

## Investigating the relationship between the effect of geological formations on groundwater quality (Study area: Yazd province)

Hassan Fathizad\*, Mohammad Ali Hakimzadeh Ardakani

Department of arid and desert regions management, College of Natural Resources and Desert, Yazd University, Yazd, Iran

\* Corresponding author: H.fathizad@stu.yazd.ac.ir

(Received: 14 September 2022

Revise: 19 January 2023

Accepted: 04 March 2023)

### Extended Abstract

**Introduction:** Groundwater is one of the most important natural resources in the world. In the current situation, a significant part of Iran's consumption in the drinking sector is provided by underground water sources. In the last 20 years, salinization and reduction of groundwater quality have become one of the serious environmental problems around the world. This issue adds to the importance of proper management of groundwater consumption. Proper management of groundwater consumption is not possible without having sufficient knowledge of the distribution and expansion of saline and fresh groundwater and determining the processes influencing its evolution. Atmospheric precipitation and surface water, passing through different geological formations, dissolve the salts in them. Therefore, the chemical quality of underground water depends on the type of formation that passes through its empty spaces. Also, the time the water stays in the basement has an effective role in the quality and salinity of the water, because the longer the water stays in the sediments, the saltier it becomes. Groundwater in arid and semi-arid areas, especially in Yazd province, is the main and reliable source of water supply for various uses due to low rainfall and lack or absence of surface water sources. In order to check the condition of underground water, it is necessary to check the concentration and type of solutes in the water. One of the factors affecting the quality of underground water in Yazd province is the existence of destructive geological formations. Therefore, the purpose of this research is to investigate the relationship between the quality of underground water in Yazd province and the type of formations.

**Materials and methods:** Yazd province, with an area of about 737.54 square kilometers, is located in the central part of Iran's central plateau, between 29 degrees and 52 minutes to 33 degrees and 27 minutes north latitude and 52 degrees and 55 minutes to 56 degrees and 37 minutes east longitude. Yazd province is bordered by Semnan and Isfahan provinces from the north and west, Khorasan Razavi province from the northeast, Kerman and South Khorasan provinces from the east, Fars province from the southwest, and Kerman from the southeast. It varies from about 666 meters above the level of the open sea (Zarin sand desert near Aqda) to 4075 meters (Shirkoh peak). The present research is about investigating the impact of geological formations and units on the quality of underground water in Yazd province based on the statistics, information, and reports available in the Geological Organization using a 1:100000 geological map. In order to check the quality of underground water samples, 217 wells and aqueducts of Yazd Region Water Company's monitoring network in July 2013, the measured parameters of cations (sodium, potassium, calcium and magnesium), anions The main elements (bicarbonate, chloride and sulfate) present in water, electrical conductivity (EC), dissolved solids (TDS), sodium absorption ratio (SAR) and pH were used. To check the quality of underground water, sampling has been done in 18 regions of Yazd province. RockWorks 14, ArcGIS 10.3 and Excel software were used to draw and prepare maps.

**Results and Discussion:** To check the groundwater type of 217 sampled points in Yazd province, the average data of each region was used. By using the main ions, samples of the type of underground water in each region have been obtained in such a way that by separating the ions and their amount in each region and then implementing them in the Piper diagram, the type of groundwater in the region is obtained. As it is clear in Piper's diagram, the predominant type of underground water in Yazd province is chloride+sulfate and calcium+magnesium. These types cover the largest area in the plains and playas, which have limestone and marl. There is also carbonate type in the region due to the presence of granite formation heights that have better quality water. The interesting point in this graph is that none of the samples are in the fresh water category. The Piper diagram shows that the groundwater of the studied area is located in the hard and completely hard water type due to the existence of terrace deposits and new low-altitude foothill alluvial cones, which cover about 3,383,512 hectares of the entire area of the region. According to the Wilcox diagram of the study area, C2S2 and C4S2 classes have the lowest and highest shares with 0.46 percent and C3S4 and C4S4 classes with 32.26 and 56.22 percent, respectively. According to the results of the Wilcox diagram of underground water in Yazd province, the water quality of the region is too salty and unsuitable for agricultural use. The results show that the high amount of salts is one of the problems of the water that is used for irrigation in this area. High concentration of salt in irrigation water can reduce the growth of crops or even prevent the growth of some crops, which results in soil decomposition and groundwater pollution. In such water, the growth of plants and their quality will be improved by increasing irrigation for washing or using intermittent water with low salinity and good drainage.

**Conclusions:** If there is a trend of pollution and over-harvesting of the underground water table in the region, in the next few years, with the increase of TDS in the region, the condition of the water in terms of drinking will become worse. The best quality of water for drinking is in the central and southwestern regions where the normal gneiss granite formation with eye grain structure is located in the mountainous area of Shirkoh, and the further we move away from the center, the worse the water quality is. The formation of these areas is of the type of terrace deposits and alluvial cones of new foothills.

**Keywords:** Arid and semi-arid, Wilcox diagram, Piper charts, graphs Schuler, Yazd Province.

Citation: Fathizad, H., & Hakimzadeh Ardakani, M.A. (2023). Investigating the relationship between the effect of geological formations on groundwater quality (Study area: Yazd province). *Integrated Watershed Management*, 2(4), 49-66. doi: 10.22034/iwm.2023.560295.1044

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



## بررسی رابطه اثر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی (منطقه مورد مطالعه: استان یزد)

حسن فتحی زاد\*، محمدعلی حکیم‌زاده اردکانی

گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

\*نویسنده مسئول: H.fathizad@stu.yazd.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۳

### چکیده

آب زیرزمینی از مهم‌ترین منابع طبیعی در جهان است. آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌ویژه استان یزد با بارش اندک و ناکافی بودن منابع آب سطحی، منبع اصلی تأمین آب در مصارف مختلف به شمار می‌رود. هدف از این تحقیق بررسی رابطه بین کیفیت آب زیرزمینی استان یزد با نوع سازندها است. در این تحقیق برای بررسی کیفی نمونه آب زیرزمینی، ۲۱۷ حلقه چاه و قنات شبکه پایش شرکت آب منطقه‌ی یزد در تیرماه سال ۱۳۹۱، از پارامترهای اندازه‌گیری شده کاتیون‌ها (سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم)، آنیون‌ها (کربنات و بی‌کربنات، کلرید و سولفات) اصلی موجود در آب، قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، کل نمک‌های محلول در آب (TDS)، نسبت جذب سدیم (SAR) و pH استفاده شد. ارزیابی کیفیت آب با روش‌های دیاگرام پایپر، دیاگرام ویلکاکس و دیاگرام شولر انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که بیش‌ترین ضریب تغییرات مربوط به TDS، EC و  $Ca^{2+}$  با مقدار به ترتیب ۱۰۲/۲۹، ۱۰۱/۶۴ و ۱۰۰/۸۴ است و بر اساس نمودار پایپر آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در تیپ آب‌های سخت و کاملاً سخت واقع شده است. با توجه به نمودار ویلکوکس آب زیرزمینی استان یزد، کیفیت آب منطقه برای مصارف کشاورزی خیلی شور و نامناسب است و در کلاس‌های C2S2 و C4S2 با ۰/۴۶ درصد و کلاس‌های C3S4 و C4S4 به ترتیب با ۳۲/۲۶ و ۵۶/۲۲ درصد کم‌ترین و بیش‌ترین سهم را دارند. در بررسی نمودار شولر غالب آب‌های نمونه‌برداری شده با کیفیتی در رده خوب تا غیرقابل شرب قرار دارند. این آب‌ها از نظر بی‌کربنات و منیزیم نسبت به سایر وضعیت بهتری دارند.

واژه‌های کلیدی: خشک و نیمه‌خشک، نمودار ویلکوکس، نمودار پایپر، نمودار شولر، استان یزد.

**استناد:** فتحی‌زاد، ح؛ حکیم‌زاده اردکانی، م.ع. (۱۴۰۱). بررسی رابطه اثر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی (منطقه مورد مطالعه: استان یزد). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۲(۴)، ۴۹-۶۶.

### حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

## مقدمه

آب زیرزمینی از مهم‌ترین منابع طبیعی در جهان است. در شرایط کنونی، بخش قابل‌ملاحظه‌ای از مصارف کشور ایران در بخش شرب توسط منابع آب زیرزمینی تأمین شود (Glynn and Plummer, 2006). در ۲۰ سال اخیر، شور شدن و کاهش کیفیت آب زیرزمینی به یکی از مشکلات محیطی جدی در سرتاسر جهان تبدیل شده است. این موضوع بر اهمیت مدیریت مناسب مصرف آب زیرزمینی می‌افزاید. مدیریت مناسب مصرف آب زیرزمینی بدون داشتن دانش کافی از توزیع و گسترش آب‌های زیرزمینی شور و شیرین و تعیین فرآیندهای تأثیرگذار در سیر تکاملی آن، امکان‌پذیر نمی‌باشد (Karami et al., 2017). نزولات جوی و آب‌های سطحی در عبور از سازندهای مختلف زمین‌شناسی، املاح موجود در آن‌ها را در خود حل می‌کنند. از این‌رو، کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی، به نوع سازندی بستگی دارد که از میان فضاهای خالی آن عبور می‌کند. هم‌چنین مدت توقف آب در زیر زمین نیز در کیفیت و شوری آب نقش مؤثری دارد، زیرا آب هر چه در میان رسوبات زمین بیش‌تر باقی بماند شورتر می‌شود (Velayati, 2010). از آنجاکه سازندهای زمین‌شناسی از نظر خصوصیات سنگ‌شناسی متفاوت‌اند، آب حاصل از آن‌ها نیز دارای کیفیت گوناگونی است (Velayati, 2010). به‌عنوان نمونه سنگ‌های آذرین و کانی‌های موجود در آن‌ها، نسبت به سنگ‌های رسوبی کمتر در آب حل می‌شوند؛ بنابراین املاح آبی که از این نوع سنگ‌ها عبور می‌کنند، کم‌تر است (Kardavani, 2007). معمولاً آب‌های زیرزمینی متشکل از سنگ‌های آذرین، سنگ‌های کربناته و مواد آبرفتی متشکل از سنگ‌های آذرین هوازده یا سنگ‌های کربناته به دست می‌آید (Karami et al., 2017). سنگ‌های رسوبی شامل ماسه‌سنگ، سنگ‌آهک و شیل می‌شود. از هوازدهی سنگ‌آهک مقدار زیادی کلسیم و گاهی به مقدار کم منیزیم وارد آب می‌شود (Abbasnejad,

