Islamic Azad University, Abhar Branch, Iran

Payām-e Bāstānshenās
Archaeologist's Message

Journal homepage: https://peb.abhar.iau.ir/

Print ISSN: 2008-4285 **Online ISSN: 2980-9886**

Evaluating the Effects of Environmental Hazards on Parthian Pithos Cemeteries in Marivan, Iran: a Case Study of the Zardouyan Cemetery

Mohammad Masoumian [1], Ziad Ahmad [2], Ahmad Ganjaeian [3], Janoscha Kreppner [4], Ali Behnia [5], Nader Kasraei [6]

[1] *University of Kurdistan, Iran. Corresponding author*: masoumianmohammad90@gmail.com
[2] *Salahaddin University, Arbil, Iraq.*
[3] *Department of Geomorphology, University of Tehran, Tehran, Iran.*
[4] *Professor, Institut für Altorientalistik und Vorderasiatische Archäologie, Universität Münster, Deutschland.*
[5] *Ph.D. candidate in Archaeology; Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.*
[6] *Master of Archaeology, Tarbiat Modares, University, Tehran, Iran.*

ARTICLE INFO

Article history:
Received 27 July 2022
Revised 8 September 2022
Accepted 11 September 2022
Published 22 September 2022

Keywords:
the Zardouyan cemetery
Environmental hazards
Cryoclast
Mass wasting
Vertical movement

ABSTRACT

Due to its many pithos burial cemeteries, the Marivan region in Iran is very important for archaeological studies of the historical periods. In their studies on the pithos burial cemeteries in Marivan, the authors noticed that this region is encountering a wide range of human and natural damages that have been paid little attention by researchers. The excavations at Zardouyan cemetery properly clarified damaging factors and their amounts to researchers, and the most essential question is "Why is there such a huge amount of damage in these regions?" As a result, given the above-mentioned, we first investigated damaged evidence and damaging factors in the Zardouyan site. Then, to evaluate the factors affecting the region's damage, geomorphological, climatic, and geological evidence as well as Sentile-1 images were employed. The results suggested that given the region's geomorphological situation, slow and continuous mass wasting imposed pressure on the pithos to move in the slope direction, damaging and even overthrowing them. Moreover, according to the region's climate, the cryoclast phenomenon eroded pithos near the surface. Furthermore, the results obtained from the radar interferometry method and SBAS time series method implied that the studied region subsided by 6.7 - 43.8 mm within two years. The number could be significant in the long term and directly affect the region's vulnerability.

Citation: Masoumian, M., Ahmad, Z., Ganjaeian, A., Kreppner, J., Behnia, A., & Kasraei, N. (2022). Evaluating the Effects of Environmental Hazards on Parthian Pithos Cemeteries in Marivan, Iran: A Case Study of the Zardouyan Cemetery. *Payām-e Bāstānshenās, 14*(26), 1-18. (In Persian)
https://doi.org/10.30495/peb.2022.699639
© 2022 The Author(s). Published by Payām-e Bāstānshenās

Introduction

The Zardouyan cemetery is located in Darreh Tafi Village, Marivan Country, Iran. Marivan County is a border county in the west of Iran. It is in the west of Kurdistan Province (Masoumian *et al*., 2017). The study region (i.e., the Zardouyan cemetery) is located in the west of Marivan City and Lake Zeribar (Fig. 1). This region is in Northwest Zagros in terms of geology (Torouvets & Masoumian, 2018). It is tectonically an active region due to its geologic structure, which makes it prone to tectonic motions, such as earthquakes, subsidence, and upheaval (Aghanabati, 2006).

The investigation of the pithos at the beginning suggested that the human factor was the first and main cause of the region's damage and destruction and stimulation of the research group to conduct this study. However, when the excavation began, it was revealed that natural factors had much stronger effects on the destruction of the region of Marivan.

In recent years, pithos burial studies in Marivan Plain have been well-focused. However, no one asked the question "Why is there such a large amount of damage?" and no researchers published anything in this regard. Such studies require inter-discipline approaches. Thus, a hazardology approach of environmental hazards type was adopted to identify the damaging factors of the region. Among the most essential environmental hazards that can damage historical buildings are mass wasting, erosion, cryoclast, and vertical movement. Mass wasting is one of the most important and extensive hazards of mountain regions (Gruber *et al*., 2009; Hattanji *et al*., 2009), which damages and vulnerates environments and buildings. Cryoclast erosion is impacted by climate, and regions that are affected by this type of erosion will undergo large damage in the long term. Moreover, another hazard that can play an essential role in the destruction of historical places is the vertical movement of the ground in the two forms of subsidence and upheaval (Declercq *et al*., 2017). It can arise from different tectonic and human factors, including groundwater level drop (Chen *et al*., 2016). Today, in light of advancements, high-accuracy methods may be applied to investigate ground changes, including radar images and different radar interferometry methods.

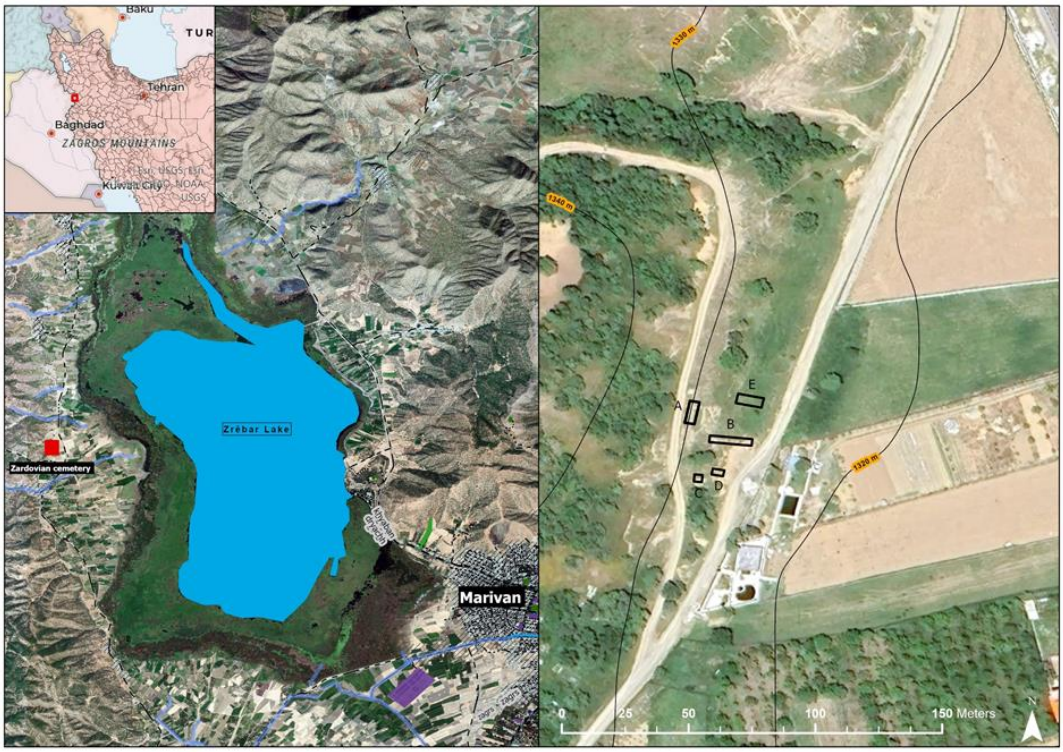


Figure 1: The location of the ancient cemetery of Zardouyan near Lake Zeribar in Kurdistan (Map: S. Asiabani).

Methodology

In proportion to the subject and objectives, this study used the exploration data of the Zardouyan cemetery, satellite images of the region, Santenile-1 radar images (29 images), SRTM 30 m digital elevation model, and 1:100000 geological and topographical maps. The important tools used in this study were ArcGIS software programs (to provide maps and the final output) and GMT programs (to perform radar interferometry and the SBAS method).

Given that the current study is divided into two sections archaeological studies and environmental hazards, the materials and methods are also divided into two sections described in the following.

a) *Archaeological studies*: this section provides the case study of the Zardouyan cemetery in Marivan according to the study's objective, attempting to investigate the entire things damaged by the cryoclast phenomenon and materials containing signs of movement.

b) *Environmental hazards of the studied region*: this study employed geomorphological, climatic, and remote measurements to evaluate environmental hazards. To evaluate the region's situation in terms of mass wasting potential, the SRTM 30 m digital elevation model, field evidence, and archaeological exploration data were used. To study the region in terms of erosion and weathering vulnerability, we used the climatic data, field evidence, and archaeological exploration data of the region. Moreover, 29 satellite images of Santenile-1 and the radar interferometry method were applied to evaluate the region's movement. The radar interferometry method is one of the strong techniques to monitor movement. By comparing, the phases of two radar images taken of the same region at two different times, this method can determine the ground changes during the time interval. In information mapping interference, there is a phase difference between two images, which expresses the distance difference between the feature and the measurer at the two capturing times. However, since each interferometer involves a large region with low correlation, its results are not reliable. Thus, radar interferometry cannot alone indicate the changes. Hence, various methods have been proposed to solve the problem. One of the methods is the SBAS time series method (Zhou, 2013). It only uses pair images whose baseline components are lower than the critical baseline, and at the same time, their temporal baseline has to be the minimum. Therefore, only interferometers with suitable quality form. After the interferometers form, a network of images is created. Then, using the least squares method, each pixel's movement is approximated (Dong *et al*., 2014).

