روشی نظام‌مند برای آسیب‌شناسی ترکیبی بناهای تاریخی: تجربه‌ای در ارتباط با مرمت پل-بند تاریخی ایزدخواست

الهام حاجی نیلی[۱]، عیسی اسفنجاری کناری[۲*]

۱. دکتری مرمت و احیاء بناها و بافت‌های تاریخی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

۲. دانشیار گروه مرمت و احیا بناها و بافت‌های تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، ایران تلفن: ۰۹۱۳۳۲۵۴۰۷۵

e.esfanjari@aui.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۷/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲

تعداد صفحات: ۲۱

شناسه دیجیتال(doi): https://10.66224/kcr.8.4.92

فصلنامه علمی- پژوهشی دانش حفاظت و مرمت

شاپای الکترونیکی: ۶۲۱۷-۳۰۶۰

شاپای چاپی: ۶۰۹۳-۲۵۳۸

این نشریه از قوانین Cope پیروی می کند. دسترسی به این مقاله برای همگان آزاد است. هرگونه استفاده غیرتجاری از آن در صورت ارجاع مناسب، مجاز شناخته می شود.

چکیده

در نیم قرن اخیر، بناهای تاریخی با بحران‌های متعددی مواجه بوده‌اند. دامنه وسیع آسیب‌های ناشی از عوامل درونی، طبیعی و انسانی، چالش‌های جدیدی را پیش روی حفاظت و مرمت این آثار قرار داده و بیش‌ازپیش ضرورت تشخیص دقیق آسیب‌ها با بهره‌گیری از روش های ترکیبی را روشن ساخته است. با این حال، مطالعاتی که در زمینه آسیب‌شناسی بناهای تاریخی در ایران انجام شده‌اند، همچنان یا دارای رویکردی توصیفی-تحلیلی با ماهیتی عمدتاً کیفی هستند و یا صرفاً بر تحلیل های کمی تکیه دارند. ازآنجاکه که تشخیص و ارزیابی صحیح علل بروز آسیب‌ها، نقش اساسی در تعیین حد، سطح و اولویت مداخلات مرمت ایفا می‌نماید، این پژوهش به‌دنبال توسعه روشی جامع برای آسیب‌شناسی ترکیبی و همه جانبه یک بنای تاریخی است. همان گونه که وضعیت آسیب‌های فعلی بنا در تعیین میزان و شیوه مداخله تأثیرگذار است، درک دگرگونی‌های بنا در طول تاریخ، شناخت تعمیرات و تغییرات گذشته، بررسی ویژگی‌های ذاتی و ساختاری مصالح، تحلیل کمی و کیفی رفتار سازه در برابر تنش‌های وارده و بحران‌های طبیعی همچون زلزله و سیل نیز مؤثر بوده و می‌بایستی به صورت توامان مورد ارزیابی قرار گیرند. این پژوهش با تمرکز بر آسیب‌های پل-بند تاریخی ایزدخواست به یک روش ترکیبی سازنده دست یافته که می‌تواند برای ارزیابی آسیب‌شناسانه سایر بناهای تاریخی دیگر الهام‌بخش باشد. بر این اساس، پژوهش حاضر با تعریف یک متدولوژی شش‌مرحله‌ای، شامل: (۱) تحلیل تاریخی و بررسی سیر تحول بنا، (۲) مشاهده مستقیم و تحلیل کیفی وضعیت فعلی در محل، (۳) تحلیل کیفی و نیمه‌کمی ملات‌ها و تحلیل کیفی مصالح، (۴) تحلیل سازه و بررسی رفتار کلی بنا، (۵) ارزیابی ایمنی و انجام تحلیل های کمی و آزمون‌های سازه‌ای و (۶) قضاوت نهایی و ترکیب داده‌ها؛ به تشخیص و داوری دقیق علل بروز آسیب‌ها پرداخته است. این روش در ارتباط با پل-بند تاریخی ایزدخواست به کار گرفته شده و نتایج آن مبنایی برای تعیین حدود مداخلات مرمتی و اقدامات استحکام‌بخشی فراهم آورده است. از نظر هدف، پژوهش حاضر کاربردی است و از لحاظ روش تحلیل، ماهیتی کمی و کیفی با رویکرد توصیفی-تحلیلی دارد. متغیرهای به‌کاررفته ترکیبی از داده‌های کمی و کیفی بوده و از منظر زمانی، شامل بررسی گذشته و وضعیت کنونی است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که تلفیق نظام‌مند تحلیل تاریخی، آسیب‌شناسی کیفی وضعیت فعلی، تحلیل ملات‌ها و مصالح، تحلیل سازه‌ای و تحلیل کمی رفتار سازه، ضمن روشن ساختن سازوکارهای پایداری پل-بند ایزدخواست، امکان اتخاذ راهکارهای مرمتی حداقلی، سازگار با اصالت و توان بنا و قابل تعمیم به بناهای تاریخی مشابه را فراهم می‌آورد.