2005). آب به‌دست‌آمده از ماسه‌سنگ نیز به مقدار زیادی دارای کاتیون سدیم و آنیون بی‌کربنات است (Bouwer, 1987). مطالعاتی مختلفی در داخل و خارج کشور در مورد بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی و همچنین رابطه آن با سنگ‌شناسی و ساختمان زمین‌شناسی سازندها انجام‌شده است (Khodaei et al, 2006). Cloutier و همکاران در سال ۲۰۰۶، در تحقیقی به نقش ساختارهای زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی در تغییرات کمی و کیفی آبخوان‌های منطقه اشتهارد پرداختند. نتایج نشان داد که نواحی شمالی دشت دارای تیپ کلرور سدیک است و این منطقه از نظر شرب در رده متوسط تا کاملاً نامطبوع و از لحاظ کشاورزی در رده شور و مضر برای کشاورزی قرار دارد. بررسی‌ها نشان داد که وجود پهنه نمکی در شمال دشت به همراه افت ایجادشده در مرکز دشت که ناشی از برداشت بی‌رویه از منابع آبی است، تأثیر زیادی در کاهش کیفیت آب منطقه داشته است. Moghani Bilesua در سال ۲۰۱۳، در تحقیقی به پایش مکانی ویژگی‌های کیفی آب زیرزمینی در سازندهای مختلف زمین‌شناسی بالادست حوضه آبی‌چای، شرق دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که املاح آب‌های زیرزمینی در مسیر حرکت از پای کوه‌های اطراف به سمت غرب منطقه افزایش یافته و ترکیبات شیمیایی آن‌ها تغییر می‌یابد. دلیل این تغییر، وجود سنگ‌های رسوبی و نهشته‌های تبخیری میوسن در غرب منطقه است. Ansari و Mozaffarizadeh در سال ۲۰۱۴، به مطالعه‌ی هیدروژئوشیمی و تعیین نقش سازندهای زمین‌شناسی اطراف آبخوان دشت مرنند در کیفیت آب زیرزمینی پرداختند. بر اساس نتایج حاصل، فرآیندهایی مانند انحلال ژپس، هالیت، سنگ‌های آهکی همچون دولومیت و هوازدهی پلاژیوکلازهای غنی از سدیم، کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه را به‌خصوص در بخش‌های غربی، تحت تأثیر

لومی، سیلت- لومی و سیلنتی است، نفوذ آب در این مناطق کم بوده و در نتیجه منابع زیرزمینی در این مناطق توسط بارشها احیاء نمی‌شوند و در نهایت روزبه‌روز کیفیت آب در این نواحی رو به کاهش است. Aghamirzadeh و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی تغییرات عنصر آلومینیوم در آب‌های سطحی و زیرزمینی حوزه آبخیز سرچشمه استان کرمان پرداختند. نتایج نشان داد که آب‌های سطحی و زیرزمینی این منطقه بیش از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی آلومینیوم دارند و قابل آشامیدن نیستند. همچنین میزان غلظت عنصر آلومینیوم در فصل تر در آب‌های سطحی منطقه مورد مطالعه بیشتر از فصل خشک و میزان غلظت عنصر آلومینیوم در قنات‌ها و چاه منطقه مورد مطالعه در فصل خشک بیشتر از فصل تر است.

آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه-خشک به‌ویژه استان یزد به بارش اندک و کمبود یا نبود منابع آب سطحی، منبع اصلی و قابل اعتمادی برای تأمین آب در مصارف مختلف به شمار می‌رود. به منظور بررسی وضعیت آب-های زیرزمینی لازم است غلظت و نوع املاح موجود در آب بررسی شود. از عوامل تأثیرگذار در کیفیت آب‌های زیرزمینی استان یزد وجود سازندهای زمین‌شناسی مخرب است. توسعه استان یزد در سال‌های اخیر و وسعت زیاد فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی از یکسو و وجود واحدهای زمین‌شناسی از سوی دیگر، بررسی کیفیت آب زیرزمینی این منطقه را ضروری می‌سازد. تاکنون مطالعه جامعی بر روی رابطه بین کیفیت آب زیرزمینی استان یزد با نوع واحدهای زمین‌شناسی صورت نگرفته است؛ لذا هدف از انجام این تحقیق، بررسی رابطه بین کیفیت آب زیرزمینی استان یزد با نوع سازندها است.

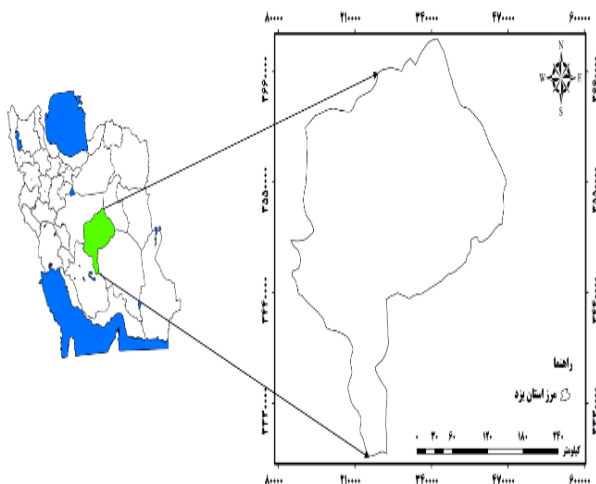
قرار می‌دهند. Ebadati و Sepavandi در سال ۲۰۱۵، به بررسی برهم‌کنش هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت گله‌دار و سازندهای زمین‌شناسی جنوب استان فارس پرداختند. نتایج نشان داد که دلایل تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی در این دشت، مختلف و ناشی از ورود آب‌های عبوری از نمکزارها، پساب کشاورزی و آب شور رودها و رواناب‌هایی که از سازندهای گچی اطراف وارد منطقه شده و انحلال‌هالیت و ژپس این سازندها است. Lecomte و همکاران (۲۰۰۹) ویژگی‌های هیدرووشیمی آب‌های زیرزمینی و روابط بین تیپ‌های مختلف آب-های زیرزمینی، زمین‌شناسی و ترکیبات هیدروژئوشیمی را با موضوع شناسایی منشأ آب‌های زیرزمینی در سیستم آبخوانه‌ی منطقه‌ی Basses-Laurentides نشان دادند. Tayebi و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر متغیرهای ژئومورفولوژی را در شیمی آب رودخانه‌های کوهستانی آرژانتین بررسی کردند. در ارزیابی اثرات گنبد‌های نمکی جهان، کنار سیاه و کوه گچ جنوب شرقی شیراز بر محیط‌زیست با استفاده از مدل شبکه عصبی و تصاویر رقومی، بر آلوده شدن آب رودخانه فیروزآباد توسط این سه گنبد تأکید کرده و امکان مطالعه گنبد‌های نمکی با روش‌های مختلف را با دقت‌های متفاوت ارزیابی کردند. Fathizad و Hakimzadeh Ardakani در سال ۲۰۲۲، به بررسی کارایی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی در پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان پرداختند. نتایج نشان داد که کاهش کیفیت آب در این ناحیه، خشک‌سالی‌های اخیر و اراضی کشاورزی تحت کشت پسته در میبد و اردکان به علت آبیاری نامناسب است که در کل روی کیفیت منابع آب تأثیر گذاشته و باعث کاهش کیفیت آب شده است. وضعیت پارامترهای نسبت جذب سدیم، سولفات، کل مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی در قسمت مرکزی، شمال و شمال غربی منطقه مورد پژوهش بیشترین میزان هدایت الکتریکی را دارا است و چون بافت اصلی خاک در این مناطق از نوع لومی، شنی-

## مواد و روش‌ها

## معرفی منطقه مورد مطالعه

استان یزد با مساحتی در حدود ۷۳۷/۵۴ کیلومترمربع در قسمت مرکزی فلات مرکزی ایران، مابین عرض‌های ۲۹ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). استان یزد از شمال و غرب به استان‌های سمنان و اصفهان، از شرق به استان خراسان رضوی، از شرق به استان کرمان و خراسان جنوبی، از جنوب غربی استان فارس و از سمت جنوب شرقی به کرمان محدود می‌شود. از نظر پستی و بلندی دارای تنوع است و از حدود ۶۶۶ متر از سطح دریای آزاد (کویر ریگ زرین در نزدیکی عقدا) تا ۴۰۷۵ متر (قله شیرکوه) تغییر می‌کند. مقدار متوسط بارندگی سالانه بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر است. نوسان درجه حرارت در زمستان و تابستان و حتی در شب و روز بسیار زیاد است. یزد دارای اقلیم گرم و خشک و بیابانی است و نوسان دما در تابستان و زمستان و حتی در شب و روز بالا و متغیر است و این از ویژگی‌های آب و هوایی منطقه به شمار می‌رود. یزد دارای دو فصل بلند گرما (از اسفند تا مهر) و کوتاه سرما (از آبان تا اواخر بهمن) بوده و خشکی اقلیمی استان یزد دو علت اساسی و عمده دارد: یکی این که روی کمربند خشک جهانی قرار دارد و دیگر آن که از دریا‌های آزاد عمان و خلیج فارس و دریاچه‌های داخلی و بادهای رطوبت‌زای دریایی دور است. عامل مهم اعتدال نسبی آب و هوای یزد، که قابلیت زیست نسبتاً مناسبی به آن بخشیده است (Fathizad *et al.*, 2021). استان یزد، با قرار گرفتن در بخش مرکزی فلات ایران دربرگیرنده نامناسب‌ترین عوامل طبیعی چیره بر فلات مرکزی ایران است. کویرهای بزرگ لوت و دشت کویر تا دریاچه نمک قم و کویر نمک هرات و مروست تا کویر نمک ابرکوه و باتلاق گاوخونی استان یزد را فراگرفته‌اند. بارش اندک همراه با تبخیر شدید، دور بودن از دریا،

