نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال سیزدهم/ ویژه‌نامه فناوری‌های نوین در باستان‌شناسی نجات‌بخشی سدها/ پاییز ۱۴۰۵

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric Power Plant
13th Year/ Special Issue on Modern Technologies Applied in Rescue Archaeology for Dam Projects/ October 2026

کاربرد روش‌های نوین مستندنگاری دیجیتال در کاوش‌های نجات‌بخشی باستان‌شناسی

محمد یاری*[۱]
زهرا خدادادزاده[۲]
زینب فیض[۳]

چکیده

با توجه به شتاب بالای توسعه زیرساخت‌های عمرانی در ایران، استفاده از فناوری‌های نوین در پروژه‌های نجات‌بخشی محوطه‌های باستان‌شناسی بیش‌ازپیش ضروری شده است. این مقاله با هدف تبیین اصول و روش‌های علمی مستندنگاری دیجیتال و ارائه یک پروتکل نظام‌مند برای کاوش‌های نجات‌بخشی، بر ضرورت به‌کارگیری فناوری‌های دیجیتال تأیید می‌کند. مستندنگاری، به‌عنوان بنیاد هر پروژه‌ی باستان‌شناسی علمی، نه‌تنها موجب صرفه‌جویی چشمگیر در زمان و هزینه می‌شود، بلکه سطح دقت، صحت و اتکاپذیری بسیار بالاتری نسبت به روش‌های سنتی ارائه می‌دهد. تکنیک‌های مستندنگاری دیجیتال، ازجمله فتوگرامتری برد کوتاه، استفاده از پهپاد و ساخت تور مجازی، در کاوش‌های نجات‌بخشی محوطه‌های باستانی سد کنگیر، سد چندیر، سد بلوبین و سد سیمره به کار گرفته شده‌اند. این رویکردها امکان ثبت و ارائه تصویری جامع و فراگیر از محوطه‌ها و کارگاه‌های کاوش را فراهم کرده و ابزار مؤثری در خدمت اهداف چندمنظوره، شامل گردشگری، مدیریت و آموزش به شمار می‌روند. تجربیات پیشین نشان می‌دهد که ترکیب فناوری‌هایی همچون فتوگرامتری و تور مجازی، علاوه بر دقت علمی بالا، قابلیت بازنمایی فرهنگی و آموزشی آثار باستانی را نیز به‌صورت مؤثر فراهم می‌کند. در پایان، مقاله ایجاد «موزه دیجیتال دستاوردهای باستان‌شناسی پروژه‌های آب و نیرو» را به‌عنوان راهکاری پایدار برای حفظ و نمایش داده‌های نجات‌بخشی پیشنهاد می‌کند.

واژه‌های کلیدی

مستندنگاری دیجیتال، کاوش نجات بخشی، فتوگرامتری، واقعیت مجاز

---

۱. مدیرعامل شرکت میراث آرکا، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد باستان‌شناسی دانشگاه بوعلی‌سینا همدان (نویسنده مسئول)
3dyari@gmail.com
۲. دانشجوی دکتری باستان‌شناسی دانشگاه تهران
۳. دانش آموخته کارشناسی ارشد باستان‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس

علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۹

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-10-26]

مقدمه

طی چند دهه‌ی گذشته، فناوری‌های دیجیتال، مستندسازی و تعامل عمومی با میراث‌فرهنگی را دگرگون کرده‌اند (پیراچینی[1] و همکاران، ۲۰۰۱) یکی از جنبه‌های قابل‌توجه این تحول، سهولتِ روزافزون، در تولید و پردازش مدل‌های سه‌بعدی، با استفاده از فناوری‌ها و در مقیاس‌های گوناگون است. دیجیتال‌سازی، مجموعه‌ای از روش‌ها را در بر می‌گیرد که نه‌تنها، امکان ثبتِ حجمیِ آثار را فراهم می‌کنند، بلکه ادغام، ذخیره‌سازی و اشتراک‌گذاری داده‌ها را نیز ممکن می‌سازند و درنتیجه، کارایی و دقت را افزایش می‌دهند (گارستکی[2]، ۲۰۲۰).

با پیشرفت فناوری، فرایندهای درونی سامانه‌های برداشتِ داده، نیز ساده‌تر و مقرون‌به‌صرفه‌تر شده‌اند. در باستان‌شناسی میدانی، دیگر نمی‌توان مستندسازی دیجیتال را نادیده گرفت؛ زیرا کاوش باستان‌شناسی، ذاتاً فرایندی مخرب است و باستان‌شناسان موظف‌اند بیشترین میزان شواهد را برای نسل‌های آینده حفظ کنند. ازاین‌رو، دیجیتال‌سازی به مؤثرترین راهبرد در این زمینه تبدیل شده است (روزولت[3] و همکاران، ۲۰۱۵).

در بسیاری از موارد، فتوگرامتری با پشتیبانی تجهیزات نقشه‌برداری، برای تأمین مقیاس، جهت‌گیری و زمین-مرجع‌سازی، به‌عنوان روش اصلی برداشت داده‌ها انتخاب شده است (کوئینگ[4] و همکاران ۲۰۱۷). با این‌حال، در بسیاری از موارد، هنوز نیاز پنهانی به گذار از مدل‌های سه‌بعدی جداگانه و محلی به پایگاه‌های داده‌ی یکپارچه و تعاملی وجود دارد تا پژوهش و انتشار علمی در آینده را تسهیل کند. در دنیای علمی امروز، حفاظت از میراث باستان‌شناسی و چگونگی نمایش و طبقه‌بندیِ این آثار، از اهمیت بالایی برخوردار است. با پیشرفت و رشد فنّاوری‌های دیجیتال، دسترسی به اطلاعات شکلی و متنی می‌تواند در فضای رقومی تسهیل یابد. باوجود آثار فراوان و حجم عظیم اطلاعات، در حوزه‌ی میراث باستان‌شناسی، نیاز به ساماندهی، گردآوری و طبقه‌بندی این اطلاعات جهت نگهداری و استفاده‌ی بهتر، ضروری به نظر می‌رسد. بعلاوه، کشفیات باستان‌شناسی آثاری متفاوت از میراث گذشتگان است که نیازمندِ مطالعه و تحلیل میان‌رشته‌ای و همچنین به اشتراک‌گذاری است. از این رو بهره‌گیری از شیوه‌های جدید، جهت معرفی و نمایش محوطه‌های باستان‌شناسی، می‌تواند کمک بزرگی، در زمینه‌های مدیریتی و پژوهشی، نماید. این موضوع، در زمینه‌ی کاوش‌های نجات‌بخشی، اهمیت دوچندان دارد. چراکه آینده‌ی محوطه‌های کاوش شده مشخص نیست؛ بنابراین باستان‌شناسان باید پیش از آغاز کاوش، برنامه‌ی مناسبی برای مستندنگاری یافته‌ها داشته باشند. ازآنجایی‌که برای انجام کاوش‌های نجات-بخشی، زمان کمتری وجود دارد، بهتر است برای مستندنگاری بر اساس نوع یافته‌ها، از شیوه‌های جدیدتر استفاده شود. مستندنگاری با شیوه‌های جدید، علاوه بر اینکه در زمان و هزینه صرفه‌جویی می‌کند، از دقت و اطمینان بیشتری نسبت به شیوه‌های متداول حال حاضر برخوردار است. ازجمله روش‌های جدید مستندنگاری دیجیتال در کاوش‌های باستان‌شناسی می‌توان به فتوگرامتری سه‌بعدی (دلر[5] و همکاران ۲۰۱۹) ، اسکن سه-بعدی لیزری (سیلایو[6] و همکاران ۲۰۲۵، وینچی، ۲۰۲۵) ، استفاده از پهپاد در عکاسی (سانچز[7] و همکاران، ۲۰۲۲) و واقعیت مجازی در باستان‌شناسی (اک[8]، ۲۰۲۱، لیو، ۲۰۲۲) اشاره کرد. بر اساس این رویکرد، طی کاوش‌های نجات بخشی در محوطه‌های باستان‌شناسی سد کنگیر، سد چندیر، سد بلوبین و سد سیمره از مستندنگاری به شیوه‌های فتوگرامتری، تور مجازی و عکس‌برداری با پهپاد استفاده شد. این شیوه با یاری‌گرفتن از فنّاوری‌های جدید و فناوری اطلاعات، راهی نو را برای ثبت دقیق و نمایش یافته‌های کاوش‌های نجات‌بخشی معرفی می‌کند. خروجی این نوع مستندنگاری‌ها، بستری فراهم می‌کند تا پژوهشگران و علاقه‌مندان از اقصی نقاط جهان به یافته‌های باستان‌شناسی این محوطه دست یابند (البته ایجاد محدودیت و رمزگذاری در سیستم مقدور است).

