Vol. 11, No. 1, Spring and Summer 2025, pp. 131-151 ISSN (Print): 2538-449X ISSN (Online): 2981-1619

Research Article
OPEN ACCESS
Kharazmi Journal of Earth Sciences
Journal homepage https://gnf.khu.ac.ir

Identifying the recharge sources of important karst springs in Kohgiluyeh and BoyerAhmad provinces using stable isotopes of oxygen 18 and deuterium

Nasrollah Kalantari [1], Sajjad Pourakbari *[2], Taleb Moradieghad [3]

1, 2, 3. Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Chamran, Ahvaz, Iran.

Article info

Article history
Received: 20 May 2025
Accepted: 15 July 2025

Keywords:
Belqis, Siah, recharge Resources, Hydrograph.

Abstract

The karst springs of Belqis and Siah are among the abundant springs of Kohgiluyeh and BoyerAhmad provinces that are discharged from the Asmari limestones of the Lar anticline. The protruding surface of the Asmari limestones of the anticline is not proportional to the volume of water discharged from these springs. Based on the summary balance and hydrograph of the springs discharge, there are important water sources in the study area (including the Nile anticline) that can interfere with the recharge of the mentioned springs. Therefore, to evaluate this issue, the value of stable isotopes of oxygen (^{18}O) and hydrogen (^{2}H) of all water sources in the target area (discharge) and in the recharge area was determined for two periods (May 2023 and May 2024). Then, using these isotopic results and the local watershed line **(**LMWL**)**, the source of recharge of the springs in the target area was investigated, and the height of the recharge area and the possible recharge share of these springs from the water sources in the area were determined. The results showed that the elevation of the recharge area of the springs in the target area corresponds to their elevation in the Nile karst anticline. However, the share of water received by the Siah Spring is slightly higher compared to the water received by the Belqis Spring from the Nile anticline.

Introduction

In the analysis of water resources studies of the karst, it is of great importance to know the source of water entering the karst system. In general, the water entering a karst aquifer may originate from one or more sources (Mohammadi Behzad et al., 2015). In the most complex conditions, recharge can occur both from adjacent karst areas and from surface water sources available in the region, such a situation, in developed karst areas, may be accompanied by the emergence of springs with unexpected water discharge (Kalantari et al., 2016).

Hydrogeological studies are often insufficient to describe the hydrodynamics of groundwater in karst environments because groundwater flows both through fractures and through karst channels (Kohfahl et al., 2008). Several factors, including structural and lithological conditions, can control the hydrodynamics of groundwater in a shale environment at local and regional scales (Scanlon et al., 2002; Ford and Williams, 2007; Fiorillo, 2009; Kalantari et al., 2011). Attention to these factors seems essential for a better understanding of the recharge rate and regime in a shale system. Comparing the composition of stable oxygen (^{18}O) and hydrogen (^{2}H) isotopes in water from atmospheric precipitation (rain or snowmelt) and shale groundwater can be a valuable tool for assessing the recharge mechanism (Barbieri et al., 2005; Yeh et al., 2011). Today, the use of this tool has many supporters around the world. For example, using stable isotopes, important information has been obtained regarding the mean elevation of the main springs of the Gača River basin in Croatia (Mandić et al., 2008). In addition, a systematic review of the results of previous karst research in southwest China aimed to classify and summarize the stable isotope characteristics of groundwater. Comprehensive analysis reveals that the deuterium and oxygen isotope values of most karst groundwater are characterized temporally as 'enriched in the rainy season and depleted in the dry season', which is the opposite of the pattern of precipitation. While the spatial distribution feature

DOI http://doi.org/10.22034/KJES.2025.11.1.107941
***Corresponding author:** Sajjad Pourakbari; **E-mail:** sajadakbari66@gmail.com
How to cite this article: Kalantari, N., Pourakbari, S., Moradieghad, T., 2025. Identifying the recharge sources of important karst springs in Kohgiluyeh and BoyerAhmad provinces using stable isotopes of oxygen 18 and deuterium. Kharazmi Journal of Earth Sciences 11(1), 131- 151. http://doi.org/10.22034/KJES.2025.11.1.107941

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]

is basically consistent with the spatial variation pattern of precipitation, which is characterized as 'depleted from the coast to the interior'. In addition, the main applications of stable isotopes in karst groundwater include determining the groundwater recharge source and identifying the recharge height, investigating the hydrological cycle of groundwater, and tracking groundwater pollution (Tang et al., 2024).

By comparing the isotopic compositions of precipitation and groundwater discharge, the mixing between different parts of the groundwater reservoirs of one of the best-known and largest karst areas in Germany (the Blautopf catchment) was assessed. The homogeneous isotopic composition of the Blautopf spring was unexpected, as its highly variable discharge (0.3 to 32 m3 /s) is indicative of a rapidly reacting karst system. This isotopic homogeneity can be explained by the almost complete mixing of the water in the vadose zone as well as the minor role of the fast conduit system in the water balance of the Blautopf spring catchment (Schwarz et al., 2009).

The Capodacqua di Spigno spring was studied using the combination of oxygen-18 and deuterium isotopes of groundwater, together with hydrological characteristics, to identify the recharge zones of a karst aquifer in the southern Latium region of Italy. Since the δ18O and δ2H values of groundwater samples are natural tracers of the recharge zone elevation, a model based on the distribution of catchment basin surfaces as recharge zones, relative to elevation, was proposed. This model estimates the percentage of the catchment topography in recharge of the aquifer for each discharge value (Iacurto et al., 2020). Using isotopic tracers, the issue of recharge and local and regional groundwater flow in a limestone system in central Portugal was investigated. Based on the results, environmental isotopic data (δ^2H and δ^{18}O) indicates that the main recharge area of the thermomineral system is linked to the Jurassic limestones. The thermomineral aquifer system seems to be "isolated" from anthropogenic contamination, which is typical for the local shallow groundwater systems, due to the existence of impermeable layers composed of a series of loamy and detritic rocks of the Upper Jurassic. To investigate the hydrological cycle in the southeastern Tibetan Plateau of China, δ^{18}O and δ^2H were measured in waters of a mountainous area (Huangbengliu watershed). River water is isotopically more depleted in δ^{18}O and δ^2H than precipitation and groundwater, but richer than meltwater. The isotopic composition of river water shows a decreasing trend from upstream to downstream, which is caused by the input of tributary waters with heavy isotope-depleted water. Based on an isotopic mass balance model, the contribution of meltwater inputs to the total river flow varies from 25.5 to 61.8%. This study shows that ice-snow melting and tributary inputs are the dominant mechanisms regulating the isotope hydrology of the river (Meng and Liu, 2016). The spatial and temporal distribution of δ^{18}O and δ^2H measurements of precipitation and groundwater were used to identify the recharge areas of groundwater/springs in a mountainous catchment of the western Himalaya. The δ ^{18}O and δ ^{2}H of precipitation showed marked spatial and seasonal. δ^{18}O and δ^2H of precipitation is strongly influenced by the basin relief and meteorology. The δ^{18}O and δ^2H in groundwater showed a narrow spatial and temporal variation in comparison to precipitation. The most depleted (in heavier isotopes) isotopic values were observed in karst springs and most enriched (in heavier isotopes) isotopic values were observed in shallow groundwater samples. The results suggest that the groundwater with most depleted isotopic values have recharge areas at higher altitudes, whereas the groundwater with less depleted isotopic values have recharge areas at lower elevations (Jeelani et al., 2018). Similar studies have been conducted around the world (Yuan et al., 2011; Sappa et al., 2012; Dun et al., 2014; Filippini et al., 2015; Kanduć and Verbovšek, 2015; Liu et al., 2016).

In this study, for the first time, the source and recharge status of two important karst springs in Kohgiluyeh and Boyer Ahmad provinces (Belqis and Siah springs) were investigated using the analysis of stable isotopes of oxygen (^{18}O) and deuterium (^{2}H) in precipitation and spring water and simultaneous analysis of the daily hydrograph of these springs.

Materials and Methods

In order to obtain details of the recharge status of Karst Belqis and Siah springs, isotopic sampling was carried out from them during two periods (May 2023 and May 2024). In

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]

addition, sampling was also carried out from other springs in the area, including Abriz, Korsa, Mugher, Pirzal and Khimand springs. It should be noted that the samples were collected directly from the source of each spring. The isotopic samples were sent to the laboratory of Mesbah Energy Company in Arak to determine the amounts of stable isotopes of oxygen (^{18}O) and hydrogen (^{2}H), the results of which are presented in Table (1). The isotopic composition of oxygen and hydrogen of all samples was measured by IRMS. The conventional H_2O-CO_2 balance was used to measure the oxygen isotopes of water samples (Epstein and Mayeda, 1983). Thus, first about two milliliters of each water sample is equilibrated with CO_2 gas at a standard temperature of 25±1°C, then the CO_2 gas is purified by cryogenic operation in a vacuum line and then extracted. Zinc metal has also been used to measure hydrogen isotopes to produce hydrogen gas (Coleman et al., 1993). In order to evaluate the hydraulic relationship of the water resources of the study area, first, using rainwater and snow data of the study area and rainwater isotopic data of the Zagros region (Farhadi et al., 2019), two local hydro-atmospheric lines were drawn. The reason for drawing two local hydro-atmospheric lines that have different slopes is to strengthen and support the analysis of isotopic results.

Hydrogeological and geological status

The Belqis and Siah springs are the most important natural dischargers of the Lar anticline and the Arend karst aquifer. The mentioned springs are among the large karst springs in the northwest of Kohgilouyeh and Boyer-Ahmad provinces, which play an important role in providing drinking water, agriculture, and tourism development in Kohgilouyeh County. The manifestation of these springs is located in the direction of the fractured zone resulting from the operation of the Khark-Mish basement fault and in the direction of the anticline plunge. The reservoir rock recharge the springs is the Asmari limestone-karst formation, which occupies part of the outcrop area of the Lar anticline. The elevation of the emergence of the Belqis and Siah springs is 713 and 690 meters above sea level, respectively. The water flow of the Belqis spring in the water year 2022-2023 fluctuated from about 1.34 cubic meters in February 2022 to 0.75 cubic meters per second in October 2023. The water flow of the Siah spring fluctuated from about 1.1 cubic meters in February 2022 to 0.35 cubic meters per second in November 2022. The location of these springs is depicted in Figure (1). The Lar anticline is a two-sided and asymmetrical anticline with a length of 35 km. Its general extension is N45W in the northwest cape and S50E in the southeast cape. The surface cover of the Lar anticline consists of hard and resistant limestones of the Sarvak Formation, Asmari, Khami Group and shales of the Kzhdami Formation. Conventionally, the boundary of the Asmari Limestone with the Pabdeh Formation is considered as the boundary of the Arend and Lar karst aquifers and the axis of the Lar anticline. As a result of the activity of transverse fractures, the southeastern ridge has been eroded, creating a karst tectonic valley and the outcrop of the Spring Khimand. In fact, the Spring Khimand is considered the most important drain of this ridge. Most of the northwestern ridge of the Lar anticline is covered by the Asmari Limestone Formation. This formation has created important heights, such as the Chasht Khoran Mountain. The northwestern plunge of the anticline is limited by the Khark-Mish fault. In fact, the Lar anticline is the most important anticline containing a groundwater reservoir in the study area. Tectonically, along the fault line located in the northwest, transverse fractures, the Kharak-Mish fault, and the action of hidden thrust faults located in the Asmari limestone area have severely crushed the Asmari limestones, thus providing conditions for the development of karst in this area, and hence the formation of karst aquifers in this area; the discharge of the permanent Siah and Belqis springs confirms this.

