



ORIGINAL RESEARCH PAPER

3D Modeling of Shir-Qaleh Castle in Shahmirzad Using UAV-Based Photogrammetry; With an Approach to Documentation, Conservation, Restoration, and Cultural Heritage Zoning

A. Shahsavari Baboukani¹, S. Sadeghian^{*1}, A. Vafaeinejad¹, D. Sedighpour²¹ Department of Geoinformation and Geomatics Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran² Faculty of Conservation and Restoration, University of Art, Isfahan, Iran

ABSTRACT

Received: 11 April 2025
Reviewed: 20 May 2025
Revised: 01 July 2025
Accepted: 26 August 2025

KEYWORDS:

3D Modeling
Photogrammetry
Drone
Cultural Heritage
Documentation

* Corresponding author

✉ sa_sadeghian@sbu.ac.ir

☎ (+98912) 3505745

Background and Objectives: Three-dimensional modeling and documentation of immovable cultural heritage, especially in the fields of conservation, restoration, and sustainable management of these assets, play a significant role in preserving the historical and cultural identity of communities. This approach not only enables precise and comprehensive recording of the physical and spatial characteristics of historical buildings and sites but also provides a scientific basis for comparative analyses, defining heritage boundaries, damage assessment, and designing restoration programs. Utilizing technologies such as drone-based photogrammetry, as a non-destructive, accurate, and rapid method, allows for comprehensive data acquisition of historical and natural structures with minimal human intervention, facilitating documentation, analysis, and conservation/restoration planning processes. One of the notable advantages of this method is the significant reduction in costs and execution time compared to other surveying and documentation techniques, making it a cost-effective and efficient option.

The importance of this method increases in areas with challenging geographical conditions, including mountainous, inaccessible, or restricted-access regions, as it enables precise data collection without the need for prolonged onsite presence. Therefore, drone-based photogrammetry can be considered an innovative and practical solution for recording, conserving, and optimizing planning in projects related to cultural heritage.

Methods: This research was conducted in three stages: library, field, and office. In the library stage, basic information regarding the historical background, geographical location, and condition of the studied site was collected. In the field stage, ground control points were first surveyed using a dual-frequency satellite positioning receiver, and their precise coordinates were recorded to enable data georeferencing. Then, to capture accurate data of the target area, a DJI Mavic Mini 2 drone was used for aerial photography. During several planned flights, the drone captured a series of high-resolution aerial images from different angles of the castle and its surrounding environment. The images were acquired with appropriate overlap (80% longitudinal and 50% lateral) to enable accurate three-dimensional modeling.

Findings: Following the completion of field data collection and office-based processing, a set of high-accuracy and high-quality digital products was generated, serving the objectives of the research in documentation, restoration, and conservation of cultural heritage. These products included a precise 3D model of the castle structure, a digital elevation model (DEM) representing surface topography, a high-resolution Ortho mosaic map with geometric corrections, and a 2D plan illustrating the dimensions and spatial layout of architectural elements. The accuracy assessment of the 3D model, conducted using ground control points (GCPs) measured around the study site, revealed planimetric and vertical errors of 2.4 cm and 1.9 cm, respectively, indicating a high level of precision in the final results. Additionally, a topographic map featuring contour lines and a comprehensive site map encompassing all natural and man-made features within the study area were produced. These data provide a solid foundation for environmental analyses, boundary delineation, and risk assessments, effectively supporting processes related to the conservation, restoration, and sustainable management of cultural heritage.

Conclusion: The use of drone-based photogrammetry in the documentation and three-dimensional modeling of cultural heritage, as a non-destructive, accurate, and cost-effective method, has brought a remarkable transformation in the approaches to recording and conserving historical sites. This technology, utilizing high-resolution aerial images and image processing techniques, enables the production of precise three-dimensional models of buildings, sites, and cultural structures. The resulting data not only provides a realistic digital representation of the current condition of the heritage assets but also serves as a reliable basis for specialized analyses, conservation and restoration planning, and legal documentation. One of the key applications of these data is the preparation of a three-dimensional cadastral system for cultural heritage; a process in which spatial, descriptive, and ownership information of historical assets is organized in an integrated and digital format. The 3D cadaster, relying on accurate models generated by photogrammetry, facilitates advanced spatial management, precise delineation of heritage boundaries, monitoring of changes, and prevention of encroachments or environmental damages. Particularly in areas with dense historical fabric or complex topographic conditions, this information can play a central role in managerial and legal decision-making.



NUMBER OF REFERENCES
32



NUMBER OF FIGURES
10



NUMBER OF TABLES
2

مقاله پژوهشی

مدلسازی سه‌بعدی شیرقلعه شه‌میرزاد با استفاده از فتوگرامتری پهپادمبنا؛ با رویکرد مستندسازی، حفاظت، مرمت و تعیین حریم میراث فرهنگی

ابوالفضل شه‌سواری بابوکانی^۱، سعید صادقیان^{۱*}، علیرضا وفائی‌نژاد^۱، داود صدیق‌پور^۲

^۱ گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲ دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: مدلسازی سه‌بعدی و مستندسازی میراث فرهنگی غیرمنقول، به‌ویژه در زمینه حفاظت، مرمت و مدیریت پایدار این آثار، نقش بسزایی در حفظ هویت تاریخی و فرهنگی جوامع ایفا می‌کند. این رویکرد نه تنها امکان ثبت دقیق و جامع ویژگی‌های کالبدی و فضایی بناها و محوطه‌های تاریخی را فراهم می‌سازد، بلکه بستری علمی برای تحلیل‌های تطبیقی، تعیین حریم آثار، ارزیابی آسیب‌ها و طراحی برنامه‌های مرمتی فراهم می‌آورد. بهره‌گیری از فناوری‌هایی نظیر فتوگرامتری پهپادمبنا، به‌عنوان روشی غیرمخرب، دقیق و سریع، امکان ثبت اطلاعات جامع از ساختارهای تاریخی و طبیعی را با حداقل دخالت انسانی فراهم کرده و موجب تسهیل در فرآیندهای مستندسازی، تحلیل و برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و مرمتی می‌شود. یکی از مزایای برجسته این روش، کاهش چشمگیر هزینه‌ها و زمان اجرایی نسبت به روش‌های دیگر برداشت و مستندسازی است که آن را به گزینه‌ای مقرون‌به‌صرفه و کارآمد بدل می‌سازد. اهمیت این روش در مناطقی با شرایط جغرافیایی دشوار، از جمله نواحی کوهستانی، صعب‌العبور یا دارای محدودیت دسترسی، دوچندان می‌شود؛ چراکه امکان برداشت داده‌های دقیق بدون نیاز به حضور طولانی‌مدت در محل را فراهم می‌کند. بدین ترتیب، فتوگرامتری پهپادمبنا می‌تواند به عنوان راهکاری نوین و عملیاتی برای ثبت، حفاظت و برنامه‌ریزی بهینه در پروژه‌های مرتبط با میراث فرهنگی مورد استفاده قرار گیرد.

روش‌ها: این پژوهش در سه مرحله کتابخانه‌ای، میدانی و دفتری انجام پذیرفت. در مرحله کتابخانه‌ای، اطلاعات پایه‌ای درباره پیشینه تاریخی، موقعیت جغرافیایی و وضعیت سایت مورد مطالعه گردآوری شدند. در مرحله میدانی، ابتدا نقاط کنترل زمینی با استفاده از گیرنده تعیین موقعیت ماهواره‌ای سه‌فرکانسه برداشت و مختصات

تاریخ دریافت: ۲۲ فروردین ۱۴۰۴

تاریخ داوری: ۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۴

تاریخ اصلاح: ۱۰ تیر ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۰۴ شهریور ۱۴۰۴

واژگان کلیدی:

مدلسازی سه‌بعدی

فتوگرامتری

پهپاد

میراث فرهنگی

مستندسازی

* نویسنده مسئول

sa_sadeghian@sbu.ac.ir

۰۹۱۲-۲۵۰۵۷۴۵ ①

دقیق آن‌ها ثبت گردید تا امکان هم‌مرجع‌سازی داده‌ها فراهم شود. سپس، به منظور برداشت داده‌های دقیق از محدوده مورد نظر، از پهپاد *DJI Mavic Mini 2* برای تصویربرداری هوایی استفاده شد. پهپاد طی چند پرواز برنامه‌ریزی‌شده، مجموعه‌ای از تصاویر هوایی با وضوح بالا از زوایای مختلف قلعه و محیط پیرامون آن ثبت کرد. تصاویر با همپوشانی مناسب (۸۰ درصد طولی و ۵۰ درصد عرضی) برداشت گردیده شد تا امکان مدل‌سازی سه‌بعدی دقیق فراهم گردد.

یافته‌ها: پس از انجام مراحل برداشت میدانی و پردازش‌های دفتری، مجموعه‌ای از محصولات رقومی با دقت و کیفیت بالا تولید شد که در راستای اهداف تحقیق در زمینه مستندسازی، مرمت و حفاظت میراث فرهنگی کاربرد دارند. این محصولات شامل مدل سه‌بعدی دقیق از ساختار قلعه، مدل رقومی ارتفاعی نمایش‌دهنده ارتفاعات سطح زمین، نقشه ارتوموزائیک با وضوح بالا و اصلاح‌شده از نظر هندسی، و همچنین پلان دوبعدی بازنمایی‌کننده ابعاد و موقعیت عناصر معماری بود. ارزیابی دقت مدل سه‌بعدی با استفاده از نقاط کنترل زمینی برداشت‌شده در اطراف سایت نشان داد که خطای مسطحاتی و ارتفاعی مدل به ترتیب برابر با ۲.۴ و ۱.۹ سانتی‌متر بوده که بیانگر دقت بالای نتایج حاصل است. افزون بر این، نقشه توپوگرافی همراه با نمایش منحنی‌های میزان و نیز نقشه نهایی سایت شامل کلیه عوارض طبیعی و مصنوعی موجود در محدوده مطالعه تهیه شد. این اطلاعات، بستر مناسبی برای انجام تحلیل‌های محیطی، تعیین حدود حریم سایت و ارزیابی مخاطرات فراهم آورده و نقش مؤثری در فرآیندهای حفاظت، مرمت و مدیریت پایدار میراث فرهنگی ایفا می‌کند.

نتیجه‌گیری: استفاده از فتوگرامتری پهپادمبنا در مستندسازی و مدلسازی سه‌بعدی میراث فرهنگی، به‌عنوان یک روش غیرمخرب، دقیق و مقرون‌به‌صرفه، تحولی چشم‌گیر در شیوه‌های ثبت و حفاظت آثار تاریخی ایجاد کرده است. این فناوری با بهره‌گیری از تصاویر هوایی با وضوح بالا و تکنیک‌های پردازش تصویر، امکان تولید مدل‌های سه‌بعدی دقیق از بناها، محوطه‌ها و ساختارهای فرهنگی را فراهم می‌آورد. داده‌های حاصل نه تنها بازنمایی رقومی واقع‌گرایی‌ناهنای از وضعیت موجود آثار ارائه می‌دهند، بلکه پایه‌ای قابل اعتماد برای تحلیل‌های تخصصی، برنامه‌ریزی حفاظتی و مرمتی و تهیه مستندات حقوقی محسوب می‌شوند. یکی از کاربردهای کلیدی این داده‌ها، تهیه کاداستر سه‌بعدی میراث فرهنگی است؛ فرآیندی که در آن اطلاعات مکانی، توصیفی و مالکیتی آثار تاریخی در قالبی یکپارچه و رقومی سازمان‌دهی می‌گردد. کاداستر سه‌بعدی با تکیه بر مدل‌های دقیق تولیدشده از فتوگرامتری، امکان مدیریت فضایی پیشرفته، تعیین دقیق حریم آثار، پایش تغییرات و پیشگیری از تجاوزات یا آسیب‌های محیطی را فراهم می‌سازد. به‌ویژه در مناطق با بافت تاریخی متراکم یا شرایط توپوگرافی پیچیده، این اطلاعات می‌توانند نقش محوری در تصمیم‌سازی‌های مدیریتی و حقوقی ایفا کنند.

