Original Article

Journal of Aquifer and Qanat

Autumn And Winter 2024, Vol. 4, No. 2, pp 161-186

10.22077/jaaq.2024.7377.1067

Investigating The Ajabshir Aquifer Characteristics and Estimation of Maximum Well Deepening

Akbar khedri [1]✉ | **Amir Saberinasr**[2]

1. Senior, Regional Water Compan, Director of Kowsar Dam and Irrigation Network, Kohgiluyeh and Boyerahmad province, Gachsaran, Iran.
2. Assistant Professor, Geology Group, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
✉Corresponding Author: Khedri.hydro@yahoo.com

Received:
03 March 2024

Accepted:
18 March 2024

Published:
19 March 2024

Keywords:

Ajabshir Plain, Groundwater, Water Demand, Quality, Well, Deepening.

Extended abstract

Introduction

The decline in groundwater levels in most plains of Iran has been attributed to various factors, including excessive development of agriculture, prolonged droughts, overexploitation of wells, and drilling of unauthorized wells. This trend, due to the increase in population and recent droughts, has escalated. The Urmia Lake catchment area, especially the Ajabshir study area, has not been exempted from this problem (Asghari Moghaddam, 2016; Hassani and Dinpajooh, 2017; Motallebian et al., 2020). Exploiting more than the aquifer capacity in this part of the country has also increased the prohibited study areas. This has caused problems in the water supply for drinking, agriculture, and industry purposes. The deepening of water wells is proposed as a solution to meet water demands; however, this must be approached cautiously to ensure sustainable water supply from the aquifer over time. In general, the amount of displacement and the deepening of groundwater wells are problems that must be studied from different aspects. Also, their impact on sustainable development should be investigated. Determining the optimal and maximum depth of groundwater well deepening has been investigated in several studies using various methods (Mojarrad and Saboohi, 2010; Mosavi and Gholami, 2012; Rezaei et al., 2019; Noori et al., 2021; Zeraati et al., 2022). This study specifically aims to identify the maximum allowable depth (or minimum level) for water wells in the Ajabshir Plain.

Cite this article: Khedri, A. & Saberinasr, A. (2024). Investigating The Ajabshir Aquifer Characteristics and Estimation of Maximum Well Deepening. *Journal of Aquifer and Qanat Title*, 4 (2), 161-186. DOI: http// 10.22077/jaaq.2024.7377.1067

Copyright: © 2024 by the authors. Licensee Journal of Aquifer and Qanat. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Material and method

The Ajabshir study area is located in the Urmia Lake watershed, positioned 90 km to the southwest of Tabriz City. In this study, an extensive investigation was conducted on data and reports of meteorology, geology, hydrology, hydrogeology, and quantitative and qualitative simulation of groundwater by mathematical models in the area. The monthly data on required water for different uses was collected from the East Azerbaijan Province water and wastewater company. Using the available data and the established guidelines relating to criteria for determining the maximum depth in groundwater well deepening, the initial step involved calculating the population of urban and rural areas within the study area in the future (horizon of 2041) based on population growth rate and the data of the national census of population and housing. Subsequently, the per capita consumption was computed for different years (until the year 2041) based on the population, enabling an estimation of the required water volume. Taking into account the bedrock topography, the groundwater level, aquifer boundaries, and specific yield, the total volume of extractable water was determined. Finally, according to the hydraulic characteristics of the aquifer and the volume of required water in the defined timeframe, the maximum depth in well deepening has been calculated. This investigation primarily emphasized the fluctuations in groundwater levels as the key factor in determining the maximum depth in well deepening, instead of focusing on relatively complex approaches such as numerical modeling, linear programming, etc.

Result and Discussion

In the current investigation, population changes have been estimated based on the average of calculated and predicted population growth rates. The population of the study area is projected to reach approximately 47,000 people in 2041 (1420), with an estimated annual water demand of 2.926 MCM. The studied area comprises an unconfined alluvial aquifer, where the maximum thickness of alluvium found in the central parts of the plain is about 60 to 70 m and the minimum thickness near Danalu village is approximately 20 m. Data from a national survey conducted in 2015 revealed the presence of 1325 deep and semi-deep wells, 16 Qanats, and 67 springs in this area. The total groundwater discharge from wells, with an average depth of around 23 m, during the water year 2013–2014 amounted to 1.93 MCM. Analysis of the groundwater hydrograph in the Ajabshir plain highlights the highest and lowest levels of the groundwater table typically occurring in May and November, respectively. A graphical representation in Figure 1 illustrates the cumulative average of groundwater level changes in the Ajabshir aquifer from the beginning of the establishment of the monitoring network until 2020.

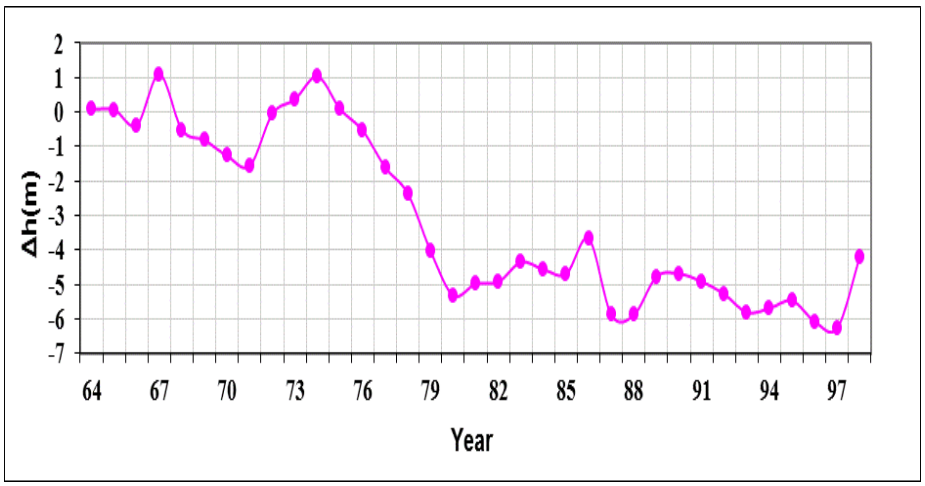


Fig 1. The condition of the Ajabshir aquifer from the beginning of the establishment of the monitoring network until 2020 (1399).

The mean depth of groundwater in the Ajabshir aquifer is about 10 to 15 m. The

average specific storage coefficient of this aquifer has been estimated to be around 5% through the analysis of pumping tests. A correlation analysis was conducted by plotting the depth of wells against their discharge, and subsequently, the coefficient of determination (R2) was computed to assess the impact of well discharge on well deepening in the region. The calculated R2 value (R2 = 0.31) for the Ajabshir plain suggests the absence of a significant correlation between well depth and discharge, indicating that the depth-discharge relationship does not act as a constraining factor for well deepening. Determining the maximum allowable well deepening is crucial to ensuring that an adequate amount of water for drinking, health, and industrial purposes remains in the aquifer of the region for a certain period of time. To achieve this objective, after calculating factors such as projected population, per capita water consumption, and the characteristics of the aquifer, it is necessary to calculate the volume of the required aquifer based on the specific yield. Table (1) illustrates changes in the groundwater levels and the aquifer volumes in the study area, while Table (2) presents the annual average of water demands for drinking and industrial uses, the total of water demands for drinking and industrial uses and required aquifer volume for horizons of 2031 and 2041.

Table 1. Changes in the groundwater level and the aquifer volume in the study area.

Equivalent water volume (MCM)	Groundwater level (cm)	Changes
-1.93	-67	Water Year 2015
-17.38	-599	Until horizon 2041
-0.58	-20	Annual average until 2041

Table 2. The annual average of water demands for drinking and industrial use, the total of water demands for drinking and industrial use, and the required water volume of the aquifer for the horizons of 2031 and 2041.

Ahead Horizon (MCM)		
1410 (2031)	1420 (2041)	Year
10.1	10.5	The annual average of water demands for drinking and industrial uses
171.7	283.5	The total of water demands for drinking and industrial uses
858.5	1417.5	Required aquifer volume

Finally, based on the required water volume from the aquifer and the definition of its upper and lower boundaries, the minimum equipotential line for well deepening in the Ajabshir study area is presented.

Conclusion

To determine the maximum well deepening, the first step entailed assessing the projected population and the average annual water demand, which were calculated at 47,000 people and 2.93 MCM, respectively. Subsequent to an assessment of various factors concerning the aquifer (including bedrock depth, the number of wells and their depth, groundwater level, specific yield coefficient, etc.), and according to the annual water demand, a forecast was made regarding the decline in groundwater levels by 6 meters until the year 2041, alongside a projected water volume of 17.38 MCM. Based on the calculations, the volume of required water for drinking and industrial uses by the year 2041 was determined to be 283.5 MCM, with the required aquifer volume estimated at 1417.5 MCM. Finally, using ArcGIS and the upper and lower boundaries of the aquifer, the minimum groundwater level contour (or maximum depth in well deepening) was determined, ranging from 1250 m in the western and southwestern parts to 1290 m in the eastern and northeastern parts of the aquifer.

مقاله پژوهشی

مجله
آبخوان و قنات

دوره چهارم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۲، صفحات ۱۸۶ - ۱۶۱

10.22077/jaaq.2024.7377.1067

بررسی خصوصیات آبخوان عجب‌شیر و برآورد بیشینه عمق کف‌شکنی چاه‌ها

اکبر خدری [۱]✉ | امیر صابری نصر [۲]

۱. کارشناس ارشد شرکت آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد، مدیر بهره‌برداری و نگهداری سد کوثر و شبکه، گچساران، ایران.

۲. استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

✉نویسنده مسئول: Khedri.hydro@yahoo.com

چکیده

در دهه‌های اخیر، استفاده از آب‌های زیرزمینی برای آبیاری، شرب و صنعت در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران افزایش یافته است. این افزایش، به نوبه خود باعث بهبود امنیت غذایی و کاهش فقر در این مناطق می‌گردد؛ اما تراز سطح ایستابی را کاهش و توسعه پایدار را با نگرانی‌هایی مواجه می‌سازد. این نگرانی‌ها، به‌ویژه در مورد آبخوان آبرفتی دشت عجب‌شیر که در تأمین آب شرب و کشاورزی منطقه مذکور نقش به سزایی دارد، افزایش یافته است. با توجه به رشد جمعیت و نیاز حجم بیشتری از منابع آب زیرزمینی، مطالعه و ارزیابی کمیت و کیفیت آب مورد نیاز در این منطقه برای افق‌های پیش‌رو و کف‌شکنی چاه‌های تأمین آب بسیار حائز اهمیت است. روش‌های متعددی به منظور تعیین عمق بهینه و حداکثر عمق کف‌شکنی وجود دارد. با این حال، این مطالعه به‌جای مطالعات و محاسبات نسبتاً پیچیده مدل‌سازی و بیلان، بر نوسانات تراز سطح آب زیرزمینی به عنوان نتیجه‌ای از آنها تأکید دارد. بدین‌منظور، پس از گردآوری داده‌های چاه‌های بهره‌برداری، نمونه‌برداری و اکتشافی، نقشه‌های هم عمق، هم‌تراز و تغییرات سطح آب زیرزمینی، سنگ کف در محیط GIS ترسیم گردیدند. سپس آب‌نمود معرف دشت جهت تعیین مقدار افت سطح آب زیرزمینی تهیه شد. رشد جمعیت و نیاز آبی برای افق ۱۴۲۰ تعیین شد. یافته‌های این پژوهش حاکی از این است که برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، پیامدهایی نظیر افت سطح آب زیرزمینی (معادل ۶ متر)، کاهش کیفیت آب زیرزمینی و متعاقب آن فرونشست زمین را به‌دنبال خواهد داشت. در چند سال اخیر آبدهی منابع آب زیرزمینی به طور چشمگیری کاهش یافته و حتی تعدادی از آن‌ها به‌خصوص زهکش‌ها و قنات‌ها کاملاً خشک شده است. حداقل تراز برای کف شکنی چاه‌ها در آبخوان عجب‌شیر بین ۱۲۵۰ متر تا ۱۲۹۰ متر متغیر است. مقایسه مصرف سرانه در دوره طرح و حجم محاسبه شده از آبخوان و آب زیرزمینی نشان می‌دهد که میزان ذخیره آب زیرزمینی آبخوان، پاسخ‌گوی نیاز دوره طرح نیست و به‌منظور حفظ حداقل منابع آب موجود، توقف کف‌شکنی چاه‌ها امری ضروری است، مگر در مواردی که عمق چاه‌ها نسبت به چاه‌های اطراف به‌طور محسوس کمتر است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۹

کلیدواژه‌ها:
دشت عجب‌شیر،
آب زیرزمینی،
نیاز آبی،
کیفیت.

مقدمه

در مقیاس جهانی، منابع آب شیرین در دسترس، موضوع بسیاری از مناقشات است. جمعیت جهان، در حال رشد و استانداردهای زندگی، در حال افزایش است که به نوبه خود سبب افزایش تقاضای آب با کیفیت عالی می‌شود. افزایش تقاضای آب، در مجموع باعث حفاظت نامناسب و مدیریت استراتژیک ضعیف منابع آب شیرین می‌شود (Brielmann, 2008). همراه با صنعتی شدن و پیشرفت صنعت و تکنولوژی، نیازهای آبی نیز بیشتر می‌گردد و نوع آلاینده‌ها نیز تغییر می کند. همچنین تغییرات اقلیمی در مقیاس‌های مختلف جهانی و محلی، رشد بیش از حد برداشت و بهره‌برداری نامناسب از این منابع و مدیریت ضعیف در سال‌های اخیر سبب شده است که در بیشتر مناطق، کمبود آب وجود داشته (Mensah et al., 2022) و به یکی از نگرانی‌های اصلی بسیاری از کشورها (Rathinasamy et al., 2023) تبدیل گردد. این موضوع در ایران نمود بیشتری نیز دارد، شاهد این مدعا نیز آن است که بسیاری از دشت‌های ایران در ردیف دشت‌های ممنوعه قرار گرفته‌اند. در دهه‌های اخیر مشکل افت سطح آب زیرزمینی در بسیاری از دشت‌های ایران گزارش شده است که از جمله می‌توان به دشت زنجان (Dastjerdy and Emadi, 2020)، مشهد (Rokni et al., 2016) ، دشت سیرجان (Abbasnejad and Shahidasht, 2013)، سمنان (Haddad and Khorasani, 2019)، دشت مرند (Dadashi et al., 2020)، دشت کاشان (Fathi and Noorian-Bidgoli, 2022)، دشت سراب (Sadrykia, 2022)، دشت سلماس (Najafi-Igdir et al., 2023)، دشت مرودشت (Heydari and Jabbari, 2022)، دشت تسوج (Moazamnia and Sadeghfam, 2023)، دشت دهگلان (Ghahroudi-Tali et al., 2023) اشاره نمود. سطح آب‌زیرزمینی در این دشت‌ها به‌دلایل متعددی نظیر توسعه بی‌رویه کشاورزی، خشکسالی‌ها، برداشت بیش از حد مجاز از چاه‌های بهره‌برداری و حفر چاه‌های غیرمجاز دچار افت تدریجی شده و این روند به دلیل افزایش جمعیت و خشکسالی‌های اخیر در کشور نسبت به گذشته تشدید شده است.

