

## Research Paper

## Investigation of Groundwater Quality Using Multivariate Statistical Methods in Ardabil Plain Aquifer

Shahin Fazabakhsh, Ali Rasoulzadeh, Javad Ramezani moghadam Mahdy Esmailian

<sup>1</sup> M.S Student in Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran, Shahin.fb1373@gmail.com

<sup>1</sup> Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran, rasoulzadeh@uma.ac.ir, (\*Corresponding Author Email: rasoulzadeh@uma.ac.ir)

<sup>1</sup> Assistant Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran, j\_ramezani@uma.ac.ir

<sup>1</sup> Associate Professor of Statistic & Computer Sciences Department, Faculty of Science, University of Mohaghegh Ardabili, Iran, esmailian@uma.ac.ir



10.22125/IWE.2022.162670

Received:  
**September 21, 2021**  
Accepted:  
**February 27, 2021**  
Available online:  
**December 11, 2022**

**Keywords:**  
**Keywords:**  
**Groundwater, Heavy metals, Multivariate statistical methods, Ardabil aquifer....**

### Abstract

Pollution and declining quality of water resources reduce usable water resources, weaken economic development and threaten human health. In this study, groundwater quality was studied and analyzed in Ardabil aquifer. For this purpose, 32 samples of groundwater sources in the Ardabil plain were collected and the concentrations of major ions, minor ions and some heavy metals were measured. Then, hydrogeochemical factors affecting the groundwater quality of the study area were analyzed using multivariate statistical methods, including correlation coefficients and factor analysis. According to the correlation matrix, the concentrations of metals such as arsenic, barium, scandium, silicon, zinc and vanadium indicated a little correlation with the main ions. Therefore, it can be concluded that the entry of these elements into groundwater is due to human activities. In factor analysis, the groundwater quality changes were affected by four main factors with 77.31% of the total variance of data in Ardabil plain. The results of factor analysis showed that the first factor was lithogenic, the second and third factors were lithogenic and anthropogenic, and the fourth factor was just anthropogenic. The results showed that the concentrations of heavy metals such as arsenic, barium, scandium, silicon, vanadium and zinc did not have a high correlation with the main ions, so the presence of these elements could be due to human activity. Also, the greatest effect on groundwater hydrochemistry in the study area was related to magnesium, sodium, calcium ions and electrical conductivity.

### 1. Introduction

The quality of water resources is very important. Pollution and declining quality of water resources reduce usable water resources, weaken economic development and threaten human health. Kalantari et al. (2018) used principal components analysis to classify water quality samples of Bostan plain. The first factor of the three factors showed 68.2% of the change. The second and third factors exhibited 14.45% and 9.25% of the change, respectively. Dordi Mahmoudi et al. (2016) used Principal Components Analysis to better understand dominant processes on groundwater of Sefidrood area.

Principal Components Analysis led to recognizing five effective parameters on the groundwater. Clustering Analysis resulted in extraction of three clusters, of which the first cluster is the most inappropriate (with maximum of electrical conductivity) and third cluster (with minimum of electrical conductivity) have had most appropriate quality. Mahmoudi et al. (2016) investigated groundwater quality of Shiramin area using hierarchical cluster analysis. Hierarchical cluster analysis has resulted in the extraction of two clusters named HCA1 (first cluster) and HCA2 (second cluster). Samples related to first cluster in the upstream of plain illustrate better quality and samples related to second cluster are located in the downstream of plain with higher EC and lower quality.

In this study, the quality of groundwater in the Ardabil plain aquifer was investigated using multivariate statistical methods.

## 2. Materials and Methods

Ardabil plain is located in northwest of Iran with a cold semi-arid environment and 279.8 mm annual average precipitation. The total area of the groundwater basin is approximately 1217.17 km<sup>2</sup> and is located between 48° 8' 45" to 48° 37' 30" east longitude and 38° 2' 15" to 38° 31' 00" north latitude (Ghafari et al., 2018).

In this study, groundwater quality was studied and analyzed in Ardabil aquifer. For this purpose, 32 samples of groundwater sources in the Ardabil plain were collected and the concentrations of major ions, minor ions and some heavy metals were measured (Fig. 1). Then, hydrogeochemical factors affecting the groundwater quality of the study area were analyzed using multivariate statistical methods, including correlation coefficients and factor analysis.

Figure (1): Location of Ardabil plain and sampling wells

In factor analysis, to carefully examine the elements and select the effective factors, the percentage of variance and the cumulative percentage of variance were used. The percentage of variance of each factor indicates the importance of that factor in the hydrochemistry of groundwater. High coefficients in each of these factors (numbers close to 1 or -1) indicate the high impact of the factor on the elements.

## 3. Results

According to the correlation matrix, the concentrations of metals such as arsenic, barium, scandium, silicon, zinc and vanadium indicated a little correlation with the main ions. Therefore, it can be concluded that the entry of these elements into groundwater is due to human activities. The lithium and molybdenum elements showed a relatively high positive correlation with the main ions, which are probably related to geological activities. In factor analysis, the groundwater quality changes were affected by four main factors with 77.31% of the total variance of data in Ardabil plain. The results of factor analysis showed that the first factor was lithogenic, the second and third factors were lithogenic and anthropogenic, and the fourth factor was just anthropogenic.

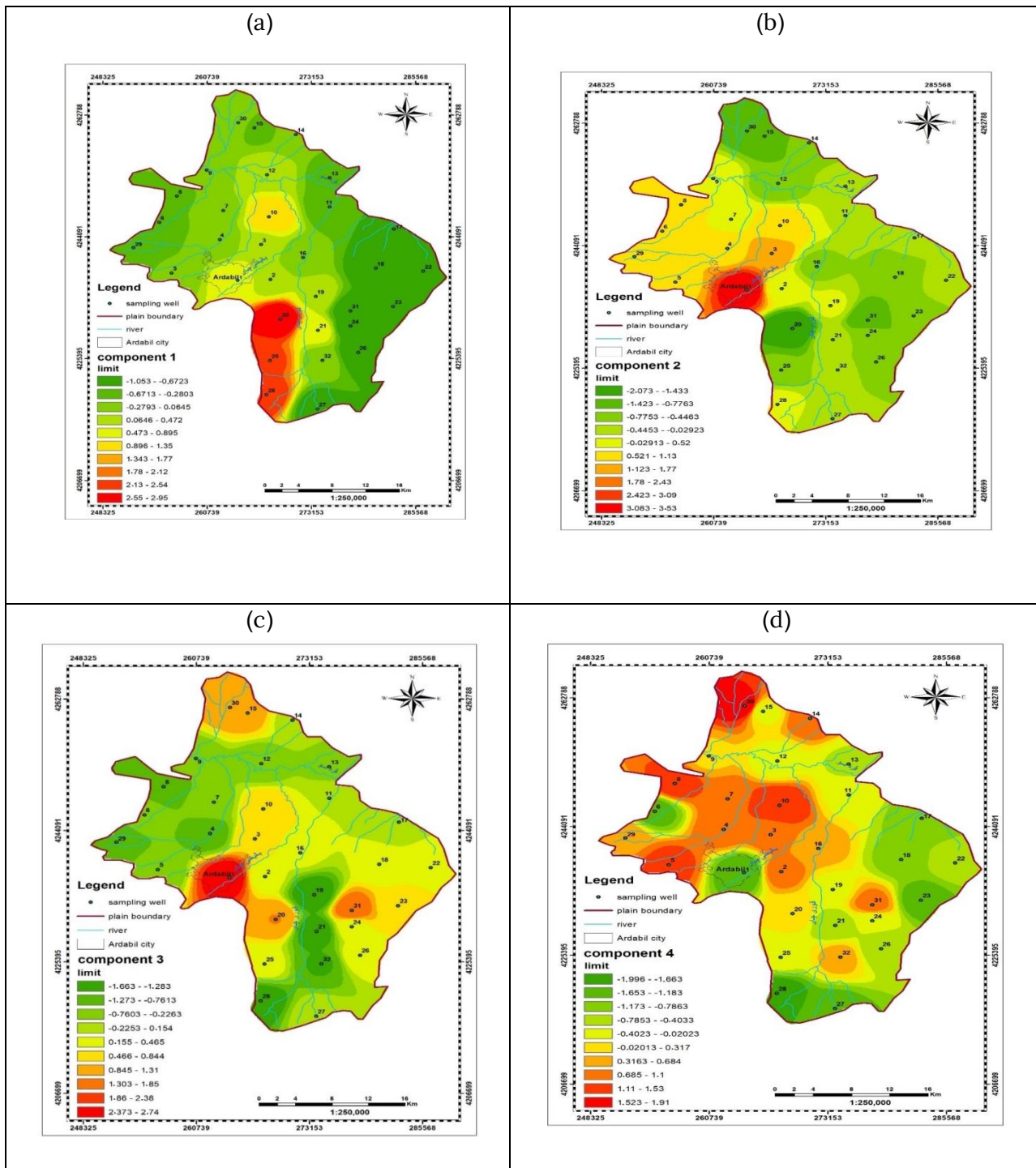


Figure (2): Mapping factors (a) first factor, (b) second factor, (c) third factor, and (d) fourth factor

According to the results, the southern and central parts of Ardabil plain were highly affected by the first factor (Figure 2a). According to the elements affected by the first factor and the geological map of Ardabil watershed, the existence of saline formations in the geological of the region as well as the impact of Plms and Md.av units located in the southern and southwestern parts can be affect in the first factor.

The western and northwestern part of the plain was affected by the second factor (Figure 2b). The second factor can be influenced by human activities in the center of the plain (agricultural activities such as the use of pesticides and chemical fertilizers as well as sewage and etc.)

The western, eastern and northern parts of the plain show the highest values of the third factor (Figure 2c).

The northern, central, western and southern parts of the plain show the highest value of the fourth factor. The northern part of the region had high amounts of this factor (Figure 2d). Sulfate and nitrate showed a moderate correlation with each other and these elements can enter groundwater resources due to human activities in the agricultural sector (use of fertilizers and pesticides).

#### **4. Discussion and Conclusion**

The results showed that the concentrations of heavy metals such as arsenic, barium, scandium, silicon, vanadium and zinc did not have a high correlation with the main ions, so the presence of these elements could be due to human activity. Also, the greatest effect on groundwater hydrochemistry in the study area was related to magnesium, sodium, calcium ions and electrical conductivity.

#### **5. Six important references**

1) Md. Bodrud- Doza, M. A. H. Bhuiyan, S. M. Didar- Ul Islam, Md. Morshedul Haque, K. J. Fatema, N. Ahmed, M. A. Rakib and Md. Atiur Rahman. Hydrogeochemical investigation of groundwater in Dhaka City of Bangladesh using GIS and multivariate statistical techniques. *Groundwater for Sustainable Development*, 8: (2019) 226-244.