مقدمه

ارکان اساسی در حفاظت پیشگیرانه، برنامه‌ریزی‌های مرمتی و مدیریت یکپارچه میراث، از اهمیت مضاعفی برخوردار می‌شود [۶]. تولید و بهره‌گیری از مدل‌های سه‌بعدی سایت‌های باستانی با اهداف متعددی صورت می‌گیرد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مستندسازی دقیق، حفاظت از آثار، برنامه‌ریزی برای مرمت و بازسازی، تعیین حریم و حدود قانونی محوطه‌های تاریخی و همچنین تسهیل در انجام مطالعات پژوهشی و آموزشی اشاره نمود [۷]. مستندسازی آثار تاریخی غیرقابل انتقال (غیرمنقول) یکی از مهم‌ترین اقدامات در مسیر حفاظت و نگهداری از میراث فرهنگی است [۸]. این فرآیند بسته به نوع اثر، موقعیت مکانی، شرایط فیزیکی و میزان دقت مورد انتظار، با استفاده از روش‌ها و ابزارهای متنوعی انجام می‌شود. برای دستیابی به نتایج مطلوب، برنامه‌ریزی مناسب و انتخاب شیوه‌ای متناسب با ویژگی‌های اثر، امری ضروری است [۹]. روش‌های سنتی مانند نقشه‌برداری کلاسیک، اندازه‌گیری دستی و دیگر شیوه‌های ابتدایی، اگرچه ساده و کم‌هزینه هستند، اما دقت محدودی دارند و اجرای آن‌ها به مهارت شخصی و زمان زیادی نیاز دارد. به‌ویژه در مورد آثار با فرم‌های پیچیده و جزئیات ظریف، این روش‌ها چندان کارآمد نیستند [۱۰]. با پیشرفت

کشور عزیزمان ایران به‌واسطه موقعیت جغرافیایی منحصر به فرد خود، همواره بستر شکل‌گیری، تعامل و تلاقی تمدن‌های بزرگ بوده است. این جایگاه تاریخی و فرهنگی موجب شده است تا در بستر تاریخی چند هزار ساله این سرزمین، میراثی غنی، متکثر و بی‌بدیل از آثار تاریخی، معماری‌های ارزشمند، هنرهای بومی و نمادهای فرهنگی شکل گیرد [۱]. این گنجینه عظیم، نه تنها نشانگر هویت و ریشه‌های تاریخی ملت ایران است، بلکه بخشی از حافظه تاریخی بشر به‌شمار می‌آید که حفاظت و انتقال آن به آیندگان، وظیفه‌ای جهانی تلقی می‌شود [۲]. با این حال، میراث فرهنگی با تهدیدهای گوناگونی مواجه است. این تهدیدها شامل عوامل طبیعی مانند فرسایش تدریجی مصالح، تغییرات اقلیمی، زلزله، سیلاب و آتش‌سوزی و همچنین عوامل انسانی نظیر جنگ، توسعه بی‌برنامه شهری، مداخلات غیرتخصصی و بهره‌برداری نادرست می‌شوند. چنین شرایطی می‌تواند به آسیب‌هایی جدی و گاه جبران‌ناپذیر در ساختار، ارزش‌های زیبایی‌شناختی و اصالت آثار فرهنگی منجر شوند [۳، ۴، ۵]. در چنین شرایطی، مستندسازی دقیق، نظام‌مند و علمی آثار فرهنگی، به‌عنوان یکی از

تجهیزات و امکان ذخیره‌سازی و آرشیو اطلاعات برای تحلیل‌های دوره‌ای، این روش را به گزینه‌ای کارآمد و هوشمندانه در پروژه‌های مستندسازی تبدیل شده است [۱۶، ۲۲]. در نهایت، مدل‌سازی سه‌بعدی حاصل از این فرآیند، نه تنها بهینه‌سازی و تسهیل عملیات مستندسازی را به همراه دارد، بلکه زمینه‌ای علمی و کاربردی برای انجام تحلیل‌های تطبیقی، اجرای مرمت اصولی، توسعه گردشگری مجازی و آموزش‌های تخصصی در حوزه‌های فرهنگ و تاریخ فراهم می‌آورد [۲۳، ۲۴]. این رویکرد فناورانه، آینده‌نگر و اقتصادی، پاسخی دقیق و علمی به نیاز روزافزون حفاظت از میراث ارزشمند انسانی در برابر تهدیدهای فزاینده طبیعی و انسانی است [۲۵].

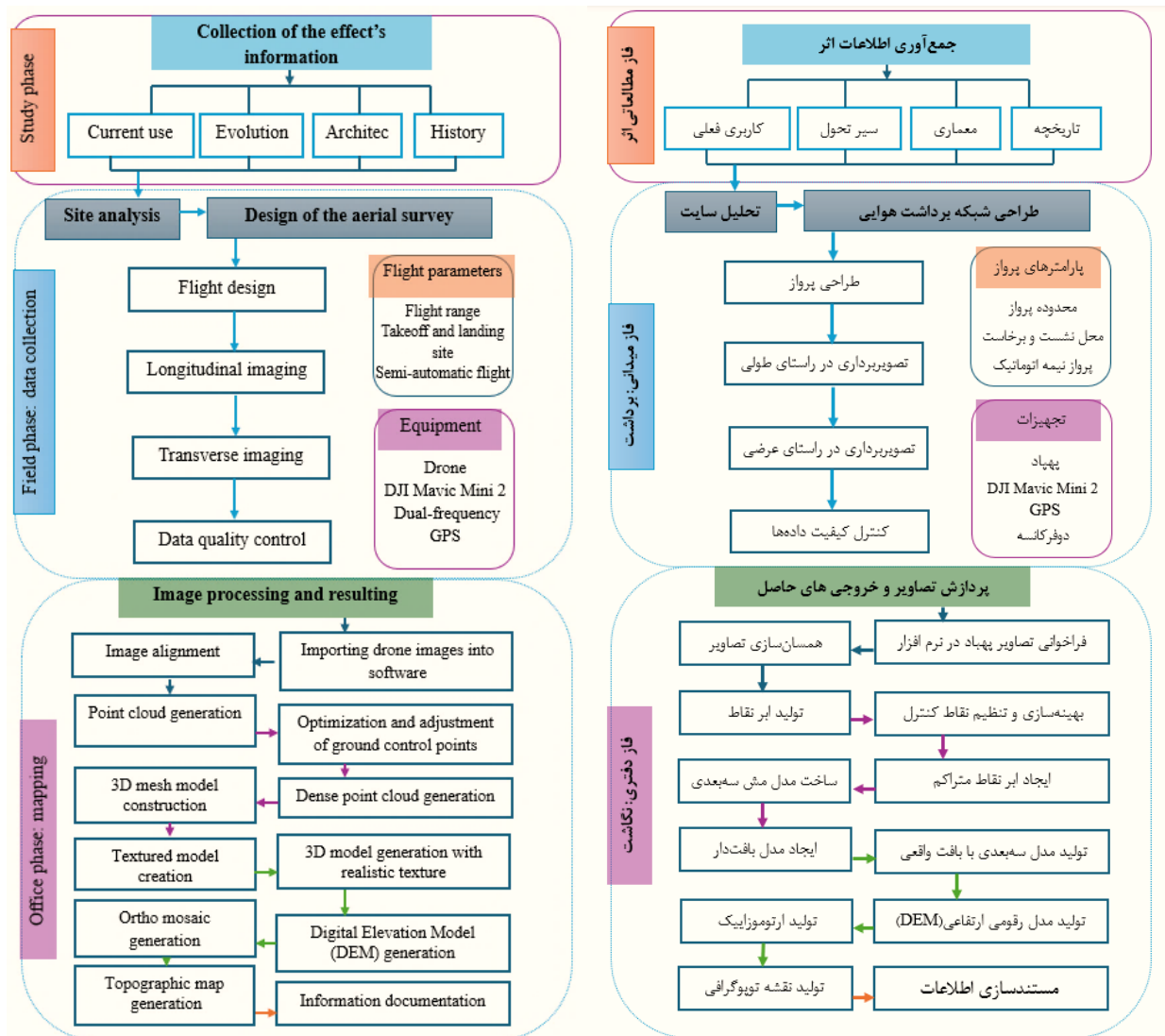
روش تحقیق

این پژوهش از نوع کاربردی بوده و در سه مرحله‌ی اصلی شامل مطالعات کتابخانه‌ای، میدانی و دفتری به انجام رسیده است. هدف اصلی این تحقیق، مدل‌سازی سه‌بعدی و مستندسازی اطلاعات مکان تاریخی - باستانی شیرقلعه شه‌میرزاد می‌باشد. در این راستا، ابتدا اطلاعات اولیه با مرور منابع مکتوب و مطالعات پیشین گردآوری شده، سپس داده‌های مورد نیاز به‌صورت میدانی از طریق تصویربرداری هوایی با استفاده از پهپاد تهیه گردیده و در نهایت در محیط‌های نرم‌افزاری پردازش و تحلیل شده‌اند. ساختار کلی انجام این پژوهش در شکل شماره (۱) ارائه شده و شامل تمامی مراحل از داده‌برداری تا تولید محصولات نهایی نظیر مدل سه‌بعدی، نقشه‌های ارتوموزاییک، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و مستندات معماری می‌باشد. مدل سه‌بعدی حاصل، به‌عنوان پایه‌ای برای مستندسازی رقومی و دقیق بنای تاریخی و محیط اطراف آن در نظر گرفته شده است، به‌گونه‌ای که بتوان از آن در فرآیندهای مرمت، بازسازی و حفاظت از میراث فرهنگی بهره‌برداری نمود. این اقدام، نقش مهمی در حفظ اطلاعات معماری، تاریخی و فرهنگی قلعه برای نسل‌های آینده ایفا خواهد کرد.

مرحله مطالعاتی

در مرحله مطالعات کتابخانه‌ای، اطلاعات جامع و مستندی در خصوص تاریخچه، ویژگی‌های معماری و سیر تحول قلعه تاریخی شه‌میرزاد گردآوری شد. این مرحله با هدف شناخت دقیق‌تر پیشینه فرهنگی و معماری بنا و فراهم‌سازی بستر نظری مناسب برای فازهای بعدی پژوهش انجام گرفت. در ادامه، موقعیت مکانی قلعه و همسایگی‌های پیرامونی آن نیز مورد تحلیل قرار گرفت تا درک کاملی از بستر استقرار اثر به‌دست آید. بر اساس داده‌های به‌دست آمده از منابع مکتوب، نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای، طرح اولیه‌ای از ساختار کلی قلعه ترسیم شد. این طرح به‌عنوان مبنای اولیه برای برداشت میدانی مورد استفاده قرار گرفت و موجب افزایش دقت و بهره‌وری در مرحله بازدید حضوری از سایت اثر گردید.