In addition, the structural and hydrogeomorphological function of the thrusts also controls the hydrodynamics of recharge and discharging the springs, so that these thrusts act as a hydraulic barrier against the water flows entering the aquifer hosting the springs, and also the general direction of groundwater flow within and outside the basin is also under their control. Of course, the establishment of hydraulic communication and water balance between the karst basins of the area in question,this study is carried out by other faults. These faults are related to the main and fundamental faults of the region, namely the Dehdasht shear zone and the mountain

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]

frontal basement fault, which, by creating suitable tensile spaces, can balance the water deficit of the Arend karst basins (Belqis and Siah springs) with the high water potential of the adjacent karst basins.

According to the results obtained from the water balance studies of the karst basins of the study area, Table (2), the Arend karst aquifer (northeastern ridge of the Lar anticline), which hosts the Belqis and Siah springs, has only the ability to feed about 39.6 million cubic meters of water from this spring and its water balance is negative. Therefore, it is expected that a large part of the water of these springs is supplied from one or other sources. The hydrograph study of both springs also provides important evidence. According to the hydrograph of these springs (Figures 2 and 3), there are important peaks in the water flow of both springs in the wet and dry periods. The time intervals of the main peaks formed in the wet periods during the studied period of the water years 2022-2023 from the beginning of concentrated rainfall to the time of occurrence lasted on average more than a month, between 25 and 31 days for the Belqis spring and 32 to 36 days for the Siah spring. This time delay for a karst spring is approximately between one and five days above normal (Karami, 1993) and shows that the karst springs of Belqis and Siah have a large catchment area and a significant part of their recharge is provided by water coming from distant places. Also, in the case of the water flow peaks that occurred during the dry period, it is certain that rainfall did not play a direct role in their formation. The only evidence that can be considered for the occurrence of these peaks is the water resulting from the melting of snow masses on the surface of the karst basin recharge these springs. However, during the period under study, there was not much snowfall in the surface of the karst basin hosting Belqis and Siah springs and these basins are not snow-holding. Hence, it can be concluded that the adjacent karst basin(s) that are snow-holding can be involved in this recharge. Considering the geological and tectonic conditions and the balance estimate, the Nile karst basin has the potential to contribute to the recharge of the Belqis and Siah springs. According to the balance studies, approximately 40 percent (23.5 MCM) of the water of the Belqis and Siah springs can be supplied from this karst anticline (Table 2) and the rest, on average, about 39.6 MCM, can be supplied from the Arend karst aquifer. Unlike the two anticlines Siah and Lar, the Nile Mountain has precipitation in the form of snow every year. So that the surface of this anticline is covered with snow for half of the year. The Abriz spring is an important outlet of this anticline, which has emerged along the northwest plunge of the anticline. The hydrogeological and hydrogeochemical characteristics of this spring, along with the Belqis and Siah springs, are presented in Table (3). The average discharge rate of the Nile anticline by the Abriz spring is about 4.4 cubic meters per second (equivalent to 141 MCM) (Table 2). This figure constitutes about eighty percent of the volume of infiltration water resulting from precipitation on the surface of this anticline. Therefore, the water balance of this anticline is positive and, according to the rule of hydrological balance, this water can be transferred to the adjacent karst aquifers that have a negative water balance. Based on the tectonic studies and morphological evidence mentioned above, strike-slip faults resulting from the operation of the main and fundamental faults of the region, namely the Dehdasht shear zone and the mountain frontal basement fault, can be a factor in the water balance between the karst aquifers of the studied region. Considering this evidence, the possible routes of local and regional flows contributing to the recharge of the Belqis and Siah springs were determined (Figure 1). Based on this evidence, at least two main routes in the form of regional flows can contribute to the recharge of the springs. Studies have shown that although the second route covers a greater distance, it is more fragmented and therefore has wider channels due to its location along the bedrock lines and shear zone.

Hydraulic connection of water resources in the study area

Based on the results of H and O isotope analysis in the first stage of the isotopic studies in May (2022), all spring water samples are arranged close to the local watershed and far from the global watershed (Figure 4). As shown in Figure (4), the Abriz, Siah, and Belqis springs follow a linear trend. The linear trend between the springs indicates that these springs have hydraulic connection. The Abriz spring shows

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]

greater depletion than the other springs. The more negative values of the oxygen-18 and deuterium deltas of this spring compared to the Siah and Belqis springs can be explained as follows:

1. Its emergence location is at a higher altitude (1064 meters) than the Siah and Belqis springs, 2. It is located closer to the recharge source, therefore it responds to rainfall with a shorter time interval, 3. Only one source is involved in its recharge, for this reason less isotopic mixing and separation occurs in this spring, but the waters participating in recharge the Siah and Belqis springs, in addition to rotating within the calcareous aquifer of the Nile and traveling a long path, must pass through several formation layers (the shale and marl layers of the Pedeghuri formations) to enter the calcareous-dolomite aquifer that hosts the springs. Therefore, the reaction between water and rock due to the long flow can be one of the effective factors in increasing the isotopic exchange of the waters recharge these springs (Cartwright et al., 2012; Kanduč et al., 2014; Verbovšek and Kanduč., 2015; Mustafa et al., 2016). 4. For the aforementioned reasons, as well as the point and rapid recharge and, as a result, the very short residence time of the incoming water in the reservoir recharge the spring, the isotopic exchange between the incoming water and the reservoir rock occurs to a limited extent. While this is clearly seen in the case of the Siah and Belqis springs. Although the Belqis and Siah springs appeared at almost the same height, the values of the oxygen-18 delta and deuterium of the Siah spring are slightly lower. This can be due to the following reasons :

1. The higher percentage of recharge of the Siah spring than the Belqis spring from common recharge sources (adjacent karst basins). 2. Higher percentage of rapid flow of Siah Spring compared to Spring Belqis, in other words, greater influence of channel flow on Spring Siah outlet discharge compared to Spring Belqis (common recharge path of both springs), therefore there is less opportunity for isotopic mixing and separation and isotope equilibrium in Spring Siah. It should be noted that based on the first stage studies, Peerzal and Korsa springs follow a linear trend (with very limited isotopic separation) (Figure 4). The linear trend between the aforementioned springs indicates that both springs are fed by the same parent water (with primary origin). It should be noted that these springs do not have a specific connection with adjacent karst basins and are all fed by the Black Anticline. Khimand spring also does not show a specific connection with adjacent karst basins.

In the second stage of the isotopic studies in May (2023), in addition to sampling from the springs in the study area, snow in the Nile anticline was also sampled. Based on the results of the second stage of isotopic studies, in addition to repeating the linear trend between the springs of Abriz, Siah and Belqis and the snow samples of the Nile anticline, there is also a linear relationship (Figure 5). These springs show less depletion than the snow samples. The linear trend between the springs indicates that the springs probably originate from a single water source with the same climatic and nutritional conditions. To assess this issue, the height of the recharge area of the springs of Abriz, Siah and Belqis was estimated using two methods of elevation isotopic gradient and using geological and topographic maps, the results of which are presented in Table 4. It is important to note that the altitudinal isotopic gradient can be obtained using rainfall samples collected from different altitudes in the study area. For this purpose, the oxygen-18 isotope values are used more often than deuterium (Azzaz et al., 2008).

The isotopic elevation gradient obtained for this study was obtained from the combination of elevation gradients against the delta values of oxygen-18 and deuterium isotopes of the isotopic rainfall data of the Middle Zagros region (Abedian and Mojiri, 2025). However, the unreasonable use of the average isotopic gradient for a regional scale can lead to significant errors in the estimation of the recharge height (Lastennet, 1994). Therefore, the use of these gradients is always difficult due to the complexities of the topography and geological structures, as well as the low accuracy in determining the hydrodynamic parameters (such as flow rate, permeability, and reservoir size). Thus, the recharge heights estimated by the above method must be controlled by geological and topographic criteria (Azzaz et al., 2008). Based on the results of the methods mentioned in Table (4), the minimum recharge height of the Belqis and Siah springs should be more than 2600 meters. This is while the average

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]

height of the host anticline of the Belqis and Siah springs, namely the Lar anticline, is 1657 meters and the elevation of the springs is 713 and 690 meters respectively. On the other hand, the recharge height of these springs is almost close to the recharge height of the watershed spring in the Nile anticline, so it can be concluded that the host basins of the springs are not the only ones responsible for their water supply and the adjacent karst anticline, namely the Nile anticline, which has a higher height and is consistent with the estimated value from both methods, can interfere in recharge these springs.

Results and Discussion

The results of the summary balance of the karst basins of the study area show that the topographic level of the karst aquifers hosting the Siah and Belqis springs is less than the amount required to supply the outlet water of these springs. On the other hand, in the vicinity of these anticlines there are aquifers such as the Nile karst aquifer, which have a topographic level greater than the amount required to supply the outlet water of the springs and can compensate for the water deficit of the Siah and Belqis springs. The occurrence of important water flow peaks in dry periods with a long delay (on average more than one month) in the hydrograph of the Siah and Belqis springs shows that these springs have a large catchment area and a significant part of their recharging is provided by water originating from distant points and snowmelt. Since the karst basins hosting the Siah and Belqis springs are not snow-bearing, it is expected that the adjacent karst (snow-bearing) basin(s) will interfere in the water supply. To investigate this issue, the stable isotopes of oxygen (^{18}O) and hydrogen (^{2}H) of the springs of the target area (including the Siah and Belqis springs) and the spring (Abriz) in the source area (recharge area) were evaluated for two sampling periods. The results of these studies show that there is a strong linear relationship between the karst aquifers hosting the Siah and Belqis springs with the karst aquifer hosting the springs of the source area (the Nile Karst Aquifer). Also, based on isotopic data and geological and topographic maps, the elevation of the recharge area of the aforementioned springs does not match the average elevation of their host basin, the Lar Karst Basin, and is consistent with the elevation of the recharge area of the Nile Karst Aquifer. Despite the fact that the climatic conditions and recharge mechanism of the Siah and Belqis springs are similar, the examination of the isotopic data and hydrographs of the springs shows a difference between the composition of stable isotopes and the hydrographs of both springs, which can be related to the difference in the hydrodynamic state of their discharge.

References

Abedian, H., Mojiri, A., 2024. Investigation of the composition of deuterium and oxygen-18 isotopes of precipitation and determination of the local atmospheric water line in a part of the Middle Zagros range (Zardkoh Bakhtiari). Iranian Journal of Water Research (18) 1. (in Persian)

Azzaz, H., Cherchali, M., Meddi, M., Houha, B., Puig, J.M., Achachi, A., 2008. The use of environmental isotopic and hydrochemical tracers to characterize the functioning of karst systems in the Tlemcen Mountains, northwest Algeria. Hydrogeology Journal 16(3), 531–546.

Barbieri, M., Boschetti, T., Petitta, M,. Tallini, M., 2005. Stable isotopes (2H, 18O and 87Sr/86Sr) and hydrochemistry monitoring for groundwater hydrodynamics analysis in a karst aquifer (Gran Sasso, Central Italy). Applied Geochemistry Journal 20(11), 2063–2081.

Cartwright, I., Weaver, T.R., Cendón, D.I., Fifield, L.K., Tweed, S.O., Petrides, B., Swane, I., 2012. Constraining groundwater flow, residence times, inter-aquifer mixing and aquifer properties using environmental isotopes in the southeast MurrayBasin, Australia. Applied Geochemistry Journal 27(9), 1698-1709.

Coleman, M., Eggenkamp, H., Matray, J.M., Pallant, M., 1993. Reduction of water with zinc for hydrogen analyses. Analytical Chemistry 54(6), 993–995.