2) F. Esmailbeiki, M.R. Nikpour, V.K. Sing, O. Kisi, P. Sihag and H. Sanikhani. Exploring the application of soft computing techniques for spatial evaluation of groundwater quality variables. *Journal of Cleaner Production*, 276, (2020) 124206.

3) N. Kalantari, A. Anbari, H. Mohammadi. Hydrochemical Assessment of Surface and Groundwater Resources of the Bostan Plain Using Multivariate Statistical Techniques. *Iran-Water Resources Research* 14(2) (2018) 236-248.

4) M. Dordi Mahmoudi, A.R. Moradia Hare Dash, A. Nadiri. Water resources of Astaneh city and studying effective factors on it with statistical, graphical methods and GIS. *Journal of Environmental Geology* 10(35) (2016) 66-78.

5) M.D. Mahmoudi, A.A. Nadiri, A. Asghari Moghaddam, M. Pourakbar and A.R. Moradian Haredasht. Survey of water resources of Shiramin plain using multivariate statistical methods. *Journal of Water and Soil Conservation* 23(3) (2016) 289-302.

6) H. Ghafari, A. Rasoulzadeh, M. Raoof, A. Esmeali. Estimation of natural groundwater recharge using WTF method (Case study: Ardabil plain aquifer). *Journal of Civil and Environmental Engineering* 48(1) (2018) 43-52.

#### **Conflict of Interest**

Authors declared no conflict of interest.

#### **Acknowledgments**

We are grateful to .....



## بررسی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره در آبخوان دشت اردبیل

شاهین فضا بخش<sup>۱</sup>، علی رسول زاده<sup>۲</sup>، جواد رضوانی مقدم<sup>۳</sup>، مهدی اسماعیلیان<sup>۴</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۶/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۹

مقاله پژوهشی برگرفته از پایان نامه

### چکیده

کیفیت منابع آبی از اهمیت فراوانی برخوردار است. آلودگی و افت کیفی منابع آب باعث کاهش منابع آب قابل استفاده، فلج شدن توسعه اقتصادی و تهدید سلامت انسان‌ها می‌شود. در این پژوهش به بررسی و تحلیل کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان دشت اردبیل پرداخته شد. بدین منظور تعداد ۳۲ نمونه از منابع آب زیرزمینی دشت اردبیل جمع‌آوری و غلظت یون‌های اصلی، یون‌های فرعی و برخی فلزات سنگین اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره شامل ضرایب همبستگی و تحلیل عاملی، اثر عوامل هیدروژئوشیمیایی موثر بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه تحلیل شد. بر اساس ماتریس همبستگی، غلظت فلزاتی مانند آرسنیک، باریم، اسکاندیم، سیلیسیم، روی و وانادیم همبستگی چندانی با یون‌های اصلی نشان نداد. لذا می‌توان نتیجه گرفت ورود این عناصر به آب‌های زیرزمینی و آلودگی ناشی از آن به علت فعالیت‌های انسانی است. عناصر لیتیم و مولیبدن دارای همبستگی مثبت نسبتاً بالایی با یون‌های اصلی بودند که این امر، احتمالاً مربوط به فعالیت‌های زمین‌شناسی است. در تحلیل عاملی، تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل تحت تاثیر چهار عامل اصلی با مجموع ۷۷/۳۱ درصد از واریانس کل داده‌ها قرار گرفت. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که عامل اول زمین‌زاد، عامل دوم و سوم زمین‌زاد و انسان‌زاد و عامل چهارم فقط انسان‌زاد بود.

واژه‌های کلیدی: آب‌های زیرزمینی، عناصر سنگین، روش آماری چند متغیره، آبخوان دشت اردبیل.

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران، ۰۹۳۶۲۰۶۸۶۴۴، shahin.fb1373@gmail.com

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران، ۰۹۱۴۱۵۶۵۳۱۳، rasoulzadeh@uma.ac.ir (نویسنده مسئول)

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران، ۰۹۱۵۹۲۴۸۰۵۷، j\_ramezani@uma.ac.ir

۴- دانشیار گروه آمار و علوم کامپیوتر، دانشکده علوم، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران، ۰۹۱۴۳۵۱۲۸۸۱، esmailian@uma.ac.ir

## مقدمه

منابع آب زیرزمینی منبع اصلی تأمین آب شرب بیش از ۱/۵ میلیارد نفر در سرتاسر جهان می‌باشند. منابع آب زیرزمینی، سهم به‌سزایی در تأمین آب مورد نیاز بخش کشاورزی، شرب و صنعت در ایران دارد. بر همین اساس، برداشت بی‌رویه آب از این منابع، سبب شده است مقدار تغذیه طبیعی در اکثر دشت‌های ایران کم‌تر از مقدار تخلیه در اثر برداشت شود (Pahlevani Majdabady et al. 2019, Ahmadi et al. 2015, Ahmadi et al. 2012, Rasoulzadeh and Moosavi 2007). کاهش کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی در اثر ورود آلاینده‌ها و برداشت غیرمجاز، موجب اثرات مخربی مانند افزایش شوری منابع آب زیرزمینی و اراضی کشاورزی مجاور آن، افت سطح ایستابی و فرونشست سطح زمین شده است که عمدتاً برای جبران آن ممکن است به ده‌ها سال وقت نیاز باشد (رهنمای رهسپار و همکاران، ۱۳۹۴؛ زارعی و همکاران، ۱۳۹۹؛ غفاری و همکاران، ۱۳۹۷). عوامل طبیعی و انسانی دو منشأ اصلی آلودگی آب با فلزات سنگین هستند. عوامل آلوده‌کننده طبیعی شامل ورود فلزات سنگین از طریق فرسایش مواد مادری خاک و سنگ بستر می‌باشند که به زمین‌شناسی و سازندهای آن منطقه مربوط هستند. عامل انسانی هم مربوط به مصارف مختلف انسانی (کشاورزی، صنعت و خانگی و...) می‌باشد. همچنین، آلودگی آب زیرزمینی به فلزات سنگین می‌تواند از طریق شیرابه زباله‌ها، فاضلاب، شستشوی پسماندهای معدنی و نشت از لاگون‌های باطله‌ی صنعتی یا دریاچه‌های صنعتی باشد (Evanko and dzombak., 1997).

با وجود مشکل و پرهزینه بودن حفظ و نگهداری آب‌های زیرزمینی، مناسب‌ترین روش جلوگیری از آلودگی منابع آبی، بررسی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی، آگاهی از مناطق آسیب‌پذیر و فراگرفتن مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب می‌باشد (نخعی و همکاران، ۱۳۹۲ و مسعودلک و همکاران، ۱۳۹۷). به‌دلیل غیرقابل مشاهده بودن آب‌های زیرزمینی، بسیاری از افراد جامعه در رابطه با اهمیت آب زیرزمینی و پیامد مضر آلودگی آن‌ها اطلاعات

کافی ندارند (Davis et al., 1994) از آنجایی که سهم منابع آب زیرزمینی شیرین از کل آب موجود در جهان اندک است، بنابر این، نگهداری و صیانت از این منابع از لحاظ کمی و کیفی مهم و ضروری می‌باشد. در صورت آلودگی این منابع، بایستی منبع آلودگی شناسایی و جلوی گسترش عوامل آلوده‌کننده گرفته شود (Rahnama., 2001).

پژوهشگران در سرتاسر جهان برای بررسی و ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی از روش‌های مختلف استفاده کرده‌اند. برخی از این روش‌ها شامل استفاده از انواع مدل‌ها و نرم‌افزارها، روش‌های آماری، انواع نمودارها و طبقه‌بندی‌ها می‌باشند (Bodrud- Doza et al. 2019) ، Bezaatpour et al. و Esmailbeiki et al. 2020 (2020).

روش‌های آماری چند متغیره می‌تواند جهت تفسیر اطلاعات مربوط به منابع آب زیرزمینی به کار گرفته می‌شود. البته باید دقت داشت که در روش آماری چند متغیره در بیشتر موارد و روش‌ها از رویکردهای کمی برای طبقه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی استفاده می‌شود. به این صورت که با کمک متغیرها (پارامترهای شیمیایی) و مشاهدات (مکان نمونه برداری آب زیرزمینی) ارزیابی و طبقه‌بندی صورت می‌گیرد (کلوتیر و همکاران، ۲۰۰۸). جلالی و اصغری مقدم (۱۳۹۲) با استفاده از نرم‌افزار PHREEQC به ارزیابی شاخص اشباع‌شدگی کانی‌های موجود در سازندهای زمین‌شناسی و روش‌های آماری چند متغیره در دشت خوی پرداختند. براساس نتایج، سه عامل اصلی موثر بر هیدروشیمی منطقه مورد شناسایی قرار گرفتند که عامل اول و دوم تاثیر سازندهای زمین‌شناسی و روند تکاملی جریان آب زیرزمینی را نشان دادند و عامل سوم متاثر از فعالیت‌های انسانی بود. عباس‌نژاد و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی هیدروژئوشیمیایی موثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت راین در استان کرمان با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره پرداختند. براساس نتایج، اصلی‌ترین عامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه، برهم‌کنش بین آب و مواد سازنده آبخوان بود. همچنین براساس نمودار گیبس، انحلال کربنات‌ها، هیدرولیز سیلیکات‌ها و انحلال کانی‌های تبخیری از عوامل اصلی کنترل‌کننده شیمی آب زیرزمینی تعیین شدند. فخری و همکاران (۱۳۹۴) به‌منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی

با توجه به اهمیت آبخوان دشت اردبیل در تأمین بخش زیادی از آب مورد نیاز کشاورزی دشت اردبیل، در این تحقیق با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره به بررسی کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان دشت اردبیل پرداخته شد.