و گسترش فناوری‌ها و نیاز به مستندسازی دقیق‌تر و سریع‌تر، استفاده از ابزارهای پیشرفته‌تر در این حوزه رایج شده است. این ابزارها که اغلب غیرمخرب، سریع و مقرون‌به‌صرفه هستند، امکان ثبت اطلاعات کامل‌تری از آثار تاریخی را فراهم می‌کنند. همچنین، داده‌های رقومی به‌دست آمده از این روش‌ها، قابلیت نگهداری، تحلیل و بازتولید مجازی را نیز دارند [۱۱]. در این میان، فناوری‌های نوین همچون سنجش از دور، فتوگرامتری و اسکن لیزری، ابزارهایی کارآمد برای مستندسازی دقیق، تهیه نقشه‌های مهندسی و پلنک‌های اطلاعاتی جامع از آثار فرهنگی و تاریخی فراهم ساخته‌اند. از جمله این روش‌ها، فتوگرامتری یکی از مؤثرترین و منعطف‌ترین تکنیک‌ها در مستندسازی آثار تاریخی به‌شمار می‌آید [۱۲]. بر اساس تعریف انجمن فتوگرامتری و سنجش از دور آمریکا، فتوگرامتری به‌عنوان علم، هنر و فناوری ای است که هدف آن استخراج اطلاعات دقیق و قابل اطمینان از اجسام و پدیده‌های فیزیکی و محیطی است. این فرآیند از طریق ثبت، اندازه‌گیری و تفسیر تصاویر و الگوهای انرژی تابشی الکترومغناطیسی انجام می‌گیرد [۱۳]. فتوگرامتری، به‌عنوان روشی مبتنی بر تصویر، این امکان را فراهم می‌سازد که با استفاده از دو یا چند تصویر گرفته‌شده از زوایای مختلف نسبت به یک نمای ثابت، موقعیت و ویژگی‌های هندسی اجسام را با دقت بالا تعیین و بازسازی کند [۱۵]. این روش با استفاده از تصاویر برداشت‌شده و پردازش آن‌ها، امکان تولید مدل‌های دقیق سه‌بعدی، استخراج اطلاعات هندسی و بافتی و ایجاد نقشه‌های به‌روز از وضعیت کنونی بناها را فراهم می‌سازد [۱۴]. ویژگی‌هایی همچون عدم نیاز به تماس فیزیکی با سازه، امکان ثبت هم‌زمان بافت، رنگ، فرم و ابعاد، قابلیت ذخیره‌سازی و بازتحلیل تصاویر در زمان‌های مختلف و نیز دقت بالا در بازسازی ساختارهای هندسی، فتوگرامتری را به ابزاری بی‌بدیل در این حوزه تبدیل نموده است [۱۵]. با وجود مزایای متعدد، فتوگرامتری کلاسیک در برخی شرایط با محدودیت‌هایی روبه‌رو است؛ به‌ویژه زمانی که دسترسی مستقیم به اجزای بنا یا عوارض موردنظر دشوار یا خطرناک باشد [۱۶]. با این حال، توسعه فناوری فتوگرامتری رقومی و ادغام آن با پهپادها، این موانع را تا حد زیادی برطرف کرده است [۱۷]. پهپادهای مجهز به دوربین‌های متریک یا غیرمتریک با قابلیت تصویربرداری با وضوح بالا از زوایای مختلف و ارتفاعات کم، توانسته‌اند امکان برداشت سریع، دقیق و مقرون‌به‌صرفه اطلاعات را در فضاهای محدود یا صعب‌العبور فراهم آورند [۱۸]. فتوگرامتری مبتنی بر پهپاد، با تلفیق مزایای فتوگرامتری برد کوتاه و تصویربرداری هوایی، به یکی از کارآمدترین ابزارها در مستندسازی میراث فرهنگی تبدیل شده است [۱۹، ۲۰]. این فناوری با فراهم آوردن امکان پرواز در ارتفاع پایین، دسترسی آسان به زوایای دشوار و پیچیده، برداشت غیرتماسی و تولید مدل‌های سه‌بعدی با دقت بالا، تحولی بنیادین در شیوه‌های ثبت، تحلیل و حفاظت از آثار تاریخی ایجاد کرده است [۲۱]. علاوه بر دقت بالای داده‌های خروجی، ویژگی‌هایی نظیر هزینه اجرایی پایین، قابلیت انجام برداشت‌های مکرر، عدم نیاز به باند پروازی، سهولت در جابه‌جایی



شکل ۱: ساختار مدل‌سازی سه‌بعدی و مستندسازی سایت باستانی مورد نظر.

Fig. 1: Structure of 3D modeling and documentation of the targeted archaeological site.

مرحله میدانی

با حضور در محل قلعه، عملیات برداشت میدانی با هدف جمع‌آوری داده‌های دقیق و عینی برای فرآیند مدل‌سازی آغاز شد. در این مرحله، ابتدا نقاط کنترل زمینی (Ground Control Points) با استفاده از گیرنده سه فرکانسه تعیین موقعیت اندازه‌گیری گردید تا دقت مکانی تصاویر هوایی تضمین شود. به موازات آن، ویژگی‌های معماری قلعه و محیط پیرامونی آن با بهره‌گیری از پهپاد و از طریق تصویربرداری هوایی با هم‌پوشانی مناسب ثبت شد. این تصاویر، با پوشش کامل اجزای بنا از زوایای مختلف، داده‌های پایه مورد نیاز برای تولید محصولات نهایی پروژه را فراهم آوردند.

مرحله دفتری

در مرحله دفتری این پژوهش، فرآیند انتقال و سامان‌دهی تصاویر برداشت‌شده آغاز گردید. پیش از شروع پردازش، کلیه تصاویر به دقت مورد بازبینی قرار گرفتند تا نمونه‌های دارای کیفیت پایین، تکراری یا

نامناسب شناسایی شده و از مجموعه داده‌ها حذف شوند. این اقدام با هدف تضمین کیفیت داده‌های ورودی و بهینه‌سازی دقت و سرعت مراحل پردازش صورت گرفت. در گام بعد، تصاویر منتخب به نرم‌افزار تخصصی وارد شده و روند پردازش آغاز شد. در ابتدا، موقعیت دقیق نقاط کنترل زمینی (GCPs) در تصاویر تعیین و تثبیت گردید تا همبستگی مکانی بین تصاویر و مختصات واقعی زمین برقرار شود و شرایط لازم برای بازسازی هندسه سه‌بعدی دقیق فراهم آید. سپس با بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیشرفته فتوگرامتری و محاسبات دقیق ریاضی، اطلاعات سه‌بعدی از تصاویر استخراج شد. این داده‌ها مبنای تولید یک مدل سه‌بعدی واقع‌گرایانه و دقیق از قلعه تاریخی شه‌میرزاد قرار گرفتند. در ادامه، محصولات نهایی پروژه شامل مدل سه‌بعدی با بافت واقعی، مدل رقومی ارتفاعی (Digital Elevation Model)، نقشه‌های توپوگرافی و منحنی میزان و مستندسازی رقومی اطلاعات سایت و محیط اطراف آن تولید گردید.

پیشینه پژوهش

این حوزه اشاره کرد. وی در اوت ۱۹۳۵ میلادی (مرداد ۱۳۱۴ هجری شمسی) نخستین پرواز به منظور تهیه عکس‌های هوایی از مناطق باستانی ایران را با هدف مطالعات باستان‌شناسی انجام داد. مجموعه تصاویر هوایی گردآوری شده توسط او در فاصله سال‌های ۱۳۱۴ تا ۱۳۱۷ هجری شمسی، بعدها در قالب کتابی با عنوان پرواز بر فراز شهرهای باستانی ایران منتشر شد. این تصاویر که اکنون در موزه ایران باستان در تهران نگهداری می‌شوند، نه تنها از منظر فنی در تاریخ عکاسی هوایی کشور اهمیت دارند، بلکه از نظر علمی نیز نقطه آغازین استفاده نظام‌مند از تصاویر هوایی در شناسایی، مستندسازی و تحلیل میراث فرهنگی ایران به‌شمار می‌آیند [۱۳]. در جدول ۱، خلاصه‌ای از مشخصات تعدادی از پژوهش‌های داخلی و خارجی انجام شده در این زمینه ارائه شده است که شامل اهداف مطالعه، نوع پهپاد و سنسور مورد استفاده، نوع سایت تاریخی، خروجی‌های تولید شده و مزایا و محدودیت‌های مشاهده شده در هر تحقیق می‌باشد. این جدول، نمای کلی از رویکردهای علمی موجود و مسیرهای پژوهشی طی شده در حوزه مدلسازی سه‌بعدی آثار تاریخی با فناوری‌های نوین را ارائه می‌دهد.

استفاده از تصاویر هوایی به‌عنوان روشی برای مستندسازی میراث فرهنگی ابتدا در زمینه باستان‌شناسی مطرح شد و سپس به سایر حوزه‌ها گسترش یافت. نخستین تلاش‌ها برای استفاده از پهپادها (از نوع هلی کوپتر) به منظور اخذ تصاویر هوایی در فتوگرامتری معماری به پروژه تصویربرداری راه‌آهن معلق شهر ووپتال آلمان در سال ۱۹۸۰ بازمی‌گردد. در این پروژه، امکان استفاده از هلی کوپتر هدایت از راه دور برای حمل دوربین و گرفتن تصاویر هوایی استفاده شد. این روش در سال ۲۰۰۰ برای مستندسازی و مدل‌سازی سه‌بعدی یک آسیاب تاریخی در شهر آگینبورگ در شمال شرق استرالیا و همچنین برطرف کردن نواقص اطلاعاتی اخذ زمینی (مانند تصاویر بام) مورد استفاده قرار گرفت. در این پروژه، مدل‌های حاصل از تصاویر هوایی و زمینی با هم یکپارچه و شبکه‌بندی شدند که از نخستین نمونه‌های استفاده از پهپاد در فتوگرامتری معماری به‌شمار می‌آید [۱۱]. در زمینه بهره‌گیری از تصاویر هوایی برای مستندسازی و پژوهش در حوزه میراث فرهنگی ایران، می‌توان به فعالیت‌های پیشگامانه اریک فردریش اشمیت، باستان‌شناس آمریکایی، به‌عنوان نخستین گام‌های مؤثر در

جدول ۱: خلاصه‌ای برخی از مطالعات پیشین انجام شده توسط محققان، در حوزه فتوگرامتری مبتنی بر پهپاد و مدلسازی سه‌بعدی میراث فرهنگی.

Table1: A summary of selected previous studies conducted by researchers in the field of UAV-based photogrammetry and 3D modeling of cultural heritage.

