Journal of Mineral Resources Engineering, 8(3): 15-36, (2023)

Imam Khomeini International University
Vol. 8, No. 3, Autumn 2023

نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

Research Paper

An Investigation of Effective Factors on Groundwater Level Fluctuations in Western Anomalies of Sangan Iron Ore Mine

Safari M.[1], Doulati Ardejani F.[2,3*], Maghsoudy S.[3]

1- Ph.D Student, Dept. of Mining, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
2- Professor, Dept. of Mining, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
3- Researcher, Mine Environment and Hydrogeology Research Laboratory, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 15 Oct. 2022 **Accepted: 22 Jan. 2023**

Abstract: In order to design an appropriate dewatering system in an open pit mine, it is necessary to know the hydrogeological conditions and factors affecting the condition of groundwater in the mining area. One of the important factors for investigating the hydrogeological conditions of a mining site is to know the status of the catchment area, temporal and spatial changes of the piezometric levels and the range of disturbances caused by mining activities, climate conditions and the tectonic state of the mining area. The hydrological and hydrogeological conditions of Sangan iron mine are also affected by climate factors such as precipitation and tectonic factors including the number of faults and their trends, their distances and their relationship with each other. Therefore, in this study, the influence of various factors including precipitation, distance from waterways, tectonic status and faults, and the pit development during the exploitation period on the fluctuation of groundwater were investigated. By examining the fluctuations of the piezometric levels caused by these factors in the period from March 2011 to March 2014 and statistical analysis of the results, it was found that among the affecting factors, the Cn-pit expansion has the greatest effect on the groundwater level fluctuation of the western anomalies of Sangan mine. By drawing the ccorrelation diagram between the distance from Cn-Pit and the groundwater level drop of observation piezometers of the nearby areas of the Cn-pit, and obtaining a coefficient of determination equal to 0.94 (R^2=0.94), it was found that the radius of the influence of the Cn-pit expansion on the changes in the groundwater level of the adjacent areas is about 700 meters. In addition, it was found that the amount of precipitation and the distance from the waterways do not have a significant effect on the groundwater level fluctuations in the study area.

Keywords: Pit development, Tectonics and faults, Mining activities, Catchment area, Sangan iron mine.

How to cite this article
Ahmadi, F., Aghajani, H., and Abedi, M. (2023). *"An investigation of effective factors on groundwater level fluctuations in western anomalies of Sangan iron ore mine"*. Journal of Mineral Resources Engineering, 8(3): 15-36.
DOI: 10.30479/JMRE.2023.17964.1609

*Corresponding Author Email: *fdoulati@ut.ac.ir*

COPYRIGHTS
©2023 by the authors. Published by Imam Khomeini International University.
This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCTION

The purpose of this study was to investigate the factors affecting groundwater level fluctuation in the western anomalies of the Sangan iron mine in order to control groundwater inflow into the pit. When the floor of an open pit is excavated below the water table, groundwater enters the pit through seepage faces that form on the pit walls and as upward flow at the pit floor. Groundwater seepage into an open pit initiates a transient hydraulic response in the surrounding bedrock and surficial units that is similar in a number of respects to radial flow toward a pumping well [1]. Where the surrounding bedrock has high hydraulic conductivity, inflow rates will be large, and water management is difficult. This results in many problems and dangers in the mining pit face, which in turn can reduce the efficiency of the operation in the best case, and in the worst case, cause many problems such as disruption to mine operation or geotechnical instability of pit walls and damage to mining equipment and in some cases, loss of reserves [2-5]. On the other hand, it is very important to investigate the groundwater level fluctuations, identify the influencing factors of the groundwater level fluctuations, quantify the groundwater drawdown and develop a monitoring network for the effective management of groundwater resources. In addition, due to the fact that controling and monitoring the changes in the groundwater level play an important role in the design of the dewatering system for open pit mines and due to the fact that such a study has not been carried out in Sangan iron mine previously, this study was to find out the factors affecting the groundwater level changes. In this research, the effect of factors such as rainfall, distance from waterways, faults, and the pit development on the fluctuations of the groundwater level was investigated and the influencing factor was identified. This investigation can be considered as an important innovation in the current research.

METHODS

In this study, the factors affecting groundwater level fluctuation in the western anomalies of the Sangan mine were investigated. To achieve this goal, hydraulic head data and precipitation data were collected from piezometers in the Sangan mine and meteorological stations close to the mine area, respectively, in order to prepare hydrographs during the study period and groundwater contour maps. There were 39 piezometers in the study area, and data collection was conducted only in the period of March 2011 to March 2014. From these piezometers, only 8 piezometers had been recorded monthly. Therefore, the data of 8 piezometers were used to investigate the groundwater level fluctuation. For investigating the effect of waterways, the map of waterways was extracted from digital elevation models (DEM) of the area. Other factors that control the distribution of groundwater resources were prepared from various sources, including satellite images, hydrogeological data, geological and topographic data. Finally, Excel software was used to analyze statistical parameters and Arc GIS software was employed to draw maps.

FINDINGS AND ARGUMENT

In this study, the effect of various factors, including precipitation, distance from waterways, tectonic status and faults, and the pit expansion on the groundwater level fluctuation were investigated as follows and the influencing factors were identified.

- To investigate the relationship between precipitation and groundwater level in the western anomalies of Sangan mine, the graph of month-to-month changes in precipitation and groundwater level in the period of March 2011 to March 2014 was drawn. Then, the coefficient of determination between these two factors was calculated for each of the piezometers in the mentioned time period (Table 1). It was found that there is a very low coefficient of determination between precipitation and groundwater level changes. The lowest coefficient of determination is related to piezometer A-55 with R^2=0.01 and the highest coefficient of determination is related to piezometer Cs-71 with R^2=0.0423. By examining the coefficient

Table 1. Correlation between average monthly groundwater levels and precipitation for piezometers (Mar-2011 to Mar-2014)

Piezometer	Cs-9	Cs -71	Cs -57	Cs -41	Cs -38	Cs -12	A-55	A-45
Coefficient of determination (R^2)	0.0417	0.0423	0.0359	0.0142	0.0023	0.0236	0.0001	0.0079

of determination, it can be concluded that there is no significant relationship between the precipitation changes and the groundwater level in the study area.

- To investigate the relationship between distance from waterways in the catchment area of the Sangan mine and groundwater level fluctuations, correlation curve between the distance from waterways and groundwater level drop of observation piezometers (Mar-2011 - Mar-2014) was drawn (Figure 1). It was determined that there is no significant relationship between these two factors (R^2=0.0035) in the study area.

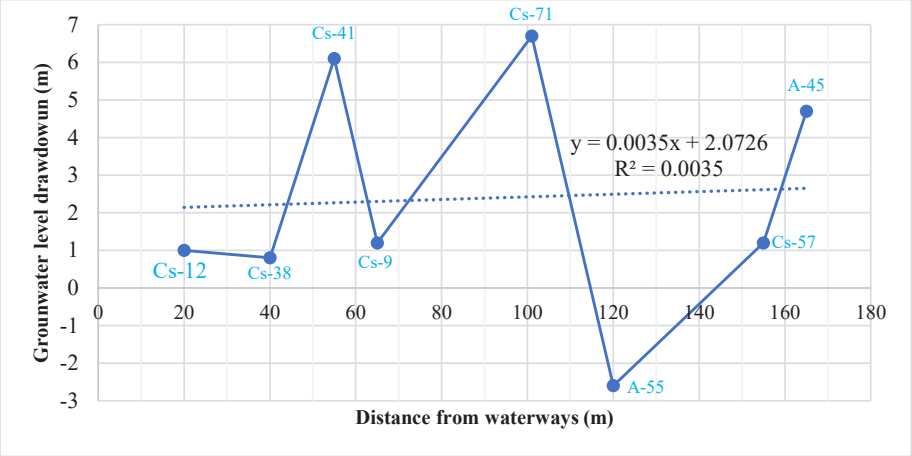


Figure 1. Correlation curve between the distance from waterways and groundwater level drop of observation piezometers (Mar-2011 to Mar-2014)

- To investigate the effect of fault and tectonic events on groundwater level fluctuations, the diagram of the groundwater level changes in each of the piezometers existed during the period of March 2011 to March 2014 was drawn. By examining this diagram and faults map of the study area, it was found that the sub-fault between the anomalies C and B behave as barrier with respect to groundwater flow between the anomaly C and other anomalies. This has caused the pit expansion in anomaly Cn to have no effect on the groundwater level of piezometers A-45 and A-55, which are located on the left side of the mentioned fault.

- In order to investigate the effect of pit expansion on the groundwater level of the nearby areas, the diagram of groundwater level drop of observation piezometers and the distance from Cn-Pit was drawn using the piezometer data (Figure 2). According to this diagram, it was found that up to a distance of 700 meters from the Cn-pit, with increasing distance from the pit, the amount of change in the groundwater level decreases. By increasing the distance from 700 meters to 3300 meters, the amount of change in the groundwater level increased and finally, at a distance of 3500 meters from the Cn-pit, instead of a drop in the groundwater level, an increase in the height of the groundwater up to 2.6 meters occurred in the study time period.

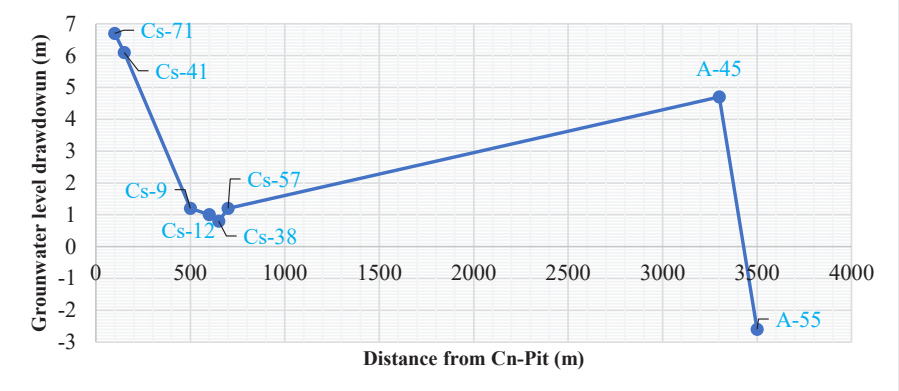


Figure 2. Diagram of groundwater level drop of observation piezometers and distance from Cn-Pit

- By drawing the correlation diagram between the distance from Cn-Pit and the groundwater level drop of observation piezometers of the nearby areas up to a distance of 700 meters from the Cn-pit, and obtaining a coefficient of determination equal to 0.94 (R^2=0.94),, it was determined that the radius of influence of the development of this pit on the groundwater level change of the nearby areas is about 700 meters. It indicates that waterways during pit expansion is an important factor affecting groundwater resources. The closer to the mining pit, the greater the amount of groundwater drawdown, and the greater the fluctuation. The waterways effect of mining pit has different degrees of influence on groundwater resources in different distribution areas, and the magnitude of this influence is inversely proportional to the distance from the Cn-pit mining area, that is, the closer to the Cn-pit, the greater the influence of mining on groundwater fluctuation.

CONCLUSIONS

By increasing the depth of the excavation of western anomaly of the Sangan iron mine, Cn-pit floor has reached below the groundwater level, and it has faced the problem of groundwater inflow into the pit through seepage faces that form on the pit walls and as upward flow at the pit floor. Therefore, in order to determine the appropriate dewatering system, it is important to identify the influencing factors on the groundwater level fluctuations in the mining area. To achieve the goal, the affecting factors on the groundwater level, including precipitation, distance from waterways, faults, tectonics and structural events and the pit in the western anomaly of Sangan mine were studied. By examining the fluctuations of the groundwater level caused by these factors in the period from March 2011 to March 2014 and analyzing the graphs and maps, it was found that the amount of precipitation and the distance from the waterways do not have a significant effect on the groundwater level fluctuations in the study area. However, the expansion of Cn-pit has an effect on the groundwater level drawdown to a distance of about 700 meters from the pit, and this effect gradually decreases with the increase of the distance from the pit. In the areas further than 700 meters to the west of the study area, due to the existence of a fault, the hydraulic connection of the groundwater with the Cn-pit has been interrupted, which causes the expansion of this pit to have little effect on the groundwater level in the western part of the study area. Of course, with the pit expansion and the deepening of the mine, the fault may have a different effect on the flow of groundwater towards the pit.

By knowing this information, it is possible to make the right decision to determine an appropriate dewatering system and to determine the location of pumping wells in the study area.

REFERENCES

[1] Smith, L. (2021). *"Hydrogeology and mineral resource development"*. The Groundwater Project: Guelph, ON, Canada.

[2] Beale, G., and Read, J. (2014). *"Guide line S for Evaluating Water in Pit Slope Stability"*. CSIRO Publishing.

[3] Preene, M. (2015). *"Techniques and developments in quarry and surface mine dewatering"*. In Proceedings of the 18th Extractive Industry Geology Conference 2014 and Technical Meeting 2015, EIG Conferences Ltd, London, 194-206.

[4] Fernández-Álvarez, J. P., Álvarez-Álvarez, L., and Díaz-Noriega, R. (2016). *"Groundwater numerical simulation in an open pit mine in a limestone formation using MODFLOW"*. Mine Water and the Environment, 35(2): 145-155.

[5] Jele, R., and Dunn, M. J. (2019, April). *"Economic significance of geotechnical uncertainties in open pit mines"*. In MGR 2019: Proceedings of the First International Conference on Mining Geomechanical Risk, Australian Centre for Geomechanics, 111-126.

