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

نقش فناوری‌های نوین در حفاظت پیشگیرانه از میراث فرهنگی در پروژه‌های آب

فرزاد مافی[۱]
بابک شیخ بیکلو اسلام*[۲]

چکیده

تعارض میان پروژه‌های مدیریت منابع آب و حفاظت از میراث فرهنگی، یکی از چالش‌های بنیادین توسعه‌ی پایدار به‌شمار می‌آید. این مقاله با روش «توصیفی ـ تحلیلی» و بر پایه‌ی «سنتزپژوهی»، به بررسی جامع پیامدهای پروژه‌های آبی، به‌ویژه سدسازی، انتقال آب و آبخیزداری، بر محوطه‌ها و بناهای تاریخی پرداخته و نشان می‌دهد که رویکردهای واکنشی سنتی دیگر قادر به مقابله با مقیاس و پیچیدگی این تهدیدات نیستند. مرور نظام‌مند تجربه‌های جهانی و شواهد داخلی تعیین می‌کند که فناوری‌های نوین، از جمله سنجش از دور ماهواره‌ای و پهپادی، فتوگرامتری، اسکن لیزری سه‌بعدی، مدل‌سازی اطلاعات مکانی، دوقلوی دیجیتال، هوش مصنوعی و واقعیت مجازی/افزوده، امکان گذار از مدیریت بحران به حفاظت پیشگیرانه را فراهم می‌سازند. این مقاله، یک چارچوب یکپارچه مبتنی بر این فناوری‌ها را ارائه می‌دهد که با شناسایی اولیه، مستندسازی دقیق، پایش محیطی و بازآفرینی دیجیتال، زمینه‌ی تصمیم‌گیری آگاهانه در پروژه‌های آبی را فراهم می‌آورد. نتایج نشان می‌دهد که ادغام راهکارهای فناورانه در مراحل برنامه‌ریزی و اجرا، شرط لازم برای تحقق اهداف توسعه‌ی پایدار و حفظ میراث فرهنگی در برابر فشارهای زیست‌محیطی و زیرساختی است.

واژه‌های کلیدی

سنجش از دور، فتوگرامتری، میراث فرهنگی، مدیریت منابع آب، دوقلوی دیجیتال، حفاظت پیشگیرانه.

[۱] استادیار، گروه علمی باستان‌شناسی، واحد ابهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ابهر، ایران.
[۲*] دانش‌آموخته دکتری باستان‌شناسی، پژوهشگر آزاد مطالعات دیرین‌اقلیم، تهران، ایران. babak.bagloo@srbiau.ac.ir

علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۹

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

مقدمه

مدیریت منابع آب، از جمله تأمین آب شرب و کشاورزی، تولید انرژی، کنترل سیلاب و برنامه‌ریزی هیدرولوژیک، از ستون‌های بنیادین توسعه‌ی پایدار و امنیت زیستی جوامع است. با این‌حال، احداث زیرساخت‌های آبی مانند سدها، کانال‌ها یا مخازن، همواره با مخاطرات جدی برای میراث فرهنگی همراه بوده است. در بسیاری از موارد، ساخت سد و آبگیری مخازن موجب «غرق‌شدن میراث»[1] شده است (مارچتی و زاینا[2]، ۲۰۲۵). این روند، نه تنها به نابودی فیزیکی آثار منجر می‌شود، بلکه بخش مهمی از حافظه‌ی تاریخی و هویت جمعی جوامع را برای همیشه از بین می‌برد (کمیسیون جهانی سدها[3]، ۲۰۰۰).

بنا به گزارش کمیسیون جهانی سدها در بسیاری از پروژه‌های بزرگ آب، ارزیابی میراث فرهنگی انجام نمی‌شود و منابع فرهنگی، شامل معابد، مدفن‌ها، آثار معماری یا بافت‌های فرهنگی و منظرهای تاریخی، بدون هیچ اطلاع‌رسانی، از بین می‌روند (برانت و حسن[4]، ۲۰۰۰). این طیف گسترده از خسارت‌های فرهنگی، از نابودی کامل محوطه‌های باستانی تا جداسازی یا تغییر کارکرد بناها را شامل می‌شود (مارچتی و زاینا، ۲۰۲۵).

در سطح بین‌المللی، نگرانی نسبت به این تعارض میان مدیریت آب و حفاظت میراث فرهنگی، باعث ایجاد جنبش‌ها و چارچوب‌هایی برای محافظت از آثار فرهنگی در برابر پروژه‌های آبی شده است. برای مثال، گزارش نظارت میراث جهانی[5] (۲۰۲۵) تحت عنوان «میراث سد شده»[6] (کنایه از میراث در معرض خطر سدسازی) به بررسی تأثیرات زیرساخت‌های آبی بر محوطه‌های میراث جهانی می‌پردازد و هشدار می‌دهد که بسیاری از اماکن فرهنگی و طبیعی در معرض خطرند. افزون بر این، تحلیل‌های اخیر نشان می‌دهند که مخاطرات مرتبط با آب، از خشکسالی و تنش آبی تا سیلاب و تغییر در جریان رودخانه‌ها، بخش عمده‌ای از اماکن ثبت‌شده جهانی را تهدید می‌کنند. به‌عنوان نمونه، تحلیل داده‌های آب و اقلیم نشان می‌دهد که ۷۳٪ از محوطه‌های جهانی دارای میراث فرهنگی در معرض حداقل یک خطر جدی مرتبط با آب هستند (یونسکو[7]، ۲۰۲۵). این تضاد ذاتی، یعنی نیاز به توسعه‌ی زیرساخت‌های آبی برای تأمین نیازهای بشری در برابر ضرورت حفظ میراث فرهنگی به‌عنوان بخشی از هویت تاریخی و فرهنگی، نشان می‌دهد که رویکرد «توسعه یا حفاظت» دیگر کافی نیست، بلکه باید به سمت یک «تلفیق آگاهانه و علمی» رفت؛ رویکردی که هم مدیریت پایدار آب و هم حفاظت میراث را به‌طور هم‌زمان مدنظر قرار دهد.

در این چارچوب، ضروری است از فناوری‌های نوظهور دیجیتال به‌عنوان راهکارهایی با پتانسیل بالا برای حفاظت پیشگیرانه از میراث فرهنگی استفاده شود. مفهوم «دوقلوی دیجیتال میراث»[8]، به معنای بازنمایی دیجیتالی و جامع یک اثر میراثی با تمام ابعاد فنی، معنایی، مستندسازی و اطلاعات شناختی آن، یکی از مهم‌ترین نوآوری‌ها در این زمینه است. طیف وسیعی از داده‌ها، شامل مدل‌های سه‌بعدی، مستندات تاریخی، نقشه‌ها، عکس‌ها، اطلاعات زمینه‌ای و معنایی، می‌توانند در یک «فضای داده میراث»[9] یکپارچه شوند و بدین‌ترتیب، امکان دسترسی، تحلیل، مقایسه و حتی واکنش خودکار به خطرات (مثل هشدار در برابر سیلاب یا فرسایش) فراهم آید (نیکولوچی[10] و همکاران، ۲۰۲۲). علاوه‌براین، پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که روش‌های یادگیری عمیق به‌همراه بینایی رایانه[11] می‌توانند در شناسایی آثار تاریخی نیازمند مرمت یا حفاظت، حتی قبل از بروز تخریب جدی، مؤثر باشند. به‌عنوان مثال، مطالعه‌ای درباره‌ی بناهای میراثی در ایران نشان داده است که استفاده از شبکه‌های عصبی کانولوشنی[12] همراه با تکنیک «نگاشت فعال‌سازی کلاس با وزن‌دهی مبتنی بر گرادیان»[13] می‌تواند به تشخیص درست بناهای میراثی در معرض آسیب کمک کند و امکان

[1] flooded heritage یعنی زیر آب رفتن محوطه‌های باستانی، بناها، چشم‌اندازها و لایه‌های تاریخی
[2] Marchetti & Zaina
[3] World Commission on Dams (WCD)
[4] Brandt & Hassan
[5] World Heritage Watch
[6] Heritage Dammed
[7] UNESCO
[8] Heritage Digital Twin
[9] heritage data space
[10] Niccolucci
[11] computer vision + deep learning
[12] CNN
[13] Gradient-weighted Class Activation Mapping (Grad-CAM)

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

مستندسازی دقیق‌تر و سریع‌تر را فراهم آورد (بهرامی و البدوی[1]، ۲۰۲۳). بر این اساس، فرضیه‌ی اصلی مقاله این است که به‌کارگیری فناوری‌های نوظهور دیجیتال، شامل دوقلوی دیجیتال، نقشه‌برداری و اسکن سه‌بعدی، پایش اقلیمی و محیطی و تحلیل‌های داده‌محور، می‌تواند ابزار قدرتمندی برای شناسایی، مستندسازی، تحلیل و حتی بازآفرینی مجازی میراث فرهنگی در معرض خطر ناشی از پروژه‌های مدیریت منابع آب فراهم کند. این رویکرد ما را از موضعی واکنشی (بعد از وقوع تخریب) به‌سوی استراتژی‌های پیشگیرانه و علمی می‌برد.

