

## Research Paper



## Investigating the Quantity and Quality of Groundwater and its Effect on the Hydrogeochemistry of the Azarshahr Plain Aquifer and Identifying the Possible Source of Contamination



Nasser Jabraili-Andaryan<sup>1</sup>, Ata Allah Nadiri<sup>2\*</sup>, Maryam Gharekhani<sup>3</sup>



This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.



DOI:10.22034/HYD.2024.58969.1710

**Reference to this article:** Jabraili-Andaryan, Nasser; Nadiri, Ata Allah; Gharekhani. (2023). Investigating the quantity and quality of groundwater and its effect on the hydrogeochemistry of the Azarshahr plain aquifer and identifying the possible source of contamination. *Hydrogeomorphology*, 11(38): 60 – 79.

## Keywords

Trace elements, Piper diagram, Factor analysis, Hydrograph, Azarshahr plain aquifer

Receive Date: 203/11/15

Accept Date: 2024/01/23

Available: 2024/04/17

## A B S T R A C T

Iran's groundwater reservoirs have faced significant and related challenges in the past three decades. The simultaneous decrease in the volume and quality of these waters, which are increasingly contaminated with pollutants, renders them largely unusable for many uses. Therefore, there is an increasing emphasis on evaluating the quality of groundwater and identifying anthropogenic or geogenic factors that affect its quality more than ever before. In this study, the hydrogeochemical pollution caused by major, minor, and trace elements was identified by examining the water table against the electrical conductivity of water resources in Azarshahr plain. Long-term data on water levels and electrical conductivity were obtained from regional water resources in East Azerbaijan province. After initial examination, 33 samples were collected from wells and qanats in the area and transferred to the water laboratory of Tabriz University for analysis. The measured parameters included pH, electrical conductivity, major, minor, and trace elements. The results of chemical analysis showed that the concentrations exceeding the permissible drinking limit for nitrates and elements such as Arsenic, Lead, Nickel, and Chromium. Piper diagrams and Stiff diagrams were used to determine the water type in the area; it was found that the water type is mainly sulfate and bicarbonate-based. The origin of the available water is related to the geological formations in the area as a result of mixing and ion exchange. Furthermore, multivariate statistical analysis using factor analysis revealed four influential factor groups affecting water quality in the area; only the fourth factor was attributed to anthropogenic. In general, most of the trace elements in water sources are influenced by formations and aquifer-rock interactions. The overall trend of groundwater quantity over a 25-year period is relatively stable with a slight downward slope; however, the general trend of electrical conductivity is ascending with a much steeper slope indicating an increase in anthropogenic activities as well as the presence of saline layers, which leads to a decrease in the quality of groundwater. Most of the contaminated samples in terms of major and trace elements are located around Gowgan city at the end of the plain. The pollution at this end is related to dissolution trends along with movement paths of groundwater flow and density of pumping wells in this area.

\* Corresponding Author: Ata Allah Nadiri

E-mail: nadiri@tabrizu.ac.ir

1. Ph.D. Student of Hydrogeology, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: nasserjabraili@gmail.com

2. Professor, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: nadiri@tabrizu.ac.ir

3. Ph.D. Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: m.gharekhani90@gmail.com

## Extended Abstract

### Introduction

Water covers 70 % area of the earth, which is a vital requisite for all life-supporting processes of all biological communities. Water is considered as a primary requirement for ecosystem growth as well as social, agricultural and industrial developments. Among all forms of water, groundwater is the most used water in different domestic, industrial, and agricultural sectors. With the rapid population explosion, many water-related needs increased. Groundwater is exploited at a speedy rate in many parts of the world, resulting in groundwater levels and quality depletion. The water scarcity problem almost exists in all arid and semi-arid regions of the world. The chemical composition of groundwater is a function of long-term interactions between groundwater and the surrounding environment. Groundwater hydrochemistry is not only affected by natural factors such as geology, geography, and climate, but also it is increasingly driven by anthropogenic inputs. Therefore, sustainable development of water resources is becoming the basic need for economic and social welfare of future generations. Moreover, critical investigations like hydrochemical characterization, quality, and human health risk assessment should be done in advance to implement sustainable management planning for groundwater resources. Maintaining the balance in the exploitation and consumption of groundwater is becoming the main problem facing humans. In arid –regions, where groundwater is mostly used for daily needs, the problem of water quality degradation and declining quantity is becoming a major problem. Therefore, in such areas, groundwater is often used without treatment or little treatment. This practice would result in human health risks associated with contaminations like NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and heavy metals of groundwater. In addition, for the development of groundwater resources, the essential information about groundwater flow conditions, budget and withdrawal rate play a significant role. Further, GIS based mapping of groundwater chemical parameters are mostly important for sustainable management of groundwater resources to delineate the degraded zones of any region.

### Methodology

#### Case Study

The study area covers a part of the watershed area of Lake Urmia. This area is located 40 kilometers southwest of Tabriz and on the eastern shore of Lake Urmia, and is accessible via Tabriz-Azarshahr Road.

#### Geology

Geological formations that are located in the vicinity of the path movement of ground water cause a change in its quality due to its reaction with ground water, the amount of which depends on the lithology of the formation and the physicochemical characteristics of water. In the present study, 33 samples were collected from groundwater resources of the watershed area of Lake Urmia. From the point of view of hydrochemistry, nonorganic constituents of water resources could be classified into three classes of major elements, minor elements and trace elements. Some 33 collected water samples were poured into separate polyethylene bottles to measure their composition of major, minor and trace elements along with their chemical parameters. In order to prevent the sedimentation of trace elements, about 2 cc of 65% Nitric Acid was added to the samples. The pH and electric conductivity variables were measured in site. On the other hand, various techniques were applied to measure major, minor and trace elements; however, cation-anion balance calculation was utilized to validate the results of major elements.

### Results and Discussion

#### Hydrochemistry

The results of water sample analysis showed that the pH level of samples ranged from 6.3 to 8.2, indicating a water with neutral characteristics. Electric conductivity varied between 408 and 12820  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , which was clearly above the standard rate of 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  for drinking. Higher concentration of major cations and anions based on their means went down from Potassium, Magnesium, Sodium and Calcium regarding cations and Sulfate and Bicarbonate regarding Anions. According to the drinking water standard of Iran, the concentration of nitrate in none of the samples was more than the standard limit for drinking.

The results of the analysis of trace elements (in terms of median) also showed that some samples had a concentration higher than the standard limit of drinking such as arsenic, lead, chromium and nickel.

#### Piper Diagram

Considering the position of samples from the region in the Piper Diagram, it could be concluded that water resources in the region were of two hydrochemical types: (1) Magnesium, Sulfate and Chloride and (2) Calcium, Bicarbonate and Sulfated.

### Stiff Diagram

According to Stiff Diagram, four origins were detected in terms of the study area waters. The samples that were part of the C1 group, were of limestone origin (calcium carbonate type). The samples that were part of the C3 also had gypsum origin. Both categories C1 and C3 were based on the geological formations of the region. C2 category showed ion exchange and C4 showed water mixing.

### Multivariate Statistical Models

#### Factor Analysis

According to the results of factor analysis, all four factors were then investigated to analyze and interpret the results of the study area. Most of the parameters were effective in the first factor. Due to the presence of main elements in this factor, the effect of the dissolution of minerals in the formations of the area in the ground water can be considered important. It is also considered as the most effective salinity factor due to the effect of electrical conductivity. The association of the trace elements of Nickel, Chromium, Lead and Arsenic with the main mineralizing elements of the area also indicated the natural origin of those elements in the first factor. Besides, the formation of chloride complexes played an important role in the release of most trace elements. The negative pH in this factor indicated the lack of effect of increasing pH on the hydrochemistry of the area; which indicated the increase in the solubility of elements, especially cations, with decreasing pH. The second factor included chromium, which is considered to be geogenic. The presence of Bicarbonate showed that it had a rainwater type. The fourth factor only included nitrate, which was influenced by human activities and was considered as anthropogenic. The results of the factor analysis showed 4 groups of factors effective in the quality of water resources of the study area. The first, second and third factors were geogenic and the fourth factor was anthropogenic.

### Investigating the Changes in Groundwater Level and the Quality of Water Resources

The general trend of the hydrograph of Azarshahr aquifer during the last 25 years is almost balanced with a low downward slope, but the general trend of the chemograph diagram in this aquifer corresponds to the photo of the hydrograph changes, but it is upward with a much higher slope. It indicates the increase in groundwater extraction, the increase in anthropogenic activities, and the presence of aquifers and layers with high salinity, which leads to a decrease in the quality of the groundwater reservoir in the aquifer due to dissolution and infiltration into the groundwater.

### Conclusions

According to the findings observed in Stiff and Piper diagrams designed for water samples taken from the region, water type is mainly divided into the sulfated and bicarbonate types revealing the origin of waters in the region that is based on its geological formation. The results from chemical analysis and measurements of some 33 water samples demonstrated that the rate of some trace elements like Arsenic, Lead, Nickel and Chromium exceeded WHO permitted level of drinking. In this study, probable origin of some of the trace elements were detected using multivariate statistics.

Findings of factor analysis proved four of the factors to be effective on the quality of the water resources in the study area. The results of the factor analysis showed 4 groups of factors effective in the quality of water resources of the study area. The first, second and third factors were geogenic and the fourth factor was anthropogenic. The general trend of the hydrograph of Azarshahr aquifer was almost balanced with a low downward slope, but the general trend of the chemograph diagram was upward with a much higher slope. It indicated the increase in groundwater extraction, the increase in anthropogenic activities, and the presence of aquifers and layers with high salinity.