نشریه مهندسی منابع معدنی، سال ۱۴۰۲، دوره هشتم، شماره ۳، ص ۳۶-۱۵

نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering (JMRE)

دوره هشتم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، صفحه ۱۹ تا ۳۶
Vol. 8, No. 3, Autumn 2023, pp. 19-36

علمی-پژوهشی

بررسی عوامل موثر بر نوسانات سطح آب زیرزمینی در محدوده آنومالی‌های غربی معدن سنگ آهن سنگان

محسن صفری[۱]، فرامرز دولتی ارده‌جانی[۲،۳*]، سروش مقصودی[۳]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی معدن، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران
۲- استاد، دانشکده مهندسی معدن، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران
۳- پژوهشگر، آزمایشگاه تحقیقاتی MEHR، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران

دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۳ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۲

چکیده

جهت طراحی سیستم زهکشی مناسب در یک معدن روباز، به شناخت دقیق شرایط هیدروژئولوژیکی و عوامل موثر بر وضعیت آب‌های زیرزمینی منطقه معدنی نیاز است. از عوامل مهم برای بررسی شرایط هیدروژئولوژیکی یک منطقه معدنی، شناخت وضعیت حوضه آبریز، تغییرات زمانی و مکانی سطح پیزومتریک و دامنه اختلالات ناشی از فعالیت‌های معدنکاری، شرایط جوی و وضعیت تکتونیکی منطقه است. شرایط هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی معدن روباز سنگ آهن سنگان نیز متاثر از عوامل جوی مانند بارش و عوامل تکتونیکی شامل تعداد گسل‌ها و روند آن‌ها، فواصل و ارتباط آن‌ها با یکدیگر است. بر این اساس در این تحقیق، تاثیر عوامل مختلف شامل میزان بارندگی، آبراهه‌ها، وضعیت تکتونیک و گسل‌های منطقه و گسترش پیت معدن در طول دوره بهره‌برداری بر نوسانات سطح آب زیرزمینی حوضه آبریز منطقه معدنی سنگ آهن سنگان ارزیابی شد. با بررسی نوسانات سطح پیزومتریک ناشی از این عوامل در دوره زمانی اسفند ۱۳۸۹ تا اسفند ۱۳۹۲ و تحلیل نمودارها و نقشه‌ها مشخص شد که از بین عوامل یاد شده، گسترش پیت آنومالی Cn بیشترین تاثیر را بر افت سطح پیزومتریک آنومالی‌های غربی منطقه سنگان دارد. با ترسیم نمودار همبستگی بین فاصله از پیت و تغییرات تراز آب زیرزمینی مناطق مجاور آنومالی Cn و به دست آمدن ضریب همبستگی حدود ۹۴٪، مشخص گردید که شعاع تاثیر گسترش این پیت بر تغییر تراز آب زیرزمینی مناطق مجاور حدود ۷۰۰ متر است. همچنین، مشخص شد که عواملی همچون میزان بارندگی، وضعیت آبراهه‌ها و وضعیت تکتونیک به طور مستقیم بر نوسانات سطح آب زیرزمینی آنومالی‌های غربی تاثیر چندانی نمی‌گذارند.

کلمات کلیدی

گسترش پیت معدن، تکتونیک و گسل‌ها، فعالیت‌های معدنکاری، حوضه آبریز، معدن سنگان.

استناد به این مقاله

صفری، م.، دولتی ارده جانی، ف.، مقصودی، س.؛ ۱۴۰۲؛ "**بررسی عوامل موثر بر نوسانات سطح آب زیرزمینی در محدوده آنومالی‌های غربی معدن سنگ آهن سنگان**". نشریه مهندسی منابع معدنی، دوره هشتم، شماره ۳، ص ۳۶-۱۵.

DOI: 10.30479/JMRE.2023.17964.1609

*نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: fdoulati@ut.ac.ir

حق‌مؤلف © نویسندگان
ناشر: دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

۱- مقدمه

بهره‌برداری از معادن بزرگ با حجم بالای سرمایه‌گذاری باید با برنامه‌ریزی دقیق و استفاده بهینه از کلیه امکانات شامل ماشین‌آلات، تجهیزات کارگاهی و نیروی انسانی همراه باشد. به علت افزایش عمق استخراج معادن روباز و رسیدن تراز استخراج معدن به پایین‌تر از سطح ایستابی، آب‌های زیرزمینی از لایه‌های اطراف به سمت فضای معدنی جریان می‌یابد. این مساله پیت معدن را با مشکلات و مخاطرات متعددی مواجه می‌سازد که در صورت نفوذپذیری قابل توجه سنگ در محدوده پیت معدن، در بهترین حالت باعث کاهش کارآیی عملیات و در بدترین حالت باعث مشکلات متعدد مانند توقف عملیات معدنکاری و یا ناپایداری ژئوتکنیکی دیواره‌های پیت می‌شود [۵-۱]. معمولا فشار آب در منافذ سنگ، شکستگی‌ها یا سایر ناپیوستگی‌های موجود در سنگ‌های دیواره پیت معدن روباز، تنش موثر را کاهش می‌دهد، در نتیجه باعث کاهش مقاومت برشی سطوح ناپیوستگی می‌شود و یا میزان رطوبت موادی مانند رس‌ها، شیل‌ها و سنگ‌ها را افزایش می‌دهد که باعث تسریع هوازدگی و کاهش مقاومت برشی توده سنگ می‌شود. ضمن اینکه پایداری دیواره پیت را با مشکل روبه‌رو می‌سازد [۶]، که این امر به نوبه خود تاثیر زیادی بر کارآیی و وضعیت ایمنی و اقتصادی عملیات استخراج می‌گذارد [۱۲-۷]. علاوه بر این، ممکن است ورود آب به داخل پیت معدن یک دریاچه ایجاد کند. اثرات نامطلوب این امر ممکن است باعث از دست رفتن دسترسی به کل یا بخشی از منطقه کار معدن و یا توقف عملیات معدنکاری و بسته شدن این قسمت از معدن شود، بنابراین از موضوعات مهم عملیات معدنکاری روباز، تاثیر آب بر فعالیت‌های معدنی و همچنین تاثیر متقابل فعالیت‌های معدنی بر کمیت و کیفیت منابع آب در دسترس محدوده معدن به ویژه تراز آب زیرزمینی است که معدن سنگ آهن سنگان نیز از این قاعده مستثنی نیست. پیت آنومالی Cn معدن سنگ آهن سنگان بعد از چند سال بهره‌برداری و استخراج سنگ معدن به پایین‌تر از تراز آب زیرزمینی رسیده و بهره‌برداری با مشکل ناشی از مخاطرات و مشکلات نشت آب از دیواره‌های معدن و همچنین نشت از کف پیت مواجه شده است. برای ادامه استخراج، باید این آب را پمپاژ و به مکانی دیگر تخلیه کرد. با زهکشی و تخلیه آب یک مخروط افت در سطح آب زیرزمینی یا پیزومتریک ایجاد خواهد شد که بر وضعیت آب‌های زیرزمینی منطقه تاثیر قابل توجهی می‌گذارد، بنابراین برای بررسی این اثرات متقابل، به شناخت کافی از رژیم آب‌های زیرزمینی، وضعیت زمین‌شناسی و تکتونیک اطراف معدن و ویژگی‌های هیدرولیکی لایه‌های زمین‌شناسی نیاز است. علاوه بر این، باید تاثیر عوامل مختلف مانند میزان بارش، فاصله از آبراهه‌ها و گسترش پیت بر تراز آب‌های زیرزمینی بررسی شود تا بتوان برای کنترل آب‌های زیرزمینی هجومی به محدوده معدنکاری، سیستم آبکشی و زهکشی مناسب را به درستی طراحی کرد.

تحقیقاتی در مورد تاثیر استخراج معادن روباز بر تراز آب‌های زیرزمینی مناطق مجاور معادن انجام گرفته است و یک روند نزولی در سطح آب‌های زیرزمینی از طریق پایش طولانی مدت تراز آب‌های زیرزمینی در معادن روباز مشاهده شده است [۱۳]. چن و همکاران تاثیر استخراج معدن روباز زغال‌سنگ Baorixile بر تراز آب‌های زیرزمینی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ۱) عملیات زهکشی در طول عمر معدن روباز باعث کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و تشکیل یک مخروط افت با حداکثر افت حدود ۶۰ متر می‌شود که حداکثر شعاع تاثیر آن ۸ کیلومتر است. ۲) محدوده کاهش سطح آب زیرزمینی در شعاع تاثیر با فاصله از پیت معدن زغال‌سنگ و حجم زهکشی ارتباط دارد. فاصله نزدیکتر تا پیت معدن و حجم زهکشی بیشتر باعث کاهش بیشتر سطح آب‌های زیرزمینی می‌شود [۱۴].

در خصوص تاثیر عوامل جوی مانند بارش و رواناب‌ها و تاثیر عوامل تکتونیکی بر تغییر تراز آب زیرزمینی مختص مناطق معدنی، پژوهش کمتری انجام شده است، اما تاثیر این عوامل بر وضعیت آب زیرزمینی در دشت‌ها و مناطق غیرمعدنی توسط پژوهشگران متعددی صورت گرفته است. در مورد موضوع تاثیر میزان بارش، ونینیکو همبستگی تغییرات فرکانس پایین بین بارش و سطح آب زیرزمینی را در یک آبخوان آزاد در آرژانتین شناسایی کرد [۱۵]. محققان دیگری مانند هانسون و همکاران در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۶ [۱۸-۱۶]، گاردنر و هیلویل [۱۹]، نادریان‌فر و همکاران [۲۰] ، رضایی بنفشه و جلالی [۲۱]، کیو و همکاران [۲۲]، کوتچونی و همکاران [۲۳]، کوی و همکاران [۲۴]، سالو و همکارن [۲۵]، عزیزی و همکاران [۲۶] و کونگ و همکاران [۲۷] تغییرات در تراز آب زیرزمینی که با بارندگی ارتباط دارند را بررسی کرده‌اند. این محققان با تجزیه و تحلیل اطلاعات سطح آب و میانگین متحرک بارش سالانه بیان داشتند که سیستم آب‌های زیرزمینی تحت تاثیر بارش در مقیاس‌های مختلف قرار می‌گیرد. محققانی مانند شا

و همکارن [۲۸]، فرانسیسکو و همکاران [۲۹]، دونکر [۳۰] و هاندکا و همکاران [۳۱] به بررسی رابطه بارش و رواناب‌ها پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که عوامل بسیار زیادی وجود دارد که بر میزان رواناب یک منطقه موثر است.

یکی دیگر از عوامل موثر بر تراز آب‌های زیرزمینی، عوامل تکتونیکی است که اثرات قابل توجهی بر وضعیت منابع آب زیرزمینی دارد. در بین این عوامل، نقش گسل‌ها بسیار بارز است. گسل‌ها با توجه به تغییراتی که می‌توانند در توالی لایه‌ها ایجاد کنند و همچنین با توجه به نقش مهمی که صفحات گسلی و شکستگی‌ها در نفوذ آب‌های جاری ایفا می‌کنند، به طور تعیین‌کننده‌ای بر تراز آب زیرزمینی اثرگذار هستند. پژوهش‌های انجام شده، نشان می‌دهد در موارد بسیاری بین وضعیت منابع آب و ساختارهای زمین‌شناسی مناطق ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. تراواگلیا در بررسی منابع آب زیرزمینی سوریه از خطواره‌ها و عناصر تکتونیکی به عنوان یک لایه اطلاعاتی مهم استفاده کرد و به نتایج سودمندی در خصوص رابطه این عناصر با پتانسیل آبدهی چاه‌ها رسید [۳۲]. احمد از خطواره‌ها به عنوان راهنمای اکتشاف آب‌های زیرزمینی در سازندهای سخت موجود در نواحی خشک و نیمه خشک مراکش استفاده کرد و نتیجه گرفت که عوامل تکتونیکی روی هیدروگرافی منطقه تاثیر زیادی داشته و الگوی شکستگی‌ها نشان‌دهنده آن است که گسل‌ها مسیرهای عمده برای حرکات جانبی و عمودی آب‌های زیرزمینی‌اند [۳۳]. علاوه بر موارد یاد شده، بررسی کلی اثر گسل‌ها بر وضعیت آب‌های زیرزمینی موضوع تحقیقات پژوهشگران زیادی مانند لیپمن و همکاران [۳۴]، مدل و همکاران [۳۵]، ال-تاج [۳۶]، هرناندز و بربی [۳۷]، الهانگ و الزین [۳۸]، لین و همکارن [۳۹]، کیانی و یوسفی [۴۰]، عمار و کمال [۴۱]، محرابی و پورخسروانی [۴۲] و فرونزی و همکاران [۴۳] بوده است.

با توجه به مطالب یاد شده در ارتباط با اهمیت بررسی و کنترل تراز آب‌های زیرزمینی بر سیستم زهکشی معادن روباز و اینکه تاکنون مطالعه‌ای در این خصوص در معدن سنگ آهن سنگان انجام نشده، این پژوهش بر آن است تا عوامل تاثیرگذار بر تراز آب‌های زیرزمینی و روند تغییرات سطح آب زیرزمینی این حوضه را مورد بررسی قرار داده و با توجه به روند موجود، عوامل موثر بر تغییرات سطح آب زیرزمینی را با هدف تعیین سیستم زهکشی جهت کنترل جریان آب ورودی به پیت معدن شناسایی کند. در این تحقیق، تاثیر مجموعه عوامل مختلف شامل میزان بارش، فاصله از آبراهه‌ها، وضعیت تکتونیک و گسل‌ها و گسترش پیت بر نوسانات سطح آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه بررسی و عوامل تاثیرگذار مشخص شد.

