

Hydrochemical assessment of the Jareh Dam water resources; using multivariate statistical techniques and hydrochemical methods

Hadi Mohammadihadi¹, Nasrollah Kalantari^{1*}, Abolhasan Anbari¹, Saeid Pahlavanizadeh²

1- Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2- Khuzestan Water and Power Organization, Ahvaz, Iran

Keywords: Jareh Dam, Hydrochemical, Multivariate statistical techniques

1-Introduction

Social change and sustainable economic development are mostly dependent on water resources (Dinka et al., 2017). The reason for many problems is the human need and the ecosystem of living life to provide excellent quality water resources (Amangabara and Ejenma, 2012). Therefore, the assessment of water quality is an essential issue by many researchers in the field of hydrology and hydrogeology. Among the water resources, lakes are well known as continuous and reliable water sources for domestic, agricultural (irrigation), and industrial uses (Esakkimuthu et al., 2015). In this regard, identifying the pollution and factors affecting water resources is one of the most critical issues in human health (Shrestha and Kazama, 2007). Jareh Dam Lake is located in the northeast of Ramhormoz city in Khuzestan Province. This lake is an excellent choice to investigate the processes that control water resources' quality using multivariate statistical and graphical methods. Multivariate techniques have been used to classify water quality data effectively to find similarities between samples in many studies (Zhao et al., 2012). In this way, several research types have been conducted where the quality of water resources was the main issue. Rezaei (2015) identified four active factors in the water quality of the Maroon Dam reservoir using the statistical analysis method (Rezaei et al., 2015). Other research using multivariate statistical techniques includes assessing spatial and seasonal changes in the water quality for the Oum Er Rabia River (Barakat et al., 2016) and the Baiyangdian Lake water quality in China (Zaho et al., 2012).

2-Methodology

Jareh Dam site in southwestern Iran is situated on Zard river in 31031' to 31025' N latitudes and 49041' to 49049' E longitudes. In this study, 20 water samples were collected to perform chemical analysis, including cations and anions and nitrate, fluoride, iron, and copper. The current work used statistical methods comprising Principal Component Analysis (PCA), Discriminant Analysis (DA), Hierarchy Cluster analysis (HCA), and hydrochemical methods such as piper diagram, index saturation, and ion exchange. For the hierarchical analysis of HCA, two methods, R-mod and Q-mod, have been performed. The similarity between the clusters and the separation of homogeneous clusters has been determined based on the euclidean distance, and the Ward method has been used (Azhar et al., 2015; Belkhiri et al., 2011). The principal components analysis method is used to reduce the number of variables from the same variables, thus showing the changes made by several variables (Esakkimuthu et al., 2015). Discriminant analysis is also a multivariate statistical method in which the data set contains a variable X divided into several predetermined groups using a linear combination of variable analysis (Kheifam and Vafakhah, 2015; Carroll et al., 2009). In this study, XLSTAT 2016 and SPSS Statistic 22 software were used for mathematical and statistical calculations.

3- Results and discussion

The PCA results implicate 81.87% of the changes, which is very good for identifying the hydrocarbon changes

*Corresponding author: nkalantari@hotmail.com

DOI: 10.22055/aag.2020.29692.1993

Received 2019-05-24

Accepted 2020-07-15

in the study area. The first component shows 63.73% of the changes. This component indicates the highest rate of modification due to the more significant effect of the electrical conductivity parameters, the amount of solute, total hardness, sulfate, calcium, chloride, iron, sodium, bicarbonate, potassium, and nitrate. The substantial changes in these factors are due to the reaction of rocks, water, and local human activities. The second component shows 18.3% of the changes due to the effect of pH and Mg parameters. The change in pH as one of the critical factors in chemical processes and is a reason for the deposition and dissolution of substances (especially calcium carbonate). Thus, the modification in pH indicates how the deposition rate of calcium carbonate changes through the Jareh dam.

The HCA that designs in two procedures, R-mod and Q-mod, shows three groups (clusters) of water quality (Fig 1). According to this classification, there are three zones, including riverine, the transition, and the lacustrine zones. The results of this analysis are precisely consistent with the results of PCA. Moreover, three groups of water were identified with different qualities. Also, the piper diagram was used to identify the water sample type. The first group samples have sulfate-calcium water type and have a more unfavorable quality among other groups (Fig. 2). The second water type is mainly sulfate-magnesium, and the third group is located in the northeastern part of the river zone. They have sulfate-magnesium and bicarbonate-magnesium water types and have better quality among other groups.

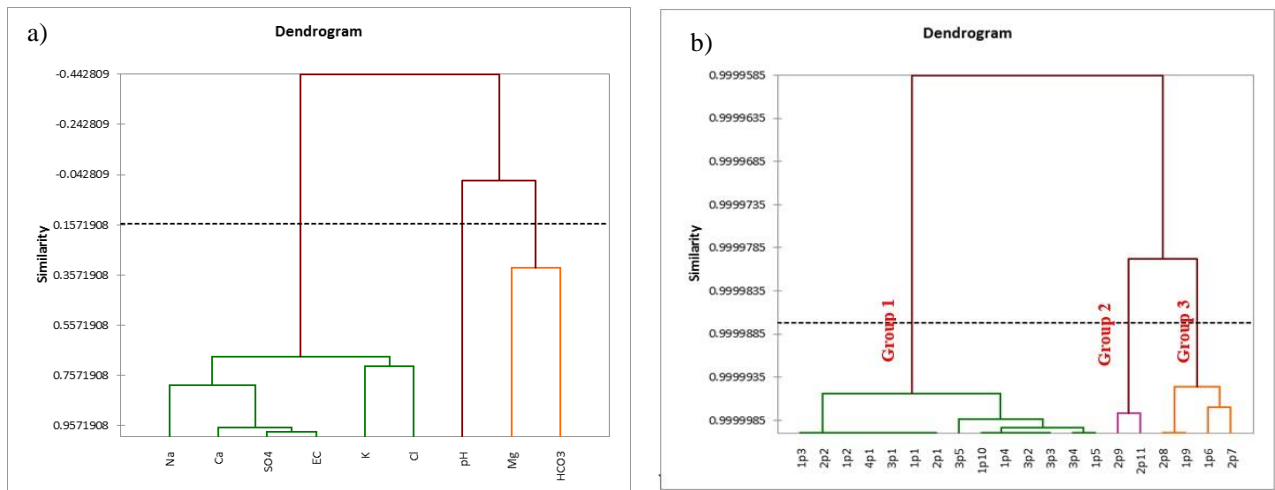


Fig. 1. Water samples dendrogram of Jareh dam lake; (a) Water samples parameters dendrogram of Jareh dam lake by R-mod method, and (b) Water samples dendrogram of Jareh dam lake by Q-mod method.

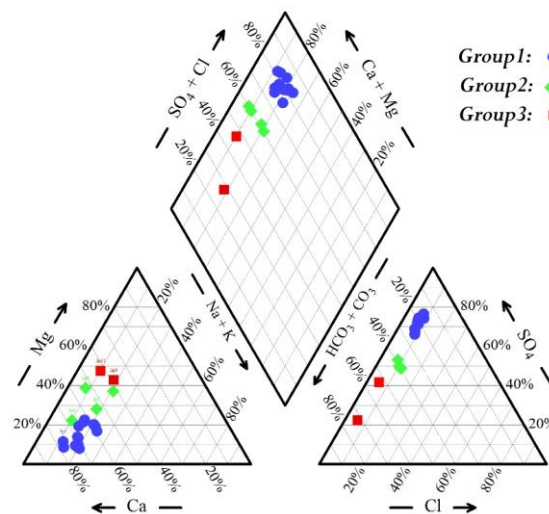


Fig. 2. Piper diagram of Jareh dam lake water samples.

4-Conclusion

The present research showed the following results:

1. According to the HCA classification by the Q-mod method, twenty samples of water resources in the study area are located in three distinct clusters, and third group samples have better quality than other samples.
2. Principal components analysis shows 81.87% of the total changes in the study area.
3. The first component, as the most critical factor, shows 63.73% of the changes. Representing the reaction of rock and water as one of the main factors affecting the quality of water resources in the study area.
4. The main types of water in the lake are sulfate-calcium and sulfate-magnesium.
5. The study of saturation indices, ionic ratios, and Gibbs diagram shows the dissolution and weathering of evaporative minerals in the study area. The source of these minerals is the Gachsaran Formation, which is placed on the Jareh Dam reservoir.

