



Research Article

OPEN ACCESS

Kharazmi Journal of Earth Sciences

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

## Effects of the April 2019 flood of the Karkheh and Dez rivers on groundwater quantity and quality in the Shush plain

Sara Samghany<sup>1</sup>, Hamid Reza Nassery<sup>2\*</sup>, Zahra Kayhomayoon<sup>3</sup>, Farshad Alijani<sup>4</sup>

1. Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

2. Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

3. Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran.

4. Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

### Article info

#### Article history

Received: 25 September 2024

Accepted: 30 October 2024

#### Keywords:

Shush aquifer, Flood of April 2019, Representative hydrograph of the aquifer, Graphical methods, Stable isotopes.



### Abstract

The flood of April 2018 in Khuzestan province is one of the rarest floods that have occurred in this province, which has left a lot of environmental and economic damage. In the current research, the effect of this flood on the quantity and quality of groundwater in the Shush aquifer has been investigated. For this purpose, hydrochemical sampling was carried out from the surface and groundwater sources of the Shush plain in May and October 2018 (flood and dry periods) and the concentration of main ions, nitrate and stable isotopes of oxygen-18 and deuterium were measured. Quantitative and qualitative analyzes have been carried out using aquifer representative hydrographs, combined diagrams, Piper, Schuler and Wilcox and isotopic studies. The results of the representative hydrograph of the aquifer showed that the changes in precipitation have caused the level of the reservoir level to increase by about one meter at the end of the 2018-2019 (September 2019) water year compared to the end of the 2017-2018 (September 2018) water year. The reason for the decrease in the concentration of qualitative parameters in the southern parts of the plain and in the direction of the groundwater flow is the increase and accumulation of floods in the downstream parts of the aquifer, which is associated with the decrease in the depth of the water table in these areas. Combined graphs of the flood period show the relative increase of water-soluble substances compared to the dry period. This increase in the main ions can be attributed to the strong nutritional pulses of the flood, which has disturbed the chemical balance of the groundwater and mixed it with unstable sediments in the aquifer. Based on the isotopic results, in the flood period, all the samples follow the local precipitation line, which indicates the aquifer's feeding from the flood, and in the dry period, due to evaporation, the samples are more scattered than the global precipitation line.

### Introduction

Heavy and long-lasting rains in late March and April 2019 caused destructive floods in large parts of Iran, which caused a lot of financial and human losses. Three rainfall systems were the cause of these floods in the country. The first system from in March caused severe flooding in the northern regions of the country. The second system in March covered the southwest of Iran, including the provinces of Khuzestan and Lorestan. The third system, which brought heavy rains, affected southwest Iran again on early April and caused river floods in these provinces. On the 3 April 2019, the flood

of the Dez and Karkheh rivers caused the breaking of the dams of three villages in the Shavor section and the center of Shush. The flood area of the Dez and Karkheh rivers in April 2019 flood was estimated to be 638 and 321 square kilometers, respectively, using satellite images (Water Research Institute, 2019).

The study area with an area of 839.85 square kilometers is located in the Shush plain and northwest of Khuzestan province. Three important rivers, the Dez, Karkheh and Shavor, flow almost parallel to each other in this plain (Fig. 1). Geologically, the Shush plain is composed of the Bakhtiari Formation and alluviums of

DOI <http://doi.org/10.22034/KJES.2024.10.2.10362>\*Corresponding author: Hamid Reza Nassery; E-mail: [h-nassery@sbu.ac.ir](mailto:h-nassery@sbu.ac.ir)

**How to cite this article:** Samghany, S., Nassery, H.R., Kayhomayoon, Z., Alijani, F., 2024. Effects of the April 2019 flood of the Karkheh and Dez rivers on groundwater quantity and quality of the Shush plain. *Kharazmi Journal of Earth Sciences* 10(2), 307- 328.

<http://doi.org/10.22034/KJES.2024.10.2.10362>



the present era (Fig. 1). The alluvial sediments in the Shush area are often composed of sand and gravel, which are mainly caused by the sedimentation of the Karkheh and Dez rivers. Towards the center of the plain, due to

the decrease in the carrying capacity of the floods and currents of these two rivers, as well as the slope of the area, the diameter of the grains decreases and the permeability of the alluvium decreases.

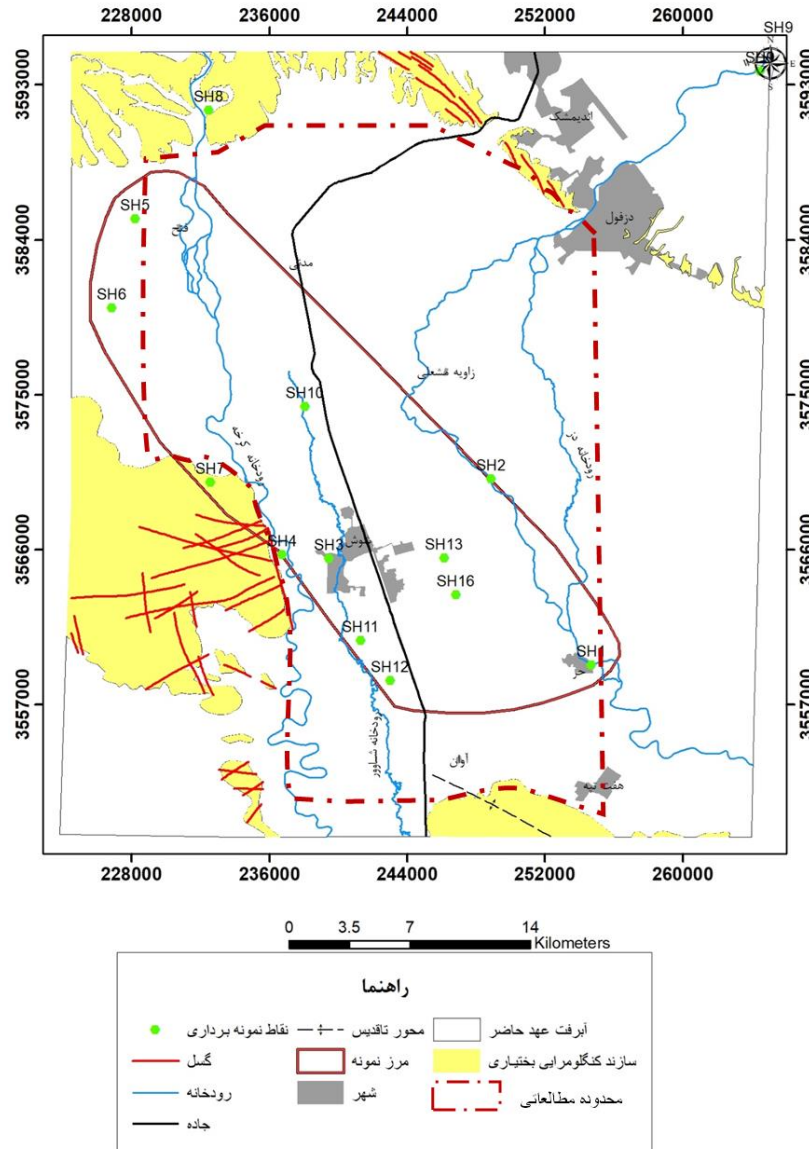


Fig. 1. Geological map of the studied area (Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, 1967) and the location of qualitative sampling points.

**Materials and Methods**

In order to investigate the effect of the 2019 flood on the quantity of groundwater in the Shush plain, the monthly water level measurement data of 29 observation wells dug in the aquifer of this plain between October

2017 and September 2019 were used. The representative hydrograph of the aquifer is drawn using the corrected water level data of each observed well in Excel software. Level and depth maps of water level in October 2018, June 2019 and October 2019, which represent before and after flood, were prepared using the kriging method and

automatically in ArcGIS software. Information from the hydrometric stations at the outlet of Dez Dam, Dezful, Harmaleh and Bamdej have also been used to investigate the movement of the flood after the Dez Dam to the place where the Dez River joins Karun.

The impact of the 2019 flood on groundwater quality in Shush plain has been done by sampling 10 deep wells in the study aquifer (Fig. 1). Four water samples were taken from Dez and Karkheh rivers. Sampling was carried out in two periods: May 2019 (the month after the flood in April 2019) and October 2019 as a dry period in order to provide the possibility of comparing the effects of floods on the quality of the aquifer in both periods. In order to match the quantitative and qualitative condition of the Dez and Karkheh rivers at the time of the April 2019 flood with the basic conditions and long-term average of these rivers, the statistics of the Telezang and Zal Bridge stations from October of 1984-1985 water year to March of 2018-2019 water year were used for 35 years.

Measurement of electrical conductivity parameters, total dissolved solids (at 18 degrees Celsius), total hardness, calcium, magnesium, sodium, potassium, bicarbonate, chloride, sulfate, and nitrate in groundwater and surface water samples has been done by Khuzestan Water and Electricity Organization. To identify samples with anomalies, determine chemical trends and check the quality of water sources for drinking and agriculture, qualitative data of water sources in the study area were analysed using composite charts, Piper, Schuler, Wilcox and sodium absorption ratio (SAR) and residual sodium carbonate (RSC) parameters.

In order to investigate how the rainfall pattern of the study area affects groundwater resources and also to determine the origin of groundwater, the ratio of  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  and D/H isotopes in groundwater samples of the Shush plain has been measured. The measurement of water stable isotopes has been carried out at the Arak stable isotopes research laboratory. The isotopic analysis has been done by drawing the isotopic line diagram of the Shush study area and the water-atmosphere line equation. Also, to determine the dominant process in the studied

area, the global atmospheric water isotopic line diagram and the study area of Shush in the flood period and the dry period have been compared.

## Results and Discussion

### Investigating the effect of floods on the quantity of water resources in the Shush study area

Based on the representative hydrograph of Shush aquifer in the period from October 2016 to September 2018, the general trend of changes in the reservoir level starts with the beginning of rising in early autumn, and during a decreasing trend until winter, it increases again in spring. Rains with high intensity and short duration in the fall and spring of 2018 and 2019 have caused a sudden increase in the water level in the Shush aquifer. The changes in rainfall in the two water years under study have caused the level of the reservoir to increase by about one meter at the end of 2018-2019 water year (September 2019) compared to the end of 2017-2018 water year (September 2018). The lowest water level of the reservoir can be seen in the level map of October 2018, which is approximately two meters higher than the lowest water level of the reservoir in October 2019 and June 2018 due to the positive effect of floods on the level of the reservoir. In the map of water level changes in June 2018 compared to October 2018, there is a drop in the water level and in some places, there is an increase in the water level by 1.06 meters, which is due to the movement of the flood feeding pulse in the direction of flow from the north to the south of the aquifer. Due to the effect of floods on the groundwater level, the maximum depth of the water table has decreased in October 2018. The changes in the minimum and maximum depths of the reservoir water level have ranged from about 15 meters in the dry months to about 14 meters in October 2018.