## مواد و روش‌ها

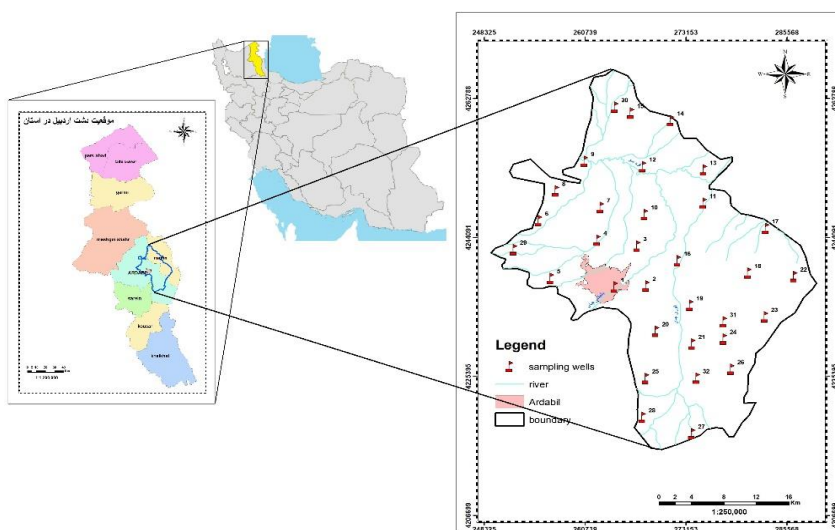
### منطقه مورد مطالعه

آبخوان دشت اردبیل در محدوده ۴۸ درجه و ۸ دقیقه و ۴۵ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۳۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۲ دقیقه و ۱۵ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). از نظر توپوگرافی بخش پیرامونی منطقه، کوهستانی بوده و بخش مرکزی آن دشت آبرفتی است. آب و هوای این منطقه از نوع سرد با زمستان‌های به نسبت طولانی و تابستان‌های ملایم می‌باشد. مقدار ریزش‌های جوی در این منطقه به طور متوسط ۳۰۰ میلی‌متر در سال است. ۵۶۴۳۶۵ نفر در دشت اردبیل در وسعتی حدود ۱۰۰۰ کیلومتر مربع زندگی می‌کنند که در دو شهر و ۸۸ روستا ساکن می‌باشند. سطح زیرکشت دشت اردبیل حدود ۶۲ هزار هکتار است. مهم‌ترین محصولات این منطقه شامل گندم، سیب‌زمینی، جو، علوفه و لوبیا می‌باشند، که گندم و سیب‌زمینی دارای بیشترین سطح زیرکشت (حدود ۶۵ درصد) می‌باشند (Statistical

Center of  
Iran, 2011)

دشت مرند از روش‌های آماری چند متغیره و اندیس‌های اشباع استفاده کردند. این تحقیق نشان داد که تغییرات کیفی آب زیرزمینی تحت تاثیر سازندهای تبخیری و نمکی، انحلال کانی‌ها و رسوبات تشکیل دهنده سفره‌ی آبدار، واکنش بین آب و مواد آبخوان و تبخیر از سطح آب زیرزمینی است. همچنین کیفیت آب زیرزمینی در مناطق شرق و جنوب شرقی نسبت به مناطق شمال و شمال‌غرب دشت، برای فعالیت‌های کشاورزی، شرب و صنعت مناسب‌تر تعیین شد.

Bodrud- Doza et al. (2019) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش‌های آماری چند متغیره، کیفیت هیدروشیمیایی آبخوان شهر داکا واقع در بنگلادش را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد که هوازگی سیلیکات‌ها به‌عنوان فرآیند اصلی کنترل محتوای املاح آب زیرزمینی عمل کرده و تبادل کاتیونی نقش مهمی در شیمی سفره آب زیرزمینی بر عهده داشت. همچنین نتایج روش‌های آماری نشان داد عوامل طبیعی و انسانی هر دو بر کیفیت آب زیرزمینی تاثیر گذاشته و آب زیرزمینی در اثر نفوذ آب آلوده از طریق رودخانه، دچار آلودگی شده بود. در نهایت بر اساس نتایج این تحقیق، برنامه‌ریزی و ارائه راهکارهای مفید برای مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی در این منطقه امری ضروری تشخیص داده شد.

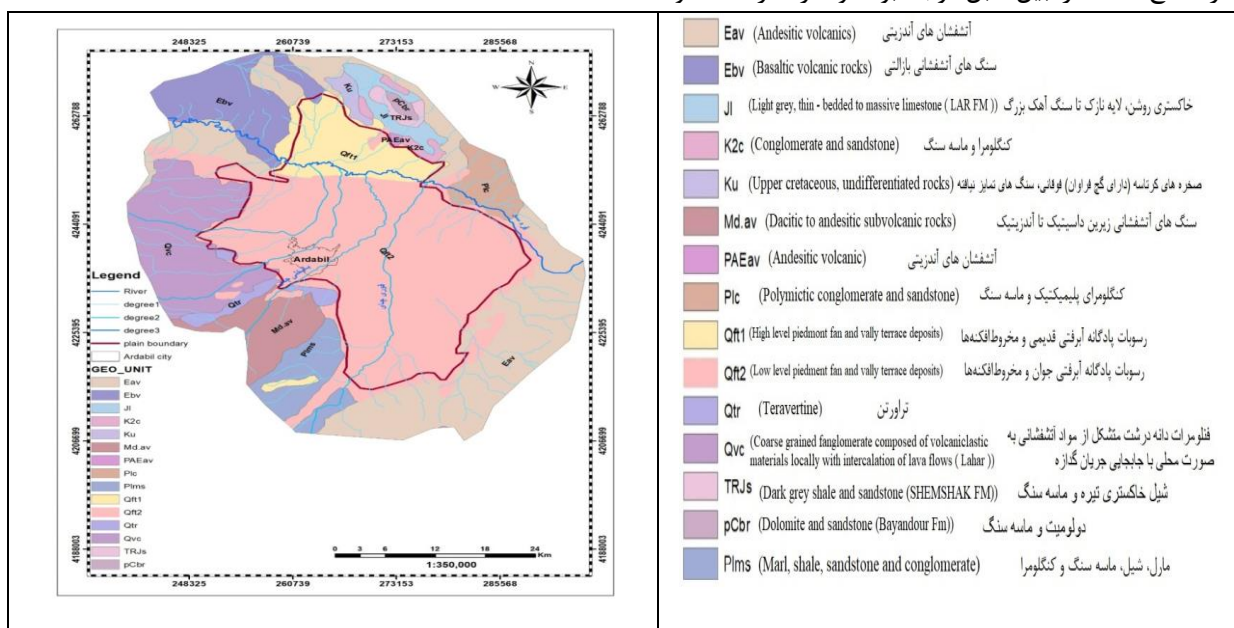


شکل (۱): موقعیت دشت اردبیل و چاه‌های نمونه‌برداری

### زمین‌شناسی دشت

از دیدگاه زمین‌شناسی، دشت اردبیل از واحد زمین‌ساختی البرز آذربایجان پیروی کرده و غالباً متغیر می‌باشد. فعالیت‌های تکتونیکی منطقه و فعالیت‌های آتشفشانی کوه سبلان در دوران سوم، عوامل اساسی در شکل‌گیری ساختمان زمین‌شناسی منطقه بوده و وجود تشکیلات خروجی آذرین که اراضی رسوبی را می‌پوشاند نشان دهنده این موضوع می‌باشد. بدین گونه، احتمال دارد چاله‌های موجود در دشت اردبیل نیز در اثر فعالیت گسل‌های عمده منطقه در این دوران به وجود آمده باشد. با این وجود گستره رسوبات آبرفتی کواترنری و عصر حاضر در سطح دشت اردبیل قابل توجه بوده و سرتاسر دشت و

حواشی آن را می‌پوشاند. رسوبات آبرفتی ذکر شده از شن، ماسه، رس و به مقدار بسیار کم کنگلومرا تشکیل شده است که در پهنای دشت و با تغییرات جانبی مشاهده می‌شود و حاصل فرسایش و تخریب سنگ‌های آندزیتی و آهکی ارتفاعات پیرامون منطقه می‌باشد. قسمت اعظم دشت اردبیل در واحد زمین‌شناسی  $Q^{12}$  (رسوبات پادگانه آبرفتی جوان و مخروط‌افکنه‌ها) واقع شده و بخشی از قسمت شمالی دشت دارای واحد زمین‌شناسی  $Q^{11}$  (رسوبات پادگانه آبرفتی قدیمی و مخروط‌افکنه‌ها) است (شکل ۲) (پیران‌قرنی‌نمین و همکاران، ۱۳۹۷).



شکل (۲): حوضه آبخیز دشت اردبیل به همراه نقشه زمین‌شناسی

### نمونه‌برداری و اندازه‌گیری

نمونه‌برداری طی یک مرحله در مرداد ماه سال ۱۳۹۸ از ۳۲ چاه در منطقه مورد مطالعه انجام شد، به گونه‌ای که نقاط نمونه‌برداری از توزیع یکنواختی در سطح دشت برخوردار بودند (شکل ۱). موقعیت جغرافیایی مکان نمونه‌برداری با GPS مدل GARMIN تحت سیستم متریک ثبت شد.

به منظور بررسی و تحلیل کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت اردبیل، پارامترها و عناصری موجود در آب اندازه‌گیری شدند. در این راستا، اسیدیته (pH) با pH متر، هدایت الکتریکی (EC) با EC متر، سولفات و نیترات با دستگاه اسپکتروفوتومتر، کربنات و بی‌کربنات به روش تیتراسیون اسید-باز، کلرید به روش تیتراسیون رسوبی، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و فلزات سنگین (آرسنیک،



مکانی امتیاز فاکتوری مولفه‌ها توسط نرم‌افزار Arc GIS  
10.7 تهیه شد.

در بخش تحلیل عاملی، برای بررسی دقیق عناصر و انتخاب عوامل موثر بر آن‌ها، کمیت‌های مقادیر ویژه، درصد واریانس و درصد تجمعی واریانس مورد استفاده قرار گرفت. به طور کلی، در تحلیل عاملی، مقادیر ویژه بالاتر از ۱ را به‌عنوان مهم‌ترین عوامل موثر بر عناصر در نظر می‌گیرند (اصغری‌مقدم و برزگر، ۱۳۹۳). درصد واریانس هر یک از عامل‌ها نشان‌دهنده اهمیت آن عامل در هیدروشیمی منطقه است. ضرایب بالا در هر یک از این عوامل (اعداد نزدیک به ۱ یا -۱)، نشان‌دهنده تاثیر بالای عامل بر عناصر است. از میان چرخش‌های مختلف، که برای ساده‌تر شدن تفسیر عوامل موثر بر عناصر، مورد استفاده قرار می‌گیرند، چرخش واریماکس انتخاب شد (فخری و همکاران، ۱۳۹۵).

### نتایج و بحث

#### بررسی خصوصیات هیدروشیمیایی

جدول ۱ خلاصه آماری نتایج تجزیه و تحلیل پارامترهای هیدروشیمیایی استفاده شده در این مطالعه همراه با حد تشخیص (DL) برخی از عناصر را نشان می‌دهد.

