

Evaluation of Hydrogeological Methods for Conservation Based on Archaeometric Principles at the Tabriz Iron Age Museum

Sanam Janani¹, Mehdi Razani², Hadi Ebrahimi³

Type of Article: Research

Pp: 65-93

Received: 2023/10/10; Revised: 2024/07/14; Accepted: 2024/07/15

 <https://doi.org/10.22034/PJAS.924>

Abstract

Damage to cultural artifacts after discovery occurs due to various factors. One of these harmful cases is moisture originating from underground water, which appears as soil moisture, and over time, due to the oxidation process and the salts and ions in the water, as well as the incompatible pH of the environment with the texture and construction of the artifacts, it aggravates the process of destruction. In line with the mission of archaeometry as a bridge between archeology and other sciences, hydrogeology is used in this study in order to protect ancient artifacts. Iron Age Museum of Tabriz is located in the central area of the city and among the young Quaternary sediments that form the free aquifer of Tabriz. Underground water is one of the main factors causing corrosion and decay in the bones in this museum site. There are various solutions for lowering the water table locally, which according to the location coordinates and technical requirements of the site, the best method is to use underground water pumping. In this study, by using the available data in the study zone which is taken from the Tabriz urban train project and the data obtained from the Regional Water Company of East Azarbaijan, by using computer methods, the appropriate amounts of water pumping have been simulated according to the optimal water level drop and We define the placement of bones in a dry position. The use of new sciences for archeometric purposes is the main goal of this study and an attempt is made to solve the problem of destruction of ancient bones by establishing this connection.

Keywords: Conservation, Groundwater, Pumping Well, Soil Moisture, Tabriz Iron Age Museum.



Parseh Journal of Archaeological Studies (PJAS)
Journal of Archeology Department of
Archeology Research Institute, Cultural
Heritage and Tourism Research
Institute (RICHT), Tehran, Iran

Publisher: Cultural Heritage and
Tourism Research Institute (RICHT).

Copyright © 2025 The Authors.
Published by Cultural Heritage and
Tourism Research Institute (RICHT).
This work is licensed under a
Creative Commons Attribution-
NonCommercial 4.0 International
license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial
uses of the work are permitted, provided
the original work is properly cited.

© The Author(s)



1. M.A. in Archaeometry, Department of Archaeometry, Faculty of Applied Arts, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.

2. Associate Professor, Department of Archaeometry, Faculty of Applied Arts, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran (Corresponding Author). **Email:** m.razani@tabriziau.ac.ir

3. PhD Candidate in Hydrogeology, Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Citations: Janani, S., Razani, M. & Ebrahimi, H., (2025). "Evaluation of Hydrogeological Methods for Conservation Based on Archaeometric Principles at the Tabriz Iron Age Museum". *Parseh J. Archaeol Stud.*, 9(32): 65-93. <https://doi.org/10.22034/PJAS.924>

Homepage of this Article: <https://journal.richt.ir/mbp/article-1-924-en.html>

Introduction

The discovery of ancient bones belonging to the Iron Age of the first and second millennium BC in the area of Tabriz Blue Mosque in 1997 is an important event in the field of archeology and ancient anthropology in Azarbaijan. When this ancient area has been discovered, studies have been carried out in the fields of dating about these bones and studies related to the origin and the migration (Kasiri, 2019) and the conservation and restoration of the graves in the Iron Age Museum area in 2016 was carried out by Majidi and Razani. In recent years, the effect of humidity on buried organisms in the soil has been the subject of many researchers' studies. Soil moisture can play an important role in decomposition (Swift et al, 1979). Fluctuations of groundwater in the soil is one of the most important factors affecting microbial activity in the field conditions (Lund and Goksoyr, 1980). Iron Age Museum of Tabriz is located in the central area of this city and among the young Quaternary sediments that form the unconfined groundwater aquifer of Tabriz. Tabriz aquifer has an alluvial nature, which has expanded as a result of the Mehran Rood River flowing in its ancient path and creating numerous meanders during geological time. Hydrogeology as a new branch of earth sciences and engineering studies the condition, behavior and hydrological characteristics of the layers of the earth. As a porous environment, the basement contains soil grains, and the empty space between these grains can be saturated with water and provide a path for the flow of groundwater. The voracity of water movement in the basement compared to the surface currents is very low and varies from a few centimeters per year to several meters per day. Due to passing through various minerals and rocks, groundwater often has a significant amount of different solutes and has relatively high electrical conductivity (E.C). These solutes can cause a lot of damage to cultural works by sedimentation or crystallization in case of evaporation of groundwater. The climatic conditions of each region are different in the occurrence of damaging moisture factors and their effects in different seasons of the year (Nawai, 2016). The amount of humidity in the environment, which can cause destruction due to freezing with the participation of the temperature change parameter, will cause serious damage due to the transport of new solutes and sedimentation at each stage and the recrystallization of previous sediments. In addition to the above, the penetration of moisture through underground water can change the pH of the environment, and this change causes the destruction of cultural works by increasing the acidity.

Discussion

Iron Age Museum of Tabriz, as a result of its archaeological excavations, 108 graves were identified, based on the typology of pottery and metal artefacts and the method of burial and comparing them with the collections discovered from the excavations of

Hassanlou Hill and Dinkhah Tepe, dating from around 1200 to 800 BC and the period of Iron Age I and II have been estimated for them, which of course is relatively consistent with the results of carbon 14 dating of these sites (Hojbari Nubri, 1381 and 1383). Its cultural, historical, social and economic nature, along with the aesthetic quality and historical and cultural importance of that area; The type of constituent materials and the composition and method of construction of the works found in it, the value, validity and information and messages hidden in those findings and how they are used are valuable documents of its cultural heritage collection. These works, mainly from archaeological excavations, have been obtained over several years, and their preservation in relatively inappropriate conditions has led to the progress of damage caused by the burial of these objects in the ground, and after a rather long period of time, they will disappear (Bagherzadeh Kasiri, 2016, 8). Based on the studies of Tabriz Urban Railway line 1, water level data is available near the study area of Asr Ahan Museum site, and according to the principle that the groundwater level almost follows the topography, it is possible to estimate the groundwater level in The location of the museum was found. For this purpose, the water level data was collected in the study boreholes near the study area (Table 8) and the map of the ISO lines of ground water in the study area was drawn (Fig. 10). It is necessary to explain that ISO lines or equipotential lines of groundwater are curves on each of these curves, the level of ground water has the same values and the map of parallel lines shows the changes of the level of ground water in the study area. It is possible to draw this type of map both manually and by using software that allows for interpolation and drawing. Next, modeling of groundwater drawdown due to pumping from the extraction well was done using GMS software version 16.4. For archeological stratification, before installing the drilling machine, a manual well should be dug to the desired diameter and to the depth of the ground water, and after reaching the depth of the underground water, the drilling machine will continue drilling from inside this well until it hits The stone should be foamed.

Conclusion

The Iron Age Museum site of Tabriz is one of the prominent sites in the northwest of the Iran, which is facing major problems due to the groundwater infiltration. This research uses information and data of the studies of the aquifer of this region with taking account to the problem of how to intervene in the ancient sites. It has provided a solution to deal with the problem of groundwater in order to reduce its flow, and in this regard, by introducing the place of preliminary evaluations using speculation and Finally suggests a piezometric well to start working in this area and control the groundwater level. Noting that the change of seasons and amount of rainfall can affect the condition of groundwater to some extent; Therefore, by changing the flow rate and duration of

pumping, other values of drawdown can be achieved. For this reason, it is suggested that if the plan is implemented, a piezometer well should be drill as close as possible to the museum site so that the condition of the groundwater as well as the amount of its draw done due to pumping from the extraction well can be under immediate control. To prevent the water used in the green space and other uses of the museum site from returning to the area of ancient graves, drainage channels should be used between the area and the main space of the museum.

Acknowledgements

The authors sincerely thank the esteemed professors and staff of the Faculty of Cultural Heritage Conservation, Tabriz Islamic Art University, for their invaluable material and moral support. The authors also wish to express their gratitude to the anonymous reviewers of the journal whose valuable comments enriched the content of the article.

Observation Contribution

This article is extracted from the first author's thesis entitled "Evaluation of Hydrogeological Methods for Conservation Based on Archaeometry in the Iron Age Museum of Tabriz," supervised by the second author and advised by the third author. Accordingly, the data collection was carried out by the first author, and the writing was completed under the supervision of the second and third authors at the Faculty of Cultural Heritage Conservation, Tabriz Islamic Art University.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest and that all ethical standards for citation and publishing have been fully observed.

ارزیابی روش‌های هیدروژئولوژیک برای حفاظت برمبنای باستان‌سنجی در موزه عصر آهن تبریز

صنم جانانی^I، مهدی رازانی^{II}، هادی ابراهیمی^{III}

نوع مقاله: پژوهشی
صص: ۶۵ - ۹۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۸؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

شناسه دیجیتال (DOI): <https://doi.org/10.22034/PJAS.924>

چکیده

آسیب آثار فرهنگی پس از کشف، در اثر عوامل گوناگونی رخ می‌دهد. یکی از این موارد آسیب‌زا، رطوبت منشأ گرفته از آب‌های زیرزمینی است که به صورت رطوبت خاک ظاهر شده و در گذر زمان به علت فرآیند شیمیایی و املاح و یون‌های موجود در آب و هم‌چنین pH ناسازگار محیط با بافت و ساخت آثار فرهنگی موجب تشدید فرآیند تخریب می‌گردد. در راستای رسالت علم باستان‌سنجی به عنوان پلی میان علم باستان‌شناسی و سایر علوم، در این مطالعه از هیدروژئولوژی در راستای حفاظت از آثار باستانی استفاده می‌شود. موزه عصر آهن تبریز در محدوده مرکزی شهر و در میان رسوبات جوان کواترنری که تشکیل دهنده سفره آب زیرزمینی آزاد تبریز هستند، واقع شده است. آب زیرزمینی از عوامل اصلی تحمیل فرسودگی و بروز واپاشی در استخوان‌های موجود در این سایت موزه به شمار می‌رود. این مطالعه با استفاده از داده‌های موجود در محدوده مطالعاتی که برگرفته از پروژه قطار شهری تبریز و داده‌های اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی است، صورت گرفت و با استفاده از روش‌های رایانه‌ای، مقادیر مناسب پمپاژ آب را با توجه به افت بهینه سطح آب شبیه‌سازی کرده و محل قرارگیری استخوان‌ها را در موقعیت خشک تعریف می‌کند. استفاده از علوم جدید برای مقاصد باستان‌سنجانه هدف اصلی این مطالعه بوده و سعی بر این است تا با ایجاد این ارتباط به رفع معضل تخریب استخوان‌های باستانی پرداخته شود؛ نتایج نشان می‌دهند که با توجه به راهکارهای گوناگونی که در هیدروژئولوژی برای پایین‌انداختن محلی آب سفره‌ها وجود دارد، اما با توجه به مختصات مکانی و ملزومات فنی محوطه مورد مطالعه، بهترین روش استفاده از پمپاژ آب زیرزمینی است. متأسفانه تخریب رطوبتی استخوان‌های کشف شده در موزه عصر آهن تبریز تاکنون باعث وارد آمدن آسیب‌های جدی به این بقایای ارزشمند تاریخی شده و تاکنون اقدام اساسی برای ممانعت از ادامه این فرآیند صورت نگرفته است.

کلیدواژگان: موزه عصر آهن تبریز، آب‌های زیرزمینی، چاه پمپاژ، حفاظت، رطوبت خاک.

- I. کارشناسی ارشد باستان‌سنجی، گروه باستان‌سنجی، دانشکده هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.
- II. دانشیار گروه باستان‌سنجی، دانشکده هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران (نویسنده مسئول).

Email: m.razani@tabriziau.ac.ir

- III. دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

ارجاع به مقاله: جانانی، صنم؛ رازانی، مهدی؛ و ابراهیمی، هادی. (۱۴۰۴). «ارزیابی روش‌های هیدروژئولوژیک برای حفاظت برمبنای باستان‌سنجی در موزه عصر آهن تبریز». مطالعات باستان‌شناسی پارسه، ۹ (۳۲): ۶۵-۹۳. <https://doi.org/10.22034/PJAS.924>
صفحه اصلی مقاله در سامانه نشریه: <https://journal.richt.ir/mbp/article-1-924-fa.html>



فصلنامه علمی مطالعات باستان‌شناسی پارسه
نشریه پژوهشکده باستان‌شناسی، پژوهشگاه
میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران

ناشر: پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری

© حق انتشار این مستند، متعلق به نویسنده(گان) آن است. © ۱۴۰۴ ناشر این مقاله، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری است. این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.

Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

© The Author(s)



مقدمه

کشف استخوان‌های باستانی متعلق به عصر آهن مربوط به هزاره اول و دوم پیش از میلاد در محدوده مسجد کبود تبریز در سال ۱۳۷۶ ه.ش. اتفاق مهمی در زمینه باستان‌شناسی و مردم‌شناسی باستانی در منطقه آذربایجان به شمار می‌رود. از زمان کشف این محدوده باستانی تاکنون مطالعاتی در زمینه‌های سن‌یابی این استخوان‌ها و مطالعات مرتبط با منشأیابی و مهاجرت صورت گرفته (Kasiri, 2019) و عملیات حفاظت و مرمت قبرهای موجود در محوطه موزه عصر آهن در سال ۱۳۹۶ توسط «مجیدی» و «رازانی» در سال ۱۳۹۶ انجام شده است.

ضرورت پرداختن به موضوع حفاظت از بقایای باستان‌شناسی در طی قرن اخیر از بخش‌های مهم گنجانده شده در برنامه‌ریزی کلان رویکردهای باستان‌شناسی و دانش‌های مرتبط با میراث فرهنگی بوده و اهمیت این امر به تناوب در عرصه‌های بین‌المللی چون: قطعنامه آتن در سال ۱۹۳۳ م. (بند: ۴)، توصیه‌نامه بین‌المللی در مورد کاوش‌های باستان‌شناسی ۱۹۵۶ م. (بند: ۲۱)، (یونسکو، ۱۳۸۳)، منشور ونیز بندهای ۱۵ به بعد و در نهایت منشور مدیریت میراث باستان‌شناختی ایکوموس در سال ۱۹۹۰ م. (فیلدن و یوکیلتنو، ۱۳۸۶) به نحو مناسبی مطرح گردیده است. مشکل اصلی محوطه‌های باستانی بعد از کاوش‌های باستان‌شناسی، غالباً افزایش درصد رطوبت و نوسانات برودتی و حرارتی است. تخریب طبیعی (ارگانیسم) با تأکید بر بقایای استخوان در منابع متعددی ذکر شده است و در این میان نقش شیمی آب در انحلال ساختارهای استخوانی مورد توجه قرار گرفته است. در سال‌های اخیر تأثیر رطوبت بر ارگانیسم‌های مدفون در خاک سوژه مطالعاتی بسیاری از محققین بوده است. رطوبت خاک می‌تواند نقش اساسی بر تجزیه داشته باشد (Swift et al., 1979). نوسانات آب زیرزمینی در خاک یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر فعالیت میکروبی در شرایط صحرائی و برجا است (Lund & Goksoyr, 1980). این نوسانات باعث به وجود آمدن یک چرخه تر-خشک می‌شود که با افزایش عملکرد توده زیستی میکروبی در ارتباط است (Jenkinson & Ladd, 1981).

بسیاری از خاک‌های محیط‌های باستان‌شناسی pH بین ۵/۳ الی ۵/۸ دارند. این تفاوت بستگی به شرایط محیطی، بارندگی، نوع خاک، عناصر موجود در خاک و غیره دارد. pH بر روی استخوان افراد سن بالا حدود ۸۴٪ است؛ درحالی‌که این رقم برای افراد نوجوان و بچه به میزان ۲۳٪ خواهد بود (Fearon, 1920).

انحلال استخوان به سه نوع تعامل هیدرولژیکی بستگی دارد. در ساده‌ترین مکانیسم شیمیایی ممکن است داهلیت یا کربنات هیدروکسی آپاتیت از بین برود که در اثر pH بالا یا پایین رخ می‌دهد. با توجه به مطالعاتی که انجام شده است pH اسیدی تأثیر بیشتری بر روی انحلال استخوان دارد. برای انحلال استخوان در pH 7 به ده هزار سال نیاز داریم درحالی‌که برای انحلال همان استخوان در pH 5 تنها ۱۰۰ سال زمان مورد نیاز است. خلالت آپاتیت در آب‌های زیرزمینی شدیداً به pH آب و حضور دیگر یون‌های محلول در آب بستگی دارد؛ به طور کلی تمام فسفات‌های کلسیم در شرایط اسیدی (افت pH) شدیداً حل می‌شوند (Nielsen-Marsh & Hedges, 2000). H موجود در آب‌های زیرزمینی می‌تواند تعیین‌کننده حضور یون‌های محلول در محیط باشد؛ به همین دلیل استخوان‌های موجود در شرایط مدفون اسیدی به رنگ قهوه‌ای متمایل می‌شوند؛ چراکه یون‌های فلزی مثل آهن و منگنز و اسیدهای خاکی در آب زیرزمینی موجود در محیط محلول هستند. در مقابل، استخوان‌های موجود در خاک‌های قلیایی به رنگ سفید یا شیری متمایل دارند؛ چراکه بسیاری از یون‌های فلزی به صورت اکسی هیدروکسیدها و کربنات‌ها درمی‌آیند (Hedges & Marsh-Nielsen, 2000).

موزه عصر آهن تبریز در محدوده مرکزی شهر و در میان رسوبات جوان کواترنری که تشکیل دهنده سفره آب زیرزمینی آزاد تبریز هستند، واقع شده است. آبخوان آزاد تبریز، ماهیتی آبرفتی دارد که

در اثر جریان یافتن رودخانه مه‌ران رود در مسیر باستانی خود و ایجاد مئاندرهای متعدد در گذر دوران زمین‌شناختی، گسترش پیدا کرده است. علاوه بر این، وجود ارتفاعات در شمال تبریز با سازند زمین‌شناسی URF (سازند سرخ بالایی) با سن الیگومیوسن که با شیب ملایمی به دشت تبریز منتهی می‌گردد، سبب ایجاد مخروط افکنه‌ای متشکل از رسوبات با نفوذپذیری متفاوت در محدوده این دشت شده است.

تأثیری که آب بر روی این آثار فرهنگی و باستانی می‌گذارد، می‌تواند در اثر باران، آب‌های سطحی و رواناب‌ها، رطوبت محیط و آب‌های زیرزمینی باشد. در این مطالعه به بررسی تأثیر آب‌های زیرزمینی بر آثار فرهنگی پرداخته خواهد شد. دانشمندان علوم باستان‌شناختی در طولانی‌مدت متوجه شده‌اند که آب‌شناسی به طور انکارناپذیر نقشی مهم در حفظ فرهنگ‌هایی که به مثابه حضور آب ساخته شده‌اند، داشته است (دوئن و پرایس، ۱۳۹۴: ۱۷۶). علم هیدروژئولوژی به عنوان شاخه‌ای نسبتاً جدید از علوم زمین و مهندسی به بررسی وضعیت، رفتار و خصوصیات هیدروژئولوژیک در لایه‌های زیرین زمین می‌پردازد. زیرزمین به عنوان محیطی متخلخل^۲ شامل دانه‌های خاک بوده که فضای خالی بین این دانه‌ها می‌تواند اشباع از آب باشد و مسیری برای عبور جریان آب زیرزمینی فراهم آورد. سرعت حرکت آب در زیرزمین در مقایسه با جریان‌ات سطحی بسیار پایین است و از چند سانتی‌متر در سال تا چند متر در روز متغیر است. قوانین حاکم بر حرکت جریان در محیط متخلخل تابع قانون دارسی است که هدایت هیدرولیکی (k) را بر حسب شدت جریان (Q) و سطح مقطعی که جریان از آن عبور می‌کند (A) تعیین می‌نماید (اصغری مقدم، ۱۳۸۹: ۶۲).

$$k=Q/A$$

آب زیرزمینی به علت عبور از میان کانی‌ها و سنگ‌های گوناگون، اغلب دارای مقدار قابل توجهی از املاح مختلف بوده و دارای هدایت الکتریکی (E.C) نسبتاً بالایی است. این املاح در صورت تبخیر آب زیرزمینی می‌تواند با رسوب یا با تبلور خود آسیب بسیاری به آثار فرهنگی برساند. شرایط اقلیمی هر منطقه در بروز عوامل آسیب‌رسان رطوبتی و تأثیرات آن‌ها در فصل‌های مختلف سال متفاوت است (نوابی، ۱۳۹۶). مقدار رطوبت محیط که خود می‌تواند با مشارکت پارامتر تغییر دما موجب ایجاد تخریب در اثر یخ‌زدگی شود، به علت حمل املاح جدید و رسوب‌گذاری در هر مرحله و ایجاد تبلور مجدد در رسوبات پیشین نیز باعث وارد آمدن آسیب‌های جدی خواهد گردید؛ علاوه بر موارد فوق، نفوذ رطوبت از طریق آب زیرزمینی می‌تواند باعث تغییر pH محیط شده و این تغییر با بالابردن اسیدیته باعث تخریب آثار فرهنگی شود.

در این رابطه با تأکید بر مسئله هیدروژئولوژی «قبادی» و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی نقش ساختارهای انحلالی کارستی در تخریب کتیبه‌های منطقه طاق‌بستان (شمال شرق کرمانشاه) پرداختند؛ به علاوه، نگرانی‌های مرتبط با آبیگری سد سیوند و تأثیر احتمالی افزایش رطوبت در منطقه و تأثیر آن بر بناهای سنگی محوطه و به ویژه آرامگاه کوروش بار دیگر رودررویی توسعه با حفاظت از میراث فرهنگی بود که مسئله آب و تبعات و آسیب‌های ناشی از افزایش سطح آب و تغییرات خرد اقلیم منطقه در حوزه میراث فرهنگی و میراث طبیعی را تا سال‌ها در پی داشت (فدایی و همکاران، ۱۳۹۵). قبادی و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی هیدروژئولوژیک برای تفسیر فرآیند آسیب در گور باستانی نقش‌رستم ایران پرداختند؛ هم‌چنین مطالعات درزه‌برداری نشان داد که شبکه درزه‌ها به عنوان مسیرهای هدایت آب باران به سمت کتیبه، نقش اساسی در انحلال و زوال‌پذیری سنگ‌های کتیبه دارند (ساعدی و همکاران، ۱۳۹۱).

«اردوان» و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی نقش عوامل محیطی بر تخریب محوطه‌های باستانی (دهستان سرفیروزآباد استان کرمانشاه) با استفاده از GIS جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، شامل: ارتفاع، جهات جغرافیایی، شیب، بارندگی، فرسایش، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، نوع کاربری

اراضی و نوع سازندهای زمین‌شناسی پرداختند. نتایج حاصله حاکی از آن است که این عوامل در دودسته آسیب‌زای کوتاه‌مدت (فرسایش) و بلندمدت (فعالیت‌های تکتونیکی) درحال آسیب‌زدن به محوطه باستانی هستند و هر نه عامل به صورت ترکیبی در واردآوردن آسیب‌ها دخیل هستند. در سال ۲۰۱۴م. «فاگ» و «احمد» (Fogg & Ahmad) به بررسی تأثیر آب‌های زیرزمینی و گسترش کشاورزی در محوطه‌های باستانی لوشر (Luxor) مصر پرداختند. پیشنهادهایی که پس از این مطالعه برای کاهش و ممانعت از واردآمدن آسیب‌های بیشتر ارائه گردید شامل: روش‌های محلی برای مرمت و حفاظت، کشت گیاهان با نیاز آبی کم، آب‌زدایی به وسیله چاه‌های پمپاژ با در نظر گرفتن خطر فرونشست و ساخت سامانه‌های آب‌زدا مانند: پرده‌های دوغابی، دیوارهای حد برش (cut-off) رسی، ترانشه‌های زهکشی و غیره، ساخت موانع کاپیلاری در برابر آب موئینه و زهکشی مناسب برای تخلیه آب کشاورزی از محدوده می‌گردند.