نزدیکی با کویر خشک و پهناور نمک، رطوبت نسبی کم همراه با گرمای بسیار، از عواملی هستند که استان یزد را به خشک‌ترین استان ایران تبدیل کرده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران

Figure 1- Location of the study area in Iran

پژوهش حاضر درباره‌ی بررسی تأثیر سازندها و واحدهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی استان یزد بر اساس آمار و اطلاعات و گزارش‌های موجود در سازمان زمین‌شناسی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ انجام شده است. در شکل ۲ نقشه لندفرم استان یزد ارائه شده است. برای بررسی کیفی نمونه‌ی آب زیرزمینی، ۲۱۷ حلقه چاه و قنات شبکه پایش شرکت آب منطقه‌ی یزد در تیرماه سال ۱۳۹۱، از پارامترهای اندازه‌گیری شده کاتیون‌ها (سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) و آنیون‌های (بی‌کربنات، کلرید و سولفات) اصلی موجود در آب، قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، مواد جامد حل شده در آب (TDS)، نسبت جذب سدیم (SAR) و pH استفاده شد. برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی، نمونه‌برداری در ۱۸ منطقه استان یزد انجام شده است (شکل ۳). جهت ترسیم و تهیه نمودار-ها نقشه از نرم‌افزارهای RockWorks14 و ArcGIS10.3 استفاده شده است.

شامل سنگ‌های آهکی تیره متراکم، شیل و دولومیت می‌شود. سازند پالئوژن (آتوسن، الیگوسن و پالئوسن) از سنگ‌های رسوبی و سنگ‌های آذرین (بازی) تشکیل می‌گردند. در بعضی موارد همراه با گنبد‌های نمکی و لایه‌های گچ است که وجود این گنبد‌های نمک سبب آلودگی آب‌های زیرزمینی و رسوبات سطحی شده که در نهایت بر شدت و گسترش دامنه کویری می‌افزاید. رسوبات مربوط به سازند نئوژن (پلیوسن و میوسن) شامل سنگ‌های شنی، ماری، کنگلومرای همراه با لایه‌ها و عدسی‌های گچ و نمک می‌باشد. رسوبات کواترن شامل تراس‌های آبرفتی، رسوبات آبی (به‌ویژه سیلابی) عهد حاضر تپه‌های ماسه‌ای کویر و شولاب بوده که قسمت‌های کم ارتفاع و دشت‌های منطقه‌ای را تشکیل می‌دهد (Fathizad, 2019).

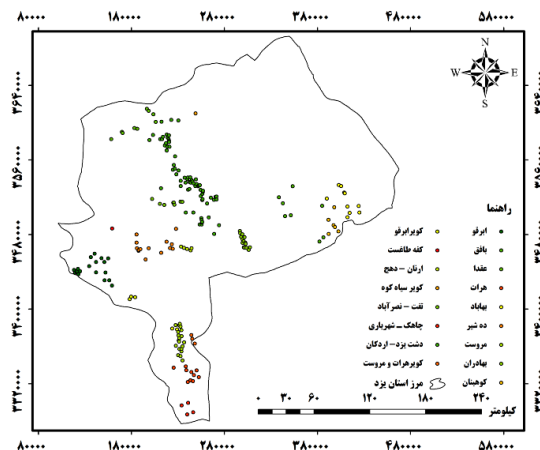
از نظر زمین‌شناسی، استان یزد بخشی از ایران مرکزی بوده و دارای ویژگی‌های مختلفی است. محدوده بسیار کوچکی از قسمت جنوبی استان در جنوب هرات جزء منطقه زاگرس است. از دیدگاه ریخت‌شناسی می‌توان ارتفاعات استان را به رشته‌کوه‌های با روند تقریبی شمال غربی- جنوب شرقی و کوه‌های جدا مانده که در سطح دشت‌های استان پراکنده‌اند، تقسیم نمود.

### تحلیل مکانی

در این تحقیق برای بررسی تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی استان یزد از نظر مکانی، روش معکوس فاصله وزنی (IDW<sup>1</sup>) مورد استفاده قرار گرفته است. مدل IDW یکی از معمول‌ترین روش‌های میان‌یابی نقاط پراکنده در فضا است که اساس آن بر مبنای این فرضیه است که در یک سطح میان‌یابی، اثر یک پارامتر بر نقاط اطرافش یکسان نیست و هرچه فاصله از مبدأ افزایش یابد اثر کمتر خواهد شد (Ly et al., 2010).

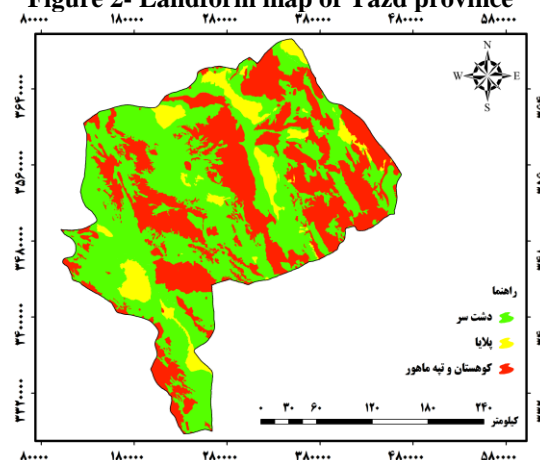
### تجزیه و تحلیل پارامترهای کیفی آب

روش‌های گرافیکی با هدف آسان کردن تفسیر و نمایش نتایج تجزیه و تحلیل پارامترهای کیفیت آب ارائه



شکل ۲- نقشه لندفرم استان یزد

Figure 2- Landform map of Yazd province



شکل ۳- موقعیت نقاط نمونه برداری شده

Figure 3- Location of sampled points

استان یزد دارای قدیمی‌ترین سازند زمین‌شناسی (پرکامبرین) تا جوان‌ترین آن (هولوسن) است. سازند پرکامبرین از سنگ‌های دگرگونی به فرم‌های مختلف و سنگ‌های آذرین تشکیل شده که حتی لایه‌های گچ در آن‌ها نیز دیده می‌شود. سازند پرمین، دونین و کربونیفر در مقیاس محدودتری اغلب به صورت سنگ‌های آهکی و سنگ‌های شنی قرمز رنگ، کنگلومرا تا سنگ‌های دولومیتی و بالاخره مارن و شیل وجود دارند. کرتاسه و ژوراسیک که قسمت اعظم سازند زمین‌شناسی استان را تشکیل می‌دهد شامل سنگ‌های آهکی، ماری، شیلی، شنی، کنگلومرا، کوارتزیت و سنگ‌های آذرین (گرانیت) می‌باشد. سازند تریاس محدود بوده و اغلب

۴. کلاس‌ها و طبقه‌های C<sub>1</sub>S<sub>4</sub>، C<sub>2</sub>S<sub>4</sub>، C<sub>3</sub>S<sub>4</sub>، C<sub>4</sub>S<sub>4</sub>، C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>، C<sub>4</sub>S<sub>2</sub>، C<sub>4</sub>S<sub>1</sub> آب‌های نامناسب برای زراعت. به‌طور کلی هرچقدر مقدار اندیس‌های حرف S و C بزرگ‌تر می‌شود به این معنی است که شوری آب بیشتر شده و برای زراعت نامناسب‌تر می‌شود.

با توجه به تأثیری که سدیم روی خاک و روی تولید محصول در گیاهان می‌تواند بگذارد یکی از عوامل تعیین کیفیت آب آبیاری محسوب می‌شود (Panahi *et al.*, 2010). کیفیت منابع آب برای آبیاری بر اساس نسبت جذب سدیم (SAR) و هدایت الکتریکی (EC) و با استفاده از نمودار ویلکوکس قابل ارزیابی است. با توجه به غلظت یون‌های سدیم، کلسیم، منیزیم، با استفاده از رابطه (۱) می‌توان مقدار SAR را محاسبه کرد.

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

از دیدگاه کشاورزی افزایش میزان سدیم نسبت به عناصر کلسیم و منیزیم موجب پراکندگی ذرات خاک، کاهش نفوذپذیری و قابلیت زهکشی آن می‌گردد (Rahmani *et al.*, 2012). زیادی میزان این عنصر همچنین باعث سوختگی برگ می‌شود. هر چه مقدار این عامل در آب بالا باشد، آب کیفیت پایین‌تری در مصارف کشاورزی خواهد داشت (Le Roux *et al.*, 2007; Qian and Mecham, 2005; Younger and Casey, 2003). در این نمودار محور افقی به میزان هدایت الکتریکی (EC) و محور عمودی به نسبت جذب سدیم (SAR) اختصاص دارد. نمودار ویلکوکس به ۱۶ رده تقسیم می‌شود که آب‌های رده C<sub>1</sub>S<sub>1</sub> بهترین و آب‌های رده C<sub>4</sub>S<sub>4</sub> بدترین آب برای استفاده آبیاری است (Cloutier *et al.*, 2006).

شده‌اند. روش‌های مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از نمودار پایپر، نمودار ویلکوکس و نمودار شولر.

### نمودار پایپر

نمودار پایپر<sup>۱</sup> جهت دسته‌بندی نمونه‌ها و تعیین تیپ شیمیایی آب استفاده می‌شود. مقدار کل آنیون‌ها و کاتیون‌ها ۱۰۰ در نظر گرفته می‌شود و درصد یون‌ها روی مثلث‌های کناری علامت‌گذاری شده و نقاط متناظر روی مثلث‌های کناری بر روی لوزی میانی تصویر می‌شوند. در نهایت قضاوت در مورد تیپ کیفی آب توسط نمودار پایپر با توجه به منطقه تمرکز نقاط انجام می‌شود. در این طبقه‌بندی، آب‌ها بر اساس کاتیون‌ها به سه رخساره منیزیم، کلسیک و سدیک و نیز بر پایه آنیون‌ها به سه تیپ بی‌کربناته، سولفات و کلروره تقسیم‌بندی می‌شوند (Piper, 1944).

