



Determination of the Catchment Area and the Capture Zone of Chelleh Khanehe Olya Spring (Soufiyan)

A. Vaezihir^{1*}, V. Aghaie², M. Tabarmayeh³

Received: 11-11-2022

Revised: 31-12-2022

Accepted: 17-01-2023

Available Online: 17-01-2023

How to cite this article:

Vaezihir, A., Aghaie, V., & Tabarmayeh, M. (2023). Determination of the Catchment Area and the Capture Zone of Chelleh Khanehe Olya Spring (Soufiyan). *Journal of Water and Soil* 37(1): 15-29. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.2023.79544.1225>

Introduction

Determining the capture zone of water resources is a strategic approach proposed at the national level of water resources management in Iran. One of the important actions for this purpose is protection of karst water resources, which are considered one of the vital sources for supplying water due to the widespread karst formations in this country and the limitation of groundwater resources in alluvial aquifers. Generally, water flows out through the springs in the karst system. The land area where the water contributes to the spring is called the spring's capture zone. The study and analysis of the recession curve of the springs, the area extending from a discharge peak to the base of the next rise, along with the other physical characteristics of springs such as electrical conductivity is a useful indicator for getting knowledge about the condition of the catchment area and other properties of the heterogeneous karst terrain. In estimating the water budget, unlike the non-karst areas where the surface runoff or the outflow is considered the main factor in the estimated water budget, the recharge component is an important factor in the karst domain. The difference between hydrogeological and hydrological (topographic) catchments is one of the obvious features in karst landscapes. The identification of these basins or their boundaries is possible by combining geology and topography information. Soufiyan Cement Company in the vicinity of Chelleh Khanehe Olya Spring located in Moro Mountain is associated with the creating social problems due to the expansion of mining activities and the negative impact on spring water in this area. Therefore, this study aims to determine the catchment area and the capture zone of the Chelleh Khanehe Olya Spring by determining the protective boundary for the extraction of limes by the Soufiyan cement factory to prevent the negative impact of this factory on the spring.

Materials and Methods

In this research, the hydrograph of the recession curve related to a rainfall event has been analyzed by taking into account the mean monthly discharge rate of spring to determine the sub-regimes of diffuse and conduit flow by employing the following equation:

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (1)$$

Where Q_t is the discharge rate at time t , Q_0 reveals the discharge at the initial time, and α is a recession coefficient.

In addition, The Q_{max}/Q_{min} ratio has been calculated to estimate the flow type and the degree of karstification in the catchment area.

In the next step, to determine the Chelleh Khanehe Olya Spring catchment area and its capture zone, spring hydrogeological boundaries were determined and investigated using the SCS method and estimating the area's water budget. Due to the lack of sufficient rainfall and groundwater discharge information in this region, the water budget for a given period (2019-2020) has been computed indirectly by measuring the monthly discharge rate from the selected stations. After collecting the required data, the following equation developed by Milanovich (1989) has been used to estimate the water budget as follows:

1, 2 and 3- Professor, M.Sc Graduated and Ph.D, Department of Earth Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: r.vaezi@tabrizu.ac.ir)

$$P=E+R+I \quad (2)$$

Where P, E, R, and I denote precipitation (P), evaporation at the basin level (E), runoff (R), and recharge to the aquifers (I). All the parameters are in mm units.

Results and Discussion

Analyzing the variation of electrical conductivity along with the discharge rate indicates that by decreasing the discharge rate from 2.5 l/s to 8.1 l/s, the electrical conductivity increase from 463 $\mu\text{s}/\text{cm}$ to 500 $\mu\text{s}/\text{cm}$, reflecting an increase in the volume of the reservoir, the dilution of the aquifer. The hydrograph recession curve during 2019-2020 indicated two laminar and turbulent sub-regimes. Micro regimes α_1 (01.002) and α_2 (0.013) represented that the dominant system of karst development in the region is diffuse. The high density of fractures and the lack of purity of lime are the main reasons for the weak development of the karst fracture in the region, which the Chele khaneh Olya Spring recession curve analysis, maximum to minimum ratio of discharge, and karstification coefficient confirmed this issue. Determining the catchment basin using geological, hydrogeological information, and water budget showed that the hydrological and hydrogeological boundary of the Spring is different. The protected zone of Chele khaneh Olya Spring, which includes the total hydrogeological basin and the Cretaceous limestone area below the level of the Spring, was estimated to be about 184,000 square meters (18 hectares). According to the findings of this research, Soufiyan Cement Company does not have the right to enter the hydrogeological boundary to extract limes, and on the other hand, to prevent the water level from decreasing due to the excessive extraction of lime as a result of the excavation depth reaching the level of the water table, it suggests to extract from the unsaturated part of the aquifer (unsaturated limes) to prevent the flow rate of Chele Khana Spring from decreasing and even drying it up.

Conclusion

Analyzing the discharge rate, electrical conductivity, hydrograph recession curve, and its recession coefficient ($\alpha=0.002$), revealed that the dominant flow in the system is diffuse, which results from the high density of fractures and region lithology consisting of impure cretaceous limestone. Since the result revealed the inconsistency between hydrological and hydrogeological boundaries, the geological profile of the site was prepared and the spring of the catchment was estimated. Based on the findings of this research, the Chelle Khanehe Olya capture zone consists of the hydrogeological area, obtained from the groundwater budget estimation, and the protective boundary for the limestone below Cheleh Khaneh Olya Spring (the unsaturated zone of the area's limestones), which covers an area of about 18 hectares.

Keywords: Ardabil, Cave, Electrical conductivity, Karst, Karst Spring

تعیین حوضه آبرگیر و حریم حفاظتی چشمه چله خانه علیا (صوفیان)

عبدالرضا واعظی هیر^{۱*} - واحده آقایی^۲ - مهری تبرمایه^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷

چکیده

شناسایی حریم کمی یا محدوده آبرگیری چشمه‌ها جهت اعمال برنامه‌های مدیریتی برای جلوگیری از افزایش بهره‌وری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی یکی از اقدامات بسیار مهم و حائز اهمیت محسوب می‌شود. ارتفاعات روستای چله خانه علیا و کارخانه سیمان صوفیان واقع در کوه مورو با داشتن پوشش قابل توجهی از واحدهای آهکی کرتاسه تامین کننده‌ی بخش عمده‌ای از آب شرب روستاهای منطقه می‌باشد. کارخانه سیمان صوفیان به عنوان یکی از قطب‌های صنعتی شمال غرب کشور می‌تواند بر کمیت و کیفیت آب چشمه واقع در این منطقه موثر باشد. با تعیین حریم حفاظتی چشمه چله خانه علیا به عنوان اصلی‌ترین چشمه موجود در منطقه، می‌توان از اثرات منفی این کارخانه بر روی منابع آب جلوگیری کرد. نتایج اندازه‌گیری ماهانه دبی و مقادیر هدایت الکتریکی چشمه چله خانه علیا، تجزیه و تحلیل هیدروگراف چشمه در سال آبی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و مقدار ضریب فرود بدست آمده در دراز مدت ($\alpha=0.002$) بیانگر غالب بودن سیستم جریان افشان می‌باشد که از عدم خلوص آهک و تراکم بالای درز و شکستگی منطقه ناشی می‌گردد. جهت تعیین محدوده حوضه آبرگیر و حریم حفاظتی چشمه مذکور، مرزهای هیدروژئولوژیکی تعیین و با استفاده از روش SCS و محاسبات بیلان، مرز مزبور مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از محاسبات عدم تطابق مرز هیدروژئولوژیکی و هیدروژئولوژیکی را نشان داد. از این رو اقدام به تهیه نیمرخ زمین‌شناسی و محاسبه مساحت حوضه آبرگیر گردید. بر اساس یافته‌های این پژوهش و محدوده‌های محاسبه شده، حریم حفاظتی چشمه چله خانه علیا شامل محدوده هیدروژئولوژیکی بدست آمده از محاسبات بیلان در اطراف چشمه چله خانه علیا و مرز حفاظتی تعیین شده برای آهک‌های موجود در پایین‌تر از تراز چشمه چله خانه علیا (بخش غیر اشباع آهک‌های منطقه) می‌باشد که مساحت آن تقریباً ۱۸ هکتار برآورد شده است.

واژه‌های کلیدی: جریان افشان، حریم حفاظتی، ضریب فرود، مرز هیدروژئولوژیکی

مقدمه

آب کارستیک می‌باشد که به دلیل محدودیت منابع آبرفتی از نظر کمی و کیفی و گسترش وسیع سازندهای کارستی در سطح کشور، به عنوان یکی از منابع مهم آب زیرزمینی به شمار می‌رود (Maleki et al., 2016).

در مناطق کارستی، چشمه‌ها نقش مهمی در شناسایی خصوصیات هیدروژئولوژیکی لایه‌های آبدار کارستی دارند (Gadimi et al., 2012). حریم چشمه محدوده‌ای است که چشمه از آن آبرگیری می‌کند. بطور کلی ضریب فرود هیدروگراف چشمه یک پارامتر مشخص از واکنش کلی سیستم کارستی است. بنابراین بررسی و

تعیین حریم حفاظتی منابع آب نگرشی ساختاری و راهبردی محسوب می‌گردد که در سطح کلان مدیریت منابع آب کشور مطرح است. بر اساس قانون توزیع عادلانه آب، تعیین حریم کمی و کیفی بر اساس معیارهای علمی و کاربردی جهت اعمال مدیریت صحیح بر استقرار بهینه کاربری‌ها و به منظور حفاظت و بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (Ministry of Energy, 2017).