بررسی میدانی وضعیت سایت موزه عصر آهن تبریز

محوطه باستانی گورستان عصر آهن تبریز که در نتیجه کاوش‌های باستان‌شناختی آن، ۱۰۸ گور شناسایی شد که براساس گونه‌شناسی سفالینه‌ها و مصنوعات فلزی و شیوه تدفین و مقایسه آن‌ها با مجموعه‌های مکشوف از کاوش‌های تپه حسنلو و دینخواه‌تپه، قدمت حدود ۱۲۰۰ تا ۸۰۰ پ.م. و بازه زمانی عصر آهن I و II برای آن‌ها تخمین زده شده است که البته با نتایج سالیابی کربن ۱۴ این محوطه‌ها نیز هم‌خوانی نسبی دارد (هژبری‌نوبری، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۳) محوطه باستانی مسجد کبود تبریز نه تنها دارای هویت ملی، بلکه دارای ماهیت فرهنگی، تاریخی و اجتماعی و اقتصادی است که به همراه کیفیت زیبایی‌شناختی و اهمیت تاریخی، فرهنگی آن محوطه؛ نوع اجزای مواد سازنده و تشکیل‌دهنده و ترکیب و نحوه ساخت آثار یافت‌شده در آن، ارزش، اعتبار و اطلاعات و پیام‌های نهفته در آن یافته‌ها و نحوه کاربرد آن‌ها، مدارکی ارزشمند از مجموعه میراث فرهنگی آن هستند. این آثار، به طور عمده از کاوش‌های باستان‌شناسی، طی چندین سال، به دست آمده‌اند و نگه‌داری آن‌ها در شرایط نسبتاً نامناسب منجر به پیشرفت آسیب‌های ناشی از تدفین این اشیاء در زمین گشته و پس از مدت‌زمانی نه‌چندان طولانی، به نیستی خواهند گرایید (باقرزاده‌کثیری، ۱۳۹۶: ۸). بحث تداخل آب‌های سطحی و زیرزمینی با آثار فرهنگی باستانی از عوامل اصلی تخریب این آثار در مقیاس جهانی به شمار می‌رود. وضعیت پایش رطوبت و دمای موزه عصر آهن در طی فصول سال به دست آمده، نشان‌دهنده میزان بالای درصد رطوبت نسبی و کاهش دما در فصول سرد سال است. ارتفاع محوطه عصر آهن پس از کاوش، ۸ متر پایین‌تر از کف اصلی خیابان قرار دارد و تمهیدات لازم برای جلوگیری از ورود آب‌های سطحی مانند آب باران و هدایت آن به منطقه‌ای دورتر از موزه اندیشیده نشده است (شکل‌های ۱ و ۲)؛ هم‌چنین سقف ایجاد شده برای موزه نامناسب نیست. در بازدیدهایی که در فصل خشک سال (شهریور و مهرماه) ۱۴۰۱ از محل سایت موزه به عمل آمد، وجود رطوبت در محیط و هم‌چنین در دیواره‌ها و کف موزه کاملاً مشهود بود. باتوجه به گمانه‌های مطالعاتی که سطح آب آن‌ها در حدود ۱۰ متری سطح زمین قرار دارد و پایین بودن تراز ارتفاعی کف موزه (تقریباً ۷ متر پایین‌تر از سطح خیابان) دلیل اصلی بالابودن مقدار رطوبت در این محدوده را می‌توان آب‌های زیرزمینی دانست. نفوذ رطوبت کاملاً در دیواره‌های داخلی جنوبی و غربی موزه قابل مشاهده است و درحال حاضر برای پایین آوردن درصد رطوبت از دستگاه‌های سنتی تهویه و مواد جاذب الرطوبه استفاده می‌شود (شکل ۳)؛ هم‌چنین در اثر رطوبت با رشد میکروارگانیسم‌ها در دیواره قبرها مواجه هستیم (شکل ۴).

میزان بالای رطوبت موجود در محیط و نیز افت شدید دما می‌تواند آسیب‌های بسیار جدی بر روی آثار تاریخی که در محل کشف نگه‌داری می‌شوند، داشته باشد؛ چراکه اگر رطوبت نسبی



شکل ۱: محدوده سایت موزه عصر آهن تبریز، موزه در تراز پایین‌تر از سطح مبنای اطراف قرار دارد (نگارندگان، ۱۴۰۲).
Fig. 1: The extent of the Tabriz Iron Age Site-Museum, with the museum located at a lower level than the surrounding base level (Authors, 2023).



شکل ۲: نقشه شماتیک سایت موزه عصر آهن (نگارندگان، ۱۴۰۲).
Fig. 2: Schematic map of the Tabriz Iron Age Site-Museum (Authors, 2023).



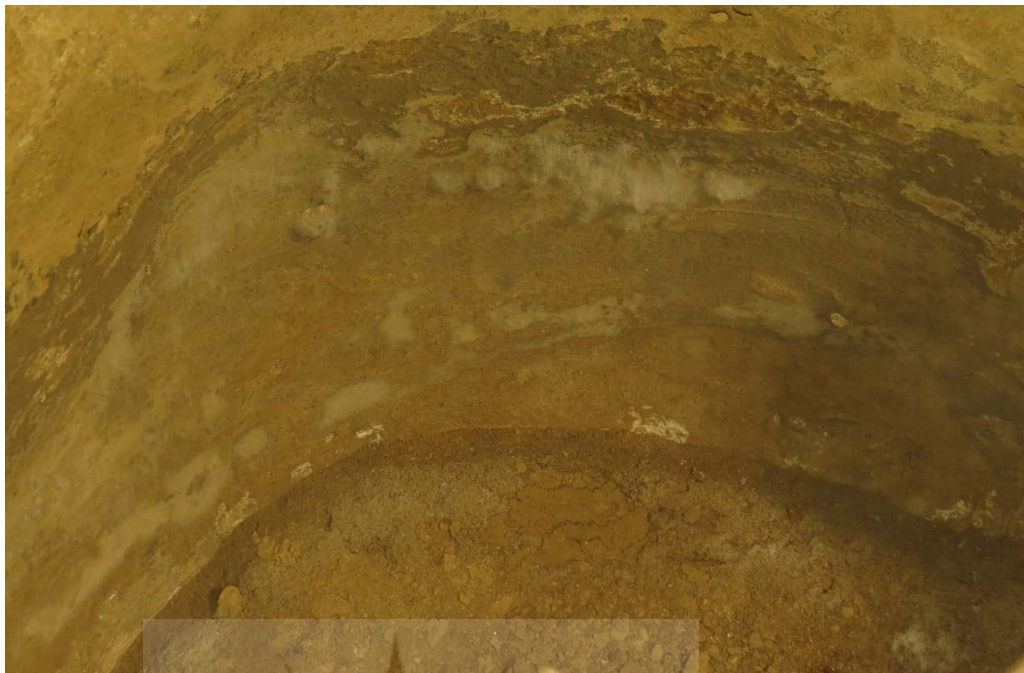
شکل ۳: استفاده از مواد جاذب الرطوبه در داخل گورها (نگارندگان، ۱۴۰۲).
Fig. 3: Use of moisture-absorbing materials inside the graves (Authors, 2023).

بالای ۸۰٪ برسد و دمای محیط تا حدود ۴°C سردتر شود، شرایط لازم برای ایجاد پدیده میعان مهیا می‌گردد؛ لذا در این‌گونه موارد اگر میعان مشاهده شود، در هوای سرد خطر تشکیل یخ و ایجاد آسیب‌های فیزیکی بر روی آثار تاریخی وجود دارد (علیزاده، ۱۳۹۸: ۱۹۰).

۲. مواد و روش‌ها

الف) داده‌های خام دریافتی از ارگان‌ها و مهندسين مشاور

- داده‌های مربوط به مطالعات خط ۱ قطار شهری تبریز.
- داده‌های چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات در محدوده مطالعاتی.



شکل ۴: رشد میکروارگانیسم‌ها بر روی دیواره تعدادی گور سایت موزه عصر آهن تبریز (نگارندگان، ۱۴۰۲).

Fig. 4: Growth of microorganisms on the walls of several graves at the Tabriz Iron Age Site-Museum (Authors, 2023).

ب) تحقیقات میدانی و عملی و داده‌های برداشتی حاصله

- داده‌های میدانی با GPS دستی و متر پارچه‌ای شامل طول و عرض جغرافیایی، ارتفاعات و محاسبه شیب.

- مکان‌یابی چاه پمپاژ با توجه به هدف پروژه و کانال‌های موجود برای دفع آب استخراج شده. داده‌های مکانی از بررسی میدانی سایت موزه عصر آهن به دست آمد که شامل ثبت مختصات مکانی با استفاده از GPS، اندازه‌گیری ابعاد محوطه، عمق محل آثار مکشوف و محاسبه شیب زمین در سایت موزه عصر آهن است. در جدول ۱، مختصات جغرافیایی و ارتفاعی تصحیح شده برای نقاط شاخص درج و در شکل ۲، نقشه شماتیک سایت موزه عصر آهن نمایش داده شده است.

جدول ۱: مختصات جغرافیایی و ارتفاعی تصحیح شده برای نقاط شاخص (نگارندگان، ۱۴۰۲).

Tab. 1: Geographical coordinates and corrected elevations for key points (Authors, 2023).

نقطه مکانی - Spatial point -	x	y	z
A	614255	4214790	1401
B	614244	4214796	1401
C	614232	4214848	1404.5
D	614261	4214840	1406
E	614248	4214767	1407

- سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

برای دسته‌بندی و کار بر روی داده‌ها از GIS و نرم‌افزار ArcMap ورژن ۱۰٫۸ استفاده شده است.

در شکل ۵، شمای کلی از یک پروژه مکان محور براساس GIS که در تحقیق حاضر نیز به همین صورت عمل شده است نمایش داده شده است. در مطالعه حاضر با استفاده از GIS به بررسی محل سایت موزه، گمانه‌های مطالعاتی که داده‌های مورد استفاده از آن‌ها به دست آمده، ارتفاع و توپوگرافی محدوده، بررسی سطح آب در محل گمانه و هم‌چنین میان‌یابی سطح آب و ترسیم خطوط هم‌تراز آب زیرزمینی خواهیم پرداخت؛ علاوه بر این بررسی محل قنوات، چشمه‌ها و چاه‌های آب بهره‌برداری در نزدیکی محدوده مطالعاتی که از داده‌های اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی به دست آمده و تأثیرپذیری یا عدم تأثیرپذیری محدوده مطالعاتی از این منابع آبی نیز توسط GIS بررسی خواهد گردید.

- بررسی و آنالیز مکانی داده‌ها با نرم‌افزار GoogleEarth

از نرم‌افزار GoogleEarth نیز برای بررسی داده‌های مکانی استفاده شده است. عکس‌های ماهواره‌ای مورد استفاده در مطالعه و توپوگرافی بادقت قابل قبول با استفاده از این نرم‌افزار به دست آمده است. از ورژن ۷.۳.۴.۸۵۷۳ (۶۴ بیتی) این نرم‌افزار استفاده شده و تصاویر به کار رفته همگی آخرین تصاویر مربوط به سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ م. (براساس موجود بودن تصاویر) است.

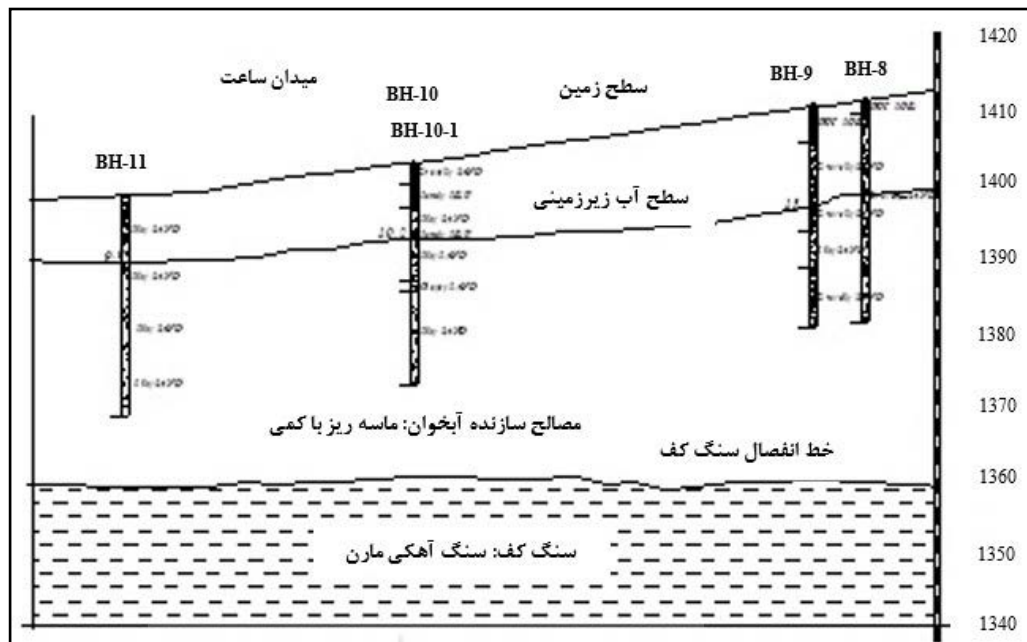
- مدل سازی آب زیرزمینی با استفاده از نرم‌افزار GMS

برای مدل سازی جریان و مقدار افت آب زیرزمینی از نرم‌افزار GMS ورژن ۱۶.۴ استفاده شده است. این نرم‌افزار در بستر کد کامپیوتری MODFLOW اجرا شده و نتایج گرافیکی ارائه می‌کند.