ردیف Row	عنوان تحقیق Research title	نتایج Results
1	مدلسازی سه‌بعدی به‌منظور مستندنگاری، مرمت و تعیین حریم قلعه دولت‌آباد قم با استفاده از تصاویر پهپاد. 3D modeling for documentation, restoration, and boundary determination of Dolatabad Castle in Qom using drone imagery.	در این مطالعه، مدلسازی سه‌بعدی قلعه دولت‌آباد با هدف مستندسازی و مرمت آن انجام شد. در نهایت، با بهره‌گیری از نتایج حاصل، این اثر در فهرست آثار ملی به ثبت رسید [۱]. In this study, 3D modeling of Dolatabad Castle was carried out for the purpose of documentation and restoration. Ultimately, using the obtained results, this site was registered on the National Heritage List [1].
2	معرفی روش غیرمخرب فتوگرامتری در مطالعه و برداشت بناهای تاریخی. Introduction of the non-destructive photogrammetry method in the study and surveying of historical buildings.	در این مطالعه، کارایی فتوگرامتری به‌عنوان روشی غیرمخرب و دقیق برای مستندسازی و حفاظت از میراث فرهنگی مورد بررسی قرار گرفته است [۲]. In this study, the effectiveness of photogrammetry as a non-destructive and precise method for documenting and preserving cultural heritage has been examined [2].
3	کاربرد فتوگرامتری پهپادمبنا در مدلسازی سه‌بعدی سایت‌های باستانی. Application of drone-based photogrammetry in 3D modeling of archaeological sites.	در این مطالعه، مدلسازی سه‌بعدی پل حاج سید محمد، از آثار ملی ثبت شده در شهر زنجان با بهره‌گیری از فتوگرامتری مبتنی بر پهپاد انجام شد و بر نقش مؤثر این روش در حفاظت، بازسازی و مرمت میراث فرهنگی تأکید گردید [۱۲]. In this study, 3D modeling of Haj Seyed Mohammad Bridge, a registered national heritage site in Zanjan, was carried out using drone-based photogrammetry, highlighting the method's effective role in the preservation, reconstruction, and restoration of cultural heritage [12].
4	مدلسازی سه‌بعدی میراث معماری با به‌کارگیری فتوگرامتری پهپاد؛ مطالعه موردی: کاروانسرای دیرگچین. 3D modeling of architectural heritage using drone photogrammetry; Case study: Dirgachin Caravanserai.	در این مطالعه، مدلسازی سه‌بعدی کاروانسرای دیرگچین با استفاده از فتوگرامتری مبتنی بر پهپاد انجام شد و نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده توانمندی بالای این روش در تهیه مدل‌های سه‌بعدی از میراث معماری است [۸]. In this study, 3D modeling of Dirgachin Caravanserai was carried out using drone-based photogrammetry, and the results demonstrated the high capability of this method in producing 3D models of architectural heritage [8].
5	بررسی جایگاه مهندسی ژئوماتیک در کاربردهای میراث فرهنگی - باستان‌شناسی و معماری. Investigation of the role of geomatics engineering in cultural heritage, archaeology, and architectural applications.	این مطالعه به بررسی نقش و کارایی روش‌های مهندسی ژئوماتیک، از جمله فتوگرامتری و سنجش از دور، در فرآیند مستندسازی، مرمت و حفاظت از میراث فرهنگی می‌پردازد و بر جنبه‌هایی چون دقت، زمان، هزینه و استاندارد سازی این روش‌ها تأکید دارد [۱۳]. This study examines the role and effectiveness of geomatics engineering methods, including photogrammetry and remote sensing, in the processes of documentation, restoration, and preservation of cultural heritage, emphasizing aspects such as accuracy, time, cost, and standardization of these methods [13].

ردیف Row	عنوان تحقیق Research title	نتایج Results
6	مستندسازی، مدل‌سازی سه‌بعدی و تجسم میراث فرهنگی با استفاده از فتوگرامتری پهپاد و اسکنرهای لیزری زمینی.	این مطالعه با بهره‌گیری از تکنیک‌های اسکن لیزری زمینی و فتوگرامتری پهپادی به مستندسازی میراث فرهنگی پرداخته و به مقایسه دقت، هزینه و ویژگی‌های فنی هر یک از این روش‌ها می‌پردازد [۱۷]. This study utilizes terrestrial laser scanning and drone photogrammetry techniques for the documentation of cultural heritage, comparing the accuracy, cost, and technical characteristics of each method [17]. در این مطالعه با ارزیابی دقت فتوگرامتری پهپادی در مدل‌سازی سه‌بعدی استوای معبد پگولینگان نشان می‌دهد که این روش با دقت بالا، ابزاری قابل اعتماد برای مستندسازی و مدیریت حفاظتی میراث فرهنگی است [۲۶]. This study, by evaluating the accuracy of drone photogrammetry in 3D modeling of the Pegulingan Temple stupa, demonstrates that this method is a highly accurate and reliable tool for the documentation and protective management of cultural heritage [26]. در این مطالعه، از فتوگرامتری پهپادی به منظور پایش و مستندسازی دقیق دیوارهای تاریخی برگامو یکی از میراث‌های ثبت‌شده در فهرست یونسکو استفاده شده است تا زمینه‌ای برای حفاظت و نگهداری مؤثر در برابر آسیب‌های محیطی و انسانی فراهم شود [۲۷]. In this study, drone photogrammetry was used for the precise monitoring and documentation of the historic walls of Bergamo, a UNESCO World Heritage site, providing a basis for effective protection and maintenance against environmental and human-induced damage [27]. در این مطالعه، به منظور مستندسازی و مدل‌سازی سه‌بعدی واقع‌گرایانه مسجد گدیک احمد پاشا، از فتوگرامتری مبتنی بر پهپاد استفاده شده است؛ نتایج نشان‌دهنده کارایی بالای این روش در حفاظت و ثبت میراث فرهنگی می‌باشد [۲۸]. In this study, drone-based photogrammetry was used for the documentation and realistic 3D modeling of Gedik Ahmet Pasha Mosque; the results demonstrate the high efficiency of this method in the preservation and recording of cultural heritage [28].
7	مدلسازی سه‌بعدی با استفاده از تکنیک فتوگرامتری پهپاد برای مستندسازی رقومی بناهای میراث فرهنگی. 3D modeling using drone photogrammetry technique for the digital documentation of cultural heritage buildings.	
8	فتوگرامتری پهپاد برای حفظ میراث فرهنگی: مدل‌سازی و نقشه‌برداری دیوارهای ونیزی برگامو ایتالیا. Drone photogrammetry for cultural heritage preservation: modeling and surveying the Venetian walls of Bergamo, Italy.	
9	مدلسازی سه‌بعدی واقع‌گرایانه با استفاده از پهپاد: مسجد گدیک احمد پاشا در افیون قره‌حصار ترکیه. Realistic 3D modeling using drones: Gedik Ahmet Pasha Mosque in Afyonkarahisar, Turkey.	

چشمه‌ها، بارندگی و احتمالاً قنوت بوده است. بر اساس روایات تاریخی، ساکنان قلعه با احداث بنایی برج‌مانند در دامنه کوه و ایجاد راه‌پله‌های مارپیچ، امکان انتقال آب از چشمه‌های خودجوش پای‌کوه به قلعه را فراهم می‌ساختند. در حال حاضر، بسیاری از فضاهای داخلی قلعه در زیر خاک مدفون شده‌اند، اما برج‌ها، باروها و دیوارهای آن همچنان پابرجا هستند و تصویری نسبتاً کامل از ساختار دفاعی و معماری آن ارائه می‌دهند. این بنا با شماره ثبت ۴۴۲۷ در تاریخ ۵ آذر ۱۳۸۰ در فهرست آثار ملی ایران به ثبت رسیده است [۲۹، ۳۱]. شکل (۲) نمایی از مجموعه تاریخی شیرقلعه شه‌میرزاد را نمایش می‌دهد که چشم‌انداز کلی قلعه را به‌خوبی نشان می‌دهد.



شکل ۲: تصویر هوایی سایت باستانی شیرقلعه شه‌میرزاد.
Fig. 2: Aerial view of the archaeological site of Shirghaleh Shahr Mirzad.

معرفی سایت باستانی - تاریخی شیرقلعه شه‌میرزاد
شیرقلعه شه‌میرزاد، یکی از آثار تاریخی و فرهنگی مهم استان سمنان، در فاصله حدود سه کیلومتری شمال غرب شهر شه‌میرزاد در شهرستان مهدی‌شهر واقع شده است. این شهر در حدود ۲۴ کیلومتری شمال سمنان قرار دارد. موقعیت جغرافیایی قلعه در میان دو رشته‌کوه و در دره‌ای کوهستانی است که ساختار تدافعی آن را تقویت کرده است. آثار قلعه بر فراز قله کوه شمالی در این منطقه قابل مشاهده است. شیرقلعه از نظر تاریخی و معماری، از پناهگاه‌های مهم و مستحکم اسپهبدان طبرستان به شمار می‌رود و در ردیف قلعه‌های سارو دسته‌بندی می‌شود. بر پایه مطالعات باستان‌شناسی، زیرساخت‌های قلعه به دوره‌های اشکانی و ساسانی بازمی‌گردد و در دوران اسلامی نیز مورد استفاده قرار گرفته است. شواهد تاریخی نشان می‌دهند که این قلعه در قرون پنجم و ششم هجری قمری، به‌وسیله فرقه اسماعیلیه و از جمله گروه‌های وابسته به قلعه الموت مورد بهره‌برداری قرار گرفته و حتی احتمال وجود تونل زیرزمینی جهت انتقال آب از چشمه پای‌کوه به درون قلعه مطرح شده است [۲۹]. مصالح اصلی سازه شامل سنگ، ملات ساروج و ترکیباتی نظیر آهک، خاکستر، ماسه بادی، گل، نی و دانه‌های ریز سنگی بوده که موجب استحکام قابل توجه بنا شده است. شیرقلعه دارای هفت برج دفاعی با ابعاد و ارتفاع نامنظم است که این تفاوت‌ها به دلیل ناهمواری طبیعی سطح کوه ایجاد شده‌اند [۳۰]. تفاوت در نوع ملات‌های به‌کاررفته نیز حاکی از دوره‌های مختلف بازسازی و مرمت، به‌ویژه در دوران اسلامی است. منبع تأمین آب این قلعه کوهستانی همچون سایر قلاع مشابه،

مراحل انجام پروژه

در مرحله نخست این پژوهش، به منظور افزایش دقت مکانی و ژئورفرنس تصاویر هوایی، شش نقطه کنترل زمینی (GCPs) در محدوده مورد مطالعه اندازه‌گیری و برداشت گردید. این نقاط با استفاده از گیرنده سه فرکانسه تعیین موقعیت و با دقت بالا در موقعیت‌های استراتژیک در سطح منطقه انتخاب و ثبت شدند. هدف از تعیین این نقاط، ایجاد مرجع‌های مکانی قابل اطمینان برای تصحیح هندسی تصاویر هوایی و بهبود دقت فرآیند مدلسازی سه‌بعدی در مراحل بعدی بود. استقرار نقاط کنترلی در مکان‌های کلیدی باعث شد تا صحت داده‌های مکانی تضمین شده و تمام مراحل بعدی از جمله پردازش تصاویر، تولید ابرنقاط و مدل‌سازی سه‌بعدی، با دقت و انسجام بالا انجام پذیرد. شکل (۳) نمونه‌ای از نقطه کنترلی تعیین‌شده در منطقه را نمایش می‌دهد که گیرنده تعیین موقعیت زمینی GPS سه فرکانسه در حال ثبت مختصات دقیق آن است. این نقاط نقش حیاتی در همسان‌سازی صحیح مدل سه‌بعدی با موقعیت واقعی زمین ایفا می‌کنند.