References

- Amangabara, G.T., Ejenma, E., 2012. Groundwater quality assessment of Yenagoa and environs Bayelsa State, Nigeria between 2010 and 2011. *Resources Environmental* 2, 20–29.
- Azhar, S.C., Aris, A.Z., Yusoff, M.K., Ramli, M.F., Juahir, H., 2015. Classification of river water quality using multivariate analysis. *Procedia Environmental Sciences* 30, 79-84.
- Barakat, A., El Baghdadi, M., Rais, J., Aghezzaf, B., Slassi, M., 2016. Assessment of spatial and seasonal water quality variation of Oum Er Rbia River (Morocco) using multivariate statistical techniques. *International Soil and Water Conservation Research* 4, 284-292.
- Belkhiri, L., Boudoukha, A., Mouni, L., 2011. A multivariate statistical analysis of groundwater chemistry data. *International Journal of Environmental Research* 5, 537-544.
- Dinka, M.O., Loiskandl, W., Ndambuki, J.M., 2015. Hydrochemical characterization of various surface water and groundwater resources available in Matahara areas, Fantalle Woreda of Oromiya region. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 3, 444-456.
- Esakkimuthu, K., Kumar, K.V., Ponram, P., 2015. Assessment of water-polluting sources by multivariate statistical methods in Putheri Lake, Kanyakumari, Tamil Nadu, India [08° 12' 27.1 "N 77° 25' 54.7 "E]. *Sustainable Water Resources Management* 4, 349-353.
- Rezaei, R., Zareai Mohammad abadi, H., Kalantari, N., Aliari, Z., 2015. Assessment the water quality of Maroun Dam reservoir using multivariate statistical analysis method based on correlation and changes in water quality data, *Behbahan. Advanced Applied Geology* 19, 82-88.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Mohammadihadi, H., Kalantari, N., Anbari, A., Pahlavanizadeh, S., 2021. Hydrochemical assessment of the Jareh Dam water resources; using multivariate statistical techniques and hydrochemical methods. *Adv. Appl. Geol.* 10(4), 620-633.

DOI: 10.22055/AAG.2020.29692.1993

url: https://aag.scu.ac.ir/article_15852.html?lang=en

ارزیابی هیدروشیمیایی منابع آب دریاچه سدجره با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره و روش‌های

هیدروشیمیایی

هادی محمدی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

نصراله کلانتری*

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

ابوالحسن عنبری

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

سعید پهلوانی زاده

کارشناس حفاظت و بهره‌برداری از منابع آب، سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۵

*nkalanteri@hotmail.com

چکیده

سد جره در شمال شرق شهرستان رامهرمز، در استان خوزستان واقع شده است. به منظور شناسایی عوامل اصلی تغییرات هیدروشیمیایی و بررسی فرآیندهای ژئوشیمی کنترل کننده منابع آب دریاچه این سد از نتایج آنالیز شیمیایی ۲۰ نمونه آب استفاده شده است. در این تحقیق روش‌های آماری آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی (HCA) به دو روش R-mod و Q-mod، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل تشخیص (DA) به همراه روش‌های هیدروشیمیایی استفاده شده است. در تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی اولین عامل ۶۳،۷۳ درصد و عامل دوم ۱۸،۱۳ درصد از تغییرات را نشان می‌دهند. نتایج حاصل از تحلیل تشخیص، ضمن تأیید کننده گروه‌های ایجاد شده توسط HCA، SO_4 و Cl ، نشان می‌دهد این گروه‌ها را می‌توان به‌عنوان متغیرهای ایجادکننده تمایز در بین گروه‌های از پیش تعیین شده معرفی نمود. بر اساس یافته‌های HCA، سه گروه متفاوت از نمونه‌های آب مشاهده شد که منطبق با روش PCA می‌باشد. جهت شناسایی تیپ آب و گروه‌بندی نمونه‌ها از دیاگرام پایپر استفاده شد که اکثر نمونه‌ها دارای تیپ سولفات - کلسیم می‌باشند. بررسی شاخص‌های اشباع، نسبت‌های یونی، نمودار گیبس و همچنین نتایج حاصل از تکنیک‌های آماری چند متغیره، انحلال و فرسایش رسوبات حاصل از سازند گچساران را به‌عنوان عوامل اصلی نامطلوب شدن کیفیت آب دریاچه سدجره در بخش جنوب شرقی (خروجی یا دهانه سد) نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: سد جره، هیدروشیمی، تکنیک‌های آماری چند متغیره، شاخص اشباع، نمودار پایپر

مقدمه

تحولات اجتماعی و توسعه اقتصادی پایدار تا حدود زیادی وابسته به منابع آب می‌باشد (Dinka et al., 2017). نیاز انسان و اکوسیستم حیات زنده به منابع آب با کیفیت مناسب، می‌تواند عامل بسیاری از کشمکش‌های عصر حاضر باشد (Amangabara and Ejenma, 2012). از این رو ارزیابی کیفیت آب به عنوان یک مسئله مهم مورد توجه بسیاری از محققان و مسئولین حوزه هیدرولوژی و هیدروژئولوژی قرار گرفته است. کیفیت آب تحت تأثیر اثرات طبیعی و فعالیت‌های انسانی از جمله آب و هوای ناحیه، زمین‌شناسی منطقه و فعالیت‌های آبیاری قرار می‌گیرد (Belkhairi et al., 2011). با بررسی تغییر مقادیر و نوع املاح در مسیر جریان آب، می‌توان به میزان قابل توجهی به تأثیر لیتولوژی اطراف حوزه آبخوان، سرعت آب در مسیر جریان، مقدار تغذیه و تخلیه و بسیاری از عوامل هیدروژئولوژیکی و هیدروژئولوژیکی منطقه، پی برد (Mokhtari and Espahbod, 2009).

دریاچه‌ها منابع آب مداوم و قابل اطمینانی برای مصارف خانگی، کشاورزی (آبیاری) و صنعتی هستند (Esakkimuthu et al., 2015). بنابراین، شناسایی عوامل آلوده‌کننده و تأثیرگذار بر این منابع ذخیره آبی، یکی از مهم‌ترین موضوعات در حوزه بهداشت و سلامت انسان به شمار

می‌رود (Shrestha and Kazama, 2007). دریاچه سد جره در شمال شرق شهرستان رامهرمز، در استان خوزستان واقع شده است. از اهداف اصلی ساختن این سد، تأمین آب موردنیاز شرب و زمین‌های کشاورزی دشت رامهرمز (به وسعت ۲۲ هزار و ۳۰۰ هکتار) و کنترل سیلاب رودخانه زرد می‌باشد. هدف از این پژوهش شناسایی فرآیندهای کنترل کننده کیفیت منابع آب دریاچه سد جره با استفاده از روش‌های آماری اثبات شده شامل تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل تشخیص (DA)، آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی (HCA) و روش‌های هیدروشیمیایی از قبیل دیاگرام پایپر، شاخص اشباع و تبادل یونی می‌باشد. تکنیک‌های چند متغیره به طور مؤثری برای طبقه‌بندی داده‌های کیفیت آب، یافتن شباهت بین نمونه‌ها و نیز در بسیاری از تحقیقات مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Zhao et al., 2012). در این زمینه پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است که در آنها کیفیت منابع آب مورد بررسی قرار گرفته است. رضایی و همکاران در بررسی کیفیت آب مخزن سد مارون با استفاده از روش تحلیل آماری، ۴ عامل مؤثر بر کیفیت آب مخزن سد مارون را شناسایی کردند که اصلی‌ترین عامل مربوط به پارامترهای فیزیکی و شیمی می‌باشد (Rezaei et al., 2015). در ارزیابی کیفیت آب سطحی حوزه آبریز هراز - قره نیز از تکنیک‌های آماری چند متغیره استفاده شده است.

کرد. در این پژوهش جهت ارزیابی شیمی دریاچه سد جره از روش‌های گرافیکی و آماری چند متغیره استفاده شده است. نتایج حاصل از این پژوهش و همچنین پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهند که آنالیزهای آماری چند متغیره به طور قابل توجهی برای طبقه‌بندی آب‌های سطحی و زیرزمینی و شناسایی مکانیسم‌های عمده تأثیرگذار بر شیمی منابع آب مفید هستند.