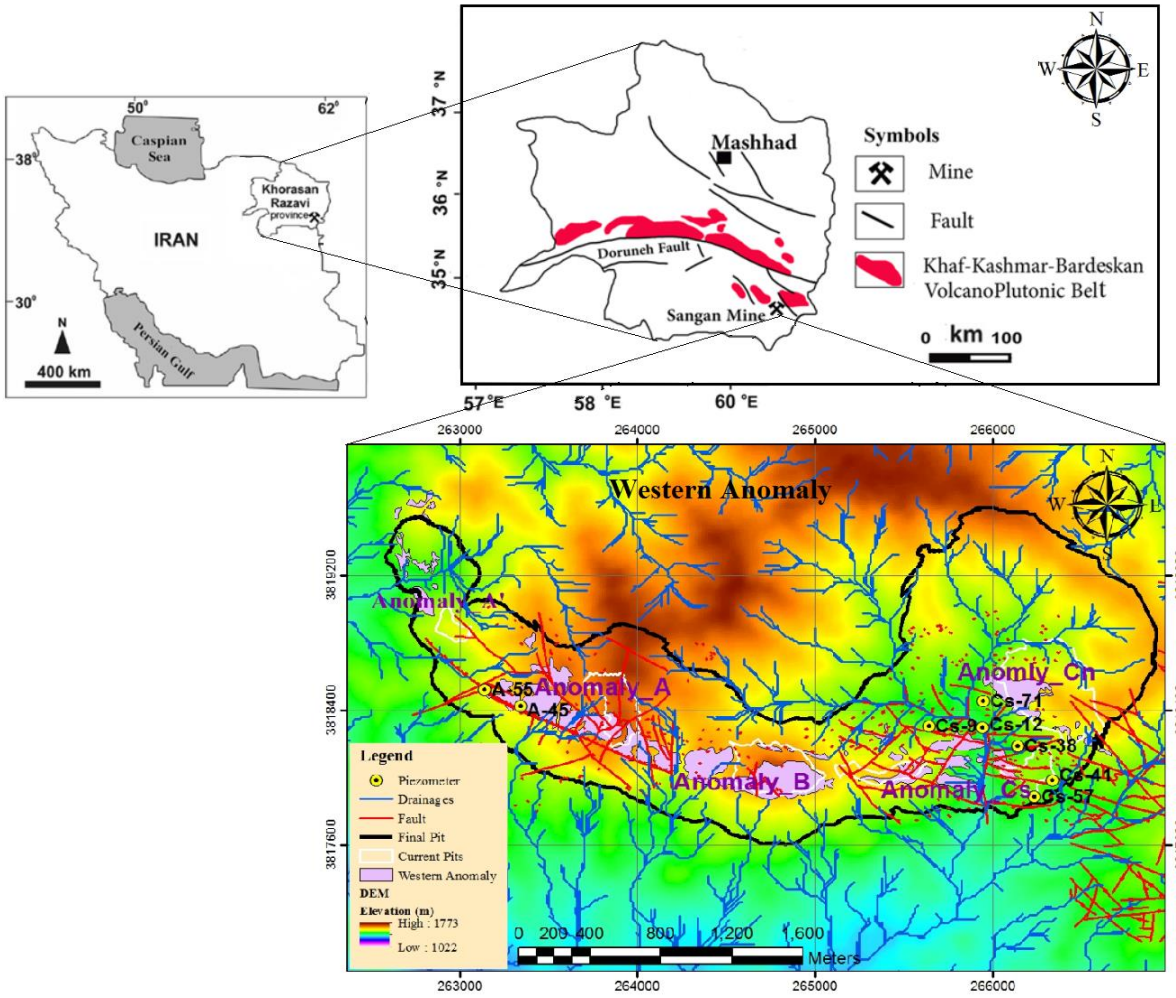
۲- معرفی منطقه مورد مطالعه

۲-۱- موقعیت جغرافیایی و وضعیت اقلیمی

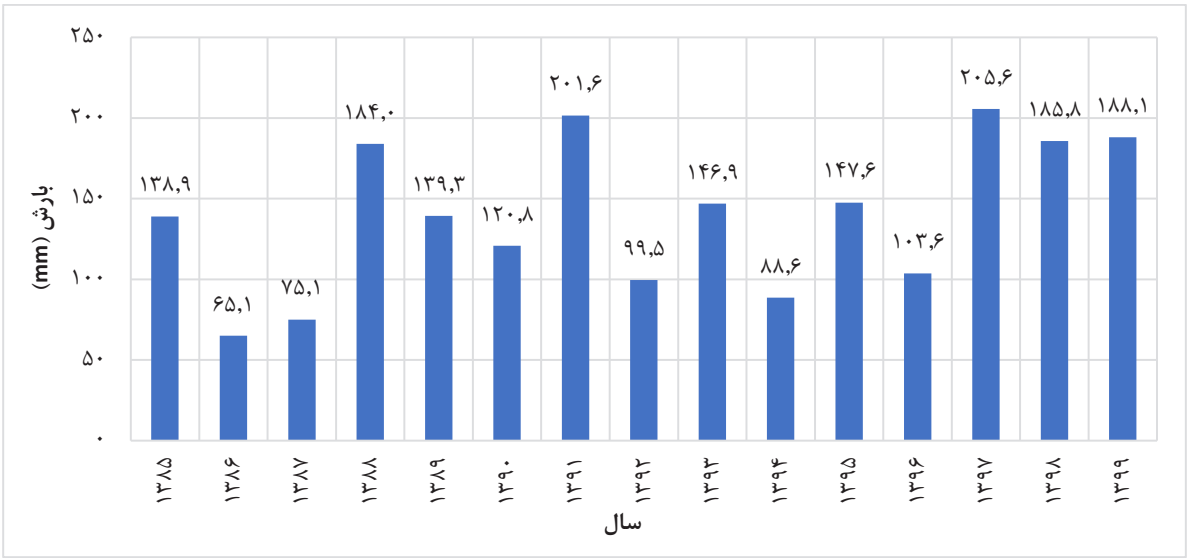
معدن سنگ آهن سنگان در استان خراسان رضوی (شمال شرقی ایران) در فاصله ۳۰۰ کیلومتری جنوب شرقی مشهد، ۴۰ کیلومتری شمال شرق خواف و ۱۸ کیلومتری شمال شرق شهر سنگان واقع شده است. ذخایر سنگ آهن سنگان در قسمت شرقی رشته کوه ولایت در محدوده شهر سنگان قرار دارد. این ذخایر معدنی، در گستره‌ای بین طول‌های جغرافیایی ′۲۴ °۶۰ و ′۴۵ °۶۰ و عرض‌های جغرافیایی ′۲۶ °۳۴ و ′۳۳ °۳۴ واقع شده است [۴۴]. در این منطقه چندین کانسار و اندیس آهن وجود دارد که از گذشته به نام کانسارهای غربی، مرکزی و شرقی معرفی شده‌اند. محدوده مطالعاتی در این پژوهش کانسارهای غربی با ابعاد تقریبی ۳*۲ کیلومتر است که از ۵ آنومالی A'، A، B، Cn و Cs تشکیل شده است (شکل ۱). به طور کلی در شمال این بخش واحدهای سنگی گرانیت و آمفیبولیت بیوتیت‌دار مشاهده شده که در زیر آن واحد اسکارنی قرار گرفته است. واحد اسکارنی نیز قابل تفکیک به اسکارن شمالی و جنوبی بوده که قسمت شمالی شامل آنومالی Cn و بخش جنوبی آن متشکل از آنومالی‌های A'، A، B و Cs است. در واحد اسکارن شمالی سیلتستون‌ها، شیل‌ها، سنگ آهک کریستاله و مگنتیت و در واحد اسکارن جنوبی علاوه بر مگنتیت، اسکارن کلسیتی، برش‌های اسکارنی و توف‌های ولکانیکی مشاهده می‌شود.

محدوده مورد بررسی از دیدگاه اقلیمی در ناحیه خشک تا نیمه کویری و تا حدودی کوهستانی قرار دارد. تغییرات درجه حرارت بین ۴۵ درجه سانتی‌گراد در فصل تابستان تا ۱۵- درجه سانتی‌گراد در فصل زمستان در نوسان است. مقدار بارش سالیانه حدود ۱۲۰ میلی‌متر به صورت برف و باران است. فروردین ماه پر بارش‌ترین ماه سال است. تیر ماه گرم‌ترین و دی ماه سردترین ماه سال است. در شکل‌های ۲ تا ۵ به ترتیب نمودارهای مجموع بارش سالیانه، متوسط بارش ماهانه، متوسط دمای سالانه و ماهانه در بازه زمانی مربوط به سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰ نشان داده شده است.

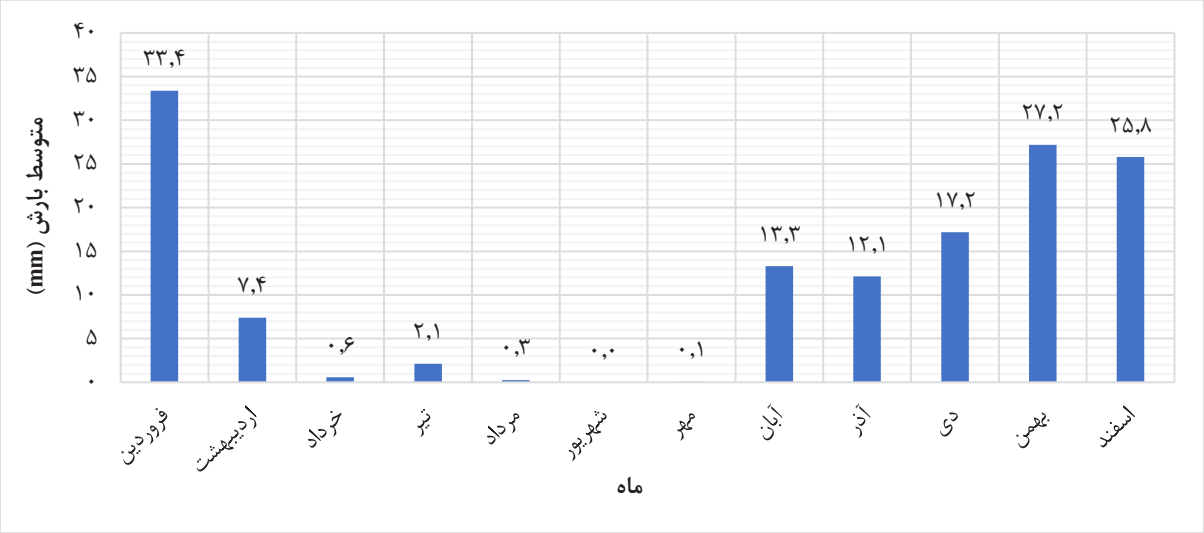
از لحاظ پوشش گیاهی، منطقه شامل بادام کوهی، گون، گز، کما و گیاهان محلی بوده و پوشش گیاهی آن نسبتا خوب است.



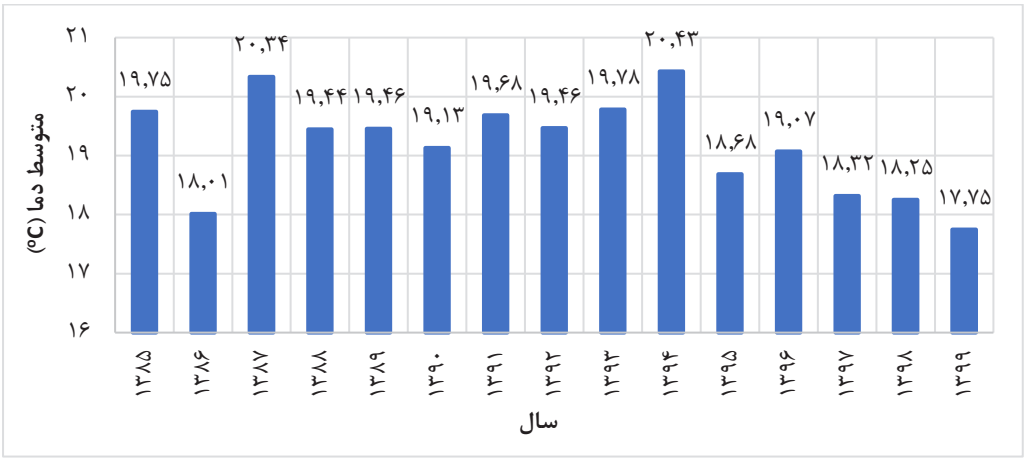
شکل ۱: محدوده مورد مطالعه روی نقشه زمین‌شناسی منطقه سنگان شامل آنومالی‌های غربی



