

Determining the Origin of Chemical and Biological Pollutants in the Water of Mighan Wetland in Arak

Feridon Ghadimi^{1*}

1- Associate Professor of Geology, Department of Mining Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran

(*Corresponding Author Email: ghadimi@arakut.ac.ir)

1. Introduction:

Pollution of wetlands is important because, in addition to damaging the ecosystem of a wetland and destroying living organisms, it can also be dangerous to the health of people living nearby. The entry of chemical fertilizers, municipal sewage, hazardous hospital and industrial wastewater into the wetlands, as well as the disposal of waste in their vicinity, can contaminate the wetland. One of the most important factors that put wetlands in a serious danger and has a very destructive effect on their fauna and flora is biological pollution caused by human activities and land use. Wetlands' water resources often contain chemical impurities. These impurities are caused by air pollution, soil pollution, or pollutants caused by human activities that are discharged into the environment in the form of solid and liquid waste. In addition to human activities affecting wetland pollution, the natural conditions prevailing in the wetland area are also effective in the chemical composition of wetlands. The rocks above each wetland determine the chemical composition of its water and soil resources.

The central wetlands of Iran, including the Mighan Arak wetland, are mostly saline and their salinity has reached the groundwater aquifers of the adjacent plains due to human interference. This phenomenon, which has been a kind of human pollution under the advancing salinity front in aquifers, is seen in most coastal aquifers and central aquifers in Iran. Arak Mighan wetland is one of the wetlands of central Iran that is salty. Local and migratory birds, local animals, and aquatic animals benefit from the Mighan wetland. The most important water sources that feed the wetland are groundwater, treated wastewater from the city of Arak, and surface runoff in the wet months. The purpose of this study is to identify the chemical and biological pollutant variables of wetland water in comparison with drinking standard water to identify chemical and biological pollutant variables and to determine the most important natural and human sources of pollution in wetland water pollution using multivariate statistical analysis.

2. Materials and Methods:

Arak watershed with an area of 5500 Km² is a closed area. About 62% of the area is covered by highlands, 36% by plains, and 2% by the Mighan wetland. The average annual temperature and rainfall in Arak are 14° and 350 mm, respectively. The wetland consists of two parts: the island in the center, and the lake around the island which has an average water depth of half a meter. The Mighan wetland alluvium with a thickness of 300 meters is located on the limestone rocks of Cretaceous formation.

Thirty-two water samples in the fall of 1397 (2018) from different uses (6 island samples, 6 lake samples, 10 agricultural well samples, 1 sample of Amlah company, 2 industrial effluent samples, 4 Arak urban sewage samples, and 3 repeated samples to determine the results tests) were taken from the lagoon and surrounding water resources. The measured variables included: electrical conductivity, calcium, magnesium, potassium, sodium, chlorine, sulfate, fluoride, nitrate and phosphate, bicarbonate, BOD, and COD. The accuracy of the data was about one milligram per liter.

The data were analyzed using Excel, Statistica, RockWare, and ArcGIS software. Among the various variables, 11 of the chemical and biological variables were selected and their concentrations in saline and freshwater were compared with the international drinking standards.

3. Discussion:

The water is concentrated in the Mighan wetland of Arak in the two uses of the ponds (ponds resulting from the extraction of sodium sulfate in the central island) and the lake (around the central island). Uses such as mineral water wastewater, Arak municipal treated wastewater, industrial effluent,

and agricultural wells are considered as potential sources of pollution for the water of the Mighan wetland. The high concentration of chemical compounds such as EC, TDS, SO_4 , and Cl above the drinking standard showed the nature of the salinity of the water in the Mighan wetland. A study of the salinity origin of Mighan water showed that salinizing variables such as SO_4 and Cl anions, as well as cations such as Na and K, were related to gypsum and salt rocks in the northern highlands (Ashtian region) of the Mighan area. A similar trend has shown that the dissolution of evaporative minerals from the heights of the Torbat-e Heydariyeh plain and transfer to groundwater has caused all of the plain's waters to be of the sodium chloride and sodium sulfate types. An examination of the inflows of surface water and groundwater to the Mighan wetland showed that the northern waters of the wetland had the SO_4 -Cl-Na type and the southern waters had HCO_3 -Ca type. Mixing of surface water and groundwater with the Mighan wetland water has caused the SO_4 - HCO_3 -Na-Ca type. The effluent of the Iranian Salt Company (extracting sodium sulfate from the basins of the central island) had high EC, TDS, SO_4 , and Cl. About 60 percent of the water in the wells around the wetland, which was used for agriculture, was almost salty due to the high EC, TDS, SO_4 , and Cl. The compatibility of SO_4 and Cl agricultural waters was almost salty with SO_4 and Cl. The Mighan wetland water indicated the salinity of the region's wells from the wetland water. A similar trend of groundwater salinization in the Shabestar plain indicated the infiltration of saline water from Lake Urmia into the groundwater aquifer of the adjacent plain.

Factor analysis was used to determine the relationship between chemical compounds and to investigate the origin of compounds. In factor analysis, three factors explained 88.9% of the variance. The first factor (56.96%) included EC, TDS, SO_4 , and Cl. The second factor included F, NH_3 . The third factor included PO_4 , HCO_3 . Given the first factor of factor analysis and the effectiveness of variables such as EC, TDS, SO_4 , and Cl, as well as the increase in this factor in the zoning map to Mighan wetland, it is obvious that the salinity of the wetland and effluent of the company is natural salts, while the salinity of the wells around the Mighan lagoon is the result of human activity. In the zoning map, the second factor with variables F, NH_3 had a focus on the water area of the wetland (island and lake) of Mighan. Also, due to the high share of NH_3 (0.91) compared to F (0.84) in factor analysis, the increase in NH_3 was the human factor while F was the natural factor. On the other hand, F, SO_4 , and Na have are found in waters that have been under the influx of brackish water from the Mighan wetland; therefore, F in the water of the wetland has a natural origin. The presence of F in some water of agricultural wells indicated the infiltration of saltwater in the Mighan wetland. On the other hand, NH_3 is found in only a small number of water samples in the Mighan wetland (ponds and lakes), which is higher than the standard drinking level. NH_3 is a source of organic nitrogen compounds and bacteria. The third factor involved factor analysis of PO_4 and HCO_3 , in which the role of PO_4 was more pronounced. The PO_4 of Mighan Lake, urban sewage, and industrial wastewater were far higher than the standard. Phosphate was introduced into surface, groundwater, and wetlands through domestic wastewater (containing synthetic cleaners) or agricultural effluents, or industrial wastewater. Phosphorus is one of the essential elements for the growth of algae. More than 70% of the phosphorus compounds in wastewater are due to the use of detergents. Since the concentration of PO_4 in treated wastewater is very high, sewage is the source of human pollution in the wetland. On the other hand, the high concentration of PO_4 in the water entering the wetland has caused a large growth of plants in the area.

The concentration of bicarbonate ions (HCO_3) in the water composition of Mighan Wetland Lake and some wells in the southern part of the Mighan wetland was high while its concentration in other waters was lower than the standard. Bicarbonate indicates the presence of limestone. Due to the dissolution of calcareous and dolomite rocks, bicarbonate compounds have been obtained that have been directed to surface and groundwater. The southern part of the Mighan wetland is composed of Cretaceous limestone and dolomite rocks, which have been the most important source of bicarbonate of water in the Mighan wetland and wells in the region. High levels of bicarbonate ions are natural contaminations that are not controlled by humans.

Studies have shown that in saline waters with a chlorine concentration of more than 35,000 mg per liter, even if there are small amounts of organic matter, the amount of BOD and COD is exaggerated. Since the water of the Mighan wetland has a Cl of more than 35000 mg per liter, so BOD and COD in the water of the wetland have not been suitable criteria for biological pollution.

4. Conclusion:

Arak's treated municipal wastewater, the effluent of the Minerals and Industries Solutions Company, as well as the surrounding groundwater have been the most important sources of human pollution that have the potential to pollute the wetland's water. Due to the fact that groundwater is located downstream of agricultural lands and large industries, no chemical and biological pollutants from agricultural and industrial effluents have been seen in the water of the Mighan wetland. Arak treated wastewater is the most important source of water entering the wetland, which has introduced phosphate and ammonia into the water of the wetland. Therefore, the water of the Mighan wetland is without chemical and biological pollution and the only effect of the wetland can be the salt forward. This phenomenon is due to the drop in the groundwater level in the region with human intervention. Therefore, basic measures must be taken to raise the groundwater level during the aquifer management operations in the plains around the wetland and to control the drainage of wells and the removal of unauthorized wells.

Keywords: Pollutants, Factor Analysis, Water Use, the Mighan Wetland, Arak.

References:

- Abdi, L., & Rahimpour Bonab, H. (2012). *Hydrology and Hydrochemistry of Mighan Playa in Relation to Geological Formations in the Region*. 16th Conference of Iranian Geological Society, Shiraz, Shiraz University.
- Abedini, A., Mirzajani, A., & Fallahi, M. (2018). Physicochemical Conditions and Trophic Levels of the Anzali Wetland. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 26(6), 113-123.
- Adesuyi, A. A., Nnodu, V. C., Njoku, K. L., & Jolaoso, A. (2015). Nitrate and Phosphate Pollution in Surface Water of Nwaja Creek, Port Harcourt, Niger Delta, Nigeria. *International Journal of Geology, Agriculture and Environmental Sciences*, 3(5), 14-20.
- Allahdadi, M., & Ghadim, F. (2014). *Investigation of Environmental Effects of Sodium Sulfate Mine on Mighan Playa*. 32nd National & the 1st International Geosciences Congress.
- Asghari Moghadam, A., & Mohammadi, A. (2003). Sources of Salinity in Groundwater of Shabastar Plain Aquifers. *Journal of Agricultural Science*, 13(3), 69-78.
- Atta Maleki, A., Sadeghi, Sh., Dolati, M., Gholami, M., & Ghorbanpour, R. (2015). Measuring and Monitoring of Organic Matter and Nutrients along Chenaran River of Bojnurd. *Journal of Safety Promotion and Injury Prevention*, 3(1), 67-74.
- Azizi, F., Asghari Moghadam, A., & Nezami, A. H. (2017). Evaluation of Groundwater Salinity and Explanation of the Origin of Ions in the Coastal Aquifer of Malekan Plain Using Ion Ratios. *Journal of Environmental Studies*, 43(3), 437-454.
- Basatnia, N., Hossein, S. A., Rodrigo-Comino, J., Khaledian, Y., Brevik, E. C., Aitkenhead-Peterson, J., & Natesan, U. (2018). Assessment of Temporal and Spatial Water Quality in International Gomishan Lagoon, Iran, Using Multivariate Analysis. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 190(5), 1-17.
- Binay Motlagh, A. (2010). *Instructions and Methods for Measuring Physicochemical Agents and Toxic Mineral Chemicals in Drinking Water*. Tehran: Ministry of Health and Medical Education.
- Fallah, M., Fakhran Isfahani, S., Pir Ali Zafraei, A. R., & Farhadian, A. (2013). *Monitoring Changes in the amounts of Heavy Metals, Phosphate and Nitrogen in Anzali International Wetland*. The First National Conference on Sustainable Management of Soil Resources and Environment, Kerman, Shahid Bahonar University of Kerman.
- Fathi, P., Isa Ebrahimi, A., & Ismaili, A. R. (2015). Choghakhor Water Quality Assessment Using WQS Index. *Journal of Animal Environment*, 7(3), 119-128.
- Ghadimi, F., & Ghomi, M. (2012). Statistical Analysis of the Hydrogeochemical Evolution of Groundwater in Alluvial Aquifer of Arak Mighan Playa, Markazi Province, Iran. *Journal of Water Sciences Research*, 4(1), 31-45.
- Ghadimi, F., & Ghomi, M. (2013). Geochemical Evaluation of Drinking Water in Arak City, Iran. *Iranian Journal of Earth Sciences*, 5(2), 54 -65.