واژگان کلیدی: آسیب‌شناسی، مرمت، حفاظت، پل، ایزدخواست

۱. مقدمه

پل‌های تاریخی به علت ساختار و شرایط محیطی پرتنش آسیب‌های زیادی را از ابعاد مختلف طبیعی، سازه‌ای و انسانی متحمل شده‌اند. در این ارتباط، مانند دیگر بناهای تاریخی تشخیص آسیب، یعنی ارزیابی و تحلیل عوامل و ماهیت آسیب‌ها، از جمله ترک‌ها، فرسایش‌ها و سایر پدیده‌هایی که بر سازه تأثیر گذاشته‌اند، اهمیت ویژه‌ای دارد (کروچی، ۱۳۹۵). تمامی آیین‌نامه‌ها و منشورهای مرمتی بر لزوم تحقیقات دقیق و تشخیص آسیب‌پذیری سازه پیش از هرگونه اقدام مرمت و استحکام‌بخشی به‌منظور مداخله حداقلی، برگشت‌پذیری و حفظ اصالت و یکپارچگی حداکثری در مرمت تأکید

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

دارند (ICOMOS, 1964; ICOMOS, 2003; ICOMOS, 2005). در همین راستا، در توصیه‌نامه مطالعه، حفاظت و مرمت سازه‌های میراث معمارانه (ICOMOS, 2003) بر اهمیت تشخیص علل بروز آسیب‌ها با بهره‌گیری از روش های گوناگون تأکید شده و تصریح می‌شود که فرآیند تشخیص باید بر رویکردی میان‌رشته‌ای و ترکیبی، شامل مطالعات تاریخی، مشاهده مستقیم، تحلیل های کیفی و کمی و ارزیابی رفتار سازه‌ای بنا استوار باشد. این رویکرد، مبنای نظری تعریف متدولوژی شش‌مرحله‌ای پژوهش حاضر را شکل داده است. تحلیل سازه و ارزیابی رفتار آن در برابر نیروهای وارده، با بهره‌گیری از آزمون‌های غیرمخرب و تحلیل های نرم‌افزاری، امکان پیش‌بینی عملکرد بنا در مواجهه با تنش‌ها و بحران‌های احتمالی را فراهم می‌آورد و از انجام مداخلات غیرضروری و بروز آسیب‌های جبران‌ناپذیر در آینده جلوگیری می کند. این رویکرد، زمینه‌ساز انجام مرمت علمی و افزایش عمر مفید بناهای تاریخی است. با این‌حال، جامعه علمی با آگاهی از چالش‌ها و محدودیت‌های حاکم بر آنالیزهای آزمایشگاهی و تحلیل های نرم‌افزاری در بناهای تاریخی، پذیرفته است که مطالعه و ارزیابی این سازه‌ها صرفاً بر پایه‌ی محاسبات عددی و آزمایش‌های آزمایشگاهی امکان‌پذیر نیست (اسلامی و دیگران، ۱۴۰۰). دستیابی به تشخیص و ارزیابی دقیق، مستلزم درکی روشن از نحوه عملکرد بنا در طول زمان و تکیه بر مجموعه‌ای نظام‌مند و تلفیقی از مطالعات است؛ مطالعاتی که به فهم ویژگی‌های سازه‌ای، رفتار مصالح و تحولات تاریخی بنا منجر شده و زمینه‌ساز شکل‌گیری رویکردی منسجم در تحلیل هم‌زمانِ داده‌های تاریخی، کیفی و کمی می‌شود. در این میان، رویکرد کیفی عمدتاً بر مطالعات شهودی، مشاهده مستقیم آسیب‌های سازه‌ای، فرسایش مصالح و پژوهش‌های تاریخی و باستان‌شناسی استوار است، در حالی که رویکرد کمی بر آزمون‌های مصالح و سازه، پایش و تحلیل رفتار سازه‌ای تکیه دارد. شناخت صحیح و جامع، مقدمات ارزیابی دقیق آسیب‌ها را فراهم کرده و این دو رویکرد، به‌عنوان پایه‌هایی مکمل، مبنای تصمیم‌گیری در خصوص نوع، شیوه و کیفیت مداخلات مرمتی و حفاظتی را شکل می دهند (کروچی، ۱۳۹۵؛ ICOMOS, 1964; ICOMOS, 2003).