سیلسیم، لیتیم، اسکاندیم، وانادیم، مولیبدن، روی و باریم) با دستگاه پلاسمای جفت شده القائی- طیف سنج (ICP-MS) اندازه‌گیری شدند.

### روش آنالیز و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش، به منظور بررسی و تحلیل آماری داده‌ها از روش‌های آماری چند متغیره از جمله ضرایب همبستگی و تحلیل عاملی، استفاده شد.

ضریب همبستگی بیانگر نحوه ارتباط بین عناصر می‌باشد. می‌توان از ضرایب همبستگی استفاده کرد. تحلیل ضریب همبستگی مابین دو متغیر برای توصیف ارتباط بین متغیرها کاربرد دارد. ضریب همبستگی بالا (نزدیک به +۱ و -۱) به معنی همبستگی خوب بین دو متغیر است و مقادیر نزدیک به صفر نشان‌دهنده عدم وجود ارتباط مابین دو متغیر در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ می‌باشد. می‌توان گفت هرگاه  $r \geq 0.7$  یا  $r \leq -0.7$  باشد نشان از همبستگی قوی دارد. هرگاه  $0.5 \leq r < 0.7$  یا  $-0.5 \leq r < -0.7$  باشد همبستگی عناصر در حد متوسط و هرگاه  $-0.5 < r < 0.5$  همبستگی بین عناصر ناچیز است (اصغری‌مقدم و برزگر، ۱۳۹۳).

همچنین در این تحقیق جهت انجام کارهای آماری از نرم افزار SPSS v22 استفاده شد. از طرفی نقشه توزیع

جدول (۱): نتایج تجزیه هیدروشیمیایی نمونه‌های مورد بررسی

پارامترها	بیشینه	کمینه	میانگین	انحراف معیار	دامنه تغییرات	DL	واحد
As	۱۴۵/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱۵/۱۵۹	۲۸/۷۱۲	۱۴۵/۰۰۰	۰/۵	µg/L
Ba	۱۶۸/۰۰۰	۲/۳۰۰	۲۷/۹۶۹	۳۶/۰۰۲	۱۶۵/۷۰۰	۱	µg/L
Ca <sup>2+</sup>	۳۲۹/۰۰۰	۲۶/۴۰۰	۱۰۶/۹۸۸	۸۰/۷۲۹	۳۰۲/۶۰۰	۰/۰۱	mg/L
K <sup>+</sup>	۴۱/۷۵۰	۰/۸۸۰	۶/۸۲۷	۸/۹۴۶	۴۰/۸۷۰	۰/۰۱	mg/L
Li	۴۹۹/۰۰۰	۲/۵۶۰	۱۱۱/۴۵۴	۱۶۸/۱۲۱	۴۹۶/۴۴۰	۱	µg/L
Mg <sup>2+</sup>	۳۹۵/۰۰۰	۵/۹۰۰	۵۸/۹۳۸	۸۶/۰۲۵	۳۸۹/۱۰۰	۰/۰۱	mg/L
Mo	۷۰/۱۵۰	۰/۰۰۰	۴/۴۶۰	۱۲/۳۴۸	۷۰/۱۵۰	۰/۱	µg/L
Na <sup>+</sup>	۸۲۵/۰۰۰	۲۱/۴۰۰	۱۷۲/۵۳۴	۱۹۱/۵۵۴	۸۰۳/۶۰۰	۰/۰۱	mg/L
P	۰/۵۱۰	۰/۰۰۰	۰/۰۲۷	۰/۰۸۹	۰/۵۱۰	۰/۰۱	mg/L
S	۶۶۹/۰۰۰	۲/۹۰۰	۱۱۶/۰۲۲	۱۷۶/۲۱۴	۶۶۶/۱۰۰	۰/۰۱	mg/L
Sc	۵/۲۴۰	۰/۰۰۰	۲/۳۳۶	۱/۵۷۸	۵/۲۴۰	۱	µg/L
Se	۴۰/۸۹۰	۰/۰۰۰	۷/۹۶۳	۸/۸۶۶	۴۰/۸۹۰	۰/۱	µg/L
Si	۲۱/۸۵۰	۶/۰۴۰	۱۳/۳۵۷	۴/۷۵۸	۱۵/۸۱۰	۰/۰۱	mg/L
V	۱۰/۵۵۰	۰/۰۰۰	۴/۹۸۴	۲/۹۳۹	۱۰/۵۵۰	۱	µg/L
Zn	۳۰/۱۳۰	۰/۰۰۰	۳/۳۶۱	۶/۷۶۰	۳۰/۱۳۰	۱	µg/L
pH	۷/۳۳۰	۶/۰۹۰	۶/۸۲۳	۰/۲۹۰	۱/۲۴۰	-	-
EC	۷۲۲۰/۰۰۰	۴۲۵/۰۰۰	۱۷۹۰/۰۶۳	۱۵۷۴/۵۸۶	۶۷۹۵/۰۰۰	-	µS/cm
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	۹۶۴/۰۶۵	۱۲۲/۰۳۴	۳۶۹/۱۹۰	۱۷۹/۶۵۹	۸۲۴/۰۳۲	-	mg/L
Cl <sup>-</sup>	۱۷۷۲/۵۰۰	۴۲/۵۴۰	۲۷۳/۴۰۸	۳۳۳/۲۶۶	۱۷۲۹/۹۶۰	-	mg/L
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	۶۶۹/۸۱۱	۱۲/۲۶۰	۳۰۲/۳۷۶	۱۸۸/۳۳۲	۶۵۷/۵۵۱	-	mg/L
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	۶/۹۶۷	۱/۰۶۹	۳/۵۸۰	۱/۹۳۳	۵/۸۹۷	-	mg/L

میانگین پایینی بود، که دلیل آن می‌تواند مقاومت بیشتر فلدسپار پتاسیم به هوازدگی شیمیایی و جذب این کاتیون‌ها توسط رس‌ها باشد. (Rao et al., 2011)

#### استفاده از روش‌های آماری چند متغیره ضرایب همبستگی

در جدول ۲ ماتریس همبستگی تمام متغیرهای آنالیز شده ارائه شده است. در جدول ۲، می‌توان با کمک ضرایب همبستگی، ارتباط بین عناصر را بررسی و منشأ احتمالی

مطابق نتایج جدول ۱، میزان اختلاف کمینه و بیشینه (دامنه تغییرات) تمامی مشخصه‌های اصلی از جمله کلسیم، سدیم، منیزیم، بی‌کربنات، کلر و سولفات بسیار زیاد و قابل توجه بوده که این اختلاف در میزان هدایت-الکتریکی نیز قابل مشاهده است. در مورد اختلاف کمینه و بیشینه مقادیر فلزات سنگین نیز می‌توان بالاترین اختلاف کمینه و بیشینه را برای لیتیم و پس از آن در باریم، آرسنیک و مولیبدن مشاهده کرد. همچنین میانگین غلظت منیزیم کمتر از کلسیم بود، که علت آن می‌تواند انحلال کمتر منیزیم از کانی‌های حاوی منیزیم باشد (Ramesh and Jagadeeswari., 2012). پتاسیم دارای

آن‌ها را پیدا کرد، که در ادامه مطلب به این امر پرداخته شده است.

جدول (۲): ماتریس همبستگی بین عناصر شیمیایی مورد مطالعه

	As	Ba	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Li	Mg <sup>2+</sup>	Mo	Na <sup>+</sup>	P	S	Sc	Se	Si	V	Zn	pH	Ec	Hco <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	So <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	No <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
As	۱																					
Ba	+۰/۱۲	۱																				
Ca <sup>2+</sup>	+۰/۲۹	+۰/۰۶	۱																			
K <sup>+</sup>	+۰/۹۰**	+۰/۲۲	+۰/۲۱	۱																		
Li	+۰/۶۵**	-۰/۰۱	+۰/۷۳**	+۰/۶۵**	۱																	
Mg <sup>2+</sup>	+۰/۱۰	-۰/۱۶	+۰/۸۱**	+۰/۰۷	+۰/۶۹**	۱																
Mo	+۰/۲۲	-۰/۱۲	+۰/۵۰**	+۰/۰۹	+۰/۴۶**	+۰/۵۳**	۱															
Na <sup>+</sup>	+۰/۱۵۸	-۰/۲۱	+۰/۷۳**	+۰/۱۲	+۰/۷۳**	+۰/۹۵**	+۰/۴۸**	۱														
P	+۰/۸۳**	+۰/۰۹	+۰/۰۱	+۰/۷۱**	+۰/۲۱	-۰/۰۷	+۰/۰۰	-۰/۰۲	۱													
S	+۰/۱۹	-۰/۱۵	+۰/۹۰**	+۰/۱۴	+۰/۷۳**	+۰/۹۴**	+۰/۶۷**	+۰/۸۷**	-۰/۰۶	۱												
Sc	+۰/۵۵**	+۰/۳۰	+۰/۳۹*	+۰/۵۹**	+۰/۴۴*	+۰/۱۲	+۰/۲۱	+۰/۱۵	+۰/۲۴	+۰/۲۲	۱											
Se	+۰/۱۲	-۰/۱۸	+۰/۷۰**	+۰/۱۵	+۰/۶۲**	+۰/۷۹**	+۰/۲۹	+۰/۸۱**	-۰/۰۵	+۰/۷۰**	-۰/۰۲	۱										
Si	+۰/۵۳**	+۰/۲۲	+۰/۳۵*	+۰/۶۲**	+۰/۲۲	-۰/۰۴	+۰/۲۵	-۰/۰۶	+۰/۲۲	+۰/۱۲	+۰/۹۳**	-۰/۱۵	۱									
V	+۰/۱۱	-۰/۱۶	+۰/۱۲	+۰/۱۲	+۰/۲۱	+۰/۲۲	+۰/۴۰*	+۰/۲۴	+۰/۱۵	+۰/۲۹	+۰/۱۱	+۰/۱۲	+۰/۰۵	۱								
Zn	-۰/۰۸	-۰/۰۸	+۰/۱۵	-۰/۱۰	+۰/۰۵	+۰/۱۶	+۰/۰۰	+۰/۱۴	-۰/۰۵	+۰/۱۲	-۰/۳۸*	+۰/۲۴	-۰/۳۸*	-۰/۱۴	۱							
pH	-۰/۲۴	-۰/۲۷	-۰/۲۲	-۰/۳۶*	-۰/۴۵**	-۰/۲۲	-۰/۴۴*	-۰/۲۹	-۰/۱۹	-۰/۲۶	-۰/۷۴**	-۰/۰۸	-۰/۶۳**	-۰/۰۴	+۰/۲۹*	۱						
Ec	+۰/۲۰	-۰/۱۱	+۰/۸۶**	+۰/۲۰	+۰/۷۷**	+۰/۹۷**	+۰/۵۰**	+۰/۹۸**	-۰/۰۲	+۰/۹۳**	+۰/۲۴	+۰/۸۳**	+۰/۰۷	+۰/۲۸	+۰/۱۵	-۰/۲۲	۱					
Hco <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-۰/۱۵	+۰/۰۱	+۰/۱۷	-۰/۰۸	+۰/۱۸	+۰/۲۸	+۰/۳۵*	+۰/۴۴*	-۰/۱۹	+۰/۲۲	+۰/۴۰*	+۰/۲۲	+۰/۱۷	+۰/۱۶	-۰/۲۲	-۰/۶۲**	+۰/۲۸*	۱				
Cl <sup>-</sup>	+۰/۱۲	-۰/۱۲	+۰/۷۵**	+۰/۱۴	+۰/۷۰**	+۰/۹۵**	+۰/۳۸*	+۰/۹۴**	-۰/۰۴	+۰/۸۳**	+۰/۰۶	+۰/۸۷**	-۰/۱۱	+۰/۲۷	+۰/۲۵	-۰/۱۸	+۰/۹۵**	+۰/۲۶	۱			
So <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	+۰/۰۴	-۰/۰۰	+۰/۴۹**	+۰/۰۲	+۰/۲۲	+۰/۴۲*	+۰/۱۸	+۰/۴۶**	-۰/۲۰	+۰/۴۲*	+۰/۲۶	+۰/۵۱**	+۰/۱۷	-۰/۱۴	+۰/۰۴	-۰/۴۱*	+۰/۵۳**	+۰/۳۷*	+۰/۴۲*	۱		
No <sub>3</sub> <sup>-</sup>	+۰/۵۱**	+۰/۰۴	+۰/۲۰	+۰/۴۲*	+۰/۲۴	+۰/۰۴	-۰/۰۱	+۰/۰۶	+۰/۲۵	+۰/۱۱	+۰/۳۸*	+۰/۱۱	+۰/۴۰*	-۰/۰۵	+۰/۱۲	-۰/۱۴	+۰/۱۵	-۰/۱۰	+۰/۰۹	+۰/۴۰*	۱	

