثر نمونه‌ها برای آبیاری و شرب است.

جدول ۵- درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در کل محدوده

Table 5 The percentage of each of Schuler classification for drinking purposes in the entire area

Class	TDS	TH	pH	Na	Cl	SO_4
Good	67.86	46.4	75	100	100	100
Acceptable	25	46.4	17.9	0	0	0
Medium	7.14	7.14	7.14	0	0	0
Unsuitable	0	0	0	0	0	0
Unpleasant	0	0	0	0	0	0
Undrinkable	0	0	0	0	0	0

جدول ۶- کیفیت آب برای مصارف صنعتی

Table 6 Water quality for industrial use

Number	Point	pHc	pH	pH-pHc	Water quality for industrial use
1	Lordegan	7.6	7.78	0.18	sedimentation
2	Brujen	6.8	7.82	1.02	sedimentation
3	Brujen	7.2	7.79	0.59	sedimentation
4	khanmirza	7.4	7.91	0.51	sedimentation
5	Ardal	7.08	7.87	0.79	sedimentation
6	Ardal	6.7	7.28	0.58	sedimentation
7	Ardal	7.4	7.38	-0.02	corrosive
8	Ardal	7.1	7.22	0.12	sedimentation
9	Lordegan	7.7	7.83	0.13	sedimentation
10	khanmirza	7.9	7.98	0.08	sedimentation
11	Lordegan	7.5	7.89	0.39	sedimentation
12	khanmirza	7.4	7.26	-0.14	corrosive
13	Brujen	7.584	7.6	0.016	sedimentation
14	Brujen	7.6	7.84	0.24	sedimentation
15	Brujen	7.5	8.79	1.29	sedimentation
16	kiar	7.4	7.84	0.44	sedimentation
17	Ardal	7.3	7.71	0.41	sedimentation
18	khanmirza	7.4	7.26	-0.14	corrosive
19	khanmirza	7.2	7.96	0.76	sedimentation
20	khanmirza	7.7	7.61	-0.09	corrosive
21	khanmirza	7.5	7.99	0.49	sedimentation
22	khanmirza	7.5	7.79	0.29	sedimentation
23	Lordegan	7.6	7.71	0.11	sedimentation
24	Kiar	7.8	7.15	-0.65	corrosive
25	Lordegan	7.6	7.4	-0.2	corrosive
26	Brujen	7.3	7.91	0.61	sedimentation
27	Lordegan	7	8.32	1.32	sedimentation
28	Ardal	8	7.82	-0.18	corrosive

۳-۳- ارزیابی بر اساس شاخص لانژیلر

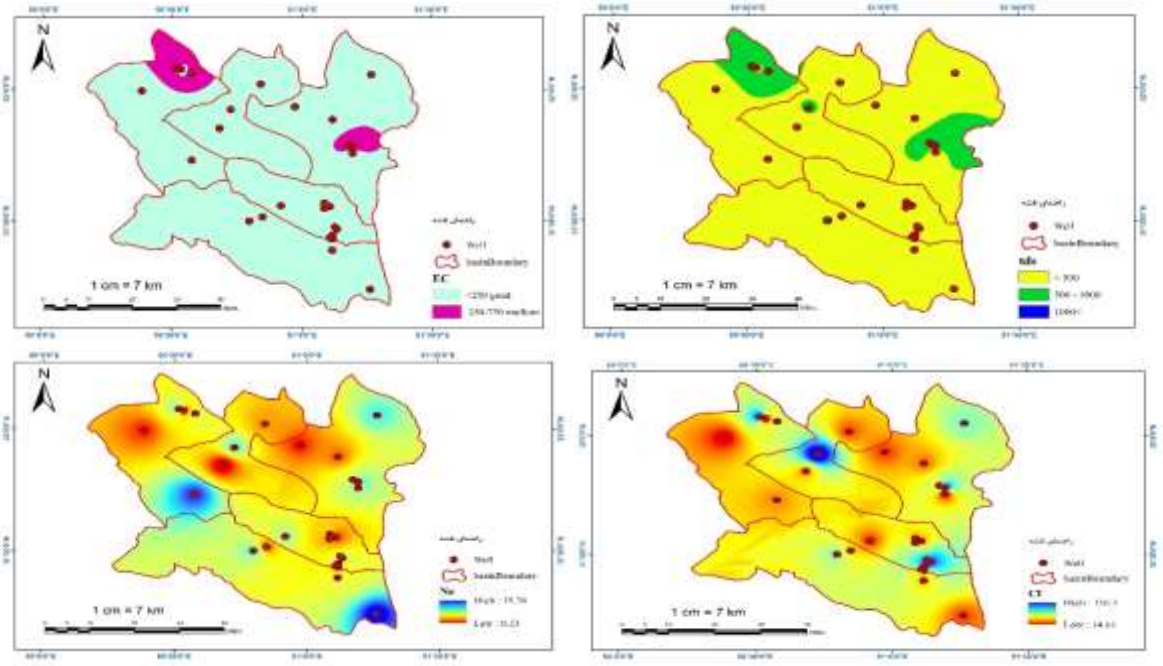
آب ماده حیاتی صنایع مانند کاغذسازی، نساجی و داروسازی است که در ترکیب تولید، در آماده‌سازی مواد و یا در سرد کردن دستگاه‌ها به کار می‌رود. آبی که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌تواند حالت خورنده و یا رسوب‌گذار داشته باشد که هر دو اثرات نامطلوبی را در دستگاه‌ها و تأسیسات صنعتی و همچنین کیفیت تولید خواهند داشت. از آنجا که مهم‌ترین پارامتر تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی بررسی مسئله خورندگی و رسوب‌گذار بودن در شبکه‌های آب‌رسانی و تأسیسات صنعتی است. در