Discussion

In terms of geomorphology, the major perspective of the region is composed of mountains, and the cemetery region is also located on the mountain. Given the geomorphological situation of the region, including being on the mountain and having a steep slope, it is geomorphologically prone to changes, including mass wasting-induced changes. In terms of climate, the studied region has significant precipitation as it is in the path of western winds. The mean annual precipitation of Marivan is about 900 mm. Moreover, since this region is located on a high latitude and a high elevation from the sea level, it has cold and snowy winters. This makes the mountain areas of this region subject to erosive movements, including cryostats. Given that the Zardouyan cemetery is located on a steep slope, it has a high potential for mass wasting, in particular slow continuous motions (creep). Grass vegetation, trees, and highly dispersed shrubs as well as a thick soil layer with fine particles and medium slope (10-15º at the bottom of the slope and 20-25º at the top of the slope) suggest an unstable slope that reflects mass movement potential. Archaeological evidence of discovered leftovers. This indicates that extra pressure was applied to the pithos because the crack on them covered from the middle to the bottom, and the cracks were more open in the middle of the pithos, suggesting pressure exertion from two top and bottom axes. Another evidence of fine-grained material motion of the vessels (Fig. 2) demonstrates that the material motion took place from the bottom in a specific depth.

Figure 2: The situation of pithos and pottery in the excavations of Zardouyan graves.

Given the fixed soil surface coverage by the low-depth roots of the grass and water penetration into the bottom. These phenomena cause the slope surface to become wavy but the material to move from under the surface. Furthermore, evidence of motion was observed, suggesting that people who did burial operations in this cemetery perfectly knew the possible motion of the ground. They covered the mouths of the twin pithos with stones in the side and mouth to prevent the possible pithos separation. The studied region was in the west of Iran and the path of western cold and rainy clouds. Given its latitude and elevation (m.a.s.l.), this region is considered a cold region of Iran. The mean precipitation of Marivan is about 900 mm per year, with long cold seasons (Fereidouni Kurdistani, 2016). Typically, the phenomenon of cryoclast has many effects on the ground, and it reduces as the depth increases (Mackay, 1977). The exploration data implied that the pithos in a lower depth were eroded and destroyed, which can be attributed to cryoclast, considering their low depth (Fig. 3). The purpose of excavations at the Zardouyan cemetery was primarily to save and organize human damages imposed to the site. However, it was revealed that natural factors played a more essential role in the destruction of the cemetery. There were five pithos on the site that had been damaged by human factors, but the effects of natural factors could be observed almost in the entire findings. The excavation results in the Zardouyan cemetery in Marivan properly indicate these damages. For example, an exploration demonstrated the extensive damage of pithos and the movement and fall of burial vessels.

Figure 3: Erosion of pithos in low depth due to cryoclast.

Conclusion

According to the investigation and geographical situation of the region, the natural hazards affecting the region's destruction were divided into three groups: mass wasting, cryoclast phenomenon, and vertical movement. The investigation of the region's geomorphological conditions demonstrated a high potential for mass wasting. Thus, large pressure has been applied to the pithos and the entire site by slow continuous mass wasting (creep) over time, causing them to move in the slope direction, and destroying and even overthrowing them. The second factor was the cryoclast phenomenon. Given the high number of freezing days in the region and the large temperature difference between nights and days, the cryoclast phenomenon is dominant in the region. Thus, the phenomenon has happened a thousand times within two thousand years and eroded the pithos that were located near the surface. The third factor was the ground's vertical movement in either form of subsidence or upheaval. It is induced by different tectonic and human factors, including reduced underground water. This phenomenon destroys different buildings and structures over time. The effects of vertical movement become sensible in the long term and it has significant effects in regions that are tectonically active. Given the importance of the subject and the region's tectonic position, this study evaluated the area in terms of vertical ground movement potential. The results suggest that the area has subsided by 6.7 - 43.8 mm within two years. This number may become significant in the long term. Thus, it can be said that the region's vertical and gradual movement in a period of two thousand years has been the main cause of the destruction, which has rarely been considered by scholars.

References

Aghanabati, S. A. (2006). *Geology of Iran, Geological Survey of Iran Minerals*. Tehran: Publications of the Geological Organization (in Persian).

Chen, M., Tomás, R., Li, Z., Motagh, M., Li, T., Hu, L., Gong, H., Li, X., Yu, J., & Gong, X. (2016). Imaging land subsidence induced by groundwater extraction in Beijing (China) using satellite radar interferometry. *Remote Sensing*, *8*(6), 468.

Declercq, P. Y., Walstra, J., Gérard, P., Pirard, E., Perissin, D., Meyvis, B., & Devleeschouwer, X. (2017). A study of ground movements in Brussels (Belgium) monitored by persistent scatterer interferometry over a 25-year period. *Geosciences*, *7*(4), 115.

Dong, S., Samsonov, S., Yin, H., Ye, S., & Cao, Y. (2014). Time-series analysis of subsidence associated with rapid urbanization in Shanghai, China measured with SBAS InSAR method. *Environmental Earth Sciences*, *72*, 677-691.

Fereidouni Kurdistani, M. (2016). *Geomorphological assessment of land suitability for physical development of Marivan City*. MA Thesis, Kharazmi University of Tehran, Faculty of Geography (in Persian).

Gruber, S., Huggel, C., & Pike, R. (2009). Modeling mass movements and landslide susceptibility. *Developments in Soil Science*, *33*, 527-550.

Hattanji, T., & Moriwaki, H. (2009). Morphometric analysis of relic landslides using detailed landslide distribution maps: Implications for forecasting travel distance of future landslides. *Geomorphology*, *103*(3), 447-454.

Mackay, J. R. (1977). Pulsating pingos, Tuktoyaktuk Peninsula, NWT. *Canadian Journal of Earth Sciences*, *14*(2), 209-222.

Masoumian, M., Torouvets, A., & Mahigir, I. (2017). Short report of the first season of excavation in the Zardouyan Graveyard. In R. Shrazi (ed.), *Proceeding of the 16th Annual Symposium on Iranian Archaeology*, 453-456, IRCHT (in Persian).

Torouvets, A., & Masoumian, M. (2018). Excavation in Teppe Zarduyan (near Marivan, Iranian Kurdistan). *11th ICAANE*, 125-145

Zhou, Z. (2013). *The applications of InSAR time series analysis for monitoring long-term surface change in peatlands*. Doctoral dissertation, University of Glasgow.

پیام باستان‌شناس
شاپا چاپی: ۴۲۸۵-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۹۸۸۶-۲۹۸۰
دورهٔ ۱۴، شماره ۲۶، بهار و تابستان ۱۴۰۱

ارزیابی تأثیر مخاطرات محیطی در آسیب‌پذیری گورستان‌های خمره‌ای اشکانی مریوان (مطالعهٔ موردی: گورستان زردویان)

محمد معصومیان[۱]، زیاد احمد[۲]، حمید گنجاییان[۳]، یانوشا کرپنر[۴]، علی بهنیا[۵]، نادر کسرایی[۶]

DOI: 10.30495/peb.2022.699639

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۲۰

چکیده

منطقهٔ مریوان به دلیل دارابودن تعداد زیادی گورستان خمره‌ای، جهت مطالعات باستان‌شناسی این نوع از سنت تدفینی در دوره‌های مختلف تاریخی بسیار حائز اهمیت است. از طرفی، تمام این منطقه در معرض حجم وسیعی از آسیب‌های انسانی و طبیعی قرار داشته و دارد؛ نکته‌ای که تاکنون توجه چندانی به آن نشده و در عین حال، این پرسش را مطرح می‌کند که دلیل یا دلایل چنین حجم عظیمی از آسیب در این محوطه‌ها چیست. در راستای پاسخ به این پرسش، ابتدا به بررسی شواهد آسیب‌دیده و عوامل آسیب‌زا در محوطهٔ زردویان پرداخته شده و سپس، با توسل به رویکردی میان‌رشته‌ای به منظور ارزیابی عوامل مؤثر بر تخریب محوطه، از شواهد و اطلاعات ژئومورفولوژی، اقلیمی، زمین‌شناسی و همچنین، تصاویر راداری سنتینل ۱ استفاده شده است. نتایج ارزیابی‌ها بیانگر آن است که با توجه به وضعیت ژئومورفولوژیکی منطقه، حرکات دامنه‌ای پیوسته و آرام سبب واردآوردن فشار به خمره‌ها و حرکت در جهت شیب، تخریب و حتی واژگونی آن‌ها شده است؛ همچنین، با توجه به وضعیت اقلیمی منطقه، پدیدهٔ کریوکلاستی باعث فرسایش خمره‌هایی شده است که نزدیک‌تر به سطح بوده‌اند. فزون بر این، نتایج به دست آمده از روش تداخل‌سنجی راداری و روش سری زمانی SBAS نیز مشخص نمود که محدودهٔ مطالعاتی در طی دورهٔ زمانی ۲ ساله، بین ۶/۷ تا ۴۳/۸ میلی‌متر فرونشست داشته است که این میزان در بلندمدت می‌تواند بسیار قابل توجه باشد و تأثیر مستقیمی در آسیب‌پذیری محوطه نهاده باشد.

