



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Spatial modeling for optimal management of archaeological sites using photogrammetry and spatial information systems (Study area: Hegmataneh, Hamadan)

M. Sharifzadeh, A. Gharagozlo*, S. Sadeghian

Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Received: 17 January 2025
 Reviewed: 22 February 2025
 Revised: 13 April 2025
 Accepted: 05 May 2025

KEYWORDS:

Cultural Heritage
 Orthophoto
 Documentation
 Changes

* Corresponding author

✉ a_gharagozlo@sbu.ac.ir

① (+98 912) 130 9098

Background and Objectives: Archaeological artifacts, as the cultural and historical heritage of any society, play a crucial role in preserving its identity and history. Protecting and managing these artifacts requires modern technologies to accurately and non-destructively document and preserve this heritage. The use of photogrammetry and Geographic Information Systems (GIS) in managing and preserving historical sites, including archaeological areas, has increasingly gained attention. The primary aim of this research is to utilize photogrammetric technologies and GIS for the management and preservation of the ancient site of Hegmataneh in Hamadan. This research seeks to improve the accuracy and quality of data through aerial image processing, data correction, georeferencing, and precise map creation. Additionally, the research analyzes changes in the site and provides results to support planning and managerial decision-making in the field of historical site preservation. Furthermore, the goal is to analyze site changes and provide tools for planning and managerial decision-making in the preservation of historical sites.

Methods: The ancient site of Hegmataneh in Hamadan was selected as the research site and sample due to its significant historical and cultural importance from the Median and Achaemenid periods. Data was collected using 12 aerial images with a resolution of 1 to 2 meters, captured with an Ultracam-Xp camera in 2017, along with Google Earth software for measuring and determining reference points. The materials used included image data and image processing software such as Agisoft Metashape Professional and Global Mapper to generate a Digital Elevation Model (DEM) and orthophoto. The research process involved preparing and processing images, correcting data, modeling, and creating maps. These steps progressively improved data accuracy and generated more precise 3D models for analyzing site changes. This research has primarily contributed to the management and preservation of archaeological sites and serves as a valuable decision-making tool for effective site management and preservation.

Findings: This research utilized photogrammetry technologies and Geographic Information Systems (GIS) to create a spatial model of the Hegmataneh archaeological site in Hamadan. By processing aerial and satellite images, accurate 3D models were developed, enabling the analysis of structural and urban changes, as well as the creation of heritage maps for Hamadan and the Mapping Organization. The results demonstrated that combining these technologies helps in more accurate data recording, identifying threats, and supporting management planning. These methods enhance the accuracy of modeling and provide an efficient tool for decision-making in the preservation and management of cultural heritage.

Conclusion: The restoration and proper conservation of historical monuments should be based on documented evidence and in compliance with national and international standards to prevent damage to the authenticity of the structures. Additionally, the design and construction of new buildings should be harmonized with historical structures and carried out under strict supervision. The use of modern technologies, such as aerial images, satellite imagery, artificial intelligence, and augmented reality, can improve the management and protection of heritage sites. The researcher's suggestions include the need for precise documentation and continuous monitoring throughout all stages of restoration, design, and transfer of artifacts. There are limitations and challenges, such as a lack of scientific

documentation, budgetary issues, and managerial obstacles, which must be carefully considered to prevent the destruction and damage of historical sites.



NUMBER OF REFERENCES
38



NUMBER OF FIGURES
16



NUMBER OF TABLES
0

مقاله پژوهشی

مدل سازی مکانی برای مدیریت بهینه آثار باستانی با استفاده از فتوگرامتری و سیستم اطلاعات مکانی (منطقه مورد مطالعه: هگمتانه همدان)

مهرنوش شریف زاده، علیرضا قراگوزلو*، سعید صادقیان

گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: آثار باستانی به عنوان میراث فرهنگی و تاریخی هر جامعه، نقشی اساسی در حفظ هویت و تاریخ آن دارند. حفاظت و مدیریت این آثار نیازمند فناوری های نوین است تا بتوان به طور دقیق و غیرمخرب، این میراث را مستندسازی و حفظ کرد. استفاده از فناوری های فتوگرامتری و سیستم های اطلاعات مکانی در مدیریت و حفاظت از آثار تاریخی، از جمله محوطه های باستانی، به طور فزاینده ای مورد توجه قرار گرفته است. هدف اصلی این پژوهش، استفاده از فناوری های فتوگرامتری و سیستم اطلاعات مکانی برای مدیریت و حفاظت از محوطه باستانی هگمتانه همدان است. این پژوهش به دنبال بهبود دقت و کیفیت داده ها از طریق پردازش تصاویر هوایی، تصحیح و زمین مرجع کردن داده ها، و تهیه نقشه های دقیق است. همچنین، پژوهش به تحلیل تغییرات محوطه و ارائه خروجی هایی برای برنامه ریزی و تصمیم گیری های مدیریتی در زمینه حفاظت از آثار تاریخی می پردازد. هدف اصلی پژوهش، استفاده از فناوری های فتوگرامتری و سیستم اطلاعات مکانی برای مدیریت و حفاظت از محوطه هگمتانه همدان است. پژوهش به دنبال بهبود دقت داده ها، پردازش تصاویر هوایی، تصحیح داده ها و تهیه نقشه های دقیق است. همچنین، هدف تحلیل تغییرات محوطه و ارائه ابزارهایی برای برنامه ریزی و تصمیم گیری های مدیریتی در حفاظت از آثار تاریخی است.

روش ها: در این پژوهش، محوطه باستانی هگمتانه همدان به عنوان جامعه و نمونه انتخاب شد، چرا که این محوطه دارای اهمیت تاریخی و فرهنگی بالا از دوره های مادها و هخامنشیان است. ابزار جمع آوری داده ها شامل ۱۲ تصویر هوایی با دقت ۱ تا ۲ متر با استفاده از دوربین التراکم ایکس پی در سال ۱۳۹۶ و نرم افزار گوگل ارث برای اندازه گیری و تعیین نقاط مرجع است. مواد استفاده شده شامل داده های تصویری و نرم افزارهای پردازش تصاویر مانند اجی ای سافت متاشیپ پرو فینشال و گلوبال میر برای تولید مدل رقومی ارتفاعی و ارتوفتو بودند. روند انجام پژوهش شامل تهیه و پردازش تصاویر، تصحیح داده ها، مدل سازی و ترسیم نقشه ها بوده است. این مراحل به طور افزایشی دقت داده ها را افزایش داده و مدل های سه بعدی دقیق تری برای تحلیل تغییرات محوطه تولید کرده است. این پژوهش به طور عمده به مدیریت و حفاظت از آثار باستانی کمک کرده و به عنوان ابزار تصمیم گیری مدیریتی مورد استفاده قرار می گیرد.

یافته ها: این پژوهش با استفاده از فناوری های فتوگرامتری و سیستم اطلاعات مکانی به مدل سازی مکانی محوطه هگمتانه همدان پرداخت. با پردازش تصاویر هوایی و ماهواره ای، مدل های سه بعدی دقیقی ایجاد شد که امکان تحلیل تغییرات ساختاری و شهری همچنین نقشه های میراث همدان و سازمان نقشه برداری را فراهم کرد. نتایج نشان داد که ترکیب این فناوری ها به ثبت دقیق تر اطلاعات، شناسایی تهدیدات و برنامه ریزی مدیریتی کمک می کند. این روش ها دقت مدل سازی را افزایش داده و ابزاری کارآمد برای تصمیم گیری های حفاظتی و مدیریتی در حوزه میراث فرهنگی ارائه می دهند.

نتیجه گیری: بازسازی و مرمت اصولی آثار تاریخی باید بر اساس شواهد مستند و با رعایت ضوابط ملی و بین المللی انجام شود تا از آسیب به اصالت بناها جلوگیری شود. همچنین، طراحی و ساخت بناهای جدید باید هماهنگ با ساختارهای تاریخی و با نظارت دقیق صورت گیرد. استفاده از تکنولوژی های نوین مانند تصاویر هوایی، ماهواره ای، هوش مصنوعی و

تاریخ دریافت: ۲۸ دی ۱۴۰۳
تاریخ داوری: ۰۴ اسفند ۱۴۰۳
تاریخ اصلاح: ۲۴ فروردین ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۵ اردیبهشت ۱۴۰۴

واژگان کلیدی:

میراث فرهنگی
حفاظت
ارتوفتو
مستندسازی
تغییرات

* نویسنده مسئول

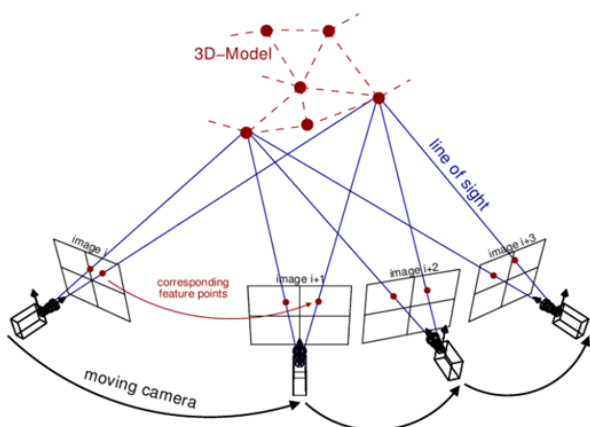
a_gharagozlo@sbu.ac.ir

① ۰۹۱۲-۱۳۰۹۰۹۸

واقعیت افزوده می‌تواند به بهبود مدیریت و حفاظت آثار کمک کند. پیشنهادهای محقق شامل نیاز به مستندسازی دقیق و نظارت مداوم در تمامی مراحل مرمت، طراحی و انتقال آثار است. محدودیت‌ها و موانعی مانند کمبود مستندات علمی، مشکلات بودجه‌ای و چالش‌های مدیریتی در راستای حفاظت از آثار تاریخی وجود دارد که باید به‌دقت مورد توجه قرار گیرد تا از تخریب و آسیب به آثار جلوگیری شود.