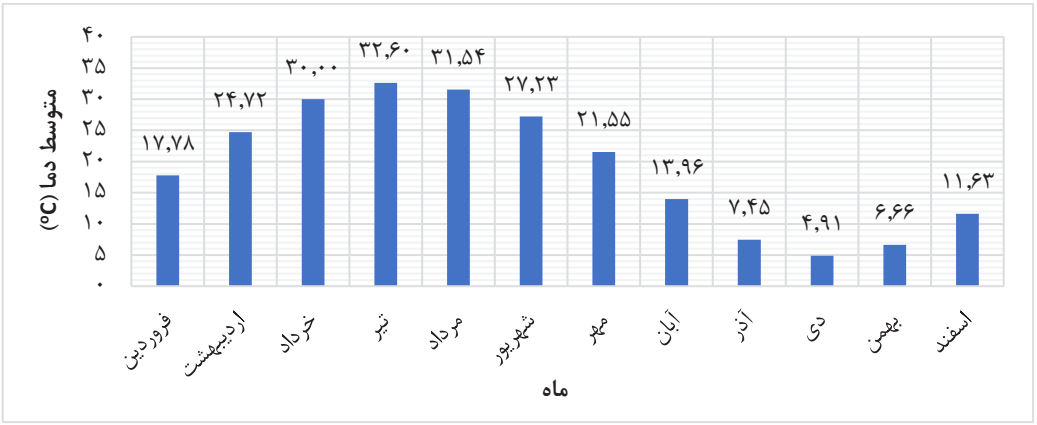
شکل ۲: مجموع بارش سالیانه در محدوده معدن سنگان



شکل ۳: متوسط بارش ماه‌های در محدوده معدن سنگان در بازه ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰



شکل ۴: متوسط دمای سالانه در محدوده معدن سنگان



شکل ۵: متوسط دما ماه‌های سال در محدوده معدن سنگان در بازه ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰

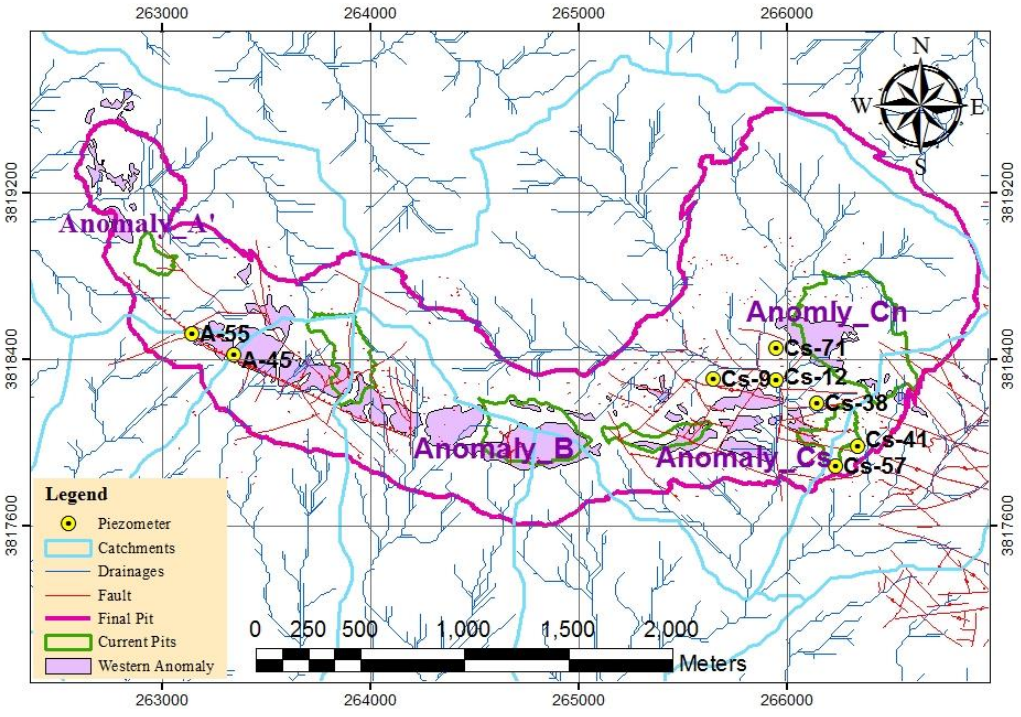
در محدوده مورد مطالعه ۳۹ پیزومتر وجود دارد که برداشت و ثبت اطلاعات فقط در بازه زمانی اسفند ۱۳۸۹ تا اسفند ۱۳۹۲ انجام شده است. از این ۳۹ پیزومتر، تنها در ۸ پیزومتر به طور ماهانه ثبت اطلاعات صورت گرفته است، بنابراین در این مقاله، اطلاعات بارش محدوده مورد مطالعه از داده‌های هواشناسی منطقه و برای آگاهی از نوسانات تراز آب‌های زیرزمینی از داده‌های ۸ پیزومتر استفاده شد. موقعیت این ۸ پیزومتر در شکل ۶ نشان داده شده است.

۲-۲- هیدروژئولوژی

از نقطه نظر هیدروژئولوژی، واحدهای آبرفتی که عموما شامل رسوبات شن و ماسه‌ای بوده، محل مناسبی برای تشکیل مخازن آبی هستند. شرایط مورفولوژیکی حاکم بر منطقه معدنی سنگان و تشکیل این واحدها در مسیر آبراهه‌ای و دره‌های موجود در محدوده‌های معدنی سبب شده که ضخامت واحدهای آبرفتی در این محدوده‌ها کم باشد و ذخیره آب قابل توجهی را تشکیل ندهند.

واحدهای نفوذی آنومالی‌ها به صورت توده‌های متراکم بوده که تحت تاثیر فرآیندهای تکتونیکی قرار گرفته و بعضا باعث ایجاد سیستم‌های شکستگی مکعبی (سه دسته درزه تقریبا عمود بر هم) شده است. با توجه به ساختار توده‌های آذرین موجود در منطقه، عبور آب از ماتریکس سنگ امکان‌پذیر نبوده و مسیرهای ترجیحی که به وسیله دسته درزه‌ها، شکستگی‌ها و گسل‌ها به وجود آمده، عامل اصلی عبور آب در این واحدها است. البته پرشدگی این مسیرهای ترجیحی به وسیله مواد ثانویه ناتراوا ممکن است مانع عبور جریان‌های زیرسطحی نیز شود.

بررسی اسکارن‌های تشکیل شده در محدوده معدنی سنگان نشان می‌دهد که این واحد دارای سیستم پیچیده تشکیل و پرشدگی شکستگی‌ها است. با توجه به بافت متراکم واحد اسکارن و همچنین به علت پرشدگی اکثر شکستگی‌ها، جریان آب زیرزمینی در این واحد به سهولت انجام نمی‌گیرد و بعضا واحد اسکارن به عنوان مانعی بر مسیر جریان آب تلقی شود. واحدهای آهکی عموما به صورت لایه‌ای تشکیل شده است. سیستم‌های شکستگی تکتونیکی و غیرتکتونیکی فراوان در این واحد وجود دارد. احتمال تشکیل مسیرهای ترجیحی به وسیله این سیستم‌های شکستگی در واحدهای آهکی بیشتر از واحدهای دیگر است. قدیمی‌ترین واحد موجود در محدوده مورد مطالعه واحد شیل و ماسه سنگی بوده که تحت تاثیر تنش‌های مختلفی قرار گرفته است. به علت لایه‌ای بودن این



شکل۶: موقعیت پیزومترها (۸ پیزومتر)، آنومالی‌ها، گسل‌ها و آبراهه‌ها در محدوده مورد مطالعه

واحد، سیستم‌های شکستگی در اغلب موارد عمود بر لایه‌بندی تشکیل شده است. شرایط هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی این واحد مشابه واحدهای نفوذی بوده و در صورت وجود شبکه شکستگی با تخلخل موثر احتمال تشکیل مسیرهای جریان در آن وجود دارد. از پدیده‌های قابل مشاهده در این واحد می‌توان به دایک‌های میکرونیزونیتی اشاره کرد که می‌توانند در این واحد به عنوان مانع جریان آب عمل کنند.

۳- بررسی عوامل موثر بر تراز آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه

بررسی تغییرات منابع آب زیرزمینی در مناطق مجاور پیت معادن روباز در برنامه‌ریزی استخراج معدن و کنترل جریان آب ورودی به پیت اهمیت فراوانی دارد. بر این اساس، عوامل موثر بر تراز آب زیرزمینی پیت آنومالی‌های غربی معدن سنگ آهن سنگان در ادامه بررسی و تشریح می‌شود.

۳-۱- تاثیر بارش بر تراز آب‌های زیرزمینی

عوامل بسیاری بر وضعیت منابع آب یک منطقه اثر می‌گذارند که مهم‌ترین آن‌ها وضعیت اقلیمی بوده که خود تامین‌کننده ورودی اصلی چرخه آب یعنی بارش است. برای بررسی ارتباط بین بارش و تراز آب‌های زیرزمینی پیت آنومالی‌های غربی معدن سنگ آهن سنگان نمودار تغییرات ماه به ماه بارش و تراز آب زیرزمینی در بازه زمانی اسفند سال ۱۳۸۹ تا اسفند سال ۱۳۹۲ ترسیم شد. همان‌طور که در شکل ۷-الف و ب مشاهده می‌شود، سطح آب زیرزمینی در پیزومترهای A-45 و Cs-71 دارای روند کاهشی نسبتا زیاد، در پیزومتر Cs-9 دارای روند کاهشی بسیار کم، در پیزومترهای A-55 و Cs-38 دارای روند افزایشی نسبتا زیاد و در پیزومترهای Cs-12، Cs-41 و Cs-57 دارای روند افزایشی بسیار کم و روند بارش در بازه یاد شده نسبتا افزایشی است.

برای بررسی ارتباط تراز آب زیرزمینی و بارش ماهیانه، ضریب همبستگی بین دو این عامل برای هر یک از پیزومترهای موجود در بازه زمانی یاد شده محاسبه شد (جدول ۱) که ضریب همبستگی بسیار پایینی بین آنها وجود دارد. کمترین میزان همبستگی مربوط به پیزومتر A-55 با $R^2=$ ۰/۰۱ و بیشترین میزان همبستگی مربوط به پیزومتر Cs-71 با $R^2=$ ۰/۰۴۲۳ است. با بررسی ضرایب همبستگی می‌توان به این نتیجه رسید که ارتباط معناداری بین تغییرات بارش و سطح تراز آب‌های زیرزمینی محدوده مورد مطالعه وجود ندارد.

روند تغییرات با تاخیرات ۱ تا ۵ ماه ترسیم و مشخص شد که بالاترین ضریب همبستگی با ۴ ماه تاخیر وجود دارد (شکل ۸-الف و ب). در حالت با چهار ماه تاخیر، ضریب همبستگی بین بارش و تراز آب‌های زیرزمینی پیزومترهای Cs-9 و Cs-57 حدود ۲۵ درصد است و در سایر پیزومترها همبستگی بسیار پایینی بین این دو پارامتر وجود دارد (جدول ۲).

۳-۲- تاثیر فاصله از آبراهه‌ها

هرگاه شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک بیشتر باشد بخشی از آب حاصله از بارندگی در سطح حوضه باقی می‌ماند. این آب پس از پر کردن گودال‌های سطح زمین در امتداد شیب زمین جریان پیدا کرده و از طریق شبکه آبراهه‌ها و رودخانه اصلی از حوضه خارج می‌شود و تشکیل رواناب سطحی می‌دهد که میزان راوناب رابطه مستقیم با میزان بارندگی دارد.

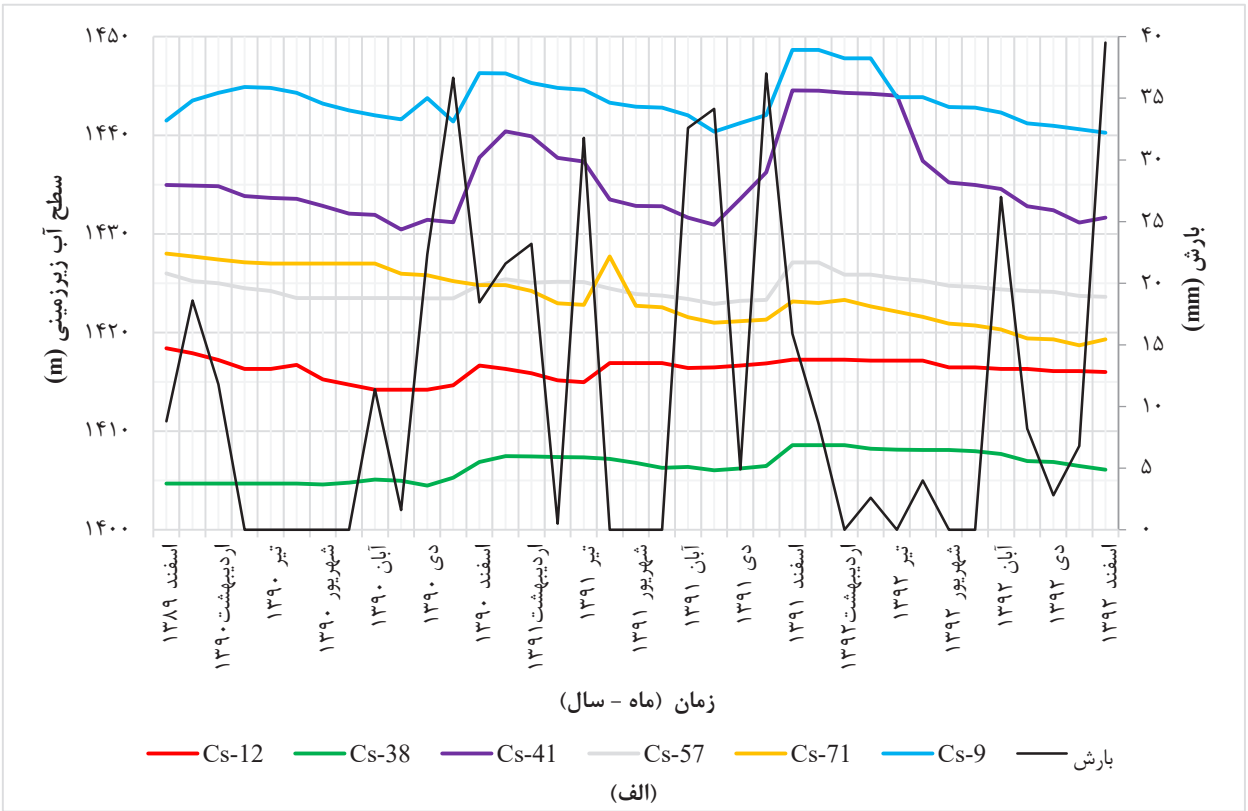
آبراهه‌ها (رودخانه‌ها) بر اساس ارتباط با آب زیرزمینی به سه دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول آبخوان را زهکش، دسته دوم آبخوان را تغذیه و دسته سوم نیز به هر دو صورت عمل می‌کنند [۴۵].