این مقاله، در ادامه، ابتدا به بررسی پیشینه‌ی پژوهش‌ها و گزارش‌های بین‌المللی و منطقه‌ای درباره‌ی تأثیر پروژه‌های آب بر میراث فرهنگی می‌پردازد. سپس، فناوری‌های کلیدی نوظهور را معرفی می‌کند و در نهایت، چارچوب مفهومی ـ عملی برای تلفیق حفاظت میراث و مدیریت آب ارائه خواهد داد. با چنین رویکردی، این امکان وجود خواهد داشت که ضمن تأمین نیازهای آبی و زیرساختی، میراث ملموس و معنوی جوامع نیز، به‌عنوان بخشی از حافظه‌ی فرهنگی بشر، به‌طور پایدار حفظ شوند.

پیشینه‌ی پژوهش

پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهند که رویکردهای حفاظت از میراث فرهنگی در بستر پروژه‌های منابع آب از شیوه‌های سنتی «نجات‌بخشی» به راهبردهای نوین و فناورانه‌ی «پیشگیرانه» ارتقا یافته‌اند. این تحول در سطح جهانی با پذیرش فزاینده‌ی فناوری‌های دیجیتال نظیر «سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی یا GIS»[2]، فتوگرامتری، اسکن لیزری، هوش مصنوعی و فناوری «دوقلوی دیجیتال»[3] همراه بوده است و در ایران نیز گام‌هایی در راستای بومی‌سازی این فناوری‌ها برداشته شده است.

الف) در سطح جهانی

تحقیقات بین‌المللی، کارآمدی فناوری‌های نوین را در حفاظت از میراث فرهنگی در معرض تهدیدهای زیست‌محیطی و پروژه‌های زیرساختی به‌خوبی نشان می‌دهند:

پروژه‌ی GIS در پترا (اردن): از سال ۱۹۹۷، پایگاه داده جامع GIS برای مدل‌سازی منظر باستان‌شناسی و مدیریت خطراتی مانند سیلاب و فرسایش شکل گرفت که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (لندست، اسپات)[4] و مدل‌های ارتفاعی دیجیتال توانست نقشه‌ای پویا از تهدیدهای محیطی ارائه دهد (پارادایز[5]، ۲۰۱۲).

بازسازی دیجیتال محوطه دگوک-ری[6](کره جنوبی): با بهره‌گیری از فتوگرامتری، GIS و مدل‌سازی سه‌بعدی، محوطه‌ای غرق‌شده بازسازی شد و امکان بازدید واقعیت مجازی برای مقاصد آموزشی و موزه‌ای فراهم آمد (کیم و لی[7]، ۲۰۲۵).

حفاظت هوشمند از کلیسای جامع لوزان (سوئیس): پژوهشگران با استفاده از فناوری «دوقلوی دیجیتال» و هوش مصنوعی، سامانه‌ای برای پایش هم‌زمان آسیب‌ها، مصالح و تغییرات سازه‌ای بنا طراحی کرده‌اند که در تصمیم‌گیری مرمتی مؤثر است (پاسوپولتی[8]، ۲۰۲۵).

چارچوب کلان جهانی: مطالعه‌ای نشان می‌دهد که دیجیتالی‌سازی در حفاظت میراث، علاوه بر ارتقای دقت مستندسازی، به بازتعریف رابطه‌ی انسان و میراث در عصر فناوری کمک می‌کند و ضرورت تدوین سیاست‌های اخلاقی و حفاظتی نو را گوشزد می‌نماید (بورکالتسوا[9] و همکاران، ۲۰۲۲). در مجموع، روند جهانی از کاربرد GIS در مدیریت منظر فرهنگی به‌سوی «حفاظت پیش‌بینانه» مبتنی بر داده‌های بلادرنگ و هوش مصنوعی حرکت کرده است (پاسوپولتی، ۲۰۲۵).

ب) در ایران

در ایران نیز گرایش به استفاده از فناوری‌های دیجیتال برای مستندسازی و حفاظت از میراث در پروژه‌های آبی و عمرانی در حال رشد است:

کاربرد فتوگرامتری زمینی در دیوار بزرگ گرگان: پژوهش سجادی نشان داد که استفاده از فتوگرامتری دیجیتال می‌تواند ابزار مؤثری برای بازسازی سه‌بعدی و تحلیل دقیق سازه‌های

[1] Bahrami & Albadvi
[2] Geographic Information System
[3] Digital Twin
[4] Landsat, SPOT
[5] Paradise
[6] Daegok-ri
[7] Kim & Lee
[8] Pasupuleti
[9] Burkaltseva

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

تاریخی باشد و زمینه را برای سیستم‌های اطلاعات مکانی میراث در ایران فراهم سازد (سجادی[1]، ۲۰۱۹).

تجربه‌ی مستندسازی کم‌هزینه در برج‌های خرقان: حسنی و رفیعی نشان دادند که حتی با تجهیزات ساده و روش‌های فتوگرامتری نزدیک‌برد، می‌توان داده‌های باکیفیتی برای تحلیل و مرمت فراهم آورد که برای کشورهایی با منابع محدود بسیار کارآمد است (حسنی و رفیعی[2]، ۲۰۱۳).

تحلیل‌های GIS در پروژه‌های سدسازی: مطالعات داخلی در حوزه‌ی سدها و آبخیزداری (مانند حوزه‌ی حسن‌ابدال زنجان) بر اهمیت استفاده از مدل‌های ارتفاعی دیجیتال[3] و تحلیل شیب برای شناسایی محوطه‌های باستانی تأکید دارند (حسنی و ملکی، ۱۳۹۸). همچنین، این پژوهش نشان می‌دهد که عدم مشارکت جوامع محلی در تصمیم‌گیری‌های حفاظت از میراث فرهنگی در پروژه‌های آبی، یکی از عوامل شکست راهبردهای حفاظتی در بلندمدت است.

روش پژوهش

این مقاله بر اساس یک روش تحقیق «توصیفی ـ تحلیلی» و «سنتز پژوهی»[4] استوار است. در این رویکرد، به جای انجام یک مطالعه‌ی میدانی جدید، تمرکز بر گردآوری، تحلیل انتقادی و یکپارچه‌سازی نظام‌مند داده‌ها و یافته‌های موجود در منابع علمی معتبر قرار دارد. منابع مورد استفاده شامل طیف وسیعی از اسناد، از جمله مقالات پژوهشی، اسناد فنی پروژه‌های عمرانی، گزارش‌های سازمان‌های بین‌المللی مانند «اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت»[5] و «شورای بین‌المللی بناها و محوطه‌ها»[6] و مطالعات موردی منتشرشده در حوزه‌ی باستان‌شناسی دیجیتال و مدیریت منابع آب است. هدف از این روش، ارائه‌ی یک چارچوب مفهومی و کاربردی جامع برای ادغام فناوری‌های نوین در فرآیند مدیریت میراث فرهنگی در پروژه‌های آبی است. این چارچوب، با سنتز دانش موجود، به شناسایی بهترین شیوه‌ها، چالش‌های کلیدی و فرصت‌های پیش رو می‌پردازد. این روش‌شناسی به ما امکان می‌دهد تا تصویری کلان و چندبعدی از موضوع ارائه دهیم و راهکارهایی را تدوین کنیم که بر پایه‌ی شواهد و تجربیات موفق بنا شده‌اند. در ادامه، به بحث پیرامون چالش‌ها و راهکارهای فناورانه پرداخته خواهد شد.

بحث

این بخش به واکاوی عمیق چالش‌های ناشی از تعامل پروژه‌های مدیریت آب با میراث فرهنگی و معرفی راهکارها و فناوری‌های کلیدی می‌پردازد که می‌توانند پیوندی مؤثر و پایدار میان این دو حوزه برقرار کنند. هدف، ترسیم یک نقشه‌ی راه استراتژیک برای گذار از مدیریت بحران به حفاظت پیشگیرانه است.

پروژه‌های عمرانی مدیریت آب و میراث فرهنگی

تعامل میان پروژه‌های مدیریت منابع آب (مانند سدها، کانال‌ها و طرح‌های آبخیزداری) و میراث فرهنگی، پیچیده و اغلب متضاد است. این پروژه‌ها می‌توانند به طرق مختلفی آثار باستانی و تاریخی را تهدید کنند:

- **تخریب مستقیم:** غرق شدن کامل محوطه‌های باستانی و روستاهای تاریخی در مخزن سدها، بارزترین و جبران‌ناپذیرترین نوع تخریب است (نک. کیم و لی، ۲۰۲۵؛ تیتولو[7]، ۲۰۲۱).
- **آسیب‌های غیرمستقیم:** تغییر در سطح آب‌های زیرزمینی، افزایش فرسایش خاک در حاشیه مخازن و تغییرات اکولوژیکی می‌توانند به‌تدریج سازه‌های تاریخی و محوطه‌های باستانی را دچار آسیب و تخریب کنند (انیس و فرانکل[8]، ۲۰۲۵؛ فهمی[9] و همکاران، ۲۰۲۵). به‌عنوان نمونه‌ی موردی می‌توان به پیامدهای احداث سد کانی سیب در پیرانشهر اشاره کرد (قنواتی[10] و همکاران، ۱۳۹۴، ۱۳۹۵).
- **تأثیرات اجتماعی-اقتصادی:** جابه‌جایی جوامع محلی و قطع ارتباط آن‌ها با سرزمین و میراث نیاکانشان، یکی از پیامدهای مهم این پروژه‌ها است که اغلب نادیده گرفته می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که عدم مشارکت

[1] Sadjadi
[2] Hassani & Rafiee
[3] DEM
[4] Synthesis Research
[5] International Union for Conservation of Nature (IUCN)
[6] International Council on Monuments and Sites (ICOMOS)
[7] Titolo
[8] Annys & Frankl
[9] Fahmy
[10] Ghanavati

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

ذی‌نفعان در فرآیند تصمیم‌گیری می‌تواند به شکست بلندمدت اهداف پروژه منجر شود (حسنی و ملکی[1]، ۱۳۹۸؛ سلطانی[2] و همکاران، ۱۳۹۵).