مقدمه

از فایل‌ها است که برای سازماندهی اطلاعات پیچیده به کار می‌رود. در این میان، فتوگرامتری به عنوان هنر و علمی شناخته می‌شود که با پردازش داده‌ها، مدل‌های سه‌بعدی دقیق ایجاد کرده و از طریق تحلیل تصاویر دوبعدی، اطلاعات و اندازه‌گیری‌های مربوط به اشیاء را استخراج می‌کند [۵]. با استفاده از فتوگرامتری رقومی و روش‌های پردازش تصویر، ثبت محوطه‌های میراث جهانی به سرعت افزایش یافته است [۶]. استفاده از فتوگرامتری در باستان‌شناسی در مقیاس‌های مختلف رایج است. روش‌ها و الگوریتم‌های متعددی برای بازسازی موقعیت و هندسه دوربین از طریق تصاویر وجود دارد. امروزه یکی از پرکاربردترین روش‌ها بر پایه الگوریتم‌های ساختار از حرکت (SFM) است. این الگوریتم‌ها که در حوزه تحقیقات بینایی ماشین قرار دارند، با بهره‌گیری از تکنیک‌های بازسازی استریو، امکان ایجاد مدل‌های سه‌بعدی دقیق از تصاویر را بدون نیاز به اطلاعات قبلی درباره موقعیت ثبت تصویر یا پارامترهای دوربین فراهم می‌کنند (شکل ۱) [۷]. با روش ساختار از حرکت، هندسه صحنه سه‌بعدی و حرکت دوربین از مجموعه‌ای از تصاویر دوبعدی که توسط دوربینی که در اطراف صحنه جابه‌جا می‌شود، بازسازی می‌گردد. الگوریتم ساختار از حرکت نقاط ویژگی مشترک را در چندین تصویر شناسایی می‌کند و از آن‌ها برای بازسازی حرکت آن نقاط در سراسر دنباله تصویر استفاده می‌کند. با این اطلاعات می‌توان مکان آن نقاط را به عنوان یک ابر نقطه سه بعدی محاسبه و تجسم کرد [۸].



شکل ۱: ساختار از حرکت، این الگوریتم با شناسایی نقاط ویژگی تصاویر و دنبال کردن حرکت آن‌ها در چندین تصویر، یک ابرنقاط سه‌بعدی ایجاد می‌کند. سپس با الگوریتم‌های Multiview Stereo Reconstruction، مدل‌های سه‌بعدی دقیقی تولید می‌شود. این فناوری در نرم‌افزار فتواسکن برای بازسازی صحنه‌های باستان‌شناسی از تصاویر هوایی موفق عمل کرده است [۸]

Fig. 1: This algorithm identifies image feature points and tracks their movement across multiple images to create a 3D point cloud. It then uses Multiview Stereo Reconstruction algorithms to generate accurate 3D models. This technology has been successfully used in the Photoscan software for reconstructing archaeological scenes from aerial images [8]

منابع میراث فرهنگی ملموس، اشیایی هستند که در محیط‌های ساخته‌شده، زمان، مکان و فرهنگ خاصی را نمایان می‌کنند. این آثار شکننده بخشی از هویت جمعی بشر و تاریخ او هستند و پیشرفت‌های تکنولوژیکی را نشان می‌دهند؛ بنابراین، تفسیر و حفاظت از این منابع میراث فرهنگی به‌اندازه حفاظت از منابع طبیعی حیاتی است. هنگام بررسی این منابع، متخصصان حفاظت فرهنگی و باستان‌شناسان از روش‌های مشابهی بهره می‌برند. در این فرایند، باستان‌شناسان بر شناسایی و درک افرادی که در آن مکان‌ها زندگی می‌کردند، شیوه زندگی، نگهداری و سرنوشت آن‌ها تمرکز می‌کنند. متخصصان حفاظت میراث نیز از اطلاعات جمع‌آوری شده توسط باستان‌شناسان در تصمیم‌گیری‌های مربوط به حفاظت، ارائه و مدیریت مکان‌های انتخابی برای استفاده معاصر بهره می‌برند. هر دو گروه به تاریخ و تفسیر محوطه‌ها اهمیت می‌دهند و بر مستندسازی این منابع فرهنگی ملموس و غیرقابل تجدید تأکید دارند. هر دو مشاهده می‌کنند که تأثیر انسان بر محیط فیزیکی می‌تواند زمینه‌های اجتماعی و تاریخی یک منطقه و نواحی اطراف آن را دگرگون کند [۱]. برای بررسی، تفسیر و مدیریت میراث فرهنگی و باستان‌شناسی، لازم است رویکردی دقیق و عملی اتخاذ شود. حفاظت و ثبت تصاویر جاده‌ها، شهرها و ساختمان‌های سنگی باستانی که نمایانگر تمدن‌های جهانی هستند، اهمیت بالایی دارد. از این رو، تلاش‌ها برای یافتن روشی مناسب جهت بهبود مدیریت این آثار با استفاده از فتوگرامتری و سیستم اطلاعات مکانی (GIS) آغاز شده است. ایجاد یک پایگاه داده پایدار در سیستم اطلاعات مکانی، از طریق تولید پایگاه‌های رقومی با بهره‌گیری از فتوگرامتری، داده‌های سه‌بعدی و ارتوفتو، امکان تولید داده‌هایی با هزینه کم و دقت بالا را فراهم می‌کند. این روش مزایای چشمگیری برای مدیریت و حفاظت از میراث فرهنگی، انجام مطالعات علمی، و همچنین تسهیل گردشگری ارائه می‌دهد [۲]. اکنون سی سال از معرفی اصطلاح سیستم اطلاعات مکانی در زمینه باستان‌شناسی گذشته است [۳]. امروزه بیشتر باستان‌شناسان از سیستم اطلاعات مکانی و تحلیل مکانی به عنوان ابزارهای ضروری برای کاوش، تحلیل و تفسیر داده‌های مکانی استفاده می‌کنند. این ابزارها به استاندارد در بسیاری از پروژه‌های تحقیقاتی باستان‌شناسی تبدیل شده‌اند. اطلاعات مکانی همواره با فضاهای جغرافیایی در ارتباط است. به طور کلی، مدیریت داده‌های مکانی شامل جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، تحلیل و ارائه داده‌ها می‌شود. ایجاد یک پایگاه داده مکانی در سیستم اطلاعات مکانی، ابزاری مؤثر برای تسهیل و بهبود تصمیم‌گیری‌های مدیریتی به شمار می‌آید [۴]. پایگاه داده مجموعه‌ای

بین سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۲، اولین کاربرد فتوگرامتری و سیستم اطلاعات مکانی برای مدل‌سازی مکانی آثار باستانی برای مدیریت بهینه در ایتالیا مورد استفاده قرار گرفته است [۹]. علاوه بر این فناوری سنجش از راه دور از دوران جنگ جهانی اول به عنوان ابزاری انقلابی در باستان‌شناسی معرفی شد [۱۰]. این فناوری با سنجنده‌های فراطیفی و چندطیفی امکان شناسایی محوطه‌های باستانی را بدون تخریب زمین فراهم می‌کند و با دقت بالا و هزینه کمتر، مستندسازی و تحقیقات باستان‌شناسی را بهبود بخشیده است. سنجش از راه دور به شناسایی فضاهای مدفون از طریق بی‌هنگاری‌های حرارتی و تغییر در پارامترهای خاک و پوشش گیاهی کمک می‌کند. تصاویر ماهواره‌ای نیز نقش مهمی در مدیریت میراث فرهنگی ایفا کرده‌اند. تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، الگوهای طیفی مرتبط با بقایای باستانی را آشکار می‌کند و شاخص‌های زمین‌شناسی و پوشش گیاهی در تصاویر پانکروماتیک و چندطیفی قابل شناسایی هستند. تصویربرداری فراطیفی (HSI) با تحلیل بازتاب انرژی خورشید، اطلاعات ارزشمندی درباره ویژگی‌های اجسام ارائه می‌دهد و در شناسایی بقایای باستانی و خاک‌های کشاورزی موثر است [۱۱] [۱۲]. سنجنده‌های فراطیفی داده‌ها را به صورت مکعب طیفی ارائه می‌کنند که ابعاد فضایی و طیفی را با هم ترکیب کرده و اطلاعات دقیقی در اختیار محققان قرار می‌دهد [۱۳] [۱۴] [۱۵]. این فناوری برای بررسی آثار هنری بدون آسیب به کار گرفته می‌شود [۱۶] [۱۷] [۱۸] و در نظارت بر روش‌های حفاظت نیز نقش مهمی دارد [۱۹]. علاوه بر این، می‌توان از آن برای تشخیص جعل اسناد استفاده کرد [۲۰] [۲۱]. در تحقیقات پزشکی قانونی به کار برد [۲۲]. و برای کشف میراث فرهنگی زیر آب‌ها بهره گرفت [۲۳]. همچنین ناسا از دهه ۱۹۷۰ در پروژه‌های باستان‌شناسی از جمله شناسایی جاده‌های کانکچکو و محوطه‌های اکتشافی لویس و کلارک نقش داشته و با استفاده از داده‌های فراطیفی در کشف کانال باستانی هوکوکم در آریزونا موفق عمل کرده است [۲۴]. در ادامه، به بررسی پیشینه تحقیق در زمینه مدل‌سازی آثار باستانی با استفاده از با استفاده از فتوگرامتری و فناوری‌های دیگر کشورهای مختلف در پرداخته می‌شود برای بررسی پیشینه تحقیق ابتدا پژوهش‌های انجام‌شده در داخل کشور بررسی می‌شود. محمد فارسی مدان و همکاران در سال ۲۰۲۱ برای کاهش زمان، هزینه و انرژی، با استفاده از فتوگرامتری به مستندنگاری کتیبه تاریخی گنبد الله بقعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی پرداختند [۲۵]. آن‌ها از دوربین 5300Nikon D و نرم‌افزار Capture Reality برای مدل‌سازی سه‌بعدی استفاده کردند. تصاویر با فاصله ثابت ثبت شدند و از Photoshop برای تبدیل کتیبه‌ها به تصویر دوبعدی استفاده کردند. در روش سنتی مستندسازی، مشکلاتی مانند زمان و هزینه زیاد و وابستگی به شرایط جوی وجود دارد. فتوگرامتری این مشکلات را با ارائه تصاویر دقیق و بدون اعوجاج حل می‌کند و نیازی به داربست ندارد. این روش امکان مستندسازی سریع و کم‌هزینه را فراهم کرده و حتی یک نفر می‌تواند آن را انجام دهد. همچنین، برای کتیبه‌های در ارتفاع بالا، نیازی به فاصله زیاد از