تنزل کیفیت آب‌های زیرزمینی یکی از اثرات مهم برداشت بی رویه از منابع آب‌های زیرزمینی می‌باشد. این امر به دلیل افت سطح آب و افزایش غلظت مواد قابل حل در آب به وجود می‌آید که سبب خسارات هنگفت به کشاورزی، سازه‌های آبی و خاک‌هایی می گردند که از این نوع آب‌ها تغذیه می‌شوند. امروزه با توجه به کمبود منابع آب‌های سطحی و نیز هدر رفتن آن‌ها، مهم‌ترین منبع تأمین آب مورد نیاز بخش کشاورزی، صنعت و شرب، منابع آب زیرزمینی می‌باشد. در بسیاری از نقاط کشور آب زیرزمینی به مقدار کافی وجود دارد ولی وجود کیفیت نامطلوب، استفاده از آن‌ها را غیرممکن ساخته است. به طور کلی، بررسی آب‌های زیرزمینی از دو جنبه کمی و کیفی حائز اهمیت می باشد. جنبه کمی آن مربوط به سطح آب در آبخوان و همچنین حجم آب موجود در آن می‌باشد. کیفیت آب زیرزمینی حاصل فرایندها و واکنش‌هایی است که از زمان تراکم آب در اتمسفر تا هنگام برداشت از چاه یا چشمه (تخلیه) بر آن تأثیر می‌گذارند (Dao et al., 2024). ترکیب شیمیایی، بیولوژیکی، مقدار مواد محلول و دما شاخص‌های کیفیت آب و نمایانگر منشأ و مسیر حرکت آن می‌باشند (Todd and Mays, 2005). در بسیاری مناطق دیگر به علل طبیعی و مصنوعی کیفیت آب در معرض نامطلوب شدن قرار گرفته است. در طی سالیان اخیر در کشورهای صنعتی، بیشترین تأکید در مطالعات آب زیرزمینی به‌جای مسائل اکتشاف منابع جدید آب بر روی کیفیت آب‌های زیرزمینی صورت گرفته است. بااین‌حال، در کشورهای در حال توسعه هنوز مبحث مطالعات کیفی آب‌های زیرزمینی و به‌ویژه مطالعات آلودگی، به دلایلی همچون هزینه‌بر بودن مطالعات و وجود پیچیدگی‌های علمی در این‌گونه تحقیقات به‌طور جدی مورد پیگیری قرار نگرفته است.

پایداری آب‌های زیرزمینی مستلزم توسعه و استفاده از آب‌های زیرزمینی بدون ایجاد پیامدهای زیست‌محیطی، اقتصادی یا اجتماعی درازمدت غیرقابل قبول از طریق حکمرانی یکپارچه، سازگار و فراگیر است (Conti and Gupta, 2016; Raghavendra and Deka, 2015). توسعه پایدار در صورتی حاصل می‌گردد که برنامه‌ریزی های انجام شده، متناسب با شرایط اقتصادی، اجتماعی و طبیعی حاکم بر آن منطقه و همچنین

استعدادهای موجود باشد. در کشور ما که جزء مناطق خشک جهان محسوب می‌شود برای رسیدن به توسعه پایدار برنامه‌ریزی بر اساس استعدادهای موجود بسیار مهم و ضروری است. توسعه بیش از حد کشاورزی در بخش‌های مختلف کشور منجر به ایجاد تنش‌های آبی و از دست رفتن منابع راهبُردی آب‌های زیرزمینی شده است. حوضه آبریز دریاچه ارومیه نیز از این مشکل مستثنا نبوده است (Asghari Moghaddam, 2016; Hassani and Dinpajooh, 2017; Motallebian et al., 2020) و افزایش برداشت بیشتر از توان هیدرولیکی آبخوان در این بخش از کشور نیز باعث افزایش محدوده‌های مطالعاتی ممنوعه شده است.

کف شکنی معمولاً در دشت‌های ممنوعه و ممنوعه بحرانی صورت می‌گیرد و به منظور افزایش آبدهی و به دلیل نقصان آبدهی چاه نسبت به میزان مجوز بهره برداری انجام می‌گیرد. در دشت‌های ممنوعه و ممنوعه بحرانی، افت سطح آب زیرزمینی به طور فزاینده‌ای در حال افزایش است و هرگونه افزایش آبدهی و بهره برداری از چاه‌ها، باعث تشدید بحران خواهد شد. با توجه به اهمیت راهبردی تأمین نیاز شرب و صنعت، صدور مجوز کف شکنی چاه‌های با مصارف کشاورزی در دشت‌های ممنوعه بحرانی، ممنوعه و حتی آزاد باید طوری انجام گیرد که بخش باقی‌مانده آبخوان توانایی تأمین نیاز آب شرب و صنعت منطقه برای افقی معین را داشته باشد. علاوه بر این، تغییرات کیفیت آبخوان نیز باید مد نظر قرار گیرد، زیرا افت سطح آب زیرزمینی باعث کاهش کیفیت منابع آب نیز خواهد شد.

تأمین آب کشاورزی به‌خصوص از منابع زیرزمینی به دلایل ذکر شده در بالا، با مشکل مواجه است. بنابراین جابجایی و کف شکنی چاه‌های آب زیرزمینی موجود به عنوان یکی از راه‌های تأمین آب مورد نیاز در بخش کشاورزی مطرح است. از این رو جابجایی و کف شکنی چاه‌های آب زیرزمینی امری اجتناب‌ناپذیر است؛ اما مقدار جابجایی و کف شکنی چاه‌های آب زیرزمینی خود مسئله‌ای است که از ابعاد مختلف باید مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. همچنین، مواردی همچون چگونگی تأثیر جابجایی و کف شکنی چاه‌های آب زیرزمینی بر توسعه پایدار نیز باید مورد بررسی قرار گیرد.

تعیین عمق کف‌شکنی در مطالعات متعددی در کشور مورد بررسی قرار گرفته است. مجرد و صبوحی (Mojarrad and Saboohi, 2010) به بررسی عمق بهینه برای کف‌شکنی چاه‌های کشاورزی دشت بجنورد پرداختند. آنها با برنامه‌ریزی غیرخطی نشان دادند که کف‌شکنی تا عمق ۲۰۵ متر در این دشت مقرون به صرفه خواهد بود. موسوی و غلامی (Mosavi and Gholami, 2012) چنین مطالعه‌ای را در دشت سیدان - فاروق مرودشت انجام دادند و عمق ۱۳۸ متر در این دشت را مقرون به صرفه دانستند. رضایی و همکاران (Rezaei et al., 2019) با استفاده از مدل MODFLOW در GMS بیشینه عمق کف‌شکنی (عمق بحرانی) چاه‌های کشاورزی دشت مهاباد را ۱۱۵ متر برآورد نمودند. نوری و همکاران (Noori et al., 2021) در مطالعه‌ای به بررسی وضعیت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی دشت ابهر و تعیین حداکثر عمق کف‌شکنی چاه‌ها پرداختند. آنها پس از ارزیابی حجم آبخوان، حداکثر عمق کف‌شکنی چاه‌ها را با تلفیق لایه های سنگ کف، سطح ایستابی و توپوگرافی توسط GIS، بین ۱۵ تا ۲۳۵ متر برآورد نمودند. زراعتی و همکاران (Zeraati et al., 2022) از مدل WEAP برای تعیین عمق بهینه کف‌شکنی چاه‌ها در حوضه آبریز خاش استفاده کردند. آنها پس از بررسی سناریوهای متعدد (صرفه‌جویی در آب شرب روستایی و شهری، صنعت، کشاورزی، استفاده از رواناب و کاهش سطح زیر کشت) به این نتیجه رسیدند که تا سال ۲۰۴۴، حداکثر عمق بهینه چاه‌ها، ۶۹/۱۸ متر و حداقل آن، ۵۵/۱۹ متر خواهد بود که بستگی به سناریوی اعمال شده دارد.

آنچه مسلم است نسل حاضر اگر سقف برداشت از منابع آبی موجود را رعایت نکند؛ برای تأمین آب شرب نسل های بعد با مشکل مواجه خواهند بود. هدف نهایی از پژوهش حاضر، تعیین سقف کف‌شکنی چاه‌های بهره برداری (به‌خصوص چاه‌های کشاورزی) است. در این پژوهش، با توجه به آمار و اطلاعات موجود و دستورالعمل تعیین سقف کف‌شکنی چاه‌ها در دشت ممنوعه عجب‌شیر، شرایط حاکم در محدوده مطالعاتی مورد بررسی و نیاز شرب، صنعت و کشاورزی تا افق ۱۴۲۰ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. حفر غیر اصولی چاه های متعدد و برداشت بی‌رویه از لایه زیرین باعث

اختلاط آب شور لایه بالایی با آب شیرین شده است. همچنین کاهش بارش و افزایش تبخیر در سال‌های اخیر باعث شده است که از میزان آب‌های با کیفیت خوب کاسته شود. مدیریت منابع آب به صورت جامع و یکپارچه در منطقه مطالعاتی تاکنون انجام نشده است و از این رو سیاست‌ها و اقداماتی که در جهت بهبود شرایط برخی از بخش‌های مصرف‌کننده یا متقاضی آب (کشاورزی، شهری، صنعتی، محیط زیست و اکوسیستم ها) بدون در نظر گرفتن این موضوع تدوین می‌شود، می تواند باعث اثرات سوء بر دیگر متقاضیان آب شود. به بیان‌دیگر، استفاده از آب در یک بخش، یا در یک سطح و مکان از دشت، اثرات مستقیمی بر کمیت و کیفیت آب برای دیگر بخش-ها و مناطق دشت دارد. از این‌رو، تعیین سقف کف‌شکنی چاه‌ها جهت استفاده از منابع آب زیرزمینی در محدوده‌های مطالعاتی عجب‌شیر جهت رفع مشکلات موجود ضروری است. در دستورالعمل ضوابط تعیین سقف کف‌شکنی چاه‌ها، اصل لزوم برقراری محدودیت برای کف‌شکنی چاه‌های کشاورزی و عدم برداشت منابع آب زیرزمینی بیشتر از توان هیدرولیکی آبخوان نیز بسیار حائز اهمیت و مورد تأکید قرار گرفته است.

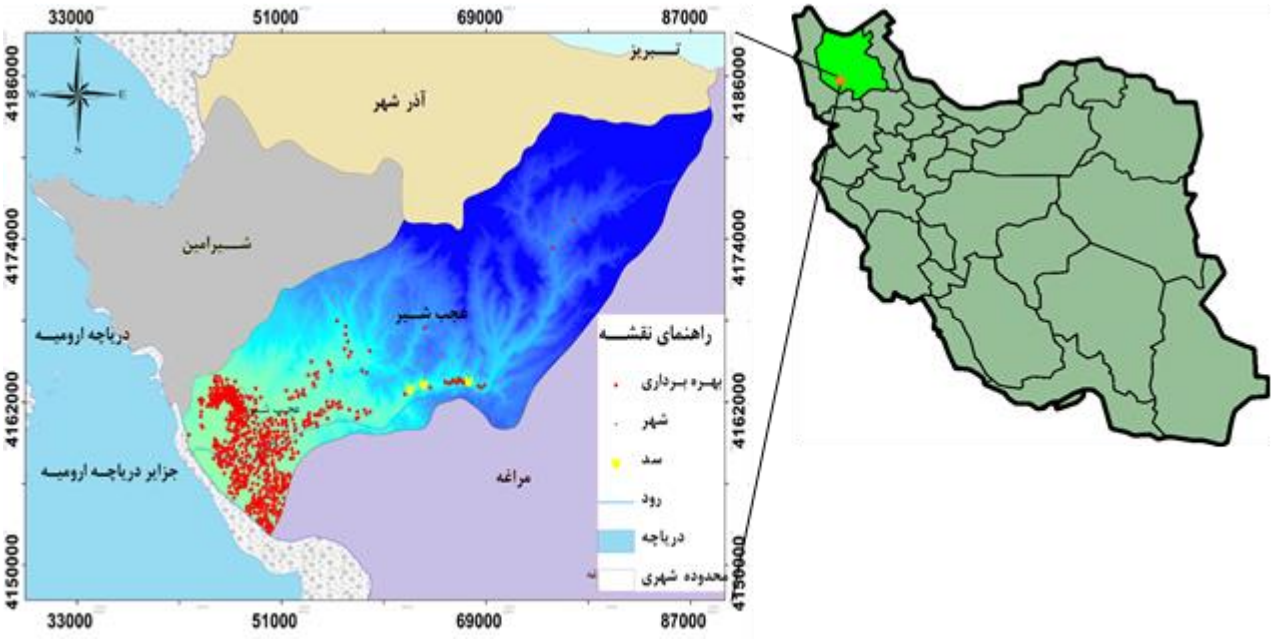
مواد و روش‌ها

برای این مطالعه، گزارش‌های هواشناسی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، مدل ریاضی کمی و کیفی و مدل بهره-برداری بهینه منابع آب زیرزمینی محدوده، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. آمار و اطلاعات هواشناسی مورد نیاز از قبیل درجه حرارت، بارش، تبخیر به صورت ماهانه از ایستگاه‌های محدوده‌های مورد مطالعه، گردآوری شد. آمار ماهانه مربوط به اندازه گیری‌های عمق و تراز سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای و پیزومتری و همچنین پارامترهای بیلان از قبیل میزان بهره-برداری از منابع آبی محدوده‌های مورد مطالعه از بانک اطلاعاتی شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی استخراج شد. آمار ماهانه آب مورد نیاز مصارف شرب و صنعت شهری از آمار موجود در شرکت آب و فاضلاب استان و آمار ماهانه آب مورد نیاز مصارف شرب و صنعت روستایی از آمار موجود در شرکت آب و فاضلاب روستایی استان آذربایجان شرقی گردآوری شد. با استفاده از داده‌ای در دسترس و دستورالعمل ابلاغی ضوابط تعیین سقف کف‌شکنی چاه‌ها، ابتدا جمعیت شهرها و روستاهای موجود در منطقه مورد مطالعه با استفاده از آمار نفوس و مسکن محاسبه شدند. مصرف سرانه متناسب با جمعیت در سال‌های مختلف محاسبه و حجم آب مورد نیاز شرب و صنعت در سال‌های مختلف برآورد شد. با در نظر گرفتن پستی و بلندی سنگ کف، کل حجم آب مورد نیاز تعیین گردید. محاسبات به‌گونه‌ای انجام شد که آب مورد نیاز هر محدوده، در همان محدوده زمانی از آبخوان تهیه شود. در مرحله بعد جمعیت و مصرف سرانه شرب و بهداشت در هر محدوده مشخص و در نهایت، با جمع‌بندی مطالب، عمق کف‌شکنی چاه‌ها محاسبه شده است. به عبارت دیگر، در این بخش با تخصیص میزان آب مورد نیاز به آبخوان، مقدار حجم برداشت، محاسبه و تا عمق مشخصی از آبخوان به منظور سقف حریم کف شکنی به مصارف شرب، کشاورزی و صنعت اجازه برداشت داده شد.