[1] Pieraccini
[2] Garstki,
[3] Roosevelt
[4] Koenig
[5] Deller
[6] Sylaiou
[7] Sánchez
[8] Acke

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-10-26]

ضرورت و اهداف پژوهش

باستان‌شناسی، مطالعه‌ی فرهنگ‌های انسانی، از طریق تحلیل شواهد مادی آن‌ها است تا منشأ و توسعه‌ی تمدن‌ها را توضیح دهد (رنفرو[1] و بان، ۲۰۱۶). ازاین‌رو، محوطه‌های باستان‌شناسی منابع ارزشمندی از اطلاعات تاریخی به شمار می‌آیند (شنان[2]، ۱۹۹۷). مواد یافت‌شده در این محوطه‌ها، معمولاً با استفاده از روش‌های فیزیکی و شیمیایی، ازجمله تاریخ‌گذاری با رادیوکربن تا بررسی بقایای غذایی در نخستین سفال‌ها، مورد مطالعه قرار می‌گیرند، (سیلیبرتو و اسپوتو[3]، ۲۰۰۰). به‌طور مثال، تخصص‌هایی مانند باستان‌شناسی فلزات[4] نشان داده‌اند که آهن، از عصر آهن محصولی ارزشمند بوده است؛ بنابراین، شناسایی و بررسی شواهد باستان‌شناسی مرتبط با تولید و مصرف آهن یکی از چالش‌های مهم باستان‌شناسی است (چیریکور و ررن[5]، ۲۰۰۴). نوع مثال نشان می‌دهد که نحوه‌ی ثبت و مکان کشف هر ماده و تهیه‌ی نقشه مقیاس‌دار از هر لایه کاوش‌شده ضروری است (رنفرو و بان، ۲۰۱۶). در حقیقت دسترسی به دقیق‌ترین مستندنگاری‌ها در آینده، این امکان را فراهم می‌کند که پژوهشگران ادامه‌ی کاوش را از همان نقطه آغاز کنند، یا حتی در صورت مطرح شدن فرضیه‌ای جدید، امکان بازتفسیر داده‌ها باشد (شنان[6]، ۱۹۹۷). اما، در زمینه‌ی میراث‌فرهنگی که به‌طور فزاینده‌ای در حال ادغام فناوری‌های دیجیتال در تکنیک‌ها و روش‌های خود است ابزارهای دیجیتال‌سازی سه‌بعدی (3D) مزایای منحصربه‌فردی برای آموزش، ترویج و حفاظت از آثار و محوطه‌ها ارائه می‌دهند. با استفاده از این ابزارها، موزه‌ها و سایت‌های تاریخی نه‌تنها می‌توانند دسترسی گسترده‌تری برای عموم مردم فراهم کنند، بلکه دسترسی پژوهشی برای محققانی که به‌طور فیزیکی به این آثار و محوطه‌ها دسترسی ندارند را نیز امکان‌پذیرمی‌سازد (زارنوسکی و همکاران، ابزارهای دیجیتال به جامعه‌ی علمی جهانی، امکان مشاهده‌ی این آثار و سایت‌ها از هر نقطه‌ای، بدون هیچ‌گونه ریسک را می‌دهند و می‌توانند ابزارهایی ارائه کنند که از روش‌های آنالوگ دقت بیشتری داشته باشند (باربا‌سیویک[7] و همکاران، ۲۰۱۸؛ واکا[8] و همکاران، ۲۰۱۸).

با توجه به فرایند رشدِ محیط مجازی و امکانات آن و تمایل بیشتر کاربران در استفاده از محیط مجازی، انتخاب رویکردی مناسب در مدیریت اطلاعات سایت موزه‌ها می‌تواند به اشاعه‌ی سریع و جامع اطلاعات این محوطه‌ها و افزایش بازدید و رضایت کاربران و جلوگیری از اتلاف وقت پژوهشگران کمک شایانی کند (مِیر[9] و همکاران ۲۰۰۷). دیهی است این اقدامات می‌تواند در جذب افراد، جهت مراجعه به سایت موزه‌ها و رونق این مناطق نیز بسیار مؤثر واقع شود. از طرفی یافته‌های باستان‌شناسی، دارای اطلاعات پژوهشی بسیاری هستند که در پایان کاوش به دلایل حفاظتی، با استفاده از مواد مختلف پوشانده و در زیر خاک پنهان می‌شوند. همین مسئله، مانع از ارزیابی و همچنین بازدید دوباره از آن محوطه می‌شود؛ بنابراین برای برطرف کردن این مشکل، نیاز به طراحی و ساخت سامانه‌ای است که علاوه بر سهولت در دسترسی، ازلحاظ هزینه‌های زمانی و مالی نیز، به‌صرفه باشد. سامانه‌ی پیش رو، علاوه بر اینکه فرصتی برای پژوهشگران داخلی و خارجی برای مطالعه‌ی این نوع محوطه‌ها ایجاد می‌کند، میراث باستان‌شناسی را در قابی نو در معرض دید علاقه‌مندان قرار می‌دهد. حجم انبوه این نوع اطلاعات، موانع زیادی برای متولیان این حوزه و برای علاقه‌مندان ایجاد کرده است. با در دسترس قرار دادن تصاویر و اطلاعات آن، می‌توان گام بلندی در اهداف پژوهشی میراث باستان‌شناسی برداشت (مولو[10]، ۲۰۲۴). اما در ابتدای امر، این مسئله پیش می‌آید که چرا باید میراث‌فرهنگی را دیجیتال‌سازی کنیم؟

قابلیت منطقی‌تر آرشیو سازی دیجیتال مدل‌های سه‌بعدی

مستندسازی و نمایش مؤثر اشیاء و آثار باستانی یکی از وظایف اساسی در زمینه‌ی حفاظت از میراث‌فرهنگی است.