مواد و روش‌ها

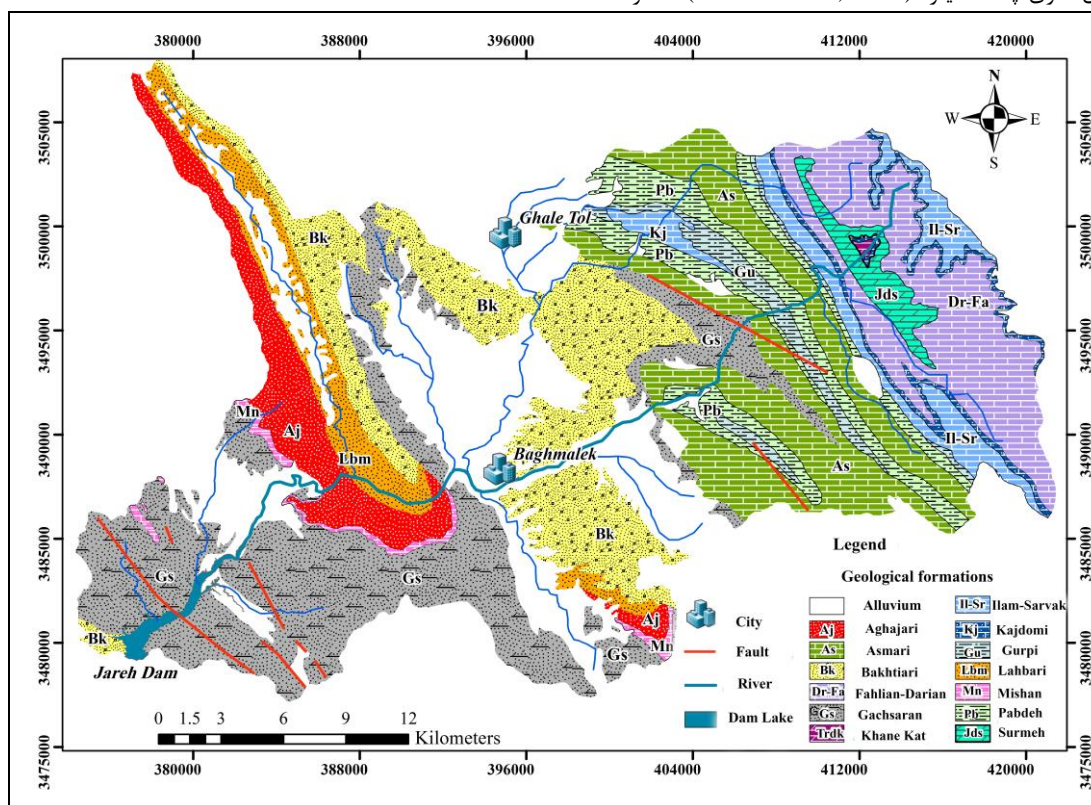
منطقه مورد مطالعه

سد جره در منطقه‌ای واقع در جنوب باختری ایران، در موقعیت جغرافیایی بین ۳۱ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۴۹ دقیقه طول شرقی بر روی رودخانه زرد که یکی از شاخه‌های مهم رودخانه اله می‌باشد، احداث شده است. سد خاکی مخزنی جره با هسته رسی، تاجی به طول ۷۳۳ متر و مخزنی به ظرفیت ۲۶۰ میلیون مترمکعب دارد. حجم بدنه خاکی این سد ۶ میلیون و ۲۰۰ هزار مترمکعب بوده و ظرفیت تخلیه سیلاب آن حداکثر پنج هزار و یکصد مترمکعب در ثانیه است. مساحت کلی حوضه آبریز بالادست سد حدود ۸۲۹ کیلومترمربع و شیب متوسط زمین از ۲/۲ درجه در آبرفت‌ها تا ۸۰ درجه در نواحی پرشیب تغییر می‌کند. میانگین بارش سالانه (یک دوره ۲۰ ساله) در حوزه سد مخزنی جره ۴۷۰ میلیمتر، و متوسط دمای سالانه آن ۲۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با توجه به شاخص اقلیمی دوارتن اقلیم منطقه مورد مطالعه نیمه خشک است. از مهمترین تشکیلات زمین‌شناسی در برگرنده مخزن سد جره، می‌توان به سازند گچساران و در قسمتی سازند بختیاری اشاره کرد. در شکل ۱ نقشه زمین شناسی حوزه آبریز و موقعیت سد جره نشان داده شده است.

در این تحقیق پارامترهای مؤثر بر تغییرات کیفیت آب عمدتاً با هوازنگی و شست‌وشوی نمک‌های تبخیری (طبیعی)، آلودگی‌های آلی ناشی از فاضلاب‌های خانگی، تغییرات کاربری اراضی، استفاده از حاصلخیز کننده‌ها و کودهای شیمیایی، مرتبط می‌باشند. همچنین در این زمینه می‌توان به ارائه راهکار مدیریت کیفی رودخانه سفید با استفاده از تحلیل همبستگی (Eskandari et al., 2014) و ارزیابی کیفیت آب شرب بندرعباس با استفاده از آنالیز خوشه‌ای و تحلیل عاملی (Noushadi et al., 2009) در ایران اشاره کرد.

بررسی عوامل آلودگی دریاچه Putheri در هند توسط Esakkimuthu و همکارانشان با به‌کارگیری تکنیک‌های آماری چند متغیره از جمله CA و PCA، صورت گرفت که منابع آلودگی دریاچه را فعالیت‌های کشاورزی (آبیاری) و فاضلاب‌های خانگی معرفی کرده‌اند (Esakkimuthu et al., 2015). در پژوهش انجام شده در طبقه‌بندی کیفیت آب رودخانه Muda در کشور مالزی با استفاده از روش آماری تحلیل تشخیص، پی بردند که عامل آلودگی این رودخانه، آمونیاک نیتروزن (NH₃-N) است (Azhar et al., 2015). در این پژوهش به این نتیجه رسیدند که عامل افزایش آمونیاک نیتروزن در آب ناشی از فاضلاب‌های صنعت پلاستیک‌سازی در مجاورت ایستگاه‌های نمونه‌برداری می‌باشد.

Zaho و همکاران (۲۰۱۲) نیز با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره به بررسی کیفیت آب دریاچه Baiyangdian در کشور چین پرداختند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که عامل آلودگی بیشتر در بخش غربی دریاچه، ناشی از تخلیه فاضلاب‌های خانگی و پساب‌های صنعتی در رودخانه Fuhe است که در نزدیکی این بخش از دریاچه قرار گرفته است. از دیگر پژوهش‌ها می‌توان به بررسی تغییرات مکانی و فصلی کیفیت آب رودخانه Oum Er Rabia با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره (Barakat et al., 2016) اشاره



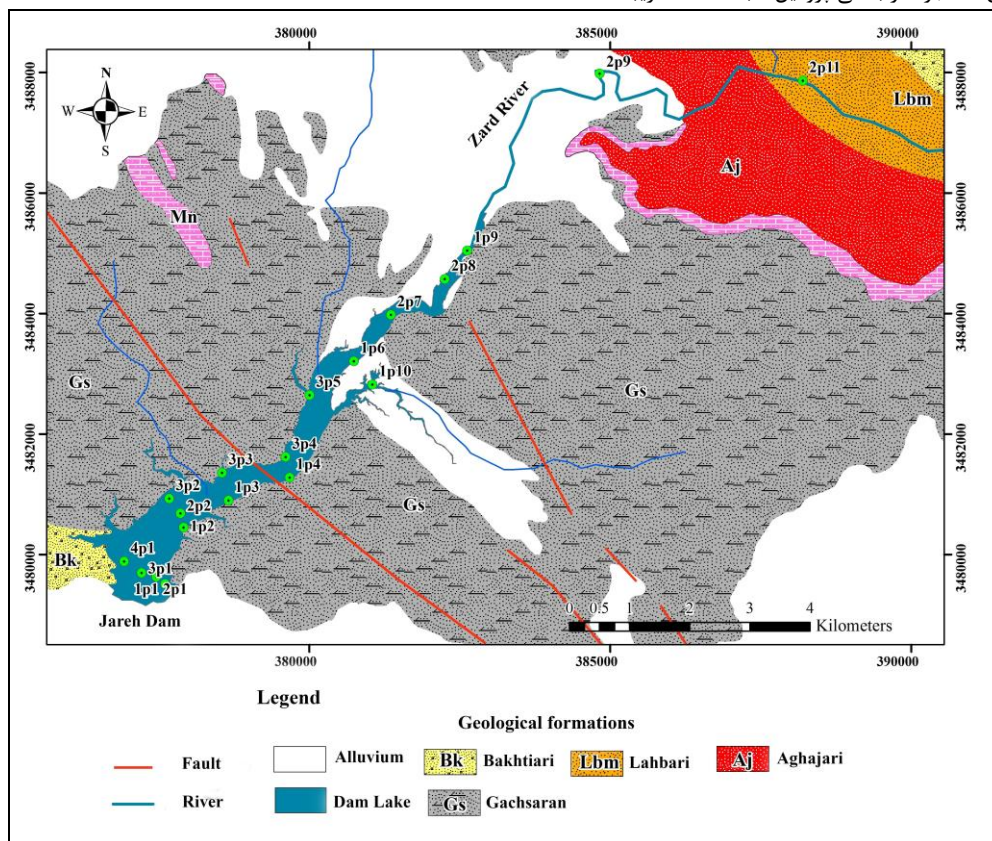
شکل ۱- حوزه آبریز و موقعیت سد مخزنی جره.

Fig. 1. Catchment and location of the Jareh reservoir dam.

نمونه برداری از منابع آب

در این مطالعه از مخزن سد جره و در حوضه آبریز از سرشاخه‌های رودخانه زرد و رودخانه ابوالعباس در تیرماه ۱۳۹۳ نمونه‌برداری شده است. این نمونه‌برداری‌ها جهت اندازه‌گیری عناصر اصلی و عناصر فرعی نیترات، فلئور، آهن و مس در منطقه مورد مطالعه برداشت و مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه‌برداری از سد جره، در ۱۱ پروفیل عرضی به فاصله تقریباً ۱ کیلومتری از همدیگر با استفاده از قایق صورت گرفت و با توجه به عرض بودن بخش‌هایی از مخزن سد جره در بعضی پروفیل‌ها به فاصله تقریباً ۲۰۰

متری نمونه‌برداری انجام شده است (شکل ۲). در پروفیل‌های ۱ و ۲ برای مشخص کردن تفاوت هدایت الکتریکی در عمق‌های مختلف نمونه‌برداری عمقی با استفاده از نمونه‌گیر عمقی صورت گرفته است. پارامترهای درجه حرارت، هدایت الکتریکی و اسیدیته آب در محل و سایر پارامترها پس از انتقال به آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. در طول مراحل نمونه‌برداری، کنترل و تضمین کیفیت نمونه‌برداری مطابق با روش استاندارد (EPT, 2006) انجام شده است. آنالیز شیمیایی نمونه‌های منابع آب دریاچه سد جره طبق جدول ۱ در آزمایشگاه سازمان آب و برق خوزستان انجام شده است.