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی عجب‌شیر در حوضه آبریز ارومیه و در فاصله ۹۰ کیلومتری جنوب غرب تبریز واقع شده است. راه‌آهن تهران تبریز و جاده آسفالته تبریز مراغه که از بخش میانی دشت عجب‌شیر می‌گذرد؛ راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه هستند. محدوده مطالعاتی عجب‌شیر از غرب و جنوب غرب به دریاچه ارومیه و از شمال به محدوده‌های مطالعاتی آذرشهر و شیرامین و از جنوب و شرق به حوضه آبریز صوفی‌چای و قبی‌چای محدود می‌گردد. ارتفاع محدوده مطالعاتی از شرق به غرب، به عبارت دیگر، از دامنه‌های غربی کوه سهند به سمت دریاچه ارومیه کاسته می‌شود. محدوده مطالعاتی عجب‌شیر ۶۶۵ کیلومترمربع وسعت دارد که ۵۳۷/۸ کیلومترمربع آن کوهستانی و ۱۲۷/۲ کیلومترمربع آن دشت است. مرتفع‌ترین بخش محدوده مطالعاتی عجب شیر دارای ارتفاعی حدود ۳۴۱۲ متر در ارتفاعات کوه سهند (کوه سارمساخلی) و پایین‌ترین نقطه حوضه در مجاورت دریاچه ارومیه (تراز ارتفاعی ۱۲۷۴ متر از سطح دریای آزاد) است. رودخانه فصلی قلعه‌چای از دامنه‌های سهند سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از

اراضی روستاهای هرگلان، ینگجه، تجرق، صومعه، زاویه، گنبد، ولنجق، خانیان، شیشوان و شهر عجب‌شیر به دریاچه ارومیه می‌ریزد. اقلیم محدوده مطالعاتی عجب‌شیر بر اساس اقلیم نمای آمبرژه از نوع نیمه‌خشک سرد است. بارش‌های جوی، منبع اصلی کلیه آب‌های سطحی و زیرزمینی است و به دلیل تأثیر عوامل آب و هوایی بر تغییرات کمی و کیفی آب‌ها، مطالعات هواشناسی و اقلیم در جوار کلیه مطالعات مرتبط با آب های سطحی و زیرزمینی ضروری است. شهرستان عجب شیر ۷۳۸/۴۴ کیلومترمربع وسعت دارد و تعداد ۲ بخش، ۱ شهر و ۲ دهستان است. شکل ۱ موقعیت محدوده مطالعاتی عجب‌شیر را نشان می‌دهد.



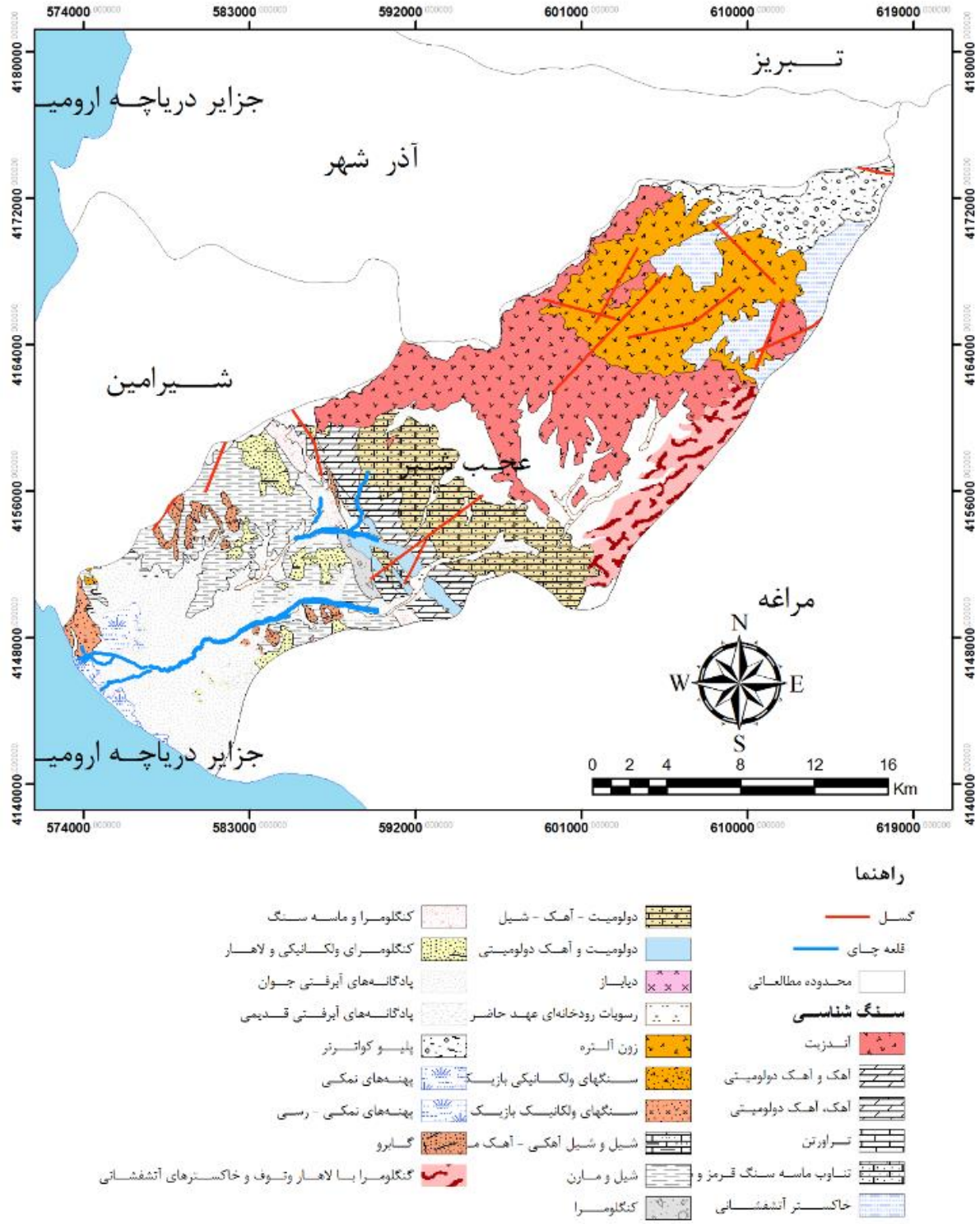
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی عجب‌شیر.

Fig 1. The Geographical location of Ajabshir study area.

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

از آنجا که تعیین دقیق حداکثر عمق کف‌شکنی چاه‌ها مستلزم در اختیار داشتن داده‌های مناسب از شرایط سفره آب زیرزمینی همانند مرزها، خصوصیات هیدرودینامیکی، وضعیت سنگ کف و... می‌باشد، انجام مطالعات زمین‌شناسی قبل از بررسی‌های هیدروژئولوژیکی، غیرقابل اجتناب می‌باشد. مطالعات زمین‌شناسی برای تعیین سازنده‌ای منطقه، درصد رخنمون هر یک از آن‌ها، تأثیر سازندها بر کیفیت و کمیت آب لایه آبدار، تعیین محدوده هندسی آبخوان و ارتباط آن با سازنده‌ای مجاور صورت می‌گیرد. همچنین با توجه به تأثیر تکتونیک در تشکیل و تغذیه آبخوان، ضروری است تا در مورد زمین ساخت منطقه نیز مطالعات اساسی صورت گیرد. با این توضیح، هدف از بررسی زمین‌شناسی محدوده‌های مورد مطالعه، معرفی سازندها و ساختارهای زمین‌شناختی موجود است تا به عنوان اطلاعات پایه جهت تعیین دقیق‌تر سقف کف شکنی چاه‌ها در این دشت‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی در زون البرز آذربایجان قرار دارد. زون آذربایجان حوادث زیادی را پشت سر گذاشته که آثار آن از پرکامبرین (دگرگونی های زنجان، میانه، خوی و شمال ارومیه تا عهد حاضر (ولکانیسم سبلان و سهند) قابل مشاهده است. شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی عجب‌شیر را نشان داده است.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی عجب‌شیر.

Fig 2. The geological map of Ajabshir study area.

در طی دوران سنوزوئیک زون البرز آذربایجان به‌شدت تحت تأثیر فازهای کوه‌زایی آلپ قرار داشته است و همانند البرز مرکزی، در طی ائوسن، فعالیت آتشفشانی زیردریایی در آذربایجان گسترش داشت به‌نحوی که به سمت باختر بر شدت فعالیت افزوده می‌شود. وجود توده های نفوذی، اغلب با جنس گرانیتی و سینیتی، که در داخل توفیت‌های سبز تزریق می‌شود و آتش‌فشان‌های عظیم سهند و سبلان، نشانه‌ای از ادامه آخرین فعالیت

ماگماتیسم فاز آلپی پایانی در این محدوده است. در الیگوسن رسوبات بیشتر از نوع تخریبی و کم عمق دریایی و تقریباً بدون فعالیت آتشفشانی بوده است. لازم به ذکر است که پس از بالاآمدگی ناشی از چین‌خوردگی الیگوسن آغازی، رسوبات دریایی قم در بخش‌های مرکزی و منتهی‌الیه شمال خاوری و باختری آذربایجان ته‌نشین شده است. بخش زیرین این رسوبات را نمک، گچ و انیدریت تشکیل داده و به حالت بین لایه‌ای در آن رس و سیلت دیده می‌شود. تنها سنگ رسوبی قابل ملاحظه دوران چهارم (کواترنر) مربوط به رسوبات آهکی، توف‌های آهکی، تراورتن و مرمر سفید است. مساحت رسوبات سازند زاگون – لالون در منطقه عجب شیر در حدود ۱۰ الی ۱۲ کیلومترمربع است و ضخامت این رسوبات نیز در حدود ۱۸۰ متر برآورد گردیده است. سازند زاگون-لالون دارای شیل‌های قرمز تا قهوه‌ای و به ندرت خاکستری رنگ همراه با سیلتستون‌های نازک لایه و افق‌های ماسه‌ای دانه‌ریز است. سازند زاگون – لالون به دلیل فقدان سختی و تراکم سیمان به‌راحتی فرسایش‌پذیر هستند و به صورت مناطقی با شیب کم دیده می‌شوند. گسترش نهشته‌های کواترنر در منطقه زیاد بوده که شامل کنگلومراها با اجزای آتشفشانی و ماسه‌سنگ و توف برشی است و رسوبات جوان‌تر وابسته به رسوبات آبرفتی قدیم و جدید رؤیت می‌شود.

نتایج و بحث

جمعیت و پراکنش آن در محدوده مورد مطالعه

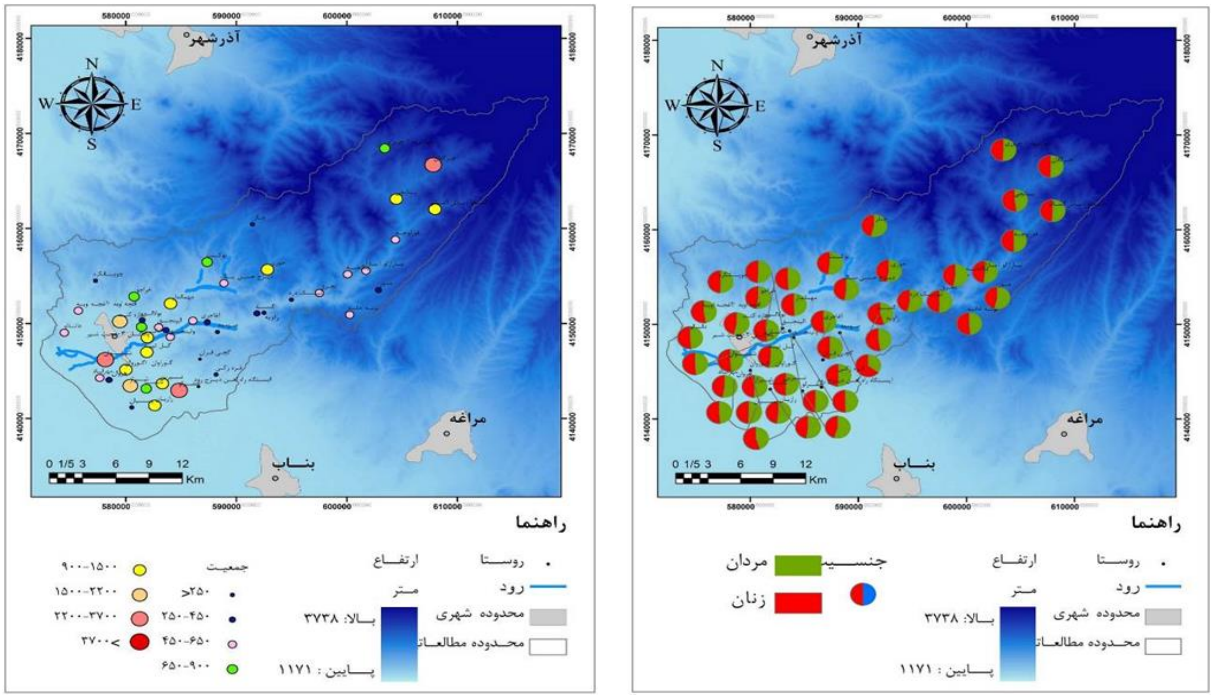
جمعیت به‌عنوان عاملی که بیشترین تأثیر را بر محیط به‌جای می‌گذارد و موجب تغییرات شرایط اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی می‌گردد؛ اهمیت و جایگاه ویژه‌ای دارد. همچنین شناخت عوامل مربوط به جمعیت و به‌طورکلی نیروی انسانی، مقوله‌ای بسیار پیچیده است. به منظور بررسی وضعیت جمعیتی شهرهای محدوده طرح از اطلاعات مربوط به سرشماری‌های عمومی نفوس و مسکن در دوره‌های گذشته استفاده شده است. در مجموع با توجه به اهمیت بررسی وضعیت جمعیتی و تأثیرگذاری نوسانات نرخ رشد جمعیت در برنامه‌ریزی های آتی، در مطالعه حاضر در ابتدا وضعیت تغییرات جمعیت در دهه‌های گذشته در شهرهای واقع در محدوده دشت مورد مطالعه تحلیل گردیده است، سپس بر اساس میانگین نرخ‌های رشد منطقی محاسباتی و نرخ رشد پیش‌بینی‌شده، جمعیت برای سال‌های آتی برآورد شده است. در این بخش از مطالعات به‌هنگام سازی طرح جامع آب کشور، حوضه‌های آبریز دریای خزر و دریاچه ارومیه نیز کمک گرفته شده است. در شکل‌های ۳-الف و ب) به‌ترتیب جمعیت و نسبت جنسیتی مناطق مسکونی واقع در محدوده مطالعاتی آمده است.

برآورد جمعیت ۲۰ ساله در مناطق شهری و روستایی محدوده مورد مطالعه

بررسی وضعیت دوره‌های گذشته در مناطق واقع در محدوده مورد مطالعه حاکی از روند بعضاً کاهشی جمعیت طی دوره‌های مختلف آماری است؛ با این حال، پیش‌بینی افق‌های آینده افزایش در میزان جمعیت را نشان می‌دهد. جدول (۱) پیش‌بینی جمعیت در شهرها و روستاهای واقع در محدوده مورد مطالعه را ارائه می‌دهد. همچنین در شکل‌های (۴-الف و ب) پیش‌بینی جمعیت محدوده‌های مطالعاتی عجب‌شیر برای مناطق مسکونی در افق ۱۴۱۰ و ۱۴۲۰ آمده است.