واژگان کلیدی: دیرین‌محیط، زردویان، ژئومورفولوژی، مخاطرات محیطی، کریوکلاستی، گورستان.

*** استناد:** معصومیان، محمد، احمد، زیاد، گنجاییان، حمید، کرپنر، یانوشا، بهنیا، علی، کسرایی، نادر (۱۴۰۱). ارزیابی تأثیر مخاطرات محیطی در آسیب‌پذیری گورستان‌های خمره‌ای اشکانی مریوان (مطالعهٔ موردی: گورستان زردویان). *پیام باستان‌شناس*، *۱۴*(۲۶)، ۱-۱۸.

[۱] دانشگاه کردستان، نویسنده مسئول: Mmasoumian@art.uok.ac.ir

[۲] دانشگاه صلاح الدین، اربیل، عراق.

[۳] دانش‌آموخته ژئومورفولوژی دانشگاه تهران.

[۴] استاد گروه باستان‌شناسی دانشگاه مونستر، آلمان.

[۵] دانشجوی دکتری باستان‌شناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

[۶] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد باستان‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

مقدمه

پراکندگی گورستان‌های خمره ای در دشت مریوان، با وجود ضعف مطالعات باستان‌شناسی در این منطقه و این دوره، بسیار چشمگیر است و این مسئله در بررسی‌ها و بازدیدهایی که در دشت مریوان به انجام رسیده به خوبی نمایان است. مسئله‌ای که تاکنون به آن توجه خاصی نشده است، میزان آسیب‌هایی است که در تمام این گورستان‌ها قابل‌مشاهده است؛ به‌گونه‌ای که به سختی می‌توان یک گورخمرهٔ سالم شناسایی کرد. نتایج کاوش در گورستان زردویان مریوان، شواهد این آسیب‌دیدگی‌ها را به خوبی نشان می‌دهد؛ برای مثال در طی کاوش صورت‌گرفته، آسیب‌دیدگی گستردهٔ خمره‌ها، جابه‌جایی، واژگونی و وارونه‌شدن ظروف تدفینی مشاهده شده است که به نظر می‌رسد عوامل خارجی نقش عمده‌ای در این تغییرات داشته‌اند.

در سال‌های اخیر، مطالعات دامنه دار باستان شناسی در دشت مریوان متمرکز شده است؛ و تعداد بسیاری از گورستان‌های خمره ای ثبت و شناسایی شده است که می‌توان ادعا کرد تقریبا هیچ گورستان خمره ای را نمی توان یافت که چه توسط عوامل انسانی و چه به دلیل عوامل طبیعی، آسیب ندیده باشد. اما با تمام این اوصاف، تاکنون هیچ‌کدام از پژوهشگران به چرایی حجم وسیع آسیب‌ها نپرداخته و مطلبی مبنی بر دلایل این امر منتشر نکرده‌اند. پرواضح است که این قسم از مطالعات، رویکرد میان‌رشته‌ای را می‌طلبد که برای این منظور، ناگزیر از توسل به رویکرد مخاطره‌شناسی از نوع مخاطرات محیطی جهت شناخت عوامل در تخریب این محوطه‌ها هستیم؛ از جمله مهم‌ترین مخاطرات محیطی که می‌توانند در تخریب بناها و آثار تاریخی نقش داشته باشند، حرکات دامنه‌ای، فرسایش، کریوکلاستی و جابه‌جایی عمودی است. حرکات دامنه‌ای از مهم‌ترین و گسترده‌ترین مخاطرات مناطق کوهستانی است (Gruber et al., 2009; Hattanji & Moriwaki, 2009) که سبب تخریب و آسیب‌پذیری محیط و بناها می‌شود. فرسایش کریوکلاستی نیز تحت تأثیر وضعیت اقلیمی مناطق است و مناطقی که تحت تأثیر این نوع فرسایش قرار دارند، در بلندمدت با تخریب زیادی مواجه خواهند شد؛ همچنین یکی دیگر از انواع مخاطراتی که می‌تواند نقش مهمی در تخریب محوطه‌های باستانی داشته باشد، جابه‌جایی عمودی زمین است که به دو صورت فرونشست و بالاآمدگی است (Declercq et al., 2017) و می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلف تکتونیکی و انسانی از جمله افت آب‌های زیرزمینی رخ دهد (Chen et al., 2016). امروزه با پیشرفت‌های علمی صورت‌گرفته، به منظور بررسی تغییرات سطح زمین می‌توان از روش‌هایی با دقت بالا استفاده کرد که از جمله این روش‌ها، استفاده از تصاویر راداری و روش‌های مختلف تداخل‌سنجی راداری است(Aslan et al., 2019) .

پیشینهٔ پژوهش

یک دههٔ پیش با بررسی و شناسایی مریوان توسط محمدی‌فر و مترجم، پژوهش‌های باستان‌شناختی در این منطقه کلید خورد (محمدی‌فر و مترجم، ۱۳۸۱). پس از این پژوهش‌ها، شماری از گورستان‌های دورهٔ اشکانی منطقه مورد شناسایی قرار گرفت و برخی نیز به ثبت ملی رسید (محمدی‌فر و هژبری‌نوبری، ۱۳۸۳؛ مترجم و محمدی‌فر، ۱۳۸۸)؛ پس از آن، محمدی قصریان و همکاران به تعیین عرصه و حریم تپهٔ کلین‌کبود که آثار قابل توجهی از یک استقرار دورهٔ اشکانی و عصر آهن را داراست، پرداختند (محمدی‌قصریان و همکاران، ۱۳۹۴). در سال ۱۳۹۵، بهنیا در تپهٔ عبدالله‌بگ در محلهٔ ترخان‌آباد به مطالعهٔ تدفین‌های خمره ای این محوطه، در این شهرستان پرداخت (بهنیا، ۱۳۹۵). در سال ۱۳۹۶، معصومیان و تروتس به کاوش در گورستان زردویان

مبادرت ورزیدند (معصومیان و همکاران، ۱۳۹۷؛ Tourovets & Masoumian, 2018). بیننده نیز در سال ۱۳۹۷، به لایه‌نگاری تپهٔ ننه در روستای ننه پرداخت که یافته‌های لایه‌های بالایی، خمره‌های اشکانی را شامل می‌شود. همزمان با این لایه‌نگاری، زمانی‌دادانه (زمانی‌دادانه، ۱۳۹۷) به بررسی میدانی بخش مرکزی دشت مریوان پرداخت و تعدادی گورستان با تدفین خمره ای نیز شناسایی کرد و نهایتاً در سال خرداد ماه ۱۴۰۰ بررسی تکمیلی شهرستان مریوان توسط حریری و معصومیان به انجام رسید که در فاز نخست آن، بیش از ۴۰ گورستان خمره ای شناسایی گردید (حریری و معصومیان، ۱۴۰۰).

با توجه به این که هدف این پژوهش، ارزیابی عوامل مؤثر در تخریب و آسیب‌پذیری محوطه‌های باستانی است و جابه‌جایی عمودی به عنوان عامل مهم و مؤثری در این زمینه محسوب می‌شود، بنابر این از مطالعات پیشین صورت گرفته در مورد نحوهٔ محاسبه و روش‌های ارزیابی جابه‌جایی عمودی زمین (فرونشست و بالاآمدگی) استفاده شده است که از جملهٔ آن‌ها می‌توان به کارهای هیو و همکارانش (Hu et al., 2019) اشاره کرد که با استفاده از تصاویر راداری نشان داده‌اند میزان جابه‌جایی زمین در لس‌آنجلس[۱] آمریکا طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ حدود ۲۶۶/۸ میلی‌متر و به صورت فرونشست بوده است. (Zhang et al., 2019) ژانگ و همکارانش به پایش میزان جابجایی شهر ووهان[۲] چین پرداختند. در این پژوهش از روش SBAS-InSAR و تصاویر رادارست[۳] بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ استفاده شده است. نتایج پژوهش، بیانگر آن است که این منطقه بین ۲۷/۸ تا ۵۱/۵۶ میلی‌متر فرونشست داشته است. تیبالدی و همکاران با استفاده از تصاویر راداری، تغییرات زمین در نزدیک سد انگوری[۴] گرجستان را بررسی کرده‌اند و نشان داده‌اند که دامنهٔ غربی آن دارای لغزشی معادل ۲ تا ۹ سانتی‌متر در سال است (Tibaldi et al., 2019).

معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

گورستان زردویان در روستای دره‌تفی شهرستان مریوان واقع شده است. شهرستان مریوان به عنوان یکی از شهرستان‌های مرزی ایران محسوب می‌شود که در غرب استان کردستان قرار دارد (معصومیان و همکاران، ۱۳۹۷). محدودهٔ مطالعاتی (گورستان زردویان) در غرب محدودهٔ شهری مریوان و دریاچهٔ زریبار واقع شده است. این منطقه، از نظر زمین‌شناسی در واحد شمال غربی زاگرس قرار دارد و به دلیل ساختار زمین‌شناسی و وضعیت تکتونیکی حاکم بر منطقه به عنوان منطقهٔ فعال زمین‌ساختی محسوب می‌شود و همین امر سبب شده است تا این منطقه مستعد حرکات تکتونیکی از جمله زلزله، فرونشست و بالاآمدگی باشد (آقانباتی، ۱۳۸۵: ۵۸۶)؛ همچنین از نظر ژئومورفولوژی، چشم‌انداز عمدهٔ منطقه را واحد کوهستان در بر گرفته است و محدودهٔ گورستان نیز بر روی واحد کوهستان واقع شده است. با توجه به وضعیت ژئومورفولوژی محدوده چون قرارگیری در واحد کوهستان و دارابودن شیب زیاد، این منطقه از نظر ژئومورفولوژی نیز مستعد تغییر از جمله تغییرات ناشی از حرکات دامنه‌ای است. از نظر آب و هوایی نیز، محدودهٔ مطالعاتی به دلیل قرار گرفتن در مسیر بادهای غربی دارای بارش قابل توجهی است؛ به طوری که میانگین بارش سالانهٔ مریوان حدود ۹۰۰ میلی‌متر است؛ همچنین این منطقه به دلیل قرار گرفتن در عرض جغرافیایی بالا و داشتن ارتفاع زیاد از سطح دریا، دارای زمستان‌های سرد و پربرف

۱ Los Angeles
۲ Wuhan
۳ Radarsat
۴ Enguri

است و همین امر سبب شده است تا مناطق کوهستانی این منطقه در معرض حرکات فرسایش از جمله کریوکلاستی باشد (فریدونی کردستانی، ۱۳۹۵: ۵۰). در (تصاویر ۱ و ۲)، نقشهٔ موقعیت محدودهٔ مورد مطالعه، نشان داده شده است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، متناسب با موضوع و هدف مورد نظر، از داده‌های کاوش صورت‌گرفته در گورستان زردویان، تصویر ماهواره‌ای منطقه، تصاویر راداری سنتینل ۱ (جدول ۱)، مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه استفاده شده است. ابزارهای مهم مورد استفاده در پژوهش نیز شامل نرم‌افزارهای ARCGIS (جهت تهیهٔ نقشه‌ها و خروجی نهایی) و GMT (جهت انجام تداخل‌سنجی راداری و اجرای روش SBAS) است. با توجه به این که پژوهش حاضر از دو بخش مطالعات باستان‌شناسی و مخاطرات محیطی تشکیل یافته است، مواد و روش‌ها نیز به ۲ بخش تقسیم می‌شود که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته خواهد شد:

الف) مطالعات باستان‌شناسی: در این بخش، به مطالعهٔ موردی گورستان زردویان مریوان بر اساس آنچه که هدف این مقاله است، پرداخته شده است و سعی بر این بوده که تمام آثار آسیب‌دیده بر اثر پدیدهٔ کریوکلاستی و نیز موادی که نشانه‌ای از حرکت و جابه‌جایی در آن‌ها وجود داشته بررسی شود .

ب) مطالعات مخاطرات محیطی محدودهٔ مطالعاتی: در این پژوهش به منظور ارزیابی مخاطرات محیطی، داده‌های ژئومورفولوژی، اقلیمی و سنجش از دور مورد استفاده قرار گرفته است؛ به این صورت که برای ارزیابی وضعیت منطقه از نظر پتانسیل وقوع حرکات دامنه‌ای، از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM و شواهد میدانی و داده‌های حاصل از کاوش‌های باستان‌شناسی منطقه استفاده شده است. برای ارزیابی منطقه از نظر آسیب‌پذیری در برابر فرسایش و هوازدگی، داده‌های اقلیمی و همچنین شواهد میدانی و داده‌های حاصل از کاوش‌های باستان‌شناسی منطقه به کار رفته است؛ همچنین به منظور ارزیابی میزان جابه‌جایی منطقه در محدودهٔ مطالعاتی از ۲۹ تصویر راداری ماهوارهٔ سنتینل ۱ و روش تداخل‌سنجی راداری استفاده شده است. روش تداخل‌سنجی راداری یکی از ابزارهای توانمند جهت پایش پدیدهٔ میزان جابه‌جایی است. این روش با مقایسهٔ فازهای دو تصویر راداری که از یک منطقه در دو زمان مختلف اخذ شده‌اند، قادر به تعیین تغییرات سطح زمین در آن بازهٔ زمانی است. در یک تداخل‌نگاشت، اطلاعات اختلاف فاز دو تصویر که گویای اختلاف فاصلهٔ عارضه تا سنجنده در دو زمان تصویربرداری است، وجود دارد؛ اما با توجه به این که هر تداخل‌نگار شامل منطقهٔ بزرگی با همبستگی پایین است، بنابر این نتایج آن قابل‌اعتماد نیست؛ به همین دلیل روش تداخل‌سنجی راداری به تنهایی نمی‌تواند تغییرات صورت‌گرفته را نشان دهد. در این راستا برای حل مشکل، روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است که یکی از آن‌ها روش سری‌زمانی SBAS است. در این روش، تنها زوج تصاویری مورد استفاده قرار می‌گیرند که مؤلفهٔ قائم خط مبنای آن‌ها کمتر از مقدار بحرانی خط مبنا باشد.؛ همچنین خط مبنای زمانی ۱ آن‌ها نیز هم زمان کمینه باشد. به این ترتیب، فقط تداخل‌نگارهایی تشکیل می‌شوند که کیفیت مناسبی داشته باشند. پس از تشکیل این تداخل‌نگارها، یک شبکه از تصاویر ایجاد می‌شود؛ سپس با استفاده از روش کمترین مربعات، مقدار جابه جایی هر پیکسل تخمین زده می‌شود (Dong et al., 2014). در (جدول ۱) مشخصات تصاویر مورد استفاده نشان داده شده است.

۱Temporal baseline

بحث و نتایج

۱) بررسی وضعیت گورستان زردویان: تدفین خمره‌ای، یکی از مرسوم‌ترین نوع تدفین‌ها در دوران‌های مختلف تاریخی ایران از اواخر مفرغ تا دوران ساسانی است که از روش‌های این نوع سنت تدفینی می‌توان به انواع تدفین خمره‌ای تک و تدفین خمره‌ای جفت یا دوقلو اشاره کرد (سلیمی، ۱۳۹۴: ۳۹). محوطه‌هایی که دارای تدفین خمره‌ای هستند، از مناطق مختلفی در ایران گزارش شده‌اند که شامل سردشت (سلیمی، ۱۳۹۷)، شوش (دیولافوا، ۱۳۷۱: ۱۵۳)، گرمی (کامبخش‌فرد، ۱۳۷۷ : ۳۷)، طاق‌بستان (کامبخش‌فرد، ۱۳۷۷: ۴۵)، کنگاور (کامبخش‌فرد، ۱۳۸۶: ۲۳۰)، مریوان (محمدی‌فر، ۱۳۸۳؛ مترجم و محمدی‌فر، ۱۳۸۸)، سنگ‌شیر همدان (آذرنوش، ۱۳۵۴: ۵۱)، گورستان‌های خمره‌ای شناسایی‌شده در اطراف قلعهٔ ضحاک (قندگر، ۱۳۸۲: ۸۶)، بانه (نصرالهی، ۱۳۸۶: ۱۲) و همچنین گورستانی خمره‌ای در مینگه چویر در کشور آذربایجان (Mingait, 1359) است.

آمار قابل توجه آثار شناسایی‌شدهٔ دارای تدفین خمره ای در شهرستان مریوان، نسبت به سایر انواع محوطه‌ها نشان‌دهندهٔ سنتی است که در دوران‌های مختلف تاریخی در این منطقه رواج داشته است. از این میان، قبرستان خمره‌ای زردویان مریوان از جمله جالب‌ترین این گورستان‌ها هستند. اصلی‌ترین عامل و محرک آغاز پژوهش‌های میدانی در گورستان زردویان، در معرض تخریب بودن این محوطه به دلایل مختلف طبیعی و نیز انسانی بود؛ از جملهٔ این آسیب‌ها می‌توان به تخریب توسط غارتگران میراث فرهنگی اشاره کرد که روزبه‌روز بر دامنهٔ تخریب آن افزوده می‌شود؛ به همین دلیل با توجه به وضعیت اضطراری گورستان، نبود اطلاعات در مورد گورستان‌های خمره‌ای مریوان و روند تخریبات بالا، کاوش در این محوطه آغاز شد (تصویر ۳).

بر اساس مطالعات ژئوفیزیک انجام‌گرفته، مساحت این گورستان در حدود ۳۰۰ در ۲۰۰ متر مربع است؛ همچنین در این سایت، ۶۹ گور سالم شناسایی شد (محمدخانی و معصومیان، ۱۳۹۷) (تصاویر ۴ و ۵) . درنهایت، با توجه به بررسی‌ها و مطالعات پیش از کاوش، ۵ ترانشه برای ثبت حداکثری اطلاعات انتخاب شد. ترانشهٔ 5A در ۹متر، ترانشهٔ 2B در ۱۳ متر، 3C در ۳ متر، 4D در ۴ متر (این ترانشه فقط برای ساماندهی خمرهٔ تخریب‌شده باز شد) و ترانشهٔ 5E در ۵ متر انتخاب شدند (تصویر ۵). میانگین عمق ترانشه‌ها ۱/۲۰ سانتی‌متر بود.