شکل ۲- موقعیت و مکان نمونه‌برداری در دریاچه سد جره.

Fig 2. Location of the Samples in the Jareh Dam lake.

جدول ۱- روش‌های مورد استفاده جهت اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت شیمیایی.

Table 1. Applied methods to measure chemical quality parameters.

Quality parameter	Symbol	Unit	Method used	Standard limit
pH	pH	pH Unit	Potentiometric	≥ 8 (WHO)
Electrical Conductivity	EC	μmoh/cm	Conductometer	-
Total Hardness	TH	mg/l	titrimetric	500 (Iran)
Calcium	Ca ²⁺	mg/l	titrimetric	250 (Iran)
Magnesium	Mg ²⁺	mg/l	titrimetric	50 (Iran)
Sodium	Na ⁺	mg/l	Flame photometric	200 (WHO)
Potassium	K ⁺	mg/l	Flame photometric	-
Chloride	Cl ⁻	mg/l	Titration	250 (WHO)
Carbonate	CO ₃ ⁻	mg/l	Titration	-
Bicarbonate	HCO ₃ ⁻	mg/l	Titration	-
Sulfate	SO ₄ ²⁻	mg/l	Spectro Photometric	250 (WHO)
Nitrate	NO ₃ ⁻	mg/l	Spectro Photometric	50 (WHO)
Fluoride	F ⁻	mg/l	Spectro Photometric	1.5 (WHO)
Copper	Cu	mg/l	Spectro Photometric	2 (WHO)
Iron	Fe	mg/l	Spectro Photometric	0.3 (WHO)

تکنیک‌های آماری چند متغیره

مجموعه داده‌های کیفیت آب دریاچه سد جره به وسیله تلفیق سه روش PCA^1 ، HCA^1 و DA^2 از تکنیک‌های آماری چند متغیره، مورد تفسیر و آنالیز قرار گرفته است. قبل از انجام تحلیل‌های آماری، ابتدا استانداردسازی داده‌های انجام شد. در این پژوهش برای محاسبات ریاضی و آماری از نرم‌افزار XLSTAT 2016 و SPSS Statistic 22 استفاده شده است.

• PCA (تحلیل مؤلفه‌های اصلی)

در این روش جهت کاهش تعداد متغیرها از متغیرهای مشابه استفاده می‌شود، تا بدین وسیله تغییرات حاصل را به وسیله تعدادی از متغیرها نشان دهد (Esakkimuthu et al., 2015). این روش بر مبنای معیار کایزر، مؤلفه‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که مقدار بردار ویژه آنها بزرگتر یا مساوی ۱ باشد (Stata Soft, 2004) که از محور عامل و چرخش واریمکس برای به حداکثر رساندن تغییرات در میان متغیرهای هر عامل استفاده می‌شود (Cloutier et al., 2008; Usunoff and Guzman, 1989). از این روش در عرصه‌های گوناگونی مانند آب سطحی و زیرزمینی، خاک‌ها و منابع آلودگی محیط زیست استفاده می‌شود (Chitsazan et al., 2018).

• DA (تحلیل تشخیص)

تحلیل تابع تشخیص از روش‌های آماری چند متغیره است که در آن مجموعه داده‌ها حاوی X متغیر است که با استفاده از ترکیب خطی از تجزیه و تحلیل متغیرها به تعدادی گروه‌های از پیش تعیین شده تقسیم می‌شوند (Kheifam and Vafakhah, 2015; Carroll et al., 2009). حاصل این ترکیب خطی، توابعی تمایز کننده است که می‌تواند بیشترین تفاوت بین گروه‌های ایجاد شده را مشخص کند (Pielou, 1997). آماره استاندارد که برای مشخص نمودن قدرت تفکیک‌کنندگی مدل تابع تشخیص استفاده شده است، ویلکس لامبدا^۴ است که مقدار آن در محدوده ۰ تا ۱ قرار دارد. هر چه مقدار این شاخص به صفر نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده قدرت تفکیک‌کنندگی بیشتر تابع بدست آمده است (Goldin, 2001). درصد صحت طبقه‌بندی به وسیله ۲ مشخصه مهم یعنی ضریب همبستگی کانونی (توانایی تابع در تمایز بین گروه‌ها) و مقدار بردار ویژه (نسبت واریانس اندازه‌گیری شده از کل واریانس) سنجیده می‌شود و هر چه مقدار این دو شاخص بیشتر باشد درصد صحت طبقه‌بندی بیشتر است (Gorji et al., 2015; Jafarian et al., 2009). تابع تشخیص به منظور ۲ هدف تحلیل و طبقه‌بندی متغیرها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Gorji et al., 2015).

• HCA (خوشه بندی سلسله مراتبی)

با استفاده از روش خوشه‌بندی آماری می‌توان نمونه‌ها را به گروه‌های متمایزی که از لحاظ زمین‌شناسی و آماری، معنی‌دار باشند طبقه‌بندی کرد (Güler et al., 2002; Steinhorst and Williams, 1985). هدف از خوشه‌بندی داده‌ها آن است که مشاهدات را به گروه‌های متجانس تقسیم کرد، به طوری که نمونه‌های (مشاهدات) هر گروه بیشترین شباهت و با نمونه‌های گروه‌های مختلف کمترین شباهت داشته باشند (Jobson, 1992). نمونه‌های آب با خصوصیات هیدروشیمیایی مشابه بر حسب ترکیب کانی-

شناسی آب و هوا و زمان ماندگاری اغلب دارای تاریخچه هیدرولوژیکی، نواحی تغذیه و مسیرهای جریان مشابه هستند (Kalantari et al., 2009). در این پژوهش در آنالیز سلسله مراتبی HCA به دو روش R-mod و Q-mod انجام شده است که شباهت بین خوشه‌ها و جداسازی خوشه‌های همگن بر اساس فاصله اقلیدسی تعیین شده و با استفاده از روش وارد^۵ مورد استفاده قرار گرفته است (Azhar et al., 2015; Belkhairi et al., 2011). روش وارد از روش تحلیل واریانس جهت ارزیابی فواصل بین خوشه استفاده می‌کند (Nosrati et al., 2011).

آنالیز سلسله مراتبی در حالت R-mode پارامترها بر اساس شباهت-هایشان با یکدیگر به گروه‌ها یا رخسارها طبقه‌بندی می‌شوند، درحالی که در Q-mode در نتیجه توالی در روابط یا میزان آلودگی، روابط مکانی یا ناهمگنی بین نمونه‌ها مشخص می‌گردد. دندروگرام‌ها یا نمودارهای درختی برای نشان دادن روابط تولیدشده توسط روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی ایجاد می‌شوند (Richard and Dean, 2002).

بحث و نتایج**خصوصیات فیزیکی شیمیایی آب دریاچه سد جره**

پارامترهای فیزیکی اندازه‌گیری شده و نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌ها به همراه محاسبات برخی از شاخص‌های آماری در جدول ۲ ارائه شده است. تمامی نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه، قلیایی هستند که اساساً pH طبیعی آن‌ها بیشتر از ۷ است. دامنه تغییرات pH بین ۷٫۹۲ تا ۸٫۱ و میانگین آنها ۷٫۹۸۵ است. pH قلیایی می‌تواند از انحلال کانی‌ها و همچنین از فاضلاب‌های کشاورزی حاصل شود (Dinka et al., 2015).

دامنه تغییرات EC و TDS به ترتیب از ۴۰۰ تا ۱۱۶۷ میکروموس و ۳۴۷ تا ۱۰۸۷ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. مقدار $TDS > 500$ (ppm) نشان‌دهنده غلظت نسبتاً کم نمک و دیگر مشکلات مرتبط مثل سختی است (Dinka et al., 2015). نمونه‌های آب دریاچه سد جره دارای $TDS > 500$ (ppm) و سختی زیاد هستند.

بررسی کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول نشان می‌دهند که Ca و SO_4 با میانگین ۶۲٫۲۵ و ۶۲٫۹ درصد، به عنوان کاتیون و آنیون غالب در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه به شمار می‌روند. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود مقادیر عناصر F ، NO_3 ، Fe و Cu در بیشتر نمونه‌های آب دریاچه نسبتاً کم و ناچیز می‌باشند. بر اساس دستورالعمل موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مقدار مجاز عناصر آهن و مس در آب شرب به ترتیب ۰٫۳ و ۱ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که مقادیر این عناصر در تمامی نمونه‌های آب سد جره کمتر از محدوده استاندارد آب آشامیدنی است.