در ادامه، تحلیل دقیق سایت از منظر توپوگرافی، موانع طبیعی، سازه‌های موجود و عوامل محیطی انجام شد تا پیش‌نیازهای لازم برای پرواز ایمن

و مؤثر پهپاد فراهم شود. بر اساس این تحلیل، شبکه‌ای منظم برای برداشت هوایی طراحی شد که امکان تصویربرداری با پوشش کامل و همپوشانی مناسب را فراهم آورد. محدوده پرواز به دقت تعیین شد و محل‌های مناسب برای نشست و برخاست پهپاد، با توجه به شرایط فیزیکی منطقه و امنیت عملیات، انتخاب گردید. در ادامه برای تصویربرداری هوایی از محدوده مورد مطالعه از پهپاد DJI Mavic Mini 2 به‌عنوان ابزار تصویربرداری هوایی استفاده گردید. در طول عملیات پروازی، پهپاد تصاویر هوایی متعددی با وضوح و کیفیت بالا از زوایای مختلف قلعه و محدوده اطراف آن ثبت نمود. این تصاویر به‌عنوان داده‌های پایه در مراحل بعدی پروژه، به‌ویژه در فرآیند تولید ابرنقاط، ساخت مدل سه‌بعدی و تحلیل‌های ساختاری مورد استفاده قرار گرفتند. شکل (۴) پهپاد مورد استفاده در عملیات تصویربرداری هوایی این پژوهش را نشان می‌دهد.

همچنین، جدول شماره (۲) مشخصات فنی پهپاد DJI Mini 2 و سنجنده نصب‌شده بر روی آن را به‌صورت جامع نمایش می‌دهد. ارائه این اطلاعات به منظور درک بهتر از توانمندی‌های فنی پهپاد و ارزیابی میزان انطباق آن با اهداف مدلسازی سه‌بعدی انجام شده است.



شکل ۳: اندازه‌گیری و ثبت نقاط کنترل زمینی تعیین‌شده در اطراف قلعه با استفاده از گیرنده تعیین موقعیت.
Fig. 3: Measurement and recording of ground control points (GCPs) around the castle using a positioning receiver



شکل ۴: پهپاد DJI Mavic Mini 2 که در عملیات تصویربرداری هوایی پروژه به کار گرفته شده است.
Fig. 4: DJI Mavic Mini 2 UAV used in the aerial imaging operations of the project

جدول ۲: مشخصات فنی پهپاد و سنجنده مربوطه [۳۲].

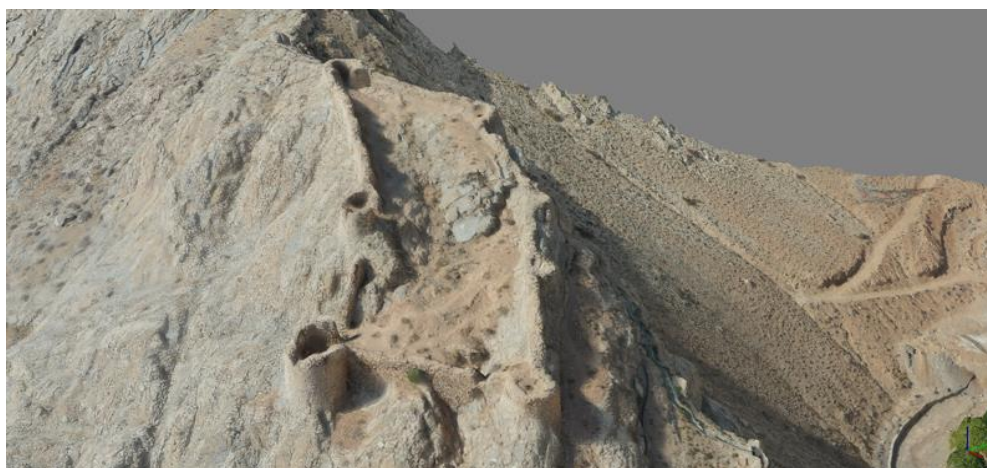
Table2: Technical specifications of the UAV and the corresponding sensor [32].

Sensor specifications		Drone specifications	
Sensor type	CMOS (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor)	Weight	249 g
Resolution	12 MP	Dimensions (unfolded)	56 × 289 × 245 mm
Pixel size	1.55 μm	Maximum horizontal speed	16 m/s (approximately 57.6 km/h)
Image size (maximum)	4000 × 3000 px (aspect ratio 4:3)	Maximum flight time	Up to 31 minutes (in no-wind conditions)
Electronic shutter speed	1/4 to 1/8000 s	Video transmission system	OcuSync 2.0 (transmission range up to 10 km in ideal conditions)
24 mm equivalent focal length, 83° FOV, f/2.8 aperture	Lens	Flight battery	2250 mAh, 7.7 V, Li-Po
Camera stabilization	3-axis (Tilt, Roll, Pan)	Supported memory	microSD up to 256 GB

گردد. این گام، بستر لازم برای بازسازی دقیق هندسه سه‌بعدی و ارتقاء دقت مکانی نتایج نهایی را فراهم ساخت. در ادامه، فرایند هم‌راستاسازی (Alignment) تصاویر اجرا شد. این مرحله شامل استخراج ویژگی‌های مشترک میان تصاویر و محاسبه موقعیت نسبی هر تصویر در فضا بر اساس شرط هم‌خطی (Collinearity Condition) و الگوریتم‌های تطبیق خودکار (Image Matching) می‌باشد. نتیجه این فرایند، تشکیل مدل اولیه و تخمین موقعیت نسبی دوربین‌ها و ساختار کلی صحنه است. نخستین محصول قابل استخراج پس از هم‌راستاسازی تصاویر، ابر نقاط متراکم (Dense Point Cloud) است. در این مرحله، با استفاده از تکنیک‌های بازسازی سه‌بعدی، میلیون‌ها نقطه دارای مختصات فضایی دقیق از سطح شیء یا منطقه مورد مطالعه استخراج می‌شود. این ابر نقاط، بازتابی از ساختار فیزیکی و هندسی محیط بوده و پایه‌ای برای تولید مدل‌های سطحی است. در مرحله بعد، با استفاده از داده‌های حاصل از ابر نقاط متراکم، مدل مش‌بندی‌شده (Mesh) تولید می‌شود. طی این فرایند، نقاط مجزا به واسطه‌ی الگوریتم‌های بازسازی سطح به یک شبکه‌ی پیوسته از مثلث‌ها (Triangular Mesh) تبدیل می‌گردند. مدل مش حاصل، هندسه دقیق شیء یا سطح زمین را بازنمایی کرده و برای استفاده در تحلیل‌های بعدی ضروری است.

در گام بعدی، مرحله‌ی تولید بافت (Texture Mapping) انجام می‌شود. در این فرایند، رنگ واقعی سطح مدل سه‌بعدی با استفاده از داده‌های تصویری ثبت‌شده بازسازی می‌گردد. تمامی تصاویر اولیه در این مرحله مورد استفاده قرار گرفته و با بهره‌گیری از روش درون‌یابی (Interpolation)، برای هر نقطه روی مدل مش، مقدار رنگی (RGB) محاسبه و تخصیص داده می‌شود. نتیجه این مرحله، تولید یک مدل سه‌بعدی با ظاهر طبیعی و واقع‌گرایانه است که ویژگی‌های بصری سطح واقعی را با دقت بالایی بازتاب می‌دهد. شکل (۵) مدل سه‌بعدی نهایی قلعه شیرقلعه و مناطق پیرامونی آن را نمایش می‌دهد. این مدل، بازنمایی دقیقی از ساختار هندسی و ظاهر واقعی سازه‌های تاریخی موجود در سایت را ارائه می‌دهد و به عنوان خروجی نهایی فرایند مدل‌سازی سه‌بعدی، نقش کلیدی در مستندسازی، تحلیل‌های معماری-باستان‌شناسی و حفاظت رقومی از اثر تاریخی ایفا می‌نماید.

طراحی پرواز در این پروژه با استفاده از نرم‌افزار تخصصی پهپاد مورد استفاده صورت گرفت که در آن عواملی همچون ارتفاع پروازی، سرعت حرکت پهپاد، مسیر پرواز و موقعیت دقیق نقاط تصویربرداری به‌دقت در نظر گرفته شد. تصویربرداری هوایی با پهپاد که با همپوشانی در دو راستای طولی و عرضی که به ترتیب با ۸۰ و ۵۰ درصد انجام شد. این مقادیر هم‌پوشانی، امکان تولید مدل‌های دقیق سه‌بعدی را فراهم کرد و از بروز خلأهای تصویری جلوگیری نمود. در پایان عملیات میدانی (برداشت)، کنترل کیفیت اولیه داده‌ها صورت گرفت تا از کفایت وضوح تصاویر، پوشش کامل منطقه، و صحت همپوشانی اطمینان حاصل شود. در صورت وجود نقص، تصویربرداری در بخش‌های مورد نظر مجدداً تکرار گردید. این مرحله، با فراهم‌سازی داده‌های پایه‌ای دقیق و منسجم، نقش اساسی در موفقیت مراحل بعدی پروژه از جمله نگاشت سه‌بعدی ایفا نمود. پس از اتمام عملیات میدانی و برداشت تصاویر هوایی، مرحله دفتری با هدف پردازش داده‌ها و ساخت مدل سه‌بعدی دقیق از سایت تاریخی شیرقلعه شه‌میرزاد آغاز شد. این مرحله با فراخوانی تصاویر ثبت‌شده توسط پهپاد در نرم‌افزار تخصصی Agisoft Metashape آغاز گردید. نرم‌افزار Agisoft Metashape یکی از نرم‌افزارهای قدرتمند در حوزه فتوگرامتری و مدل‌سازی سه‌بعدی است که امکان پردازش تصاویر هوایی و زمینی را با دقت بالا فراهم می‌سازد. این نرم‌افزار با استفاده از تکنولوژی ساختار از حرکت (Structure from Motion) قابلیت تشخیص و همسان‌سازی خودکار نقاط مشترک در تصاویر مختلف را داراست و از طریق آن می‌توان مدل‌های سه‌بعدی واقع‌گرایانه تولید کرد. در مرحله دفتری این پژوهش، فرایند پردازش داده‌ها با انتقال، سامان‌دهی و سازمان‌دهی تصاویر برداشت‌شده آغاز شد. پیش از آغاز تحلیل‌های نرم‌افزاری، کلیه تصاویر به‌دقت مورد بازبینی اولیه قرار گرفتند تا نمونه‌های دارای کیفیت پایین، تصاویر تکراری یا دارای خطاهای فنی شناسایی و از مجموعه داده‌ها حذف شوند. این اقدام با هدف افزایش کیفیت ورودی، کاهش خطاهای احتمالی و ارتقای دقت پردازش انجام پذیرفت. در گام بعد، تصاویر منتخب به محیط نرم‌افزار تخصصی Agisoft Metashape وارد شده و روند پردازش آغاز گردید. ابتدا موقعیت دقیق نقاط کنترل زمینی (GCPs) در تصاویر شناسایی و تثبیت شد تا همبستگی مکانی بین داده‌های تصویری و مختصات مکانی واقعی برقرار



شکل ۵: مدل سه بعدی شیرقلعه شهرمیرزاد با بافت واقعی.
Fig. 5: 3D model of Shirqaleh, Shahr Mirzad with realistic texture.

استخراج نمود. ارتوموزاییک نوعی تصویر نقشه برداری شده و کاملاً ژئورفرنس شده است که از تلفیق مجموعه‌ای از تصاویر هوایی یا زمینی، پس از اعمال اصلاحات هندسی، به دست می‌آید. در فرآیند تولید آن، اثرات ناشی از توپوگرافی، تغییرات ارتفاعی و جابجایی پرسپکتیوی (Relief Displacement) به طور کامل حذف شده و هر پیکسل تصویر به موقعیت دقیق مکانی خود در سطح زمین بازتاب داده می‌شود. نتیجه‌ی این فرایند، تصویری یکنواخت، دقیق و مقیاس پذیر است که به عنوان مبنایی معتبر برای تولید نقشه‌های پایه، تحلیل‌های مکانی و مطالعات جغرافیایی کاربرد فراوان دارد. شکل (۷) نمایی از تصویر ارتوموزاییک منطقه مورد مطالعه را ارائه می‌دهد.