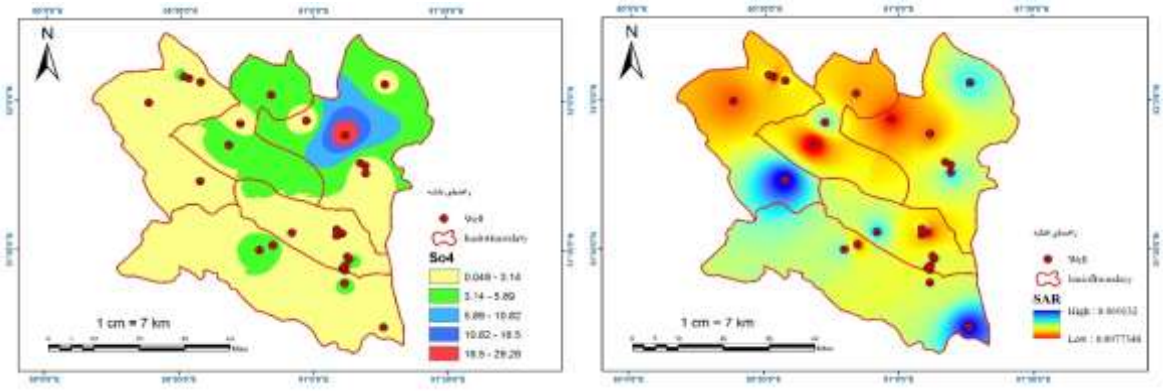
این پژوهش برای بررسی‌های شیمیایی نمونه‌ی آب در سنجش تمایل به رسوب‌گذاری یا خوردگی در صنعت از شاخص لانژیلر (LSI) استفاده شد. نتایج محاسبه شاخص لانژیلر برای منابع منتخب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی در جدول (۶) ذکر شده است.

با توجه به جدول (۶) دامنه شاخص LSI نمایانگر تمایل بخش عمده‌ای از منابع مورد آزمون در محدوده مطالعاتی به رسوب‌گذاری بوده و تنها ۲۵٪ از نمونه‌ها، تمایل به خوردگی فلزات و تأسیسات صنعتی دارند مثبت بودن این شاخص نشانگر وجود و انحلال سازندهای کربناتی در مجاورت آبخوان هر چاه محدوده مورد مطالعه است. (Jahangir and Soltani 2019) به بررسی کیفیت آب‌های سطحی منطقه جنوب غربی استان سیستان و بلوچستان از نظر شرب، صنعت و کشاورزی پرداخت. نتایج نشان داد که آب تمامی ایستگاه‌ها جزء یکی از کلاس‌های C_2S_1، C_3S_1 و C_3S_2 قرار گرفته و برای کشاورزی مناسب، برای صنعت در سه ایستگاه در وضعیت متعادل و مابقی ایستگاه‌ها حالت رسوب‌گذار و خورنده و برای شرب به غیر از کلسیم بقیه عناصر در محدوده خوب تا قابل‌قبول قرار گرفته‌اند.