- داده‌های مورد استفاده (گمانه‌های مطالعاتی مترو، داده‌های آب منطقه‌ای، داده‌های میدانی)

مشخصات فنی گمانه‌های کاوش شده برای مطالعات قطار شهری تبریز

باتوجه به قرارگیری محدوده مسجد کبود در مسیر خط ۱ قطار شهری تبریز، مطالعات نسبتاً گسترده‌ای درباره وضعیت زمین‌شناسی و آب زیرزمینی در آن انجام گرفته است. کاوش‌های گمانه‌های مطالعاتی به وسیله دستگاه‌های حفاری و انجام آزمایش‌ها گوناگون از جمله اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی، تعیین عمق آب زیرزمینی و نمونه‌برداری و آنالیز شیمیایی املاح آب زیرزمینی در نزدیکی سایت موزه عصر آهن انجام گرفته است. باتوجه به این که این منطقه در مسیر قدیمی مهران رود قرار گرفته و ساختار زمین‌شناسی آن از رسوبات رودخانه‌ای تشکیل شده، دارای ساختار تقریباً هموزن زیرسطحی است و این امر باعث می‌شود که در فواصل نزدیک تغییرات عمده‌ای در ترکیب زمین‌شناختی و در نتیجه پارامترهایی مانند هدایت هیدرولیکی و ساختار شیمیایی آب نداشته باشیم؛ هم‌چنین به دلیل شیب کم توپوگرافیک، امکان تعمیم عمق آب زیرزمینی گمانه‌های مطالعاتی به محدوده سایت موزه امکان پذیر است. محدوده مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی در قسمت‌های میانی دشت سیلابی تبریز قرار گرفته و رسوبات آبرفتی درشت دانه در آن گسترده شده است. نتایج کاوش‌ها نشان داده‌اند که این رسوبات بر روی لایه‌های مارنی (نوعی سنگ آهک) قرار گرفته‌اند. ضخامت رسوبات آبرفتی در حدود ۴۰ متر مشاهده شده است. در زیر رسوبات نام‌برده ابتدا یک لایه مارنی زرد کم‌رنگ به ضخامت ۱-۳ متر و سپس لایه‌های مارنی خاکستری قرار دارند. براساس تجارب موجود ضخامت لایه‌های مارنی خاکستری به بیش از ۱۰۰ متر می‌رسد. ضخامت خاک دستی بین ۵/۰ تا ۲/۵ متر متغیر است. عمق سطح آب زیرزمینی از ۱۰ متری (در گمانه BH-10) تا ۱۳/۵ متری (در گمانه BH-9) متغیر است. در شکل ۵، موقعیت محدوده مطالعاتی و جانمایی گمانه‌هایی که داده‌های آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است؛ هم‌چنین مختصات مکانی و سطح تراز ارتفاعی گمانه‌ها مطابق جدول ۲ است.



شکل ۵: مقطع زمین شناسی محدوده مطالعاتی، در راستای خیابان امام چهارراه منصور و میدان ساعت (نگارندگان، ۱۴۰۲).

Fig. 5: Geological cross-section of the study area, along Imam Street, Mansour Crossroad, and Saat Square (Authors, 2023)).

جدول ۲: مختصات مکانی، سطح تراز ارتفاعی و آدرس گمانه ها (مطالعات ژئوتکنیک خط ۱ قطار شهری تبریز، مهندسین مشاور جهاد تحقیقات سهند، جلد ۴: ۱۲).

Tab. 2: Spatial coordinates, elevation levels, and addresses of boreholes (Geotechnical Studies of Tabriz Metro Line 1, Sahand Research Consulting Engineers, Volume 4: 12)

آدرس	Z (m)	Y (m)	X (m)	شماره گمانه Borehole number
چهارراه منصور	1410.8	4214549.3	614515.8	BH-8
چهارراه منصور	1410.0	4214559.6	614449.0	BH-9
خیابان امام - جنب اداره برق	1402.2	4214759.9	613945.0	BH-10-1
خیابان امام - جنب اداره برق	1402.1	4214764.0	613932.9	BH-10
خیابان امام - روبه روی کوچه مقصوده	1398.0	4214833.0	613560.5	BH-11

آزمایش های نفوذپذیری

اندازه گیری نفوذپذیری خاک در محل گمانه های مطالعاتی توسط آزمون های لوفران^۳ (نحوه نشت آب در خاک) که خود به انواع بار ثابت^۴، بار افتان^۵ تقسیم می شود، انجام می گیرد. در این آزمایش ابتدا گمانه مطالعاتی به وسیله دستگاه حفاری و با قطر پایین (معمولاً در حدود ۱۰ تا ۱۶ سانتی متر) حفر شده و پس از لوله گذاری دیواره گمانه، داخل گمانه از آب پر می شود و مقادیر افت آب در سر گمانه در فواصل زمانی معین اندازه گیری می گردد (بار افتان) و یا با ثابت نگه داشتن سطح آب در سر گمانه به وسیله اضافه نمودن آب و اندازه گیری مقدار آب اضافه شده به گمانه با استفاده از کنتور، مقدار نشت آب از مقطع گمانه به دست می آید (بار ثابت). در مطالعه اخیر از نتایج گزارش های مطالعات خط ۱ قطار شهری تبریز استفاده شده است که مقادیر هدایت هیدرولیکی

جدول ۳: مشخصات فنی گمانه‌ها (مطالعات ژئوتکنیک خط ۱ قطار شهری تبریز، مهندسین مشاور جهاد تحقیقات سهند، جلد ۴: ۱۳).

Tab. 3: Technical specifications of boreholes (Geotechnical Studies of Tabriz Metro Line 1, Sahand Research Consulting Engineers, Volume 4: 13).

نام گمانه	عمق گمانه (m)	عمق آبرفت (m)	عمق آب زیرزمینی (m)
BH-8	30	30	12
BH-9	30	30	13.5
BH-10-1	30	30	10
BH-10	30	30	10
BH-11	30	30	9

با استفاده از آزمون نفوذپذیری به روش بار ثابت و بار افتان به دست آمده است. باتوجه به نتایج این آزمایش‌ها مشاهده می‌شود که مقدار نفوذپذیری لایه‌های آبرفتی به طور متوسط $3-10 \times 10^{-4}$ سانتی متر بر ثانیه (تقریباً $4/3$ متر در روز) است (جدول ۴).

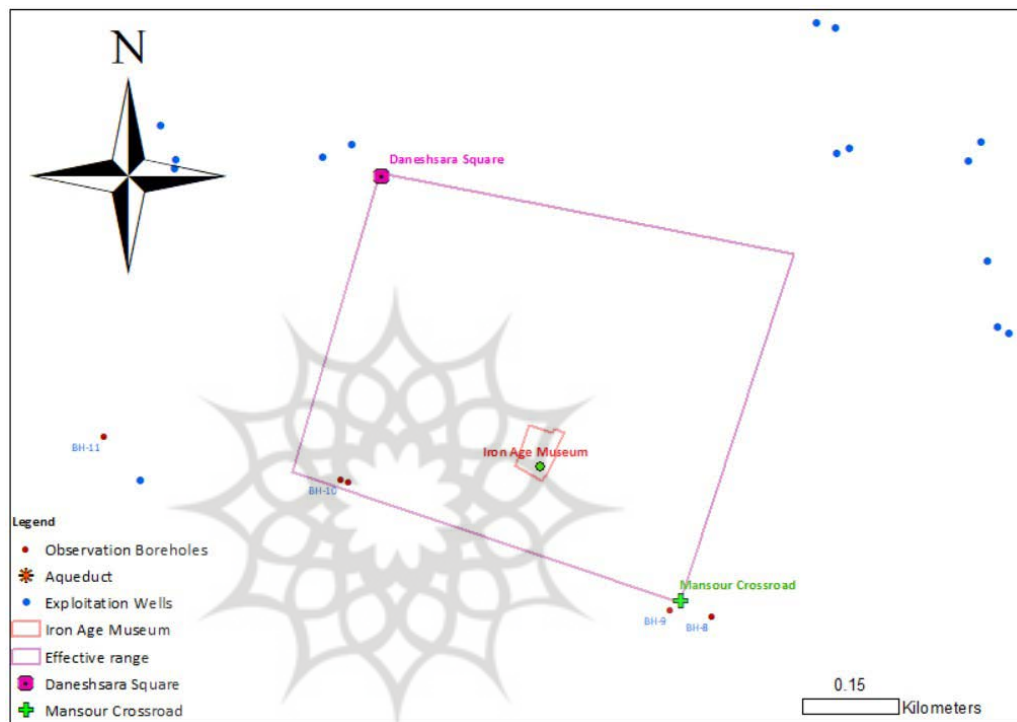
جداول ۴: نتایج آزمایش‌ها نفوذپذیری براساس گزارش‌های قطار شهری، گمانه‌ها (مطالعات ژئوتکنیک خط ۱ قطار شهری تبریز، مهندسین مشاور جهاد تحقیقات سهند، ۱۳۹۷، جلد ۴: ۱۹).

Tab. 4: Permeability test results based on metro reports, boreholes (Geotechnical Studies of Tabriz Metro Line 1, Sahand Research Consulting Engineers, 2018, Volume 4: 19).

شماره گمانه	عمق آزمایش (m)	نفوذپذیری cm/s		شماره گمانه	عمق آزمایش (m)	نفوذپذیری cm/s	
		بار ثابت	بار افتان			بار ثابت	بار افتان
FBH-۱۱	0-3	1.6×10^{-3}	-	FBH-10-1	4-6	2.7×10^{-3}	2.9×10^{-3}
	3-6	6.4×10^{-4}	-		6-8	2.1×10^{-4}	-
	6-8	1.5×10^{-3}	-		8-10.5	1×10^{-3}	6.6×10^{-3}
	8-10	عدم امکان انجام آزمایش	-		10.2-13.2	عدم امکان انجام آزمایش	-
	10-12	عدم امکان انجام آزمایش	-		18.2	$10^{-3} \times 9.1$	-
	12-14	$10^{-3} \times 4.1$	-		20	$10^{-3} \times 1$	-
	14-16	$10^{-3} \times 3.6$	-		21.9	$10^{-3} \times 4.8$	-
	16-18	$10^{-3} \times 1.8$	-		25	$10^{-4} \times 9.2$	-
	18-20	$10^{-3} \times 1.9$	-		25-27.2	$10^{-4} \times 8.7$	-
	24-26	$10^{-4} \times 9.8$	-		27.2-30	$10^{-4} \times 6$	3.2×10^{-4}
FBH-8	26-28	$10^{-3} \times 2.4$	-	FBH-9	5-7	$10^{-3} \times 3.8$	-
	28-30	عدم امکان انجام آزمایش	-		7-10	$10^{-3} \times 3.1$	-
	4-6	2.6×10^{-3}	-		10-12	5×10^{-3}	-
	6-8	2.8×10^{-3}	-		12-14.25	4.7×10^{-3}	-
	8-10	5.0×10^{-3}	-		14.25-16.2	8×10^{-4}	-
	10-12	5×10^{-3}	-		16.2-18	عدم امکان انجام آزمایش	-
	12-14	4.4×10^{-3}	-		18-20.5	عدم امکان انجام آزمایش	-
	14-16	6.5×10^{-3}	-		3	$10^{-3} \times 2.4$	-
	16-20	عدم امکان انجام آزمایش	-		23.3-26.4	$10^{-3} \times 1.3$	-
	20-22	عدم امکان انجام آزمایش	-		26.4-28	$10^{-4} \times 1.6$	-
FBH-10	22-25	عدم امکان انجام آزمایش	-		28-30	1.4×10^{-4}	-
	25-27	2.6×10^{-4}	-	FBH-10	8.8-10	عدم امکان انجام آزمایش	-
	27-30	2.2×10^{-3}	-		10-12	عدم امکان انجام آزمایش	-
	28-30	9.8×10^{-4}	-		21-23	4.4×10^{-4}	-
					26-28	9.8×10^{-4}	-
					28-30	9.8×10^{-4}	-

بررسی منابع آبی شامل چاه ها، قنوات و چشمه های موجود در محدوده مطالعاتی

وجود منابع آبی و کانال های زیرزمینی در محدوده مطالعاتی می تواند تأثیر به سزایی در رفتار آب های زیرزمینی داشته باشد. با توجه به داده های منابع آب استان آذربایجان شرقی به بررسی منابع آبی در نزدیکی محدوده مطالعاتی موزه عصر آهن پرداخته شد. با استفاده از نرم افزار ArcGIS و تعیین موقعیت منابع آبی موجود در منطقه، مشاهده می شود که هیچ منبع آبی در نزدیکی محدوده مطالعاتی موزه عصر آهن که سبب ایجاد تغییرات در سطح آب زیرزمینی این محدوده شود، وجود ندارد (شکل ۶).



شکل ۶: جانمایی منابع آبی در مجاورت محدوده سایت موزه عصر آهن، خروجی نرم افزار ArcGIS (نگارندگان، ۱۴۰۲).

Fig. 6: Placement of water resources adjacent to the Tabriz Iron Age Site-Museum area, output of ArcGIS software (Authors, 2023).

- نتایج آنالیز شیمیایی

آزمایش های تجزیه شیمیایی بر روی عصاره اشباع نمونه های خاک در دو گمانه و آب زیرزمینی در یک گمانه نشان می دهد که مقدار کلرید و سولفات قابل حل در نمونه های خاک کم تا متوسط بوده، ولی در نمونه آب زیرزمینی زیاد است؛ هم چنین pH نمونه آب زیرزمینی خاصیت قلیایی دارد (جداول ۵ و ۶).