\*- همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و \*\*- همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

دلیل همبستگی بالای سدیم و کلسیم (۰/۹۴) را می‌توان انحلال هالیت و آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی دانست. همچنین همبستگی بالای بین کلسیم، منیزیم و سولفات می‌تواند در اثر فرآیند انحلال سنگ‌های دولومیتی و ژپس در آبخوان دشت باشد (Srivastava and Ramanathan.,2007). منشا سدیم می‌تواند از انحلال

بر اساس داده‌های جدول ۲، همبستگی بالای یون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم (کلسیم با منیزیم ۰/۸۱، کلسیم با سدیم ۰/۷۳ و منیزیم با سدیم ۰/۹۵) احتمالاً بیانگر منشأ مشترک این عناصر در آب‌های زیرزمینی در ارتباط با خصوصیات زمین‌شناسی می‌باشد (Mahlknecht, 2003).



همبستگی قوی (برابر با ۰/۹۵) بین منیزیم و کلر می‌تواند ناشی از انحلال کلرید منیزیم در منطقه باشد. همچنین همبستگی قوی این یون‌ها با یون سدیم نشانگر یک منبع مشترک برای همه این یون‌ها است و این یون‌ها اجزای اصلی مواد معدنی مانند هالیت، گچ و میرابیلیت می‌باشند (کلانتری و همکاران، ۱۳۹۷). نیترات همبستگی بالایی با دیگر پارامترها نداشت که می‌تواند ناشی از فعالیت‌های انسانی (ورود کودهای کشاورزی، فاضلاب‌های صنعتی و...) باشد.

همچنین بر اساس داده‌های جدول ۲ فلزاتی مانند آرسنیک، باریم، اسکاندیم، سیلیسیم، وانادیم و روی همبستگی چندانی با یون‌های اصلی نشان ندادند که نشان‌دهنده ورود احتمالی این عناصر از طریق آلودگی ناشی از فعالیت انسانی است (فخری و همکاران، ۱۳۹۵). نتایج این مطالعه نشان داد آرسنیک با بی‌کربنات دارای همبستگی منفی بسیار ضعیفی (برابر ۰/۱۵-) در سطح پنج درصد می‌باشد و بی‌کربنات با کربناتی کردن کانی‌های سولفید آرسنیک، باعث آشوبی آرسنیک به آب زیرزمینی می‌شود (Ramesh and Jagadeeswari, 2012). در نتیجه بی‌کربنات در آزاد کردن آرسنیک به آب زیرزمینی دخالتی ندارد.

همچنین آرسنیک با نیترات دارای همبستگی متوسط (۰/۵۱) در سطح معنی‌داری یک درصد بود. آرسنیک از اجزای تشکیل‌دهنده برخی کودهای نیترا ته و آفت‌کش‌ها است، که این موضوع بیانگر احتمال ورود آرسنیک از طریق مصرف کودهای نیترا ته و علف‌کش‌ها به منابع آبی دشت می‌باشد (Gomez et al., 2006). آرسنیک با عناصر پتاسیم و سیلیسیم به ترتیب دارای همبستگی ۰/۹۰ و ۰/۵۳ بود. این امر، احتمالاً به دلیل ارتباط آن با فلدسپارهای سنگ‌های آتشفشانی پایین‌دست حوضه و تبدیل آن‌ها به کانی‌های رسی طی دگرسانی‌های گرمایی می‌باشد (صفری و همکاران، ۱۳۹۵).

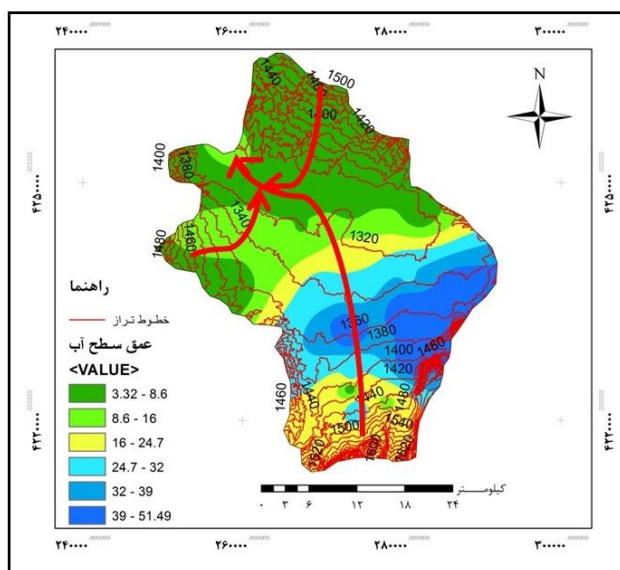
کلرید سدیم، هوازگی پلاژیوکلاز و اضافه شدن از طریق آب باران باشد (ایبای، ۱۳۹۰).

هدایت الکتریکی با بی‌کربنات در سطح معنی‌داری پنج درصد دارای همبستگی مثبت ضعیف ۰/۳۸ بود. احتمالاً همبستگی منفی اسیدیته با دیگر یون‌ها به دلیل خورندگی بالای محیط اسیدی نسبت به خاک و سنگ میزبان است که موجب افزایش غلظت بیشتر یون‌ها می‌شود (Helena et al., 2000). هدایت الکتریکی با عناصر منیزیم، کلسیم، سدیم و سولفات همبستگی مثبت بالایی داشت. این همبستگی بالا می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که هدایت الکتریکی و مواد جامد محلول بیشتر تحت تاثیر انحلال این مواد است (دردی‌محمودی و همکاران، ۱۳۹۵).

هدایت الکتریکی با یون‌های اصلی به جز پتاسیم دارای همبستگی بالایی بود و این امر نشانگر این است که، احتمالاً هدایت الکتریکی آب زیرزمینی توسط یون‌های اصلی کنترل می‌شود که می‌تواند ناشی از انحلال کانی، تبادل یونی و تبخیر باشد (عباس‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۵).

هدایت الکتریکی با اسیدیته همبستگی منفی ضعیف (۰/۳۳-) داشت که نشان از ارتباط معکوس آن در فرآیند انحلال است که با افزایش اسیدیته، انحلال و در نتیجه آن مواد محلول کاهش می‌یابد (فخری و همکاران، ۱۳۹۵).

همچنین بر اساس نتایج این تحقیق، بین کلر و سدیم همبستگی بالایی با مقدار ۰/۹۴ مشاهده شد. این امر می‌تواند به علت وجود دریاچه شور در قسمت جنوبی دشت (دریاچه شورابیل) باشد که در قسمت خارجی محدوده دشت اردبیل واقع شده است. با توجه به جهت جریان آب-های زیرزمینی که از جنوب دشت به سمت شمال غرب دشت است (شکل ۳)، شوری منابع آب این منطقه تحت-الشعاع قرار گرفته و حتی می‌تواند به سمت مرکز و شمال-غرب دشت کشیده شود. انحلال هالیت در آب زیرزمینی باعث آزاد شدن سدیم و کلر در آب می‌شود، وجود



شکل (۳): جهت جریان آب زیرزمینی دشت اردبیل (غفاری، ۱۳۹۲)

علامت آن، آن‌هایی انتخاب شدند که بالاتر از ۰/۶ بودند. عناصر متناظر با این ضرایب، بیشترین اثر را از آن عامل گرفته‌اند و از مشخصه‌های موثر در هیدروشیمی دشت در هر عامل محسوب می‌شوند.

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، عناصر متأثر از عامل اول شامل یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، گوگرد، هدایت الکتریکی، کلر، لیتیم و سلنیم به ترتیب دارای همبستگی ۰/۸۴۹، ۰/۹۶۵، ۰/۹۵۴، ۰/۹۲۸، ۰/۹۸۱، ۰/۹۵۲، ۰/۷۴۱ و ۰/۸۷۴ بودند. این عناصر حدود ۳۸/۵۹ درصد از واریانس کل داده‌ها را به خود اختصاص دادند و می‌توان آن‌ها را به‌عنوان اصلی‌ترین عناصر موثر در هیدروشیمی منطقه دانست.