جدول ۱: ضرایب همبستگی بین تغییرات بارش و تراز آب زیرزمینی پیزومترها از اسفند سال ۱۳۸۹ تا اسفند سال ۱۳۹۲

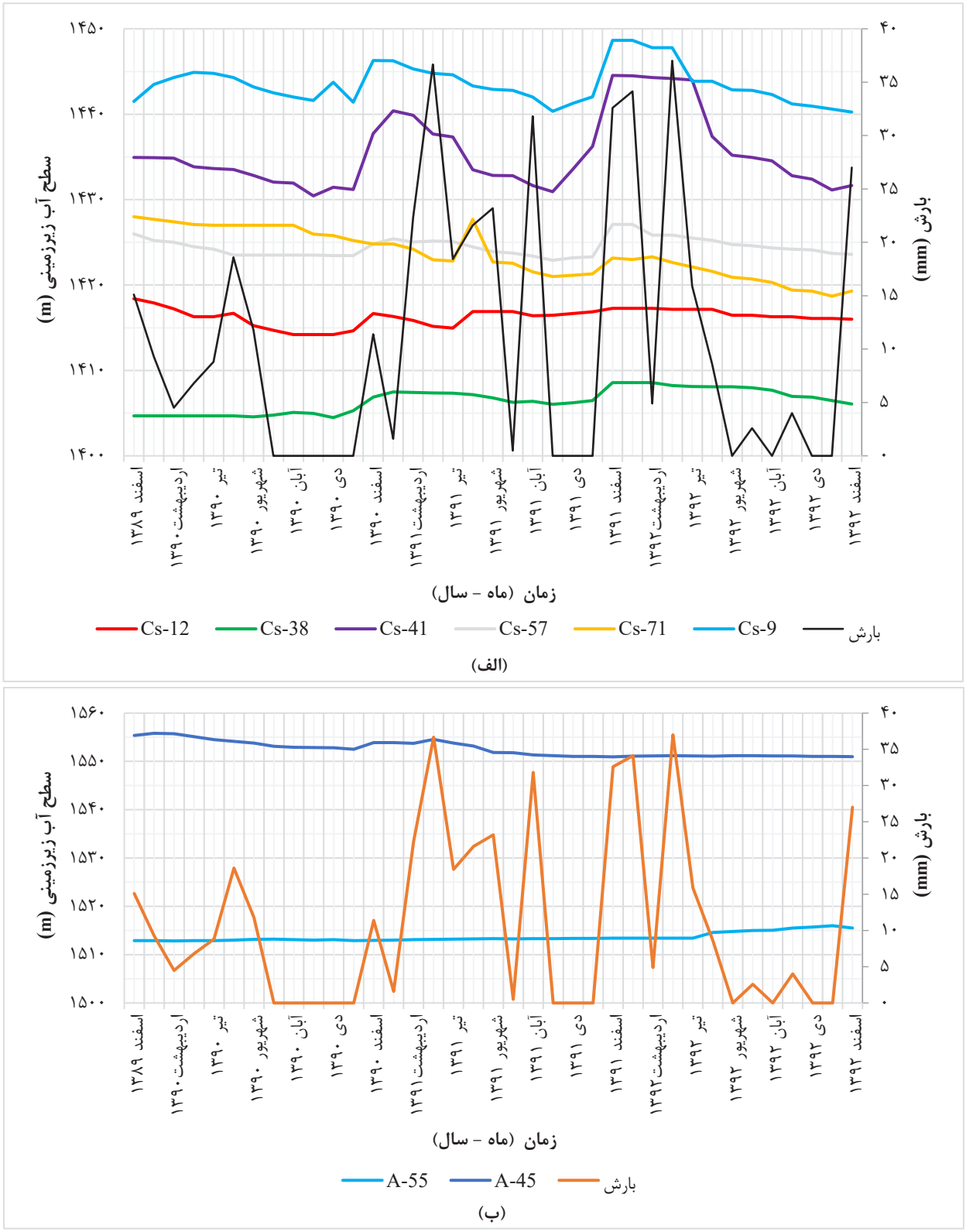
پیزومتر	A-45	A-55	Cs-12	Cs-38	Cs-41	Cs-57	Cs-71	Cs-9
ضریب همبستگی (R^2)	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۲۴	۰/۰۰۲۳	۰/۰۱۴۲	۰/۰۳۶	۰/۰۴۲۳	۰/۰۴۱۷

جدول ۲: ضرایب همبستگی بین تغییرات بارش و تراز آب زیرزمینی پیزومترها با چهار ماه تاخیر

پیزومتر	A-45	A-55	Cs-12	Cs-38	Cs-41	Cs-57	Cs-71	Cs-9
ضریب همبستگی (R^2)	۰/۰۰۰۸	۰/۰۳۱۹	۰/۰۶۸۷	۰/۱۲۱	۰/۲۳۷۴	۰/۲۵۳۱	۰/۰۰۰۰۵	۰/۲۴۶۱



شکل ۷: هیدروگراف میزان بارندگی ماهانه و ارتفاع سطح آب از اسفند ۱۳۸۹ تا اسفند ۱۳۹۲؛ الف) پیزومترهای Cs-9، Cs-12، Cs-38، Cs-41، Cs-57 و Cs-71 و ب) پیزومترهای A-45 و A-55



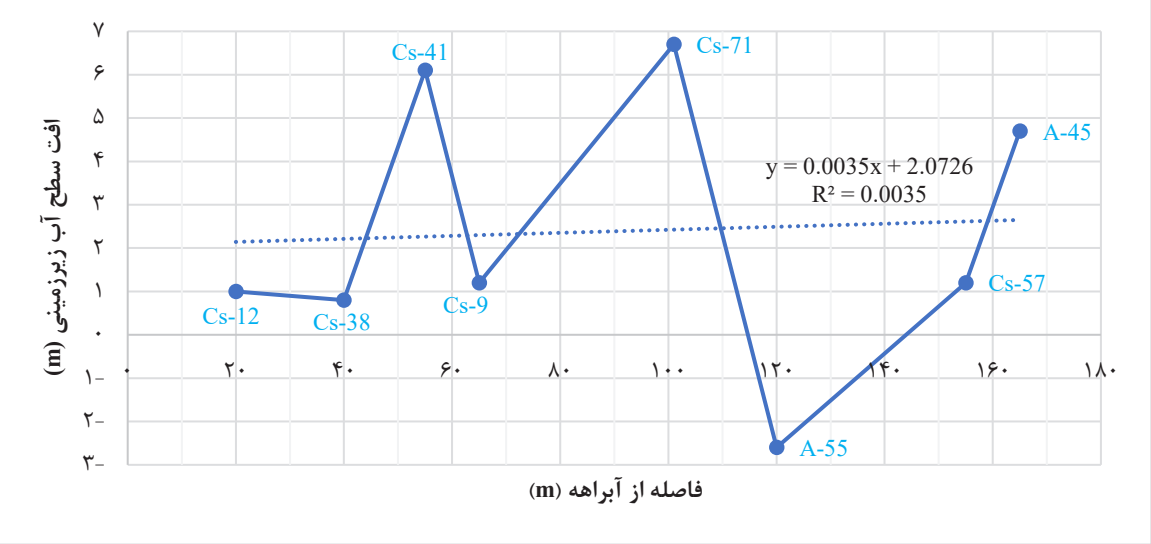
شکل ۸: هیدروگراف میزان بارندگی ماهانه و ارتفاع سطح آب زیرزمینی در پیزومترها با چهار ماه تاخیر؛ الف) پیزومترهای Cs-9، Cs-12، Cs-38، Cs-41، Cs-57 و Cs-71 و ب) پیزومترهای A-45 و A-55

در بسیاری از نواحی آب زیرزمینی و آب‌های سطحی به ویژه در مناطقی که آب‌های سطحی از قبیل آبراهه، آب زیرزمینی را تغذیه می‌کنند، با یکدیگر ارتباط هیدرولیکی دارند، بنابراین شناخت درست و اساسی از ارتباط هیدرولیکی بین آبراهه‌های حوضه آبریز و آب زیرزمینی اهمیت خاصی داشته و در تغییر تراز آب زیرزمینی تاثیرگذار است.

برای بررسی دقیق رابطه بین آبراهه‌های حوضه آبریز معدن سنگ آهن سنگان با تغییرات سطح آب زیرزمینی نمودار افت سطح آب زیرزمینی در دوره زمانی اسفند ۱۳۸۹ تا اسفند ۱۳۹۲ نسبت به فاصله از آبراهه‌ها مطابق شکل ۹ ترسیم و مشخص شد روند مشخص بین این دو عامل وجود ندارد. از طرفی نیز با رابطه مستقیم بین بارش و رواناب موجود در آبراهه‌ها و عدم رابطه معنادار بین بارش و تغییر تراز سطح آب زیرزمینی پیزومترها در محدوده مورد مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت فاصله پیزومترها از آبراهه‌ها تاثیر آشکاری بر تغییر تراز آب زیرزمینی آنومالی‌های غربی معدن سنگ آهن سنگان ندارد.

۳-۳- تاثیر شکستگی‌های ساختاری

بدون تردید زمین‌شناسی حوضه، مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده خصوصیات مخازن آب زیرزمینی به لحاظ پتانسیل آبی بوده و تعیین‌کننده کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی است. ماهیت و توزیع آبخوان‌ها در یک سیستم زمین‌شناسی به وسیله سنگ‌شناسی، چینه‌شناسی و ساختار نهشته‌ها و سازندهای زمین‌شناسی کنترل می‌شود. ویژگی‌های ساختاری مانند شکاف‌ها، شکستگی‌ها، چین‌خوردگی‌ها و گسل‌ها، ویژگی‌های هندسی و فیزیکی سیستم‌های زمین‌شناسی‌اند که در اثر تغییر شکل پس از رسوب‌گذاری یا تبلور ایجاد می‌شوند. در زمین‌هایی که به دلیل چین‌خوردگی و گسلش تغییر شکل داده‌اند، تشخیص سفره‌های زیرزمینی تحت تاثیر این ساختارهای زمین‌شناسی به دلیل پیچیدگی زمین‌شناسی، اغلب دشوار است. در این موارد، عنصر اصلی در بررسی آب‌های زیرزمینی، اغلب تجزیه و تحلیل ساختاری در مقیاس بزرگ محیط زمین‌شناسی با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی موجود و تصاویر سنجش از دور است. با این تحلیل می‌توان مرز یک آبخوان را تعریف کرد. برای یک تحقیق در مقیاس کوچک، روش‌های سنجش از دور، ژئوفیزیک و حفاری گمانه اغلب برای اکتشاف آبخوان کنترل شده با گسل استفاده می‌شوند. گسل یک ویژگی ساختاری است که ممکن است در سطح زمین نمایان یا ممکن است به وسیله لایه‌های پوشاننده یا لایه‌های خاک مدفون شود. از نظر هیدروژئولوژیکی، گسل‌ها نقش مهمی در شرطی‌سازی جریان آب دارند. گسل‌هایی که از نظر نئوتکتونیکی فعال‌اند و مناطق ضخیمی از سنگ‌های بریده و خرد شده دارند، ممکن است بسیار تراوا باشند، در حالی که گسل‌هایی که لایه نازکی از گوژ دارند، ممکن است تقریبا غیرقابل نفوذ باشند.