---

[1] Renfrew & Bahn
[2] Shennan
[3] Ciliberto & Spoto
[4] archaeometallurgy
[5] Chirikure & Rehren
[6] Shennan
[7] Barbasiewicz
[8] Vacca
[9]. Meyer
[10] Moullou

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-10-26]

روش‌های سنتی مستندسازی آثار، شامل طراحی دستی و عکاسی از زوایای مختلف اثر می‌شود. این روش‌ها، کُند و زمان‌بر هستند و محدودیت‌های آشکاری دارند. ایجاد آرشیو دیجیتال با مدل‌های سه‌بعدی باکیفیت بالا، می‌تواند پیشرفت چشمگیری در این زمینه باشد.

آرشیوهای دیجیتال، پایدار و غیرقابل تغییر هستند و می‌توانند به‌عنوان مرجع، برای پایشِ تخریب و بازسازی آثار استفاده شوند. مشخصات این مدل‌ها می‌تواند نیازهای مختلف را برآورده کند. برای مثال، مدل‌های با وضوح بالا از آثار باارزش‌تر می‌تواند برای مطالعه‌ی ویژگی‌های فرمی و حفاظت از میراث استفاده شود. در صورت آسیب، آثار می‌توانند با تطبیق دوباره با مدل دیجیتال، بازسازی شوند. از سوی دیگر، مدل‌های دیجیتالِ با وضوح پایین‌تر، می‌توانند نیازهای آرشیوهای موزه‌ای را برآورده کنند و تعداد زیادی از آثار را مستندسازی کنند. تکنیک‌های کنترل استاندارد نیز می‌توانند از وجود آرشیوهای سه‌بعدی بهره‌مند شوند؛ به‌عنوان‌مثال، اسکن دوره‌ای می‌تواند تغییرات احتمالی ناشی از حوادث یا دست‌کاری انسانی را بررسی کند (منا[1] و همکاران، ۲۰۱۸).

دسترسی از راه دور به میراث‌فرهنگی

دسترسی به میراث‌فرهنگی (زاروسکی[2] و همکاران، ۲۰۱۵) امروزه محدود به در دسترس بودن فیزیکی اثر نیست. کارهای مرمتی طولانی، اغلب مانع از دیدنِ آثار، توسط بازدیدکنندگان و پژوهشگران می‌شوند. نبودِ یک اثر خاص یا مسافت طولانی برای دسترسی به تعداد محدودی از آثار باعث می‌شود آموزش هنر کمتر مؤثر باشد. در این راستا، مدل‌های دیجیتال چشم‌اندازهای جدید و هیجان‌انگیزی ارائه می‌دهند. همچنین، مطالعه از راه دور برای آثاری که در مکان‌های غیرقابل‌دسترس، مانند بالای ساختمان‌های تاریخی قرار دارند، بسیار ارزشمند است.

بازسازی دیجیتال

آرشیوهای سه‌بعدی دیجیتال می‌توانند تکنیک‌های بازسازی مجازی جدید را ایجاد کنند (منا و همکاران، ۲۰۱۸). ابزارهای گرافیک کامپیوتری می‌توانند بخش‌های آسیب‌دیده آثار را به‌صورت مجازی بازسازی کرده و مدل‌های سه‌بعدی از اثر در شکل اصلی آن ایجاد کنند. بسیاری از مجسمه‌های قدیمی که در اصل با رنگ‌های روشن نقاشی شده‌اند؛ رنگ‌های متفاوت با رنگ‌های فعلی، بر اساس تحلیل‌ها و تحقیقات تاریخی، قابل شبیه‌سازی هستند. علاوه بر این، بسیاری از آثار در فضاهای معماری متفاوت با محیط اصلی قرار دارند؛ ابزارهای گرافیک کامپیوتری می‌توانند ظاهر اثر در محیط معماری اصلی را بازسازی کنند.

مستندنگاری در کاوش‌های نجات بخشی

کاوش‌های نجات‌بخش[3] که با عنوان‌های باستان‌شناسی نجات‌بخشی[4] یا باستان‌شناسی اضطراری[5] نیز شناخته می‌شوند، در واکنش به خطر تخریب یا تغییر قریب‌الوقوع محوطه‌های باستانی براثر فعالیت‌های عمرانی، توسعه‌ای یا بلایای طبیعی شکل گرفته‌اند. هدف اصلی این نوع کاوش‌ها، کاهش خسارت، به میراث‌فرهنگی از طریق مستندنگاری دقیق و بازیابی علمی اشیاء، ساختارها و ویژگی‌های باستان‌شناختی پیش از نابودی کامل آن‌ها است. به تعبیر میلیونیس (میلیونیس[6]، ۲۰۱۹) ، هدف بنیادین این کاوش‌ها حفظ اطلاعات باستان‌شناختی پیش از نابودی آن‌هاست.

در دهه‌ی ۱۹۷۰ در بریتانیا، باستان‌شناسی نجات‌بخش با رویکردی نوین در جهت افزایش آگاهی عمومی از اهمیت حفاظت از میراث‌فرهنگی مطرح شد و از طریق گزارش‌های علمی و عمومی توانست نقش خود را در پیشگیری از خسارات ناشی از توسعه‌های شتاب‌زده تثبیت کند (واکیپسیل[7] و همکاران ۲۰۲۰). ماهیت این کاوش‌ها اقتضا می‌کند که همکاریِ نزدیکی میان باستان‌شناسان، متخصصان میراث‌فرهنگی و نهادهای مرتبط برقرار شود. در این میان، فناوری‌های دیجیتال، نقشی حیاتی در تسهیل مستندسازی، همکاری و تصمیم‌گیری سریع ایفا می‌کنند.

[1] Menna
[2] Zarnowski
[3] Rescue Excavations
[4] Rescue Archaeology
[5] Emergency Archaeology
[6] Milionis
[7] Mwakipesile

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-10-26]

فناوری‌هایی همچون رایانش ابری[1]، پایگاه‌های داده دیجیتال و سامانه‌های نقشه‌برداری هوشمند (GIS)، امکان دسترسی، اشتراک و تحلیل داده‌ها را در زمان واقعی[2] فراهم می‌سازند و با ایجاد پیوند میان گروه‌های مختلف، پژوهش میان‌رشته‌ای[3] را تقویت می‌کنند. این همکاری دیجیتال، موجب شده است که باستان‌شناسی نجات‌بخش از رویکردی صرفاً حفاظتی به رویکردی تحلیلی، تبیینی و اجتماعی تبدیل شود؛ به‌گونه‌ای که این نوع کاوش‌ها، اکنون نقشی در درک پویایی‌های اجتماعی گذشته و ارتقای پایداری فرهنگی جوامع محلی نیز دارند (واکیپسیل و همکاران ۲۰۲۰).

در شرایط حساس و محدود زمانی این نوع پروژه‌ها، فناوری‌های نوین، به‌ویژه ابزارهای دیجیتال مستندسازیِ سه‌بعدی، نقشی تعیین‌کننده دارند. انقلاب فناوری اطلاعات در دهه‌های اخیر با معرفی روش‌هایی چون اسکن لیزری، فتوگرامتری دیجیتال و شکل برداری هوایی با پهپاد، شیوه‌های سنتی مستندسازی را دگرگون ساخته است (برندسن[4]، ۲۰۲۱). این فناوری‌ها با ترکیب داده‌های دقیق هندسی، شکلی و مکانی ازجمله GNSS و UAV photogrammetry، مدل‌های سه‌بعدی دقیقی از محوطه‌های در حال نابودی تولید می‌کنند.

