

## Research Paper

# Investigation of Recharge Sources of Evan Plain in Khuzestan Province

Zahra Chaghazardi<sup>1</sup>, Seyed Yahya Mirzaee<sup>2\*</sup>, Manuchehr Chitsazan<sup>3</sup>, Farshad Alijani<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Student Department of Geology, Faculty of Geosciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran Email: Z.chaghazardi71@gmail.com

<sup>2</sup> Assistant professor of hydrology, Department of Geology, Faculty of Geosciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran Email: Yahyamirzaee@scu.ac.ir

<sup>3</sup> Professor of hydrogeology, Department of Geology, Faculty of Geosciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Email: M-chitsazan@yahoo.com

<sup>4</sup> Assistant professor of hydrogeology, Department of Geology, Faculty of Geosciences, Shahid Beheshti University of Tehran, Iran. Email: F\_alijani@sbu.ac.ir



10.22125/iwe.2024.461502.1813

Received:  
**February 9, 2024**  
Accepted:  
**September 15, 2024**  
Available online:  
**December 26, 2024**

**Keywords:**  
**Evan Plain,**  
**hydrogeology, isotope,**  
**recharge sources.**

## Abstract

Identifying the inputs and outputs of the plains is one of the most critical issues considered in water resources management, environmental decision-making and planning, natural resources, and agriculture. The Evan Plain is located in Khuzestan province, southwest of Andimshek. In this Plain, we see an increase in groundwater level and a decrease in groundwater depth compared to the earth's surface. For this purpose, to prevent problems in the not-too-distant future, it is necessary to examine the recharge sources in this Plain carefully. We conducted isotopic and hydrochemical sampling in wet (April 2023) and dry (July 2022) to evaluate Evan Plain's recharge resources. The results of hydrogeological investigations of the region, hydrochemical analysis, and statistical analysis of hierarchical clustering (HCA) all indicate that the groundwater samples of Evan Plain fall into two groups. Atmospheric precipitations influence the first group, and the second group indicates the hydraulic connection with the Abbas Plain. Also, the agricultural return water from the irrigation and drainage networks effectively recharges this group.

## 1) Introduction

Groundwater is one of the most critical water resources in the world. Water demand continuously increases worldwide, especially in arid regions (Chen et al, 2015). Global groundwater withdrawal has reached about 1500 Km<sup>3</sup> annually (Parlov et al, 2012), which is more than the natural recharging of groundwater. In addition, many alluvial aquifers are suffering from groundwater depletion, which has become a global issue (Wada et al, 2012; Gleeson et al; 2015). On the other hand, in some of the existing plains, we are facing the problem of increasing the groundwater level, which will reduce the depth of the groundwater compared to the surface of the earth, and as a result, it will bring the risk of contamination of the underground water and other problems. All these problems point to the necessity

\* **Corresponding Author:** Seyed Yahya Mirzaee

**Address:** Department of Geology, Faculty of Geosciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

**Email:** Yahyamirzaee@scu.ac.ir  
**Tel:** +989163096940

of research and careful examination of groundwater recharging mechanisms that make sustainable management of groundwater resources possible, in other words, guaranteeing sufficient drinking water. In this field, researchers have conducted many studies using hydrochemical methods, statistical analysis, isotope studies, etc., which can be referred to the research done by (Fu et al., 2018; Kumarjoshi et al., 2018; Mandic et al., 2008; Marques et al., 2013).

## 2) Materials and Methods

This research was done in Evan Plain, located in Khuzestan province. This Plain, with an area of 195 km<sup>2</sup> is located at a distance of 140 kilometers from Ahvaz city in the northwest of Khuzestan province on the road from Andimshek to Dehhran. This Plain is in the shape of a triangle, whose eastern side is bounded by the Karkhe River, its southwestern side by the Dusleq Plain, the northwestern side by the Karkhe Dam, and its western tip by the surface outlet of the Abbas Plain (Kalantari et al., 2012). The studied area is a part of the folded Zagros structural sedimentary basin. In terms of stratigraphy, the most important sedimentary units of the region are related to the Bakhtiari formations and Lehbari section. These formations are the most important factors influencing the region's groundwater quantity and quality. In this area, the Bakhtiari Formation is not very strong; over time, it has lost its carbonate cement due to water erosion, and in the form of alluvium, it has filled the Syncline. In order to carefully examine the recharging sources of the Evan Plain aquifer, from groundwater sources (wells), irrigation and drainage network, Karkheh dam reservoir, precipitation, and river during two periods in July 1401 (dry period) and April 1402 (dry period) sampling through field and laboratory measurements, hydrochemistry of major ions (two wet and dry periods), and stable isotopes (one dry period). The chemical analysis of main anions and cations (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, So<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Hco<sub>3</sub><sup>2-</sup>, Co<sub>3</sub><sup>2-</sup>) was performed in the Khuzestan Water and Electricity Organization laboratory. Also, isotopic samples were sent to Mesbah Energy Company of Arak Province for analysis. Flow direction maps, groundwater depth maps, Piper diagram, statistical method of Hierarchical Clustering Analysis (HCA), and isotopic methods have been used to investigate the recharging sources of Evan Plain. To achieve the goals of this research, Excel, Aq.QA, Surfer, XLSTAT, and Arc GIS10.5 software have been used.

## 3) Results and Discussion

Knowledge of the existing hydrogeological situation in a region is one of the important parts of identifying and diagnosing the flow process and interactions in groundwater sources. According to the information from the Khuzestan Water and Electricity Organization, there are 14 piezometers in Evan Plain. This area's average water level in 2022-2023 is 102.36 meters. It should be mentioned that since 2000, due to the construction of the irrigation and drainage network and also the high exploitation of the Karkheh River, the extraction of groundwater by pumping from exploitation wells has decreased So that the level of the aquifer goes through a relatively uniform and upward trend from 2000 onwards. The hydrograph of the Evan Plain aquifer has been drawn based on the statistics and information from 2001-2002 to 2023-2024 to monitor the groundwater condition. The results showed that the changes in the groundwater level during this period showed an increasing trend, although this increase indicates proper recharging of the aquifer. However, if the aquifer is not properly managed and the recharging sources of the Plain are not identified, irreparable damages such as waterlogging of the lands can be caused. In this regard, the equipotential and flow direction maps were also drawn. The flow direction map showed that the general direction of the flow is from north and northwest to south and southeast. In this Plain, the Karkhe River acts as a drain in some parts of its path and recharges the Plain in other parts. Also, the groundwater depth map shows that the rise of the groundwater level is higher in the eastern and southeastern parts due to the low ground level. In other words, the water in these parts is at a shallower depth (5 to 15 meters from the ground) than in other parts of the Plain. Also, according to the flow direction map, the flow enters the region from the north and northwest, and Abbas Plain is located in this area. For this purpose, the flow direction map and the groundwater depth map were also drawn for Abbas Plain for two dry periods (April 2023) and the dry period (July 2022). The flow direction map drawn in Abbas Plain showed that the flow direction is from north and northwest to south and southeast, leading to Evan Plain. In the discussion of hydrochemistry, Piper's diagram was used to determine the differences and similarities, mix between sources, and examine temporal and spatial changes in the type of water resources (Mohammadi Behzad, 2011). In the discussion of

hydrochemistry, Piper's diagram was used, which is generally used to determine differences and similarities, mix between sources, and investigate temporal and spatial changes in the type of water resources (Mohammadi Behzad, 2011). According to this diagram, the dominant type of groundwater in Evan Plain in wet and dry periods is magnesium and calcium sulfate. Also, in this diagram, the samples taken are placed in two groups, meaning the samples from each group have the same origin. Hierarchical cluster analysis (HCA) was used to divide the samples into distinct groups that are geologically and statistically significant (Willames and Steinhorst, 1985). Hierarchical clustering analysis according to the hydrochemical characteristics of the underground water samples of Evan Plain, Abbas Plain, as well as the groundwater samples between the two plains, the irrigation and drainage network samples of Evan Plain, the samples of Karkheh River, 2 clusters have been considered for them. The location of cluster 1 samples, according to the location map of the samples taken, showed that these samples have a similar hydrochemical composition. Furthermore, it can be seen that the samples in cluster 1 have the same origin. The samples placed in cluster 2 show that the water of the Karkheh River influences the groundwater samples in this part of the Evan plain, the irrigation and drainage network, and the flows from the Abbas plain. Also, according to the location map of the samples taken, it can be seen that these samples are located in a range. Then, stable isotopes of oxygen 18 and deuterium were used, one of the new and accurate methods for studying the origin of water resources (Clark, 1997). In order to carry out isotopic studies, the local meteoric water line of the studied area was drawn in the first step. That in order to draw the local meteoric water line of Evan Plain, rainfall samples were used in two different periods, i.e., May 2022 and February 2023. The water resources are divided into two groups by placing the isotopic content of the samples taken on the distribution map of  $\delta^{18}\text{O}$  compared to  $\delta^2\text{H}$ . The first group includes some groundwater samples of Evan Plain, which are located around and almost on the local meteoric water line, which means that the samples of this group are affected by evaporation and recharging caused by precipitation. The second group is related to other groundwater samples of Evan Plain, groundwater samples of Abbas Plain, Karkheh River, irrigation and drainage network, and samples from Karkheh lake and dam. The placement of these samples next to each other indicates that there has been mixing in this group, and they have the same origin.

#### 4) Conclusions

This research evaluated the factors that are effective in recharging Evan Plain's groundwater resources, and the results of each of analyzes carried out in the geological, hydrogeological, hydrochemical, statistical, and isotopic studies include the following:

Hydrogeological investigations show that the average water level in the Evan Plain in the water year 2022-2023 is about 102.36 meters.

The hydrograph of Evan aquifer was drawn based on available statistics and information from the water years 2001-2002 to the water years 2023-2024. It shows the increasing trend of groundwater level changes.

Flow direction map and iso-depth map were also drawn. According to the flow direction map, the general direction of the flow is from north and northwest to south and southeast. Moreover, according to this map, the Karkheh River generally drains the Plain of Evan, but it recharges the Plain in parts of its course. The groundwater depth map shows that the rise of the groundwater level is higher in the eastern and southeastern parts due to the lower ground level.

According to the flow direction map, it was found that the flow that enters the Evan Plain from the northwest and southwest is from the Abbas Plain. The results of drawing the flow direction map in Abbas Plain also show that the flow is towards Evan Plain.

The results of Piper's diagram in two wet and dry periods showed that the dominant type of groundwater in Evan Plain is magnesium sulfate and calcium sulfate. Also, the results of drawing the Piper diagram show that the samples taken are in two groups. The first group is several groundwater samples of Evan Plain, located in the northern and northeastern parts of the Plain. The second group, which is almost in the same range and represents the same origin and water mixing of these samples with each other, includes some other groundwater samples from Evan Plain, which are in the water flow path from Abbas Plain to Evan Plain, the groundwater samples of the Abbas plain, the groundwater samples

between the two plains of Evan and Abbas, the Karkheh, the irrigation and drainage network, and also the samples related to the Karkheh dam.

Hierarchical clustering analysis (HCA) according to the characteristics of hydrochemical parameters of groundwater samples of Evan Plain, Abbas Plain, and also groundwater samples between the two plains, irrigation and drainage network samples of Evan Plain, Karkheh River samples, has 2 clusters for them that means that Evan Plain has two origins in terms of hydrochemical parameters.