### References

- Abbasnia, A., Yousefi, N., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Radfard, M., Yousefi, M., & Alimohammadi, M. (2019). Evaluation of groundwater quality using water quality index and its suitability for assessing water for drinking and irrigation purposes: Case study of Sistan and Baluchistan province (Iran). *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25(4), 988-1005 .
- Jabraili Andrian, N., Nadiri, A. A., Taheri Zangi, S., & Sedghi, Z. (2023). Calculating the Groundwater Quality Index and Comparing It to the Carcinogenic and Non-Carcinogenic Risk. *Water and Irrigation Management*, 13(2), 369-384.
- Nadiri, A. A., Moghaddam, A. A., Tsai, F. T., & Fijani, E. (2013). Hydrogeochemical analysis for Tasuj plain aquifer, Iran. *Journal of earth system science*, 122, 1091-1105.

## مقاله پژوهشی



## بررسی کمیت و کیفیت آب زیرزمینی و تأثیر آن بر هیدروژئوشیمی آبخوان دشت آذرشهر و تعیین منشأ محتمل آلودگی‌ها



ناصر جبرائیلی اندریان<sup>۱</sup>، عطااله ندیری<sup>۲\*</sup>، مریم قره خانی<sup>۳</sup>



این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کربتیو کامانز قابل استفاده است.



**ارجاع به این مقاله:** جبرائیلی اندریان، ناصر؛ ندیری، عطااله؛ قره خانی، مریم (۱۴۰۲). بررسی کمیت و کیفیت آب زیرزمینی و تأثیر آن بر هیدروژئوشیمی آبخوان دشت آذرشهر و تعیین منشأ محتمل آلودگی‌ها. *هیدروژئومورفولوژی*، ۱۱ (۳۸): ۶۰ - ۷۹.

DOI:10.22034/HYD.2024.58969.1710



## چکیده

## کلیدواژه‌ها

در سه دهه گذشته، مخازن آب زیرزمینی ایران با چالش‌های مهم و مرتبطی مواجه بوده است. کاهش همزمان حجم و کیفیت این آب‌ها که با افزایش آلاینده‌ها نیز برای اغلب مصارف غیر قابل استفاده می‌شود. بنابراین برای جلوگیری همین مقدار آب در دسترس ضرورت ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی و شناسایی عوامل انسانی یا طبیعی تأثیر گذار بر کیفیت بیش از پیش تأکید می‌شود. در این پژوهش ابتدا با بررسی هیدروژئوشیمیایی آلودگی حاصل از عناصر اصلی، فرعی و کمیاب شناسایی گردید و سپس تغییرات آن‌مورد معرف آبخوان در مقابل هدایت الکترونیکی منابع آب موجود در آبخوان دشت آذرشهر بررسی شده است. به منظور دستیابی به اهداف پژوهش در منطقه مورد مطالعه داده های بلند مدت سطح آب و هدایت الکتریکی از آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی اخذ شده و پس از بررسی اولیه، اقدام به نمونه برداری از چاه‌ها و قنات‌های موجود در منطقه گردید و تعداد ۳۳ نمونه با توزیع مناسب از آبخوان برداشت گردیده و به آزمایشگاه آب دانشگاه تبریز منتقل شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل pH، هدایت الکتریکی، عناصر اصلی، فرعی و کمیاب بود. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی عناصر، غلظت بیش از حد مجاز شرب نترات و عناصر آرسنیک، سرب، نیکل و کروم را نشان داد. به منظور بررسی تیپ آب منطقه از نمودارهای پایپر و استیف استفاده شد که نشان داد تیپ آب عمدتاً سولفات و بی‌کربناته می‌باشد؛ که منشأ آب‌های موجود مطابق سازندهای زمین‌شناسی منطقه، آب حاصل از اختلاط و آب‌های حاصل تعویض یونی بودند. همچنین یافته‌های حاصل از آنالیزهای آماری چند متغیره تحلیل عاملی نیز چهار گروه عاملی را در کیفیت منابع آب منطقه موثر نشان دادند که تنها عامل چهارم انسان‌زاد تلقی شد. به طور کل اکثریت عناصر کمیاب موجود در منابع آبی متأثر از سازندها و اندرکنش آب-سنگ است. روند کلی آن‌مورد معرف کمیت آبخوان در طی بازه زمانی ۲۵ ساله تقریباً متعادل و با شیب نزولی کم می‌باشد ولی روند کلی نمودار کموگراف هدایت الکتریکی در این آبخوان به صورت صعودی با شیب بسیار بالاتر است که نشانگر افزایش فعالیت‌های انسان‌زاد و وجود شورابه‌ها و لایه‌های با شوری بالا می‌باشد که در اثر انحلال و نفوذ به آب زیرزمینی منجر به کاهش کیفیت مخزن آب زیرزمینی شده است. در منطقه مطالعاتی عمده نمونه‌های آلوده از نظر عناصر اصلی و کمیاب در اطراف شهر گوگان که انتهای دشت می‌باشد. آلودگی در انتهای دشت با روند کلی انحلال در مسیر حرکت آب زیرزمینی و تمرکز چاه‌های پمپاژ در این منطقه مرتبط است.

عناصر کمیاب، نمودار پایپر، تحلیل عاملی، هیدروگراف، آبخوان دشت آذرشهر

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۱/۲۹

نویسنده مسئول: عطااله ندیری

رایانامه: nadiri@tabrizu.ac.ir

۱- دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، ایمیل: nasserjabraili@gmail.com

۲- استاد هیدروژئولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، ایمیل: nadiri@tabrizu.ac.ir

۳- دکتری هیدروژئولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، ایمیل: m.gharekhani90@gmail.com



## مقدمه

آب به‌عنوان یک نیاز اولیه برای رشد اکوسیستم و همچنین برای توسعه اجتماعی، کشاورزی و صنعتی در نظر گرفته می‌شود (کوبیکز<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۱:۲۶۳). در میان منابع مختلف آب، آب‌های زیرزمینی بیشترین مصرف را در میان بخش‌های مختلف مانند مصارف خانگی، مصارف صنعتی و مصارف کشاورزی دارد. با انفجار سریع جمعیت، بسیاری از نیازهای مرتبط با آب باگذشت زمان افزایش یافت. مشکل کمبود آب تقریباً در تمام مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان وجود دارد (رودل<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۸:۶۵۲؛ یانگ<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۶:۸۸۰؛ یوسفی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۸:۴۲۷)؛ از طرفی در تمام نقاط جهان، کیفیت آب زیرزمینی به علت عوامل انسانی و طبیعی کاهش پیدا کرده است (آدیمالا<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۸:۸۴۳؛ ساجیل کومار و جیمز<sup>۶</sup>، ۲۰۱۹:۳۷۰؛ کریشان<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۲۱:۲).

علاوه بر این، تحقیقات حیاتی مانند بررسی خصوصیات هیدروشیمیایی، کیفیت و ارزیابی خطر سلامت انسان باید از قبل برای اجرای برنامه‌ریزی مدیریت پایدار برای منابع آب زیرزمینی انجام شود. حفظ تعادل در بهره‌برداری و مصرف آب‌های زیرزمینی به مشکل اصلی پیش روی انسان تبدیل شده است (عباس‌نیا<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۹:۹۹۰؛ لیو<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۲۱:۲). کاهش کیفیت آب به یک مشکل بزرگ تبدیل شده است؛ به‌طوری‌که پژوهشگران در مطالعات متعدد خطرات سلامت انسان در اثر مصرف آب آلوده را بررسی کرده‌اند (موهاناکاویتا<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۹ a,b:۸۷۸، ۲۰۲۰:۳۸۰؛ بالاموروغان<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰:۱۷۵؛ آراوینتاسامی<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۱:۳؛ کارونانیدی<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۱:۲۶۰؛ گو<sup>۱۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۲:۸۴۳؛ جبرائیلی اندریان<sup>۱۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۳:۳۷۰). در برخی از مطالعات از هدایت الکتریکی به عنوان معرف کیفیت آب استفاده شده است (واعظی هیر<sup>۱۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۹:۵۳).

روش‌های متعددی برای توصیف شیمی آب و عوامل کنترل‌کننده آنها وجود دارد، از جمله تجزیه و تحلیل‌های آماری، روش‌های گرافیکی مانند نمودار پایپر و نمودار استیف که با استفاده از این روش‌ها تحقیقات متعددی در ارتباط با ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، کیفیت و خصوصیات هیدروشیمیایی انجام شده است (شنر<sup>۱۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۷:۱۳۲؛ برهان<sup>۱۸</sup>، ۲۰۱۸:۲۱۵؛ ارویندرا<sup>۱۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۹:۲۵۶؛ شارما و همکاران، ۲۰۲۲:۱۰۳؛ ندیری و همکاران، ۲۰۲۲:۱۴۹؛ لیو<sup>۲۰</sup> و همکاران، ۲۰۲۰:۲). همچنین از روش‌های آماری چندمتغیره مانند تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی به طور گسترده در تحلیل‌های هیدروژئوشیمیایی برای نشان‌دادن منشأ آلودگی استفاده شده است که می‌توان به مطالعات دمیر و آکیوز<sup>۲۱</sup>، ۲۰۲۱:۹۷۰؛ ندیری و همکاران، ۲۰۲۱:۴۶۲؛ ندیری و همکاران، ۲۰۲۲:۲؛ اشاره کرد.