در طول کاوش در ترانشهٔ B، E و D که در محل شیب نزدیک به جاده قرار داشتند، هیئت کاوش موفق به شناسایی ۱۰ گور خمره‌ای کوچک و بزرگ شدند که این خمره‌ها بر اساس کیفیت، نوع و فرم سفال‌ها در بازهٔ زمانی ۱۵۰ قبل‌ازمیلاد تا ۲۵۰ میلادی (دورهٔ اشکانی) قرار می‌گرفتند.

عمدهٔ فرم خمره‌های تدفینی هم‌دوره با زردویان که از سایر نقاط ایران به دست آمده است، از نوع خمره‌هایی با لبهٔ فتیله‌ای (برگشته به‌بیرون) است؛ در حالی که خمره‌های به‌دست آمده از این کاوش، دارای لبه‌های عمودی بوده که این خود نشان از وجود یک سنت بومی در این منطقه است؛ همچنین عمدهٔ خمره‌های مکشوفه از مناطقی همچون گرمی (کامبخش‌فرد، ۱۳۷۷: ۳)، طاق‌بستان (کامبخش‌فرد، ۱۳۷۷: ۴۵)، سردشت (سلیمی، ۱۳۹۷) و شوش (دیولافوا، ۱۳۷۱: ۱۴۵-۱۵۳)، در قسمت میانی دارای تزیینات افزوده‌ای به شکل طنابی هستند. در مورد خمره‌های به دست آمده در کاوش زردویان، به طور عمده، خمره‌ها فاقد نقوش طنابی افزوده هستند و عمدهٔ تزیینات به شکل نواری در شانهٔ خمره‌هاست که در مواردی تزیینات در دو طرف خمره به دسته‌های آن منتهی می‌شود. میانگین طول این خمره‌ها، مشابه میانگین قد یک انسان، در حدود ۱/۶۰ تا ۱/۷۰ سانتی‌متر است.

بررسی وضعیت خمره‌ها در نگاه نخست، بیانگر آن است که عامل انسانی، اصلی‌ترین دلیل تخریب و آسیب به محوطه بوده است؛ نکته‌ای که انگیزهٔ اصلی گروه پژوهشی برای انجام این پژوهش بوده است. پس از شروع کاوش، مشخص شد که عوامل طبیعی تأثیر بسیار جدی‌تری بر میزان تخریبات موجود در این محوطه و به طور اعم بر تمام محوطه‌های اشکانی مریوان گذاشته است که در ادامه به بحث پیرامون این موضوع پرداخته خواهد شد.

یافته‌های کاوش در گورستان زردویان قابل‌تأمل است؛ چراکه، تقریباً هیچ خمرهٔ سالمی به دست نیامده است و بدون استثناء، خمره‌های تدفین یا دارای ترک بوده (تصویر ۶) و یا بخش‌هایی از آن‌ها کاملاً از بین رفته است که به طور عمده، نیمهٔ بالایی و نزدیک به سطح را شامل می‌شود؛ به‌گونه‌ای که این بخش‌ها کاملاً فرسایش یافته، پودر شده و با خاک گور تلفیق شده‌اند (تصویر ۷).

۲) ارزیابی علت تغییرات صورت‌گرفته در محدوده: با توجه به موقعیت محوطهٔ مطالعاتی، این محدوده، پتانسیل زیادی از نظر حرکات دامنه‌ای، پدیده‌های مختلف فرسایشی از جمله کریوکلاستی و همچنین جابه‌جایی عمودی ناشی از عوامل تکتونیکی دارد. در ادامه، نحوهٔ تأثیرگذاری هر کدام از موارد فوق بر وضعیت خمره‌های منطقه تشریح خواهد شد:

تأثیر حرکات دامنه‌ای: با توجه به قرارگیری گورستان زردویان در یک دامنه با شیب زیاد، این محدوده دارای پتانسیل زیادی جهت وقوع حرکات دامنه‌ای به خصوص حرکات پیوسته و آرام (خزش) است. وجود پوشش گیاهی علفی و درختان و درختچه‌های بسیار پراکنده و خاک ضخیم با بافت ریزدانه و شیب متوسط (پایین دامنه ۱۵–۱۰ و بالادست ۲۰–۲۵ درجه) نشان از دامنه‌ای ناپایدار دارد که پتانسیل حرکات توده‌ای را در خود منعکس می‌کند. شواهد باستان‌شناسی آثار مکشوفه همانند (تصویر ۸) نشان می‌دهد که یک فشار مضاعف بر روی خمره‌ها وارد شده است؛ زیرا ترکی که بر روی آن ایجاد شده از قسمت شکمی آن تا قسمت کف ادامه داشته و این ترک‌ها در بخش میانهٔ خمره بازتر می‌شود؛ نکته‌ای که گواه فشار از دو محور بالا و پایین است. شاهد دیگر از حرکات، مواد ریزدانهٔ وارونگی ظروف سفالی در (تصویر۹) است که نشان می‌دهد حرکت مواد از زیر و در عمق خاصی اتفاق افتاده است. این پدیده با توجه به تثبیت پوشش سطحی خاک توسط ریشهٔ کم‌عمق علف‌ها و نفوذ آب به زیر، باعث می‌شود که سطح دامنه به صورت مواج در آمده و مواد از زیر به حرکت درآیند. فزون بر این، شواهدی از حرکات و جابه‌جایی وجود دارد که به نظر می‌رسد مردمانی که عمل تدفین را در این گورستان انجام داده‌اند، کاملاً با لغزش‌ها و حرکات احتمالی زمین آشنا بوده و دهانهٔ تمام خمره‌های دوقلو را با سنگ‌هایی در بغل و روی دهانه می‌پوشاندند تا از جدا شدن احتمالی خمره‌ها جلوگیری کنند (تصویر ۱۰).

تأثیر پدیدهٔ کریوکلاستی: محدودهٔ مطالعاتی در غرب ایران و در مسیر بادهای سرد و باران‌زای غربی قرار دارد و با توجه به عرض جغرافیای بالا و همچنین ارتفاع زیاد از سطح دریا، این منطقه از مناطق سرد کشور محسوب می‌شود. میانگین بارش مریوان حدود ۹۲۵ میلی‌متر است و دارای فصول سرد طولانی است (فریدونی‌کردستانی، ۱۳۹۵: ۵۴). وضعیت اقلیمی منطقه (جدول ۲) سبب شده است تا پدیدهٔ کریوکلاستی به عنوان یکی از عوامل مهم فرسایشی در منطقه محسوب شود. به طور معمول، پدیدهٔ کریوکلاستی بر روی سطح زمین اثر زیادی دارد و با افزایش عمق، میزان آن کم می‌شود (Mackay, 1997). داده‌های به دست آمده از کاوش، بیانگر آن است که خمره‌هایی که در عمق کمتری قرار داشته‌اند، دچار فرسایش و تخریب شده‌اند و این مهم را می‌توان با توجه به عمق کم آن‌ها به پدیدهٔ کریوکلاستی نسبت داد؛ به این

صورت که قطرات آب در بین روزنه‌ها و خلل و فرج کوزه‌ها و یا در داخل آن‌ها وارد شده و در اثر کاهش دما یخ می‌زند. آب در هنگام یخ زدن، ۱۰ درصد به حجم آن افزوده می‌شود و این پدیده فشار ۲ کیلوگرم بر سانتی‌مترمکعب را بر دیواره‌ها وارد کرده است و باعث شکستگی و پودر شدن خمره‌ها و ظروف سفالی شده است (تصویر ۱۱).

پتانسیل‌سنجی جابه‌جایی عمودی منطقه: سطح زمین به طور پیوسته در حال تغییر است و این تغییرات می‌تواند ناشی از عوامل مختلف تکتونیکی، انسانی (افت آب‌های زیرزمینی، سدسازی و...)، حرکات دامنه‌ای و ... باشد. امروزه به منظور بررسی تغییرات پیوسته و تدریجی زمین از روش‌های نوین مانند روش‌های سنجش از دور استفاده می‌شود. در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت منطقه از نظر پتانسیل میزان جابه جایی زمین و تغییرات احتمالی ناشی از عوامل مختلف، از تصاویر راداری و روش SBAS استفاده شده است. برای این منظور، ۲۹ تصویر راداری و روش SBAS به کار گرفته شده است که پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم، با توجه به بیس‌لاین زمانی و مکانی تصاویر (تصویر ۱۲) نقشه‌های اینترفروگرام تهیه شده است.

پس از تهیهٔ نقشه‌های اینترفروگرام، نقشهٔ نهایی میزان جابه‌جایی محدودهٔ مطالعاتی در طی دورهٔ زمانی ۲ ساله (۲۰۱۷/۰۱/۱۰ تا ۲۰۱۸/۱۲/۱۹) تهیه شده است (تصویر ۱۳). بر اساس نتایج به دست آمده، محدودهٔ کلی منطقه در طی بازهٔ زمانی مورد مطالعه بین ۱۴/۲+ (بالاآمدگی) تا ۱۳۸/۳- جابه‌جایی(فرونشست) داشته است؛ همچنین محدودهٔ مورد مطالعه (گورخمره‌های اشکانی) همان‌طور که در تصویر ۱۳ مشخص شده است، در طی دورهٔ زمانی ۲ ساله بین ۶/۷ تا ۴۳/۸ میلی‌متر فرونشست داشته است. با توجه به موقعیت قرارگیری منطقه، جابه‌جایی صورت‌گرفته را می‌توان به عوامل مختلف تکتونیکی، افت آب‌های زیرزمینی و همچنین حرکات دامنه‌ای به صورت خزش‌های پیوسته و بطئی نسبت داد. با توجه به موارد مذکور می‌توان گفت که محل قرارگیری گورخمره‌های اشکانی مریوان، دارای پتانسیل زیادی از نظر تغییر و جابه‌جایی است و در طول زمان نیز تغییرات زیادی داشته است و می‌توانسته که عامل اصلی آسیب به‌خمره‌ها بوده باشد.