The results of isotopic studies and drawing the graph of  $\delta^{18}\text{O}$  compared to  $\delta^2\text{H}$  showed that the samples are in two groups. The first group includes several groundwater samples of Evan Plain, which are located around and almost on the local meteoric water line, so the samples of this group are affected by evaporation and recharging caused by precipitation. The second group is related to other groundwater samples of Evan Plain, groundwater samples of Abbas Plain, Karkheh River, irrigation and drainage network, and samples from Karkheh lake and dam. The placement of these samples next to each other shows that this group has the exact origin.

### 5) Six important references

- 1) Clark I.D., and Fritz P. 1997. Environmental Isotopes in Hydrogeology. CRC Press.
- 2) Craig H. 1961. Isotopic Variations in Meteoric Waters. Science, 133: 1833-1840.
- 3) Fu, C. Li, X. Ma, J. Liu, L. Gao, M. Bai.Z. 2018. A hydrochemistry and multi-isotopic study of groundwater origin and hydrochemical evolution in the middle reaches of the Kuye River basin. Applied Geochemistry. S0883-2927(18)30250-6.
- 4) Marques, J.M., Graca, H., Eggenkamp, H.G., Neves, O., Carreira, P.M., Matias, M.J., Mayer, B., Nunes, D. and 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.
- 5) Mirzaei, Y., ChitSazan, M., Chaghazardi, Z. 2018. Determination of hydraulic connection of Kino anticline springs (Khuzestan province) using hydrochemical data, principal component analysis (PCA) and hierarchical clustering (HCA). Advanced Applied Geology, Volume 2, Number 9, pp. 141-133.
- 6) Mohammadzadeh, H., Eskandari, A. 2017. Use of hydrogeochemical and isotopic techniques in order to better understand the characteristics of important water resources in Paveh and Javanroud study areas, Kermanshah province. Journal of Hydrogeology of Tabriz, third period, number 1, pp. 80-98.

## بررسی منابع تغذیه‌کننده دشت اوان در استان خوزستان

زهرا چقازردی<sup>۱</sup>، سید یحیی میرزایی<sup>۲\*</sup>، منوچهر چیت‌سازان<sup>۳</sup>، فرشاد علیجانی<sup>۴</sup>

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۱۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

مقاله پژوهشی

### چکیده

شناسایی منابع تغذیه‌کننده و تخلیه‌کننده آبخوان‌ها یکی از مهم‌ترین مسائلی است که در مدیریت منابع آب، تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی‌های محیط‌زیست، منابع طبیعی و کشاورزی مورد توجه می‌باشد. دشت اوان در فاصله ۲۳ کیلومتری شهرستان اندیمشک در استان خوزستان واقع شده است. افزایش سطح آب‌زیرزمینی و عدم برآورد و شناخت هرچه دقیقتر مقادیر جریان ورودی به آبخوان در قسمت‌هایی از این دشت باعث بروز مشکلاتی در آینده‌ای نه‌چندان دور خواهد شد. در این راستا، جهت ارزیابی منابع تغذیه‌کننده در دشت مذکور، علاوه بر ترسیم و محاسبات مربوط به شبکه جریان، نمونه‌برداری ایزوتوپی و هیدروشیمیایی در دو دوره‌ی خشک (مردادماه ۱۴۰۱) و تر (اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۲) انجام شد. نتایج حاصل از بررسی‌های هیدروژئولوژی منطقه و همچنین تحلیل‌های هیدروشیمیایی، آنالیز آماری خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی (HCA) همگی گویای این واقعیت است که نمونه‌های آب‌زیرزمینی دشت اوان در دو گروه مختلف قرار می‌گیرند. گروه اول تحت تأثیر بارش‌های جوی است و گروه دوم نمایانگر ارتباط هیدرولیکی آبخوان مذکور با دشت عباس در شمال غربی آن است.

**واژه‌های کلیدی:** ایزوتوپ، دشت اوان، منابع تغذیه‌کننده، هیدروژئولوژی.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران Z.chaghazardi71@gmail.com

<sup>۲</sup> دانشیار هیدرولوژی، عضو هیات علمی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران Yahyamirzee@scu.ac.ir (نویسنده مسئول)

<sup>۳</sup> استاد هیدروژئولوژی، عضو هیات علمی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران M-chitsazan@yahoo.com

<sup>۴</sup> استادیار هیدروژئولوژی، عضو هیات علمی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران F\_alijani@sbu.ac.ir



## مقدمه

آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع آبی در جهان است. تقاضای آب به‌طور مداوم در سراسر جهان در حال افزایش است و به‌ویژه در مناطق خشک این تقاضا بیشتر است (Chen et al., 2015). برداشت جهانی آب‌های زیرزمینی به حدود ۱۵۰۰ کیلومتر مکعب در سال رسیده است (Parlov et al., 2012). که این مقدار بیش‌تر از تغذیه طبیعی آب‌های زیرزمینی است (Naki et al., 2013). علاوه بر این، بسیاری از آبخوان‌های آبرفتی با کاهش سطح تراز آب زیرزمینی، دچار مشکل شده‌اند که به یک موضوع جهانی تبدیل شده است (Wada et al., 2012; Gleeson et al., 2015). اخیراً، این مشکل در مناطق با آب‌وهوای معتدل، به‌ویژه در آبخوان‌های آبرفتی محبوس وابسته به آب‌های سطحی در نتیجه تغییرات آب و هوایی، بیشتر شده است (Kumar., 2012; Gampe et al., 2016). از سویی دیگر برخی از دشت‌های موجود با مشکل افزایش سطح آب زیرزمینی مواجه هستند که این امر موجب کاهش عمق قرارگیری آب‌های زیرزمینی نسبت به سطح زمین می‌شود و در نتیجه خطر آلوده شدن آب‌های زیرزمینی و سایر مشکلات دیگر را به همراه خواهد داشت (Mirzaee et al., 2023). تمام این مشکلات به‌ضرورت پژوهش و بررسی دقیق مکانیسم‌های تغذیه آب زیرزمینی اشاره دارد که مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی را ممکن می‌سازد، تاکنون به منظور تعیین منشأ یا به عبارتی به منظور شناسایی مرزهای تغذیه کننده در آبخوان، مطالعات هیدرولیکی، هیدروشیمیایی و ایزوتوپی متعددی انجام شده و نتایج آن گزارش شده است. فو و همکاران با استفاده از مطالعات هیدروشیمیایی و ایزوتوپی منشأ آب‌های زیرزمینی و تکامل هیدروشیمیایی را در میانه‌های حوضه رودخانه کویه چین بررسی کردند (Fu et al., 2018). کومارجوشی و همکاران، در مطالعه‌ای به ردیابی منابع تغذیه آب‌های زیرزمینی آبخوان آبرفتی در شمال غربی هند با استفاده از ایزوتوپ‌های ( $H^2$ ،  $H^3$  و  $O^{18}$ ) پرداختند. نتایج

نشان داده است که بارش‌های محلی منبع اصلی تغذیه آب‌های زیرزمینی است. اما  $O^{18}$  و  $H^2$  تهی شده در برخی از مکان‌ها حاکی از این است که تغذیه از کانال‌های آبیاری و جریان برگشتی آب آبیاری صورت می‌گیرد (Kumarjoshi et al., 2018). مندیک و همکاران توانستند با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار اطلاعات مهمی را در رابطه با میانگین ارتفاع مناطق تغذیه چشمه‌های اصلی حوضه آبریز رودخانه گاگا (Gacka) کرواسی به دست آورند (Mandic et al., 2008). شوارتز و همکاران، با مقایسه ترکیبات ایزوتوپی بارندگی و تخلیه آب زیرزمینی، اختلاط بین بخش‌های مختلف مخازن آب زیرزمینی یکی از شناخته‌شده‌ترین و بزرگ‌ترین مناطق کارستی آلمان را مورد ارزیابی قرار دادند (Schwarz et al., 2009). مارکز و همکاران با استفاده از ردیاب‌های ایزوتوپی به بررسی مسئله تغذیه و مسیرهای جریان محلی و ناحیه‌ای آب زیرزمینی در یک سامانه آهکی در مرکز پرتغال پرداختند (Marques et al., 2013). محمد زاده و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی هیدروشیمیایی و ایزوتوپ‌های پایدار ( $H^2$  &  $O^{18}$ ) منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه کارستی اندرخ در شمال شهر مشهد از داده‌های هیدروشیمیایی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) نمونه‌های آب استفاده نمودند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که کیفیت منابع آب منطقه به‌طور گسترده‌ای وابسته به لیتولوژی منطقه می‌باشد. بررسی کانی‌های انحلال یافته (کربناته و سیلیکاته) در آب دریاچه سد کارده و منابع آب زیرزمینی با استفاده از نمودارهای ترکیبی نشان داده است که انحلال کانی‌های کربناته (کلسیت و دولومیت) و کانی‌های سیلیکاته (کائولونیت، المونتیت و کلینوکلر) بیش‌ترین نقش را در کنار کانی سولفات زئپس در کنترل کیفیت منابع آب زیرزمینی و سطحی در منطقه را دارا می‌باشند. اندازه‌گیری و کنترل داده‌های ایزوتوپ‌های پایدار ( $H^2$  &  $O^{18}$ ) در منابع آب زیرزمینی و سطحی و موقعیت آن‌ها بر روی خط ایزوتوپی آب مشهد نشان‌دهنده ارتباط هیدرولیکی بین دریاچه سد کارده با منابع آب زیرزمینی

ارتفاعات و در فصل سرد سال تغذیه شده و به دلیل حرکت سریع (سیستم مجرای)، آب‌های کارستی زمان ماندگاری کمی داشته‌اند. منابع آبی گروه دوم غنی‌شدگی داشته و بنابراین علاوه بر بارش اختلاط آب‌های زیرزمینی نیز بر آن‌ها تأثیر داشته و زمان ماندگاری بیش‌تری نسبت به این گروه دارند. گروه سوم (رودخانه‌ها) به دلیل تبخیر، غنی‌شدگی بیش‌تری نسبت به سایر منابع از خود نشان داده‌اند. با توجه به این‌که در دشت اوان شاهد افزایش سطح آب‌زیرزمینی هستیم و تاکنون مطالعه دقیقی درخصوص منابع تغذیه‌کننده در این دشت صورت نگرفته است، در این پژوهش سعی براین بوده است تا با بررسی‌های هیدروژئولوژی در دشت اوان، استفاده از تحلیل‌های هیدروشیمیایی، آماری و ایزوتوپی منابع تغذیه‌کننده دشت اوان مورد ارزیابی قرارگیرد. تا با استفاده از نتایج کسب‌شده و شناخت منابع تغذیه‌کننده دشت بتوانیم تصمیم‌های مدیریتی جهت کنترل افزایش سطح آب‌زیرزمینی اتخاذ نماییم.

### منطقه مورد مطالعه

دشت اوان با مساحت ۱۹۵ کیلومترمربع در فاصله ۱۴۰ کیلومتری شهرستان اهواز در شمال غرب استان خوزستان در مسیر جاده اندیمشک به دهلران واقع شده است. این دشت به شکل مثلثی است (شکل ۲) که ضلع شرقی آن به رودخانه کرخه، ضلع جنوب غربی آن به دشت دوسلق، ضلع شمال غربی آن به سد کرخه و رأس غربی آن به خروجی سطحی دشت عباس منتهی می‌شود (کلانتری و همکاران، ۱۳۹۱).