- Ghadimi, F., Ghomi, M., & Azimi, R. (2015). Sources of Nitrate and Bromide Contaminants of Groundwater in Alluvial Aquifer of Arak, Iran. *Journal of Tethys*, 4(2), 100-115
- Gradilla-Hernández, M. A., Anda, J., Garcia-Gonzalez, A., Meza-Rodríguez, D., Yebra Montes, C., & Perfecto-Avalos, Y. (2020). Multivariate Water Quality Analysis of Lake Cajititlán, Mexico. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 192(1), 1-22.
- Haghparast, M., Pir Kharati, H., & Mohammadi, A. (2013). *Investigation of Salinity Origin of Groundwater in Rashkan Plain*. The Second National and Specialized Conference on Environmental Research in Iran, Hamedan, Shahid Mofteh University.
- Hassani Pak, A. (1982). *Principles of Geochemical Exploration*. Tehran: University Publishing Center.
- Hoguane, M. A. (2010). *Dissolved Oxygen and Biochemical Oxygen Demand in the Jeremias Joaquim Mocuba*. Master Thesis in Chemical Oceanography, Geophysical Institute, University of Bergen, Norway.
- Iscen, C. F., Emiroglu, O., Ilhan, S., Arslan, N., Yilmaz, V., & Ahiska, S. (2008). Application of Multivariate Statistical Techniques in the Assessment of Surface Water Quality in Uluabat Lake, Turkey. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 144(1), 269–276.
- Jafari, R., & Bakhshandehmehr, L. (2014). Analyzing the Spatial Variations of Groundwater Salinity and Alkalinity in Isfahan Province Using Geostatistics. *Journal of Water Soil Science*, 18(68), 183-195.
- Khodabakhsh, S., Rafiei, B., Afsharnia, M., Kabiri, S., & Ikhlasmand, R. (2015). Identification of the Origin of Water Soluble Substances in Khorrood Qazvin River by Statistical Method. *Quaternary Journal*, 2(4), 367-378.
- Lahijani, H., Haeri Ardakani, O., Sharifi, A., & Naderi Beni, A. (2010). Sedimentological and Geochemical Characteristics of the Gorgan Bay Sediments. *Journal of Oceanography*, 1(1), 45-55.
- Moghimi, M. M., & Amin, S. (2016). Consideration of Effective Factors on Un-Ionized Ammonia Concentration and Effect of this Material on Aquatic Organisms in the Kor River. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 6(2), 37-47.
- Mohajerani, Sh., & Amini, A. (2000). *Sedimentology of Miqan Desert with a Special Approach and How to Evaporate Deposits*. The Fourth Conference of the Geological Society of Iran, Tabriz, University of Tabriz.
- Mozaffarizadeh, J., & Sajjadi, Z. (2013). Investigation of Saline Water Intrusion in the Borazjan Freshwater Aquifer from the Dalaki and Helleh Rivers. *Journal of Water Resources Engineering*, 6(16), 69-78.
- Muharram Nejad, N. (1999). *Environmental Rules and Standards*. Tehran: Environmental Protection Agency.
- Nakhaei, M., Wadiati, M., & Saberi Nasr, A. (2011). *Evaluation of Hydrogeochemical Evolution of Torbat Heydariyeh Plain*. 15th Conference of Iranian Geological Society, Tarbiat Moallem University, Tehran.
- Perry, C., & Taylor, K. (2007). *Environmental Sedimentology*. London: Blackwell Publishing.
- Pisarska, P., Mikołajczak, W., Jaroszek, H., Nowak, M., Dylewski, R., & Cichy, B. (2017). Processing of Sodium Sulphate Solutions Using the EED Method: From a Batch Toward a Continuous Process. *Journal of Chemical Technology*, 19(1), 54-58.
- Samadi, J. (2016). Survey of Spatiotemporal Impact of Land Use on Water Quality in Chaghakhor Wetland Using IRWQI Index and Statistical Methods. *Journal of Iran-Water Resources Researches*, 11(3), 159-171.
- Shahbazi, R., & Feiznia, S. (2011). Geological Effects on Degradation of Surface Water and Groundwater Quality in Central Drainage Basin of Iran (Case Study: Cheshme-Ali Damghan Watershed). *Journal of Environmental Erosion Researches*, 1(1), 93-104.
- Sheikh Fakhradini, S., & Abbasnejad, A. (2015). The Influence of Weathering on Hydrogeochemistry of Streams Draining Volcanic Rocks: Bidkhan Stream, Southeast of Bardsir in Kerman. *Journal of Geography and Planning*, 19(53), 203-226.
- World Health Organization (WHO) (2017). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. Fourth Edition. Geneva: Incorporating the First Addendum.



تعیین منشأ آلاینده‌های شیمیایی و بیولوژیکی تالاب میقان اراک

فریدون قدیمی^{*}، دانشیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران

ghadimi@arakut.ac.ir

چکیده

تالاب میقان اراک از تالاب‌های آب شور است که به دلیل جذب پرندگان مهاجر و املاح تبخیری از نظر اکو و ژئوتوریسم اهمیت دارد. با ورود فاضلاب شهر اراک، پساب شرکت املاح و پساب صنایع به تالاب، سلامت پرندگان و آبزیان در معرض خطر است. هدف پژوهش حاضر، تعیین منابع آلاینده شیمیایی و بیولوژیکی تالاب میقان است؛ بر این اساس ۳۲ نمونه آب در کاربری‌های مختلف از آب شور و شیرین محدوده تالاب برای تعیین هدایت الکتریکی، غلظت کاتیون‌ها (کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم)، آنیون‌ها (کلر، سولفات، فلوئور، نیترات، فسفات، بی‌کربنات)، BOD و COD^۱ برداشت شد. مهم‌ترین آب‌های تغذیه‌کننده تالاب، آب‌های زیرزمینی و فاضلاب شهری است. آب‌های زیرزمینی آلودگی بیولوژیکی و نقشی در آلودگی آب تالاب ندارند. با پیشروی آب شور تالاب، شوری آب‌های زیرزمینی از استاندارد (WHO)^۲ ۱/۸۰ به ۳/۹۲ میکروموس بر سانتی‌متر افزایش یافته است. پساب ورودی شرکت املاح معدنی به آب تالاب با BOD برابر با ۲۹ نسبت به استاندارد ۳۰ میلی‌گرم در لیتر آلودگی بیولوژیکی ندارد. با ورود فسفات ۳/۳ بیش از استاندارد ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر فاضلاب شهری اراک به تالاب میقان، پوشش جنگلی انبوه ایجاد شده که سکونتگاه پرندگان محلی و مهاجر است. شوری زیاد آب تالاب برابر با ۲۰۹ میکروموس بر سانتی‌متر به دلیل سنگ‌های نمکی و گچی ارتفاعات شمالی است که منشأ ترکیب شیمیایی بزرگ‌ترین معدن سولفات سدیم ایران شده است.

واژه‌های کلیدی: آلاینده، تحلیل عاملی، کاربری آب، تالاب میقان، اراک

1. Biochemical oxygen demand
2. Chemical oxygen demand
3. World health organization

*نویسنده مسؤول

۱. مقدمه

تالاب‌ها به دلیل واقع شدن در پست‌ترین نقاط حوضه‌های آبخیز، معمولاً از تغییرات و تحولات بالادست تأثیر می‌پذیرند (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۱۳). کاهش آب ورودی به تالاب‌ها از منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه آبخیز و دشت‌های اطراف تالاب‌ها (تأمین‌نشدن حقابه زیست‌محیطی تالاب‌ها) و ورود انواع آلاینده‌های بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی گسیل شده از مزارع کشاورزی، شهرها، آبادی‌ها، صنایع و رسوبات ناشی از فرسایش خاک بالادست تالاب‌ها، مهم‌ترین مشکلاتی است که بر تالاب‌ها تأثیر می‌گذارد (لاهیجانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۴۵). تالاب‌ها، محیط‌های آبی بسته‌ای هستند که با توجه به تأثیرپذیر بودن از ترکیبات شیمیایی، محیط‌های آسیب‌پذیری محسوب می‌شوند. همین حساسیت باعث شده است چنین محیط‌هایی به ورود انواع آلاینده‌های مختلف طبیعی و انسانی پاسخ‌های سریع شیمیایی و بیولوژیکی دهند (Perry and Taylor, 2007: 125).

آلودگی تالاب‌ها به این دلیل اهمیت دارد که علاوه بر آسیب‌زدن به اکوسیستم یک تالاب و از بین بردن موجودات زنده، سلامت مردم مجاور را نیز به خطر می‌اندازد (فتحی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۱۹). ورود کودهای شیمیایی، فاضلاب شهری، فاضلاب‌های خطرناک بیمارستانی و صنعتی به تالاب‌ها و همچنین دفع پسماند در مجاورت آنها، تالاب‌ها را آلوده می‌کند (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۶؛ صمدی، ۱۳۹۵: ۱۵۹).

منابع آب تالاب‌ها بیشتر دربردارنده ناخالصی‌های شیمیایی است. این ناخالصی‌ها ناشی از آلودگی هوا، آلودگی خاک یا مواد آلاینده ناشی از فعالیت‌های انسانی است که به صورت فضولات جامد و مایع در محیط تخلیه می‌شوند (عظاملکی و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۷). آلاینده‌های شیمیایی با اشکال متفاوت که از زباله‌های صنعتی و فضولات جامد و مایع شهری حاصل شده است، منابع آب را بیش از پیش تهدید می‌کنند. حلال‌های شوینده، سیانید، فلزات سنگین، اسیدهای آلی و معدنی، مواد ازته، مواد سفیدکننده، رنگ‌ها، رنگ‌دانه‌ها، سولفیدها، آمونیاک، مواد سمی و انواع گوناگون ترکیبات آلی کشنده موجودات زنده از آلاینده‌های موجود هستند (فلاح و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۸)؛ علاوه بر فعالیت‌های انسانی مؤثر بر آلودگی تالاب‌ها، شرایط طبیعی حاکم بر حوضه تالاب نیز در ترکیب شیمیایی تالاب‌ها مؤثر است. سنگ‌های حوضه بالادست هر تالابی، ترکیب شیمیایی منابع آب و خاک آن را تعیین می‌کند (شیخ فخرالدینی و عباس‌نژاد، ۱۳۹۴: ۲۰۳). در اثر تجزیه سنگ‌های آذرین، عناصری چون سیلیس، پتاسیم، سدیم و آلومینیوم وارد آب‌ها می‌شود (خدابخش و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۶۷). در اثر انحلال سنگ‌های آهکی ترکیباتی چون کلسیم، منیزیم و یون‌های بی‌کربنات به آب اضافه می‌شوند. طبقات گچی و نمکی با افزایش یون‌های سولفات و کلر در آب همراه هستند (شهبازی و فیض‌نیا، ۱۳۹۰: ۹۳). از سویی تالاب‌های مرکزی ایران از جمله تالاب میقان اراک بیشتر شورند و شوری آنها به دلیل دخالت‌های انسانی به سفره‌های آب زیرزمینی دشت‌های مجاور راه یافته است. این پدیده که متأثر از جبهه پیش‌رونده شوری در آبخوان‌ها نوعی آلودگی انسانی بوده است، در بیشتر آبخوان‌های ساحلی و مرکزی ایران دیده می‌شود (مظفری‌زاده و سجادی، ۱۳۹۲: ۶۹؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۹۶: ۴۳۷).

پژوهش‌های زیادی در استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره در تحلیل داده‌های شیمیایی و بیولوژیک تالاب‌ها انجام شده است.

استفاده از تحلیل‌های آماری نظیر تحلیل عاملی، تحلیل خوشه‌ای و تحلیل مؤلفه اصلی روی ترکیبات شیمیایی و بیولوژیک آب دریاچه یولوبات^۱ ترکیه نشان داد عوامل میکروبی، مواد آلی و فیزیکوشیمیایی به ترتیب مهم‌ترین عوامل آلاینده دریاچه‌اند که از فعالیت‌های انسانی حاشیه دریاچه ناشی می‌شوند (Iscen et al., 2008: 269). بساطنیا و همکاران (2018) با تحلیل‌های آماری خوشه‌ای و عاملی، عوامل بیولوژیک و شیمیایی رسوبات و آب تالاب گمیشان را بررسی و مشخص کردند عوامل بیولوژیک نظیر غلظت مواد آلی و اکسیژن محلول، مهم‌ترین عوامل انسان‌زاد تغییر در دریاچه‌اند.

