Archive of SID

Journal of Research on Archaeometry, 2019; 5 (1):43–54

Journal of Research on Archaeometry

DOI: 10.29252/jra.5.1.43

URL: http://jra-tabriziau.ir/

Original Paper

Analysis of Rock Cracks in Naqsh-e Rostam Historical Area by Remote Sensing

Azadeh Ghobadi[1]*, Mohammad Amin Emami[2], Hesam Aslani[3], Behzad Ojaghi[4]

[1] *Ph.D. candidate in Conservation of Cultural Heritage, Art University of Isfahan, Isfahan, IRAN*
[2] *Associated prof. at Art University of Isfahan, Faculty of Conservation, Isfahan, IRAN*
[3] *Assistant prof. at Art University of Isfahan, Faculty of Conservation, Isfahan, IRAN*
[4] *RS/GIS expert, Project Manager at Yekom Consulting Engineers Institute, Tehran, IRAN*

Received: 12/05/2018 **Accepted: 27/06/2019**

Abstract

Cultural heritage sites are threatened from a variety of natural and anthropogenic factors. Innovative and cost effective tools are needed to protect them via systematic monitoring of landscapes and cultural heritage sites. In this study, the overall risk in the Naqsh-e Rostam area, as a case study, was assessed in a multidisciplinary approach, based on the remote sensing techniques and Geographical Information System (GIS) analysis. Naqsh-e-Rostam is known as an ancient periphery which is located in northwest of Persepolis in Fars (nowadays Shiraz), Iran. The oldest relief at Naqsh-e-Rostam is severely damaged and dates back to 1,200 B.C., while there is a rock relief thought to be Elamite, originally. Four tombs belonging to Achaemenid kings are carved out of the rock face and seven oversized rock reliefs at Naqsh-e-Rostam depict the monarchs of the Sassanid period. In Sasanian epoch, Naqsh-e-Rostam site was very important due to its religious and national role, where Ernst Emil Herzfeld and Heidemarie Koch estimated its ancientness about 4,000 B.C. This historical site, which is one of the most unique ancient monuments in Iran, is suffering from some problems such as erosion and deep cracks, due to mainly the climatic and geological characteristics of the region. Currently, several damages threaten this site, which are also remarkable on the high reliefs and on the ground, vicinity of the reliefs. These monuments are located in orographic mountains which expose overall to interaction with their surrounded environment. Therefore, existing deterioration as well as erosion process is mainly due to the climatic conditions and geo-environmental factors that cause such challenges. The aim of this study was to analyze the unexpected appearance of a deep fracture with unknown reasons in this site during the recent years and to find the basic phenomenon for the appearance and development of these fractures. First, several natural and anthropogenic hazards were mapped using different remote sensing data and methodologies. All data were gathered from satellite images and products. Then, the results from each hazard were imported into a GIS environment in order to examine the overall risk assessment based on the Analytic Hierarchy Process (AHP) methodology. The results showed that the methodology applied was effective enough in the understanding of the current conservation circumstances of the monuments in relation to their environment, as well as in the prediction of the future development of the present hazards. Transverse and main cracking are dominant damages that will result erosion in whole of these works. The focal pressure sources, which produced once drainage and haulage of water stream along the crack systems in the rock surfaces, was studied with Aerial Photography and Satellite Imagery, and analyzed with respect to GIS system. Finally, the gullies effect was identified in the back of the rocks.

Keywords: Naqsh-e Rostam, Remote Sensing, Geographic Information System, Digital Elevation Model, Gullies

* Corresponding author: azadeh.ghobadi@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

پژوهه باستان‌سنجی ۱۳۹۸؛ ۵(۱): ۴۳-۵۴

پژوهه باستان‌سنجی

DOI: 10.29252/jra.5.1.43

URL: http://jra-tabriziau.ir/

دانشگاه هنر اسلامی تبریز ۱۳۷۸

مقاله پژوهشی

بررسی ترک‌های آثار صخره‌ای محوطه تاریخی نقش رستم با استفاده از تحلیل داده‌های سنجش‌ازدور

آزاده قبادی*[۱]، محمدامین امامی[۲]، حسام اصلانی[۳]، بهزاد اجاقی[۴]

۱. دانشجوی دکتری مرمت آثار باستانی، دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

۲. دانشیار کانی‌شناسی و کریستالوگرافی، عضو هیئت‌علمی دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

۳. استادیار حفاظت و مرمت، عضو هیئت‌علمی دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

۴. کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی، مدیر پروژه سیستم‌های اطلاعات مکانی، مهندسین مشاور یکم، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۶

چکیده

محوطه تاریخی نقش رستم یکی از آثار منحصربه‌فرد ایران واقع در استان فارس است که یادمان‌هایی از عیلامیان، چهار مقبره مربوط به دوران هخامنشی، و همچنین ۷ نقش برجسته عظیم بر روی صخره مربوط به دوران ساسانی در خود جای داده است. ازآنجایی‌که این آثار تاریخی در فضاهای باز کوهستانی واقع شده‌اند، آسیب‌های بسیاری را که متأثر از شرایط اقلیمی بوده، پشت سر گذاشته است. وجود ترک‌های متعدد و عمیق با دلایل ناشناخته بر روی سطوح این آثار صخره‌ای در محوطه باستانی نقش رستم، منجر به شکل‌گیری این تحقیق گردید. لذا جهت شناسایی دلایل به وجود آمدن این ترک‌ها، داده‌های سنجش‌ازدور منطقه مطالعه و از سامانه اطلاعات جغرافیایی جهت تحلیل و تفسیر استفاده گردید. در این راستا از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی برای بررسی دیداری از منطقه موردمطالعه و محیط پیرامون، از مدل رقومی ارتفاع برای نمایش ناهمواری‌های زمین و تفسیر ساختارهای سه‌بعدی از سطح زمین، و GIS به‌عنوان یک سامانه اطلاعاتی مکان‌مبنا و ابزاری برای پردازش، تحلیل و مدیریت اطلاعات استفاده گردید. با توجه به نتایج تحلیل‌ها، مشخص گردید که این آثار صخره‌ای در انتهای آبراهه‌ها واقع شده‌اند و در طول زمان و در فصل‌های پربارش، تحت تأثیر وجود ترک‌های زمین ساختی باعث ایجاد جریان روان آب‌ها و تجمع آب شده و دلیل توسعه فرایندهای فرسایشی در منطقه موردمطالعه هستند.