رهیافت‌ها و راهکارهای جاری در مطالعات فرهنگی – تاریخی این پروژه‌ها

رویکردهای فعلی در مدیریت میراث فرهنگی در پروژه‌های عمرانی، شاهد گذار از روش‌های سنتی و واکنشی (مانند کاوش‌های نجات‌بخشی محدود و پراکنده) به‌سوی راهبردهای نوین، یکپارچه و پیشگیرانه هستند. این تحول بر دو پایه‌ی اصلی استوار است: مدل‌سازی پیش‌بینی‌کننده و چارچوب‌های مفهومی پایدار.

«مدل‌سازی پیش‌بینی‌کننده»[3] با استفاده از GIS، ابزاری قدرتمند برای شناسایی مناطق با پتانسیل بالای باستان‌شناسی در مراحل اولیه‌ی برنامه‌ریزی پروژه است. با تحلیل متغیرهای محیطی کلیدی مانند «شیب کمتر از ۵ درصد» و «فاصله ۲۰۰ متری یا کمتر از منابع آبی دائمی»، می‌توان نقشه‌هایی از احتمال وجود محوطه‌های باستانی تهیه کرد (کلمنت و همکاران[4]، ۲۰۰۱). این مدل‌ها به برنامه‌ریزان اجازه می‌دهند تا با آگاهی از مخاطرات میراث فرهنگی، مسیر پروژه‌ها را به گونه‌ای طراحی کنند که از مناطق حساس دوری کرده و هزینه‌های نجات‌بخشی را به حداقل برسانند (شاد[5] و همکاران، ۲۰۲۴).

در سطح مفهومی، رویکردهایی مانند «راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت»[6] که توسط اتحادیه‌ی بین‌المللی حفاظت از طبیعت[7] ارائه شده، چارچوبی برای یکپارچه‌سازی حفاظت از اکوسیستم (که میراث فرهنگی بخشی جدایی‌ناپذیر از آن است) با مدیریت منابع آب فراهم می‌کند. این رویکرد به جای تمرکز صرف بر زیرساخت‌های مهندسی‌شده (مانند سدها)، بر حفاظت و بازسازی اکوسیستم‌های طبیعی مانند تالاب‌ها و حوضه‌های آبخیز برای مدیریت آب تأکید دارد و از این طریق، به حفظ منظر فرهنگی نیز کمک می‌کند (اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت، ۲۰۲۰). تحقق این راهکارهای پیشرفته، نیازمند ابزارهای فناورانه‌ای است که در ادامه به تفصیل معرفی می‌شوند.

معرفی فناوری‌های نوین کاربردی در باستان‌شناسی

در چشم‌انداز معاصر باستان‌شناسی، فناوری‌های نوین، به خصوص روش‌های سنجش از دور، فتوگرامتری پهپادی و بررسی‌های ژئوفیزیکی، این امکان را فراهم می‌کنند که شناسایی، مستندسازی و نظارت بر میراث فرهنگی بدون نیاز به حفاری گسترده انجام شود. این فناوری‌ها به‌خصوص در پروژه‌های مدیریت منابع آب قادرند به‌عنوان بخشی از فرایند ارزیابی تأثیرپذیری میراث فرهنگی و اتخاذ تصمیمات آگاهانه برای حفاظت مورد استفاده قرار گیرند. گردش‌کار زیر، مراحل کاربرد فناوری‌های نوین در باستان‌شناسی را از شناسایی اولیه تا حفاظت و نظارت توضیح می‌دهد.

۱. بررسی و شناسایی میدانی (غیرمخرب)

هدف این مرحله، شناسایی و مکان‌یابی محوطه‌های باستانی با حداقل تخریب و پیش از هرگونه مداخله‌ی عمرانی است. این کار معمولاً با ترکیب چند ابزار مختلف انجام می‌شود:

- **سنجش از دور[8]**
  - **تصاویر ماهواره‌ای و راداری[9]:** داده‌های ماهواره‌ای، شامل تصاویر چندطیفی[10] و راداری، ابزار بسیار مؤثری برای شناسایی الگوهای سطحی و زیرسطحی مرتبط با محوطه‌های باستانی هستند. برای مثال، استفاده از تصاویر سنتینل-۱[11] (راداری) به همراه تصاویر سنتینل-۲[12] (چندطیفی) توانسته ساختارهای سطحی و حتی برخی ویژگی‌های زیرسطحی محوطه‌ی باستانی قبه الحوا[13] در مصر را قبل از کاوش آشکار سازد که نشان‌دهنده‌ی حساسیت رادار به اختلالات خاکی ناشی از فعالیت انسانی یا تغییر خاک است (اُنیل و بوماس[14]، ۲۰۲۱). بررسی چند دهه‌ای کاربرد سنجش از دور در باستان‌شناسی حاکی از این است که ترکیب تکنیک‌های طیفی، سار،

[1] Hassani and Maleki
[2] Soltani
[3] Predictive Modeling
[4] Clement et al.
[5] Shad
[6] Nature-based Solutions
[7] IUCN
[8] Remote Sensing
[9] SAR
[10] multispectral/hyperspectral
[11] Sentinel-1
[12] Sentinel-2
[13] Qubbet el-Hawa
[14] O'Neill & Bommas

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

طیف‌سنجی و لیزر (لیدار / آلس)[1] به‌طور فزاینده‌ای برای بررسی گسترده‌ی مناطق و آشکارسازی محوطه‌های مدفون به کار می‌رود (ماشنر[2] و همکاران، ۲۰۲۵).

- **فتوگرامتری هوایی با پهپاد[3]**

پهپادها امکان تهیه‌ی سریع تصاویر هوایی با وضوح بالا و ایجاد مدل سه‌بعدی رقومی[4] را فراهم می‌کنند. این روش در بسیاری از پروژه‌های باستان‌شناسی به‌عنوان جایگزین یا تکمیل‌کننده لیدار و سنجش ماهواره‌ای برای مستندسازی سطح زمین و مشاهده‌ی علائم سطحی، مانند تغییرات پوشش گیاهی، خطوط خاکی، کانال‌ها و دیوارهای مدفون، کاربرد دارد. در مطالعه‌ای به کارکرد مؤثر پهپاد[5] برای آشکارسازی علائم زراعی و علائم خاک به همراه شاخص‌های طیفی اشاره شده است (تمیستوکلیوس[6] و همکاران، ۲۰۱۵). این روش به‌خصوص برای مناطق وسیع و با پیچیدگی بالا، پیش از عملیات عمرانی یا زیرساختی، مانند پروژه‌های مخزن آب یا سد، بسیار کارآمد است.

- **ژئوفیزیک[7]**

پس از شناسایی اولیه‌ی مناطق بالقوه با سنجش از دور یا پهپاد، تکنیک‌های زیرسطحی ژئوفیزیکی مانند رادار نفوذی زمین[8]، مقاومت‌سنجی الکتریکی، مغناطیس‌سنجی و سایر روش‌ها می‌توانند برای بررسی دقیق‌تر ساختارهای مدفون به کار روند. این روش‌ها با ارسال سیگنال به زیر زمین و تحلیل بازتاب یا تغییرات آن، امکان تصویرسازی لایه‌های زیرسطحی، وجود دیوار، فونداسیون، گورستان یا راه‌های باستانی را فراهم می‌کنند. استفاده از رادار نفوذی زمین[9] به‌عنوان روشی غیرمخرب در باستان‌شناسی به‌وفور گزارش شده است (محمد[10]، ۲۰۲۰).

۲. مراحل کار با فناوری‌های نوین باستان‌شناسی در پروژه‌های مدیریت منابع آب

براساس فناوری‌های فوق، می‌توان یک «زنجیره‌ی پژوهشی ـ حفاظتی» طراحی کرد که از ابتدای مطالعات پایه پیش از اجرای طرح‌های آبی آغاز شده و تا مستندسازی، پایش و حفاظت ادامه یابد:

- سنجش از دور و داده‌های ماهواره‌ای برای شناسایی محوطه‌های باستان‌شناسی بالقوه در حوضه‌ی آبریز مورد نظر.
- پرواز پهپاد و فتوگرامتری هوایی برای ثبت دقیق سطح، ایجاد مدل رقومی سطح[11] و مدل رقومی ارتفاع[12] و شناسایی علائم سطحی بالقوه.
- بررسی ژئوفیزیکی (مانند رادار نفوذکننده به زمین[13]) برای ارزیابی زیرسطحی محوطه‌های باستان‌شناسی منتخب بدون کاوش.
- مستندسازی دیجیتال (مدل سه‌بعدی، نقشه‌ها، بانک داده میراث) برای ایجاد یک مرجع میراث در برابر خطرات ناشی از پروژه‌های آبی.
- نظارت دوره‌ای با سنجش از دور / پهپاد / داده‌های محیطی به‌منظور شناسایی تغییرات، خطر فرسایش، نشست یا آبگرفتگی احتمالی.