ساختمان نیست. نتایج نشان داد که استفاده از فتوگرامتری موجب کاهش زمان و هزینه‌ها و همچنین افزایش دقت در مستندسازی آثار تاریخی می‌شود. علاوه بر این، فتوگرامتری به مستندسازی آثار در مناطق صعب‌العبور و با ارتفاعات بالا کمک می‌کند بدون نیاز به تجهیزات سنگین یا دسترسی پیچیده. میثم میری‌آهو دشتی و همکارانش در سال ۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجش از دور و تحلیل‌های مکانی با استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی و روش‌های رگرسیون چندمتغیره، داده‌های موجود برای منطقه بهشهر پرداختند [۲۶]. آن‌ها برای تصاویر ماهواره‌ای سنیتل ۲ ابتدا اصلاحات اتمسفری انجام دادند و برای تصحیح هندسی از تصاویر گوگل ارث و نقشه‌های مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ استفاده کردند. سپس با معادلات چندجمله‌ای درجه‌دو، تصحیح هندسی و نمونه‌برداری مجدد انجام دادند. برای طبقه‌بندی از الگوریتم حداکثر احتمال (MLE) استفاده کردند و نقشه پوشش اراضی با دقت ۱۰ متر تهیه کردند. برای مدل‌سازی محیطی از توابع هیدرولوژیکی و فاصله اقلیدسی به منظور شناسایی استقرارگاه‌های باستانی استفاده کردند. همچنین تحلیل‌های رگرسیونی برای ارزیابی اولویت‌بندی لایه‌های محیطی انجام دادند. نتایج نشان داد که ماهواره کوئیک برد به عنوان دقیق‌ترین گزینه برای شناسایی ساختارهای باستان‌شناسی است، ولی پیشنهاد استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنیتل ۲ به دلیل رایگان بودن و کیفیت مناسب مطرح شد. در نهایت، نقشه‌های مستعد استقرار باستانی برای منطقه بهشهر با استفاده از مدل‌سازی رگرسیونی و هم‌پوشانی وزنی لایه‌ها تهیه و مناطق شرقی و مرکزی دارای پتانسیل بالا شناسایی شد. سعید صادقیان و همکاران در سال ۲۰۱۸ با استفاده از امکانات و ابزار سنجش از دور و فتوگرامتری، تغییرات محوطه تپه باستانی هگمتانه در دوره‌های مختلف مورد بررسی قرار دادند [۲۷]. از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ پس از تصحیحات رادیومتریک و هندسی، برای تهیه نقشه تغییرات سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ استفاده کردند که دقت کلی آن‌ها به ترتیب ۳۹٪ و ۵۷٪ بود. سپس برای ارزیابی روش، تصاویر گوگل ارث برای سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۹ استفاده کردند که دقت آشکارسازی تغییرات در این تصاویر به ترتیب ۸۳٪ و ۹۰٪ بود. در ادامه با استفاده از تصاویر هوایی و نرم‌افزار سیستم اطلاعات مکانی، نقشه تغییرات سال‌های گذشته ایجاد شد که دقت آن‌ها بین ۵۸٪ تا ۸۹٪ متغیر بود. برای ارزیابی الگوریتم طبقه‌بندی، از روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده کردند که عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم‌های نظارت‌شده داشت. این مطالعه نشان داد که انتخاب داده‌های تک باند و محدودیت‌های تفکیک مکانی، تأثیر زیادی بر دقت نتایج دارند. در نهایت، استفاده ترکیبی از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای بهترین گزینه برای نظارت بر محوطه‌های باستانی پیشنهاد کردند. روح‌الله سالک و همکاران در سال ۲۰۱۹ برای کشف و شناسایی میراث فرهنگی با استفاده از تصاویر فراطیفی پرداختند [۲۸]. تصاویر فراطیفی از امواج الکترومغناطیسی بازتابی از اجسام مختلف استفاده می‌کند که هر جسم را با ویژگی‌های خاص خود به صورت منحصر به فرد

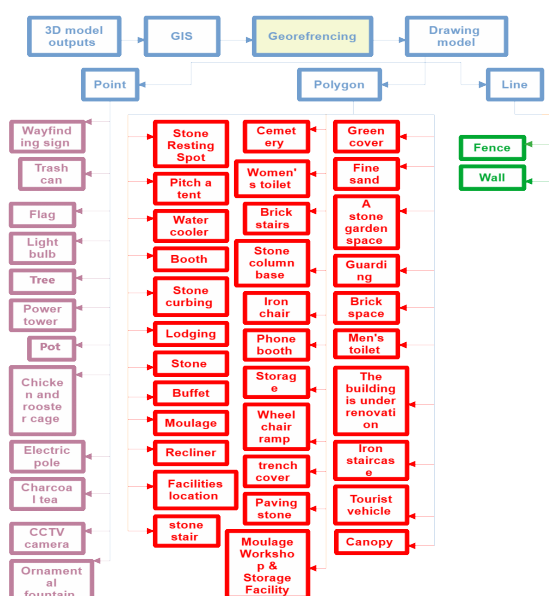
رقومی برای مستندسازی و حفاظت از محوطه‌های میراث فرهنگی بسیار موثرند و می‌توانند به حفظ و بازسازی سازه‌های تاریخی کمک کنند. همچنین، اهمیت آسیب‌های بادی در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش آگاهی عمومی درباره حفاظت از میراث فرهنگی برجسته شد. ماتئوش سیسکی و همکاران در سال ۲۰۱۹ برای بررسی‌های قابل نگهداری در مدیریت میراث فرهنگی به استفاده از ابزارهای مختلف سیستم اطلاعات مکانی در مدل‌سازی اشیا پرداختند [۳۲]. با استفاده از داده‌های نقطه‌ای، نقشه تراکم بناهای تاریخی غیرمنقول در لهستان با روش تخمین تراکم هسته (KDE) ایجاد شد. سپس این داده‌ها با واحدهای اداری ترکیب و درون چندضلعی‌ها جمع‌آوری شدند. برای تجسم توزیع فضایی، داده‌ها به چندضلعی‌ها تبدیل شدند و با استفاده از روش‌های درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW)، درون‌یابی چندجمله‌ای جهانی (GPI)، تابع پایه شعاعی (RBF)، درون‌یابی چندجمله‌ای محلی (LPI)، کریجینگ معمولی (OK)، کریجینگ ساده (SK)، کریجینگ جهانی (UK)، کریجینگ منفصل (DK) و کریجینگ بیزی تجربی (EBK) و با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون که برای نقشه تراکم بناهای تاریخی غیر متحرک برای نقشه‌های ایجاد شده از اندازه‌های شش بعدی محاسبه شده، به‌عنوان شاخص قابلیت اطمینان در نرم‌افزار سیستم اطلاعات مکانی تجزیه و تحلیل شدند. نتایج نشان داد که برای مدیریت مؤثر میراث، نیاز به نقشه‌های موضوعی است. روش پیشنهادی امکان ایجاد نقشه‌های تعمیم‌یافته با داده‌های کمتر را فراهم کرد. این مطالعه به‌ویژه در مدیریت پایدار میراث فرهنگی مفید است و می‌تواند به‌طور جهانی قابل‌استفاده باشد. برای شناسایی بافت محوطه‌های میراث فرهنگی ثبت جهانی‌شده و مدیریت چالش‌ها، برنامه‌هایی با استفاده از فتوگرامتری و سیستم اطلاعات مکانی طراحی شده است. هدف این برنامه‌ها، شناخت بهتر محوطه و بهبود مدیریت آنجا است. در محوطه هگمتانه، ترکیب سیستم اطلاعات مکانی و فتوگرامتری تاکنون اتفاق رخ نداده است. با استفاده از این دو فناوری، هدف شناخت دقیق‌تر و بهینه‌سازی مدیریت محوطه تاریخی مورد نظر است. در ادامه، روش تحقیق به تفصیل بیان خواهد شد.

روش تحقیق

در این مطالعه، داده‌های مورد نیاز از محوطه‌ی تاریخی هگمتانه در شهر همدان گردآوری شد. در مرحله‌ی نخست، اطلاعات اولیه از طریق تکمیل پرسش‌نامه و تصویربرداری در فاصله‌ی نزدیک با تلفن همراه سامسونگ مدل A51 ثبت گردید. در ادامه، تصاویر هوایی با وضوح بالا مربوط به سال ۱۳۹۶ که توسط سازمان نقشه‌برداری تهیه شده بودند، به همراه نقاط کنترل زمینی استخراج‌شده از Google Earth، در نرم‌افزار فتوگرامتری پردازش شده و مدل سه‌بعدی با دقت ۱ تا ۲ متر تولید شد. در مرحله‌ی بعد، به منظور اصلاح خطاهای مربوط به مقیاس و جهت در خروجی‌های مدل‌سازی، داده‌ها با تصویر ماهواره‌ای Google Earth سال ۲۰۲۴ در محیط سیستم اطلاعات مکانی (GIS) تصحیح شدند. این