- رطوبت خاک

خاک ساختاری دانه بندی شده دارد. به این مفهوم که این دانه ها در کنار یک دیگر قرار گرفته و توده های به هم چسبیده یا از هم جدا را تشکیل می دهند. در میان دانه های تشکیل دهنده خاک، فضاهای خالی وجود داشته که در حالت عادی و فشار اتمسفریک، این فضاها پر از هوا هستند. وقتی از رطوبت خاک صحبت می شود، منظور مقدار آب موجود در این فضاهای خالی است.

جدول ۵: نتایج آنالیز شیمیایی برروی عصاره اشباع نمونه‌های خاک (مطالعات ژئوتکنیک خط ۱ قطار شهری تبریز، مهندسين مشاور جهاد تحقيقات سهند ۱۳۹۷، جلد ۴: ۲۸).

Tab. 5: Results of chemical analysis on the saturated extract of soil samples (Geotechnical Studies of Tabriz Metro Line 1, Sahand Research Consulting Engineers, 2018, Volume 4: 28).

گمانه	عمق (m)	CL ⁻ ppm	SO ₄ ²⁻ ppm
BH-8	24.6-25	44.3	200
BH-9	17.6-18	53.2	300

جدول ۶: نتایج آنالیز شیمیایی برروی آب زیرزمینی (مطالعات ژئوتکنیک خط ۱ قطار شهری تبریز، مهندسين مشاور جهاد تحقيقات سهند، جلد ۴: ۲۸).

Tab. 6: Results of chemical analysis on groundwater (Geotechnical Studies of Tabriz Metro Line 1, Sahand Research Consulting Engineers, 2018, Volume 4: 28).

گمانه	pH	CL ⁻ ppm	SO ₄ ²⁻ ppm
BH-9	8.0	1207	3400

- تخلخل

مقدار فضاهای خالی یک سنگ یا خاک را با کمیت تخلخل بیان می‌کنند و بنا به تعریف، تخلخل (n) عبارت است از نسبت حجم فضاهای خالی یک سنگ یا خاک خشک شده (V_v) به حجم کل آن (V_t)، (شکل ۹). تخلخل پارامتری بدون بعد است و به درصد بیان می‌شود (اصغری مقدم، ۱۳۸۹: ۱۷).

$$n = \frac{V_v}{V_t} \times 100$$

$W_t \left\{ \begin{array}{l} W_v \\ W_d \end{array} \right.$

فضاهای خالی	هوا	V _a
	آب	
جامد		V _s

$\left. \begin{array}{l} V_a \\ V_w \\ V_s \end{array} \right\} V_t$

شکل ۷: عبارات مرتبط با روابط حجمی و وزنی در نمونه خاک (اصغری مقدم، ۱۳۸۹: ۲۰).

Fig. 7: Terms related to volumetric and weight relationships in the soil sample (Asghari-Moghaddam, 2010: 20).

برای تعیین مقدار رطوبت خاک ابتدا نمونه دست‌نخورده‌ای را وزن کرده و وزن مرطوب (W_w) آن به دست می‌آید؛ سپس با خشک کردن نمونه، وزن خشک (W_d) نیز محاسبه می‌شود. درصد وزنی رطوبت از فرمول زیر به دست می‌آید (اصغری مقدم، ۱۳۸۹: ۲۸):

$$\theta = \frac{W_t - W_d}{W_d} \times 100$$

نزدیک ترین گمانه ها به محدوده مطالعاتی، گمانه های FBH-10 و FBH-10-1 بوده و تراز ارتفاعی گمانه های FBH-10 و FBH-10-1 به ترتیب ۱۴۰۲/۱ و ۱۴۰۲/۲ متر است. باتوجه به تراز ارتفاعی کف سایت موزه (محل دفن اجساد) که ۱۳۹۸،۵ متر است و شیب تقریبی ۱٪ (فاصله بین سایت موزه تا گمانه های اشاره شده ۳۲۰ متر است) و مقایسه این مقادیر با نتایج آزمایش ها رطوبت سنجی قطار شهری، می توان محتوای رطوبتی خاک را در محدوده مورد نظر ۱۵ تا ۳۰٪ در نظر گرفت (جدول ۷).

جدول ۷: نتایج آزمایش مقدار رطوبت خاک (مطالعات ژئوتکنیک خط ۱ قطار شهری تبریز، مهندسین مشاور جهاد تحقیقات سهند، جلد ۴: ۲۶).

Tab. 7: Results of soil moisture content tests (Geotechnical Studies of Tabriz Metro Line 1, Sahand Research Consulting Engineers, 2018, Volume 4: 26).

نام گمانه	عمق نمونه برداری (متر)	درصد رطوبت	نام گمانه	عمق نمونه برداری (متر)	درصد رطوبت
BH-8	1.7-2.0	15.5	BH-9	1.7-2.0	17.0
	3.7-4.0	13.3		6.7-7.0	16.1
	7.7-8.0	7.9		9.6-10.0	16.2
	11.7-12.6	7.9		20.15-20.5	15.8
	24.6-25.0	14.9		23.0-23.3	14.5
				29.6-30.0	20.2
BH-10	2.0-2.3	18.4			
	8.4-8.8	19.8			
	10.6-11.0	38.7			
	22.3-22.6	16.0			
	27.6-28.0	20.2			
	29.70-30.0	14.4			
BH-10-1	1.6-1.9	19.2	BH-11	2.3-2.6	16.7
	4.20-4.50	18.8		7.6-8.3	18.8
	9.50-9.90	34.8		9.70-10.0	21.0
	11.3-11.6	21.9		11.70-12.0	17.0
	12.8-13.2	21.8		13.70-14.0	18.2
	15.1-15.5	16.2		16.80-17.0	16.5
	17.8-18.20	16.4		18.90-18.90	21.1
	19.75-20.0	20.5		20.50-20.90	14.9
	21.6-21.9	18.7		29.60-30.0	15.1
	26.8-27.2	19.5			
	28.9-29.25	16.5			

- روش های رطوبت زدایی خاک

رطوبت زدایی از خاک عبارت است از اجرای روش هایی برای دور کردن رطوبت از محدوده مورد نظر و یا پایین آوردن سطح آب زیرزمینی در آن محدوده. روش های گوناگونی برای این منظور وجود دارد که به برخی از آن ها اشاره می شود.

• ایجاد لایه ناتراوا (عایق رطوبتی).

• گسترش مصالح درشت دانه در زیر پی ساختمان ها و تأسیسات در حال ساخت در مناطقی با ساختار زمین شناختی ریزدانه.

• زهکشی جریان آب سطحی و زیرزمینی.

• استفاده از چاه برداشت برای خشک اندازی محدوده.

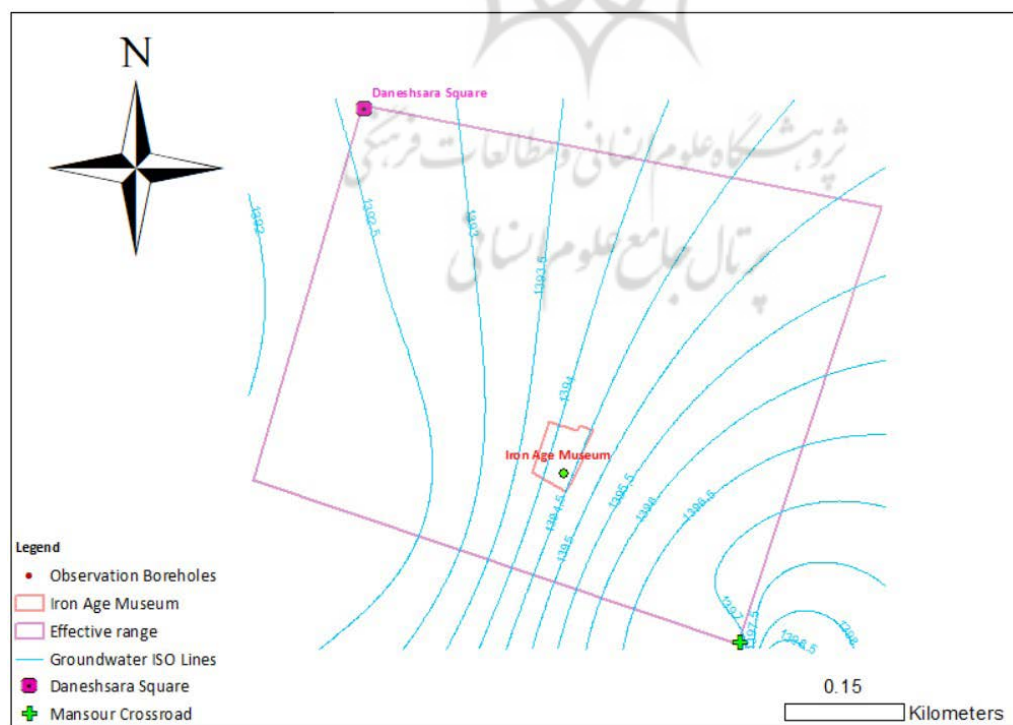
عمق آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی

براساس مطالعات خط ۱ قطار شهری تبریز، داده‌های سطح آب در نزدیکی محدوده مطالعاتی سایت موزه عصر آهن در دسترس است و باتوجه به این اصل که سطح آب زیرزمینی تقریباً از توپوگرافی زمین تبعیت می‌کند، می‌توان با استفاده از روش‌های میان‌یابی به تخمین سطح آب زیرزمینی در محل موزه دست‌یافت؛ بدین‌منظور داده‌های سطح آب در گمانه‌های مطالعاتی نزدیک به محدوده مطالعاتی جمع‌آوری گردیده (جدول ۸) و نقشه خطوط هم‌تراز آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی رسم گردید (شکل ۸). لازم به توضیح است که خطوط هم‌تراز یا هم‌پتانسیل آب زیرزمینی عبارت از منحنی‌هایی هستند که بر روی هر یک از این منحنی‌ها، سطح آب زیرزمینی دارای مقادیر یکسان بوده و نقشه خطوط هم‌تراز نشان‌دهنده تغییرات سطح آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی است. رسم این نوع نقشه هم به صورت دستی و هم با استفاده از نرم‌افزارهایی که مبادرت به میان‌یابی و رسم می‌کنند، امکان‌پذیر است.

جدول ۸: سطح آب گمانه‌ها (مطالعات ژئوتکنیک خط ۱ قطار شهری تبریز، مهندسین مشاور جهاد تحقیقات سهند، جلد ۴: ۱۳).

Tab. 8: Groundwater levels of boreholes (Geotechnical Studies of Tabriz Metro Line 1, Sahand Research Consulting Engineers, 2018, Volume 4: 13).

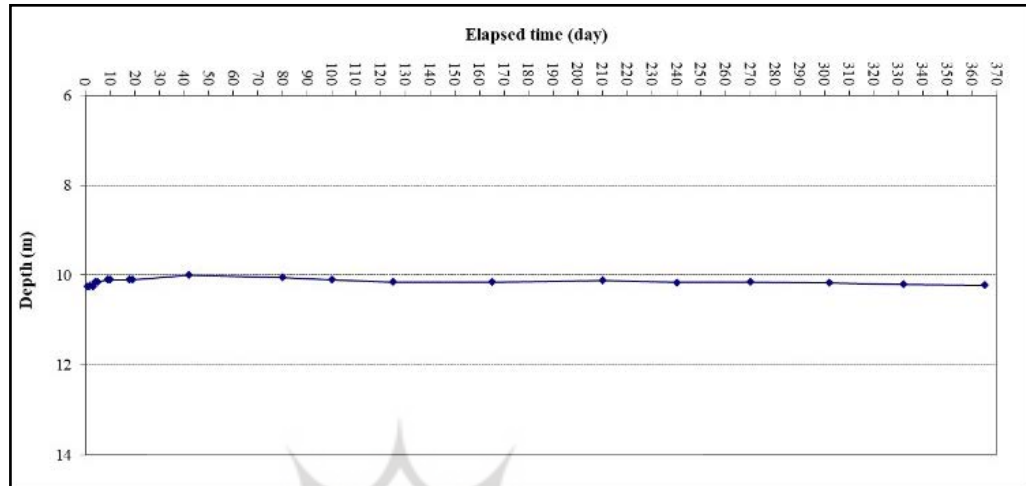
نام گمانه	عمق آب زیرزمینی (m)	تراز توپوگرافی در محل گمانه (m)	تراز آب زیرزمینی (m)
BH-8	12	۱۴۱۰.۸	۱۳۹۸.۸۰
BH-9	13.5	۱۴۱۰	1396.50
BH-10-1	۱۰	۱۴۰۲.۲	۱۳۹۲.۲۰
BH-10	۱۰	۱۴۰۲.۱	۱۳۹۲.۱۰
BH-11	9	۱۳۹۸	۱۳۸۹.۰۰



شکل ۸: خطوط هم‌تراز آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی سایت موزه عصر آهن (نگارندگان، ۱۴۰۲).

Fig. 8: Groundwater contour lines in the study area of the Tabriz Iron Age Site-Museum (Authors, 2023).