شکل ۹: نمودار همبستگی بین افت سطح آب زیرزمینی نسبت به فاصله از آبراهه‌ها (در دوره زمانی اسفند ۱۳۸۹ تا اسفند ۱۳۹۲)

ساختارهای زمین‌شناسی، مانند گسل‌ها، به دو روش متضاد پتانسیل تاثیرگذاری بر جریان آب‌های زیرزمینی دارند:

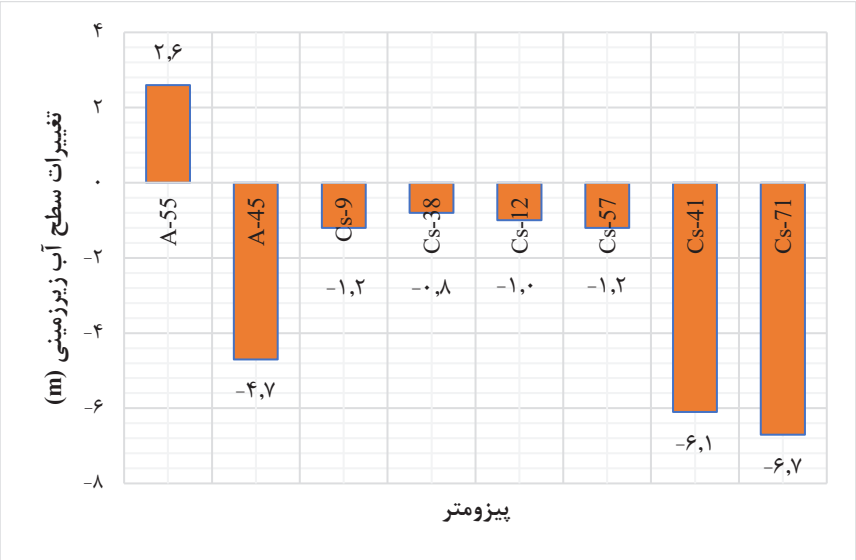
الف) مواد زمین‌شناسی در مجاورت صفحه گسل ممکن است شکستگی‌ها و روزنه‌هایی ایجاد کنند که مسیرهای اضافی برای جریان آب‌های زیرزمینی در امتداد مناطق گسل ایجاد می‌کند.

ب) گسل‌ها همچنین ممکن است به عنوان موانع هیدرولیکی عمل کنند که در آن کانی‌سازی و بارندگی در طول زمان به طور موثر شکستگی‌های ایجاد شده به وسیله گسل را مسدود می‌کند، بنابراین حرکت قابل توجه آب‌های زیرزمینی را در سراسر سازندها محدود می‌کند. به طور مشابه، ممکن است که گسل‌ها به صورت محلی سفره‌های زیرزمینی را جابه‌جا یا قطع و جریان جانبی آب زیرزمینی را مسدود کنند [۳۹،۳۸].

منطقه معدنی سنگ آهن سنگان از لحاظ زمین‌شناسی جزو ایران مرکزی است و در حاشیه شمال شرق زیر پهنه لوت قرار دارد. به دلیل قرارگیری در حاشیه پهنه لوت، علاوه بر متاثر شدن از تمام پدیده‌های پهنه لوت، تحت تاثیر پدیده‌های اطراف این پهنه از جمله گسل بزرگ کویر (درونه) نیز قرار گرفته است، بنابراین روند اکثر ساخت‌ها (گسل‌ها، چین‌ها، روند لایه‌ها و نظایر آن‌ها) به تبعیت از گسل درونه شمال غربی- جنوب شرقی تا شرقی- غربی است. در محدوده مورد مطالعه به طور کلی شکل پستی و بلندی منطقه تحت تاثیر خواص لیتولوژی و تکتونیکی است. بدین نحو که رخنمون‌های کربناته شامل آهک و آهک‌های بلورین مورفولوژی سخت و خشن دارد و اکثر ارتفاعات بلند محدوده را تشکیل می‌دهد. سیستم آبراهه‌ای اصلی منطبق بر خطواره‌های گسلی است و تنوع سنگ‌ها فرم آن‌ها را تغییر می‌دهد. بدین صورت که در سنگ‌های گرانیتی و آهکی شبکه آبراهه‌ای دندریتی است در حالی که در سنگ‌های ولکانوکلاستیکی بیشتر آبراهه‌ها موازی‌اند.

عمده‌ترین عناصر ساختاری منطقه معدنی سنگ آهن سنگان را گسل‌ها و درزه‌ها تشکیل می‌دهند که نقش بسزایی در ساختار ناحیه دارند. در بررسی‌های انجام گرفته در آنومالی‌های سنگان، برای برخی از آن‌ها تعدادی گسل شناسایی شده است که هر یک از این ساختارها بر اساس ویژگی‌هایی مانند روند عمومی، شیب، جهت شیب، نوع نیروهای موثر (کششی، برشی)، تعداد گسل‌ها و روندها، فواصل آن‌ها و ارتباط آن‌ها با یکدیگر بر شرایط هیدروژئولوژیکی منطقه تاثیرگذار هستند.

برای بررسی تاثیر گسل و تکتونیک بر تغییر تراز آب زیرزمینی، نمودار تغییرات سطح آب زیرزمینی هر یک از پیزومترهای موجود در دوره زمانی اسفند ۱۳۸۹ تا اسفند ۱۳۹۲ مطابق شکل ۱۰ رسم گردید. با بررسی این نمودار و نقشه تکتونیک و گسل‌های محدوده مورد مطالعه مشخص شد که گسل فرعی موجود بین آنومالی‌های C و B به عنوان محدودکننده جریان آب زیرزمینی بین آنومالی‌های C و



شکل ۱۰: افت سطح آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده به وسیله پیزومترها در بازه زمانی اسفند ۱۳۸۹ تا اسفند ۱۳۹۲

آنومالی‌های A’،A و B عمل می‌کند و باعث شده است تا گسترش پیت آنومالی Cn بر تراز آب زیرزمینی پیزومترهای A-45 و A-55، که در سمت چپ گسل یاد شده واقع شده‌اند، تاثیری نداشته باشد.

۳-۴- تاثیر گسترش پیت

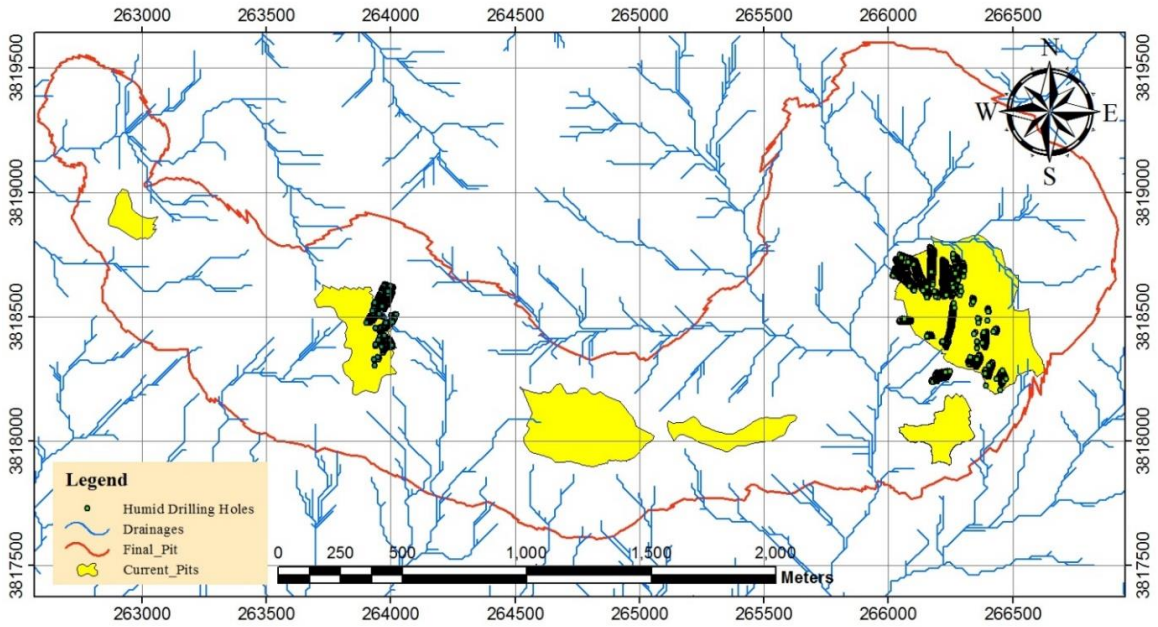
به طور کلی، اگر پیت معادن روباز در ترازهای پایین‌تر از سطح ایستابی یا سطح پیزومتریک توسعه یابد، این امر باعث می‌شود تا یک هاله افزایش هدایت هیدرولیکی در اطراف دیواره‌های پیت به دلیل شکستگی‌های کششی ناشی از انفجار و کاهش تنش‌های جانبی ایجاد و به اختلال در جریان طبیعی آب‌های زیرزمینی منجر شود [۴۸-۴۶]، که در نهایت به تغییر جریان آب زیرزمینی در نزدیکی پیت و تشکیل مخروط افت آب زیرزمینی در محدوده پیت معدن منجر می‌شود [۵۰،۴۹].

نفوذپذیری ناشی از شکستگی‌های به وجود آمده در دیواره پیت ممکن است به قدری بالا باشد که به جریان آب زیرزمینی از توده سنگ اطراف به سمت داخل پیت منجر شود و افت قابل توجهی در تراز آب زیرزمینی منطقه اطراف پیت ایجاد کند.

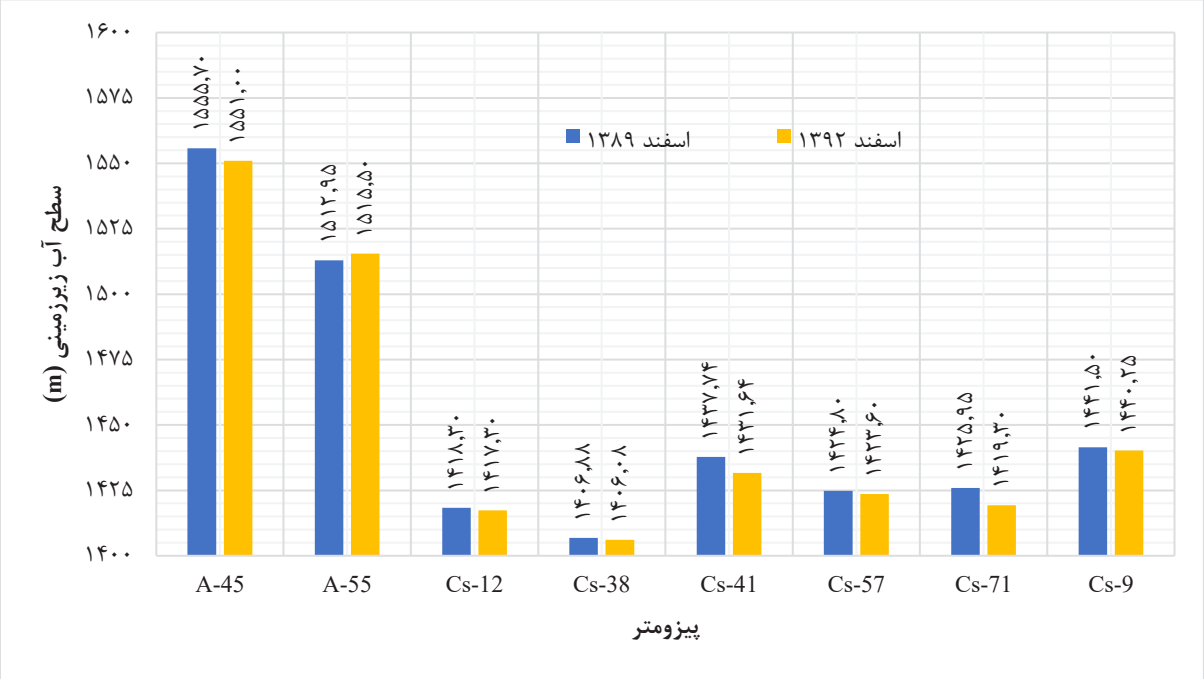
با بررسی چال‌های آتشباری حفر شده در محدوده آنومالی‌های غربی معدن سنگ آهن سنگان مشخص گردید که تنها چال‌های آتشباری در پیت‌های موجود در آنومالی‌های A و Cn با آب زیرزمینی برخورد کرده‌اند (شکل ۱۱) که نشان می‌دهد تنها این دو پیت به پایین‌تر از تراز آب‌های زیرزمینی گسترش پیدا کرده‌اند.

برای بررسی اثر گسترش پیت بر تراز آب‌های زیرزمینی مناطق مجاور، نمودار تراز آب زیرزمینی هر یک از پیزومترها برای اسفند ۱۳۸۹ و اسفند ۱۳۹۲ و همچنین نقشه تراز آب زیرزمینی برای این دو دوره زمانی ترسیم شد (شکل‌های ۱۲ تا ۱۴). با بررسی همزمان نمودار و نقشه تراز ترسیم شده، مشخص گردید در اثر گسترش پیت، تراز آب زیرزمینی از اسفند ۱۳۸۹ تا اسفند ۱۳۹۲ کاهش می‌یابد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کاهش سطح آب زیرزمینی با گسترش پیت آنومالی Cn معدن سنگ آهن سنگان در ارتباط است، زیرا با گسترش این پیت در طول دوره زمانی مطالعاتی، حجم زهکشی به وسیله پیت حفر شده افزایش و تراز آب زیرزمینی کاهش یافته است.