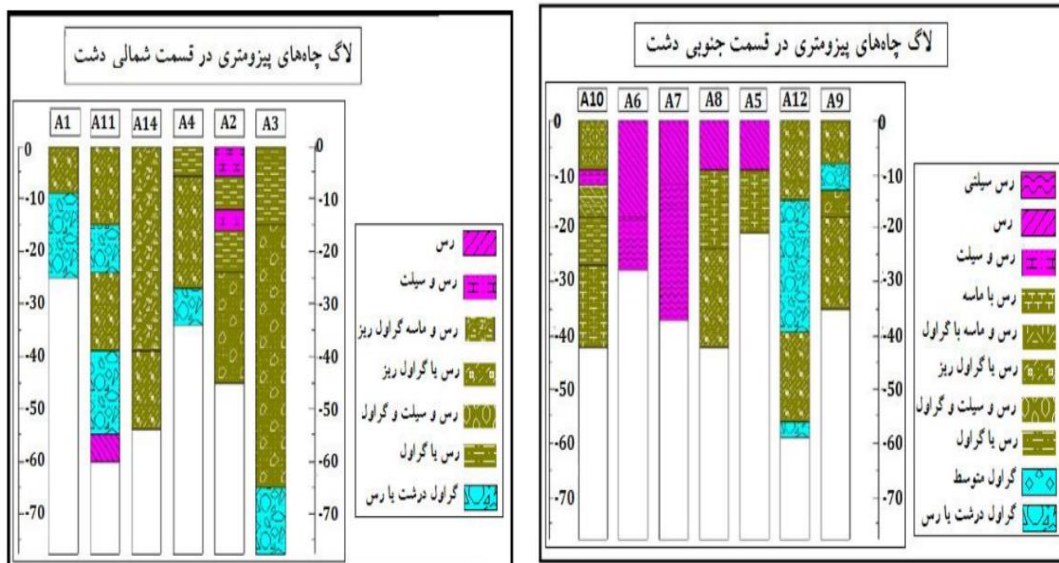
منطقه مورد مطالعه جزئی از حوضه رسوبی ساختاری زاگرس چین‌خورده است. از لحاظ چینه‌شناسی مهم‌ترین واحدهای رسوبی منطقه مربوط به سازندهای بختیاری و بخش لهری می‌باشند. این سازندها مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه می‌باشند. لیتولوژی سازند بختیاری عمدتاً شامل کنگلومرا با سیمان آهکی است اما گاهی سیمان ماسه‌ای و سیلتی نیز در آن مشاهده می‌شود. در این منطقه سازند بختیاری استحکام چندانی نداشته و به‌مرورزمان در اثر فرسایش‌های آبی، سیمان کربناته خود را ازدست‌داده و به‌صورت آبرفت، ناودیس‌های ملایمی را پر کرده است. لیتولوژی بخش لهری

پایین دست می‌باشد. نتایج ایزوتوپی هم‌چنین نشان می‌دهد که چشمه اندرخ نسبت به سایر منابع آب‌زیرزمینی در منطقه بیش‌تر از منابع آب سطحی تغذیه می‌شود. ندیری و همکاران (۱۳۹۵) به مطالعه هیدروژئوشیمی و هیدروژئولوژی آبخوان دشت هرزندات با استفاده از روش‌های آماری و گرافیکی پرداختند نتایج به‌دست‌آمده نشان داد طبق نمودار پایپر و استیف به ترتیب دو و شش منشأ متفاوت برای منابع آب‌زیرزمینی وجود دارد. دیاگرام درو نشان‌دهنده دو فرآیند هیدروژئوشیمیایی اصلی در آبخوان است در صورتی‌که روش آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی نشان می‌دهد که پنج تیپ آبی در نمونه‌های آب‌زیرزمینی وجود دارد زیرا تکنیک آنالیز خوشه‌ای در مقایسه با روش‌های گرافیکی توانایی آنالیز شیمیایی و فیزیکی برای داده‌های بیش‌تری را دارد. هم‌چنین در این پژوهش بر اساس تحلیل عاملی چهار عامل اصلی مؤثر بر هیدروشیمی آبخوان دشت هرزندات شناسایی شده است. عامل اول، دوم و سوم تأثیر سازندهای زمین‌شناسی و روند تکاملی جریان زیرزمینی را نشان می‌دهد و عامل چهارم متأثر از فعالیت‌های انسانی است. محمد زاده و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای استفاده از تکنیک‌های هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی به‌منظور فهم بهتر ویژگی‌های منابع آبی مهم محدوده‌های مطالعاتی پاره و جوانرود در استان کرمانشاه را بررسی کردند. در این پژوهش ویژگی‌های هیدروشیمیایی و ایزوتوپی برخی منابع آبی مهم در محدوده‌های مطالعاتی پاره و جوانرود واقع در منتهی‌الیه شمال غربی استان کرمانشاه ارزیابی شده است. نمونه‌برداری از منابع مورد مطالعه طی دو دوره فصل‌های تر (دی‌ماه ۱۳۹۳) و خشک (مهرماه ۱۳۹۴) صورت گرفت و مجموعاً ۳۴ نمونه آب متشکل از آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی جمع‌آوری شد. به‌کارگیری روش‌های مختلف هیدروشیمیایی و بررسی‌های محتوای ایزوتوپی نشان داده است که آهک‌های بیستون و سازندهای ایلام-سروک در ترکیب شیمیایی منابع آبی تأثیر گذار بوده و تیپ هیدروشیمیایی آب در اغلب منابع بیکربناته-کلسیک بوده است. بررسی محتوای ایزوتوپی منابع آبی و مقایسه آن با خط ایزوتوپی آب جوی پاره، نشان‌دهنده سه گروه منبع آبی بوده است: گروه اول به دلیل تهی‌شدگی ایزوتوپی از



دشت اوان، در شمال و شمال غرب دشت، درشت‌دانه بوده و به سمت جنوب و جنوب شرق ریزدانه گردند. در جهت عمودی نیز، اندازه ذرات در ابتدا ریز تا متوسط دانه بوده و سپس درشت‌تر می‌گردد و در نهایت مجدداً ریزدانه شده و به یک‌لایه رس فشرده ختم می‌شود. آبخوان دشت اوان نیز در همین لایه درشت‌دانه‌تر میانی شکل گرفته است. رودخانه کرخه تنها رودخانه دائمی است که از دشت اوان عبور می‌کند و نقش مهمی در تأمین نیاز آبی منطقه دارد. کیفیت مناسب آب این رودخانه سبب شده تا در مصارف مختلف به میزان زیاد از آن استفاده شود. این رودخانه آب کشاورزی بخش وسیعی از دشت را فراهم می‌کند.

نیز شامل مارن، سیلتستون و گل‌سنگ است. ناودیس دشت اوان که بخشی از ناودیس بزرگ دشت دزفول می‌باشد، توسط آبرفت‌های حاصل از فرسایش سازندهای اطراف پر شده است. در دشت اوان از سمت مناطق شمالی و شمال غربی دشت به سمت جنوب و جنوب شرق از اندازه ذرات کاسته می‌شود (شکل ۲). اجزاء دانه‌درشت این رسوبات ناشی از متلاشی شدن سازند بختیاری و اجزاء ریزدانه آن از فرسایش بخش لهبری می‌باشد. عامل فرسایش آبراهه‌ها، رودخانه بزرگ کرخه و رودخانه رفائیه می‌باشند. این آبراهه‌ها با برجای نهادن رسوبات درشت‌دانه خود در بدو ورود به دشت و حمل رسوبات ریزدانه‌تر و انتقال آن به انتهای مسیر خود، باعث شده‌اند تا اندازه ذرات رسوبات



شکل (۱): لاگ چاه‌های پیزومتری دشت اوان

(دوره‌تر) نمونه‌برداری از طریق سنجش‌های صحرائی و آزمایشگاهی، هیدروشیمی یون‌های عمده (دو دوره‌تر و خشک)، و ایزوتوپ‌های پایدار (یک دوره خشک) مطابق شکل ۳ صورت گرفت. آنالیز شیمیایی آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ) در آزمایشگاه سازمان آب و برق استان خوزستان انجام گردید. در آزمایشگاه مذکور، یون‌های کلسیم، منیزیم،

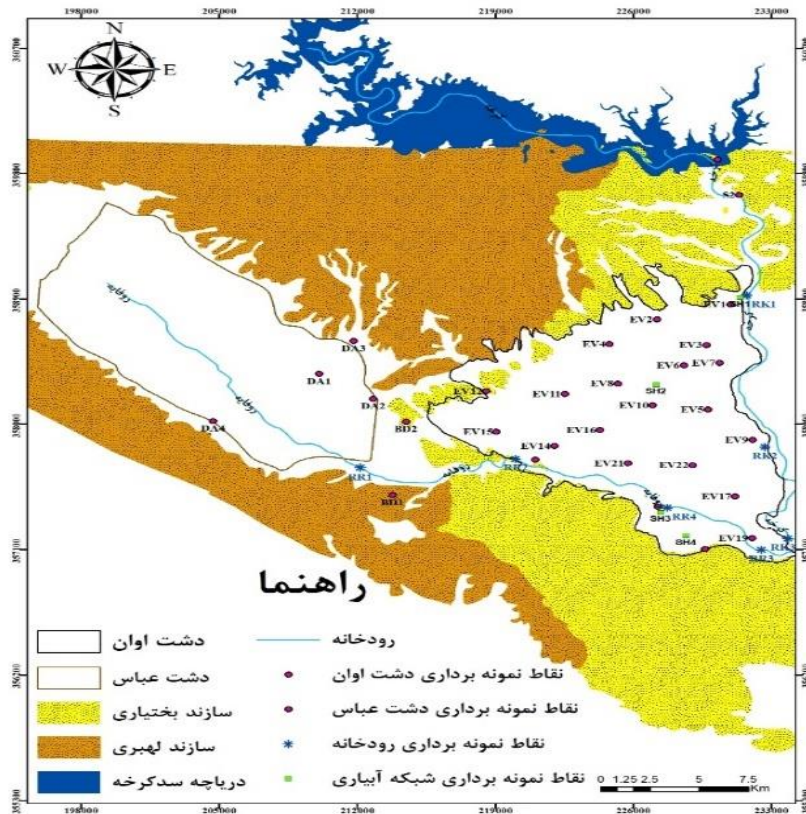
## مواد و روش‌ها

### روش نمونه‌برداری و سنجش‌های هیدروشیمیایی و ایزوتوپی

به‌منظور بررسی دقیق منابع تغذیه‌کننده آبخوان دشت اوان، از منابع آب‌زیرزمینی (چاه)، شبکه آبیاری و زهکشی، مخزن سد کرخه، بارش و رودخانه در طی دو دوره در مردادماه ۱۴۰۱ (دوره خشک) و اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۲

باشد. P-value مقدار احتمال خطا و  $\alpha$  سطح خطا می‌باشد که معمولاً ۰/۰۵ در نظر گرفته می‌شود. با توجه به محاسبات صورت گرفته مقدار احتمال خطا  $P = 0.0001$  و  $\alpha < 0.05$  سطح خطا کم‌تر است و انجام تحلیل آماری امکان‌پذیر می‌باشد. برای آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار نمونه‌های آب قبل از جمع‌آوری در بطری‌های پلی اتیلن استریل ۵۰ میلی‌لیتری با استفاده از فیلترهای ۰/۴۵ میکرون فیلتر شدند. نمونه‌های مربوط به ایزوتوپ‌های آب تا زمان آنالیز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و در یخچال نگهداری شدند. به دلیل حساسیت بالای نمونه‌برداری‌های ایزوتوپی، درب نمونه‌های ایزوتوپی به‌منظور جلوگیری از تبخیر با استفاده از دستگاه پلمپ گردید و به شرکت مصباح انرژی استان مرکزی ارسال شدند. تجهیزات مورد استفاده جهت سنجش ایزوتوپ‌های پایدار دوتریم (D) و اکسیژن ۱۸ ( $O^{18}$ ) اسپکتروسکوپی لیزری با دقت بالا (LGR) بود و روش آزمون دستورالعمل MEL-WI-12 صفحه گذاری شده با استانداردهای IAEA بوده است. جهت بررسی منابع تغذیه‌کننده دشت اوان، از نقشه‌های جهت جریان، نقشه‌های عمق آب‌زیرزمینی، نمودار پایپر، روش آماری تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی (HCA) و روش‌های ایزوتوپی استفاده شده است. جهت دست‌یابی به اهداف این تحقیق، از نرم‌افزارهای Excel، Aq.QA، Surfer، Arc GIS10.5 و XLSTAT، مورد استفاده قرار گرفته است.