در پژوهشی دیگر به بررسی منشأ احتمالی آلودگی حاصل از عناصر کمیاب و تعیین ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی منابع آب موجود در محدوده معدن مس مزرعه اهر پرداختند. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی عناصر، غلظت بیش از حد مجاز شرب برای عناصر کادمیم، سرب و کبالت را نشان داد و همچنین نمودارهای پایپر و استیف وجود دو تیپ بی‌کربناته و سولفات‌ه آب منطقه را نشان داد که مطابق با سازندها و شرایط

<sup>1</sup> Kubicz<sup>2</sup> Rodell<sup>3</sup> Yang<sup>4</sup> Yousefi<sup>5</sup> Adimalla<sup>6</sup> Sajil Kumar &

James

<sup>7</sup> Krishan<sup>8</sup> Abbasnia<sup>9</sup> Liu<sup>10</sup> Mohanakavitha<sup>11</sup> Balamurugan<sup>12</sup> Aravinthasamy<sup>13</sup> Karunanidhi<sup>14</sup> Qu<sup>15</sup> Jabraili-Andrian<sup>16</sup> Vaezihir<sup>17</sup> Şener<sup>18</sup> Berhane<sup>19</sup> Ravindra<sup>20</sup> Sharma<sup>21</sup> Liu<sup>22</sup> Demir Yetis &

Akyuz

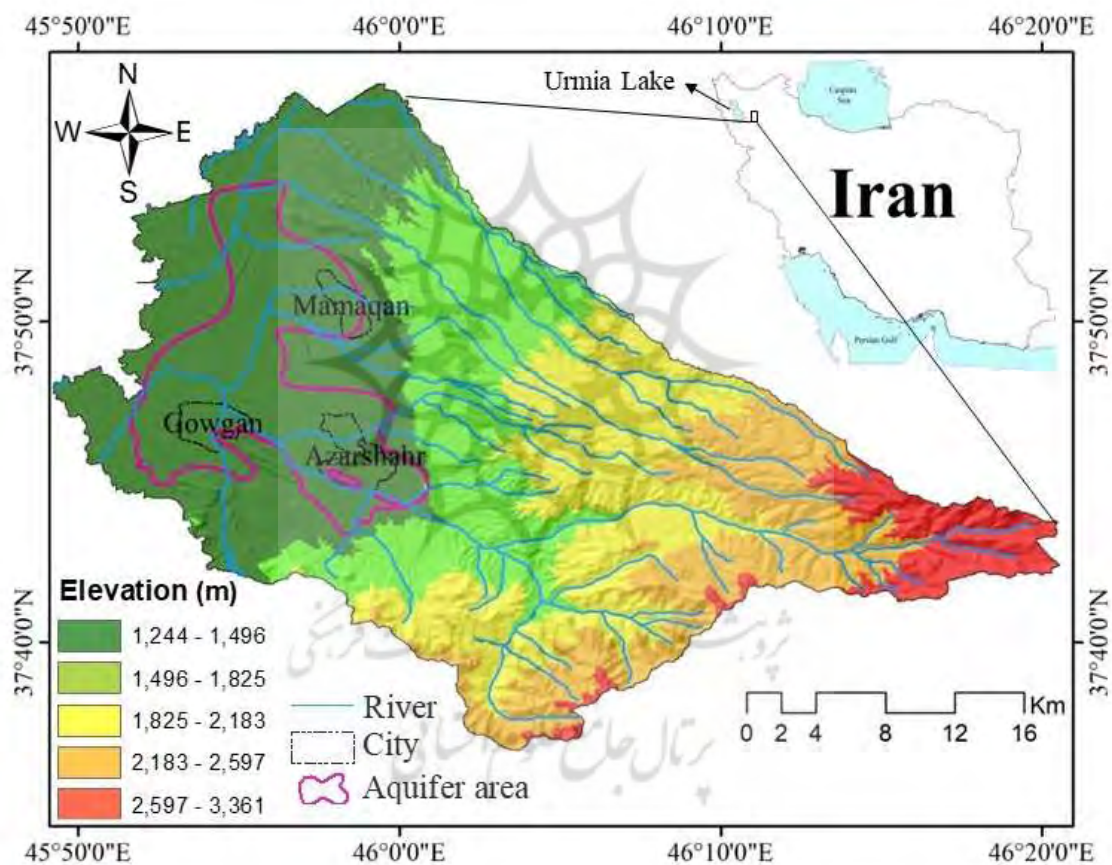
زمین‌شناسی منطقه بود. برای تکمیل ارزیابی نیز از روش‌های آماری استفاده نمودند که یافته‌های حاصل از آنالیزهای آماری چندمتغیره تحلیل عاملی نیز چهار گروه عاملی را در کیفیت منابع آب منطقه معدن مس مزرعه اهر مؤثر نشان دادند. عامل دوم و سوم زمین زاد و عامل اول و چهارم متأثر از هر دو عامل زمین‌زاد و انسان‌زاد بود (ندیری و همکاران، ۲۰۲۱: ۴۷۳)؛ همچنین در پژوهش دیگری با استفاده از انواع روش‌های گرافیکی، تحلیل عاملی و توزیع غلظت عناصر به توصیف خصوصیات هیدروشیمیایی و کیفیت آب زیرزمینی آبخوان خوی پرداختند و با استفاده از خصوصیات هیدروشیمیایی، مناطق آلوده آبخوان خوی را تعیین نمودند که طبق مدل ادراکی پیشنهادی منطقه مورد مطالعه را به چهار سلول خطر تقسیم‌بندی کردند که هر یک از این سلول‌های خطر ویژگی‌های هیدروشیمیایی و کیفی متفاوتی از خود نشان می‌دهند (ندیری و همکاران، ۲۰۲۲: ۱۴). باتوجه به بررسی منابع مختلف، در مطالعات قبلی ارتباط بین هیدروشیمی و کیفیت آب زیرزمینی با کمیت و آبنمود آن بررسی نشده است و مطالعات صورت گرفته تنها محدود به تعیین هیدروشیمی و آلودگی بوده است. افزون بر عوامل یاد شده در دشت‌های آبرفتی مجاور دریا و دریاچه شور و لب‌شور نفوذ آب این منابع به داخل سفره آب زیرزمینی نیز در تغییر کیفیت آبخوان تأثیر فراوانی می‌گذارد. دشت آذرشهر نیز از جمله دشت‌های آبرفتی مجاور دریاچه ارومیه است که خطر بالا رفتن شوری آب آن به دلیل نفوذ آب‌های شور زارهای کنار دریاچه ارومیه وجود دارد و فعالیت در بخش‌های کشاورزی، صنعت و معدن می‌تواند موجب آلودگی منابع آب (به‌ویژه آب زیرزمینی) در این دشت گردد؛ لذا به سبب اهمیت منابع آبی در زمینه‌های شرب، کشاورزی و غیره بررسی عوامل مؤثر بر تکامل هیدروشیمیایی و کیفیت منابع آب زیرزمینی و بررسی ارتباط بین عناصر و آلاینده‌های موجود و تأثیر آن بر کیفیت منابع آب و از همه مهم‌تر تعیین منشأ آلودگی‌ها جهت مدیریت امری ضروری تلقی می‌شود. در این پژوهش نیز مانند مطالعات قبلی، برای بررسی هیدروشیمی منابع آب منطقه از روش‌های ترسیمی از جمله نمودار پایپر و استیف و از روش‌های آماری چندمتغیره نظیر تحلیل عاملی برای ارزیابی منشأ عناصر کمیاب استفاده شده است با این تفاوت که از هیدروگراف و کموگراف هدایت الکتریکی ۲۵ ساله منطقه مطالعاتی جهت بررسی روند تغییرات بلندمدت کمیت و کیفیت از داده‌های آب منطقه‌ای استفاده گردیده است. همچنین توزیع قنات و چاه‌های پمپاژ و تأثیر برداشت بیش از حد از این منابع روی کیفیت آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی نیز بررسی شده است که به نوعی نوآوری این مطالعه است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. این محدوده با وسعت کل ۵۸۰ کیلومتر مربع در ۴۰ کیلومتری جنوب غرب تبریز و در ساحل شرقی دریاچه ارومیه واقع شده است و از طریق جاده تبریز- آذرشهر قابل دسترسی است. وسعت دشت آبرفتی آذرشهر در حدود ۱۳۰ کیلومتر مربع می‌باشد. **Error! Reference source not found.** ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و حوضه آبریز را نشان می‌دهد. منطقه مطالعاتی از شرق به ارتفاعات دامنه‌های غربی سهند و از شمال به شورزار و دلتای تلخه رود، از غرب به شورزارهای سواحل دریاچه ارومیه و از جنوب به ارتفاعات ترش کوه و قزل داغ محدود می‌گردد. این محدوده شامل آذرشهر، گرگان، ممقان و ۱۷ روستای آن‌ها می‌باشد. از نظر توپوگرافی مرتفع‌ترین نقطه آن مربوط به ارتفاعات شرق منطقه با دامنه‌های غربی سهند با ارتفاع ۳۷۰۰ متر و پست‌ترین نقطه آن در اطراف دریاچه

ارومیه با ارتفاع ۱۲۷۶ متر بالاتر از سطح دریاهای آزاد قرار دارد. شیب زمین در قسمت‌های شرقی زیاد و به سمت غرب و قسمت‌های انتهایی دشت شیب آن کم می‌شود و سطح زمین تقریباً حالت مسطح دارد. وجود خاک حاصل‌خیز و دشت مسطح باعث رونق کشاورزی در منطقه آذرشهر شده و کشاورزی منبع اصلی درآمد اکثر اهالی روستاهای اطراف آذرشهر می‌باشد. رودخانه آذرشهرچای تنها منبع آب سطحی موجود در منطقه می‌باشد که اغلب در فصل زراعی به‌ویژه در نواحی پایین‌دست خشک است. از این رو در منطقه مطالعاتی، آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی، شرب و بهداشت از اهمیت بالایی برخوردار است. براساس آمار سال ۱۴۰۰ در آبخوان ۱۱۲۷ حلقه چاه بهره‌برداری مجاز و ۱۳۶ رشته قنات وجود دارد. در شکل (۲-الف) موقعیت قنات و چاه‌های بهره‌برداری که منبع اصلی تامین آب زیرزمینی برای مصارف مختلف است آورده شده است (گرگیج<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷:۳).