واژگان کلیدی: نقش رستم، سنجش‌ازدور، سامانه اطلاعات جغرافیایی، مدل رقومی ارتفاع، روان آب

* مسئول مکاتبات: خیابان حکیم نظامی، روبروی خیابان خاقانی، دانشگاه هنر اصفهان

پست الکترونیکی: azadeh.ghobadi@yahoo.com

حق نشر متعلق به نویسنده(گان) است و نویسنده تحت مجوز Creative Commons Attribution License به مجله اجازه می‌دهد مقاله چاپ شده را با دیگران به اشتراک بگذارد منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

نقش رستم نام مجموعه‌ای باستانی در روستای زنگی‌آباد واقع در شمال شهر ستان مرود شت ا ستان فارس ایران است که در فاصله ۶ کیلومتری از تخت جمشید قرار دارد. این محوطه باستانی یادمان هایی از عیلامیان، هخامنشیان و ساسانیان را در خود جای‌داده ا ست و از حدود سال ۱۲۰۰ ق.م تا ۶۲۵ م. همواره موردتوجه بوده ا ست[1,2] زیرا آرامگاه چهار تن از پادشاهان هخامنشی، نقش برجسته‌های متعددی از وقایع مهم دوران ساسانیان، بنای کعبه زرتشت و نقش برجسته ویران‌شده‌ای از دوران عیلامیان در این مکان قرار دارند و در دوره ساسانی، محوطه نقش رستم ازنظر دینی و ملی نیز اهمیت بسیار داشته است [3].

نقش رستم را بی‌گمان باید پس از پارسه و پاسارگاد، ارز شمندترین و یگانه‌ترین یادمان تاریخی ایران دانست که در دوره اسلامی نیز ارزش خود را حفظ کرده و مورد نگرش بوده ا ست. از سویی، آرامگاه داریوش یکم که به داریوش بزرگ نامدار بوده، تنها آرامگاهی است که سنگ‌نوشته‌هایی به خط میخی یا پارسی باستان، ایلامی و بابلی یا آکدی روی آن نگاشته شده که از ارزش بسیار فراوانی نزد کارشناسان برخوردار بوده و سندی زنده و پویا از دوره تاریخی این شهریار هخامنشی را به نمایش می‌گذارد. مجموعه تاریخی نقش رستم با شماره ۲۱ در تاریخ ۲۴ شهریور ۱۳۱۰ به ثبت ملی رسیده است [4]

نقش رستم با موقعیت مکانی ۲۹/۹۸۸۹ درجه شمالی و ۵۲/۸۷۴۷ درجه شرقی واقع در صخره‌های کوهپایه حسین کوه، [5]به علت اقلیم و عوامل زمین‌شناسی آسیب‌های فراوان چون فرسایش و ترک‌های عمیق دارد که برای این محوطه تاریخی تهدید جدی است. در بین آسیب‌های متعدد و ترک‌ها و ریزترک‌ها، در این مطالعه چهار ترک بر روی چهار مقبره هخامنشی که از بالای صخره آغاز شده و امتداد آن‌ها به این آثار صخره‌ای ختم شده است بررسی شدند (شکل ۱).

ارتفاعات منطقه مرود شت در قسمت مرکزی رشته جبال زاگرس و جزئی از آن است. کوه‌هایی که منطقه موردمطالعه را احاطه کرده‌اند؛ قسمت کوچکی از چین خوردگی زاگرس می باشند که از چندین ناودیس و طاقدیس تکتونیکی تشکیل یافته‌اند. آهک‌های کرتا سه از مهم‌ترین تشکیلات زمین‌شناسی منطقه بوده و حداکثر طاقدیس‌ها موازی با محور ا صلی سلسله جبال زاگرس است. تشکیلات زمین شناسی منطقه از کامبرین (دوران اول) شروع و به پلیوسن (دوران دوم) از رسوبات رودخانه‌های دائمی یا سیلابی و خرد شدن سنگ‌ها تشکیل‌شده است. کوه‌های اطراف دشت کر رود که دشت مرودشت در آن قرار دارد عموماً از تشکیلات آهکی (آهک‌های مارنی ودولومی) تشکیل یافته است [6].

آهک‌ها در محور طاقدیس‌ها خردشده و درزهایی پیدا کرده‌اند و در بیشتر نقاط شکستگی‌ها و گسل‌هایی به‌ویژه در حاشیه ارتفاعات در سطح تماس با دشت‌های آبرفتی مشاهده می‌شود. گسل‌های اصلی به‌موازات محور چین‌خوردگی‌ها واقع شده‌اند. ازنظر مورفولوژی منطقه مرودشت جزئی از حوضه آبریز طشتک نی‌ریز

شکل ۱: تصویر پارانوما از آثار صخره‌ای محوطه تاریخی نقش رستم و ترک‌های موردمطالعه

Fig.1: Panorama of Naqsh-e Rostam Rock relief

www.SID.ir

Archive of SID

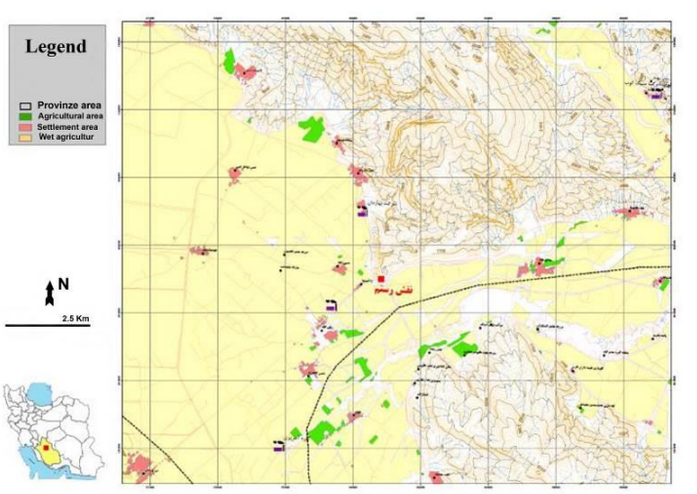
است و این حوضه آبریز از یک ناودیس بزرگ تشکیل شده که دشت‌های کربال، آهوچر و مرودشت را در خود جای‌داده است. نوع تشکیلات زمین شناسی در این طاقدیس اکثراً از طبقات سخت سنگ‌های آهکی دوران دوم است که فقط مشخصات مورفولوژیکی خاص آهک‌ها تحت تأثیر حرکات شدید کوهزایی و روراندگی بزرگ ستیغ‌های بلند و بریدگی‌های عمومی و شیب‌های تند قرار دارند[6,7].

به‌طورکلی نحوه قرارگیری رشته‌کوه‌های زاگرس و فاصله این کوه‌ها از هم باعث شکل‌گیری دشت بسیار حاصلخیز گردیده، که نقش بسیار مهمی در زندگی مردم این منطقه از گذشته تاکنون داشته است، و به دلیل قرارگیری در موقعیت خاص تاریخی و جغرافیایی همواره موردتوجه مراکز علمی و تحقیقاتی ایران و جهان بوده است. مرودشت یکی از باستانی‌ترین مناطق ایران است [6] و درواقع این‌گونه از آثار تاریخی در محوطه‌های کوهستانی، همواره در معرض تخریب و فرسایش عوامل طبیعی و زمین شناسی (شکل ۲) قرار دارند که برخی از این عوامل اجتناب‌ناپذیر است[8]. در سال‌های اخیر، آسیب‌های متعدد منطقه باستانی نقش رستم را تهدید و باعث نگرانی کارشناسان میراث فرهنگی شده است که ازجمله آن می‌توان به ایجاد ترک‌های متعدد در روی آثار صخره‌ای در این مجموعه اشاره کرد. هرچند که این ترک‌ها از گذشته وجود داشته ولی هم‌اینک یکی از مهم‌ترین آسیب‌هایی است که این آثار را تهدید می‌نماید و مبنای تشکیل آن‌ها و اینکه گسترش این ترک‌ها تابع چه پدیده‌ای است، منجر به شکل‌گیری این تحقیق گردید.

