

Research Article

Assessing and quality zoning of groundwater resources of Marand plain for drinking, agriculture, and industrial purposes

Morteza najib¹, Asghar asghari moghaddam^{*1}, Ata Allah Nadiri¹, Elham Fijani²

1- Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2- School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

Keywords: *Groundwater, Marand plain, Drinking, Agricultural, Industrial, Water quality.*

1-Introduction

Information and advertisement of water resources is one of the main needs for planning to use water in agriculture, industry and drinking (Zhang et al.,2018). The concentration of population in large cities and industrial activities due to human activities and the entry of various pollutants into water affect human life and change the use of water in various sectors of agriculture, industry. Various factors such as time, environment and biological factors, physical and chemical processes in natural systems, etc. are involved in the factors affecting humans on water quality. There are many methods for determining the quality of water for various uses, including agricultural, drinking and industrial uses, including Wilcox, Schuller, and piper methods. In this study, samples were taken from 91 selected water sources in June 2019. Hydrochemical properties, concentrations of main ions and sub-ions of all samples and heavy metals of a number of aqueous samples were measured by standard methods. Using the obtained data, the usability of groundwater in different applications was investigated using graphical methods and Schuller, Wilcox and Langelier quality classification criteria. Analysis of qualitative zoning maps revealed that groundwater of poor quality due to the presence of Eocene gypsum marl formations in the north of the plain and detrital rocks, mostly marl, sandstone, conglomerate and between layers of salt and gypsum in the main salt. There are west and southwest plains.

Using the sampled qualitative data, the feasibility of using groundwater in different applications using graphic methods and quality classification Schuller (drinking), Wilcox (Agriculture) and Langelier (industry) was investigated.

2-Material and methods

Marand plain with an area of approximately 590 square kilometers is located in northwestern Iran in East Azerbaijan province. This plain is limited to Jolfa Dozal region from the northeast and to Harzandat plain and Zanuzchay and Zilbirchai outlets and Quturchai catchment area from northwest and west, respectively, and to Urmia Lake catchment area from the south and is a part of Caspian Lake catchment area. According to the available meteorological data (Marand Church Station) for a period of 50 years (1969-2019), the average annual rainfall is 286.3 mm and the average annual temperature of the plain is 11.91 ° C. Groundwater level map in May 2019 of Marand plain aquifer (Figure No. 1) shows that groundwater moves approximately in the direction of topographic slope from the east and the margins of the heights to the central parts of the plain and finally to the outlet of the plain in the northwest. In order to evaluate the hydrogeochemical status of groundwater in the study area, 91 samples of groundwater resources in Marand plain were collected in June 2019. Measured assemblies and ions including acidity (pH), electrical

* Corresponding author: Moghaddam@tabrizu.ac.ir

conductivity (EC), main cations and anions and sub-ions (nitrate, silica and fluoride) in the hydrology laboratory of Tabriz University and 26 samples selected from 91 Sample to measure. Heavy metals As, Fe, Mn, Cd, Pb and Cr are tested in the laboratory of Water and Waste water Company of East Azerbaijan province.

In this study, to investigate the possibility of using groundwater resources of an area in different uses, water quality and the trend of changes in effective parameters were drawn on the zoning map. In order to prepare zoning maps and continuous display of data, geostatistical method was used for interpolation. Effective parameters in water quality classification according to the type of drinking use, agriculture and industry were prepared by normal kriging interpolation method and Gaussian type model. After classifying each layer, a groundwater quality classification map was prepared for drinking, industrial and agricultural uses.

3-Results and discussions

The amount of water hardness is most important in industry and drinking. Based on the results of chemical analysis of water samples taken from Marand plain in June 1398, about 73.1% of water is in the hard range, 25.6% in the hard range and 1.3% in the soft range.

Based on the obtained data, it was observed that the amount of temporary hardness in most samples (53 samples) is high and lacks permanent hardness. In addition to temporary hardness, 25 samples also have permanent hardness. Results of chemical analysis of aqueous samples from the study area There is a predominance of some hydrochemical parameters of electrical conductivity, hardness, according to the standard of drinking water(WHO).

Based on The proposed classifications are the desired values of electrical conductivity suitable for drinking water less than 750 and the permissible values are 750-1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. In the northern and central areas of the plain and the outlet of the Marand plain (western areas) have the highest salinity with excessive amounts.

According to Schuler diagram, groundwater in the eastern areas of the plain is in the range of good to moderate in terms of drinking, the central areas of the plain in the range of acceptable to completely unfavorable and the western areas of the plain in the range of acceptable to unsuitable. The groundwater of the plain in terms of drinking in the southern and southeastern regions is in the good to acceptable category and towards the northern and western regions of the plain is reduced to the middle, unsuitable and completely undesirable category.

Wilcox diagram was used to evaluate the groundwater of Marand plain in terms of agricultural use. According to the Wilcox diagram, except for the eastern, southern and central parts of the plain, which are usable and suitable for agriculture, the rest of the plain, including the northeast, north, northwest and west, are unsuitable for agriculture and very salty.

Based on the quality distribution of industrial water, groundwater samples of Marand plain (Langeleia index) It is observed that in the southeastern and northeastern areas of the plain have corrosive properties and the eastern, middle and end areas of the plain have sedimentary properties.

4-Conclusion

Investigating the quality of drinking water in terms of drinking, agriculture and industry is one of the basic parameters in sustainable development and raising the level of health of products and society.

The results of this study showed that the groundwater quality of this plain in terms of drinking in the southern and southeastern regions is in the good to acceptable category and towards the northern and western regions of the plain to the middle category, unsuitable and completely undesirable. The quality of groundwater in the region in terms of hardness in the southeastern regions of the plain is minimal and in the eastern, southern and part of the central regions has increased and to the northern and western regions of the plain to more than 300 mg / liter and even in some from the northern parts of the plain, it reaches a maximum of 2325 mg /l.

Examination of water quality of the samples for agricultural purposes revealed that except for the eastern, southern and central areas of the plain, which are usable and suitable for agriculture, the rest of the plain, including northeast, north, northwest and west are unsuitable for agriculture and very salty.

According to the land use map, agriculture is spread in all areas of the plain except the western and output areas. Based on the qualitative distribution of industrial water in the southeastern and northeastern regions, they have corrosive properties and the eastern, middle and end areas of the plain have sedimentary properties.

Finally, due to the importance of water supply for drinking, agriculture and industry, the need to pay attention to its quality becomes more obvious and it is necessary to make more measures to minimize groundwater salinity, which also reduces the use of groundwater resources. Lack of agricultural development, optimal use of water resources and changing cultivation patterns and even the type of agricultural products and other necessary measures will not be possible.

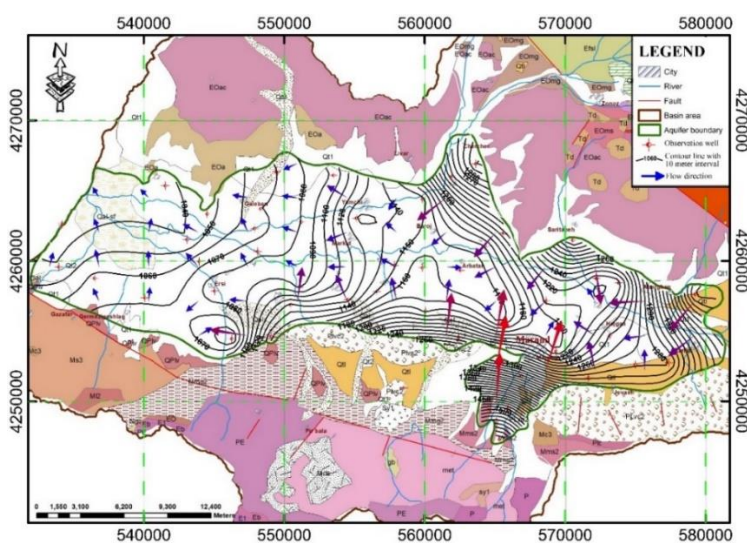


Fig1. Groundwater level counters of Marand aquifer for May 2019.

References

- ASTM (American Society for Testing and Materials). 2002. Annual book of ASTM standards. Section 11, Water and Environmental Technology 11, p. 1020.
- Mohebbi, M.R., Saeedi, R., Montazeri, A., Vaghefi, K.A., Labbafi, S., Oktaie, S., Mohagheghian, A., 2013. Assessment of water quality in groundwater resources of Iran using a modified drinking water quality index (DWQI), *Ecological Indicators* 30, 28-34. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.02.008>
- Nadiri, A.A., Asghari moghaddam, A., Tsai, F., Fijani, E., 2013. Hydrogeochemical analysis for Tasuj plain aquifer, Iran. *Earth System Science* 122, 1091–1105. <https://doi.org/10.1007/s12040-013-0329-4>

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Najib, M., Asghari Moghaddam, A., Nadiri, A., Fijani, E., 2023. Assessing and quality zoning of groundwater resources of Marand plain for drinking, agriculture, and industrial purposes. *Adv. Appl. Geol.* 13(1), 238-260.

DOI :10.22055/AAG.2022.40612.2293

https://aag.scu.ac.ir/article_17950.html

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

ارزیابی و پهنه بندی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت مرند جهت مصارف آشامیدنی، صنعت و کشاورزی

مرتضی نجیب

دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

اصغراصغری مقدم*

استادگروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

عطاالله ندیری

استادگروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

الهام فیجانی

استادیار دانشکده زمین شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران

Moghaddam@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۳

چکیده

دشت مرند یکی از دشتهای حاصلخیز استان آذربایجان شرقی است که آبخوان موجود در آن تأمین کننده اصلی آب مورد نیاز بخش‌های کشاورزی، آشامیدنی و صنعت می‌باشد. بنابراین ارزیابی و حفاظت از کمیت و کیفیت این منابع آبی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. هدف از این تحقیق پهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی دشت مرند از نظر قابلیت آشامیدنی، کشاورزی و صنعت می‌باشد. بدین منظور، از تعداد ۹۱ منبع آبی انتخابی در خرداد ماه سال ۱۳۹۸ نمونه‌برداری انجام گرفت. ویژگی‌های هیدروشیمیایی، غلظت یون‌های اصلی و فرعی همه نمونه‌ها و فلزات سنگین تعدادی از آنها توسط روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. به منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی مصارف آب، توزیع پارامترهای مؤثر در کیفیت هر نوع از کاربری با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و روش درون‌یابی زمین‌آماری با استفاده از روش کریجینگ برای سطح دشت انجام گرفت. پس از ایجاد لایه‌های رستری پارامترهای مؤثر، رده‌بندی و تلفیق آنها، نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی کیفی تهیه گردید. کیفیت آب صنعتی بر اساس شاخص لانزلیه، آب کشاورزی بر اساس نمودار ویلکوکس و آب آشامیدنی بر اساس دیاگرام شولر ارزیابی گردید. تجزیه و تحلیل نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی با اطلاعات زمین‌شناسی، کاربری اراضی و توزیع واحدهای صنعتی دشت صورت گرفت. آبهای زیرزمینی با کیفیت نامناسب بدلیل وجود سازندهای مارنی گچ‌دار ائوسن در شمال دشت و سنگ‌های آواری غالباً از مارن، ماسه سنگ، کنگلومرا و میان لایه‌هایی از نمک و ژئوپیس میوسن به طور عمده در نواحی غرب و جنوب غربی دشت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کیفیت آب زیرزمینی، دشت مرند، کیفیت آب آشامیدنی، کیفیت آب صنعتی، کیفیت آب کشاورزی

۱- مقدمه

زیرزمینی مهم است، شناخت اساسی از فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر سیستم آبخوان می‌باشد (Hossain et al., 2010). تغییر کیفیت آب زیرزمینی در یک منطقه تابعی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی است که بیش‌تر تحت تأثیر سازندهای زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی قرار گرفته‌اند (Singh et al., 2013). ترکیب شیمیایی آب متأثر از واکنش‌های مختلفی است که در تقابل بین آب و ویژگی‌های

در نواحی خشک و نیمه خشک اهمیت آب زیرزمینی به عنوان تنها منبع آب مصرفی از اهمیت فوق‌العاده زیادی برخوردار می‌باشد (Shanmugam and Ambujam, 2012). آب آشامیدنی یک سوم جمعیت جهان از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود، از این رو بررسی و پایش کیفی آب زیرزمینی می‌تواند نقش بسزایی در دستیابی به توسعه پایدار ایفا کند (Mosafery et al., 2014). از جمله کارهایی که در مدیریت منابع آب

سدیم، سختی کل در منابع زیرزمینی از حداکثر مجاز و میزان نیترات، TDS و کلسیم از حد مطلوب فراتر هستند. در مطالعه Pour Moghadas (۲۰۰۳) مشخص شد که آب‌های زیرزمینی شهرستان لنجان اصفهان جزء آب‌های بسیار سخت محسوب می‌شوند. Shirvani و همکاران (۲۰۱۵) آب زیرزمینی دشت صحرای باغ را از نظر کشاورزی و صنعت با استفاده از شاخص‌های ویلکوکس و لانژلیه مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج نشان داد که آب زیرزمینی دشت مذکور در کلاس نامناسب برای آبیاری قرار می‌گیرد و از لحاظ خاصیت خوردگی، آب منطقه پتانسیل کم‌خوردگی دارد. Naseri و Mohtashmi (۲۰۱۴) کیفیت آب در میان دشت اسد آبادی از سه جنبه کشاورزی، آشامیدنی و صنعت تحلیل نمودند که با ارزیابی نمودارهای ویلکوکس و شولر ترسیم شده، کیفیت آب از نظر کشاورزی و آشامیدنی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اکثر نمونه‌ها از نظر کشاورزی و آشامیدنی نامناسب هستند. همچنین برای طبقه‌بندی آب برای مصارف صنعتی از ضریب اشباع‌شدگی لانژلیه استفاده می‌شود که از تفاوت مقدار اسیدیته آب و میزان اسیدیته اشباع حاصل می‌شود (Aghazadeh et al., 2008). با استفاده از شاخص لانژلیه، خوردگی مورد پیش‌قرار گرفت و مشخص شد که آب خاصیت خوردگی داشته و برای مصارف صنعتی نامناسب است.