یکی از اقدامات مهم در چرخه مدیریت منابع آب، حفاظت از منابع

۱، ۲ و ۳- به ترتیب استاد، دانش آموخته کارشناسی ارشد و دکتری هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

(Email: r.vaezi@tabrizu.ac.ir)

*- نویسنده مسئول:

معدن آهک کنار کارخانه صوفیان از نوع روباز و پله‌ای بوده و با روش انفجار (توسط ماده انفوز) استخراج می‌شود. این روش گسترش معدن کاری تا نزدیکی روستای چله‌خانه علیا می‌تواند بر کمیت آب چشمه واقع در این منطقه موثر باشد که این امر به دلیل استفاده شرب روستاهای پایین دست، می‌تواند با اعتراض عمومی و تنش‌های اجتماعی همراه باشد، لذا حساسیت و لزوم انجام مطالعات دقیق‌تر در منطقه احساس می‌شود. بنابراین در این مطالعه سعی شده است با استفاده از تکنیک‌های زمین‌شناسی هیدرولوژیکی و هیدروشیمی بدون استفاده از روش‌های پرهزینه نظیر ردیابی رنگی محدوده حوضه آبرگیر و حریم حفاظتی چشمه چله‌خانه علیا و مرز حفاظتی برای آهک‌های موجود در پایین‌تر از تراز چشمه چله‌خانه علیا هیدرولوژیکی جهت برداشت حساب شده آهک توسط کارخانه سیمان صوفیان تعیین شود تا از تاثیر منفی این کارخانه بر کمیت آب چشمه مذکور جلوگیری گردد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه: محدوده مطالعاتی کوه مورو با وسعتی بیش از ۱۸۰ کیلومتر مربع، با روند تقریبی شرقی-غربی در ۲۵ کیلومتری شمال غرب شهر تبریز و شمال شرقی دریاچه ارومیه، بعنوان یکی از پیچیده‌ترین پدیده‌های زمین‌شناسی آذربایجان شرقی می‌باشد. اقلیم منطقه بر اساس روش آمبرژه نیمه مرطوب و سرد است و میانگین بارش سالانه آن حدود ۳۰۴ میلی‌متر می‌باشد. بیهینه و کمینه ارتفاع حوزه به ترتیب ۲۲۰۰ و ۱۳۰۰ متر از سطح دریا است.

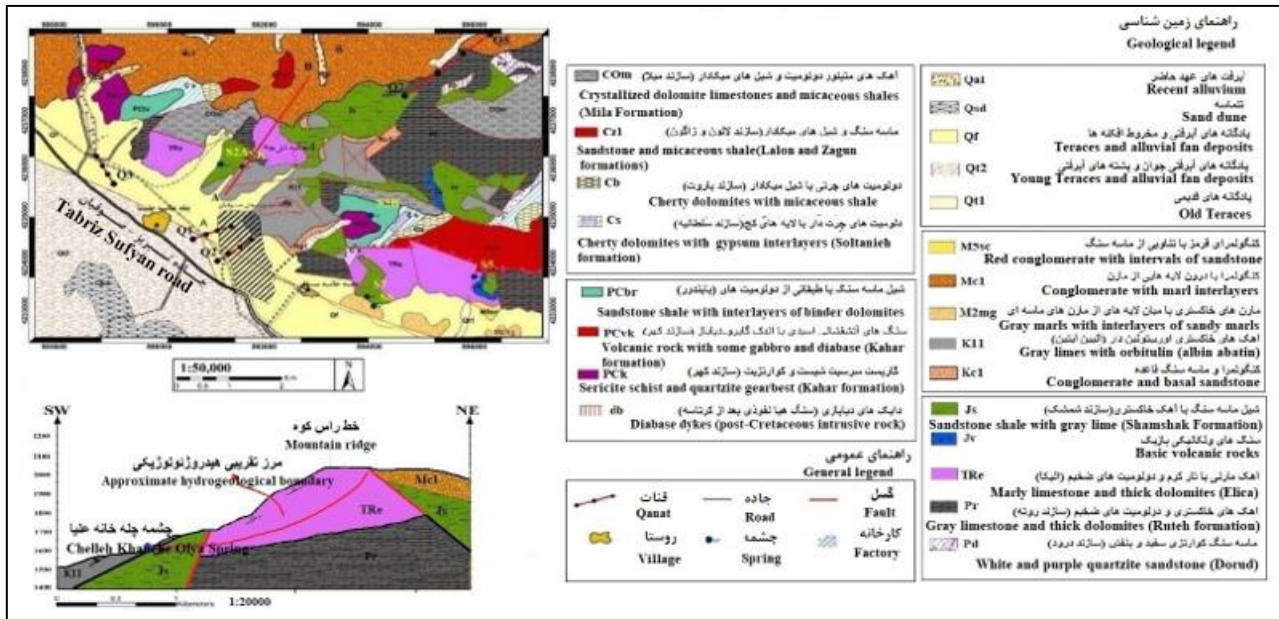
کوه مورو براساس آخرین مرزبندی تکتونیکی در زون ساختاری البرز غربی-آذربایجان با روند تقریباً شرقی-غربی توسط گسل‌های بزرگی چون گسل تبریز (در دامنه‌ی جنوبی) و گسل مورو-دیزج (در دامنه شمالی) محصور گردیده است. در این کوه سازندهای قدیمی از پراکامبرین تا کرتاسه رخنمون یافته است. سازندهای مربوط به الیگوسن و میوسن در مرز دشت و کوه با واریزه‌های کواترنری پوشیده شده‌اند که دو گسل مذکور، آن‌ها را از واحدهای قدیمی پرمین و تریاس جدا کرده و موجب راندگی سازندهای قدیمی بر روی این واحدها شده است. آهک‌های کارستی شده کرتاسه عامل تغذیه‌کننده بسیاری از چشمه‌های منطقه می‌باشد که مهم‌ترین آن چشمه چله‌خانه علیا با دبی ۳ لیتر بر ثانیه می‌باشد. در محل کنتاکت سازند الیکا با مارن‌های خاکستری میوسن تحت تاثیر شکستگی‌ها و گسل، با ایجاد تخلخل ثانویه چشمه‌های متعددی ایجاد شده است (شکل ۱).

تحلیل منحنی فرود چشمه‌ها روشی برای دستیابی به وضعیت سیستم کارستی می‌باشد (Milanovic, 1981). یکی از اصلی‌ترین خصوصیات سیماهای کارستی تفاوت بین حوضه‌های آبریز هیدروژئولوژیکی و هیدرولوژیکی (توپوگرافی) است. طرح و ترسیم این حوضه‌ها یا مرزهای آن‌ها از مسائل پیچیده در کارست می‌باشد که با ترکیب اطلاعات زمین‌شناسی و توپوگرافی قابل برآورد می‌باشد.

در چند دهه گذشته، مطالعات وسیعی بر روی چشمه‌های کارستی انجام شده است که از جمله آن می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود. بوناسی و همکاران (Bonacci et al., 2015) در مطالعه‌ای تحت عنوان حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی، نشان دادند که اختلاف معنی‌دار در اندازه حوضه‌های هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی از ویژگی‌های بسیار متداول برای چشمه‌های واقع در مناطق کارست است. راشد (Rashed, 2012) در مطالعه‌ای درجه کارست‌زایی آبخوان‌های کارستی مناطق مختلف را با استفاده از آنالیز هیدروگراف چشمه مورد ارزیابی قرار دادند و بر اساس درجه کارستی، آبخوان‌ها را به چهار گروه داری یا دیفیوژ، کارستی جزئی، کارستی و خیلی کارستی تقسیم کردند. زروش و همکاران (Zarvash et al., 2014) در مطالعه هیدروژئولوژی و مدل توسعه کارست در چشمه‌های سراب و سیاه‌گاو آبدان (ایلام) با بررسی تغییرات زمانی پارامترها و داده‌های هیدروشیمیایی و همچنین تحلیل منحنی فرود به این نتیجه رسیدند که جریان غالب در چشمه‌های سراب و سیاه‌گاو به ترتیب از نوع مجرای و افشان می‌باشد. به منظور تعیین حوضه آبرگیر چشمه‌های فوق‌الذکر پس از بررسی‌های عملی آمده و تهیه مقاطع زمین‌شناسی، ارتباط هیدرولوژیکی بین سازندها مشخص و سازند سروک به عنوان تأمین‌کننده بخشی از آب چشمه سیاه‌گاو معرفی گردید.

توکلی و کرمی (Tavakkoli and Karami, 2021) در مطالعه‌ای با استفاده از تلفیق روش‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و هیدروژئولوژی، مساحت حوضه آبرگیر را برای چشمه‌های کارستی غرب مجن برآورد کرده‌اند. پایدار و همکاران (Paydar et al., 2015) در مطالعه‌ای با استفاده از روش بیلان تخمینی و MIF، مساحت حوضه آبرگیر چشمه گورگور در استان اردبیل را ۱۰۰ کیلومتر مربع تعیین کردند.

کارخانه سیمان صوفیان واقع در شمال غرب شهر تبریز با تولید روزانه ۷۰۰۰ تن سیمان یکی از قطب‌های صنعتی شمال غرب محسوب می‌شود. با توجه به اینکه ۷۰ تا ۷۵ درصد ماده مصرفی در تولید سیمان، سنگ آهک می‌باشد به همین دلیل کارخانه سیمان صوفیان درصدد برداشت از سنگ‌های آهکی کرتاسه در مجاورت چشمه چله‌خانه واقع در کوه مورو و روستای چله‌خانه علیا می‌باشد.



شکل ۱- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه و نیمرخ زمین شناسی چشمه چله خانه علیا

(بر گرفته شده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران (Asadian 1991)).