### Investigating the impact of floods on the quality of water resources in the Shush study area

The effect of floods and the increase of water level on the quality parameters can be seen with the decrease of the maximum values of EC,  $\text{SO}_4$ , Cl and  $\text{NO}_3$  in the equivalent value maps of October 2018 compared to May 2018. In other words, a slight increase in water has

caused the dilution of elements in the groundwater and a decrease in their concentration. The reason for the decrease in quality parameters in the southern parts and in the direction of the groundwater flow is the increase and accumulation of water in the downstream parts of the aquifer, which is proven by the decrease in the depth of the water table in these areas. The decrease in the density of agricultural land in these areas is another reason for the decrease in the values of quality parameters. Comparing the groundwater samples of the study area in the flood period and the dry period on the Piper diagram shows that the general distribution of the samples in this diagram is similar in the two periods. In the dry period and with the decrease of the flood, the density of the samples in the graph increases and their qualitative condition becomes more similar to each other, which is caused by the increase in the level of the water table and the different dilution of the groundwater in different parts of the Bar Plain. It is the basis of different penetration of floods into the aquifer. Examining the type and surface distribution of water samples in the studied area shows that more than half of the samples have bicarbonate water type and other water samples have sulfate water type. Chloride type was not observed in water samples.

The linear pattern of the combined graphs indicates the existence of the same feeding source in the groundwater of Shush aquifer. The existence of waters with high bicarbonate and low concentrations of other ions indicates the youth of the groundwater and the low retention time of the water in the aquifer. In general, in the combined graphs of the flood period, a relative increase in the concentration of substances soluble in water can be seen compared to the dry period. This increase in the main ions can be attributed to the strong nutritional pulses of the flood, which disturbs the chemical balance of the groundwater and brings the mixing of sedimented materials in the aquifer.

The results of the measurement of  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  and D/H isotopes in the water samples of the Shush study area show that during the flood period, all the samples follow the local line of precipitation, which indicates that the aquifer is fed by the flood. In this period, there is no

possibility of significant evaporation due to the higher volume of precipitation and the high flow of floods. In the dry period, probably due to evaporation, the samples are more scattered than the local precipitation line.

## Conclusions

The results of drawing the representative hydrograph of the Shush Plain aquifer show that the changes in rainfall have increased the level of the reservoir level at the end of the water year 2018-2019 (September 2019) compared to the end of the water year 2017-2018 (September 2018) by about one meter. The changes in the reservoir level in May 2019 compared to October 2019 have caused an increase in the water level in the southern part of the plain, which indicates the movement of the flood feeding pulse in the direction of the flow. Due to the effect of floods on the groundwater level, the maximum depth of the water table decreases in October 2019, and the changes of the minimum and maximum depth of the water table go from about 15 meters in the months of the dry period to about 14 meters in October.

Examining qualitative parameters and distribution maps of EC,  $\text{SO}_4$ , Cl and  $\text{NO}_3$  parameters for May 2019 and October 2019 in the Shush aquifer shows a similar situation. The reason for the decrease in quality parameters in the southern parts and in the direction of the groundwater flow is the increase and accumulation of water in the downstream parts of the aquifer, which is associated with the decrease in the depth of the water table in these areas. According to Piper's diagram, the Dez River and the eastern samples of the plain that are affected by the Dez River; they have a calcic bicarbonate type and facies, and the Karkhe River has a calcic sulfate type and facies. Around the Shaver River, which is the place where the drainage of the aquifer begins, contrary to the usual process of groundwater evolution, the type and facies of the water is non-carbonate calcic, which shows the new feeding from the flood. In the combined graphs of the flood period, a relative increase in the concentration of substances soluble in water can be seen compared to the dry period. This increase in the main ions can be attributed to the strong nutritional pulses of

the flood, which disturbs the chemical balance of the groundwater and brings the mixing of sedimented materials in the aquifer.

The almost positive relationship in the combination diagram of nitrate versus chloride ion indicates the existence of the impact of agricultural activities on the quality of groundwater in the Shush aquifer. In the Schuler diagram related to flood and dry periods, only one sample is in the inappropriate range in terms of TDS, and the other samples are suitable for drinking in both periods. According to the Wilcox diagram, only one sample is unsuitable for agriculture in both dry and flood periods. Based on the calculated RSC ratio, all samples are in good condition in both flood and dry periods. According to the conducted isotopic studies, due to the fact that the excess deuterium in the water samples of the Shush plain is less than 10 ppm, the evaporation process is dominant in the area. In the flood period, all the samples follow the local line of precipitation, which indicates that the aquifer is fed by the flood, and in the dry period, due to evaporation, the samples are more scattered than the local line of precipitation.

## References

- Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, 1967. Geological Map of Dezful, 1/100000. (in Persian).  
Water Research Institute, 2019. National flood report 2018-2019, 1 (in Persian).

### CRediT authorship contribution statement

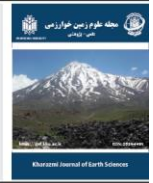
 Sara Samghany	Software, Validation, Investigation
 Hamid Reza Nassery	Conceptualization, Supervision, Methodology, Project administration, Writing - Review & Editing
 Zahra Kayhomayoon	Formal analysis, Writing - Original Draft
 Farshad Alijani	Formal analysis, Data Curation, Writing - Review & Editing



Research Article

OPEN ACCESS

Kharazmi Journal of Earth Sciences

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

## تأثیر سیلاب فروردین ۱۳۹۸ رودخانه‌های کرخه و دز بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت شوش

سارا سامغانی<sup>۱</sup>، حمیدرضا ناصری<sup>۲\*</sup>، زهرا کی‌همایون<sup>۳</sup>، فرشاد علیجانی<sup>۴</sup>

۱. دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران.

۲. دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران.

۳. گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۴. دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>تاریخچه مقاله</b> دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۴ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۹	سیلاب فروردین ۱۳۹۸ در استان خوزستان یکی از کم‌سابقه‌ترین سیلاب‌های رخ داده در این استان است که خسارات زیاد زیست محیطی و اقتصادی برجای گذاشته است. در پژوهش حاضر تأثیر این سیلاب بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی آبخوان شوش بررسی شده است. بدین منظور، از منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت شوش در دو دوره اردیبهشت و مهر ۱۳۹۸ (دوره‌های سیلابی و خشک) نمونه‌برداری هیدروشیمیایی انجام شده و غلظت یون‌های اصلی، نیتрат و ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن-۱۸ و دوتریوم سنجش گردیده است. تجزیه و تحلیل‌های کمی و کیفی با استفاده از هیدروگراف معرف آبخوان، نمودارهای ترکیبی، پایپر، شولر و ویلکوکس و بررسی‌های ایزوتوپی انجام شده است. نتایج هیدروگراف معرف آبخوان نشان داد که تغییرات بارش، باعث شده است تا تراز سطح ایستابی در انتهای سال آبی ۹۷-۹۸ (شهریور ۹۸) به نسبت انتهای سال آبی ۹۶-۹۷ (شهریور ۹۷) حدود یک متر افزایش یابد. علت کاهش غلظت پارامترهای کیفی در بخش‌های جنوبی دشت و در جهت جریان آب زیرزمینی، افزایش و تجمع سیلاب در بخش‌های پایین‌دست آبخوان است که با کاهش عمق سطح ایستابی در این نواحی همراه است. نمودارهای ترکیبی دوره سیلابی، افزایش نسبی مواد محلول در آب نسبت دوره خشک را نشان می‌دهند. این افزایش در یون‌های اصلی را می‌توان به پالس‌های قوی تغذیه ای سیلاب نسبت داد که باعث برهم‌زدن تعادل شیمیایی آب زیرزمینی شده و اختلاط با مواد رسوبی ناپایدار در آبخوان را به همراه داشته است. براساس نتایج ایزوتوپی، در دوره سیلابی تمام نمونه‌ها از خط محلی بارش پیروی می‌کنند که نشان‌دهنده تغذیه آبخوان از سیلاب است و در دوره خشک به دلیل تبخیر، نمونه‌ها با پراکندگی بیشتر نسبت به خط جهانی بارش قرار دارند.
<b>واژه‌های کلیدی</b> آبخوان شوش، سیلاب فروردین ۱۳۹۸، هیدروگراف معرف آبخوان، روش‌های گرافیکی، ایزوتوپ‌های پایدار.	



## مقدمه

تغییرات اقلیمی سیستم‌های آب زیرزمینی را به طور مستقیم از طریق تغذیه آبخوان و به طور غیرمستقیم از طریق تغییر در مصارف منابع آب زیرزمینی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Taylor et al., 2013). تأثیر سیلاب‌ها بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی، بیشتر از جنبه پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی، در کشورهای مختلف بررسی شده است (Comte et al., 2018; Kamalanandhini et al., 2019; May et al., 2009; Nayan et al., 2018; Ramachandran et al.,

اهمیت راهبردی منابع آب زیرزمینی در تامین امنیت آب و غذای جهانی، در دهه‌های اخیر بدلیل تغییرات اقلیمی (خشکسالی و سیل) افزایش یافته است. تغییرات آب و هوایی کره زمین سبب خشکسالی‌های طولانی‌تر و بدنبال آن افزایش فراوانی و بزرگی بارش‌ها و وقوع سیلاب به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک شده است.

DOI <http://doi.org/10.22034/KJES.2024.10.2.10362>\*نویسنده مسئول: حمیدرضا ناصری [h-nassery@sbu.ac.ir](mailto:h-nassery@sbu.ac.ir)

استناد به این مقاله: سامغانی، س.، ناصری، ح.، کی‌همایون، ز.، علیجانی، ف. (۱۴۰۳). تأثیر سیلاب فروردین ۱۳۹۸ رودخانه‌های کرخه و دز بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت شوش. *مجله علوم زمین خوارزمی*. جلد ۱۰، شماره ۲، صفحه ۳۰۷ تا ۳۲۸. <http://doi.org/10.22034/KJES.2024.10.2.10362>