آب مورد نیاز سالانه

آب مورد نیاز سالانه پارامتری است که محاسبه آن جهت اطمینان از ظرفیت منابع آب انتخابی در طول سال ضروری است. میزان این پارامتر براساس جمعیت پیش‌بینی شده در افق طراحی و متوسط مصرف سرانه محاسبه می‌گردد. بر اساس تقسیم‌بندی انجام‌گرفته، مقدار آب مورد نیاز برای سال‌های ۱۴۱۰ و ۱۴۲۰ محدوده مورد مطالعه مطابق جدول (۲) محاسبه گردیده است. در شکل (۵) توزیع مقدار مصرف کلی سرانه آب در محدوده عجب‌شیر برای سال‌های ۱۴۰۰، ۱۴۱۰ و ۱۴۲۰ آمده است. مقدار متوسط آب مورد نیاز در افق ۱۴۲۰ باید به عنوان ذخیره راهبردی آبخوان در نظر گرفته شود.

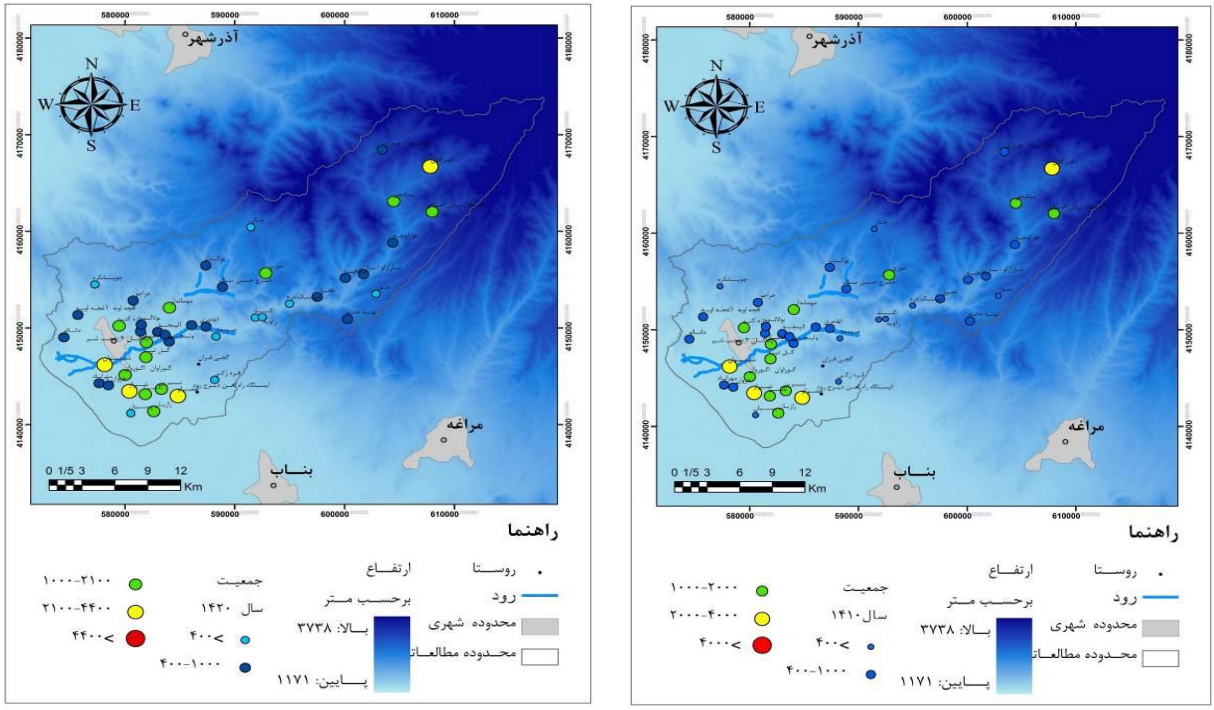


الف) ب)

a) b)

شکل ۳. الف) جمعیت و ب) نسبت جنسیتی مناطق مسکونی واقع در محدوده مطالعاتی عجب‌شیر.

Fig 3. a) Population and b) human sex ratio of residential areas located in the Ajabshir study area.

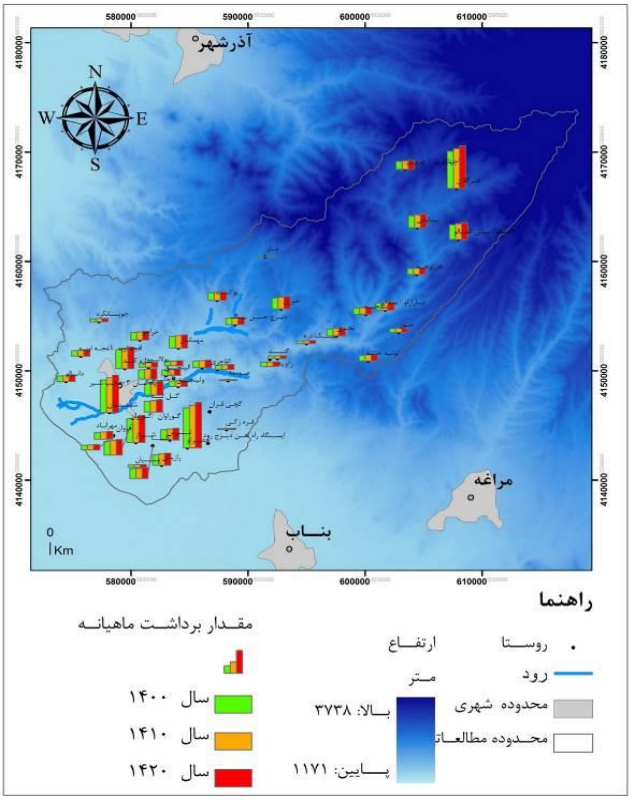


الف) ب)

a) b)

شکل ۴. پیش‌بینی جمعیت مناطق مسکونی واقع در محدوده مطالعاتی عجب‌شیر الف، (افق ۱۴۱۰)و ب، (افق ۱۴۲۰).

Fig 4. Population growth in residential areas located in the Ajabshir study area a) horizon 2031 and b) horizon 2041.



شکل ۵. توزیع مقدار مصرف کلی سرانه آب در محدوده عجب‌شیر برای سال‌های ۱۴۰۰، ۱۴۱۰ و ۱۴۲۰.

Fig 5. Distribution of total per capita water consumption in Ajabshir for the years 2021, 2031 and 2041

جدول ۱. پیش‌بینی جمعیت در شهرستان عجب‌شیر در سال‌های مختلف.

Table 1. Population growth in Ajabshir city for different years.

سال Year	1405 2026	1410 2031	1415 2036	1420 2041
جمعیت Population	42807	44239	45718	47247

جدول ۲. مقدار متوسط آب مورد نیاز شهر عجب‌شیر.

Table 2. The average amount of water needed in Ajabshir city.

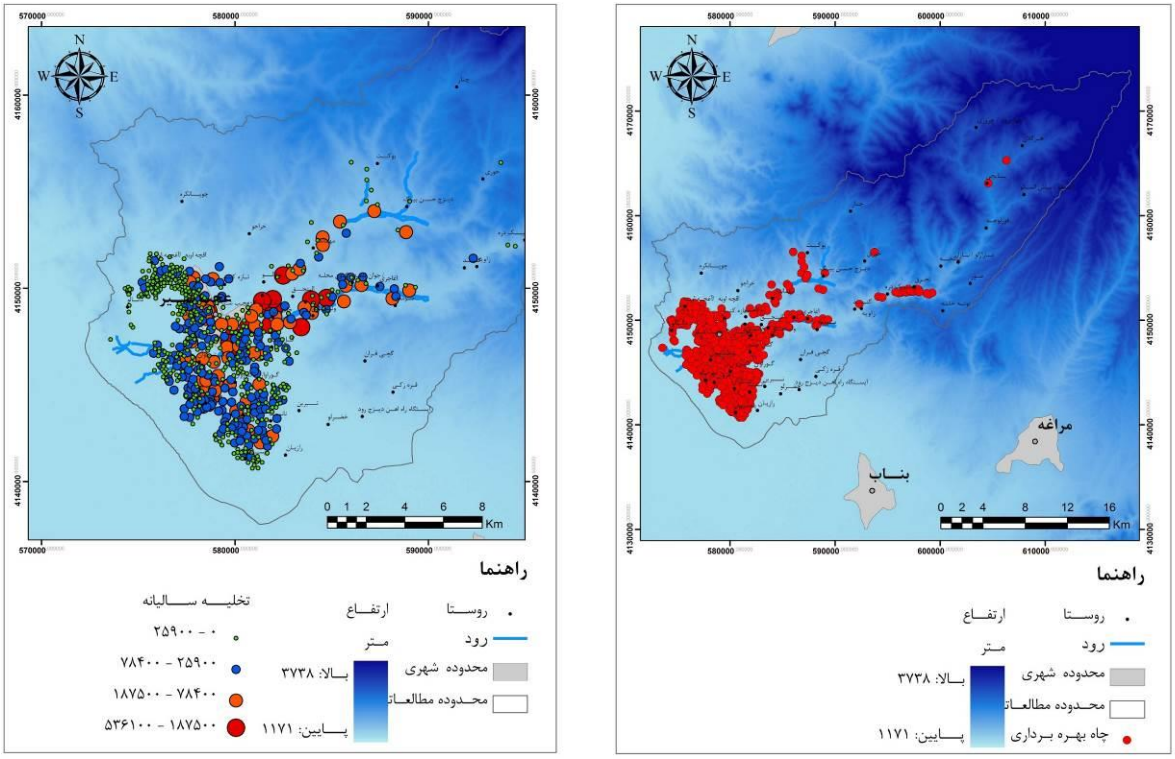
سال year	جمعیت population	متوسط آب مورد نیاز The mean of water demand		
		روزانه (متر مکعب) Daily (m^3)	ماهانه (متر مکعب) Monthly (m^3)	سالانه (متر مکعب) Annual (m^3)
1410 (2031)	44239	7609	228272	2739260
1420 (2041)	47247	8126	243793	2925516

ارزیابی وضعیت منابع آب زیرزمینی و آبخوان دشت عجب‌شیر

بهره‌برداری از آبخوان اصلی محدوده مطالعاتی عجب‌شیر به کمک تعدادی چاه عمیق و نیمه عمیق و همچنین تعدادی قنات صورت می‌گیرد. همچنین در بخش‌های کوهستانی و در سنگ‌های درز و شکاف‌دار، تعدادی چشمه با آبدهی کم نیز وجود دارند.

تعداد منابع آب در محدوده‌های دشت عجب‌شیر بر پایه آمارهای سال ۱۳۹۴ شامل ۱۳۲۵ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق، ۱۶ رشته قنات و ۶۷ دهنه چشمه است. از آنجا که سطح آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی بالا است؛ حفر

چاه نیمه عمیق و بهره‌برداری از آن سهل بوده و تعداد بالایی چاه نیمه عمیق در محدوده‌های مورد مطالعه وجود دارد. از اغلب چاه‌های محدوده‌های مورد مطالعه برای مصارف کشاورزی برداشت می‌شود؛ ولی برخی از چاه‌ها نیز برای مصارف شرب و صنعت به کار می‌روند. حجم مقدار آب برداشت شده در سال آبی ۹۳-۱۳۹۲ از چاه‌های محدوده عجب‌شیر برابر ۱/۹۳ میلیون مترمکعب است. در شکل (۶) پراکندگی چاه‌های بهره‌برداری و مقدار تخلیه سالانه چاه‌های بهره‌برداری محدوده مطالعاتی عجب‌شیر آمده است.



الف)

a)

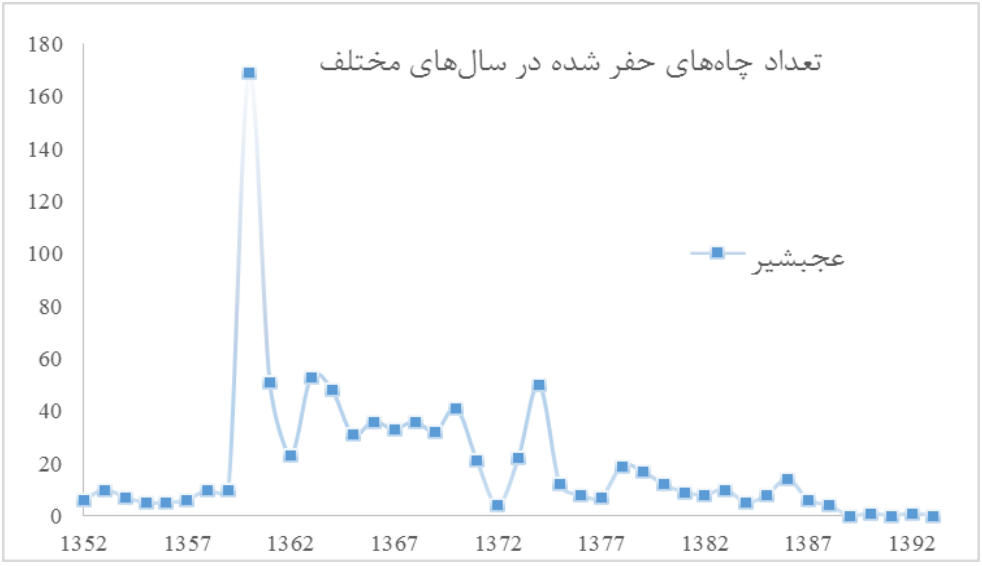
ب)

b)

شکل ۶. الف) پراکندگی چاه‌های بهره‌برداری و ب) مقدار تخلیه سالانه چاه‌های بهره‌برداری محدوده مطالعاتی عجب‌شیر.

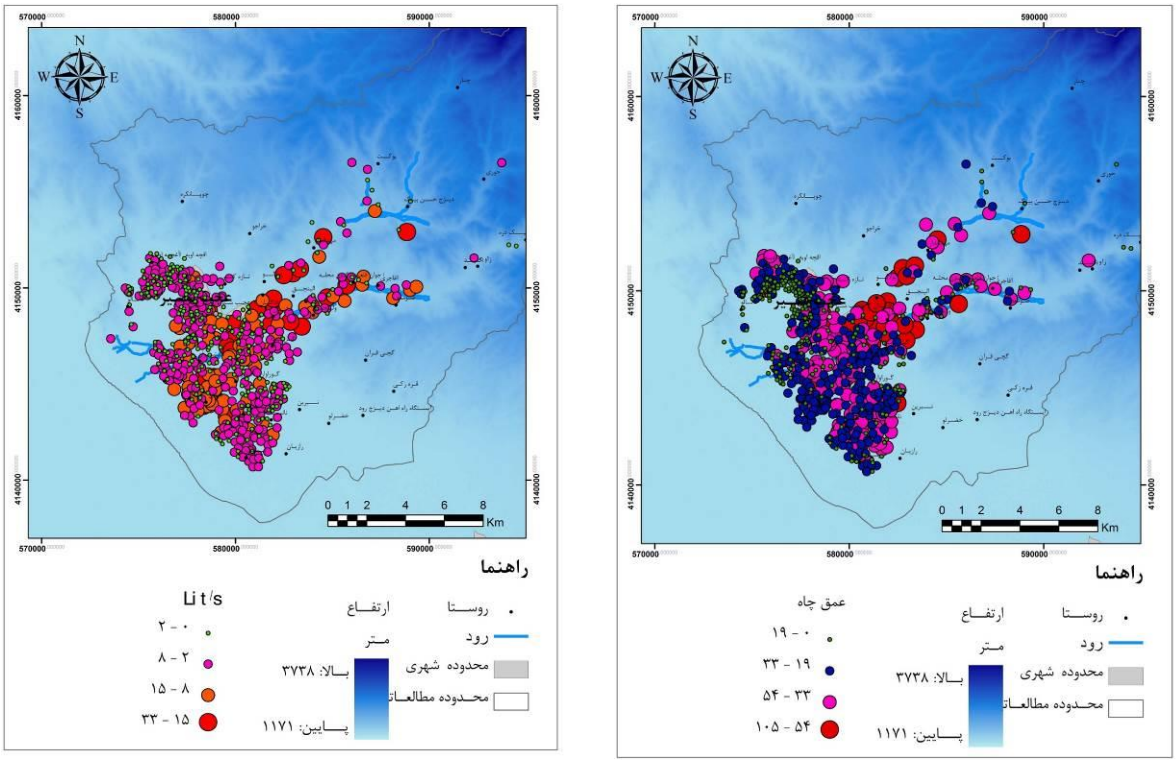
Fig 6. a) Spatial distribution of production wells and b) The amount of annual discharge of production wells in the Ajabshir study area.