Figure 1- Geological map of the studied area and geologic profile of the Chelleh Khanehe Olya Spring

(Modified after maps of Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (Asadian 1991))

داخل ظرفی با حجم معین است که تحت عنوان روش حجمی شناخته می شود. در این تحقیق، برای اندازه گیری دبی چشمه ها و قنات ها از روش حجمی استفاده گردید و جهت به حداقل رساندن خطای اندازه گیری، متوسط زمان اندازه گیری های تکراری در نظر گرفته شد. همچنین به دلیل لوله کشی برخی منابع و عدم دسترسی به مظهر چشمه ها، صعب العبور بودن و مسافت زیاد، تنها ایستگاه های S_{mb} و S_7 برای اندازه گیری ماهانه دبی انتخاب شدند (جدول ۱).

بررسی دوره های دبی و هدایت هیدرولیکی

بررسی و پیش بینی آینده چشمه های کارستی، مقدار آب خروجی از دهانه چشمه در واحد زمان، یکی از پارامترهای بسیار مهم جهت تعیین خصوصیات هیدروژئولوژی در سازندهای کارستی می باشد. یکی از ساده ترین روش اندازه گیری دبی در جریان های کم، اندازه گیری مستقیم آب خروجی از چشمه، در زمان مشخص، از راه هدایت آن به

جدول ۱- تغییرات ماهانه پارامترهای اندازه گیری شده در ایستگاه های مورد مطالعه در سال آبی ۹۸-۹۹

(هدایت الکتریکی بر حسب $\mu s/cm$ و دبی بر حسب (لیتر بر ثانیه))

Table 1- Monthly variation of measured parameters in the selected stations from 2019-2020

(Electrical conductivity in $\mu s/cm$ and flow rate in (l/s))

سال Year	ماه Month	چشمه S_{mb} Spring S_{mb}		چشمه S_7 Spring S_7		قنات Q_1 Qanat Q_1	
		دبی Discharge	هدایت الکتریکی Electrical conductivity	دبی Discharge	هدایت الکتریکی Electrical conductivity	دبی Discharge	هدایت الکتریکی Electrical conductivity
2019	آذر (Nov)	2.5	489	1.14	314	3.3	3090
2019	دی (Dec)	3.5	463	1	314	5.7	3240
2020	اسفند (Feb)	1.81	500	1.07	337	6.6	3550
2020	فروردین (Mar)	2.68	493	1.05	336	6.1	3570
2020	خرداد (May)	3.5	474	1.17	333	5	3550
2020	مرداد (Jul)	3.33	486	1.15	333	3.8	3170
2020	مهر (Sep)	2	478	1.07	333	3.5	3030
2020	آبان (Oct)	2.68	485	1.1	333	3.6	3290

تجزیه و تحلیل منحنی فرود

شکل و خصوصیات منحنی فرود اطلاعات مهم و مفیدی در مورد شناخت سیستم درونی آبخوان‌های کارستی بویژه نوع تخلخل آبخوان فراهم می‌نماید. در این مطالعه تحلیل هیدروگراف جریان مربوط به یک رویداد بارندگی مورد بحث قرار گرفته است. این منحنی در واقع یال نزولی هیدروگراف چشمه‌ها است که برای این منظور، آمار آبدهی چشمه‌ها برای یک سال آبی گردآوری و پس از محاسبه دبی متوسط ماهیانه با در نظر گرفتن دبی حداکثر و روند نزول آن تا زمان حداقل که آبدهی چشمه مجدداً سیر صعودی پیدا می‌کند بر روی نمودار نیمه لگاریتمی پیاده می‌شود. در این نمودار دبی بر روی محور عمودی با مقیاس لگاریتمی در مقابل زمان بر روی محور افقی با مقیاس عددی ترسیم می‌شود. از آنجا که خطوط مذکور در سیستم نیمه لگاریتمی به صورت خطی رسم می‌شوند و نیز با توجه به روند کاهشی خطوط، تابعی که به آن‌ها برازش داده می‌شود از نوع نمایی معکوس خواهد بود. رابطه کلی تابع مذکور بصورت معادله زیر است (Maillet, 1905):

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-at} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه: Q_t ، آبدهی چشمه در زمان t بر حسب متر مکعب در ثانیه؛ Q_0 ، آبدهی قبلی چشمه در زمان صفر؛ و t زمان بر حسب روز بین Q_t و Q_0 می‌باشد. پارامتر بدون بعد α نشان دهنده ضریب تخلیه (ضریب فرود) بوده که به قابلیت انتقال و آبدهی ویژه آبخوان بستگی دارد.

یکی دیگر از موارد کاربرد هیدروگراف چشمه‌های کارستی، استفاده از نسبت آبدهی بیشینه، Q_{max} ، به آبدهی کمینه، Q_{min} (Q_{max}/Q_{min}) و تعیین درجه کارستی شدگی (D_k) چشمه‌ها است که به ترتیب در تشخیص ویژگی‌های مربوط به حجم مخزن کارستی و تعیین نوع جریان و درجه کارستی شدگی استفاده می‌شود (Rashed, 2012).

$$D_k = \frac{Q_{max}}{Q_{min}} \times \frac{t_{event}}{t_{peak}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$t_{event} = t_C - t_A \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$t_{peak} = t_B - t_A \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در این رابطه: t_A ، زمان شروع یال صعودی هیدروگراف؛ t_B ، زمانی که حداکثر دبی رخ می‌دهد؛ و t_C ، زمانی که جریان به حالت پایه بر می‌گردد.

محاسبه بیلان آب زیرزمینی

در دشت‌هایی که فاقد یک یا چند پارامتر بیلان بوده و بعلا کعبود اطلاعات، امکان تهیه بیلان در آن وجود ندارد و فقط

آماربرداری از منابع آب (چشمه، چاه و قنات) در آن صورت گرفته باشد، روش‌های غیر مستقیم برآورد بیلان پیشنهاد می‌گردد. بنابراین با توجه به عدم وجود اطلاعات کافی از وضعیت بارندگی منطقه و فقدان آماربرداری از منابع تخلیه‌کننده‌ی آب زیرزمینی سفره کارستی موجود در منطقه، در این مطالعه به منظور محاسبه بیلان اقدام به برداشت دبی از ایستگاه‌های انتخابی بصورت مرتب و ماهیانه گردید و آمار و داده‌های سال آبی ۹۹-۱۳۹۸ بعنوان دوره انتخابی برای محاسبه بیلان آب در این منطقه کارستی استفاده شد، طبق رابطه ۵ (Milanovic, 1989)، که در ادامه ارائه و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

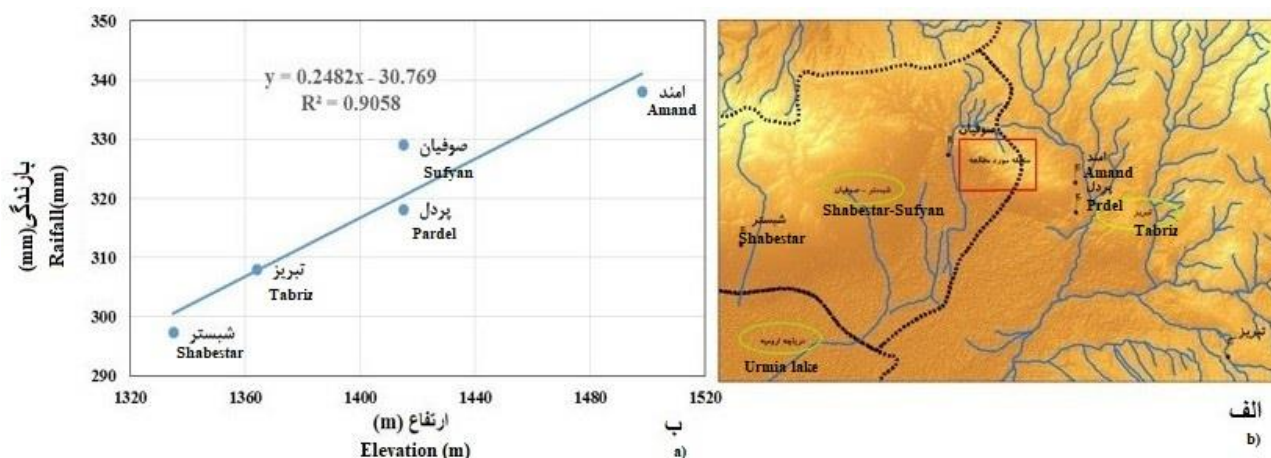
$$P = E + R + I \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در این رابطه P ، بارندگی کل حوضه؛ E ، تبخیر در سطح حوضه؛ R ، روان آب؛ و I ، نفوذ بر حسب واحد میلی‌متر می‌باشد. با کسر تبخیر و روان آب محاسبه شده به روش $SCS-CN^2$ مقدار نفوذ مؤثر بدست آمده و با مقایسه میزان برداشت بوسله چاه و غیره، برآوردی از بیلان منطقه بدست خواهد آمد.

مولفه‌های ورودی بیلان

بارش: جهت بدست آوردن مقادیر بارش در محدوده به دلیل کمبود تراکم ایستگاه‌های ثابت در حوضه مطالعاتی با برقراری رابطه ارتفاع-بارش، از داده‌های ایستگاه‌های مجاور استفاده شد و معادله بارش برای تخمین مقادیر بارندگی برای حوضه مورد مطالعه بدست آمد. لازم به ذکر است که مجموعاً بالغ بر ۱۵ ایستگاه هواشناسی مؤثر در داخل و اطراف محدوده مورد مطالعه وجود دارد که از این تعداد تنها ایستگاه‌های سینوپتیک تبریز و شبستر و باران سنجی تبریز، صوفیان، امد و پردل مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲-الف). با توجه به نقشه DEM منطقه بلندترین ارتفاع منطقه ۲۱۵۰ متر و کم‌ترین ارتفاع ۱۳۵۰ متر که مربوط به دشت‌های جنوبی کوه مورو می‌باشد. بر اساس رابطه بارش-ارتفاع مقدار بارندگی در حوضه مطالعاتی ۴۰۳ میلی‌متر در سال محاسبه گردید (شکل ۲-ب).