### نمودار ویلکوکس

طبقه‌بندی ویلکوکس<sup>۲</sup> در سال ۱۹۴۸ توسط ویلکوکس ارائه گردیده و سه سال بعد توسط تورن تکمیل شده است. این شاخص امروزه روش بسیار متداولی در طبقه‌بندی آب‌ها به لحاظ کشاورزی محسوب می‌گردد. در این طبقه‌بندی دو عامل هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم لحاظ شده که هر یک از آن‌ها به چهار قسمت تبدیل می‌گردند که در مجموع باعث پدید آمدن ۱۶ گروه می‌گردد (Todd and Mays, 2004; Cloutier *et al.*, 2006).

۱. کلاس و طبقه C<sub>1</sub>S<sub>1</sub> آب‌های خیلی خوب.
۲. کلاس‌ها و طبقه‌های C<sub>1</sub>S<sub>2</sub>، C<sub>2</sub>S<sub>2</sub>، C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> آب‌های خوب.
۳. کلاس‌ها و طبقه‌های C<sub>1</sub>S<sub>3</sub>، C<sub>2</sub>S<sub>3</sub>، C<sub>3</sub>S<sub>1</sub>، C<sub>3</sub>S<sub>2</sub> آب‌های متوسط.

## نمودار شولر

نمودار شولر، یک نمودار نیمه لگاریتمی است که غلظت یونهای اصلی را برحسب میلی اکی والان گرم در لیتر، نشان می‌دهد. در این نمودار بر اساس پنج پارامتر شیمیایی سدیم، کلر، سولفات، باقیمانده خشک (TDS) و سختی، آب‌ها از نظر مصرف آشامیدنی، طبقه‌بندی می‌شوند. در این تقسیم‌بندی، آب‌های مورد بررسی به شش گروه شامل خوب، قابل قبول، متوسط، نامناسب، کاملاً نامطبوع و غیرقابل شرب تقسیم می‌شود (Schoeller, 1964). نمودارهای پایپر،

شولر و ویلکاکس نیز با استفاده از نرم‌افزارهای Aq.qa و AquaChem ترسیم گردیدند.

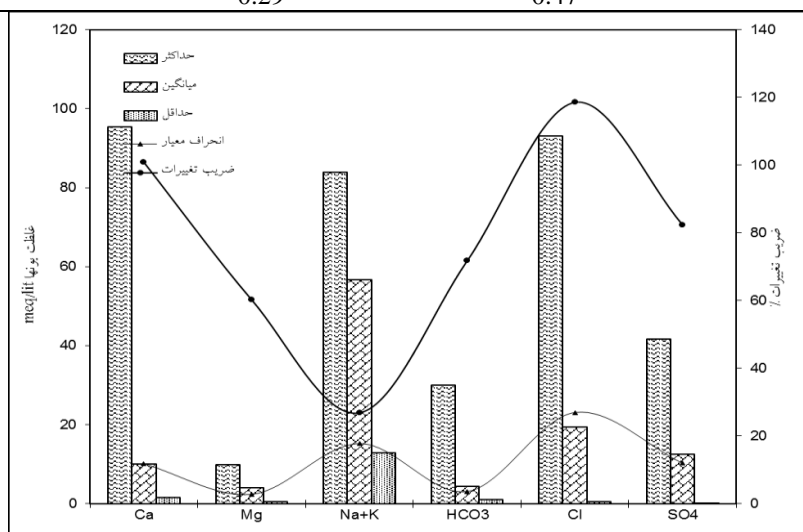
## نتایج

برای بررسی وضعیت کلی منطقه و چگونگی تغییرات کیفیت شیمیایی در نمونه‌های برداشت شده، پارامترهای آماری مهم برای هر شاخص کیفی محاسبه شده که در جدول ۱ و شکل ۴ آمده است. با توجه به جدول (۱) بیشترین ضریب تغییرات مربوط به EC، TDS و  $Ca^{2+}$  با مقدار به ترتیب ۱۰۲/۲۹، ۱۰۱/۶۴ و ۱۰۰/۸۴ است.

جدول ۱- مشخصه‌های آماری پارامترهای مختلف شیمیایی استان یزد (برحسب ppm)

Table 1- Statistical characteristics of different chemical parameters in Yazd province (ppm)

SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (meq/lit)	Cl <sup>-</sup> (meq/lit)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/lit)	K <sup>+</sup> (meq/lit)	Na <sup>+</sup> (meq/lit)	Mg <sup>2+</sup> (meq/lit)	Ca <sup>2+</sup> (meq/lit)	pH	T.D.S (meq/lit)	EC (us/cm)	پارامتر
217	217	217	217	217	217	217	217	217	217	تعداد نمونه‌ها
10.45	19.48	4.29	0.1	56.66	3.95	10.02	7.61	3394.7	5282.1	میانگین حسابی
10.26	23.09	3.08	0.1	15.19	2.38	10.1	0.43	3450.4	5403.2	انحراف معیار
82.41	118.5	71.79	100	26.81	60.25	100.8	5.65	101.64	102.29	ضریب تغییرات (درصد)
41.65	93.06	30	0.75	83.88	9.86	95.41	8.3	21200	36800	حداکثر
0.21	0.45	1.04	0	12.86	0.47	1.6	6.28	180	298	حداقل
5.21	6.35	3.2	0.05	75.52	2.37	5.67	8.3	1100	3180	مد
8.33	8.88	3.52	0.05	58.51	3.16	6.79	7.62	1850	2940	میانه
41.43	92.61	28.96	0.75	71.02	9.39	93.81	2.02	21020	3502	دامنه تغییرات
1.17	1.54	4.61	2.46	0.29	0.69	3.85	0.47	1.75	1.93	چولگی



شکل ۴- نمودار آنالیز آماری پارامترهای مختلف شیمیایی استان یزد

Figure 4- Chart of statistical analysis of different chemical parameters of Yazd province

## محاسبه پارامترهای مختلف شیمیایی حاصل

### از آزمایش تجزیه شیمیایی

#### هدایت الکتریکی (EC)

هدایت الکتریکی آب نشان‌دهنده میزان املاح هادی موجود در آب است. این شاخص به‌سادگی قابل‌اندازه‌گیری بوده و به‌طور معمول با مجموع مواد حل‌شده در آب رابطه مستقیم دارد، به‌گونه‌ای که با افزایش مواد محلول، میزان هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد. بیشترین و کمترین میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در استان یزد به ترتیب ۱۱۵۰ و ۲۹۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است. همان‌گونه که در شکل ۵ نشان داده شده است در ارتفاعات شیرکوه و مناطق کوهستانی میزان هدایت الکتریکی پایین و در دشت و پلایا میزان هدایت الکتریکی بسیار بالا است.

#### آنیون‌ها و کاتیون‌ها

نمک‌های محلول در آب به‌صورت کاتیون و آنیون تجزیه می‌شوند و هرچه نمک آب بیشتر باشد یون‌ها افزایش می‌یابند (Lashkaripour and Lashkaripour, 2012; Sepahvand, 2015). آنیون‌ها شامل  $Cl^-$ ،  $SO_4^{2-}$ ،  $HCO_3^{3-}$  و کاتیون‌ها شامل مجموع غلظت یون‌های  $Ca^{2+}$ ،  $Na^+$ ،  $Mg^{2+}$  و  $K^+$  است.

#### کلرید ( $Cl^-$ )

کلرید در آب آشامیدنی، از منابع طبیعی، فاضلاب‌های خانگی، رواناب‌های شامل نمک‌های ذوب‌کننده یخ و ورود آب‌های شور ناشی می‌شود. غلظت‌های اضافی کلرید، بسته به قلیائیت آب، سرعت خوردگی فلزات را در شبکه توزیع افزایش می‌دهد. در نتیجه، این امر منجر به افزایش غلظت فلزات در آب می‌شود. بیشترین و کمترین میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در استان یزد به ترتیب ۶۸ و ۱/۱۸ میلی‌اکی‌والان در لیتر است. در مرکز منطقه مورد مطالعه که جنس ساختار زمین‌شناسی از نوع گرانیت و سنگ‌آهک

ضخیم لایه تا توده‌ای الیت‌دار خاکستری است مقدار یون کلرید کم و هر چه از مرکز دور می‌شویم که مقدار یون کلرید به دلیل ساختار زمین‌شناسی نوع ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع است بیشتر می‌شود (شکل ۶).

#### سولفات ( $SO_4^{2-}$ )

سولفات به‌طور طبیعی در بسیاری از مواد معدنی وجود دارد و در آب‌های زیرزمینی با غلظت زیاد مشاهده می‌شود. سولفات از آنیون‌هایی است که کمترین سمیت را دارد. وجود سولفات ممکن است طعم قابل‌تشخیصی را در مقادیر بیش از ۲۵۰ میلی‌اکی‌والان در لیتر ایجاد کند. مقادیر بیش از ۱۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سولفات همراه با منیزیم، سبب ناراحتی‌های گوارشی و از دست رفتن آب بدن می‌شود. بیشترین و کمترین میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در استان یزد به ترتیب ۲۸ و ۰/۲۱ میکروزیمنس بر ثانیه است (شکل ۷).

#### بی‌کربنات ( $HCO_3^{3-}$ )

بی‌کربنات‌ها باعث افزایش سختی آب می‌شوند. افزایش یون بی‌کربنات به دلیل تغذیه از سازندهای آهکی و کربناته است. بیشترین و کمترین میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در استان یزد به ترتیب ۱۵ و ۱ میلی‌اکی‌والان در لیتر است (شکل ۸). همان‌گونه که در شکل مشخص است هر کجایی که جنس سازند زمین‌شناسی از مارن، مارن ژئوپس‌دار، سنگ آهک و ماسه سنگ می‌باشد مقدار یون بی‌کربنات بیشتر است.