۳-۴- نقشه‌های پهنه‌بندی

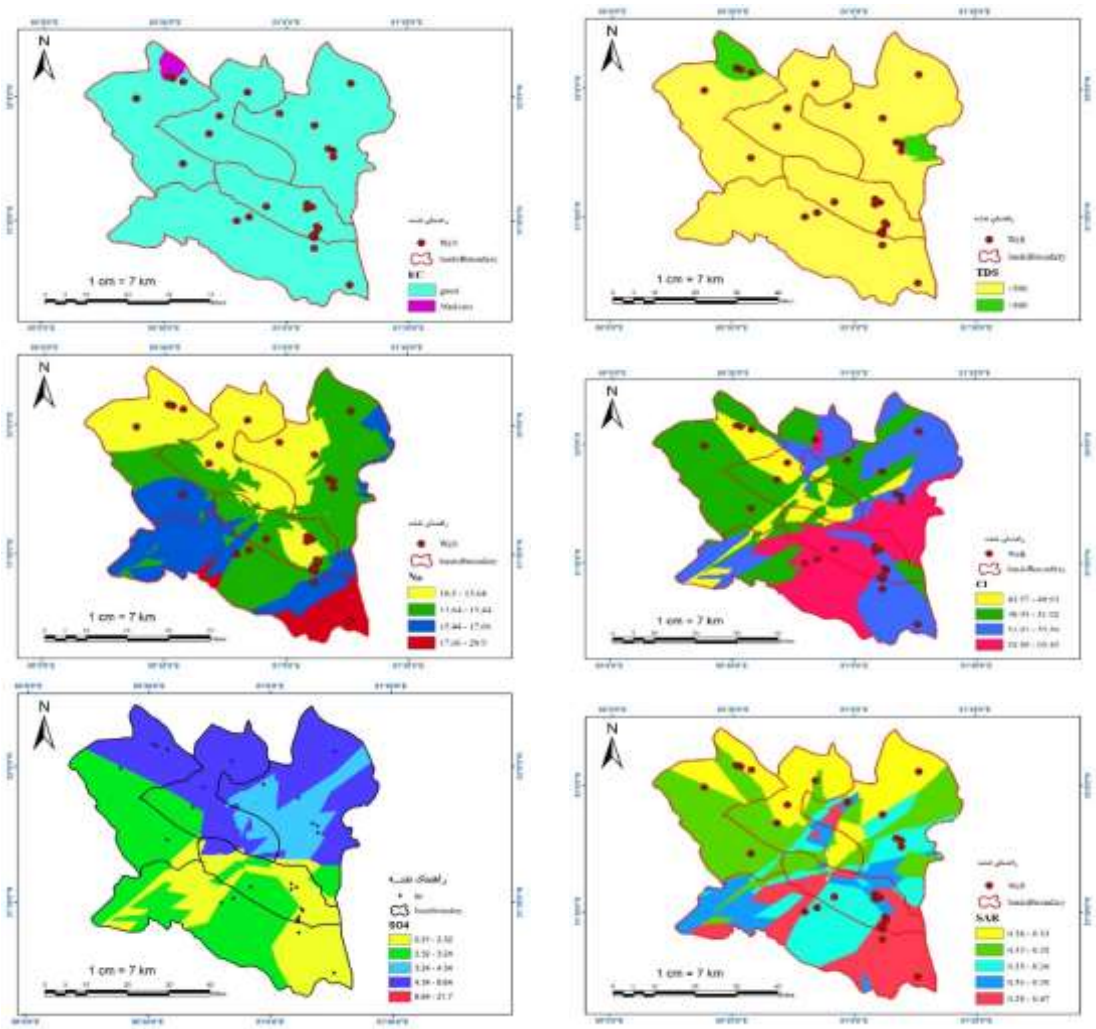
برای بهتر مشخص شدن تغییرات در محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) نقشه تغییرات مکانی پارامترهای EC، TDS، Na، Cl، TH، SO_4، SAR و تغییرات مکانی شاخص لانژیلر برای محدوده مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.5ترسیم شد. در بررسی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی و بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی SAR و EC در محدوده مطالعاتی مشاهده می‌شود که تغییرات SAR در پهنه مطالعاتی ناچیز بوده و در طبقه عالی قرار خواهد گرفت. به همین منظور تغییرات هدایت الکتریکی می‌تواند تا حدودی گویای طبقه‌بندی کیفیت شیمیایی آب در کل محدوده برای مصرف کشاورزی در دو طبقه خوب C_2S_1 و متوسط C_3S_1 باشد. در مقایسه دو روش درون‌یابی کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله در پارامترهای مربوط به دیاگرام ویلکاکس، می‌توان گفت روش کریجینگ (RMSE=0.31 برای EC و RMSE=0.215 برای SAR) پهنه‌بندی دقیق‌تری را نسبت به روش وزن‌دهی عکس فاصله (RMSE=0.44 برای EC و RMSE=0.26 برای SAR) داشته است (شکل‌های ۳ و ۴).