از آنجایی که بیش‌تر آب مصرفی دشت مرنند در بخش‌های کشاورزی، آشامیدنی و صنعت از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود، لذا با توجه به تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی که می‌تواند در اثر فعالیت‌های انسانی و طبیعی صورت گیرد، بررسی و مطالعه این منابع به منظور حفظ کیفیت آن‌ها لازم و ضروری به نظر می‌رسد. در این خصوص با استفاده از داده‌های کیفی نمونه‌برداری شده، امکان‌سنجی استفاده از آب زیرزمینی در مصارف مختلف با کاربرد روش‌های گرافیکی و معیارهای طبقه‌بندی کیفی شولر (آشامیدنی)، ویلکوکس (کشاورزی) و لانژلیه (صنعت) مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مطالعاتی

دشت مرنند با وسعت تقریبی ۵۹۰ کیلومترمربع در شمال‌غرب ایران در استان آذربایجان شرقی قرار گرفته است. این دشت از شمال‌شرق به منطقه جلغا دوزال و از شمال‌غرب و غرب به

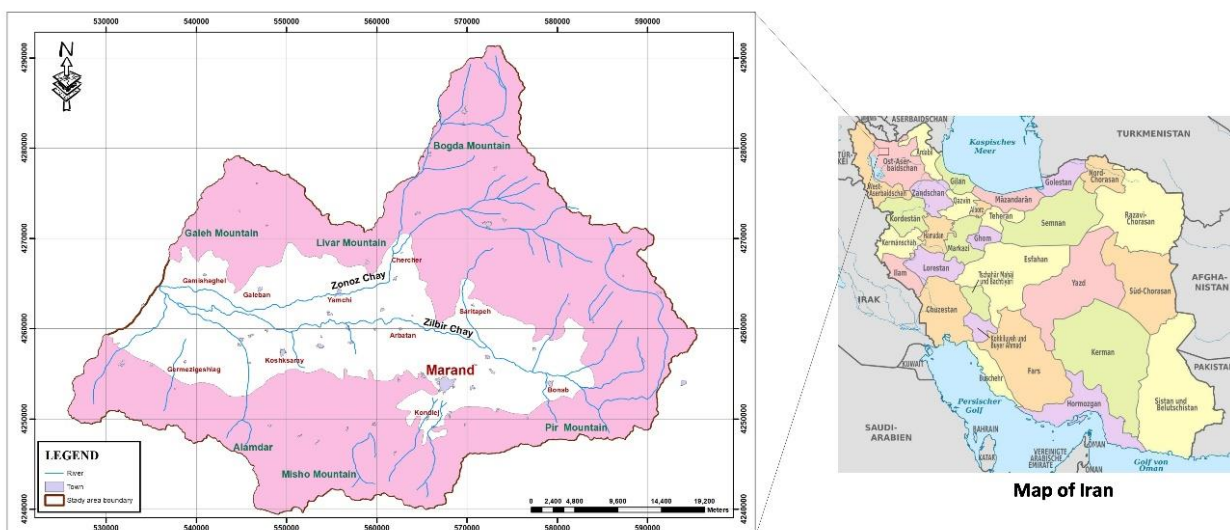
سنگ‌شناسی متشکله آبخوان اتفاق می‌افتد. بر این اساس با مطالعه ترکیب شیمیایی منابع آب می‌توان به دلایل تغییرات کیفی آب پی برد. تأمین امنیت آب از نظر کمی و کیفی برای رفع نیازهای انسان و اکوسیستم، یکی از مسائل مورد بحث در قرن آینده خواهد بود و به طور بالقوه تحت تأثیر بسیاری از عوامل طبیعی و انسانی قرار خواهد گرفت (Amangabara and Ejenma, 2012).

در این راستا اطلاع و آگاهی از کیفیت منابع آب یکی از نیازهای اساسی جهت برنامه‌ریزی در نحوه استفاده از آب در زمینه‌های کشاورزی، صنعت و آشامیدنی می‌باشد (Zhang et al., 2018). تمرکز جمعیت در شهرهای بزرگ و فعالیت‌های صنعتی ناشی از فعالیت‌های انسان و ورود آلاینده‌های مختلف به آب بر زندگی بشر تأثیر داشته و کاربری آب را در بخش‌های گوناگون کشاورزی، صنعت و ... تغییر می‌دهد. عوامل مختلفی نظیر زمان، محیط و عوامل بیولوژیکی، فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی در سیستم‌های طبیعی و ... بر فاکتورهای تأثیر انسان بر کیفیت آب دخیل هستند. یکی از عوامل بسیار مهم در این زمینه چرخه هیدرولوژیکی است که به طور مستقیم بر شبکه زهکشی آب و آلودگی رسوبات و آب بر روی حیات گیاهان و جانوران محلی تأثیر گذاشته و مشکلات عدیده‌ای را ایجاد نموده است. برای آگاهی از کیفیت آب و کاربری مناسب آن در هر زمینه به تحقیقات و پایش مناسب منابع آبی موجود نیاز است که داشتن اطلاعات جامع، دقیق و قابل اطمینان با دوره‌های زمانی مناسب می‌تواند عامل مهمی در تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری‌های مدیریتی باشد (Mohebbi et al., 2013; Li et al., 2014; Majcher et al., 2018). روش‌های زیادی برای تعیین کیفیت آب برای مصارف گوناگون از جمله مصارف کشاورزی، آشامیدنی و صنعت موجود است که از جمله آنها می‌توان به روش‌های ویلکوکس، شولر، پایپر و ... اشاره نمود. در این زمینه پژوهش‌هایی نیز صورت گرفته است (Adepelumi, 2009; Seeboonruang., 2012; Nadiri et al., 2013; Mohebbi et al., 2013; Zhai, 2014; Nadiri et al., 2018; Rahbar et al., 2020). Akhondali و Zarei (۲۰۰۶) در سال ۱۳۸۴ روند کیفی و رخساره‌های هیدروشیمیایی منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه سعد ابوالعباس واقع در دشت خوزستان را با نمودار ویلکوکس و پایپر بررسی نمودند. Dindarlo و همکاران (۲۰۰۶) در ارزیابی کیفیت شیمیایی آب آشامیدنی بندرعباس دریافتند که میزان سولفات، کلراید،

خشک سرد و بر اساس طبقه‌بندی دومارتن از نوع نیمه خشک محاسبه شده است.

همچنین با توجه به اطلاعات ارائه شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی، فعالیت عمده کشاورزی شهرستان مرند، زراعت و باغداری است، زراعت آن عمدتاً به صورت آبی و مبتنی بر زراعت سنتی است. در باغداری شهرستان مرند در مساحت باغات و تولیدات باغی رتبه سوم را در استان به خود اختصاص داده است و در تولیدات باغی با محوریت پرورش میوه‌های هسته‌دار نسبت به سایر نقاط استان از وضعیت خوبی برخوردار بوده به طوری که از لحاظ باغداری و تولید محصولات باغی رتبه دوم و تولید میوه‌های هسته‌دار مقام اول استان را به خود اختصاص داده است. شهرستان مرند با توجه به میکروکلیمای مناسب و استعدادهای منطقه و به لحاظ قرار گرفتن در دامنه رشته کوه میشو دارای ۹۲ هزار و ۴۲۰ هکتار اراضی زراعی و باغی بوده که از این مقدار ۱۰ هزار و ۵۴۵ هکتار سطح زیر کشت باغات قرار دارد. اغلب باغات شهرستان زردآلو، سیب، گردو، بادام، پسته، آلو، گوجه سبز، گیلاس و آلبالو می باشد. از لحاظ محصولات کشاورزی عمدتاً شامل گندم، جو، ذرت، کلزا، آفتاب گردان، گوجه‌فرنگی، زعفران، سیب زمینی، پیاز، محصولات گلخانه‌ای و ... می باشد.

ترتیب به دشت هرزندات و خروجی زوزچای و زلیبیرچای و حوضه آبریز قطورچای و از جنوب به حوضه آبریز دریاچه ارومیه محدود می‌شود و بخشی از حوضه آبریز دریاچه خزر می‌باشد. کوه‌های میشو و پیرداغ در جنوب و کوه‌های بوقداداغ و قلعه داغ در شمال دشت مهم‌ترین ارتفاعات منطقه را تشکیل می‌دهند (شکل ۱). رودخانه زلیبیرچای بزرگترین و پرآب‌ترین رودخانه منطقه است که از دامنه‌های جنوبی کوه سلطان جهانگیر واقع در حد مشترک حوضه حاجی‌لرچای و زلیبیرچای سرچشمه می‌گیرد و در جهت جنوب و به موازات خط تقسیم حوضه حرکت نموده و سپس به سمت غرب منحرف می‌گردد و در جهت شرق به غرب و به موازات زوزچای به مسیر خود ادامه می‌دهد. رودخانه زوزچای یکی دیگر از رودخانه‌های منطقه می‌باشد که از دامنه غربی رشته کوه‌های کیامکی سرچشمه می‌گیرد و در جهت شرقی- غربی حرکت و بعد از عبور از جنوب شهر زوز و دریافت مسیل‌هایی، وارد دشت مرند می‌شود. براساس داده‌های هواشناسی موجود (ایستگاه چرچر مرند) برای یک دوره ۵۰ ساله (۹۸-۱۳۴۸)، میانگین بارش سالانه ۲۸۶/۳ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه دشت ۱۱/۹۱ درجه سانتیگراد می‌باشد. متوسط رطوبت نسبی دشت مرند ۵۸ و متوسط سالانه تبخیر از تشتک کلاس A، ۱۴۱۷/۵۵ میلی‌متر بدست آمده است. اقلیم حاکم بر منطقه بر اساس اقلیم‌نمای آمبرژه از نوع



شکل ۱ - موقعیت منطقه مورد مطالعه.

Fig.1. Location of the study area.