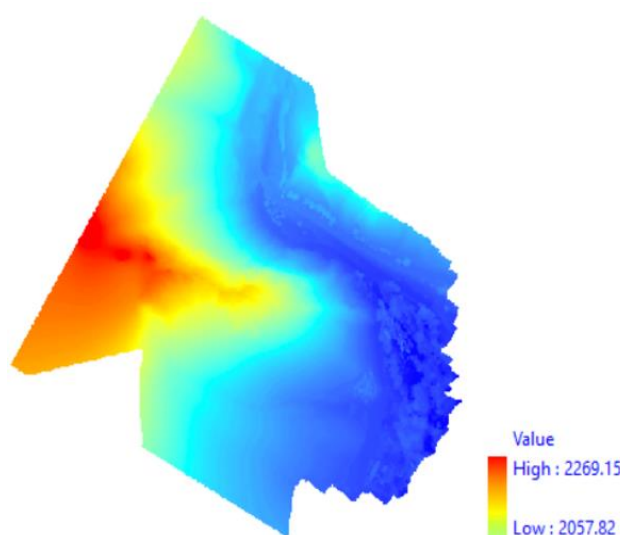
همچنین در ادامه، تحلیل توپوگرافی منطقه با هدف مشخص نمودن ویژگی‌های ارتفاعی و پستی و بلندی‌های پیرامون قلعه صورت گرفت. برای این منظور، از مختصات دقیق نقاط کنترل زمینی که در ابتدای مرحله میدانی در سطح سایت و مناطق اطراف برداشت شده بودند، بهره‌برداری شد.



شکل ۷: تصویر ارتوموزاییک منطقه مورد مطالعه.
Fig. 7: Orthomosaic image of the study area.

این نقاط به عنوان مرجع ارتفاعی مورد استفاده قرار گرفتند و امکان تولید یک مدل ارتفاعی دقیق از منطقه را فراهم کردند. بر پایه این

پس از تولید ابر نقاط متراکم و مدل مش، می‌توان با استخراج مقادیر ارتفاعی از مدل سه بعدی، اقدام به تولید مدل رقومی ارتفاعی (DEM) نمود. این مدل، نمایش عددی ارتفاع سطح زمین در قالب یک شبکه منظم از سلول‌ها (Raster) است. در واقع، DEM اطلاعات ارتفاعی نقاط مختلف سطح زمین را بدون در نظر گرفتن پوشش‌های سطحی مانند ساختمان یا درختان ارائه می‌دهد. این مدل به صورت مستقیم از داده‌های سه بعدی استخراج شده و یکی از خروجی‌های کلیدی در پروژه‌های فتوگرامتری هوایی محسوب می‌شود. شکل (۶) مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد که در آن توزیع ارتفاعی سطوح زمین با تفکیک پذیری مناسب به تصویر کشیده شده است. این مدل، مبنایی برای تحلیل‌های مکانی و ارزیابی ارتفاعی منطقه محسوب می‌شود.



شکل ۶: مدل رقومی ارتفاعی (DEM) شیرقلعه شهرمیرزاد و مناطق اطراف آن.
Fig. 6: Digital Elevation Model (DEM) of Shirqaleh, Shahr Mirzad and its surrounding areas.

در مراحل نهایی پردازش فتوگرامتری، از مدل سه بعدی تولید شده می‌توان تصویر ارتوفتو (Ortho Photo) یا ارتوموزاییک (Ortho mosaic)

می‌سازد. در مجموع، تهیه این پلان به‌عنوان یکی از محصولات نهایی پروژه، نقش مهمی در مستندسازی فنی اثر، تولید اسناد معماری قابل استناد و تسهیل طرح‌های حفاظتی و مرمتی آینده ایفا می‌نماید. شکل (۹) نمایی از پلان دوبعدی قلعه تاریخی شیرقلعه شه‌میرزاد را نمایش می‌دهد که در نرم‌افزار تخصصی Autodesk Civil 3D ترسیم شده است. این نقشه با دقت بالا تهیه شده و جزئیات فنی، ساختاری و هندسی قلعه را به‌صورت دقیق و نظام‌مند ارائه می‌کند؛ به‌گونه‌ای که موقعیت دیوارها، فضاهای داخلی، ورودی‌ها و دیگر عناصر معماری موجود در سایت به‌خوبی قابل تشخیص است.

در نهایت و با توجه به تمامی مراحل انجام‌شده در این پروژه، نقشه‌ای جامع و دقیق از سایت باستانی شیرقلعه شه‌میرزاد تهیه گردید. این نقشه شامل اطلاعات توپوگرافی منطقه به همراه کلیه عوارض طبیعی و مصنوعی موجود در محدوده قلعه و پیرامون آن می‌باشد. برای افزایش خوانایی و کاربردپذیری، نقشه مزبور با لژاند (راهنمای علائم) کامل تهیه شده است تا عناصر مختلف مانند دیوارهای تاریخی، مسیرها، خطوط منحنی میزان، ارتفاعات، پوشش گیاهی و دیگر ساختارهای طبیعی و انسانی به‌وضوح تفکیک و شناسایی شوند. این نقشه نهایی، در کنار مدل سه‌بعدی تولیدشده، مجموعه‌ای جامع از داده‌های مکانی و تصویری فراهم می‌آورد که پایه‌ای مستحکم برای مستندسازی علمی و فنی قلعه تاریخی شیرقلعه به‌شمار می‌رود. این مستندسازی دقیق، نقش کلیدی در تعیین حریم حفاظتی اثر، برنامه‌ریزی برای مرمت و حفاظت دارد. به بیان دیگر، نقشه و مدل حاصل از این پژوهش، می‌توانند به‌عنوان مبنایی معتبر و قابل استناد در تصمیم‌گیری‌های آتی در حوزه مدیریت و حفاظت از میراث فرهنگی منطقه مورد استفاده قرار گیرند و زمینه‌ساز اقدامات اجرایی و تخصصی در جهت پایداری و احیای این اثر تاریخی ارزشمند باشند. شکل (۱۰) نقشه نهایی سایت تاریخی شیرقلعه را نمایش می‌دهد که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین خروجی‌های پروژه، مبنایی ارزشمند برای تحلیل‌ها، ارزیابی وضعیت موجود و تهیه مدارک فنی و حقوقی محسوب می‌شود.

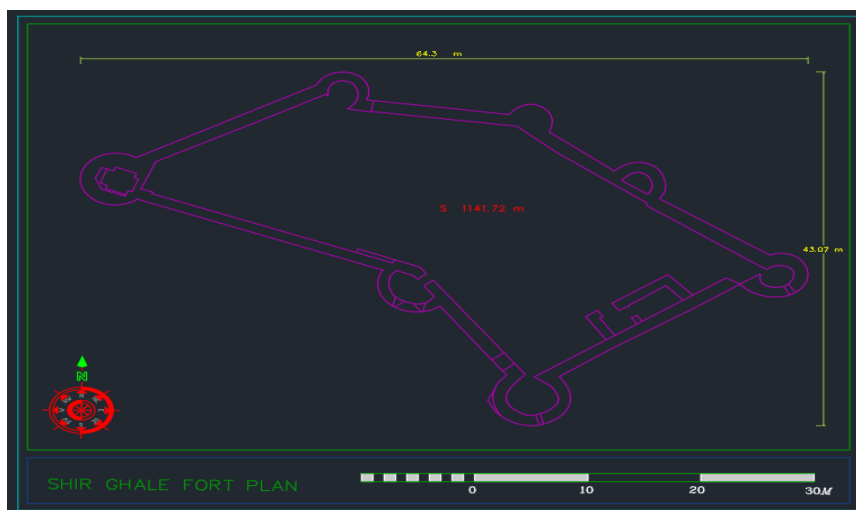
داده‌ها، منحنی‌های میزان (Contour Lines) در محیط نرم‌افزار ترسیم شدند. منحنی‌های میزان خطوطی هم‌ارتفاع هستند که تغییرات تدریجی ارتفاع در سطح زمین را به‌صورت گرافیکی و قابل فهم نمایش می‌دهند. این منحنی‌ها ابزاری مهم در تحلیل توپوگرافی هستند، چراکه نه تنها شیب زمین و اختلاف ارتفاع بخش‌های مختلف را مشخص می‌کنند، بلکه نقش کلیدی در برنامه‌ریزی حفاظت، طراحی مسیر دسترسی و ارزیابی استقرار سازه‌ها ایفا می‌کنند. شکل (۸) نمایش‌دهنده منحنی‌های میزان ترسیم‌شده پیرامون قلعه شیرقلعه و مناطق اطراف آن است. این نقشه توپوگرافی به‌وضوح اختلاف تراز ارتفاعی بخش‌های مختلف سایت، موقعیت قلعه نسبت به زمین‌های اطراف و شیب‌های طبیعی منطقه را نشان می‌دهد. اطلاعات به‌دست‌آمده از این تحلیل، به درک بهتر دلایل مکانیابی تاریخی قلعه، مسیرهای طبیعی دسترسی و همچنین خطرات بالقوه مانند فرسایش یا رانش زمین کمک می‌نماید.

به‌منظور مستندسازی اطلاعات، پلان دوبعدی قلعه شیرقلعه با استفاده از خروجی‌های مدل سه‌بعدی و در محیط نرم‌افزار تخصصی Autodesk Civil 3D ترسیم گردید. این پلان، با دقت هندسی بالا و بر مبنای اطلاعات استخراج‌شده از مدل سه‌بعدی ژئورفرنس‌شده تهیه شد و به‌عنوان نمایی فنی از ساختار کلیدی قلعه نشان می‌دهد. پلان قلعه شامل نمایش دقیق دیوارهای محیطی، برج‌ها، ورودی‌ها، فضاهای داخلی قابل تشخیص، اختلاف ترازها و عناصر معماری باقی‌مانده است. با توجه به موقعیت توپوگرافی قلعه، در پلان اختلاف ارتفاع نقاط مختلف نیز لحاظ شده و هندسه کلی بنا نسبت به پستی‌وبلندی‌های پیرامونی به‌درستی نمایش داده شده است. این نقشه مبنای مناسبی برای تحلیل‌های معماری و بازخوانی سازمان فضایی قلعه در دوره تاریخی خود محسوب می‌شود. همچنین در این پلان، جهت‌گیری معماری فضاها، نوع چینش اجزای سازه‌ای، و مسیرهای احتمالی تردد درون قلعه به‌روشنی قابل مشاهده است. ترسیم این پلان نه تنها به درک دقیق‌تری از ساختار معماری بنا کمک می‌کند، بلکه امکان مقایسه آن با نمونه‌های مشابه تاریخی و بررسی تغییرات احتمالی در طول زمان را نیز فراهم

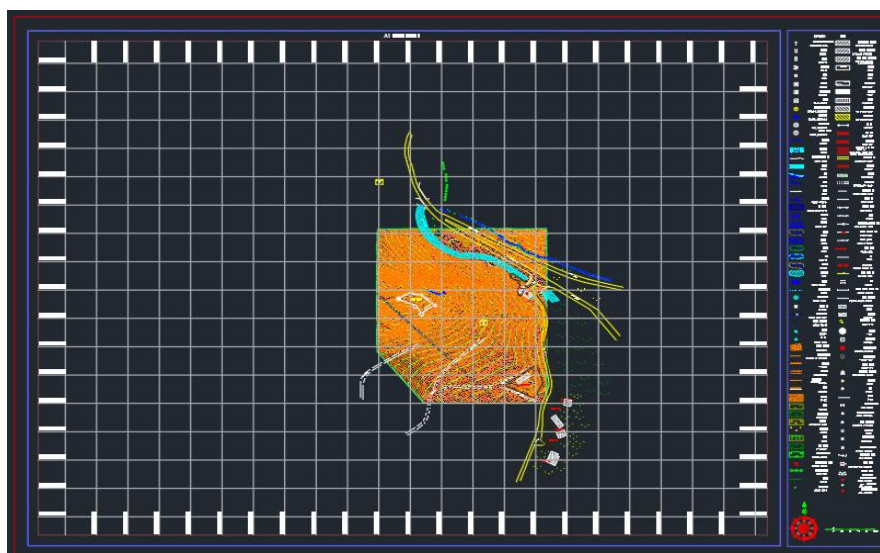


شکل ۸: نقشه توپوگرافی ترسیم شده در نرم‌افزار تخصصی Autodesk Civil 3D از منطقه مورد مطالعه.