نمایش می‌دهد. این تصاویر مزایای زیادی در باستان‌شناسی دارند که در مقایسه با سایر انواع تصاویر برجسته است. سنسورهای ابرطیفی قادرند عوارض مختلف را در فضای طیفی و مکانی به‌طور هم‌زمان نشان دهند. آن‌ها با ثبت واکنش‌ها در طول موج‌های مختلف و ایجاد منحنی‌های طیفی، اطلاعات را در یک بانک اطلاعاتی ذخیره کردند تا برای شناسایی ماهیت اجسام استفاده کنند. نتایج نشان داد که تصویربرداری فراطیفی ابزاری مناسب برای بهبود پژوهش‌های باستان‌شناسی، حفظ و مدیریت میراث فرهنگی است. در ادامه به بررسی پژوهش‌های انجام‌شده در ارتباط با مدل‌سازی عوارض در خارج از کشور پرداخته می‌شود. یانیس آپوستولو و همکاران در سال ۲۰۲۴ به چگونگی استفاده مجدد و تولید مجدد داده‌های قدیمی برای کشف ابعاد نامشخص پروژه‌های گذشته پرداختند [۲۹]. در این مطالعه، تیمی از کارشناسان با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی داده‌های منطقه گرونا در شمال غربی یونان را بررسی کردند. آن‌ها ابتدا یافته‌های سطحی را فهرست کردند سپس با کمک تصاویر هوایی و مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، توپوگرافی و تغییرات زمین را ارزیابی کردند. داده‌ها با نرم‌افزارهای فتوگرامتری و ابزارهای سیستم اطلاعات مکانی تحلیل شدند. یک بافر ۵۰ متری برای تحلیل ژئومورفومتریک ایجاد شد و داده‌ها به صورت رقومی در یک پایگاه داده ثبت شدند. نتایج نشان داد این روش برای تعیین موقعیت محوطه‌های باستانی مؤثر است، هرچند خطاهایی در اطلاعات اولیه وجود داشت. این مطالعه به پژوهشگران دیگر کمک می‌کند تا تحقیقات مشابهی انجام دهند و نخستین کاتالوگ باستان‌شناسی پروژه گرونا را ایجاد کنند. زوریانا کوزیک در سال ۲۰۲۳ به تحقیق در خرابه‌های یک بنای قرون وسطایی در مرکز تاریخی لویو پرداخت [۳۰]. در این مطالعه با استفاده از دوربین Canon EOS 350 و اسکنر Faro Focus 3D، بررسی‌های توپوگرافی و فتوگرامتری انجام شد. تصاویر ارتوفتو و مدل‌های سه‌بعدی برای مستندسازی سازه‌های تاریخی ایجاد شدند. همچنین با پهپاد DJI Phantom 3 تصویربرداری هوایی انجام شد و تصاویر با نرم‌افزار PhotoScan Agisoft پردازش شدند. یک پایگاه داده برای ذخیره اطلاعات گرافیکی و ویژگی‌های بناها ایجاد شد و نقشه‌های رقومی دوبعدی و سه‌بعدی همراه با مسیرهای گردشگری تهیه شدند. این مطالعه نشان داد که فناوری‌های مدرن رقومی و سنجش از دور، امکان مستندسازی دقیق‌تر و مؤثرتری از محوطه‌های میراث فرهنگی را فراهم می‌آورند و می‌توانند به حفظ و بازسازی این آثار کمک کنند. ماچنی اسماتچینسکی و همکاران در سال ۲۰۲۲ به گسترش و مستندسازی توپوگرافی اشیا میراث فرهنگی ثبت‌شده در نقشه‌های قرن نوزدهم پرداختند [۳۱]. آن‌ها با استفاده از تکنیک فتوگرامتری و پهپاد DJI Phantom، مدل سه‌بعدی دقیقی از یک آسیب‌بادی تاریخی ایجاد کردند. داده‌ها با سیستم‌های پیشرفته GNSS و نرم‌افزار Agisoft Metashape پردازش شدند. مدل‌سازی دستی با SketchUp، جزئیات سازه را به خوبی نمایش داد و در نهایت یک ویدئو کوتاه برای نمایش تاریخچه و موقعیت آسیب تهیه شد. نتایج نشان داد روش‌های مدرن

کمتر از ۱۰ مترمربع به صورت نقطه‌ای و عوارض بزرگ‌تر به صورت سطحی ترسیم شدند. این تفکیک نه تنها بر مبنای ابعاد فیزیکی، بلکه با در نظر گرفتن نوع کاربری عوارض (مانند بناهای تاریخی، مسیرهای تردد، دیوارها و اجزای معماری) انجام شد تا از ایجاد ازدحام بصری در نقشه جلوگیری شود و خوانایی نقشه‌ها حفظ گردد. این روش ترسیم، دقت تحلیل‌های بعدی را در محیط GIS افزایش داده و امکان بررسی دقیق‌تری از توزیع فضایی عوارض، مداخلات انسانی و روند تغییرات ساختاری در گذر زمان را فراهم کرده است. این فرایند دسته‌بندی مداخلات در محوطه را بر اساس ویژگی‌های فیزیکی و کارکرد آن‌ها را نشان می‌دهد (شکل ۴).



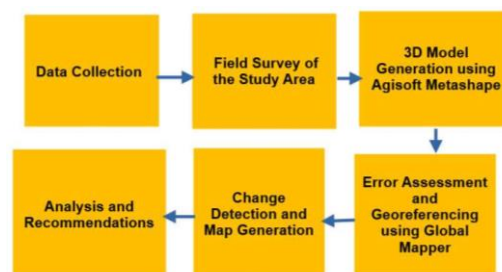
شکل ۴: فلوچارت زمین مرجع کردن و تجمیع داده‌های مکانی برای ایجاد پایگاه اطلاعاتی باستان‌شناسی

Fig. 4: Flowchart Georeferencing and integration of spatial data to create an archaeological database

تحلیل و ترسیم تغییرات ساختاری و شهری در اطراف محوطه باستان‌شناسی

تحولات مختلفی در خیابان‌های مرتبط با محوطه مجموعه هگمتانه رخ داده است. این اطلاعات از طریق گفتگوهای پژوهشی با افراد باتجربه در این مجموعه به دست آمده است. خیابان اکباتان که از میدان امام خمینی تا میدان هگمتانه امتداد داشت، حذف شده و به محوطه افزوده شده است. این تغییرات احتمالاً زمینه‌ساز کاوش‌های باستان‌شناسی در آینده خواهند شد. خیابان بلوار علویان نیز حذف و آسفالت آن برداشته شده است، که این امر بر ورودی پارکینگ و محوطه تأثیری گذاشته است. مسیر بازار آهنگران نیز پس از حذف بلوار علویان، به مسیری جدید تغییر یافته است. شهرداری به منظور ایجاد ورودی جدید برای بازار آهنگران و کاروان‌سراهای اطراف آن، اقدام به خرید و تخریب منازل مجاور کرده است. موارد ذکر شده با کمک فایل کد مجموعه هگمتانه به صورت ترسیماتی دسته‌بندی شده نمایش داده شده‌اند (شکل ۵).

فرایند منجر به تولید خروجی‌های دقیق‌تری شد. در نهایت، با استفاده از این خروجی‌ها، مداخلات انسانی در منطقه شناسایی گردید و نقشه‌های میراث فرهنگی همدان و نقشه‌های سازمان نقشه‌برداری در مقیاس‌های ۱/۵۰۰ و ۱/۱۰۰۰ مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند و در پی آن، نتایج و پیشنهاداتی ارائه شده است (شکل ۲).



شکل ۲: فلوچارت مراحل انجام کار.

Fig. 2: Flowchart of the work process stages

منطقه مورد مطالعه تپه باستانی هگمتانه در محدوده شهر همدان واقع شده است. این تپه به شکل بیضی، با مساحت ۳۱ هکتار و ارتفاع ۱۸۷۰ متر از سطح آب‌های آزاد قرار دارد. مختصات جغرافیایی این تپه ۵۱۷/۴۸ درجه شمالی و ۳۲/۸۰۴۶۲۹ درجه شرقی است و از تهران حدود ۳۴۰ کیلومتر فاصله دارد [۳۳]. مجموعه هگمتانه دارای معماری پیچیده‌ای با قلعه‌ای مرکزی، خانه‌های اطراف و تزئینات باشکوه بوده است. کاوش‌ها نیز سیستم آبرسانی پیشرفته و خانه‌های متقارن آن را تأیید کرده‌اند (شکل ۳).

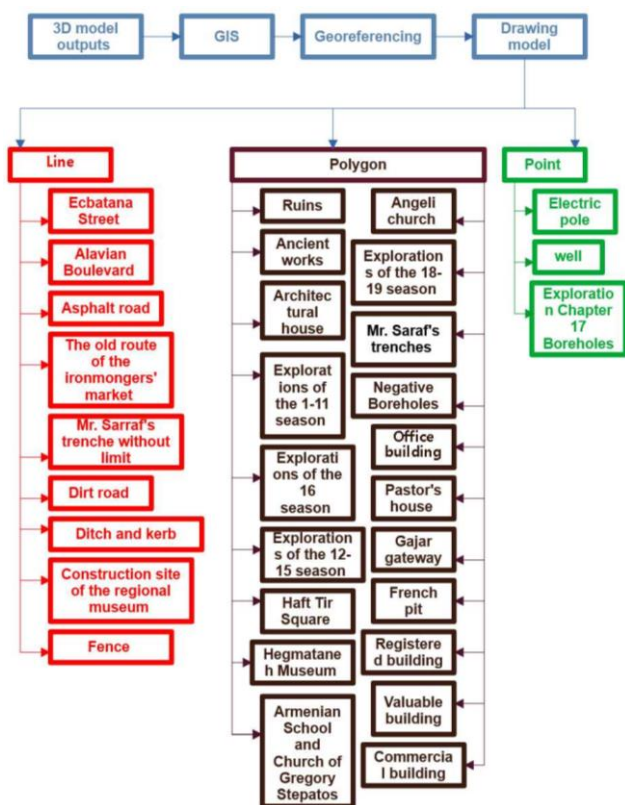


شکل ۳: معماری محوطه هگمتانه [۳۳].

Fig. 3: The architecture of hagmatana site [33]

زمین مرجع کردن و تجمیع داده‌های مکانی برای ایجاد پایگاه اطلاعاتی باستان‌شناسی محوطه هگمتانه

در این پژوهش، در بازدید میدانی از محوطه، تصاویر و ویدئوهایی با تلفن همراه تهیه شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار گلوبال میر، ترسیم عوارض روی ارتوفتو سال ۱۳۹۶ سازمان نقشه‌برداری انجام گرفت. در این مرحله، برای ترسیم عوارض موجود در محوطه، از سیستم اطلاعات مکانی به گونه‌ای به کار گرفته شد که جزئیات فیزیکی و عملکردی عوارض با دقت بالا نمایش داده شوند. به طوری که عوارض با مساحت

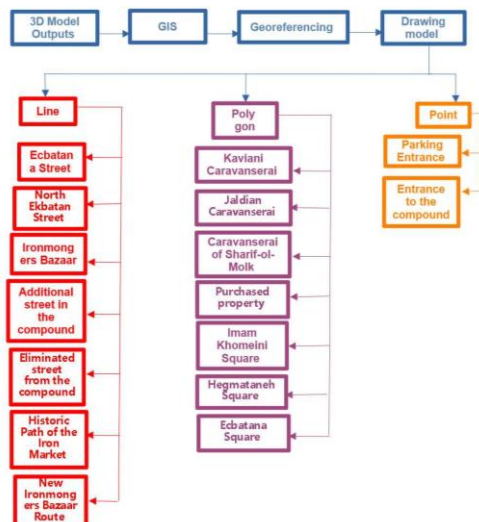


شکل ۷: فلوچارت تصحیح و ترسیم نقشه بازنگری تعیین عرصه و پیشنهاد حریم تپه هگمتانه

Fig. 7: Flowchart of the Correction and Drafting Process for the Revised Map of the Delimitation and Proposed Buffer Zone of the Hegmataneh Mound