۲-۲- زمین شناسی و هیدروژئولوژی

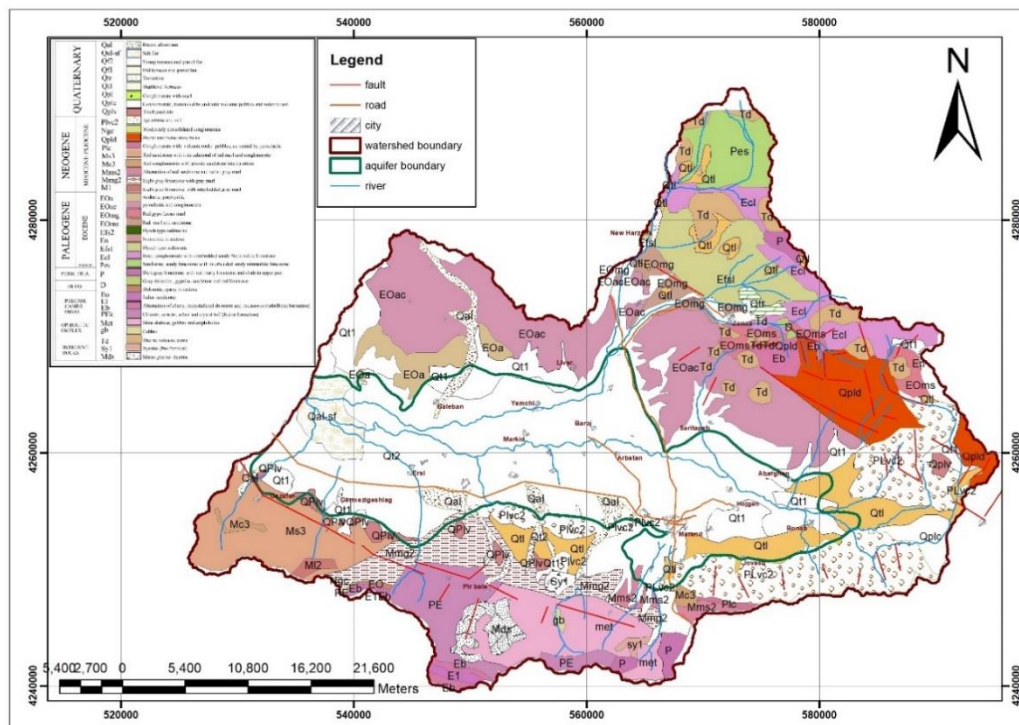
جنس سنگ کف دشت مرد در قسمت‌های شمالی از جنس ولکانیک‌ها و رسوبات آذر آواری ائوسن، در شرق و جنوب شرقی از جنس کنگلومرای پلیوسن و در قسمت‌های غربی از جنس رسوبات تبخیری میوسن می‌باشد و شیب آن بطور کلی به سمت مرکز دشت می‌باشد (Eftekhari Nezhad, J., Ghoashi, M., and Mehrparto, M., 1991).

بر اساس آمار منابع آب زیرزمینی دشت مرد در سال آبی ۹۸-۹۷، تعداد ۶۶۲ حلقه چاه عمیق فعال با تخلیه ۱۲۸/۸ میلیون متر مکعب و تعداد ۱۳۵ حلقه چاه نیمه عمیق فعال با تخلیه سالانه ۱/۸۷ میلیون متر مکعب و تعداد ۸۲ دهنه چشمه دایر با تخلیه ۱۱/۵۵ میلیون متر مکعب و تعداد ۱۳۸ رشته قنات با تخلیه معادل ۸۳/۴۳ میلیون متر مکعب مورد بهره برداری قرار گرفته است. از کل تخلیه صورت گرفته در محدوده مطالعاتی مرد، ۲۵/۱ میلیون متر مکعب جهت مصارف آشامیدنی، ۲/۶ میلیون متر مکعب جهت مصارف صنعت و ۱۹۶ میلیون متر مکعب جهت مصارف کشاورزی استفاده می‌شود. اقتصاد شهرستان مرد بیشتر بر پایه کشاورزی استوار است. تمام منطقه مرد بنا به شرایط طبیعی، برای دامداری، کشاورزی و باغداری مناسب می‌باشد (East Azarbaijan Regional Water Company, 2019).

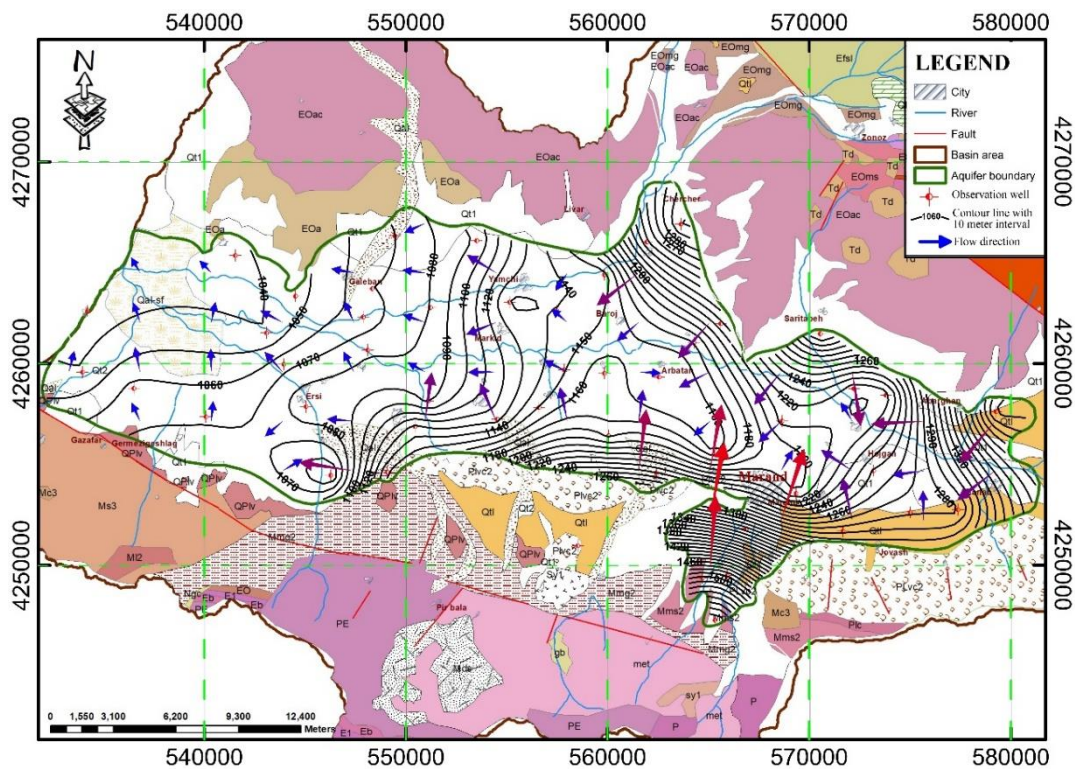
بررسی نقشه هم تراز آب زیرزمینی اردیبهشت سال ۱۳۹۸ آبخوان دشت مرد (شکل شماره ۳) نشان می‌دهند، آب زیرزمینی تقریباً در جهت شیب توپوگرافی از شرق و حاشیه ارتفاعات به سمت بخش‌های مرکزی دشت حرکت کرده و در نهایت به سمت خروجی دشت در شمال غرب جریان می‌یابد. بر اساس منحنی‌های هم تراز آب زیرزمینی ترسیم شده در شکل شماره ۳، منحنی حداکثر تراز آب با ارتفاع ۱۵۷۰ متر نسبت به سطح متوسط دریا در جنوب دشت (جنوب شهر مرد) و منحنی حداقل تراز آب با ارتفاع ۱۰۴۰ متر در شمال غرب دشت در محدوده بین روستاهای قرخلار و قمیش آغل (ناحیه خروجی آب زیرزمینی) می‌باشد.

بر اساس تقسیم‌بندی Nabavi (۱۹۷۶) منطقه مورد مطالعه جزئی از زون البرز غربی- آذربایجان می‌باشد. مهم‌ترین سازندهای زمین شناسی که در محدوده مطالعاتی دیده می‌شوند عبارتند از: سازندهای سلطانیه، باروت، میلا، ائوسن، میوسن، پلیوسن و همچنین رسوبات آبرفتی کواترنر که در بخش وسیعی از منطقه رخنمون دارند. قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، مربوط به تشکیلات کهر است که لیتولوژی این سازند بصورت شیست و شیل‌های میکادار، به مقدار کم دولومیت استروماتولیتی، ماسه سنگ بسیار دانه ریز، توف، ریولیت و میان لایه‌های از آهک تیره رنگ بلورین و چرت است، که در قسمت جنوب مرد قابل ملاحظه است. در دامنه‌های شمالی کوه‌های میشو، سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی به سن پلیوسن بصورت گدازه، برش، توف، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و توف‌ماسه‌ای بروزند داشته و با دگرشیبی بر روی واحد مختلف میوسن جای گرفته است. در نواحی شمالی دشت مرد و ارتفاعات اطراف یامچی، سنگ‌های آتشفشانی شامل گدازه، برش و گاهی توف به رنگ خاکستری تیره با ترکیب داسیتی- آندزیتی و پیروکلاست رخنمون دارند. در محدوده مرد با رخنمون‌هایی از شیل سبز و خاکستری، ماسه‌سنگ و مارن قرمز رنگ و خاکستری به ضخامت حدود ۱۰۰ متر دیده می‌شود (شکل ۲) (Asadian, et al., 1994).

آبخوان دشت از رسوبات آبرفتی دوران چهارم تشکیل شده است. رسوبات آبرفتی ساختمان اصلی دشت را تشکیل می‌دهند و نواحی مختلف بصورت رسوبات آبرفتی قدیمی، مخروط افکنه، تراس‌های آبرفتی جدید و رسوبات رودخانه‌ای می‌باشد که ضخامت‌شان متغیر و در بررسی‌های ژئوفیزیکی و حفاری‌های اکتشافی ۲۰ الی ۳۲۰ متر تعیین شده است. ضخامت رسوبات آبرفتی به طور کلی از حاشیه به سمت مرکز دشت افزایش می‌یابد. مواد اصلی تشکیل دهنده رسوبات شن، ماسه و قشرهای ضخیم رسی بوده که در دامنه‌ها، کناره‌های دشت و مخروط افکنه‌ها، ذرات تشکیل دهنده آنها بیش‌تر دانه درشت بوده و هرچه به مرکز دشت نزدیک‌تر می‌شویم، دانه‌ریزتر می‌گردد.



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (Asadian, et al., 1994).
 Fig.2. Geological map of the study area (Asadian, et al., 1994).

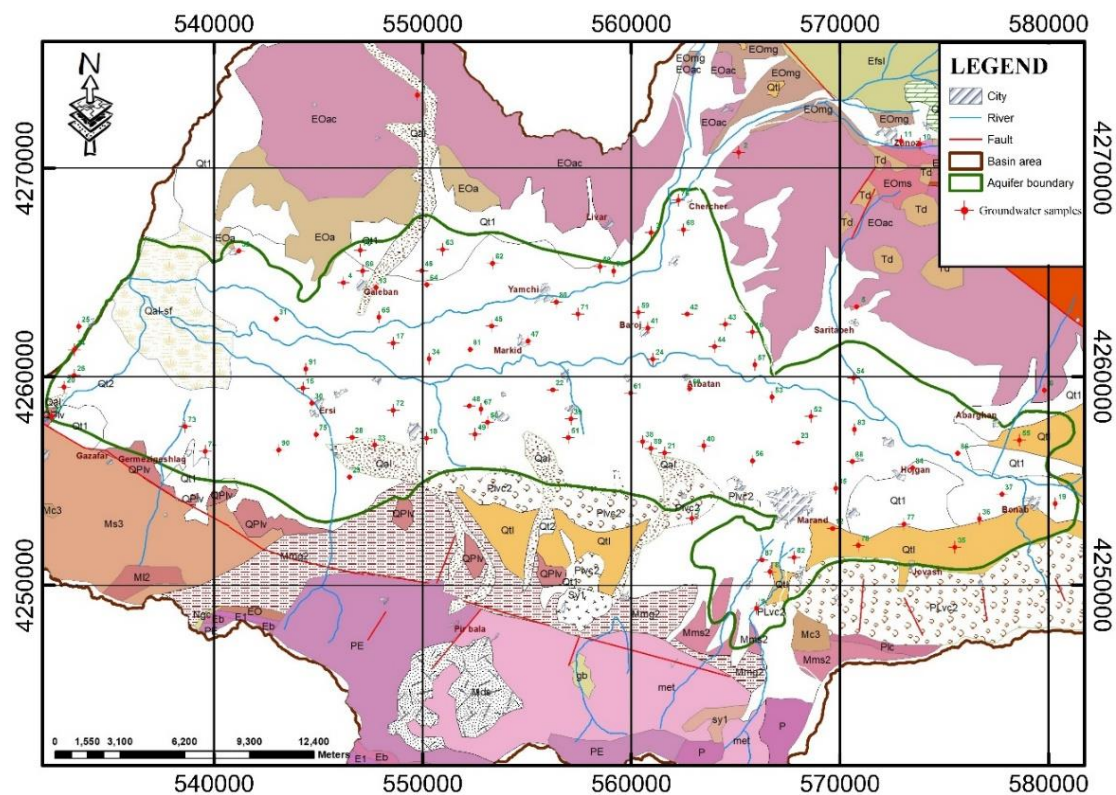


شکل ۳- هم تراز آب زیرزمینی آبخوان مرند برای اردیبهشت ماه ۱۳۹۸.
 Fig.3. Groundwater level counters of Marand aquifer for May 2019.