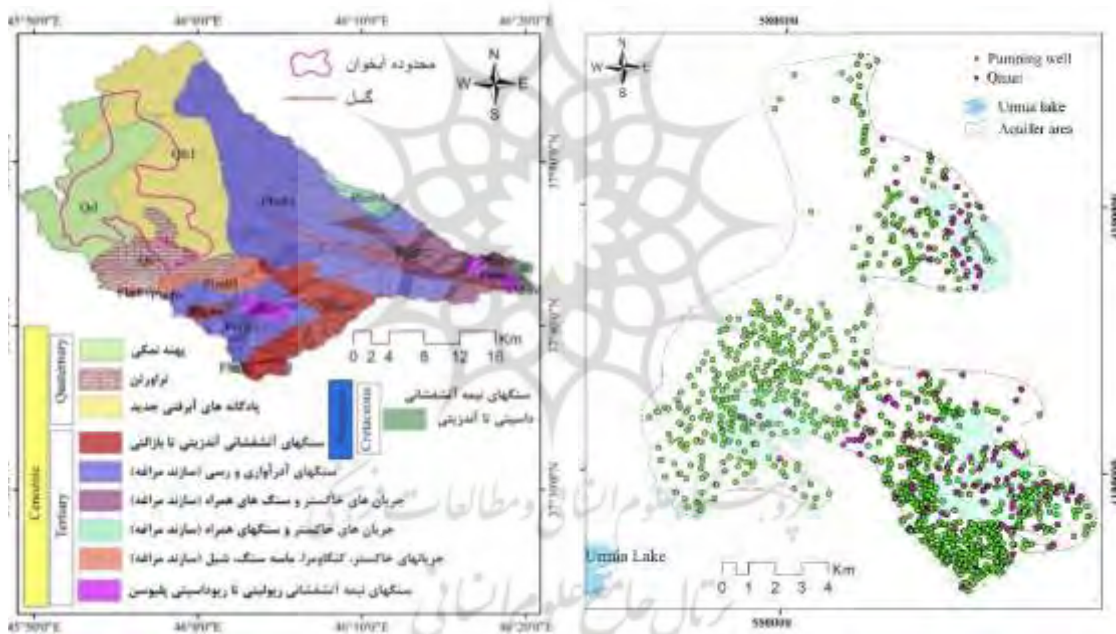
شکل (۱): نقشه پایه حوزه آبریز محدوده مطالعاتی آذرشهر  
 Figure (1): The basin map of Azarshahr study area

### زمین‌شناسی

سازندهای زمین‌شناسی که در مجاورت با مسیر حرکت آب‌های زیرزمینی قرار دارند در اثر واکنش با آب‌های زیرزمینی باعث تغییر کیفیت آن می‌شوند که مقدار آن بستگی به لیتولوژی سازند و خصوصیات فیزیکوشیمیایی

<sup>1</sup> Gorgij

آب دارد و افزایش املاح آب زیرزمینی با افزایش سن و در طول مسیر جریان آن، این امر را تأیید می‌کند. همچنین با توجه به تأثیر تکتونیک در ارتباط با واحدهای آبدار و جریان آب‌های زیرزمینی، لازم است لیتولوژی سازندها و تکتونیک منطقه و نقش آن‌ها در تغییر کیفیت آب و حرکت آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گیرند. شکل (۲-ب)، نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز آبخوان منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. نهشته‌های کواترنری که فرسایش واحدهای آذرین سه‌پند و نیز نهشته‌های میوسن واقع در ارتفاعات شرقی منطقه حاصل شده‌اند، آبخوان آزاد را در اکثر مناطق دشت تشکیل می‌دهد. در قسمت‌های غربی دشت نیز وجود میان‌لایه‌هایی از رسوبات رسی متراکم با هدایت هیدرولیکی بسیار پایین در بین واحدهای فوق موجب تشکیل آبخوان تحت‌فشار شده است. البته در چند سال اخیر به دلیل برداشت زیاد از آب‌های زیرزمینی، آبخوان تحت‌فشار به آبخوان آزاد تبدیل شده است. عمده تشکیلات زمین‌شناسی حوضه آبریز منطقه مطالعاتی به طور عمده از رسوبات کواترنری شامل پادگانه‌های آبرفتی جدید و نمک‌زارها و سنگ‌های تراورتن به همراه معادن تراورتن در جنوب دشت دیده می‌شود. سازندهای ترشیری شامل ماسه‌سنگ و شیل و مارن و آهک در منطقه مورد مطالعه رخمون دارند و همچنین منطقه مطالعاتی دارای سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تا متوسط (داسیتی تا آندزیتی) است (غدیرزاده<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳).



شکل (۲-ب): نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز آبخوان آذرشهر

Figure (2-b): Geological map of Azarshahr watershed

شکل (۲-الف): موقعیت قنات و چاه‌های بهره‌برداری از آب زیرزمینی آبخوان آذرشهر

Figure (2-a): The location of the qanat and wells for the exploitation of the groundwater of the Azarshahr aquifer

### نمونه‌برداری و تجزیه هیدروژئوشیمیایی

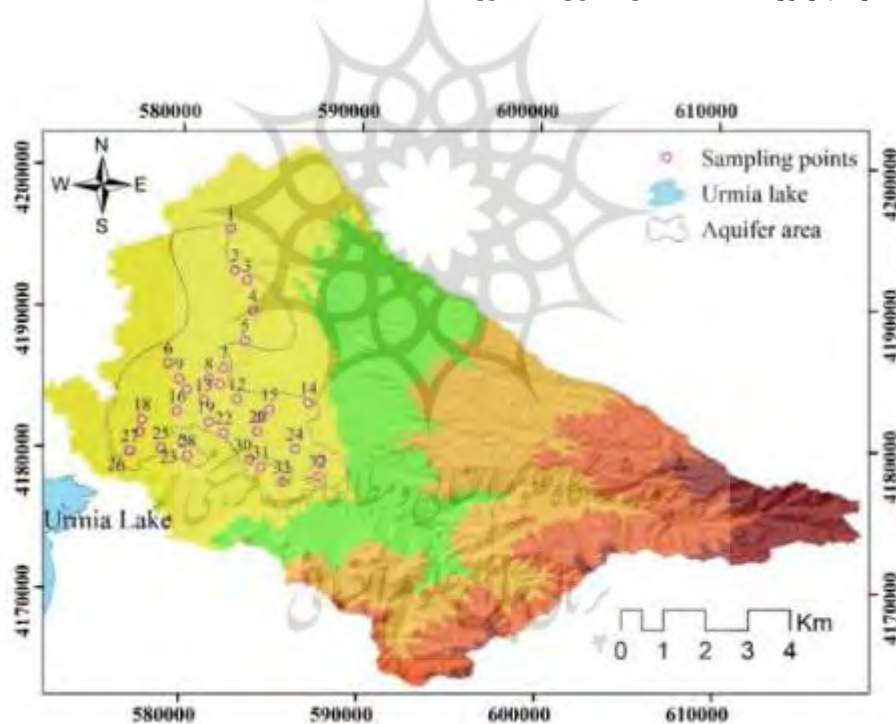
به‌طور کلی برای انجام پژوهش حاضر، در شهریور ۱۴۰۰ تعداد ۳۳ نمونه آب از چاه‌ها و قنات‌های محدوده آبخوان دشت آذرشهر برداشت شد که در شکل ۳ موقعیت نمونه‌های برداشت شده قابل مشاهده می‌باشد. برای نمونه‌برداری از روش نمونه‌برداری استاندارد ای پی ای استفاده گردیده است (ساندارام و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹).

<sup>1</sup> Ghadirzadeh

<sup>2</sup> Sundaram



از نظر هیدروشیمیایی مواد تشکیل دهنده غیرآلی منابع آبی را می‌توان در سه دسته کلی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب دسته بندی کرد (ندیری و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۲)؛ لذا از هر موقعیت ۳ نمونه آب برداشت شد که هر نمونه آب را در ظروف پلی اتیلنی که با آب مقطر شسته شده ریخته شد.؛ در ظروفی که برای آنالیز عناصر کمیاب برداشت شده بود، برای ممانعت از ته‌نشست عناصر کمیاب، حدود ۲ سی‌سی اسید نیتریک ۶۵٪ به نمونه‌ها اضافه شد. پارامترهای pH و هدایت الکتریکی (EC) همزمان با نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. به منظور آنالیز عناصر اصلی و فرعی (نیترات) نمونه‌ها به آزمایشگاه آب شناسی دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز ارسال شد؛ همچنین به منظور آنالیز عناصر کمیاب موجود در نمونه‌های آب با روش اسپکتوفتومتری از دستگاه NOVA400 موجود در آزمایشگاه خدمات شیمی واقع در دانشکده شیمی دانشگاه تبریز استفاده شد. همچنین برای صحت سنجی نتایج آنالیز عناصر اصلی از محاسبه بالانس یونی کاتیون - آنیون استفاده شد که درصد خطای بالانس یونی برای تمامی نمونه‌های آنالیز شده کمتر از پنج درصد بود. در ادامه برای بررسی دقت و صحت آنالیزها در آزمایشگاه‌های مورد نظر، چهار نمونه اسپایکد و تکراری به آزمایشگاه‌ها ارسال شد که این دقت به‌طور میانگین بین ۹۰ تا ۹۵ درصد بود. توصیف آماری نتایج آنالیزهای نمونه‌های برداشتی از محدوده مورد مطالعه در شهریور ماه ۱۴۰۰ در جدول (۱) آورده شده است.