شکل ۳- نقشه تغییرات مکانی پارامترهای EC، TDS، Na، Cl، SO_4 و SAR با روش وزن دهی عکس فاصله

Fig. 3 Map of spatial changes of EC, TDS, Na, Cl, SO_4, and SAR parameters by inverse distance weighting

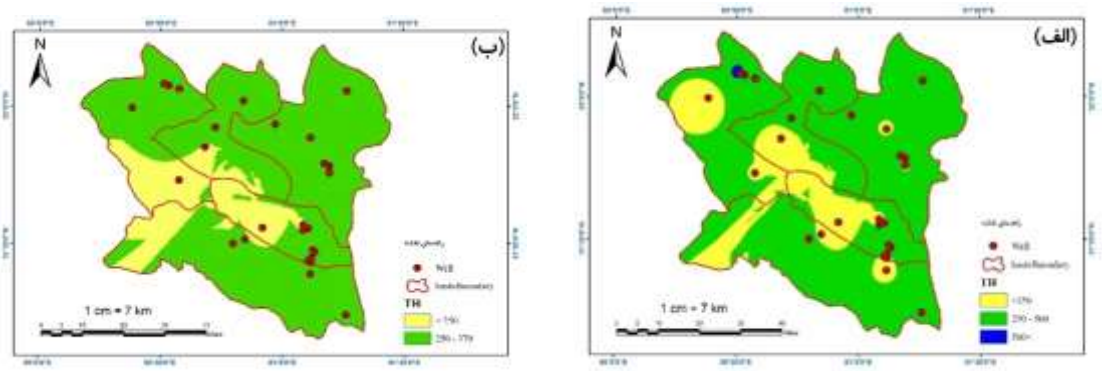


شکل ۴- نقشه تغییرات مکانی پارامترهای EC، TDS، Na، Cl، SO_4 و SAR با روش کریجینگ

Fig. 4 Map of spatial changes of EC, TDS, Na, Cl, SO_4, and SAR parameters by kriging method

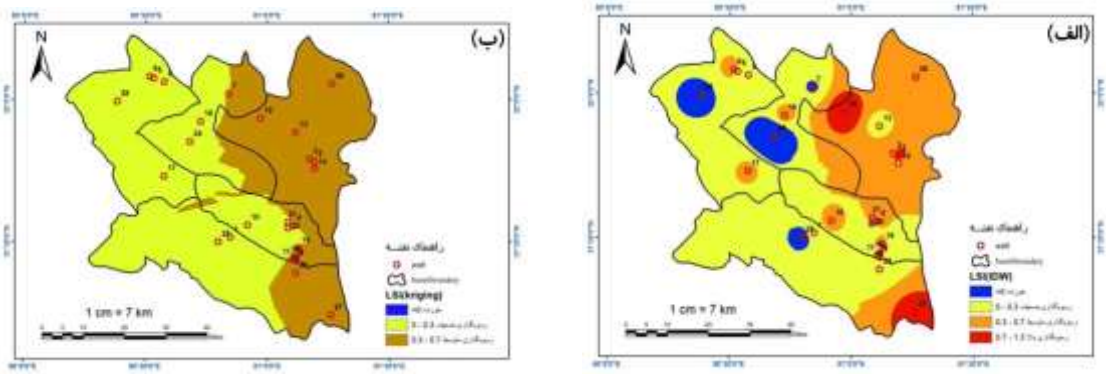
به‌منظور بررسی کیفیت شیمیایی آب منابع انتخابی در محدوده مطالعاتی برای مصارف شرب، پنج پارامتر سدیم، کلر، سولفات، نمک‌های محلول و سختی کل طبقه‌بندی شدند. نقشه‌های پهنه‌بندی در شکل (۵) میزان سختی آب زیرزمینی را در بخش‌های مرکزی و غربی محدوده مطالعاتی نسبت به سایر نقاط آن پایین‌تر نشان می‌دهد. در مقایسه دو روش درون‌یابی کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله در پهنه-بندی میزان سختی آب، روش کریجینگ با خطای کمتر