باتوجه به عناصر متأثر از عامل اول و همبستگی بالایی که بین عناصر وجود دارد (جدول ۲)، احتمالاً این عناصر منشاء مشترکی در منطقه دارند. عناصر متأثر از عامل اول نشان‌دهنده روند عمومی آب‌های زیرزمینی و تاثیر سازندها از جمله سازندهای تبخیری و نمکی (مانند هالیت، ژپس و ...) در آب‌زیرزمینی و انحلال کانی‌های موجود در این سازندها (سازندهای میوسن و پلیوسن)

از طرفی بر اساس نتایج جدول ۲، لیتیم و مولیبدن همبستگی مثبت متوسط تا قوی با یون‌های اصلی داشتند. لیتیم با عناصر سدیم و کلسیم دارای همبستگی قوی (معنی‌دار در سطح یک درصد، به ترتیب برابر ۰/۷۳ و ۰/۷۳) و مولیبدن دارای همبستگی متوسط با عناصر منیزیم و گوگرد (معنی‌دار در سطح یک درصد، به ترتیب برابر ۰/۵۳ و ۰/۶۷) بودند. این امر می‌تواند در اثر فرآیندهای زمین‌شناسی رخ داده باشد. از این رو یون‌های اصلی در تشکیل این عناصر دخیل بوده و واکنش عناصر مختلف باعث حضور این عناصر در منابع آب زیرزمینی شده است.

### تحلیل عاملی

بر اساس اطلاعات جدول ۳، میزان ۷۷/۳۱ درصد تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت تحت تأثیر چهار عامل اول بود که این نشان‌دهنده اهمیت بالای این چهار عامل در هیدروشیمی منطقه است.

از میان چهار عامل، عامل اول بیشترین واریانس (۳۸/۵۹ درصد) و عامل‌های دوم، سوم و چهارم به ترتیب دارای مقادیر واریانس ۲۰/۲۳، ۱۰/۸۴ و ۷/۶۵ درصد بودند. از میان ضرایب مربوط به یک عامل، صرف‌نظر از

می‌باشند (فخری و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به مشخصه-های موجود، منشاء عامل اول زمین‌زاد می‌باشد.

جدول ۳(۳): ماتریس عامل‌ها بعد از چرخش عوامل

عناصر	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم
آرسنیک	۰/۱۴۲	۰/۹۴۶	۰/۱۳۷	۰/۰۰۸
باریم	-۰/۱۸۷	۰/۱۵۸	۰/۳۱۸	۰/۳۴۴
کلسیم	۰/۸۴۹	۰/۲۱۱	۰/۱۶۳	۰/۱۸۱
پتاسیم	۰/۱۲۶	۰/۹۰۵	۰/۱۹۹	۰/۰۵۸
لیتیم	۰/۷۴۱	۰/۵۲۷	۰/۱۶۳	-۰/۰۰۸
منیزیم	۰/۹۶۵	-۰/۰۲۵	۰/۰۲۱	-۰/۱۳۷
مولیدن	۰/۵۲۶	۰/۰۵۱	۰/۳۸۳	-۰/۳۷۶
سدیم	۰/۹۵۴	-۰/۰۱۰	۰/۰۷۰	-۰/۱۴۷
فسفر	-۰/۰۸۹	۰/۸۴۷	۰/۰۰۳	-۰/۱۷۹
گوگرد	۰/۹۲۸	۰/۰۶۳	۰/۱۰۰	-۰/۱۰۷
اسکاندیم	۰/۱۲۵	۰/۴۷۹	۰/۷۹۲	۰/۱۴۰
سلنیم	۰/۸۷۴	۰/۰۰۵	-۰/۱۵۹	۰/۰۸۹
سیلیسیم	-۰/۰۲۷	۰/۵۳۰	۰/۷۱۹	۰/۱۹۰
وانادیم	۰/۲۵۳	۰/۱۳۷	۰/۱۱۹	-۰/۷۲۳
روی	۰/۲۵۳	-۰/۰۰۶	-۰/۶۲۶	۰/۲۳۶
اسیدیته	-۰/۲۴۳	-۰/۱۶۸	-۰/۱۸۵۵	-۰/۰۹۲
هدایت الکتریکی	۰/۹۸۱	۰/۰۵۳	۰/۱۰۷	-۰/۰۲۶
بی‌کربنات	۰/۳۱۸	-۰/۳۴۵	۰/۶۸۱	-۰/۰۶۸
کلر	۰/۹۵۲	۰/۰۱۸	-۰/۰۸۶	-۰/۰۴۸
سولفات	۰/۵۴۴	-۰/۱۴۲	۰/۲۷۵	۰/۵۷۸
نیترات	۰/۱۵۵	۰/۵۱۷	۰/۰۳۰	۰/۵۳۷
مقدار ویژه	۸/۱۱	۴/۲۵	۲/۲۸	۱/۶۱
درصد واریانس هر عامل	۳۸/۵۹	۲۰/۲۳	۱۰/۸۴	۷/۶۵
درصد تجمعی واریانس	۳۸/۵۹	۵۸/۸۳	۶۹/۶۶	۷۷/۳۱

عناصر متأثر از عامل دوم شامل یون‌های پتاسیم، فسفر و آرسنیک به ترتیب دارای ضرایب همبستگی ۰/۹۰۵، ۰/۸۴۷ و ۰/۹۴۶ بودند که حدود ۲۰/۲۳ درصد از واریانس کل را شامل می‌شوند. این عناصر نیز همبستگی بالایی با همدیگر داشتند و می‌توانند دارای منشاء مشترکی باشند. همبستگی بالای پتاسیم می‌تواند در اثر کانی‌های پتاسیم‌دار (اورتوز، سیلویت) و همچنین فعالیت-های کشاورزی باشد (فخری و همکاران، ۱۳۹۴). همبستگی قوی آرسنیک می‌تواند از کانی‌های مرتبط با

فعالیت‌های آتشفشانی (انحلال سنگ‌های هوازده، خاکستر و خاک آن) باشد، همچنین ممکن است ناشی از فعالیت-های انسانی (کاربرد علف‌کش‌ها، معدن‌کاری، کاربری اراضی و...) باشد (Christodoulidou et al., 2012).

بار عاملی مثبت آرسنیک و بار عاملی منفی بی‌کربنات نشان می‌دهد بی‌کربنات در آزاد شدن آرسنیک به آب زیرزمینی دشت دخالتی نداشته و ممکن است هر دو از منشا مختلفی باشند (Ramanathan et al., 2007). بارهای عاملی مثبت برای سیلیسیم و پتاسیم می‌تواند در

### پهنه‌بندی عوامل

در این پژوهش، برای مشخص نمودن پراکنش عناصر متأثر از هر عامل، نقشه توزیع مکانی امتیازی چهار عامل اصلی ترسیم شد. وزن چهار عامل اصلی با روش درون‌یابی مورد ارزیابی قرار گرفت و برای هر یک از عناصر، بر اساس تاثیر آن از هر عامل، وزن مشخصی داده شد. شکل (۴) نقشه توزیع مکانی امتیازی چهار عامل اصلی با استفاده از نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به روش وزن-دهی معکوس را نشان می‌دهد. مقادیر مثبت بیانگر تاثیر بیشتر عناصر متأثر از عامل اول می‌باشند.

بر اساس نتایج این تحقیق، بخش جنوبی و مرکزی دشت اردبیل تحت تاثیر بالای عامل اول بودند (شکل ۴ الف). عناصر متأثر از عامل اول با بارهای عاملی مثبت تاثیر بیشتری در این نواحی داشتند. بخش جنوبی منطقه دارای مقادیر بالایی از این عامل بود. آب شور دریاچه شورابیل واقع در قسمت خارجی جنوب‌غربی دشت می‌تواند در منابع آب زیرزمینی دشت نفوذ کرده و شوری منابع آبی دشت را در این نواحی افزایش داده باشد. با توجه به عناصر متأثر از عامل اول (جدول ۳) و نقشه زمین‌شناسی حوضه آبخیز دشت اردبیل (شکل ۲)، وجود تشکیلات تبخیری و شور در تشکیلات زمین‌شناسی منطقه و همچنین تاثیر واحدهای Plms (مارل، شیل، ماسه‌سنگ و کنگلومرا)، Md.av (سنگ‌های آتشفشانی زیرین داستیک تا آندزیتیک)، Qtr (تراورتن) واقع در بخش‌های جنوب و جنوب‌غربی می‌تواند در عامل اول موثر باشد.

بنابر این می‌توان گفت نظر به عناصر متأثر از عامل اول و همبستگی بالایی بین عناصر، احتمالاً این عناصر منشاء مشترکی در منطقه دارند. عناصر متأثر از عامل اول نشان‌دهنده روند عمومی آب‌های زیرزمینی و تاثیر سازندها از جمله سازندهای تبخیری و نمکی در آب-زیرزمینی و انحلال کانی‌های موجود در این سازندها می‌باشند که از جنوب دشت به سمت شمال دشت کشیده شده است و منشا زمین‌زاد دارد.

بخش غربی و شمال‌غربی دشت تحت تاثیر عامل دوم بود (شکل ۴ ب). در بخش غربی که شهرستان اردبیل نیز

اثر هوازدگی سیلیکات‌های پتاسیم‌دار در سازندهای منطقه باشد (فخری و همکاران، ۱۳۹۵). پس می‌توان عامل دوم را زمین‌زاد و انسان‌زاد نامید.

عناصر متأثر از عامل سوم شامل یون‌های بی‌کربنات، سیلیسیم، اسکاندیم، اسیدپت و روی به ترتیب با بارهای عاملی ۰/۶۸۱، ۰/۷۱۹، ۰/۷۹۲، ۰/۸۵۵، ۰/۶۲۶- بودند که ۱۰/۸۴ درصد از واریانس کل داده‌ها را به خود اختصاص دادند. روی و بی‌کربنات دارای همبستگی پایینی با عناصر دیگر بودند. روی می‌تواند در اثر آلودگی انسانی وارد آب زیرزمینی شده باشد. اما اسکاندیم با سیلیسیم دارای همبستگی بالایی بود و احتمال دارد هر دو منشا مشترکی داشته باشند که می‌تواند در اثر سازندهای زمین-شناسی منطقه وارد منابع آب زیرزمینی دشت شوند. تاثیر منفی اسیدپت از این عامل، نشان‌دهنده‌ی سرعت هوازدگی کانی‌ها در محیط اسیدی بیشتر از محیط‌های بازی می‌باشد (فخری و همکاران، ۱۳۹۵). بار عاملی مثبت برای یون بی‌کربنات، احتمالاً نشان‌دهنده‌ی تغذیه ناشی از بارندگی در سطح دشت باشد (Lawrence and Upchurch., 1982). پس می‌توان عامل سوم را زمین‌زاد و انسان‌زاد نامید.