شکل (۳): موقعیت نمونه‌های برداشت شده در آبخوان محدوده مطالعاتی  
Figure (3): The location of sampling points in the study area aquifer

برای بررسی آلودگی آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی و تعیین منشأ آن از روش‌های گرافیکی و روش‌های آماری چندمتغیره استفاده گردید به‌عنوان مثال نمودار پایپر و استیف که معمولاً برای تفسیر فرایندهای هیدروژئوشیمیایی استفاده می‌شوند (پایپر<sup>۲</sup>، ۱۹۴۴؛ استیف<sup>۳</sup>، ۱۹۵۱) این نمودارها را می‌توان در نرم افزار

<sup>1</sup> Nadiri

<sup>2</sup> Piper

<sup>3</sup> Stiff

AqQA رسم کرد. از نمودار پایپر می‌توان برای تعیین تیپ آب، انحلال یا رسوب‌گذاری، اختلاط بین دو نوع آب و تبادل یونی استفاده کرد. رخساره‌های هیدروژنوشیمیایی تعیین‌کننده توده‌های آبی با ماهیت هیدروژنوشیمیایی متفاوت بوده و جهت توصیف تفاوت‌ها در ترکیب شیمیایی آب مورد قرار استفاده می‌گیرند (پانگ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۱). یکی از روش‌های بررسی کیفیت شیمیایی منابع آب، بررسی تیپ و رخساره آن‌ها است. نمودار استیف یکی از روش‌های سریع تعیین تیپ آب است. با رسم نمودار استیف علاوه بر تشخیص سریع تیپ آب، با توجه به پلی‌گون‌ها (اندازه و شباهت) می‌توان به منشأ نمونه‌های آبی پی برد. روش‌های گرافیکی برای تفسیر فرایندهای هیدروژنوشیمیایی استفاده می‌شوند، اما محدودیت‌های متعددی دارند زیرا نمی‌توان از آنها برای تجزیه و تحلیل گونه‌های شیمیایی خنثی (مانند  $\text{SiO}_2$  و  $\text{NO}_3^-$  و غیره) و داده‌های غیرشیمیایی (مانند دما، pH و غیره) استفاده کرد (ودوریس و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۰). از این رو از روش‌های آماری چندمتغیره (به‌عنوان مثال، تجزیه و تحلیل عاملی) استفاده می‌شود. این روش‌ها قادر به تکمیل محدودیت‌های روش‌های گرافیکی برای تفسیر فرایند هیدروژنوشیمیایی هستند (کلوتیر و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۸). تجزیه و تحلیل آماری چندمتغیره قادر به توضیح همبستگی بین تعداد زیادی از متغیرها و کاهش تعداد متغیرها به تعداد کمی از عوامل، بدون ازدست‌دادن اطلاعات ضروری است. تحلیل عاملی یک روش متداول در مطالعات کیفیت آب است که هدف آن ساده‌کردن روابط پیچیده و مختلف در بین متغیرهای در دسترس است (اسماعیلی و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۸). انطباق مثبت و منفی زیاد بین متغیرها و عامل‌ها بر اساس بارهای عاملی زیاد به طور نسبی نزدیک به ۱ یا -۱ است. علاوه بر این روش چرخشی واریماکس برای متمایز نمودن متغیرهایی با بار عاملی زیاد (نزدیک به ۱ تا -۱) از متغیرهایی با بارهای عاملی کم (نزدیک به صفر) اتخاذ شده است. به‌طور کلی روش‌های آماری چندمتغیره کامل‌کننده‌ی روش‌های گرافیکی هستند. آن‌ها می‌توانند داده‌های شیمیایی و غیرشیمیایی را به هم مرتبط کنند، متغیرهای شیمیایی و فیزیکی بیشتری (مانند EC، pH و دما و غیره) را ترکیب کنند و روابط بین متغیرها و نمونه‌ها را شناسایی کنند. همچنین در این مطالعه هیدروگراف یا آبنمود معرف آبخوان با استفاده از داده‌های سطح تراز آب زیرزمینی (WT) و همچنین کموگراف یا نمودار تغییرات هدایت الکتریکی (EC) آبخوان برای بازه زمانی درازمدت و معمولاً در بازه ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۱ به منظور بررسی تغییرات متقابل مورد استفاده قرار گرفت. در این بخش از مطالعات از داده‌های سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی استفاده شده است. به این منظور روند تغییرات هدایت الکتریکی به‌عنوان نماینده کیفیت منابع آب آبخوان و اثرات متقابل آن با هیدروگراف آبخوان به‌عنوان نماینده سطح آب آبخوان‌ها مقایسه شده و روند تغییرات مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

## یافته‌ها و بحث

### هیدروشیمی

جدول ۱ خلاصه آماری نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها و تجزیه شیمیایی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج آنالیزهای انجام شده، مقادیر pH نمونه‌ها بین ۶/۳ تا ۸/۲ (با مقدار میانه ۷/۱) که نشانگر آب با ویژگی‌های خنثی است. مقدار هدایت الکتریکی نیز بین ۴۰۸ تا ۱۲۸۲۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر متغیر است که در برخی از نمونه‌ها بالاتر از استاندارد مجاز ۱۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر برای آشامیدن است (سازمان بهداشت جهانی<sup>۵</sup>، ۲۰۱۷). مقدار مواد جامد محلول (TDS) نیز از ۲۶۵/۲ تا ۸۳۳۳ میلی‌گرم در لیتر است. فراوانی غلظت

<sup>1</sup> Pang

<sup>2</sup> Voudouris

<sup>3</sup> Cloutier

<sup>4</sup> Esmaeili

<sup>5</sup> World Health

Organization

کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی برحسب میانه به ترتیب، پتاسیم > منیزیم > سدیم > کلسیم برای کاتیون‌ها و بیکربنات > سولفات > کلراید برای آنیون‌ها می‌باشد. بر اساس استاندارد آب شرب ایران غلظت نیترات در هیچ‌یک از نمونه‌ها بیش از حد مجاز استاندارد برای آشامیدن نیست. نتایج آنالیز عناصر کمیاب (برحسب میانه) نیز نشان می‌دهد که برخی از نمونه‌ها نسبت به بعضی از فلزات کمیاب همچون آرسنیک، سرب، کروم و نیکل، غلظت بالاتر از حد مجاز استاندارد آشامیدن است که با توجه به وجود آلودگی‌های زیست‌محیطی این عناصر کمیاب، استفاده از روش‌های مناسب برای حذف و یا کنترل این عناصر در محیط‌زیست امری ضروری محسوب می‌شود.

جدول (۱): توصیف آماری نتایج آنالیز هیدروژئوشیمیایی نمونه‌های برداشت شده از منطقه مطالعاتی

Table (1): Statistical description of the hydrogeochemical analysis results of collected samples from the study area

Parameters	Units	Range	Min	Max	Mean	Std. Deviation	Variance	CV (%)	WHO Standard	ISIRI
pH	-	1.7	6.5	8.2	7.1	0.4	0.1	5.4	6.5-8.5	6.5-8.5
TDS	(mg/L)	8106.8	265.2	837.2	219.4	2229.2	496912.25	101.6	500.0	1500.0
EC	( $\mu$ s/cm)	1247.2	408.2	128.8	339.18	3424.6	117278.58.5	101.0	500.0	1500.0
Ca <sup>+2</sup>	(mg/L)	1562.93	36.07	159.9	377.7	393.0	154418.7	104.0	75.0	300.0
Mg <sup>+2</sup>	(mg/L)	402.99	10.21	413.2	98.4	112.2	12579.0	114.0	30.0	30.0
Na <sup>+</sup>	(mg/L)	855.21	29.89	885.1	201.4	212.2	45049.2	105.4	200.0	200.0
K <sup>+</sup>	(mg/L)	25.024	2.346	27.37	10.1	7.0	48.9	69.6	10.0	12.0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	(mg/L)	6208.24	45.76	625.4	575.4	1000.1	1000213.5	173.8	150.0	150.0
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	(mg/L)	1756.5	20.5	177.7	320.2	351.0	123170.8	109.6	200.0	400.0
Cl <sup>-</sup>	(mg/L)	4139.41	26.59	416.6	689.8	1033.8	1068662.9	149.9	250.0	400.0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	(mg/L)	34.9	8.6	43.5	26.9	7.0	49.1	26.1	10.0	50.0
Cd	( $\mu$ g/L)	0	0	0	0.0	0.0	0.0	-	5.0	3.0
Cr	( $\mu$ g/L)	72.45	0	72.45	21.1	19.5	380.0	92.6	50.0	50.0
Ni	( $\mu$ g/L)	176.18	38.92	215.1	90.4	51.5	2648.5	56.9	20.0	70.0
Pb	( $\mu$ g/L)	191.72	67.18	258.9	145.9	52.0	2703.9	35.6	10.0	10.0
As	( $\mu$ g/L)	360	4	364	81.4	75.5	5696.8	92.8	10.0	10.0
Color Code			Trace Element	Minor Element	Major Element	Properties	Bold Value Exceeding Standards			

#### نمودار پایپر

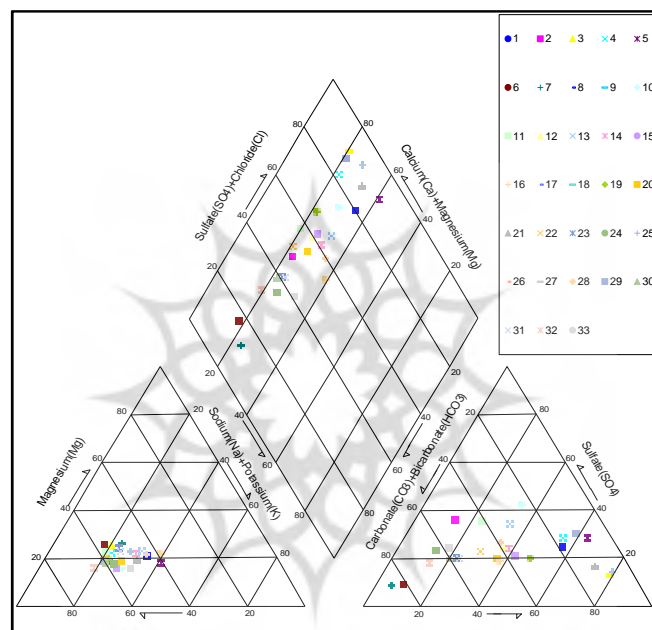
در شکل ۴، نمودار پایپر نمونه‌های برداشتی از آبخوان آذرشهر ترسیم شده است. با توجه به قرارگیری نمونه‌های منطقه در نمودار پایپر، نتیجه گرفته می‌شود که منابع آب منطقه‌ی مطالعاتی شامل ۲ تیپ هیدروژئوشیمیایی منیزیم، سولفات و کلراید (تیپ ۱) و کلسیم-بیکربنات-سولفات (تیپ ۲) است. همانگونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود حدود ۷۳ درصد نمونه‌ها شامل تیپ ۱ بوده و منیزیم، سولفات و کلراید بالایی دارند که مطابق با سازندهای زمین‌شناسی منطقه است. در این نمونه‌ها سختی کربناتی از ۵۰٪ تجاوز می‌کند؛ به عبارت دیگر

قلیایی‌های خاکی و اسیدهای ضعیف در این منطقه حاکم هستند و سختی آب در آن موقت است. بقیه نمونه‌ها در تیپ ۲ جای می‌گیرند که احتمالاً از کانی‌های بی‌کربناته و سولفات‌ها منطقه مطالعاتی منشأ می‌گیرند. در این تیپ سختی غیر کربناته دائمی بیش از ۵۰٪ است.