(RMSE=11.4) ، نسبت به وزن‌دهی عکس فاصله (RMSE=7.57) دقت بیشتری دارد (شکل ۵).



شکل ۵- نقشه تغییرات مکانی میزان سختی آب (TH) با استفاده از روش: الف- وزن دهی عکس فاصله و ب- روش کریجینگ
Fig. 5 Map of the spatial changes of TH (water hardness) dran using a) inverse distance weighting method and b) Kriging method)

محاسبه شاخص لانژیلر نشان داد که در نمونه‌های موردبررسی (۷۵٪ نمونه‌ها) میزان تمایل آب به رسوب‌گذاری در تجهیزات صنعتی نسبت به خورندگی آنها (۲۵٪ نمونه‌ها) بیشتر است و لذا برای این منابع تمهیداتی به جهت کاهش رسوبات و اتلاف انرژی و گرفتگی‌های ناشی از آن به‌منظور استفاده در بخش صنعت دور از انتظار نخواهد بود. همچنین بررسی شاخص لانژیلر در محدوه مطالعاتی قابلیت رسوب-دهی آب را در بخش شرق و جنوب شرقی منطقه بالاتر نشان می‌دهد (شکل ۶). مقایسه دو روش درون‌یابی کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله در پهنه‌بندی شاخص لانژیلر روش کریجینگ را با خطای کمتری (RMSE=0.47) نسبت به روش وزن‌دهی عکس فاصله (RMSE=0.6) پیشنهاد می-دهد.



شکل ۶- نقشه تغییرات مکانی شاخص لانژیلر با استفاده از روش: الف- وزن دهی عکس فاصله و ب- روش کریجینگ
Fig. 6 Map of the spatial changes of the Langelier index using: a) inverse distance weighting method and b) Kriging method

انتخاب یک فن درون‌یابی بهینه برای تخمین ویژگی‌های مورد مطالعه در نقاط نمونه‌گیری نشده یا پهنه‌بندی مکانی محدوده مورد نظر نقش مهمی در مدیریت داده‌ها دارد. به‌طورکلی انتخاب روش بهینه درون‌یابی به شرایط مکانی، نحوه نمونه‌برداری، توزیع مکانی نمونه‌ها و تراکم آن‌ها بستگی دارد. با استفاده از نقشه‌های فوق می‌توان برنامه‌ریزی‌های لازم را برای پیشبرد اهداف مدیریتی در محدوده مورد مطالعه انجام داد. نتایج حاصل از ترسیم دیاگرام ویلکاکس، شولر و شاخص لانژیلر نشان داد که اکثر نمونه‌ها در محدوده c_2s_1 قرار دارند و برای کشاورزی مناسب، برای مصارف شرب در محدوده کیفیت خوب و مناسب و بر طبق شاخص لانژیلر در محدوده رسوب‌گذار و خورنده قرار می‌گیرند. نتایج این تحقیق با تحقیقات انجام شده در این خصوص همخوانی دارد. Merati et al. (2017) به پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آماری در سامانه اطلاعات مکانی GIS درحوضه آبخیز سلیمانشاه پرداختند. آن‌ها جهت درون‌یابی از روش‌های کریجینگ و IDW و به‌منظور انتخاب مدل مناسب از شاخص RSS استفاده نمودند. نتایج نشان داد که برای پهنه‌بندی پارامترهای مذکور روش کریجینگ معمولی بر سایر روش‌ها ارجحیت دارد.