با تحلیل عوامل فیزیکوشیمیایی و بیولوژیک دریاچه کاجی تیتلان^۲ در مکزیک به روش‌های تحلیل مؤلفه اصلی و تحلیل عاملی مشخص شد منابع انسانی نظیر کود حاصل از فعالیت‌های کشاورزی و پساب صنایع اطراف دریاچه، مهم‌ترین منابع آلاینده نیترات، نیتريت و تغییر pH دریاچه‌اند (Gradilla-Hernández et al., 2020: 205).

تالاب میقان اراک، یکی از تالاب‌های ایران مرکزی و شور است. پرندگان محلی و مهاجر، حیوانات محلی و آبیان از تالاب میقان بهره‌مند می‌شوند. مهم‌ترین منابع آبی تغذیه‌کننده تالاب را آب‌های زیرزمینی، فاضلاب‌های تصفیه‌شده شهر اراک و در ماههای مرطوب رواناب‌های سطحی تشکیل می‌دهند. منابع آلاینده انسانی بزرگی چون شهرها (اراک و آشتیان)، روستاها، شهرک‌های صنعتی (شهرک صنعتی اراک، خیرآباد و ایبک‌آباد) و قطب بزرگی از فعالیت‌های کشاورزی در بالادست و حاشیه تالاب میقان اراک واقع شده است؛ همچنین منابع آلاینده طبیعی نظیر سازندهای گچی و نمکی در بخش شمالی تالاب میقان گسترش دارند (Ghadimi and Ghomi, 2013: 54).

هدف پژوهش حاضر، شناسایی متغیرهای آلاینده شیمیایی و بیولوژیک آب تالاب در دو کاربری حوضچه‌های مصنوعی (حفرشده توسط شرکت املاح ایران در بخش مرکزی جزیره برای دستیابی به ماده معدنی سولفات سدیم) و کاربری دریاچه (در پیرامون جزیره مرکزی) با مقایسه استاندارد شرب و شناسایی متغیرهای آلاینده شیمیایی و بیولوژیک سایر کاربری‌های آب از جمله آب چاههای کشاورزی اطراف تالاب، فاضلاب تصفیه‌شده شهر اراک، پساب شرکت املاح و صنایع اطراف به‌مثابه پتانسیل آلودگی آب تالاب است؛ همچنین مهم‌ترین منابع آلاینده طبیعی و انسانی مؤثر در آلودگی تالاب به روش آماری چندمتغیره تحلیل عاملی تعیین شد.

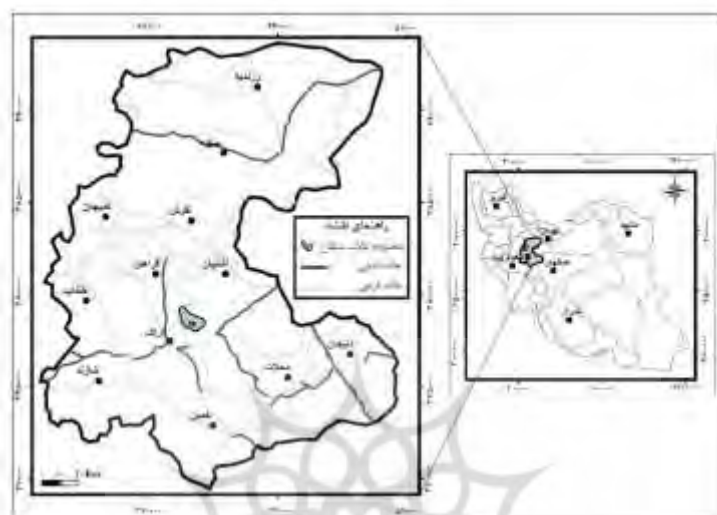
۲. روش پژوهش

۱.۲. موقعیت جغرافیایی منطقه

حوضه آبریز اراک با مساحت ۵۵۰۰ کیلومترمربع، حوضه بسته است (شکل ۱). حدود ۶۲ درصد از مساحت حوضه را ارتفاعات، ۳۶ درصد را دشت و ۲ درصد (۱۱۰ کیلومترمربع) را تالاب میقان تشکیل داده است. بلندترین نقاط ارتفاعی حوضه به کوههای سفید خانی و نقره کمر با ارتفاع ۳۰۸۰ تا ۳۱۷۰ متر از سطح دریا در جنوب و شمال شرق و پست‌ترین نقطه ارتفاعی حوضه به تالاب میقان با ارتفاع ۱۶۵۰ متر از سطح دریا مربوط است. درجه حرارت و

1. Uluabat
2. Cajititlan

بارندگی متوسط سالیانه حوضهٔ اراک به ترتیب ۱۴ درجهٔ سانتی‌گراد و ۳۵۰ میلی‌متر است. تالاب از دو بخش جزیره در مرکز و دریاچه در اطراف جزیره تشکیل شده که عمق متوسط آب در دریاچه نیم‌متر است. استخراج سولفات سدیم مربوط به شرکت املاح ایران از جزیره انجام می‌شود. آبرفت تالاب میقان با ضخامتی بیش از ۳۰۰ متر روی سنگ‌های آهکی کرتاسه واقع شده است و دو گسل بزرگ تلخاب در شمال و گسل تبرته در جنوب، گودی بزرگ تالاب را از ارتفاعات جدا می‌کند (Ghadimi and Ghomi, 2013: 54).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی تالاب میقان اراک در ایران و استان مرکزی

Fig. 1. Geographical location of Arak Mighan playa in Iran and Markazi province

۲.۲. نمونه‌برداری و تجزیه

با توجه به وسعت و اهمیت کاربری‌ها، ۳۲ نمونه آب در پاییز سال ۱۳۹۷ از کاربری‌های مختلف (۶ نمونه جزیره، ۶ نمونه دریاچه، ۱۰ نمونه چاه کشاورزی، ۱ نمونه پساب شرکت املاح، ۲ نمونه پساب صنایع، ۴ نمونه فاضلاب شهری اراک و ۳ نمونه تکراری برای تعیین نتایج آزمایش‌ها) از تالاب و منابع آبی اطراف آن با ظروف پلی‌اتیلن برداشت شد که با اسیدکلریدریک و سپس آب مقطر شسته شده‌اند. آب‌ها ضمن عبور از صافی و اسیدی شدن در pH کمتر از ۲ به آزمایشگاه معتمد در یتیم جنوب در اراک برای تجزیه‌های شیمیایی و بیولوژیک ارسال شد. هدایت الکتریکی به کمک دستگاه WTW Universal Conductivity Meter Multi Line P₄ Set، غلظت ترکیبات کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، کلر، سولفات، فلئور، نیترات و فسفات به روش کرموتوگرافی، بی‌کربنات به روش تیتراسیون، BOD با دستگاه اندازه‌گیری BOD 600 سنج مدل COD و BOD به کمک دستگاه رومیزی COD متر HI83214 تعیین شد (بینای مطلق، ۱۳۸۹: ۱). دقت داده‌ها در حد یک میلی‌گرم در لیتر بود.

۳.۲. تعیین دقت نتایج آزمایش‌ها

هنگام ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه، ۱۰ درصد از کل نمونه‌ها به‌مثابه نمونه‌های تکراری با کدگذاری محرمانه انتخاب و به آزمایشگاه ارسال شد تا نتایج آزمایشگاه کنترل و از دقت نتایج اطمینان حاصل شود. برای تعیین دقت آزمایش از روش محاسباتی استفاده شد (رابطه ۱). در این روش خطای تجزیه نمونه‌های تکراری از رابطه ۱ محاسبه شد (حسنی پاک، ۱۳۶۲: ۵۵).

$$R \cong \frac{2}{n} \left| \frac{x_{10} x_r}{x_{10} x_r} \right| \partial 100 \quad (1)$$

در این رابطه، n تعداد نمونه‌های تکراری، x_1 نتیجه تجزیه نمونه، x_r نتیجه تجزیه نمونه تکراری و R خطای نسبی تجزیه است. حد دقت تعریف شده به انتظار شخص از آزمایشگاه و نوع دستگاه تجزیه بستگی داشته است که ۱۰ درصد انتخاب شد. از آنجا که نمونه‌های آب به آزمایشگاه معتمد در یتیم جنوب واقع در اراک ارسال شد، دقت آزمایشگاه نیز ارزیابی شد.

۴.۲. روش تجزیه و تحلیل

مراحل داده‌پردازی شامل فایل‌بندی داده‌های خام آزمایشگاه، شناسایی و جایگزینی داده‌های سنسورد، شناسایی مقادیر خارج از رده و مطالعات آماری تک‌متغیره و چندمتغیره است. نخستین گام در پردازش داده‌ها، واردکردن و فایل‌بندی داده‌های حاصل از آنالیز در رایانه و تهیه بانک اطلاعاتی مدنظر است. این عمل برای تمامی نمونه‌های منابع آبی به همراه مختصات و شماره نمونه برای هر عنصر و با استفاده از نرم‌افزارهای Excel، Statistica، RockWorks و ArcGIS انجام شد. از بین متغیرهای مختلف ترکیبات اصلی آب منطقه، ۱۲ متغیر شیمیایی و بیولوژیکی EC، pH، TDS، NO₃، PO₄، SO₄، Cl، F، HCO₃، NH₃ و BOD انتخاب و غلظت آنها در ۳۲ نمونه آب از محدوده تالاب میقان از قبیل آب شور، لب‌شور و شیرین در مقایسه با مقدار استاندارد بین‌المللی شرب^۱ (2017) تحلیل شد. لازم به توضیح است مبنای مقایسه براساس آزمون‌های آماری t استیودنت و p -value صورت گرفت. دلیل انتخاب استاندارد بین‌المللی شرب این بود که تالاب میقان، تالابی بین‌المللی است و هر ساله پرندگان مهاجر زیادی دارد؛ از طرفی تالاب میقان سکونتگاه پرندگان بومی، مهاجر و حیواناتی است که در اطراف تالاب به ویژه در جبهه ورود آب فاضلاب تصفیه‌شده شهر اراک با آب شور تالاب زندگی می‌کنند. در تحلیل آمار چندمتغیره از روش‌های ماتریس همبستگی^۲ و تحلیل عاملی^۳ استفاده شد.

۳. یافته‌های پژوهش

۱.۳. غلظت ترکیبات اصلی

برای ارزیابی دقت داده‌ها از رابطه ۱ استفاده شد. از آنجایی که تکرار نمونه‌های MW6 نمونه MW31، نمونه MW15 نمونه MW32 و نمونه MW22 نمونه MW33 بوده است، بعضی از شاخص‌های مهم از جمله EC، Alkalinity، TDS، SO₄، Cl و HCO₃ به روش محاسباتی آزموده شد (جدول ۱). با توجه به جدول ۱ بدیهی است خطای نسبی تجزیه (R%) کمتر از ۱۰ درصد باشد؛ بنابراین دقت داده‌ها تأیید شد.