شکل ۸: فلوچارت تصحیح و ترسیم نقشه محوطه هگمتانه - همدان
Fig. 8: Flowchart for correction and drafting of the Hagmatana site - Hamedan map

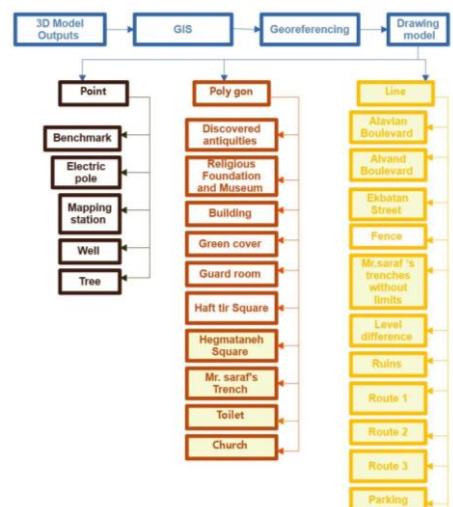


شکل ۵: فلوچارت تحلیل و ترسیم تغییرات ساختاری و شهری در اطراف محوطه باستان‌شناسی

Fig. 5: Flowchart for analyzing and mapping structural and urban changes around the archaeological site

تصحیح و ترسیم نقشه‌های توپوگرافی تپه هگمتانه و تعیین حریم محوطه هگمتانه

با استفاده از دو نقشه پایگاه میراث فرهنگی هگمتانه در قالب کد، با عنوان نقشه توپوگرافی تپه هگمتانه در مقیاس ۱/۱۰۰۰ توسط پیمانکار آقای محمود عباسی و دیگری با عنوان بازنگری تعیین عرصه و پیشنهاد حریم تپه هگمتانه در مقیاس ۱/۵۰۰ تحت سرپرستی آقای مهرداد ملک‌زاده و طراحی و ترسیم آقای ذبیح‌الله بختیاری در سال ۱۳۹۹ و همچنین چهار نقشه به‌دست‌آمده از سازمان نقشه‌برداری کشور با عنوان تپه هگمتانه - همدان در مقیاس ۱/۵۰۰ برای سال ۱۳۹۰ با سیستم تصویر جهانی مرکاتور عرضی (UTM)، مبنای مسطحاتی UTM سراسری و مبنای ارتفاعی سطح متوسط دریا (MSL)، به‌صورت ترسیماتی دسته‌بندی شده ارائه می‌شود که وضعیت توپوگرافی و جغرافیایی محوطه را نیز نشان می‌دهد (شکل ۶ و ۷).



شکل ۶: فلوچارت تصحیح و ترسیم نقشه توپوگرافی محوطه هگمتانه
Fig. 6: Flowchart for correcting and drawing the topographic map of Hegmataneh site

استفاده از تصاویر هوایی، ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات سیستم اطلاعات مکانی در شناسایی تغییرات محوطه

محوطه تپه هگمتانه در طی سال گذشته تا امروز دستخوش تغییراتی شده است. این تغییرات از طریق فرایند زمین مرجع سازی با استفاده از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای سال‌های ۱۳۹۶، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۳ که توسط سازمان نقشه برداری، میراث فرهنگی همدان و منابع ماهواره‌ای تهیه شده‌اند، شناسایی شده‌اند. همچنین، با استفاده از خروجی‌های مدل سه بعدی، این تغییرات به طور دقیق تر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در ادامه، مهم ترین یافته‌ها و تغییرات به دست آمده از این تحلیل‌ها، به

تفکیک بازه‌های زمانی و با تأکید بر نتایج مدل‌های سه بعدی ارائه خواهد شد (شکل ۹ و ۱۰).

بررسی تصویر ارائه شده نشان دهنده تغییرات قابل توجهی در این محدوده است. یکی از این تغییرات، وجود دیوار سنگی جدید در پشت کلیسا است که با رنگ مشکی مشخص شده و نشان دهنده تحولی در ساختار منطقه است. همچنین، پله‌های جدیدی که با رنگ قرمز در اطراف کلیسا ساخته شده‌اند، به تغییرات ساختاری این بخش از محوطه اشاره دارند. این تغییرات به طور کلی تحولات قابل توجهی را در ظاهر و ساختار این منطقه به نمایش می‌گذارند.



شکل ۹: بررسی تغییرات مجموعه کلیسا با استفاده از تصاویر هوایی، الف) تصویر هوایی سیاه و سفید اشمیت، سازمان نقشه برداری سال ۱۳۱۶ [۳۴]، ب) تصویر هوایی رنگی سازمان نقشه برداری سال ۱۳۹۶ [۳۴]، پ) تصویر هوایی رنگی سال ۱۴۰۱ موجود در سایت یونسکو [۳۵]، ت) تصویر برد کوتاه رنگی نگارنده سال ۱۴۰۳

Fig. 9: Analysis of changes in the church complex using aerial images: a) Black and white aerial image of Schmidt, Mapping Organization, year 1937 [34], b) Color aerial image, Mapping Organization, year 2017 [34], c) Color aerial image from the year 2022, available on the UNESCO website. [35], d) Close range image by the author, year 2024



شکل ۱۰: بررسی تغییرات سر درب قاجاریه با استفاده از تصاویر هوایی، الف) تصویر هوایی سیاه و سفید اشمیت، سازمان نقشه‌برداری سال ۱۳۱۶ [۳۴]، ب) تصویر هوایی رنگی سازمان نقشه‌برداری سال ۱۳۹۶ [۳۴]، پ) تصویر هوایی رنگی آرشیو روابط عمومی میراث فرهنگی همدان سال ۱۴۰۲ [۳۶]، ت) تصویربرد کوتاه رنگی نگارنده سال ۱۴۰۳
 Fig. 10: Analysis of changes in the Qajar gateway using aerial images: a) Black and white aerial image of Schmidt, Mapping Organization, year 1937 [34], b) Color aerial image, Mapping Organization, year 1977 [34], c) Color aerial image from the Public Relations Archive of Hamedan Cultural Heritage, year 2023 [36], d) Close range image by the author, year 2024

باشیم و در نتیجه، بررسی کامل‌تری از اهمیت این سر درب در بافت تاریخی محوطه امکان‌پذیر نباشد. مسیر کارگاه مرمت برج در سال ۱۴۰۲ با استفاده از آرشیو روابط عمومی میراث فرهنگی همدان شناسایی و ترسیم شد. مقایسه این مسیر با تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث از سال ۱۴۰۳ نشان داد که این مسیر برای انتقال مصالح به کارگاه مرمت مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر این، اثرات تردد وسایل نقلیه در این مسیر باعث ایجاد تغییرات ظاهری در آن شده است که این تغییرات به‌وضوح در تصاویر قابل‌مشاهده هستند (شکل ۱۱).

نتایج و بحث

نتایج زمین مرجع کردن داده‌ها و تحلیل تغییرات ساختاری و شهری اطراف محوطه باستان‌شناسی

سر درب موجود در محوطه، علی‌رغم تغییراتی که در اطراف آن رخ داده، همچنان ساختار کلی خود را حفظ کرده است. در حال حاضر، پله‌های سنگی در مقابل آن قرار گرفته که به‌طور واضح نشان‌دهنده تحولی در نحوه دسترسی به این بخش از محوطه است. این پله‌ها ممکن است در گذشته وجود نداشته یا به شکل متفاوتی طراحی شده باشند. همچنین، تیرهای برق که در اطراف سر درب قرار دارند، به‌وضوح نمای مدرن‌تری به این منطقه افزوده‌اند که ممکن است با ویژگی‌های تاریخی محوطه تضاد ایجاد کرده باشد. با وجود این تغییرات، سر درب از نظر ساختاری هنوز به‌طور عمده همان ویژگی‌های اصلی و اولیه خود را حفظ کرده است و نمای آن تغییرات اساسی نداشته است. با این حال، متأسفانه اطلاعات دقیقی درباره سبک معماری این سر درب و چگونگی اجرای طرح آن در دسترس نیست. فقدان چنین اطلاعاتی باعث می‌شود که تحلیل دقیق‌تری از تاریخچه، سبک و ویژگی‌های معماری آن نداشته

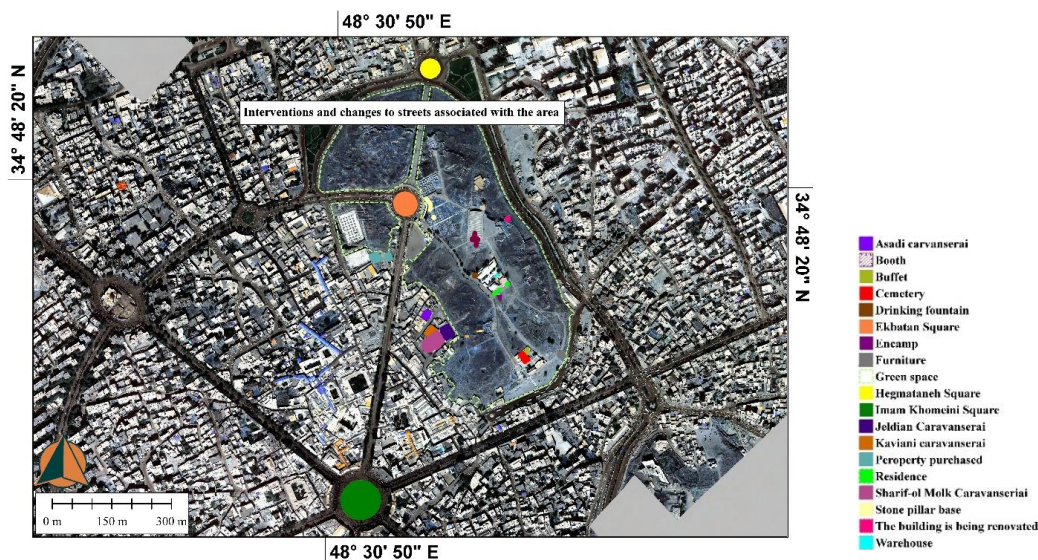
باستان‌شناسی فضایی و مطالعه ساختار شهری فراهم می‌سازد. تحلیل نحوه توزیع این عناصر در سطح فضا و ارتباط آن‌ها با مسیرهای ارتباطی تاریخی یا شرایط توپوگرافی منطقه، ممکن است به شناسایی نحوه قرارگیری و کارکرد اجزای مختلف فضا کمک کند که در دوره‌های گذشته شکل گرفته‌اند (شکل ۱۲).