با وجود مطالعات متعدد انجام‌شده درباره پل‌های تاریخی ایران، بخش قابل توجهی از این پژوهش‌ها یا بر تحلیل کیفی و توصیف تاریخی-کالبدی بناها متمرکز بوده‌اند، یا بررسی‌های سازه‌ای و آزمایشگاهی را به‌صورت جداگانه و بدون ارتباط روشن با فرآیند تحول تاریخی و تاریخچه تعمیرات و رخدادهایی که بنا تا کنون از سر گذرانده، ارائه کرده‌اند. در بسیاری از طرح‌های مرمت بناهای تاریخی به طور کلی و پل‌های تاریخی به طور ویژه، تحلیل رفتار سازه و نتایج آزمایش‌های مصالح، صرفاً در سطح گزارش‌های فنی باقی مانده و نقش آن ها در تعیین ضرورت، میزان و حدود مداخلات مرمتی، به‌ویژه در پیشگیری از مداخلات سنگین و غیرضروری، به‌روشنی مشخص نشده است. در نتیجه، در برخی موارد راهکارهای گسترده استحکام‌بخشی به کار گرفته شده که با اصول حداقل مداخله و حفظ اصالت بنا هم خوانی ندارند. بر این اساس، خلأ اصلی در ادبیات پژوهش مرمت پل‌های تاریخی ایران، فقدان یک چارچوب روش‌شناختی منسجم است که بتواند تحلیل های تاریخی، آسیب‌شناسی کیفی، نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی مصالح و تحلیل کمی رفتار سازه را در قالب یک فرآیند واحد تصمیم‌سازی مرمتی به هم پیوند دهد؛ فرآیندی که به‌طور مشخص نشان دهد چگونه این مطالعات می‌توانند از مداخلات پرهزینه، مخرب و غیرضروری پرهیز کنند.

در این پژوهش، پل-بند تاریخی ایزدخواست به‌عنوان نمونه مطالعاتی انتخاب شده است. از منظر تاریخی-کارکردی، این پل در مسیر راه تاریخی اصفهان-ایزدخواست- شیراز واقع شده و عبور کاروان‌ها از رودخانه و همچنین دسترسی به کاروانسرای تاریخی ایزدخواست، ناگزیر از طریق این پل انجام می‌گرفته است. بدین‌ترتیب، پل ایزدخواست نه‌تنها عنصری سازه‌ای، بلکه جزئی جدایی‌ناپذیر از نظام ارتباطی و منظر فرهنگی منطقه محسوب می‌شده‌است. با وجود ابعاد نسبتاً کوچک، استقرار پل بر بستر یک رودخانه فصلی با سابقه وقوع سیلاب‌های مکرر و تحمل بارگذاری‌های نامتعارف، از جمله عبور وسایل نقلیه موتوری در دوره‌های تاریخی؛ این بنا طی چند قرن پابرجا مانده و عملکرد سازه‌ای خود را حفظ کرده است؛ ویژگی که اهمیت آن را از منظر دانش سازه‌های تاریخی دوچندان می‌سازد. با این حال، پل با گذر زمان فرسوده و محیط پیرامون آن دگرگون شده است. تغییرات اقلیمی و بازگشت جریان آب پس از سال‌ها خشکسالی، همراه با مداخلات نادرست و کم‌توجهی به اصول حفاظت، وضعیت پل را نامناسب کرده و آسیب‌های وارد بر سازه، پایداری و سلامت آن را تهدید می کند؛ همان‌گونه که سیلاب‌های اخیر، پل‌های تاریخی دیگری مانند کلهر و کشکان را دچار خسارت‌های جدی کرده‌اند. از این رو، مطالعه پل ایزدخواست می‌تواند سازوکارهای پایداری سازه‌های تاریخی در برابر سیلاب و بارگذاری‌های ناهمخوان را روشن ساخته و الگویی قابل تعمیم برای تحلیل و مرمت پل‌های مشابه در ایران ارائه دهد.