کلرید، کربنات و بی‌کربنات به روش تیتراسیون، سدیم و پتاسیم به روش شعله سنجی و سولفات و نیترات به روش اسپکتروفتومتر (UV-Vis مدل Dr2800) مورد اندازه‌گیری قرار گرفته است. مقدار pH و هدایت الکتریکی (EC) در محل توسط دستگاه دیجیتالی هدایت‌سنج الکتریکی اندازه‌گیری شد. در ابتدا غلظت کل آنیون‌ها و کاتیون‌های چاه‌های نمونه‌برداری شده برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر سنجیده شد و میزان درصد خطا محاسبه گردید. میزان خطا ۱/۳ درصد محاسبه و از حد مجاز ۵ درصد خطا کم‌تر بوده است که این میزان خطا قابل قبول می‌باشد. در روش آماری، برای استانداردسازی داده‌ها از روش کایزر (Kaiser) استفاده شده است که بر اساس آن، نرمال بودن توزیع داده‌ها مشخص می‌شود (چیت‌سازان و همکاران، ۱۳۹۷). در مرحله بعدی مناسب بودن داده‌ها برای انجام تحلیل‌های آماری بررسی شده است که در این پژوهش، از شاخص کایزر-مایر-الکین (Kaiser-Mayer-Olkin) و آزمون کرویت بارتلت (Athlete Test) استفاده شده است (جدول ۲). شاخص کایزر-مایر-الکین در بازه صفر تا یک قرار دارد. اگر مقدار شاخص KMO نزدیک به یک باشد، داده‌های مورد نظر (اندازه نمونه) برای تحلیل آماری مناسب هستند (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۸). در این پژوهش، تمام پارامترهای هیدروشیمیایی مقادیر KMO بیش‌تر از ۰/۵۸ را نشان دادند، بنابراین برای تحلیل آماری مناسب می‌باشند. هم‌چنین بر اساس آزمون بارتلت، در صورتی انجام تحلیل آماری قابل قبول است که  $P\text{-value} < \alpha$



شکل (۲): موقعیت جغرافیایی و نقاط نمونه برداری

استفاده از روش خوشه بندی آماری می توان نمونه ها را به گروه های متمایزی که به لحاظ زمین شناسی و آماری، معنی دار باشند تقسیم بندی کرد (Willames and Steinhorst, 1985).  
**روش های ایزوتوپی**

یکی از روش های نوین و دقیق در مطالعات ژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی استفاده از ایزوتوپ های پایدار اکسیژن  $\delta^{18}O$  و دوتریم ( $\delta^2H$ ) است. ایزوتوپ های پایدار  $\delta^2H$  و  $\delta^{18}O$  در آب به طور گسترده به عنوان ردیاب های طبیعی در درک فرآیندهای هیدروژئولوژیکی نظیر بارش، تغذیه آب زیرزمینی، ارتباط بین آب های سطحی، زیرزمینی و هیدرولوژی حوضه آبریز مورد استفاده قرار می گیرد. ترکیب ایزوتوپ های پایدار  $\delta^{18}O$  و  $\delta^2H$  آب در طبیعت تقریباً مشابه با ترکیب آن ها در آب های جوی است. که این به معنای ثبت شرایط اولیه تشکیل آب های جوی است و می تواند به عنوان یک ردیاب طبیعی پایدار به کار گرفته شود. براین

### آنالیز خوشه بندی سلسله مراتبی (HCA)

تحلیل خوشه های برای تعیین شباهت نسبی به کار می رود که این شباهت، همگنی در ویژگی های اندازه گیری شده پارامترها را نشان می دهد. این روش آماری، کاربرد زیادی در بررسی داده های چند متغیره از جمله بررسی ارتباط بین متغیرها، سازمان دهی نمونه ها در قالب ساختارهای معنی دار و نمایش ترکیب کل آب زیرزمینی یک منطقه به تعداد محدودی از خوشه ها دارد.

تحلیل خوشه های مجموعه ای از متغیرها را در داخل خوشه های همگن جای می دهد و خوشه های حاصل از این تحلیل، از همگنی درونی (درون خوشه) و بیرونی (بین خوشه ها) برخوردار هستند (Kazma and Sheresta, 2007). روش های مختلفی برای طبقه بندی داده ها وجود دارد ولی خوشه بندی آماری یکی از مهم ترین روش های است که به طور گسترده ای در علوم زمین مورد استفاده قرار می گیرد (Davis, 1986; Belkhiri et al, 2011). با

ایزوتوپی ریزش‌های جوّی مناطق مختلف به GMWL نزدیک می‌باشد و ریزش‌های جوّی در زمستان بسیار تهی‌تر از ریزش‌های تابستان می‌باشند (Clark and Fritz, 1997).

### بحث و نتایج

#### بررسی هیدرولیکی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

شناخت و آگاهی از در یک منطقه، یکی از بخش‌های مهم جهت شناسایی و تشخیص روند جریان و فعل و انفعالات موجود در منابع آب زیرزمینی به حساب می‌آید. تجزیه و تحلیل اطلاعات مربوط به چاه‌های بهره‌برداری دشت اوان نشان داد که ۲۷۹ حلقه چاه بهره‌برداری در این دشت وجود دارد. این چاه‌ها که از پراکندگی فراوانی برخوردار هستند، تقریباً در تمام نقاط دشت پراکنده هستند. عمق این چاه‌ها در نقاط مختلف متفاوت است، اما به‌طور کلی عمق آن‌ها طی یک‌روند نسبتاً مشخص از شرق با مقدار متوسط ۱۱ متر و غرب با مقدار متوسط ۱۱۰ متر رو به افزایش است. از نظر آبدی نیز مجموع آبدی سالانه این چاه‌ها تقریباً ۹۸ میلیون مترمکعب است و متوسط آبدی فصلی آن‌ها تقریباً ۲۴ میلیون مترمکعب است. هم‌چنین بر اساس اطلاعات دریافتی از سازمان آب و برق خوزستان در دشت اوان مجموعاً ۱۴ پیرومتر وجود دارد. میانگین سطح ایستابی این منطقه در سال آبی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ حدود ۱۰۲/۳۶ متر می‌باشد. لازم به‌ذکر است که از سال ۱۳۷۹ به علت احداث شبکه آبیاری و زهکشی و هم‌چنین بهره‌برداری زیاد از رودخانه کرخه، برداشت از آب‌های زیرزمینی از طریق پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری کم‌تر شده، به‌گونه‌ای که تراز سطح آبخوان از سال ۱۳۷۹ به بعد روندی نسبتاً یکنواخت و صعودی را طی می‌کند و این موضوع باعث شده است عمق برخورد سطح آب زیرزمینی با سطح زمین کم‌تر شده و در معرض آلاینده‌های موجود در سطح زمین قرار گیرد و بنابراین پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی افزایش یابد. یکی از مهم‌ترین ابزارها جهت پایش وضعیت آب زیرزمینی در هر آبخوان هیدروگراف معرف (رابطه سطح تراز آب با زمان) آن است. بدین منظور هیدروگراف آبخوان دشت اوان بر اساس

اساس بعد از جمع‌آوری اطلاعات آب جوّی و ایزوتوپ‌های پایدار  $\delta^2\text{H}$  و  $\delta^{18}\text{O}$  در آب زیرزمینی و تحلیل ساختار هیدروژئولوژیکی و جریان آب زیرزمینی در منطقه هدف، می‌توان شرایط تغذیه‌ای آب زیرزمینی و منابع مختلف تغذیه‌ای را تعیین کرد (Clark and Fritz, 1997). علاوه بر این، مطالعه ایزوتوپ‌های پایدار  $\delta^2\text{H}$  و  $\delta^{18}\text{O}$  می‌تواند در شناسایی نواحی مختلف تغذیه به ما کمک کند. در این مطالعه سعی شده است تا با نمونه‌برداری و آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار  $\delta^2\text{H}$  و  $\delta^{18}\text{O}$  آب باران، آب زیرزمینی دشت اوان، آب زیرزمینی دشت عباس، آب زیرزمینی بین دو دشت اوان و عباس، شبکه آبیاری و زهکشی، رودخانه کرخه و رودخانه رفائییه ضمن مشخص کردن معادله خط آب جوّی محدوده مورد مطالعه، منابع تغذیه‌کننده دشت اوان تعیین گردد.

#### خط ایزوتوپی آب جوّی منطقه و منشأ نزولات جوّی

یکی از برجسته‌ترین روابط مشاهده‌شده در ژئوشیمی آب‌ها، رابطه تقریباً خطی بین  $\delta^2\text{H}$  و  $\delta^{18}\text{O}$  در آب‌های جوّی می‌باشد (Clark and Fritz, 1997). کریگ در سال ۱۹۶۱ برای اولین بار ارتباط بین  $\delta^2\text{H}$  و  $\delta^{18}\text{O}$  در آب‌های شیرین در مقیاس جهانی را منتشر کرد، که به‌عنوان خط آب باران جهانی (GMWL) معروف بوده و در شرایط تعادلی و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد معادله‌ی آن به‌صورت رابطه‌ی ۱ می‌باشد (Craig, 1997). خط GMWL با توجه به داده‌های بارندگی در سراسر جهان و از میانگین تعداد زیادی خط باران محلی (LMWL) که هرکدام دارای شیب و عرض از مبدأ متفاوت می‌باشند، حاصل شده است.

$$\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10 \quad (1)$$

که در آن کلیه‌ی مقادیر ایزوتوپی ( $\delta^2\text{H}$  و  $\delta^{18}\text{O}$ ) برحسب پرمیل (‰) در مقیاس (VSMOW) می‌باشد. شیب ۸ نشان می‌دهد که در نمونه‌های آب باران، ایزوتوپ  $\delta^2\text{H}$  ۸ برابر بیش‌تر از ایزوتوپ  $\delta^{18}\text{O}$  غنی می‌شود و عرض از مبدأ ۱۰ تابع شرایط آب و هوایی بوده و در شرایط غیرتعاملی مقدار آن تغییر می‌کند (Craig, 1961). هر دو پارامتر شیب‌خط و عرض از مبدأ آن، تحت تأثیر تبخیر ثانویه در هنگام ریزش جوّی قرار می‌گیرند. به‌طور کلی ترکیب