رواناب و نفوذ: با توجه به اینکه مطالعات تفصیلی کارستی در این منطقه گسترش چندانی نداشته است، به منظور برآورد در صد نفوذ در سازندهای آهکی منطقه مورد مطالعه با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی حاکم بر حوضه، نوع پوشش گیاهی و خاک منطقه، مقادیر رواناب با استفاده از روش SCS و پارامتر شماره منحنی (CN) که یک معیار توصیفی می‌باشد.



شکل ۲- الف) موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و ب) نمودار ارتفاع در مقابل بارش برای ایستگاه‌های انتخابی
Figure 2- a) The graph of elevation versus precipitation for the selected stations and b) The location of the climate stations

وضعیت هیدروژئولوژیکی (گسترش آبخوان، سازندهای تراوا، نیمه تراوا و ناتراوا، ارتباط بین زون مورد نظر با زون‌های مجاور و ...) در هر زون و سپس محاسبه دقیق تر بیلان آب و تعیین حریم کمی زون مورد نظر مفید باشد. هر چند که این روش نمی‌تواند بصورت دقیق حوضه آبرگیر را تعیین کند، اما می‌تواند مساحت را با تخمین مناسبی طبق رابطه زیر بدست آورد.

$$V = C * I * A \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن: V ، میزان تخلیه سالانه ($m^3/year$); A ، مساحت حوضه آبرگیر چشمه (m^2); I ، متوسط بارندگی منطقه (m) که با استفاده از رابطه ارتفاع- بارندگی بدست می‌آید؛ و C ، درصد نفوذ بارندگی است.

تعیین حدود منطقه حفاظتی

برای تعیین حدود منطقه حفاظتی یا به عبارت دیگر حداکثر فاصله افقی محل تغذیه چشمه از مظهر از رابطه (۷) استفاده می‌شود.

$$D = \frac{H-h}{tg\alpha} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در این رابطه بازه طولی (D) بر حسب متر، H حداکثر ارتفاع محل تغذیه چشمه از سطح دریا، ارتفاع چشمه از سطح دریا (h) نیز و $tg\alpha$ دلالت بر مقدار شیب سنگ بستر دارد. همچنین جهت بدست آوردن بازه عرضی محدوده حفاظتی، مساحت تعیین شده بر مقدار بازه طولی تقسیم می‌شود (رابطه ۸).

$$\text{مساحت تعیین شده} / D = \text{بازه عرضی} \quad \text{رابطه (۸)}$$

تعیین شد و با کسر این مقدار از کل بارش موجود در منطقه، مقدار نفوذ برای حوضه آبرگیر کارستی مورد مطالعه محاسبه گردید. لازم به ذکر است در این روش در صورتی که حوضه از نظر زمین شناسی، پوشش گیاهی و نوع خاک ناهمگن باشد، بایستی میانگین وزنی مقادیر CN محاسبه گردد (Alizadeh, 2013).

تبخیر و تعرق: تبخیر می‌تواند از سطوح مختلف مانند سطح آزاد آب، سطح خاک و گیاهان و از سفره‌های آب زیرزمینی صورت گیرد. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه از لحاظ پوشش گیاهی دارای مراتع متوسط می‌باشد و اکثر پوشش منطقه مربوط به بوته‌های گون است، لذا تبخیر از پوشش گیاهی ناچیز بوده و قابل چشم‌پوشی می‌باشد (Allen, 1998; Kand Chini, 2015). از طرف دیگر با توجه به کارستی بودن منطقه و وجود درز و شکاف فراوان در واحدهای زمین شناسی آهکی، بارش رخ داده از میان شکستگی‌ها عبور کرده و به سفره کارستی منتقل می‌شود. با توجه به اینکه سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد نظر در عمق بیش از ده متر قرار دارد، و همچنین به دلیل اینکه عمق آب زیرزمینی در سازندهای کارستی بیشتر است، لذا تبخیر کمتر بوده و مولفه‌ی خروجی تبخیر از معادله بیلان حذف می‌گردد.

محاسبه مساحت لازم برای تامین آبدهی چشمه

جهت ارزیابی و مطالعه بیلان در سازندهای کارستی زون‌های بسته‌ای بنام زون‌های کارستی انتخاب می‌شوند. هدف از تقسیم‌بندی یک حوضه آبریز کارستی به زون‌های هیدروژئولوژیکی کارستی، در واقع جمع‌آوری کلیه آمار و اطلاعات مربوط به هر زون و تجزیه و تحلیل و تفسیر آن‌ها می‌باشد. این امر می‌تواند جهت دستیابی بهتر به

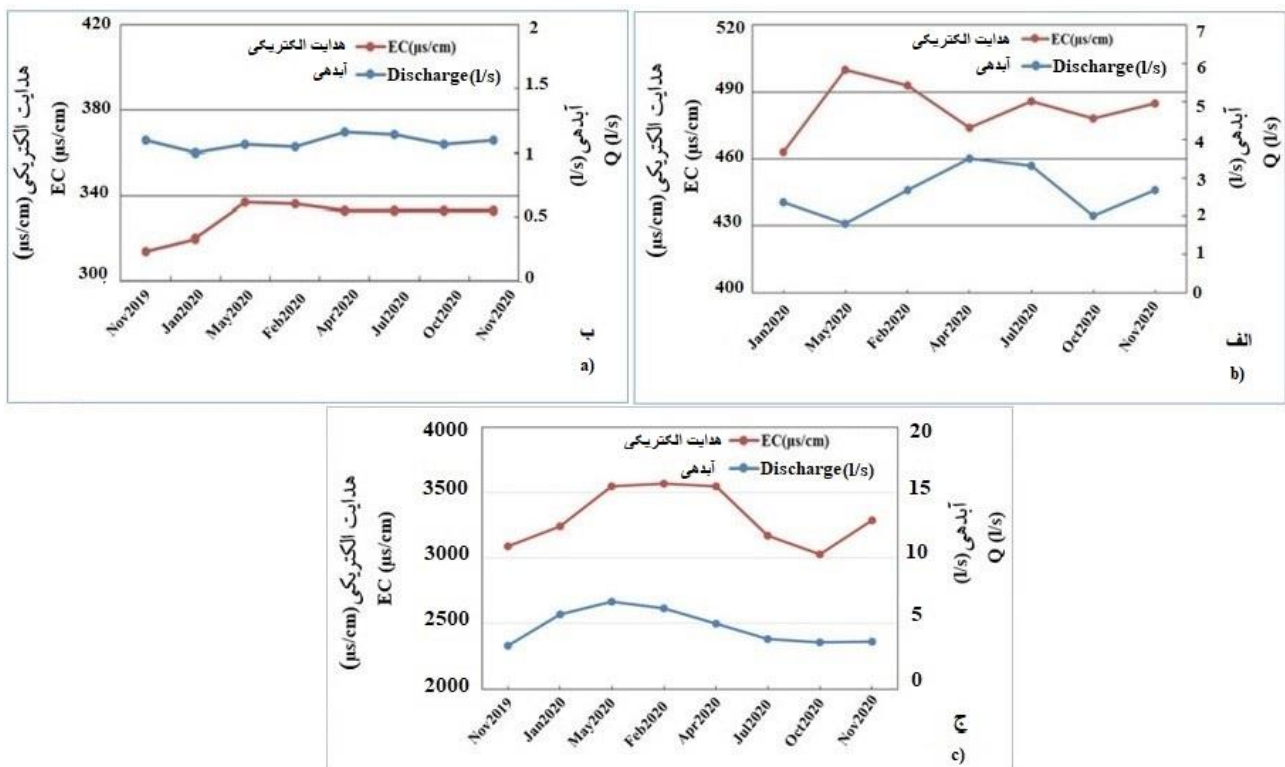
نتایج و بحث

بررسی دوره‌ای دبی و هدایت هیدرولیکی

با توجه به تغییرات ماهانه دبی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه، آبدهی چشمه‌های منطقه کم بوده و این از مشخصات آبخوان‌های سازند سخت و کارست‌های نابالغ می‌باشد که در آن‌ها تعداد چشمه‌ها زیاد و آبدهی آن‌ها کم است. اندازه‌گیری دبی در ماه‌های مختلف نو سانات زیادی نشان نمی‌دهد و تخلیه آبخوان‌ها در مدت زمان زیادی انجام می‌گیرد (جدول ۱).