چنین گردش‌کاری به‌ویژه زمانی اهمیت می‌یابد که پروژه‌ی آبی (احداث سد، مخزن، کانال) یا تغییر کاربری زمین انجام شود، چرا که با ترکیب داده‌های محیطی، توپوگرافی و پوشش گیاهی، امکان شناسایی محوطه‌های حساس میراثی و تصمیم‌گیری مبتنی بر حفاظت پیش از اجرا فراهم می‌گردد.

۳. اهمیت این رویکرد و چرایی انتخاب روش‌های غیرمخرب

- این روش‌ها غیرمخرب هستند؛ نیاز به حفاری گسترده و تخریب بخشی از لایه‌های فرهنگی نیست. این موضوع به‌ویژه در مناطقی با میراث فرهنگی حساس یا در معرض تهدید اجرای زیرساخت، بسیار مهم است.
- هزینه و زمان نسبت به کاوش‌های سنتی کاهش می‌یابد؛ پرواز پهپاد یا ماهواره، ارزان‌تر و سریع‌تر از کاوش باستان‌شناسی گسترده است و امکان پوشش مناطق وسیع‌تر را می‌دهد.
- مستندسازی، دقیق و قابل بازبینی است؛ طراحی بانک داده‌ی دیجیتال (مدل سه‌بعدی، نقشه، عکس، داده‌ی

[1] LiDAR / ALS
[2] Maschner
[3] UAV Photogrammetry
[4] Digital Surface Model, DSM
[5] Unmanned Aerial Vehicle (UAV)
[6] Themistocleous
[7] Geophysical Survey
[8] Ground Penetrating Radar (GPR)
[9] GPR
[10] Muhammad
[11] DSM (Digital Surface Model)
[12] DEM (Digital Elevation Model)
[13] GPR (Ground-Penetrating Radar)

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

زمین‌شناسی) امکان مرور، بازسازی یا حفاظت مجازی را فراهم می‌کند.

- پیشگیری و ارزیابی خطر میسر می‌شود؛ با اجرای این گردش‌کار قبل از شروع پروژه‌های آب، می‌توان محوطه‌های باستانی را شناسایی و حفاظت کرد، نه اینکه بعد از آسیب یا نابودی عکس‌العمل نشان داد.

فناوری‌های نوین، به‌ویژه ترکیب سنجش از دور ماهواره‌ای/ پهپادی، فتوگرامتری و بررسی‌های ژئوفیزیکی، ابزارهای بسیار کارآمد و مؤثری برای شناسایی، مستندسازی و حفاظت میراث فرهنگی به‌شکل غیرمخرب فراهم کرده‌اند. ادغام این فناوری‌ها در پروژه‌های مدیریت منابع آب، از مرحله‌ی برنامه‌ریزی تا اجرا و نظارت، می‌تواند تضمینی برای همزیستی توسعه‌ی آبی و حفظ میراث تاریخی باشد. چنین رویکردی، نگرش سنتی «حفاری پس از تخریب احتمالی» را به «پیشگیری علمی و حفاظت مبتنی بر داده» ارتقا می‌دهد.

۴. کاوش و مستندسازی

پس از مرحله‌ی شناسایی اولیه، جمع‌آوری و ساماندهی داده‌ها در یک پلتفرم یکپارچه و مستندسازی دقیق آثار و لایه‌های باستان‌شناسی در حین کاوش، از اهمیت اساسی برخوردار است. این مستندسازی نه تنها برای حفظ اطلاعات اصیل محوطه‌ی باستان‌شناسی مهم است، بلکه بستر لازم برای تحلیل‌های بعدی، بازسازی، حفاظت و نظارت بلندمدت را فراهم می‌کند. در این راستا، ترکیب چند فناوری نوین، از GIS تا اسکن سه‌بعدی، به‌عنوان مرحلهٔ میانی یک گردش‌کار نوین مطرح می‌شود:

- **سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی**[1]

پلتفرم GIS در مدیریت داده‌های مکانی پروژه، نقش هسته‌ای دارد، به گونه‌ای که نقشه‌های باستان‌شناسی، مدل‌های سه‌بعدی، موقعیت یافته‌ها، تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های ژئوفیزیکی و غیره را در یک محیط متحد، مستندسازی و تحلیل می‌کند. استفاده ازGIS ، این امکان را می‌دهد تا تحلیل‌های فضایی پیچیده، مانند تحلیل الگوهای استقرار، پراکنش یافته‌ها، روابط بین ساختارها و بافت محیطی، انجام شود و برای برنامه‌ریزی حفاظت یا مطالعه‌ی جانمایی آثار در یک چشم‌انداز/پهن‌دشت وسیع به کار رود. مطالعات اخیر نیز تأکید کرده‌اند که GIS نه صرفاً به‌عنوان ابزار پساپردازش، بلکه به‌عنوان بستر اصلی در اسناد دیجیتالِ محوطه‌های باستان‌شناسی باید به کار گرفته شود (کاتسیانیس[2]، ۲۰۲۴؛ برگرن و گوتهال[3]، ۲۰۱۸).

- **اسکن سه‌بعدی و فتوگرامتری**
  - **اسکن لیزر سه‌بعدی**[4]: با استفاده از این فناوری، می‌توان ابر نقاط[5] بسیار دقیق از سازه‌ها، لایه‌ها و فضاهای باستانی ایجاد کرد. این ابر نقاط، پس از پردازش، مرجع مناسبی برای تحلیل ساختاری، بررسی فرسایش، آسیب‌شناسی، مرمت و بازسازی مجازی هستند. کاربرد اسکن لیزر سه‌بعدی در پروژه‌های باستان‌شناسی به‌طور گسترده گزارش شده است، به‌ویژه زمانی که هدف، مستندسازی با دقت بالا و حفظ کامل آثار است (استامناس[6] و همکاران، ۲۰۲۱؛ بوسکو[7]، ۲۰۲۲).
  - **فتوگرامتری**[8]: با پردازش مجموعه عکس‌های هوایی یا زمینی، این روش امکان تولید مدل‌های سه‌بعدی به‌صورت «شبکهٔ چندضلعیِ دارای بافت»[9] را فراهم می‌کند. فتوگرامتری معمولاً اقتصادی‌تر و قابل استفاده‌تر در فعالیت‌های میدانی است و به‌خصوص برای ثبت سریع کاوش یا هنر معماری آثار مناسب است (استامناس و همکاران، ۲۰۲۱؛ زاکوس و آناگنوستوپولوس[10]، ۲۰۲۳). ترکیب داده‌های تولیدشده از لیزر اسکن سه‌بعدی و فتوگرامتری و سپس وارد کردن آنها در GIS امکان ایجاد بانک داده‌ی دیجیتال کامل برای محوطه‌ی میراثی را فراهم می‌سازد که می‌تواند برای تحلیل، مرمت، بازسازی یا حتی بازنمایی مجازی مورد استفاده قرار گیرد (بوسکو، ۲۰۲۲؛ الشوابکه[11] و همکاران، ۲۰۲۱؛ رموندینو[12]، ۲۰۱۱).

[1] Geographical Information System (GIS)
[2] Katsianis
[3] Berggren & Gutehall
[4] Terrestrial Laser Scanning (TLS)
[5] point cloud
[6] Stamnas
[7] Bosco
[8] Photogrammetry
[9] textured mesh
[10] Zachos & Anagnostopoulos
[11] Alshawabkeh
[12] Remondino

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

- **مستندسازی دیجیتال فراگیر:** در پروژه‌ی ثبت پارک باستان‌شناسی دیون[1] در یونان، ترکیب اسکن لیزر سه‌بعدی[2]، پهپاد و سنجش «سامانه‌ی جهانی ناوبری ماهواره‌ای»[3] برای ثبت دقیق مکان و هندسه‌ی آثار موفق بوده است. سپس، همه‌ی داده‌ها به‌صورت ژئورفرنس‌شده در GIS بارگذاری و به‌صورت مدل سه‌بعدی و مستندات جامع ذخیره شده‌اند. این مستندسازی امکان مدیریت پایدار، برنامه‌ریزی مرمت، نظارت بر فرسایش یا تهدیدات آینده و نیز امکان بهره‌برداری آموزشی و گردشگری دیجیتال را فراهم کرده است (الیودرومیتیس[4] و همکاران، ۲۰۲۵).
- **اهمیت کارِ ترکیبی و مستندسازی:** ترکیب اسکن لیزر سه‌بعدی، فتوگرامتری، GIS و پایگاه داده، مکانی ایجاد می‌کند که داده‌های سنگ، سازه، لایه، شیء، محیط طبیعی و فرهنگی را در یک چارچوب یکپارچه گرد هم می‌آورد. چنین گردش‌کاری نه تنها کیفیت مستندسازی را بالا می‌برد، بلکه شفافیت، تکرارپذیری و قابلیت به‌روزرسانی داده‌ها را تضمین می‌کند (مهد امین‌الدین[5] و همکاران، ۲۰۱۹).