#### کاتیون‌های کلسیم $Ca^{2+}$ ، سدیم $Na^+$ ، منیزیم

#### $Mg^{2+}$ و پتاسیم $K^+$

در مقایسه نسبت کاتیونی در محدوده مورد مطالعه یون سدیم نسبت به یون‌های کلسیم، سدیم و پتاسیم گسترش بیشتری دارد ولی یون سدیم نسبت به سایر

**نسبت جذب سدیم (SAR)**

نسبت جذب سدیم که با محاسبه کاتیونهای کلسیم، منیزیم و سدیم حاصل می‌گردد بیانگر شوری آب است. حداقل نسبت جذب سدیم برابر ۰/۳۷ و حداکثر ۲۷ است. نقشه SAR منطقه مورد مطالعه در شکل ۱۴ آمده شده است.

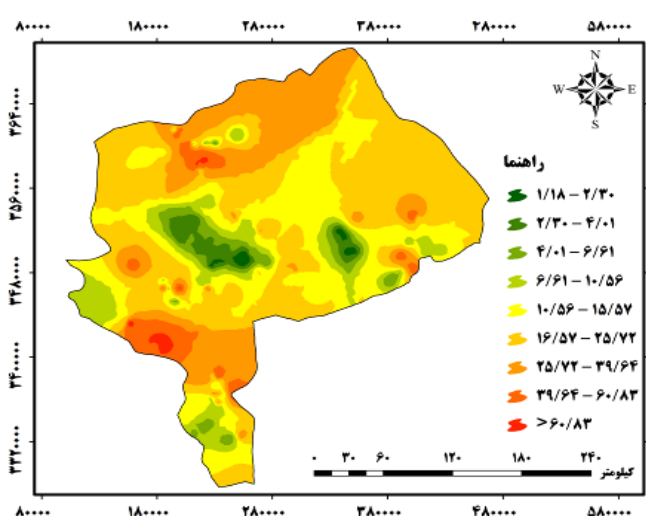
**pH**

pH آب در واقع معیاری است نشان‌دهنده میزان خاصیت اسیدی یا قلیائی آب و بر اساس غلظت یون هیدروژن محاسبه می‌شود. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که در بخش‌های مرکزی به طرف شمال شرقی میزان pH بالا است (شکل ۱۵). مقدار pH در بیشتر آب‌های زیرزمینی به تعادل دی اکسیدکربن، کربنات و بی-کربنات‌ها بستگی دارد (Ebadati and Sepavandi, 2015). در بخش‌هایی که میزان بی‌کربنات کم است، میزان pH بالا است و در منطقه‌ای که میزان بی-کربنات‌ها بالا است میزان pH کمتر است. میزان pH برای آب شرب در استانداردهای جهانی بین ۵/۶-۵/۸ است. از این رو بر اساس این استاندارد، pH در محدوده مطالعاتی زیاد است (World health organization, 1993, 2004).

یون‌ها بیشترین مقدار را دارد. بیشترین مقدار یون‌های کلسیم، سدیم، منیزیم و پتاسیم آب زیرزمینی در استان یزد به ترتیب ۳۳، ۷۶، ۷ و ۰/۲۸ و کمترین مقدار به ترتیب ۲، ۱۲، ۰/۴۷ و ۰ میلی‌اکی‌والان در لیتر است (شکل‌های ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲). در این شکل‌ها مشاهده می‌شود که در سازندهای مناطق مرتفع و کوهستانی که جنس سازند مقاوم و معمولاً از گرانیت هست مقدار همه کاتیون‌ها کم، ولی در دشت و پلایا مقدار آن‌ها بالا است.

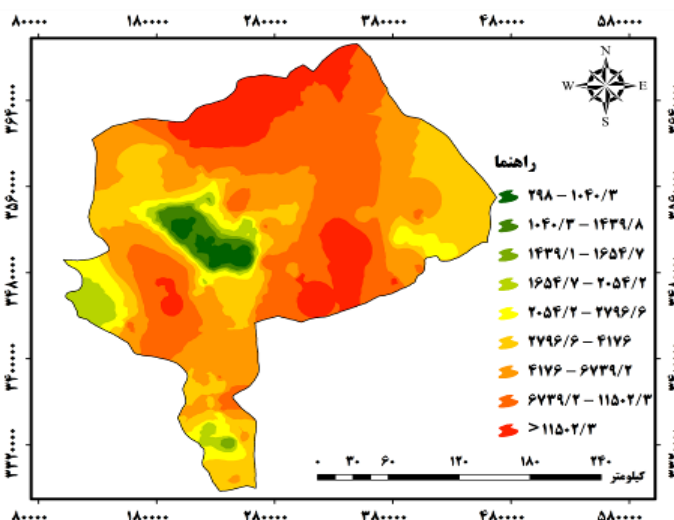
**مواد جامد حل شده در آب (TDS)**

به‌طور کلی غلظت نمک‌های کلسیم و منیزیم محلول، سختی کل آب را تشکیل می‌دهند که بر حسب کربنات کلسیم بیان می‌شود. با توجه به نقشه TDS منطقه مورد مطالعه (شکل ۱۳) کمترین مقدار TDS در مرکز و هر چه از مرکز دور می‌شویم مقدار آن افزایش می‌یابد. بیشترین و کمترین مقدار TDS منطقه به ترتیب برابر با ۱۲۲۰۶ و ۱۸۰ است. در مناطقی که جنس سازند آن‌ها از آهک و مارن است به دلیل وجود کانی سولفات و کلسیم و منیزیم غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها و به تبع آن باقی‌مانده خشک نیز افزایش می‌یابد (World health organization, 1993).



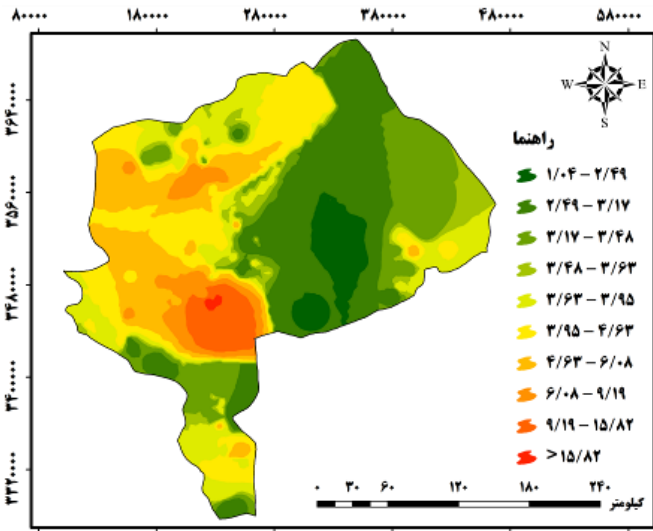
شکل ۶- نقشه Cl<sup>-</sup> آب زیرزمینی استان یزد

Figure 6- Map of Cl<sup>-</sup> groundwater in Yazd province



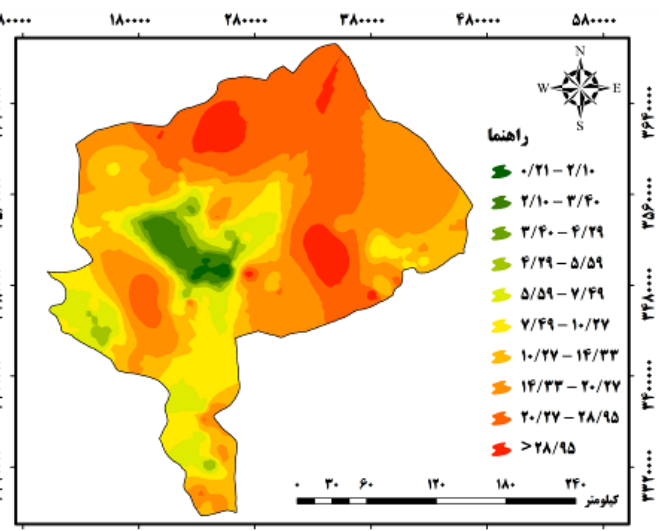
شکل ۵- نقشه EC آب زیرزمینی استان یزد

Figure 5- Map of EC groundwater in Yazd province



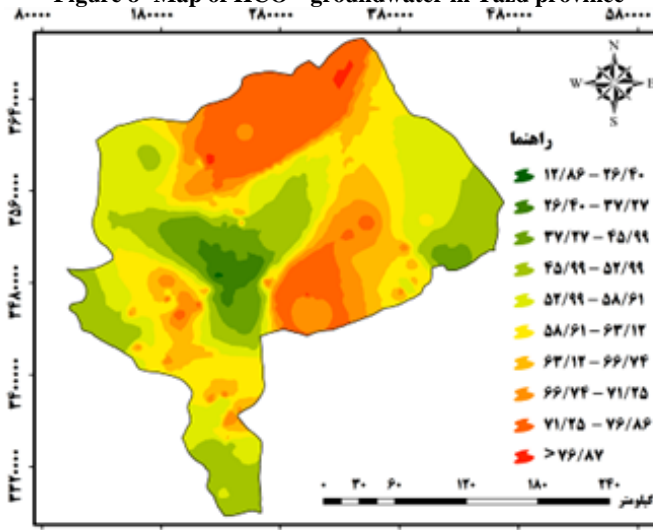
شکل ۸- نقشه  $\text{HCO}_3^-$  آب زیرزمینی استان یزد