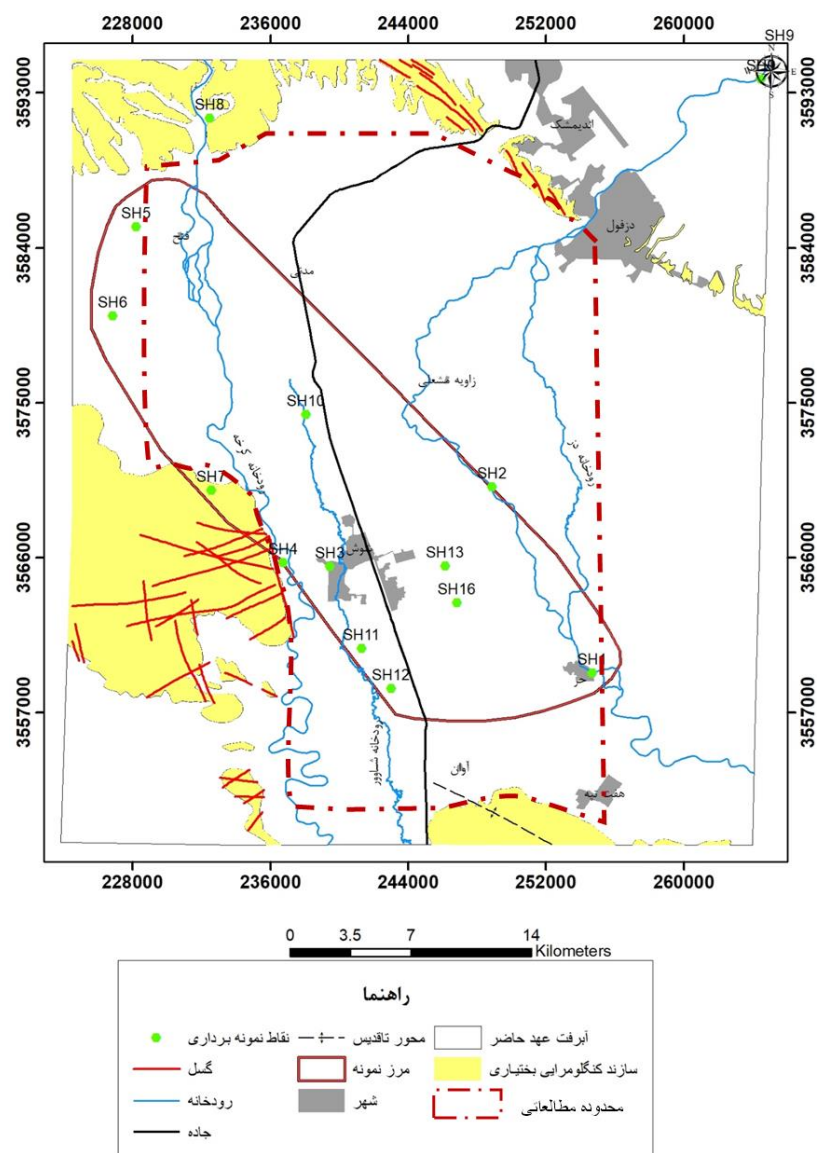
۱۳۹۸ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به ترتیب ۶۳۸ و ۳۲۱ کیلومتر مربع برآورد شده است (Water Research Institute, 2019).  
گستره مطالعاتی با مساحت ۸۳۹/۸۵ کیلومتر مربع در دشت شوش و شمال غرب استان خوزستان واقع شده است. سه رودخانه مهم دز، کرخه و شاوور، تقریباً به موازات یکدیگر، در این دشت جریان دارد (شکل ۱). از نظر زمین‌شناسی دشت شوش از سازند بختیاری و آبرفت‌های عهد حاضر تشکیل شده است (شکل ۱). رسوبات آبرفتی گستره شوش اغلب از شن و ماسه تشکیل شده است که بیشتر ناشی از رسوب‌گذاری رودخانه‌های کرخه و دز می‌باشند. به سمت مرکز دشت به علت کاهش قدرت حمل سیلاب‌ها و جریان‌های این دو رودخانه و نیز شیب منطقه از قطر دانه‌ها کاسته شده و میزان تراوایی آبرفت کاهش می‌یابد.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر سیلاب سال ۱۳۹۸ بر کمیت آب‌های زیرزمینی دشت شوش، از داده‌های اندازه‌گیری ماهیانه تراز سطح ایستابی ۲۹ چاه مشاهده‌ای حفار شده در آبخوان این دشت، در بازه زمانی مهرماه ۱۳۹۶ تا شهریورماه ۱۳۹۸ استفاده شده است. هیدروگراف معرف آبخوان با استفاده از داده‌های تصحیح شده تراز سطح ایستابی هر چاه مشاهده‌ای در نرم افزار Excel رسم شده است. نقشه‌های هم‌تراز و هم‌عمق سطح ایستابی در دوره‌های مهرماه ۹۷، خرداد ۹۸ و مهرماه ۹۸، که معرف قبل و بعد از سیلاب می‌باشند، با استفاده از روش کریجینگ و به صورت خودکار در محیط نرم‌افزارهای ArcGIS تهیه شده است. از اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری خروجی سد دز، دزفول، حرمله و بامدژ نیز برای بررسی حرکت سیل بعد از سد دز تا محل پیوستن رودخانه دز به کارون استفاده شده است.

2018; Wang et al., 2015; Nurmaladewi and Mustar, 2021; Peng et al., 2022; Geris et al., 2022). در برخی از این پژوهش‌ها، از سنجش‌های ایزوتوپی نیز استفاده شده است (Ahluwalia et al., 2016; Mustafa et al., 2015; Wallin et al., 2005). در ایران نیز پژوهش‌هایی در این زمینه در دشت‌های مختلف انجام شده است (Gorganli et al., 2021; Jahantigh, 2020; Karimi, 2013). در گستره دشت شوش، بررسی هیدروژئوشیمی و آلودگی آبخوان توسط ناصری (Nassery, 2004) و عوامل کنترل‌کننده کیفی آب رودخانه شاوور توسط قره محمودلو و صفارزاده (G.Mahmoodlu and Safarzadeh, 2008) انجام شده است، اما تاکنون پژوهشی در زمینه تأثیر سیلاب‌های منطقه بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی این دشت انجام نشده است.

بارش‌های شدید و طولانی‌مدت اواخر اسفندماه ۱۳۹۷ و فروردین ۱۳۹۸ موجب بروز سیلاب‌های مخربی در بخش‌های گسترده‌ای از ایران شد که خسارات مالی و جانی فراوانی برجای گذاشت. سه سامانه‌ی بارشی علت ایجاد این سیلاب‌ها در کشور بود. نخستین سامانه از ۲۶ اسفندماه تا دوم فروردین‌ماه در مناطق شمالی کشور سبب ایجاد سیل-گرفتگی شدیدی شد. دومین سامانه از چهار تا شش فروردین‌ماه به صورت گسترده جنوب غرب ایران، شامل استان‌های خوزستان و لرستان، را در بر گرفت. سومین سامانه که موج سنگین بارش‌ها را به همراه داشت در ۱۱ و ۱۲ فروردین‌ماه مجدد جنوب غرب ایران را تحت تأثیر قرار داد و سبب سیلاب‌های رودخانه‌ای در این استان‌ها شد. در ۱۴ فروردین ماه سال ۱۳۹۸ در بخش شاوور و مرکز شوش طغیان رودخانه‌های دز و کرخه سبب شکسته‌شدن سیل‌بندهای سه روستا شد. مساحت گستره سیلابی رودخانه‌های دز و کرخه در سیل فروردین



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه ( Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, 1967 ) و موقعیت نقاط نمونه‌برداری کیفی  
 Fig. 1. Geological map of the studied area ( Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, 1967 ) and the location of qualitative sampling points.

دو دوره فراهم شود. به منظور انطباق وضعیت کمی و کیفی رودخانه‌های دز و کرخه در زمان رخداد سیلاب فروردین ۹۸ با شرایط پایه و میانگین بلندمدت این رودخانه‌ها، از آمار ایستگاه‌های تله‌زنگ و پل زال از مهرماه سال آبی ۶۳-۶۴ تا اسفندماه سال آبی ۹۷-۹۸ به مدت ۳۵ سال استفاده شده است. سنجش پارامترهای هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول (در دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد)، سختی کل، کلسیم،

تأثیر سیلاب سال ۱۳۹۸ بر کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت شوش از طریق نمونه‌برداری از ۱۰ حلقه چاه عمیق در آبخوان مطالعاتی انجام شده است (شکل ۱). از رودخانه‌های دز و کرخه نیز چهار نمونه آب برداشت شده است. نمونه‌برداری‌ها در دو دوره اردیبهشت ۱۳۹۸ (ماه پس از سیلاب فروردین ۱۳۹۸) و مهرماه ۱۳۹۸ به عنوان دوره خشک انجام شده است تا امکان مقایسه اثرات سیلاب بر کیفیت آبخوان در هر

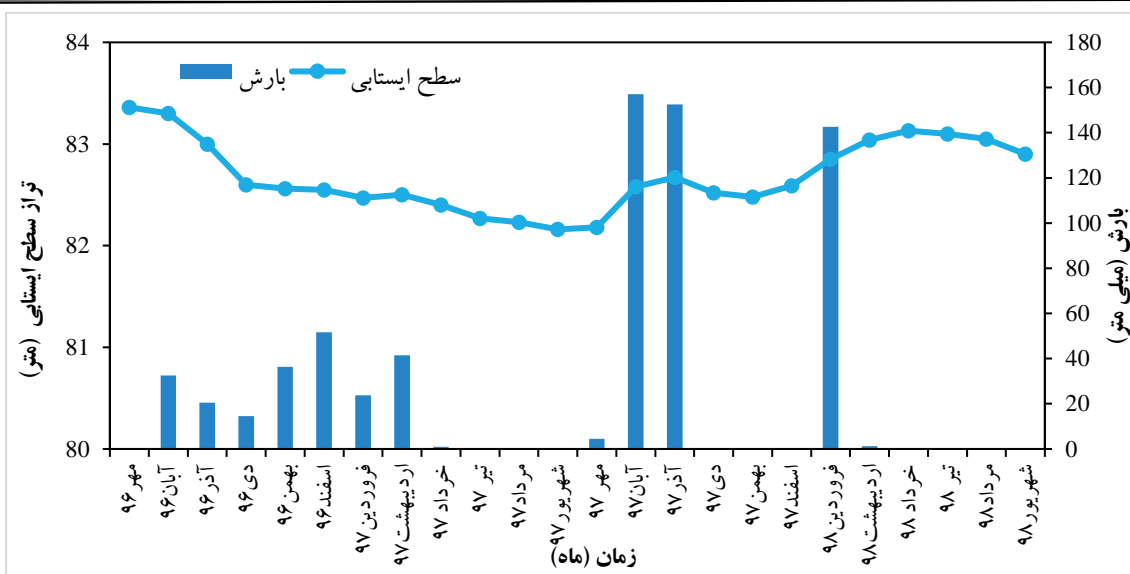


**بررسی تأثیر سیلاب بر کمیت منابع آب گستره مطالعاتی شوش**  
 براساس هیدروگراف معرف آبخوان شوش در بازه زمانی مهرماه ۱۳۹۶ تا شهریورماه ۱۳۹۸ (شکل ۲)، روند کلی تغییرات تراز سطح ایستابی با شروع بالا آمدگی در اوایل پاییز شروع می‌شود و طی یک روند کاهشی تا زمستان، مجدد در بهار افزایش پیدا می‌کند. با افزایش مقدار بارندگی، میزان تغذیه آبخوان افزایش می‌یابد و موجب بالا آمدن سطح آب زیرزمینی می‌شود. اثرات بارندگی در افزایش سطح آب زیرزمینی معمولاً مدتی پس از بارندگی مشاهده می‌شود. در نمودار بارش هیدروگراف معرف آبخوان شوش، مجموع بارش سالانه سال آبی ۹۷-۹۸ به بیش از دو برابر بارش سال آبی ۹۶-۹۷ رسیده است. این تغییرات در بارش سبب شده تا منحنی هیدروگراف در سال آبی ۹۶-۹۷ به صورت کاهشی و در سال آبی ۹۷-۹۸ به صورت افزایشی باشد. بارش‌هایی با شدت زیاد و مدت زمان کم در پاییز و بهار سال‌های ۹۷ و ۹۸ باعث افزایش ناگهانی تراز سطح ایستابی در آبخوان شوش شده است. تغییرات بارش در دو سال آبی مورد مطالعه، باعث شده است تا تراز سطح ایستابی در انتهای سال آبی ۹۷-۹۸ (شهریور ۹۸) به نسبت انتهای سال آبی ۹۶-۹۷ (شهریور ۹۷) حدود یک متر افزایش داشته باشد.