در این میان، فتوگرامتری جایگاهی محوری یافته است. فتوگرامتری، به‌عنوان یکی از دقیق‌ترین، مقرون‌به‌صرفه‌ترین و در دسترس‌ترین روش‌های مستندنگاریِ سه‌بعدی، شناخته می‌شود، زیرا بر پایه‌ی تحلیل هندسی، مجموعه‌ای از تصاویر دوبُعدی و استخراج داده‌های فضایی از آن‌ها عمل می‌کند. درواقع، با استفاده از یک دوربین معمولی و بدون نیاز به تماس فیزیکی یا تجهیزات پرهزینه، می‌توان مدل‌های سه‌بُعدی دقیقی از ساختارهای باستانی تولید کرد. بر اساس تجربه‌های میدانی در چند پروژه نجات‌بخشی در ایران - ازجمله محوطه‌های باستانی سد کنگیر در ایلام، سد چندیر در خراسان شمالی، محوطه‌های ساسانی سد سیمره در لرستان و ایلام، و سد بلوبین در زنجان - استفاده از ترکیب فتوگرامتری زمینی، عکس‌برداری هوایی با پهپاد و ساخت تورهای مجازی سه‌بعدی، دقیق‌ترین، سریع‌ترین و به‌صرفه‌ترین روش برای مستندنگاری کاوش‌های نجات‌بخشی شناخته شد.

این الگوی بومی‌شده، ضمن حفظ دقتِ علمی، پاسخگوی محدودیت‌های زمانی و مالیِ پروژه‌های باستان‌شناسی در ایران است. فتوگرامتری در این پروژه‌ها، به ثبت دقیق لایه‌ها، سازه‌ها و اشیای باستانی کمک کرده؛ پهپادها، امکان تصویر برداری گسترده از چشم‌انداز محوطه را فراهم کرده‌اند؛ و تورهای مجازی، ابزار مؤثری برای بازنمایی، تحلیل و آموزش عمومی داده‌ها بوده‌اند.

روش‌های مستندنگاری دیجیتال در کاوش‌های نجات بخشی

فتوگرامتری بُرد کوتاه در کاوش‌های نجات‌بخشی

فتوگرامتری، یکی از کارآمدترین و دقیق‌ترین روش‌ها برای مستندسازی سه‌بُعدی در پروژه‌های کاوش نجات‌بخشی به شمار می‌رود (گوری[5] و همکاران، ۲۰۱۸؛ لیندر[6] ۲۰۱۶) در مقایسه با اسکنرهای لیزری، این روش به دلیل هزینه‌ی کمتر، سهولت در اجرا و نیاز اندک به تجهیزات و مهارت‌های تخصصی پیشرفته، گزینه‌ای در دسترس و مقرون‌به‌صرفه برای ثبت داده‌های فضایی با دقت بالا محسوب می‌شود (زارنوسکی[7] و همکاران ۲۰۱۹).

فتوگرامتری بر پایه‌ی تحلیل هندسی مجموعه‌ای از تصاویر دوبُعدی از یک سوژه، سازه یا محوطه عمل می‌کند و با تطبیق نقاط مشترک در تصاویر، مدل سه‌بُعدی دقیق آن را بازسازی می‌نماید (کینگزلند[8]، ۲۰۲۰). این ویژگی باعث شده است که فتوگرامتری به یکی از ابزارهای کلیدی در مستندسازی، مطالعه و حفاظت دیجیتال از میراث‌فرهنگی تبدیل شود (آدیسون[9]، ۲۰۰۰).

در دهه‌ی اخیر، هم‌زمان با گسترش استفاده از پهپادها و تجهیزات پروازی سبک، فتوگرامتری تحولی چشمگیر در مستندسازی میدانی پدید آورده است. این فناوری امکان

[1] Cloud Computing
[2] Real-time
[3] Interdisciplinary Research
[4] Brandsen,
[5] Guery
[6] Linder
[7] Zarnowski
[8] Kingsland
[9] Addison

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-10-26]

برداشت سریع و دقیق از محوطه‌ها و سازه‌های تاریخی را در شرایط متنوع فراهم کرده و با ایجاد مدل‌های سه‌بُعدی واقع‌گرایانه، راهی برای بازسازی دیجیتال و آموزش عمومی درباره‌ی میراث‌فرهنگی گشوده است (مرین-بوزن[1] و همکاران، ۲۰۲۱؛ بالسا باریرو و فریتش[2]، ۲۰۱۸).

شکل (۱): عکس‌برداری و مدل سه‌بُعدی بخشی از عمارت اشرافی گوریه ۱،کاوش نجات بخشی سد کنگیر- ۱۳۹۶

در ایران نیز، فتوگرامتری بُرد کوتاه، به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین ابزارهای مستندنگاری در پروژه‌های کاوش نجات‌بخشی به کار گرفته شده و به ثبت دقیق فضاهای باستان‌شناسی، ساختارهای معماری و یافته‌های فرهنگی کمک کرده است (یاری، ۱۳۹۲). این روش به‌ویژه در مستندسازی سازه‌های پیچیده، کف‌سازی‌ها، دیوارها و آوارهای معماری کارآمد بوده و امکان بازسازی سه‌بُعدی دقیق و تحلیلی را در زمان محدود میدانی فراهم کرده است. فرایند فتوگرامتری، شاملِ ثبت تصاویر متعدد از زوایای مختلف، با هم‌پوشانی ۳۰ تا ۷۰ درصد است تا نرم‌افزار بتواند نقاط مشترک را شناسایی کرده و ابر نقاط سه‌بُعدی را بازسازی کند. سپس، داده‌های حاصل در نرم‌افزارهایی چون Agisoft Metashape پردازش شده و از طریق مراحل هم‌ترازی تصاویر، ایجاد ابر نقاط، بازسازی مش و بافت‌گذاری، به مدل سه‌بُعدی نهایی تبدیل می‌شوند (جاد[3] و همکاران، ۲۰۱۶). یکی از مزایای کلیدی این روش، امکان ترکیب مدل‌های سه‌بُعدی با داده‌های مکانی (GIS) است که به تحلیلِ دقیق‌تر روابط فضایی میان یافته‌ها، سازه‌ها و لایه‌های باستان‌شناسی کمک می‌کند (رفیعی و یاری[4]، ۲۰۲۳). به‌این‌ترتیب، فتوگرامتری، نه‌تنها ابزاری برای بازنمایی بصری دقیق است، بلکه بسترِ تحلیل‌های تفسیرگرایانه و مقایسه‌ای را نیز فراهم می‌کند.