Figure 8- Map of  $\text{HCO}_3^-$  groundwater in Yazd province



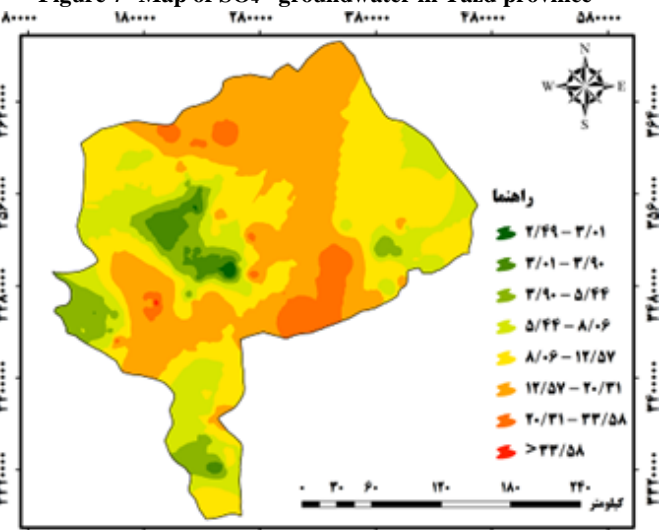
شکل ۷- نقشه  $\text{SO}_4^{2-}$  آب زیرزمینی استان یزد

Figure 7- Map of  $\text{SO}_4^{2-}$  groundwater in Yazd province



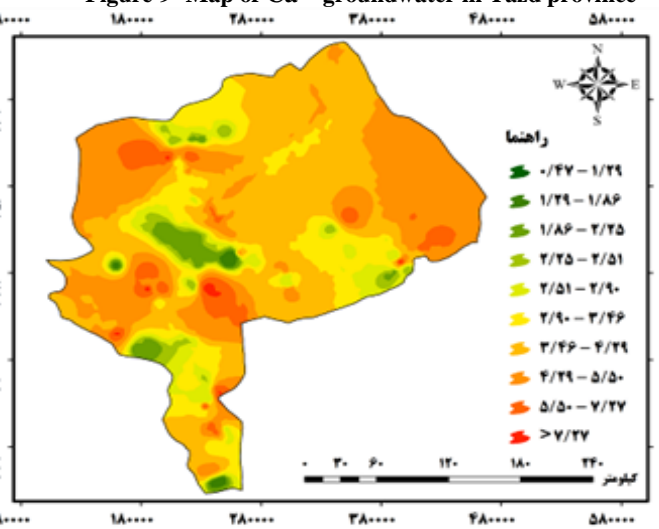
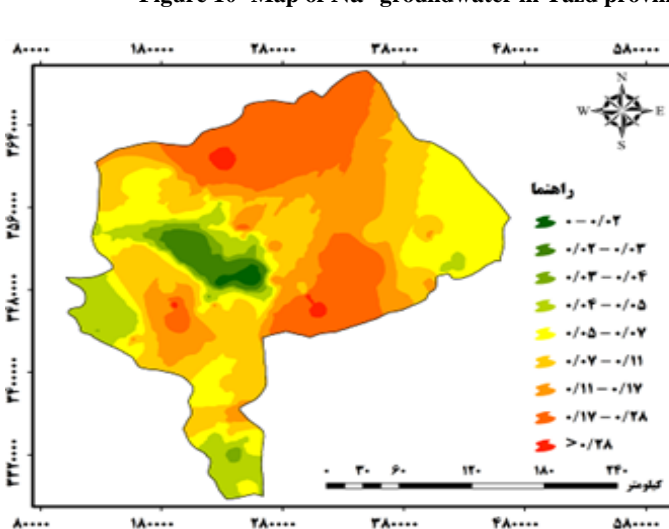
شکل ۱۰- نقشه  $\text{Na}^+$  آب زیرزمینی استان یزد

Figure 10- Map of  $\text{Na}^+$  groundwater in Yazd province



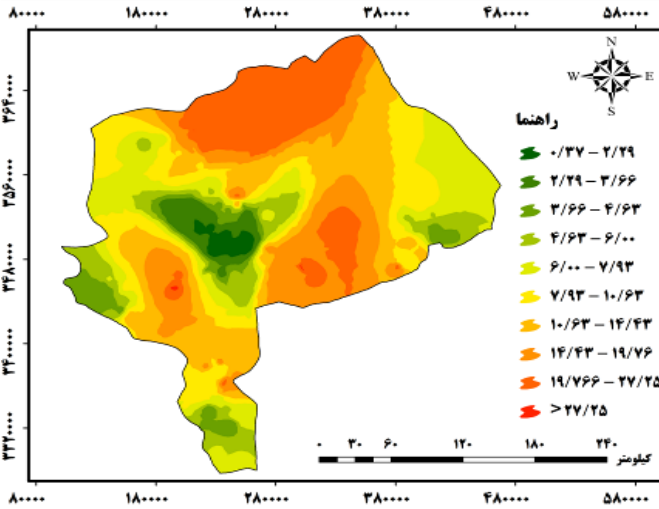
شکل ۹- نقشه  $\text{Ca}^{2+}$  آب زیرزمینی استان یزد

Figure 9- Map of  $\text{Ca}^{2+}$  groundwater in Yazd province



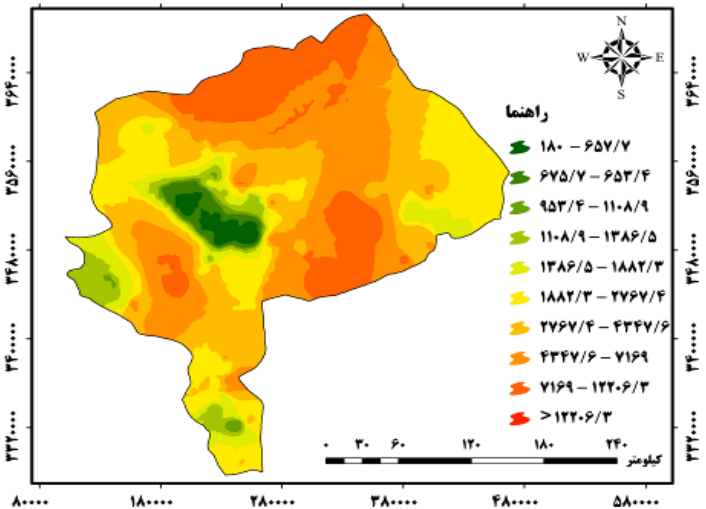
شکل ۱۲- نقشه  $K^+$  آب زیرزمینی استان یزد

Figure 12- Map of  $K^+$  groundwater in Yazd province



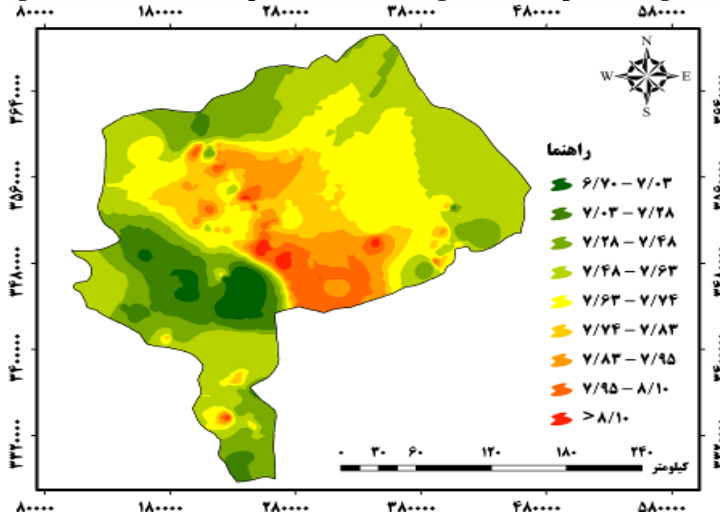
شکل ۱۱- نقشه  $Mg^{2+}$  آب زیرزمینی استان یزد

Figure 11- Map of  $Mg^{2+}$  groundwater in Yazd province



شکل ۱۴. نقشه SAR آب زیرزمینی استان یزد

Figure 14. SAR map of underground water in Yazd province

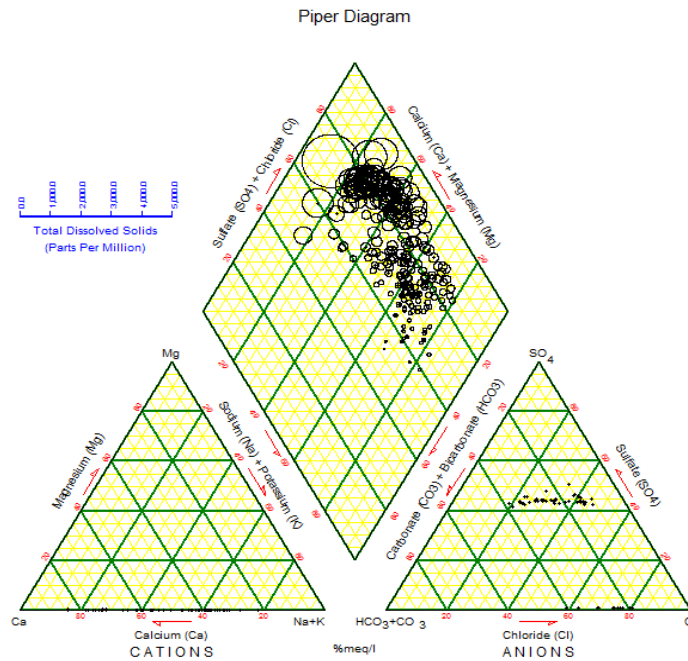


شکل ۱۵. نقشه pH آب زیرزمینی استان یزد

Figure 15. pH map of underground water in Yazd province

پایپر (شکل ۱۶) مشخص است تیپ غالب آب زیرزمینی استان یزد کلراید+ سولفات و کلسیم+ منیزیم است. این تیپها در دشت و پلایاها که جنس آهکی و مارن دارند بیشترین وسعت منطقه را در بر گرفته است. در منطقه تیپ کربناته هم وجود دارد و دلیل آن وجود ارتفاعات با سازند گرانیتی است که دارای آب باکیفیتتری است. نکته جالب در این نمودار این است که هیچکدام از نمونههای در تیپ آب شیرین قرار ندارند.