منیزیم، سدیم، پتاسیم، بی‌کربنات، کلراید، سولفات و نیترات در نمونه‌های آب زیرزمینی و آب سطحی توسط آزمایشگاه سازمان آب و برق خوزستان انجام شده است. برای شناسایی نمونه‌های دارای آنومالی، تعیین روندهای شیمیایی و بررسی کیفیت منابع آب برای مصرف شرب و کشاورزی، داده‌های کیفی منابع آب گستره مطالعاتی با استفاده از نمودارهای ترکیبی، پایپر، شولر، ویلکاکس و پارامترهای نسبت جذب سدیم (SAR) و باقیمانده کربنات سدیم (RSC) تجزیه و تحلیل شده است. به منظور بررسی چگونگی تأثیر الگوی بارش گستره مطالعاتی بر منابع آب زیرزمینی و نیز تعیین منشأ آب‌های زیرزمینی، نسبت ایزوتوپ‌های  $O^{16}/O^{18}$  و  $D/H$  در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت شوش اندازه‌گیری شده است. سنجش ایزوتوپ‌های پایدار آب در آزمایشگاه تحقیقاتی ایزوتوپ‌های پایدار اراک انجام شده است. تحلیل ایزوتوپی با رسم نمودار خط ایزوتوپی گستره مطالعاتی شوش و معادله خط آب جوی انجام شده است. همچنین برای تعیین فرآیند غالب در گستره مورد مطالعه، نمودار خط ایزوتوپی آب‌های جوی جهانی و گستره مطالعاتی شوش در دوره سیلابی و دوره خشک مقایسه شده است.

## بحث

به منظور تعیین اثر سیلاب سال ۱۳۹۸ بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی گستره مطالعاتی شوش، یافته‌ها و نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها در دو بخش کمی و کیفی بررسی شده است.



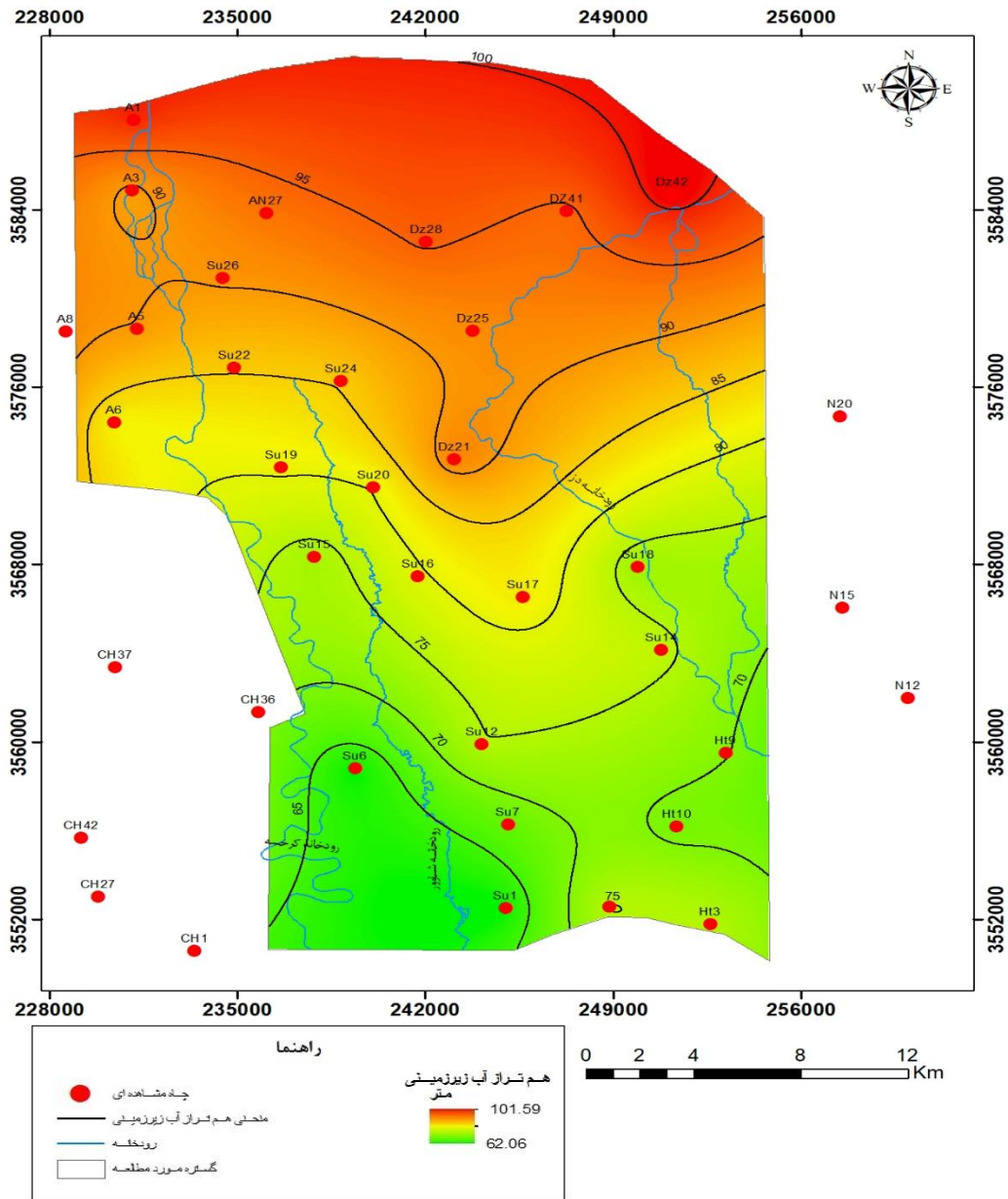
شکل ۲- هیدروگراف معرف آبخوان شوش در بازه مهرماه ۱۳۹۶ تا شهریورماه ۱۳۹۸

Fig. 2. Representative hydrograph of the Shush aquifer - October 2017 to September 2019

تراز سطح ایستابی خرداد ۹۸ به نسبت مهر ۹۸ از ۱/۱۸- تا ۱/۰۶ متر در تغییر است که به صورت مطلق، به ترتیب برابر با ۳/۹ و ۲/۲۴ متر است. نتایج نشان می‌دهد که با وقوع سیلاب در فروردین ۱۳۹۸ و افزایش بارندگی‌های پاییز ۹۷، در نقشه تغییرات سطح ایستابی مهر ماه ۹۷ نسبت به خرداد ماه ۹۸ در بیشتر نقاط سطح آب بالا آمده است که این افزایش ۳/۳ متری ناشی از سیلاب در بخش میانی دشت، بین دو رودخانه کرخه و دز است. در نقشه تغییرات تراز سطح ایستابی خرداد ماه ۹۸ نسبت به مهر ماه ۹۸ افت سطح ایستابی صورت گرفته است و در بعضی از نقاط ۱/۰۶ متر افزایش سطح ایستابی وجود دارد که علت آن حرکت پالس تغذیه سیلاب در جهت جریان از شمال به جنوب آبخوان بوده است.

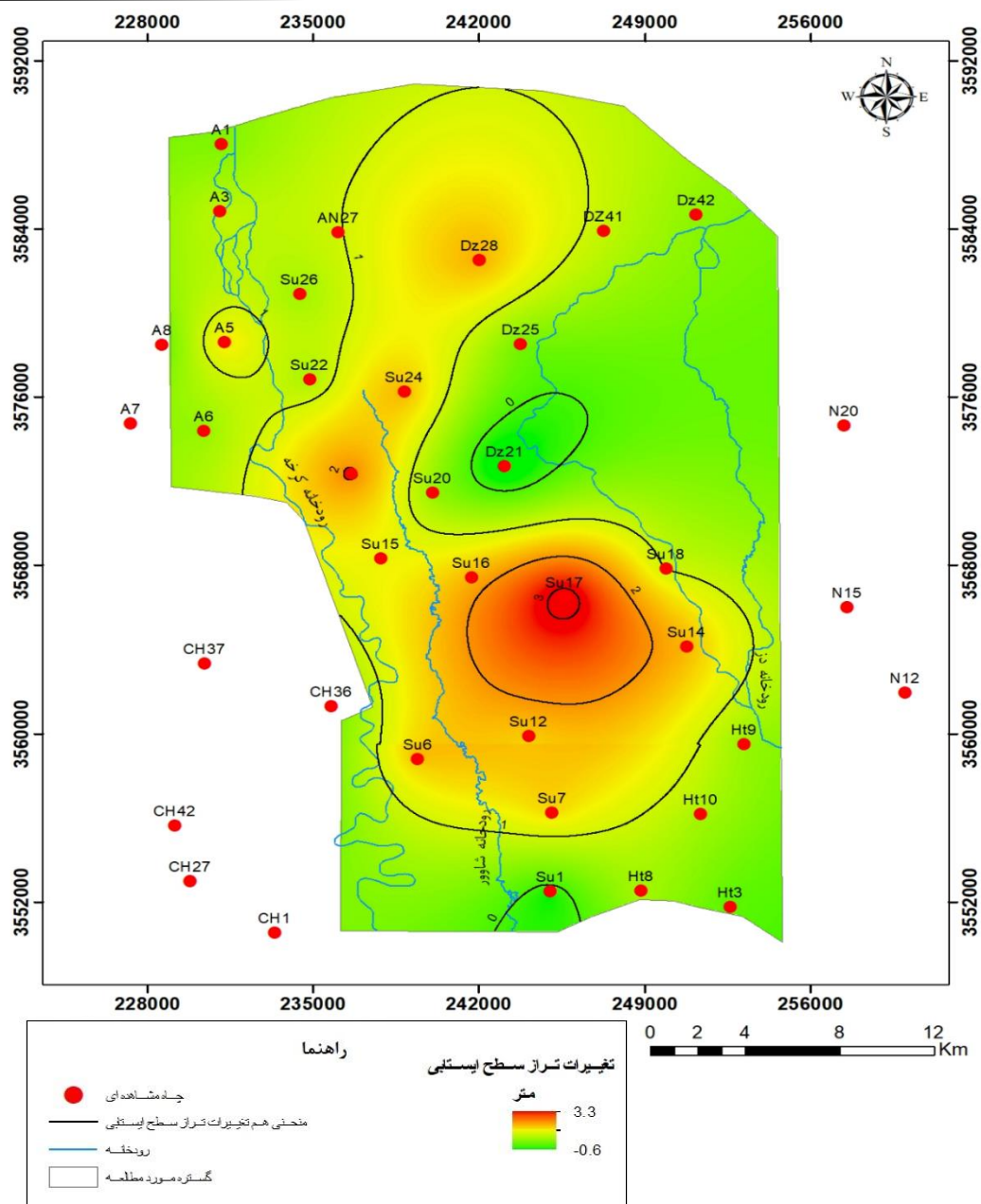
وضعیت کلی تراز سطح ایستابی در بازه مطالعاتی سال‌های ۹۷ و ۹۸ در نقشه‌های تهیه‌شده تقریباً یکسان است و تراز سطح ایستابی از شمال به جنوب گستره مورد مطالعه، منطبق با وضعیت توپوگرافی منطقه کاهش می‌یابد. با توجه به نقشه‌های هم‌تراز و وضعیت توپوگرافی منطقه، جهت جریان عمومی از شمال شرق به جنوب غرب می‌باشد. کمترین تراز سطح ایستابی در نقشه هم‌تراز مهرماه ۹۸ دیده می‌شود که به دلیل تأثیر مثبت سیلاب بر تراز سطح ایستابی، به میزان تقریبی دو متر از کمترین تراز سطح ایستابی مهرماه ۹۷ و خردادماه ۹۸ بیشتر است (شکل ۳).