Dun, Y., Tang, C., Shen, Y., 2014. Identifying interactions between river water and groundwater in the North China Plain using multiple tracers. Environmental Earth Sciences 72(1), 99-110.

Epstein, S., Mayeda, T.K., 1953. Variations of the 18O/16O ratio in natural waters. Geochimica et Cosmochimica Acta 4(213), 1702–1703.

Farhadi, S., Alijani, F., Naseri, H. R., 2019. Comparison of stable isotope characteristics of the flood of Farvardin 2019 in the southwest of the country with the atmospheric water line of other regions of Iran and neighboring countries. Journal of Agricultural Meteorology 8 (2), 44-59. (in Persian)

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]

Filippini, M., Stumpp, C., Nijenhuis, I., Richnow, H.H., Gargini, A., 2015. Evaluation of aquifer recharge and vulnerability in an alluvial lowland using environmental tracers. Journal of Hydrology 529, 1657-1668.

Fiorillo, F., 2009. Spring hydrographs as indicators of droughts in a karst environment. Journal of Hydrology 373, 290–301.

Ford, D., Williams, P., 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology. Chapman & Hall, London.

Iacurto, S., Grelle, G,. Maria De Filippi, F., Sappa, G., 2020. Karst Spring Recharge Areas and Discharge Relationship by Oxygen-18 and Deuterium Isotopes Analyses: A Case Study in Southern Latium Region, Italy. Applied Sciences 10(5), 1882.

Jeelani, G., A. Shah, R., D. Deshpande, R., 2018. Application of Water Isotopes to Identify the Sources of Groundwater Recharge in a Karstified Landscape of Western Himalaya. Journal of Climate Change 4 (1), 1882.

Kalantari, N., Charchi, A., Mohammadi-Behzad, H.R., Nadri, A., 2016. Bibitalkhone and Gariveh Springs paradox symbol of the Pabdeh karstic anticline in southwest Iran. Arabian Journal of Geosciences 9(2), 1-8.

Kalantari, N., Ghafari, H.R., Keshavarzi, M.R., Mallaei, M.R., 2011. Factors impacting on flow pattern in the Shimbar karstic area in the southwest of Iran. Besancon, France , 9th conference on limestone hydrogeology 257-260.

Kanduč, T., Grassa, F., McIntosh, J., Stibilj, V., Ulrich-Supovec, M., Supovec, I., Jamnikar, S., 2014. A geochemical and stable isotope investigation of groundwater/surface-water interactions in the Velenje Basin, Slovenia. Hydrogeology Journal 22(4), 971-984.

Karami, G., 1993. Studying the relationship between factors affecting water infiltration and physical and chemical characteristics of karst springs in the Gar and Barm Firuz mountains. Master's thesis in Hydrogeology. Department of Geology. Shiraz University. 355. (in Persian)

Kohfahl, C., Sprenger, C. B., Herrera, J., Meyerc, H., Fernandez Chacon d. F., Pekdeger, A., 2008. Recharge sources and hydrogeochemical evolution of groundwater in semiarid and karstic environments: A field study in the Granada Basin (Southern Spain). Applied Geochemistry Journal 23, 846–862.

Lastennet, R., 1994. Role of the unsaturated zone in the functioning of karstic aquifers: approach by physical, chemical and isotopic studies of inlet signals and spring outlets in the Ventoux Mountain (Vaucluse). PhD Thesis, Avignon University, France, 116–117.

Liu, J., Chen, Z., Zhang, Y., Li, Z., Zhang, L., Liu, F., 2016. Stable isotope evidences on sources and mechanisms of groundwater recharge in Hohhot basin, China. Environmental Earth Sciences 75(5), 1-10.

Mandić, M., Bojić, D., Roller-Lutz, Z., Lutz, H.O., Krajcar Bronić, I., 2008. Note on the spring region of Gacka River (Croatia). sotopes in environmental and health studies 44(2), 201–208.

Marques, J.M., Graça, H., Eggenkamp, H.G., Neves, O., Carreira, P.M., Matias, M.J., Mayer, B., Nunes, D., Trancoso, V.N., 2013. Isotopic and hydrochemical data as indicators of recharge areas, flow paths and water–rock interaction in the Caldas da Rainha–Quinta das Janelas thermomineral carbonate rock aquifer (Central Portugal). Journal of Hydrology 476, 302-313.

Meng, Y., Liu, G., 2016. Isotopic characteristics of precipitation, groundwater and stream water in an alpine region in southwest China. Environmental Earth Sciences 75(10), 1-11.

Mohammadi Behzad, H.R., Cherchi, A., Kalantari, N., 2015. Investigation of the hydrogeological behavior of the Sabz-ab karst spring in the northeast of Khuzestan Province. Quarterly Journal of Advanced Applied Geology 15, 10-19. (in Persian)

Mustafa, O., Tichomirowa, M., Kummer, N.A. and Merkel, B., 2016. Assessment of water-rock interaction processes in the Karst springs of Makook Anticline (Kurdistan Region, Iraq) using Sr-isotopes, rare earth, and trace elements. Arabian Journal of Geosciences 9(5), 1-26.

Sappa, G., Barbieri, M., Ergul, S.. Ferranti, F., 2012. Hydrogeological conceptual model of groundwater from carbonate aquifers using environmental isotopes (18O, 2H) and chemical tracers: a case study in Southern Latium Region, Central Italy. Journal of Water Resource and Protection 4(09), 695-716.

Scanlon, B.R., Healy, R.W., Cook, P.G., 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeology Journal 10, 18–39.

Schwarz, K., Barth, J.A.C., Postigo-Rebollo, C., Grathwohl, P., 2009. Mixing and transport of water in a karst catchment: a case study from precipitation via seepage to the spring. Hydrology and Earth System Sciences 13, 285–292.

Tang, M., Yu, Sh., You, Sh., 2024. The Characteristics and Application of Deuterium and Oxygen Isotopes to Karst Groundwater, Southwest China. Water 16, 1812.

Verbovšek, T., Kanduč, T., 2015. Isotope Geochemistry of Groundwater from Fractured Dolomite Aquifers in Central Slovenia. Aquatic Geochemistry 22(2), 1-21.

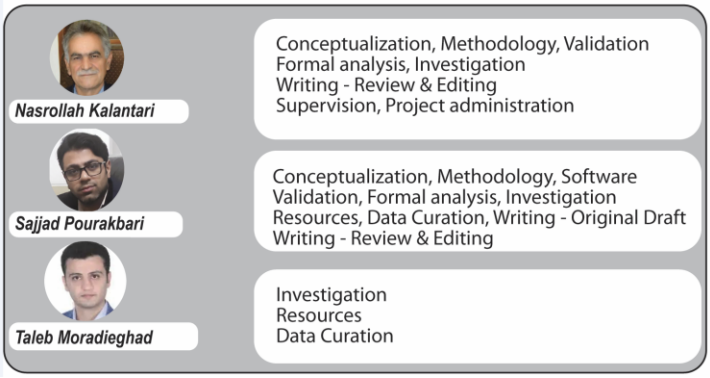
Yeh, H.F., Lee, C.H., Hsu, K.C., 2011. Oxygen and hydrogen isotopes for the characteristics of groundwater recharge: a case study from the Chih-Pen Creek basin, Taiwan. Environmental Earth Sciences 62(2), 393–402.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]

Yuan, R., Song, X., Zhang, Y., Han, D., Wang, S., Tang, C., 2011. Using major ions and stable isotopes to characterize recharge regime of a fault-influenced aquifer in Beiyishui River Watershed, North China Plain. Journal of Hydrology 405(3), 512-521.

CRediT authorship contribution statement



[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]

جلد ۱۱، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۴، صفحه ۱۳۱ تا ۱۵۱ شاپا چاپی: ۴۴۹x- ۲۵۳۸ شاپا الکترونیکی: ۱۶۱۹-۲۹۸۱

مقاله پژوهشی

دسترسی آزاد

مجله علوم زمین خوارزمی

Journal homepage https://gnf.khu.ac.ir

شناخت منابع تغذیه چشمه‌های کارستی مهم استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم

نصرالله کلانتری[۱]، سجاد پوراکبری*[۲]، طالب مرادی نژاد [۳]

۱، ۲، ۳. دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۳۰

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۴

واژه‌های کلیدی

بلقیس، سیاه، منابع تغذیه، هیدروگراف.

چکیده

چشمه‌های کارستی بلقیس و سیاه ازجمله چشمه‌های پرآب استان کهگیلویه و بویراحمد هستند که از آهک‌های آسماری تاقدیس لار تخلیه می‌گردند. سطح بیرون زده آهک‌های آسماری تاقدیس متناسب با حجم آب تخلیه‌شده از این چشمه‌ها نیست. بر اساس بررسی‌های بیلان اجمالی و هیدروگراف تخلیه چشمه‌ها، منابع آب مهمی در منطقه موردمطالعه وجود دارد (ازجمله تاقدیس نیل) که می‌تواند در امر تغذیه چشمه‌های یادشده دخالت داشته باشد. بنابراین، جهت ارزیابی این موضوع، محتوی ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن (^{18}O) و هیدروژن (^{2}H) تمامی منابع آب موجود در منطقه هدف (تخلیه) و در منطقه تغذیه برای دو دوره (اردیبهشت ۱۴۰۲ و اردیبهشت ۱۴۰۳) تعیین گردید. سپس، با استفاده از این نتایج ایزوتوپی و خط آب جوی محلی (LMWL)، به بررسی منشأ تغذیه چشمه‌های منطقه هدف پرداخته شد و ارتفاع منطقه تغذیه و سهم تغذیه احتمالی این چشمه‌ها از منابع آب موجود در منطقه تعیین گردید. نتایج نشان داد که ارتفاع منطقه تغذیه چشمه‌های منطقه هدف با ارتفاع آن‌ها در تاقدیس کارستی نیل مطابقت دارد. بااین‌حال، سهم آب دریافتی چشمه سیاه در مقایسه با آب دریافتی چشمه بلقیس از تاقدیس نیل، کمی بیشتراست.