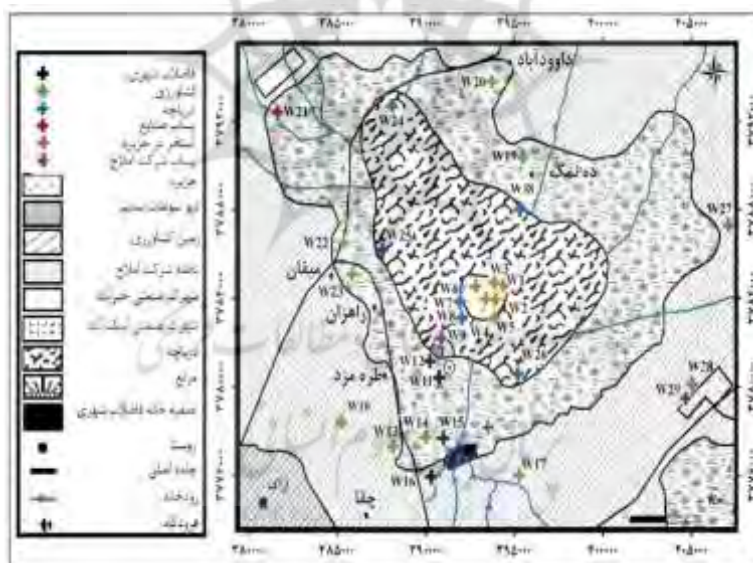
1. WHO
2. Correlation matrix
3. Factor analysis

جدول ۱. تعیین دقت آزمایش‌های شیمیایی شرکت در یتیم اراک
(Ec به میکروموس بر سانتی‌متر و سایر ترکیبات به میلی‌گرم در لیتر)

Table 1. Determining the accuracy of chemical analysis of Arak Dor Yatim Company

EC	Alkalinity	TDS	SO ₄	Cl	HCO ₃	کد آب
۱۴۰	۶۲۰	۹/۴	۵/۸۶	۶/۳۸	۴۴۰	MW6
۱/۱۹	۳۴۰	۷۹۸	۱۲۵	۳۵۵	۳۲۰	MW15
۹۰۱	۲۵۶	۶۰۳	۱۶۶	۳۵۵	۲۴۰	MW22
۱۴۵	۶۲۰	۹/۷	۵/۸۶	۶/۱	۴۴۰	MW31
۱/۱۹	۳۲۰	۷۹۷	۱۱۵	۳۵۵	۳۲۰	MW32
۹۰۳	۲۵۲	۶۰۵	۱۸۶	۳۵۵	۲۴۰	MW33
۰/۲۲	۰/۶۶	۰/۱۰	۳/۳۱	۰/۰۱	۰	R%

آب شور تالاب سه کاربری دارد؛ شامل استخرهای موجود در مرکز تالاب (نمونه‌های w1، w2، w3، w4، w5، w6)، دریاچه میقان (w7، w8، w18، w24، w25، w26) و پساب شرکت املاح (w9). آب شیرین تالاب نیز سه کاربری دارد؛ شامل چاههای کشاورزی اطراف تالاب میقان (w10، w13، w17، w14، w19، w20، w22، w23، w27، w28)، فاضلاب تصفیه‌شده شهری اراک (w11، w12، w15، w16) و پساب صنایع اطراف تالاب (w21، w29)؛ (شکل ۲).



شکل ۲. کاربری‌های مختلف آب در محدوده تالاب میقان

Fig. 2. Different uses of water in the area of Mighan playa

۱.۱.۳. کاربری آب شور

آب شور در تالاب میقان در سه بخش حوضچه‌های داخل جزیره (حوضچه‌های ایجادشده برای برداشت سولفات سدیم)، دریاچه (همه آب‌های اطراف جزیره مرکزی) و پساب شرکت املاح (دوغاب خروجی از کارخانه املاح به محل باطله داخل دریاچه میقان) تمرکز یافته است.

- حوضچه در جزیره میقان: از حوضچه‌های آب شور در بخش‌های مختلف جزیره شش نمونه برداشت (شکل ۳) و متغیرهای مختلف شیمیایی و بیولوژیکی (pH، EC، TDS، NO₃، PO₄، SO₄، F، Cl، HCO₃، NH₃، BOD، COD) تعیین شد (جدول ۲). با مقایسه غلظت تک‌تک متغیرها با غلظت استاندارد شرب WHO در جدول ۲ و با توجه به قدر مطلق مقدار *t* استیودنت محاسبه شده که بیش از مقدار بحرانی برابر با ۲/۰۱ بود و همچنین *p*-value کمتر از ۰/۰۵ در سطح اطمینان ۹۵ درصد، مقادیر تمامی متغیرهای شیمیایی و بیولوژیکی با مقدار استاندارد شرب متفاوت بود.



شکل ۳. حوضچه‌های ایجادشده ناشی از برداشت سولفات سدیم

Fig. 3. Ponds created by sodium sulfate extraction

جدول ۲. خلاصه آمار متغیرهای اصلی موجود در آب شور حوضچه‌های جزیره میقان (EC به میکروموس بر سانتی متر و سایر ترکیبات به میلی گرم در لیتر)

Table 2. Summary of statistics of the main variables in the saline water of the ponds of Mighan island

متغیر	میانگین	میان	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	چولگی	کشدگی	WHO	t	p-value
pH	۸/۵	۸/۵	۸/۳۴	۸/۷	۰/۱۴	-۰/۲۶	-۱/۹۹	۷/۵	۱۸/۲۶	۰/۰۰
EC	۱۵۴	۱۵۳	۱۴۰	۱۶۹	۱۲	۰/۰۵	-۲/۶۱	۱/۸	۳۰/۵۴	۰/۰۰
TDS	۱۰۲۶۹۴	۱۰۲۸۱۱	۹۳۷۳۱	۱۱۳۱۱۶	۸۸۰۶	۰/۰۵	-۲/۸۳	۱۰۰۰	۲۸/۲۸	۰/۰۰
NO ₃	۲۶	۲۶	۲۱	۳۴	۵	۱/۰۶	۱/۹۵	۵۰	۱۴/۴۱	۰/۰۰
PO ₄	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۲	۱۰/۱۱	۰/۰۰
SO ₄	۵۷۰۸۳	۵۷۱۰۰	۴۰۲۰۰	۷۴۹۰۰	۱۱۱۷۳	۰/۱۷	۱/۹۳	۲۵۰	۱۲/۴۵	۰/۰۰
Cl	۷۹۷۰۱	۷۸۳۴۴	۶۳۸۰۰	۱۰۱۷۴۱	۱۴۸۴۷	۰/۴۵	-۱/۳۹	۲۵۰	۱۳/۱۰	۰/۰۰
F	۷/۳	۷/۰	۶/۰	۱۰/۰	۱/۶۳	۰/۸۵	-۰/۳۰	۱/۵	۸/۷۵	۰/۰۰
HCO ₃	۴۰۶	۴۰۰	۳۶۰	۴۴۰	۳۰	-۰/۳۱	-۰/۱۰	۵۰۰	-۷/۹۲	۰/۰۰
NH ₃	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۰۲	-۰/۲۴	-۰/۰۱	۰/۰۵	-۳/۲۶	۰/۰۲
BOD	۱۲۶۳	۱۲۲۰	۱۱۰۰	۱۶۰۰	۱۷۹	۱/۶۴	۰/۰۵	۳۰	۱۶/۸۲	۰/۰۰
COD	۲۷۶۲	۲۷۸۲	۱۴۹۱	۳۸۶۴	۸۱۰	-۰/۳۶	۰/۵۳	۶۰	۸/۱۶	۰/۰۰

- دریاچه میقان: ۶ نمونه آب از دریاچه آب شور اطراف جزیره میقان برداشت و غلظت آنها با غلظت استاندارد شرب WHO مقایسه شد. با توجه به جدول ۳، قدر مطلق مقدار t استیودنت محاسبه شده متغیرهای SO_4 ، PO_4 ، NO_3 ، TDS، EC، NH_3 ، F، Cl، BOD و COD از مقدار بحرانی برابر با ۲/۰۱ بیشتر و مقدار p-value کمتر از ۰/۰۵ بوده است؛ بنابراین مقدار آنها بیشتر از استاندارد شرب و متفاوت با آن است. قدر مطلق مقدار t استیودنت محاسبه شده متغیرهای pH و HCO_3 کمتر از مقدار بحرانی و p-value بیشتر از ۰/۰۵ حاکی از ترکیب مشابه آنها با استاندارد شرب است.

جدول ۳. خلاصه آمار متغیرهای اصلی موجود در آب شور دریاچه اطراف جزیره میقان

(Ec به میکروموس بر سانتی متر و سایر ترکیبات به میلی گرم در لیتر)

Table 3. Summary of statistics of the main variables in the saline water of the lake around Mighan island

متغیر	میانگین	میانه	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	t	p-value
pH	۷/۴	۷/۲	۶/۹۰	۸/۱	۰/۴	۰/۹۰	-۰/۵۲	-۰/۰۷	۰/۴۹
EC	۲۰۹	۱۵۸	۱۳۰	۴۹۰	۱۳۹	۲/۳۱	۵/۴۶	۳/۶۴	۰/۰۱
TDS	۱۴۰۰۵۹	۱۰۵۸۸۵	۷۸۱۰۰	۳۲۸۳۰۰	۹۳۴۰۳	۲/۳۱	۵/۴۷	۳/۶۴	۰/۰۱
NO_3	۲۹	۲۸	۱۵	۴۵	۱۵	۰/۰۴	-۳/۱۶	-۳/۵۱	۰/۰۲
PO_4	۳/۳	۲/۸	۰/۱	۷/۹	۳/۷	۰/۱۶	-۲/۸۳	۲/۰۶	۰/۰۴
SO_4	۲۹۴۲۳۳	۵۹۶۰۰	۲۰۶۰۰	۸۷۵۰۰۰	۳۹۷۳۹۲	۱/۰۰	-۱/۵۳	۲/۸۱	۰/۰۲
Cl	۹۰۲۳۰	۶۷۵۹۳	۲۳۱۰۰	۱۹۶۳۰۰	۷۶۷۸۹	۰/۴۷	-۲/۰۸	۲/۸۷	۰/۰۳
F	۴/۲	۰/۱	۰/۱	۱۵	۶/۶	۱/۲۰	-۰/۴۵	۲/۹۸	۰/۰۳
HCO_3	۵۵۲	۴۴۰	۱۷۰	۱۳۲۰	۴۱۲	۱/۶۰	۲/۸۸	۰/۳۱	۰/۷۷
NH_3	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱/۳۷	۰/۵۳	-۲/۵۹	۰/۰۵
BOD	۵۱۹	۲۲	۰/۱	۱۸۲۰	۸۰۸	۱/۱۷	-۰/۶۲	۲/۴۸	۰/۰۲
COD	۱۱۷۵	۳۷	۰/۱	۳۷۸۱	۱۸۰۲۲	۱/۰۱	-۱/۶۰	۲/۵۱	۰/۰۱

- پساب شرکت املاح: با توجه به ماهیت شوراب بودن پساب خروجی شرکت املاح، بدیهی است مقدار EC (۲۰ میکروموس بر سانتی متر)، TDS (۱۳۵۰۷ میلی گرم در لیتر)، SO_4 (۱۰۰۰۰ میلی گرم در لیتر)، Cl (۲۱۰۰ میلی گرم در لیتر) و HCO_3 (۱۶۴۰ میلی گرم در لیتر) در مقایسه با غلظت استاندارد شرب WHO (جدول ۲) زیاد است. از طرفی مقدار NH_3 ، F، NO_3 و HCO_3 در مقایسه با غلظت استاندارد شرب کم و NO_3 (۱۱ میلی گرم در لیتر)، BOD (۲۹ میلی گرم در لیتر)، COD (۴۳ میلی گرم در لیتر) در محدوده استاندارد شرب و pH پساب در حد شدیداً قلیایی (۱۱/۱۷) بود.

۲.۱.۳. آب شیرین

آب شیرین در محدوده تالاب میقان شامل چاههای کشاورزی (روستای طرمزد، مبارک آباد، سهل آباد، ابراهیم آباد، میقان، داوودآباد و ده نمک)، آب ورودی و خروجی تصفیه خانه فاضلاب شهر اراک (کانال انتقال و محل دهانه به تالاب میقان)، پساب خروجی تصفیه خانه خیرآباد و پساب شهرک صنعتی ایبک آباد است.