جدول (۲): تقسیم بندی نمونه‌ها بر اساس دیاگرام پایپر

Table (2): Classification of samples based on Piper's diagram

تیپ ۱	تیپ ۲
نمونه شماره ۱، ۳، ۴، ۵، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸ و ۲۹	نمونه شماره ۲، ۶، ۷، ۲۳، ۲۴، ۳۰، ۳۱، ۳۲ و ۳۳



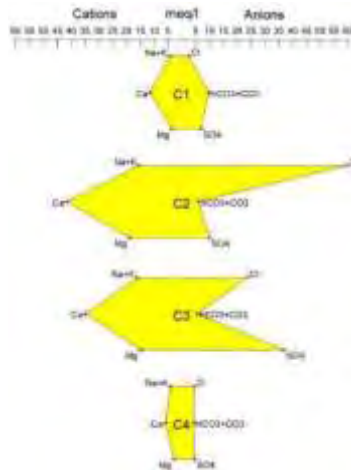
شکل (۴): نمودار پایپر نمونه‌های برداشت‌شده از منطقه مطالعاتی

Figure (4): The piper diagram of collected samples from the study area

### نمودار استیف

شکل ۵ نمودارهای استیف انتخابی نمونه‌های برداشت‌شده از منطقه را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار استیف، ۴ منشأ برای آب‌های منطقه می‌توان در نظر گرفت که تقسیم بندی آن در جدول ۳ آورده شده است. نمونه‌هایی که جز دسته C1 بودند نشان از منشأ آهکی ( تیپ کربنات کلسیم) هستند. نمونه‌هایی که جز دسته C3 هستند، منشأ گچ و ژئوسی دارند. هر دو دسته C1 و C3 مطابق سازند های زمین شناسی منطقه می باشد. دسته C2 نشان‌دهنده تعویض یونی می باشد و C4 اختلاط آب‌ها را نشان می‌دهد.





شکل (۵): نمودارهای استیف نمونه های برداشت شده از محدوده مطالعاتی  
 Figure (5): Stiff diagrams of collected samples from the study area

جدول (۳): تقسیم بندی نمونه های برداشت شده از منطقه مطالعاتی بر اساس نمودارهای استیف بدست آمده

Table (3): Classification of collected samples from the study area based on the Stiff diagrams

شماره نمونه	نام شکل
۲، ۶، ۷، ۲۲، ۲۰، ۲۳، ۲۴، ۲۸، ۳۰، ۳۱، ۳۲ و ۳۳	C1
۳، ۴، ۵، ۹، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۵، ۲۶ و ۲۷	C2
۸ و ۱۰	C3
۱، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۲۹	C4

### روش های آماری چندمتغیره تحلیل عاملی

در ابتدا داده های مورد استفاده استاندارد و سپس عوامل از آن ها استخراج شده است. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل عاملی، عوامل شامل ۴ فاکتور بود که جهت تحلیل و تفسیر در منطقه مطالعاتی استفاده شد. نتایج حاصل از تحلیل عاملی در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس جدول ۴ اکثر پارامترها در عامل اول موثرند. به دلیل وجود عناصر اصلی در این عامل می توان تأثیر انحلال کانی های موجود در سازندهای منطقه در آب های زیرزمینی را امری مهم تلقی کرد. همچنین به علت تأثیر هدایت الکتریکی در آن عامل مؤثرترین عامل شوری نیز محسوب می شود. همراهی عنصر کمیاب نیکل، کروم، سرب و آرسنیک با عناصر اصلی کانی ساز منطقه نیز در عامل اول نشان از منشأ طبیعی آن عناصر است. بارهای عاملی تقریباً قوی بین سدیم و پتاسیم هوازدگی طبیعی کانی های سنگ ها و فرایندهای تعویض یونی گوناگون را بیان می کند (نوراللهی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۰). همچنین تشکیل کمپلکس های کلرایدی نقش مهمی در آزادسازی اکثر عناصر کمیاب دارد (اسماعیلی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۸). pH منفی در این عامل بیانگر عدم تأثیر افزایش pH در هیدروشیمی منطقه است؛ که نشانگر افزایش انحلال پذیری عناصر به ویژه کاتیون ها با کاهش pH می باشد. عامل دوم شامل عنصر کروم است که زمین زاد تلقی می گردد. عامل سوم شامل بیکربنات است. وجود بیکربنات در آب ناشی از تیپ آب باران است که در مناطق ابتدای مسیر جریان آب زیرزمینی و یا محل تغذیه باعث ایجاد تیپ بیکربناته شده و نیز از انحلال کانی های سیلیکاتی یا کانی های کربناتی موجود در منطقه نیز می تواند ناشی شود. عامل چهارم تنها

<sup>1</sup> Norallahi

<sup>2</sup> Esmaeili

شامل نیترات است که این عامل تحت تاثیر فعالیتهای انسانزاد است زیرا منابع اصلی نیترات در آبهای زیرزمینی فعالیت های کشاورزی و فاضلابهای شهری اند. نتایج حاصل از تحلیل عاملی، ۴ گروه عاملی را در کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی مؤثر نشان دادند. عامل اول، دوم و سوم زمین زاد و عامل چهارم متأثر از عامل انسانزاد می باشد. به طور کل اکثریت عناصر کمیاب موجود در منابع آبی متأثر از تأثیر سازندها و اندرکنش آب-سنگ است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که فرایندهای زمین زاد عمده کنترل کننده شیمی منابع آب منطقه است.

جدول (۴): نتایج تجزیه به عوامل پس از چرخش واریماکس

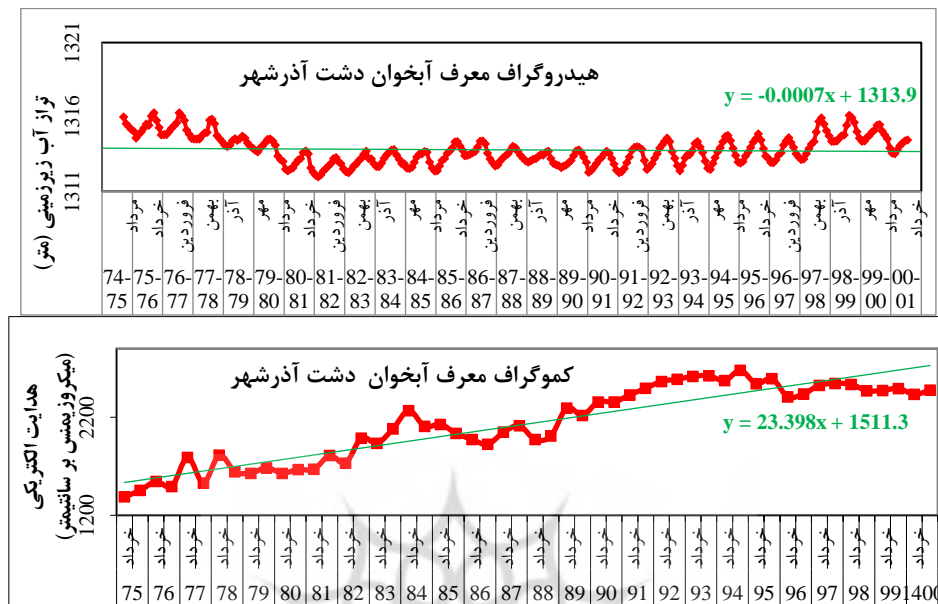
Table (4): Factor analysis results after Varimax rotation

متغیر	فاکتور			
	۱	۲	۳	۴
pH	-۰/۵۳	-۰/۰۰	-۰/۲۶	-۰/۰۲
TDS	۰/۹۵	-۰/۲۷	-۰/۰۱	-۰/۰۶
EC	۰/۹۵	-۰/۲۷	-۰/۰۱	-۰/۰۶
Ca	-۰/۹۴	-۰/۳۸	-۰/۰۵	-۰/۰۷
Mg	-۰/۹۳	-۰/۳۰	۰/۰۰	-۰/۰۹
Na	۰/۹۵	-۰/۱۷	-۰/۰۵	۰/۰۳
K	۰/۹۱	۰/۱۱	-۰/۰۲	۰/۱۳
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	۰/۳۱	-۰/۳۸	۰/۷۳	-۰/۴۴
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-۰/۷۲	-۰/۳۱	-۰/۱۳	۰/۴۷
Cl <sup>-</sup>	-۰/۸۵	-۰/۰۵	-۰/۴۶	۰/۰۷
As	۰/۷۱	۰/۴۷	۰/۱۷	۰/۰۸
Pb	۰/۷۷	۰/۴۷	۰/۱۰	۰/۰۳
Cr	۰/۵۷	۰/۶۰	۰/۰۹	-۰/۲۲
Ni	-۰/۷۶	۰/۵۱	۰/۰۵	-۰/۰۹
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-۰/۰۴	-۰/۰۴	۰/۵۴	۰/۷۷
مقدار ویژه	۸/۹۹	۱/۶۳	۱/۲۰	۱/۱۳
درصد واریانس هر عامل	۵۹/۹۷	۱۰/۸۸	۸/۰۱	۷/۵۷
درصد تجمعی واریانس	۵۹/۹۷	۷۰/۸۶	۷۸/۸۷	۸۶/۴۳

### بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی و کیفیت منابع آب

هیدروگراف یا آب نمود معرف آبخوان با استفاده از داده های سطح تراز آب زیرزمینی (WT) به عنوان نماینده سطح آب آبخوان، و همچنین نمودار کموگراف یا تغییرات هدایت الکتریکی (EC) به عنوان نماینده کیفیت منابع آب آبخوان برای بازه زمانی خرداد ۱۳۷۵ تا مهر ۱۴۰۰ و به منظور بررسی روند تغییرات و اثرات متقابل آنها مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۶). روند صعودی و نزولی هیدروگراف، به طور متناوب در تمامی سال های آبی (بدون اعمال تنش و روند تغییر شیب ناگهانی ناشی از آن) تکرار شده است، به طوری که در مهر یا آبان ماه تراز سطح آب زیرزمینی در کمترین حد قرار می گیرد و پس از آن میزان تغذیه آب زیرزمینی افزایش یافته و هیدروگراف حالت صعودی یافته تا در فروردین یا اردیبهشت به حداکثر مقدار خود می رسد. روند تغییرات کموگراف هدایت الکتریکی نیز متناسب با عکس تغییرات هیدروگراف است. روند کلی هیدروگراف آبخوان آذرشهر در طی بازه زمانی ۲۵ ساله به صورت تقریباً متعادل و با شیب نزولی کم است ولی روند کلی نمودار کموگراف هدایت الکتریکی در این آبخوان متناسب با عکس تغییرات هیدروگراف است؛ ولی به صورت صعودی با شیب بسیار بالاتر است که نشانگر افزایش برداشت از آب زیرزمینی، فعالیت های انسانزاد و وجود شورابه ها و

لایه‌های با شوری بالا که در اثر انحلال و نفوذ به آب زیرزمینی منجر به کاهش کیفیت مخزن آب زیرزمینی می‌شود. روند افزایشی هیدروگراف از ابتدای سال ۱۳۹۸ تا اوایل سال ۱۴۰۰ منطبق با روند کاهش‌ی نمودار کموگراف هدایت الکتریکی در این بازه زمانی است.



شکل (۶): تغییرات هیدروگراف و کموگراف هدایت الکتریکی آبخوان آذرشهر  
 Figure (6): Changes of hydrograph and chemograph of Azarshahr aquifer

از آن جایی که اکثر آلودگی‌های موجود در منطقه غالباً زمین‌زاد هستند و درصد بسیار کمی از آلودگی‌ها انسان‌زاد تلقی می‌شود باید اقداماتی جهت حذف و یا کنترل آلاینده‌ها انجام داد. البته روند زمین‌زاد بودن آلودگی‌ها روند کنترل و از بین بردن آلودگی‌ها را بسیار سخت می‌کند اما می‌توان برای کاهش خطر آلاینده‌ها اقداماتی همچون جلوگیری از پمپاژ از چاه‌های منطقه و مدیریت برای کاهش ارتباط آب‌های مورد استفاده مردم با سازندهای آلوده‌کننده انجام داد.

### بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از نمودارهای پایپر و استیف رسم شده برای نمونه‌های آب برداشت شده از منطقه مطالعاتی، تیپ آب عمدتاً به دودسته سولفات و بی‌کربنات تقسیم شد که منشأ آب‌های موجود در منطقه از چهار منشأ است: ۱- آهکی (تیپ کربنات کلسیم) ۲- منشأ گچ و ژئوسی ۳- آب حاصل از اختلاط و ۴- آب‌های حاصل از تعویض یونی. نتیجه اندازه‌گیری‌ها و تجزیه شیمیایی ۳۳ نمونه برداشت شده از منطقه مورد مطالعه بر اساس میانه به این صورت است که برخی از نمونه‌ها نسبت به بعضی از فلزات کمیاب همچون آرسنیک، سرب و نیکل، دارای غلظت بالاتر از حد مجاز استاندارد آشامیدن است. تعیین منشأ احتمالی عناصر کمیاب با استفاده از آنالیز آمار چندمتغیره انجام گرفت. نتایج حاصل از تحلیل عاملی، چهار گروه عاملی را در این مطالعه در کیفیت منابع آب دشت آذرشهر مؤثر نشان دادند که عامل اول به دلیل همراهی به روند افزایشی

عناصر اصلی در مسیر جریان زمین‌زاد می‌باشند همچنین عامل دوم و سوم نیز با توجه به سازندهای زمین‌شناسی منطقه زمین‌زاد و عامل چهارم که مربوط به نیترات بوده و ناشی از استفاده کود و فاضلاب‌های شهری است به عنوان عامل انسان‌زاد تلقی شد که در مطالعات قبلی نیز از این روش برای تعیین منشأ استفاده شده است. روند کلی هیدروگراف آبخوان آذرشهر در طی بازه زمانی ۲۵ ساله به صورت تقریباً متعادل و با شیب نزولی کم است ولی روند کلی نمودار کموگراف هدایت الکتریکی به صورت صعودی با شیب بسیار بالاتر است که نشانگر افزایش برداشت از آب زیرزمینی، افزایش فعالیت‌های انسان‌زاد و وجود شورابه‌ها و لایه‌های با شوری بالا که در اثر انحلال و نفوذ به آب زیرزمینی منجر به کاهش کیفیت مخزن آب زیرزمینی شده است. محدود بودن منابع آب سطحی و اهمیت منابع آب زیرزمینی برای استفاده کشاورزی، صنعتی و شرب در این آبخوان باعث افزایش چاه‌های بهره‌برداری شده است به طوری که در آبخوانی به وسعت ۱۲۲ کیلومترمربع ۱۱۲۷ حلقه چاه بهره‌برداری مجاز و ۱۳۶ رشته قنات وجود دارد. وجود بیش از دو سوم چاه‌های بهره‌برداری در انتهای دشت در حوالی گوگان که حدود یک‌چهارم مساحت آبخوان را تشکیل می‌دهد. تمرکز شدید چاه‌ها و کم‌بودن میزان تغذیه به علت قرارگرفتن در انتهای دشت که دور از محل تغذیه است احتمالاً باعث تشکیل مخروط افت و معکوس شدن جریان‌ها به سمت سفره از طرف شورزارهای دریاچه ارومیه و افزایش شوری شده است. همچنین اکثر نمونه‌های آلوده از نظر عناصر اصلی و کمیاب نیز در این قسمت از آبخوان قرار دارند که پمپاژ بیشتر در این قسمت با ایجاد گرادیان هیدرولیکی می‌تواند باعث انحلال بیشتر مواد در آب و کاهش کیفیت آن شود. براساس نتایج مطالعه حاضر پیشنهاد می‌شود ترتیبی اتخاذ شود که ضمن پایش مستمر عناصر کمیاب در منطقه مطالعاتی از تعداد منابع بیشتری آنالیز عناصر کمیاب صورت گرفته و الگوی کشت نیز در جهتی باشد که حداقل مصرف آب را داشته باشد و پمپاژ برای کشاورزی نیز از منابعی انتخاب گردد که حداقل غلظت این عناصر را داشته باشد تا از طریق محصولات کشاورزی وارد چرخه غذایی نشود. و همچنین بررسی و پیش‌بینی‌های لازم از جمله تصفیه آلودگی ناشی از عناصر کمیاب برای ساکنین بهره‌مند از این منابع آبی برای شرب انجام گیرد. با توجه به شرایط بحرانی منابع آب استان به ویژه در آبخوان‌های حاشیه دریاچه ارومیه امید است مطالعات کاربردی گسترده‌تری در آینده انجام پذیرد.

#### منابع

Abbasnia, A., Yousefi, N., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Radfard, M., Yousefi, M., & Alimohammadi, M. (2019). Evaluation of groundwater quality using water quality index and its suitability for assessing water for drinking and irrigation purposes: Case study of Sistan and Baluchistan province (Iran). *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25(4), 988-1005.

Adimalla, N., Vasa, S. K., & Li, P. (2018). Evaluation of groundwater quality, Peddavagu in central telangana (PCT), South India: An insight of controlling factors of fluoride enrichment. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(2), 841-852. doi:10.1007/s40808-018-0443-z

Aravinthasamy, P., Karunanidhi, D., Shankar, K., Subramani, T., Setia, R., Bhattacharya, P., & Das, S. (2021). COVID-19 lockdown impacts on heavy metals and microbes in shallow groundwater and expected health risks in an industrial city of South India. *Environmental nanotechnology, monitoring & management*, 16, 100472 .