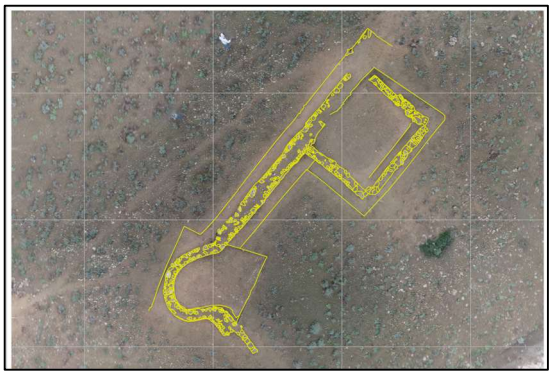
نمونه‌های میدانی فتوگرامتری در کاوش‌های نجات‌بخشی ایران

در ادامه، به‌منظور تبیین کارآمدیِ روش فتوگرامتری در پروژه‌های نجات‌بخشی، نتایج به‌دست‌آمده از چند نمونه‌ی میدانی در ایران ارائه می‌شود. این نمونه‌ها نشان می‌دهند که با استفاده از یک ترکیبِ بهینه از عکس‌برداری زمینی، پهپادی و پردازش فتوگرامتری، می‌توان داده‌های دقیق سه‌بُعدی از محوطه‌های وسیع باستان‌شناسی در زمان کوتاه تولید کرد. در پروژه‌ی محوطه باستان‌شناسی سد کنگیر (استان ایلام)، فتوگرامتری، به‌عنوان روش اصلی مستندنگاری در کاوش به کار گرفته شد. این روش، امکان ثبت جزئیات لایه‌های فرهنگی و سازه‌های سنگی را با دقت کمتر از یک سانتی‌متر فراهم کرد. داده‌های حاصل در نرم‌افزارAgisoft Metashape پردازش شده و مدل سه‌بُعدی حاصل (شکل ۵)، مبنایی برای تحلیل فضایی و بازسازی معماری محوطه قرار گرفت. در پروژه‌ی سد چندیر (استان خراسان شمالی) نیز، با توجه به گستردگی عرصه و محدودیت زمانی، برداشت‌های فتوگرامتری با استفاده از پهپاد انجام گرفت. این تصاویر با وضوح ۲ سانتی‌متر از سطح زمین ثبت شده و پس از پردازش، نقشه‌ی ارتومتریک و مدل قومی زمین (DEM)[5] با دقت بالا تولید شد (شکل ۶). نتایج

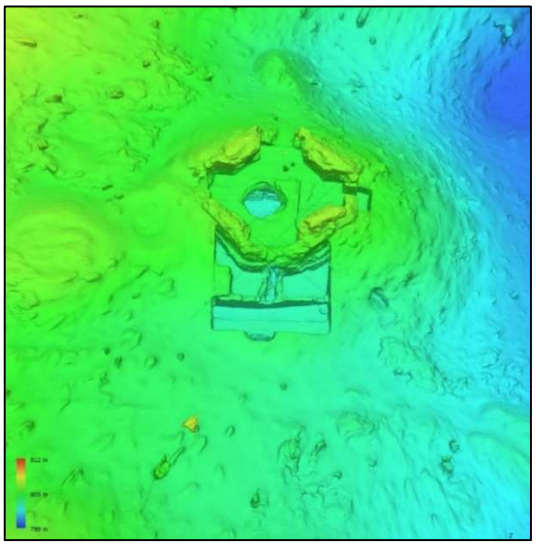
[1] Marín-Buzón
[2] Balsa-Barreiro & Fritsch
[3] Jaud
[4] Rafee & Yari
[5] Digital elevation model

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-10-26]

این مدل‌سازی به باستان‌شناسان امکان داد تا محل تمرکز یافته‌های فرهنگی و تغییرات توپوگرافی مرتبط با فعالیت انسانی را به‌صورت سه‌بعدی تحلیل کنند.



شکل (۲): رتوموزاییک محوطه سرخ چشمه در محدودهٔ سد چندیر ۱۳۹۷



شکل (۳): مدل سه‌بعدی محوطه اسمی، محدودهٔ سد چندیر، ۱۳۹۷

شکل (۴): عکس ارتوفتو محوطه اسمی، محدودهٔ سد چندیر، ۱۳۹۷

استفاده از پهپاد در کاوش‌های نجات‌بخشی

ظهور فناوری پهپادها[1] در دهه‌ی اخیر، تحولی اساسی در روش‌های مستندنگاری و پایش محوطه‌های باستان‌شناسی ایجاد کرده است. پیش‌ازاین، تصویر برداری هوایی تنها با استفاده از هواپیما یا بالن و با هزینه و دشواری بسیار انجام می‌شد؛ اما توسعه‌ی پهپادهای سبک، دقیق و مقرون‌به‌صرفه، امکان شکل برداری هوایی با دقت بالا را برای پژوهشگران میدانی فراهم کرده است (لینک[2] و همکاران، ۲۰۲۴؛ نکس و رموندینو[3]، ۲۰۱۴).

در پروژه‌های نجات‌بخشی، پهپادها، به‌ویژه به دلیل سرعت عمل، انعطاف‌پذیری و قابلیت پرواز در مناطق صعب‌العبور یا خطرناک، به ابزاری کارآمد در مراحل شناسایی، پایش و مستندسازی اولیه تبدیل شده‌اند. در بسیاری از کاوش‌ها، تصاویر پهپادی پیش از آغاز عملیات میدانی، چشم‌انداز کلی محوطه و محدوده‌ی تخریب احتمالی را مشخص کرده و به برنامه‌ریزی دقیق‌تر کاوش کمک کرده‌اند. همچنین در پایان پروژه، از همین مسیر پروازی برای ثبت وضعیت نهایی محوطه پس از کاوش یا پیش از آبگیری سد استفاده می‌شود تا تغییرات به‌صورت مستند و قابل‌مقایسه باقی بماند (لیندزی و مکارتین[4]، ۲۰۲۳).

کاربرد اصلی پهپاد در این‌گونه پروژه‌ها، ثبت تصاویر قائم و مایل با وضوح بالا است که داده‌های بصری ارزشمندی از ساختارها، لایه‌ها و الگوهای استقراری به دست می‌دهد. این تصاویر، به‌عنوان مکمل یادداشت‌های میدانی، نقشه‌ها و برداشت‌های دستی عمل کرده و امکان بازبینی و تحلیل بعدی داده‌ها را فراهم می‌سازند (شین و همکاران، ۲۰۲۳)[5].

یکی از مهم‌ترین مزایای استفاده از پهپاد، در کاوش‌های نجات‌بخشی، توانایی آن در پایش مداوم و مرحله‌ای محوطه است؛ یعنی می‌توان در بازه‌های زمانی مختلف (پیش از کاوش، حین کاوش، و پس از پایان کار)، از وضعیت محوطه تصویر برداری کرد و روند تغییرات آن را به‌صورت توالی شکلی مستند ساخت. این روش در پروژه‌های سدسازی، که

[1] Unmanned Aerial Vehicles – UAVs
[2] Linck
[3] Nex & Remondino
[4] Lindsay & Mkrtchyan
[5] Shin

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-10-26]

خطر نابودی یا غرق‌شدن محوطه‌ها در زمان کوتاه وجود دارد، اهمیت ویژه‌ای دارد (یاری، ۱۳۹۴).