تکنیک‌های آماری چند متغیره

نتایج محاسبه PCA، ۸۱/۸۷ درصد از تغییرات (جدول ۳) را نشان می‌دهد که این میزان برای شناسایی تغییرات هیدروشیمی منطقه مورد مطالعه بسیار خوب است. مؤلفه اول ۶۳/۷۳ درصد از تغییرات را نشان می‌دهد. این مؤلفه بیشترین میزان تغییرات را نشان می‌دهد که این تغییرات به دلیل تأثیر بیشتر پارامترهای هدایت الکتریکی، میزان مواد محلول، سختی کل، سولفات، کلسیم، کلرید، آهن، سدیم، بی‌کربنات، پتاسیم و نیترات است. زیاد بودن تغییرات این عوامل ناشی از واکنش سنگ و آب و فعالیت‌های انسانی محلی است. مؤلفه دوم ۱۸/۱۳ درصد از تغییرات را نشان می‌دهد که

- 1- Hierarchical Cluster Analysis
- 2- Principal Components Analysis
- 3- Discriminant Analysis
- 4- Wilks lambda

5- Ward Method

نشان دهنده رسوب گذاری متفاوت کربنات کلسیم در نقاط مختلف سد جره است. در شکل ۳ نمودار اسکتر پلات مجموع مؤلفه PC1 بر روی PC2 نشان داده شده است.

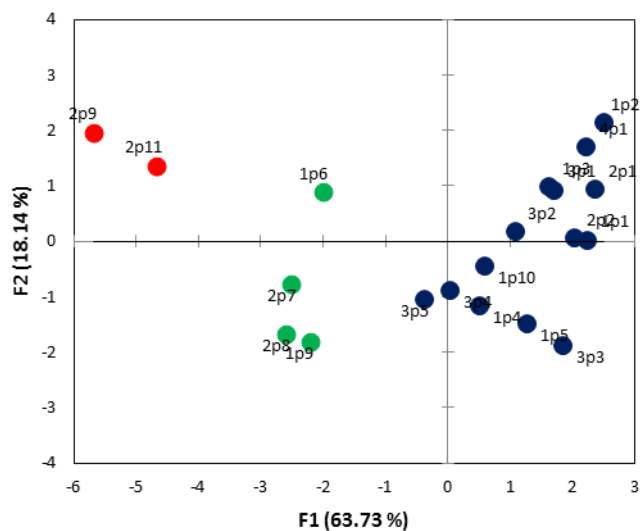
این تغییرات به دلیل تأثیر پارامترهای pH و Mg است یکی از عوامل مهم در فرآیندهای شیمیایی که موجب رسوب گذاری و انحلال مواد (به ویژه کربنات کلسیم) می شود تغییرات pH است. بنابراین تغییرات عامل pH

جدول ۲- پارامترهای فیزیکی و شیمیایی نمونه های مخزن سد جره به همراه شاخص های آماری.

Table 2. Physical and chemical parameters of the Jareh dam reservoir samples with statistical indicators.

Station	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	Fe	TDS	EC	pH	TH
	Mg/L										μMoh/cm		ppm	
1p1	224.4	24.31	36.55	2.346	53.18	528.4	122	6.85	0.285	0.023	990.2	1161	7.92	660.21
2p1	224.4	24.31	36.22	1.955	51.41	567.4	146.4	6.82	0.284	0.0225	1087	1154	7.98	660.51
3p1	217.4	32.2	31.27	2.346	51.41	528.4	128.1	6.81	0.286	0.0217	990	1166	8.02	675.52
4p1	210.4	24.3	55.64	2.346	53.18	528.4	140.3	6.82	0.289	0.0225	1014	1167	8.05	625.48
1p2	220.4	30.38	57.01	2.737	53.18	557.2	152.5	6.76	0.322	0.011	1072	1150	8.1	675.52
2p2	190.4	36.46	45.75	2.346	53.18	528.4	109.8	6.75	0.317	0.0155	965.2	1138	7.99	625.49
3p2	187.4	37.07	43.91	1.955	53.18	480.3	140.3	6.74	0.316	0.0152	943	1100	7.99	620.48
1p3	208.4	26.74	50.58	1.955	53.18	528.4	152.5	6.72	0.117	0.0149	1002	1127	8	630.49
3p3	164.3	46.18	64.83	1.955	58.5	480.3	109.8	6.71	0.115	0.0158	949.2	1089	7.9	600.47
1p4	160.3	54.69	38.39	1.955	54.95	480.3	140.3	6.74	0	0.018	929.7	1023	7.97	625.5
3p4	138.3	44.96	50.81	1.564	53.18	429.9	152.5	6.73	0	0.0187	870.1	987	7.95	530.42
1p5	160.3	54.69	55.18	1.955	54.95	528.4	128.1	6.75	0.404	0.019	982.3	1112	7.95	625.5
3p5	124.2	44.96	29.89	1.955	53.18	384.3	146.4	6.76	0.397	0.021	783.9	946	7.94	465.39
1p6	117.2	38.28	16.09	1.955	51.41	252.2	201.4	6.12	0	0.023	677.6	833	8.04	450.36
2p7	90.18	46.79	28.97	1.564	40.77	264.2	195.3	6.8	0.216	0.0238	666.8	712	7.93	417.84
2p8	77.15	55.9	9.656	1.955	49.63	206.5	170.8	7.35	0.233	0.0243	570.7	746	7.93	422.85
1p9	62.12	54.69	29.2	1.955	51.41	216.1	176.9	8.2	0.321	0.025	591.5	774	7.92	380.31
1p10	168.3	48.61	35.4	2.346	53.18	477.9	164.7	8.3	0.379	0.0218	948.9	1074	7.98	620.49
2p9	32.06	35.24	14.48	0.782	15.95	60.04	195.3	8.6	0	0.091	347	400	8.06	225.19
2p11	44.96	50.1	9.426	1.564	19.5	144.1	183.1	8.7	0.0429	0.093	451.9	577	8.08	310.26

Observations (axes F1 and F2: 81.87 %)



شکل ۳- نمودار اسکتر پلات مجموع ترکیبات PC1 بر روی PC2.

Fig. 3. Scatter plot of PCI component compilation on PC2.

۲ تابع است که متغیرهای Cl و SO₄ را به عنوان بیشترین عوامل ایجادکننده تمایز در بین متغیرهای دیگر معرفی می کند. مقادیر ویلکس

جدول ۳- عوامل ایجاد واریانس بر مبنای روش PCA.

Table 3. Factors causing variance based on PCA.

Variables	F1	F2
Ca	0.992	0.051
Mg	0.222	0.546
Na	0.701	0.001
K	0.601	0.001
HCO ₃	0.672	0.041
SO ₄	0.969	0.001
Cl	0.657	0.186
EC	0.970	0.002
pH	0.020	0.804
NO ₃	.0321	0.005
F	.0211	0.038
Cu	0.316	0.007
Fe	0.541	0.146
TH	0.823	0.006
Eigenvalue	5.736	1.633
Variability (%)	63.732	18.139
Cumulative %	63.732	81.87

جهت ارزیابی تغییرات مکانی در پارامترهای کیفیت آب دریاچه سد جره از تحلیل تشخیص استفاده شده است. نتایج حاصل از تحلیل تشخیص