- آب کشاورزی: ۱۰ نمونه از آب چاههای کشاورزی در اطراف تالاب میقان برداشت و متغیرهای مختلف شیمیایی و بیولوژیکی تعیین شد (جدول ۴). با توجه به جدول ۴، قدر مطلق مقدار t استیودنت محاسبه شده متغیرهای

pH، NO_3 ، PO_4 ، Cl ، F و NH_3 در سطح اطمینان ۹۵ درصد از مقدار بحرانی برابر با ۱/۸۱ بیشتر و مقدار p-value از ۰/۰۵ کمتر بوده است؛ بنابراین با مقدار استاندارد شرب متفاوت بودند؛ در حالی که این مقایسه نشان داد متغیرهای EC، TDS، SO_4 ، HCO_3 و BOD در حد استاندارد شرب بودند؛ همچنین این بررسی نشان داد چاههای حاشیه تالاب متأثر از لایه‌های شور بوده‌اند و با توجه به مقادیر بیش از استاندارد شرب متغیرهایی چون EC، TDS، SO_4 و Cl ، آب عمده چاهها لب‌شور (آلودگی طبیعی) بوده است (چاههای اطراف روستاهای ابراهیم‌آباد، سهل‌آباد، میقان، دهنمک و داوودآباد)؛ اما چاههای دور از تالاب عمدتاً شیرین بوده‌اند (نظیر چاه شرکت املاح در نزدیکی کمربندی اراک و چاه ابتدای روستای مبارک‌آباد و چاه بین روستای میقان و راهزان). غلظت BOD و COD چاه مبارک‌آباد (w14) به دلیل نزدیکی به کانال تصفیه فاضلاب شهری به ترتیب با ۲۵۰ و ۱۷۴ میلی‌گرم در لیتر بیش از استاندارد شرب (به ترتیب ۶۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر) بوده و بنابراین چاه آلوده است.

جدول ۴. خلاصه آمار متغیرهای اصلی موجود در آب شیرین چاه‌های اطراف جزیره میقان

(EC به میکروموس بر سانتی متر و سایر ترکیبات به میلی‌گرم در لیتر)

Table 4. Summary of statistics of the main variables in the fresh water of wells around Mighan island

متغیر	میانگین	میانه	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	t	p-value
pH	۷/۲۱	۷/۲۴	۶/۴۲	۷/۶۵	۰/۴۰	-۰/۹۴	۰/۱۵	-۲/۲۸	۰/۰۴
EC	۳/۹۲	۲/۰۱	۰/۵۸	۹/۸۵	۳/۶۸	۰/۵۹	-۱/۶۶	۱/۸۰	۰/۱۰
TDS	۱۶۶۹	۶۰۰	۴۳	۶۵۹۹	۲۳۲۵	۱/۶۹	۱/۵۶	۰/۹۱	۰/۳۸
NO_3	۲۳	۱۹	۶	۴۳	۱۴/۸۲	۰/۲۷	-۱/۵۹	-۵/۷۸	۰/۰۰
PO_4	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۴۴	۰/۱۹	۱/۷۸	۱/۴۰	-۱/۹۰	۰/۰۴
SO_4	۳۳۲	۲۴۳	۷۲	۸۲۳	۲۷۳	۱/۱۸	۰/۲۴	۰/۹۴	۰/۳۷
Cl	۹۳۹	۳۵۵	۱۷۷	۳۳۶۷	۱۱۰۲	۱/۵۱	۱/۳۷	۱/۹۸	۰/۰۵
F	۰/۴۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۱/۰۰	۰/۵۲	۰/۴۸	-۲/۲۸	-۶/۷۳	۰/۰۰
HCO_3	۴۸۴	۲۴۰	۲۰۰	۱۶۰۰	۴۷۴	۰/۹۴	۲/۹۹	-۰/۱۱	۰/۹۲
NH_3	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۱/۱۷	۰/۵۷	-۲۰/۱۲	۰/۰۰
BOD	۱۷/۴۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۱۷۴	۵۵	۳/۱۶	۱۰	-۰/۷۲	۰/۴۹
COD	۲۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۲۵۰	۷۹	۳/۱۶	۱۰	-۱/۴۰	۰/۱۹

- فاضلاب شهری: بیشتر آب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری اراک به تالاب میقان وارد می‌شود. برای ارزیابی آلاینده‌های آب روی آب تالاب میقان، چند نمونه آب از قسمت‌های مختلف فاضلاب (فاضلاب ورودی شهر اراک به تصفیه‌خانه، خروجی آب تصفیه‌شده در داخل کانال و خروجی آب تصفیه‌شده به تالاب) برداشت شد (جدول ۵). قدر مطلق مقدار t استیودنت محاسبه‌شده متغیرهای pH، EC، TDS، SO_4 ، Cl ، HCO_3 و BOD در سطح اطمینان ۹۵ درصد از مقدار بحرانی برابر با ۲/۳۵ کمتر و مقدار p-value آنها بیشتر از ۰/۰۵ بوده است؛ بنابراین در حد استاندارد شرب است (جدول ۵)؛ اما قدر مطلق مقدار t محاسبه‌شده متغیرهای NO_3 ، NH_3 و PO_4 از مقدار بحرانی بیشتر و مقدار p-value آنها از ۰/۰۵ کمتر بوده است؛ بنابراین با استاندارد شرب مغایر بودند.

جدول ۵. خلاصه آمار متغیرهای اصلی موجود در فاضلاب شهری
(EC به میکروموس بر سانتی متر و سایر ترکیبات به میلی گرم در لیتر)

Table 5. Summary of statistics of the main variables in municipal wastewater

متغیر	میانگین	میانه	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	t	p-value
pH	۷/۶۸	۷/۷۱	۶/۹۰	۸/۴۱	۰/۶۳	-۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۵۸	۰/۵۹
EC	۱/۹۶	۱/۲۲	۱/۱۹	۴/۲۲	۱/۵۰	۱/۹۹	۳/۹۹	۰/۲۱	۰/۸۴
TDS	۱۳۱۵	۸۱۷	۷۹۸	۲۸۲۷	۱۰۰۸	۱/۹۹	۳/۹۹	۰/۶۲	۰/۵۷
NO ₃	۱۶	۱۲	۹	۳۱	۱۰	۱/۹۱	۳/۷۲	-۶/۶۸	۰/۰۰
PO ₄	۴۷	۱۷/۵۰	۱۲/۵	۱۴۱	۶۲	۱/۹۷	۳/۹۱	۳/۴۹	۰/۰۲
SO ₄	۲۶۶	۱۴۱	۹۷	۶۸۷	۲۸۱	۱/۹۵	۳/۸۴	۱/۸۹	۰/۱۵
Cl	۶۲۰	۳۵۵	۳۵۵	۱۴۱۸	۵۳۱	۲/۰۰	۴/۰۰	۱/۳۹	۰/۲۶
F	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	-	-
HCO ₃	۵۶۰	۴۰۰	۳۲۰	۱۱۲۰	۳۸۰	۱/۷۷	۳/۱۳	۰/۳۱	۰/۷۷
NH _۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۱/۵۰	-۹/۷۹	۰/۰۰
BOD	۱۵۱	۹۱	۱۵	۴۱۰	۱۷۵	۱/۷۴	۳/۳۱	۱/۲۹	۰/۲۹
COD	۲۳۹	۱۳۳	۴۱	۶۵۰	۲۷۷	۱/۸۴	۳/۵۷	۱/۷۲	۰/۱۸

- شهرک صنعتی: دو نمونه آب از خروجی تصفیه‌خانه شهرک صنعتی خیرآباد (w21) و پساب شهرک صنعتی ایبک‌آباد در اطراف تالاب میقان برداشت شد (شکل ۴). قدر مطلق مقدار t استیودنت محاسبه‌شده متغیرهای EC، BOD، NO₃، TDS و COD (به ترتیب ۱۰/۷۳، ۱۱/۷۲، ۱۱/۶۶، ۹/۰۲ و ۸/۹۸) بیش از مقدار بحرانی برابر با ۶/۳۱ در سطح اطمینان ۹۵ درصد بوده است؛ بنابراین با مقدار استاندارد شرب متفاوت بودند؛ در حالی که مقدار t استیودنت محاسبه‌شده متغیرهای pH، PO₄، SO₄، Cl، F و HCO₃ کمتر از مقدار بحرانی و در حد استاندارد شرب بود. در پساب شهرک صنعتی ایبک‌آباد تصفیه نشده، به دلیل وجود کارخانه الکل‌سازی، مقادیر متغیرهای BOD، COD و PO₄ به ترتیب ۱۴۹۰، ۱۷۵۰ و ۱۶/۶ میلی‌گرم در لیتر و بسیار زیاد بود (w21).



شکل ۴. پساب خروجی شهرک صنعتی ایبک‌آباد در مسیر جاده داوودآباد

Fig. 4. The effluent of Aibakabad industrial town in the direction of Davoodabad road

۲.۳. ماتریس همبستگی

به منظور تعیین روابط متغیرها از ماتریس همبستگی استفاده شد (جدول ۶). ماتریس همبستگی در سطح اطمینان ۹۵ درصد و p-value برابر با ۰/۰۵ بررسی شد. متغیرهای EC، TDS، NO₃، PO₄، SO₄، Cl، F، HCO₃ و NH₃ با توجه به p-value بیش از ۰/۰۵ در یک گروه قرار گرفته‌اند و متغیر pH در گروهی مجزا قرار گرفته است که با هیچ یک از متغیرهای دیگر همبستگی ندارد. براساس بررسی‌ها، متغیرهای هدایت الکتریکی (EC)، مواد محلول کل (TDS)، سولفات (SO₄) و کلر (Cl) با یکدیگر همبستگی خیلی زیاد (ضریب همبستگی بیش از ۰/۸) و فلوئور (F) با آمونیاک (NH₃) همبستگی زیاد (ضریب همبستگی بیش از ۰/۷) و فلوئور (F) با کلر (Cl) همبستگی زیاد (ضریب همبستگی بیش از ۰/۷) نشان دادند (جدول ۶).

جدول ۶. همبستگی متغیرهای شیمیایی آب در محدوده تالاب میقان

Table 6. Correlation of chemical variables of water in Mighan plauya

	pH	EC	TDS	NO ₃	PO ₄	SO ₄	Cl	F	HCO ₃	NH ₃
pH	۱/۰۰									
p-value	۰۰									
EC	۰/۱۱	۱/۰۰								
p-value	۰/۵۴	۰۰								
TDS	۰/۱۲	۰/۹۹	۱/۰۰							
p-value	۰/۵۳	۰/۰۰	۰۰							
NO ₃	-۰/۱۸	۰/۳۷	۰/۳۷	۱/۰۰						
p-value	۰/۳۸	۰/۰۴	۰/۰۴	۰۰						
PO ₄	۰/۰۷	-۰/۱۸	-۰/۱۸	۰/۰۴	۱/۰۰					
p-value	۰/۷۰	۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۸۵	۰۰					
SO ₄	۰/۲۹	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۴۵	-۰/۲۱	۱/۰۰				
p-value	۰/۶۲	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۵۷	۰۰				
Cl	۰/۱۹	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۴۹	-۰/۱۹	۰/۹۷	۱/۰۰			
p-value	۰/۳۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۳۲	۰/۰۰	۰۰			
F	۰/۳۵	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۳۸	-۰/۱۹	۰/۷۹	۰/۷۴	۱/۰۰		
p-value	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۳۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰۰		
HCO ₃	۰/۲۱	-۰/۰۵	-۰/۰۵	۰/۴۲	۰/۲۵	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۱۳	۱/۰۰	
p-value	۰/۲۸	۰/۷۹	۰/۷۷	۰/۰۲	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۷۱	۰/۴۹	۰۰	
NH ₃	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۳۱	-۰/۰۴	۰/۵۱	۰/۴۸	۰/۷۳	۰/۱۹	۱/۰۰
p-value	۰/۵۵	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۱۰	۰/۸۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۲	۰۰

۳.۳. تحلیل عاملی

برای تعیین ارتباط ترکیبات شیمیایی و بررسی منشأ ترکیبات از تحلیل چندمتغیره استفاده شد. از آنجایی که غلظت BOD و COD در آب‌های شور عراق آمیز بوده است، در تحلیل عاملی حذف شد (Hoguane, 2010: 310). در تحلیل عاملی از ده متغیر انتخابی، چهار عامل بیشترین نقش را در توزیع متغیرها در گام اول داشتند و حدود ۸۷/۵۶ درصد واریانس را توضیح دادند (جدول ۷). از طرفی عامل اول با واریانس ۴۸/۵۹ درصد با متغیرهایی چون EC،

TDS، SO_4 و Cl بیشترین تأثیر را در بین عوامل نشان داد. در عامل دوم، متغیرهای فسفات (PO_4) و بی‌کربنات (HCO_3)، در عامل سوم pH و در عامل چهارم فلئور (F) و آمونیاک (NH_3) نقش اصلی را داشتند.