مقدمه

در تجزیه و تحلیل مطالعات منابع آب کارست شناخت منشأ آب ورودی به سیستم کارستی از اهمیت زیادی برخوردار است. به‌طورکلی آب‌های ورودی به یک آبخوان کارستی ممکن است از یک یا چند منبع منشأ بگیرند (Mohammadi Behzad et al., 2015). در پیچیده‌ترین شرایط، تغذیه آبخوان می‌تواند از حوزه‌های کارستی مجاور و منابع آب سطحی موجود در منطقه صورت گیرد، چنین وضعیتی، معمولاً در مناطق توسعه‌یافته کارستی مشاهده می‌شود که می‌تواند منجر به ظهور چشمه‌هایی با دبی غیرمنتظره گردد (Kalantari et al., 2016). مطالعات هیدروژئولوژی اغلب برای تشریح هیدرودینامیک آب زیرزمینی در محیط‌های کارستی کافی نیست، زیرا آب زیرزمینی از درون شکستگی‌ها همچنین از میان کانال‌های کارستی در جریان است (Kohfahl et al., 2008). عوامل متعددی ازجمله وضعیت ساختاری و لیتولوژی می‌تواند هیدرودینامیک آب‌های زیرزمینی در محیط کارستی را در مقیاس محلی و ناحیه‌ای کنترل کنند (Scanlon et al. 2002; Ford and Williams 2007; Fiorillo, 2009; Kalantari et al., 2011). توجه به این عوامل برای درک بهتر از نرخ تغذیه و رژیم تغذیه در یک سامانه کارستی ضروری به نظر می‌رسد. مقایسه ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن (^{18}O) و هیدروژن (^{2}H) موجود در آب حاصل از ریزش‌های جوی (باران یا ذوب برف) و آب

DOI http://doi.org/10.22034/KJES.2025.11.1.107941

***نویسنده مسئول:** سجاد پوراکبری sajadakbari66@gmail.com

استناد به این مقاله: کلانتری، ن.، پوراکبری، س.، مرادی نژاد، ط. (۱۴۰۴). شناخت منابع تغذیه چشمه‌های کارستی مهم استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم. مجله علوم زمین خوارزمی. جلد ۱۱، شماره ۱، صفحه ۱۳۱ تا ۱۵۱. http://doi.org/10.22034/KJES.2025.11.1.107941

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]

CC BY NC

زیرزمینی می‌تواند ابزاری ارزشمند برای ارزیابی مکانیسم تغذیه باشد (Barbieri et al., 2005; Yeh et al., 2011). امروز استفاده از این ابزار طرفداران زیادی در دنیا دارد. به‌عنوان‌مثال با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار، اطلاعات مهمی در رابطه با میانگین ارتفاع مناطق تغذیه چشمه‌های اصلی حوضه آبریز رودخانه گاکا کرواسی به‌دست‌آمده است (Mandić et al., 2008). علاوه بر این، بررسی سیستماتیک نتایج تحقیقات قبلی کارست در جنوب غربی چین که باهدف دسته‌بندی و خلاصه‌سازی ویژگی‌های ایزوتوپی پایدار آب‌های زیرزمینی صورت گرفت. این تجزیه و تحلیل جامع نشان می‌دهد که مقادیر ایزوتوپ دوتریوم و اکسیژن اکثر آب‌های زیرزمینی کارست ازنظر زمانی به‌صورت "غنی‌شده در فصل بارانی و تهی شده در فصل خشک" توصیف می‌شوند، که برعکس الگوی بارش است. درحالی‌که ویژگی توزیع مکانی اساساً با الگوی تغییرات مکانی بارش سازگار است که به‌صورت "تهی شده از ساحل به خشکی" توصیف می‌شود. علاوه بر این، کاربردهای اصلی ایزوتوپ‌های پایدار در آب‌های زیرزمینی کارست، شامل تعیین منبع تغذیه آب‌های زیرزمینی و شناسایی ارتفاع تغذیه، تحقیق در مورد چرخه هیدرولوژیکی و ردیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی است (Tang et al., 2024). با مقایسه ترکیبات ایزوتوپی بارندگی و تخلیه آب زیرزمینی، اختلاط بین بخش‌های مختلف مخازن آب زیرزمینی یکی از شناخته‌شده‌ترین و بزرگ‌ترین مناطق کارستی آلمان (حوضه آبریز بلاوتاف) ارزیابی شد. ترکیب ایزوتوپی همگن چشمه بلاوتاف غیرمنتظره بود، زیرا دبی بسیار متغیر آن (۰٫۳ تا ۳۲ مترمکعب در ثانیه) بیان‌کننده یک سیستم کارستی با واکنش سریع است. این همگنی ایزوتوپی را می‌توان با اختلاط تقریباً کامل آب موجود در منطقه وادوز و همچنین نقش جزئی سیستم مجرای سریع در تعادل آب حوضه آبریز چشمه بلاوتاف توضیح داد (Schwarz et al., 2009). چشمه کاپوداکوا دی اسپینو، با استفاده از ترکیب ایزوتوپ‌های اکسیژن-۱۸ و دوتریوم آب‌های زیرزمینی همراه با ویژگی‌های هیدرولوژیکی، به‌منظور شناسایی مناطق تغذیه آبخوان کارستی در جنوب منطقه لاتیوم ایتالیا، بررسی شد. ازآنجایی‌که مقادیر $\delta^{18}O$ و $\delta^{2}H$ نمونه‌های آب زیرزمینی، ردیاب‌های طبیعی ارتفاع منطقه تغذیه هستند، مدلی بر اساس توزیع سطوح حوضه آبگیر به‌عنوان مناطق تغذیه، نسبت به ارتفاعات پیشنهاد شد. این مدل برای هر مقدار تخلیه، درصد توپوگرافی آبگیر در تغذیه آبخوان را تخمین می‌زند (Iacurto et al., 2020). با استفاده از ردیاب‌های ایزوتوپی مسئله تغذیه و مسیر جریان محلی و ناحیه‌ای آب زیرزمینی در یک سامانه آهکی در مرکز پرتقال بررسی گردید. بر اساس نتایج، داده‌های ایزوتوپی محیطی ($\delta^{2}H$ و $\delta^{18}O$) نشان می‌دهد که منطقه تغذیه اصلی سیستم ترمومینرال به سنگ‌های آهکی ژوراسیک مرتبط است. همچنین به نظر می‌رسد سیستم آبخوان ترمومینرال به دلیل وجود لایه‌های نفوذناپذیر متشکل از مجموعه‌ای از سنگ‌های لومی و آواری ژوراسیک بالایی، از آلودگی‌های انسانی که برای سیستم‌های آب زیرزمینی کم‌عمق محلی معمول است، "ایزوله" شده است (Marques et al., 2013). برای بررسی چرخه هیدرولوژیکی در جنوب شرقی فلات تبت چین، $\delta^{18}O$ و $\delta^{2}H$ در آب‌های یک منطقه کوهستانی (حوزه آبریز هوانگ‌بنگلیو) اندازه‌گیری گردید. آب رودخانه از نظر ایزوتوپی بیشتر از بارش و آب‌های زیرزمینی از ^{18}O و ^{2}H تهی شده ، اما غنی‌تر از آب‌های حاصل از ذوب یخ است. ترکیب ایزوتوپی آب رودخانه روند کاهشی را از بالادست به پایین‌دست نشان می‌دهد که ناشی از ورودی آب‌های فرعی با آب تهی شده از ایزوتوپ سنگین است. بر اساس یک مدل تعادل جرم ایزوتوپی، سهم ورودی‌های آب ذوب‌شده نسبت به‌کل جریان رودخانه از ۲۵٫۵ تا ۶۱٫۸ درصد متغیراست. این مطالعه نشان می‌دهد که ذوب یخ-برف و ورودی‌های شاخه‌های فرعی، مکانیسم‌های غالب تنظیم‌کننده هیدرولوژی ایزوتوپ رودخانه است (Meng and Liu, 2016). با استفاده از توزیع مکانی و زمانی اندازه‌گیری‌های $\delta^{18}O$ و $\delta^{2}H$ بارش و آب‌های زیرزمینی، شناسایی مناطق تغذیه آب‌های زیرزمینی و چشمه‌ها در یک حوضه آبریز کوهستانی در غرب هیمالیا صورت گرفت. $\delta^{18}O$ و$\delta^{2}H$ بارش، تغییرات مکانی و فصلی قابل‌توجهی را نشان دادند، $\delta^{18}O$ و $\delta^{2}H$ بارش به‌شدت تحت تأثیر پستی‌وبلندی حوضه و هواشناسی قرار دارد. مقادیر $\delta^{18}O$ و $\delta^{2}H$ در آب‌های زیرزمینی در مقایسه با بارش‌ها، تغییرات

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]

مکانی و زمانی محدودی را نشان دادند. بیشترین مقادیر ایزوتوپی تهی شده (در ایزوتوپ‌های سنگین‌تر) در چشمه‌های کارستی و بیشترین مقادیر ایزوتوپی غنی‌شده (در ایزوتوپ‌های سنگین‌تر) در نمونه‌های آب‌های زیرزمینی کم‌عمق مشاهده شد. نتایج نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی با بیشترین مقادیر ایزوتوپی تهی شده، مناطق تغذیه در ارتفاعات بالاتر دارند، درحالی‌که آب‌های زیرزمینی با مقادیر ایزوتوپی کمتر تهی شده، مناطق تغذیه در ارتفاعات پایین‌تر دارند (Jeelani et al., 2018). تحقیقات مشابه دیگری نیز در جهان انجام‌شده (Yuan et al., 2011; Sappa et al., 2012; Dun et al., 2014; Filippini et al., 2015; Kanduć and Verbovšek, 2015; Liu et al., 2016). در این پژوهش برای نخستین بار، به بررسی منشأ و وضعیت تغذیه‌ای دو چشمه مهم کارستی استان کهگیلویه و بویراحمد (چشمه بلقیس و چشمه سیاه) با استفاده از تحلیل ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن (^{18}O) و دوتریوم (^{2}H) در بارش و آب چشمه‌ها و تحلیل هم‌زمان هیدروگراف روزانه این چشمه‌ها اقدام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور به دست آوردن جزئیاتی از وضعیت تغذیه چشمه‌های کارستی بلقیس و سیاه از آن‌ها در طول دو دوره (اردیبهشت ۱۴۰۲ و اردیبهشت ۱۴۰۳) نمونه‌برداری ایزوتوپی صورت گرفت. علاوه بر این از چشمه‌های دیگر موجود در منطقه شامل چشمه‌های آبریز، کورسا، موگر، پیرزال و خیمند نیز نمونه‌برداری به عمل آمد. لازم به ذکر است نمونه‌ها مستقیماً از مظهر هر چشمه برداشت گردید. نمونه‌های ایزوتوپی جهت تعیین مقادیر ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن (^{18}O) و هیدروژن (^{2}H) به آزمایشگاه شرکت مصباح انرژی اراک ارسال شد، که نتایج آن در جدول (۱) ارائه‌شده است. ترکیب ایزوتوپی اکسیژن و هیدروژن تمام نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه IRMS موردسنجش قرارگرفته است. جهت سنجش ایزوتوپ‌های اکسیژن نمونه‌های آب از موازنه متداول H_2O-CO_2 استفاده‌شده است (Epstein and Mayeda,1983). بدین‌صورت که ابتدا حدود دو میلی‌لیتر از هر نمونه آب در دمای استاندارد ۲۵± ۱ درجه سانتی‌گراد با گاز CO_2 موازنه می‌شود، سپس گاز CO_2 با عمل برودت زایی در خط خلأ تصفیه‌شده و پس‌ازآن استخراج می‌شود. برای سنجش ایزوتوپ هیدروژن نیز از فلز روی به‌منظور تولید گاز هیدروژن استفاده‌شده است (Coleman et al., 1993). جهت ارزیابی ارتباط هیدرولیکی منابع آب محدوده مطالعاتی، ابتدا با استفاده از داده‌های آب باران و برف منطقه موردمطالعه و داده‌های ایزوتوپی آب باران ناحیه زاگرس خط آب جوّی محلی ترسیم گردید(Farhadi et al., 2019).