۲-۳- نمونه برداری و تجزیه شیمیایی

به منظور ارزیابی وضعیت هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی، ۹۱ نمونه از منابع آب زیرزمینی دشت مرند در خرداد ماه ۱۳۹۸ برداشت گردید. موقعیت نقاط نمونه برداری در شکل شماره ۴ و توصیف آماری نتایج آنالیز هیدروشیمیایی نمونه های آنالیز شده در خردادماه ۱۳۹۸ در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. پارامترها و یون های اندازه گیری شده شامل اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، کاتیون ها و آنیون های اصلی و یون های فرعی (نیترات، سیلیس و فلوراید) در آزمایشگاه آب شناسی دانشگاه تبریز و ۲۶ نمونه انتخابی از بین ۹۱ نمونه جهت اندازه گیری فلزات سنگین شامل As, Cr, Pb, Cd, Mn, Fe در آزمایشگاه آب و فاضلاب شهری استان آذربایجان شرقی مورد سنجش قرار گرفتند. کاتیون های سدیم و پتاسیم به روش نورسنج شعله ای، آنیون های سولفات و نیترات به روش اسپکتروفتومتری و سایر کاتیون ها و آنیون ها به

روش حجم سنجی در آزمایشگاه آب شناسی دانشگاه تبریز اندازه گیری شدند (AHPA, 1992). غلظت عناصر موجود در نمونه های آبی برداشت شده از دشت مرند با مقادیر استاندارد تعیین شده برای مصارف آشامیدنی WHO (WHO, 2011)، کشاورزی (FAO, ASTM, 2002) و صنعت (Department of Environmental, 2016) مقایسه گردید. تعیین کیفیت آب برای مصارف آشامیدنی با استفاده از نمودار شولر (Schoeller) و بر اساس پنج پارامتر مؤثر شامل سدیم، کلر، سولفات، کل مواد جامد محلول (TDS) و سختی تعیین شد. بر این اساس کیفیت آب آشامیدنی در شش طبقه شامل خوب، قابل قبول، متوسط، نامناسب، کاملاً نامطبوع و غیرقابل آشامیدنی طبقه بندی گردید (Schoeller, 1955). هدایت الکتریکی (EC) شاخص مناسبی برای نمایش شوری است. مقادیر کل مواد جامد محلول (TDS) می تواند از طریق اندازه گیری هدایت الکتریکی آب صورت پذیرد.



شکل ۴- موقعیت نقاط نمونه برداری
Fig.4. Location of sampling points.

جدول ۱- خصوصیات آماری داده‌های هیدروشیمیایی.
Table 1. Statistical properties of the hydrochemical data.

| Parameter | Units | Mean | Std. Deviation | Maximum | Minimum | Median | Range | Variance |
|------------------|---------------------------|---------|----------------|---------|---------|--------|---------|-----------|
| pH | - | 7.81 | 0.48 | 8.6 | 6.40 | 7.9 | 2.20 | 0.23 |
| EC | µs/cm | 1732.70 | 1272.45 | 5360 | 389 | 1079 | 4971 | 1619134 |
| HCO ₃ | mg/L | 343.55 | 169.01 | 945.2 | 176.84 | 298.8 | 768.36 | 28562.81 |
| CL | mg/L | 318.93 | 339.97 | 1240.8 | 14.18 | 138.3 | 1226.57 | 115578.85 |
| SO ₄ | mg/L | 137.39 | 107.89 | 512.1 | 12.08 | 96.6 | 500.01 | 11639.60 |
| NO ₃ | mg/L | 16.72 | 12.74 | 80.9 | 0.05 | 14.4 | 80.82 | 162.36 |
| F | mg/L | 0.83 | 0.24 | 1.5 | 0.43 | 0.8 | 1.04 | 0.06 |
| Ca | mg/L | 94.95 | 88.68 | 472.8 | 16.83 | 60.1 | 456.00 | 7863.43 |
| Mg | mg/L | 52.85 | 42.18 | 184.7 | 4.86 | 38.9 | 179.86 | 1778.82 |
| Na | mg/L | 190.74 | 150.54 | 609.2 | 11.50 | 136.8 | 597.74 | 22661.18 |
| K | mg/L | 5.64 | 3.51 | 15.2 | 1.56 | 4.5 | 13.68 | 12.35 |
| As | mg/L | 0.005 | 0.007 | 0.03 | 0.00 | 0 | 0.03 | 0.00 |
| TH | (mg/L.CaCO ₃) | 454.39 | 385.86 | 1940 | 64 | 315 | 1876 | 148888 |

تلقی می شوند زیرا خطر بیماری تصلب شرایین را بیش تر می نمایند (Hem, 1989). آب سخت طعم مناسبی ندارد و آشامیدن آب سخت منجر به سوءهاضمه می گردد (WHO, 2011). همچنین استاندارد سختی که بنا به توصیه سازمان بهداشت جهانی (WHO, 1984) برابر CaCO₃ ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر به عنوان حداکثر غلظت مجاز برای آشامیدن در نظر گرفته شده است.

روش ویلکوکس (Wilcox, 1955) یکی از متداول ترین روش ها برای طبقه بندی آب برای مصارف کشاورزی است. آب مورد نیاز برای مصارف غیرخانگی، یا بعنوان مصرف دام و یا جهت مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد. مقدار غلظت سدیم در تقسیم بندی آب برای آبیاری از اهمیت ویژه ای برخوردار است. دو اثر مهم سدیم عبارتند از: کاهش نفوذپذیری و سخت کردن خاک. این دو اثر ناشی از جانشینی یون های کلسیم و منیزیم، بوسیله یون های سدیم در رس ها و کلوئیدهای خاک است. میزان این جانشینی را می توان با نسبت جذب سدیم (S.A.R) برآورد کرد که با فرمول زیر بیان می شود (Rice et al., 2012):

(رابطه ۲)

$$S.A.R. = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

که در فرمول فوق مقدار غلظت یون های سدیم، منیزیم و کلسیم بر حسب میلی اکی والان بر لیتر است. آزمایشگاه شوری دانشکده کشاورزی ایالات متحده

از پارامترهای مهم برای آب با کاربری آشامیدنی، سختی آب است. سختی عبارت است از مقدار یون های مثبت فلزی که در تماس با صابون معمولی تولید صابون های نامحلول می نمایند و برحسب کربنات کلسیم محاسبه می گردد. اگر چه وجود کاتیون های آهن، منگنز، مس، آلومینیم، استرانسیم که با آنیون های کربنات، بی کربنات، کلر، سولفات و نیترات بصورت محلول در آب وجود دارند نیز در بالا بردن سختی آب مؤثرند؛ ولیکن نقش اصلی را در بالا بردن سختی در آب های طبیعی، حضور یون های Ca و Mg بازی می کنند. زیرا این دو عنصر به مقادیر زیاد در آب های طبیعی حضور دارند (Hounslow, 1995). سختی آب را به سه حالت شامل الف- سختی کل (Total Hardness)، ب- سختی دائم یا سختی غیرکربناته (Permanet Hardness) و ج- سختی موقت یا سختی کربناته (Temporary Hardness) بیان می کنند. سختی کل عبارت است از مجموعه املاح کلسیم و منیزیم آب قبل از حرارت دادن، به عبارت دیگر سختی کل شامل مجموع سختی موقت و سختی دائم می باشد. سختی کل به رابطه زیر بدست می آید (Hounslow, 1995).

$$TH = Ca \left(\frac{CaCO_3}{Ca} \right) + Mg \left(\frac{CaCO_3}{Mg} \right) = 2.5 Ca^{+2} + 4.1 Mg^{+2}$$

(رابطه ۱)

در این رابطه TH به میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم، Ca و Mg به میلی گرم بر لیتر بیان می گردد. طبقه بندی آب براساس سختی در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. از لحاظ سختی، آب های سبک برای آشامیدن مضر

تبخیر می تواند شاخص را تحت تاثیر قرار دهد. شاخص لانژلیه در واقع تفاوت مابین pH واقعی آب و pH اشباع شده توسط کربنات کلسیم بوده و به عنوان شاخصی برای بیان مقدار خوردگی و یا رسوب گذاری آب به کار می رود (Allan, 2004; Abtahi et al., 2015; Zhao et al., 2015). به این منظور کیفیت شیمیایی آب از نظر تعادل شیمیایی و پیدایش پدیده های خوردگی (Corrosion) و رسوب گذاری (Scaling) آب زیرزمینی در سه طبقه رسوب گذار، متعادل و خورنده طبقه بندی گردید (Rice et al., 2012). بر اساس شاخص لانژلیه اگر مقدار شاخص منفی باشد، آب خورنده تلقی می شود و مقادیر مثبت مبین خاصیت رسوب گذاری بوده و چنانچه برابر صفر باشد پایدار محسوب می شود. شاخص لانژلیه (Langelier) برای سنجش کیفیت آب برای صنعت بر اساس رابطه های ۳ و ۴ استفاده گردید (Roberge, 2006).

$$LSI = pH - pHs \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$pHs = (9.3 + A + B) - (C + D) \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$A = (\text{Log}_{10}[\text{TDS}] - 1)/10$$

$$B = -13.12 \times \text{Log}_{10}(\text{°C} + 273) + 34.55$$

$$C = \text{Log}_{10}[\text{Ca}^{2+} \text{ as CaCO}_3] - 0.4$$

$$D = \text{Log}_{10}[\text{alkalinity as CaCO}_3]$$

در این رابطه ها، LSI شاخص لانژلیه است که تغییرات مورد نیاز pH برای رسیدن آب به حالت تعادل را به صورت تفاوت بین pH توسط pH واقعی و pH اشباع شده توسط کربنات کلسیم به عنوان شاخصی برای بیان خوردگی و رسوب گذاری بیان میکند. A تابع TDS بر حسب میلی گرم بر لیتر، B تابع درجه حرارت بر حسب درجه سلسیوس (°C) C تابع سختی کل (TH) بر مبنای کربنات کلسیم و بر حسب میلی گرم بر لیتر و D تابع قلیائیت کل است (Roberge, 2006).

(U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954) استفاده از مقادیر نسبت جذب سدیم (S.A.R) و هدایت الکتریکی (EC) را جهت طبقه بندی آب کشاورزی پیشنهاد و ارائه نمود. این دیاگرام براساس دو معیار S.A.R (خطر سدیم) و هدایت الکتریکی (خطر شوری) به ۱۶ رده تقسیم بندی شد (Hem, 1985). آب مورد استفاده در آبیاری بر اساس هدایت الکتریکی ویژه و نسبت جذب سدیم در چهار طبقه خیلی خوب، خوب، متوسط و نامناسب طبقه بندی می گردد (Todd et al., 2005) و مطابق با دیاگرام مذکور، آب های رده C₁S₁ بهترین و آب های رده C₄S₄ بدترین آب برای استفاده در آبیاری می باشند.

آب ماده حیاتی صنایع مانند کاغذسازی، نساجی، داروسازی و ... است که در ترکیب تولید و یا در آماده سازی مواد و یا در سرد کردن دستگاه ها به کار می رود. آب مورد استفاده در صنعت می تواند حالت خورنده و یا رسوب گذار داشته باشد که هر دو اثرات نامطلوبی را در دستگاه ها و تأسیسات صنعتی و همچنین کیفیت تولید خواهند داشت. آب های مصرفی صنایع وابسته به نوع صنعت و نوع مصرف از آن در بخش های مختلف بایستی دارای کیفیت و ویژگی های مشخص و معینی باشد. مهمترین عوامل تعیین کیفیت آب های صنعتی شامل پارامترهای اسیدیته، قلیائیت، سختی، غلظت کلسیم، درجه حرارت، مواد جامد محلول (TDS) و میزان گازهای محلول در آب است. از آنجا که مهم ترین پارامتر تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی بررسی مسئله خوردگی و رسوب گذار بودن در شبکه های آبرسانی و تأسیسات صنعتی است. الزام است آب های تحت پوشش در صورت کاربرد صنعتی از نظر خوردگی و رسوب گذاری مورد ارزیابی دقیق قرار گیرند. اکثر آب ها یا دارای خوردگی هستند، که موجب از بین رفتن مواد فلزی می شوند و یا رسوب گذارند که موجب گرفتگی لوله های مشبک و ... در جداره چاه های منطقه می شوند. برای بررسی کیفیت آب برای مصارف صنعتی از شاخص اشباع لانژلیه (LSI) استفاده شده است. برای محاسبه این شاخص تحلیل پارامترهای قلیائیت، سختی کلسیمی، کل مواد جامد، درجه حرارت و یا pH آب ضروری است. کیفیت آب، تغییر درجه حرارت و یا

جدول ۲- طبقه بندی مقادیر سختی (Todd and Mays, 2005).