نتیجه‌گیری

کاوش در تپهٔ زردویان مریوان در ابتدا با هدف نجات‌بخشی و ساماندهی آن از آسیب‌های انسانی وارده به این محوطه آغاز شد؛ اما در طی کاوش به وضوح مشاهده شد که در این گورستان عامل طبیعی نقش مهم‌تری در تخریب این محوطه داشته است. در کل سطح محوطه ۵ خمره وجود داشته که به وسیلهٔ عوامل انسانی آسیب دیده بودند؛ اما تقریباً در تمام یافته‌های کاوش، به نحوی می‌توان تأثیر عوامل طبیعی را در آسیب و فرسایش آن‌ها مشاهده کرد.

با توجه به بررسی‌های صورت‌گرفته و وضعیت جغرافیایی منطقه، مخاطرات طبیعی مؤثر در تخریب منطقه به ۳ دستهٔ حرکات دامنه‌ای، پدیدهٔ کریوکلاستی و آسیب‌های ناشی از جابه‌جایی عمودی تقسیم شده است. بررسی وضعیت ژئومورفولوژیکی محدودهٔ مطالعاتی بیانگر آن است که محدوده دارای پتانسیل زیادی جهت وقوع حرکات دامنه‌ای است؛ بنابر این در طول زمان به دلیل حرکات دامنه‌ای پیوسته و آرام (خزش) به خمره‌ها و کل سایت فشار زیادی وارد شده است و این عامل سبب حرکت در جهت شیب، تخریب و حتی واژگونی آن‌ها شده است. مورد دوم، آسیب‌های وارده توسط پدیدهٔ کریوکلاستی است. با توجه به تعداد زیاد روزهای یخبندان در منطقه و اختلاف دمای زیاد بین شب و روز، پدیدهٔ کریوکلاستی در این منطقه غالب است و همین امر سبب شده است که

این پدیده هزاران بار در طول دو هزار سال اتفاق بیفتد و باعث فرسایش خمره‌هایی شود که به سطح نزدیک‌تر بودند. مورد سوم پدیدهٔ جابه‌جایی عمودی زمین (فرونشست و یا بالاآمدگی) است که این پدیده متأثر از عوامل مختلف زمین‌ساختی و انسانی از جمله افت آب‌های زیرزمینی است و در بلندمدت سبب تخریب بناها و سازه‌های مختلف می‌شود. تأثیر پدیدهٔ جابه‌جایی عمودی در طی دورهٔ زمانی طولانی مشخص می‌شود و این پدیده در مناطقی که از نظر تکتونیکی جزء مناطق فعال هستند، تأثیر بسزایی دارد. با توجه به اهمیت موضوع و موقعیت زمین‌ساختی منطقه، در این پژوهش وضعیت منطقه از نظر پتانسیل جابه‌جایی عمودی مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصل بیانگر آن است که این محدوده در طی دورهٔ زمانی ۲ ساله بین ۶/۷ تا ۴۳/۸ میلی‌متر فرونشست داشته است و این میزان در بلندمدت می‌تواند بسیار قابل‌توجه باشد؛ بنابر این می‌توان گفت که جابه‌جایی عمودی و تدریجی منطقه در طی دورهٔ ۲ هزار ساله به عنوان یکی از عوامل اصلی تخریب محدودهٔ مطالعاتی محسوب می‌شود؛ نکته‌ای که تاکنون مغفول واقع شده است.

منابع

آذرنوش، مسعود (۱۳۵۴). کاوش‌های گورستان محوطهٔ سنگ‌شیر همدان. *گزارش‌های چهارمین مجمع سالانهٔ کاوش‌ها و پژوهش‌های باستان‌شناسی در ایران*، زیر نظر فیروز باقرزاده، تهران: مرکز باستان‌شناسی ایران.

آقانباتی، سیدعلی (۱۳۸۵). *زمین‌شناسی ایران*. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ص.

بهنیا، علی، (۱۳۹۵). *گزارش گمانه‌زنی به منظور تعیین عرصه و حریم تپه تپه عبدالله بگ ترخان آباد مریوان*. مرکز اسناد اداره کل میراث فرهنگی و گردشگری استان کردستان (منتشر نشده).

بیننده، علی (۱۳۹۷). *گزارش فصل اول کاوش به‌منظور لایه‌نگاری در تپهٔ قلعه ننه، مریوان*. آرشیو ادارهٔ کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان کردستان (منتشر نشده).

دیولافوا، ژان (۱۳۷۱). *سفرنامهٔ کاوش‌های باستان‌شناسی در شوش ۱۸۸۶-۱۸۸۴*، ترجمهٔ ایرج فره وشی، چاپ سوم. تهران: دانشگاه تهران.

زمانی دادانه، مرتضی (۱۳۹۷). *گزارش برنامهٔ بررسی و شناسایی شهرستان مریوان*. آرشیو ادارهٔ کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان کردستان (منتشر نشده).

سلیمی، صلاح (۱۳۹۴). *بررسی محوطه‌های اشکانی حاشیهٔ شرقی رودخانه زاب کوچک شهرستان سردشت، نمونه موردی: تپهٔ بالان*. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد باستان‌شناسی، دانشگاه تهران، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی (منتشر نشده).

سلیمی، صلاح، ده پهلوان، مصطفی (۱۳۹۷). بررسی گورستان‌های خمره‌ای اشکانی حاشیهٔ شرقی رودخانه زاب کوچک در شهرستان سردشت، شمال غرب ایران. *مطالعات باستان شناسی*، ۱۰(۱)، ۱۳۵ – ۱۵۴.

فریدونی کردستانی، مژده (۱۳۹۵). *ارزیابی ژئومورفولوژیکی تناسب زمین برای گسترش کالبدی شهر مریوان*. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی تهران، دانشکدهٔ جغرافیا (منتشر نشده).

قندگر، جواد (۱۳۸۲). *گزارش مقدماتی کاوش‌های باستان‌شناسی قلعهٔ زهاک (اژدهاک) شهرستان هشترود*. آرشیو سازمان میراث فرهنگی استان آذربایجان شرقی (منتشر نشده).

کامبخش‌فرد، سیف الله (۱۳۷۷). *گورخمره‌های اشکانی (پیوست مجلهٔ باستان‌شناسی و تاریخ)*. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.

کامبخش فرد، سیف الله (۱۳۸۶). *کاوش‌ها و پژوهش‌های باستان‌شناسی و احیاء معماری معبد آناهیتای کنگاور و تاق گرا*. جلد دوم، تهران: سازمان میراث فرهنگی صنایع دستی و گردشگری- پژوهشکدهٔ باستان‌شناسی.

محمدخانی، کوروش (۱۳۹۷). *گزارش ژئوفیزیک گورستان زردویان مریوان*. آرشیو ادارهٔ کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان کرستان (منتشر نشده).

محمدی‌فر، یعقوب، مترجم، عباس (۱۳۸۱). *بررسی باستان‌شناسی شهرستان مریوان*. مرکز اسناد ادارهٔ کل میراث فرهنگی و گردشگری استان کردستان (منتشر نشده).

محمدی‌فر، یعقوب، هژبری نوبری، علیرضا (۱۳۸۳). نگرشی بر آیین تدفین گورخمره‌ای دورهٔ اشکانی در حاشیهٔ غربی زاگرس مرکزی (مریوان). *پیام باستان‌شناس، ۱ (۲)*، ۲۹-۴۲.

محمدی فر یعقوب و عباس مترجم (۱۳۸۸). *گزارش نهایی فصل اول کاوش گور خمره‌های حوزه دریاچه زریبار- مریوان*. مرکز اسناد اداره کل میراث فرهنگی و گردشگری استان کردستان (منتشر نشده)

محمدی قصریان، سیروان (۱۳۹۳). *گزارش گمانه زنی به منظور تعیین عرصه و حریم تپهٔ کلین کبود مریوان*. مرکز اسناد اداره کل میراث فرهنگی و گردشگری استان کردستان (منتشر نشده)

معصومیان، محمد، تروتس، الکساندر، ماهیگیر، ایران‌دخت (۱۳۹۷). گزارشی کوتاه از فصل اوّل کاوش در گورستان زردویان مریوان، *مجموعهٔ مقالات شانزدهمین گردهمایی سالانهٔ باستان‌شناسی ایران*، ۴۵۳-۴۵۶.

نصراللهی، صالح (۱۳۸۶). *گزارش بررسی و شناسایی اتلال، محوطه‌ها و آثار باستانی بخش‌های مرکزی و ننور شهرستان بانه، پاییز*. آرشیو میراث فرهنگی استان کردستان (منتشر نشده).