به‌طور خلاصه، عکس‌برداری با پهپاد، نه‌تنها روشی سریع و کم‌هزینه برای ثبت داده‌های میدانی است، بلکه ابزاری برای حفاظت شکلی و مستندسازی روند تغییرات در پروژه‌های اضطراری به شمار می‌آید. تجربه‌ی به‌کارگیری این فناوری در پروژه‌های نجات‌بخشی ایران ازجمله محوطه‌های سد کنگیر (ایلام)، سد چندیر (خراسان شمالی)، سد بلوبین (زنجان) و سد سیمره (ایلام) – نشان داده است که تصاویر پهپادی در ترکیب با داده‌های زمینی، بنیان قابل اتکایی برای مطالعات تحلیلی و برنامه‌ریزی حفاظت دیجیتال فراهم می‌کنند (شکل ۷).

شکل (۵): عکس هوایی عمارت اشرافی گوریه ۱ کاوش نجات بخشی سد کنگیر

شکل (۶): عکس هوایی تپه بلوبین،کاوش نجات بخشی سد بلوبین

ساخت تور مجازی در کاوش‌های نجات‌بخشی

یکی از روش‌های نوین و کارآمد در مستندنگاری محوطه‌های باستان‌شناسی، به‌ویژه در پروژه‌های نجات‌بخشی، تولید تور مجازی از محوطه‌های کاوش‌شده است. این روش با بهره‌گیری از تصاویر پانورامیک ۳۶۰ درجه، بازنمایی دقیقی از فضای کاوش را در قالب محیطی تعاملی فراهم می‌کند و علاوه بر ارزش علمی و پژوهشی، کاربردهای گسترده‌ای در زمینه‌های آموزشی، مدیریتی و معرفی عمومی میراث‌فرهنگی دارد.

از مهم‌ترین مزیت‌های استفاده از تور مجازی در کاوش‌های نجات‌بخشی، می‌توان به‌سرعت بالا در تولید خروجی‌های اولیه، دسترسی آسان برای گروه‌های مختلف پژوهشی و مدیریتی، و قابلیت انتشار گسترده، در محیط‌های آنلاین اشاره کرد. این روش به دلیل سبک بودن فایل‌ها، سادگی کاربری و امکان مشاهده‌ی جزئیات فضا بدون نیاز به حضور فیزیکی در محوطه، جایگزینی مؤثر برای بازدیدهای میدانی محسوب می‌شود و می‌تواند نقش مهمی در ثبت و حفاظت دیجیتال محوطه‌هایی که در معرض نابودی قرار دارند ایفا کند. در پروژه‌های نجات‌بخشی، بسیاری از محوطه‌ها پس از کاوش، به دلیل آبگیری سد یا تغییرات محیطی از بین می‌روند؛ ازاین‌رو، ثبت شکلی جامع از وضعیت نهایی آن‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. عکس‌برداری پانورامیک به باستان‌شناسان این امکان را می‌دهد تا در آینده، بدون نیاز به حضور فیزیکی در محوطه، بتوانند همه زوایای فضا را مشاهده، تحلیل و مستندسازی کنند (مارک و بیلو[1]، ۲۰۱۳).

از میان محوطه‌های مورد مطالعه در حوزه سد کنگیر، تنها محوطه باستان‌شناسی گوریه به‌صورت کامل با این روش مستندنگاری شد (خسروی، ۱۳۹۴) و برای آن تور مجازی سه‌بعدی طراحی گردید. در این فرایند، با استفاده از ربات گیگاپن، مجموعه‌ای از تصاویر پانورامیک با دقت بالا از تمام بخش‌های کارگاه کاوش تهیه شد. این تصاویر پس از ویرایش و هم‌گذاری در نرم‌افزارهای تخصصی، در قالب یک محیط تعاملی بازسازی شدند که کاربر می‌تواند در آن حرکت کرده، زوایا را تغییر دهد، به فضاها نزدیک شود و جزئیات را با دقت بررسی نماید.

تور مجازی حاصل، علاوه بر بازدید آزاد، با عناصر چندرسانه‌ای مانند متن، عکس، ویدئو، موسیقی و نقشه

[1] Mark & Billo, 2013

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-10-26]

ترکیب شده است و به‌عنوان نمونه‌ای از یک موزه مجازی موقت، امکان تجربه‌ای آموزشی و فرهنگی از یک محوطه نجات‌بخشی را فراهم می‌آورد (شکل ۵ و ۶).

پیشنهاد برای آینده: ایجاد موزه‌ی دیجیتال دستاوردهای پروژه‌های آب و نیرو

با توجه به حجم گسترده‌ی داده‌های حاصل از پروژه‌های نجات‌بخشی مرتبط با ساخت سدها و نیروگاه‌های کشور، پیشنهاد می‌شود ایجاد «موزه‌ی دیجیتال دستاوردهای وزارت نیرو» در دستور کار نهادهای مسئول، به‌ویژه وزارت نیرو و پژوهشگاه میراث‌فرهنگی و گردشگری، قرار گیرد. هدف این موزه، حفاظت، سازمان‌دهی و بازنمایی دیجیتال میراث‌فرهنگی درگیر در طرح‌های توسعه‌ی منابع آب و انرژی است.

این موزه می‌تواند فعالیت خود را در سه سطح تعریف کند:

الف) سطح علمی و پژوهشی

ایجاد یک پایگاه داده‌ی ملی برای گردآوری، سازمان‌دهی و ذخیره‌ی داده‌های مستندنگاری حاصل از دهها پروژه‌ی سدسازی در کشور، با قابلیت جست‌وجو، تحلیل مکانی و مقایسه‌ای میان پروژه‌ها. چنین زیرساختی می‌تواند به‌عنوان مرجع ملی داده‌های میراث‌فرهنگی در پروژه‌های عمرانی عمل کند.

ب) سطح آموزشی و عمومی

توسعه‌ی بازسازی‌های سه‌بُعدی، تورهای مجازی و روایت‌های تعاملی از محوطه‌ها و آثار کاوش‌شده در مناطق سدسازی‌شده، با هدف ارتقای آگاهی عمومی نسبت به میراث‌فرهنگی و ترویج فرهنگ حفاظت از آن. این بخش می‌تواند به‌عنوان پلی میان جامعه‌ی علمی و عموم مردم عمل کند و جلوه‌ای ملموس از میراث ناپدیدشده ارائه دهد.

سطح مدیریتی و تصمیم‌سازی.

شکل (۷): سامانه‌ی سایت موزه مجازی عمارت اشرافی گوریه ۱

کاوش نجات بخشی سد کنگیر

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-10-26]

به‌کارگیری داده‌های دیجیتال برای تحلیل اثرات فرهنگی پروژه‌های جدید و پیش‌بینی مخاطرات محتمل در طرح‌های عمرانی مشابه، با هدف کاهش خسارت به محوطه‌های تاریخی و ارتقای نظام حفاظت پیشگیرانه. تجربه‌های بین‌المللی موفق همچون «Three Gorges Digital Museum» در چین و «Virtual Nubia Project» در مصر نشان داده‌اند که ایجاد چنین موزه‌هایی نه‌تنها موجب حفظ حافظه‌ی فرهنگی مناطق آسیب‌دیده می‌شود، بلکه می‌تواند به مرجع علمی و تصمیم‌ساز برای برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ی آینده بدل گردد. ایجاد «موزه‌ی دیجیتال دستاوردهای آب و نیرو» در ایران، گامی عملی در جهت تحقق اهداف منشور یونسکو درباره‌ی حفاظت از میراث دیجیتال (۲۰۰۳) و نیز تقویت رویکرد حفاظت پیشگیرانه در مدیریت میراث‌فرهنگی کشور خواهد بود.

نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر، تحول دیجیتال در علوم انسانی، به‌ویژه در حوزه‌ی باستان‌شناسی، چشم‌اندازهای تازه‌ای را در مستندسازی، تحلیل و حفاظت از میراث‌فرهنگی گشوده است. میراث باستان‌شناسی به‌عنوان منبعی غیرقابل‌تجدید، نیازمند بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در تمام مراحل کاوش، ثبت و تفسیر است. به‌کارگیری روش‌های دیجیتال، ضمن افزایش دقت و کارایی، امکان ثبت جامع داده‌ها را فراهم می‌سازد و پژوهشگران را از تکرار کاوش‌های فیزیکی و گاه مخرب بی‌نیاز می‌کند.

در ایران، توسعه‌ی طرح‌های عمرانی گسترده، ازجمله سدسازی، سبب گسترش کاوش‌های نجات‌بخشی شده است. باوجود ارزش بالای داده‌های حاصل از این پروژه‌ها، استفاده از فناوری‌های نوین در ثبت و تحلیل آن‌ها هنوز به‌صورت نظام‌مند نهادینه نشده است. تجربیات اخیر در پروژه‌های نجات‌بخشی سدهای کنگیر، چندیر، سیمره و بلوبین نشان داده است که بهره‌گیری از روش‌هایی چون فتوگرامتری زمینی، عکس‌برداری پهپادی و ساخت تورهای مجازی ۳۶۰ درجه، نه‌تنها موجب مستندسازی دقیق‌تر محوطه‌ها می‌شود، بلکه زمینه را برای تحلیل‌های تطبیقی، آموزش و حفاظت دیجیتال فراهم می‌کند.

مستندنگاری دیجیتال با ایجاد ابر نقاط متراکم و مدل‌های سه‌بُعدی دقیق، گامی مؤثر در جهت حفاظت پیشگیرانه از آثار فرهنگی است. این داده‌ها می‌توانند در مراحل بعدی، به‌ویژه در آسیب‌شناسی، حفاظت فیزیکی و بازسازی دیجیتال آثار، به‌عنوان مرجع علمی مورداستفاده قرار گیرند. افزون بر این، ترکیب روش‌های بصری نوین با فناوری‌های تعاملی مانند تورهای مجازی، مسیر تازه‌ای را برای آگاهی‌بخشی عمومی و آموزش میراث‌فرهنگی فراهم کرده است.

درنهایت، با توجه به حجم گسترده داده‌های دیجیتال حاصل از پروژه‌های نجات‌بخشی در کشور، پیشنهاد تأسیس موزه‌ی دیجیتال دستاوردهای پروژه‌های آب و نیرو می‌تواند به‌عنوان یک گام عملی در جهت تجمیع، حفاظت و بازنمایی این داده‌ها مطرح شود. چنین بستری ضمن تحقق اصول منشور یونسکو درباره‌ی حفاظت از میراث دیجیتال (۲۰۰۳)، می‌تواند ایران را در مسیر شکل‌دهی به نظامی پایدار از مدیریت دانش باستان‌شناسی دیجیتال یاری دهد؛ نظامی که گذشته را حفظ کرده و ابزار تصمیم‌سازی برای آینده فراهم می‌سازد.

مراجع

1- Acke, L., De Vis, K., Verwulgen, S., & Verlinden, J. (2021). Survey and literature study to provide insights on the application of 3D technologies in objects conservation and restoration. Journal of Cultural Heritage, 49, 272-288.

2- Addison, A. C., & Gaiani, M. (2000). Virtualized architectural heritage: New tools and techniques. IEEE MULTIMEDIA, 7(2), 26-31

3- Balsa-Barreiro, J., & Fritsch, D. (2018). Generation of visually aesthetic and detailed 3D models of historical cities by using laser scanning and digital photogrammetry. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 8, 57–64. https://doi.org/10.1016/j.daach.2017.12.001

4- Brandsen, A. (2021). Digging in documents: Using text mining to access the hidden knowledge in Dutch archaeological excavation reports [Ph.D. thesis, Leiden University]. Leiden University. Pieraccini, M., Guidi, G., & Atzeni, C. (2001). 3D digitizing of cultural heritage. Journal of Cultural

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-10-26]

Heritage, 2(1), 63–70. https://doi.org/10.1016/S1296-2074(01)01108-6

5- Chirikure, S., & Rehren, T. (2004). Ores, furnaces, slags, and prehistoric societies: Aspects of iron working in the Nyanga agricultural complex, AD 1300–1900. Oxford: University of Oxford, Research Laboratory for Archaeology and the History of Art

6- Garstki, K. (2020). Digital innovations in European archaeology. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781108881425

7- Guery, J., Hess, M., & Mathys, A. (2018). Photogrammetry. In A. Bentkowska-Kafel & L. W. MacDonald (Eds.), Digital techniques for documenting and preserving cultural heritage (pp. 229–236). Amsterdam University Press.

8- Jaud, M., Le Dantec, N., Parker, K., Lemon, K., Lendre, S., & Delacourt, C. (2016). How to include crowd-sourced photogrammetry in a geohazard observatory — Case study of the Giant's Causeway coastal cliffs. Remote Sensing, 8(6), Article 3243. https://doi.org/10.3390/rs80603243

9- Khosravi, Leila, (2015), "Rescue Excavation at the Guriyeh 1 Aristocratic Mansion", Proceedings of the Fifteenth Annual Symposium on Iranian Archaeology, pp. 175–184. (In Persian)

10- Kingsland, K. (2020). Comparative analysis of digital photogrammetry software for cultural heritage. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 18, e00157. https://doi.org/10.1016/j.daach.2020.e00157

11- Koenig, C. W., Willis, M. D., & Black, S. L. (2017). Beyond the square hole: Application of structure from motion photogrammetry to archaeological excavation. Advances in Archaeological Practice, 5(1), 54–70. https://doi.org/10.1017/aap.2016.8

12- Linck, R., Stele, A., & Schimmer, C. (2024). Statistical evaluation of the accuracy of consumer drone photogrammetry at a Romanesque church in Eastern Bavaria (Germany). NDT, 2, 76–86. https://doi.org/10.3390/ndt2020005

13- Linder, W. (2016). Digital photogrammetry: A practical course (latest ed.). Springer.

14- Lindsay, I., & Mkrtchyan, A. (2023). Free and Low-Cost Aerial Remote Sensing in Archaeology: An Overview of Data Sources and Recent Applications in the South Caucasus. Advances in Archaeological Practice, 11(2), 164–183. doi:10.1017/aap.2023.3

15- Liu, S., Tu, Y., Wang, X., Qin, B., Xie, Z., Zhang, Y., & Hu, D. (2022). Transparent reversible prosthesis, a new way to complete the conservation–restoration of a Black Ding bowl with application of 3D technologies. Heritage Science, 10(1).