جدول ۷. بارهای عاملی گام اول متغیرهای شیمیایی آب در محدوده تالاب میقان

Table 7. Factor loads of the first step of chemical variables of water in the area of Mighan playa

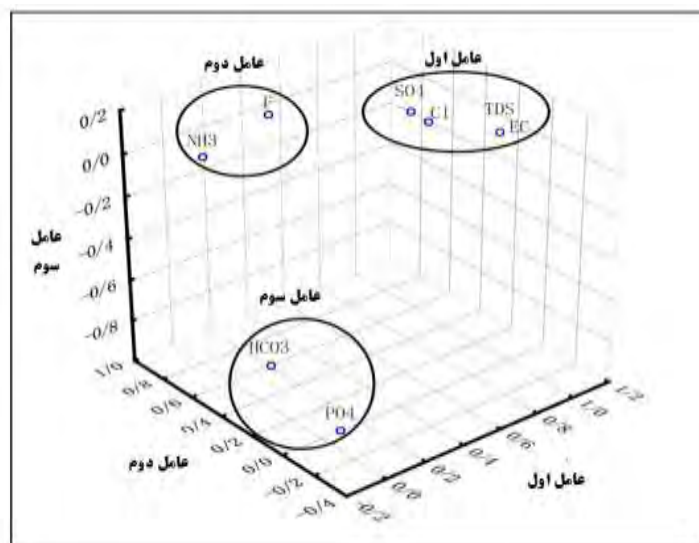
متغیر	عامل یک	عامل دو	عامل سه	عامل چهار
pH	۰/۱۳	۰/۱۷	-۰/۹۰	۰/۱۸
EC	۰/۹۸	-۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۸
TDS	۰/۹۸	-۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۸
NO_3	۰/۴۱	۰/۴۹	۰/۵۴	۰/۳۶
PO_4	-۰/۱۲	۰/۷۱	-۰/۱۶	-۰/۲۷
SO_4	۰/۸۷	-۰/۰۲	-۰/۱۲	۰/۴۶
Cl	۰/۹۰	۰/۰۱	-۰/۰۲	۰/۳۹
F	۰/۴۲	-۰/۰۱	-۰/۱۲	۰/۸۳
HCO_3	-۰/۰۴	۰/۸۱	۰/۰۱	۰/۲۶
NH_3	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۸۹
درصد کل واریانس	۴۸/۵۹	۱۶/۱۶	۱۲/۲۰	۱۰/۵۹
درصد تجمعی واریانس	۴۸/۵۹	۶۴/۷۶	۷۶/۹۶	۸۷/۵۶

با توجه به اینکه سهم نیترات (NO_3) در گام اول و pH در گام دوم کم بوده، این متغیرها در تحلیل عاملی حذف و گام سوم اجرا شد (جدول ۸). در گام سوم، سه عامل ۸۸/۱۹ درصد واریانس را توضیح داد. عامل اول بیشترین و برابر با ۵۶/۹۶ درصد و شامل EC، TDS، SO_4 و Cl، عامل دوم شامل F و NH_3 و عامل سوم شامل PO_4 و HCO_3 بود (شکل ۵). پهنه‌های هریک از عوامل در شکل ۶ نشان داد تمرکز عامل اول و دوم در محدوده تالاب میقان (جزیره و دریاچه) بوده و عامل سوم برخلاف دو عامل اول و دوم، بیشترین تمرکز را در حواشی تالاب (در خاک‌های مراتع و لجن‌های فاضلاب شهری) داشته است.

جدول ۸. بارهای عاملی گام سوم متغیرهای شیمیایی آب در محدوده تالاب میقان

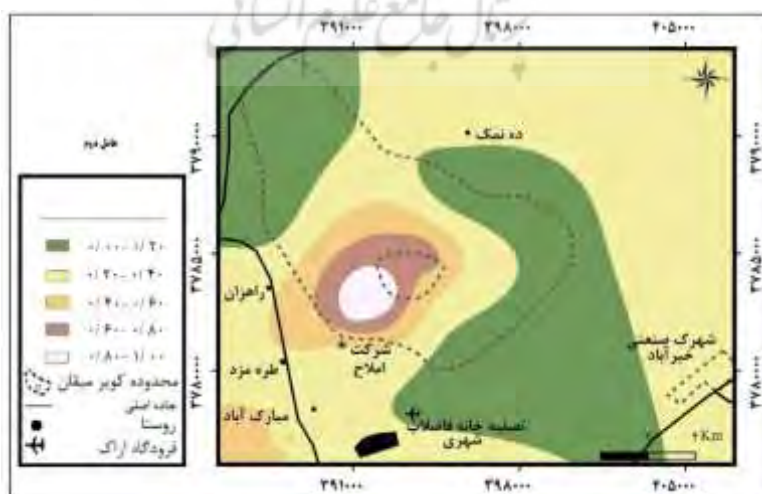
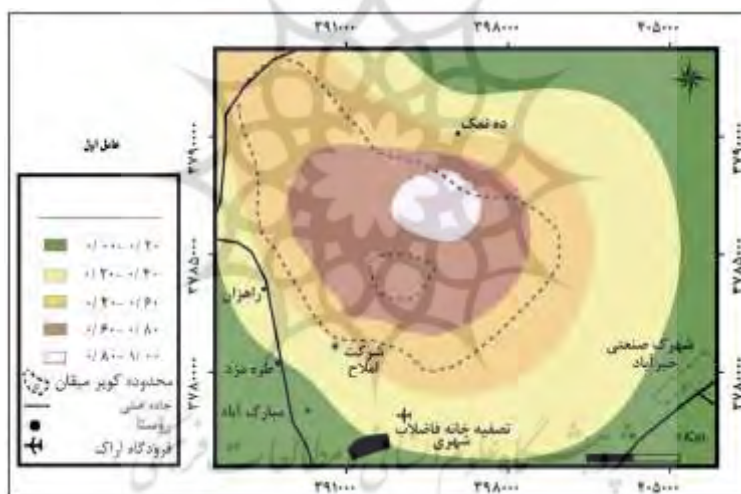
Table 8. Factor loads of the third step of chemical variables of water in the area of Mighan playa

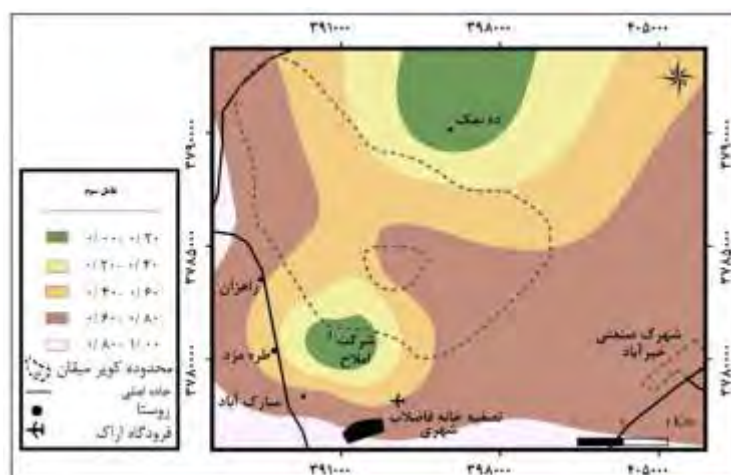
متغیر	عامل یک	عامل دو	عامل سه
EC	۰/۹۹	۰/۰۸	۰/۰۸
TDS	۰/۹۹	۰/۰۸	۰/۰۸
PO_4	-۰/۰۸	-۰/۲۲	-۰/۸۲
SO_4	۰/۸۶	۰/۴۸	۰/۰۶
Cl	۰/۸۹	۰/۴۱	۰/۰۳
F	۰/۴۲	۰/۸۴	۰/۰۵
HCO_3	-۰/۰۳	۰/۲۸	-۰/۷۶
NH_3	۰/۱۲	۰/۹۱	-۰/۰۸
درصد کل واریانس	۵۶/۹۶	۱۷/۸۹	۱۳/۳۲
درصد تجمعی واریانس	۵۶/۹۶	۷۴/۸۶	۸۸/۱۹



شکل ۵. ارتباط متغیرهای شیمیایی آب در محدوده تالاب میقان

Fig. 5. Relation of chemical variables of water in the area of Mighan playa





شکل ۶. پهنه‌بندی عوامل در تحلیل عاملی در آب محدوده تالاب میقان

Fig. 6. Zoning of factors in factor analysis in the water of Mighan playa

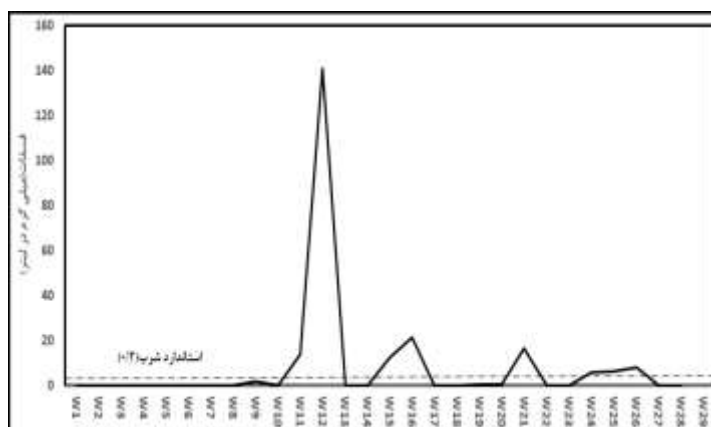
آب در تالاب میقان اراک در دو کاربری حوضچه‌ها (حوضچه‌های حاصل از برداشت ماده معدنی سولفات سدیم در بخش جزیره مرکزی) و دریاچه (اطراف جزیره مرکزی) متمرکز شده است. کاربری‌هایی نظیر پساب شرکت املاح معدنی، فاضلاب تصفیه شده شهری اراک، پساب صنایع و چاههای کشاورزی، منابع بالقوه آلاینده برای آب تالاب میقان محسوب می‌شوند. زیادبودن غلظت ترکیبات شیمیایی EC، TDS، SO_4 و Cl از حد استاندارد شرب، ماهیت شورابه بودن آب را در تالاب میقان نشان داد. بررسی منشأ شوری آب میقان نشان داد متغیرهای شورکننده از قبیل آنیون‌های SO_4 و Cl و همچنین کاتیون‌های Na و K به سنگ‌های گچی و نمکی ارتفاعات شمالی (منطقه آشتیان) حوضه میقان مربوط است (عبدی و رحیم‌پور، ۱۳۹۱: ۹۶).

نخعی و همکاران (۱۳۹۰) با مطالعه آب‌های زیرزمینی دشت تربت حیدریه نشان دادند انحلال کانی‌های تبخیری سنگ‌های ارتفاعات سبب شده است آب‌های زیرزمینی دشت از تیپ کلروره سدیک و سولفات سدیم باشند. بررسی‌های مهاجرانی و امینی (۱۳۷۹) در آب‌های زیرزمینی اطراف تالاب میقان نشان داد آب‌های شمالی ورودی به تالاب از تیپ Na-Cl- SO_4 و آب‌های جنوبی از تیپ $Ca-HCO_3$ بوده‌اند؛ همچنین آنها مشخص کردند مخلوط‌شدگی آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی با آب تالاب میقان، تیپ $Ca-Na-HCO_3-SO_4$ را سبب شده است.