Mousavi et al. (2020) به بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آمار در دشت لردگان در استان چهارمحال و بختیاری پرداخت. نتایج نشان داد که پارامترهای TH و TDSاز نظر شرب شرایط مطلوب‌تری نسبت به پارامترهای Na ،Cl و SO_4 در کل دشت دارند. همچنین از نظر کشاورزی پارامترهای SAR و EC در طول دوره‌ی آماری در کل دشت شرایط خوبی را دارا می‌باشد. GharehMahmoodlu et al. (2019) به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت سیدان- فاروق برای هدف‌های آبیاری و شرب پرداختند. نتایج نشان داد که این منابع آبی برای آبیاری مناسب و برای شرب در رده خوب قرار دارد. Jafari et al. (2021) به ارزیابی کیفی منابع آب جهت مصارف شرب و کشاورزی حوزه آبخیز گاماسیاب، استان کرمانشاه پرداختند. نتایج نشان داد کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی این حوضه برای مصارف فوق عالی می‌باشد. در نواحی خشک و نیمه خشک پایش کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی اهمیت فراوانی دارد. Ud Din et al. (2023) به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای اهداف آشامیدنی و آبیاری در منطقه هانگو، پاکستان پرداختند. نمونه‌ها از منابع مختلف آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی جمع‌آوری و مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج نشان داد که این منابع جهت استفاده شرب از خوب تا ضعیف طبقه بندی شد. همچنین نتایج نشان داد که به جز ۵٪ از نمونه‌ها، مابقی برای آبیاری مناسب بودند. در این مطالعه ارزیابی تناسب کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت در بخش‌هایی از استان چهارمحال و بختیاری پرداخته شد. این مطالعه اطلاعات کاربردی در اختیار سیاست‌گذاران امر قرار داده، همچنین به طراحی یک استراتژی کارآمد برای استفاده بهینه از آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب و کشاورزی و صنعت در این منطقه کمک خواهد کرد. در واقع یافته‌های این مطالعه می‌تواند به تعیین بهترین اقدام برای استفاده ایمن از آب‌های زیرزمینی برای اهداف مختلف کمک کند.

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش با استفاده از داده‌های ۲۸ حلقه چاه در شهرستان‌های خانمیرزا، لردگان، بروجن، اردل و کیار به‌منظور ارزیابی تناسب کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت انجام شد. نتایج این پژوهش بیانگر این بود که:

۱- دیاگرام ویلکوکس نشان داد که اکثر نمونه‌ها در محدوده C_2S_1 قرار دارند و برای کشاورزی مناسب هستند. همچنین با توجه به نتایج حاصل از دیاگرام شولر، منابع نمونه‌برداری شده و پهنه‌بندی آن‌ها در محدوده مطالعاتی برای مصارف شرب در محدوده کیفیت خوب قرار دارند و برای شرب مناسب هستند.

۲- نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد که میزان سولفات در شمال و شمال شرقی محدوده مطالعاتی نسبت به سایر بخش‌ها بیش‌تر است. همچنین قابلیت رسوب‌دهی آب نمونه‌های موردبررسی در بخش شرق و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه بیشتر بوده که می‌تواند ناشی از انحلال ترکیبات کربناتی در آبخوان باشد.

۳- نتایج تحلیل مکانی حاصل از این امر نشان می‌دهد که روش درونیابی کریجینگ برای برآورد پارامترهای کیفی بخش کشاورزی از قبیل SAR, EC و شاخص صنعتی LSI و میزان TH در محدوده مطالعاتی ساختار فضایی قوی‌تری را نشان داده‌است.

نتایج این پژوهش کمک می‌نماید تا تصمیم‌گیران با داشتن دیدی روشن با توجه به نقشه‌های کیفیت آب زیرزمینی، بتوانند در خصوص بهره‌برداری و نگهداری از منابع آب زیرزمینی برنامه‌ریزی جامع و مفیدتری داشته باشند. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی محدوده کل استان بررسی و از منابع آب سطحی و چشمه‌ها نیز نمونه‌برداری شده و مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین توصیه می‌شود برنامه پایش مستمر کیفیت آب و توسعه شیوه‌های مدیریت مؤثر برای استفاده از منابع آب انجام گیرد.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها حسب درخواست از طریق ایمیل نویسنده مسئول قابل ارسال می‌باشد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

Abbasnia, M., & Baaghideh, M. (2015). Climatic regionalization of Chaharmahal and Bakhtiari province using new statistical techniques. Iran. *Water Rese. J*., *9*(2), 121-126. [In Persian]

Anonymous (2021). Water Scarcity Adaptation National Workgroup. Available on: http:// www.wsanw.ir. Accessed 27 September.