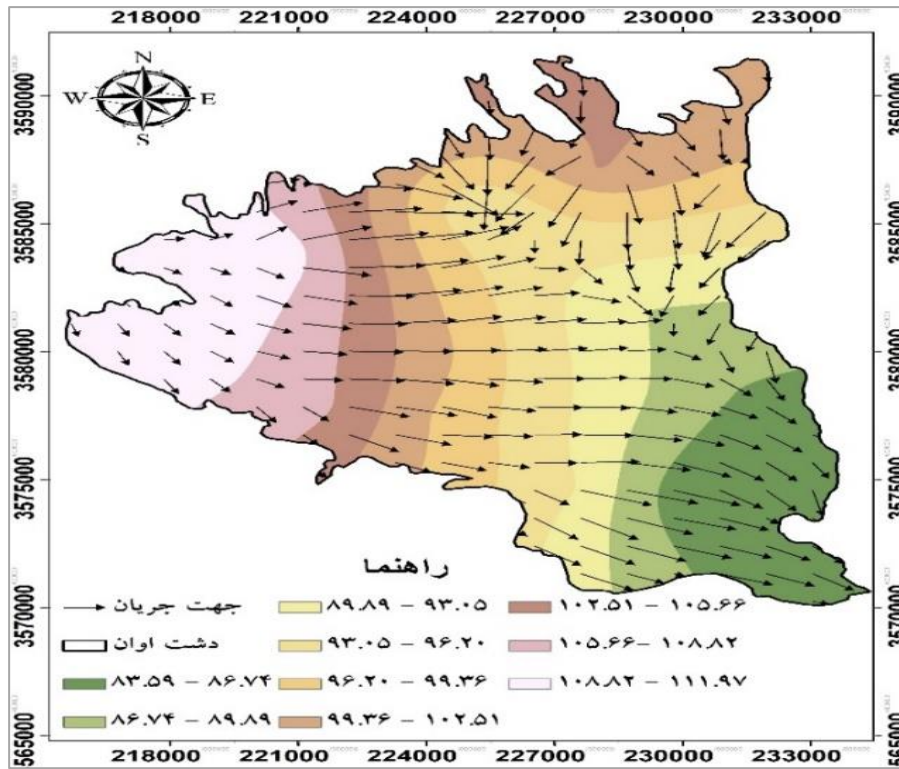


ارزیابی قرار گرفت. در این راستا پژوهش‌های صورت گرفته از دشت عباس که در قسمت غربی دشت اوان قرار دارد، نشان داد که از سال ۱۳۸۵ با آغاز بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی سطح آب‌زیرزمینی در این دشت بالاآمده به طوری که بیش‌ترین عمق آب‌زیرزمینی مربوط به بخش شرقی و تا ۵۰ متر می‌باشد و کم‌ترین عمق آب با مقدار ۱ متر مربوط به مرکز دشت و به سمت غرب این دشت می‌باشد (سامانی و همکاران، ۱۳۸۷). بدین منظور نقشه جهت جریان و نقشه هم‌عمق آب‌زیرزمینی برای دو دوره تر (اردیبهشت ۱۴۰۲) و خشک (شهریور ۱۴۰۱) ترسیم گردید (شکل ۶ و ۷). مطابق شکل ۷ همان‌طور که ملاحظه می‌شود جهت جریان در دشت عباس از شمال و شمال غرب به سمت جنوب و جنوب شرق منتهی به دشت اوان می‌باشد. پروفیل ارتفاعی (AB) از دشت عباس به دشت اوان نشان می‌دهد که دشت عباس در ارتفاع بالاتری از دشت اوان قرار دارد (شکل ۸). طبق نقشه جهت جریان ترسیم‌شده در دشت عباس به احتمال خیلی زیاد آب به دشت اوان وارد می‌شود. جهت بررسی این احتمال اقدام به نمونه‌برداری هیدروشیمیایی و ایزوتوپی از دو دشت اوان و دشت عباس شد که نتایج هر یک در بخش‌های بعد ذکر شده است.

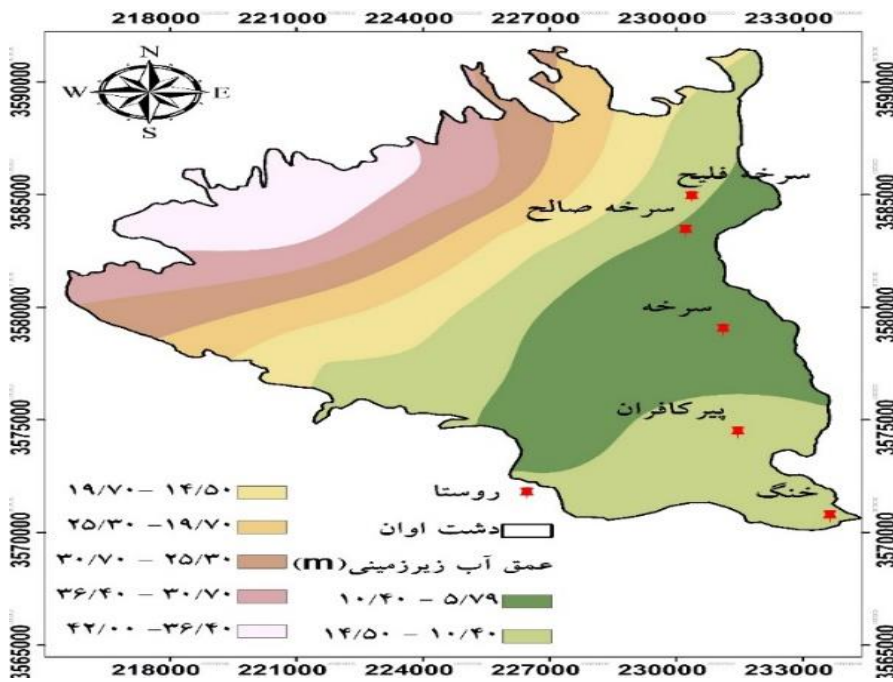
آمار و اطلاعات موجود از سال آبی ۱۳۸۱-۱۳۸۰ تا سال آبی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ ترسیم‌شده است (شکل ۳). همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، تغییرات سطح آب‌زیرزمینی در این مدت از یک‌روند افزایشی برخوردار بوده است؛ گرچه این افزایش نشان‌دهنده تغذیه مناسب آبخوان است اما اگر در این شرایط آبخوان به‌درستی مدیریت نشود و منابع تغذیه‌کننده دشت شناسایی نشوند، می‌تواند منجر به آسیب‌های جبران‌ناپذیری همچون زه‌دار شدن زمین‌ها گردد. در همین راستا نقشه هم‌پتانسیل و جهت جریان نیز ترسیم شد. مطابق شکل ۴ جهت کلی جریان از شمال و شمال غرب به سمت جنوب و جنوب شرق می‌باشد. رودخانه کرخه در بخشی از دشت موجب تغذیه و در بخش‌هایی موجب تخلیه‌ی آن می‌شود. نقشه هم‌عمق آب‌زیرزمینی (شکل ۵) نشان می‌دهد که بالاآمدگی سطح آب‌زیرزمینی در قسمت‌های شرق و جنوب شرقی به دلیل پایین بودن تراز سطح زمین، بیش‌تر می‌باشد. به عبارتی آب در این قسمت‌ها نسبت به سایر بخش‌های دشت در عمق کم‌تری (۵ تا ۱۵ متری از سطح زمین) قرار می‌گیرد. پس از بررسی مکانیسم جریان در دشت اوان و متوجه شدن روند جریان در این دشت کلیه مناطق اطراف دشت مورد



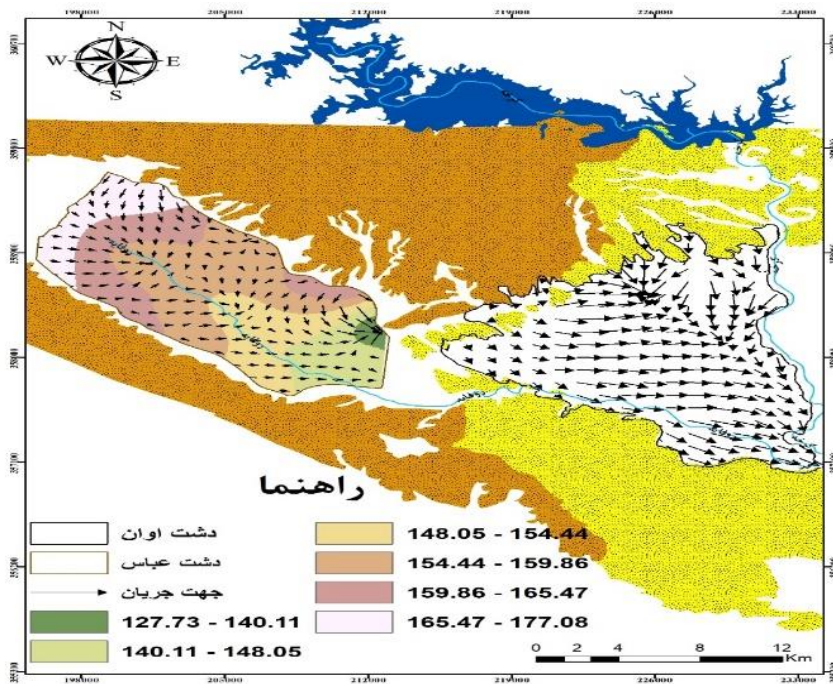
شکل (۳): هیدروگراف معرف آبخوان دشت اوان



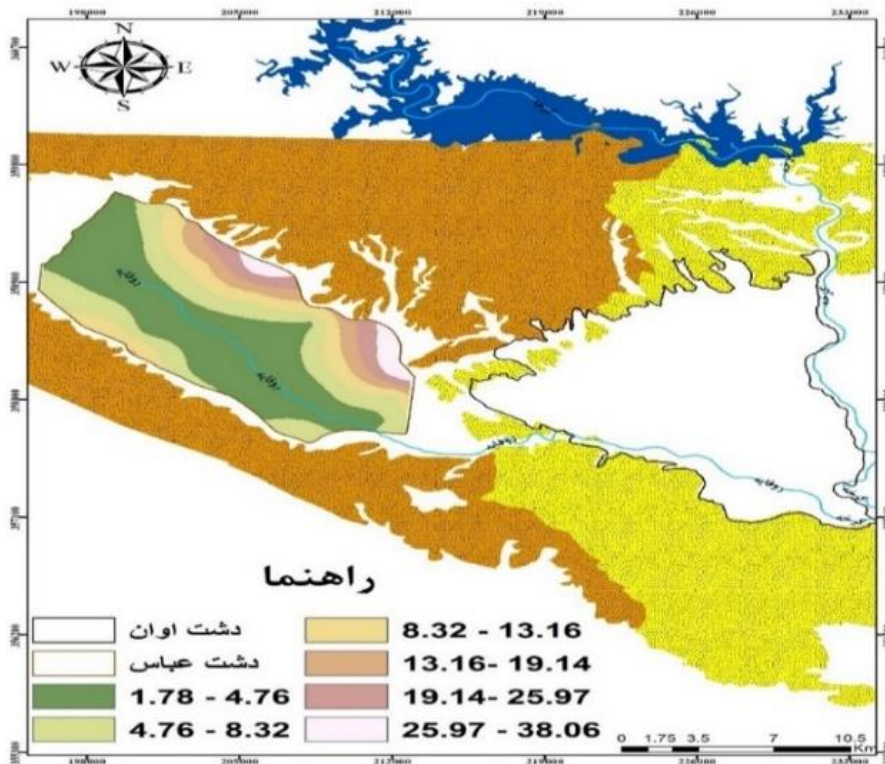
شکل (۴): نقشه هم‌پتانسیل و جهت جریان آب‌برزمینی در دشت اوان