Fig. 8: Topographic map of the study area generated in Autodesk Civil 3D software.



شکل ۹: پلان دوبعدی ترسیم‌شده سایت باستانی شیرقلعه شه‌میرزاد در نرم‌افزار تخصصی Autodesk Civil 3D.
Fig. 9: Two-dimensional plan of the Shirghaleh archaeological site in Shahmirzad, drawn using Autodesk Civil 3D software.



شکل ۱۰: مستندسازی اطلاعات در قالب نقشه نهایی از سایت تاریخی شیرقلعه شه‌میرزاد، شامل عوارض طبیعی، عناصر مصنوعی و داده‌های توپوگرافی منطقه.
Fig. 10: Documentation of information in the form of a final map of the historical site of Shirghaleh in Shahmirzad, including natural features, man-made elements, and topographic data of the area.

بحث و تحلیل

از تصاویر هوایی با دقت بالا و پردازش آن‌ها از طریق نرم‌افزارهای تخصصی، امکان تولید مدل‌های سه‌بعدی با کیفیت بالا و وضوح هندسی مناسب را فراهم می‌سازد که برای تحلیل‌های چندبعدی و تصمیم‌گیری‌های آتی بسیار ارزشمند هستند. علاوه بر مدل سه‌بعدی دقیق، فرآیند فتوگرامتری پهنادمینا محصولات مکمل و کاربردی متعددی را ارائه می‌دهد که می‌توانند به صورت مستقیم در فرآیندهای حفاظت، تعیین حریم، طراحی مرمتی و مدیریت سایت‌های تاریخی به کار گرفته شوند. از جمله این محصولات می‌توان به مدل رقومی ارتفاع (DEM)، نقشه ارتوموزائیک، پلان‌های دو بعدی و سه بعدی سازه‌ها و سایت و نقشه‌های توپوگرافی شامل منحنی‌های میزان دقیق اشاره کرد. این اطلاعات لایه‌لایه و قابل تلفیق، امکان تحلیل جامع‌تری از ساختار فضایی، توپوگرافی و تغییرات محیطی سایت را فراهم می‌سازند و زمینه را برای پایش بلندمدت، تحلیل‌های فرسایشی و تهیه نقشه‌های مرجع

برای ارزیابی دقت مدل سه‌بعدی حاصل از فرآیند فتوگرامتری، شش نقطه کنترل زمینی به کار گرفته شد که مختصات آن‌ها به وسیله گیرنده موقعیت‌یاب سه‌فرکانسه با دقت بالا برداشت و ثبت گردید. با مقایسه موقعیت این نقاط در مدل سه‌بعدی تولید شده با مقادیر واقعی اندازه‌گیری‌شده، خطای مسطحاتی (Planimetric Error) با استفاده از رابطه ریشه مجموع مربعات خطاهای محوری X و Y، برابر با ۲.۴ سانتی‌متر و خطای ارتفاعی (Vertical Error) برابر با ۱.۹ سانتی‌متر محاسبه شد. یافته‌های این تحقیق نشان داد که بهره‌گیری از فناوری فتوگرامتری پهنادمینا (UAV-based photogrammetry) در مدل‌سازی سه‌بعدی سایت‌های تاریخی و باستانی، از جنبه‌های مختلف فنی، اقتصادی و زمانی دارای مزایای قابل توجهی در مقایسه با سایر روش‌های سنتی یا پیشرفته‌تر نظیر اسکن لیزری زمینی است. این روش، با استفاده

مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت برابر مشارکت داشته اند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کلیه عزیزانی که ما را در انجام این تحقیق یاری کردند، صمیمانه تشکر می کنیم.

تعارض منافع

«هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع و مأخذ

- [1] Sadeghian S, Rajabi A, Sedighpour D. [3D modeling for documentation, restoration and boundary determination of Dowlatabad Castle in Qom using UAV images]. *Journal of Surveying Sciences and Technologies*. 2020; 3: 229-241. [In Persian]
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.17357853.1400.18.6.8.2>
- [2] Sadeghian S, Rajabi A, Farrokhi M. [Assessment of changes in the ancient areas of Hetmanate, Hamedan, using remote sensing and geographic information systems]. *Asar*. 2019; 40(3): 148-163. [In Persian]
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.10247697.1398.40.3.9>
- [3] Crowley K, McEwen L, Jones S, et al. Cultural heritage and risk assessments: Gaps, challenges, and future research directions for the inclusion of heritage within climate change adaptation and disaster management. *Climate Resilience and Sustainability*. 2022;1(2): e45.
doi: 10.1002/cli2.45.
- [4] Sesana E, Gagnon AS, Ciantelli C, Cassar J, Hughes JJ. Climate change impacts on cultural heritage: A literature review. *WIREs Climate Change*. 2021;12(4): e710.
doi: 10.1002/wcc.710.
- [5] Rahimi Jafari F, Habibi F, Moazen S. [Introducing the non-destructive method of photogrammetry in the study and survey of historical monuments]. *Pazhoh-e Bastansanji*. 2021; 7(2): 135-158. [In Persian]
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.17357853.1400.18.6.8.2>
- [6] Fadaei H. [Review of laws, methods, and documentation tools in international documents related to the conservation and management of cultural heritage]. *Journal of Conservation and Restoration Knowledge*. 2024; 7(2): 1-28. [In Persian]
- [7] Javadi M, Sadeghian S. Evaluation of geomatics methods in 3D and 4D documentation of cultural heritage. 1st National Conference on Documentation of Natural and Cultural Heritage; 2018; Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran
- [8] Zeynolpour Asl M, Samadzadegan F, Dadras Javan F, Talebian MH. [3D modeling of architectural heritage using UAV photogrammetry; case study: Deir-e Gachin Caravanserai].

مستند فراهم می کنند. از منظر فنی، دقت داده‌های تولیدشده از طریق فتوگرامتری پهنابند، در صورت تعریف صحیح نقاط کنترل زمینی (GCPs) و استفاده از مسیرهای پروازی بهینه، به سطحی قابل رقابت با اسکن لیزری می‌رسد، در حالی که هزینه اجرا، زمان برداشت میدانی و نیاز به نیروی انسانی متخصص در این روش به مراتب کمتر است. این ویژگی‌ها، فتوگرامتری پهنابند را به گزینه‌ای عملی و مقیاس‌پذیر برای پروژه‌های مستندسازی در مقیاس‌های مختلف تبدیل کرده است، به‌ویژه در شرایطی که دسترسی به تجهیزات پیشرفته‌تر یا منابع مالی محدود است. همچنین، تنوع خروجی‌های حاصل از این روش و قابلیت استفاده چندمنظوره از داده‌ها، امکان ایجاد یک پایگاه داده جامع از وضعیت موجود سایت را فراهم می‌آورد. که در آینده نیز می‌تواند برای مقاصد آموزشی، بازسازی مجازی، مستندسازی تغییرات و برنامه‌ریزی‌های حفاظتی مورد استفاده قرار گیرد. به‌علاوه، این روش ظرفیت بالایی برای ترکیب با سایر فناوری‌های تحلیل‌محور نظیر سیستم اطلاعات مکانی، واقعیت افزوده و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان تاریخی دارد که افق‌های نوینی در مدیریت هوشمند میراث فرهنگی می‌گشاید.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف مستندسازی دقیق، جامع و کاربردی سایت تاریخی شیرقلعه شه‌میرزاد، با بهره‌گیری از رویکرد نوین فتوگرامتری مبتنی بر پهپاد طراحی و اجرا شد. این مطالعه در سه مرحله اصلی شامل مطالعات مقدماتی، عملیات میدانی و فعالیت‌های دفتری به انجام رسید و مجموعه‌ای از خروجی‌های ارزشمند همچون مدل سه‌بعدی با بافت واقعی، مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، ارتوموزایک دقیق، پلان‌های دوبعدی، نقشه‌های توپوگرافی و مستندات معماری تولید گردید. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است که بهره‌گیری از پهپادها و نرم‌افزارهای تخصصی فتوگرامتری می‌تواند فرآیند مستندسازی آثار تاریخی را با دقت بالا، سرعت بیشتر و هزینه کمتر نسبت به روش‌های سنتی انجام دهد. مدل سه‌بعدی تولیدشده، نه‌تنها بازنمایی دقیقی از ساختار معماری و توپوگرافی قلعه ارائه می‌دهد، بلکه به‌عنوان یک ابزار چندمنظوره در حوزه‌هایی نظیر تهیه کاداستر سه‌بعدی، تعیین حریم حفاظتی، طراحی اقدامات مرمتی، تحلیل‌های ساختاری، پایش وضعیت سازه، توسعه گردشگری مجازی، آموزش و پژوهش کاربرد دارد. یکی از نتایج کلیدی پروژه، تهیه نقشه‌ای جامع و مستند از منطقه مورد مطالعه بود که شامل اطلاعات دقیق ارتفاعی، منحنی‌های میزان و لایه‌بندی عوارض طبیعی و مصنوعی است. این نقشه به‌ویژه در تعیین دقیق حریم قانونی و حفاظتی قلعه نقش تعیین‌کننده‌ای دارد و ابزار فنی مهمی برای مراجع ذی‌ربط در زمینه حفاظت از میراث فرهنگی محسوب می‌شود. در مجموع، این پژوهش نشان داد که ترکیب فناوری‌های نوین سنجش از دور، تصویربرداری پهپادی و پردازش فتوگرامتری، روشی علمی، دقیق و قابل اعتماد برای مستندسازی آثار تاریخی به‌شمار می‌رود.

user-oriented HBIM. *International Journal of Heritage in the Digital Era*. 2016; 5(1): 141–158.
doi: 10.1260/2047-4970.5.1.141

[19] Varol F. Creation of surface models using unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry in cultural heritage areas: The example of Kilistra Ancient City. *International Journal of Engineering and Geosciences*. 2025; 10(2): 137–150.
doi: 10.26833/ijeg.1487818

[20] Manajitprasert S, Tripathi NK, Arunplod S. Three-Dimensional (3D) Modeling of Cultural Heritage Site Using UAV Imagery: A Case Study of the Pagodas in Wat Maha That, Thailand. *Applied Sciences*. 2019; 9(18): 3640.
doi: 10.3390/app9183640

[21] Themistocleous K, Mettas C, Evagorou E, Hadjimitsis D. The use of UAVs and photogrammetry for the documentation of cultural heritage monuments: the case study of the churches in Cyprus. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2019; 11156: 111560I.
doi: 10.1117/12.2533056

[22] Zachos A, Anagnostopoulos CN. Using TLS, UAV, and MR Methodologies for 3D Modelling and Historical Recreation of Religious Heritage Monuments. *Journal on Computing and Cultural Heritage*. 2024; 17(1): 1-22. doi: 10.1145/3577890

[23] Pepe M, Alfio VS, Costantino D. UAV Platforms and the SfM-MVS Approach in the 3D Surveys and Modelling: A Review in the Cultural Heritage Field. *Applied Sciences*. 2022; 12(24): 12886.
doi: 10.3390/app122412886.