براساس نقشه‌های هم‌تراز رسم‌شده، تغییرات تراز سطح ایستابی مهر ۹۷ به نسبت خرداد ۹۸ از ۰/۶- تا ۳/۳ متر (شکل ۴) و تغییرات



شکل ۳- نقشه هم‌تراز سطح ایستابی آبخوان شوش در مهر ماه ۹۸

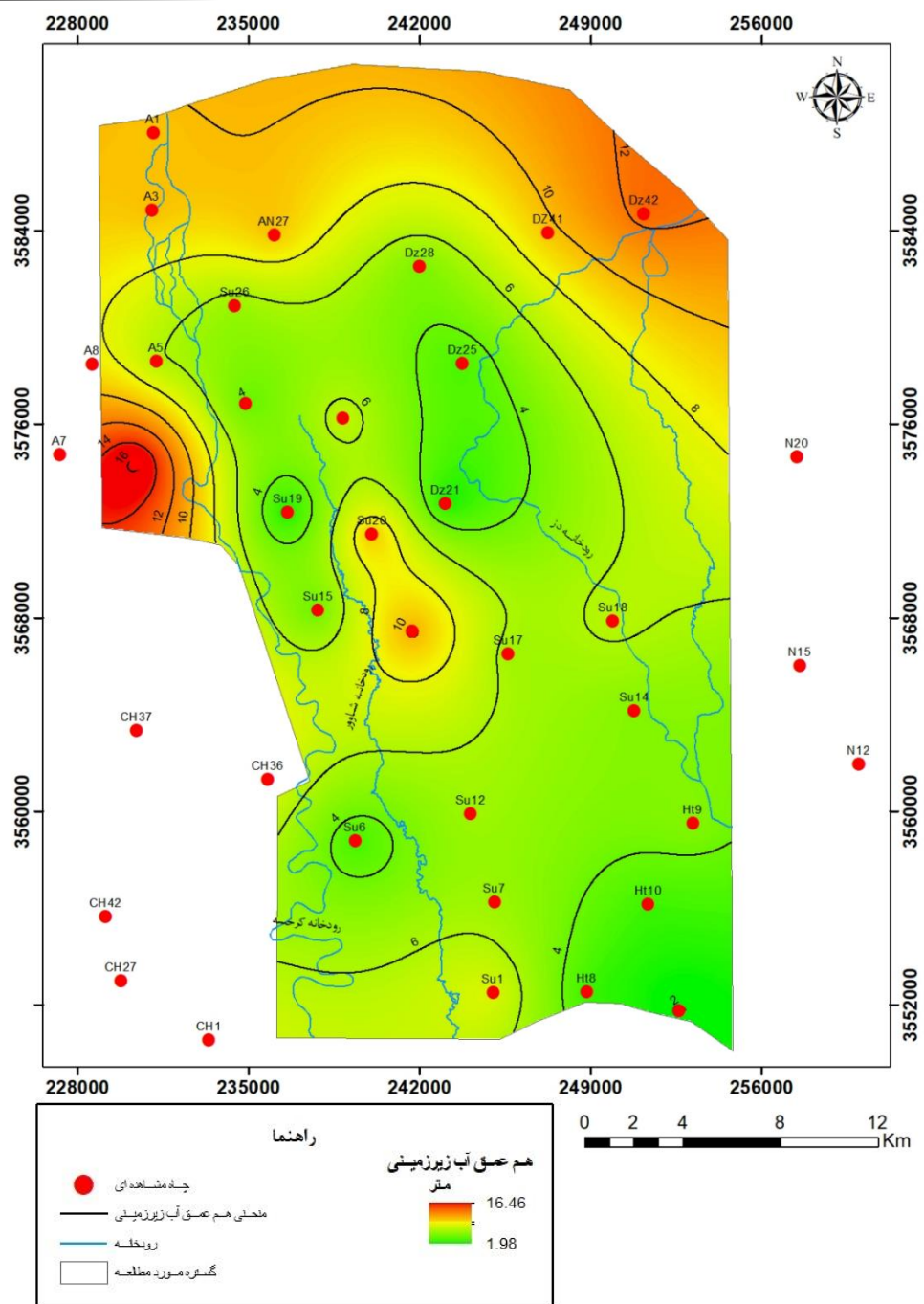
Fig. 3. Groundwater level map of the Shush aquifer in October 2019



شکل ۴- تغییرات تراز سطح ایستابی آبخوان شوش در مهر ۹۷ نسبت به خرداد ۹۸  
 Fig. 4. Groundwater level changes of the Shush aquifer, October 2018 compared to June 2019

۹۸ کاهش یافته است (شکل ۵). تغییرات کمترین و بیشترین عمق سطح ایستابی از حدود ۱۵ متر در ماه‌های معرف دوره خشک به حدود ۱۴ متر در مهرماه ۹۸ رسیده است.

بررسی نقشه‌های هم عمق سطح ایستابی آبخوان شوش برای مهرماه ۹۷، خردادماه ۹۸ و مهرماه ۹۸ نشان‌دهنده وضعیت مشابه پراکنش کلی عمق سطح ایستابی در این ماه‌ها است. به دلیل تأثیر سیلاب‌ها بر تراز آب زیرزمینی، حداکثر عمق سطح ایستابی در مهرماه



شکل ۵- نقشه هم‌عمق سطح ایستابی آبخوان شوش در مهرماه ۹۸

Fig. 5. Iso-Depth map of groundwater level in the Shush aquifer in October 2019

و ۲ آمده است. تأثیر سیلاب و افزایش تراز سطح ایستابی بر پارامترهای کیفی با کاهش مقادیر بیشینه EC،  $SO_4$ ، Cl و  $NO_3$  در نقشه‌های هم‌ارزش مهرماه ۹۸ به نسبت اردیبهشت ۹۸ دیده می‌شود (شکل ۶).

بررسی تأثیر سیلاب بر کیفیت منابع آب گستره مطالعاتی شوش نتایج سنجش‌های انجام‌شده بر روی نمونه‌های آب سطحی و زیرزمینی دشت شوش در دوره‌های سیلابی و خشک در جدول‌های ۱

پارامترهای کیفی شده است که در نقشه هم‌ارزش نیترات به عنوان شاخص تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر آب زیرزمینی تایید می‌شود (شکل ۷). علت کاهش میزان پارامترهای کیفی در بخش‌های جنوبی و در جهت جریان آب زیرزمینی، افزایش و تجمع آب در بخش‌های پایین‌دست آبخوان است که با کاهش عمق سطح ایستابی در این نواحی ثابت می‌شود. کاهش تراکم زمین‌های کشاورزی در این نواحی نیز دلیل دیگری بر کاهش مقادیر پارامترهای کیفی است.

به عبارت دیگر افزایش کمی آب باعث رقیق‌شدگی عناصر در آب زیرزمینی و کاهش غلظت آن‌ها شده است. عناصر موجود در آب زیرزمینی معمولاً با افت تراز سطح ایستابی و یا در جهت جریان از منطقه تغذیه به سمت تخلیه دشت افزایش می‌یابند. این در حالی است که مقادیر پارامترهای مذکور برخلاف جهت جریان از شمال‌غربی آبخوان شوش به سمت جنوب گستره مطالعاتی کاهش یافته است. تراکم زمین‌های کشاورزی در گستره شمال‌غربی آبخوان شوش و حجم زیاد آب برگشتی کشاورزی در این بخش باعث افزایش مقادیر

جدول ۱- نتایج سنجش شیمیایی نمونه‌های آب در دوره سیلابی، غلظت یون‌ها برحسب meq/l (اردیبهشت ۹۸)

Table 1. The results of chemical analysis of water samples during the flood period, ion concentration in meq/l (May 2019)

Location	ID	UTM		NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	Na	K	Mg	Ca	TDS (mg/l)	pH	EC (μs/cm)
		X	Y											
Hor well	SH1	254707	3559298	0.13	1.64	1.41	3.06	1.86	0.01	1.57	2.72	402	7.9	659
Dez River-Hamid Abad	SH2	248872	3570118	0.12	1.18	0.67	2.87	0.83	0.01	1.01	2.86	301	7.9	494
Shush Artesian well	SH3	239461	3565473	0.13	2.42	1	2.6	2.22	0.01	1.21	2.67	415	8	649
Karkheh river-Najian	SH4	236744	3565722	0.16	6.53	2.46	2.64	2.74	0.02	1.85	7.42	799	7.8	1211
Avan Agriculture	SH5	228199	3585225	0.66	18.44	2.91	2.19	4.42	0.01	8.1	11.9	1516	7.6	2230
Avan Plain	SH6	226851	3580031	0.35	24.28	6.82	2.5	13.18	0.02	10.28	11.59	2182	7.7	3210
Avan Agriculture	SH7	232572	3569930	0.26	6.49	3.12	2.73	4.72	0.01	3.22	4.8	863	8	1308
Karkheh Downstream	SH8	232457	3591516	0.16	6.36	2.49	2.55	2.72	0.02	1.82	7.12	776	8.1	1176
Dez River-Mokhtar	SH9	264485	3593805	0.1	1	0.62	2.78	0.76	0.01	0.92	2.66	287	8.1	456
Radadeh Spring	SH10	238066	3574326	0.14	1.39	1.6	1.71	1.34	0.01	1.07	2.26	328	7.8	513

جدول ۲- نتایج سنجش شیمیایی نمونه‌های آب دشت شوش در دوره خشک، غلظت یون‌ها بر حسب meq/l (مهر ۹۸)

Table 2. The results of chemical analysis of water samples of the Shush plain in the dry period, the concentration of ions in meq/l (October 2019)