16- Marín-Buzón, C., Pérez-Romero, A., López-Castro, J. L., Ben Jerbania, I., & Manzano-Agugliaro, F. (2021). Photogrammetry as a new scientific tool in archaeology: Worldwide research trends. Sustainability, 13(9), 5319. https://doi.org/10.3390/su13095319

17- Mark, R., & Billo, E. (2013). Using super-high resolution panoramas (Gigapans) to document and study rock art panels. Palethnologie [Online], 5. https://doi.org/10.4000/palethnologie.4679

18- Menna, F., Nocerino, E., & Remondino, F. (2018). Photogrammetric modelling of submerged structures: Influence of underwater environment and lens ports on three-dimensional (3D) measurements. In F. Remondino, A. Georgopoulos, D. González-Aguilera, & P. Agrafiotis (Eds.), Latest developments in reality-based 3D surveying and modelling (pp. ???-???). MDPI. https://doi.org/10.3390/books978-3-03842-685-1-13

19- Meyer, É., Grussenmeyer, P., Perrin, J.-P., Durand, A., & Drap, P. (2007). A web information system for the management and the dissemination of Cultural Heritage data. Journal of Cultural Heritage, 8(4), 396–411. https://doi.org/10.1016/j.culher.2007.07.003

20- Milionis, C. N. (2019). Sostiki archaeologia: I archaeologia tis syghronis epochis: To paradeigma tis Elladas [Ph.D. thesis, National and Kapodistrian University of Athens]. National and Kapodistrian University of Athens.

21- Moullou, D., Vital, R., Sylaiou, S., & Ragia, L. (2024). Digital Tools for Data Acquisition and Heritage Management in Archaeology and Their Impact on Archaeological Practices. Heritage, 7(1), 107-121. https://doi.org/10.3390/heritage7010005

22- Mwakipesile, A., Ryano, K. P., Rao, K. S., Ng'winamila, K., Temu, E., Ngowi, E., & Kilonzo, R. (2020). Rescue archaeology at open-air sites around the University of Dodoma, central Tanzania. South African Archaeological Bulletin, 75, 37–48

23- Nex, F., & Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: A review. Applied Geomatics, 6(1), 1–15. https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x

24- Rafee, M., & Yari, M. (2023). Application of photogrammetry in archaeology. Journal of Archaeology and Archaeometry, Volume:2 Issue: 2 Renfrew, C., & Bahn, P. G. (2016). Archaeology: Theories, methods, and practice (7th ed., revised and updated). London: Thames & Hudson.

25- Roosevelt, C. H., Cobb, P., Moss, E., Olson, B. R., & Ünlüsoy, S. (2015). Excavation is destruction digitization: Advances in archaeological practice. Journal of Field Archaeology, 40(3), 325–346. https://doi.org/10.1179/2042458215Y.0000000004

26- Shennan, S. (1997). Quantifying archaeology (2nd ed.). Edinburgh University Press. https://doi.org/10.5334/pia.115
Ciliberto, E., & Spoto, G. (2000). Modern analytical methods in art and archaeology. John Wiley & Sons

27- Shin, Y.-H., Shin, S.-Y., Rastiveis, H., Cheng, Y.-T., Zhou, T., Liu, J., Zhao, C., Varinlioğlu, G., Rauh, N. K., Matei, S. A., & Habib, A. (2023). UAV-Based Remote Sensing for Detection and Visualization of Partially-Exposed Underground Structures in Complex Archaeological Sites. Remote Sensing, 15(7), 1876. https://doi.org/10.3390/rs15071876

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-10-26]

28- Sylaiou, S., Tsifodimou, Z.-E., Evangelidis, K., Stamou, A., Tavantzis, I., Skondras, A., & Stylianidis, E. (2025). Redefining Archaeological Research: Digital Tools, Challenges, and Integration in Advancing Methods. Applied Sciences, 15(5), 2495. https://doi.org/10.3390/app15052495

29- Titolo, A. (2021). Use of time-series NDWI to monitor emerging archaeological sites: Case studies from Iraqi artificial reservoirs. Remote Sensing, 13(4), 786. https://doi.org/10.3390/rs13040786

30- Vinci, G., Vanzani, F., Fontana, A. and Campana, S. (2025), LiDAR Applications in Archaeology: A Systematic Review. Archaeological Prospection, 32: 81-101. https://doi.org/10.1002/arp.1931

31- Vital, R., & Sylaiou, S. (2022). Digital survey: How it can change the way we perceive and understand heritage sites. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 24, e00212. https://doi.org/10.1016/j.daach.2021.e00212

32- Yari, Mohammad, (2013), "Documentation of Archaeological Excavation Data Using Three-Dimensional Modeling: A Case Study of an Archaeological Field School", Unpublished M.A. Thesis, Bu-Ali Sina University. (In Persian)

33- Yari, Mohammad, and Meysam Rafiei, (2015), "Application of UAV Photogrammetry Systems in Iranian Archaeology", Archaeological Sciences, No. 1, pp. 34–43. (In Persian)

34- Zarnowski, A., Banaszek, A., & Banaszek, S. (2015). Application of technical measures and software in constructing photorealistic 3D models of historical building using ground-based and aerial (UAV) digital images. Reports on Geodesy and Geoinformatics, 99, 54–63.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-10-26]

نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال سیزدهم/ ویژه‌نامه فناوری‌های نوین در باستان‌شناسی نجات‌بخشی سدها/ پاییز ۱۴۰۵

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric Power Plant
13th Year/ Special Issue on Modern Technologies Applied in Rescue Archaeology for Dam Projects/ October 2026

The Application of Advanced Digital Documentation Methods in Rescue Archaeological Excavations

Mohammad Yari[1]*
Zahra Khodadadzadeh[2]
Zeinab Feiz[3]

Abstract

Given the rapid pace of infrastructural development in Iran, the use of advanced technologies in rescue archaeology projects has become increasingly essential. This article aims to elucidate the scientific principles and methods of digital documentation and to present a systematic protocol for rescue excavations, emphasizing the necessity of employing digital technologies in such projects. Digital documentation techniques—including close-range photogrammetry, the use of unmanned aerial vehicles (UAVs), and the creation of virtual tours—have been implemented in rescue excavations at the Kangir Dam, Chandir Dam, Belubin Dam, and Seimareh Dam archaeological sites. These approaches enable the comprehensive and holistic recording and presentation of archaeological sites and excavation areas, serving as effective tools for multiple purposes such as tourism, heritage management, and education. Previous experiences demonstrate that the integration of technologies such as photogrammetry and virtual tours, in addition to ensuring high scientific accuracy, also facilitates the effective cultural and educational representation of archaeological remains. Finally, the article proposes the establishment of a "Digital Museum of Archaeological Achievements from Water and Power Projects" as a sustainable solution for the preservation and presentation of data generated through rescue archaeology projects.

Keywords

Digital documentation, rescue excavation, photogrammetry, virtual reality

1. CEO of Arka Heritage Company; M.A. Graduate in Archaeology, Bu-Ali Sina University of Hamedan (Corresponding Author) Email: 3dyari@gmail.com | Tel: +98 912 879 2218
2. Ph.D. Candidate in Archaeology, University of Tehran Email: zahra.khodadadzadeh.kh@gmail.com Tel: +98 936 797 1427
3. M.A. Graduate in Archaeology, Tarbiat Modares University Email: zeinab.feiz18@gmail.com | Tel: +98 912 531 1959

Received: 2026/01/06 Accepted: 2026/05/30

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-10-26]