عناصر متأثر از عامل چهارم شامل وانادیم دارای همبستگی ۰/۷۲۳- و سولفات و نیترات با همبستگی به ترتیب ۰/۵۷۸ و ۰/۵۳۷ بودند که ۷/۶۵ درصد از واریانس کل را به خود اختصاص داده‌اند. وانادیم با یون‌های اصلی همبستگی چندانی نداشت و با عناصر بی‌کربنات و سولفات همبستگی منفی ضعیفی داشت. این مطلب بیانگر این است که وانادیم نیز می‌تواند از منشا انسانی باشد و فعالیت‌های انسانی در وجود این عنصر دخیل است. همبستگی مثبت در نیترات نشان از آلودگی در اثر فعالیت‌های انسانی نظیر نشت از پساب‌های شهری و چاه‌های جذب خانگی، آبشویی کودهای کشاورزی و فعالیت‌های دامداری دارد (Mahlknecht, 2003).

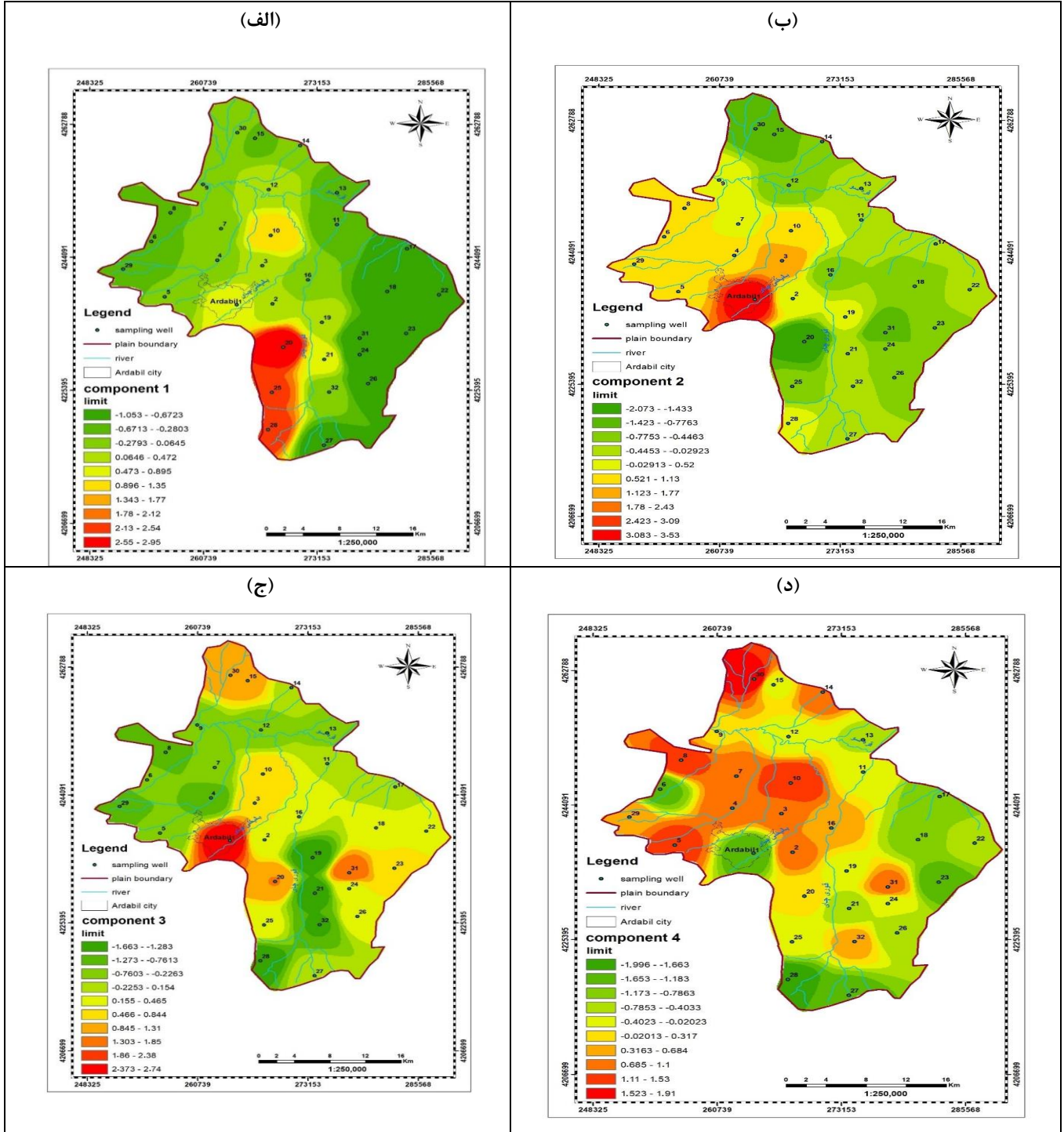
به طور کلی عامل چهارم می‌تواند در اثر فعالیت‌های انسانی، منابع آب زیرزمینی را تحت تاثیر قرار دهد.



در آن منطقه واقع می‌باشد، مقادیر خیلی بالا از این عامل مشاهده می‌شود. با توجه به عناصر متأثر از عامل دوم، به-طور کلی یون‌های بی‌کربنات با کربناتی کردن کانی‌های سولفید آرسنیک، می‌تواند سبب آبشویی آرسنیک به آب زیرزمینی شود اما با توجه به جدول (۲)، همبستگی مثبت آرسنیک (۰/۹۵) و منفی بی‌کربنات (۰/۳۵-) در عامل دوم، نشان می‌دهد که بی‌کربنات در آزاد شدن آرسنیک به آب زیرزمینی دشت دخالتی نداشته و ممکن است هردو از منشا مختلفی باشند (رامانتان و همکاران، ۲۰۰۷).



شکل (۴): نقشه توزیع مکانی امتیازی الف) عامل اول ب) عامل دوم ج) عامل سوم د) عامل چهارم به روش وزن دهی معکوس



نظیر رشد جمعیت، فاضلاب‌ها، شیرابه زباله‌ها، مصارف خانگی، اصطکاک لاستیک‌ها، پساب‌های شهری و... باشد. علاوه بر فعالیت‌های انسانی، ساختار زمین‌شناسی قسمت

عامل دوم می‌تواند تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی در مرکز دشت (فعالیت‌های کشاورزی نظیر استفاده از سموم و کودهای شیمیایی و آلودگی‌های انسانی در داخل شهر

سولفات و نیترات همبستگی متوسطی با همدیگر دارند و این عناصر می‌تواند در اثر فعالیت‌های انسانی در بخش کشاورزی (استفاده از کودها و سموم کشاورزی) وارد منابع آب زیرزمینی شوند.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق، وضعیت کیفی آبخوان دشت اردبیل از دیدگاه علم آمار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت فلزات سنگین مانند آرسنیک، باریم، اسکاندیم، سیلیسیم، وانادیم و روی همبستگی بالایی با یون‌های اصلی نداشتند، که احتمالاً دلیل آن، ورود این عناصر از طریق آلودگی ناشی از فعالیت انسانی می‌باشد. همچنین بیشترین تأثیر بر روی هیدروشیمی منطقه مورد مطالعه مربوط به یون‌های منیزیم، سدیم، کلسیم و پارامتر هدایت الکتریکی آب بود

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد در بیشتر موارد علت آلودگی آب زیرزمینی مربوط به فعالیت‌های انسانی بوده است. بنا بر این توصیه می‌شود اقداماتی در راستای آموزش و ترویج کشاورزان منطقه در زمینه کاهش مصرف کودهای شیمیایی و جایگزینی آن با کودهای کمپوستی انجام شود. همچنین اجرای برنامه‌های آموزشی و ترویجی در راستای جلوگیری از ورود آلاینده‌ها به آب‌های زیرزمینی و مصرف بهینه آب در کشاورزی می‌تواند کارگشا باشد.

غربی دشت شامل واحدهای زمین‌شناسی Qvc (فلومرات دانه درشت متشکل از مواد آتشفشانی به صورت محلی با جابجایی جریان گدازه) و Qtr (تراورتن) می‌تواند عامل دوم را تحت تاثیر قرار دهد. لذا می‌توان گفت عامل دوم از یک طرف تحت تاثیر ساختار زمین‌شناسی (زمین‌زاد) و از طرف دیگر تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی (انسان‌زاد) می‌باشد.

قسمت غربی، شرقی و بخشی از شمال منطقه بیشترین مقادیر امتیازی عامل سوم را نشان می‌دهد (شکل ۴ ج). بیشترین مقدار عامل سوم در بخش غربی دشت مشاهده شد. همچنین قسمت‌هایی از بخش شرقی و شمالی دشت نسبت به عامل سوم مقادیر مثبت نشان دادند. احتمالاً علت اثر بالای عامل سوم در بخش مرکزی دشت، ناشی از فعالیت‌های انسانی است. همچنین احتمال دارد در بخش شمالی واحدهای Eav (آتشفشان‌های آندزیتی)، Ku (صخره‌های کرتاسه (دارای گچ فراوان) فوقانی، سنگ‌های تمایز نیافته) و حتی II (خاکستری روشن، لایه نازک تا سنگ آهک بزرگ) نیز دشت را تحت تاثیر قرار دهد. پس منشأ عامل سوم ممکن است از یک طرف زمین‌زاد و از طرف دیگر انسان‌زاد باشد.

بخش شمالی، مرکزی، غربی و بخش‌هایی از جنوب دشت بیشترین مقدار امتیازی عامل چهارم را نشان می‌دهند. بخش شمالی منطقه دارای مقادیر بالایی از این عامل بود (شکل ۴ د). وانادیم همبستگی چندانی با عناصر دیگر نداشت، لذا می‌توان گفت منشأ آن انسان‌زاد است.

### منابع

- اصغری مقدم، الف و ر. برزرگر. ۱۳۹۳. بررسی عوامل موثر بر غلظت بالای آرسنیک در آب زیرزمینی آبخوان‌های دشت تبریز. فصل‌نامه علوم زمین، ۲۴(۹۴): ۱۹۰-۱۷۷.
- ایبای، ج. ن. ۱۳۹۰. مبانی زمین‌شیمی زیست‌محیطی، ( ترجمه ف. مر. س. مدبری و گ. فرقانی تهرانی)، مرکز نشر دانشگاهی، ۶۷۰ صفحه.
- پیران‌قرنی‌نمین، س.، الف. جاوید و ج. قدوسی. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر روی کیفیت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت اردبیل). علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۲۰، شماره ۳.
- جلالی، ل و الف. اصغری‌مقدم. ۱۳۹۲. تشخیص وضعیت هیدروژئوشیمیایی و روند شوری در سفره آب زیرزمینی دشت خوی به روش‌های آماری و هیدروشیمیایی. محیط‌شناسی، سال سی و نهم، شماره ۲، ۱۲۲-۱۱۳.