سفره آب زیرزمینی تبریز در محدوده مطالعاتی موزه عصر آهن عملاً دارای تغییرات فصلی گسترده‌ای نیست. شکل ۹، نشان‌دهنده عمق آب زیرزمینی در ۲ گمانه BH-10 و BH10-1 در طول دوره‌ای یک ساله است. حداکثر نوسان سطح آب ۲۵ سانتی‌متر است که عملاً از این مقدار می‌توان چشم‌پوشی کرد.

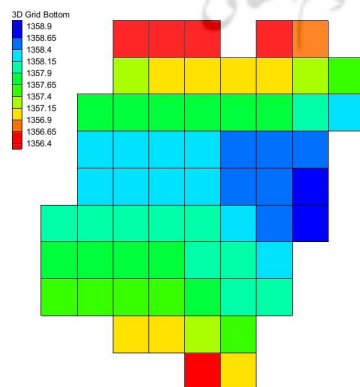


شکل ۹: تغییرات میانگین آب زیرزمینی در دو گمانه مطالعاتی (نگارندگان، ۱۴۰۲).
Fig. 9: Average groundwater level variations in two study boreholes (Authors, 2023)

بحث و تحلیل

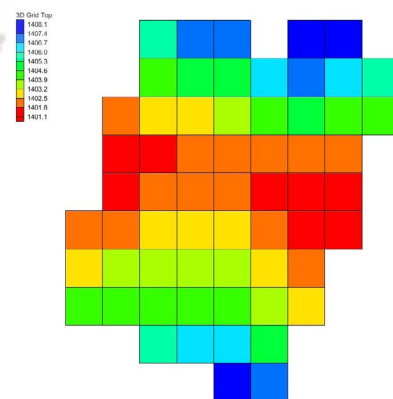
در ادامه به مدل‌سازی افت آب زیرزمینی در اثر پمپاژ از چاه برداشت با استفاده از نرم‌افزار GMS ورژن ۴/۱۶ اقدام گردید. پارامترهای ورودی به مدل عبارتند از:

۱. **توپوگرافی سطح زمین:** این سطح با استفاده از نقاط ارتفاعی برداشتی از محل سایت موزه و هم‌چنین نقشه توپوگرافی ماهواره‌ای DEM^۶ به دست آمده است (شکل ۱۰).
۲. **توپوگرافی سنگ کف:** این سطح با استفاده از داده‌های مطالعات خط ۱ قطار شهری تبریز که با استفاده از حفاری‌های مطالعاتی عمق سنگ کف را مشخص کرده، به دست آمده است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: توپوگرافی سنگ کف در محدوده موزه عصر آهن (نگارندگان، ۱۴۰۲).

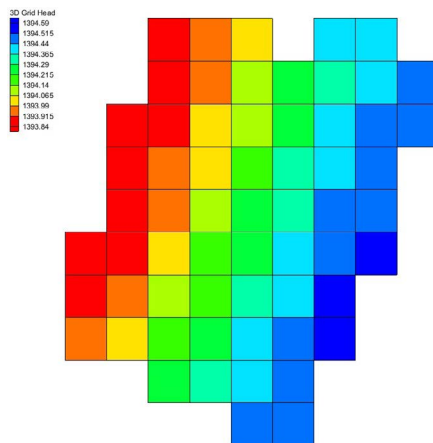
Fig. 11: Topography of the bedrock in the Tabriz Iron Age Site-Museum area (Authors, 2023).



شکل ۱۰: توپوگرافی سطح زمین در محدوده موزه عصر آهن (نگارندگان، ۱۴۰۲).

Fig. 10: Topography of the ground surface in the Tabriz Iron Age Site-Museum area (Authors, 2023).

۳. **سطح آب زیرزمینی اولیه:** این مقادیر با استفاده از داده‌های مطالعات خط ۱ قطار شهری تبریز به دست آمده و با استفاده از روش‌های میان‌یابی و رسم خطوط هم‌تراز آب زیرزمینی (شکل ۱۸) به کل محدوده گسترش یافته است (شکل ۱۲).

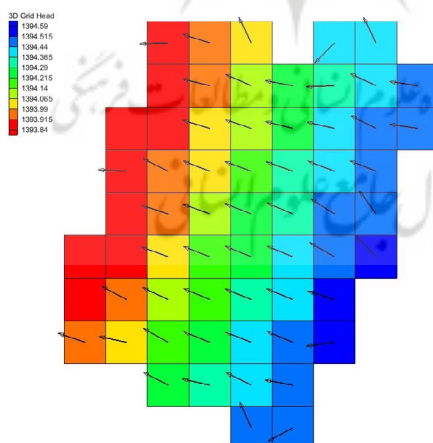


شکل ۱۲: سطح آب زیرزمینی اولیه در محدوده موزه عصر آهن (نگارندگان، ۱۴۰۲).

Fig. 12: Initial groundwater level in the Tabriz Iron Age Site-Museum area (Authors, 2023)

۴. **مقدار افت نهایی موردنظر:** با مقایسه سطح آب زیرزمینی در نقطه موردنظر و ارتفاع توپوگرافی سطح زمین به بررسی این مقدار پرداخته و حداقل افت موردنظر در محل سایت موزه (مقداری که سطح آب زیرزمینی باید پایین انداخته شود) ۱ متر در نظر گرفته شد.

۵. **جهت جریان زیرزمینی ورودی:** با استفاده از نقشه کنتور آب زیرزمینی (شکل ۱۳) جبهه جریان تعیین شد. جهت جریان اولیه آب زیرزمینی در (شکل ۱۴) در نرم‌افزار مدل‌ساز نیز قابل مشاهده است.



شکل ۱۳: جهت جریان اولیه آب زیرزمینی (قبل از پمپاژ)، (نگارندگان، ۱۴۰۲).

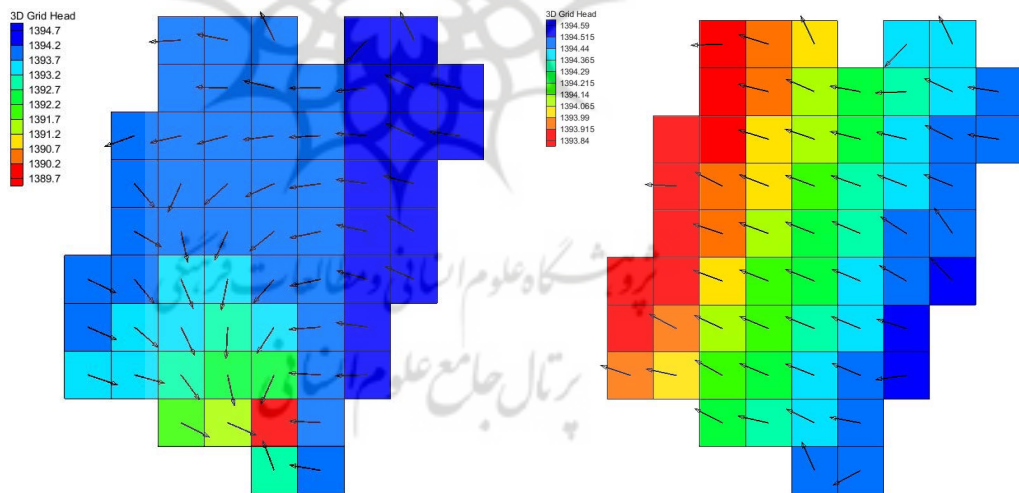
Fig. 13: Direction of initial groundwater flow (before pumping), (Authors, 2023).

۶. **مقادیر هدایت هیدرولیکی:** با استفاده از نتایج آزمایش‌ها تراوایی سنجی مطالعات خط ۱ قطار شهری تبریز این مقادیر جایگزین گردید. این مقدار باتوجه به وسعت کم محدوده مطالعاتی به صورت ثابت و به مقدار ۴/۳ متر بر روز (۱۰×۴/۹-۳ سانتی متر بر ثانیه) در نظر گرفته شد که با نتایج آزمایش‌ها تراوایی سنجی مطالعات خط ۱ قطار شهری تبریز تطابق دارد.

پس از وارد کردن داده‌های فوق به نرم‌افزار، تنظیمات نرم‌افزار را برای انجام مدل‌سازی یک‌روزه (حالت پایدار) انجام می‌پذیرد. در این حالت مدل‌سازی تنها برای مدت معین ثابت (در اینجا یک روز) انجام می‌گیرد.

هم‌چنین از نرم‌افزار خواسته می‌شود تا مدل‌سازی را در حالت Forward انجام دهد. مقصود از حالت Forward یا مستقیم این است که پارامترهای ورودی نرم‌افزار در دسترس است (مانند: هدایت هیدرولیکی یا K) و نرم‌افزار با استفاده از این پارامترها به حل مسئله می‌پردازد. در حالت‌های دیگر مانند Parameter Estimation نرم‌افزار به تخمین پارامترهای نامشخص می‌پردازد که در این مطالعه به دلیل در دسترس بودن داده‌های مربوط به این پارامترها نیازی به این کارکرد وجود ندارد. برای معرفی خصوصیات هیدرولیکی و زمین‌شناسی محیطی به نرم‌افزار از مدل مفهومی یا Conceptual Model استفاده می‌شود؛ به عبارت دیگر، مدل مفهومی وظیفه ترجمه داده‌های ورودی و ترجمه آن‌ها به زبان ماشین را برعهده دارد. پس از تعریف این مقادیر و معرفی آن‌ها به مدل، با تخصیص مقادیر دبی گوناگون به چاه برداشت، نسبت به بهینه‌کردن مقدار افت آب زیرزمینی اقدام کرده و در نهایت مقدار دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه (۱۷۲۸ مترمکعب بر روز) با افتی برابر با ۱٫۵ متر بر روز به عنوان دبی با افت مناسب انتخاب گردید؛ آن‌چنان‌که در شکل‌های ۲۲ و ۲۳، مشاهده می‌شود با پمپاژ با دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و تداوم یک‌روزه آن، سطح آب زیرزمینی از ۱۳۹۴٫۴ به ۱۳۹۲٫۹ (افت ۱٫۵ متر) کاهش می‌یابد.

نقشه هم‌تراز آب زیرزمینی در دو حالت پیش از پمپاژ (الف) و پس از پمپاژ یک‌روزه با دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه (ب) در شکل ۲۰، نمایش داده شده است.



شکل ۱۴: تراز آب زیرزمینی در دو حالت پیش از پمپاژ (الف) و پس از پمپاژ با دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه در مدت یک‌روز (ب)، (نگارندگان، ۱۴۰۲).

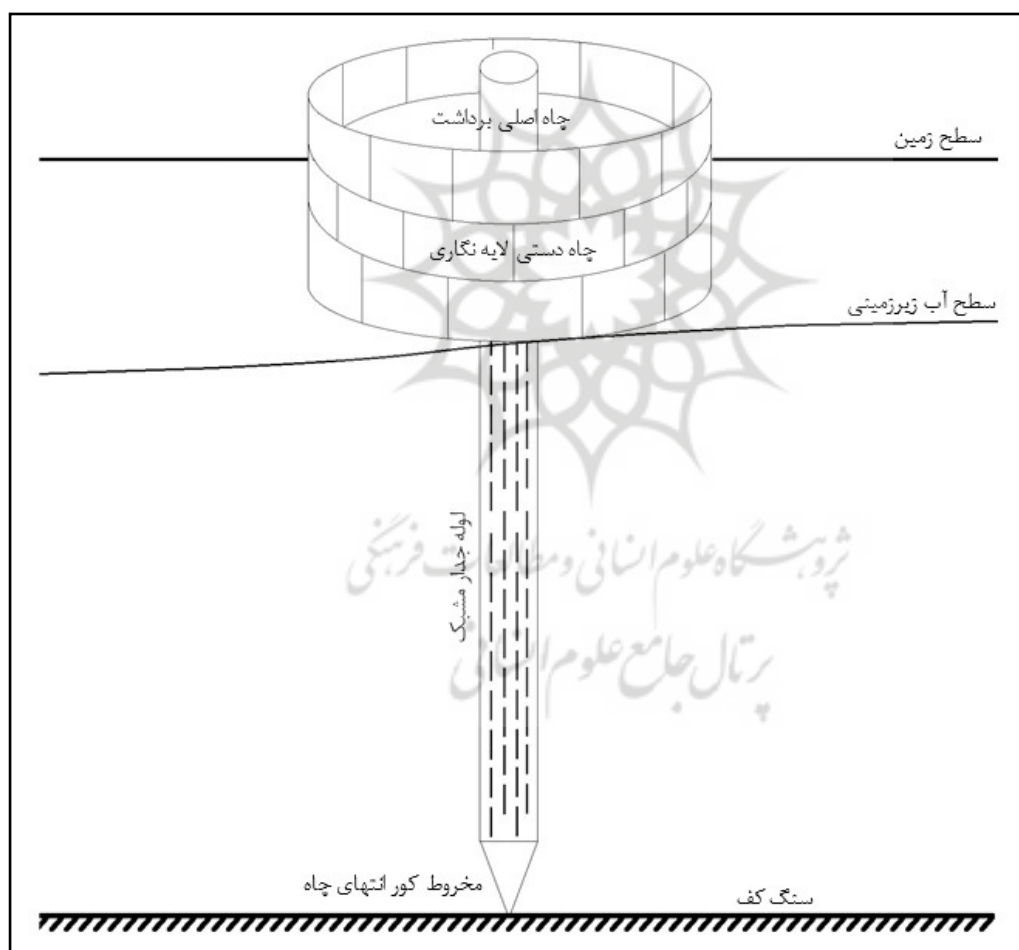
Fig. 14: Groundwater level in two states: before pumping (a) and after pumping at a rate of 20 liters per second for one day (b), (Authors, 2023).