Table2. Classification of hardness values (Todd and Mays, 2005).

| Water Class | Total Hardness (mg/l as CaCO ₃) |
|-----------------|--|
| Soft | 0-75 |
| Moderately Soft | 75-150 |
| Hard | 150-300 |
| Very Hard | 300< |

جدول ۳- تفسیر نتایج شاخص LSI (Edwards, 1994).

Table 3. Interpretation of LSI index results (Edwards, 1994).

| Indication | LSI |
|---|---------|
| Water is undersaturated with respect to calcium carbonate. Undersaturated water has a tendency to remove existing calcium carbonate protective coatings in pipelines and equipment. | 0 < LSI |
| Water is considered to be neutral. Neither scale-forming nor scale removing. | 0 = LSI |
| Water is supersaturated with respect to calcium carbonate (CaCO ₃) and scale forming may occur. | 0 > LSI |

برای بررسی امکان استفاده از منابع آب زیرزمینی یک منطقه در مصارف مختلف، داده‌های کیفیت آب و روند تغییرات پارامترهای مؤثر بصورت نقشه پهنه‌بندی رسم می‌شود (Yang et al., 2004). بنابراین جهت تهیه نقشه توزیع هر یک از پارامترهای مؤثر در طبقه بندی از ۹۱ نقطه نمونه برداری بعمل آمد. با توجه به پراکندگی نمونه‌های برداشت شده در دشت، در محیط نرم افزار ArcGIS به منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی و نمایش پیوسته داده‌ها از روش زمین آماری (Geostatistics) برای درون‌یابی استفاده گردید. روش‌های زمین آماری در مواردی که تغییرات مکانی متغیر زیاد باشد نتایج بهتری دارد. روش درون‌یابی کریجینگ (Kriging) بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است که به عنوان بهترین تخمین‌گر خطی ناریب است که واریانس تخمین در آن حداقل است. در بسیاری از مطالعات کریجینگ نوع عادی یا معمولی (Ordinary) به عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای پارامترهای هیدروشیمیایی معرفی شده است (Bhunia et al., 2018; Kadhim, 2018). در مطالعات مربوط به تهیه نقشه‌های توزیع پارامترهای کیفی آب، مدل گوسی (Gaussian) برازش بیش‌تری نشان می‌دهد (Shukri

Yahya et al., 2013) هر یک از پارامترهای مؤثر در طبقه‌بندی کیفی آب با توجه به نوع کاربری آشامیدنی، کشاورزی و صنعت به روش درون‌یابی کریجینگ عادی و مدل نوع Gaussian تهیه گردید. نوع تصویر لایه‌های درون‌یابی شده به منظور اعمال محاسبات بعدی به رستر تبدیل شد. رده‌بندی هر یک از لایه‌ها با توجه به طبقه‌بندی بازه اعداد ارائه شده توسط طبقه‌بندی کیفی شولر (آشامیدنی)، ویلکوکس (کشاورزی) و شاخص لانتزلیه (صنعتی) صورت پذیرفت و در نهایت نقشه طبقه‌بندی کیفی آب زیرزمینی برای کاربری‌های مورد نظر تهیه گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی کیفیت آب از نظر سختی

با توجه به اینکه مقدار سختی آب در صنعت و آشامیدنی دارای اهمیت زیادی است. بنابراین ارزیابی کیفیت آب از نظر سختی بطور یک بخش جدا مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آبی برداشت شده از دشت مرند در خرداد ماه ۱۳۹۸ بر اساس طبقه‌بندی ارائه شده در جدول شماره ۲ در حدود ۷۳/۱ درصد آب‌ها در محدوده کاملاً سخت، ۲۵/۶ درصد در محدوده سخت و ۱/۳ درصد در محدوده نرم قرار می‌گیرد.

و تقسیمات ستون‌ها لگاریتمی است و عناصر اصلی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر نمایش داده می‌شوند. دیاگرام مذکور جهت طبقه‌بندی آب جهت مصارف آشامیدنی و بر اساس استانداردهای ارائه شده برای هر کشور استفاده می‌شود. در این دیاگرام هر نمونه آب از نظر آشامیدنی در محدوده و بازه‌ای شامل خوب، قابل قبول، متوسط، نامناسب، کاملاً نامطلوب و غیرقابل آشامیدنی قرار می‌گیرد که با استفاده از آن می‌توان وضعیت آب مورد نظر را از نظر آشامیدنی مشخص کرد. مطابق دیاگرام شولر، آب زیرزمینی در مناطق شرقی دشت از لحاظ آشامیدنی در محدوده خوب تا متوسط، مناطق مرکزی دشت در محدوده قابل قبول تا کاملاً نامطلوب و مناطق غربی دشت در محدوده قابل قبول تا نامناسب قرار می‌گیرد. شکل شماره ۶، نقشه توزیع مکانی آب زیرزمینی از دیدگاه آشامیدنی در خرداد ماه سال ۹۸ را نشان می‌دهد. آب زیرزمینی دشت از نظر آشامیدنی در مناطق جنوبی و جنوب شرقی در رده خوب تا قابل قبول و به سمت مناطق شمالی و غربی دشت به رده متوسط، نامناسب و کاملاً نامطلوب کاهش می‌یابد.

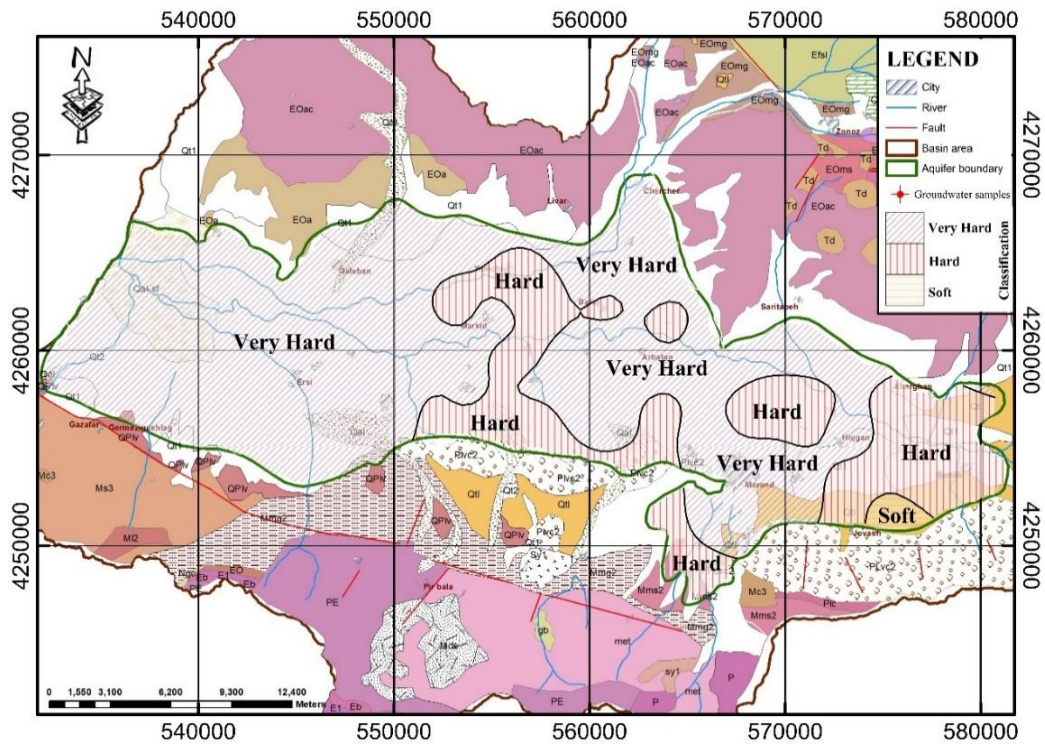
۳-۳- ارزیابی کیفیت آب از نظر کشاورزی

برای ارزیابی آب زیرزمینی دشت مرنده از نظر مصارف کشاورزی از دیاگرام ویلکوکس استفاده شد و در آن نمونه‌های آب زیرزمینی خردادماه ۱۳۹۸ مورد ارزیابی قرار گرفته است (شکل ۷). آب‌های آبیاری دشت مرنده مطابق جدول ۴ به چهار رده با کیفیت خیلی خوب، خوب، متوسط و نامناسب طبقه‌بندی می‌شوند. حدود ۸/۹ درصد نمونه‌ها دارای رده‌بندی خوب، ۵۶/۹ درصد متوسط و ۳۴/۲ درصد جزو آب‌های نامناسب هستند. با توجه به دیاگرام ویلکوکس به جز مناطق شرقی، جنوبی و مرکزی دشت که از نظر کشاورزی قابل استفاده و مناسب هستند، بقیه قسمت‌های دشت از جمله شمال شرقی، شمال، شمال غربی و غرب برای کشاورزی نامناسب و خیلی شور می‌باشند. شکل شماره ۸ نقشه تغییرات مکانی آب آبخوان از دیدگاه کشاورزی را نشان می‌دهد و مطابق نقشه مذکور آب آبخوان از سمت جنوب و شرق به سمت مرکز، شمال، غرب و شمال‌غرب آبخوان به تدریج از کلاس‌های پایین به کلاس‌های بالا افزایش می‌یابد. شکل شماره ۹، نقشه پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت مرنده جهت مصارف کشاورزی را نشان می‌دهد.

بر اساس داده‌های بدست آمده، مشاهده گردید که میزان سختی موقت در اکثر نمونه‌ها (۵۳ نمونه) بالا بوده و فاقد سختی دائم است. ۲۵ نمونه نیز علاوه بر سختی موقت دارای سختی دائم نیز می‌باشد. شکل شماره ۵ نقشه توزیع مکانی آب زیرزمینی دشت مرنده از دیدگاه سختی در خرداد ماه سال ۹۸ را نشان می‌دهد. مطابق این نقشه آب‌های مناطق ورودی (مناطق شرقی، جنوب دشت) دارای آب از نوع سخت، آب مناطق مرکزی، شمالی و غربی از نوع آب کاملاً سخت و بخش کوچکی از جنوب شرقی دشت نیز از نوع آب نرم می‌باشد. میزان سختی کل در مناطق جنوب شرقی دشت مرنده حداقل مقدار و در حدود ۴۹/۷ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم، در نواحی شرقی و جنوبی و بخشی از مناطق مرکزی میزان کربنات کلسیم به مقادیر بیش از ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم افزایش یافته و به ۲۹۱ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم و به سمت مناطق شمالی و غربی دشت به بیش از ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم افزایش یافته و در نواحی شمالی دشت به حداکثر ۲۳۲۵ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم نیز می‌رسد.

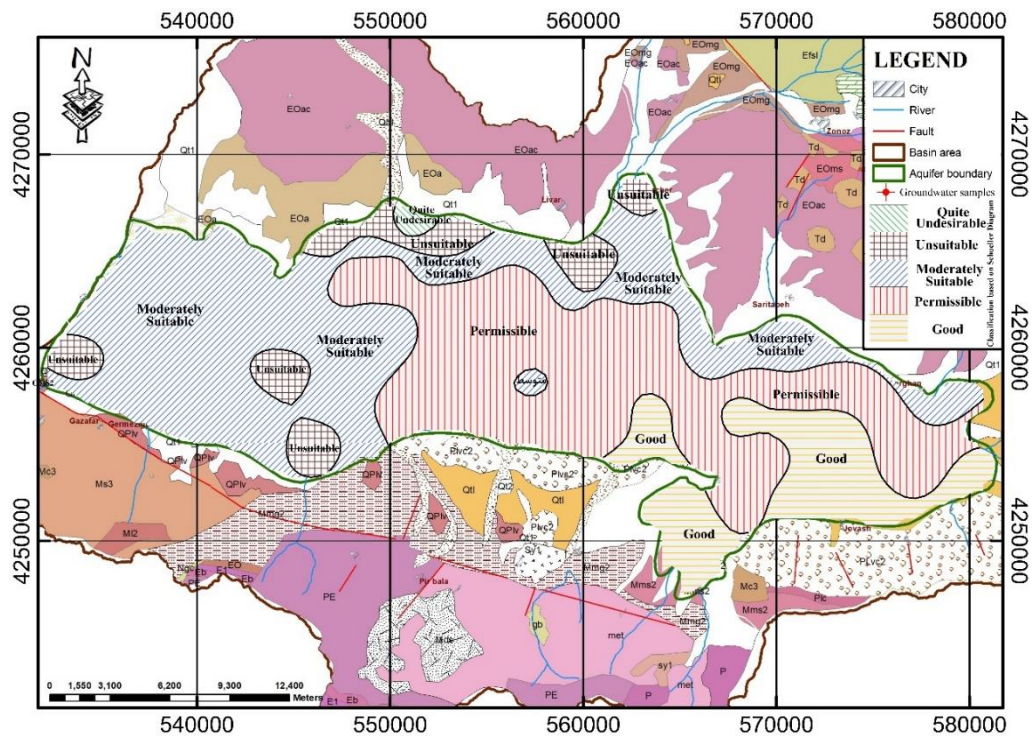
۳-۲- ارزیابی کیفیت آب از نظر آب آشامیدنی

نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آبی از منطقه مورد مطالعه غلظت برخی از پارامترهای هیدروشیمیایی مانند هدایت الکتریکی (EC)، سختی، مطابق استاندارد آب آشامیدنی WHO می‌باشد (WHO, 2011). بر اساس طبقه‌بندی‌های ارائه شده مقادیر حد مطلوب EC مناسب برای آب آشامیدنی کم‌تر از ۷۵۰ و مقادیر حدمجاز آن ۷۵۰-۱۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر است. بر پایه نتایج و بررسی نقشه زمین شناسی منطقه مطالعاتی (شکل ۲) مشاهده گردید که در نواحی شمالی و مرکزی دشت و خروجی دشت (نواحی غربی) دارای بیش‌ترین شوری با مقادیر بیش از حد مجاز هستند. بر این اساس شوری آب زیرزمینی مرتبط با برهم کنش آب-سنگ و انحلال سازندهای شورکننده، افزایش تبخیر همراه با تشکیل شوره‌زارهای فصول خشک، نفوذ شورآبه‌ها و آب‌شویی رسوبات تبخیری ناشی از آنها تعیین گردید. دیاگرام شولر (Schoeller, 1962) با توجه به مقیاس لگاریتمی، از نظر سرعت عمل، سهولت مقایسه و نمایش تعداد نمونه در یک دیاگرام، نمایش غلظت یون‌ها به میلی‌گرم از اهمیت خاصی برخوردار است. در این دیاگرام مقادیر یون‌ها در ستون‌های قائم نشان داده می‌شوند



شکل ۵- توزیع مکانی آب زیرزمینی دشت مرند از دیدگاه سختی آب در خرداد ماه سال ۹۸

Fig.5 Spatial distribution of groundwater in Marand plain in terms of water hardness in June 2019.



شکل ۶- توزیع مکانی آب آبخوان دشت مرند از دیدگاه آشامیدنی در خرداد ماه سال ۹۸

Fig.6. Spatial distribution of groundwater in Marand plain in terms of drinking water in June 2019.

جدول ۴- طبقه بندی کیفی آب کشاورزی براساس خطر شوری و خطر قلیائیت بر اساس طبقه بندی USDA*(Wilcox, 1955).

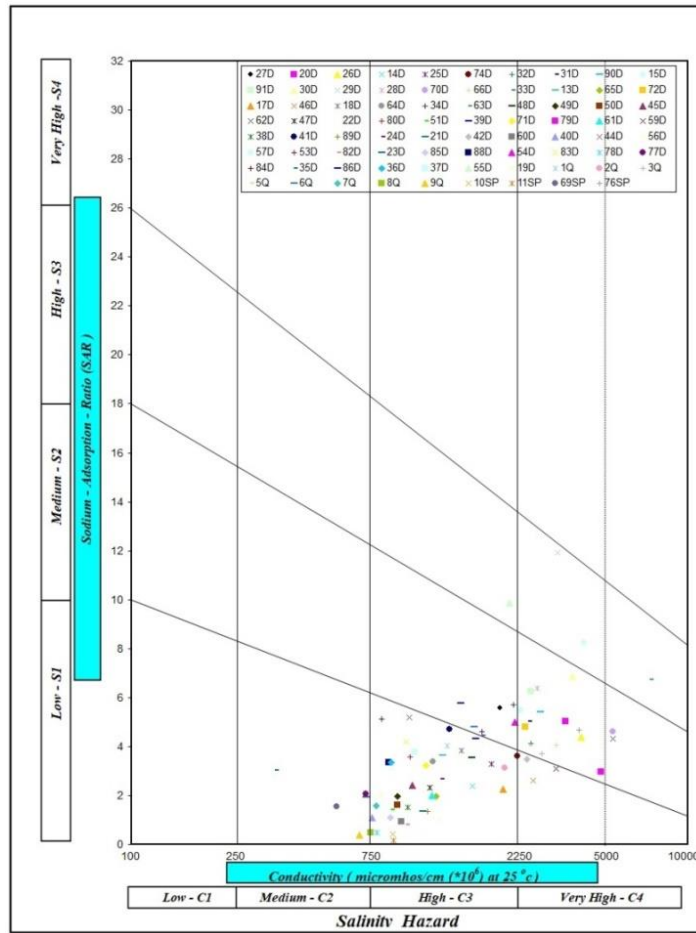
Table 4. Agricultural water quality classification based on salinity risk and alkalinity risk based on USDA classification (Wilcox, 1955).

| Quality | Salinity hazard | Salinity class | EC (μSiemens/cm) | Percentage of samples | USDA Class | Classification of agricultural water quality | Category |
|--|-----------------|----------------|------------------|-----------------------|------------|--|----------|
| Suitable for all types of soils | Low | C1 | <250 | 0 | C1S1 | Very good | 1 |
| Almost suitable (Except for plants sensitive to salinity) | Medium | C2 | 250-750 | 0 | C1S2 | | |
| Unsuitable (Except for drained soils and plants with high tolerance) | High | C3 | 750-2250 | 8.86 | C2S1 | Good | 2 |
| Useless (Except for salt resistant plants) | Very high | C4 | 2250< | 0 | C2S2 | | |
| | | | | 0 | C1S3 | Average | 3 |
| | | | | 0 | C2S3 | | |
| | | | | 50.63 | C3S1 | | |
| | | | | 6.33 | C3S2 | | |
| | | | | 0 | C3S3 | Unsuitable | 4 |
| | | | | 0 | C1S4 | | |
| | | | | 0 | C2S4 | | |
| | | | | 0 | C3S4 | | |
| Suitable (Can be used for irrigation on almost all soils) | Low | S1 | <10 | 5.06 | C4S1 | Unsuitable | 4 |
| Suitable (Except for plants sensitive to salinity) | Medium | S2 | 10-18 | 24.06 | C4S2 | | |
| Doubtful (May produce an alkaline problem) | High | S3 | 18-26 | 5.06 | C4S3 | | |
| Unsuitable (Usually unacceptable for irrigation purpose.) | Very high | S4 | 26< | 0 | C4S4 | | |

* USDA: United States Department of Agriculture

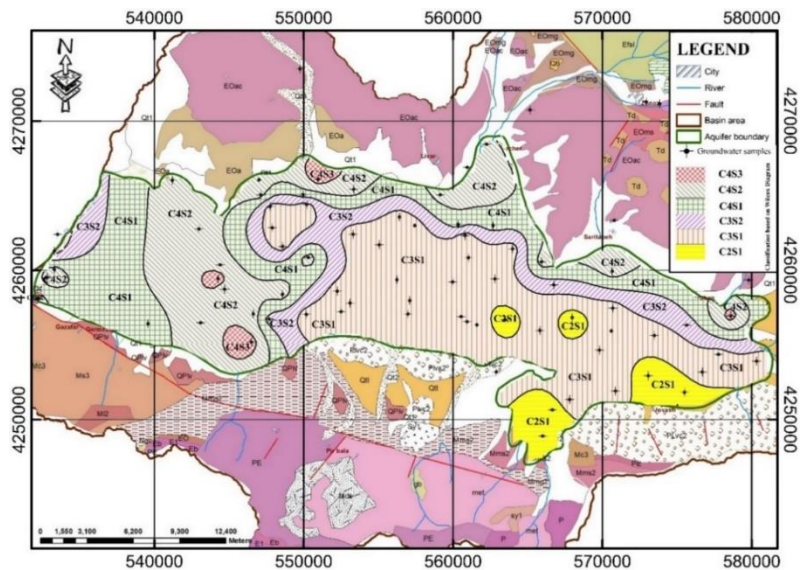
مردن نسبت به استانداردهای تعیین شده توسط فائو مقایسه گردیده است. طبق مقادیر استاندارد تعیین شده فائو (FAO, 1995) آب زیرزمینی از نظر مقادیر هدایت الکتریکی، سدیم، بر، نیترات، بی کربنات و منیزیم دچار مشکل کم تا متوسط برای مصارف آبیاری کشاورزی است. مقدار میانگین یون کلراید در آب زیرزمینی دشت مرند حدود ۳۴۸ میلی گرم بر لیتر است که به سمت شمالی و غربی دشت مقادیر آن افزایش یافته و حتی به مقادیر بیش از ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر نیز می رسد که براساس طبقه بندی ارائه شده به منظور تأثیر مقادیر کلر بر روی محصولات کشاورزی (Ayers and Westcot, 1994) به گیاهان نسبتاً حساس مانند سیب زمینی، یونجه، گندم، ذرت و گوجه فرنگی آسیب می رساند.

با توجه به نقشه کاربری اراضی ارائه شده در شکل ۱۰ مشاهده می گردد که کشاورزی بجز مناطق غربی و خروجی دشت در تمامی منطقه گسترش دارد. توسعه فعالیت های کشاورزی، استفاده بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و انحراف آب های سطحی به مزارع و خشک شدن رودخانه ها در پائین دست و عدم امکان نفوذ آب های شیرین به آبخوان، نفوذ شورابه و پساب ها به آب زیرزمینی بر مقادیر شوری آن می افزاید. پهنه های نمک در بخش غربی دشت و در محل خروج جریان های سطحی محدوده مطالعاتی مرند به سمت پایین دست تشکیل شده اند و به همین دلیل در مناطق انتهایی دشت، افزایش شوری قابل توجه می باشد. در جدول ۵ مقادیر میانگین پارامترهای آب زیرزمینی دشت



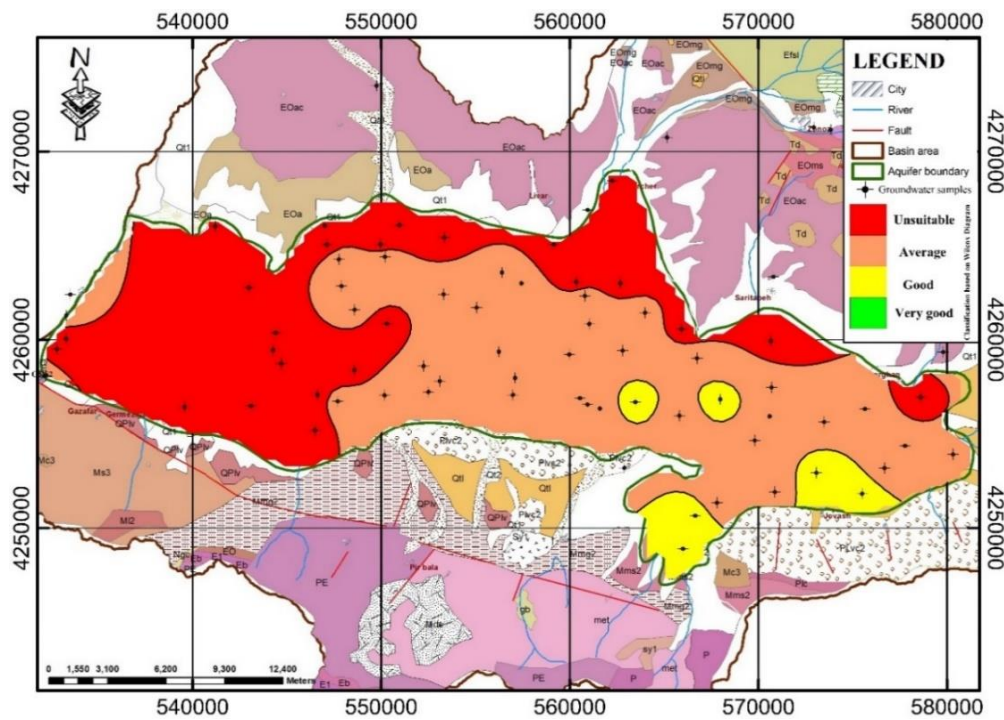
شکل ۷- نمایش آنالیز نمونه های آب زیرزمینی منابع انتخابی کیفی توسط دیاگرام ویلکوکس از دیدگاه کشاورزی در خردادماه ۱۳۹۸.

Fig.7. Demonstration of groundwater samples analysis of selected quality sources by Wilcox diagram from the point of view of agriculture in June 2019.