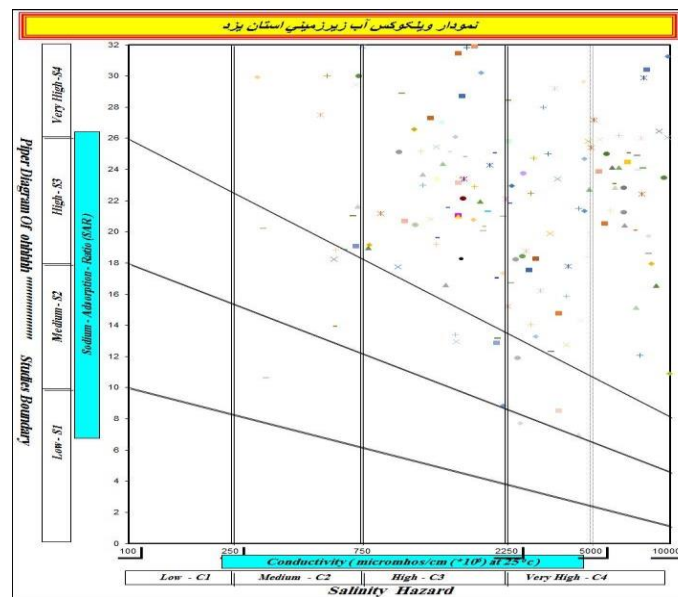
تیپ املاح محلول در آب زیرزمینی استان یزد برای بررسی تیپ آب زیرزمینی ۲۱۷ نقطه نمونه برداری شده استان یزد، از میانگین دادههای هر منطقه استفاده شد. با استفاده از یونهای اصلی، نمونههای تیپ آب زیرزمینی در هر منطقه به دست آمده است، به نحوی که با تفکیک یونها و مقدار آنها در هر ناحیه و سپس پیاده کردن آنها در نمودار پایپر تیپ آب زیرزمینی منطقه به دست می آید (Sadaghat, 2006; Alizadeh, 2011). همانگونه که در نمودار



شکل ۱۶- نمودار پایپر آب زیرزمینی استان یزد  
Figure 16- Piper diagram of groundwater in Yazd province

بررسی کیفیت آب زیرزمینی از نظر مصارف کشاورزی نمودار ویلکوس منطقه مورد مطالعه در شکل ۱۷ و درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی ویلکاکس برای مصارف کشاورزی در کل محدوده در جدول ۲ ارائه شده است.

نمودار پایپر (شکل ۱۶) نشان می‌دهد که آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در تیپ آب‌های سخت و کاملاً سخت واقع شده است. دلیل آن وجود سازند ذخایر تراسی و مخروطه افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع دانست که حدود ۳۳۸۳۵۱۲ هکتار از مساحت کل منطقه را در بر گرفته‌اند.



شکل ۱۷- نمودار ویلکوکس آب زیرزمینی استان یزد  
Figure 17- Wilcox diagram of groundwater in Yazd province

جدول ۲- درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی ویلکوکس برای مصارف کشاورزی در محدوده استان یزد

Table 2- The percentage of each Wilcox classification class for agricultural uses in the Yazd province.

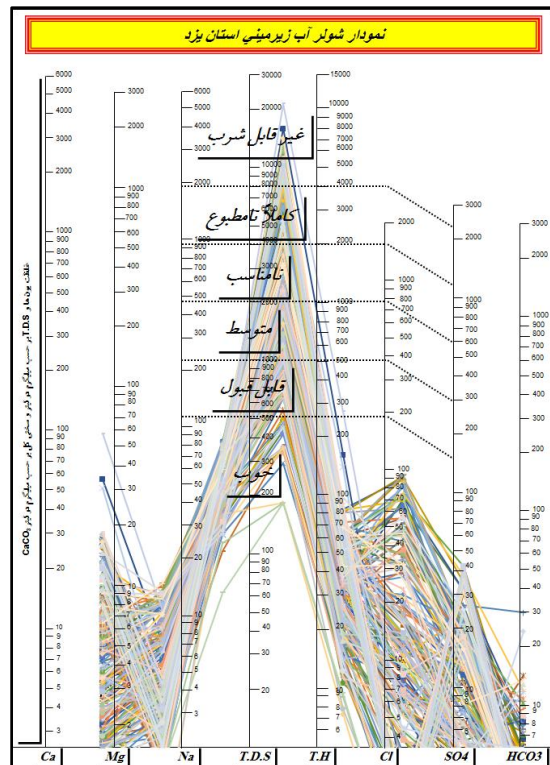
C4				C3				C2				C1			
S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1
56.22	2.76	0.46	0	3.26	0.92	0	0	4.61	2.3	0.46	0	0	0	0	0

افزایش آبیاری برای شستشو و یا استفاده متناوب از آب با شوری کم و زهکشی خوب بهبود خواهد یافت.

### بررسی کیفیت آب زیرزمینی از نظر مصارف شرب

جهت مشخص نمودن کیفیت آب علاوه بر استانداردهای ملی و بین‌المللی از استانداردهای دیگری هم استفاده می‌شود که نمودار شولر یک مورد از آن است که جهت رسم نمودار شولر از نرم‌افزار RockWare AqQA استفاده گردید (شکل ۱۸). درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در استان یزد در جدول ۳ نمایش داده شده است.

بر اساس نمودار ویلکوکس منطقه مورد مطالعه (شکل ۱۷)، کلاس‌های  $C_2S_2$  و  $C_4S_2$  با ۰/۴۶ درصد و کلاس‌های  $C_4S_4$  و  $C_3S_4$  به ترتیب با ۳۲/۲۶ و ۵۶/۲۲ درصد کمترین و بیش‌ترین سهم را دارند. با توجه به نتایج نمودار ویلکوکس آب زیرزمینی استان یزد، کیفیت آب منطقه برای مصارف کشاورزی خیلی شور و نامناسب است. نتایج بیان‌گر این مطلب است که مقدار بالای نمک‌ها یکی از مشکلات آبی است که در این منطقه برای آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. غلظت بالای نمک در آب آبیاری می‌تواند رشد محصولات را کاهش داده و یا حتی از رشد برخی محصولات جلوگیری کند که نتیجه آن تجزیه خاک و آلودگی آب زیرزمینی است. در چنین آبی رشد گیاهان و کیفیت آن‌ها با



شکل ۱۸- نمودار شولر آب زیرزمینی استان یزد

Figure 18- Schuler diagram of groundwater in Yazd province

جدول ۳. درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در کل محدوده استان یزد

Table 4- The percentage of each of Schuler's classification classes for drinking purposes in the entire area of Yazd province

SO <sub>4</sub> (meq/lit)	Cl (meq/lit)	Na (meq/lit)	pH	TH (meq/lit)	TDS (meq/lit)	طبقه‌بندی آب
12.9	28.57	0	63.59	11.98	7.37	خوب
23.04	23.04	0	17.97	28.57	16.59	قابل قبول
19.35	19.35	0.46	12.44	41.01	28.11	متوسط
32.26	10.6	13.36	2.3	17.05	17.05	نامناسب
12.44	14.75	82.95	1.38	0.92	17.97	کاملاً نامطبوع
0	3.69	0	2.32	0.46	12.9	غیرقابل شرب

بیلان آب زیرزمینی نشان می‌دهد که تغییرات سطح آب در مرکز استان یزد (دشت یزد-اردکان) مربوط به تغذیه دشت، ناشی از نزولات جوی جریان‌های زیرزمینی، سیلاب‌ها و آب‌های برگشتی کشاورزی بوده که سبب بالا آمدن سطح آب زیرزمینی می‌شود و تخلیه آب زیرزمینی دشت به علت بهره‌برداری از چاه‌ها، تخلیه قنوت و چشمه‌ها است که سبب پائین رفتن آب زیرزمینی در سفره می‌گردد.

چنانچه روند آلودگی و برداشت بیش از حد از سفره آب زیرزمینی منطقه وجود داشته باشد، در چند سال اخیر با افزایش TDS منطقه، وضعیت آب از نظر شرب در وضعیت بدتری قرار می‌گیرد. با نتایج تحقیق Mohammadi و همکاران (۲۰۱۱) که نشان دادند که غلظت‌های بیش از حد TDS باعث شده است تا آب‌های زیرزمینی بعضی از مناطق دشت قزوین برای مصارف آشامیدنی نامطلوب شوند، همخوانی دارد. نتایج جدول بالا نشان می‌دهد که مقدار درصد pH و Cl در وضعیت خوب، TDS و TH در وضعیت متوسط، SO<sub>4</sub> در وضعیت نامناسب و Na در وضعیت کاملاً نامطبوع قرار دارد.

بهترین کیفیت آب برای شرب در مناطق مرکزی و جنوب غربی جایی که سازند گرانیات گنیس نرمال با ساختار دانه‌چشمی که در ناحیه کوهستانی شیرکوه قرار دارد است و از مرکز به اطراف کیفیت آب بدتر

در بررسی نمودار شولر (شکل ۱۸)، غالب آب‌های نمونه‌برداری شده با کیفیتی در رده خوب تا غیرقابل شرب قرار دارند. این آب‌ها از نظر بی‌کربنات و منیزیم نسبت به سایر وضعیت بهتری دارند. همچنین نمودار نشان‌دهنده غنی بودن آب زیرزمینی منطقه از TDS و سولفات است.

### بحث

استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی سبب شده سرعت مطالعه و بروزسانی داده‌های منابع آب زیر-زمینی، نسبت به روش‌های سنتی و دستی که پرهزینه، وقت‌گیر و کم‌دقت‌تر است افزایش یابد. با استفاده از نقشه‌های ترسیمی در محیط نرم‌افزار ArcGIS به راحتی می‌توان مکان‌های بهینه جهت بهره‌برداری از آبخوان برای مصارف کشاورزی را تشخیص داد و با بروز کردن اطلاعات، مدیریت بهتری را بر روی کیفیت آب منطقه اعمال کرد و در هر زمان از وضعیت کیفی آب زیرزمینی در هر منطقه آگاه شد و الگوی کشت اصلاحی، متناسب با کیفیت آب پیشنهاد نمود. جهت پهنه‌بندی مجدد کیفی آب آبخوان جهت مصارف کشاورزی و یا سایر مصارف (از قبیل شرب و بهداشت، صنعت و...) منابع انتخابی به تعداد بیشتر و با پراکندگی مناسب‌تر، جهت بررسی دقیق‌تر تغییرات کیفیت آب زیرزمینی مشخص گردد.