۲. پیشینه تحقیق

حجاری روی سنگ نوعی از برجسته سازی است که با ساخت بعد بر روی دیواره‌های عظیم صخره‌ها سعی در انتقال مفاهیم خاصی داشته که اغلب مربوط به دوران تاریخی مشخصی است هنر صخره‌ای، نمونه‌ای مشخص از یک هنر جهانی است، که بیشترین سابقه را بین هنرهای شناخته شده دیگر دنیا داراست. این هنر ازجمله مهم‌ترین شاخه‌های هنرهای تجسمی است زیرا نه‌تنها نخستین جلوه‌های شناخته شده از حساسیت هنری و زیباشناختی اجداد دور انسان را در بسیاری از نقاط جهان به نمایش می‌گذارد، بلکه یکی از رایج‌ترین شیوه‌های بیان پیام‌ها و فرهنگ انسان است [9].

مطالعه بر روی هنر صخره‌ای نیازمند کمک مجموعه‌ای از علوم نوین و خاص است. علومی نظیر باستان‌شناسی، تاریخ، نمادشناسی، اسطوره‌شناسی، علم شیمی، باستان‌سنجی و سایر علوم وابسته. یک علم به‌تنهایی قادر به مطالعه بر روی آن‌ها نیست؛ چون یک اثر صخره‌ای مجموعه‌ای از علوم ذکرشده را در خود جای‌داده است. برای درک و شناخت آن‌ها الزاماً می بایست از همه علوم مذکور و صاحب‌نظران آن



شکل ۲: نقشه موقعیت عمومی و توپوگرافی محوطه تاریخی نقش رستم
Fig. 2: Topography of Naqsh-e Rostam

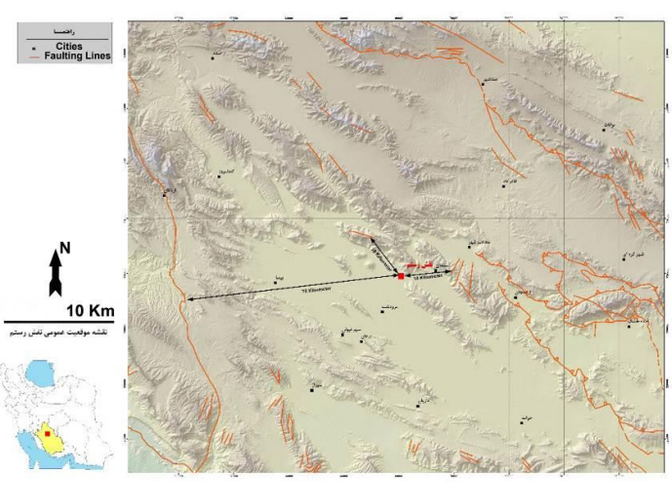
www.SID.ir

Archive of SID

رشته ها به‌طور سیستمی کمک گرفت [9,10]. برجسته‌ترین نقوش بعد دار در ایران که برجسته سازی و یا حجاری شده‌اند مربوط به دوران هخامنشی و ساسانی است که تداعی‌گر تاریخ با شکوه ایران‌زمین است. نقش رستم و تخت جمشید در فارس و بیستون در کرمانشاه از مهم‌ترین آثار حجاری و نقش برجسته بر روی دیواره صخره‌ها می‌باشند [9]، که به علت قرار داشتن در فضای باز دچار آسیب‌های متعددی هستند و معمولاً روش‌های حفاظت و مرمت این‌گونه آثار هنری با آثار موزه‌ای کاملاً متفاوت است.

کارشناسان و پژوهشگران در حوزه میراث فرهنگی تاکنون فرضیات گوناگونی برای دلایل ترک‌های آثار صخره‌ای نقش رستم مطرح کرده‌اند. بر اساس فرضیه‌ای از محققان و پژوهشگران سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی عوامل زمین‌ساختی، بروز زلزله عامل اصلی تخریب این آثار تاریخی طی گذشت زمان طولانی است [5,7]. از طرف دیگر گروهی از کارشناسان این فرضیه را مطرح کرده‌اند که با توجه به اینکه در فاصله ۱۷کیلومتری از نقش رستم به سمت شهرستان مرودشت انفجارهای متعددی برای تخریب و برداشت سنگ از کوه رخ‌داده؛ و ازآنجاکه انفجارهای حاصل از TNT تا شعاع ۲۰ کیلومتری محل انفجار را تحت تأثیر قرار می‌دهد، این لرزه‌ها منجر به آسیب‌هایی شده است [4]. گروهی از محققان نیز معتقدند که این ترک‌ها می‌تواند در اثر بارش باران و سیلاب اتفاق افتاده باشد.

همان‌طور که ذکر گردید تاکنون فرضیات متفاوتی مبنی بر ایجاد این ترک‌ها از سوی کارشناسان مختلف ارائه گردید که هیچ‌کدام از این فرضیات تاکنون ثابت نشده‌اند. این تصور که بروز زمین‌لرزه منجر به ایجاد ترک‌ها و شکاف‌ها بر روی آثار صخره‌ای می‌گردد همیشه وجود داشته و فرضیات زیادی در این زمینه نیز وجود دارد. به‌عنوان‌مثال در تحقیقی که توسط سازمان زمین‌شناسی و معادن کل کشور در منطقه مرودشت انجام گردیده است با توجه به این‌که وضعیت ساختاری و زمین‌شناسی کوه رحمت وضعیت زمین‌شناسی مهندسی بستر را در این منطقه تعیین می‌کند و بر اساس آمار زلزله‌های دستگاهی، یک زلزله با بزرگی نزدیک به پنج ریشتر بر روی گسل رحمت و در نزدیکی تخت جمشید رخ‌داده است و بر اساس داده‌های تاریخی، زمین‌لرزه ۱۹۲۳ میلادی در منطقه مرودشت شیراز گزارش‌شده است [5]. درواقع داده‌های لرزه‌ای دستگاهی ۱۰۰ ساله اخیر، یک داده لرزه‌ای با بزرگی ۴/۶ ریشتر بوده و در کل داده‌های تاریخی گویای دو زمین‌لرزه در منطقه مرو شت است [7]. همان‌طور که در نقشه گسل‌های منطقه مرودشت مشخص شده است، فاصله نزدیک‌ترین گسل فرعی تا محوطه نقش رستم ۱۸ کیلومتر و فاصله نزدیک‌ترین گسل اصلی از منطقه ۷۸ کیلومتر است (شکل ۳).