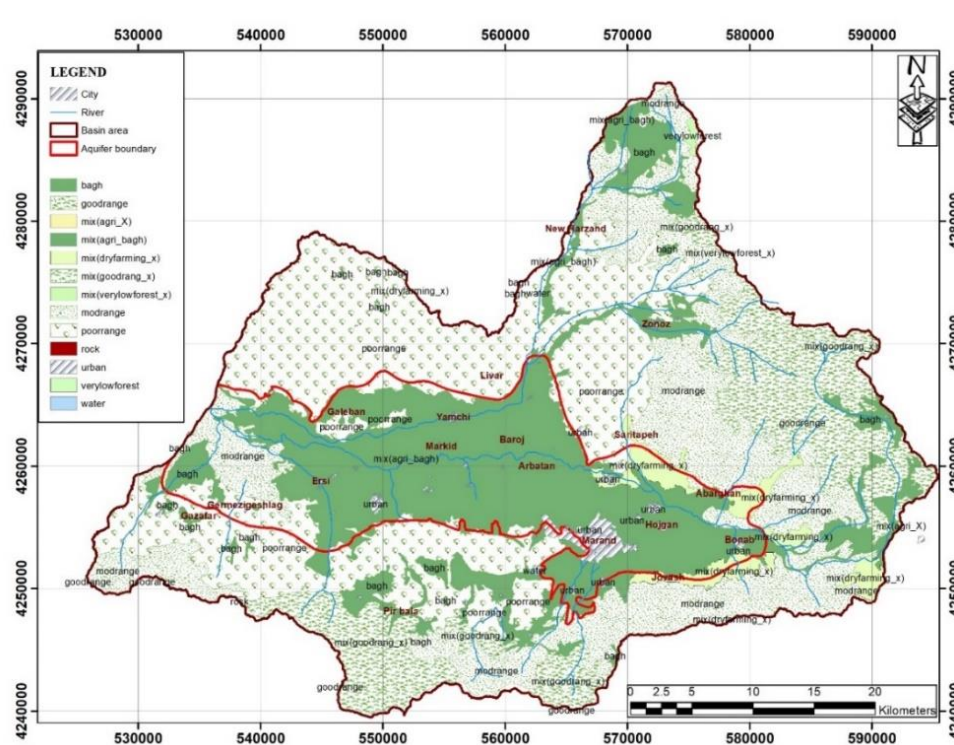
شکل ۸- توزیع مکانی آب زیرزمینی دشت مرند از دیدگاه کشاورزی بر اساس طبقه بندی ویلکوکس در خرداد ماه ۹۸.

Fig.8. Spatial distribution of groundwater in Marand plain in terms of agriculture based on Wilcox classification in June 1998.



شکل ۹- نقشه پهنه بندی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت مرند جهت مصارف کشاورزی.

Fig.9. Qualitative zoning map of groundwater resources in Marand plain for agricultural purposes.



شکل ۱۰- نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی مرند.

Fig.10. Land use map of Marand study area.

جدول ۵- مقایسه مقادیر میانگین پارامترهای آب زیرزمینی دشت مرند نسبت به استانداردهای تعیین شده توسط FAO.
 Table 5. Comparison of mean values of groundwater parameters in Marand plain compared to FAO standard.

| Parameter | Unit | Average samples | Qualitative classification | | |
|---------------------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|------------------------|-----------------|
| | | | without problem | Low and medium problem | Serious problem |
| EC | Decisiemens per centimeter | 1.87 | <0.7 | 0.7-3 | 3< |
| SAR | | 3.72 | <3 | 3-9 | 9< |
| Na | Milliequivalents per liter | 8.3 | <3 | 3< | |
| Cl | Milliequivalents per liter | 9.57 | <3 | 3-10 | 3< |
| B | Milligram per liter | 0.6 | <0.7 | 0.7-3 | 3< |
| NO ₃ | Milligram per liter | 16.7 | <5 | 5-30 | 30< |
| HCO ₃ | Milliequivalents per liter | 5.97 | <1.5 | 1.5-8.5 | 8.5< |
| pH | | 7.76 | | 6.5-8.4 | |
| Maximum recommended concentration(ML) | | | | | |
| As | Milligram per liter | 0.009 | | 0.1 | |
| F | Milligram per liter | 0.83 | | 1 | |
| Mn | Milligram per liter | 0.01 | | 0.2 | |
| Mg | Milligram per liter | 66.7 | | 2 | |
| Fe | Milligram per liter | 0.133 | | 5 | |

استفاده، لازم است (کیفیت متوسط).

گروه ج: برای هر نوع مصرفی در صنعت نیازمند تصفیه آب هستند و توصیه می‌شود بیش‌تر برای مصارف آب خنک‌کننده که نیازمند تصفیه بالایی نمی‌باشند، به کار روند. با توجه به نیاز به سطح بالای تصفیه آب برای فرایندهای حساس، استفاده از این آب‌ها در این فرایندها توصیه نمی‌شود (کیفیت ضعیف). در طبقه‌بندی مربوطه شاخص لانژلیه (LI) با مقادیر صفر نشانگر حالت تعادل آب، مقادیر مثبت نشانگر فوق اشباع بودن آب نسبت به کربنات کلسیم و حالت پوسته‌گذاری و مقادیر منفی نشانگر تحت اشباع بودن آب نسبت به کربنات کلسیم و حالت خورندگی آب است. بر اساس طبقه‌بندی کیفی آب صنعتی حدود ۷۴/۴ درصد از نمونه‌ها دارای ویژگی رسوب‌گذار، ۱۹/۲ درصد خورنده و ۶/۴ درصد متعادل هستند (جدول ۷).

۳-۴- ارزیابی کیفیت آب از نظر صنعت

استاندارد کیفیت آب برای کاربری صنعت برای سه گروه آب با کاربری صنعتی به شرح زیر در جدول ۶ ارائه شده است (Vice President of Strategic Planning and Supervision., 2008):

گروه الف: برای فرایندهایی در صنعت که به آب با کیفیت بسیار بالا نیاز ندارند و بدون تصفیه و یا با حداقل تصفیه قابل استفاده می‌باشند و برای فرایندهای با حساسیت زیاد، باید تا حد مورد نیاز تصفیه شود (کیفیت خوب).

گروه ب: برای فرایندهای صنعتی با کمترین حساسیت به کیفیت آب، بدون تصفیه و یا با حداقل تصفیه قابل استفاده می‌باشند ولی برای فرایندهای صنعتی نسبتاً حساس، انجام فرایندهای تصفیه آب فیزیکی و شیمیایی با توجه به نوع

رسوب گذار هستند. اکثر واحدهای صنعتی موجود در سطح دشت از جمله شهرک صنعتی مرند در ۸ کیلومتری شمال شرقی شهر مرند در کنار جاده جلفا، در محدوده آبهای زیرزمینی رسوب گذار واقع شده اند.

بر اساس توزیع کیفی آب صنعتی نمونه های آب زیرزمینی دشت مرند مطابق شکل شماره ۱۱ مشاهده می گردد که در نواحی جنوب شرقی و شمال شرقی دشت دارای ویژگی خوردگی و نواحی شرقی، میانی و پایانی دشت دارای ویژگی

جدول ۶- مقایسه مقادیر میانگین پارامترهای آب زیرزمینی دشت مرند نسبت به استاندارد کیفیت آب صنعتی (Vice President of Strategic Planning and Supervision., 2008).

Table 6. Comparison of the mean values of groundwater parameters of Marand plain in relation to the industrial water quality standard (Vice President of Strategic Planning and Supervision. 2008).

| Parameter | Unit | Average samples | Quality standard | | |
|------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | | | A Group Good quality | B Group Medium quality | C Group Poor quality |
| Fe | Milligram per liter | 0.133 | <0.3 | ≤1 | >1 |
| Mn | Milligram per liter | 0.01 | <0.3 | ≤1 | >1 |
| pH | | 7.76 | 6-9 | 6-9 | 6-9 |
| Alkalinity | Milligram per liter | 423 | <150 | ≤500 | >500 |
| TH | Milligram per liter | 516 | <250 | ≤500 | >500 |
| SO4 | Milligram per liter | 156 | <250 | ≤500 | >500 |
| Cl | Milligram per liter | 340 | <200 | ≤500 | >500 |
| TDS | Milligram per liter | 1122 | <500 | ≤1000 | >1000 |
| EC | Microsiemens Per centimeter | 1870 | <1000 | ≤2000 | >2000 |

• برگرفته از راهنمای طبقه بندی کیفیت آب خام، پسابها و آبهای برگشتی برای مصارف صنعتی و تفریحی نشریه شماره ۴۶۲

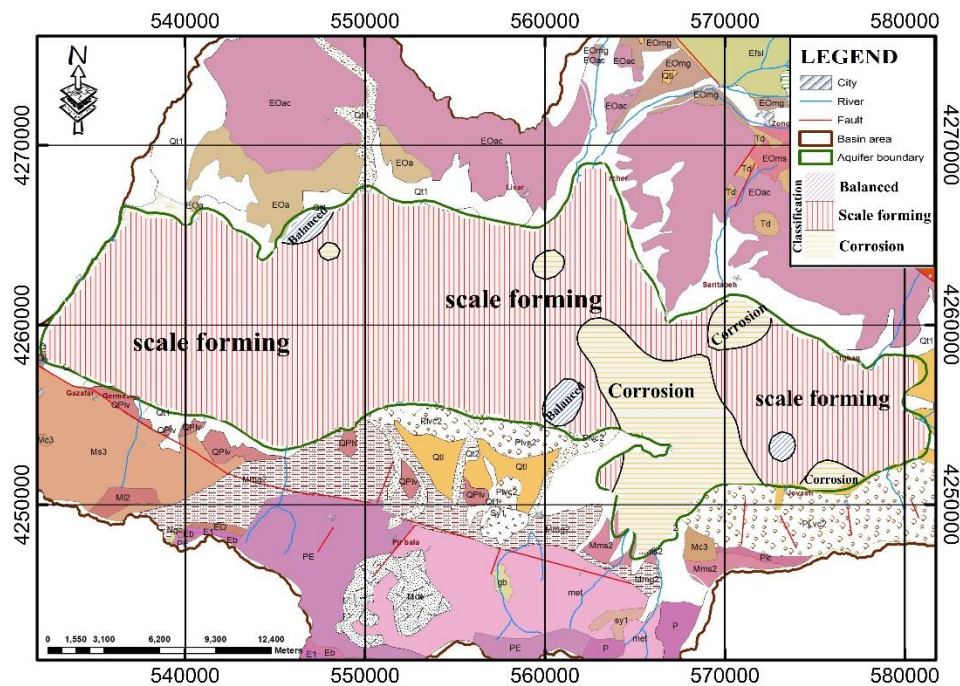
آب در رده کیفی خوب، از نظر کلیات، کلراید و هدایت الکتریکی در رده کیفی متوسط و از نظر سختی و کل مواد جامد محلول در رده کیفی ضعیف قرار دارد.

با مقایسه مقادیر استاندارد ارائه شده در جدول شماره ۵ با مقادیر میانگین این پارامترها در منابع آب زیرزمینی دشت مرند مشاهده می گردد که اسیدیته آب برای هر نوع از کاربری صنعتی مناسب است ولی از نظر غلظت پارامترهای آهن، منگنز، سولفات

جدول ۷- وضعیت نمونه های آب زیرزمینی دشت مرند در طبقه بندی کیفی آب صنعتی بر اساس شاخص لانژلیه.

Table 7. Status of groundwater samples in Marand plain in industrial water quality classification based on Langelier index.

| Percentage of samples | LSI index | water quality classification |
|-----------------------|-----------|------------------------------|
| 19.2 | LI<0 | Corrosion |
| 74.4 | LI>0 | Scale forming |
| 6.4 | LI=0 | Balanced |



شکل ۱۱- نقشه پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت مرند جهت مصارف صنعتی.

Fig.11. Qualitative zoning map of groundwater resources in Marand plain for industrial use.

۴- نتیجه گیری:

بررسی کیفیت آب مصرفی در بخش‌های مختلف آشامیدنی، کشاورزی و صنعتی یکی از پارامترهای اساسی در توسعه پایدار و بالا بردن سطح سلامت محصولات و جامعه است. نتایج این تحقیق نشان داد که کیفیت آب‌های زیرزمینی این دشت از نظر آشامیدنی در مناطق جنوبی و جنوب شرقی در رده خوب تا قابل قبول و به سمت مناطق شمالی و غربی دشت تا رده متوسط، نامناسب و کاملاً نامطلوب کاهش می‌یابد. کیفیت آبهای زیرزمینی منطقه نیز از نظر سختی در مناطق جنوب شرقی دشت حداقل مقدار و در نواحی شرقی، جنوبی و بخشی از مناطق مرکزی افزایش یافته و به سمت مناطق شمالی و غربی دشت به بیش از ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافته و حتی در برخی از نواحی شمالی دشت به حداکثر ۲۳۲۵ میلی‌گرم در لیتر نیز می‌رسد.