دلایل اهمیت این روش‌ها

- این روش‌ها غیرمخرب هستند یا حداقل تخریب را دارند؛ برخلاف کاوش سنتی که بخشی از بافت زمین و لایه‌های فرهنگی را تغییر می‌دهد، اسکن سه‌بعدی و فتوگرامتری اجازه می‌دهند تا محوطه‌ی باستان‌شناسی با دقت ثبت شود، بدون آنکه آسیب جدی ببیند (استامناس و همکاران، ۲۰۲۱؛ زاکوس و آناگنوستوپولوس، ۲۰۲۳).
- **کارایی زمانی و هزینه‌ای نسبت به روش‌های سنتی؛** تلفیق TLS + UAV + GIS می‌تواند سریع‌تر و با هزینه‌ی کمتر نسبت به نقشه‌برداری سنتی و مستندات دستی انجام شود و پوشش وسیع‌تری از محوطه‌ی میراثی را فراهم کند (بوسکو، ۲۰۲۲).
- **پایداری داده و قابلیت نگهداری بلندمدت:** داده‌های دیجیتال می‌توانند در بانک‌های اطلاعاتی امن ذخیره شوند، بارها بازبینی، تجزیه و تحلیل و بازسازی شوند، حتی اگر شرایط محوطه‌ی میراثی به لحاظ محیطی یا انسانی تغییر کند (نک. آمیکو و فلیچتی[6]، ۲۰۲۴؛ تسیپی[7] و همکاران، ۲۰۲۳).
- **پشتیبانی از تصمیم‌گیری آگاهانه در پروژه‌های توسعه:** وقتی کاوش و مستندسازی دیجیتال در مراحل اولیه و همزمان با برنامه‌ریزی پروژه‌های زیرساخت (مثل آب، سد، کانال) انجام شود، امکان ارزیابی تأثیر، تعیین مرزهای حفاظتی، پیشنهاد تغییر مسیر یا تنظیم طرح برای کاهش آسیب به میراث فراهم می‌شود (کیم و لی، ۲۰۲۵؛ یو[8] و همکاران، ۲۰۲۵).

ادغام سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، اسکن لیزر سه‌بعدی، فتوگرامتری و مدیریت داده‌های مکانی، در قالب یک کار منسجم و مستمر می‌تواند پایه‌ای محکم برای حفاظت علمی و جامع میراث فرهنگی در پروژه‌های آب باشد. چنین روشی به ما اجازه می‌دهد تا با دقت و کفایت بیشتر، آثار باستانی را ثبت کنیم، خطر تخریب را کاهش دهیم و علاوه بر مستندسازی، زمینه‌ی بازسازی، مرمت و نظارت بلندمدت را فراهم سازیم. این رویکرد می‌تواند یک کاوش «موقتی و پراکنده» را به یک «برنامه‌ی حفاظت همه‌جانبه» تبدیل کند.

۵. تحلیل و آنالیز آزمایشگاهی

یافته‌های حاصل از کاوش، اعم از اشیاء، سفال، فلزات، بقایای زیستی یا بقایای ارگانیک، معمولاً پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل می‌شوند تا با استفاده از فناوری‌های پیشرفته، تحلیل دقیق‌تری از ترکیب مواد، منشأ، فناوری ساخت، رژیم غذایی یا رفتار فرهنگی در گذشته به‌دست آید. این روش‌ها شامل موارد زیر هستند:

- **آنالیز عنصری و ایزوتوپی:** طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس[9] یکی از رایج‌ترین ابزارهای غیرمخرب در مطالعات باستان‌شناسی و حفاظت میراث است. با این آنالیز می‌توان ترکیب شیمیایی سفال، شیشه، فلزات و ابزارآلات سنگی را تعیین و منشأ مواد اولیه یا روش ساخت را بررسی کرد (شاکلی[10]، ۲۰۱۸).
  - بر اساس مطالعات اخیر، روش‌های پیشرفته مانند فلورسانس پرتو ایکس زاویه‌محور[11] برای تحلیل نمونه‌های

[1] Archaeological Park of Dion
[2] Terrestrial Laser Scanning (TLS)
[3] Global Navigation Satellite System (GNSS)
[4] Iliodromitis
[5] Mohd Aminuddin
[6] Amico & Felicetti
[7] Tsipi
[8] Yu
[9] X-ray Fluorescence (XRF)
[10] Shackley
[11] angle-dependent XRF / ARXRF

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

لایه‌لایه، مانند آثار رنگی، لعاب‌ها یا لایه‌های ترمیمی، مفید هستند (اورسیلی و گالی[1]، ۲۰۲۴).

- **میکروسکوپ الکترونی روبشی[2] و سایر تکنیک‌های آنالیز مواد:** آزمایشگاه‌های پیشرفته‌ی حفاظت میراث از میکروسکوپ الکترونی روبشی، میکروسکوپ‌های محیط[3]، طیف‌سنجی و دیگر روش‌های فیزیک و شیمی برای مطالعه‌ی ریزساختار مواد استفاده می‌کنند؛ این تحلیل‌ها کمک می‌کنند تا آسیب‌شناسی، فرسایش، تاب‌خوردگی یا تغییرات شیمیایی اشیای باستانی، دقیق‌تر ارزیابی شود (نک. فالکون[4] و همکاران، ۲۰۲۴؛ موروپولو[5] و همکاران، ۲۰۱۹).
- **تحلیل‌های مولکولی / زیستی:** در مورد بقایای ارگانیک ـ استخوان، ظروف باقیمانده‌ی غذا، بقایای گیاهی یا بافت‌های دیگر، تحلیل DNA باستانی (aDNA) یا آنالیز بقایای آلی[6] می‌تواند اطلاعاتی درباره‌ی رژیم غذایی، گیاهان مورد استفاده، تجارت و تعاملات فرهنگی ارائه دهد. آنالیز بقایای آلی به پژوهشگران این امکان را می‌دهد که لیپیدها، پروتئین‌ها یا سایر مولکول‌های بازمانده را شناسایی کنند (فیورانی[7] و همکاران، ۲۰۲۵؛ شمرر[8]، ۲۰۲۱).

در مجموع، این تحلیل‌های آزمایشگاهی، با حفظ اصالت نمونه‌ها و با حداقل تخریب، تصویر عمیق‌تری از زندگی، فناوری و محیط گذشته ارائه می‌دهند؛ اطلاعاتی که بدون ابزارهای علمی مدرن یا با تأخیر زیاد در اختیار پژوهشگران قرار نمی‌گیرد.

۶. انتقال، حفاظت و مرمت

پس از آنالیز و شناسایی، مرحله‌ی انتقال، حفاظت و مرمت آثار کشف‌شده اهمیت حیاتی دارد، چرا که بسیاری از اشیاء یا ساختارها، شکننده هستند و در معرض آسیب فیزیکی، شیمیایی یا زیست‌محیطی قرار دارند. فناوری‌های نوین در این مرحله نیز کاربرد دارند:

- **تصویربرداری تشخیصی غیرمخرب:** برای آثار حساس، استخوان‌ها یا اشیاء با ساختار پیچیده داخلی، CT-scan امکان بررسی ساختار داخلی بدون باز نمودن جسم را فراهم می‌کند. برای مثال، روش «پروتکل اسکن دسته‌ای آثار باستانی»[9] با استفاده از اسکنر پزشکیCT به پژوهشگران امکان می‌دهد به سرعت مدل سه‌بعدی از صدها یا هزاران قطعه ایجاد کنند (یزی-وودلی[10] و همکاران، ۲۰۲۲).
- **اسکن سه‌بعدی و چاپ سه‌بعدی:** استفاده از اسکن سه‌بعدی برای مستندسازی دقیق هندسه آثار و سپس چاپ فیزیکی مولاژ یا نمونه‌هایی از آثار، ابزاری کم‌هزینه، سریع و امن برای حفاظت، نمایش و پژوهش فراهم می‌کند. در مطالعه‌ای جدید، محققان با ترکیب اسکن سه‌بعدی و چاپ سه‌بعدی دو شیء باستانی از موزه‌ای در یونان را بازتولید کرده‌اند (کانتاروس[11] و همکاران، ۲۰۲۵). این روش‌ها به‌ویژه برای آثار شکننده یا در معرض خطر که جابجایی یا نمایش مستقیمشان مخاطره‌آمیز است، بسیار مفیدند (چاپینال-هراس[12] و همکاران، ۲۰۲۴).
- **فناوری پاکسازی و مرمت پیشرفته:** به‌طور سنتی مرمت آثار ممکن است با مواد شیمیایی یا روش‌هایی همراه باشد که خود می‌توانند به اثر آسیب بزنند. امروزه راهکارهایی مانند پاکسازی با لیزر یا روش‌های شیمیایی/ فیزیکی نوین ترجیح داده می‌شوند. به‌عنوان مثال، مطالعاتی درباره‌ی تمیزی و تحلیل آثار فلزی با فنون غیرمخرب انجام شده‌اند (دراکاکی[13] و همکاران، ۲۰۱۰).
- **بسته‌بندی و محیط کنترل‌شده و پایش دیجیتال:** پس از مرمت یا بازسازی، استفاده از بسته‌بندی مناسب و سیستم‌های کنترل محیطی (دما، رطوبت، نور) برای انبار یا موزه اهمیت دارد و فناوری‌های نوین اینترنت اشیاء[14] و حسگرها می‌توانند پایش مداوم را فراهم کنند. با وجودی که هنوز کاربرد دقیق آن‌ها در مقالات باستان‌شناسی محدود است، اما این رویکرد در حفاظت آثار باستانی می‌تواند گسترش یابد. برای مثال، طی سه سال پایش محیط میکرواقلیمی با بیش از ۲۰۰ حسگر در گالری‌های یک موزه (موزه‌ی کلویسترز[15] در موزه‌ی متروپولیتن نیویورک)، داده‌های دما و رطوبت با وضوح بالا و پیوسته ثبت شده‌اند و این امکان را فراهم کرده‌اند که نوسانات ریزِ محیط شناسایی شوند، تأثیر حضور بازدیدکنندگان بر شرایط