شکل ۳: نقشه گسل‌های منطقه مرودشت

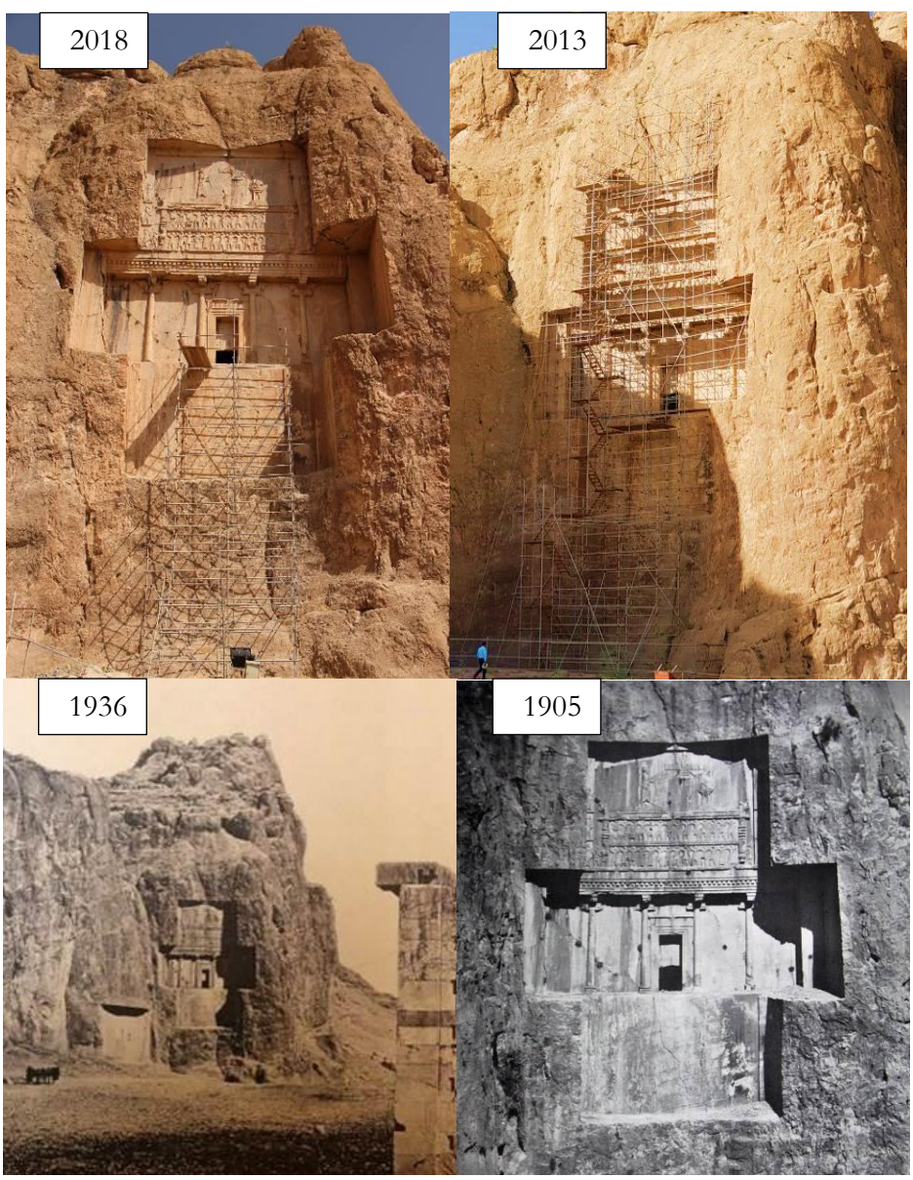
Fig. 3: Map of Faults for Marvdasht

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین با بررسی عکس های موجود متعلق به منطقه نقش‌رستم در سال ۱۹۰۵م. از ارنست هرتسفلد که در کتاب «سنگ‌نگاره‌های ایرانی» چاپ شده است و همچنین تطبیق و مقایسه عکس‌های موجود در کتاب اشمیت مربوط به سال ۱۹۳۶م. [2] مشخص می‌شود این ترک‌ها درصد سال گذشته با زمین‌لرزه‌های اخیر به وجود نیامده است در عکس‌ها دو ترک موجود بر بالای مقبره خشایارشاه در چهار زمان مختلف در کنار هم آمده و مشخص گردید که در طول این صد سال ترک اصلی پیشرفتی نداشته است (شکل ۴) و به همین ترتیب در یک مقایسه تطبیقی سه ترک اصلی بر بالای مقابر داریوش اول و داریوش دوم و اردشیر دو دوره مختلف در نرم‌افزار Illustrator، همین نتیجه مشخص گردید. بنابراین با توجه به خصوصیات منطقه و بررسی عکس های هوایی فرضیه تأثیر آب های روان در این تحقیق موردبررسی و مطالعه قرار می‌گیرد.

جهت شناخت همه‌جانبه از رفتار بسترهای طبیعی همچون منطقه نقش رستم، نیاز به استفاده از



شکل ۴: ترک عمودی بر بالای مقبره خشایارشاه در صدسال اخیر
Fig. 4: Track on rock surface of Xerxes Tomb in different ages

www.SID.ir

Archive of SID

سیستم‌هایی است که توان تجزیه‌وتحلیل‌های گسترده و امکان برقراری ارتباط بین مؤلفه های مختلف را باهم داشته باشند. در زمینه میراث فرهنگی، وجود بستری که بتواند قابلیت ایجاد ارتباط بین شاخصه های مختلف (اقلیم‌شناسی، توپوگرافی، آب‌های سطحی و زیرزمینی، مسائل زیست‌محیطی) با اطلاعات تاریخی، فرهنگی و ساختارهای معماری به‌صورت مکانی برقرار نماید، کمک ویژه‌ای در جهت اخذ مناسب‌ترین تصمیمات مدیریتی خواهد داشت. سیستم های اطلاعات جغرافیایی[2] (Geographic Information System) و سنجش‌ازدور[3] (Remote Sensing) با فراهم آوردن امکانات جدید و تخصصی پایش محوطه‌های تاریخی، نگاهی نو و ارزشمند در مدیریت جامع سایت‌ها و محوطه‌ها تاریخی ایجاد کرده‌اند [11]. از این جمله امکانات می‌توان به مواردی چون وجود بانک‌های اطلاعاتی هوشمند، ایجاد بسترهای اطلاعات مکانی مشترک از داده های مختلف، پردازش اطلاعات به صورت یکپارچه و هماهنگ، امکان محاسبه و تحلیل فضایی در کنار بازه های زمانی مختلف از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، طیفی و رادیومتریک، تصاویر مشترک در طول‌موج‌های مختلف امواج الکترومغناطیس از محدوده مرئی تا امواج رادار، اشاره نمود.

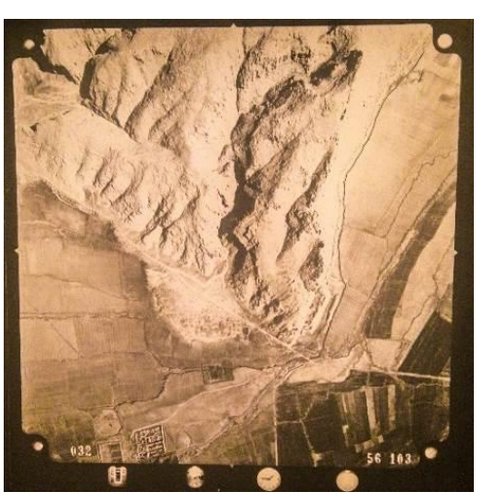
این مطالعات به‌گونه‌ای است که می‌توان در کمترین زمان ممکن به اطلاعات موردنظر و در چندین فرمت متفاوت مانند نقشه‌های رقومی مکانی، تصاویر ماهواره‌ای، عکس های هوایی چند زمانه، اطلاعات جدولی، عکس و پَروَنجاهای متنی، دست‌یافت [12,13].