نوآوری پژوهش حاضر در توسعه یک متدولوژی جامع و ترکیبی در زمینه آسیب‌شناسی بنا است که با تلفیق تحلیل تاریخی، ارزیابی آزمایشگاهی مصالح، تحلیل رفتار سازه با نرم‌افزار المان محدود و تفسیر هم‌زمان نتایج، نشان می‌دهد چگونه می‌توان پیش از ورود به مداخلات سنگین مرمتی، به درکی دقیق از عملکرد واقعی سازه دست یافت و راهکارهایی حداقلی، علمی و سازگار با اصالت و تاب‌آوری بنا پیشنهاد داد. این پژوهش در جستجوی پاسخ به این پرسش است که: "چگونه آسیب‌شناسی چند سطحی و ترکیبی، شامل تحلیل تاریخی، ارزیابی مصالح، بررسی کیفی سازه و تحلیل های کمی به‌صورت توامان می توانند جهت فهم جامع‌تر آسیب و تقرب به روش های صحیح درمان موثر باشند؟"

در مسیر اجرای پژوهش، متدولوژی آسیب‌شناسی پل تعریف شده و با بررسی سوابق تاریخی و مرمت‌های انجام‌شده (بر پایه داده‌های حاصل از مطالعات کتابخانه‌ای، مشاهده‌های میدانی، برداشت‌های دقیق و تحلیل ساختار سازه)، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مصالح از طریق آزمون‌های آزمایشگاهی ارزیابی می‌شود. همچنین، رفتار سازه تحت اثر نیروهای وزن، باد، آب و زلزله به کمک نرم‌افزار المان محدود ANSYS مورد تحلیل قرار خواهد گرفت. در نهایت، با تلفیق و تفسیر نتایج به‌دست‌آمده، حدود و شیوه‌های مناسب مداخله برای مرمت و حفاظت از پل تاریخی ایزدخواست تعیین گردید.

۲. پیشینه تحقیق

تاکنون پژوهش‌های متعددی در حوزه آسیب‌شناسی و مرمت پل‌های تاریخی ایران انجام شده است. بخش قابل توجهی از این مطالعات بر شناسایی آسیب‌های کالبدی و ارائه راهکارهای مرمتی بر پایه مشاهده‌های میدانی و تحلیل های تاریخی متمرکز بوده‌اند. از جمله می‌توان به پژوهش‌های انجام‌شده درباره پل‌های کشکان، بیستون، گرگر، فرح‌آباد، مرودشت، دزفول و بانوصحرا اشاره کرد که در آن ها عوامل مؤثر بر تخریب، از جمله فرسایش مصالح، آسیب‌های ناشی از سیلاب و مداخلات انسانی شناسایی شده و ضرورت حفاظت و مرمت اصولی این آثار مورد تأکید قرار گرفته است.

در حوزه فن‌شناسی ملات‌ها و مصالح، پژوهش‌هایی به بررسی ترکیب، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ملات‌های به‌کاررفته در پل‌های تاریخی پرداخته‌اند. از جمله، فیاضی، حیدری‌بنی و ایمان‌طلب (۱۳۹۴) در مطالعه ملات‌های پل بانوصحرا نشان دادند که استفاده از ملات‌های آهکی سازگار با شرایط محیطی نقش مهمی در پایداری سازه در برابر رطوبت و جریان

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]
[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

آب داشته است. همچنین، میردریکوندی، زرگر و حیدری‌بنی (۱۳۹۴) در پژوهش خود بر روی پل شاپوری خرم‌آباد، به ارتباط میان ترکیب ملات‌ها و رفتار سازه‌ای پل در برابر نیروهای محیطی به‌منظور انتخاب راهکارهای مرمتی سازگار با ساختار تاریخی بنا اشاره کرده‌اند. بررسی ملات پل‌های تاریخی استان لرستان توسط مصطفی‌نژاد، کریمی و منتظرالقائم (۱۳۹۸) نیز بر اهمیت شناخت دقیق ویژگی‌ها و ترکیبات ملات‌ها به‌منظور ساخت ملات پل‌ها در آزمایشگاه و همچنین به‌دست آوردن مشخصات مکانیکی آن‌ها برای مدل سازی های عددی تأکید دارد.

در زمینه تحلیل رفتار سازه‌ای پل‌های تاریخی، پژوهشگران به بررسی تأثیر عوامل هیدرولیکی، هیدرودینامیکی و بارگذاری‌های موجود پرداخته‌اند. عبدالهی و محسنی (۱۳۸۶) با استفاده از مدلسازی عددی و تحلیل اجزای محدود پل سی‌پله شهرستان کوهدشت، بر ضرورت انجام تحلیل های الاستیک با در نظر گرفتن مشخصات غیرخطی مصالح تأکید کردند تا بتوان اعضای بحرانی سازه را تحت بارگذاری موجود شناسایی و پایداری سازه را بررسی کرد؛ این رویکرد برای حفظ، نگهداری، مرمت و مقاوم‌سازی سازه‌های تاریخی ضروری است.