جدول ۱- نتایج سنجش ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن (^{18}O) و هیدروژن (^{2}H) منابع آب محدوده مطالعاتی در طول دوره نمونه‌برداری

Table 1. Results of measurement of stable isotopes of oxygen (**^{18}O**) and hydrogen (**^{2}H**) in water resources of the study area during the sampling period

منابع آبی	اردیبهشت ۱۴۰۳ (دوره بعد از بارندگی)		اردیبهشت ۱۴۰۲ (دوره بعد از بارندگی)		ارتفاع (متر)
	$\delta^{18}O$ [‰]	$\delta^{2}H$ [‰]	$\delta^{18}O$ [‰]	$\delta^{2}H$ [‰]	
آبریز	-4.87	-27.29	-4.77	-27.19	1062
بلقیس	-4.2	-20.51	-4.38	-20.91	713
سیاه	-4.36	-22.09	-4.46	-22.39	690
خیمند	-4.62	-23.06	-4.82	-23.36	799
پیرزال	-4.64	-22.76	-4.64	-22.56	837
کورسا	-4.59	-21.97	-4.59	-21.87	830
موگر	-4.09	-19.3	-4.29	-19.5	802
برف	-5.68	-33.87	-	-	3115
برف	-5.89	-34.2	-	-	3145

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]

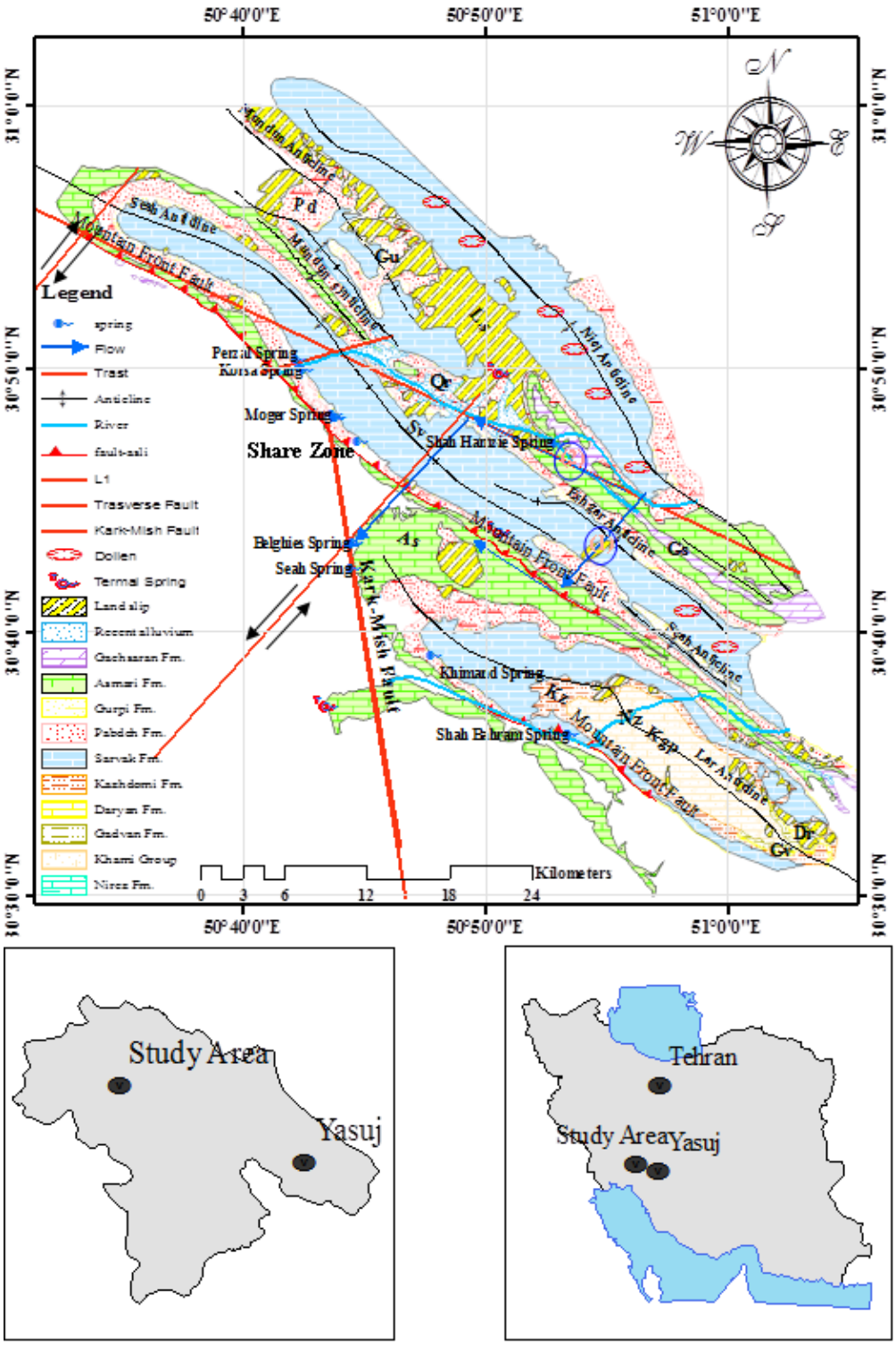
بحث

وضعیت هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی

چشمه‌های بلقیس و سیاه مهم‌ترین تخلیه کننده‌های طبیعی تاقدیس لار و آبخوان کارستی آرند می‌باشند. چشمه‌های مذکور ازجمله چشمه‌های کارستی بزرگ در شمال غرب استان کهگیلویه و بویراحمد هستند که نقش مهمی در تأمین آب شرب، کشاورزی و توسعه گردشگری شهرستان کهگیلویه دارند. مظهر این چشمه‌ها در راستای زون خردشده حاصل از عملکرد گسل پی‌سنگی خارک- میش و در جهت پلانژ تاقدیس قرار دارد. سنگ مخزن تغذیه‌کننده چشمه‌ها سازند آهکی- کارستی آسماری است که بخشی از مساحت رخنمون تاقدیس لار را به خود اختصاص داده است. ارتفاع ظهور چشمه‌های بلقیس و سیاه به ترتیب ۷۱۳ و ۶۹۰ متر از سطح دریاهای آزاد است. آبدهی چشمه بلقیس در سال آبی ۱۴۰۲ -۱۴۰۱ از حدود ۱/۳۴ مترمکعب مربوط به بهمن ۱۴۰۱ تا ۰/۷۵ مترمکعب بر ثانیه مربوط به مهرماه ۱۴۰۲ در نوسان است. آبدهی چشمه سیاه از حدود ۱/۱ مترمکعب مربوط به بهمن ۱۴۰۱ تا ۰/۳۵ مترمکعب بر ثانیه مربوط به آبان ماه ۱۴۰۱ نوسان داشته است. موقعیت این چشمه‌ها در شکل (۱) به تصویر کشیده شده است، تاقدیس لار، تاقدیسی دو سو مایل و نامتقارن به طول ۳۵ کیلومتر است. امتداد کلی آن در دماغهٔ شمال غربی N45W و در دماغهٔ جنوب شرقی S50E است. پوشش سطحی تاقدیس لار از آهک‌های سخت و مقاوم سازند سروک، آسماری، گروه خامی و شیل های سازند کژدمی تشکیل‌شده است. به‌صورت قراردادی، مرز آهک آسماری با سازند پابده به‌عنوان مرز آبخوان کارستی آرند و لار و محور تاقدیس لار لحاظ می‌شود. درنتیجه فعالیت شکستگی‌های عرضی، یال جنوب شرقی خورده و باعث ایجاد درهٔ تکتونیکی کارستی و رخنمون چشمه خیمند شده است. در حقیقت چشمه خیمند مهم‌ترین تخلیه کنندهٔ این یال محسوب می‌شود. بیشتر یال شمال غربی تاقدیس لار به‌وسیله سازند آهکی آسماری پوشیده شده است. این سازند ارتفاعات مهمی، مانند کوه چاشت خوران را ایجاد کرده است. پلانژ شمال غربی تاقدیس توسط گسل خارک –میش محدودشده است. ازلحاظ تکتونیکی در راستای گسل واقع در یال شمال غرب، شکستگی‌های عرضی، گسل خارک – میش و عملکرد گسل‌های راندگی پنهان واقع در منطقه، آهک‌های آسماری شدیداً خردشده‌اند. بنابراین شرایط برای توسعه کارست در این منطقه مهیا و امکان تشکیل آبخوان‌های کارستی در این ناحیه فراهم‌شده است؛ آبدهی چشمه‌های دائمی سیاه و بلقیس تائید کننده این موضوع است.

راندگی‌ها علاوه بر عملکرد ساختاری و هیدروژئومورفولوژی، هیدرودینامیک تغذیه و تخلیه چشمه‌ها را نیز معین می‌کنند، به‌طوری‌که در برابر جریان‌های آب ورودی به آبخوان میزبان چشمه‌ها، به‌صورت یک سد هیدرولیکی عمل کرده و جهت جریان عمومی آب‌های زیرزمینی درون حوضه‌ای و برون حوضه‌ای تحت کنترل آن‌هاست. در منطقه موردمطالعه برقراری ارتباط هیدرولیکی و موازنه آبی بین حوضه‌های کارستی، توسط گسل‌های دیگری صورت می‌گیرد. این گسل‌ها در ارتباط با گسل‌های اصلی و بنیادین منطقه یعنی زون برشی دهدشت و گسل پی‌سنگی پیشانی کوهستان هستند، که با ایجاد فضاهای کششی مناسب کمبود دبی حوضه‌های کارستی آرند (چشمه‌های بلقیس و سیاه) را با پتانسیل آبی حوضه‌های کارستی مجاور موازنه می‌نمایند.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]



شکل ۱- نقشه هیدروژئولوژی محدوده مطالعاتی

Fig. 1. Hydrogeological map of the study area

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از بررسی‌های بیلان آبی حوضه‌های کارستی منطقه موردمطالعه، جدول(۲) آبخوان کارستی آرند (یال شمال شرقی تاقدیس لار) میزبان چشمه بلقیس و سیاه، تنها توانایی تغذیه حدود ۳۹/۶ میلیون مترمکعب از آب این چشمه را دارد و بیلان آبی آن منفی است. بنابراین انتظار می‌رود بخش زیادی از آب این چشمه‌ها از یک منبع یا منابع دیگری تأمین شود. بررسی هیدروگراف هر دو چشمه نیز شواهد مهمی را در اختیار می‌گذارد. با توجه به هیدروگراف این چشمه‌ها شکل‌های(۲و۳) دبی هر دو چشمه پیک‌های مهمی در دوره‌های خشک نشان می‌دهد، فواصل زمانی پیک‌های اصلی شکل‌گرفته در دوره خشک در سال آبی ۰۲-۱۴۰۱ پس از پایان بارش‌های متمرکز به‌طور متوسط بیش از یک ماه بین ۲۵ تا ۳۱ روز برای چشمه بلقیس و ۳۲ تا ۳۶ روز برای چشمه سیاه به طول انجامیده است. این تأخیر زمانی برای یک چشمه کارستی معمولاً بین یک تا پنج روز است (Karami, 1993).