سنجش‌ازدور می‌تواند تغییرات دوره‌ای پدیده های سطح زمین را نشان دهد و در مواردی چون بررسی تغییر مسیر رودخانه ها، تغییر حدومرز پیکره های آبی چون دریاچه‌ها، دریاها و اقیانوس‌ها، تغییر مورفولوژی سطح زمین و غیره بسیار کارساز است [14]. افزون بر این یک سیستم سنجش‌ازدور با توجه به اینکه بر اساس ثبت تغییرات و اختلاف های بازتابش الکترومغناطیسی از پدیده‌های مختلف کار می‌کند، می‌تواند حدومرز پدیده‌های زمینی اعم از مرز انواع سنگ‌ها، مسیرهای عبور آب را مشخص کند. ازجمله نقشه‌های زمین‌شناسی گوناگون که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌توان تهیه نقشه آبراهه‌ها را می‌توان نام برد که در این تحقیق از آن استفاده گردید.

۳. مواد و روش‌ها

در این پژوهش، محوطه تاریخی نقش رستم با توجه به عوامل زمین شناسی و داده‌های سنجش‌ازدور در سیستم اطلاعات جغرافیایی بررسی گردید. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل فضایی، اطلاعات به‌دست‌آمده از متغیرهای محیطی و عوامل تأثیرگذار بر شکل‌گیری ترک‌های اصلی بر روی سطح صخره مطالعه شدند و درنهایت از قابلیت اصلی GIS که تحلیل و پردازش داده‌های مکانی است، استفاده گردید.

در مرحله نخست کار شناس GIS، عکس‌های هوایی منطقه مربوط به سال ۱۳۷۲ شمسی از آرشیو عکس‌های هوایی سازمان زمین‌شناسی را توسط برجسته‌بین یا استریوسکوپ (stereoscope) موردبررسی دقیق قرار داده و تصویر سه‌بعدی (مجازی) را از این طریق مشاهده نمود. در مرحله بعد منطقه نقش رستم و محوطه اطراف و صخره پشت نقوش توسط کارشناس سنجش‌ازدور و GIS بازدید میدانی به عمل آمد که در این بازدید آبراهه هایی که نشان‌دهنده عبور جریان آبی که البته در هنگام بازدید خشک و بی‌آب بودند شناسایی شدند و انتها تمامی این آبراهه‌ها به صخره نقش رستم ختم می‌شد (شکل ۵) [7].



شکل ۵: مشاهده مسیر آبراهه‌های منتهی به نقش رستم عکس هوایی منطقه مربوط به سال ۱۳۷۲ شمسی
Fig. 5: Base runoff and alluvial soil image

www.SID.ir

Archive of SID

داده‌های جمع‌آوری‌شده در این بررسی شامل اطلاعات محیطی و طیفی است. اطلاعات محیطی شامل کلیه لایه‌هایی است که در یک بستر جغرافیایی موجود هستند و شامل لایه‌های توپوگرافی، راه‌ها، رودخانه‌ها، منابع آب، مناطق مسکونی، اقلیم، کاربری اراضی و همچنین مدل رقومی[5] ارتفاع در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و زمین شناسی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای داده‌های طیفی این پژوهش است که در این تحقیق از تصاویر سنجنده و تصاویر کویک برد و آیکونوس در سال ۲۰۱۳ با قدرت تفکیک مکانی باند پانکروماتیک[1] ۶۰cm و چند طیفی ۲/۵ m استفاده شده است و با توجه به هدف طرح و وسعت منطقه و در دسترس بودن داده از تصاویر ماهواره‌ای آیکونوس با قدرت تفکیک مکانی پانکروماتیک ۸۰cm و چند طیفی ۳/۲ m که فیوژن[4] شده و همچنین مدل رقومی ارتفاع استخراج شده از سازمان نقشه‌برداری استفاده شده است. نرم‌افزار موردا ستفاده در این پژوهش ARC GIS 10.3 برای ورود داده و مدیریت اطلاعات و تحلیل فضایی است.

برای انجام این مطالعات ابتدا اطلاعات زمینی شامل زمین‌شناسی و هیدرولوژی برای استخراج شبکه هیدرو گرافی الحاقی Archydro نرم‌افزار GIS استفاده شده است که از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شد و اطلاعات لازم استخراج گردید و همچنین جهت استخراج داده‌های زمین‌شناسی و لیتولوژی منطقه موردمطالعه مانند نوع سنگ‌ها و سن آن‌ها، گسترش جغرافیایی سنگ‌ها، نسبت مقاومت سنگ‌ها در ارتباط با عوامل فرسایش، ویژگی‌های ساختمان مانند محور های اصلی چین‌خوردگی، طاقدیس‌ها و ناودیس‌ها محورهای اصلی گسل‌ها اصلی و فرعی بودن آن‌ها از نقشه‌های با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ که توسط سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شده‌اند استفاده گردید.