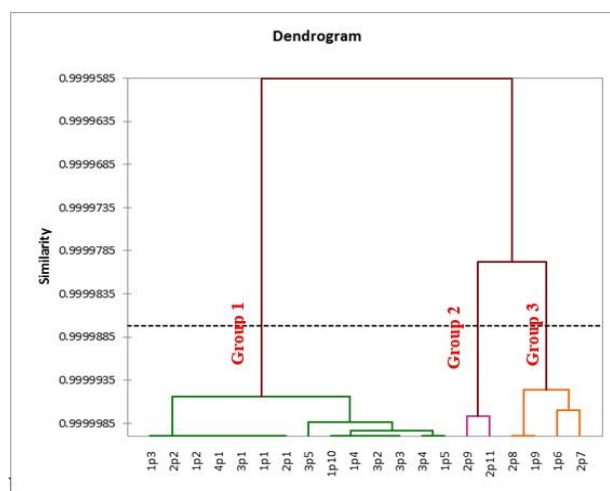
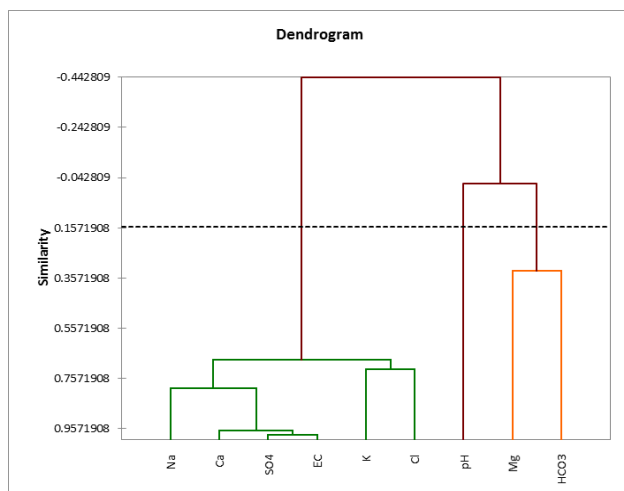
خروجی سد) و در زون دریاچه‌ای واقع شده‌اند. نمونه‌های این گروه دارای تیپ آب سولفات - کلسیم (شکل ۵) هستند و از کیفیت نامطلوب‌تری در میان گروه‌های دیگر برخوردار می‌باشند. عمده نمونه‌های گروه اول دارای سختی و مجموع املاح زیاد هستند و با توجه به تقسیم‌بندی شولر (Schoeller, 1965) (جدول ۶) در رده خیلی بد و نامناسب جهت مصرف شرب قرار می‌گیرند. سختی زیاد نمونه‌های این گروه به خاطر غلظت زیاد Ca و Mg می‌باشد. گروه دوم در بخش مرکز مخزن دریاچه سد و در زون انتقالی واقع شده‌اند. تیپ آب نمونه‌های این گروه عمدتاً سولفات - منیزیم است (شکل ۵) و دارای کیفیت آب حد واسط دو گروه دیگر می‌باشند. سختی و مجموع املاح نمونه‌های گروه دوم کمتر از نمونه‌های گروه اول است و در رده بد تا متوسط جهت مصرف شرب قرار می‌گیرند. گروه سوم در بخش شمال شرقی (بخش ابتدایی) و در زون رودخانه‌ای واقع شده‌اند. این گروه شامل دو نمونه 2p11 و 2p9 می‌باشد که به ترتیب دارای تیپ آب سولفات - منیزیم و بی‌کربناته - منیزیم هستند (شکل ۵) و از کیفیت بهتری در میان گروه‌های دیگر برخوردار می‌باشند. نمونه‌های گروه سوم دارای سختی و مجموع املاح کمتری هستند و با توجه به جدول ۶ در رده متوسط تا خوب جهت مصرف شرب قرار می‌گیرند.

لامبدا بسیار ناچیز این دو متغیر ($Cl=0.052$ and $SO_4=0.010$) نشان از قدرت تفکیک بالای این مدل توابع تشخیص است. همان طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود مقادیر بسیار زیاد ضریب همبستگی کانونی و بردار ویژه نیز نشان‌دهنده درصد بالای صحت طبقه‌بندی ایجادشده توسط دیگر روش‌های آنالیز چند متغیره است. نتایج الگوهای حاصل از HCA به دو روش R-mod و Q-mod در شکل ۴ در قسمت a و b نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد سه گروه (خوشه) آب با کیفیت متفاوت مشاهده می‌شد. بررسی نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای در این پژوهش نشان می‌دهد که طبقه‌بندی انجام‌شده با این روش، کاملاً منطبق با تقسیم‌بندی انجام‌شده توسط (Kimmel and Greoger, 1984) است. مطابق این تقسیم‌بندی، سه زون کیفی متفاوت در مخازن سدهای رودخانه-ای وجود دارد. در زون رودخانه‌ای (Riverine Zone)، زون انتقالی (Transitional Zone) و زون دریاچه‌ای (Lacustrine Zone). نتایج حاصل از این آنالیز با نتایج حاصل از PCA کاملاً منطبق می‌باشد و سه گروه آب با کیفیت متفاوت تشخیص داده شد و در تقسیم‌بندی پارامترهای شیمیایی متأثر در کیفیت آب نیز با عوامل ایجاد واریانس روش PCA منطبق می‌باشد. همچنین جهت تشخیص تیپ نمونه آب از دیاگرام پایپر استفاده گردید. نمونه‌های گروه اول در بخش جنوبی غربی سد (مجاور دهانه

جدول ۴- مقادیر بردار ویژه و ضریب همبستگی کانونی تابع تشخیص.

Table 4. Specific vector values and focal correlation coefficients of the detection function.

Function	Special amount	Variance	Frequency	Canonical correlation
1	32.559	94.1	94.1	0.985
2	2.051	5.9	100	0.820



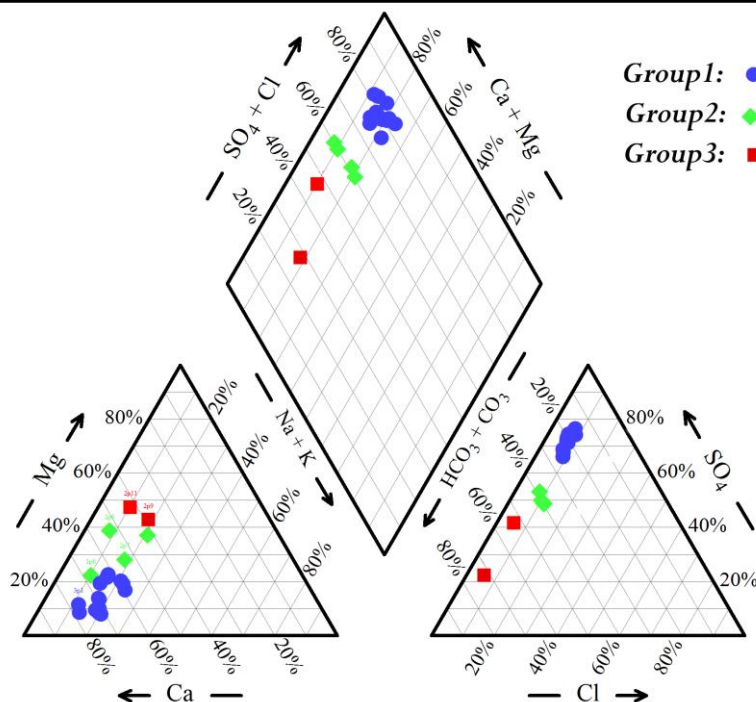
شکل ۴- دندروگرام نمونه‌های آب دریاچه سد جره؛ (a) دندروگرام پارامترهای نمونه‌های آب دریاچه سد جره به روش R-mod و (b) دندروگرام نمونه‌های آب دریاچه سد جره به روش Q-mod.

Fig. 4. Water samples dendrogram of Jareh dam lake; (a) Water samples parameters dendrogram of Jareh dam lake by R-mod method, and (b) Water samples dendrogram of Jareh dam lake by Q-mod method.

جدول ۵- گروه‌بندی نمونه‌های آب دریاچه سد جره مطابق با روش آنالیز خوشه‌ای.

Table 5. Classification of the samples for Jareh Dam Lake in accordance with the cluster analysis method.

Group 1	Sample: 1P1, 2P1, 3P1, 4P1, 1P2, 2P2, 3P2, 1P3, 3P3, 1P4, 3P4, 1P5, 3P5, 1P10
Group 2	Sample: 1P6, 2P7, 2P8, 1P9
Group 3	Sample: 2P9, 2P11



شکل ۵- نمودار پایپر نمونه‌های آب دریاچه سد جره.

Fig 5. Piper diagram of Jareh dam lake water samples.

جدول ۶- معیارهای استاندارد کیفیت آب شرب مطابق طبقه‌بندی شولر.

Table 6. Standard criteria for quality of fresh water according to Schuler classification.

Classification	The degree of water quality	TDS (mg/l)	T.H (mg/l)	Na(meq/l)	Cl (meq/l)	SO ₄ (meq/l)
1	High	280>	190>	10>	5>	5>
2	Medium	281-500	190-250	10-15	5-10	5-10
3	Low	501-1000	251-600	460-230	11-20	11-15
4	Very low	1001-3500	601-1550	920-460	21-30	16-25
5	Non-Drinking	3501>	1551<	1840<	31<	26<

۱ و ۲ نشان‌دهنده‌ی تبادل یونی معکوس هستند، که این امر باعث افزایش غلظت سدیم در آب می‌شود. به طور کلی سازند گچساران دارای مقدار زیادی کلسیم و سولفات می‌باشد. اگر این سازند در محدوده مورد مطالعه دارای میان لایه نمکی باشد نسبت Na/Cl به عدد واحد نزدیک است. اگر در محلول‌های نمکی نسبت مولی $Ca + Mg/SO_4$ و Na/Cl نزدیک به عدد واحد باشد نشان‌دهنده این است که ژپیس و نمک منابع اصلی یون‌های موجود در آب می‌باشند. نسبت مولی $Ca + Mg/SO_4$ و Na/Cl نمونه‌های گروه ۱ به عدد واحد نزدیک‌تر ولی در گروه ۳ این نسبت دورتر است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که از مهمترین عوامل آلودگی و نامطلوب شدن کیفیت آب دریاچه سد جره انحلال رسوبات تبخیری ناشی از سازند گچساران، هوازدگی، تبخیر زیاد در منطقه و همچنین فعالیت‌های انسانی نسبت داد. به منظور بررسی تأثیر لیتولوژی سنگ‌های دربرگیرنده، تعیین مکانیسم حاکم بر جریان آب و ترکیب یون‌های اصلی موجود در آب از دیگرام گیبس استفاده می‌شود (Subbarao, 2001; Khazaie, 2001). همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود واکنش سنگ و آب از عوامل اصلی کنترل‌کننده کیفیت آب دریاچه سد جره است.