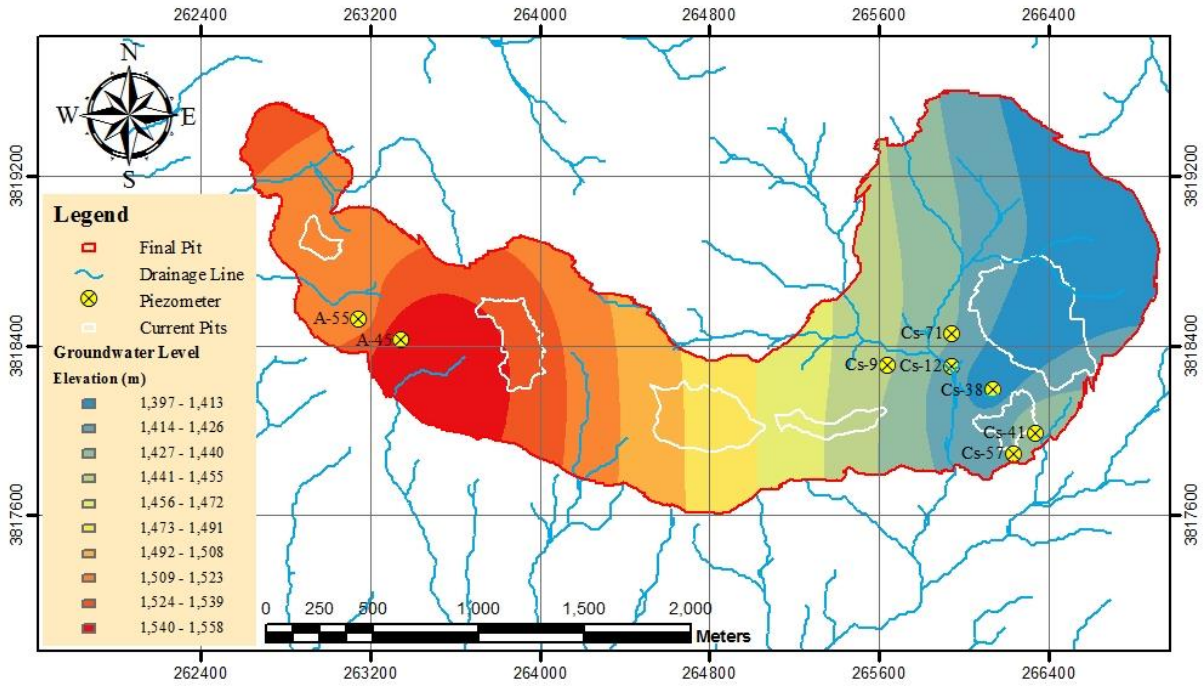
با بررسی نقشه پیزومتریک در محدوده مطالعاتی ملاحظه می‌شود که حداکثر تراز سطح آب زیرزمینی در غرب محدوده (دورترین نقطه از پیت آنومالی Cn) و در آنومالی A و حداقل تراز سطح آب در شرق محدوده و در محل پیت ایجاد شده در آنومالی Cn قرار دارد. با توجه به این نقشه، جهت جریان آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعاتی از غرب به سمت شرق است، بنابراین با گسترش پیت نومالی Cn تراز سطح آب زیرزمینی تغییر خواهد کرد.



شکل ۱۱: موقعیت چال‌های حفاری و انفجاری مرطوب



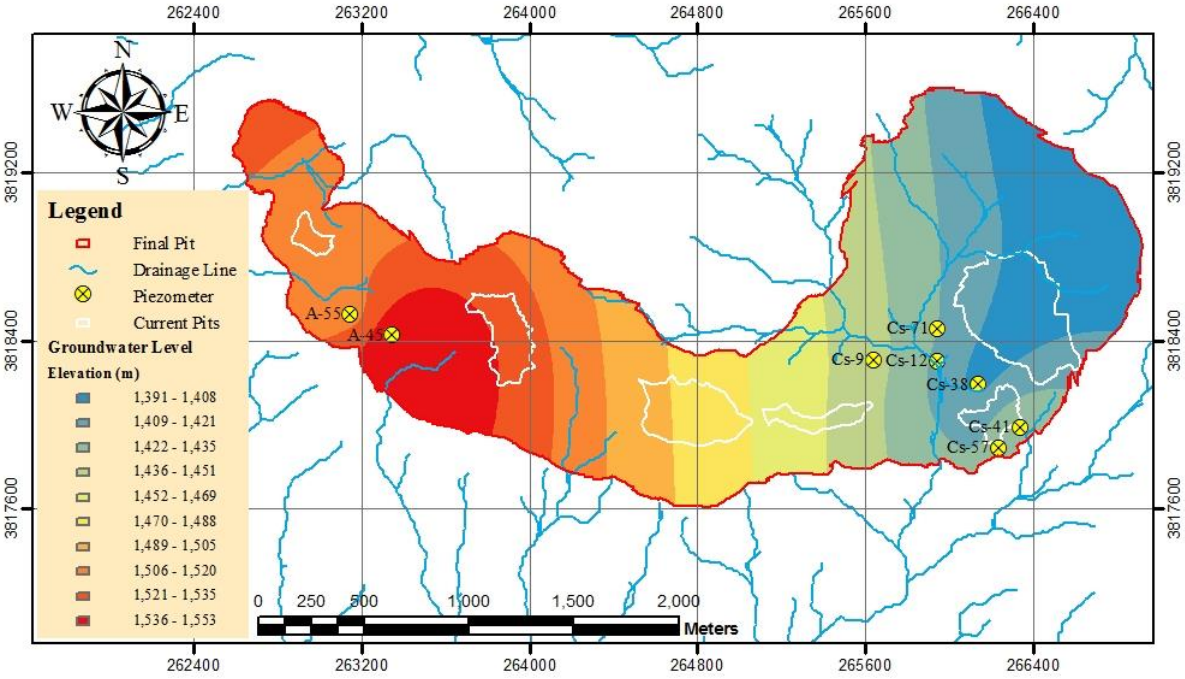
شکل ۱۲: تراز آب زیرزمینی پیزومترها در اسفند ۱۳۸۹ و اسفند ۱۳۹۲



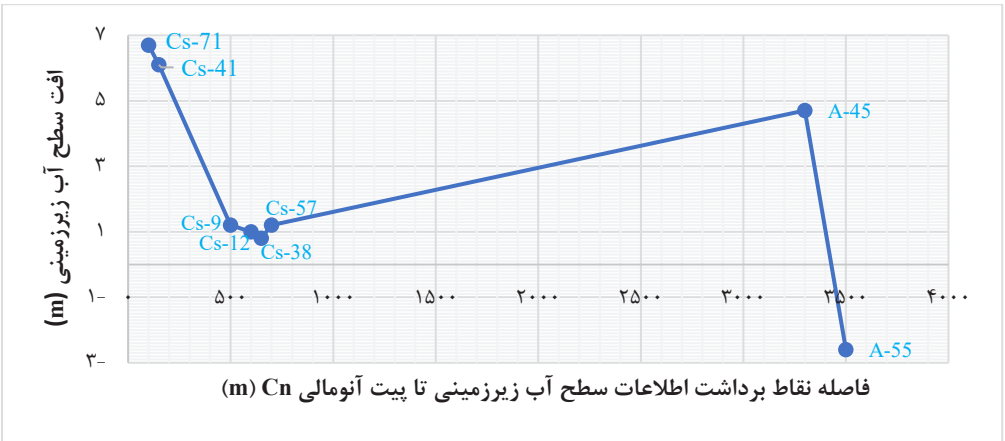
شکل ۱۳: نقشه پیزومتریک آبخوان در محدوده آنومالی‌های غربی (اسفند ۱۳۸۹)

برای بررسی دقیق‌تر این موضوع، نمودار فاصله از پیت آنومالی Cn و افت تراز آب زیرزمینی با استفاده از اطلاعات سطح آب زیرزمینی پیزومترهای موجود رسم گردید (شکل ۱۵). با توجه به نمودار شکل ۱۵ مشخص شد تا حدود فاصله ۷۰۰ متری از پیت آنومالی Cn، با افزایش فاصله از پیت، میزان تغییر تراز آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله از ۷۰۰ تا ۳۳۰۰ متر، میزان تغییر تراز آب زیرزمینی افزایش یافته و در نهایت در فاصله ۳۵۰۰ متر از پیت آنومالی Cn، به جای افت تراز آب زیرزمینی، افزایش ارتفاع آب زیرزمینی تا ۲٫۶ متر در دوره زمانی مورد مطالعه اتفاق می‌افتد.

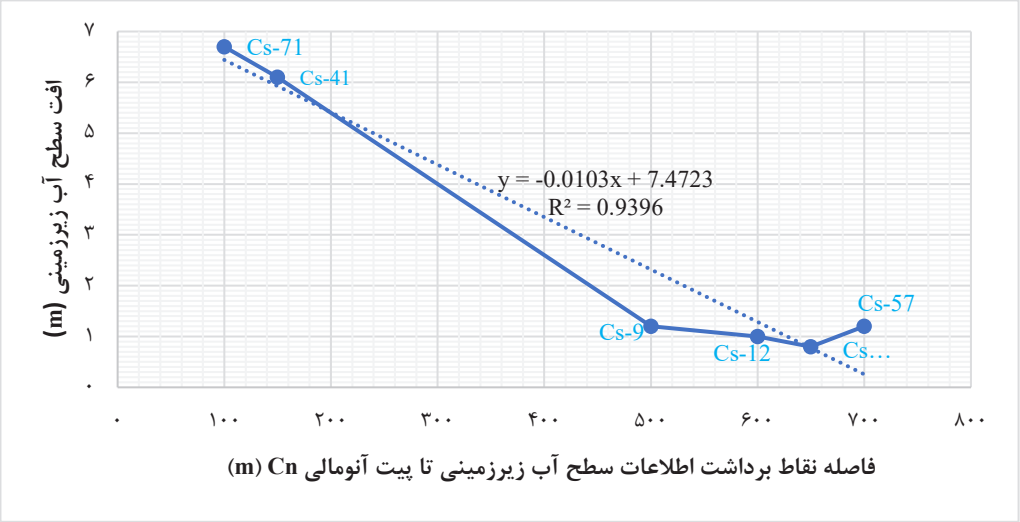
با ترسیم نمودار همبستگی بین فاصله از پایین‌ترین نقطه کف پیت و افت تراز آب زیرزمینی مناطق مجاور تا فاصله ۷۰۰ متری از پیت آنومالی Cn و به دست آمدن ضریب همبستگی حدود ۹۴٪، مشخص گردید که شعاع تاثیر گسترش این پیت بر تغییر تراز آب زیرزمینی مناطق مجاور حدود ۷۰۰ متر است (شکل ۱۶).



شکل ۱۴: نقشه پیزومتریک آبخوان در محدوده آنومالی‌های غربی (اسفند ۱۳۹۲)



شکل ۱۵: نمودار افت سطح آب زیرزمینی نقاط برداشت نسبت به فاصله از پیت آنومالی Cn



شکل ۱۶: منحنی همبستگی بین افت سطح آب زیرزمینی نقاط برداشت و فاصله از پیت آنومالی Cn

در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که محدوده کاهش (افت) سطح آب زیرزمینی در شعاع تاثیر با فاصله از پیت معدن ارتباط دارد. فاصله نزدیکتر تا پیت معدن باعث کاهش بیشتر تراز آب‌های زیرزمینی می‌شود و علت تغییر رفتار تراز آب زیرزمینی مناطق با فواصل بیشتر از ۷۰۰ متر ممکن است ناشی از تاثیر گسل فرعی موجود بین آنومالی‌های C و B باشد که به عنوان محدودکننده جریان آب زیرزمینی بین آنومالی‌های C و آنومالی‌های A، A’ و B عمل می‌کند و باعث شده است تا گسترش پیت آنومالی Cn بر تراز آب زیرزمینی پیزومترهای A-45 و A-55 که در سمت چپ گسل یاد شده واقع شده‌اند، تاثیری نداشته باشد.

۴- نتیجه‌گیری

عوامل مختلف اقلیمی مانند درجه حرارت، باد، رطوبت، تبخیر و تعریق و به ویژه بارش فرآیند تولید در معادن روباز را تحت تاثیر قرار می‌دهند. در معادن روباز، در اثر بارندگی، بیشتر فعالیت‌های معدنی از قبیل عملیات برداشت، بارگیری و حمل و نقل مختل شده و تا تبخیر آب از منطقه ادامه پیدا می‌کند. همچنین، نفوذ آب ناشی از بارش به سفره‌های آب زیرزمینی باعث افزایش تراز آب زیرزمینی مناطق مجاور پیت معدن می‌شود که با راه‌یابی آب زیرزمینی به منطقه معدنی سبب می‌گردد تا با گسترش پیت معدن، برداشت از معدن در عمق‌هایی که پایین‌تر از سطح تراز آب منطقه قرار دارند با مشکل مواجه شده و پایداری دیواره‌های پیت معدن به مخاطره افتد.