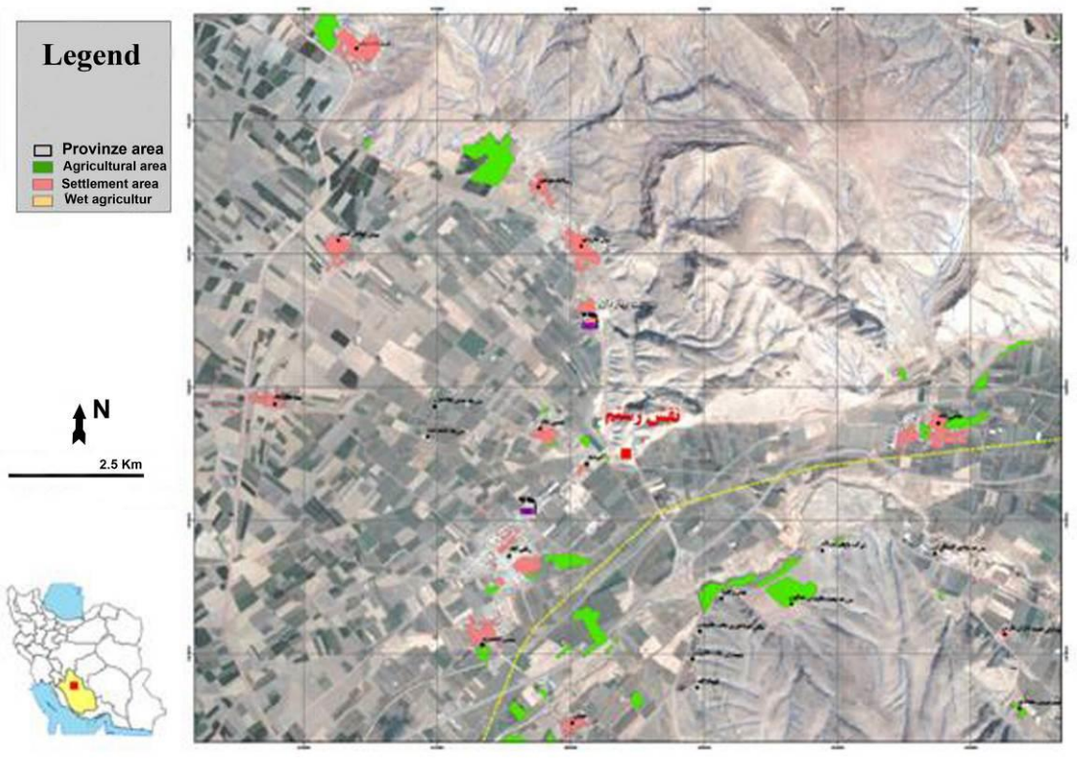
۴. نتایج و یافته‌ها

تجزیه‌وتحلیل فضایی در محوطه های باستانی در زمینه‌های گوناگونی مانند باستان‌شناسی چشم‌انداز، آنالیز آماری و باستان‌شناسی شناختی اهمیت زیادی دارد. درواقع باستان‌شناسی فضایی، روابط مکانی داده‌های باستانی، الگوهای ایجاد شده در اثر فعالیت‌های انسانی و عوامل محیطی و پیامد های آن در فضای درونی محوطه‌های باستانی و محیط اطراف آن‌ها را مطالعه می کند. این‌گونه اطلاعات نه‌تنها از بررسی روابط مکانی به دست می‌آید، بلکه از راه ردیابی و جابه‌جایی‌های صورت گرفته نیز قابل‌دستیابی است[15]. تجزیه تحلیل محیط پیرامون منطقه نقش رستم، مطالعه آب‌های سطحی منطقه و تهیه نقشه آبراهه‌ها، بررسی تغییر مسیر رودخانه‌ها براثر عوامل طبیعی یا مصنوعی محوطه نقشه آب‌های سطحی محوطه پیرامون نقش رستم در شعاع ۷کیلومتر در نرم‌افزار Arc GIS تهیه و بررسی گردید (شکل۶) که بدون شک استفاده از این فن نه‌تنها سرعت انجام مطالعات را بیشتر می‌کند، بلکه ازنظر دقت و هزینه و نیروی انسانی نیز بسیار باصرفه‌تر است.

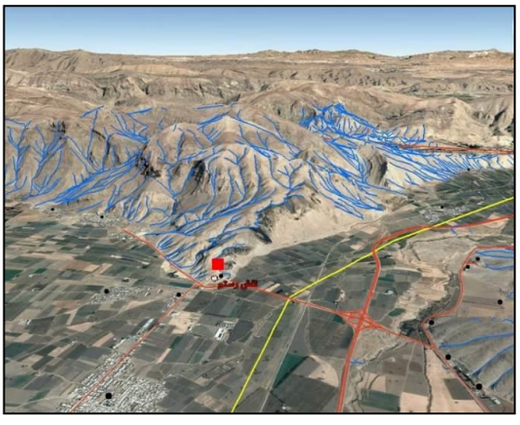
پس از تهیه تصویر سه‌بعدی ماهواره‌ای (شکل ۷) به‌وضوح مشخص گردید که صخره‌ای که این آثار تاریخی بر روی آن ها قرار دارد در امتداد کوه پایه واقع شده و محل روان آب‌های جاری از کوهستان دقیقاً پشت این دیواره سنگی است. این موضوع بعد از بازدیدهای میدانی، نیز مشاهده گردید درواقع امتداد این مسیرهای عبور آب دقیقاً در بالای دیواره صخره که این آثار را دربر دارد پایان‌یافته و موجب تجمع و سرریز آب بر روی این آثار باستانی است. همان‌طور که در آنالیز تصاویر مشخص گردید در کوهپایه با پدیده رود فصلی یا مسیل مواجه هستیم که به روان آب‌ها یا جریان‌های سطحی آب گفته می‌شود که تنها در مواقع بارندگی و جاری شدن سیلاب، آب در آن‌ها جریان می‌یابد [16] (شکل ۵). مسیر عبور آب در فصل خشک و بی‌آب را نشان می‌دهد که درواقع در فصل های پر بارش جریان‌های آب به‌طور ادامه‌دار، از منشأ خود تکه‌های جامدی از سنگ و صخره و گل‌ولای را برداشته و در تمام طول مسیر خود رها می‌کند. جایی که جریان آب تندتر باشد، تکه‌های جامد بیشتری برداشته می شوند تا اینکه رها شوند، و همچنین جایی که جریان آب کندتر باشد، تکه‌های جامد بیشتری رها می‌شوند تا اینکه برداشته شوند. اگر در هنگام بارش، شدت بارندگی از

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۶: نقشه مسیر عبور رودخانه از محوطه پیرامون نقش رستم
Fig. 6: Map of Naqsh-e Rostam and crossing the river



شکل ۷: تصویر ماهواره‌ای سه‌بعدی آیکونوس از محوطه تاریخی نقش رستم
Fig. 7: Ikonos 3D satellite images of Naqsh-e Rostam

ظرفیت نفوذ آب به داخل زمین بیشتر باشد، بخشی از آب ناشی از بارندگی در سطح زمین باقی می‌ماند [16,17].

از سوی دیگر برای تعیین ویژگی‌های سنگ، با انجام آزمایش کانی شنا سی و تعیین ویژگی‌های ظاهری سنگ شاخص‌های زیر به دست آمد. (جدول ۱)

تعیین ویژگی‌های ظاهری سنگ (رنگ، سختی، اثر اسیدکلریدریک):

سختی: ساده‌ترین روش سنجش سختی کانی‌های گوناگون؛ تعیین سطح خراش‌پذیری آن‌ها با استفاده از کانی‌های سخت‌تر است. درجه‌بندی ده‌گانه‌ای که توسط Mohs در مورد تشخیص سختی کانی‌ها به‌عمل‌آمده، مشخص‌کننده میزان سختی سنگ است که نمونه موردنظر با فولاد به‌راحتی خرا شیده شد که سختی بین ۲/۷۱ تا ۳ را دارد.

اثر اسیدکلریدریک رقیق: کربنات‌ها که عمدتاً به صورت کربنات کلسیم هستند یکی از گروه‌های مهم در تشکیل سنگ‌های رسوبی آهک هستند. کربنات کلسیم آماده ترکیب با اسیدها بوده و در حرارت کم به CaO و CO_2 تجزیه می‌شود. برای شناسایی عامل کربنات در سنگ مقداری از نمونه را برداشته روی آن

www.SID.ir

Archive of SID

جدول شماره ۱: ویژگی‌های نمونه سنگ از منطقه نقش رستم
Table 1. Appearance of Naqsh-e Rostam

نمونه Sample	رنگ سطح تازه سنگ Fresh surface color	رنگ سطح هوازده Weathered color	سختی Hardness	اثر اسیدکلریدریک رقیق Effect of du HCl
نقش رستم Naghshe-e Rostam	خاکستری شفاف Bright gray	کرم با رگه قهوه‌ای Creamy with brown layers	۳ 3	مثبت Positive

اسیدکلریدریک رقیق اضافه می‌کنیم. در هنگام اضافه کردن ا سید باید دقت کرد که آیا پدیده جوش زدن اتفاق می‌افتد که در غیر این صورت نمک حاوی آنیون کربنات ا ست زیرا طی ا ضافه شدن ا سید به نمک کربناته Co2 آزاد می‌شود که به‌صورت جوشش نمود می‌یابد.