- Balamurugan, P., Kumar, P., Shankar, K., Nagavinothini, R., & Sajil Kumar, P. (2020). Impact of climate and anthropogenic activities on groundwater quality for domestic and irrigation purposes in Attur region, Tamilnadu, India. *India. Desalin. Water Treat*, 208, 172-195 .
- Balamurugan, P., Kumar, P., Shankar, K., Nagavinothini, R & ., Vijayasurya, K. (2020). Non-carcinogenic risk assessment of groundwater in southern part of Salem District in Tamilnadu, India. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 65(1), 4697-4707 .
- Brhane, G. K. (2018). Characterization of hydro chemistry and groundwater quality evaluation for drinking purpose in Adigrat area, Tigray, northern Ethiopia. *Water Science*, 32(2), 213-229 .
- Cloutier, V., Lefebvre, R., Therrien, R., & Savard, M. M. (2008). Multivariate statistical analysis of geochemical data as indicative of the hydrogeochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system. *Journal of hydrology*, 353(3-4), 294-313 .
- Demir Yetis, A., & Akyuz, F. (2021). Water quality evaluation by using multivariate statistical techniques and pressure-impact analysis in wetlands: Ahlat Marshes, Turkey. *Environment, development and sustainability*, 23, 969-988 .
- Esmaeili, S., Asghari Moghaddam, A., Barzegar, R., & Tziritis, E. (2018). Multivariate statistics and hydrogeochemical modeling for source identification of major elements and heavy metals in the groundwater of Qareh-Ziaeddin plain, NW Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 1-14.
- Fetter, C. W., Boving, T. B., & Kreamer, D. K. (1999). *Contaminant hydrogeology* (Vol. 1138). Upper Saddle River, NJ: Prentice hall.
- Ghadirzadeh, A. (2003). Geological map of Azarshahr quadrangle. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- Gorgij, A. D., Kisi, O., & Moghaddam, A. A. (2017). Groundwater budget forecasting, using hybrid wavelet-ANN-GP modelling: a case study of Azarshahr Plain, East Azerbaijan, Iran. *Hydrology Research*, 48(2), 455-467.
- Jabraili Andrian, N., Nadiri, A. A., Taheri Zangi, S., & Sedghi, Z. (2023). Calculating the Groundwater Quality Index and Comparing It to the Carcinogenic and Non-Carcinogenic Risk. *Water and Irrigation Management*, 13(2), 369-384.
- Karunanidhi, D., Aravinthasamy, P., Deepali, M., Subramani, T., & Shankar, K. (2021). Groundwater pollution and human health risks in an industrialized region of southern India: impacts of the COVID-19 lockdown and the monsoon seasonal cycles. *archives of environmental contamination and toxicology*, 80, 259-276 .
- Kawo, N. S., & Karuppanan, S. (2018). Groundwater quality assessment using water quality index and GIS technique in Modjo River Basin, central Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences*, 147, 300-311 .
- Krishan, G., Kumar, B., Sudarsan, N., Rao, M. S., Ghosh, N. C., Taloor, A. K., Bhattacharya, P., Singh, S., Kumar, C. P., & Sharma, A. (2021). Isotopes ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  and

3H) variations in groundwater with emphasis on salinization in the state of Punjab, India. *Science of the total environment*, 789, 14805.

Krishan, G., Kumar, M., Rao, M. S., Garg, R., Yadav, B. K., Kansal, M., Singh, S., Bradley, A., Muste, M., & Sharma, L. (2023). Integrated approach for the investigation of groundwater quality through hydrochemistry and water quality index (WQI). *Urban Climate*, 47, 101383 .

Kubicz, J., Lochyński, P., Pawełczyk, A., & Karczewski, M. (2021). Effects of drought on environmental health risk posed by groundwater contamination. *Chemosphere*, 263, 128145 .

Liu, J., Gao, Z., Wang, Z., Xu, X., Su, Q., Wang, S., Qu, W., & Xing, T. (2020). Hydrogeochemical processes and suitability assessment of groundwater in the Jiaodong Peninsula, China. *Environmental monitoring and assessment*, 192, 1-17.

Liu, J., Peng, Y., Li, C., Gao, Z., & Chen, S. (2021). An investigation into the hydrochemistry, quality and risk to human health of groundwater in the central region of Shandong Province, North China. *Journal of cleaner production*, 282, 125416 .

Mohanakavitha ,T., Divahar, R., Meenambal, T., Shankar, K., Rawat, V. S., Haile, T. D., & Gadafa, C. (2019a). Dataset on the assessment of water quality of surface water in Kalingarayan Canal for heavy metal pollution, Tamil Nadu. *Data in brief*, 22, 878-884 .

Mohanakavitha, T., Shankar, K., Divahar, R., Meenambal, T., & Saravanan, R. (2019b). Impact of industrial wastewater disposal on surface water bodies in Kalingarayan canal, Erode district, Tamil Nadu, India. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 4(4), 379-387.

Nadiri, A., Asghari Moghaddam, A., Sadeghi, F., & Aghae, H. (2012). Investigation of Arsenic Anomalies in Water Resources of Sahand Dam. *Journal of Environmental Studies*, 38(3), 61-74. doi: 10.22059/jes.2012.29149.

Nadiri, A.A., Sadeghi, Aghdam, F., Asghari Moghadam, A. & Naderi, K. (2015). Evaluation of salinity and arsenic as destructive factors of surface and groundwater quality in Sahand dam catchment, *Journal of Hydro geomorphology* 2 (4), 79-99.

Nadiri, A. A., Sadeghi Aghdam, F. S., Razzagh, S., Barzegar, R., Jabraili-Andaryan, N., & Senapathi, V. (2022). Using a soft computing OSPRC risk framework to analyze multiple contaminants from multiple sources; a case study from Khoy Plain, NW Iran. *Chemosphere*, 308, 136527.

Nadiri, A. A., Azari Oskoie, Z., Hosseinzadeh, M., Fadaie, R., & Hatamzadeh, S. (2021). Investigation of Contamination Potential in the Area of Mazraeh Ahar Copper Mine and Determination of Their Origin. *Journal of Environmental Studies*, 47(4), 461-479. doi: 10.22059/jes.2022.333150.1008243.

Nadiri, A. A., Moghaddam, A. A., Tsai, F. T., & Fijani, E. (2013). Hydrogeochemical analysis for Tasuj plain aquifer, Iran. *Journal of earth system science*, 122, 1091-1105.

- Nadiri, A., Navin, F., Barzegari, A., Ojaghi, Mehdi, and Nouri N. (2022). Investigating the hydrochemistry and quality of water resources in the Hajilarchai basin and determining the origin of trace elements. *Hydrogeomorphology*, 8(29), 148-127.
- Norallahi, S., Moghaddam, A., Elham, F., & Barzegar, R. (2020). Assessing the effective factors on groundwater quality of Meshgin-Shahr plain aquifer (Ardebil province) with emphasis on possible origin of some heavy metals. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 29(114), 143-152. doi: 10.22071/gsj.2018.105540.1318
- World Health Organization, W. H. (2017). *Guidelines for drinking-water quality: first addendum to the fourth edition* .
- Pang, Y. X., Foo, D. C., Yan, Y., Sharmin, N., Lester, E., Wu, T., & Pang, C. H. (2021). Analysis of environmental impacts and energy derivation potential of biomass pyrolysis via Piper diagram. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 154, 104995 .
- Qu, S., Duan, L., Shi, Z., Liang, X., Lv, S., Wang, G., Liu, T & ,Yu, R. (2022). Hydrochemical assessments and driving forces of groundwater quality and potential health risks of sulfate in a coalfield, northern Ordos Basin, China. *Science of the total environment*, 835, 155519 .
- Ravindra, K., Thind, P. S., Mor, S., Singh, T., & Mor, S. (2019). Evaluation of groundwater contamination in Chandigarh: Source identification and health risk assessment. *Environmental Pollution*, 255, 113062 .
- Rodell, M., Famiglietti, J. S., Wiese, D. N., Reager, J., Beaudoin, H. K., Landerer ,F. W., & Lo, M.-H. (2018). Emerging trends in global freshwater availability. *Nature*, 557(7707), 651-659 .
- Sajil Kumar, P., & James, E. (2019). Geostatistical and geochemical model-assisted hydrogeochemical pattern recognition along the groundwater flow paths in Coimbatore district, South India. *Environment, development and sustainability*, 21, 369-384 .
- Şener, Ş., Şener, E., & Davraz, A. (2017). Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Science of the total environment*, 584, 131-144 .
- Sharma, M., Kumar, M., Malik, D., Singh, S., Patre, A., Prasad, B., Sharma, B., Saini, S., Shukla, A., & Das, P. (2022). Assessment of groundwater quality and its controlling processes in Bemetara District of Chhattisgarh State, India. *Applied Water Science*, 12(5), 102 .
- Sundaram, B., Feitz, A., Caritat, P. d., Plazinska, A., Brodie, R., Coram, J., & Ransley, T. (2009). *Groundwater sampling and analysis—a field guide*. *Geosci Aust Rec*, 27(95), 104 .
- Tarawneh, M. S. M., Janardhana, M., & Ahmed, M. M. (2019). Hydrochemical processes and groundwater quality assessment in North eastern region of Jordan valley, Jordan. *HydroResearch*, 2, 129-145 .
- Vaezihir, A., Jabraili Andaryan, N., & Bakhtiyari, S. (2019). Investigation of Karst Development in Kurdistan Province; Geomorphology Mechanism of the Caves and Hydrogeology of Karstic Springs. *Hydrogeomorphology*, 6(20), 41-56.

Voudouris, K., Panagopoulos, A., & Koumantakis, J. (2000). Multivariate statistical analysis in the assessment of hydrochemistry of the Northern Korinthia prefecture alluvial aquifer system (Peloponnese, Greece). *Natural Resources Research*, 9(2), 135-146 .

Yang, Q., Li, Z., Ma, H., Wang, L., & Martín, J. D. (2016). Identification of the hydrogeochemical processes and assessment of groundwater quality using classic integrated geochemical methods in the Southeastern part of Ordos basin, China. *Environmental Pollution*, 218, 879-888 .

Yousefi, M., Ghoochani, M., & Mahvi, A. H. (2018). Health risk assessment to fluoride in drinking water of rural residents living in the Poldasht city, Northwest of Iran. *Ecotoxicology and environmental safety*, 148, 426-430 .