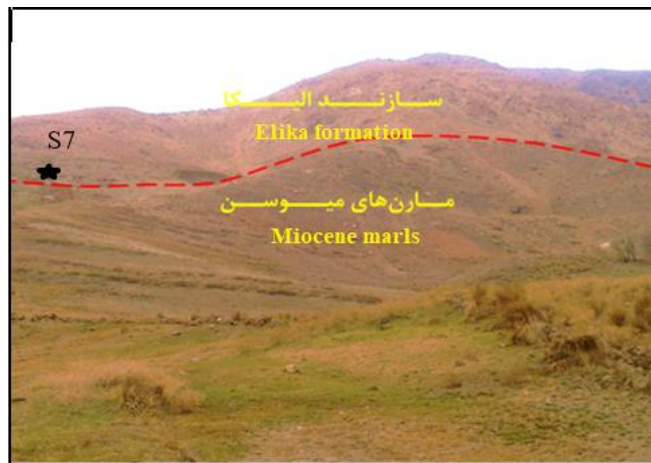
به منظور بررسی تغییرات هدایت الکتریکی به عنوان یکی از مهم‌ترین خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی، در جریان‌های مختلف، مقادیر این پارامتر در برابر زمان برای قنات و چشمه‌های انتخابی منطقه با استفاده از داده‌های جدول ۱ ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است (شکل ۳). بررسی تغییرات (EC) در دوره‌های مشابه با دبی‌های اندازه‌گیری شده ایستگاه انتخابی نشان دهنده رابطه عکس این دو پارامتر می‌باشد. تغییرات EC در چشمه چله خانه علیا (شکل ۳-الف) نشان می‌دهد که با کاهش مقادیر دبی همزمان با پایان

بارش‌های زمستانه، مقادیر هدایت الکتریکی افزایش یافته است، به طوری که با کاهش دبی از ۲/۵ l/s به ۱/۸ l/s، مقدار EC از ۴۶۳ به ۴۷۴ $\mu\text{s/cm}$ افزایش پیدا کرده است. با ذوب برف حجم زیادی از آب با هدایت الکتریکی پایین به آبخوان اضافه می‌شود و باعث کاهش هدایت الکتریکی آب مخزن می‌شود، بطوری که هدایت الکتریکی آب به مقدار ۴۷۴ $\mu\text{s/cm}$ کاهش می‌یابد. این مطلب منعکس کننده افزایش حجم مخزن، رقیق شدگی آبخوان و در نتیجه خروج آب‌های تازه از سیستم کارستی می‌باشد. در ادامه که دبی جریان خروجی از چشمه کاهش می‌یابد تمام موارد فوق‌الذکر بر عکس می‌شوند و در نتیجه هدایت الکتریکی آب چشمه افزایش پیدا می‌کند. اندازه‌گیری تغییرات دبی در چشمه S7 طبق نمودار مربوط به تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی (شکل ۳-ب) نشان می‌دهد بجز برداشته‌های مربوط به زمستان، تغییرات خاصی مشاهده نشده است. با توجه به خروج این چشمه از کنتاکت واحد آهکی الیکا و واحد مارنی میوسن (شکل ۴)، به نظر می‌رسد سیستم توسعه کارست در آبخوان مربوط به این چشمه از نوع افشان باشد که در ادامه مورد بررسی بیشتر قرار خواهد گرفت.



شکل ۳- نمودار تغییرات دبی و هدایت الکتریکی در الف) چشمه چله خانه علیا، و ب) در چشمه S7، ج) قنات

Figure 3- The discharge and electrical conductivity of the a) Chelleh Khanehe Olya Spring, b) Spring S7, and c) Qanat (Q1)



شکل ۴- کنتاکت واحد آهکی الیکا و مارن های میوسن در محل خروج چشمه S7

Figure 4- The contact of Elika limestone unit and Miocene marls at the outlet of the S7 Spring

مقدار ضریب فرود بدست آمده $(\alpha_1=0/002)$ و مقایسه آن با مقادیر جدول ۱ و همچنین تغییرات کم دبی بیانگر غالب بودن سیستم جریان افشان در این چشمه می باشد که بصورت تاخیری آب باران را از طریق مجاری ریزتر کارستی تخلیه می کند.

در میکرو رژیم α_2 نیز که از خرداد ماه تا اواخر تابستان رخ داده و طی آن دبی جریان از $3/33$ لیتر در ثانیه به 2 لیتر در ثانیه کاهش یافته است مقدار ضریب فرود باز هم در محدوده جریان افشان می باشد $(\alpha_2=0/013)$. رفتار منحنی فرود برای چشمه چله خانه علیا متفاوت از چشمه های مناطق غیر کوهستانی می باشد. بطوری که در این مناطق انتظار می رود مقدار α_1 که منعکس کننده تخلیه کاندیوت ها^۳ است بیشتر از α_2 باشد. در چشمه های مناطق کوهستانی نظیر چله خانه علیا ممکن است برعکس باشد که علت آن ذوب برف در زمان فروکش هیدروگراف است بطوری که در زمانی که سیستم مجاری در حال تخلیه آبخوان می باشد ذوب برف اثر آن را جبران کرده و از افزایش شیب منحنی فرود و در نتیجه افزایش مقدار α جلوگیری می کند.

بررسی هیدروگراف و زمان تاخیر آبدهی چشمه ها

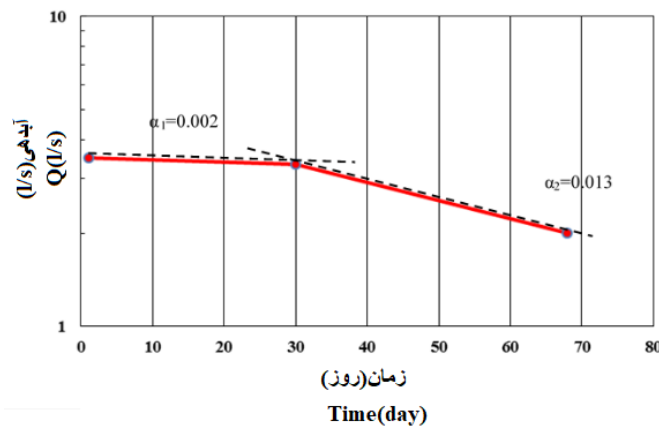
به منظور ارزیابی تغییرات دبی، هیدروگراف جریان چشمه ها و قنات هفت چشمه در سال آبی ۹۸-۹۹ ترسیم گردید (شکل ۶). مقادیر دبی رابطه مستقیمی با نزولات جوی، و سعت حوضه آبریز و وضعیت هدایت هیدرولیکی سفره دارد. شکلی کلی هیدروگراف چشمه چله خانه علیا نشانگر این مطلب است که نوسانات دبی در طول دوره مطالعاتی زیاد نبوده است.

نمودار تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی برای قنات Q_1 (هفت چشمه) در شکل (۳-ج) نشان داده شده است. هدایت الکتریکی این قنات به علت تاثیر مخرب سازندهای زمین شناسی، بالا می باشد. با افزایش دبی، مقدار EC افزایش می یابد که این برخلاف روند مشاهده شده در آبخوان های آبرفتی است. این خصوصیات عمدتاً در آبخوان های کارستی دیده می شود و به دلیل اینکه بخش عمده ای از حوضه آبرگیر قنات مذکور در آبخوان های کارستی منطقه قرار دارد، بنابراین رفتار دبی و EC به نظر می رسد تحت تاثیر پدیده جریان پیستونی^۱ قرار گرفته است. بر اساس این پدیده با رخداد بارش و افزایش سطح ایستابی، سطح اساس کارستیفیکاسیون^۲ عمیق تر شده و منجر به خروج آب های زیرزمینی عمیق و راکد می شود که به طور طبیعی مقدار املاح محلول و EC بالایی دارند.

تجزیه و تحلیل هیدروگراف و تعیین مدل توسعه کارست (تعیین نوع جریان و مدل توسعه کارست)

منحنی فرود و محاسبه ضرایب هیدرو دینامیکی چشمه چله خانه علیا

منحنی فرود چشمه چله خانه علیا که بر اساس رابطه ۱ محاسبه و ترسیم گردیده است (شکل ۵)، دارای دو میکرو رژیم می باشد. همانطور که مشاهده می شود در طی میکرو رژیم α_1 مقدار دبی چشمه از $3/5$ لیتر در ثانیه به $3/33$ لیتر در ثانیه در مدت 30 روز کاهش یافته است. این میکرو رژیم با استفاده از نقطه پیک ایجاد شده در طی بارش های زمستانه و ذوب برف ها رخ داده و تعیین کننده روند تقریباً یکنواخت نزولی در هیدروگراف از فروردین تا اواخر اردیبهشت است.



شکل ۵- منحنی فرود چشمه چله خانه علیا (اردیبهشت ۹۹ تا مرداد ۹۹)

Figure 5- Recession curve of Chelleh Khanehe Olya Spring (May-Aug 2020)