با بررسی کیفیت آب نمونه‌ها برای مصارف کشاورزی مشخص شد به جز مناطق شرقی، جنوبی و مرکزی دشت که از نظر کشاورزی قابل استفاده و مناسب هستند، بقیه قسمت‌های دشت از جمله شمال شرقی، شمال، شمال غربی و غرب برای کشاورزی نامناسب و خیلی شور می‌باشند. با توجه به نقشه

کاربری اراضی، کشاورزی در تمامی مناطق دشت بجز مناطق غربی و خروجی گسترش دارد. توسعه فعالیت‌های کشاورزی و استفاده زیاد از آبهای سطحی و زیرزمینی، نفوذ شورابه و پساب ها به آب زیرزمینی بر مقادیر شوری آن می‌افزاید. پهنه‌های نمک در بخش غربی دشت و در محل خروج جریان‌های سطحی تشکیل شده‌اند و به همین دلیل در مناطق انتهایی دشت، افزایش شوری قابل توجه می‌باشد. براساس توزیع کیفی آب صنعتی در نواحی جنوب شرقی و شمال شرقی دارای ویژگی خوردگی و نواحی شرقی، میانی و انتهایی دشت دارای ویژگی رسوب‌گذار هستند. اکثر واحدهای صنعتی موجود در سطح دشت از جمله شهرک صنعتی مرند در ۸ کیلومتری شمال شرقی شهر مرند در کنار جاده جلفا، در محدوده آبهای زیرزمینی رسوب‌گذار واقع شده‌اند. در نهایت با توجه به اهمیت تأمین آب مصرفی برای آشامیدنی، کشاورزی و صنعت، لزوم توجه به کیفیت آن بارزتر می‌شود و لازم است تمهیدات بیش‌تری را جهت به حداقل رساندن شوری آب زیرزمینی انجام داد که این امر نیز با کاهش بهره برداری از منابع آب زیرزمینی، عدم توسعه کشاورزی، استفاده بهینه از منابع آبی و تغییر الگوهای کشت و حتی نوع محصولات کشاورزی و دیگر اقدامات لازمه مقدور

نخواهد بود.

مراجع

- Abtahi, M., Golchinpour, N., Yaghmaeian, K., Rafiee, M., Jahangiri-rad, M., Keyani, A., Saeedi, R., 2015. A modified drinking water quality index (DWQI) for assessing drinking source water quality in rural communities of Khuzestan Province, Iran. *Ecological Indicators* 53, 283-291. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.02.009>.
- Adepelumi, A.A., Ako, B. D., Ajayi, T. R., Afolabi, O., Omotoso, E. J., 2009. Delineation of saltwater intrusion into the freshwater aquifer of Lekki Peninsula, Lagos, Nigeria. *Environmental Earth Sciences* 56, 927-933. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1194-3>.
- Aghazadeh, N., Asghari Moghaddam, A., Kymiaee, A., 2008. Assessment of hydrochemical properties of underground water in Salmas and Its Suitability for Various Uses. *Journal of sciences of Esfahan University* 34, 79-98.
- Allan, J.D., 2004. Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 35, 257-284.
- Amangabara, G.T., Ejenma E., 2012. Groundwater quality assessment of Yenagoa and environs Bayelsa State, Nigeria between 2010 and 2011. *Resource Environment* 2, 20-29. <https://doi.org/10.5923/j.re.20120202.04>
- American Public Health Association., 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th edition, American Water Works Association and Water Environmental Federation, Washington DC. p. 1207. <https://doi.org/10.4236/psych.2013.41117>
- Asadian, A., Mirzaee, A.R., Mohajjel, M., Hadjialilu, B., 1994. Geology map of Marand, Iran. *Geological Survey of Iran*, Scale 1:100,000.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). 2002. *Annual book of ASTM standards*. Section 11, Water and Environmental Technology 11, p. 1020.
- Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1994. *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29. ISBN 92-5-102263-1. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. <https://www.fao.org/3/t0234e/t0234e00.htm>
- Bhunia, G.S., Keshavarzi, A., Shit, P.K., Omran, E., Bagherzadeh, A., 2018. Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and irrigation using GIS and geostatistics techniques in semiarid region of Neyshabur, Iran. *Applied Water Science* 8, p. 168. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0795-6>
- Department of Environmental., 2016. *Water quality standard of Iran*. Vice President of Human Environment, Water and Soil Office. p. 90.
- Dindarlo, K., Alipour, V., Farshidfar, G., 2006. Chemical quality of Bandar Abbas drinking water. *Medical journal of Hormozgan university* 10, 57-62. <https://sid.ir/paper/60696/fa>
- East Azarbaijan Regional Water Company, 2019. *Summary tables report on the status of groundwater sources, including wells, springs and aqueducts in the study areas of East Azarbaijan province*.
- Eftekhari Nezhad, J., Ghoashi, M. and Mehrparto, M., 1991. *Geological Quadrangle Map of Tabriz-Poldasht, 1250000, Tehran*. Geological and Mineral Survey of Iran.
- FAO., 1995. *Programme for the World Census of Agriculture 2000*. Statistical Development Series No. 5. Rome.
- Hem, J.D., 1989. *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water*. 4d. ed., United States Geological Survey. Water supply paper 2254, p. 264. <https://doi.org/10.3133/wsp2254>
- Hossain, G., Howladar, M.F., Nessa, L., Ahmed, S.S., Quamruzzaman, C., 2010. Hydrochemistry and classification of groundwater resources of Ishwardi municipal area, Pabna district, Bangladesh, *Journal of Geotechnical and Geological Engineering* 28, 671-679. <https://doi.org/10.1007/s10706-010-9326-4>
- Hounslow, A.W., 1995. *Water Quality Data Analysis and Interpretation*. Lewis Publishers, New York, NY, USA, 397. <https://doi.org/10.1201/9780203734117>
- Kadhim, N., 2018. Geospatial technology for groundwater quality parameter assessment in DhiQar governorate Iraq by using GIS. *International Journal of Civil Engineering and Technology* 9, 358-370.
- Li, J., Heap, A.D., 2014. Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling & Software* 53, 173-189. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.008>

- Mohtashami, A., Naseri, A., 2015. Classification of water quality for drinking, agriculture and industry (case study: Darmeyan - Asadabad plain, south Khorasan province). Proceedings of 1st national conference of water resources quality and sustainable development, Regional water company of Markazi, Arak University, I.R. Iran. <https://civilica.com/doc/535391>.
- Mosaferi, M., Shakerkhatibi, M., Dastgiri, S., Asghari Jafar-abadi, M., Khataee, A., Sheykholeslami, S., 2014. Natural arsenic pollution and hydrochemistry of drinking water of an urban part of Iran. *Avicenna Journal of Environmental Health Engineering* 1, 164–173. <https://doi.org/10.5812/ajehe.164>
- Majcher, E.H., Woytowitz, E.L., Reisinger, A.J., and Groffman, P.M., 2018, Factors affecting long-term trends in surface-water quality in the Gwynns Falls watershed, Baltimore City and County, Maryland, 1998–2016. U.S. Geological Survey Open-File Report 2018–1038, p. 27. <https://doi.org/10.3133/ofr20181038>
- Mohebbi, M.R., Saeedi, R., Montazeri, A., Vaghefi, K.A., Labbafi, S., Okaie, S., Mohagheghian, A., 2013. Assessment of water quality in groundwater resources of Iran using a modified drinking water quality index (DWQI), *Ecological Indicators* 30, 28-34. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.02.008>
- Nabavi, M. H., 1976. An Introduction to Geology of Iran, Geologic Survey of Iran, Tehran, p.109.
- Nadiri, A., Aghdam, F., Khatibi, R., Asghari Moghaddam, A., 2018. The problem of identifying arsenic anomalies in the basin of Sahand dam through risk-based 'soft modelling'. *Science of the total environment* 613, 693-706. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.027>
- Nadiri, A.A., Asghari Moghaddam, A., Tsai, F., Fijani, E., 2013. Hydrogeochemical analysis for Tasuj plain aquifer, Iran. *Earth System Science* 122, 1091–1105. <https://doi.org/10.1007/s12040-013-0329-4>
- Pour Moghadas, H., 2003. A study of groundwater quality in Lenjan township of Isfahan province 4, 31-40. <http://sjsph.tums.ac.ir/article-1-283-fa.html>.
- Rahbar, A., Vadiati, M., Talkhabi, M., Nadiri, A., Nakhaei, M., Rahimian, M., 2020. A hydrogeochemical analysis of groundwater using hierarchical clustering analysis and fuzzy C-mean clustering methods in Arak plain, Iran. *Environmental Earth Sciences* 79, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09064-6>
- Rice, E.W., Baird, R.B., Eaton, A.D., 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd edition. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation. P.320.
- Roberge, P., 2006. Corrosion Inspection and Monitoring. Appendix B, 1st edition, John Wiley & Sons. p. 383.
- Schoeller, H., 1955. *Geochimie des eaux souterraines*. French Institute of Petroleum, 10, 181- 213.
- Schoeller, H., 1962. *Les eaux souterraines*. Masson & Cie. Paris, p. 642.
- Seeboonruang, U., 2012. A statistical assessment of the impact of land uses on surface water quality indexes, *Environmental Management* 101,134-142. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.10.019>
- Packialakshmi, S., Ambujam, N.K., 2012. A Hydrochemical and Geological Investigation on the Mambakkam Mini Watershed, Kancheepuram District, Tamil Nadu. *Environmental Monitoring and Assessment* 184, 3293-3306. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-011-2189-1>
- Shirvani, T., Shirvani Saroei, I., Boochani, M., Aref, F., 2015. Qualitative assessment of groundwater for agriculture and industry purposes in Sahra Bagh plain, Larestan, Iran. *Iranian journal of Ecohydrology* 2, 345-356. <https://doi.org/10.22059/ije.2015.58061>
- Singh, E.J., Gupta, A., Singh, NR., 2013. Groundwater quality in Imphal West district, Manipur, India, with multivariate statistical analysis of data. *Environmental Science and Pollution Research International* 20, 2421-2434. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1127-2>
- Singh, H., Bitz, C., Nusbaumer, J., Noone, D., 2016. A mathematical framework for analysis of water tracers: Part 1: Development of theory and application to the preindustrial mean state. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* 8, 991-1013. <https://doi.org/10.1002/2016MS000649>
- Shukri Yahya, A., Ahmad, F., Khudheir, M., 2013. Study of spatial variability into contaminated soil using Kriging techniques at Basrah. *International Journal of Scientific and Research Publications* 3, 1-6.
- Todd, D.K., Mays, L.W., 2005. *Groundwater hydrogeology*, 3rd edition, John Wiley and Sons.
- U.S. Salinity Laboratory Staff., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. The United States Department of Agriculture. Handbook 60, p.160.
- Vice President of Strategic Planning and Supervision., 2008. Guidelines for quality lassification of raw water, effluent, reused water for industrial and recreational use. No.462.
- WHO., 2011. Guidelines for Drinking-water Quality. 4th edition, World Health Organization, p. 541.

- Wilcox, L.V., 1955. Classification and use of irrigation waters. Circular No. 696. Washington: The United States Department of Agriculture, p.19.
- Yang, C.S., Kao, S.P., Lee, F.B., Hung, P.S., 2004. Twelve different interpolation methods: A case study of Surfer 8.0. In: Proceedings of the XXth ISPRS Congress, 778-785.
- Zarei, H., Akhondali, E., 2006. The evaluation of quality trend of water resource in Abolabads reservoir river basin and irrigation and drainage network. Network Management Articles National Conference of Irrigation and Drainage, martyr Chamran University 3, 1626-1620.
- Zhai, X., Xia, J., and Zhang, Y., 2014. Water quality variation in the highly disturbed Huai River Basin, China from 1994 to 2005 by multi-statistical analyses, Science of the Total Environment 496, 594-606. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.101>
- Zhang, Q., Harman, C.J., Kirchner, J.W., 2018. Evaluation of statistical methods for quantifying fractal scaling in water-quality time series with irregular sampling, Hydrology and Earth System Sciences 22, 1175-1192. <https://doi.org/5194/hess-22-1175-2018>
- Zhao, J., Lin, L., Yang, K., Liu, Q., Qian, G., 2015. Influences of land use on water quality in a reticular river network area: A case study in Shanghai, China, Landscape and Urban Planning 137, 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.12.010>