[1] Orsilli & Galli
[2] Scanning Electron Microscope (SEM)
[3] Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM)
[4] Falcone
[5] Moropoulou
[6] organic residue analysis (ORA)
[7] Fiorani
[8] Schmerer
[9] Batch Artifact Scanning Protocol
[10] Yezzi-Woodley
[11] Kantaros
[12] Chapinal-Heras
[13] Drakaki
[14] Internet of Things (IoT)
[15] The Cloisters

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

داخلی ارزیابی گردد و بر اساس آن، محل بهینه، برای آثار حساس انتخاب شود (کلاین[1] و همکاران، ۲۰۱۷).

۷. حفاظت دیجیتال و دسترسی‌پذیری

مرحله‌ی نهایی حفاظت مدرن، تضمین بقای بلندمدت آثار میراث فرهنگی، چه به صورت فیزیکی و چه دیجیتالی و فراهم کردن امکان دسترسی عمومی و پژوهشی به آن است:

- **بایگانی و آرشیو دیجیتال:** داده‌های تولیدشده طی مراحل قبلی، مدل‌های سه‌بعدی، نقشه‌ها، عکس‌ها، نتایج آنالیز، باید در بانک اطلاعاتی مطمئن و استاندارد ذخیره شوند. این آرشیو دیجیتال همان «دوقلوی دیجیتال» میراث است که می‌تواند در آینده مرجع پژوهش، بازسازی یا مرمت باشد. سازمان‌هایی مانند CyArk در جهان مشغول چنین کارهایی هستند.[2]
- **واقعیت مجازی[3] و واقعیت افزوده[4]:** با استفاده از مدل‌های سه‌بعدی و تصاویر دیجیتال می‌توان بازسازی محوطه‌ها و بناهای تاریخی را به‌صورت مجازی ارائه داد؛ بازدیدکنندگان یا پژوهشگران می‌توانند، حتی اگر اثر اصلی آسیب‌دیده، نابود یا دردسترس نباشد، با استفاده از واقعیت مجازی و واقعیت افزوده آن را ببینند، مطالعه کنند یا تجربه کنند. فنون دیجیتالی در بازسازی رنگ، بافت و شکل واقعی آثار نیز در حال پیشرفت هستند (نک. سیوتو و سیگنونی[5]، ۲۰۲۴؛ ژانگ[6] و همکاران، ۲۰۲۴).
- **بازسازی و بازآفرینی دیجیتال و مکتوب‌سازی:** داده‌های دقیق سه‌بعدی می‌توانند چه برای پژوهش، چه برای آموزش یا نمایش عمومی، برای بازسازی ظاهر اولیه‌ی بناها، اشیاء یا محوطه‌های میراثی به کار روند. این بازسازی، مبنایی برای حفاظت، مرمت یا بازسازی فیزیکی نیز فراهم می‌کند (پالچاک[7] و همکاران، ۲۰۲۲؛ اوبیک[8] و همکاران، ۲۰۲۲).

در دوره‌ای که تغییرات طبیعی (فرسایش، سیلاب، زلزله) و انسان‌ساخت (حفاری، توسعه زیرساخت، انتقال سازه‌ها) بسیاری از میراث فرهنگی را در معرض خطر قرار می‌دهد، ترکیب تحلیل آزمایشگاهی پیشرفته، مرمت علمی، مستندسازی دیجیتال و آرشیو و بازسازی مجازی، بهترین راهکار برای حفاظت پایدار است. این رویکرد نه صرفاً یک گزینه‌ی جایگزین، بلکه چارچوبی ضروری و علمی است که می‌تواند تضمین کند میراث ملموس بشر، حتی اگر فیزیکی‌اش از بین رود، به‌صورت داده، تصویر و تجربه‌ی دیجیتال حفظ و در دسترس بماند.

نتیجه‌گیری

تعارض میان پروژه‌های بزرگ مدیریت آب و حفاظت از میراث فرهنگی، یک چالش اجتناب‌ناپذیر در مسیر توسعه‌ی پایدار است. همان‌طور که در این مقاله نشان داده شد، رویکردهای سنتی نجات‌بخشی، دیگر برای مقابله با مقیاس و پیچیدگی این چالش کافی نیستند. یافته‌های کلیدی این پژوهش نشان می‌دهد که مجموعه‌ای یکپارچه از فناوری‌های نوین، از سنجش از دور و GIS برای شناسایی پیشگیرانه گرفته تا مدل‌سازی سه‌بعدی، هوش مصنوعی و واقعیت مجازی برای مستندسازی و بازآفرینی، یک جعبه‌ابزار قدرتمند برای مدیریت پایدار این تعارض ارائه می‌دهند. این ابزارها امکان گذار از یک پارادایم واکنشی به یک راهبرد پیشگیرانه را فراهم می‌کنند که در آن، ارزش‌های فرهنگی از همان مراحل اولیه‌ی برنامه‌ریزی پروژه‌های عمرانی در نظر گرفته می‌شوند. با نگاه به آینده، پذیرش این فناوری‌ها، نه یک انتخاب، بلکه یک ضرورت است. تحقق اهداف توسعه‌ی پایدار سازمان ملل، به‌ویژه در زمینه‌ی مدیریت آب (هدف ۶) و حفاظت از میراث (هدف ۱۱.۴)، مستلزم ایجاد گفتگوهای بین‌رشته‌ای و بهره‌گیری از راهکارهای نوآورانه است. ادغام این فناوری‌ها در فرآیندهای تصمیم‌گیری، به ما کمک می‌کند تا تعادلی هوشمندانه میان نیازهای زیرساختی امروز و وظیفه‌ی اخلاقی خود برای حفاظت از میراث مشترک بشری برای فردا برقرار سازیم. در نهایت، این فناوری‌ها نقشی کلیدی در اتصال گذشته، حال و آینده ایفا می‌کنند و به ما این امکان را می‌دهند که منابع ارزشمند خود، هم آب و هم میراث فرهنگی، را برای نسل‌های آینده به شیوه‌ای عادلانه‌تر و پایدارتر مدیریت کنیم.

پیشنهاداتی برای پژوهش‌ها و اقدامات آینده

[1] Klein et al.
[2] https://www.cyark.org/whatwedo/documentation
[3] Virtual Reality (VR)
[4] Augmented Reality (AR)
[5] Siotto & Cignoni
[6] Zhang et al.
[7] Palčák et al.
[8] Ubik et al.

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

با توجه به یافته‌های این پژوهش و روندهای جهانی در حوزه‌ی حفاظت دیجیتال از میراث فرهنگی، می‌توان مجموعه‌ای از پیشنهادها را برای توسعه‌ی پژوهش‌ها و ارتقای مدیریت میراث در پروژه‌های مدیریت منابع آب مطرح کرد:

۱. تدوین استانداردهای ملی برای ادغام فناوری‌های دیجیتال در ارزیابی میراث

نیاز است دستورالعمل‌های رسمی و یکپارچه برای استفاده از سنجش از دور، فتوگرامتری، اسکن سه‌بعدی و مدل‌سازی GIS در طرح‌های آب تدوین شود تا این فناوری‌ها از سطح پروژه‌های پراکنده به ابزارهای الزام‌آور در فرآیند تصمیم‌گیری تبدیل شوند.

۲. ایجاد «سامانه‌ی ملی دوقلوهای دیجیتال میراث» در مناطق حساس آبی

بسیاری از محوطه‌های در معرض خطر، فاقد مستندسازی سه‌بعدی دقیق هستند. پیشنهاد می‌شود یک برنامه ملی برای تولید دوقلوهای دیجیتال از محوطه‌ها و بناهای در خطر آبگیری، فرسایش، یا تغییرات هیدرولوژیک طراحی گردد.

۳. توسعه‌ی مدل‌های پیش‌بینی خطرات هیدرولوژیک برای محوطه‌های تاریخی: پژوهش‌های آینده می‌توانند با ترکیب داده‌های اقلیمی، هیدرولوژیک، توپوگرافی و GIS، مدل‌های دقیق‌تری برای پیش‌بینی پیامدهای سیلاب، نوسانات آب زیرزمینی و تغییرات کاربری زمین بر میراث طراحی کنند.