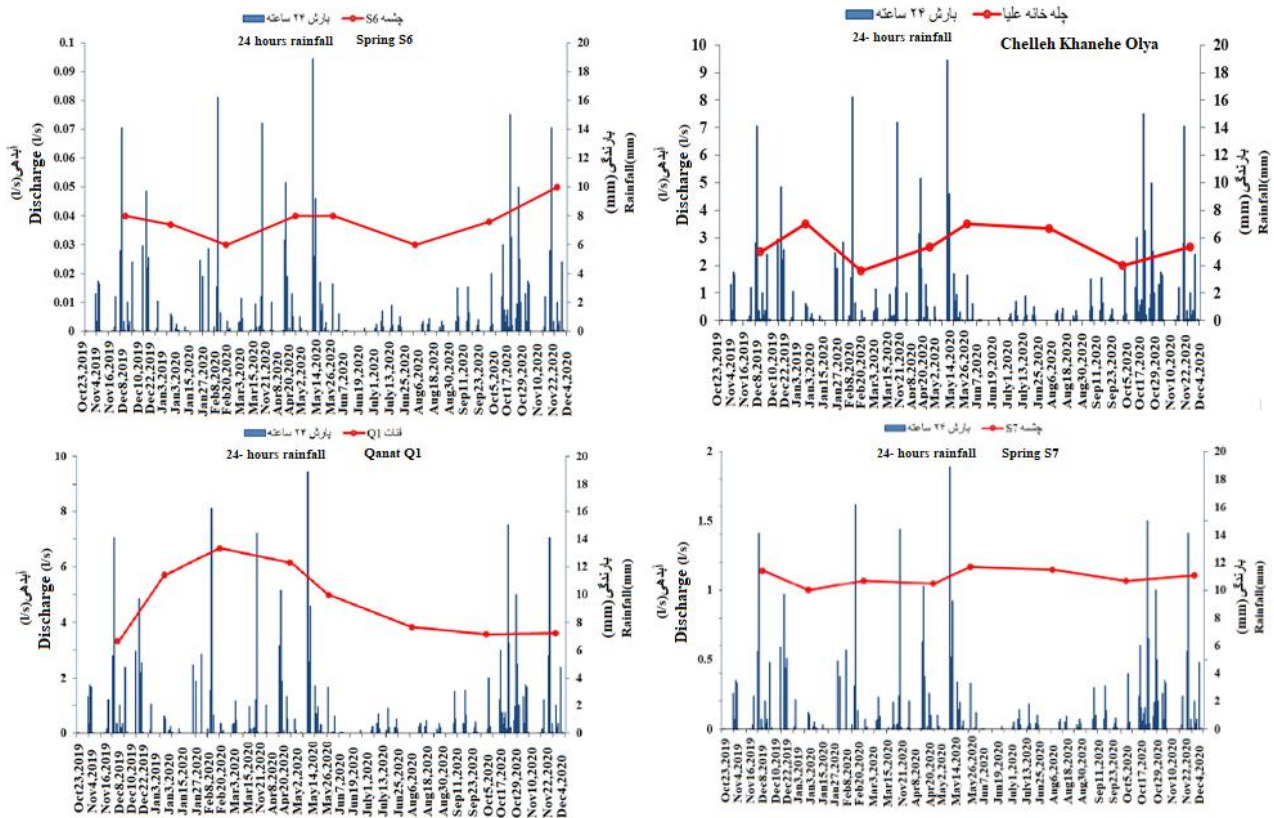
جریان به بارش‌های رخ داده نشان‌دهنده توسعه احتمالی جریان افشان در محدوده حوضه آبرگیر چشمه‌هاست. بطوری که که میزان تخلخل و کار ست شدگی در منطقه بسیار ضعیف بوده و سنگ‌های آهکی در نتیجه فعالیت‌های تکتونیکی و هوازدگی بعدی دارای درز و شکاف‌های بسیار ریزی شده‌اند که آب از طریق آن‌ها به داخل سنگ نفوذ و باعث زهکشی آهسته چشمه‌ها می‌گردد (شکل ۶ ب و ج).

هیدروگراف قنات Q_1 (شکل ۶ د)، نشان می‌دهد با شروع فصل تر و افزایش بارش مقدار دبی جریان روند صعودی داشته و تا ۲ برابر افزایش می‌یابد، بطوری که بیش‌ترین دبی مربوط به اوایل اسفند ماه می‌باشد. از این رو پا سخ قنات به بارش‌های رخ داده شدید بوده و با وقوع بارش‌های زمستانی و کاهش مقادیر آن تا پایان فصل خشک دبی جریان کاهش یکنواختی داشته تا به جریان پایه برسد. از آنجایی که مسیر قنات مذکور به طرف ارتفاعات آهکی کرتاسه می‌باشد می‌توان ادعا کرد که بخشی از قنات در قسمت مادر چاه از واحد کارستی تغذیه می‌شود. لذا بارش‌های بخشی از بارش‌های رخ داده از طریق سیستم کارستی با سرعت نسبتاً بالا ۴ تخلیه شده و بخش دوم ناشی از تخلیه تأخیری از طریق بخش آبرفتی قنات می‌باشد.

درجه کارستی شدن^۱ و نسبت دبی بیشینه به کمینه

به منظور بررسی سیستم جریان آب زیرزمینی و درجه توسعه کارست، مقادیر دبی بیشینه، دبی کمینه و همچنین پارامترهای مورد نیاز جهت تعیین درجه کارست شدگی بر اساس هیدروگراف چشمه چله خانه علیا تعیین گردید. نتایج جدول ۲ و مقایسه آن با جدول ارائه شده برای دسته‌بندی چشمه‌های کارستی بر اساس درجه کارستی شدگی توسط راشد (Rashed, 2012) نشان می‌دهد که چشمه مورد مطالعه از نظر درجه کارست شدگی در رده آبخوان‌های دارسی قرار می‌گیرد.

با شروع بارش در آبان ماه ۱۳۹۸، دبی چشمه شروع به افزایش کرده و با ادامه بارش‌ها بزرگترین پیک دبی در دی ماه ۱۳۹۸ با میزان ۳/۵ لیتر بر ثانیه و اردیبهشت ماه ۱۳۹۹ ظاهر شده است. نکته قابل توجه در این هیدروگراف، زمان تأخیر پاسخ چشمه به هر دوره بارندگی می‌باشد. بطور کلی تأثیر بارش در این چشمه در مدت طولانی تری (۴۰-۵۰ روز بعد) در روی هیدروگراف ظاهر شده است. با افزایش بارندگی‌ها و شروع فصل تر هیدروگراف سیر صعودی نشان می‌دهد به گونه‌ای که نقطه پیک هیدروگراف در دی ماه ۹۸ اتفاق افتاده است. قابل ذکر است با توجه به اینکه بیشترین مقدار بارش در طول دوره مطالعاتی از آبان ماه (فصل تر) شروع شده و تا اوایل بهار (شروع فصل خشک) ادامه می‌یابد، ولی نقطه پیک برای چشمه در این دوره رخ نداده و مربوط به دی ماه و اواخر اردیبهشت ماه می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد بارش‌های اتفاق افتاده از آبان ماه و کاهش این بارندگی‌ها تا آذرماه باعث افزایش سطح آب آبخوان در دی‌ماه شده به گونه‌ای که بیشترین دبی خروجی مربوط به این ماه از سال است و سپس کاهش یافته است. با افزایش بارش‌های زمستانی و ذوب برف از ارتفاعات میزان دبی خروجی رفته رفته افزایش یافته و پس از رسیدن به بیشترین حجم تخلیه و وقوع آخرین بارش بهاره، با سرعت تقریباً یکنواختی به جریان پایه نزدیک شده است. بر اساس این داده‌ها و نمودار مورد اشاره می‌توان به این نتیجه رسید که آبدی چشمه در فصل بهار بیش‌ترین مقدار را دارد (شکل ۶ الف). هیدروگراف چشمه‌های S6 و S7 نیز نشان می‌دهد که آبدی چشمه‌ها روند ثابتی دارند و افزایش و کاهش مقادیر بارش میزان آبدی چشمه‌ها را بطور یکنواختی تحت تأثیر قرار داده است. چشمه‌های مذکور در ارتفاعات شهرک صنعتی از سازند آهکی الیکا خارج می‌شوند. پاسخ ضعیف دبی



شکل ۶- هیدروگراف چشمه‌های چله خانه علیا (الف)، S6 (ب)، S7 (ج) و قنات Q (د)
 Figure 6- Hydrograph of a) Chelleh Khanehe Olya Spring, b) S6 c), S7 (g) and Qanat Q (d)

جدول ۲- پارامترهای محاسبه شده جهت تعیین درجه کارست‌شدگی و تعیین نوع جریان در چشمه چله خانه علیا

Table 2- Estimated parameters to determine the degree of karstification and the type of flow in Chelleh Khanehe Olya Spring

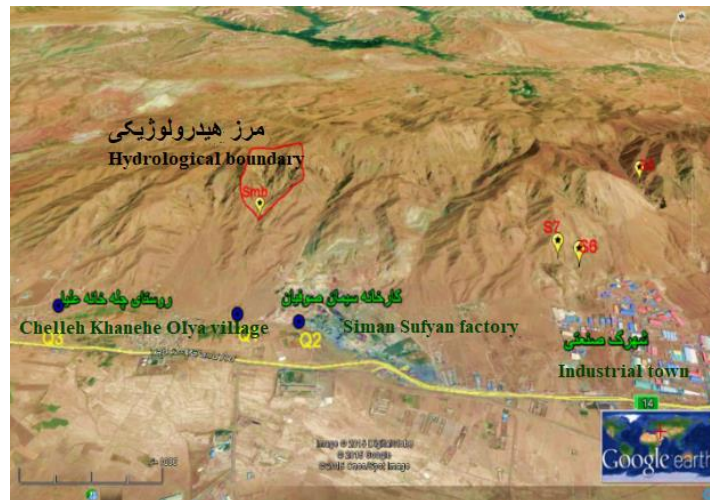
پارامتر Parameter	چشمه Spring						
	Q_{max}	Q_{min}	Q_{max}/Q_{min}	t_A	t_B	t_C	D_k
چله خانه علیا Chelleh Khanehe Olya	3.5	2	1.75	46	92	218	6.5

تعیین حریم حفاظتی چشمه نمود. مساحت حوضه آبرگیر و وضع هندسی آبخوان‌های کارستی عواملی هستند که در زمان و مکان تغییر می‌کنند و به شرایط هیدرولوژیکی بستگی دارند. در این پژوهش به منظور محاسبه کمی مساحت حوضه آبرگیر چشمه چله خانه علیا ابتدا مرز هیدرولوژیکی (توپوگرافی) برای چشمه مورد نظر توسط نرم افزارهای Global Mapper و Google Earth مشخص گردید. پلی گون قرمز رنگ روی شکل ۷، با مساحت حدود ۶۴۵۱۸۰ متر مربع، نشان دهنده مرزهای هیدرولوژیکی برای چشمه مورد نظر می‌باشد.

همچنین مقادیر دبی بیشینه به دبی کمینه نیز نشان دهنده آبخوان با عکس‌العمل آهسته می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که نوع سیستم جریان در چشمه مذکور از نوع افشان است که وجود درز و شکستگی فراوان در سازند تغذیه کننده شاهدهی بر این ادعا می‌باشد.