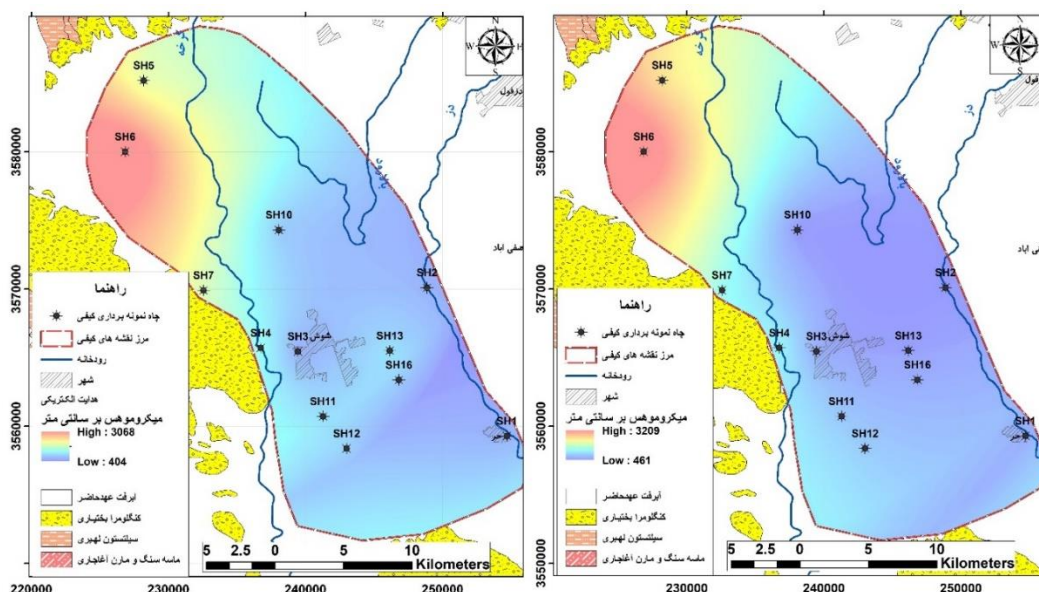
Location	ID	UTM		NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	Na	K	Mg	Ca	TDS (mg/l)	pH	EC (μs/cm)
		X	Y											
Hor well	SH1	254707	3559298	0.12	1.51	1.31	3.77	1.73	0.01	1.47	2.59	380	7.9	619
Dez River-Hamid Abad	SH2	248872	3570118	0.15	1.47	1.32	3.09	1.49	0.01	1.29	3.04	388	7.8	625
Shush Artesian well	SH3	239461	3565473	0.12	2.23	0.89	3.12	2.04	0.01	1.11	2.42	384	8	605
Karkheh river-Najian	SH4	236744	3565722	0.15	5.5	2.99	2.59	3.46	0.05	1.98	6.01	797	7.7	1205
Avan Agriculture	SH5	228199	3585225	0.52	12.76	2.24	2.81	3.74	0.01	5.08	8.98	1185	8	1717
Avan Plain	SH6	226851	3580031	0.31	21.86	6.24	1.95	12.02	0.06	9.62	10.86	2149	7.6	3070
Avan Agriculture	SH7	232572	3569930	0.33	8.99	3.59	2.51	5.5	0.01	4.28	6.317	1084	7.7	1613
Karkheh Downstream	SH8	232457	3591516	0.15	5	2.81	2.85	3.11	0.01	1.88	5.74	743	7.8	1125
Dez River-Mokhtar	SH9	264485	3593805	0.05	1.21	1.22	2.71	1.3	0.01	0.95	2.98	344	7.8	554
Radadeh Spring	SH10	238066	3574326	0.19	2.02	2.52	2.97	2.06	0.01	1.7	3.58	517	7.6	802
Hamzeh Village	SH11	241296	3560735	0.13	3.99	1.77	2.93	3.05	0.01	2.16	3.85	617	7.8	925
Sheikh Eisa	SH12	243005	3558391	0.19	2.6	1.8	3.56	3.29	0.01	2.05	3.02	563	7.8	860
Seiyed Razi	SH13	246156	3565523	0.36	2.45	2.21	4.12	2.81	0.01	2.59	3.28	619	8.1	954
Morad Hadi	SH16	246818	3563394	0.12	1.61	1.6	5.02	2.16	0.01	2.42	3.16	524	7.7	810

است. توزیع یون‌های اصلی در نمونه‌های آب در بیشتر نمونه‌ها طی دوره خشک و سیلابی مشابه است و تنها در نمونه‌های SH2 و SH9 در دوره خشک، مقادیر یون سدیم به نسبت یون منیزیم افزایش یافته است. رودخانه دز دارای تیپ و رخساره بی‌کربناته کلسیک است و رودخانه کرخه تیپ و رخساره سولفاته کلسیک دارد. نمونه‌های شرقی دشت که متأثر از رودخانه دز می‌باشند، تیپ و رخساره بی‌کربنات کلسیک دارند. در اطراف رودخانه شاوور که آبخوان زهکشی می‌شود، برخلاف روند معمول در تکامل آب زیرزمینی و انتظار رخساره سولفات کلسیک؛ تیپ و رخساره بی‌کربنات کلسیک است که تغذیه جدید سیلاب را نشان می‌دهد. در بعضی از مناطق غربی دشت که ممکن است متأثر از رودخانه کرخه باشند، نوع آب سولفاته شده است. در محدوده

مقایسه نمونه‌های آب زیرزمینی گستره مطالعاتی در دوره سیلابی و دوره خشک بر روی نمودار پایپر (شکل ۸) نشان می‌دهد که وضعیت کلی پراکنش نمونه‌ها در این نمودار در دو دوره مشابه است. در دوره خشک و با نزول سیلاب، تراکم نمونه‌ها در نمودار بیشتر شده و وضعیت کیفی آن‌ها تشابه بیشتری به یکدیگر پیدا می‌کنند که ناشی از افزایش تراز سطح ایستابی و رقیق‌شدگی متفاوت آب زیرزمینی در نقاط مختلف دشت بر اساس نفوذ متفاوت سیلاب به آبخوان است.

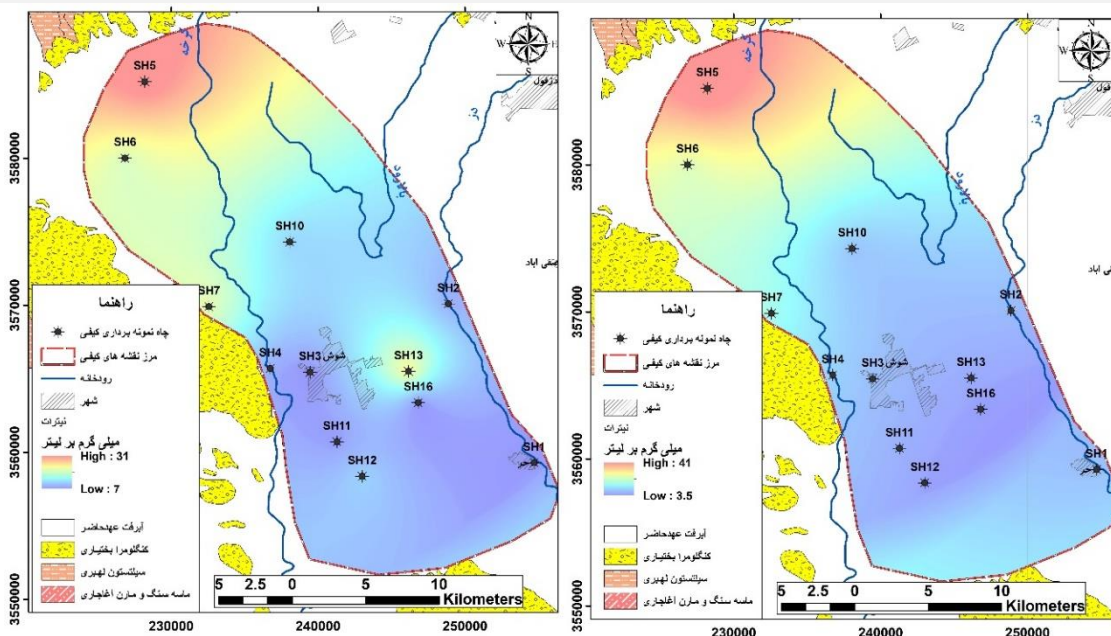
بررسی توزیع تیپ و رخساره نمونه‌های آب در گستره مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیش از نیمی از نمونه‌ها دارای تیپ آب بی‌کربناته و سایر نمونه‌های آب دارای تیپ آب سولفاته می‌باشند. تیپ کلروره در نمونه‌های آب مشاهده نشده است. اینگونه توزیع تیپ آب در نمونه‌های آب مورد بررسی مطابق با وضعیت پراکنش نمونه‌ها در نمودار پایپر

چاه‌های آرتزین دشت، در نزدیکی روستای حمزه و شهر شوش به ترتیب نوع آب سولفات کلسیک و بی‌کربناته کلسیک است.



شکل ۶- نقشه‌های هم‌هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی دشت شوش در اردیبهشت ۹۸ (راست) و مهرماه ۹۸ (چپ)

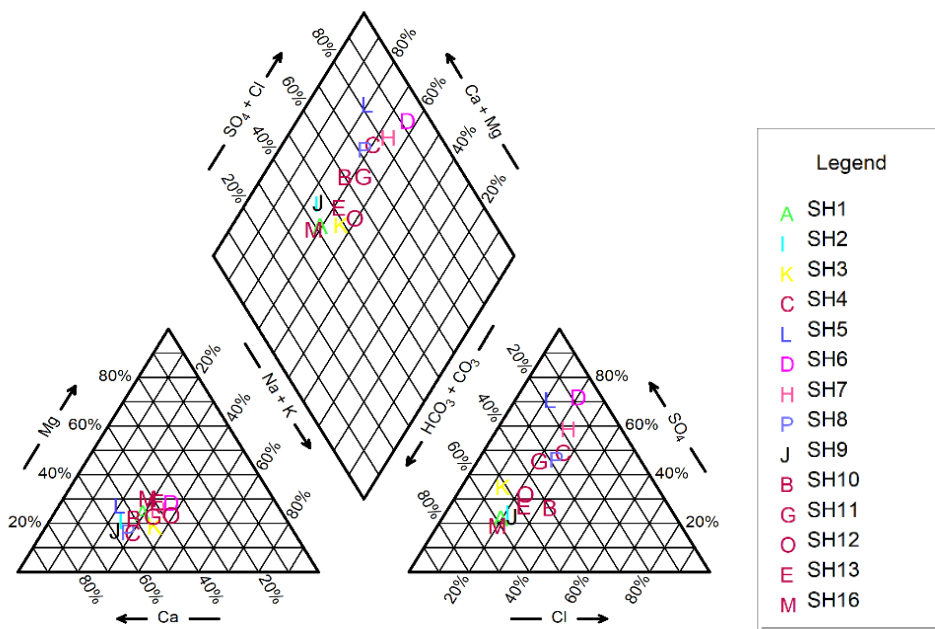
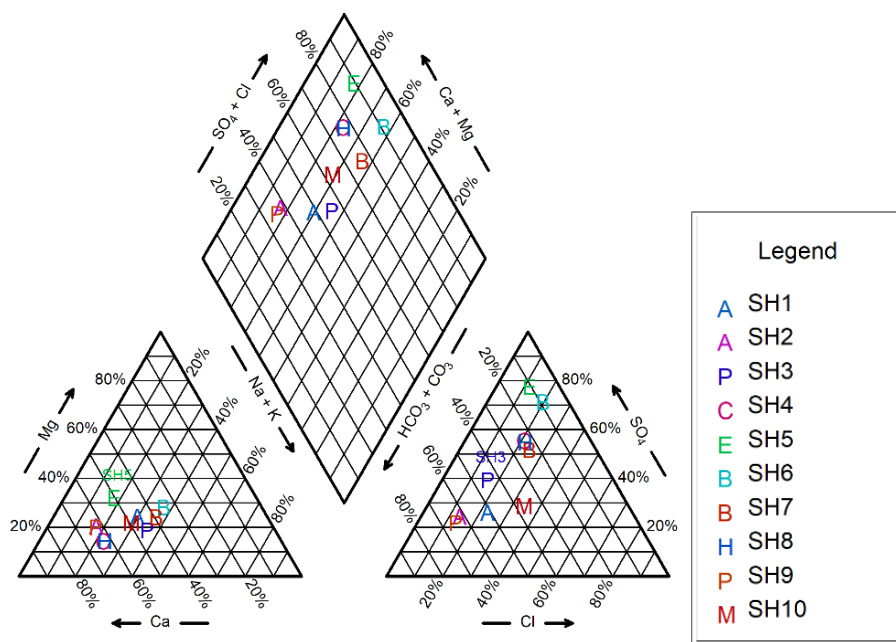
Fig. 6. EC map of the Shush groundwater in May 2019 (Right) and October 2019 (Left)