جدول۲- بیلان اجمالی حوضه‌های کارستی منطقه موردمطالعه

Table 2. Overview of the karst basins of the study area

خروجی اصلی	حوضه کارستی	سطح حوضه آبگیر	درصد نفوذ (تأثیر ژئومورفولوژی و سیماهای کارستی)	متوسط بارش	آب ورودی	آب خروجی		ورودی-خروجی	تاقدیس
						چشمه	چاه		
		(Km^2)	%	(mm)	(MCM)				
آبریز	نیل	102	60	1463	162.8	141.9	-	20.9	نیل
پیرزال	سیاه	38	50	833	15.8	12.8			سیاه
کورسا	سیاه	22	50	833	9.1	7	7	-0/8	سیاه
موگر	سیاه	35	50	833	14.6	14.3			سیاه
بلقیس	آرند		50	911		44			لار
سیاه	آرند	78	50	911	39.6	15.3	3.8	-23.5	لار
خیمند	لار	47	50	911	18.2	16.5	-	1.7	لار

چشمه‌های کارستی بلقیس و سیاه از حوضه آبگیر وسیعی برخوردار هستند و بخش مهمی از تغذیه آن‌ها توسط آبی تأمین می‌شود که از نقاط دوردست می‌آیند. همچنین در مورد پیک‌های آبدهی که در طول دوره خشک رخ‌داده‌اند. عواملی چون رژیم بارش، زمان تمرکز چشمه‌ها، مسیر طی کردن آب، جریان افشان و دیفیوز و جریان سیفونی ممکن است دخیل باشند و با توجه به بررسی صورت گرفته از نوع بارش، خصوصیات فیزیکی حوضه آبریز و میزان توسعه تاقدیس لار مشخص گردید، که بارندگی به‌طور مستقیم در شکل‌گیری آن‌ها نقش نداشته است. شاهدی که می‌توان برای وقوع این پیک‌ها در نظر گرفت، انتقال آب ناشی از ذوب توده‌های برف در سطح حوضه کارستی تغذیه‌کننده این چشمه‌ها به‌وسیله گسل‌های امتدادلغز ناشی از عملکرد گسل‌های اصلی و بنیادین منطقه و کانال‌های کارستی است. بااین‌حال، در طول دوره موردبررسی در سطح حوضه کارستی میزبان چشمه‌های بلقیس و سیاه، بارش برف چندانی رخ نداده است و این حوضه‌ها برف‌گیر نمی‌باشند. ازاین‌رو می‌توان نتیجه گرفت که حوضه (های) برف‌گیر کارستی مجاور در تغذیه چشمه‌ها دخالت دارند. با بررسی شرایط زمین‌شناسی، تکتونیکی و تخمین بیلان اجمالی، از میان حوضه‌های کارستی مجاور، حوضه کارستی نیل پتانسیل مشارکت در تغذیه چشمه‌های بلقیس و سیاه را دارد. طبق محاسبات بیلان تقریباً ۴۰ درصد (MCM) (۲۳/۵) از آب چشمه‌های بلقیس و سیاه از این تاقدیس کارستی (جدول۲) و مابقی آن نیز به‌طور متوسط حدود MCM ۳۹/۶ می‌تواند از آبخوان کارستی آرند تأمین شود. برخلاف دو تاقدیس سیاه و لار کوه نیل همه‌ساله دارای بارش به‌صورت برف است. به‌طوری‌که سطح این تاقدیس در نیمی از سال پوشیده از برف است. چشمه‌سار آبریز خروجی مهم این تاقدیس است، که در راستای پلانژ شمال غربی تاقدیس ظهور کرده است.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]

جدول۳- ویژگی‌های هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی چشمه‌های کارستی منطقه موردمطالعه

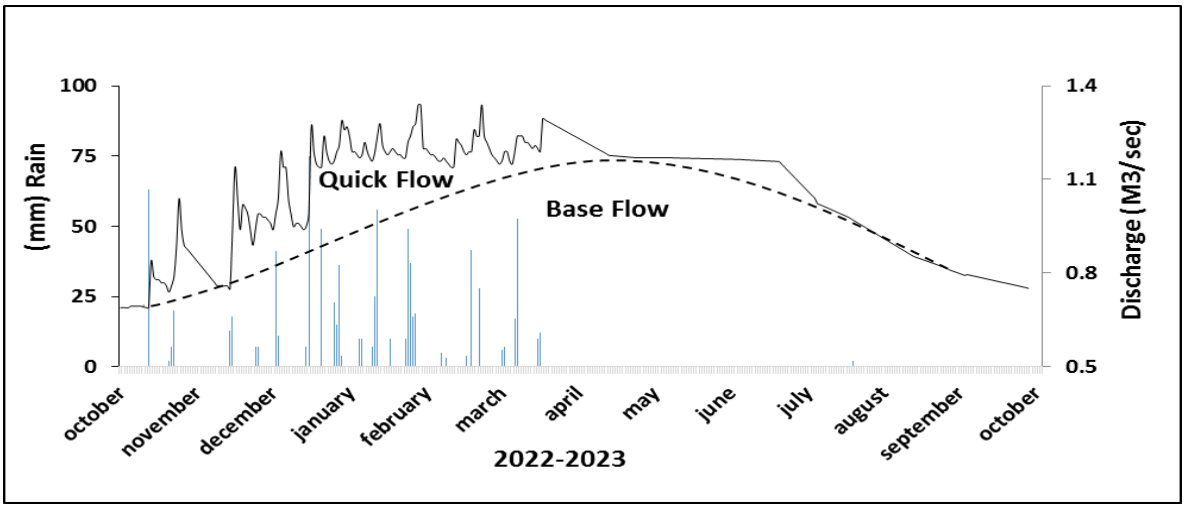
Table 3. Hydrogeological and Hydrogeochemical characteristics of karst springs in the study area

خروجی اصلی	حوضه کارستی	سطح حوضه آبگیر	دبی تخلیه	Ec	ذخیره دینامیک	ارتفاع	تیپ غالب آب
		(Km^2)	M^3/S	(µS/cm)	(MCM/Annm)	(m)	
آبریز	نیل	102	10.5-4.4	455-430	331-138	1062	HCO3-Ca
پیرزال	سیاه	38	2.38-0	440-320	75-0	837	HCO3-Ca
کورسا	سیاه	22	3.9-0	472-312	122-0	830	HCO3-Ca
موگر	سیاه	35	2.6-0	500-344	81-0	802	HCO3-Ca
بلقیس	آرند	78	1.4-0.69	460-402	44-21.7	713	HCO3-Ca
سیاه	آرند		1.1-0.35	565-400	34.7-11	690	HCO3-Ca
خیمند	لار	47	0.83-0.18	520-410	26.2-5.7	799	HCO3-Ca

مشخصات هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی این چشمه به همراه چشمه‌های بلقیس و سیاه در جدول (۳) ارائه‌شده است. متوسط میزان تخلیه تاقدیس نیل توسط چشمه‌سار آبریز در حدود ۴/۴ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۱۴۱MCM) می‌باشد (جدول ۲). این رقم تخلیه کننده حدود هشتاد درصد از حجم آب نفوذی ناشی از بارش بر سطح این تاقدیس است. بنابراین بیلان آبی این تاقدیس مثبت است و بنابر قاعده موازنه هیدرولوژیکی این آب می‌تواند به آبخوان‌های کارستی مجاور که از بیلان آبی منفی برخوردار هستند، انتقال داده شود. بر اساس بررسی‌های تکتونیکی و شواهد مورفولوژیکی که در فوق اشاره شد، گسل‌های امتدادلغز ناشی از عملکرد گسل‌های اصلی و بنیادین منطقه یعنی زون برشی دهدشت و گسل پی‌سنگی پیشانی کوهستان عامل موازنه آبی بین آبخوان‌های کارستی منطقه موردمطالعه هستند. با در نظر گرفتن این شواهد مسیرهای احتمالی جریان‌های محلی و ناحیه‌ای مشارکت دهنده در تغذیه چشمه‌های بلقیس و سیاه تعیین شد (شکل۱). دو مسیر اصلی به‌صورت جریان ناحیه‌ای می‌توانند در تغذیه چشمه‌ها مشارکت داشته باشند، بررسی‌های نشان داده که هرچند مسیر دوم، مسافت بیشتری را شامل می‌شود ولی به علت واقع‌شدن در امتداد خطواره‌های پی‌سنگی و پهنه برشی از خردشدگی بیشتر و درنتیجه از مجاری عریض‌تری برخوردار است.

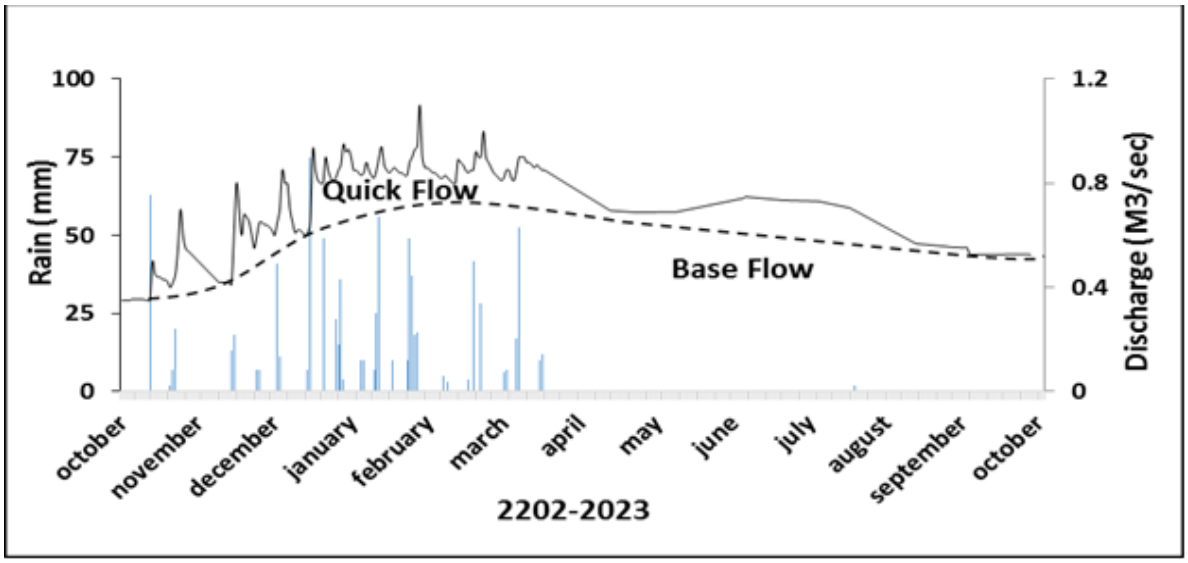
[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]



شکل۲- هیدروگراف چشمه بلقیس برای سال آبی ۰۲-۱۴۰۱

Fig .2. Hydrograph of Belqis spring for the water year 2022-2023



شکل ۳- هیدروگراف چشمه سیاه برای سال آبی ۰۲-۱۴۰۱

Fig .3. Siah Spring Hydrograph for the water year 2022-2023

ارتباط هیدرولیکی منابع آب

بر اساس نتایج آنالیز ایزوتوپ‌های H و O در مرحله اول مطالعات ایزوتوپی اردیبهشت (۱۴۰۲)، تمامی نمونه‌های آب چشمه‌ها در فاصله نزدیک به خط آب جوی محلی و به‌دوراز خط آب جوی جهانی آرایش یافته‌اند (شکل۴). همان‌طور که در شکل (۴) ارائه‌شده است، چشمه‌های آبریز، سیاه و بلقیس از یک‌روند خطی تبعیت می‌کنند. آرایش نقاط روی نمودار دلالت بر منشأ مشترک و تبعیت از یک خط ایزوتوپی محلی دارد. چشمه آبریز نسبت به چشمه‌های دیگر تهی شدگی ایزوتوپی (کاهش نسبت یک ایزوتوپ سنگین به یک ایزوتوپ سبک در یک ماده) بیشتری نشان می‌دهد. منفی‌تر بودن مقادیر دلتای اکسیژن ۱۸ و دوتریم

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]

این چشمه نسبت به چشمه‌های سیاه و بلقیس را می‌توان چنین توجیه نمود:

۱- موقعیت ظهور چشمه آبریز نسبت به چشمه‌های سیاه و بلقیس در ارتفاع بالاتری (۱۰۶۴ متری) قرار دارد، ارتفاع بالاتر باعث تغذیه از بارش‌های با دلتای منفی‌تر می‌شود، این موضوع عامل اصلی منفی‌تر بودن مقادیر دلتای اکسیژن ۱۸ و دوتریم چشمه آبریز است، سایر عوامل تقویت‌کننده این الگو شامل، ۲- فاصله نزدیک‌تر به منبع تغذیه ، ازاین‌رو بافاصله زمانی کمتری به بارندگی پاسخ می‌دهد، ۳- تنها یک منبع در امر تغذیه آن دخالت دارد، به همین دلیل اختلاط و تفکیک ایزوتوپی (فرایندی که طی آن‌یکی از ایزوتوپ‌های خاص یک عنصر شیمیایی از دیگر ایزوتوپ‌ها جداسازی می‌شود) کمتری در این چشمه اتفاق می‌افتد، اما آب‌های مشارکت دهنده در تغذیه چشمه‌های سیاه و بلقیس علاوه بر چرخش در درون آبخوان آهکی نیل و طی کردن مسیر طولانی، بایستی از درون چندین لایه سازندی (لایه‌های شیلی و مارنی سازندهای پایده گورپی عبور کند) تا به آبخوان آهکی میزبان چشمه‌ها وارد شوند. بنابراین واکنش بین آب و سنگ به دلیل طولانی بودن جریان، می‌تواند ازجمله فاکتورهای مؤثر در افزایش تبادلات ایزوتوپی آب‌های تغذیه‌کننده این چشمه‌ها باشد (Cartwright et al., 2012; Kanduč et al., 2014; Verbovšek and Kanduč., 2015; Mustafa et al., 2016).