همچنین بعد از برداشت نمونه با رطوبت محیطی که در آن واقع بوده‌اند به آزمایشگاه منتقل شد. برای این منظور از پارچه‌های کتانی که در پارافین ذوب خیسانده شده با شند جهت پو شاندن نمونه ا ستفاده شد تا ر سیدن نمونه به آز مایشگاه رطوبت واقعی محیط آن ها حفظ شود. پس از انتقال هر چه سریع‌تر به انجام آزمایش‌های مربوطه اقدام گردید. علاوه بر این بر روی نمونه مشخصات آن قید گردید

همچنین ویژگی های عمومی فیزیکی نظیر چگالی، تخلخل و رطوبت (در صد جذب آب) به صورت جدول ۲ تشریح می‌گردد. ازآنجایی‌که سنگ‌ها را بر اساس درصد تخلخل ظاهری به ۵ گروه از یک تا بیست تقسیم می کنند میزان تخلخل ۳/۳۰۶، نشان‌دهنده سنگ‌آهک با تخلخل متوسط است. درواقع به دلیل درجه خلوص و تخل خل ثانو یه سنگ آ هک، در اثر تأثیر نیرو های تکنونیکی ناشی از حرکت کوهزائی، این سنگ‌ها دچار شکستگی شده که محل مناسبی برای نفوذ آب است. از طرف دیگر سنگ‌های آهکی ازنظر پتانسیل ذخایر آبی دارای ویژگی مخصوص به خود است، آب باران با حل کردن گازکربنیک موجود در هوا خاصیت اسیدی پیداکرده و درنتیجه نفوذ در داخل درز و شکاف‌ها می تواند آن را در خود حل کرده و به‌مرور موجب وسیع‌تر شدن این مجاری و فضاها شود و با فراخ شدن این مجاری در طول سال‌ها، حفرات کارستی بسیار بزرگی در دل کوه‌ها به وجود می‌آید که چنانچه راه فرار نداشته باشند مخزن خوبی برای نگ‌هداری آب های نفوذی خواهند بود [16,18].

نتیجه آنکه با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه نقش رستم و محل قرارگیری این آثار وقتی باران بر پستی‌ها و بلندی‌های اطراف محوطه می‌بارد، آب در جهت شیب زمین حرکت کرده و به صورت شبکه‌ای از مسیرهای آبی که به آن رواناب‌های سطحی گفته می شود، و در یک مسیر مشخص به سمت این آثار تاریخی حرکت کرده و درنهایت در منطقه‌ای و در یک نقطه متمرکز می شوند. آب پس از پر کردن گودی‌های انتهای مسیر در مسیر شیب صخره و ریزترک‌ها جریان می‌یابد و به علت جنس سنگ سبب فراخی درزها و ترک‌ها می گردد.

جدول شماره ۲: آزمایش‌های فیزیکی نمونه سنگ از منطقه نقش رستم
Table 2. Mineralogical experiments of Naqsh-e Rostam

وزن سنگ اشباع (گرم) Weight of saturated stone	1580.7
وزن سنگ خشک Weight of dry stone	1560.9
وزن سنگ غوطه‌ور Weight of immersion	980.5
حجم کل سنگ Volume	600.2
حجم فضای خالی Volume of pores	19.84
حجم حقیقی سنگ True volume	580.4
دانسیته اشباع (g/Cm^2) Densityy	2.634
دانسیته خشک (g/Cm^2) Dry density	2.6
دانسیته حقیقی (g/Cm^2) True density	2.69
جذب آب ٪ Water absorption	1.271
تخلخل ٪ Porosity	3.306

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

جهت شناسایی دلایل به وجود آمدن ترک‌های موجود بر روی مقابر تاریخی نقش رستم، داده‌های سنجش‌ازدور منطقه موردمطالعه و از سامانه اطلاعات جغرافیایی جهت تحلیل و تفسیر استفاده گردید. در این راستا از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی برای بررسی دیداری از منطقه موردمطالعه و محیط پیرامون، از مدل رقومی ارتفاع برای نمایش ناهمواری‌های زمین و تفسیر ساختارهای سه‌بعدی از سطح زمین، و GIS به‌عنوان یک سامانه اطلاعاتی مکان‌مبنا و ابزاری برای پردازش، تحلیل و مدیریت اطلاعات استفاده گردید. با توجه به نتایج تحلیل‌ها و بررسی تصاویر هوایی و ماهواره‌ای مشخص گردید که صخره‌ای که این آثار تاریخی بر روی آن حجاری شده، در فصول بارش و پر آب محل جریان روان آب‌ها بوده و براثر تجمع آب، ترک‌های موجود فراخ‌تر شده اند. درمجموع در فرایند تبدیل بارش به رواناب سطحی، دو دسته عوامل، شامل پارامترهای اقلیمی و دیگری عوامل فیزیوگرافیکی حوضه نقش دارند. عوامل اقلیمی شامل نوع، شدت و تداوم بارش و نیز توزیع مکان بارندگی، هم‌چنین جهت حرکت توده باران‌زا و دیگر عوامل اقلیمی نظیر تبخیر و تعرق است. پارامترهای فیزیوگرافیکی شامل نوع کاربری اراضی، جنس خاک، مساحت حوضه آبریز، شکل حوضه، ارتفاع، شیب، جهت و نوع شبکه زهکشی است. همه این عوامل هم در میزان حجم رواناب سطحی و هم در مقدار دبی اوج آن به نحوی مؤثرند. درواقع، هرچه تداوم بارندگی بیشتر باشد، ظرفیت نفوذ آب در زمین کاهش یافته و لذا آب‌ها به این آثار منتهی می‌گردد و با توجه به جنس سنگ جریان و نفوذ آب‌های روان در طی سالیان پس از خلق این آثار منجر به فراخی این ترک‌ها بر روی سطح سنگ شده است.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود واجب می‌دانند که از تمامی افرادی که در جهت به انجام رسیدن این تحقیق ما را یاری نمودند کمال تشکر را داشته باشند. بدین‌وسیله در ابتدا از سرکار خانم مهندس ژنوس گشاسی کارشناس ارشد سنجش‌ازدور «EOS operation lead at Google (Google earth) via Adecco)» که با حضور در ایران و محوطه نقش رستم در مطالعات میدانی در این تحقیق ما را یاری نمودند کمال تشکر را دارم. همچنین با سپاس فراوان از سرکار خانم مهندس سپیده رضازاده کارشناس ارشد GIS (Système d'Information Geographique) از دانشگاه Université de Québec à Montréal (UQAM) که در تحلیل داده‌ها از راهنمایی‌های ارزشمند ایشان، در این تحقیق استفاده شد.