بررسی نتایج ترسیمات در نرم‌افزار گلوبال می‌ر نشان می‌دهد که پس از انجام فرایندهای لازم، داده‌های مکانی به مدل‌های ترسیم مختلفی از جمله مدل سطحی تبدیل شده‌اند تا امکان تجزیه و تحلیل دقیق‌تری از ساختار و ویژگی‌های مورد نظر فراهم شود. در نهایت، خروجی این فرایندها در قالب نقشه ارائه شده است. وجود چنین داده‌هایی، بستر مناسبی برای تحلیل‌های عمیق‌تر در حوزه‌هایی نظیر معماری سنتی،



شکل ۱۱: بررسی مسیر ایجاد شده با استفاده از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، (الف) تصویر هوایی رنگی آرشیو روابط عمومی میراث فرهنگی همدان سال ۱۴۰۲ [۳۷]، (ب) تصویر ماهواره ای رنگی گوگل ارث سال ۱۴۰۳ [۳۸]

Fig. 11: Examination of the created path using aerial and satellite images: a) Color aerial image from the Public Relations Archive of Hamedan Cultural Heritage, year 2023 [37], b) Color satellite image from Google Earth, year 2024 [38]



شکل ۱۲: نقشه مداخلات و تغییرات خیابان‌های اطراف منطقه هگمتانه با مدل سطحی بر اساس عکس ارتوفتو سازمان نقشه برداری سال ۱۳۹۶ در نرم‌افزار گلوبال می‌ر
Fig. 12: Map of interventions and changes to streets around the Hegmataneh area with a surface model based on the 2017 orthophoto of the Mapping Organization in Global Mapper software

بررسی نتایج ترسیمات در نرم‌افزار گلوبال می‌ر نشان می‌دهد که پس از انجام مراحل پردازش، داده‌های مکانی به صورت مدل خطی ترسیم

نتایج تصحیح و ترسیم نقشه‌های میراث فرهنگی همدان و سازمان نقشه‌برداری کشور

اقدام جلوگیری از ریزش بدنه کلیسا و حفظ استحکام پی آن در برابر آسیب‌های احتمالی بوده است. با این حال، در خصوص شیوه معماری و طراحی پله‌های اطراف کلیسا اطلاعات دقیقی ارائه نشده است؛ اما آن چه از مقایسه با تصاویر سال‌های گذشته مشخص است خانه‌های اطراف کلیسا به دلیل کم بودن قدمت تاریخی نسبت به مجموعه کلیسا تخریب شدند و طراحی مسیرهای پله در اطراف کلیسا بر اساس شیب و ناهمواری‌های سطح زمین به منظور دسترسی راحت برای گردشگران قرار داده شده است (شکل ۱۴).

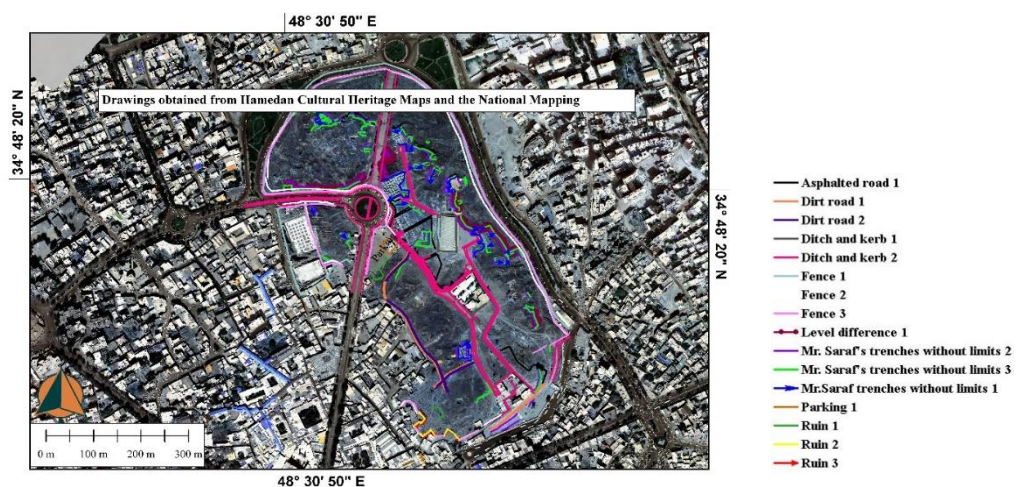
○ طبق اطلاعات به دست آمده در خصوص موجودیت سر درب قاجاریه، مشخص شد کل بافت محوطه هگمتانه در گذشته بافت مسکونی بوده است و در دهه‌های ۴۰ و ۵۰ فرایند آزادسازی و تخریب خانه‌ها انجام شده است. بخشی از ورودی یکی از این خانه‌ها که متعلق به آن زمان بوده، به عنوان سر درب قاجاریه در محوطه حفظ و نگهداری شده است. از مقایسه تصاویر سال‌های گذشته مشخص شد خانه‌های دیگر نسبت به سر درب قدمت تاریخی نداشته‌اند و بدین منظور تخریب شدند. در حال حاضر، اطراف سر درب با سنگ‌فرش پوشانده شده تا پیوندی میان گذشته و حال ایجاد شود و دسترسی گردشگران بهبود یابد. با این حال، حضور تیرهای برق در اطراف بنا با ماهیت تاریخی محوطه همخوانی ندارد و از زیبایی بصری آن کاسته است (شکل ۱۵).

○ طبق اطلاعات به دست آمده، طراحی مسیر به صورت سلیقه‌ای و بدون توجه به دسترسی خیابان کنار محوطه انجام شده که روند مناسبی نیست. روند طراحی در دو سال اخیر ثابت بوده و برنامه‌ریزی‌های مربوط به مسیر متوقف یا بدون تغییر مانده است. این ثبات ممکن است نشان‌دهنده تعادل منطقه از نظر حمل‌ونقل و دسترسی باشد، به طوری که نیاز به تغییرات اساسی احساس نشده است (شکل ۱۶).

شده‌اند. در این میان، ترسیمات شماره ۱ و ۲ که به ترتیب مربوط به نقشه توپوگرافی و نقشه بازنگری تعیین عرصه و پیشنهاد حریم محوطه میراث فرهنگی هستند، تطابق دقیقی با ارتوفتو سازمان نقشه برداری سال ۱۳۹۶ نداشته و از هم‌پوشانی کافی برخوردار نبوده‌اند. این مسئله بیانگر آن است که در فرایند ترسیم این نقشه‌ها، به‌ویژه در تطبیق آن‌ها با موقعیت واقعی زمین، خطای مکانی قابل توجهی وجود داشته است. چنین ناهماهنگی‌هایی می‌تواند در فرایند تصمیم‌گیری‌های حفاظتی و برنامه‌ریزی‌های شهری، به‌ویژه در محدوده‌های دارای ارزش تاریخی و باستان‌شناسی، چالش‌برانگیز باشد. با این حال، باید توجه داشت که داده‌های استخراج‌شده از نقشه بازنگری عرصه و حریم، نسبت به نقشه توپوگرافی از دقت توصیفی و جزئیات بیشتری برخوردار بوده و اطلاعات به‌روزتر و جامع‌تری را در خصوص محدوده مورد بررسی ارائه می‌دهد. این امر نشان‌دهنده بروز رسانی درک مکانی و فضایی از وضعیت تپه باستانی بوده و در تحلیل‌های آتی می‌تواند مرجع دقیق‌تری تلقی شود، به شرط آنکه موقعیت‌یابی مکانی نیز بهبود یابد. در مقابل، ترسیمات شماره ۳ که متعلق به سازمان نقشه‌برداری کشور بوده و مربوط به نقشه دقیق تپه هگمتانه شهر همدان است، با دقت مکانی بالایی تهیه و ترسیم شده‌اند. این ترسیمات، بدون بروز خطا بر روی تصویر ارتوفتو سال ۱۳۹۶ منطبق شده‌اند که این خود نشان‌دهنده‌ی صحت و اعتبار فنی بالای داده‌های این سازمان در مقایسه با منابع دیگر است. چنین دقتی در هم‌پوشانی، نقش مهمی در صحت تحلیل‌های مکان‌منا، تهیه گزارش‌های مستند، و تدوین طرح‌های حفاظتی و مدیریتی ایفا می‌کند (شکل ۱۳).

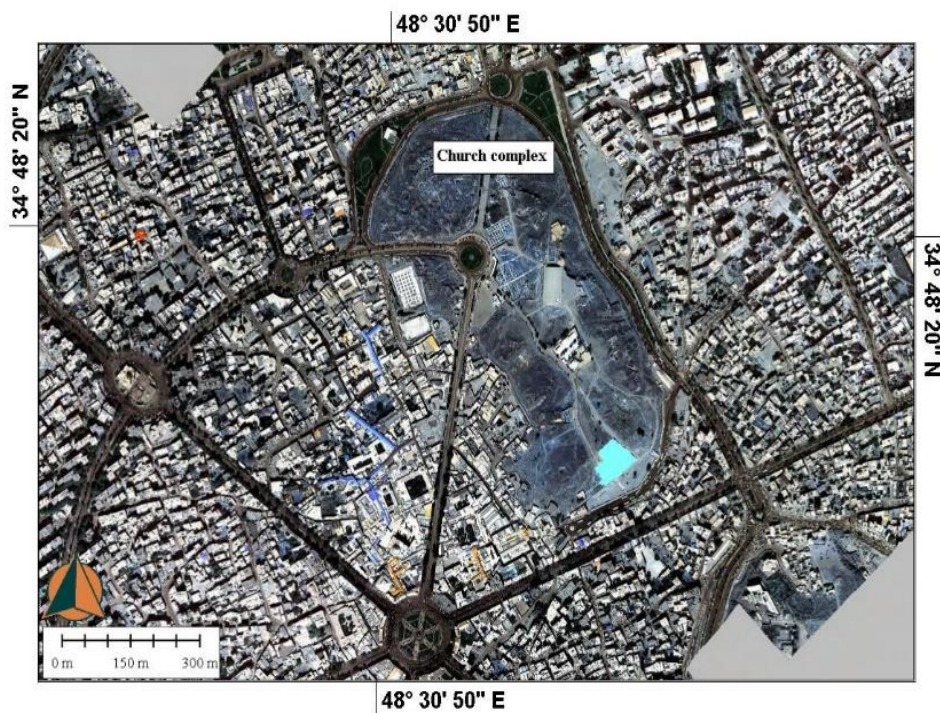
نتایج استفاده از تصاویر هوایی، ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات محوطه