شکل (۷) تعداد چاه‌های حفر شده در سال‌های مختلف را بر اساس آمار موجود نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، تعداد چاه‌های حفر شده در سال آبی ۱۳۶۰، بیش‌ترین مقدار برای آبخوان عجب‌شیر است. علاوه بر این، همان گونه که مشاهده می‌گردد، تعداد حفاری چاه‌های آب زیرزمینی به‌خوبی کاهش پیدا کرده است. مقدار عمق چاه های بهره‌برداری در بخش‌های مختلف آبخوان متفاوت است. عمق و مقدار چاه حفر شده نیز یکی از عامل‌های مهم محاسبه مقدار برداشت از منابع آب زیرزمینی است؛ زیرا مقدار آب در دسترس با افزایش عمق، بیشتر می‌گردد. عمق متوسط چاه‌های محدوده عجب‌شیر ۲۳ متر است. چاه‌ها به عنوان اصلی‌ترین منبع تخلیه آبخوان آبرفتی در محدوده عجب‌شیر هستند که اکثر آن‌ها، همان طور که بیان‌شده، کاربری کشاورزی دارند. در شکل‌های (۸) الف و ب به‌ترتیب عمق و مقدار دبی چاه‌های بهره‌برداری محدوده مطالعاتی عجب‌شیر آمده است.



شکل ۷. روند افزایشی تعداد چاه‌های حفر شده در سال‌های مختلف.

Fig 7. The increasing trend of the number of drilled wells in different years.



الف) **ب)**

a) **b)**

شکل ۸. الف) عمق چاه‌های بهره‌برداری و ب) دبی چاه‌های بهره‌برداری محدوده مطالعاتی عجب‌شیر.

Fig 8. a) the depth of production wells and b) The discharge of production wells of the Ajabshir study area.

براساس آخرین آمار موجود، تعداد ۱۶ رشته قنات در محدوده عجب‌شیر وجود دارد. دبی قنات‌های موجود در محدوده عجب‌شیر حداقل ۳ لیتر تا حداکثر ۱۳۰ لیتر در ثانیه در تغییر هستند. در این محدوده، بسیاری از قنوات به دلیل توسعه بهره‌برداری از آبخوان به‌وسیله چاه، خشک شده‌اند. طولانی‌ترین قنات دشت عجب‌شیر قنات شیشوان کهریزی در روستای شیشوان با ۲ کیلومتر طول است که مادر چاه آن ۹ متر عمق دارد. مجموع تخلیه سالانه قنوات در محدوده عجب‌شیر، حدود ۷/۳ میلیون مترمکعب در سال برآورد می‌شود. تعداد ۶۷ دهنه چشمه به‌ترتیب در محدوده‌های عجب‌شیر شناسایی شده است. حداقل و حداکثر آبدهی چشمه‌ها در این محدوده بین ۰/۱ تا ۷۵ لیتر بر ثانیه است. این چشمه‌ها آبخوان‌های عجب‌شیر را تخلیه نمی‌کنند و اغلب منابع آب اطراف سازنده‌ای سخت محدوده مورد مطالعه را تخلیه می‌کنند. منابع آب تخلیه شده از سازنده‌ای درز و شکافدار، اغلب با حجم کم و در ارتفاعات قرار داشته و بیشتر، چشمه‌های کوچک این منابع را تخلیه می‌کنند.

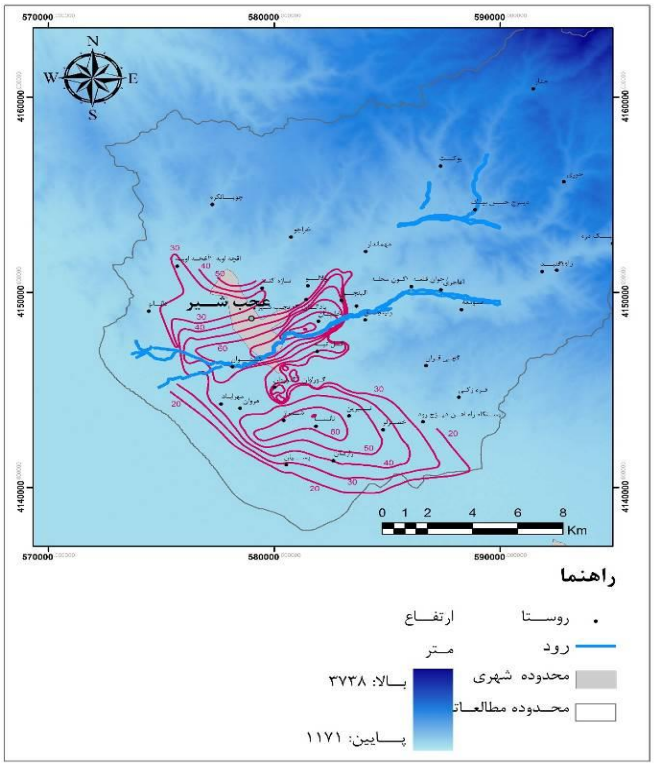
به منظور بررسی وضعیت سنگ کف، ضخامت و جنس آبرفت و جنس سنگ کف در آبخوان می‌توان از مطالعات و داده‌های مختلف شامل مطالعات ژئوفیزیک، لاگ چاه‌های حفاری و عمق چاه‌های بهره‌برداری استفاده نمود. مطالعات ژئوفیزیک در صورت اجرا و تفسیر نتایج، اطلاعات نسبتاً دقیقی از وضعیت عمق سنگ کف در اختیار قرار می‌دهند. استفاده از عمق چاه‌های بهره‌برداری نیز در صورتی که چاه ها تا سنگ کف نفوذ کرده باشند، اطلاعات دقیق از حداقل عمق سنگ کف در محل حفر چاه به‌دست می‌دهند. با توجه به بررسی گمانه‌های حفاری محدوده مطالعاتی، بیش ترین ضخامت آبرفت در بخش‌های جنوب و مرکزی آبخوان عجب‌شیر و حداقل ضخامت در حوالی روستای دانالو است. در لاگ گمانه‌های حفاری، میزان سیلت و رس از شمال به جنوب افزایش می‌یابد. در مکان‌های مختلف در دشت عجب‌شیر، جنس سنگ کف آبخوان آزاد تفاوت دارد و بیشتر از نوع رسوبات دریاچه‌ای ریزدانه و سنگ آذرین است.

آبرفت‌های منطقه از پادگانه‌های قدیمی، پادگانه‌های جوان و آبرفت‌های جدید رودخانه‌ای تشکیل شده است. ضخامت آبرفت در دامنه‌ها کم است و به تدریج به سمت بخش میانی به‌ویژه میانه بادزن آبرفتی قلعه چای افزایش پیدا می‌کند. به طور کلی ضخامت آبرفت از بخش میانی به سمت دریاچه ارومیه به تدریج کاهش می‌یابد و در کناره شوره‌زارهای منطقه حدود ۲۰ متر برآورد می‌شود. سنگ کف آبخوان دشت عجب‌شیر در نقاط مختلف متفاوت است. آبخوان دشت عجب‌شیر را می‌توان از نوع آزاد دانست که در پاره‌ای نقاط در بخش‌های جنوب باختری به دلیل وجود لایه‌های کم تراوا به صورت محلی اندکی حالت تحت فشار دارد. در شکل (۹) نقشه هم ضخامت آبخوان آمده است.

یکی از عوامل مهم تغییرات و نوسانات سطح آب زیرزمینی، تغذیه و تخلیه از آبخوان است. دامنه نوسانات به ضریب ذخیره و وسعت آبخوان بستگی دارد. بیش‌ترین و کمترین تراز سطح آب زیرزمینی سالانه به‌ترتیب برای ماه‌های اردیبهشت و آبان است. جهت بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی، هیدروگراف معرف آب زیرزمینی، تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. نمودار هیدروگراف معرف دشت نشان می‌دهد که در چند سال اخیر به‌علت کاهش بارندگی سطح آب زیرزمینی افت شدیدی نموده است. در فصل بهار، سطح آب زیرزمینی به دلیل عدم برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی از آبخوان و تغذیه آبخوان توسط رودخانه، بالا می‌آید. درحالی‌که در فصل تابستان، به سبب خشک شدن و فصلی بودن رودخانه‌های محدوده مورد مطالعه، بسیاری از نیازهای آبی از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردد. به طور کلی، سطح سفره آب زیرزمینی و هیدروگراف از آبان تا اردیبهشت ماه دارای روندی افزایشی و از اردیبهشت تا آبان دارای روند کاهشی است. برای آبخوان عجب‌شیر، سطح ایستابی بر اساس هیدروگراف معرف، روندی کاهشی دارد. در شکل (۱۰) وضعیت آبخوان عجب‌شیر (میانگین تجمعی تغییر سطح ایستابی) از ابتدای تشکیل شبکه سنجش تا سال ۹۹-۹۸ آمده است.

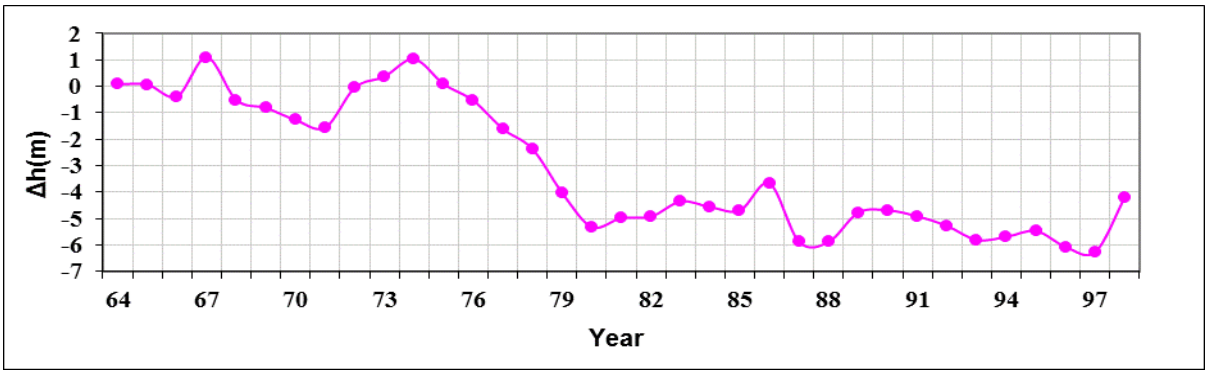
جهت جریان و شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی به توپوگرافی سطح زمین بستگی دارد که در ارتفاعات و مناطق تغذیه، شیب آب زیرزمینی زیادتر از سایر نقاط است. در شکل ۱۱ به‌ترتیب منحنی‌های هم پتانسیل آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر برای ماه-های اردیبهشت و آبان ۱۳۹۳ آمده است.

جهت جریان آب زیرزمینی از ارتفاعات شمال غربی به سمت مناطق پست و شوره‌زارهای کنار دریاچه است. میانگین عمق آب زیرزمینی در آبخوان دشت عجب‌شیر در حدود ۱۰ تا ۱۵ متر است. در بخش کوچکی از آبخوان (مجاور روستای دانالو) سطح آب زیرزمینی بالا است که باعث تبخیر آب از آبخوان در این منطقه می‌شود. به طور کلی، حداکثر مقادیر سطح ایستابی در قسمت‌های شمال و شمال‌شرق دشت (منطقه تغذیه) است که به سمت جنوب و جنوب غرب از مقدار آن کم می‌شود. جهت جریان آب زیرزمینی به طور کلی از جهت جریان آب‌های سطحی در منطقه تبعیت می‌کند. میزان شیب هیدرولیکی در نقاط مختلف دشت متفاوت بوده و در نواحی تغذیه دشت و در نقاط ورودی به محدوده بیلان حدود ۵ تا ۱۰ در هزار و در نواحی تخلیه و خروجی محدوده دشت، شیب هیدرولیکی جریان آب زیرزمینی حدوداً برابر ۲ در هزار است. در انتهای دشت عجب‌شیر و در نواحی جنوبی جریان معکوس دیده می‌شود که بیانگر پایین بودن سطح آب زیرزمینی در این مناطق نسبت به مناطق اطراف است.



شکل ۹. نقشه هم ضخامت آبرفت محدوده مطالعاتی عجب‌شیر.

Fig 9. Alluvial isopach map of Ajabshir study area.

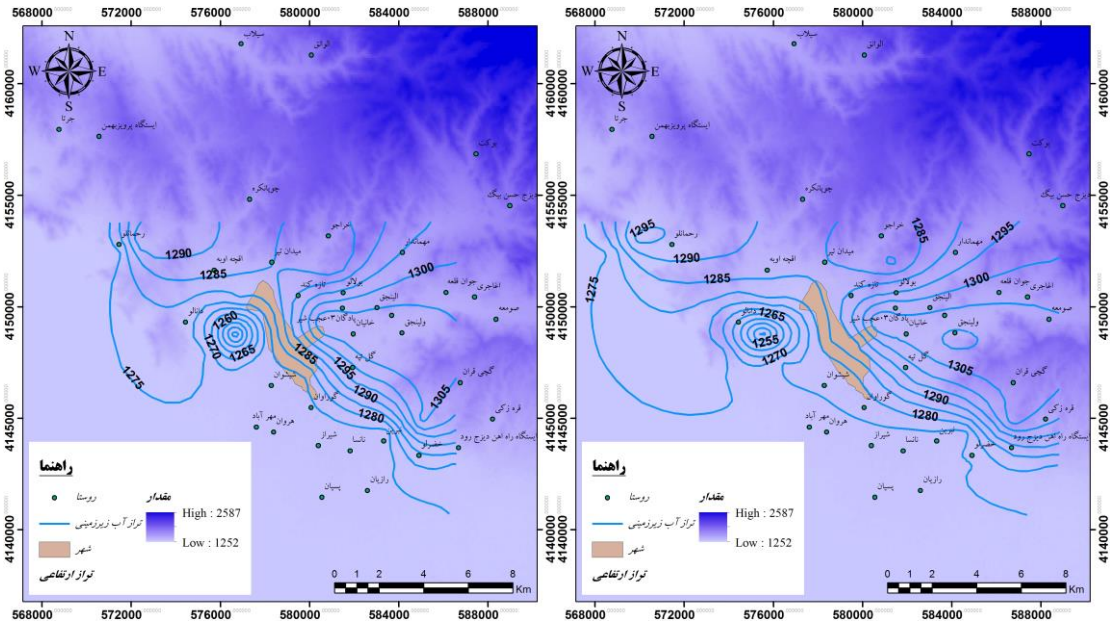


شکل ۱۰. وضعیت آبخوان عجب‌شیر از ابتدای تشکیل شبکه سنجش تا سال ۹۹-۹۸.