ارزیابی فرآیندهای ژئوشیمیایی حاکم بر منطقه مورد مطالعه

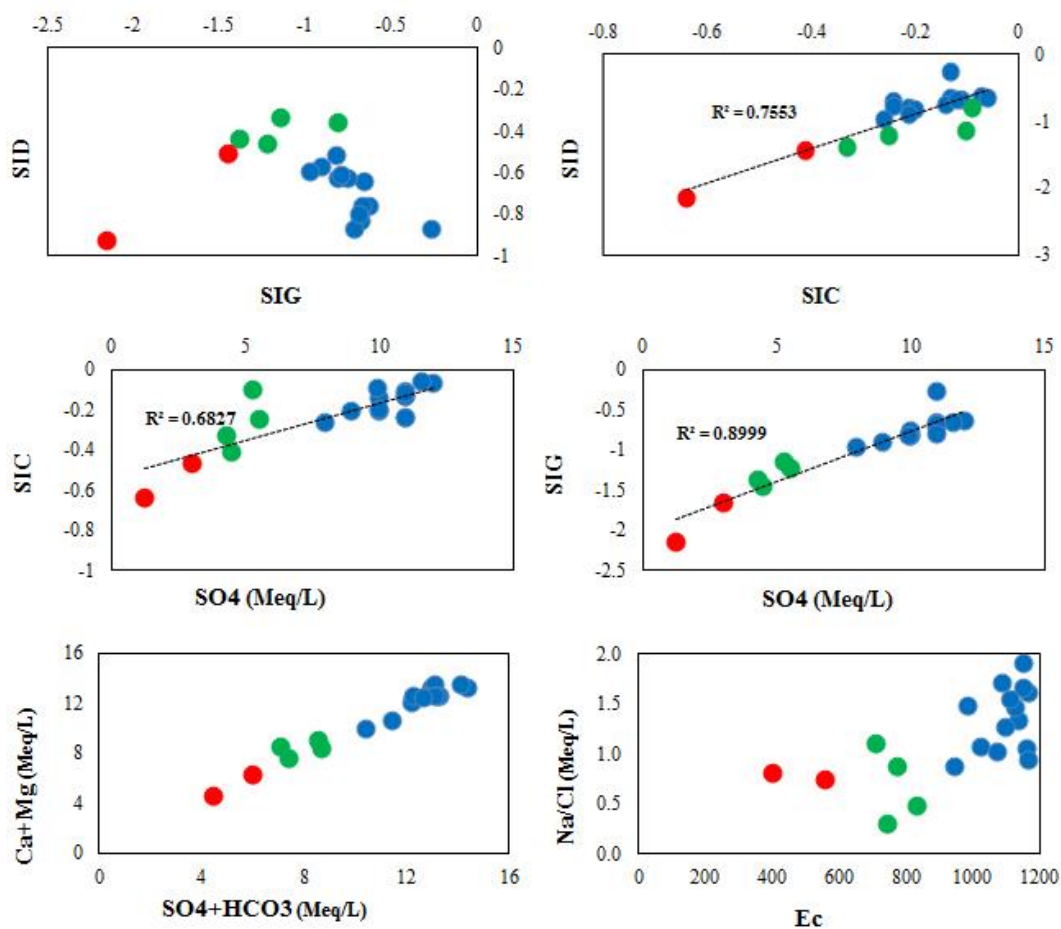
نمایه‌های اشباع برای تعیین حالت تعادل آب مفید است (Parkhurst and Appelo, 1999). مقادیر نمایه‌های اشباع محاسبه‌شده کلسیت، دولومیت، ژپیس و هالیت نمونه‌های آب دریاچه سد جره در جدول ۷ ارائه گردیده است. نمودار دو متغیره نمایه‌های اشباع ژپیس در مقابل نمایه‌های اشباع کلسیت و دولومیت (شکل ۶) نشان می‌دهد که همه نمونه‌ها در حالت تحت اشباع قرار دارند و هرچه فاصله به طرف خروجی سد (زون دریاچه‌ای) کمتر می‌شود، شاخص اشباع نمونه‌ها افزایش می‌یابد. نمودار غلظت یون سولفات در مقابل شاخص اشباع ژپیس و کلسیت نیز نشان‌دهنده انحلال بیشتر یون سولفات به سمت بخش جنوبی غربی سد (خروجی سد) است. افزایش غلظت سولفات و کلسیم در آب ناشی از انحلال رسوبات فرسایشی سازند گچساران در منطقه مورد مطالعه است.

جهت تعیین فرآیندهای تبادل یونی و تبادل یونی معکوس در منطقه از نمودارهای دو متغیره $Ca + Mg$ در مقابل $SO_4 + HCO_3$ و Na/Cl در مقابل EC استفاده شده است. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود نمونه‌های گروه ۳ تبادل یونی را نشان می‌دهند ولی عمده نمونه‌های گروه

جدول ۷- شاخص اشباع و نسبت‌های یونی کانی‌ها و یون‌های مورد مطالعه.

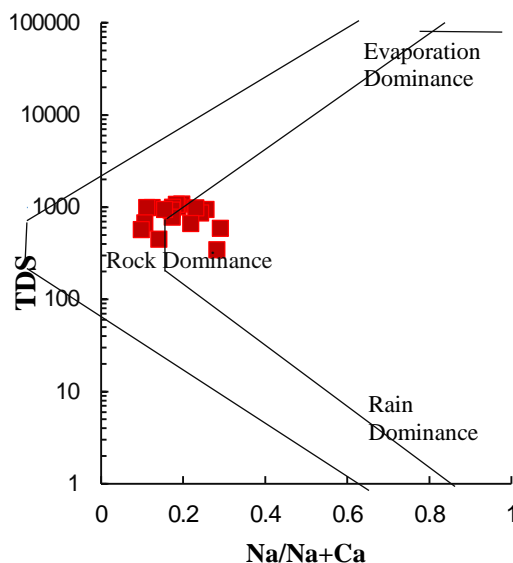
Table 7. Saturation index and ionic ratios of minerals and target ions.

Station	Saturation Index				Ionic Ratio			
	Calcite	Dolomite	Gypsum	Halite	Ca+Mg/SO4	Na/Cl	Ca+Mg	HCO3+SO4
1p1	-0.13	-0.87	-0.26	-7.33	1.20	1.06	13.2	13
2p1	-0.07	-0.76	-0.63	-7.11	1.10	1.9	13.2	14.4
3p1	-0.13	-0.76	-0.66	-7.41	1.23	0.94	13.5	13.1
4p1	-0.11	-0.83	-0.67	-7.15	1.14	1.61	12.5	13.3
1p2	-0.06	-0.64	-0.65	-7.14	1.16	1.65	13.5	14.1
2p2	-0.24	-0.87	-0.71	-7.24	1.14	1.33	12.5	12.8
3p2	-0.14	-0.63	-0.75	-7.25	1.24	1.27	12.4	12.3
1p3	-0.12	-0.8	-0.68	-7.19	1.15	1.47	12.6	13.2
3p3	-0.21	-0.63	-0.81	-7.04	1.20	1.71	12	12.2
1p4	-0.2	-0.52	-0.82	-7.3	1.25	1.08	12.5	12.3
3p4	-0.21	-0.57	-0.9	-7.18	1.18	1.47	10.6	11.45
1p5	-0.24	-0.61	-0.79	-7.4	1.14	1.55	12.5	13.1
3p5	-0.26	-0.6	-0.97	-7.41	1.24	0.87	9.9	10.4
1p6	-0.1	-0.34	-1/14	-7.69	1.71	0.48	9	8.55
2p7	-0.25	-0.46	-1/22	-7.23	1.52	1.10	8.35	8.7
2p8	-0.33	-0.44	-1/38	-7.92	1.97	0.30	8.45	7.1
1p9	-0.41	-0.51	-1/45	-7.42	1.69	0.88	7.6	7.4
1p10	-0.09	-0.36	-1/81	-7.35	1.25	1.03	12.4	12.65
2p9	-0.64	-0.93	-2.15	-8.44	3.60	0.80	4.50	4.45
2p11	-0.47	-0.64	-1/66	-8.32	2.07	0.75	6.20	6



شکل ۶- نمودارهای دو متغیره نسبت‌های شاخص اشباع و تبادل یونی.

Fig 6. Two-variable charts for the ratios of saturation index and ionic exchange.



شکل ۷- نمودار گیبس نمونه‌های آب دریاچه سد جره.