Anonymous (2023). Chaharmahal and Bakhtiari meteorological Administration. Available on: http:// http://www.chbmet.ir. Accessed 27 September.

Azari, A., Nazemi, S., Kakavandi, B., & Rastegar, A. (2016). Survey of scaling and corrosion potential in drinking water resources of Shahrood city by using stability indexes in 2013. *J. Med. Sci.*, 22(6), 944-954. [In Persian]

BamdadMachiani, S., Khaledian, M., Rezaei, M., & Tajdari, K. (2014). Evaluation of groundwater quality in Guilan province for agricultural and industrial uses. *Iran. J. Irrig. Drain.,* 8(2), 246-256. [In Persian]

Bhat, M. A., Wani, A. S., Vijay, K., Jyotirmaya, S., Dinesh, T., & Sanswal, R. (2018). An overview of the assessment of groundwater quality for irrigation. *J. Agric. Sci. Food Res.,* 9(1), 1-9.

Eslami, H., Almodaresi, S., Khosravi, R., Fallahzadeh, R., Peirovi, R., & Taghavi, M. (2018). Assessment of groundwater quality in Yazd-Ardakan Plain for agricultural purposes using geographic information system (GIS). *J. Health,* 8 (5), 575-586. [In Persian]

Esmeray, E., & Gökcekli, C. (2020). Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes in Karabuk province, Turkey. *Environ. Earth Sci.,* 79(13), 1-17. DOI: 10.1007/s10661-008-0706-7.

Ghahrodi Tali, M. (2005). Geographic information systems in the 3D Arc GIS environment. First edition, Jihad academic publications, Tarbiat Moalem unit, 298 pp.

GharehMahmoodlu, M., Heshmatpoor, A., Jandaghi, N., Zare, A., & Mehrabi, H. (2019). Assessment of groundwater quality in Seydan-Farooq plain for irrigation and drinking purposes. *Environ. Sci.,* 17(3), 89-106. DOI: 10.29252/envs.17.3.89. [In Persian]

Homayoonnezhad, I., Amirian, P., & Piri, I. (2016). Investigation on water quality of zabol chahnimeh reservoirs from drinking water and agricultural viewpoint with focus on schuler & vilcoks diagrams. *J. Environ. Sci. Technol.*, 18(1), 1-13. [In Persian].

Ige, O. O., Okunola, N, Obasju, D. O., & Omrinoye, O. A. (2017). Hydrochemical evaluation of water resources in lWO southweastern Nigeria. Ethiop. *J. Environ. Stud. Manage.,* 10(7), 958-967.

Jafari, N., Hafezparast, M., & Farhadi, B. (2021). Qualitative evaluation of water resources for drinking and agricultural uses (Case study: Gamasiab catchment, Kermanshah province). *J. Environ. Sci. Stud.*, 6(2), 3525-3532. [In Persian]

Jahangir, M., & Soltani, K. (2018). Water Quality zonation based on chemical analysis on surface water supplies for drinking, agriculture and industry in the southeastern of Sistan and Baluchestan Province. *J. Water and Wastewater Sci. Engin.*, 3(4), 18-32. DOI: 10.22112/JWWSE.2019.138494.1098. [In Persian]

Kaur, T., Bhardwaj, R., & Arora, S. (2017). Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using hydrochemical studies in Malwa region, southwestern part of Punjab, India. *Appl. Water Sci.,* 7(6), 3301-3316. DOI: 10.1007/s13201-016-0476-2.

Khanoranga, & Khalid, S. (2019). An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. *J. Geochem. Explor.,* 197, 14-26. DOI: 10.1016/j.gexplo.2018.11.007

Merati, E., Taheri Tizro, A., & Parsafar, N. (2017). Qualitative zoning of groundwater resources using geostatistical and GIS methods (Case study: Soleymanshah Watershed). *Water Soil Sci.,* 27(2), 237-248. [In Persian]

MotamediRad, M., Goli Mokhtari, L., Bahrami, S., & Zanganeh Asadi, M. A. (2021). Assessment of the quality of water resources for drinking, agriculture and industry in

karstic aquifer of Roein Esfarayen basin of North khorasan province. *J. Appl. Res. Geograp. Sci.,* 21 (62), 73-93. [In Persian]. DOI: 10.52547/jgs.21.62.73.