Fig 10. The condition of the Ajabshir aquifer from the beginning of the establishment of the monitoring network until 2020.

جهت جریان و شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی به توپوگرافی سطح زمین بستگی دارد که در ارتفاعات و مناطق تغذیه، شیب آب زیرزمینی زیادتر از سایر نقاط است. در شکل ۱۱ به‌ترتیب منحنی‌های هم پتانسیل آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر برای ماه-های اردیبهشت و آبان ۱۳۹۳ آمده است.

جهت جریان آب زیرزمینی از ارتفاعات شمال غربی به سمت مناطق پست و شوره‌زارهای کنار دریاچه است. میانگین عمق آب زیرزمینی در آبخوان دشت عجب‌شیر در حدود ۱۰ تا ۱۵ متر است. در بخش کوچکی از آبخوان (مجاور روستای دانالو) سطح آب زیرزمینی بالا است که باعث تبخیر آب از آبخوان در این منطقه می‌شود. به طور کلی، حداکثر مقادیر سطح ایستابی در قسمت‌های شمال و شمال‌شرق دشت (منطقه تغذیه) است که به سمت جنوب و جنوب غرب از مقدار آن کم می‌شود. جهت جریان آب زیرزمینی به طور کلی از جهت جریان آب‌های سطحی در منطقه تبعیت می‌کند. میزان شیب هیدرولیکی در نقاط مختلف دشت متفاوت بوده و در نواحی تغذیه دشت و در نقاط ورودی به محدوده بیلان حدود ۵ تا ۱۰ در هزار و در نواحی تخلیه و خروجی محدوده دشت، شیب هیدرولیکی جریان آب زیرزمینی حدوداً برابر ۲ در هزار است. در انتهای دشت عجب‌شیر و در نواحی جنوبی جریان معکوس دیده می‌شود که بیانگر پایین بودن سطح آب زیرزمینی در این مناطق نسبت به مناطق اطراف است.



الف) ب)

a) b)

شکل ۱۱. منحنی‌های هم پتانسیل آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر، (الف) اردیبهشت ۱۳۹۳ و ب) آبان ۱۳۹۳.

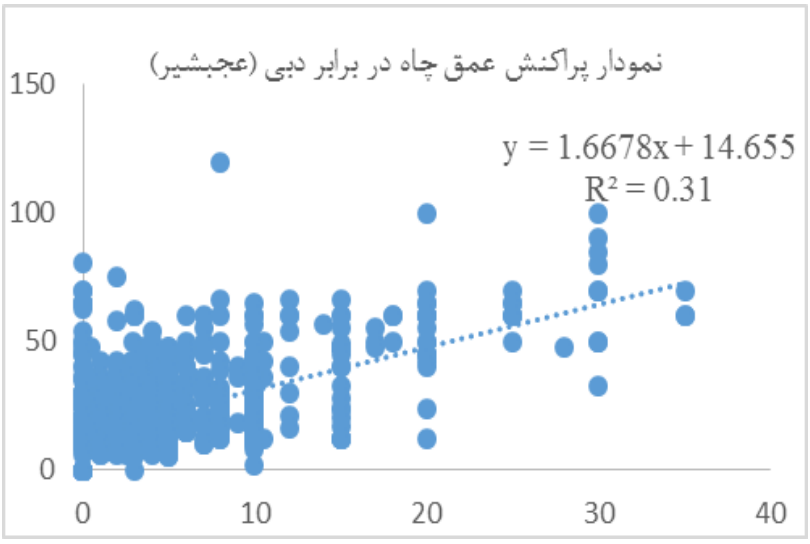
Fig 11. groundwater equipotential lines (groundwater level contours) of Ajabshir Plain, a) May 2014) and b) November 2014).

بیش‌ترین مقدار قابلیت انتقال آبخوان در مجاورت شهر عجب‌شیر (بادزن آبرفتی قلعه چای) است. با دور شدن از بخش میانی دشت، قابلیت انتقال آبخوان به تدریج کاهش می‌یابد. در بخش میانی جنوب دشت نیز مقدار قابلیت انتقال آبخوان متوسط بوده که به سمت شوره‌زارهای کنار دریاچه مقدار آن روند کاهشی دارد. در شوره‌زارهای کنار دریاچه ارومیه مقدار قابلیت انتقال آبخوان به کمترین مقدار خود می‌رسد. دامنه تغییرات قابلیت انتقال به سبب تغییرات ضخامت اشباع و تغییرات اندازه ذرات تشکیل دهنده آبرفت است. تعداد کمی آزمایش پمپاژ بر روی چاه های دارای پیزومتر کناری انجام شده است. بر پایه نتایج این آزمایش‌ها و سایر داده‌های موجود مقدار ضریب ذخیره آبخوان دشت عجب‌شیر در بخش‌های اصلی بادزن آبرفتی قلعه چای بین ۵ تا ۷ درصد و در بخش‌های شمال باختری و خاوری آن بین ۳ تا ۵ درصد برآورد می‌گردد. با دانه ریز شدن آبرفت‌ها مقدار ضریب ذخیره آبخوان در

بخش‌های مجاور دریاچه ارومیه کاهش می‌یابد. ضریب ذخیره در محدوده‌های مورد مطالعه توسط آزمایش‌های پمپاژ محاسبه شده است. میانگین ضریب ذخیره آبخوان دشت عجب‌شیر به طور میانگین ۵ درصد در نظر گرفته شده است. ضریب آبدهی ویژه که نشان‌دهنده پتانسیل آبدهی آبخوان و مستقل از ضخامت آبرفت است، در مطالعات حاضر بسیار حائز اهمیت است.

به منظور بررسی عمر مفید چاه‌های بهره‌برداری موجود در دشت عجب‌شیر، تعدادی از چاه‌ها که تاکنون مجوز جابجایی و کف‌شکنی دریافت کرده‌اند؛ مورد بررسی قرار گرفت. از این میان برخی از چاه‌ها به‌دلایل مختلفی غیر از کم آب شدن (مانند نقص فنی چاه، قرار گرفتن در مسیر پروژه‌های عمرانی و...) جابه‌جا شده‌اند؛ ولی سایر چاه‌ها به دلیل کم آب شدن یا خشک شدن درخواست جابجایی نموده‌اند. اکثر چاه‌های محدوده‌های مورد مطالعه پس از مدتی به دلیل مقدار کلرور بالا دچار خوردگی شدید می گردند. به همین سبب عمر مفید چاه‌های بهره‌برداری، بسیار پایین است و به طور متوسط در حدود ۱۱ سال تخمین زده می‌شود.

برای پی بردن به تأثیر دبی چاه‌های موجود در منطقه بر تعیین عمق کف شکنی، نمودار عمق چاه در برابر دبی آن چاه ترسیم گردید و ضریب پراکنش این نمودار محاسبه گردید. شکل (۱۲) نمودار پراکنش عمق چاه در برابر دبی را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار موجود و ضریب پراکنش (R^2) تعیین شده برای این نمودار (R^2=۰/۳۱) برای دشت عجب‌شیر می‌توان دریافت که هیچ رابطه منطقی بین عمق چاه‌ها و دبی این چاه‌ها وجود ندارد، بنابراین این رابطه به عنوان یک عامل محدودکننده در کف‌شکنی محسوب نمی‌گردد.



شکل ۱۲. نمودار پراکنش عمق چاه (محور عمودی) در برابر دبی (محور افقی).

Fig 12. The scatter plot of well depth (Y-axis) vs. well discharge (X-axis).

به منظور بررسی تغییرات میانگین کیفیت آب آبخوان منطقه (کموگراف) از شبکه پایش کیفیت آب زیرزمینی در محدوده‌های مورد مطالعه استفاده شد. برای این منظور، از روش پلی‌گون تیسن استفاده شد تا مساحت دربرگیرنده هر چاه پایش برآورد شود. سپس میانگین هندسی مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی آب آبخوان منطقه در دوره‌های مختلف زمانی محاسبه شد. نتایج محاسبه و تغییرات میانگین وزنی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی آبخوان دشت عجب‌شیر در شکل ۱۳ آمده است.

نتایج نشان داد؛ تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در فصول‌تر و خشک نوسانات فصلی دارد. مقدار قابلیت هدایت الکتریکی آبخوان در فصول‌تر که مقدار بیشتری آب با نمک کمتر وارد آبخوان می‌شود کاهش پیدا می‌کند و در فصول خشک با کاهش تغذیه طبیعی و ورودی آب‌های برگشتی کشاورزی که نمک بیشتری دارند بالا می‌رود.

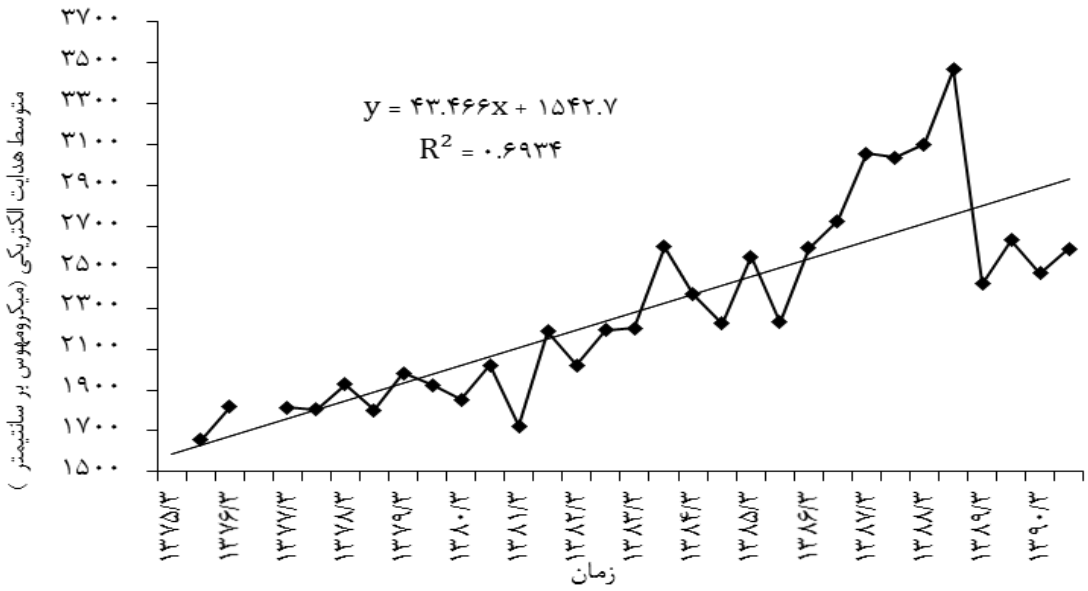
به منظور بررسی و پیش‌بینی مقدار هدایت الکتریکی در دوره طرح، از معادله رگرسیونی استخراج شده استفاده شد

تا مقدار هدایت الکتریکی در دوره طرح پیش‌بینی گردد. این معادله به صورت رابطه ۱ است:

$$y=43.466x+1542.7 \quad (1)$$

که در آن: y هدایت الکتریکی بر حسب میکرو موس بر سانتی‌متر و x زمان برحسب سال است.

با در نظر گرفتن معادله افزایش EC برای آبخوان عجب شیر که در بالا اشاره شد؛ می‌توان میزان متوسط هدایت الکتریکی را برای سال‌های آینده تخمین زد.

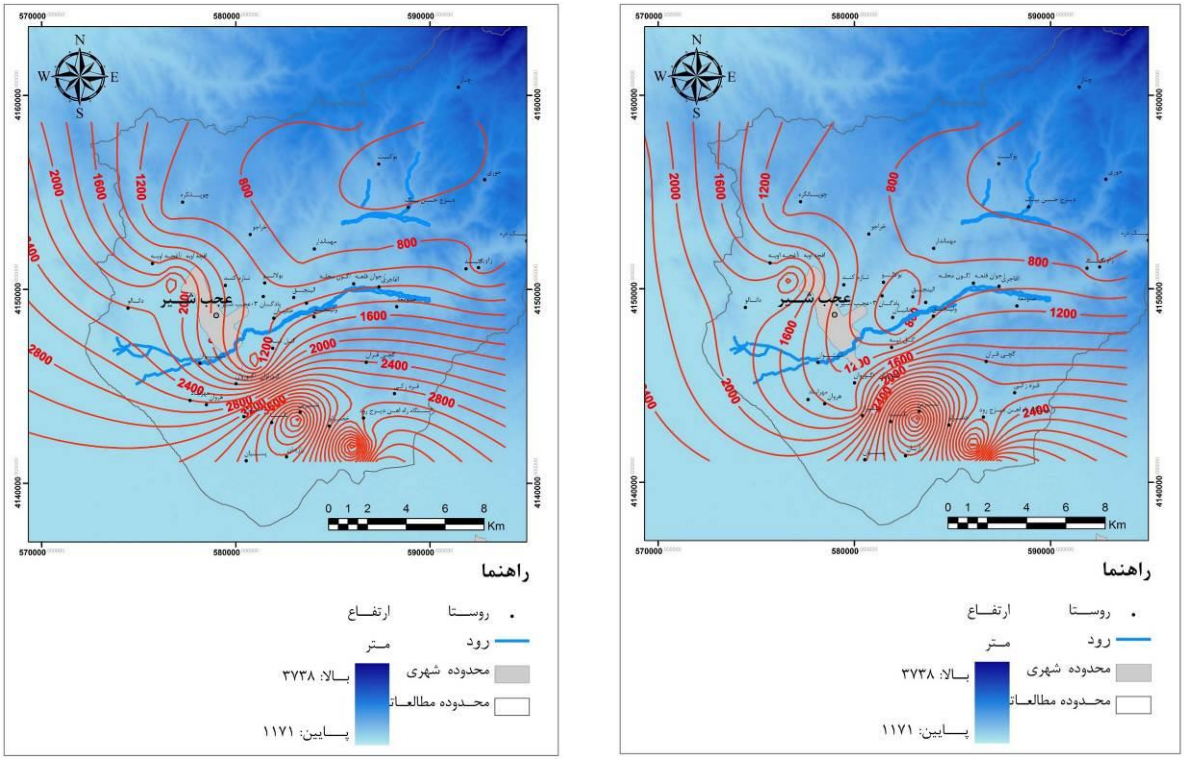


شکل ۱۳. نوسانات زمانی میانگین هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در دشت عجب‌شیر (کموگراف).

Fig 13. Temporal variation of the mean electrical conductivity values of groundwater in the Ajabshir Plain (chemograph).

عبور آب از زمین‌های مختلف باعث تغییرات فیزیکی و شیمیایی آن شده که این تغییرات بیشتر در ارتباط با زمین‌شناسی نقاطی است که آب از آن عبور کرده است. از میان داده‌های هیدرو شیمیایی پایش کیفیت آب زیرزمینی، هدایت الکتریکی و مقدار تغییرات غلظت کلرور در آب زیرزمینی به عنوان پارامترهای شاهد جهت بررسی تغییرات مکانی آب زیرزمینی از داده‌های پایش کیفیت آب زیرزمینی استفاده شد. نقشه هم ارزش هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در دشت عجب‌شیر به منظور بررسی تغییرات کیفیت آب آبخوان در گستره آن رسم شد (شکل ۱۴).