تعیین مساحت حوضه آبرگیر و مرز هیدروژئولوژیک چشمه چله خانه علیا

هر چند تعیین مرزهای هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی حوضه آبریز یک چشمه آسان نمی‌باشد ولی می‌توان با استفاده از آمار و اطلاعات موجود و معادله بیلان اقدام به محاسبه مساحت حوضه و



شکل ۷- موقعیت مرز هیدرولوژیکی چشمه چله خانه علیا ارائه شده با پلیگون قرمز رنگ (برگرفته از Google Earth)

Figure 7- The location of the hydrological border of Chelleh Khanehe Olya Spring represented by red polygon (taken from Google Earth)

محاسبه مساحت لازم برای تامین آبدهی چشمه

با توجه به این که در ارتفاعات مورو آب فروچاله چندان یافت نمی شود و عمده نفوذ آب از طریق درز و شکستگی صورت می گیرد و همچنین با توجه به وجود درزه و شکاف های فراوان ناشی از فعالیت های شدید تکنیکی به دلیل مجاورت با روراندگی اصلی تبریز و زمین شناسی و مورفولوژی منطقه و نیز مقادیر بدست آمده از روش SCS مقدار درصد نفوذ منطقه مطالعاتی ۲۷/۴۴٪ برآورد شد. بر اساس مقادیر بدست آمده برای بارش و نفوذ که به ترتیب ۴۰۳ میلی متر در سال و ۲۷/۴۴ درصد می باشد، مساحت لازم برای تامین آبدهی چشمه چله خانه علیا با استفاده از رابطه ۶ برابر با ۷۴۱۴۶۵ متر مربع محاسبه گردید. با توجه به اینکه میزان تخلیه سالانه از چشمه چله خانه علیا ۸۱۹۹۰ متر مکعب بر سال می باشد، اختلاف ۱۰۰۰۰ متر مکعب حجم آب خروجی از چشمه مورد مطالعه با مقدار بدست آمده از مرزهای هیدرولوژیکی نشان دهنده تامین بخشی از آب چشمه خارج از مرزهای هیدرولوژیکی می باشد که ممکن هست از طریق لایه بندی، گسل و یا شکستگی های موجود در محدوده انتقال یابد. با در نظر گرفتن این عوامل مرز بدست آمده، مرز هیدروژئولوژیک خوانده می شود.

تهیه مقطع زمین شناسی

از آنجا که استفاده از مقاطع زمین شناسی به عنوان یکی از ابزارهای مفید جهت تعیین مرز هیدروژئولوژیک می باشد. در این پژوهش یک نیمرخ زمین شناسی در امتداد شمال غرب- جنوب شرق (راستای AB در شکل ۱ که از موقعیت چشمه چله خانه عبور می کند تهیه گردید. همچنین در امتداد AB، پیمایش صورت گرفت که طی

ارزیابی مرز هیدرولوژی بر اساس بیلان

بر خلاف پهنه های متشکل از سازندهای زمین شناسی غیر کربناته که در معرض کارستی شدن قرار نمی گیرند، به کمیت درآوردن بعضی از عوامل همچون خصوصیات هیدروژئولوژیکی محیط، شکل هندسی آبخوان و حوضه آگیری که آبخوان را تغذیه می کند، در پهنه های کارستی بسیار مشکل می باشد. به منظور بررسی تطابق مرز هیدرولوژیکی بر مرز هیدروژئولوژیک از معادله ارائه شده توسط میلانوویچ برای محاسبه بیلان و اطلاعات زمین شناسی استفاده گردید. به این ترتیب که ابتدا بارش متوسط برای حوضه مورد مطالعه محاسبه شد، سپس از روش درصد نفوذ در آهک های کارستی و میزان آبدهی سالانه چشمه کارستی اقدام به محاسبه مساحت حوضه آگیری چشمه گردید. نتایج نشان داد که از میزان ۴۰۳ میلی متر بارش رخ داده در حوضه، ۲۹۲ میلی متر بصورت رواناب از منطقه خارج می شود. میزان نفوذ ناشی از بارش نیز پس از کسر رواناب مقدار ۱۱۰ میلی متر برآورد شد. بر اساس مساحت بدست آمده از مرزهای هیدرولوژیکی حجم رواناب و نفوذ برای یک سال برای محدوده مرز هیدرولوژی به ترتیب برابر با ۱۸۸۶۵۷ و ۷۱۳۵۰ مکعب در سال محاسبه گردید. از طرف دیگر بر اساس مقادیر دبی اندازه گیری شده حجم تخلیه سالانه چشمه در حدود ۸۱۹۹۰ متر مکعب می باشد. از این رو به نظر می رسد بخشی از آب چشمه چله خانه علیا از خارج از مرزهای هیدرولوژی تامین می گردد. بنابراین بایستی مرز هیدروژئولوژیک آبخوان مشخص گردید که برای تعیین آن، مساحت لازم برای تامین آب چشمه تعیین گردید.

چله خانه علیا از سطح دریا ۱۹۵۸ متر می‌باشد ارتفاع چشمه از سطح دریا نیز به همین ترتیب برابر با ۱۳۵۳ متر است. جهت تعیین مقدار شیب سنگ بستر آهکی (α) پس از پیمایش‌های انجام گرفته و همچنین تهیه نیمرخ زمین‌شناسی این شیب ۶۵ درجه مشخص گردید. بنابراین بازه طولی برای چشمه چله خانه علیا ۱۲۷۰ متر محاسبه گردید. و در نهایت بازه عرضی محدوده حفاظتی با استفاده از رابطه ۷ برای محدوده مورد مطالعه ۵۸۰ متر برآورد شد.

با توجه به محدوده حوضه آبرگیر چشمه که بر اساس مطالعات بیان محاسبه شد، فاصله چشمه تا دورترین نقطه تغذیه ۱۲۳۰ متر می‌باشد که با بازه طولی بدست آمده انطباق قابل قبولی نشان می‌دهد. همچنین عرض متوسط حوضه که توسط بیان تعیین شده است ۶۰۵ متر می‌باشد که با بازه عرضی حوضه آبرگیر که از رابطه فوق بدست آمد همخوانی نشان می‌دهد.

بر اساس یافته‌های این پژوهش محدوده حفاظتی چشمه چله خانه علیا به دو قسمت زیر تقسیم شد. الف) محدوده هیدروژئولوژیکی بدست آمده از محاسبات بیان در اطراف چشمه چله خانه علیا که تامین کننده آب این چشمه می‌باشد و هرگونه برداشت از تراز بالای چشمه باعث کاهش دبی چشمه و یا ورود به این حریم باعث ورود آلودگی‌های صنعتی شده و باعث افت کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. ب) مرز حفاظتی تعیین شده برای آهک‌های موجود در پایین‌تر از تراز چشمه چله خانه علیا (بخش غیر اشباع آهک‌های منطقه) که برداشت از این آهک‌ها تا عمق رسیدن به سطح ایستابی مجاز است. در غیر این صورت با برداشت بیش از اندازه و برخورد عمق برداشت به سطح ایستابی، سطح آب افت پیدا کرده و باعث کاهش دبی چشمه و خشک شدن آن خواهد شد (شکل ۸). مساحت حریم حفاظتی چشمه چله خانه ۱۸۴ هکتار برآورد گردید.

نتیجه‌گیری

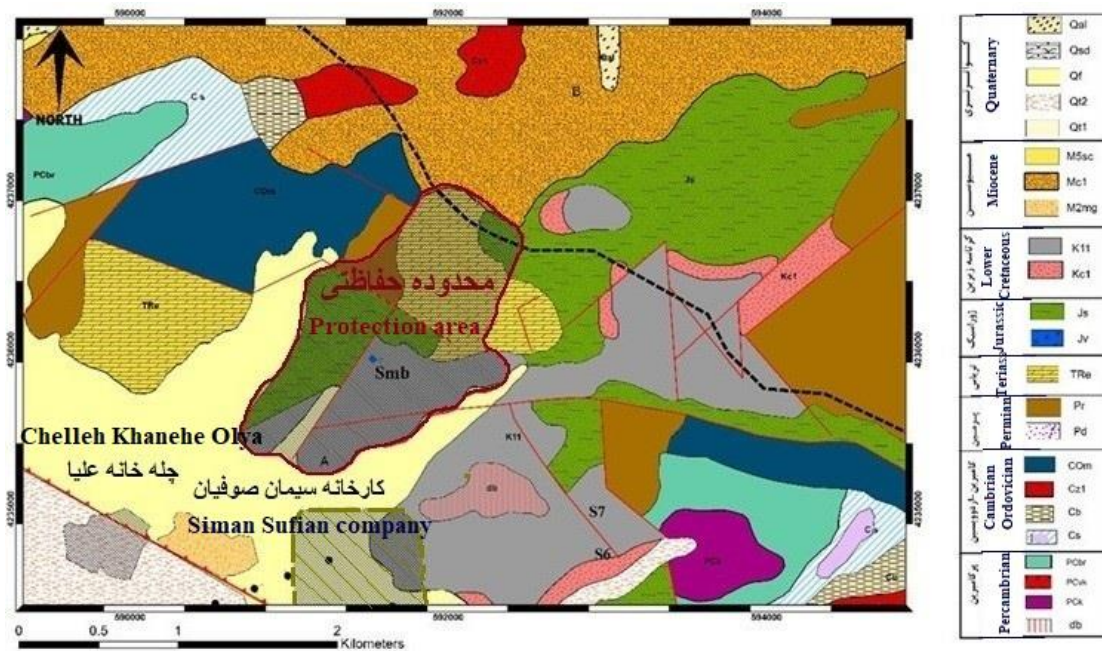
بررسی تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی نشان دهنده رابطه عکس این دو پارامتر در چشمه چله خانه علیا می‌باشد. لذا با افزایش مقادیر دبی، هدایت الکتریکی کاهش یافته و نشان از افزایش حجم مخزن، رقیق‌شدگی آبخوان و در نتیجه خروج آب‌های تازه از سیستم کارستی می‌باشد. بررسی هیدروگراف ایستگاه‌های مورد مطالعه در سال آبی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ نشان داد که سیستم غالب توسعه کارست در منطقه افشان می‌باشد زیرا آبدهی چشمه‌های منطقه کم بوده و پاسخ چشمه‌ها به بارش‌های رخ داده در طولانی مدت انجام شده است. تراکم بالای درز و شکستگی و عدم خلوص آهک از دلایل توسعه مجاری کارستی ضعیف در منطقه می‌باشد.