بررسی‌های اله‌دادی و قدیمی (۱۳۹۲) نشان داد پساب شرکت املاح ایران (برداشت سولفات سدیم از حوضچه‌های جزیره مرکزی) EC، TDS، SO_4 و Cl زیاد داشت. حدود ۶۰ درصد از آب چاههای اطراف تالاب که به مصرف کشاورزی رسید، با توجه به EC، TDS، SO_4 و Cl زیاد تقریباً شور بودند. به دلیل خشکسالی‌های اخیر، برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و حفر چاههای غیرمجاز، سطح آب زیرزمینی بسیاری از دشت‌ها کاهش یافته است (جعفری و بخشنده‌مهر، ۱۳۹۱: ۱۸۳)؛ برای نمونه افزایش برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی دشت رشکان و کاهش ذخایر این سفره‌ها و در نتیجه افزایش تمرکز و غلظت یون‌ها و وجود واحدهای تبخیری باعث شوری آب‌ها شده است (حق‌پرست و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۵).

همخوانی SO_4 و Cl آب‌های کشاورزی تقریباً شور با SO_4 و Cl آب تالاب میقان حاکی از شوری آب چاههای منطقه از آب تالاب بود. روند مشابهی از شورشدن آب زیرزمینی در دشت شبستر حاکی از نفوذ آب شور دریاچه ارومیه به سفره آب زیرزمینی دشت مجاور بود (اصغری مقدم و محمدی، ۱۳۸۲: ۶۹). با توجه به عامل اول از تحلیل عاملی و مؤثر دانستن متغیرهای EC ، TDS ، SO_4 و Cl و همچنین افزایش این عامل در نقشه پهنه‌بندی به سمت تالاب میقان، بدیهی است شوری آب تالاب و پساب شرکت املاح طبیعی بوده است؛ در حالی که شوری آب چاههای اطراف تالاب میقان دلیلی بر فعالیت انسانی است.

در نقشه پهنه‌بندی، عامل دوم با متغیرهای F و NH_3 در محدوده آب تالاب (جزیره و دریاچه) میقان تمرکز داشت؛ همچنین با توجه به سهم زیاد NH_3 (۰/۹۱) نسبت به F (۰/۸۴) در تحلیل عاملی، افزایش NH_3 عامل انسانی و F عامل طبیعی داشته است. بررسی‌های قدیمی و همکاران (2012) در آب‌های زیرزمینی اطراف تالاب میقان نشان داد F ، SO_4 و Na در یک گروه قرار گرفته‌اند. از طرفی F ، SO_4 و Na در آب‌هایی دیده شده است که زیر هجوم آب شور تالاب میقان بوده‌اند (Ghadimi and Ghomi, 2012: 31)؛ بنابراین F موجود در آب تالاب منشأ طبیعی داشته است. حضور F در بعضی از آب چاههای کشاورزی حاکی از نفوذ آب شور تالاب میقان در آنها بود. از طرفی NH_3 فقط در تعداد کمی از نمونه‌های آب تالاب میقان (حوضچه‌ها و دریاچه) دیده شده که از حد استاندارد شرب بیشتر است. غلظت NH_3 فاضلاب شهری تصفیه‌شده و پساب صنایع کم و پساب شرکت املاح فاقد آن بود. منشأ NH_3 ترکیبات ازت‌دار آلی و باکتری‌ها هستند (مقیم و امین، ۱۳۹۴: ۳۷). آمونیاک (NH_3) ترکیبی بسیار خطرناک است؛ زیرا موجب اختلال در تنفس آبزیان می‌شود. این ترکیب به راحتی داخل سلول‌ها نفوذ می‌کند و موجب افزایش pH و اختلال در عوامل حیاتی می‌شود. یون آمونیوم منشأ نیتروژن برای گیاهان آبی است و موجب افزایش رشد جلبک‌ها می‌شود (همان). آمونیاک موجود در آب تالاب میقان ناشی از افزایش غلظت آن با ورود فاضلاب شهری به تالاب است. در عامل سوم از تحلیل عاملی، PO_4 و HCO_3 شرکت دارند که در آن نقش PO_4 بارزتر بوده است. PO_4 آب دریاچه میقان، فاضلاب شهری و پساب صنایع به مراتب از حد استاندارد شرب بیشتر بود (شکل ۷). فسفات از فاضلاب‌های خانگی (حاوی پاک‌کننده‌های سنتتیک) یا پساب‌های کشاورزی یا فاضلاب‌های صنعتی به آب‌های سطحی، زیرزمینی و تالاب‌ها وارد شده است (فلاح و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۸). فسفر، یکی از عناصر ضروری برای رشد جلبک‌هاست (صمدی، ۱۳۹۵: ۱۵۹). بیش از ۷۰ درصد ترکیبات فسفر موجود در فاضلاب‌ها به دلیل استفاده از شوینده‌هاست. نگرانی‌های کنونی محیط‌زیست بیشتر درباره سازنده‌های مواد پاک‌کننده بوده است؛ زیرا ماده اصلی در پاک‌کننده‌ها، سدیم تری پلی فسفات ($Na_5P_3O_{10}$) است. این ماده مشکل تجزیه زیستی نداشته است؛ زیرا یون P_3O_{10} متأثر از واکنش هیدرولیز به طور آهسته در محیط به ارتوفسفات‌ها تبدیل می‌شود. این ماده غیرسمی است، ولی در فرایند اتروفیکاسیون نقش دارد (Adesuyi et al., 2015: 14). گزارش شرکت آب و فاضلاب شهری حاکی است ۲۰۰ لیتر در ثانیه آب تصفیه‌شده در فصول خشک و ۸۰۰ لیتر در ثانیه در فصول مرطوب (تصفیه و تصفیه‌نشده) از فاضلاب شهری به تالاب میقان وارد می‌شود. از آنجایی که غلظت PO_4 در فاضلاب تصفیه‌شده بسیار زیاد بوده، فاضلاب منشأ آلودگی انسانی در تالاب است. از طرفی تمرکز زیاد PO_4 در آب ورودی به تالاب سبب رشد انبوهی از گیاهان در منطقه شده است (شکل ۸).



شکل ۷. غلظت فسفات در آب‌های تالاب میقان (غلظت زیاد به فاضلاب تصفیه‌شده شهری اراک مربوط است)

Fig. 7. Concentration of phosphate in the waters of Mighan playa (high concentration is related to the treated wastewater of Arak)



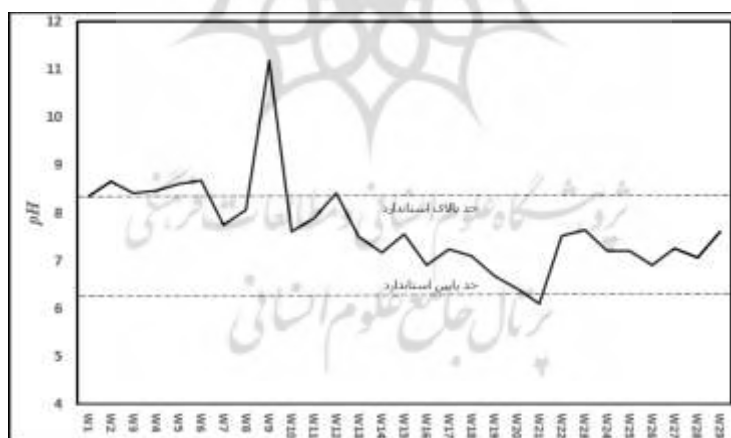
شکل ۸. رشد انبوه گیاهان در جبهه ورود فاضلاب تصفیه‌شده شهری به تالاب میقان

Fig. 8. Mass growth of plants in front of the treated municipal wastewater into the Mighan playa

غلظت یون بی‌کربنات (HCO_3^-) در ترکیب آب دریاچه تالاب میقان و بعضی از چاه‌های بخش جنوبی تالاب میقان زیاد بوده است؛ در حالی که غلظت آن در سایر آب‌ها از حد استاندارد کمتر بوده است. بی‌کربنات حاکی از وجود سنگ‌های آهکی است. در اثر انحلال سنگ‌های آهکی و دولومیتی، ترکیبات بی‌کربنات حاصل شده که به آب‌های سطحی و زیرزمینی هدایت شده است (شیخ فخرالدینی و عباس‌نژاد، ۱۳۹۴: ۲۰۳؛ خدابخش و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۶۷). بخش جنوبی تالاب میقان را سنگ‌های آهکی و دولومیتی کرتاسه تشکیل داده که مهم‌ترین منشأ بی‌کربنات آب تالاب میقان و چاه‌های منطقه بوده‌اند (Ghadimi and Ghomi, 2013: 54). زیادبودن یون بی‌کربنات نوعی آلودگی طبیعی است که در کنترل انسان نیست.

BOD میزان مصرف اکسیژن در داخل آب با ارگانسیم‌هاست. اگر BOD کم باشد، آب پاک است و ارگانسیم ندارد یا آنکه ارگانسیم‌های داخل آب مرده‌اند و نیازی به مصرف اکسیژن ندارند. اگر BOD آبی یک میلی‌گرم در لیتر باشد، آب تقریباً خالص است. آب با BOD تا ۵ میلی‌گرم در لیتر نسبتاً خالص فرض می‌شود؛ اما اگر مقدار BOD از

۲۰ میلی‌گرم در لیتر تجاوز کند، سلامت عمومی به خطر می‌افتد (محرم‌نژاد، ۱۳۷۸: ۱۵۸)؛ اما COD، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های سنجش آلودگی فاضلاب است. آلودگی فاضلاب ناشی از مواد خارجی است که به آب وارد و به صورت معلق یا محلول باعث آلودگی آن و تولید فاضلاب شده‌اند. بدیهی است هرچه مقدار COD در فاضلاب بیشتر باشد، بار آلودگی آن نیز بیشتر خواهد بود (همان). از آنجایی که BOD موجود در آب به فعالیت‌های بیولوژیکی بستگی دارد، هرگونه مانعی در رشد میکروارگانیسم‌ها باعث تغییرات ناگهانی BOD می‌شود. از جمله این موانع مقدار کلر، قلیایی بودن، اسیدیته، اسیدهای معدنی و فلزات سنگین است (عطاملکی و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۷)؛ همچنین بررسی‌ها نشان داد در آب‌های شور با غلظت کلر بیش از ۳۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، حتی اگر مواد آلی به مقدار کم هم وجود داشته باشد، مقدار COD، BOD، اغراق‌آمیز است (Hoguane, 2010: 346). COD، BOD، آب تالاب میقان (حوضچه‌ها و دریاچه) و همچنین پساب شهرک صنعتی ایک‌آباد بسیار زیاد بود (جدول‌های ۱ و ۲). از آنجایی که آب تالاب میقان CI بیش از ۳۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر داشته، COD، BOD در آب تالاب معیار مناسب آلودگی بیولوژیک نبوده است. از طرفی زیادبودن COD، BOD، پساب شهرک صنعتی ایک‌آباد به دلیل کارخانه‌الکل‌سازی در آن است؛ در این زمینه سازمان محیط‌زیست استان مرکزی اختراهای متعددی به کارخانه‌مدنظر برای تصفیه پساب داده است. pH آب تالاب میقان و پساب شرکت املاح قلیایی بود. pH نمونه‌های آب (شوراب) جزیره میقان (w1) تا (w6) کمی بیشتر از ۸/۵ بود (شکل ۹). pH حدود ۱۱/۱۷ در نمونه آب (w9) متعلق به پساب شرکت املاح بود. زیادبودن pH به دلیل خروج سولفات سدیم توسط شرکت املاح از فرایند بوده است؛ بنابراین غلظت سایر املاح از قبیل کلرید سدیم و در نتیجه اسیدیته پساب افزایش یافته است (Pisarska et al., 2017: 54).