شکل ۷- نقشه‌های هم‌نیترات آب‌های زیرزمینی دشت شوش در اردیبهشت ۹۸ (راست) و مهرماه ۹۸ (چپ)

Fig. 7. Nitrate map of the Shush groundwater in May 2019 (Right) and October 2019 (Left)





شکل ۸- نمودار پایپر نمونه‌های آب‌برزمینی آبخوان شوش در دوره‌های سیلابی (بالا) و خشک (پایین)  
 Fig. 8. Piper diagram of the Shush groundwater in flood (above) and dry (below) period

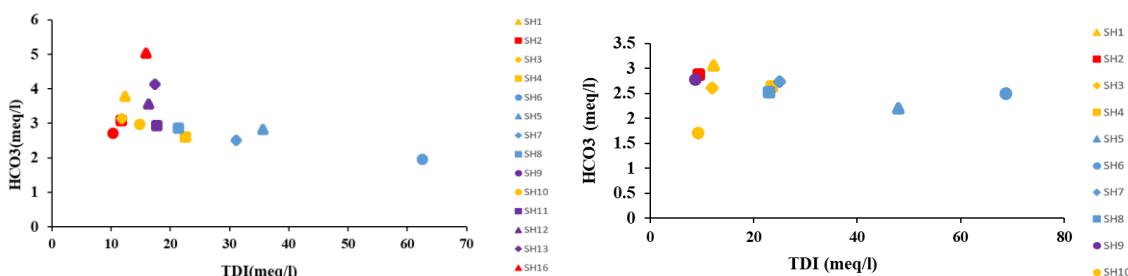
بی‌کربناته کلسیک با توسعه انتقالی و سولفات‌ه کلسیک با توسعه انتقالی است. بررسی داده‌های بلندمدت نشان می‌دهد که رخداد سیل‌های پاییز

براساس این داده‌های کیفی ۳۵ ساله ایستگاه‌های پل زال و تله زنگ، تیپ و رخساره غالب در ایستگاه‌های تله زنگ و پل زال به ترتیب

تطابق ضعیف و گاهی منفی بی‌کربنات با TDI می‌تواند موید این واقعیت باشد که انحلال فازهای مذکور، تنها عامل افزایش یون‌های اصلی نیست. نمودارهای ترکیبی یون‌های اصلی در مقابل TDI، سکانس تکاملی آبخوان شوش را در حد بی‌کربنات و تا حدی سولفات نشان می‌دهد. تیپ آب کلروره در نمونه‌ها دیده نمی‌شود. به طور کلی در نمودارهای ترکیبی دوره سیلابی افزایش نسبی غلظت مواد محلول در آب به نسبت دوره خشک دیده می‌شود. این افزایش در یون‌های اصلی را می‌توان به پالس‌های قوی تغذیه‌ای سیلاب نسبت داد که باعث برهم‌زدن تعادل شیمیایی آب زیرزمینی شده و اختلاط مواد رسوب‌یافته در آبخوان را به همراه دارد.

و بهار ۹۷ و ۹۸ نتوانسته است به مقدار زیادی کیفیت آب رودخانه‌های دز و کرخه را نسبت به کیفیت پایه آن تغییر دهد.

برای بررسی تأثیر سیلاب بر فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر آبخوان شوش از نمودارهای دو متغیره کل یون‌های محلول (TDI) در مقابل سایر یون‌های عمده در دوره‌های سیلابی و خشک استفاده شده است. الگوی خطی نمودارهای ترکیبی نشانگر وجود یک منبع تغذیه‌کننده یکسان در آب زیرزمینی آبخوان شوش است. وجود آب‌های با بی‌کربنات زیاد و غلظت‌های اندکی از سایر یون‌ها، دلالت بر جوان بودن آب زیرزمینی و زمان ماندگاری پایین آب در آبخوان دارد (شکل ۹). افزایش نسبی تمامی یون‌ها در مقابل TDI و تطابق مثبت آن‌ها نشان از انحلال واحدهای کلسیتی، دولومیتی و ژئپسی است. هرچند

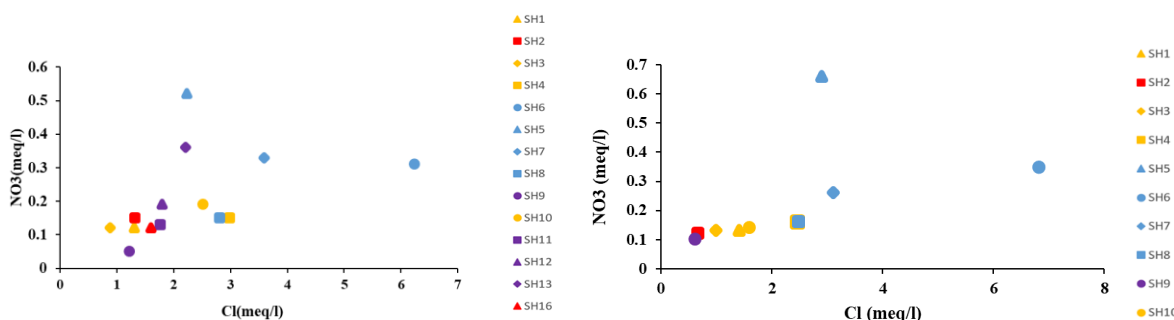


شکل ۹- نمودارهای ترکیبی غلظت یون بی‌کربنات در مقابل TDI در دوره سیلابی (راست) و دوره خشک (چپ)

Fig. 9. The scatter graphs of bicarbonate ion concentration vs. TDI in flood (right) and dry (left) periods

نمونه‌های SH6 و SH5 که در مناطقی با فعالیت غالب کشاورزی در شمال غرب گستره مورد مطالعه واقع شده‌اند، این واقعیت را تایید می‌کند.

رابطه تقریباً مثبت موجود در نمودار ترکیبی نیترات در مقابل یون کلراید (شکل ۱۰) نشان‌دهنده وجود تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان شوش است. غلظت بالای نیترات در



شکل ۱۰- نمودار ترکیبی نیترات بر حسب کلراید برای دوره سیلابی (راست) و دوره خشک (چپ)

Fig. 10. The scatter graphs of nitrate ion concentration vs. Cl in flood (right) and dry (left) periods

است. تفاوت مشخصی در طبقه‌بندی نمونه‌های آب در دوره سیلابی و خشک در آبخوان وجود ندارد و به طور کلی، کیفیت آب زیرزمینی به نسبت آب سطحی از نظر کشاورزی پایین‌تر است که به دلیل عملکرد واکنش‌های آب-سنگ در محیط آبخوان می‌باشد. نتایج حاصل از سنجش ایزوتوپ‌های  $O^{16}/O^{18}$  و D/H در نمونه‌های آب گستره مطالعاتی شوش در جدول‌های ۳ و ۴ آمده است. براساس نتایج حاصل، در دوره سیلابی، تمام نمونه‌ها در امتداد خط آب جوی قرار گرفته‌اند و از یک روند خطی پیروی می‌کنند (شکل ۱۱)، به طوری که نمونه SH1 و SH9 در ابتدای این خط و نمونه SH5 نیز در انتهای آن واقع شده است. نتایج نشان می‌دهد که غنی‌شدگی ایزوتوپی رودخانه دز نسبت به رودخانه کرخه کمتر است. در نمونه‌های آب زیرزمینی، نمونه‌های غرب رودخانه کرخه (SH6, SH5 و SH7) بیشترین غنی‌شدگی را دارند. در مهرماه ۹۸ تمامی نمونه‌ها در بالای خط آب جوی قرار گرفته‌اند (شکل ۱۱). در دوره سیلابی تمام نمونه‌ها از خط محلی بارش پیروی می‌کنند که نشان‌دهنده تغذیه آبخوان از سیلاب است. در این دوره به دلیل حجم بارش بیشتر و دبی زیاد سیلاب، امکان تبخیر قابل ملاحظه‌ای وجود ندارد. در دوره خشک احتمالاً به دلیل تبخیر، نمونه‌ها با پراکندگی بیشتری نسبت به خط بارش محلی قرار گرفته‌اند.

بر اساس نمودار شولر مربوط به دوره‌های سیلابی و خشک، تنها نمونه SH6 از لحاظ میزان TDS در محدوده نامناسب قرار دارد و سایر نمونه‌ها در هر دو دوره، برای آشامیدن مناسب می‌باشند. بر اساس نتایجی که در دوره آماری ۳۵ ساله در ایستگاه هیدرومتری تله‌زنگ برای رودخانه دز وجود دارد، کیفیت آب برای مصرف شرب در طول دوره آماری خوب ارزیابی شده است. تفاوت مشخصی در طبقه‌بندی نمونه‌های آب در دوره سیلابی و خشک وجود ندارد و به طور کلی، کیفیت آب زیرزمینی به نسبت آب سطحی پایین‌تر است که به دلیل عملکرد واکنش‌های آب-سنگ در محیط آبخوان است. به طور کلی، تغییر مشخصی در طبقه‌بندی نمونه‌ها در دوره سیلابی به نسبت دوره خشک در هیچ یک از پارامترهای کیفی از قبیل سختی، EC, TDS و pH مشاهده نمی‌شود. در نمودار ویلکاکس رسم شده برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت شوش، در هر دو دوره خشک و سیلابی، تنها نمونه SH6 در محدوده S2-C4 قرار گرفته و برای کشاورزی غیرقابل استفاده است. براساس نمودار ویلکاکس برای داده‌های کیفی ۳۵ ساله رودخانه کرخه، نمونه‌های آب ایستگاه هیدرومتری پل زال دارای کیفیت شور و قابل استفاده برای کشاورزی ارزیابی شده است و براساس درصد سدیم خوب می‌باشد. محاسبه نسبت‌های RSC که تأثیر یون‌های کلسیم و منیزیم نمونه‌های آب را مورد بررسی قرار می‌دهد، نشان‌دهنده وضعیت مناسب تمامی نمونه‌ها در هر دو دوره سیلابی و خشک

جدول ۳- نتایج سنجش ایزوتوپی نمونه‌های آب دشت شوش در دوره خشک (مهر ۹۸)