۴. تقویت پژوهش‌های بین‌رشته‌ای میان باستان‌شناسی، مهندسی آب، ژئومورفولوژی و علوم داده: آینده‌ی حفاظت از میراث در پروژه‌های آبی، بدون همکاری ساختاریافته‌ی این حوزه‌ها ممکن نیست. ایجاد «گروه‌های پژوهشی مشترک» می‌تواند خلأ دانشی کنونی را برطرف کند.

۵. استفاده از هوش مصنوعی در پایش خودکار تهدیدها: توسعه‌ی الگوریتم‌های یادگیری عمیق برای شناسایی خودکار تغییرات محوطه‌های تاریخی (فرسایش، ترک‌خوردگی، تغییرات سطح آب، نشست زمین) می‌تواند نقش مهمی در حفاظت پیشگیرانه ایفا کند. این حوزه نیازمند پژوهش‌های بومی‌سازی‌شده در ایران است.

۶. مستندسازی نظام‌مند پروژه‌های آبی کشور و ثبت تجربه‌های ایرانی: بسیاری از پروژه‌های سدسازی و انتقال آب در ایران فاقد گزارش‌های علمی جامع از پیامدهای میراثی هستند. تدوین آرشیوی ملی از تجربه‌ها می‌تواند مرجع مهمی برای اصلاح سیاست‌ها و روش‌ها باشد.

۷. طراحی برنامه‌های مشارکت جامعه محلی در پایش میراث فرهنگی: پژوهش‌ها نشان داده‌اند که مشارکت جامعه محلی برای موفقیت بلندمدت حفاظت ضروری است. ایجاد سامانه‌های گزارش‌دهی مردمی با استفاده از ابزارهای موبایلی می‌تواند داده‌های ارزشمند برای پایش فراهم کند.

۸. ارزیابی اقتصادی-اجتماعی هزینه‌های از دست رفتن میراث فرهنگی در پروژه‌های آب: یکی از کمبودهای پژوهشی، فقدان تحلیل‌های اقتصادی درباره‌ی ارزش از دست‌رفته میراث فرهنگی در پروژه‌های آبی است. پژوهش‌های آینده می‌توانند با مدل‌سازی هزینه–فایده، نقش میراث را در توسعه‌ی پایدار کمّی‌سازی کنند.

۹. طراحی چارچوب حقوقی و سیاستی جدید برای الزام‌آور شدن حفاظت دیجیتال: بازنگری در قوانین ملی میراث و محیط زیست، با تأکید بر «حفاظت پیشگیرانه» و «مستندسازی دیجیتال پیش از اجرا» می‌تواند نقطه‌ی عطفی در مدیریت میراث در پروژه‌های زیرساختی باشد.

۱۰. گسترش پژوهش‌های مرتبط با بازآفرینی مجازی برای آموزش و مدیریت بحران: تولید فضاهای مجازی از محوطه‌های در معرض نابودی می‌تواند هم در آموزش و هم در برنامه‌ریزی حفاظت اضطراری نقش کلیدی داشته باشد. این حوزه در ایران هنوز به‌طور جدی توسعه نیافته است.

مراجع

1. Alshawabkeh, Y., Baik, A., & Miky, Y. (2021). Integration of laser scanner and photogrammetry for heritage BIM enhancement. ISPRS International Journal of Geo-Information, 10(5), 316. https://doi.org/10.3390/ijgi10050316
2. Amico, N., & Felicetti, A. (2024). 3D data long-term preservation in cultural Heritage. arXiv preprint arXiv:2409.04507. https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.04507
3. Annys, S., & Frankl, A. (2025). A systematic review of the hydrogeomorphological impacts of large dams in Africa. Earth-Science Reviews, 105048. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2025.105048
4. Bahrami, M., & Albadvi, A. (2023). Deep Learning for Identifying Iran's Cultural Heritage Buildings in Need of Conservation Using Image Classification and Grad-CAM. arXiv. https://doi.org/10.48550/ARXIV.2302.14354
5. Berggren, Å. O., & Gutehall, A. (2018). Going from analogue to digital: A study of documentation methods during an excavation of the neolithic flint mines at pilbladet, Sweden. Current Swedish Archaeology, 26(1), 119-158. https://doi.org/10.37718/CSA.2018.10

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

management projects from the stakeholders' perspective (Case study: Hasan Abdal Watershed, Zanjan Province). Iranian Journal of Watershed Science and Engineering, 13(45), 54–62 (in Persian). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089554.1398.13.45.10.4

18. Hassani, F., & Rafiee, M. (2013). An experience in cultural heritage documentation in iran using a low-cost technique. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 1, 313–318. https://doi.org/10.5194/ISPRSARCHIVES-XL-5-W2-313-2013
19. Iliodromitis, A., Tsilimantou, E., Kopelou, P., Anastasiou, D., Koulidou, S., Spanodimos, C., ... & Pagounis, V. (2025). Three-Dimensional Digital Geospatial Documentation for Cultural Heritage Preservation and Sustainable Management of Tourism Through a Web Platform: The Case Study of the Archaeological Park of Dion, Greece. Land, 14(5), 1062. https://doi.org/10.3390/land14051062
20. IUCN. (2020). International Union for Conservation of Nature. https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-020-Fa.pdf
21. Kantaros, A., Douros, P., Soulis, E., Brachos, K., Ganetsos, T., Peppa, E., Manta, E., & Alysandratou, E. (2025). 3D Imaging and Additive Manufacturing for Original Artifact Preservation Purposes: A Case Study from the Archaeological Museum of Alexandroupolis. Heritage, 8(2), 80. https://doi.org/10.3390/heritage8020080
22. Katsianis, M. (2024). 3D GIS in archaeological excavations: linking documentation with analytic and synthetic workfows. Journal of Greek Archaeology, 9, 65-82. https://www.archaeopresspublishing.com/ojs/index.php/JGA/article/view/2736
23. Kim, I., & Lee, H. (2025). Documentation and Preservation of Cultural Heritage Submerged by Dam Construction Using Digital Technology. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 48, 693-698. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-9-2025-693-2025
24. Klein, L. J., Bermudez, S. A., Schrott, A. G., Tsukada, M., Dionisi-Vici, P., Kargere, L., Marianno, F., Hamann, H.F., López, V., & Leona, M. (2017). Wireless sensor platform for cultural heritage monitoring and modeling system. Sensors, 17(9), 1998. https://doi.org/10.3390/s17091998
25. Marchetti, N., & Zaina, F. (2025). The Impact of Dams on Archaeological Sites. In Flooded Heritage. Routledge/Taylor & Francis.
26. Maschner, H., Campana, S., Remondino, F., Canuto, M., Garrison, T., & Estrada-Belli, F. (2025). A Review of Satellite Remote Sensing Techniques and Their Applications in Archaeology. Journal of Global Digital Heritage, JGDH-00XXX. https://globaldigitalheritage.org/research/a-review-of-satellite-remote-sensing-techniques-and-their-applications-in-archaeology/
27. Mohd Aminuddin, N. U., Majid, Z., Ahmad Fuad, N., Aspuri, A., Mohd Salleh, M. F., Ariff, M. F. M., Idris, K.M., & Darwin, N. (2019). Development of Geodatabase for Archaeological Site in Bujang Valley Kedah. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42, 409-415.
6. Bosco, A. (2022). 3D surveying methods and digital information management for archaeological heritage. BAR Publishing.
7. Brandt, S. A., & Hassan, F. (2000). Dams and Cultural Heritage Management. In World Commission on Dams (WCD) Final Report: Dams and Development – A New Framework for Decision-Making. WCD.
8. Burkaltseva, D., Osmanova, E., Andryushchenko, I., Betskov, A., Kiselev, R., Kravchenko, I., & Yakovlev, A. (2022). Digital technologies in the protection of cultural heritage. Voprosy Istorii, 2022(12–1), 124–141. https://doi.org/10.31166/voprosyistorii202212statyi33
9. Chapinal-Heras, D., Díaz-Sánchez, C., Gómez-García, N., España-Chamorro, S., Pagola-Sánchez, L., de Corselas, M. P. L., & Zafiria, M. E. R. Á. (2024). Photogrammetry, 3D modelling and printing: The creation of a collection of archaeological and epigraphical materials at the university. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 33, e00341. https://doi.org/10.1016/j.daach.2024.e00341
10. Clement, C. O., De, S., & Kloot, R. W. (2001). Using GIS to Model and Predict Likely Archaeological Sites. In ESRI users conferences 2001. https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc01/professional/papers/pap651/p651.htm
11. Drakaki, E., Kandyla, M., Chatzitheodoridis, E., Zergioti, I., Serafetinides, A. A., Terlixi, A., Kouloumpi, E., Moutsatsou, A.P., Doulgerides, M., Kantarelou, V., & Vlachou-Mogire, C. (2010). Laser studies of metallic artworks. Applied Physics A, 101(2), 349-355. https://doi.org/10.1007/s00339-010-5874-y
12. Fahmy, A., Basell, L., Domínguez-Bella, S., & Molina-Piernas, E. (2025). Assessing the impact of Nile water level fluctuations on the structural stability of the Philae temples in Aswan, Egypt. Journal of Archaeological Science, 180, 106278. https://doi.org/10.1016/j.jas.2025.106278
13. Falcone, F., Cinosi, A., Siviero, G., & Rosatelli, G. (2024). Innovative methodological approach integrating SEM-EDS and TXRF microanalysis for characterization in materials science: A perspective from cultural heritage studies. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 218, 106980. https://doi.org/10.1016/j.sab.2024.106980
14. Fiorani, A. V., Fundurulić, A., Manhita, A., Salvi, V. F., & Dias, C. B. (2025). Evidence of Plant Processing in Early Villages of Northwestern Argentina Revealed by Organic Residue Analysis in Pottery (La Ciénega Valley, ca. AD 200–600). Latin American Antiquity, 1-21. https://doi.org/10.1017/laq.2024.41
15. Ghanavati, E., Talebpoor Asl, D., & Khezry, S. (2016). Assessment of the Impacts of Inter-Basin Water Transfer on the Bed River Morphology in the Origin Basin (Case study: Zab River Basin). Geography and Development, 14(44), 65-88 (in Persian). https://doi.org/10.22111/gdij.2016.2721
16. Ghanavati, E., Khazri, S., & Talebpour, D. (2015). Assessment of the impacts of inter-basin water transfer on groundwater reservoirs and land subsidence (Case study: Transfer of water from the Zab River to Lake Urmia). Quantitative Geomorphological Research, 4(2), 29–44 (in Persian). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22519424.1394.4.2.3.8
17. Hassani, H., Maleki, V., & Mohsen, M. (2019). Assessment of the socio-economic impacts of implemented watershed