علاوه بر عوامل اقلیمی، عوامل تکتونیکی و گسل‌های موجود در منطقه بر وضعیت هیدروژئولوژیکی منطقه تاثیر می‌گذارد، زیرا معمولا در محیط‌های سنگی، شکستگی‌ها اعم از گسل‌ها و درزه‌ها بر مسیر و نحوه جریان آب‌های زیرزمینی تاثیر بسزایی دارند. در نهایت، چگونگی استخراج از چنین معادنی تحت نفوذ آب زیرزمینی، موجب افزایش هزینه معدنکاری ناشی از عملیات خشک‌اندازی شده و ممکن است بهره‌برداری از آن را غیراقتصادی کند. شناخت دقیق شرایط اقلیمی و وضعیت تکتونیکی مناطق معدنی و بررسی چگونگی اثر این عوامل در تغییر سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی یا سطح پیزومتریک راهگشای حل مشکلات حاصل از اثرات نامطلوب محیط آبدار معدن است. پیت آنومالی‌های غربی معدن سنگ آهن سنگان با افزایش عمق به ترازی پایین‌تر از سطح آب زیرزمینی منطقه رسیده و با مشکل ورود آب به داخل پیت از طریق دیواره‌ها و کف پیت معدن مواجه شده است، بنابراین برای تعیین سیستم زهکشی مناسب به شناخت عوامل تاثیرگذار بر نوسانات سطح آب زیرزمینی منطقه نیاز است. بر این اساس در این مقاله تاثیر عوامل بارش، فاصله از آبراهه‌ها، تکتونیک و عوامل ساختاری و گسترش پیت معدن بر تراز آب‌های زیرزمینی محدوده معدن سنگ آهن سنگان مورد مطالعه قرار گرفت. با بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی ناشی از این عوامل در دوره زمانی اسفند ۱۳۸۹ تا اسفند ۱۳۹۲ و تحلیل نمودارها و نقشه‌ها مشخص شد که میزان بارش و فاصله از آبراهه‌ها تاثیر بسزایی در نوسانات سطح آب زیرزمینی مناطق مجاور پیت آنومالی‌های

غربی معدن سنگ آهن سنگان ندارند، اما گسترش پیت آنومالی Cn بر میزان افت سطح آب زیرزمینی تا فاصله حدود ۷۰۰ متری از پیت تاثیر می‌گذارد و با افزایش فاصله از پیت این تاثیر به تدریج کاهش می‌یابد. در مناطق دورتر از ۷۰۰ متر به سمت غرب محدوده مورد مطالعه، به دلیل وجود گسل ارتباط هیدرولیک آب زیرزمینی با پیت آنومالی Cn قطع شده و باعث می‌شود گسترش پیت یاد شده بر تراز آب زیرزمینی قسمت غربی محدوده مطالعه تاثیر چندانی نداشته باشد. البته با گسترش پیت و عمیق شدن معدن ممکن است گسل یاد شده تاثیر متفاوتی بر جریان آب به سمت پیت داشته باشد.

با آگاهی از این اطلاعات می‌توان برای تعیین سیستم زهکشی معدن یا تعیین محل حفر چاه‌های پمپاژ در محدوده مورد مطالعه تصمیم درستی اتخاذ کرد.

۵- مراجع

[1] Morton, K. L., and Van Mekerk, F. A. (1993). *"A phased approach to mine dewatering"*. Mine Water and the Environment, 12: 27-33.

[2] Doulati Ardejani, F., Baafi, E. Y., and Shafaei, S. Z. (2007). *"Modelling of groundwater recovery process for prediction of land settlement in surface mines"*. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 21(4): 271-281.

[3] Golestanifar, M., and Ahangari, K. (2012). *"Choosing an optimal groundwater lowering technique for open pit mines"*. Mine Water and the Environment, 31(3): 192-198.

[4] Preene, M. (2015). *"Techniques and developments in quarry and surface mine dewatering"*. In Proceedings of the 18th Extractive Industry Geology Conference 2014 and Technical Meeting 2015, EIG Conferences Ltd, London, 194-206.

[5] Fernández-Álvarez, J. P., Álvarez-Álvarez, L., and Díaz-Noriega, R. (2016). *"Groundwater numerical simulation in an open pit mine in a limestone formation using MODFLOW"*. Mine Water and the Environment, 35(2): 145-155.

[6] Beale, G. and Read, J. (2014). *"Guide line S for Evaluating Water in Pit Slope Stability"*. CSIRO Publishing.

[7] Fernandez-Rubio, R., and Lorca, D. F. (1993). *"Mine water drainage"*. Mine Water and the Environment, 12(1): 107-130.

[8] Doulati Ardejani, F., Singh, R. N., Baafi, E., and Porter, I. (2003a). *"A finite element model to: 1. predict groundwater inflow to surface mining excavations"*. Mine Water and the Environment, 22(1): 31-38.

[9] Miao, X., Li, S., Chen, Z., and Liu, W. (2011). *"Experimental study of seepage properties of broken sandstone under different porosities"*. Transport in Porous Media, 86(3): 805-814.

[10] Bai, H., Ma, D., and Chen, Z. (2013). *"Mechanical behavior of groundwater seepage in karst collapse pillars"*. Engineering Geology, 164: 101-106.

[11] Ma, D., Miao, X. X., Jiang, G. H., Bai, H. B., and Chen, Z. Q. (2014). *"An experimental investigation of permeability measurement of water flow in crushed rocks"*. Transport in Porous Media, 105(3): 571-595.

[12] Ma, D., Bai, H., and Wang, Y. (2015). *"Mechanical behavior of a coal seam penetrated by a karst collapse pillar: mining-induced groundwater inrush risk"*. Natural Hazards, 75(3): 2137-2151.

[13] Yihdego, Y., and Drury, L. (2016). *"Mine dewatering and impact assessment in an arid area: Case of Gulf region"*. Environmental Monitoring and Assessment, 188(11): 1-13.

[14] Chen, L., Du, W., He, Y., Wang, Q., Zhao, W., and Cao, Z. (2022). *"The influence characteristics of open-pit coal mining on groundwater level in Baorixile"*. Preprints. DOI: 10.20944/preprints202202.0016.v1.

[15] Venencio, M. V. (2002). *"Climate variability and ground water resources, in Sixth International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography".* In: Proceedings of Long Beach, Calif., American Meteorological Society, February 2002, 142-144.

[16] Hanson, R. T., Martin, P., and Koczot, K. M. (2003). *"Simulation of ground-water/surface-water flow in the Santa Clara–Calleguas ground-water basin, Ventura County, California"*. U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 02-4136.

[17] Hanson, R. T., Newhouse, M. W., and Dettinger, M. D. (2004). *"A methodology to assess relations between climatic variability and variations in hydrologic time series in the southwestern United States"*. Journal of Hydrology, 287(1-4): 252-269.

[18] Hanson, R. T., Dettinger, M. D., and Newhouse, M. W. (2006). *"Relations between climatic variability and hydrologic time series from four alluvial basins across the southwestern United States"*. Hydrogeology Journal, 14(7): 1122-1146.

[19] Gardner, P. M., and Heilweil, V. M. (2009). *"Evaluation of the effects of precipitation on ground-water levels*

from wells in selected alluvial aquifers in Utah and Arizona, 1936–2005". U.S. Geological Survey, Scientific Investigations Report 2008–5242.

[20] Naderianfar, M., Ansari, H., Ziaie, A., and Davary, K. (2011). *"Evaluating the groundwater level fluctuations under different climatic conditions in the basin Neyshabour"*. Irrigation and Water Engineering, 1(3): 22-37.

[21] Rezaee Banafshe, M., Jalali, T. (2017). *"Evaluation of Climate Change Impacts on Groundwater Level in Tasuj Basin".* Geography and Planning, 21(60): 143-160.

[22] Qi, P., Zhang, G., Xu, Y. J., Wang, L., Ding, C., and Cheng, C. (2018). *"Assessing the influence of precipitation on shallow groundwater table response using a combination of singular value decomposition and cross-wavelet approaches"*. Water, 10(5): 598.

[23] Kotchoni, D. O., Vouillamoz, J. M., Lawson, F., Adjomayi, P., Boukari, M., and Taylor, R. G. (2019). *"Relationships between rainfall and groundwater recharge in seasonally humid Benin: a comparative analysis of long-term hydrographs in sedimentary and crystalline aquifers"*. Hydrogeology Journal, 27(2): 447-457.

[24] Cui, Y., Liao, Z., Wei, Y., Xu, X., Song, Y., and Liu, H. (2020). *"The response of groundwater level to climate change and human activities in Baotou city, China"*. Water, 12(4): 1078.

[25] Salo, H., Salla, A., and Koivusalo, H. (2021). *"Seasonal effects of controlled drainage on field water balance and groundwater levels"*. Hydrology Research, 52(6): 1633-1647.

[26] Azizi, H., Ebrahimi, H., Mohammad Vali Samani, H., and Khaki, V. (2021). *"Evaluating the effects of climate change on groundwater level in the Varamin plain"*. Water Supply, 21(3): 1372-1384.

[27] Kong, F., Xu, W., Mao, R., and Liang, D. (2022). *"Dynamic changes in groundwater level under climate changes in the Gnangara region, Western Australia"*. Water, 14(2): 162.

[28] Shah, S. M. S., O'connell, P. E., and Hosking, J. R. M. (1996). *"Modelling the effects of spatial variability in rainfall on catchment response. 2. Experiments with distributed and lumped models"*. Journal of Hydrology, 175(1-4): 89-111.

[29] Francisco, N. C., Rego, F. C., Gracasaraiva, M. D., and Ramos, I. (1998). *"Coupling GIS with hydrologic and hydraulic flood modelling"*. Water Resources Management, 12(3): 229-249.

[30] Donker, N. H. W. (2001). *"A simple rainfall–runoff model based on hydrological units applied to the Teba catchment (south-east Spain)"*. Hydrological Processes, 15(1): 135-149.

[31] Hundecha, Y., Bardossy, A., and Werner, H. W. (2001). *"Development of a fuzzy logic-based rainfall-runoff model"*. Hydrological Sciences Journal, 46(3): 363-376.

[32] Travaglia, C., and Ammer, O. (1998). *"Groundwater exploration by satellite remote sensing on the Syrian Arab Republic"*. Technical Report, FAO, TCP/SYR/6611, pp. 33.

[33] Ahmed, M. (1996). *"Lineaments as groundwater exploration guides in hard-rock terranes of arid regions"*. Canadian Journal of Remote Sensing, 22(1): 108-116.

[34] Lippmann, M. J., Truesdell, A. H., and Pruess, K. (2000). *"The control of fault on the hydrology of the Cerro Prieto III area".* Twenty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 24-26, SGP-TR-165.

[35] Medel, A. C., and Armienta, M. A. (2004). *"Influence of faulting on groundwater quality in Valle del Mezquital, Mexico"*. Geofísica Internacional, 43(3): 477-493.

[36] Al-Taj, M. (2008). *"Structural control on groundwater distribution and flow in Irbid area, North Jordan"*. The Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences (JJEES), 1(2): 81-88.

[37] Hernandez-Marin, M., and Burbey, T. J. (2012). *"Fault-controlled deformation and stress from pumping-induced groundwater flow"*. Journal of Hydrology, 428: 80-93.

[38] Elhag, A. B., and Elzien, S. M. (2013). *"Structures controls on groundwater occurrence and flow in crystalline bedrocks: a case study of the El Obeid area, Western Sudan"*. Global Advanced Research Journal of Environmental Science and Toxicology, 2(2): 037-046.

[39] Lin, L., Lin, H., Xu, Y., Ntuli, T., and Mahlangu, F. (2015). *"Impact of fault structures on the occurrence of groundwater in fractured rock aquifers"*. Water Research Commission, Pretoria, WRC Report No 2053/1/14.

[40] Kiani, T., and Yousefi, Z. (2017). *"Effect of active faults in the groundwater level of Shaharchay basin in Urmia"*. Journal of Applied Researches in Geographical Sciences, 17(47): 61-75.

[41] Ammar, A. I., and Kamal, K. A. (2018). *"Resistivity method contribution in determining of fault zone and hydro-geophysical characteristics of carbonate aquifer, eastern desert, Egypt"*. Applied Water Science, 8(1): 1-27.

[42] Mehrabi, A., and Pourkhosravani, M. (2019).

"Relationship between Groundwater Resources and Quaternary Faults of Sirjan Plain Using Weight of Evidence Method". Geographical Research, 34(2): 132.

[43] Fronzi, D., Mirabella, F., Cardellini, C., Caliro, S., Palpacelli, S., Cambi, C., Valigi, D., and Tazioli, A. (2021). *"The role of faults in groundwater circulation before and after seismic events: insights from tracers, water isotopes and geochemistry"*. Water, 13(11): pp. 1499.

[۴۴] رضایی، ع.، حسنی، ح.، معارف وند، پ.، گل محمدی، ع.؛ ۱۳۹۸؛ **"بررسی تاثیر الگوی ساختاری منطقه شمال شرق ایران بر مدل کانی زایی آهن در آنومالی C شمالی سنگ آهن سنگان"**. نشریه مهندسی منابع معدنی، دوره چهارم، شماره ۲، ص ۲۲-۱.

[45] Winter, T. C., Harvey, J. W., Franke, O. L., and Alley, W. M. (1998). *"Ground water and surface water a single resource"*. U.S. Geological Survey Circular, 11-39.

[46] Zhou, Y., Dong, D., Liu, J., and Li, W. (2013). *"Upgrading a regional groundwater level monitoring network for Beijing Plain, China"*. Geoscience Frontiers, 4(1): 127-138.

[47] Haque, E., Reza, S., and Ahmed, R. (2018). *"Assessing the vulnerability of groundwater due to open pit coal mining using DRASTIC model: a case study of Phulbari Coal Mine, Bangladesh"*. Geosciences Journal, 22(2): 359-371.

[48] Islam, M., Van Camp, M., Hossain, D., Sarker, M., Rahman, M., Khatun, S., and Walraevens, K. (2021). *"*Impacts of large-scale groundwater exploitation based on long-term evolution of hydraulic heads in Dhaka city, Bangladesh*"*. Water, 13(10): pp. 1357.

[49] Dong, S., Feng, H., Xia, M., Li, Y., Wang, C., and Wang, L. (2020). *"Spatial–temporal evolutions of groundwater environment in prairie opencast coal mine area: a case study of Yimin Coal Mine, China"*. Environmental Geochemistry and Health, 42(10): 3101-3118.

[50] Chunhu, Z., Dewu, J., Qiangmin, W., Hao, W., Zhixue, L., Xiaolong, S., Mingpei, L., and Shaofeng, W. (2021). *"Water inflow characteristics of coal seam mining aquifer in Yushen mining area, China"*. Arabian Journal of Geosciences, 14(4): 1-12.