Aslan, G., Cakir, Z., Lasserre, C., & Renard, F. (2019). Investigating Subsidence in the Bursa Plain, Turkey, Using Ascending and Descending Sentinel-1 Satellite Data. *Remote Sens. 11*(1), 1-17. 85; doi:10.3390/rs11010085.

Chen, M., Tomás, R., Li, Zh., Motagh, M., Li, T., Hu, L., Gong, H., Li, X., Yu, J., & Gong, X. (2016). Imaging Land Subsidence Induced by Groundwater Extraction in Beijing (China) Using Satellite Radar Interferometry, *Remote Sens*, *8*(6), 468.

Declercq, P. Y., Walstra, J., Gérard, P., Pirard, E., Perissin, D., Meyvis, B., & Devleeschouwer, X. (2017). A study of ground movements in Brussels (Belgium) monitored by persistent scatterer interferometry over a 25-year period. *Geosciences*, *7*(4), 115.

Dong, S., Samsonov, S., Yin, H., Ye, S., & Cao, Y. (2014). Time-series analysis of subsidence associated with rapid urbanization in Shanghai, China measured with SBAS InSAR method. *Environmental earth sciences*, *72*, 677-691.

Gruber, S., Huggel, C., & Pike, R. (2009). Modelling mass movements and landslide susceptibility. *Developments in Soil Science*, *33*, 527-550.

Hattanji, T., & Moriwaki, H. (2009). Morphometric analysis of relic landslides using detailed landslide distribution maps: Implications for forecasting travel distance of future landslides. *Geomorphology*, *103*(3), 447-454.

Hu, B., Chen, X., & Zhang, X. (2019). Using Multisensor SAR Datasets to Monitor Land Subsidence in Los Angeles from 2003 to 2017. *Journal of Sensors*, *2019*, 1-15.

Mongait, A. (1959). *Archaeology in the U.S.S.R, Moscow*. Foreign Languages Publishing House.

Mackay, J. R. (1977). Pulsating pingos, Tuktoyaktuk Peninsula, NWT. *Canadian Journal of Earth Sciences*, *14*(2), 209-222.

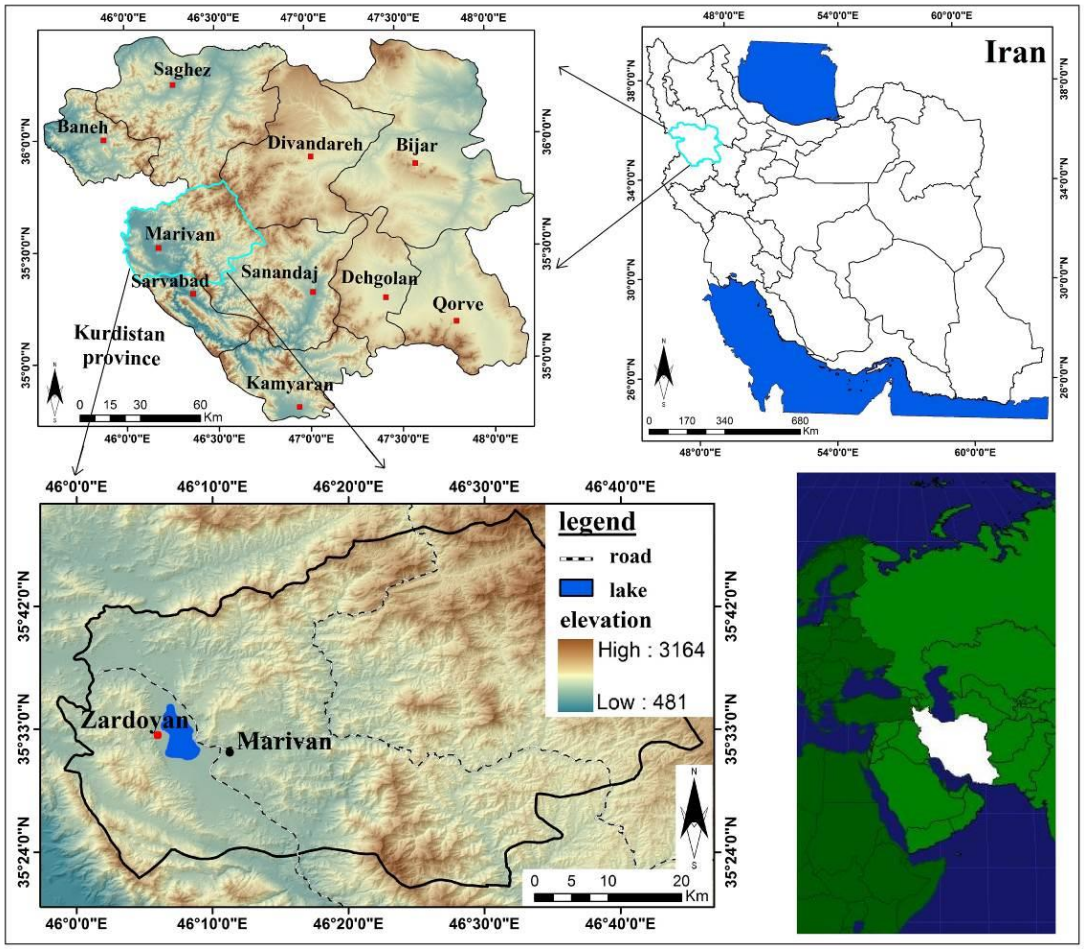
Tibaldi, A., Oppizzi, P., Gierke, J., Oommen, T., Tsereteli, N., & Gogoladze, Z. (2019). Landslides near Enguri dam (Caucasus, Georgia) and possible seismotectonic effects. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 19*(1), 71-91.

Tourovets, A., & Masoumian, M. (2018). *Excavation in Teppe Zarduyan (near Marivan, Iranian Kurdistan).* 11th ICAANE.

Zhang, Y., Liu, Y., Jin, M., Jing, Y., Liu, Y., Liu, Y., ... & Chen, Y. (2019). Monitoring land subsidence in Wuhan city (China) using the SBAS-InSAR method with radarsat-2 imagery data. *Sensors, 19*(3), 743. doi:10.3390/s19030743

Zhou, Z. (2013). *The applications of InSAR time series analysis for monitoring long-term surface change in peatlands*. Doctoral dissertation, University of Glasgow.

ضمایم



تصویر ۱: نقشهٔ موقعیت جغرافیایی محدودهٔ مورد مطالعه (حمید گنجائیان، ۱۳۹۹).

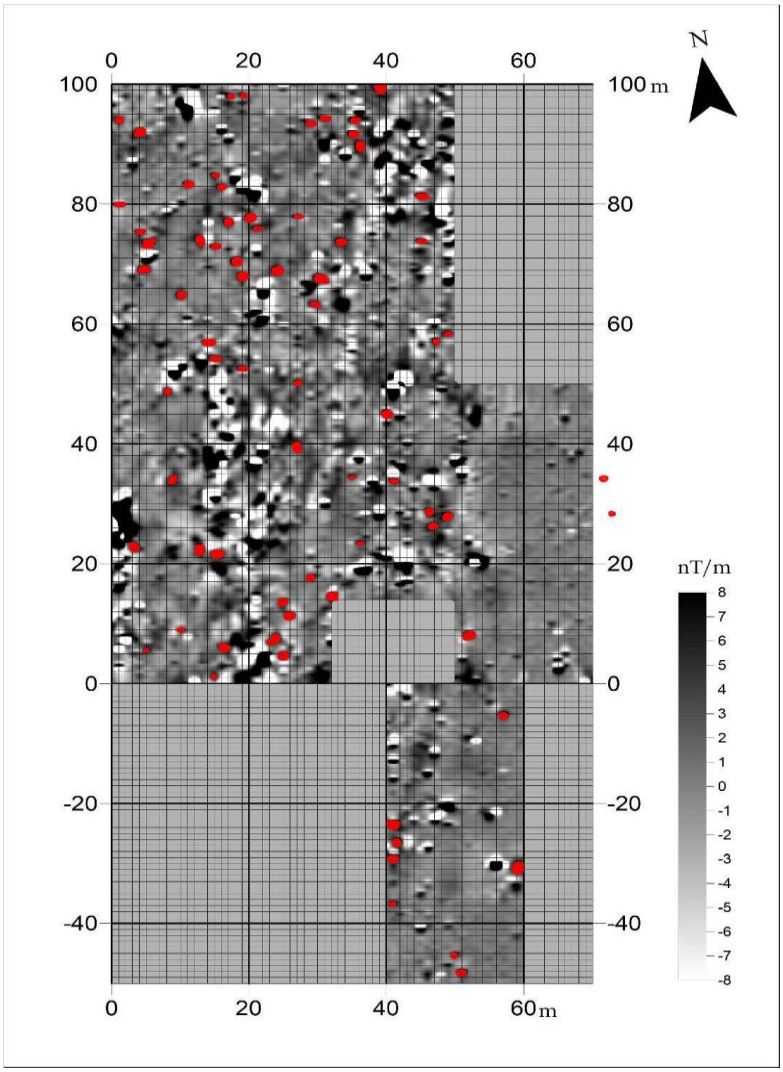
تصویر ۲: تصویر ماهواره‌ای گورستان زردویان و شهر مریوان (Google Earth, 2020).