### نتیجه‌گیری کلی

عامل اصلی کاهش دهنده کیفیت آب زیرزمینی استان یزد وجود سازندهای زمین‌شناسی تبخیری شامل کانی ژئیس و نمک است. پیشنهاد می‌گردد در جهت استفاده از آب منطقه نهایت برنامه‌ریزی صورت گیرد تا در سال‌های متمادی مشکلی در جهت کاهش کیفیت منطقه رخ ندهد.

دشت یزد-اردکان که منطقه اصلی صنعتی استان یزد است به دلیل تمرکز جمعیت و افزایش نیاز آبی، رخداد خشک‌سالی‌های شدید به‌ویژه در طی دهه اخیر و تأمین آب بخش صنعت و کشاورزی به‌شدت تحت فشار قرار دارد و ادامه روند موجود علاوه بر تشدید تنگناهای تأمین آب بخش‌های اقتصادی و جمعیتی باعث قرار گرفتن آن در محدوده دشت‌های ممنوع توأم با افت کیفیت آب خواهد شد؛ بنابراین می‌توان با تغذیه مصنوعی، توسعه شیوه‌های بهره‌برداری از منابع آب به‌صورت چند مصرفی (فاضلاب تولیدی) و افزایش ورودی هیدرولوژیکی به دشت از طریق تسریع در عملیات انتقال آب به مرکز کشور در احیا دشت اقدام نمود.

خواهد شد. سازند این مناطق از نوع ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع است. از دلایل کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌توان به تجمع مناق مسکونی و زمین‌های کشاورزی در مرکز استان یزد اشاره کرد که بهره‌برداری بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی در این بخش نسبت به سایر نواحی دشت صورت می‌گیرد که با نتایج Jahanshahi و همکاران (۲۰۱۴) که به ارزیابی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از GIS و زمین‌آمار در آبخوان دشت شهر بابک پرداختند همخوانی دارد.

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه و با توجه به این‌که عوامل گوناگونی مانند میزان کاتیون‌ها و آنیون‌ها در کیفیت آب مؤثر می‌باشند پیشنهاد می‌گردد که پهنه‌بندی و تعیین کیفیت آب با در نظر گرفتن مجموع عوامل برای هر منطقه انجام گیرد. در مورد آب‌های کشاورزی و صنعتی نیز بهتر است که پهنه‌بندی کیفیت آب کشاورزی و صنعتی نیز در هر منطقه با توجه به فاکتورهای استاندارد مؤثر بر آن‌ها انجام گیرد.

### References

- Abbasnejad, A. (2005). Soil for geology. Shahed Bahonar University Press. 535 pp. (In Persian).
- Aghamirzadeh, S., Ganjeizadeh Rohani, F., Saediyan, H. & Ganjeizadeh, K. (2022). Investigation of aluminum element changes in surface and groundwater of sarcheshmeh watershed in Kerman province. *Integrated Watershed Management*, 2(1). 61-72. doi: 10.22034/IWM.2022.551640.1026
- Alizadeh, A. (2011). Principles of Applied Hydrology, Astan Quds Razavi Publications. 432 pp. (In Persian).
- Ansari, A. & Mozaffarizadeh, J. (2014). Assessment of Hydrochemical Interactions between Galendar's Aquifer and Geological Formations. *Journal of Geochemist*, 3(2). 152-162. <https://doi.org/10.3390/w14152395>
- Bouwer, H. (1987). *Groundwater Hydrology*. McGraw-Hill, Inc. 525 pp.
- Cloutier, V., Lefebvre, R., Savard, M. M., Bourque, É. & Therrien, R. (2006). Hydrogeochemistry and groundwater origin of the Basses-Laurentides sedimentary rock aquifer system, St. Lawrence Lowlands, Québec, Canada. *Hydrogeology Journal*, 14(4). 573-590. <https://doi.org/10.1007/s10040-005-0002-3>
- Ebadati, N. & Sepavandi, S. (2015). Role of geological structures and lithology in the quantitative and qualitative changes of Eshtehard aquifers. *Iranian journal of Ecohydrology*, 2(1). 117-128. (In Persian). 10.22059/ije.2015.55133
- Fathizad, H., Tavakoli, M., Hakimzadeh Ardakani, M.A., Taghizadeh-Mehrjardi, R. & Sodaiezadeh, H. (2021). Evaluation of the

- Effects of Climate Change on Meteorological Parameters under Different Scenarios in Yazd Meteorological Station. *Journal of Water and Soil Science*. 24 (4). 1-17. (In Persian). 10.47176/jwss.24.4.42131
- Fathizad. H. & Hakimzadeh Ardakani. M. A. (2022). Evaluation of the efficiency of artificial neural network and random forest models in predicting groundwater quality parameters of Yazd-Ardakan plain. *Integrated Watershed Management*, 1(2). 1-19. doi: 10.22034/iwm.2022.250822
- Fathizad. H. (2019). Evaluating the trend of soil degradation in the plain of Yazd-Ardakan using remote sensing and with emphasis on drought and land use change. Thesis PH. D in Combat Desertification. Yazd University. (In Persian).
- Glynn P.D. & Plummer. L.N. (2005). Geochemistry and the understanding of groundwater system. *Hydrogeol j*. 13: 2005, 263-287. <https://doi.org/10.1007/s10040-004-0429-y>
- Jahanshahi. A. Rohimoghaddam. E. & Dehvari. A. (2014). Investigating groundwater quality parameters using GIS and geostatistics (case study: Shahr-Babak plain aquifer). *Water and soil science*, 24(2). 183-197. (In Persian).
- Karami. F., Bayati Khatibi. M. & Talebzadeh Shoushtari. A. (2017). Determining and prioritizing factors affecting the development of medical tourism with an emphasis on domestic tourists (Case study: City of Mashhad). *Journal of Geography and Regional Development*. 14(2). 109-128. (In Persian). 10.22067/geography.v14i2.49871
- Kardavani. P. (2007). *Geohydrology*. Tehran University Press. 286 pp. (Persian).
- Khodaei. K., Shahsavari. A. A. & Etebari. B. (2006). Evaluation of aquifer vulnerability of JOVEIN PLAIN using DRASTIC and Gods methods. *Iranian Journal of Geology*. 2(4): 73-87 (In Persian).
- Lashkaripour. M. & Lashkaripour. GH. (2012). Check the quality of groundwater geological formations Iranshahr and the impact on water quality. *Thirty gathering of Earth Sciences*. 1-7. (Persian).
- Le Roux. P. A. L., du Preez. C., Strydom. M., Rensburg. L. & Bennie. A. (2007). Effect of irrigation on soil salinity profiles along the Lower Vaal River, South Africa. *Water SA*. 33(4). <http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v33i4.52942>
- Lecomte. K. L., García. M. G., Formica. S. M. & Depetris. P. J. (2009). Influence of geomorphological variables on mountainous stream water chemistry (Sierras Pampeanas, Córdoba, Argentina). *Geomorphology*. 110(3-4).195-202. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.04.016>
- Ly. S, Charle. C. & Degr. A. (2010). Spatial interpolation of daily rainfall at catchment scale: a case study of the Ourthe and Ambleve catchments, Belgium. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 7(5). 7383-7416.
- Moghani Bilesuar. V. (2013). Hydrogeochemistry study and determine the role of geological formations surrounding aquifer groundwater quality Marand. Thesis *Masters College of Agriculture and Natural Resources*, University researcher Ardabil. (In Persian).
- Mohammadi. M., Mohammadi Ghaleney. M. & Ebrahimi. K. (2011). Spatial and temporal variations of groundwater Quality of Qazvin plain. *Quality of Qazvin plain*. 5(8). 41-52. (In Persian).
- Panahi. M., Nasserli. A., Behnia. A., Hoshmand. A. & Veisi. SH. (2010). Qualitative assessment of groundwater resources in the central regions of Kermanshah for agricultural purposes. Conference on water resources applied research in Iran. (In Persian).
- Piper. A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*. 25(6). 914-928.
- Qian. Y. L. & Mecham. B. (2005). Long-term effects of recycled wastewater irrigation on soil chemical properties on golf course fairways. *Agronomy Journal*. 97(3). 717-721. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2004.0140>
- Rahmani. A.R, Samadi M.T. & Heydari. M. (2012). Water Quality Assessment of Hamadan-Bahar Plain Rivers Using Wilcox Diagram for Irrigation. *Agriculture Research*. 8 (1): 27-35. (In Persian).
- Sadaghat. M. (2006). *Earth and water resources (groundwater)*. Publishers Payamenoor. 355 pp. (Persian).
- Schoeller, H. (1964). La classification géochimique des eaux. IASH publication. 64. 16-24.
- Sepahvand. S. (2015). Role of Geology and petrology of qualitative and quantitative changes aquifer area Eshtehard. Thesis of Environmental Geology, Islamic Azad

- University, Science and Research Branch of Tehran. 132 pp. (In Persian).
- Tayebi. M. H., Tangestani. M. H. & Roosta. H. (2010). Environmental impact assessment using Neural Network Model: A case study of the Jahani, konarsiah and Kohe Gach salt plugs, SE Shiraz, Iran.
- Todd. D. K. & Mays. L. W. (2004). Groundwater hydrology. John Wiley & Sons.
- Velayati. S. (2010). Hydrology hard and soft formations. Publications University of Mashhad. 395 pp. (In Persian).
- World health organization. (1993). Study protocol for the World Health Organization project to develop a Quality of Life assessment instrument (WHOQOL). Quality of life Research. 2. 153-159.
- World health organization. (2004). Guidelines for drink water W.H.O, wuliy, 102 (3), WHO, GENEVA.
- Younger. P. & Casey. V. (2003). A simple method for determining the suitability of brackish groundwaters for irrigation. Waterlines, 11-13. 10.3362/0262-8104.2003.051