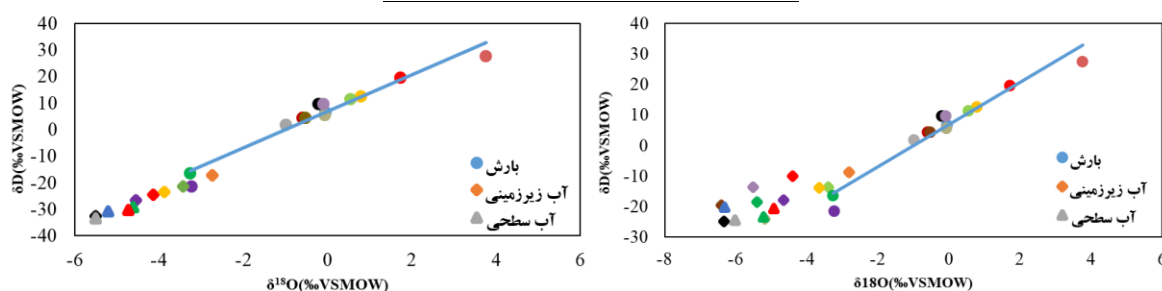
Table 3. The results of isotopic analysis of the Shush plain water samples in the dry period (October 2019)

Sample ID	$O^{16}/O^{18}$	D/H
SH1	-6.32	-25.02
SH2	-6.31	-20.31
SH3	-4.39	-10.25
SH4	-5.21	-23.5
SH5	-2.81	-8.7
SH6	-3.39	-13.69
SH7	-3.64	-13.96
SH8	-4.91	-20.85
SH9	-6.03	-24.42
SH10	-4.65	-18.05
SH11	-5.5	-13.79
SH12	-5.4	-18.77
SH13	-6.14	-19.82
SH16	-5.18	-24.13

جدول ۴- نتایج سنجش ایزوتوپی نمونه‌های آب دشت شوش در دوره سیلابی (اردیبهشت ۹۸)

Table 4. The results of isotopic analysis of the Shush plain water samples in flood period (May 2019)

Sample ID	O <sup>16</sup> /O <sup>18</sup>	D/H
SH1	-5.5	-32.85
SH2	-5.21	-31.01
SH3	-4.13	-24.61
SH4	-4.61	-29.46
SH5	-2.73	-17.23
SH6	-3.42	-21.52
SH7	-3.86	-23.68
SH8	-4.73	-30.38
SH9	-5.51	-33.48
SH10	-4.55	-26.63



شکل ۱۱- مقایسه خط ایزوتوپی آب و نمونه‌های آبخوان شوش در دوره سیلابی (راست) و دوره خشک (چپ)

Fig. 11. Comparison of the water isotopic line and samples of the Shush aquifer in flood (right) and dry (left) periods

کیفی در بخش‌های جنوبی و در جهت جریان آب زیرزمینی، افزایش و تجمع آب در بخش‌های پایین‌دست آبخوان می‌باشد که با کاهش عمق سطح ایستابی در این نواحی همراه است. بر اساس نمودار پایپر، رودخانه دز و نمونه‌های شرقی دشت که متأثر از رودخانه دز هستند؛ دارای تیپ و رخساره بی‌کربناته کلسیک می‌باشند و رودخانه کرخه تیپ و رخساره سولفات کلسیک دارند. در اطراف رودخانه شاوور که محل شروع زهکشی آبخوان است، برخلاف روند معمول تکامل آب زیرزمینی، تیپ و رخساره آب بی‌کربنات کلسیک است که تغذیه جدید از سیلاب را نشان می‌دهد. در نمودارهای ترکیبی دوره سیلابی، افزایش نسبی غلظت مواد محلول در آب به نسبت دوره خشک دیده می‌شود. این افزایش در یون‌های اصلی را می‌توان به پالس‌های قوی تغذیه‌ای سیلاب نسبت داد که باعث برهم‌زدن تعادل شیمیایی آب زیرزمینی شده و اختلاط مواد رسوب‌یافته در آبخوان را به همراه دارد.

## نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از رسم هیدروگراف معرف آبخوان دشت شوش نشان می‌دهد که تغییرات بارش، تراز سطح ایستابی را در انتهای سال آبی ۹۷-۹۸ (شهریور ۹۸) به نسبت انتهای سال آبی ۹۶-۹۷ (شهریور ۹۷) حدود یک متر افزایش داده است. تغییرات تراز سطح ایستابی اردیبهشت ۹۸ نسبت به مهر ۹۸ سبب افزایش سطح آب در بخش جنوبی دشت شده که حاکی از حرکت پالس تغذیه سیلاب در جهت جریان است. به دلیل تأثیر سیلاب‌ها بر تراز آب زیرزمینی، در مهر ۹۸ حداکثر عمق سطح ایستابی کاهش می‌یابد و تغییرات کمترین و بیشترین عمق سطح ایستابی از حدود ۱۵ متر در ماه‌های معرف دوره خشک به حدود ۱۴ متر در مهرماه ۹۸ می‌رسد.

بررسی پارامترهای کیفی و پراکنش نقشه‌های هم‌ارزش پارامترهای EC, SO<sub>4</sub>, Cl و NO<sub>3</sub> برای اردیبهشت‌ماه ۹۸ و مهرماه ۹۸ در آبخوان شوش وضعیت مشابهی را نشان می‌دهد. علت کاهش میزان پارامترهای

دوتریم مازاد در نمونه‌های آب دشت شوش کمتر از ۱۰ پرمیل می‌باشد، فرآیند تبخیر در گستره غالب است. در دوره سیلابی تمام نمونه‌ها از خط محلی بارش پیروی می‌کنند که نشان‌دهنده تغذیه آبخوان از سیلاب است و در دوره خشک به دلیل تبخیر، نمونه‌ها با پراکندگی بیشتر نسبت به خط محلی بارش قرار دارند.

به طور کلی، سیلاب فروردین سال ۱۳۹۸ رودخانه‌های کرخه و دز سبب تغذیه آبخوان دشت شوش، بالا آمدن تراز سطح ایستابی به میزان یک متر و کاهش غلظت پارامترهای EC، SO<sub>4</sub>، Cl و NO<sub>3</sub> در جهت جریان آب‌زیرزمینی شده است.

## References

- Ahluwalia, R., Rai, S., Gupta, A., Tiwari, R., Kesharwani, K., 2016. Towards the understanding of the flash flood through isotope approach in Kedarnath valley in June 2013, Central Himalaya India. *Natural Hazards* 82 (1), 321-332.
- Comte, J.C.H., Geris, J., Franchi, F., Petros, A., Selepeng, A., Kurugundla, Ch., Dikgola, K., Villholth, K., Ebrahim, G., Lautze, J., Setloboko, T., 2018. Impacts of extreme floods on groundwater recharge and contamination in arid regions: lessons learned from the major 2017 flood event in Botswana. *Geophysical Research Abstracts* 20.
- G.Mahmoodlu, M., Safarzadeh, A., 2008. Determining the factors controlling the water quality of Shaver river using hydrochemical data. 3rd Iran Water Resources Management Conference (in Persian).
- Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, 1967. Geological Map of Dezful, 1/100000. (in Persian).
- Geris, J., Comte, J. C., Franchi, F., Petros, A. K., Tirivarombo, S., Selepeng, A. T., Villholth, K. G., 2022. Surface water-groundwater interactions and local land use control water quality impacts of extreme rainfall and flooding in a vulnerable semi-arid region of Sub-Saharan Africa. *Journal of Hydrology*, 609, 1-18.
- Gorganli Davaji, A., Jandaghi, N., G. Mahmoodlu, M., Nick Ghogh, Y., 2021. Effect of natural flood spreading of March 2019 on the quantitative and qualitative characteristics of groundwater in floodplain at the end of Gorganroud basin. *Ecohydrology* 8(2), 535-550 (in Persian).
- Jahantigh, M., 2020. The effect of incoming flood from Afghanistan on quantitative and qualitative changes of

رابطه تقریباً مثبت موجود در نمودار ترکیبی نیترات در مقابل یون کلراید نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان شوش است. در نمودار شولر مربوط به دوره‌های سیلابی و خشک، تنها یک نمونه از لحاظ میزان TDS در محدوده نامناسب قرار دارد و سایر نمونه‌ها در هر دو دوره، برای مصرف شرب مناسب هستند. طبق نمودار ویلکاکس در هر دو دوره خشک و سیلابی، تنها یک نمونه برای کشاورزی غیرقابل استفاده است. بر اساس نسبت RSC محاسبه شده، تمامی نمونه‌ها در هر دو دوره سیلابی و خشک در وضعیت مناسب قرار دارند. طبق بررسی‌های ایزوتوپی انجام‌شده، با توجه به این که

- groundwater resources of Sistan plain. *Ecohydrology* 7(2), 463-479 (in Persian).
- Kamalanandhini, M., Kalaivizhi, R., Golda Percy, V. P., Srividhya, S., Dheepak, S., Thiyaneishwaran, K., 2019. Effect of flood event on water quality. *Rasayan Journal of Chemistry* 12(2), 849-854.
- Karimi, H., 2013. Investigating the composition of stable isotopes of oxygen 18 and deuterium in the precipitation of Western Zagros. The 1st National Conference on Application of stable isotopes, (in Persian).
- May, R., Jinno, K., Tsutsumi, A. 2009. Influence of flooding on Groundwater Flow in Central Cambodia. *Environmental Earth Sciences* 63(1), 151-161.
- Mustafa, O., Merkel, B., Weise, S.M., 2015. Assessment of hydrogeochemistry and environmental isotopes in karst springs of Makook Anticline, Kurdistan region, Iraq. *Hydrology* 2(2), 48-68.
- Nassery, H. R., 2004. Assessment of Hydrogeochemistry and Groundwater Contamination of Shoush Plain Using Iso-Parameter Maps, Factor and Cluster Analysis. *Territory journal* 1 (4), 44-61 (in Persian).
- Nayan, N., Hashim, M., Saleh, Y., Mahat, H., See, k., 2018. Effect of Monsoon Flood to Groundwater Quality in Kuala Krai, Kelantan, Malaysia. *Earth and Environmental Science* 145, 1-8.
- Nurmaladewi, N., Mustar, Y. S., 2021. Risk Assessment of Groundwater Quality: A Case Study in Flood-Prone Neighbourhood Area of Pondidaha, Southeast Sulawesi. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 618, 496-502.

- Peng, L., Shi, Q. D., Wan, Y. B., Shi, H. B., Kahaer, Y. J., Abudu, A., 2022. Impact of Flooding on Shallow Groundwater Chemistry in the Taklamakan Desert Hinterland: Remote Sensing Inversion and Geochemical Methods, *Water*, 14 (1724), 1-17.
- Ramachandran, A., Krishnamurthy, R.R., Jayaprakash, M., Shanmugasundharam, A., 2018. Environmental impact assessment of surface water and groundwater quality due to flood hazard in Adyar River Bank. *Acta Ecologica Sinica* 39 (2).
- Taylor, R., Scanlon, B., Döll, B., Rodell, M., 2013. Ground water and climate change, *Nature Climate Change* 3, 322-329.
- Wallin, B., Gaye, Ch., Gourcy, L., Aggarwal, P., 2005. Isotope Methods for management of shared aquifers in north Africa. *Groundwater* 43(5), 744-749.
- Wang, X., Zhang, G. and Xu, Y., 2015. Impact of the 2013 extreme flood in northeast China on regional groundwater depth and quality. *Water* 7(8), 4575-4592.
- Water Research Institute, 2019. National flood report 2018-2019, 1 (in Persian).