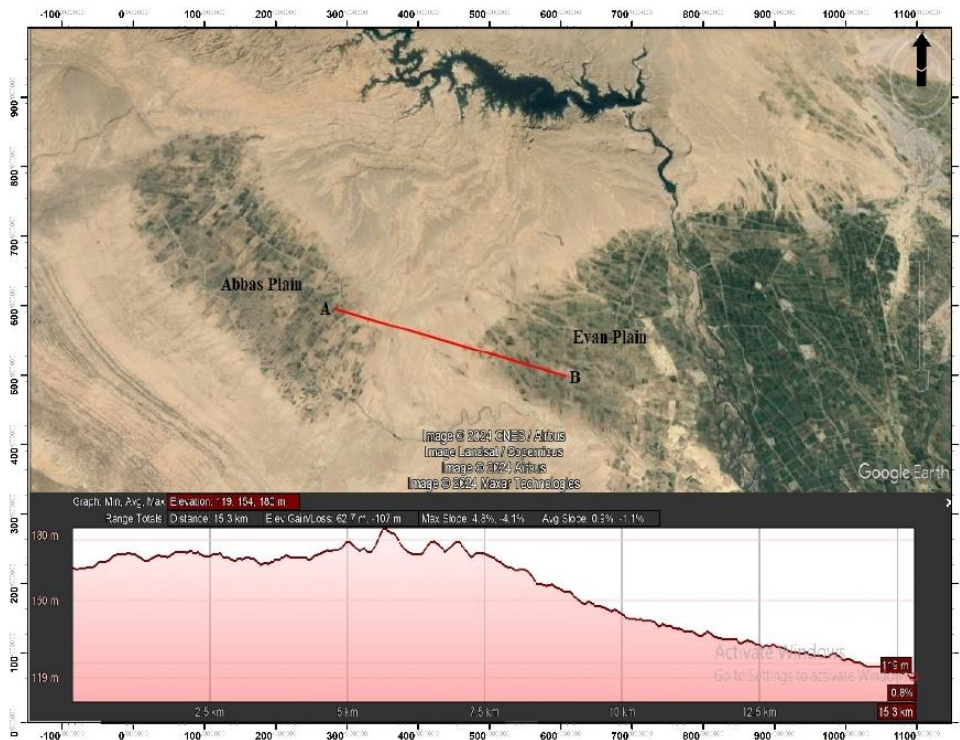
شکل (۵): نقشه هم عمق آب‌برزمینی دشت اوان



شکل (۶): نقشه هم‌پتانسیل و جهت جریان آب‌بیرزمینی در دشت عباس



شکل (۷): نقشه هم عمق آب‌بیرزمینی دشت عباس



شکل (۸): پروفیل ارتفاعی از دشت عباس به دشت اوان

دشت عباس (DA) و همچنین آب‌زیرزمینی بین دو دشت اوان و دشت عباس (BD) برای دو دوره‌تر و خشک استفاده شده است (شکل ۹). نتایج و ترسیم نمودار پایپر نشان می‌دهد که نمونه‌های گرفته‌شده در دو گروه مجزا قرار می‌گیرند. مطابق این نمودار همان‌طور که ملاحظه می‌شود نمونه‌های EV1, EV3, EV4, EV5, EV6, EV7, EV8, EV9, EV10, EV11 در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند که گویای این مطلب می‌باشد که دارای ترکیب هیدروشیمیایی و منشأ یکسانی هستند. همچنین تیپ غالب آب‌زیرزمینی در این گروه عمدتاً منیزیم سولفات و کلسیم سولفات می‌باشد. در گروه دوم نمونه‌های آب‌زیرزمینی EV2, EV12, EV13, EV14, EV15, EV16, EV17, EV18, EV20, EV21, EV22 اوان با نمونه‌های آب‌زیرزمینی بین دو دشت اوان و عباس و همچنین نمونه‌های آب‌زیرزمینی دشت عباس (DA1, DA2, DA3, DA4) در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. همچنین نمونه‌های شبکه آبیاری و زهکشی (SH1, SH2, SH3, SH4)، رودخانه کرخه (RK1, RK2, RK3) و رودخانه

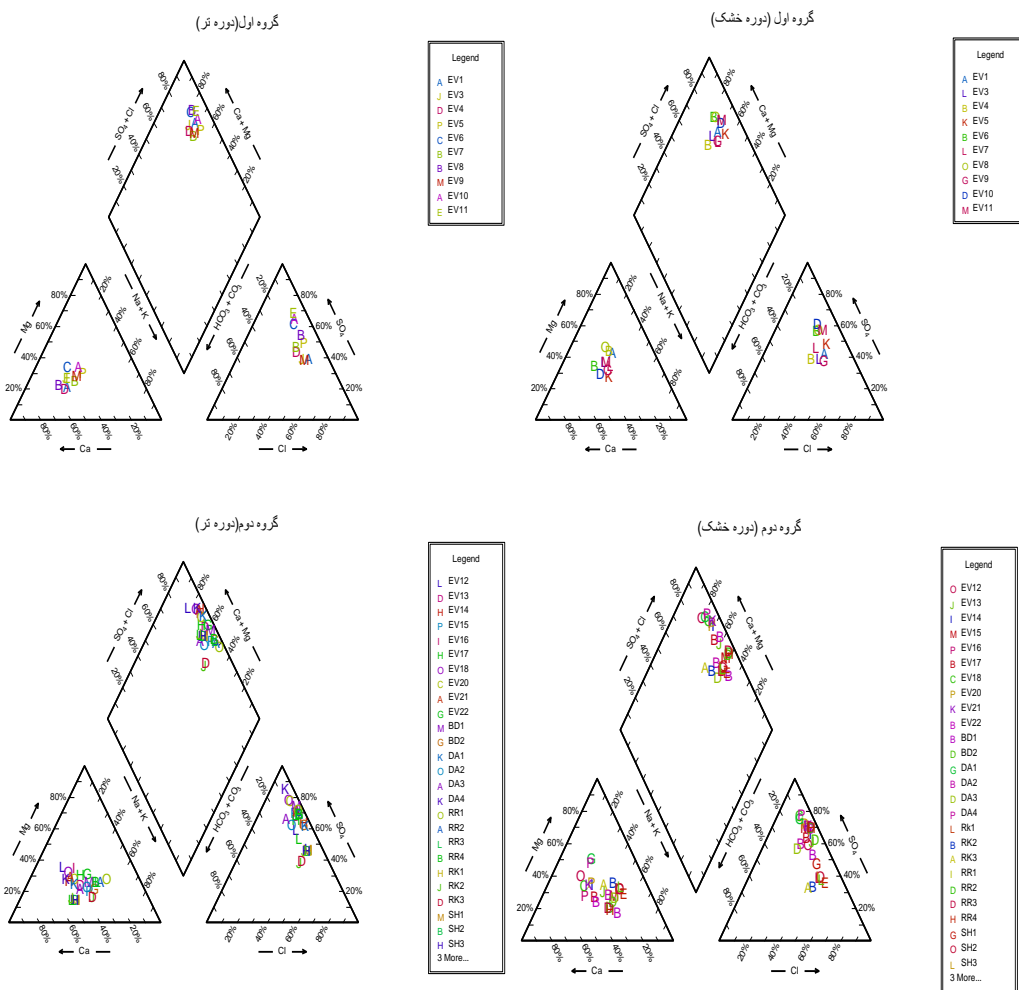
### بررسی هیدروشیمی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

یکی از موارد مؤثر و تعیین‌کننده‌ای که در راستای بررسی و تعیین وضعیت منابع آب به لحاظ کیفی دارای اهمیت ویژه و تعیین‌کننده‌ای است، مطالعات و نتایج هیدروشیمیایی منابع آبی مورد مطالعه در منطقه می‌باشند. بدین منظور برای تحلیل نتایج آنالیزهای هیدروشیمیایی از نمودارهایی استفاده می‌شود که قابلیت نمایش و مقایسه هم‌زمان تعداد زیادی نمونه را دارا باشند. یکی از این نمودارها، نمودار پایپر می‌باشد. با استفاده از این نمودار می‌توان تعداد زیادی نمونه را به صورت هم‌زمان مقایسه کرد. همچنین نمودار پایپر برای تعیین تفاوت‌ها و شباهت‌ها، اختلاط بین منابع و بررسی تغییرات زمانی و مکانی تیپ منابع آبی به کار می‌رود (محمدی‌بهباد، ۱۳۹۰). همچنین از نمودار پایپر جهت بررسی میزان شباهت و همچنین اختلاط منابع آبی نمونه‌های گرفته‌شده از رودخانه کرخه (RK)، رودخانه رفائیه (RR)، شبکه آبیاری و زهکشی (SH)، آب‌زیرزمینی اوان (EV)، آب‌زیرزمینی



عباس به دشت اوان وارد می‌شود. که طبق شکل ۲ موقعیت قرارگیری هریک از این نمونه‌ها در یک مسیر قرار دارند. هم‌چنین طبق نقشه جهت جریان ترسیم‌شده در دشت اوان (شکل ۴) رودخانه کرخه در بعضی از قسمت‌ها دشت را تغذیه می‌کند. که اثر تغذیه‌کنندگی رودخانه کرخه در نمونه‌های قرار گرفته در این گروه مشخص شده است.

رفائیه (RR1, RR2, RR3, RR4)، مخزن سد کرخه (S1, S2) در کنار نمونه‌های این گروه قرار گرفته‌اند. تیپ غالب این گروه سدیم سولفات، منیزیم سولفات و کلسیم سولفات می‌باشد. همان‌طور که در بخش هیدرولیکی نیز نشان داده شد جهت جریان از دشت عباس به سمت دشت اوان می‌باشد که می‌توان دریافت که آب زیرزمینی از دشت