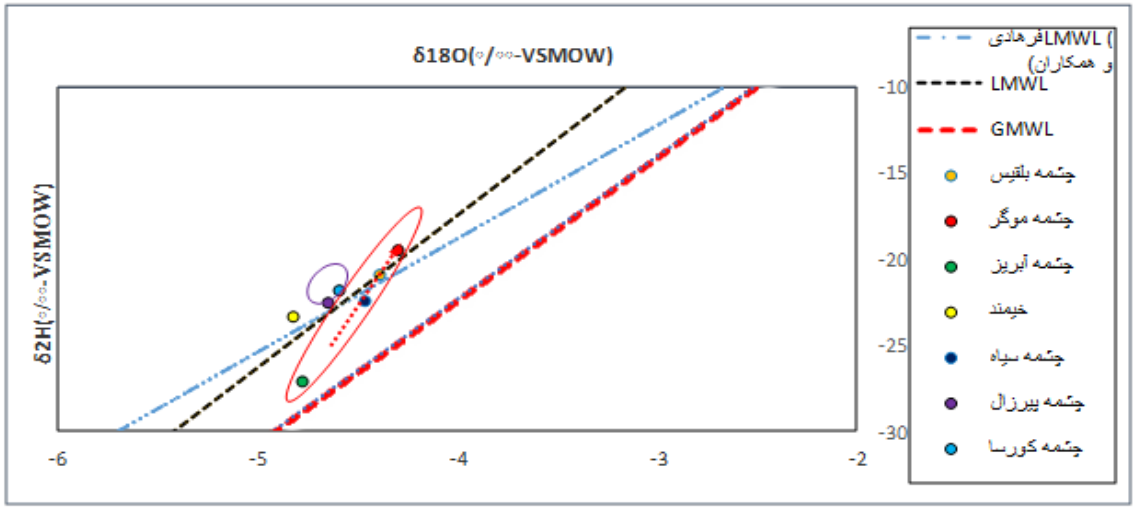
۴- بنا به دلایل مزبور و همین‌طور تغذیه نقطه‌ای توسط دولین‌ها در چشمه آبریز(درنتیجه زمان ماندگاری بسیار کم آب ورودی)، تبادل ایزوتوپی بین آب ورودی و سنگ مخزن به‌صورت محدود رخ می‌دهد. درحالی‌که تبادل ایزوتوپی در چشمه‌های سیاه و بلقیس بیشتر است. چشمه‌های بلقیس و سیاه بااینکه در ارتفاع تقریباً یکسانی ظاهرشده‌اند، اما مقادیر دلتای اکسیژن ۱۸ و دوتریم چشمه سیاه کمی کمتر است. این مسئله می‌تواند به دلایل:

۱- درصد تغذیه بیشتر چشمه سیاه نسبت به چشمه بلقیس از منابع تغذیه مشترک (حوضه‌های کارستی مجاور). ۲- درصد جریان سریع بیشتر چشمه سیاه نسبت به چشمه بلقیس، به‌عبارتی‌دیگر، تأثیر بیشتر جریان کانالی بر دبی خروجی چشمه سیاه نسبت به چشمه بلقیس (مسیر تغذیه مشترک هر دو چشمه) بنابراین فرصت کمتر برای اختلاط و تفکیک ایزوتوپی و به تعادل رسیدن ایزوتوپ‌ها در چشمه سیاه وجود دارد.

لازم به ذکر است بر اساس مطالعات مرحله اول چشمه‌های پیرزال و کورسا از یک‌روند خطی(با تفکیک ایزوتوپی بسیار محدود) تبعیت می‌کنند (شکل ۴). روند خطی بین چشمه‌های پیرزال و کورسا نشان می‌دهد که هر دو چشمه از یک آب والد (دارای منشأ اولیه) تغذیه می‌گیرند. لازم به ذکر است این چشمه‌ها ارتباط خاصی با حوضه‌های کارستی مجاور ندارند و همگی از تاقدیس سیاه تغذیه می‌شوند. چشمه خیمند نیز ارتباط خاصی با حوضه‌های کارستی مجاور نشان نمی‌دهد.

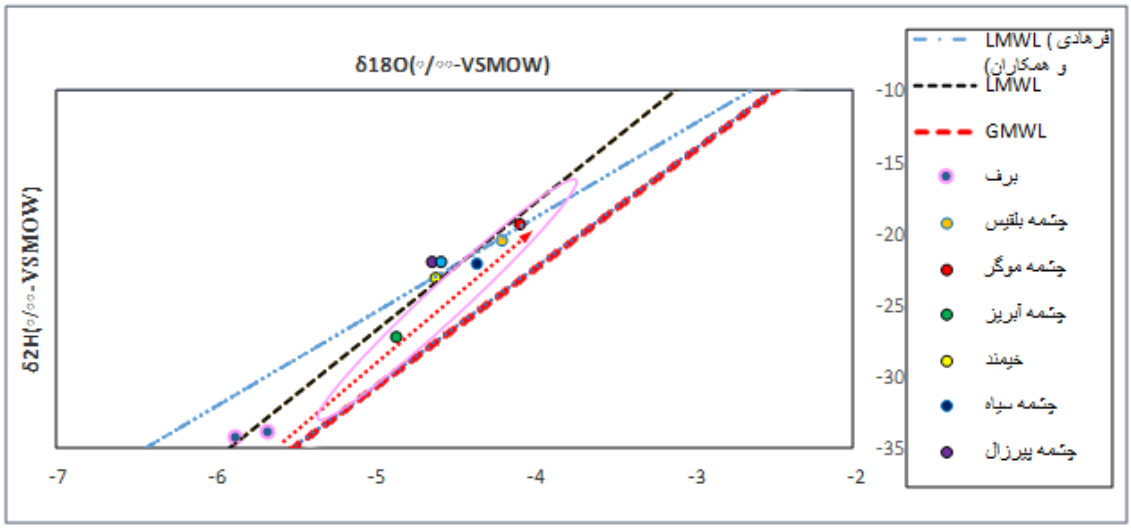
[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]



شکل ۴- ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم چشمه‌های کارستی منطقه موردمطالعه در دوره اول نمونه‌برداری ایزوتوپی

Fig .4. Stable isotopes of oxygen-18 and deuterium of karst springs in the study area during the first period of isotopic sampling



شکل ۵- ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم چشمه‌های کارستی منطقه موردمطالعه و نمونه‌های برف در دوره دوم نمونه‌برداری ایزوتوپی

Fig .5. Stable isotopes of oxygen-18 and deuterium of karst springs in the study area and snow samples in the second period of isotopic sampling

در مرحله دوم مطالعات ایزوتوپی اردیبهشت (۱۴۰۳) علاوه بر نمونه‌برداری از چشمه‌های محدوده مطالعاتی، از برف واقع در تاقدیس نیل نیز نمونه‌برداری صورت گرفت. بر اساس نتایج حاصل از مرحله دوم مطالعات ایزوتوپی، علاوه بر تکرار روند خطی بین چشمه‌های آبریز، سیاه و بلقیس، نمونه چشمه‌ها و برف تاقدیس نیل در امتداد یک خط ایزوتوپی مشابه قرارگرفته‌اند (شکل ۵). این چشمه‌ها، تهی شدگی ایزوتوپی کمتری نسبت به نمونه‌های برف نشان می‌دهند، مقادیر ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ و دوتریم در جدول (۱) آمده است. روند خطی بین چشمه‌های آبریز، سیاه و بلقیس بیان می‌کند که احتمالاً چشمه‌ها از یک منبع آب واحد با شرایط اقلیمی و تغذیه‌ای یکسان منشأ می‌گیرند. جهت ارزیابی این موضوع ارتفاع منطقه تغذیه چشمه‌های آبریز، سیاه و بلقیس با استفاده از دو روش گرادیان ایزوتوپی ارتفاعی و

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]

بهره‌گیری از نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی تخمین زده شد که نتایج آن در جدول(۴) ارائه‌شده است. لازم به ذکر است که گرادیان ارتفاعی ایزوتوپی را می‌توان با استفاده از نمونه‌های بارندگی که از ارتفاعات مختلف در منطقه جمع‌آوری می‌شود، به دست آورد. برای این منظور مقادیر ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ در مقایسه با دوتریم بیشتر مورداستفاده قرار می‌گیرد (Azzaz et al., 2008).

جدول۴- تخمین ارتفاع تغذیه چشمه‌ها با استفاده از مقادیر ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ در طول دو دوره نمونه‌برداری ایزوتوپ

Table 4. Estimation of spring recharge height using stable oxygen-18 isotope values during two isotope sampling periods

منابع آبی	ارتفاع منطقه تغذیه با استفاده از نقشه توپوگرافی	ارتفاع منطقه تغذیه با استفاده از گرادیان $\delta^{18}O$		ارتفاع محل نمونه‌برداری (متر)
		اردیبهشت ۱۴۰۲	اردیبهشت ۱۴۰۳	
آبریز	2435	2753	2773	1062
پیرزال	1518	1756	1770	837
کورسا	1518	1712	1747	830
موگر	1718	1915	1936	802
بلقیس	1657	2636	2673	713
سیاه	1657	2669	2689	690
خیمند	1657	1820	1873	799
برف	3115	-	3211	3115
برف	3145	-	3242	3145

گرادیان ارتفاعی ایزوتوپی به‌دست‌آمده برای این تحقیق، از ترکیب گرادیان‌های ارتفاع در برابر مقادیر دلتای ایزوتوپ‌های اکسیژن ۱۸ و دوتریم داده‌های ایزوتوپی بارندگی‌های ناحیه زاگرس میانی به‌دست‌آمده است (Abedian and Mojiri, 2024). بااین‌حال، استفاده بدون در نظر گرفتن شرایط محلی از متوسط گرادیان ایزوتوپی برای یک مقیاس ناحیه‌ای می‌تواند به اشتباهات مهمی در تخمین ارتفاع تغذیه منجر شود (Lastennet, 1994). ازاین‌رو، به دلیل پیچیدگی‌های توپوگرافی و ساختارهای زمین‌شناسی و همچنین عدم دقت کافی در تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی مانند نرخ جریان، نفوذپذیری و حجم مخزن، استفاده از این گرادیان‌ها همیشه با دشواری‌هایی همراه است. بدین ترتیب ارتفاعات تغذیه تخمین زده‌شده به روش یادشده ضروری است توسط معیارهای زمین‌شناسی و توپوگرافی نیز کنترل شود (Azzaz et al., 2008). بر اساس نتایج حاصل از روش‌های یادشده در جدول (۴) حداقل ارتفاع تغذیه چشمه‌های بلقیس و سیاه باید بیش از ۲۶۰۰ متر باشد. این در حالی است که متوسط ارتفاع تاقدیس میزبان چشمه‌های بلقیس و سیاه یعنی تاقدیس لار برابر با ۱۶۵۷متر و مظهر چشمه‌ها به ترتیب ۷۱۳و ۶۹۰ متر است. از طرفی ارتفاع تغذیه این چشمه‌ها با ارتفاع تغذیه چشمه آبریز در تاقدیس نیل تقریباً نزدیک است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که حوضه‌های میزبان چشمه‌ها تنها جوابگوی آبدهی آن‌ها نمی‌باشند و تاقدیس کارستی مجاور یعنی تاقدیس نیل که از ارتفاع بیشتری برخوردار است و با مقدار تخمین زده‌شده از هر دو روش تطابق دارد می‌تواند در تغذیه این چشمه‌ها دخالت داشته باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج بیلان اجمالی حوضه‌های کارستی منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد که سطح توپوگرافی آبخوان‌های کارستی میزبان چشمه‌های سیاه و بلقیس کمتر از مقدار لازم برای تأمین آب خروجی این چشمه‌ها است. از طرف دیگر، در مجاورت این تاقدیس‌ها آبخوان‌هایی مانند آبخوان کارستی نیل وجود دارد، که سطح توپوگرافی بیشتر از مقدار لازم برای تأمین آب چشمه‌های خروجی از آن‌هاست و می‌توانند کمبود