چاه‌های پمپاژ، لایه‌نگاری و پیرومتر

در مطالعه حاضر از روش پمپاژ آب زیرزمینی از چاه برداشت برای پایین‌اندازی سطح آب استفاده می‌شود. برای دستیابی به این هدف موارد زیر باید موردتوجه قرار گیرند:

- چاه پمپاژ: این چاه که به عنوان چاه اصلی برداشت به وسیله دستگاه حفاری و به قطر ۴۰ سانتی‌متر حفر می‌شود دارای خصوصیات ساختمانی و مکانی مشخصی است، می‌باشد؛ یکی

از مهم‌ترین پارامترها برای طراحی این چاه عمق آن است. طبق فرمول‌ها و قواعد حاکم بر آب زیرزمینی، این چاه در حالت ایدئال باید از سطح زمین تا عمق برخورد به سنگ کف ادامه داشته باشد؛ به عبارت دیگر، این چاه باید ۸۰٪ ضخامت آبخوان را به صورت کامل پوشش دهد. به این چاه، چاه کامل گفته می‌شود و باتوجه به عمق سنگ کف در محدوده مطالعاتی این چاه باید در حدود ۴۰ متر حفاری گردد؛ هم‌چنین از خصوصیات ساختاری دیگر این چاه پوشش دیواره آن به وسیله لوله جدار فلزی است که دارای شبکه‌ای از روزنه‌هایی^۷ بوده و به جریان آب زیرزمینی اجازه ورود از آبرفت به داخل چاه را می‌دهد. ایجاد این روزنه‌ها بر روی لوله جدار فلزی به صورتی است که در تمامی ضخامت اشباع آبخوان، چاه دارای روزنه‌های ورود آب است. انتهای این چاه به صورت مخروطی کور اجرا می‌شود. برای لایه‌نگاری باستان‌شناسی، پیش از استقرار دستگاه حفاری می‌بایست یک حلقه چاه دستی به قطر دلخواه و تا عمق برخورد به آب زیرزمینی حفر گردد و پس از رسیدن به عمق برخورد به آب زیرزمینی، دستگاه حفاری از داخل این چاه اقدام به ادامه حفاری تا برخورد به سنگ کف نماید (شکل ۱۵).

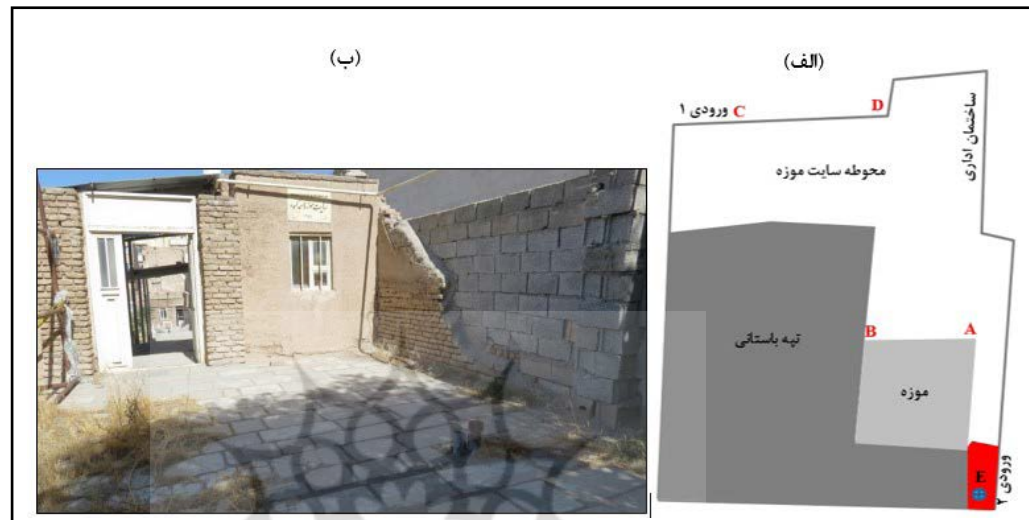


شکل ۱۵: شکل شماتیک چاه برداشت و چاه لایه‌نگاری (نگارندگان، ۱۴۰۲).

Fig. 15: Schematic diagram of the extraction well and stratigraphy well (Authors, 2023).

حفاری چاه به دلیل تخریب محیط و هم‌چنین ایجاد آلودگی در داخل سایت‌موزه عملاً امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ هم‌چنین برای تردد و بارگذاری دستگاه حفاری راه دسترسی و فضای کافی حائز اهمیت است. در بررسی‌های انجام‌شده، بهترین مکان برای جانمایی و حفاری چاه در ضلع

جنوب شرقی محدوده سایت مشخص گردید (شکل ۱۶: الف، نقطه E). مکان پیشنهادی دارای راه دسترسی مناسب از طریق مجتمع مسکونی عتیق بوده و فضای کافی برای بارگذاری و انجام عملیات حفاری در آن مهیاست؛ هم‌چنین به دلیل فاصله مناسب از موزه، حفاری در این محل سبب ایجاد تخریب و آلودگی نمی‌شود (شکل ۱۶: ب). مورد بسیار مهم وجود دو کانال دفع آب باران و فاضلاب در نزدیکی محل حفر چاه است که دارای ابعاد مناسب بوده و مسئله دفع آب برداشتی از چاه را حل می‌کند (شکل ۱۷).



شکل ۱۶: محل پیشنهادی برای حفاری چاه در ضلع جنوب شرقی سایت موزه (نگارندگان، ۱۴۰۲).

Fig. 16: Proposed location for well drilling in the southeastern part of the Tabriz Iron Age Site-Museum (Authors, 2023).



شکل ۱۷: کانال دفع آب باران در کنار محل پیشنهادی برای حفاری چاه (نگارندگان، ۱۴۰۲).

Fig. 17: Rainwater drainage channel next to the proposed location for well drilling (Authors, 2023).

- **پیزومتر:** چاه مشاهداتی یا پیزومتر به عنوان وسیله آشکارساز مقدار افت در فاصله معین از چاه برداشت حفر می‌شود این چاه دارای قطر کم (تا ۱۲ سانتی متر) بوده و لوله جدار به کاررفته در آن

از جنس لوله‌های P.V.C بوده و این لوله جدار مانند چاه اصلی مشبک است. عمق این چاه باتوجه به سطح آب زیرزمینی در محدوده و هم‌چنین پایین‌تر بودن سطح زمین در محل حفاری پیزومتر نسبت به محل حفاری چاه پمپاژ ۲۰ تا ۲۵ متر خواهد بود. انتهای لوله جدار این چاه نیز کور است. مکان حفاری این چاه باتوجه به محل سایت موزه تعیین شده فاصله چاه پمپاژ تا پیزومتر ۵۰ متر در نظر گرفته شده است (شکل ۱۸). دلیل حفاری این چاه، سنجش دقیق سطح آب زیرزمینی در محدوده سایت موزه بوده و می‌توان با پایش سطح آب و نوسانات آن در بازه‌های زمانی مشخص، به مقادیر دقیق‌تر برای انجام محاسبات لازم جهت تخمین دبی پمپاژ دست یافت.



شکل ۱۸: جانمایی پیزومتر نسبت به چاه پمپاژ با فاصله ۵۰ متر (نگارندگان، ۱۴۰۲).

Fig. 18: Placement of the piezometer relative to the pumping well at a distance of 50 meters (Authors, 2023).

هم‌چنان‌که می‌دانیم، «مدل» ابزاری است برای توجیه و معرفی حقیقت که با بیان و تفسیر ساده‌ای طراحی می‌گردد (اندرسن و ووسنر، ۱۹۹۲). هر سیستمی که بتواند عکس‌العمل ذخیره آب زیرزمینی مقابل استرس‌های وارده نشان دهد، «مدل آب زیرزمینی» خوانده می‌شود. در مجموع، آنچه در خصوص آب‌های زیرزمینی به نام مدل خوانده شده، شبیه‌سازی حرکت آب در محیط متخلخل است (تاد و لاری، ۲۰۰۵). در این مطالعه از روش عددی MODFLOW برای این تحقیق با استفاده از داده‌های واقعی مربوط به پروژه قطار شهری تبریز و هم‌چنین داده‌های شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی به بررسی وضعیت آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی موزه عصر آهن تبریز پرداخته و با میان‌یابی داده‌های سطح آب زیرزمینی و رسم خطوط هم‌تراز در محل موزه نسبت به اجرای مدل آب زیرزمینی اقدام گردید. در ادامه با روش آزمون و خطا و استفاده از دبی‌های گوناگون برداشت از چاه، مقادیر افت به وجود آمده در محل موزه بررسی گردید. با توجه به رطوبت‌سنجی نمونه‌های برداشتی از گمانه‌های مطالعاتی خط ۱ قطار شهری تبریز (جدول ۴-۶) مقدار میانگین رطوبت در محدوده مطالعاتی و در عمق تدفین استخوان‌ها در حدود ۱۵-۲۰٪

است. عمق آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی در حدود ۱۰ متر از سطح زمین در محل مشخص شده برای حفاری چاه پمپاژ است که با توجه به خطوط هم‌تراز آب زیرزمینی رسم شده براساس عمق آب در گمانه‌های مطالعاتی (شکل ۱۰)، هم‌چنین تغییرات فاحش فصلی در عمق آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی مشاهده نمی‌شود (شکل ۱۱). در محدوده مطالعاتی موزه عصر آهن بهترین روش خشک‌اندازی با توجه به اهمیت و کاربری محدوده به عنوان موزه و خصوصیات هیدروژئولوژیک آن و هم‌چنین امکاناتی مانند کانال‌های مناسب برای دفع آب برداشتی، استفاده از روش پمپاژ آب زیرزمینی می‌باشد.

چاه پمپاژ به وسیله دستگاه حفاری و به قطر ۴۰ سانتی متر حفر می‌شود. طبق فرمول‌ها و قواعد حاکم بر آب زیرزمینی، این چاه در حالت ایدئال باید از سطح زمین تا عمق برخورد به سنگ کف ادامه داشته باشد؛ به عبارت دیگر، این چاه باید ۸۰٪ ضخامت آبخوان را پوشش دهد. با توجه به عمق سنگ کف در محدوده مطالعاتی چاه باید در حدود ۴۰ متر حفاری گردد. از خصوصیات ساختاری دیگر این چاه پوشش دیواره آن به وسیله لوله جدار فلزی است. انتهای لوله جدار به صورت مخروطی کور اجرا می‌شود. برای لایه‌نگاری باستان‌شناسی، پیش از استقرار دستگاه حفاری می‌بایست یک حلقه چاه دستی به قطر دلخواه و تا عمق برخورد به آب زیرزمینی حفر گردد و پس از رسیدن به عمق برخورد به آب زیرزمینی، دستگاه حفاری از داخل این چاه اقدام به ادامه حفاری تا برخورد به سنگ کف نماید (شکل ۱۵). درمورد مکان‌یابی چاه پیش‌تر توضیح داده شده است و در شکل‌های ۲۳ و ۲۴ مکان مناسب برای حفاری مشخص شده است. با توجه به داده‌ها و فرضیات فوق، مدل جریان آب زیرزمینی برای محدوده مطالعاتی موزه عصر آهن اجرا شد؛ نتایج حاصله نشان می‌دهد برداشت آب با دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه به مدت ۲۴ ساعت (حجم آب ۱۷۲۸ مترمکعب در روز) باعث افت ۱٫۵ متری سطح آب زیرزمینی در محل موزه می‌شود. با توجه به مقدار رطوبت موجود در سطح خاک و هم‌چنین سطح آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی، این مقدار از افت می‌تواند نسبت به خشکاندن محوطه موزه و گورهای باستانی مؤثر باشد.