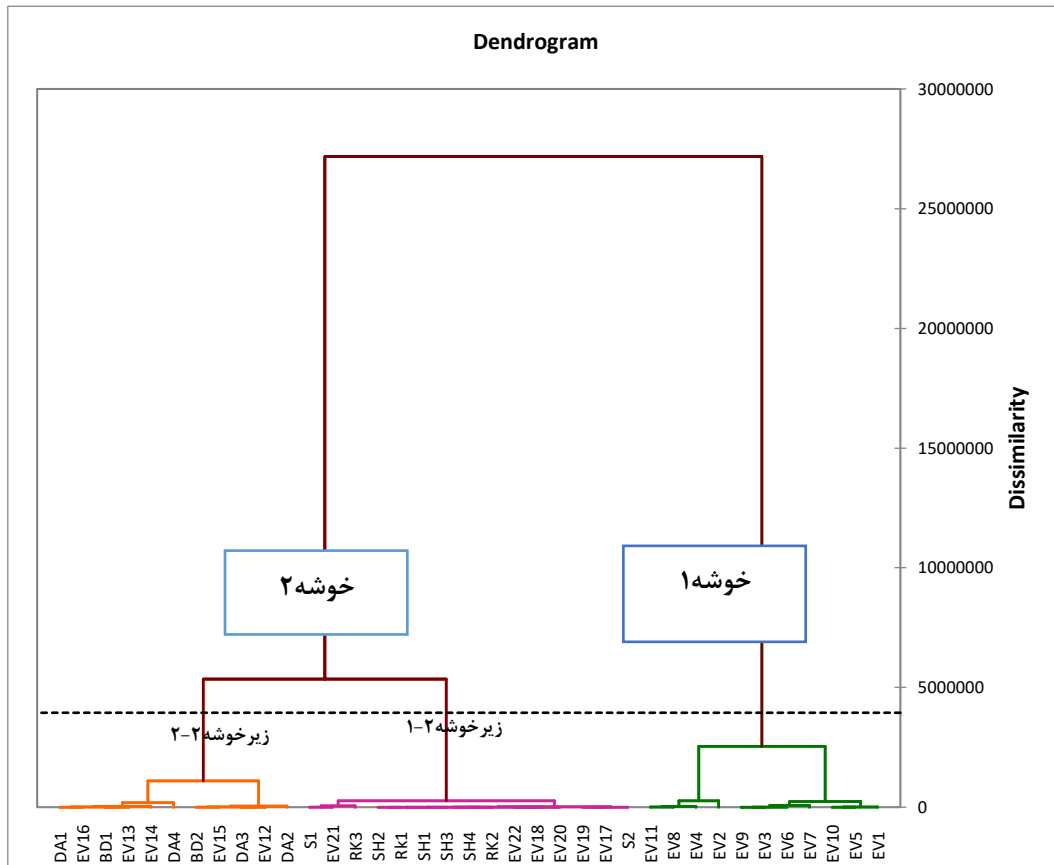
شکل (۹): نمودار پایپر نمونه‌های گرفته‌شده در دو فصل تر و خشک (۱۴۰۱-۱۴۰۲)

گروه‌های متمایزی که از لحاظ زمین‌شناسی و آماری، معنی‌دار باشند تقسیم‌بندی کرد (Willames and Steinhorst, 1985). آنالیز خوشه‌بندی سلسله مراتبی، رایج‌ترین روش تحلیل خوشه‌ای است که ارتباطات همسان

بررسی آنالیز خوشه‌بندی سلسله مراتبی (HCA) در منطقه مورد مطالعه همان‌طور که در بخش روش تحقیق توضیح داده شد، با استفاده از روش خوشه‌بندی آماری می‌توان نمونه‌ها را به

نمونه‌های آب‌یرزمینی بین دو دشت، نمونه‌های شبکه آبیاری و زهکشی دشت اوان، نمونه‌های رودخانه و سد کرخه تعداد ۲ خوشه برای آن‌ها در نظر گرفته است. به این معنا که دشت اوان به لحاظ پارامترهای هیدروشیمیایی دارای ۲ منشأ می‌باشد. به این صورت که نمونه‌های EV2, EV4, EV8, EV11, EV9, EV3, EV6, EV7, EV10, EV5, EV1 در خوشه ۱ و نمونه‌های EV21, RK3, SH2, RK1, SH1, SH3, SH4, RK2, EV22, EV18, EV20, EV19, EV17, S2 DA1, EV16, BD1, EV13, و نمونه‌های ۱-۲ خوشه ۲-۲ در زیر خوشه ۲-۲ قرار گرفته‌اند.

ذاتی را بین هرکدام از نمونه‌ها و نیز بین همه داده‌ها فراهم می‌کند و معمولاً با یک نمودار درختی نشان داده می‌شود (Mirzaee et al, 2022) نمودار درختی، خلاصه‌ای از فرآیند خوشه‌بندی، تصویر خوشه‌ها و مجاورت آن‌ها را به همراه کاهش قابل توجه ابعاد داده‌های اولیه نمایش می‌دهد. شباهت (به هم پیوستگی) بین خوشه‌ها و جداسازی خوشه‌های همگن برای مکان‌های نمونه‌برداری براساس فاصله اقلیدسی تعیین می‌شود. مطابق شکل ۱۰ همان‌طور که مشخص شده است، در آنالیز خوشه‌بندی سلسله مراتبی با توجه به خصوصیات پارامترهای هیدروشیمیایی نمونه‌های آب‌یرزمینی دشت اوان، دشت عباس و هم‌چنین



شکل (۱۰): دندروگرام نمونه‌های آب‌یرزمینی دشت اوان، دشت عباس، رودخانه کرخه و شبکه آبیاری

دارند دارای منشأ یکسانی می‌باشند. نمونه‌های قرارگرفته در خوشه ۲، نمایانگر این است که، نمونه‌های آب‌یرزمینی در این قسمت از دشت اوان تحت تأثیر آب رودخانه کرخه، شبکه آبیاری و زهکشی و هم‌چنین جریان‌های ناشی از

موقعیت نمونه‌های خوشه ۱ در نقشه موقعیت مکانی نمونه‌های گرفته‌شده در شکل ۳ نمایانگر این است که، این نمونه‌ها دارای ترکیب هیدروشیمیایی مشابهی می‌باشند و درواقع می‌توان دریافت که نمونه‌هایی که در خوشه ۱ قرار

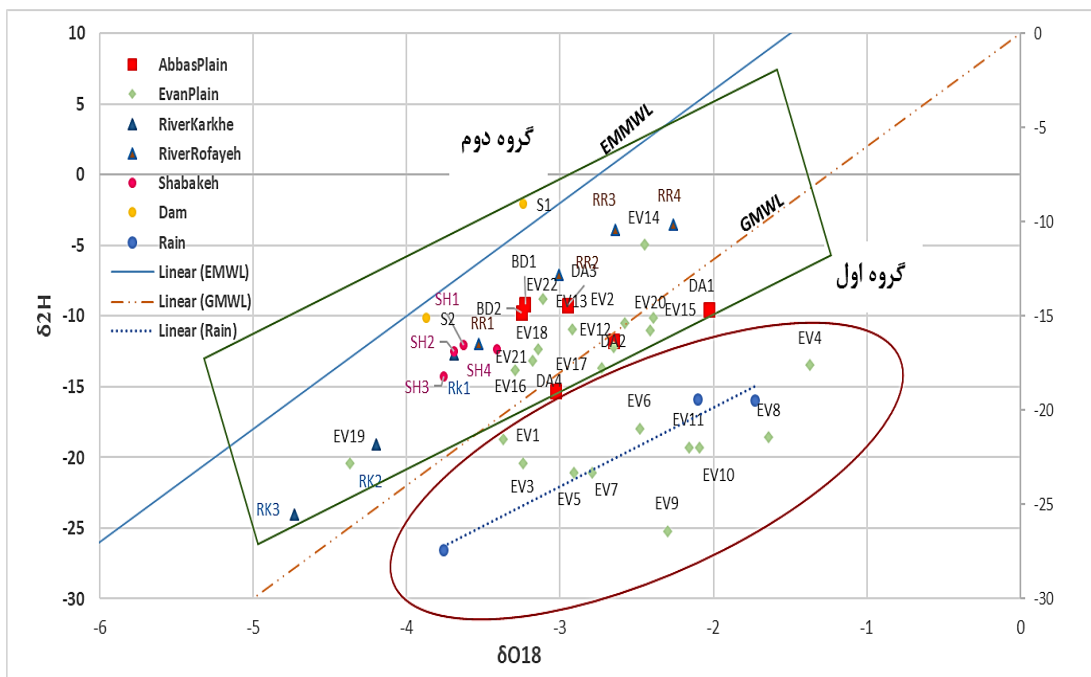


همچنین بهمن‌ماه ۱۴۰۲ استفاده شده است که با قرار دادن مقدار محتوی ایزوتوپی نمونه‌های گرفته شده بر روی نمودار پراکنش  $\delta^{18}\text{O}$  نسبت به  $\delta^2\text{H}$  منابع آبی در دو گروه قرار گرفتند (شکل ۱۱)، با این تفاوت که در فصل خشک، به علت عملکرد بیش‌تر فرآیند تبخیر، منابع پراکنده‌گی بیش‌تری دارند. اولین گروه شامل تعدادی از نمونه‌های آب‌زیرزمینی دشت اوان می‌باشند که این گروه در اطراف و تقریباً روی خط جوی ایزوتوپی قرار گرفته‌اند (شکل ۱۱). بنابراین نمونه‌های این گروه تحت تأثیر تبخیر و تغذیه ناشی از بارش قرار دادند. دومین گروه مربوط به سایر نمونه‌های آب‌زیرزمینی دشت اوان، نمونه‌های آب‌زیرزمینی دشت عباس، رودخانه کرخه، رودخانه رفائیه، شبکه آبیاری و زهکشی و نمونه گرفته شده از دریاچه و سد کرخه می‌باشد. که قرارگیری این نمونه‌ها در کنار یکدیگر گویای این مطلب می‌باشد که در این گروه اختلاط صورت گرفته و دارای منشأ یکسانی می‌باشند.

دشت عباس می‌باشد هم‌چنین مطابق نقشه موقعیت مکانی نمونه‌های گرفته شده، مشاهده می‌شود که این نمونه‌ها در یک محدوده قرار گرفته‌اند.

### بررسی مطالعات ایزوتوپی در منطقه مورد مطالعه

همان‌طور که ذکر شد یکی از روش‌های نوین و دقیق در مطالعه منشأ منابع آب استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم می‌باشد (Clark and Fritz, 1997). جهت بررسی‌های ایزوتوپی در گام اول می‌بایست خط جوی محلی منطقه مورد مطالعه، ترسیم شود. به عبارت دیگر ترسیم خط ایزوتوپی بارش محلی لازمه هر نوع مطالعه ایزوتوپی و هیدروژئولوژی در منطقه است. لازم به‌زور است تاکنون در هیچ تحقیقی خط جوی محلی برای این منطقه ترسیم نشده است و در این پژوهش برای اولین بار خط جوی محلی تهیه و ترسیم شده است. جهت انجام و ترسیم خط جوی محلی دشت اوان از نمونه‌های بارش در سه بازه زمانی مختلف یعنی آذرماه ۱۳۹۸، اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۱ و



شکل (۱۱): ترکیب ایزوتوپی نمونه‌های گرفته شده و موقعیت آن‌ها روی دیاگرام  $\delta^{18}\text{O}$  نسبت به  $\delta^2\text{H}$

نتایج مربوط به هریک از تحلیل‌های صورت گرفته در بخش زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی، هیدروشیمیایی، آماری و مطالعات ایزوتوپی شامل این موارد می‌باشد:

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش عواملی که در تغذیه منابع آب‌زیرزمینی دشت اوان تأثیرگذار هستند مورد ارزیابی قرار گرفتند که

که در قسمت شمالی و شمال شرقی دشت قرار گرفته‌اند. و گروه دوم که تقریباً در یک محدوده قرار دارند و نمایانگر منشأ یکسان و اختلاط آب این نمونه‌ها با یکدیگر می‌باشد شامل تعداد دیگری از نمونه‌های آب‌زیرزمینی دشت اوان که در مسیر جریان آب از دشت عباس به دشت اوان می‌باشند، نمونه‌های آب‌زیرزمینی دشت عباس، نمونه‌های آب‌زیرزمینی بین دو دشت اوان و عباس، رودخانه کرخه و رفاثیه، شبکه آبیاری و زهکشی و هم‌چنین نمونه مربوط به سد کرخه می‌باشد.