[24] Shahsavari Babukani A, Gharagozlou A. Capabilities of Geographic Information Systems (GIS) and artificial intelligence for management and protection of cultural heritage and historical monuments. 1st International Conference on Hekmat-Based Architecture, Urban Development, Art, Industrial Design, Construction and Technology; 2025 February 27; Tabriz, Iran: Tabriz Islamic Art University.

[25] Erenoglu RC, Bayburt E, Kilic V, Yilmaz E. An UAS-assisted multi-sensor approach for 3D modeling and reconstruction of cultural heritage site. *Journal of Cultural Heritage*. 2017; 27: 111-123. doi: 10.1016/j.culher.2017.06.003.

[26] Partama IGY, Yastika PE, Wijaya IMW. 3D modeling using UAV-photogrammetry technique for digital documentation of cultural heritage buildings. *GEOMATE Journal*. 2025; 28(126): 61–70. doi: 10.21660/2025.126.4768

[27] Azzola P, Cardaci A, Mirabella Roberti G, Nannei VM. UAV photogrammetry for cultural heritage preservation modeling and mapping Venetian walls of Bergamo. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2019; XLII-2/W9: 45–50.
doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-45-2019.

[28] Uysal M, Toprak AS, Polat N. Photo realistic 3D modeling with UAV: Gedik Ahmet Pasha Mosque in Afyonkarahisar. *The*

Journal of Fine Arts – Architecture and Urban Planning. 2021; 26(4): 61-73. [In Persian]
<https://doi.org/10.22059/jfaup.2021.325822.672644>

[9] Sadeghian S, Sokhtanlou Z, Aliyari F. A review of remote sensing archaeology: identification, discovery, monitoring, and mapping of cultural heritage. *National Conference on Geomatics and Cultural Heritage*; 2017; Iran

[10] Bagnolo V, Paba N. UAV-based photogrammetry for archaeological heritage site survey and 3D modeling of the Sardus Pater Temple (Italy). In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2019; XLII-2/W17: 45–52.
doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W17-45-2019

[11] Ahangari M, Sadeghian S. [Capabilities of photogrammetry in documentation and virtual reality production in cultural and natural heritage]. *Proceedings of the 2nd National Conference on Documentation of Natural and Cultural Heritage*; 2019; Shahid Rajae Teacher Training University, Tehran, Iran. [In Persian]

[12] Hemmati-Mandjin Z, Ebadi H, Hosseini Nohe Ahmadabadian A, Esmaeili F. [Application of UAV-based photogrammetry in 3D modeling of archaeological sites]. *Proceedings of the 2nd National Conference on Information Technology Engineering*; 2016; Khajeh Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran. [In Persian]

[13] Alitajar S, Afshari Azad S. [Investigating the role of geomatics engineering in the applications of cultural heritage, archaeology and architecture]. *Iranian Journal of Archaeological Research*, 3(5), 169-195. [In Persian]

[14] Remondino F, El-Hakim S. Image-based 3D modelling: a review. *The Photogrammetric Record*. 2006; 21(115): 269-291.
doi:10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x

[15] Shahsavari Babukani A, Sadeghian S, Vafaienajad A. Capabilities of photogrammetry and remote sensing for 3D modeling and documentation of cultural heritage and archaeological sites. 1st International Conference on Hekmat-Based Architecture, Urban Development, Art, Industrial Design, Construction and Technology; 2025 February; Tabriz, Iran.

[16] Sun Z, Zhang Y. Using drones and 3D modeling to survey Tibetan architectural heritage: A case study with the multi-door stupa. *Sustainability*. 2018; 10(7): 2259.
doi: 10.3390/su10072259.

[17] Ulvi A. Documentation, three-dimensional (3D) modelling and visualization of cultural heritage by using unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry and terrestrial laser scanners. *International Journal of Remote Sensing*. 2021; 42(6): 1994-2021. doi: 10.1080/01431161.2020.1834164

[18] Chiabrando F, Sammartano G, Spanò A. Historical buildings models and their handling via 3D survey: from point cloud to

دانشگاه شهید بهشتی تهران مشغول فعالیت است. از جمله سوابق اجرایی ایشان می‌توان به ریاست آموزشکده نقشه‌برداری سازمان نقشه‌برداری کشور در بازه زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ اشاره کرد. ایشان، برگزیده سه دوره به‌عنوان پژوهشگر برگزیده کشوری و دریافت لوح تقدیر از وزیر علوم، تحقیقات و فناوری در سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۸۳ و ۱۳۸۸ است. همچنین موفق به کسب رتبه اول در دومین دوره مسابقات قرآن ویژه اعضای هیئت علمی سراسر کشور در بخش ایده‌پردازی قرآنی شده‌اند و در سال ۱۳۹۱ لوح تقدیر معاون فرهنگی و اجتماعی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری را دریافت کرده‌اند.

Sadeghian, S. Associate Professor at the Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

✉ sa_sadeghian@sbu.ac.ir



علیرضا وفائی‌نژاد دارای مدرک دکتری تخصصی در رشته مهندسی نقشه‌برداری با گرایش سیستم‌های اطلاعات مکانی از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد. ایشان هم‌اکنون به‌عنوان دانشیار و مدیر گروه نقشه‌برداری در دانشکده مهندسی عمران، آب

و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی تهران مشغول فعالیت است. وی بیش از ۳۵ مقاله علمی در نشریات بین‌المللی معتبر، ۷۰ مقاله در نشریات داخلی و ۵۰ مقاله در کنفرانس‌های ملی و بین‌المللی ارائه کرده‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان شامل سیستم‌های اطلاعات مکانی، هوشمند، یادگیری ماشین، بهینه‌سازی مبتنی بر سیستم‌های اطلاعات مکانی و کاربردهای آن در مدیریت منابع آب و محیط زیست می‌باشد.

Vafaeinejad, A. Associate Professor at the Department of Geotechnical and Transportation Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

✉ a_vafaei@sbu.ac.ir



داود صدیق‌پور دارای مدرک کارشناسی ارشد مرمت آثار تاریخی از دانشگاه هنر اصفهان بوده و پیش از آن، دوره کارشناسی خود را در رشته باستان‌شناسی در دانشگاه بوعلی سینا همدان به پایان رسانده است. همچنین، وی با رویکرد میان‌رشته‌ای، موفق به اخذ مدرک کارشناسی ارشد در رشته

سنجش از دور از دانشگاه حکمت قم شده است؛ ترکیبی که توانمندی‌های وی را در تحلیل، پایش و مدیریت منابع فرهنگی تقویت نمود. وی با فعالیت حرفه‌ای در عرصه میراث فرهنگی، در بیش از یکصد پروژه ملی در زمینه‌های گوناگون از جمله گمانه‌زنی با هدف شناسایی و تعیین حریم آثار تاریخی، مستندنگاری باستان‌شناختی و مرمت و بازسازی سازه‌های تاریخی مشارکت فعال داشته است. از جمله

International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2013; XL-5/W2: 659–662. doi: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-659-2013.

[29] Islamic Republic News Agency (IRNA). Shirghaleh Shahr Mirzad; the jewel of the exemplary tourist city. [Accessed 15th August 2019].

[30] Young Journalists Club (YJC). Let's get to know Shirghaleh Shahr Mirzad better (with pictures). [Accessed 2025].

[31] MrBilit. Shir Castle: An ancient fort near Shahr Mirzad. [Accessed 2020].

[32] Maan. Mavic Mini 2 Review. [Accessed December 2023].

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



ابوالفضل شهبوساری بابوکانی دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی نقشه‌برداری گرایش فتوگرامتری در دانشگاه شهید بهشتی تهران است. وی در هر سه مقطع کاردانی، کارشناسی و کارشناسی‌ارشد جزو دانشجویان ممتاز بوده و هم‌اکنون عضو مجمع دبیران شورای صنفی

رفاهی دانشگاه شهید بهشتی می‌باشد. ایشان در آزمون دکتری تخصصی رشته مهندسی نقشه‌برداری سال ۱۴۰۴، موفق به کسب رتبه ۱۳ در گرایش فتوگرامتری و در آزمون کارشناسی‌ارشد سال ۱۴۰۲، رتبه ۲۸ در سهمیه آزاد شده است. زمینه‌های علمی و پژوهشی وی شامل میراث فرهنگی، سیستم‌های اطلاعات مکانی، پهنه‌بندی رطوبت سطحی خاک، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، پایش پوشش گیاهی و همچنین کاربردهای نظامی و دفاعی فتوگرامتری و سنجش از دور می‌باشد. همچنین، وی تاکنون ایده‌های متعددی در حوزه‌های ثبت و کاداستر داشته است که این ایده‌ها به سازمان ثبت اسناد و املاک کشور ارائه شده‌اند.

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

✉ a.shahsavari@sbu.ac.ir



سعید صادقیان دارای مدرک دکتری تخصصی در رشته مهندسی نقشه‌برداری گرایش فتوگرامتری از دانشگاه تهران (۱۳۸۱–۱۳۷۶) می‌باشد. وی پیش از آن، کارشناسی ارشد خود را در همین گرایش از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

(۱۳۷۵–۱۳۷۲) و مدرک کارشناسی مهندسی نقشه‌برداری را نیز از همین دانشگاه (۱۳۷۱–۱۳۶۶) اخذ کرده است. ایشان هم‌اکنون به‌عنوان دانشیار در دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست

در پروژه‌های راهبردی حفاظت و احیای میراث فرهنگی در سطح ملی شناخته می‌شود.

Faculty of Conservation and Restoration, University of Art,
Isfahan, Iran

✉ davodsedighpor@yahoo.com

پروژه‌های شاخص تحت مدیریت و مشارکت مؤثر ایشان می‌توان به مرمت و بازسازی قلعه پرتغالی‌های هرمز، تپه هگمتانه، قره‌تپه قمروود، قلعه دولت‌آباد، تپه قلی‌درویش و حمام تاریخی عشقلی اشاره کرد. نامبرده هم‌اکنون به عنوان یکی از متخصصان سازمان میراث فرهنگی

Citation (Vancouver): Shahsavari Baboukani A, Sadeghian S, Vafaeinejad A, Sedighpour D. [3D Modeling of Shir-Qaleh Castle in Shahmirzad Using UAV-Based Photogrammetry; With an Approach to Documentation, Conservation, Restoration, and Cultural Heritage Zoning]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2025; 3(2): 271-286

 <https://doi.org/10.22061/jrsgr.2025.12148.1102>



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/>)