بر پایه این نقشه‌ها می‌توان گفت که جریان‌های سطحی و رودخانه‌های محدوده مورد مطالعه، عامل اصلی تأثیرگذار بر کیفیت آب آبخوان است. مقدار قابلیت هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در دره قلعه چای که از جریان‌های سطحی این رودخانه تغذیه می‌شود و در مناطقی که آب رودخانه برای آبیاری به کار می‌رود نسبت به سایر نقاط مقدار کیفیت آب زیرزمینی بهتر است که به دلیل آب برگشت کشاورزی است. به طور کلی کیفیت آب زیرزمینی به تدریج از شرق و مناطق تغذیه به سمت دریاچه ارومیه کاهش می‌یابد. گرادیان افزایش شوری آب از بخش‌های میانی آبخوان به سمت نوار ساحلی بیشتر از سایر بخش‌ها است. شوری آب زیرزمینی در نوار غربی آبخوان به دلیل نزدیکی به شوره‌زار نسبت به نقاط پیرامون، بیشتر و تا بیش از ۱۰۰۰۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر می‌رسد.



الف) a)

ب) b)

شکل ۱۴. تغییرات مکانی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در دشت عجب‌شیر، الف) تیر ماه ۱۳۹۳ و ب) مهر ماه ۱۳۹۳.

Fig 14. Spatial variation of the electrical conductivity values of groundwater in the Ajabshir Plain, a) July 2014 and b) October 2014.

تعیین سطح کف‌شکنی در محدوده مورد مطالعه

هدف نهایی از انجام این پژوهش، تعیین حداکثر عمق کف شکنی چاه‌های بهره‌برداری در محدوده مطالعاتی عجب شیر است. بر این اساس، حداکثر عمق کف‌شکنی چاه‌ها باید به‌نحوی تعیین شود که آب مورد نیاز شرب، بهداشت و صنعت در دوره زمانی مشخص در آبخوان منطقه باقی بماند. بدین‌منظور در بخش قبل، مطالعات جمعیتی انجام و مصرف سرانه هر فرد به‌صورت دقیق تعیین شد. در این بخش از مطالعه، نیاز است که حجم آبخوان محاسبه گردد. برای محاسبه حجم آبخوان، داشتن مرز محدوده‌های مطالعاتی، سطح آب زیرزمینی و سنگ کف امری ضروری است. به‌منظور محاسبه سنگ کف آبخوان، همان طوری که در بخش قبل بیان شد، از مطالعات ژئوفیزیک، نقشه زمین‌شناسی، عمق چاه‌های بهره‌برداری و گمانه‌های حفاری استفاده شد و درنهایت سنگ کف آبخوان تعیین گردید. سطح بالایی در محاسبات حجم آبخوان، حداقل ارتفاع مطلق کف چاه‌های محدوده مطالعاتی است که تبدیل به حداکثر عمق چاه‌ها در بخش‌های مختلف محدوده مطالعاتی شد. بنابراین حجم آبخوان برابر است با حجم آب باقی‌مانده بین سطوح سنگ کف و سطح حداکثر عمق چاه‌های بهره‌برداری که باید نیاز شرب و صنعت در دوره طرح (افق پیش‌بینی) را برآورده کند.

جهت محاسبه حجم آب موجود در آبخوان علاوه بر داشتن سطوح پایینی و بالایی، ضریب آبدهی ویژه (Sy) نیز ضروری است تا از حاصل‌ضرب آبدهی ویژه در حجم آبخوان، حجم آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی محاسبه گردد. با توجه به هیدروگراف معرف دشت، ارائه شده در بخش قبل (شکل ۱۰)، تراز آب زیرزمینی حداقل و حداکثر (تر آبی و خشک آبی) به‌عنوان دو گزینه سطح بالایی آبخوان در نظر گرفته شدند. با توجه به آزمون‌های پمپاژ انجام شده در دشت و محاسبه مقدار ضریب آبدهی ویژه؛ میزان آبدهی ویژه در محدوده مطالعاتی نیز تعیین شد. سپس در محیط نرم‌افزار GIS، حجم آبخوان بین

سنگ کف و تراز آب زیرزمینی حداکثر برای محدوده عجب‌شیر به‌دست آمد. در جدول (۳) به‌ترتیب تغییرات تراز و حجم آب معادل در محدوده مطالعاتی در سال آبی ۹۳-۱۳۹۲، تغییرات تراز و حجم آبخوان و تغییرات متوسط سالانه تراز و حجم آبخوان در محدوده مطالعاتی تا افق ۱۴۲۰ آمده است.

جدول ۳. تغییرات تراز و حجم آبخوان در محدوده مطالعاتی.

Table 3. Changes in the groundwater level and the aquifer volume in the study area.

تغییرات Changes	تراز آب (سانتی‌متر) Groundwater level (cm)	حجم آب معادل (میلیون مترمکعب) Equivalent water volume (MCM)
سال آبی ۹۳-۱۳۹۲ Water Year 2015	-67	-1.93
تا افق ۱۴۲۰ Until horizon 2041	-599	-17.38
متوسط سالانه تا افق ۱۴۲۰ Annual Average Until 2041	-20	-0.58

به‌منظور محاسبه متوسط سالانه نیاز شرب و صنعت در افق‌های ۱۴۱۰ و ۱۴۲۰، مقدار مجموع نیاز شرب و صنعت در افق طرح و مجموع نیاز شرب و صنعت فعلی با ضریب ۲ محاسبه گردید. به‌منظور محاسبه مجموع نیاز شرب و صنعت در افق‌های ۱۴۱۰ و ۱۴۲۰، مقدار متوسط سالانه نیاز شرب و صنعت تا افق طرح در فاصله زمانی تا افق طرح ضرب می‌گردد. نتایج متوسط سالانه نیاز شرب و صنعت، مجموع سالانه نیاز شرب و صنعت و حجم مورد نیاز آبخوان در افق‌های ۱۴۱۰ و ۱۴۲۰ در جدول (۴) برای محدوده مورد مطالعه آمده است.

جدول ۴. متوسط سالانه نیاز شرب و صنعت، مجموع نیاز شرب و صنعت و حجم مورد نیاز آبخوان برای افق‌های ۱۴۱۰ و ۱۴۲۰.

Table 4. The annual average of water demands for drinking and industrial use, the total of water demands for drinking and industrial use and the required water volume of the aquifer for the horizons of 2031 and 2041.

سال Year	۱۴۱۰ 2031	۱۴۲۰ 2041
متوسط سالانه نیاز شرب و صنعت The total of water demands for drinking and industrial uses	10.1	10.5
مجموع نیاز شرب و صنعت The total of water demands for drinking and industrial uses	171.7	283.5
حجم مورد نیاز آبخوان Required aquifer volume	858.5	1417.5

حداکثر افت سالانه سطح آب زیرزمینی در طول عمر مفید چاه‌ها، با ضرب عمر مفید چاه‌های آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی در متوسط افت سالانه محاسبه گردید. نتایج حداکثر افت سالانه سطح آب زیرزمینی در طول عمر مفید چاه‌ها ۲۲۰- سانتی‌متر است.

به‌منظور پیش‌بینی مقدار هدایت الکتریکی در دوره طرح، از معادله رگرسیونی ارائه شده در بخش قبل استفاده گردید. با در نظر گرفتن معادله مذکور، مقدار هدایت الکتریکی برای آبخوان عجب‌شیر تخمین زده شد. نتایج تخمین مقدار هدایت الکتریکی در افق‌های ۱۴۱۰ و ۱۴۲۰ در جدول (۵) آمده است.

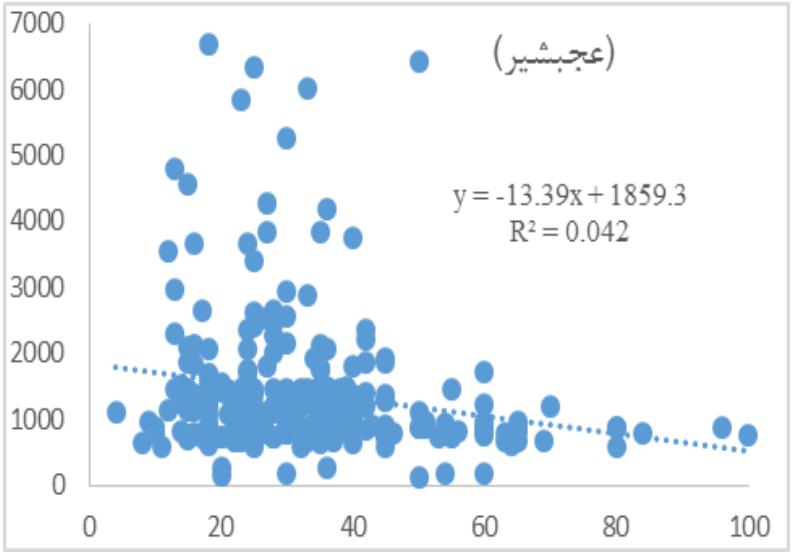
جدول ۵. تغییرات هدایت الکتریکی در افق‌های ۱۴۱۰ و ۱۴۲۰ براساس معادله رگرسیونی.

Table 5. EC Changes in horizons of 2031 and 2041 based on the regression equation.

سال Year	افق‌های پیش رو Ahead Horizan	
	۱۴۱۰ 2031	۱۴۲۰ 2041
هدایت الکتریکی (میکرو موس بر سانتی‌متر) EC (µmho/cm)	2282	2716

تغییرات متوسط سالانه هدایت الکتریکی آبخوان در محدوده مطالعاتی در طول دوره آماری ۱۸۳۰ (میکرو موس بر سانتی‌متر) است.

به‌منظور محاسبه تغییرات کیفیت آب زیرزمینی آبخوان نسبت به عمق، مقدار عمق در برابر مقدار هدایت الکتریکی هر یک از چاه‌های بهره‌برداری در محدوده مورد مطالعه ترسیم و ضریب پراکنش برای این دو نمودار محاسبه گردید. نتایج آن در شکل (۱۵) و برای محدوده مورد مطالعه آمده است. با توجه به نمودار موجود و ضریب پراکنش تعیین شده برای محدوده مطالعاتی عجب‌شیر (R^2=0.042) می‌توان دریافت که ارتباط بالایی بین مقدار هدایت الکتریکی و عمق وجود ندارد. از این رو، بیشترین تنوع‌پذیری و تغییرپذیری مربوط به موقعیت آبخوان در مجاورت با دریاچه ارومیه است تا به تغییرپذیری عمق آبخوان.



شکل ۱۵. نمودار پراکنش عمق چاه در برابر تغییرات کیفیت آب زیرزمینی.

Fig 15. The scatter plot of well depth (X-axis) vs. EC variations (Y-axis).

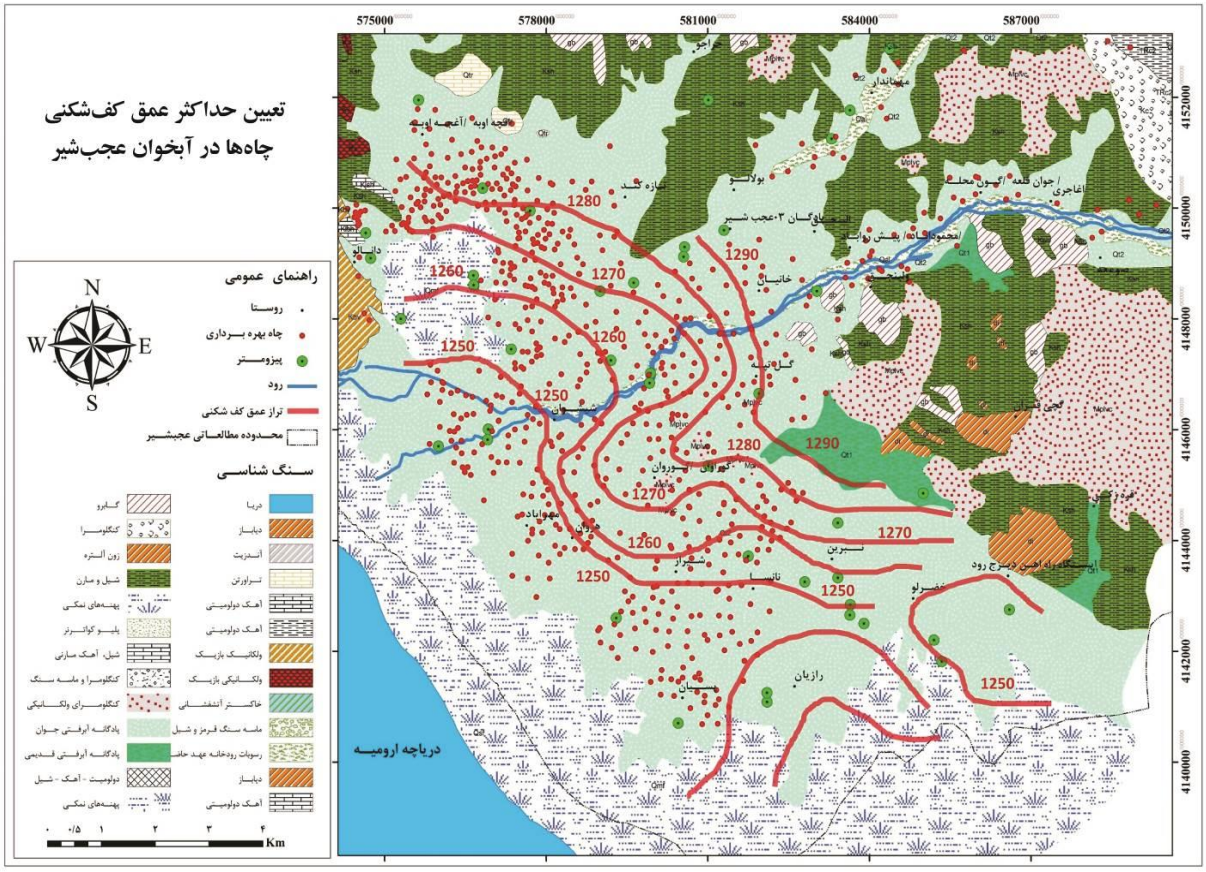
برداشت بیش از حد از سفره زیرزمینی مهم‌ترین عامل تبدیل آبخوان محدوده مورد مطالعه به آبخوان ممنوعه است. این در حالی است که در گذشته نزولات جوی به دلیل پوشش گیاهی خوب در زمین نفوذ می‌کرد و این نزولات به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم آبخوان‌ها را تغذیه می‌کرد؛ اما در حال حاضر وقتی بارانی می‌آید، به‌صورت رواناب در سطح زمین جاری می‌شود و به دلیل از بین رفتن پوشش گیاهی منطقه، بخش عمده آن تبخیر می گردد و از دسترس خارج می‌شود. همچنین برداشت بی رویه آب زیرزمینی در حوضه، موجب تبدیل جریان‌های زهکشی از آب زیرزمینی به جریان تغذیه به آب زیرزمینی گردیده است. گسترش زمین‌های کشاورزی در دشت‌های شرقی دریاچه و به‌موازات آن بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی باعث نفوذ آب‌شور دریاچه به آبخوان‌های مجاور شده و نه‌تنها تداوم فعالیت در بخش‌های وسیعی از زمین‌های کشاورزی را تهدید می‌کند؛ بلکه کیفیت منابع آب زیرزمینی را نیز با مخاطره جدی مواجه ساخته است .