Fig. 7. Gibbs diagram for the samples of Jareh dam lake.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تکنیک‌های آماری چند متغیره مختلف برای ارزیابی فرآیندهای کنترل‌کننده کیفیت منابع آب سطحی، طبقه‌بندی و آنالیز مکان‌های نمونه‌برداری به همراه ترسیم دیاگرام‌های هیدروشیمیایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مطابق طبقه‌بندی HCA به روش Q-mod، ۲۰ نمونه منابع آب محدوده مورد مطالعه در سه خوشه متمایز واقع شده‌اند. نمونه‌های گروه ۱ که در بخش مجاور دهانه سد قرار دارند کیفیت نامطلوب-تر و نمونه‌های گروه ۳ در بخش ابتدایی سد (محل اتصال رودخانه و دریاچه) کیفیت مطلوب‌تری را نشان داده‌اند.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی ۸۱٫۸۷ درصد از کل تغییرات در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مؤلفه اول به‌عنوان مهم‌ترین عامل ۶۳/۷۳ درصد از تغییرات را نشان می‌دهد. این فاکتور نشان‌دهنده تغییرات زیاد EC، TDS، TH، یون‌های SO_4^{2-} ، Ca^{2+} و پس از آن Na^+ ، Fe^{2+} ، Cl^- ، K^+ ، HCO_3^- و NO_3^- است. تغییرات این عوامل نشان می‌دهد که واکنش سنگ و آب از عوامل اصلی تأثیرگذار بر کیفیت منابع آب در محدوده مورد مطالعه است.

منابع

- Amangabara, G.T., Ejenma, E., 2012. Groundwater quality assessment of Yenagoa and environs Bayelsa State, Nigeria between 2010 and 2011. Resources and Environmental 2, 20–29.
- Azhar, S.C., Aris, A.Z., Yusoff, M.K., Ramli, M.F., Juahir, H., 2015. Classification of river water quality using multivariate analysis. Procedia Environmental Sciences 30, 79-84.
- Barakat, A., El Baghdadi, M., Rais, J., Aghezzaf, B., Slassi, M., 2016. Assessment of spatial and seasonal water quality variation of Oum Er Rbia River (Morocco) using multivariate statistical techniques. International Soil and Water Conservation Research 4, 284-292.
- Belkhiri, L., Boudoukha, A., Mouni, L., 2011. A multivariate statistical analysis of groundwater chemistry data. International Journal of Environmental Research 5, 537-544.
- Carroll, S.P., Dawes, L., Hargreaves, M., Goonetilleke, A., 2009. Faecal pollution source identification in an urbanising catchment using antibiotic resistance profiling, discriminant analysis and partial least squares regression. Water research 43, 1237-1246.
- Chitsazan, M., Eilbaighi, M., Pourtabari, M.R., 2018. Evaluation of groundwater nitrate pollution based on the main

تحلیل تشخیص کاربرد گروه‌های ایجاد شده توسط CA را به صورت ۱۰۰ درصد صحیح ارزیابی می‌کند. نتایج حاصل از تحلیل تشخیص در این تحقیق ۲ تابع تشخیص است که متغیرهای Cl و SO_4 را به عنوان بیشترین عامل تمایز و تشخیص در بین گروه‌های ایجاد شده معرفی می‌کند. همچنین نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های اشباع، نسبت‌های یونی و نمودار گیبس، نشان‌دهنده انحلال و هوازدگی کانی‌های تبخیری در منطقه مورد مطالعه است. منشأ این کانی‌ها سازند گچساران است که مخزن سد جره بر روی آن واقع شده است. به طور کلی نتایج حاصل از بررسی‌های آماری (تکنیک‌های چند متغیره) و هیدروژئوشیمیایی نشان می‌دهند که عوامل زمین‌شناسی (خصوصاً واکنش سنگ و آب) و فعالیت‌های انسانی محلی (فعالیت‌های کشاورزی) از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب سد جره می‌باشند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از حمایت و مساعدت مالی مدیریت محترم دفتر سد و نیروگاه و دفتر پژوهش‌ها کاربردی سازمان آب و برق خوزستان و همچنین همکاری گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز در انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

- components method and factor analysis (Case study: Karaj plain aquifer). *Journal of Ecohydrology* 4, 1119-1133.
- 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* 3, 294-313.
- Dinka, M.O., Loiskandl, W., Ndambuki, J.M., 2015. Hydrochemical characterization of various surface water and groundwater resources available in Matahara areas, Fantalle Woreda of Oromiya region. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 3, 444-456.
- Environmental Protection Agency (EPA), 2006. Final Revisions to the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Pollution Environmental Protection Agency, United States of America.
- Esakkimuthu, K., Kumar, K.V., Ponram, P., 2015. Assessment of water-polluting sources by multivariate statistical methods in Putheri Lake, Kanyakumari, Tamil Nadu, India [08° 12' 27.1 "N 77° 25' 54.7 "E]. *Sustainable Water Resources Management* 4, 349-353.
- Eskandari, A., Nouri, A., Rasooli, A., Vasali Naseh., M.R., 2014. Provide a new strategy for quality management of Sefidrood river based on focal correlation analysis method. *Environmental Research* 9, 79-86.
- Goldin, A., 2011. Relationships between aspect and plant distribution on calcareous soils near Missoula, Montana *Northwest Science* 3, 197-203.
- Gorji, H.M., Bavaghar, M.P., Ghahramani, L., 2015. Comparison of Logistic Regression and Discriminate Analysis in Recognition of the Factors Affecting on the Distribution of *Quercus Libanii* of Armardeh Forests at Baneh, Kurdistan Province. *Iranian Journal of Applied Ecology* 4, 79-88.
- Güler, C., Thyne, G.D., McCray, J.E., Turner, K.A., 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. *Hydrogeology Journal* 10, 455-474.
- Jafarian, Z., Arzani, H., Jafari, M., Zahedi, G., Azarnaivand, H., 2009. Determining the relationship between dominant plant species with environmental factors and satellite data with the help of logistic regression (Case study: Rineh rangelands of Mazandaran province). *Journal of Rangeland and Desert Research in Iran* 19, 371-383.
- Jobson, J.D., 1992. *Applied multivariate data analysis, Vol. II: Categorical and multivariate methods*. Springer-Verlag. 731-732.
- Kalantari, N., Rahimi, M.H., Akbari, A., 2009. Hydrochemical study of Mianab plain using statistical methods, hydrochemical diagrams and fuzzy logic. *Iranian Geological Quarterly* 9, 15-25.
- Khazaie, A., 2001. The Impact of Urban Expansion on groundwater quality in Zahedan. *Journal of Water and Sewage* 31, 37 – 39.
- Kheirfam, H., Vafakhah, M., 2015. Evaluation of gamma test, cluster analysis, discriminant function analysis and Andrews Curves methods to separate homogeneous watersheds for regional analysis of suspended sediment. *Journal of Soil and Water Resources Conservation* 4, 65-85.
- Kimmel, B.L., Groeger, A.W., 1984. Factors controlling primary production in lakes and reservoirs: a perspective. *Lake and Reservoir Management* 1, 277-281.
- Mokhtari, H.R., Espahbod, M.R., 2009. The investigation of hydrodynamic parameters potentiality of the Varamin plain regarding the variation of salinity gradient. *Iranian Geological Quarterly* 2, 27-47.
- Nosrati, K., Darafshi, Kh., Gharechahi, S., Rahimi, Kh., 2011. Evaluation of surface water quality of Haraz-Qarasu watershed using multivariate statistical techniques. *Earth Knowledge Research* 5, 41-55.
- Noushadi, M., Azarpikan, A., Nouhegar, A., 2009. Investigating the quality of drinking water in Bandar Abbas using cluster analysis and factor analysis. *Journal of Iranian Water Research* 5, 79-82.
- Parkhurst, D.L., Appelo, C., 1999. *User's guide to PHREEQC (Version 2): A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations*.
- Pielou, E.C., 1977. *Mathematical Ecology*. John Wiley and Sons, New York.
- Rezaei, R., Zareai Mohammad Aadi, H., Kalantari, N., Aliari, Z., 2015. Assessment the water quality of Maroun Dam reservoir using multivariate statistical analysis method based on correlation and changes in water quality data, *Behbahan. Advanced Applied Geology* 19, 82-88.
- Richard, A. J., Dean, W.W., 2002. *Applied multivariate statistical analysis*: London: Prentice Hall. 265.
- Schoeller, H., 1965. Qualitative evaluation of groundwater resources. In: *Methods and techniques of groundwater investigations and development*. UNESCO, Paris. 54–83.
- Shrestha, S., Kazama, F., 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software* 4, 464-475.
- StatSoft Inc, 2004. *STATISTICA (Data Analysis Software System)*, Version 6.
- Steinhorst, R.K., Williams, R.E., 1985. Discrimination of groundwater sources using cluster analysis, MANOVA, canonical analysis and discriminant analysis. *Water Resources Research* 8, 1149-1156.
- Subbarao, K., Mattimore, A., Plangemann, K., 2011. *Social protection of Africa's orphans and other vulnerable children: Issues and Good Practice Program Options*, World Bank, Africa Region.
- Usunoff, E.J., Guzma'n-Guzma'n, A., 1985. Multivariate analysis in hydrochemistry: an example of the use of factor and correspondence analyses, *Ground Water* 27, 27-34.

Zhao, Y., Xia, X., Yang, Z., Wang, F., 2012. Assessment of water quality in Baiyangdian Lake using multivariate statistical techniques. *Procedia Environmental Sciences* 6, 1213-1226.