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

43. Stamnas, A., Kaimaris, D., Georgiadis, C., & Patias, P. (2021). Comparing 3d Digital Technologies for Archaeological Fieldwork Documentation. The Case of Thessaloniki Toumba Excavation, Greece, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLVI-M-1-2021, 713–720, https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-M-1-2021-713-2021
44. Themistocleous, K., Agapiou, A., Cuca, B., & Hadjimitsis, D. G. (2015). Unmanned aerial systems and spectroscopy for remote sensing applications in archaeology. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40, 1419-1423. https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-1419-2015
45. 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
46. Tsipi, L., Vouyioukas, D., Loumos, G., Kargas, A., & Varoutas, D. (2023). Digital repository as a service (D-RaaS): Enhancing access and preservation of cultural heritage artifacts. Heritage, 6(10), 6881-6900. https://doi.org/10.3390/heritage6100359
47. Ubik, S., Kubišta, J., & Dvořák, T. (2022). Interactive 3D models: Documenting and presenting restoration and use of heritage objects. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 27, e00246. https://doi.org/10.1016/j.daach.2022.e00246
48. World Heritage Watch & Rivers without Boundaries Coalition. (2019). Heritage Dammed: Water infrastructure impacts on World Heritage sites and free-flowing rivers. World Heritage Watch.
49. Yezzi-Woodley, K., Calder, J., Sweno, M., Siewert, C., & Olver, P. J. (2022). The Batch Artifact Scanning Protocol: A new method using computed tomography (CT) to rapidly create three-dimensional models of objects from large collections en masse. arXiv preprint arXiv:2205.02691. https://doi.org/10.48550/arXiv.2109.02172
50. Yu, Y., Raed, A. A., Peng, Y., Pottgiesser, U., Verbree, E., & van Oosterom, P. (2025). How digital technologies have been applied for architectural heritage risk management: a systemic literature review from 2014 to 2024. npj Heritage Science, 13(1), 45. https://doi.org/10.1038/s40494-025-01558-5
51. Zachos, A., & Anagnostopoulos, C. N. (2023). Using terrestrial laser scanning, unmanned aerial vehicles and mixed reality methodologies for digital survey, 3D modelling and historical recreation of religious heritage monuments. arXiv preprint arXiv:2401.01380. https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.01380
52. Zhang, J., Wan Yahaya, W. A. J., & Sanmugam, M. (2024). The impact of immersive technologies on cultural heritage: a bibliometric study of VR, AR, and MR applications. Sustainability, 16(15), 6446. https://doi.org/10.3390/su16156446

https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W16-409-2019
28. Moropoulou, A., Zendri, E., Ortiz, P., Delegou, E. T., Ntoutsi, I., Balliana, E., Becerra, J., & Ortiz, R. (2019). Scanning microscopy techniques as an assessment tool of materials and interventions for the protection of built cultural heritage. Scanning, 2019(1), 5376214. https://doi.org/10.1155/2019/5376214
29. Muhammad, M. H. (2020). Remote Sensing in Archaeology: A Brief Review. Athar alrafedain, 5(2), 3-20.
30. Niccolucci, F., Felicetti, A., & Hermon, S. (2022). Populating the Data Space for Cultural Heritage with Heritage Digital Twins. Data, 7(8), 105. https://doi.org/10.3390/data7080105
31. O'Neill, C., & Bommas, M. (2021). An assessment of Sentinel-1 radar and Sentinel-2 multispectral data for remote archaeological investigation and preservation: Qubbet el-Hawa, Egypt. arXiv preprint arXiv:2101.11170. https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.11170
32. Orsilli, J., & Galli, A. (2024). Angle-Dependent XRF Analyses: Pros and Cons of a Novel Technique in the Field of Cultural Heritage. Sustainability, 16(4), 1460. https://doi.org/10.3390/su16041460
33. Palčák, M., Kudela, P., Fandáková, M., & Kordek, J. (2022). Utilization of 3D digital technologies in the documentation of cultural heritage: a case study of the Kunerad Mansion (Slovakia). Applied Sciences, 12(9), 4376. https://doi.org/10.3390/app12094376
34. Paradise, T. R. (2012). Cultural heritage management and GIS in Petra, Jordan. ArcNews.
35. Pasupuleti, M. K. (2025). Preserving Cultural Heritage with Digital Twin Technology. International Journal of Academic and Industrial Research Innovations (IJAIRI), 5, 1-12. https://doi.org/10.62311/nesx/97839
36. Remondino, F. (2011). Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning. Remote sensing, 3(6), 1104-1138. https://doi.org/10.3390/rs3061104
37. Sadjadi, S. Y. (2019). Using digital terrestrial photogrammetry in cultural heritage case study: the great wall of gorgan in iran. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 4216, 555–561. https://doi.org/10.5194/ISPRS-ARCHIVES-XLII-4-W16-555-2019
38. Schmerer, W. M. (2021). Optimized protocol for DNA extraction from ancient skeletal remains using Chelex-100. arXiv preprint arXiv:2109.02172. https://doi.org/10.33545/27074447.2021.v3.i1a.35
39. Shackley, M. S. (2018). X-ray fluorescence (XRF): Applications in archaeology. In Encyclopedia of global archaeology (pp. 1-7). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51726-1_1305-2
40. Shad, R., Egon, A., & Potter, K. (2024). Integration of GIS and Predictive Modeling for Archaeological Site Prospection.
41. Siotto, E., & Cignoni, P. (2024). Digital methods and techniques for reconstructing and visualizing ancient 3D polychromy–An overview. Journal of Cultural Heritage, 68, 59-85. https://doi.org/10.1016/j.culher.2024.05.002
42. Soltani, N., Mirnejad Mousavi, G., & Eghbal A. (2016). Assessment of the potential consequences of transferring water from the Zab Basin to Lake Urmia. Geography and Sustainability, 6(2), 35–51 (in Persian).

[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 Role of Emerging Technologies in Preventive Conservation of Cultural Heritage within Water Management Projects

Farzad Mafi[1]
Babak Shaikh Baikloo Islam*[2]

Abstract

The conflict between water resource management projects and the conservation of cultural heritage represents a critical challenge for sustainable development. Using a descriptive–analytical methodology and a synthesis-based research approach, this study provides a comprehensive assessment of the impacts of water infrastructure, particularly dam construction, inter-basin water transfer, and watershed management, on archaeological sites and historic structures. The analysis demonstrates that traditional reactive salvage practices are no longer adequate to address the scale and complexity of these threats. A systematic review of international case studies and national evidence reveals that emerging digital technologies, including satellite and UAV-based remote sensing, photogrammetry, 3D laser scanning, GIS-based spatial modeling, heritage digital twins, artificial intelligence, and immersive VR/AR, enable a paradigm shift from crisis response to preventive conservation. The paper proposes an integrated framework leveraging these technologies to support early detection, accurate documentation, environmental monitoring, and digital reconstruction, ultimately facilitating informed decision-making in water development projects. The findings underscore that embedding advanced technological solutions into planning and implementation processes is essential for achieving sustainable development goals while safeguarding cultural heritage from environmental and infrastructural pressures.

Keywords

Remote sensing; Photogrammetry; Cultural heritage; Water resource management; Digital twin; Preventive conservation.

[1]Assistant Professor, Department of Archaeology, Ab.C., Islamic Azad University, Abhar, Iran.
[2] *PhD in Archaeology, Independent Researcher in Paleoclimatic Studies, Tehran, Iran. babak.bagloo@srbiau.ac.ir

Received: 2026/04/25 Accepted: 2026/05/30

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