○ طبق اطلاعات به دست آمده دیوار سنگی پشت کلیسا به‌منظور استحکام بخشی و حفاظت از این بنا احداث شده است. هدف از این



شکل ۱۳: ترسیمات حاصل از نقشه‌های سازمان میراث فرهنگی همدان و سازمان نقشه برداری کشور بامدل خط بر روی ارتوفتو سازمان نقشه برداری سال ۱۳۹۶ در نرم افزار گلوبال مهر

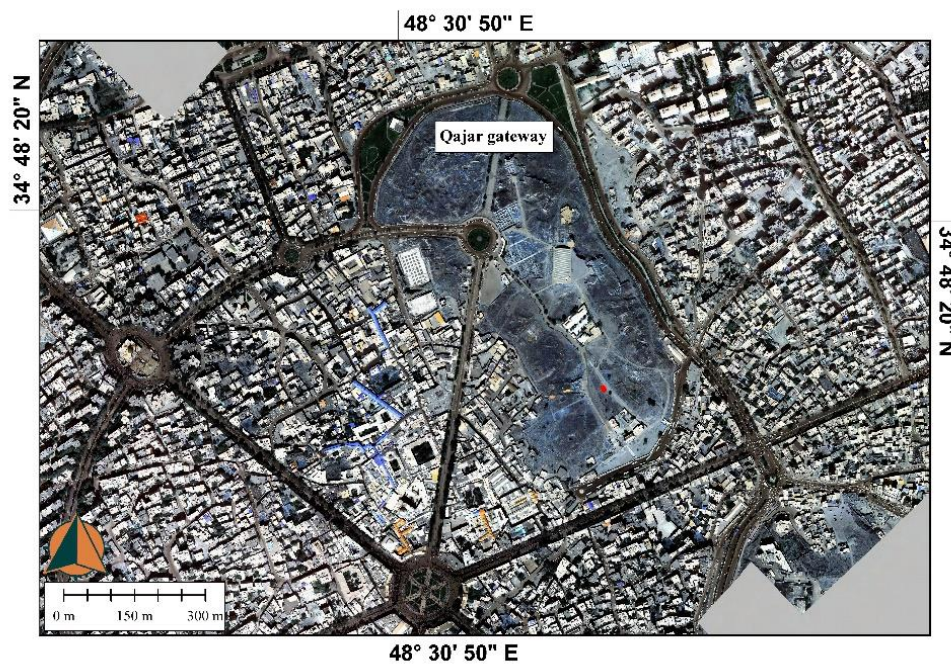
Fig. 13: Topographic map drawings of Hegmataneh site with the surface model overlaid on the 2017 orthophoto from the National Cartographic Center in Global Mapper software



 Church complex

شکل ۱۴: نقشه تغییرات مجموعه کلیسا با مدل سطح بر روی ارتوفتو سازمان نقشه‌برداری سال ۱۳۹۶ در نرم‌افزار گلوبال میپ

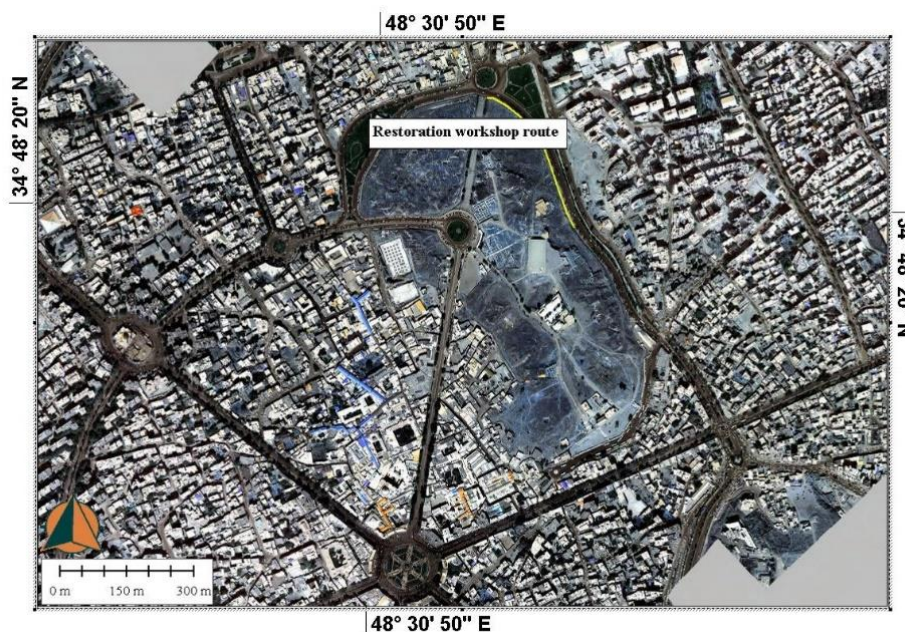
Fig. 14: The map of changes in the church complex with the surface model overlaid on the 2017 orthophoto from the National Cartographic Center in Global Mapper software



 Qajar gateway

شکل ۱۵: نقشه سر درب قاجاریه با مدل سطح بر روی ارتوفتو سازمان نقشه‌برداری سال ۱۳۹۶ در نرم‌افزار گلوبال میپ

Fig. 15: The map of the Qajar gateway with the surface model overlaid on the 2017 orthophoto from the National Cartographic Center in Global Mapper software



Restoration workshop route

شکل ۱۶: نقشه مسیر کارگاه مرمت با مدل خط روی ارتوفتو سازمان نقشه‌برداری سال ۱۳۹۶ در نرم‌افزار گلوبال مپر

Fig. 16: Restoration workshop route map with line model over the 2017 orthophoto from the National Cartographic Center in Global Mapper software

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

مسائل فنی و حفاظتی را پوشش دهد، بلکه بتواند با نیازهای مدرن و الزامات اجرایی نیز هم‌راستا باشد. در همین راستا، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تصاویر هوایی به‌ویژه در مقیاس‌های بزرگ، می‌تواند به بهبود دید کلی، برنامه‌ریزی دسترسی و هماهنگی‌های مدیریتی در سطح محوطه کمک کند. البته اجرای این رویکردها مستلزم رعایت دقیق اصول علمی، دقت در تحلیل داده‌ها و حفظ ارزش‌های فرهنگی-تاریخی است. در حالی‌که استفاده از نقشه‌های پیشنهادی GIS می‌توانست گامی مؤثر در بهبود مدیریت مجموعه باشد، به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات زیرساختی مانند تأسیسات برقی، شبکه آبرسانی و سایر داده‌های فنی، و همچنین عدم امکان برگزاری جلسات با کارشناسان مسئول مجموعه، این برنامه به مرحله اجرا نرسید. این مسئله نشان‌دهنده اهمیت هماهنگی میان بخش‌های مختلف اجرایی، تخصصی و تصمیم‌ساز است. در نهایت، پیشنهاد می‌شود که در آینده نزدیک، از ظرفیت فناوری‌های جدید مانند هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، واقعیت افزوده و مجازی، اینترنت اشیا، بلاک‌چین و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان تاریخی (HBIM) استفاده شود. این فناوری‌ها می‌توانند در مستندسازی دقیق، پیگیری لحظه‌ای وضعیت، حفاظت هوشمند و مدیریت یکپارچه آثار تاریخی نقشی کلیدی ایفا کنند و موجب ارتقاء سطح بهره‌وری و کارایی در نگهداری میراث فرهنگی شوند.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت برابر مشارکت داشته‌اند.

در این پژوهش، به‌منظور دستیابی به مدیریت بهتر محوطه تاریخی هگمتانه، مجموعه‌ای از داده‌های میدانی، شامل تصاویر دقیق و پرسش‌نامه‌ها جمع‌آوری شد. این داده‌ها به‌عنوان پایه‌ای برای تحلیل‌های بعدی، به‌ویژه در بخش نرم‌افزاری استفاده شدند. در این مرحله، موقعیت دقیق محوطه با استفاده از خروجی‌های مدل سه‌بعدی و نقشه‌های تهیه‌شده از منابع مختلف بررسی شد و مشکلات، ناهماهنگی‌ها و اشکالات موجود در تطابق اطلاعات مکانی شناسایی گردید. در این میان، استفاده از ابزارهایی مانند گلوبال مپر و اجی سافت متاشیپ به‌عنوان روش‌های کاربردی و دردسترس، نقش مهمی در تحلیل و مدیریت آثار باستانی ایفا کرده است. این رویکرد ترکیبی، اطلاعات دقیق و جامعی از وضعیت فعلی محوطه فراهم آورد که می‌تواند زمینه‌ساز تصمیم‌گیری‌های علمی در زمینه‌های مرمت، حفاظت، مدیریت و حتی برنامه‌ریزی گردشگری باشد. اطلاعات حاصل نه تنها درک بهتری از ساختار فضایی محوطه ایجاد کردند، بلکه بستری برای مستندسازی دقیق، پیگیری تغییرات و برنامه‌ریزی بلندمدت فراهم نمودند. با این حال، در کنار مزایای این روش‌ها، چالش‌هایی نیز وجود دارد؛ از جمله نیاز به نظارت پیوسته و دقیق، لزوم مستندسازی علمی و دقیق داده‌ها، حفظ اصالت و هویت تاریخی محوطه، و پاسخ‌گویی به نیازهای واقعی و به‌روز آن. این عوامل باید هم‌زمان در نظر گرفته شوند تا نتایج حاصل از پژوهش‌ها و اقدامات اجرایی از کارایی و ماندگاری لازم برخوردار باشند. برای بهره‌برداری درست و حفظ اصالت تاریخی محوطه هگمتانه، اتخاذ رویکردی جامع، علمی و میان‌رشته‌ای ضروری است؛ رویکردی که نه تنها

[11] Ross SA, Sobotkova A, Burgers GJ. Remote Sensing and Archaeological Prospection in Apulia, Italy. *Journal of Field Archaeology*. 2009; 36(3): 191–206. doi: 10.1179/009346909791070826.

[12] Buttingsrud B, A.-C. B, Laboratory I. Superresolution of Hyperspectral Images. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2006; 84(1): 62–68. doi: 10.1016/j.chemolab.2006.04.014.

[13] Liu L, Jing Y. Hyperspectral Remote Sensing Images Terrain Classification in DCT SRDA Subspace. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*. 2015; 22(1): 65–71. doi: 10.1016/S1005-8885(15)60626-4.