- دردی محمودی، م.، ع. مرادیان هرهدشت و ع. ندیری. ۱۳۹۵. منابع آب زیرزمینی شهرستان آستانه و بررسی عوامل موثر بر آن با روش‌های آماری، گرافیکی و GIS. فصلنامه علمی پژوهشی زمین‌شناسی محیط زیست، ۱۰(۳۵).
- رهنمای رهسپار، ص.، ع. شاهنظری، م. خالدیان و الف. فرقانی. ۱۳۹۴. بررسی میزان آلودگی آب‌های زیرزمینی به عناصر سنگین و پهنه‌بندی آن در منطقه گیلان مرکزی به کمک زمین‌آمار. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۹(۱): ۱۳-۲۱.
- زارعی، ک.، ع. رسول‌زاده، م. صدیقی، غ. احمدزاده و ج. رضائی مقدم. ۱۳۹۹. تعیین رابطه فرونشست زمین و افت تداخل سنجی راداری و ایستگاه ثابت GPS (مطالعه موردی: دشت سلماس). نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران، ۴۱(۱۱): ۱۷۰-۱۸۴.
- صفری، ش.، الف. اصغری مقدم، ع. الف. ندیری و ک. سیاه‌چشم. ۱۳۹۵. منشا آرسنیک و چگونگی آزادسازی آن در منابع آب زیرزمینی دشت چهاردولی، استان کرمان. علوم زمین، سال بیست و پنجم، شماره ۹۹، ۲۷۰-۲۶۱.
- عباس‌نژاد، الف.، ی. نظری و م. دهقانی. ۱۳۹۵. بررسی فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی موثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت راین، کرمان با استفاده از روش‌های آماری. ژئوشیمی، سال پنجم، شماره دوم، ۱۵۵-۱۴۵.
- غفاری، ح. ۱۳۹۲. برآورد تغذیه‌ی آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های CRD و WTF در دشت اردبیل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، ۹۷ صفحه.
- غفاری، ح.، رسول‌زاده، م.، رئوف و ا. اسمعیلی عوری. ۱۳۹۷. برآورد تغذیه طبیعی آب زیرزمینی با استفاده از روش WTF (مطالعه موردی: آبخوان دشت اردبیل). نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۴۸(۱): ۴۳-۵۲.
- فخری، م.، الف. اصغری مقدم و م. نجیب. ۱۳۹۴. کاربرد آنالیزهای چند متغیره و اندیس‌های اشباع در ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت مرند. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۲(۶): ۱۳۳-۱۱۷.
- فخری، م.، الف. اصغری مقدم، ر. برزگر، ن. کاظمیان و م. نجیب. ۱۳۹۵. بررسی منشأ برخی فلزات سنگین در آب زیرزمینی آبخوان دشت مرند با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره. نشریه دانش آب و خاک، ۲۶(۲/۲): ۲۵۳-۲۳۷.
- کلانتری، ن.، الف. عنبری و ه. محمدی. ۱۳۹۷. بررسی هیدروژئوشیمیایی منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت بستان با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۴(۲): ۲۴۸-۲۳۶.
- مسعودلک، م.، ج. عزیزی مبصر و ع. رسول‌زاده. ۱۳۹۷. ارزیابی آسیب‌پذیری آلودگی آب زیرزمینی دشت ارومیه با استفاده از مدل‌های دراستیک و دراستیک اصلاح شده. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۴(۵): ۲۰۴-۱۹۳.
- نخعی، م.، و. امیری و م. رحیمی شهرباکی. ۱۳۹۲. ارزیابی پتانسیل آلودگی و آنالیز حساسیت آب زیرزمینی در آبخوان خاتون آباد با استفاده از مدل دراستیک مبتنی بر GIS. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، دوره ۳، شماره ۸، ۱۰-۱.
- Ahmadi, T., A.N. Ziaei, A. Rasoulzadeh, K. Davary, K. Esmaili, A. Izady. 2015. Mapping groundwater recharge areas using CRD and RIB methods in the semi-arid Neishaboob Plain, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8 (5): 2921-2935.
- Ahmadi, T., A.N. Ziaei, K. Davary, A. Faridhosseini, A. Izady, A. Rasoulzadeh. 2012. Estimation of groundwater recharge using various methods in Neishaboob Plain, Iran. 5th international groundwater symposium, Kuwait.
- Cloutier, V., R. Lefebvre, R. Therrien and M. Savard, 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): 294-313.
- Bezaatpour, J., E. Fatehifar, A. Rasoulzadeh. 2020. CFD investigation of natural gas leakage and propagation from buried pipeline for anisotropic and partially saturated multilayer soil. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123940.
- Bodrud- Doza, Md., M. A. H. Bhuiyan, S. M. Didar- Ul Islam, Md. Morshedul Haque, K. J. Fatema, N. Ahmed, M. A. Rakib and Md. Atiur Rahman. 2019. Hydrogeochemical investigation of groundwater in Dhaka City of Bangladesh using GIS and multivariate statistical techniques. *Groundwater for Sustainable Development*, 8: 226-244.



Christodoulidou, M., C. Charalambous, M. Aletrari, P. Nicolaidou Kanari, A. Petronda and N.I. Ward. 2012. Arsenic concentrations in groundwaters of Cyprus. *Journal of Hydrology*, 468-469: 94-100.

Davis, A., J.H. Kempton and A. Nicholson. 1994. Groundwater transport of arsenic and chromium at a historical tannery, *Applied Geochemistry*, 9, 569-582.

Evanko, F.R. and D.A. Dzombak. 1997. Remediation of metals-contaminated soils and groundwater. Technology Evaluation Report prepared for Ground Water Remediation. Technologies Analysis Center. *Journal of Hydrology*, 213: 71-87.

Esmailbeiki, F., M.R. Nikpour, V.K. Sing, O. Kisi, P. Sihag and H. Sanikhani. 2020. Exploring the application of soft computing techniques for spatial evaluation of groundwater quality variables. *Journal of Cleaner Production*, 276, 124206.

Gomez, J.J., J. Lillo and B. Sahún. 2006. Naturally occurring arsenic in groundwater and identification of the geochemical sources in the Duero Cenozoic Basin, Spain. *Environmental Geology*, 50: 1151-1170.

Helena, B., R. Pardo, M. Vega, E. Barrado, J.M. Fernandez, and L. Fernandez. 2000. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. *Water research*, 34(3): 807-816.

Lawrence, F.W. and S.B. Upchurch. 1982. Identification of water recharge areas using geochemical factor analysis, *Groundwater*, 206: 680-687.

Mahlknecht, J., 2003. Estimation of recharge in the Independence aquifer, central Mexico, by combining geochemical and groundwater flow models. PhD Thesis, Institute of Applied Geology, University of Agricultural and Life Sciences (BOKU) Vienna, Austria, 296 p.

Pahlevani Majdabady, M., A. Rasoulzadeh, A. Kanooni, G. Ahmadzadeh. 2020. Estimation of Groundwater Recharge Originating from Agricultural Irrigation and Rainfall in Shyramyn Plain, Iran. *Irrigation and Drainage*, 69(1): 107-120.

Rahnama, M.B., 2001. Predicting the spread of contamination in groundwater aquifers. 3rd National Congress on Environmental Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman. Iran.

Rao, N.S., P.S. Rao, G.V. Reddy and M. Nagamani. 2011. Chemical characteristics of groundwater and assessment of groundwater quality in Varaha River Basin, Visakhapatnam District, Andhra Pradesh, India, *Environ Monit Assess*, 184: 5189-5214.

Ramanathan, A. L., P.M. Balakrishna and S. Chidambaram. 2007. Groundwater Arsenic contamination and its health effects-case studies from India and South East Asia. *Indian Journal Geochemistry*, 22: 371-384.

Ramesh, K. and P.B. Jagadeeswari. 2012. Hydrochemical Characteristics of Groundwater for Domestic and Irrigation Purposes in Periyakulam Taluk of Theni District, Tamil Nadu. *Research Journal of Environment Sciences*, 1(1): 19-27.

Rasoulzadeh, A., S.A.A. Moosavi. 2007. Study of groundwater recharge in the vicinity of Tashk Lake area. *Iranian Journal of Science and Technology Transaction B-Engineering*, 31 (B5): 509-521.

Srivastava SK, Ramanathan AL. 2007. Geochemical assessment of groundwater quality in vicinity of Bhalswa landfill, Delhi, India, using graphical and multivariate statistical methods. *Environmental Geology*, 53: 1509-1528.

Statistical Center of Iran. 2011. Implementation of the 2011 Iranian Population and Housing Census. 61p.



## Investigation of Groundwater Quality Using Multivariate Statistical Methods in Ardabil Plain Aquifer

Shahin. Fazabakhsh<sup>1</sup>, Ali. Rasoulzadeh<sup>2\*</sup>, Javad. Ramezani moghadam<sup>3</sup>, Mehdi. Esmailian<sup>4</sup>

### Abstract

Pollution and declining quality of water resources reduce usable water resources, weaken economic development and threaten human health. In this study, groundwater quality was studied and analyzed in Ardabil aquifer. For this purpose, 32 samples of groundwater sources in the Ardabil plain were collected and the concentrations of major ions, minor ions and some heavy metals were measured. Then, hydrogeochemical factors affecting the groundwater quality of the study area were analyzed using multivariate statistical methods, including correlation coefficients and factor analysis. According to the correlation matrix, the concentrations of metals such as arsenic, barium, scandium, silicon, zinc and vanadium indicated a little correlation with the main ions. Therefore, it can be concluded that the entry of these elements into groundwater is due to human activities. In factor analysis, the groundwater quality changes were affected by four main factors with 77.31% of the total variance of data in Ardabil plain. The results of factor analysis showed that the first factor was lithogenic, the second and third factors were lithogenic and anthropogenic, and the fourth factor was just anthropogenic. The results showed that the concentrations of heavy metals such as arsenic, barium, scandium, silicon, vanadium and zinc did not have a high correlation with the main ions, so the presence of these elements could be due to human activity. Also, the greatest effect on groundwater hydrochemistry in the study area was related to magnesium, sodium, calcium ions and electrical conductivity.

**Keywords:** Groundwater, Heavy metals, Multivariate statistical methods, Ardabil aquifer

1- M.S Student in Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (Shahin.fb1373@gmail.com)

2- Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (\*Corresponding Author Email: rasoulzadeh@uma.ac.ir)

3- Assistant Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (j\_ramezani@uma.ac.ir)

4- Associate Professor of Statistic & Computer Sciences Department, Faculty of Science, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (esmailian@uma.ac.ir)