آن امتداد و شیب لایه‌ها، جنس واحدهای زمین‌شناسی و موقعیت گسل‌ها تعیین گردید. با استفاده از نیمرخ رسم شده بر روی چشمه چله خانه علیا (شکل ۱) وضعیت لایه‌ها نسبت به هم برای چشمه مورد نظر نمایش داده شد. این نیمرخ نشان داد که حوضه آبرگیر چشمه چله خانه علیا عمدتاً در سازند الیکا و شمشک واقع شده است. ارتفاع کلیه نقاط محدوده هیدروژئولوژیکی تعیین شده برای چشمه بالاتر از ارتفاع محل رخنمون چشمه تا محل خط‌الرأس است. پیمایش انجام شده و نیمرخ تهیه شده نشان می‌دهد که جهت لایه بندی آهک‌های الیکا در مرکز و جنوب کوه مورو به سمت جنوب می‌باشد. از طرف دیگر موقعیت واحد میوسن (Mc1) در مجاورت خط‌الرأس به گونه‌ای است که بخشی از سازند الیکا که در شمال خط‌الرأس قرار دارد می‌تواند جز حوضه آبرگیر چشمه چله خانه بوده و تامین کننده بخشی از آب چشمه باشد. بنابراین به احتمال زیاد مرز هیدروژئولوژیکی حوضه آبرگیر چشمه چله خانه در آن سوی خط‌الرأس قرار گرفته است. در نتیجه در صورتی که مرز هیدروژئولوژیکی مبنای تعیین حوضه آبرگیر چشمه قرار گیرد مساحت حوضه آبرگیر چشمه ۷۵۰۰۶۷ متر مربع خواهد بود که مقدار آن بعد از تعیین مرز و محاسبه آن در نرم‌افزار GIS، بسیار نزدیک به عدد محاسبه شده (۷۴۱۴۶۵ متر مربع) می‌باشد.

تعیین حریم حفاظتی کارخانه سیمان صوفیان

در محدوده مورد مطالعه با توجه به اینکه کارخانه سیمان صوفیان بخش اعظم مواد اولیه مصرفی را از آهک‌های کوه مورو برداشت می‌کند، لذا رعایت حریم منابع آب (سطحی و زیرزمینی) در این بخش از کوه مورو ضروری می‌باشد. بنابراین در این پژوهش اصول یک برنامه حفاظت از چشمه مورد بررسی قرار گرفت که طی آن حریم حفاظتی برای چشمه چله خانه جهت جلوگیری از کاهش سطح آب در اثر برداشت بیش از اندازه از آهک در نتیجه رسیدن عمق حفاری به تراز سطح ایستابی که می‌تواند منجر به کاهش دبی چشمه چله خانه و حتی خشک شدن آن شود. بدین منظور اطلاعات مربوط به دبی جریان خروجی از چشمه جهت تعیین بیان آبی آبخوان در طول مدت آبدهی (آبدهی سالیانه)، زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه نظیر شیب و عمق سنگ بستر و همچنین عکس هوایی جهت تعیین حریم چشمه‌ها و تخمین منابع و عوامل مؤثر در تغذیه منبع آبی چشمه مورد استفاده قرار گرفت. علاوه بر آن جهت تعیین و برآورد صحت اطلاعات موجود در روی نقشه‌ها و کسب اطلاعات دقیق‌تر مطالعات میدانی انجام گرفت. حدود منطقه حفاظتی یا حداکثر فاصله افقی محل تغذیه چشمه از مظهر از رابطه (۷) بدست آمد.

با استفاده از Google Earth حداکثر ارتفاع محل تغذیه چشمه



شکل ۸- محدوده حفاظتی تعیین شده برای کارخانه سیمان صوفیان
Figure 8- The designated protection area for Soufian Cement Company

از آهک در نتیجه رسیدن عمق حفاری به تراز سطح ایستابی، بایستی برداشت از بخش غیر اشباع آبخوان (آهک‌های غیر اشباع) صورت گیرد تا مانع کاهش دبی چشمه چله خانه و حتی خشک شدن آن شود. جهت بررسی دقیق تر خصوصیات آبخوان‌های منطقه پیشنهاد می‌گردد اندازه‌گیری‌های ماهانه دبی و هدایت الکتریکی به صورت مرتب و در موارد بارندگی بصورت روزانه از چشمه تامین کننده آب روستای چله خانه علیا صورت گیرد. همچنین پیشنهاد می‌گردد کارخانه سیمان صوفیان برای کنترل حریم حفاظتی و بررسی تغییرات سطح ایستابی در اثر برداشت آهک، چند پیژومتر در حداقل معدن و چشمه حفر و به صورت هفتگی پایش نماید و همچنین روش‌های غیرانفجاری برای برداشت آهک استفاده شود تا تکانه‌های لرزه‌ای منجر به جابجایی شکستگی‌ها و گسل‌ها و در نتیجه کاهش آبدی چشمه چله خانه نشود.

بررسی منحنی فرود چشمه چله خانه علیا و همچنین ضریب تغییرات پارامترهای درجه کارست شدگی و نسبت دبی بیشینه به کمینه این موضوع را تایید نمود. تعیین حوضه آبرگیر چشمه چله علیا با استفاده از مطالعات زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی، بیان و روابط موجود نشان داد که مرز هیدروژئولوژیکی آبرگیر چشمه با مرز هیدروژئولوژیکی متفاوت است. مساحت حوضه آبرگیر چشمه چله خانه در حدود ۷۴ هکتار می‌باشد و بخشی از آب چشمه از شمال خط‌الرأس کوه مورو تامین می‌گردد. محدوده حریم حفاظتی چشمه چله خانه علیا که مجموع حوضه هیدروژئولوژیکی و محدوده آهک‌های کرتا سه پایین‌تر از تراز مظهر چشمه می‌باشند، حدود ۱۸ هکتار برآورد گردید. بر اساس یافته‌های این پژوهش، کارخانه سیمان صوفیان برای برداشت آهک‌ها حق ورود به مرز هیدروژئولوژیکی را نداشته و از طرف دیگر جهت جلوگیری از کاهش سطح آب در اثر برداشت بیش از اندازه

منابع

1. Alizadeh, A. (2013). *The principles of applied hydrology*. 36th Edition, Imam Reza (AS) University, Mashhad. (In Persian with English abstract)
2. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56, Rome, Italy, 3
3. Asadian, A. (1991). Geological map of Tabriz (1:100000). Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran.
4. Bonacci O., & Andrić, I. (2015). Karst spring catchment: an example from Dinaric karst. *Environmental earth Sciences* 74(7): 6211-6223. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4644-8>.

5. Gadimi, M., Ahmadi, H., Moghimi, A., & Jafar Biglu, M. (2012). Hydrogeochemical investigation of Ashtrankuh karst springs related to the geological formations of the region, *Journal of Natural Resources of Iran* 67(2): 263-278. (In Persian)
6. Kand Chini, M. (2015). *Investigating actual evaporation and transpiration in Gilan province using Sabal algorithm and Landsat satellite images*, Master thieses in Hydrology and Meteorology, Faculty of Geography, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran. (In Persian with English abstract)
7. Maillet, E. (1905). *Essais d'hydraulique souterraine et fluviale*. Paris. 218 pp.
8. Maleki, A., Ovaisi, M., & Bagheri, A. (2016). Investigating the potential of ground water resources in the karst formation of Koh Khorin, Kermanshah, using GIS and geophysical methods. *Geography and Environmental Planning* 28(1): 135-150. (In Persian). <https://doi.org/10.22108/GEP.2017.98020.0>.
9. Milanovic, P.T. (1981). *Karst Hydrology*, Water Resources Publications, Littleton Co.
10. Ministry of Energy, guidelines for determining the quantitative boundaries (capture zone) of wells and Qanats, 2017, Number 747. (In Persian)
11. Paydar, R., Rezaei, M., Ashjari, J., & Afshar, S. (2015). *Determination of the water catchment area of Gurgor spring located in Ardabil province using estimated water budget method and MIF*, International Specialized Congress of Science and Earth, Tehran, Iran. (In Persian)
12. Rashed, K.A. (2012). *Assessing degree of karstification: A new method of classifying karst aquifers*, Sixteenth International Water Technology Conference, IWTC 16 2012, Istanbul, Turkey.
13. Tavakkoli, S., & Kerami, G. (2021). The evaluation of dominant flow system and discharge mechanism of karst springs in West Mojen. *Iranian Water Research Journal* 15(1): 13-21. (In Persian with English abstract)
14. Zarvash, N., Vaezihir, A., Karimi, H., & Asghari Moghadam, A. (2014). *Comparison of underground water flow system for Sarab and Siah cow springs in Abdanan* (Ilam province), 13th hydraulic conference. Tabriz, Iran. (In Persian)