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]

آبدهی چشمه‌های سیاه و بلقیس را جبران کنند. وقوع پیک‌های آبدهی مهم در دوره‌های خشک بازمان تأخیر طولانی (به‌طور متوسط بیش از یک ماه) در هیدروگراف چشمه‌های سیاه و بلقیس نشان می‌دهد، که این چشمه‌ها از حوضه آبگیر وسیعی برخوردار هستند و بخش مهمی از تغذیه آن‌ها از آب‌هایی تأمین می‌شود که از نقاط دوردست و ذوب برف منشأ می‌گیرند. ازآنجاکه حوضه‌های کارستی میزبان چشمه‌های سیاه و بلقیس برف‌گیر نیستند درنتیجه انتظار می‌رود حوضه (های) کارستی (برف‌گیر) مجاور در تأمین آب دخالت داشته باشند. جهت بررسی این موضوع، ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن (^{18}O) و هیدروژن (^{2}H) چشمه‌های منطقه هدف (شامل چشمه‌های سیاه و بلقیس) و چشمه (آبریز) موجود در منطقه مبدأ (منطقه تغذیه) برای دو دوره نمونه‌برداری مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان می‌دهد که یک ارتباط خطی قوی بین آبخوان‌های کارستی میزبان چشمه‌های سیاه و بلقیس با آبخوان کارستی میزبان چشمه‌های منطقه مبدأ (آبخوان کارستی نیل) وجود دارد. همچنین بر اساس داده‌های ایزوتوپی و نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی ارتفاع منطقه تغذیه چشمه‌های یادشده با متوسط ارتفاع حوضه میزبان خود یعنی حوضه کارستی لار همخوانی ندارد و منطبق با ارتفاع منطقه تغذیه آبخوان کارستی نیل است. علیرغم اینکه شرایط اقلیمی و مکانیسم تغذیه چشمه‌های سیاه و بلقیس مشابه است، اما بررسی داده‌های ایزوتوپی و هیدروگراف چشمه‌ها یک تفاوت بین ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار و هیدروگراف هر دو چشمه را نشان می‌دهد که می‌تواند، به تفاوت در وضعیت هیدرودینامیک تخلیه آن‌ها مرتبط باشد.

References

Abedian, H., Mojiri, A., 2024. Investigation of the composition of deuterium and oxygen-18 isotopes of precipitation and determination of the local atmospheric water line in a part of the Middle Zagros range (Zardkoh Bakhtiari). Iranian Journal of Water Research (18) 1. (in Persian)

Azzaz, H., Cherchali, M., Meddi, M., Houha, B., Puig, J.M., Achachi, A., 2008. The use of environmental isotopic and hydrochemical tracers to characterize the functioning of karst systems in the Tlemcen Mountains, northwest Algeria. Hydrogeology Journal 16(3), 531–546.

Barbieri, M., Boschetti, T., Petitta, M,. Tallini, M., 2005. Stable isotopes (2H, 18O and 87Sr/86Sr) and hydrochemistry monitoring for groundwater hydrodynamics analysis in a karst aquifer (Gran Sasso, Central Italy). Applied Geochemistry Journal 20(11), 2063–2081.

Cartwright, I., Weaver, T.R., Cendón, D.I., Fifield, L.K., Tweed, S.O., Petrides, B., Swane, I., 2012. Constraining groundwater flow, residence times, inter-aquifer mixing and aquifer properties using environmental isotopes in the southeast MurrayBasin, Australia. Applied Geochemistry Journal 27(9), 1698-1709.

Coleman, M., Eggenkamp, H., Matray, J.M., Pallant, M., 1993. Reduction of water with zinc for hydrogen analyses. Analytical Chemistry 54(6), 993–995.

Dun, Y., Tang, C., Shen, Y., 2014. Identifying interactions between river water and groundwater in the North China Plain using multiple tracers. Environmental Earth Sciences 72(1), 99-110.

Epstein, S., Mayeda, T.K., 1953. Variations of the 18O/16O ratio in natural waters. Geochimica et Cosmochimica Acta 4(213), 1702–1703.

Farhadi, S., Alijani, F., Naseri, H. R., 2019. Comparison of stable isotope characteristics of the flood of Farvardin 2019 in the southwest of the country with the atmospheric water line of other regions of Iran and neighboring countries. Journal of Agricultural Meteorology 8 (2), 44-59. (in Persian)

Filippini, M., Stumpp, C., Nijenhuis, I., Richnow, H.H., Gargini, A., 2015. Evaluation of aquifer recharge and vulnerability in an alluvial lowland using environmental tracers. Journal of Hydrology 529, 1657-1668.

Fiorillo, F., 2009. Spring hydrographs as indicators of droughts in a karst environment. Journal of Hydrology 373, 290–301.

Ford, D., Williams, P., 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology. Chapman & Hall, London.

Iacurto, S., Grelle, G,. Maria De Filippi, F., Sappa, G., 2020. Karst Spring Recharge Areas and Discharge Relationship by Oxygen-18 and Deuterium Isotopes Analyses: A Case Study in Southern Latium Region, Italy. Applied Sciences 10(5), 1882.

Jeelani, G., A. Shah, R., D. Deshpande, R., 2018. Application of Water Isotopes to Identify the Sources of Groundwater

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]

Recharge in a Karstified Landscape of Western Himalaya. Journal of Climate Change 4 (1), 1882.

Kalantari, N., Charchi, A., Mohammadi-Behzad, H.R., Nadri, A., 2016. Bibitalkhone and Gariveh Springs paradox symbol of the Pabdeh karstic anticline in southwest Iran. Arabian Journal of Geosciences 9(2), 1-8.

Kalantari, N., Ghafari, H.R., Keshavarzi, M.R., Mallaei, M.R., 2011. Factors impacting on flow pattern in the Shimbar karstic area in the southwest of Iran. Besancon, France , 9th conference on limestone hydrogeology 257-260.

Kanduč, T., Grassa, F., McIntosh, J., Stibilj, V., Ulrich-Supovec, M., Supovec, I., Jamnikar, S., 2014. A geochemical and stable isotope investigation of groundwater/surface-water interactions in the Velenje Basin, Slovenia. Hydrogeology Journal 22(4), 971-984.

Karami, G., 1993. Studying the relationship between factors affecting water infiltration and physical and chemical characteristics of karst springs in the Gar and Barm Firuz mountains. Master's thesis in Hydrogeology. Department of Geology. Shiraz University. 355. (in Persian)

Kohfahl, C., Sprenger, C. B., Herrera, J., Meyerc, H., Fernandez Chacon d. F., Pekdeger, A., 2008. Recharge sources and hydrogeochemical evolution of groundwater in semiarid and karstic environments: A field study in the Granada Basin (Southern Spain). Applied Geochemistry Journal 23, 846–862.

Lastennet, R., 1994. Role of the unsaturated zone in the functioning of karstic aquifers: approach by physical, chemical and isotopic studies of inlet signals and spring outlets in the Ventoux Mountain (Vaucluse). PhD Thesis, Avignon University, France, 116–117.

Liu, J., Chen, Z., Zhang, Y., Li, Z., Zhang, L., Liu, F., 2016. Stable isotope evidences on sources and mechanisms of groundwater recharge in Hohhot basin, China. Environmental Earth Sciences 75(5), 1-10.

Mandić, M., Bojić, D., Roller-Lutz, Z., Lutz, H.O., Krajcar Bronić, I., 2008. Note on the spring region of Gacka River (Croatia). sotopes in environmental and health studies 44(2), 201–208.

Marques, J.M., Graça, H., Eggenkamp, H.G., Neves, O., Carreira, P.M., Matias, M.J., Mayer, B., Nunes, D., Trancoso, V.N., 2013. Isotopic and hydrochemical data as indicators of recharge areas, flow paths and water–rock interaction in the Caldas da Rainha–Quinta das Janelas thermomineral carbonate rock aquifer (Central Portugal). Journal of Hydrology 476, 302-313.

Meng, Y., Liu, G., 2016. Isotopic characteristics of precipitation, groundwater and stream water in an alpine region in southwest China. Environmental Earth Sciences 75(10), 1-11.

Mohammadi Behzad, H.R., Cherchi, A., Kalantari, N., 2015. Investigation of the hydrogeological behavior of the Sabz-ab karst spring in the northeast of Khuzestan Province. Quarterly Journal of Advanced Applied Geology 15, 10-19. (in Persian)

Mustafa, O., Tichomirowa, M., Kummer, N.A., Merkel, B., 2016. Assessment of water-rock interaction processes in the Karst springs of Makook Anticline (Kurdistan Region, Iraq) using Sr-isotopes, rare earth, and trace elements. Arabian Journal of Geosciences 9(5), 1-26.

Sappa, G., Barbieri, M., Ergul, S., Ferranti, F., 2012. Hydrogeological conceptual model of groundwater from carbonate aquifers using environmental isotopes (18O, 2H) and chemical tracers: a case study in Southern Latium Region, Central Italy. Journal of Water Resource and Protection 4(09), 695-716.

Scanlon, B.R., Healy, R.W., Cook, P.G., 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeology Journal 10, 18–39.

Schwarz, K., Barth, J.A.C., Postigo-Rebollo, C., Grathwohl, P., 2009. Mixing and transport of water in a karst catchment: a case study from precipitation via seepage to the spring. Hydrology and Earth System Sciences 13, 285–292.

Tang, M., Yu, Sh., You, Sh., 2024. The Characteristics and Application of Deuterium and Oxygen Isotopes to Karst Groundwater, Southwest China. Water 16, 1812.

Verbovšek, T., Kanduč, T., 2015. Isotope Geochemistry of Groundwater from Fractured Dolomite Aquifers in Central Slovenia. Aquatic Geochemistry 22(2), 1-21.

Yeh, H.F., Lee, C.H., Hsu, K.C., 2011. Oxygen and hydrogen isotopes for the characteristics of groundwater recharge: a case study from the Chih-Pen Creek basin, Taiwan. Environmental Earth Sciences 62(2), 393–402.

Yuan, R., Song, X., Zhang, Y., Han, D., Wang, S., Tang, C., 2011. Using major ions and stable isotopes to characterize recharge regime of a fault-influenced aquifer in Beiyishui River Watershed, North China Plain. Journal of Hydrology 405(3), 512-521.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-24]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.107941]