شکل ۹. pH آب‌های محدوده تالاب میقان

Fig. 9. pH of the waters of Mighan playa

۴. نتیجه‌گیری

برای تعیین آلاینده‌های طبیعی و انسانی مؤثر بر آب تالاب میقان، ارزیابی متغیرهای شیمیایی و بیولوژیک آب در کاربری‌های مختلف مدنظر قرار گرفت. فاضلاب شهری تصفیه‌شده اراک، پساب شرکت املاح معدنی و صنایع و همچنین آب‌های زیرزمینی اطراف، مهم‌ترین منابع آلاینده انسانی بوده‌اند که پتانسیل آلوده‌کنندگی آب تالاب را داشته‌اند. با توجه به اینکه آب‌های زیرزمینی در پایین دست اراضی کشاورزی و صنایع بزرگ قرار گرفته، هیچ‌گونه آلاینده‌های شیمیایی و

بیولوژیک حاصل از پساب کشاورزی و صنایع در آب تالاب میقان دیده نشده است. از طرفی با ورود پساب شرکت املاح به تالاب، افزایش محلی pH صورت گرفته که در مقایسه با آب کل تالاب بسیار ناچیز بوده است. فاضلاب شهری تصفیه‌شده اراک، مهم‌ترین منبع آب ورودی به تالاب بوده که فسفات و آمونیاک را به آب تالاب وارد کرده است. ورود ترکیبات اخیر به تالاب با رشد گیاهان و پوشش جنگلی همراه بوده که سکونتگاه پرندگان مهاجر است؛ بنابراین آب تالاب میقان بدون آلودگی شیمیایی و بیولوژیک بوده و جبهه پیش‌رونده آب تالاب سبب شورش آب‌های زیرزمینی شیرین اطراف شده است. این پدیده ناشی از افت سطح آب زیرزمینی منطقه با دخالت انسان بوده است؛ بنابراین باید اقدامات اساسی در زمینه بالآمدن سطح آب زیرزمینی طی عملیات آبخوان‌داری در دشت‌های اطراف تالاب و کنترل در برداشت آب چاهها و حذف چاههای غیرمجاز صورت گیرد.

تشکر و قدردانی

مقاله از طرح پژوهشی «ارزیابی ژئوشیمیایی زیست‌محیطی منابع آلاینده آب و خاک در منطقه کویر میقان اراک به منظور تعیین ضریب تأثیر فعالیت‌های زیست‌محیطی معدنی نمک سولفات سدیم شرکت معدنی املاح ایران» استخراج شده است؛ بنابراین نویسنده لازم می‌داند از معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی اراک، حمایت‌های چندجانبه سازمان صمت استان مرکزی، سازمان محیط زیست استان مرکزی، واحد تبصره ۱۰ حقوق دولتی وزارت صمت و به‌ویژه شرکت املاح ایران (واحد اراک) تشکر و قدردانی کند.

منابع

- اصغری مقدم، اصغر، محمدی، عباس، (۱۳۸۲). علل شوری سفره‌های آب زیرزمینی دشت شیستر، نشریه دانش کشاورزی، دوره ۱۳، شماره ۳، صص ۶۹-۷۸.
- الهدادی، مونا، قدیمی، فریدون، (۱۳۹۲). بررسی اثرات محیط زیستی معدن سولفات سدیم بر تالاب میقان، سی‌ودومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، تهران، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- بینای مطلق، پروین، (۱۳۸۹). دستورالعمل و روش‌های اندازه‌گیری عوامل فیزیکوشیمیایی و مواد شیمیایی معدنی سمی در آب آشامیدنی، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، معاونت بهداشت، مرکز سلامت محیط و کار.
- جعفری، رضا، بخشنده‌مهر، لیلا، (۱۳۹۱). بررسی تغییرات مکانی شوری و قلیائیت آب‌های زیرزمینی استان اصفهان با استفاده از زمین آمار، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، دوره ۱۸، شماره ۶۸، صص ۱۸۳-۱۹۵.
- حسنی پاک، علی‌اصغر، (۱۳۶۲). اصول اکتشافات ژئوشیمیایی، چاپ ۹، تهران، مرکز نشر دانشگاهی.
- حق‌پرست، مریم، پیرخراطی، حسین، محمدی، عباس، (۱۳۹۳). بررسی منشأ شوری آب‌های زیرزمینی دشت رشکان، دومین همایش ملی و تخصصی پژوهش‌های محیط‌زیست ایران، همدان، دانشگاه شهید مفتح.

- خدابخش، سعید، رفیعی، بهروز، افشارنیا، مینا، کبیری، شیما، اخلاص‌مند، رضا، (۱۳۹۵). شناسایی خاستگاه مواد محلول آب رودخانه خررود قزوین با روش آماری، فصلنامه کواترنری، دوره ۲، شماره ۴، صص ۳۶۷-۳۷۸.
- شهبازی، رضا، فیض‌نیا، سادات، (۱۳۹۰). تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کاهش کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی در حوضه آبخیز کویر مرکزی، پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۱، صص ۹۳-۱۰۴.
- شیخ فخرالدینی، سارا، عباس‌نژاد، احمد، (۱۳۹۴). بررسی تأثیر هوازدگی بر هیدروژئوشیمی رودخانه‌های زهکش‌کننده سنگ‌های آتشفشانی (رودخانه بیدخوان بردسیر کرمان)، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۱۹، شماره ۵۳، صص ۲۰۳-۲۲۶.
- صمدی، جواد، (۱۳۹۵). بررسی تأثیر مکانی‌زمانی و کیفی پساب‌های کاربری اراضی بر آلودگی تالاب چغاخور، مجله تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۱، شماره ۳، صص ۱۵۹-۱۷۱.
- عابدینی، علی، میرزاجانی، علیرضا، فلاحی، مریم، (۱۳۹۶). وضعیت فیزیکوشیمیایی آب و سطح تغذیه‌گرایی تالاب انزلی، مجله علمی شیلات ایران، سال ۲۶، شماره ۶، صص ۱۱۳-۱۲۴.
- عبدی، لیلا، رحیم‌پور بناب، حسین، (۱۳۹۱). هیدرولوژی و هیدروشنیمی پلایای میقان در ارتباط با سازندهای زمین‌شناسی منطقه، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، شیراز، دانشگاه شیراز.
- عزیزی، فرحناز، اصغری مقدم، اصغر، نظامی، امیرحسین، (۱۳۹۶). ارزیابی شوری آب زیرزمینی و تبیین منشأ یون‌ها در آبخوان ساحلی دشت ملکان با استفاده از نسبت‌های یونی، مجله محیط‌شناسی، دوره ۴۳، شماره ۳، صص ۴۳۷-۴۵۴.
- عظاملکی، علی، صادقی، شهرام، دولتی، محمد، غلامی، میترا، قربان‌پور، رضا، (۱۳۹۴). اندازه‌گیری و پایش مواد آلی و نوترینت‌ها در طول رودخانه چناران بجنورد، مجله ارتقای ایمنی و پیشگیری مصدومیت‌ها، دوره ۳، شماره ۱، صص ۶۷-۷۴.
- فتحی، پژمان، ابراهیمی، عیسی، اسماعیلی، علیرضا، (۱۳۹۴). ارزیابی کیفی آب تالاب چغاخور با استفاده از شاخص WQS، فصلنامه محیط زیست جانوری، دوره ۷، شماره ۳، صص ۱۱۹-۱۲۸.
- فلاح، مریم، فاخران اصفهانی، سیما، پیرعلی زفره‌ای، احمدرضا، فرهادیان، امیدوار، (۱۳۹۳). پایش تغییرات مقادیر فلزات سنگین، فسفات و ازت در تالاب بین‌المللی انزلی، اولین همایش ملی مدیریت پایدار منابع خاک و محیط‌زیست، کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- کرمی، غلامحسین، جعفری، هادی، قناعتیان، حامد، (۱۳۹۵). آلودگی منابع آب زیرزمینی در محدوده زمین‌های کشاورزی دشت مجن استان سمنان، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، دوره ۶، شماره ۲۱، صص ۴۶-۵۵.
- لاهیجانی، حمید، حائری اردکانی، امید، شریفی، آرش، نادری بنی، عبدالمجید، (۱۳۸۹). شاخص‌های ژئوشیمیایی و رسوب‌شناختی رسوبات خلیج گرگان، نشریه اقیانوس‌شناسی، شماره ۱، صص ۴۵-۵۵.

- محرم‌نژاد، ناهید، (۱۳۷۸). **ضوابط و استانداردهای زیست‌محیطی**، سازمان حفاظت محیط‌زیست.
- مظفری‌زاده، جابر، سجادی، زهرا، (۱۳۹۲). **بررسی علل شوری و نفوذ آب شور رودهای دالکی و حله به آبخوان برازجان**، مجله مهندسی منابع آب، دوره ۶، شماره ۱۶، صص ۶۹-۷۸.
- مقیم، محمدمهدی، امین، سیف‌الله، (۱۳۹۴). **بررسی عوامل مؤثر بر غلظت آمونیاک غیریونیزه و تأثیر این ماده بر آبزیان در رودخانه کر، نثریه آبیاری و آب ایران**، دوره ۶، شماره ۲، صص ۳۷-۴۷.
- مهاجرانی، شیوا، امینی، عبدالحسین، (۱۳۷۹). **رسوب‌شناسی کویر میقان با نگرشی ویژه و نحوه گسترش نهشته‌های تبخیری**، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تبریز، دانشگاه تبریز.
- نخعی، محمد، ودیعتی، میثم، صابری نصر، امیر، (۱۳۹۰). **ارزیابی تحولات هیدروژئوشیمیایی دشت تربت حیدریه**، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- Adesuyi, A.A., Nnodu, V., Njoku, K., Land A., Jolaoso, A., (2015). **Nitrate and Phosphate Pollution in Surface Water of Nwaja Creek, Port Harcourt, Niger Delta, Nigeria**, International Journal of Geology, Agriculture and Environmental Sciences, Vol 3 (5): 14-20
- Basatnia, N., Hossein, S.A., Rodrigo-Comino, J., Khaledian, Y.C., Brevik, E.C., Aitkenhead-Peterson, J., Natesan, U., (2018). **Assessment of temporal and spatial water quality in international Gomishan Lagoon, Iran, using multivariate analysis**, Environmental Monitoring and Assessment, Vol 190 (314): <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6679-2>.
- Hoguane, M.A., (2010). **Dissolved Oxygen and Biochemical Oxygen Demand in the Jeremias Joaquim Mocuba, Master thesis in Chemical Oceanography waters close to the Quelimane sewage discharge**, Geophysical Institute, University of Bergen– Norway, António School of Marine and Coastal Sciences, Eduardo Mondlane University– Quelimane.
- Iscen, C.F., Emiroglu, O., Ilhan, S., Arslan, N., Yilmaz, V., Ahiska, S., (2008). **Application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake, Turkey**, Environmental Monitoring and Assessment, Vol 144: 269- 276.
- Ghadimi, F., Ghomi, M., (2012). **Statistical Analysis of the Hydrogeochemical Evolution of Groundwater in Alluvial Aquifer of Arak Mighan Playa, Markazi Province, Iran**, Journal of Water Sciences Research, Vol 4: 31- 45.
- Ghadimi, F., Ghomi, M., (2013). **Geochemical Evaluation of Drinking Water in Arak City, Iran**, Iranian Journal of Earth Sciences, Vol 5: 54- 65.
- Ghadimi, F., Ghomi, M., Azimi, R., (2015). **Sources of nitrate and bromide contaminants of groundwater in alluvial aquifer of Arak, Iran**, Journal of Tethys, Vol 4 (2): 100- 115.
- Gradilla-Hernández, M.A., Anda, J., Garcia-Gonzalez, A., Meza-Rodríguez, D., Yebra Montes, C., Perfecto-Avalos, Y., (2020). **Multivariate water quality analysis of Lake Cajititlán, Mexico**, Environmental Monitoring and Assessment, Vol 192: DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7972-4>.
- Perry, C., Taylor, K., (2007). **Environmental Sedimentology**, Blackwell Publishing, 441 p.
- Pisarska, P., Mikołajczak, W., Jaroszek, H., Nowak, M., Dylewski, R., Cichy, B., (2017). **Processing of sodium sulphate solutions using the EED method: from a batch toward a continuous process**, Journal of Chemical Technology, Vol 19 (1): 54- 58.
- WHO., (2017). **Guidelines for Drinking-water Quality**, fourth ed. incorporating the first addendum, Geneva.