[14] Sever TL. Remote Sensing Methods. In *Science and Technology in Historic Preservation*. New York, NY, USA: Springer. 2000; 23–40. doi: 10.1007/978-1-4615-4145-5_2.

[15] Tong Q, Xue Y, Zhang L. Progress in Hyperspectral Remote Sensing Science and Technology in China Over the Past Three Decades. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 2014. doi: 10.1109/JSTARS.2013.2267204.

[16] Vasco G, et al. Development of a Hyperspectral Imaging Protocol for Painting Applications at the University of Seville. *Heritage*. 2024; 7(1). doi: 10.3390/HERITAGE7110281/S1.

[17] Di Benedetto A, de Almieda Nieto LM, Candeo A, Valentini G, Comelli D, Alfeld M. Multivariate Analysis on Fused Hyperspectral Datasets Within Cultural Heritage Field. *EPJ Web of Conferences*: 2024 July; EDP Sciences. pp. 14007. doi: 10.1051/EPJCONF/202430914007.

[18] Wang Y, et al. Spectral Unmixing of Pigments on Surface of Painted Artefacts Considering Spectral Variability. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*: 2024 July. pp. 403–410. doi: 10.5194/ISPRS-ANNALS-X-4-2024-403-2024.

[19] Martinelli E, et al. Use of Hyperspectral Imaging to Monitor the Effectiveness of Plasma-Generated Atomic Oxygen for Non-Contact Cleaning of Indigo Dyed Silk. *EPJ Web of Conferences*: 2024 July; EDP Sciences. pp. 14008. doi: 10.1051/EPJCONF/202430914008.

[20] Srivastava S, Rastogi V, Jaiswal G, Sharma A. Hyperspectral Imaging in Document Forgery. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. Springer, Singapore. 2022; 105–115. doi: 10.1007/978-981-16-6289-8_11.

[21] Khan MAA, Haider G, Khan A. Hyperspectral Document Image Analysis Using Unsupervised Learning. *Authorea Preprints*. Authorea. 2023; 1–5. doi: 10.36227/TECHRXIV.23303918.V1.

[22] Pallocci M, et al. Forensic Applications of Hyperspectral Imaging Technique: A Narrative Review. *Medico-legal Journal*. 2022; 90: 216–220. doi: 10.1177/00258172221105381.

تشکر و قدرانی

بدین‌وسیله از کلیه عزیزانی که ما را در انجام این تحقیق یاری کردند، صمیمانه تشکر می‌کنیم

تعارض و منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع و مآخذ

[1] J. H. Stubbs and K. L. R. McKee, "Applications of Remote Sensing to the Understanding and Management of Cultural Heritage Sites," *Geoscience and Remote Sensing*, vol. 56, no. 4, pp. 23–30, 2014. doi: 10.1109/TGRS.2013.2277817.

[2] Uslu Koçyiğit F, Durduran SS, Alkan T. Creating Geographical Information System Database with Unmanned Aerial Vehicles in Archaeological Areas; The Case of Anemurium Ancient City. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*. 2022; 10(3): 831–843. doi: 10.21923/JESD.999829.

[3] Verhagen P. *Spatial Analysis in Archaeology: Moving into New Territories*. Springer, Cham. 2018. doi: 10.1007/978-3-319-25316-9_2.

[4] Reddy GPO. *Spatial Data Management, Analysis, and Modeling in Geographical Information System: Principles and Applications*. Springer, Cham. 2018; 127–142. doi: 10.1007/978-3-319-78711-4_7.

[5] Al-Ruzouq R, Abu Dabous S. Archaeological Site Information Modelling and Management Based on Close-Range Photogrammetry and Geographical Information System. *Conservation and Management of Archaeological Sites*. 2017; 19(3): 156–172. doi: 10.1080/13505033.2017.1343061.

[6] Ivanova K, Dobрева M, Stanchev P, Vanhoof K. Discovery and use of art images on the web: an overview. 3rd International Conference dedicated on Digital Heritage (EuroMed2010): 2010 November 8–13: Limassol, Cyprus.

[7] Van Riel S. Exploring the use of 3D GIS as an analytical tool in archaeological excavation practice [master's thesis]. Lund: Lund University; 2016.

[8] Verhoeven G. Taking Computer Vision Aloft – Archaeological Three-Dimensional Reconstructions from Aerial Photographs with Photoscan. *Archaeological Prospection*. 2011; 18: 67–73. doi: 10.1002/ARP.399.

[9] Marchi ML. The Archaeologic Map and GIS in Ancient Topography Researches: The 'Carta Archeologica d'Italia—Forma Italiae' Project. *Journal of Earth Science and Engineering*. 2015; 5(6). doi: 10.17265/2159-581x/2015.06.006.

[10] Doneus M, Verhoeven G, Atzberger C, Wess M, Ruš M. New Ways to Extract Archaeological Information from Hyperspectral Pixels. *Journal of Archaeological Science*. 2014. Elsevier.

[36] Hamedan Cultural Heritage, Tourism, and Handicrafts Department. [Accessed 19th December 2024].

[37] Public Relations of Hamedan Cultural Heritage. [Accessed 11th January 2025].

[38] Google Earth. [Accessed 11th January 2025].

[23] Ludvigsen M, Johnsen G, Ødegård Ø, Mogstad AA, Sørensen AJ. Underwater Hyperspectral Imaging: A New Tool for Marine Archaeology. *Applied Optics*. 2018; 57(12): 3214-3223. doi: 10.1364/AO.57.003214.

[24] MacDonald LW, et al. Assessment of Multispectral and Hyperspectral Imaging Systems for Digitisation of a Russian Icon. *Heritage Science*. 2017. doi: 10.1186/S40494-017-0154-1/FIGURES/14.

[25] Farsi Madan M, Haji Zadeh Bastani K, Shahbazi Shirani H, Alizadeh Sola M. [Application of photogrammetry in documentation of inscriptions on historical buildings: A case study of the dome of the Sheikh Safi al-Din Ardabili shrine]. *Journal of Research on Archaeometry*. 2021; 6(2): 251. [In Persian] doi: 10.29252/jra.6.2.251.

[26] Miri Ahoodashti M, Niknami K. [Introduction to satellite remote sensing systems and their applications in archaeology: Case study of Behshahr Plain - Mazandaran]. *Journal of Research on Archaeometry*. 2020; 6(1): 1-10. [In Persian] doi: 10.29252/JRA.6.1.1.

[27] Sadeghian S, Rajabi A, Farokhi M. [Investigation of Changes in the Ancient Areas of Hegmataneh of Hamadan using Remote Sensing and Spatial Information System]. *Athar*. 2019; 40(3): 148. [In Persian] doi:10.30699/athar.40.3.148.

[28] Salek R, Sadeghian S, Javadi M. Hyperspectral images as a new approach for cultural heritage documentation. *Shaheed Rajai Teacher Training University*. 2018. [In Persian].

[29] Apostolou G, et al. Integrating Legacy Survey Data into GIS-Based Analysis: The Rediscovery of the Archaeological Landscapes in Grevena (Western Macedonia, Greece). *Archaeological Prospection*. 2024. doi: 10.1002/ARP.1926.

[30] Kuzyk Z. The Use of Modern Measurement Methods in the Inventory of Endangered Cultural Heritage Objects in Lviv. *Journal of Modern Technologies for Cultural Heritage Preservation*. 2023. doi: 10.69534/JMTCHP/191347.

[31] Smaczyński M, Lorek D, Zagata K, Horbiński T. Cultural Heritage With the Use of Low-Level Aerial Survey Techniques, Space Modelling and Multimedia Reconstruction of the Topographic Landscape (Example of a Windmill in Western Poland). *Journal of Cartography and Geographic Information*. 2022. doi: 10.1007/S42489-022-00122-6.

[32] Ciski M, Rzasa K, Ogryzek M. Use of GIS Tools in Sustainable Heritage Management—The Importance of Data Generalization in Spatial Modeling. *Sustainability*. 2019. doi: 10.3390/SU11205616.

[33] Wikipedia, The Free Encyclopedia. [Accessed 17th December 2024].

[34] National Cyberspace Center. [Accessed 19th December 2024].

[35] UNESCO World Heritage Centre. [Accessed 18th December 2024].

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



مهرنوش شریف‌زاده دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی نقشه‌برداری گرایش فتوگرامتری دانشگاه شهید بهشتی است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان شامل فتوگرامتری و سنجش از دور است که در این حوزه‌ها فعالیت‌های پژوهشی متعددی انجام داده و نتایج پژوهشی خود را در همایش‌ها و کنفرانس‌های علمی ارائه کرده است.

Sharifzadeh, M. Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

mehrnoushsharifzadeh@gmail.com



علیرضا قراگوزلو دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید بهشتی، یک متخصص برجسته و فعال در زمینه محیط‌زیست و سیستم اطلاعات مکانی است. آثار او شامل بیش از ۵۵ مقاله کنفرانسی، ۲۹ مقاله ژورنالی و ۱۰ کتاب است. وی عضو هیئت مدیر انجمن متخصصان محیط‌زیست ایران و همچنین عضو کمیسیون تخصصی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی وزارت علوم و تحقیقات فناوری هستند.

Gharagozlo, A . Associate professor at the Department of Surveying Engineering, Faculty of civil, water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

a_gharagozlo@sbu.ac.ir



سعید صادقیان دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید بهشتی، دارای مدرک دکتری از دانشگاه تهران در رشته مهندسی نقشه‌برداری فتوگرامتری است. وی علاوه بر تدریس در دانشگاه دارای سوابق علمی و اجرایی بسیاری نیز است. او

به‌عنوان عضو هیئت تحریریه نشریه علمی پژوهش‌های سنجش از دور و اطلاعات مکانی فعالیت دارد و تجربه ریاست آموزشکده نقشه‌برداری

Sadeghian, S. Gharagozlo, A . Associate professor at the Department of Surveying Engineering, Faculty of civil, waterb and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran,Iran.

✉ sa_sadeghian@sbu.ac.ir

سازمان نقشه‌برداری کشور در بازه زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ را نیز دارا است.

Citation (Vancouver): Sharifzadeh M, Gharagozlo A, Sadeghian S. [Spatial modeling for optimal management of archaeological sites using photogrammetry and spatial information systems (Study area: Hegmataneh, Hamadan)]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2025; 3(1): 37-52

 <https://doi.org/10.22061/jrsgr.2025.11863.1097>



COPYRIGHTS

© 2025 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)