Mousavi, A., Solaimani, K., Shokrian, F., & Roshun, S. H. (2020). Investigation of spatio-temporal variation in groundwater resource quality using geo-statistical methods (Case Study: Lordegan Plain, Chaharmahal and Bakhteyari Province). *Irrig. Water Engin.,* [In Persian]. 10(3), 262-275. DOI: 10.22125/IWE.2020.107108.

Nas, B., & Berktay, A. (2010). Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS. *Environ. Monit Assess.,* 160 (1–4), 215–227. DOI: 10.1007/s10661-008-0689-4.

Osati, K., & Nahvinia, M. (2016). Spatial variations of ground water quality in Birjand Plain for agriculture. *Environ. Water Engin.*, 2(1), 25-36. [In Persian]

Pourkhbaz, H., Aqdar, H., & Mohammadyari, F. (2017). Zoning groundwater quality for agriculture by classification WILCOX index (Case study: Qazvin plain). J. Geograph. Space, 58(17), 111-129. [In Persian]

Rezaei, A., Sayadi, M. H., & Rezaei, M. R. (2015). The qualitative and quantitative assessment of water for drinking and agricultural purposes: A Case Study of Gharasoo River Watershed, Kermanshah Province, Iran, Int. *Bull. Water Res. Develop.,* 3(1), 81. [In Persian]

Sadeghi, S. H., Ghasemieh, H., Moemeni Damaneh. J., & Mosavi, S. H. (2016). Irrigation and municipal water quality zoning by GIS. *Irrig. Water Engin.,* 6(4), 128-137. [In Persian]

Sajadi Minaab, Z., & Yaghobi, S. (2017). Geochemical evaluation of groundwater quality in Borazjan Plain for agricultural purposes. *J. Agric. Sci. Sustain. Produc.,* 27(1), 133-145. [In Persian]. DOI: 20.1001.1.24764310.1396.27.1.9.9.

Sarbazy A, A., & Esmaili, K. (2014). Investigation of groundwater resource quality change on agriculture and technology (Case study: The Plain of Neyshabour). *Iran. J. Irrig. Drain.,* 8(1), 74-85. [In Persian]

Shahnawaz, H., Kirpalni, C., & Asif Iqbal, M. (2021). Investigation & assessment on groundwater water quality index from sanganer tehsil jaipur (rajasthan). *Mater. Today Proceed.,* 42(4), 1732-1736. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.11.098.

Sunkari, E. D., Abu, M., & Suchullo, P. (2019). Hydrogeochemical appraisal of ground water quality in the Ga west municipality Ghana: implication for domestic and irrigation purposes. *Groundwater Sustain. Develop.,* 8, 501-511. DOI: 10.1016/j.gsd.2019.02.002.

Sutharsiny, A., Pathmarajah, S., Thushyanthy, M., & Meththinka, V. (2012). Characterization of irrigation water quality of chunnakam aquifer in Jaffna Peninsula. *Tropic. Agric. Res.,* 23(3), 237-248. DOI: 10.4038/tar.v23i3.4661.

Talebi, B., Sajjadi, N., & Sharmad, T. (2017). Evaluation of drinking and agricultural water quality in the north of Qazvin plain's springs. *J. Marine Sci. Tech. Res.,* 12(2), 1-16. [In Persian]

Ud Din, I., Muhammad, S., & urRehman, I. (2023). Groundwater quality assessment for drinking and irrigation purposes in the Hangu District, Pakistan. *J. Food Compos. Analys.,* 115, 104919 DOI: 10.1016/j.jfca.2022.104919.

Wilcox, L.V. (1955). Classification and use of irrigation waters, US DA, Circular 969, Washington Webster, R. and M. A. Oliver. 2000. Geostatist. Environ. Scientists. Wiley press.

How to cite this paper:
Hosseini Vardanjani, S. M. R., Khoshravesh, M., Ghahreman, M. and Naderi, M. (2023). Evaluation of suitability groundwater quality for agricultural, drinking and industrial purposes (case study: south of Chaharmahal and Bakhtiari Province). *Environ. Water Eng.*, *9*(4), 515-531. DOI: 10.22034/EWE.2023.363252.1810