امروزه با توجه به برداشت‌های خارج از ظرفیت آبخوان‌ها، سطح آب زیرزمینی در اکثر دشت‌های اطراف دریاچه و منطقه مورد مطالعه کاهش یافته و حتی منجر به نفوذ آب شور دریاچه به آبخوان‌های هم‌جوار شده است. اگر نوسانات دریاچه‌ها شدید باشد و بر سطح آب زیرزمینی

آبخوان‌ها اثرگذار باشد، مشکلاتی برای محدوده‌های مطالعاتی ایجاد خواهد شد. از جمله پیامدهای مورفولوژیک نوسانات سطح تراز دریاچه بر سواحل دریاچه ارومیه و آبخوان‌های ساحلی، و بالطبع محدوده مورد مطالعه، توسعه پلایا بوده است. پلایاها طی سال‌های اخیر به دلیل کاهش سطح آب تراز دریاچه و پس‌روی آن در محدوده‌هایی از سواحل، توسعه فزاینده‌ای پیدا کرده‌اند. از مهم‌ترین عوامل شکل‌گیری و توسعه آن پلایاها می‌توان به تغییرات آب و هوایی؛ بالا بودن میزان حرارت، حاکمیت شرایط بارندگی و تبخیر زیاد اشاره کرد و مساعدترین شرایط را برای تجمع و تراکم رسوبات تبخیری به وجود آورده است. اغلب محدوده مطالعاتی را رسوبات تخریبی ریزدانه تشکیل داده که بیشتر از جنس ذرات رس و لای هستند و به‌مرور زمان با رسوبات تبخیری شامل نهشته های نمکی مخلوط شده‌اند که این رسوبات نمکی عمدتاً تحت تأثیر آب شور دریاچه و آب‌های زیرزمینی است.

دلایل متعددی بر تغییرات کیفیت آب زیرزمینی همچون سازنده‌ای زمین‌شناسی و عدسی‌های رسی محدوده حوضه آبریز، تبادل یونی آب‌های سطحی و زیرزمینی و همچنین مقدار آبدهی رودخانه اثرگذار هستند. آب زیرزمینی در حین عبور از لایه‌ها و سفره آب زیرزمینی، مقداری از املاح موجود در مسیر را حل و با مواد تشکیل‌دهنده لایه ها تبادلات یونی انجام می‌دهد. بنابراین مقادیر مواد محلول آن نسبت به املاح محیط تغییر می‌کند و ممکن است در اثر تبادلات، یکی از آنیون‌های سولفات، بی‌کربنات و کلراید و یکی از کاتیون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم بر دیگری ارجحیت پیدا کند. همچنین از منابع صنعتی آلوده کننده منابع آب زیرزمینی می‌توان به شهرک‌های صنعتی در محدوده مطالعاتی اشاره نمود. اغلب صنایع موجود در این منطقه از منابع آب‌های زیرزمینی جهت تأمین نیاز آبی خود استفاده می‌نمایند و پساب برخی از این کارخانه ها به‌طور پیوسته وارد چاه‌های جذبی می‌گردد.

در دشت عجب‌شیر، وضعیت آب زیرزمینی حالت بحرانی دارد و در صورت بروز خشک‌سالی طولانی‌مدت، تأمین آب شرب و صنعت از آبخوان آبرفتی با مشکل مواجه خواهد شد. یکی از محدودیت‌های پژوهش حاضر، مقایسه ارتفاع کف چاه‌های بهره‌برداری موجود با سطوح بالایی (تراز آب و چاه‌های حداقل و حداکثر) و پایینی (سنگ کف) است. در این مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار GIS، اختلاف سطح بالایی و پایینی اندازه‌گیری و مورد ارزیابی قرار گرفت. در شکل (۱۶) به‌ترتیب خطوط هم‌ارزش حداقل تراز برای کف‌شکنی چاه‌ها در محدوده مطالعاتی عجب‌شیر ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌گردد، حداقل تراز برای کف‌شکنی چاه‌ها از ۱۲۵۰ متر در بخش غرب و جنوب غربی تا ۱۲۹۰ متر در بخش‌های شرقی و شمال شرقی آبخوان تغییر می‌نماید. سطح تراز ۱۲۶۰ متر از آب‌های آزاد به‌عنوان متوسط حداکثر تراز کف‌شکنی چاه‌ها برای محدوده مطالعاتی عجب‌شیر قابل ارائه است. پیشنهاد می شود سطح تراز مذکور در تعیین مقدار کف‌شکنی توسط تصمیم‌گیران و مهندسین محترم آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی رعایت گردد.



شکل ۱۶. خطوط هم ارزش حداقل تراز برای کف شکنی چاه‌ها در محدوده مطالعاتی عجب‌شیر.

Fig 16. The minimum of equipotential line (groundwater level contour) for well deepening in the Ajabshir study area.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به منظور تعیین حداکثر عمق کف‌شکنی به جای تمرکز بر مطالعات و محاسبات نسبتاً پیچیده مدل سازی عددی، برنامه‌ریزی خطی، بیلان و غیره بر نوسانات سطح ایستابی به عنوان نتیجه‌ای از آنها تأکید شده است. بدین‌منظور ابتدا جمعیت آتی تا افق ۱۴۲۰ و سپس متوسط آب مورد نیاز سالانه تا افق طرح به‌ترتیب، ۴۷۲۴۷ نفر و ۲/۹۳ میلیون مترمکعب برآورد گردید. بعد از ارزیابی وضعیت آبخوان (عمق سنگ کف، تعداد و عمق چاه‌ها، تراز سطح ایستابی، ضریب آبدهی ویژه و غیره) و با توجه به نیاز سالانه افت تراز سطح ایستابی تا افق ۱۴۲۰ حدود ۶ متر و حجم آبی معادل ۱۷/۳۸ میلیون مترمکعب تخمین زده شد. با توجه به محاسبات انجام شده، حجم آب مورد نیاز شرب و صنعت در افق ۱۴۲۰، معادل ۲۸۳/۵ میلیون مترمکعب و حجم مورد نیاز آبخوان ۱۴۱۷/۵ میلیون مترمکعب برآورد شده است. در نهایت با استفاده از نرم افزار ArcGIS و سطوح بالایی و پایینی آبخوان تراز کمینه برای کف‌شکنی چاه‌ها بین ۱۲۵۰ متر در بخش غرب و جنوب‌غربی تا ۱۲۹۰ متر در بخش‌های شرقی و شمال‌شرقی آبخوان تعیین شد. با این حال، هیدروگراف واحد دراز مدت محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد؛ میانگین سطح آب زیرزمینی در سال‌های اخیر افت کرده است که حاکی از ازدیاد بهره‌برداری از حجم دینامیکی آبخوان است؛ در نتیجه، بهترین پیشنهاد به‌منظور حفظ حداقل ذخایر باقی‌مانده در آبخوان، توقف کف‌شکنی چاه‌ها در محدوده مورد مطالعه است. علاوه بر این، مقایسه مصرف سرانه تا افق ۱۴۲۰ و حجم محاسبه شده از آبخوان و آب زیرزمینی نشان می‌دهد که میزان ذخیره آب آبخوان دشت، پاسخ‌گوی نیاز دوره طرح نیست. با توجه به محاسبات انجام شده، اگرچه امکان ذخیره آب به‌اندازه نیاز شرب و صنعت دوره طرح در آبخوان وجود ندارد؛ لیکن به منظور حفظ حداقل آب موجود، توقف کف‌شکنی چاه‌ها امری ضروری است مگر در مواردی که عمق چاه‌ها نسبت به چاه‌های اطراف به‌طور محسوس کمتر است.

منابع

Abbasnejad, A., & Shahidasht, A. (2013). Vulnerability of Sirjan Plain Due to Aquifer Over Abstraction. *Geography and Territorial Spatial Arrangement (GTSA)*, 3(7), 85-96. [In Persian]. https://doi.org/10.22111/GAIJ.2013.1090

Asghari Moghaddam, A. (2016). *Overexploitation of groundwater resources of Urmia lake basin and its impact on creating water crisis*. Proceedings of 19th National and 7th International Congress on Biology of Iran, 30 Aug. 2016, Iranian Biology Society, University of Tabriz, Tabriz, Iran. [In Persian]. https://sid.ir/paper/885090/fa

Brielmann, H. (2008). Recharge and discharge mechanism and dynamics in the mountainousnorthern Upper Jordan River Catchment, Israel, PhD. Thesis, Faculty of Geosciences at Ludwig-Maximilians- Rostock University, Munich.

Conti, K.I., & Gupta, J. (2016). Global governance principles for the sustainable development of groundwater resources. *Int Environ Agreements*, 16, 849–871. https://doi.org/10.1007/s10784-015-9316-3

Dadashi, S., Sadeghfam, S., Nadiri, A., & Mohebi, Y. (2020). Vulnerability Analysis to Aquifer Subsidence by ALPRIFT Method due to Overexploitation from Groundwater Resources. *Sharif Journal of Civil Engineering (SJCE)*, 36.2(3.1), 85-96. [In Persian]. https://doi.org/10.24200/J30.2019.53189.2538

Dao, P.U., Heuzard, A.G., Hoa Le, T.X., Zhao, J., Yin, R., Shang, C., & Fan, C. (2024).The impacts of climate change on groundwater quality: A review. *Science of the Total Environment*, 912, 169241.
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169241.

Dastjerdy, M., & Emadi, S.R. (2020). Investigating the Subsidence of Zanjan Plain and its Relationship with the Drop in the Level of Groundwater Levels using Radar Images of Envisat Satellite between 2003 and 2010. *Hydrophysics*, 6(1), 67-82. [In Persian].

Fathi, M., & Noorian-Bidgoli, M. (2022). Evaluation of Land Subsidence Due to Water-Level Decline in Kashan Plain. *Journal of Water and Wastewater Science and Technology (JWWSE)*, 6(4), 45-57. [In Persian]. https://doi.org/ 10.22112/JWWSE.2021.278644.1268

Ghahroudi-Tali, M., Khodamoradi, F., & Ali Nouri, Kh. (2023). Effects of groundwater decrease on the of land subsidence in Dehgolan Plain, Kurdistan province. *Journal of Environmental Hazards Management (JEHM)*, 10(1), 57-70. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/JHSCI.2023.359130.777

Haddad, A., & Khorasani, E. (2019). Groundwater level changes affect on the subsidence in Semnan plain. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 28(112), 181-190. [In Persian].

Hassani, S., & Dinpajooh, Y. (2017). *Analysis of groundwater level drop trend in Urmia plain*. Proceedings of 1st Congress of Iranian Water and Wastewater Science and Engineering, 14 Feb. 2017. Iran Water and Wastewater Association, University of Tehran, Tehran, Iran. [In Persian]. https://sid.ir/paper/875757/fa

Heydari, A., & Jabbari, I. (2022). Modeling the subsidence development of Marvdasht plain in relation to groundwater abstraction. *Journal of Natural Environmental Hazards (JNEH)*, 11(34), 17-34. [In Persian]. https://doi.org/10.22111/JNEH.2022.38867.1815

Mahab Ghodss Consulting Engineers, (2012). Integrated Water Resources Management of Caspian Sea and Urmia Lake Basins Report. [In Persian].

Mensah, J.K., Ofosu, E.A., Akpoti, K., Kabo-Bah, A.T., Okyereh, S.A., & Yidana, S.M. (2022). Modeling current and future groundwater demands in the White Volta River Basin of Ghana under climate change and socio-economic scenarios. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 41, 101117. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101117.

Moazamnia, M., & Sadeghfam, S. (2023). Evaluating the time lag of the drop in groundwater level compared to the occurrence of subsidence using vulnerability analysis in the Tasuj Plain aquifer. *Hydrogeology*, 8(1), 67-82. [In Persian]. https://doi.org/10.22034/HYDRO.2023.55467.1283

Mojarrad, E, & Saboohi, M. (2010). Optimum Depth of Agricultural Wells in Bojnord Plain. *Journal Agricultural Economics Research*, 2(5), 93-105. [In Persian].

Mosavi, S.N., & Gholami, M. (2012). Optimum Depth Of Agricultural Wells In Seydan-Farough Plain. Water Resources Engineering, 5(13), 99-109. [In Persian].

Motallebian, M., Ahmadi, H., Rauf, A., & Cartwright, N. (2020). Investigating the Effect of Urmia Lake Water-level Fluctuations on Groundwater Level Changes Trend. *Journal of Water and Soil*, 34(2), 301-316. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/JSW.V34I2.81370

Najafi-Igdir, A., Choubin, B., & Shirani, K. (2023). Land subsidence estimation in Salmas plain Using Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar Algorithm. *Watershed Management Research*, Articles in Press. [In Persian]. doi: 10.22092/WMRJ.2023.361200.1521

Noori, A., Sarveram, H., Eshaghi Sharabiani, H., Nouri gheidari, M. H., & Ghasemi, F. (2021). An Investigation into Groundwater Exploitation in Abhar Plain and Determination of Maximum Well Deepening. *Iran-Water Resources Research*, 17(1), 33-46. [In Persian].

Raghavendra, S., & Deka, P.C. (2015). Sustainable Development and Management of Groundwater Resources in Mining Affected Areas: A Review,

Procedia Earth and Planetary Science, 11, 598-604. https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.06.061.

Rathinasamy, V., Mohamad, E.T., Komoo, I., Legiman, M.K.A., Slamat, F., Hasbollah, D.Z.A., & Supermanto, E.K. (2023). Groundwater exploitation in Southern Johor Bahru, Malaysia: Prospects and challenges while drilling and its mitigation measures. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 129, 103300. https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103300.

Rezaei, A., Zeynalzade, K., & Nabeghi, J. (2019). *Determining the maximum well deepening of agricultural wells by integrating mathematical models*. Proceedings of the 1st International and 4th National Congress on Iranian Irrigation and Drainage, 13 Nov. 2019, Iranian Association Of Irrigation and Drainage, Urmia University. Urmia, Iran. [In Persian]. https://civilica.com/doc/1025450

Rokni, J., Hossinzadeh, R., Lashkaripour, Gh., & Velayati, S. (2016). Survey of Land Subsidence, Perspective and Geomorphology Developments in the Denser Plains, Case study: Neyshabour Plain. *Arid Regions Geographic Studies*, 7(24), 21-38. [In Persian].

Sadrykia, M. (2022). Monitoring Land Subsidence using Persistent Scatterer Interferometry Time Series Analysis and Groundwater Level Variations: (Case Study: Sarab Plain). *Journal of Iran-Water Resources Research (IWRR)*, 18(2), 1-18. [In Persian].

Todd, D. & Mays, L. (2005). *Groundwater Hydrology*. 3rd Edition, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, 652 p.

Zeraati, E., Zeinodini, S., Pirzadeh, B., & Hashemi Monfared, S.A. (2022). Determining Optimized Depth of Wells in a Catchment Considering Climate Change and Water Resources Management (Case Study: Khash watershed). *Journal of Agricultural Economics Research*, 13(4), 160-174. [In Persian]. https://doi.org/10.30495/JAE.2021.21316.2013.