جدول ۱: مشخصات تصاویر مورد استفاده

Row	Date	Product Type	Pass	Row	Date	Product Type	Pass
1	2017/01/10	SLC	Descending	16	2018/02/10	SLC	Descending
2	2017/02/03	SLC	Descending	17	2018/03/06	SLC	Descending
3	2017/02/27	SLC	Descending	18	2018/03/30	SLC	Descending
4	2017/03/23	SLC	Descending	19	2018/04/23	SLC	Descending
5	2017/04/16	SLC	Descending	20	2018/05/17	SLC	Descending
6	2017/05/10	SLC	Descending	21	2018/06/10	SLC	Descending
7	2017/06/03	SLC	Descending	22	2018/07/04	SLC	Descending
8	2017/06/27	SLC	Descending	23	2018/07/28	SLC	Descending
9	2017/07/21	SLC	Descending	24	2018/08/21	SLC	Descending
10	2017/08/14	SLC	Descending	25	2018/09/14	SLC	Descending
11	2107/09/19	SLC	Descending	26	2018/10/08	SLC	Descending
12	2017/10/25	SLC	Descending	27	2018/11/01	SLC	Descending
13	2107/11/18	SLC	Descending	28	2018/11/25	SLC	Descending
14	2017/12/12	SLC	Descending	29	2018/12/19	SLC	Descending
15	2018/01/17	SLC	Descending				

تصویر ۳: میزان تخریب‌های گورستان زردویان پیش از کاوش (محمد معصومیان، ۱۳۹۵).

تصویر ۴: محل قرارگیری پروفیل‌ها جهت انجام مطالعات ژئوفیزیک (Google Earth 2020)



تصویر ۵: تفسیر نقشهٔ مغناطیسی گورستان زردویان آنومانی‌های قرمزرنگ، مکان گورهای باستانی را نشان می‌دهند (محمدخانی، ۱۳۹۷)

تصویر ۶: آسیب‌های وارده به خمره‌های به دست آمده (معصومیان، ۱۳۹۶)

تصویر ۷: فرسایش عامل از بین رفتن نیمهٔ بالایی خمره‌ها در گورستان زردویان (معصومیان، ۱۳۹۶)

تصویر ۸: تصویر ترک در خمره بر اثر فشار از بالا (معصومیان، ۱۳۹۶)

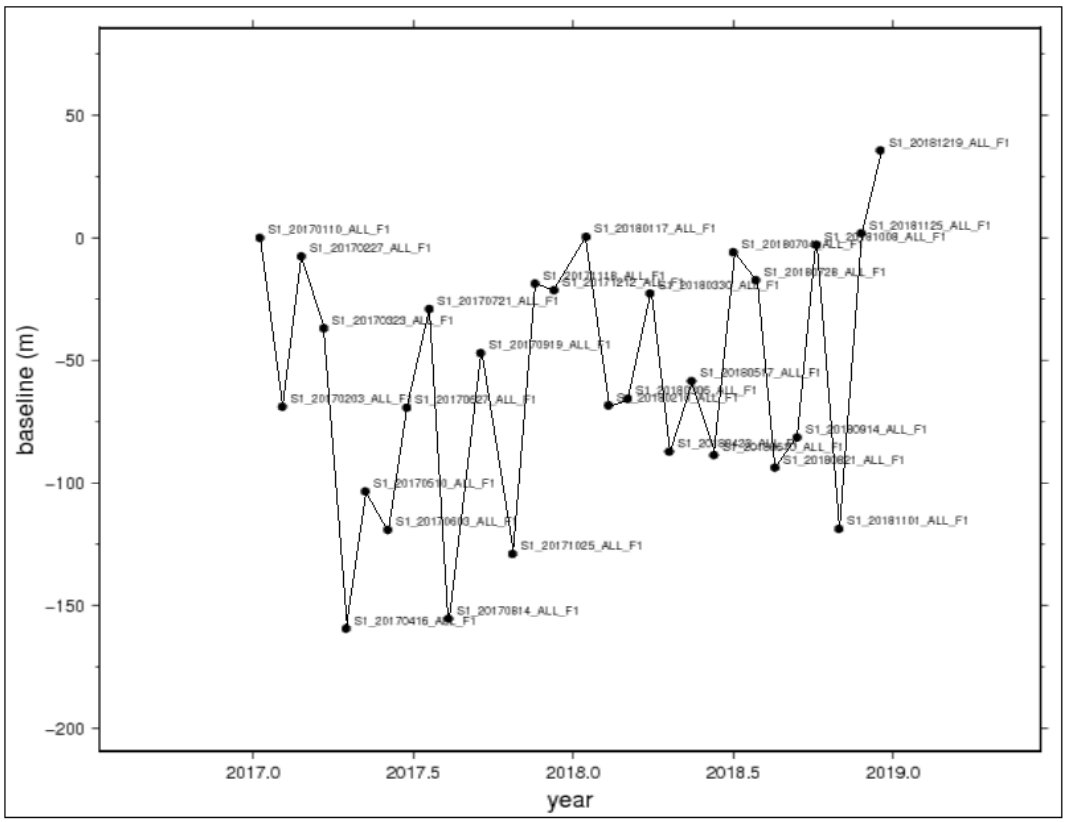
تصویر ۹: تصویر وارونه شدن ظروف تدفین بر اثر حرکات زمین (معصومیان، ۱۳۹۶)

تصویر ۱۰: قرار دادن سنگ در کناره‌های خمره‌های دوقلو جهت جلوگیری از جابه‌جایی (معصومیان، ۱۳۹۶).

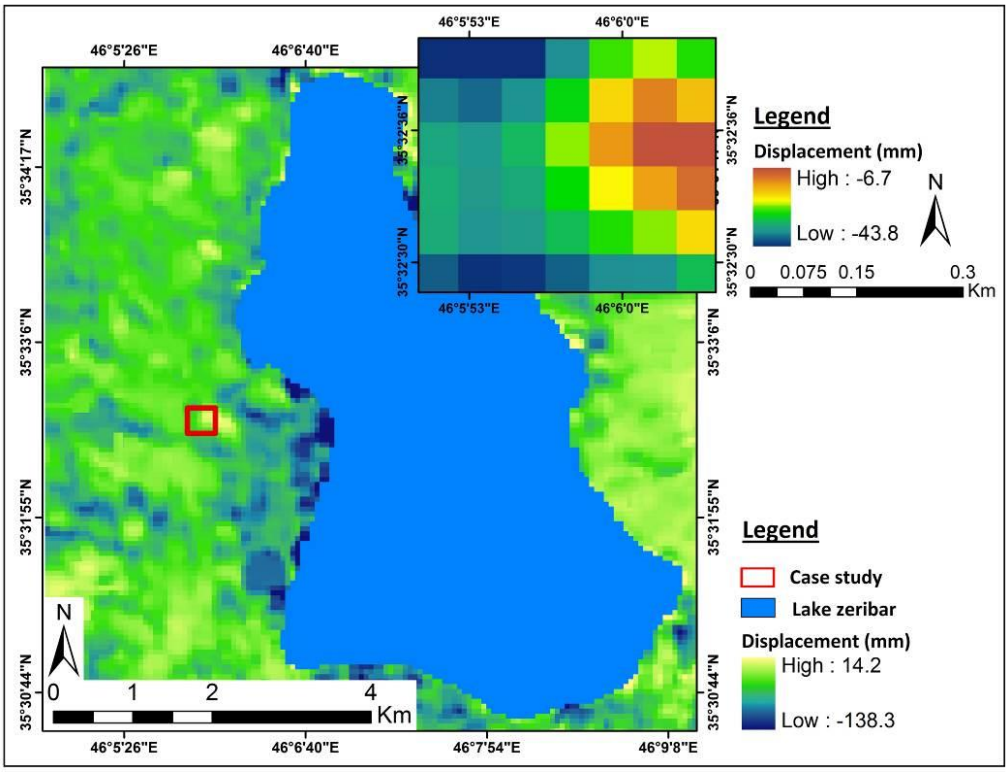
جدول ۲: میانگین بلندمدت (۲۰۱۸-۱۹۹۲) پارامترهای اقلیمی ایستگاه سینوپتیک مریوان (سازمان هواشناسی استان کردستان، ۱۳۹۸).

پارامتر	بارش (mm)	میانگین دمای سالانه (سانتی‌گراد)	میانگین حداکثر دمای ماهانه (سانتی‌گراد)	میانگین حداقل دمای ماهانه (سانتی‌گراد)	تعداد روزهای یخ‌بندان
میانگین بلند مدت	۹۲۵	۱۳/۶	۲۶/۷ (ژولای)	۲/. (ژانویه)	۹۱

تصویر ۱۱: فرسایش خمره‌ها بر اثر پدیدهٔ کریوکلاستی (معصومیان، ۱۳۹۶)



شکل ۱۲: انتخاب تصاویر بر اساس کمترین خط مبنای زمانی و مکانی (گنجائیان، ۱۳۹۹)



تصویر ۱۳: نقشهٔ فرونشست محدودهٔ مطالعاتی در طی دورهٔ زمانی ۲ ساله (۲۰۱۷/۰۱/۱۰ تا ۲۰۱۸/۱۲/۱۹) (گنجائیان، ۲۰۱۹).