همچنین از شرکت مهندسین مشاور یکم جهت در اختیار قرار دادن تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های موردنیاز جهت انجام این تحقیق قدرانی می‌نمایم. و از جناب آقای مهندس رخشنده خو، مدیر سایت نقش رستم و سازمان زمین‌شناسی جهت همکاری و در اختیار قرار دادن اطلاعات و عکس‌های هوایی منطقه تشکر می کنیم. درنهایت نویسندگان بر خود واجب می‌دانند از دو داور محترم این مقاله که به‌واسطه نقطه نظرات سازنده، ارزشمند و ریزبینی عالی جهت بهتر شدن این مقاله ما را یاری نمودند، نهایت سپاسگزاری را داشته باشند.

پی‌نوشت‌ها

۱. تصاویر پانکروماتیک (Panchromatic): این تصاویر یک باند با پهنای بالا دارند که معمولاً طول‌موج های مرئی و مادون‌قرمز نزدیک را شامل می شود. این داده‌ها شبیه عکس سیاه‌وسفید می‌باشند. قدرت تفکیک مکانی این تصاویر از متوسط تا بسیار زیاد است.

۲. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information System): سامانه رایانه‌ای برای مدیریت و واکاوی اطلاعات جغرافیایی بوده که توانایی گردآوری، ذخیره، واکاوی و نمایش اطلاعات جغرافیایی را دارد.

۳. سنجش‌ازدور (Remote Sensing): دانش و فن جمع‌آوری اطلاعات از اشیای روی سطح زمین، بدون حضور فیزیکی در محل است.

۴. فیوژن (Image Fusion) با استفاده از این تکنیک می‌توان تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی و طیفی مختلف را در هم ادغام کرد و تصویر جدیدی ایجاد نمود که هم‌زمان دارای خصوصیات هر دو تصویر می شود لذا تصویر جدید قابلیت بیشتری نسبت به تک تصاویر اصلی خواهد داشت.

۵. مدل رقومی ارتفاع (Digital elevation model) یا DEM

www.SID.ir

Archive of SID

مدلی دیجیتال یا نمایشی سه‌بعدی از سطح زمین، ماه یا دیگر سیاره‌ها است که معمولاً برای نمایش ناهمواری‌های زمین و با استفاده از داده‌های ارتفاع از سطح دریا تهیه می‌شود.

References

[1] Sami A. Report on Archeology. Tehran: 1972.

[2] Schmidt EF. Persepolis I. Structures, reliefs, inscriptions 1957.

[3] Shahbazi A. The Authoritative Guide to Naqsh-e Rostam. Tehran: Achaemenid Research Foundation; 1978. [in Persian]
[شاپور شهبازی علیرضا. شرح مصور نقش رستم. تهران: بنیاد تحقیقات هخامنشی؛ ۱۳۵۷.]

[4] The World Heritage of Persepolis. Persepolis: Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism Organization of Iran; 2004. [in Persian]
[پایگاه میراث جهانی تخت جمشید، تخت جمشید: سازمان میراث فرهنگی، صنایع‌دستی و گردشگری؛ ۱۳۸۶.]

[5] Geological Survey & Mineral Explorations of Iran (GSI). Tehran: 2011. [in Persian]
[سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. تهران: ۱۳۹۳.]

[6] Mostafavi M. Pars Climate, Historical Works and Fars Ancient Places. Tehran: University of Tehran Press; 1993. [in Persian]
[مصطفوی محمدتقی. اقلیم پارس و آثار تاریخی و اماکن باستانی فارس. تهران: انجمن آثار و مفاخر فرهنگی و نشر اشاره؛ ۱۳۷۵.]

[7] National Geoscience Database of Iran 2008. [in Persian]
[پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور ۱۳۹۰، بازیابی از http://www.ngdir.ir/]

[8] Shirvani M. Pathology and Conservation of Historical Stone. Shiraz: Perspolice; 2005. [in Persian] .
آسیب‌شناسی و حفاظت از سنگ‌های تاریخی. شیراز: تخت جمشید؛ ۱۳۸۷.]

[9] Moradi Ghiasabadi R, Farahani N. Persian Rock Relief. Tehran: Iranian research publications; 2010. [in Persian]
[مرادی غیاث‌آبادی رضا، فراهانی نرگس. سنگ‌نگاره‌های صخره‌ای ایران. تهران: انتشارات پژوهش‌های ایرانی؛ ۱۳۹۲.]

[10] Qarib A. Knowing the rocks with a special look at the rocks of Iran. Tehran: Municipality Cultural and Cultural Organization; 1990. [in Persian]
[قریب عبدالکریم. شناخت سنگ‌ها با نگاهی ویژه به سنگ‌های ایران. تهران: انتشارات و آموزش انقلاب اسلامی؛ ۱۳۷۲.]

[11] Geographic Organization of the Armed Forces, Tehran, Geographic Organization of the Armed Forces Publications, 2002. [in Persian]
[سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، اطلس راهنمای استان‌های ایران. انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تهران: ۱۳۸۴.]

[12] Spreafico MC, Franci F, Bitelli G, Girelli VA, Landuzzi A, Lucente CC, et al. Remote sensing techniques in a multidisciplinary approach for the preservation of cultural heritage sites from natural hazard: The case of Valmarecchia Rock Slabs (RN, Italy). Eng. Geol. Soc. Territ. 8, Springer; 2015, p. 317–21.

[13] Youssef AM, Pradhan B, Al-Kathery M, Bathrellos GD, Skilodimou HD. Assessment of rockfall hazard at Al-Noor Mountain, Makkah city (Saudi Arabia) using spatio-temporal remote sensing data and field investigation. J African Earth Sci 2015;101:309–21.

[14] Oikonomidis D, Dimogianni S, Kazakis N, Voudouris K. A GIS/remote sensing-based methodology for groundwater potentiality assessment in Tirnavos area, Greece. J Hydrol 2015;525:197–208.

[15] Pickard R, Thyse M. Towards a common goal. Pick R(Ed), Manag Hist Centres, Spon Press Taylor Fr London, UK 2001:274–90.

[16] Refahi H. Water Erosion and Conservation. 2298th ed. Tehran: University of Tehran press; 2012. [in Persian]
[رفاهی حسینقلی. فرسایش آبی و کنترل آن. تهران:

www.SID.ir

Archive of SID

[17] Sedaghat M. Land and water resources. Tehran: University of Payamenoor publications; 2010. [in Persian]

[صداقت محمود. زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی). تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور؛ ۱۳۹۲.]

[18] Movahed Danesh A. Iranian Surface Water Hydrology. Tehran: SAMT Publications; 2011. [in Persian]

[موحد دانش علی‌اصغر. هیدرولوژی آب‌های سطحی ایران. تهران: انتشارات سمت؛ ۱۳۹۳.]

انتشارات موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه؛ ۱۳۹۴.]

www.SID.ir