تغییر فصول و مقدار بارندگی می‌تواند تا حدودی بر وضعیت آب زیرزمینی تأثیرگذار باشد؛ بنابراین با تغییر دبی و مدت زمان پمپاژ می‌توان به مقادیر دیگر افت نیز دست یافت؛ به همین منظور، پیشنهاد می‌شود در صورت اجرای طرح، نسبت به حفاری یک حلقه چاه پی‌زومتر در فاصله هرچه نزدیک‌تر به محل سایت موزه اقدام گردیده تا بتوان وضعیت آب زیرزمینی و هم‌چنین مقدار افت آن در اثر پمپاژ از چاه برداشت به صورت لحظه‌ای تحت کنترل باشد. برای جلوگیری از برگشت آب مصرفی در فضای سبز و سایر مصارف سایت موزه به محوطه قبرهای باستانی، از کانال‌های زهکش مابین محوطه و فضای اصلی موزه استفاده گردد.

نتیجه‌گیری

پیرو آن‌چه در متن پژوهش ارائه گردیده است، سایت موزه عصر آهن تبریز، از جمله محوطه‌های شاخص درون شهری شمال غرب کشور است که با مشکلات عمده‌ای ناشی از مسئله هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی مواجه است؛ پژوهش حاضر با استفاده از اطلاعات و داده‌های حاصل از مطالعات آبخوان منطقه و با در نظر گرفتن مسئله چگونگی دخالت در محوطه‌های باستانی به ارائه راهکار برخورد با مسئله آب‌های زیرزمینی جهت کاهش دبی آن‌ها پرداخته است و در همین راستا با معرفی محل ارزیابی‌های اولیه با استفاده از گمانه‌زنی و در نهایت چاه پی‌زومتری را برای آغاز به کار در این محوطه و کنترل آب‌های زیرزمینی پیشنهاد می‌نماید. باید توجه داشت که تغییر فصول و مقدار بارندگی می‌تواند تا حدودی بر وضعیت آب زیرزمینی تأثیرگذار باشد؛ بنابراین با تغییر دبی و

مدت زمان پمپاژ می‌توان به مقادیر دیگر اُفت نیز دست یافت؛ به همین منظور پیشنهاد می‌شود در صورت اجرای طرح، نسبت به حفاری یک حلقه چاه پیژومتر در فاصله هرچه نزدیک‌تر به محل سایت موزه اقدام گردیده تا بتوان وضعیت آب زیرزمینی و هم‌چنین مقدار اُفت آن در اثر پمپاژ از چاه برداشت به صورت لحظه‌ای تحت کنترل باشد. برای جلوگیری از برگشت آب مصرفی در فضای سبز و سایر مصارف سایت موزه به محوطه قبرهای باستانی، از کانال‌های زهکش مابین محوطه و فضای اصلی موزه استفاده گردد.

سپاسگزاری

از استادان محترم و دست‌اندرکاران دانشکده حفاظت آثار فرهنگی دانشگاه هنر اسلامی تبریز به خاطر کمک‌های مادی و معنوی گران‌بهایشان صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. در پایان نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از داوران ناشناس نشریه با نظرات ارزشمند خود به غنای متن مقاله افزودند، قدردانی نمایند.

درصد مشارکت نویسندگان

این مقاله مستخرج پایان‌نامه نویسنده اول با عنوان «ارزیابی روش‌های هیدروژئولوژیک برای حفاظت بر مبنای باستان‌سنجی در موزه عصر آهن تبریز» به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم بوده است؛ بر همین اساس گردآوری مطالب توسط نویسنده اول و نگارش آن تحت نظارت نویسندگان دوم و سوم، در دانشکده حفاظت آثار فرهنگی دانشگاه هنر اسلامی تبریز است.

تضاد منافع

نویسندگان ضمن رعایت اخلاق نشر در ارجاع‌دهی، نبود تضاد منافع را اعلام می‌دارند.

پی‌نوشت

۱. مثلاً: پیچ‌وخم مسیر رودخانه که با گذشت زمان و با تغییر جهت جریان آب تغییر کرده و سبب ایجاد اشکال مارپیچی می‌شود. این پدیده باعث به‌وجود آمدن مسیرهای قدیمی برای رودخانه‌ها می‌شود که دارای رسوبات رودخانه‌ای بوده، ولی در زمان حاضر مسیر عبور جریان آب نیست.

2. Porous Media
3. Lufrenc Test
4. Constant head
5. Falling head
6. Digital Elevation Map
7. Screens

کتابنامه

- اصغری مقدم، اصغر، (۱۳۸۹). اصول شناخت آب‌های زیرزمینی. تبریز: دانشگاه تبریز.
- باقرزاده‌کثیری، مسعود، (۱۳۹۶). بومی‌سازی دانش فنی سال‌یابی شیمیایی استخوان (فلوئور)، اورانیوم، نیتروژن) بر مبنای داده‌های میدانی کاوش‌های باستان‌شناختی، کاوش و نمونه‌گیری صحرائی و مرمت‌های کارگاهی نمونه‌های منتخب. صندوق حمایت از پژوهشگران و فن‌آوران کشور.
- بهزاد، اردوان؛ فزونی، بهزاد؛ و میرزائی، عزت‌اله، (۱۳۹۷). «نقش عوامل محیطی بر تخریب محوطه‌های باستانی (مطالعه موردی محوطه‌های باستانی دهستان سر فیروزآباد استان

کرمانشاه). «نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، ۱۰(۳): ۱۹-۳۲. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.66972251.1397.10.3.2.4>

- دوئن، اریک فرگوسن؛ و پرایس، کلیفورد ا. (۱۳۹۴). حفاظت سنگ، مروری بر آخرین پژوهش‌های علمی (م. رازانی و ه. زندکریمی، مترجمان). تهران: فضا.
- ساعدی، بهمن؛ حیدری، مجتبی؛ محسنی، حسن؛ مؤمنی، علی‌اکبر، (۱۳۹۱). «مطالعه زوال‌پذیری سنگ‌نبشته داریوش در بیستون». سی و یکمین همایش علوم زمین، تهران. <https://civilica.com/doc/187088>

- علیزاده، سیامک، (۱۳۹۸). مقدمه‌ای بر تکنیک‌های ویژه حفاظت و مرمت بناهای تاریخی (بانگاهی به تجربیات کشورهای اروپایی). تهران: سمیرا.
- فدایی، حمید؛ طالبیان، محمدحسن؛ نصیری حقیقت، محمد، (۱۳۹۵). «سد سیوند و مدیریت بحران در حفاظت میراث جهانی پاسارگاد». سومین کنفرانس ملی مدیریت بحران و HSE در شریان‌های حیاتی، صنایع و مدیریت شهری، تهران. <https://civilica.com/doc/561695>
- فیلیدن، برناردملشیور؛ و یوکیلتنو، کیلیتنو، (۱۳۸۶). راهنمای مدیریت در محوطه‌های میراث جهانی (پ. حناچی، افزوده و مترجم). تهران: مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- قبادی، محمدحسین؛ ترابی‌کاوه، مهدی؛ و میری، میرمحمد، (۱۳۹۲). «نقش کارن‌ها در تخریب کتیبه‌های منطقه طاق‌بستان (شمال شرق کرمانشاه)». زمین‌شناسی ژئوتکنیک (زمین‌شناسی کاربردی)، ۹(۳): ۲۴۱-۲۵۲. <https://www.sid.ir/paper/127129/fa>
- مهندسین مشاور جهاد تحقیقات سهند. (۱۳۹۷). مطالعات ژئوتکنیک خط ۱ قطار شهری تبریز (جلد ۴).

- نوایی، سیده مریم، (۱۳۹۶). «بررسی رطوبت در بناهای تاریخی، مطالعه موردی: گنبد سلطانیه زنجان». کنفرانس ملی تحقیق و توسعه در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی نوین. <https://civilica.com/doc/723440>

- هژبری نوبری، علیرضا، (۱۳۸۱). گزارش مقدماتی سومین فصل کاوش در محوطه باستانی مسجد کبود تبریز. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور و مرکز تحقیقات باستان‌شناسی با همکاری دانشگاه تربیت مدرس.

- هژبری نوبری، علیرضا، (۱۳۸۳). «جایگاه کاوش‌های مسجد کبود تبریز در عصر آهن ایران و مقایسه آن با سایر محوطه‌های هم‌عصر». مجموعه مقالات همایش بین‌المللی باستان‌شناسی ایران؛ حوزه شمال غرب. تهران: پژوهشکده باستان‌شناسی سازمان میراث فرهنگی و گردشگری.

- Ahmed, A. A. & Fogg, G. E. (2014). "The impact of groundwater and agricultural expansion on the archaeological sites at Luxor, Egypt". Journal of African Earth Sciences, 95, 93-104. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.02.007>

- Alizadeh, S., (2019). *An introduction to special techniques for the conservation and restoration of historical buildings (with a look at European countries' experiences)*. Tehran: Samira. (In Persian)

- Asghari Moghaddam, A., (2010). *Principles of groundwater identification*. Tabriz: University of Tabriz Press. (In Persian)

- Bagherzadeh Kasiri, M., (2017). *Localization of technical knowledge for chemical dating of bones (fluorine, uranium, nitrogen) based on field data from archaeological excavations, field sampling, and workshop restoration of selected*

samples. National Foundation for Supporting Researchers and Technologists. (In Persian)

- Behzad, A., Fazooni, B. & Mirzaei, E., (2018). "The role of environmental factors in the destruction of archaeological sites (case study: archaeological sites of Sar Firuzabad District, Kermanshah Province)". *New Perspectives in Human Geography*, 10(3): 19-32. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.66972251.1397.10.3.2.4> (In Persian)

- Downen, E. F. & Price, C. A., (2015). *Stone conservation: A review of the current research* (M. Razani & H. Zandkarimi, Trans.). Tehran: Faza. (In Persian)

- Fadaei, H., Talebian, M. H. & Nasiri Haghighat, M., (2016). "Sivand Dam and crisis management in the protection of the Pasargadae World Heritage Site". *Third National Conference on Crisis Management and HSE in Vital Arteries, Industries, and Urban Management*, Tehran. <https://civilica.com/doc/561695/> (In Persian)

- Fearon, W. A., (1920). "A modified Kjeldahl method for the estimation of nitrogen". *Dublin Journal of Medical Science*, 1: 28-32. <https://scispace.com/pdf/a-modified-kjeldahl-method-for-the-determination-of-the-3dfy479zbg.pdf>

- Fielden, B. M. & Jokilehto, J., (2007). *Management guidelines for World Heritage Sites* (P. Hanachi, Ed. & Trans.). Tehran: Tehran University Press. [In Persian]

- Ghabadi, M. H., Torabi Kaveh, M. & Miri, M., (2013). "The role of karren in the destruction of inscriptions in the Taq-e Boşān area (northeast of Kermanshah)". *Geotechnical Geology (Applied Geology)*, 9(3): 241-252. <https://www.sid.ir/paper/127129/fa> (In Persian)

- Hezhibari Nobari, A., (2002). *Preliminary report of the third season of excavation at the Tabriz Blue Mosque archaeological site*. Tehran: National Cultural Heritage Organization and Archaeological Research Center in collaboration with Tarbiat Modares University. (In Persian)

- Hezhibari Nobari, A., (2004). "The position of Tabriz Blue Mosque excavations in the Iron Age of Iran and its comparison with contemporary sites". *Proceedings of the International Conference on Iranian Archaeology: Northwest Region*. Tehran: Archaeological Research Institute, Cultural Heritage and Tourism Organization. (In Persian)

- Jenkinson, D. S. & Ladd, J. N., (1981). "Microbial biomass in soil: Measurement and turnover". In: *Soil Biochemistry*, 5: 415-471. Marcel Dekker. <https://archive.org/details/jenkinson-ladd-1981/page/422/mode/2up>

- Kasiri, M. B., Ajorloo, B. & Razani, M., (2019). "Chemical relative dating of skeletons of the Iron Age cemetery of Tabriz on the basis of fluorine, uranium, and nitrogen content". *Journal of Archaeological Science: Reports*, 24: 330-337. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.01.028>

- Lund, V. & Goksoyr, J., (1980). "Effects of water fluctuations on microbial mass and activity in soil". *Microbial Ecology*, 6(2): 115-123. <https://doi.org/10.1007/BF02010550>

- Navaei, S. M., (2017). "Investigation of moisture in historical buildings, case

study: Soltaniyeh Dome, Zanjan". *National Conference on Research and Development in Civil Engineering, Architecture, and Modern Urban Planning*. <https://civilica.com/doc/723440> (In Persian)

- Nielsen-Marsh, C. M. & Hedges, R. E. M., (2000). "Patterns of diagenesis in bone I: The effects of site environments". *Journal of Archaeological Science*, 27(12): 1139-1150.

- Saedi, B., Heidari, M., Mohseni, H. & Momeni, A. A., (2012). "Study of the deterioration of Darius's inscription in Bisotun". *31st Earth Sciences Conference*, Tehran. <https://civilica.com/doc/187088/> (In Persian)

- Sahand Research Consulting Engineers., (2018). *Geotechnical studies of Tabriz Metro Line 1* (Vol. 4)., (In Persian)

- Swift, M. J., Heal, O. W. & Anderson, J. M., (1979). *Decomposition in terrestrial ecosystems*. University of California Press.