آنالیز خوشه‌بندی سلسله مراتبی (HCA) با توجه به خصوصیات پارامترهای هیدروشیمیایی نمونه‌های آب‌زیرزمینی دشت اوان، دشت عباس و هم‌چنین نمونه‌های آب‌زیرزمینی بین دو دشت، نمونه‌های شبکه آبیاری و زهکشی دشت اوان، نمونه‌های رودخانه کرخه و رودخانه رفاثیه تعداد ۲ خوشه برای آن‌ها در نظر گرفته است. به این معنا که دشت اوان به لحاظ پارامترهای هیدروشیمیایی دارای ۲ منشأ می‌باشد.

نتایج حاصل از مطالعات ایزوتوپی و ترسیم نمودار  $\delta^{18}\text{O}$  نسبت به  $\delta^2\text{H}$  نشان داد که نمونه‌ها در دو گروه قرار دارند. اولین گروه شامل تعدادی از نمونه‌های آب‌زیرزمینی دشت اوان می‌باشند که این گروه در اطراف و تقریباً روی خط جوی ایزوتوپی قرار گرفته‌اند بنابراین نمونه‌های این گروه تحت تأثیر تبخیر و تغذیه ناشی از بارش قرار دادند. دومین گروه مربوط به سایر نمونه‌های آب‌زیرزمینی دشت اوان، نمونه‌های آب‌زیرزمینی دشت عباس، رودخانه کرخه، رودخانه رفاثیه، شبکه آبیاری و زهکشی و نمونه گرفته شده از دریاچه و سد کرخه می‌باشد. که قرارگیری این نمونه‌ها در کنار یکدیگر گویای این مطلب می‌باشد که این گروه دارای منشأ یکسانی می‌باشند. به‌طور کلی با توجه به نتایج کسب شده در هر بخش مشخص گردید که، رودخانه کرخه، شبکه آبیاری و زهکشی، سد کرخه و هم‌چنین جریان‌های عبوری از دشت عباس به دشت اوان از منابع تغذیه‌کننده دشت اوان به حساب می‌آیند.

از سال ۱۳۷۹ به علت احداث شبکه آبیاری و زهکشی و هم‌چنین بهره‌برداری زیاد از رودخانه کرخه، برداشت از آب‌های زیرزمینی از طریق پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری کم‌تر شده، به‌گونه‌ای که تراز سطح آبخوان از سال ۱۳۷۹ به بعد روندی نسبتاً یکنواخت و صعودی را طی می‌کند و این موضوع باعث شده است عمق سطح آب‌زیرزمینی کم‌تر شود و در معرض آلاینده‌های موجود در سطح زمین قرار گیرد و بنابراین پتانسیل آلودگی آب‌زیرزمینی افزایش یابد.

نتایج حاصل از ترسیم هیدروگراف واحد آبخوان دشت اوان که بر اساس آمار و اطلاعات موجود از سال آبی ۱۳۸۱-۱۳۸۰ تا سال آبی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ رسم گردید. نشان‌دهنده روند افزایشی تغییرات سطح آب‌زیرزمینی بوده است.

طبق نقشه جهت جریان، جهت کلی جریان از شمال و شمال غرب به سمت جنوب و جنوب شرق می‌باشد. و هم‌چنین طبق این نقشه رودخانه کرخه در دشت اوان عمدتاً نقش زهکش را ایفا می‌کند اما این رودخانه در قسمت‌هایی از مسیر خود دشت را تغذیه می‌کند. نقشه هم عمق آب‌زیرزمینی نشان می‌دهد که بالآمدگی سطح آب‌زیرزمینی در قسمت‌های شرق و جنوب شرقی به دلیل پایین بودن تراز سطح زمین، بیش‌تر می‌باشد و آب در این قسمت‌ها نسبت به سایر بخش‌های دشت در عمق (۵ تا ۱۵ متری از سطح زمین) قرار می‌گیرد.

طبق نقشه جهت جریان، مشخص شد که جریانی که از شمال غربی و جنوب‌غربی وارد دشت اوان می‌شود از سوی دشت عباس می‌باشد. نتایج حاصل از ترسیم نقشه جهت جریان در دشت عباس نیز نشان می‌دهد که جریان به سمت دشت اوان می‌باشد. هم‌چنین پروفیل ارتفاعی از دشت عباس به دشت اوان ترسیم شد که نشان می‌دهد دشت اوان در ارتفاع پایین‌تری از دشت عباس قرار دارد.

نتایج حاصل از ترسیم نمودار پاییر نشان می‌دهد که نمونه‌های گرفته شده در دو گروه مجزا قرار می‌گیرند. گروه اول تعدادی از نمونه‌های آب‌زیرزمینی دشت اوان می‌باشند



## منابع

- چیت‌سازان، م.، ایل‌بیگی، م.، پورطبری، م. ۱۳۹۷. ارزیابی آلودگی نیترات آب‌یرزمینی بر اساس روش مؤلفه‌های اصلی و تحلیل عاملی (مطالعه موردی: آبخوان دشت کرج). *اكو هیدرولوژی، دوره ۸، شماره ۴، ص ۱۱۳۳-۱۱۱۹.*
- سامانی، س.، کلانتری، ن.، رحیمی، م. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر کمی و کیفی سد کرخه بر آبخوان آبدار دشت سرخه. طرح پژوهشی سازمان آب و برق خوزستان.
- کلانتری، ن.، رحیمی، م.، سامانی، س. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر کمی سد کرخه بر آبخوان دشت اوان دزفول استان خوزستان. تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۸، شماره ۱، ص ۹-۱.
- محمد زاده، ح.، حیدری زاده، م. ۱۳۹۰. مطالعه هیدروشیمیایی و ایزوتوپ‌های پایدار (O18 و H2) منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه کارستی اندرخ (شمال شهر مشهد). پژوهش‌های دانش زمین، دوره ۲، شماره ۵، ص ۶۹-۵۶.
- محمدزاده، ح.، اسکندری، ع. ۱۳۹۷. استفاده از تکنیک‌های هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی به منظور فهم بهتر ویژگی‌های منابع آبی مهم محدوده‌های مطالعاتی پاوه و جوانرود، استان کرمانشاه. *مجله هیدروژئولوژی تبریز، دوره سوم، شماره ۱، ص ۹۸-۸۰.*
- میرزایی، ی.، چیت‌سازان، م.، چقازردی، ز. ۱۳۹۸. تعیین ارتباط هیدرولیکی چشمه‌های تاقدیس کینو (استان خوزستان) با استفاده از داده‌های هیدروشیمیایی، روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و خوشه سلسله مراتبی (HCA). *زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، دوره ۲، شماره ۹، ص ۱۴۱-۱۳۳.*
- محمدی بهزاد، ح. ۱۳۹۰. شناسایی منشأ تغذیه و بررسی خصوصیات فیزیک و شیمیایی چشمه کارستی بی بی تلخون، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آب‌شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ندیری، ع.، روزخ، ج.، اصغری مقدم، ا. ۱۳۹۵. مطالعه هیدروژئوشیمی و هیدروژئولوژی آبخوان دشت هرزندات با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره و روش‌های گرافیکی. *مجله پژوهشی آب ایران، دوره ۱۰، شماره ۴.*
- Belkhiri, L., Boudoukha, A., & Mouni, L., 2011. A multivariate statistical analysis of groundwater chemistry data. *International Journal of Environmental Research*. 5(2), 537-544. doi:10.22059/ijer.2011.338.
- Craig H. 1961. Isotopic Variations in Meteoric Waters. *Science*, 133: 1833-1840.
- Clark I.D., and Fritz P. 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. CRC Press.
- Chen, Y.N.; Li, Z.; Fan, Y.T.; Wang, H.J.; Deng, H.J. Progress and prospects of climate change impacts on hydrology in the arid region of northwest China. *Environ. Res.* 2015, 139, 11–19. [CrossRef] [PubMed].
- Davis, J. C., & Sampson, R. J., 1986. *Statistics and data analysis in geology*. John Wiley & Sons Inc New York, Wiley.
- Fu, C. Li, X. Ma, J. Liu, L. Gao, M. Bai.Z. 2018. A hydrochemistry and multi-isotopic study of groundwater origin and hydrochemical evolution in the middle reaches of the Kuye River basin. *Applied Geochemistry*. S0883-2927(18)30250-6.
- Gat J. 1996. Oxygen and hydrogen isotopes in the hydrologic cycle. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 24: 225-262.
- Gampe, D.; Nikulin, G.; Ludwig, R. Using an ensemble of regional climate models to assess climate change impacts on water scarcity in European river basins. *Sci. Total Environ.* 2016, 573, 1503–1518. [CrossRef].
- Gleeson, T.; Befus, K.M.; Jasechko, S.; Luijendijk, E.; Cardenas, M.B. The global volume and distribution of modern groundwater. *Nat. Geosci.* 2015, 9, 161–167. [CrossRef].
- Kumar, C.P. Climate Change and Its Impact on Groundwater Resources. *Int. J. Eng. Sci.* 2012, 1, 43–60.



- Kumar Joshi, S., Rai, S.P., Sinha, R., Gupta, S., Densmore, A.L., Singh Rawat, Y., Shekhar, S., 2018. Tracing groundwater recharge sources in the northwestern Indian alluvial aquifer using water isotopes ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  and  $3\text{H}$ ), *Journal of Hydrology*, S0022-1694(18)30138-0.
- Marques, J.M., Graca, H., Eggenkamp, H.G., Neves, O., Carreira, P.M., Matias, M.J., Mayer, B., Nunes, D. and 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.
- Mandic, M., Bojic, D., Roller-Lutz, Z., Lutz, H.O. and Krajcar Bronic, I., 2008. Note on the spring region of Gacka River (Croatia). *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 44(2), 201-208.
- Mirzaee; S.Y., Sheikhy, P.; Chitsazan, M., 2022. The vulnerability evaluation of groundwater level rising and development of irrigation network in Mian-Ab aquifer through Analytical Hierarchical Process method and groundwater modeling, *Desalination and Water Treatment*, 269(269):33-46, DOI:10.5004/dwt.2022.28722
- Mirzaee; S.Y., Amiri, R., Chitsazan, M., Nadri, A., 2023. Evaluation of Maydavood\_Dallan Aquifer in Various Management Scenarios Using a Mathematical Model, 52(4):308-328, DOI:10.22125/IWE.2023.173303
- Nakić, Z.; Ružičić, S.; Posavec, K.; Mileusnić, M.; Parlov, J.; Baćani, A.; Durn, G. Conceptual model for groundwater status and risk assessment—Case study of the Zagreb aquifer system. *Geol. Croat.* 2013, 66, 55–76. [CrossRef].
- Parlov, J.; Nakić, Z.; Posavec, K.; Baćani, A. Origin and dynamics of aquifer recharge in Zagreb area. In *Proceedings of the Fifth International Scientific Conference on Water, Climate and Environment 2012*, Balwois, Ohrid, Macedonia, 28 May–2 June 2012; ISBN 978-608-4510-10-9.
- Schwarz, K., Barth, J.A.C., Postigo-Rebollo, C. and 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.
- Shrestha, S., & Kazama, F., 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Journal of Environmental Modeling & Software*. 22(4), 464-475.
- Steinhorst, R. K., & Williams, R. E., 1985. Discrimination of groundwater sources using cluster analysis, MANOVA, canonical analysis and discriminant analysis. *Water Resources Research*. 21(8), 1149-1156. doi.org/10.1029/WR021i008p01149.
- Wada, Y.; van Beek, L.P.H.; Bierkens, M.F.P. non-sustainable groundwater sustaining irrigation: A global assessment. *Water Resources*. 2012, 48, 6. [CrossRef].