عبدلی و اسلامی (۱۳۹۰) در بررسی تاریخی و هیدروستاتیکی پل دزفول، نشان داده‌اند که سازندگان پل دزفول با تطبیق مصالح و روش های ساخت با شرایط محیطی، سازه‌ای مقاوم و همساز با محیط ایجاد کرده‌اند که هویت تاریخی و پایداری آن را طی زمان حفظ کرده است.

همچنین، رستمی و حسن‌زاده (۱۳۹۳) و فیاضی و حیدری‌بنی (۱۳۹۴) به ترتیب تأثیر نیروهای هیدرودینامیک سیلاب بر تحول هندسه دهانه جناغی به نیم دایره از دوره صفویه تا قاجاریه و تأثیر هندسه پایه های موج شکن منحنی بر عملکرد سازه و پایداری پل‌های تاریخی را تحلیل کرده و نشان داده‌اند که سیلاب یکی از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده این سازه‌ها به‌شمار می‌رود. پیرحیاتی (۱۴۰۳) بر تاثیر دانش و تکنیک‌های بومی شامل بسترسازی، پایه‌سازی و تاق‌های وسیع بر پایداری پل‌های تاریخی لرستان در برابر جریان رودخانه‌ها تاکید دارد. با وجود این، مرور پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که اغلب مطالعات، هر یک تنها بر یکی از ابعاد تاریخی، سازه‌ای یا آزمایشگاهی تمرکز داشته و کمتر پژوهشی به ارائه یک چارچوب روش‌شناختی یکپارچه و ترکیبی در فرآیند تصمیم‌سازی پروژه‌های حفاظت و مرمت پرداخته است. از این رو، پژوهش حاضر می‌کوشد برای نخستین بار با اتخاذ یک متدولوژی شش‌مرحله‌ای، ضمن فهم ویژگی های پل در زمان ساخت در ارتباط با بستر پیرامون آن، تحلیل تحولات تاریخی، تغییرات و دگرگونی‌های بنا در گذر زمان، رفتار سازه پل-بند تاریخی ایزدخواست در برابر عوامل درونی و بیرونی، نتایج حاصل از آنالیزهای آزمایشگاهی ملات‌ها و مصالح را در کنار تحلیل های عددی سازه تفسیر کرده و نقش این تلفیق را در جلوگیری از مداخلات سنگین و غیرضروری مرمتی تبیین نماید.

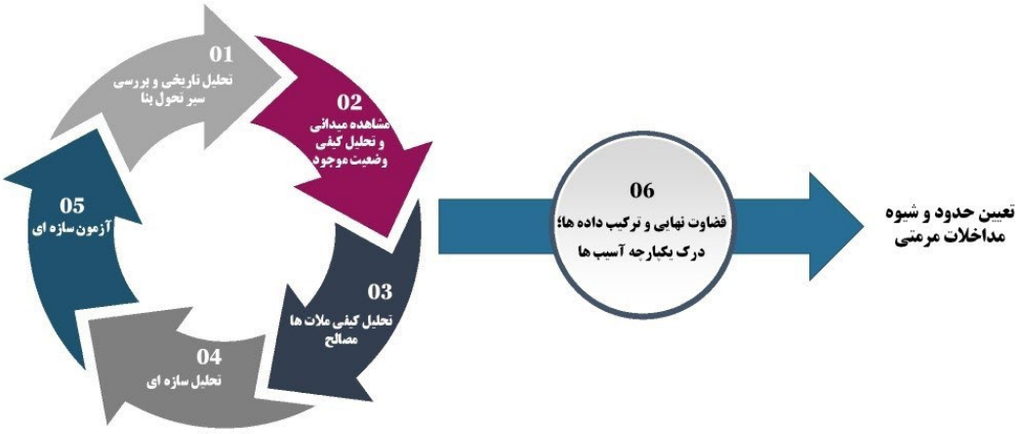
۳. روش تحقیق

چارچوب نظری پژوهش حاضر بر اصول مرمت علمی بناهای تاریخی استوار است؛ اصولی که در منشورهای بین‌المللی مرمت، به‌ویژه منشور ونیز (۱۹۶۴)، منشور بورا (۱۹۹۹) و سند نارا در باب اصالت (۱۹۹۴) مورد تأکید قرار گرفته‌اند. بر اساس این اصول، هرگونه مداخله مرمتی باید بر پایه شناخت جامع بنا، درک رفتار سازه‌ای، شناسایی علل و ماهیت آسیب‌ها و اجتناب از مداخلات غیرضروری و غیرقابل بازگشت انجام شود. منشور بورا (۱۹۹۹) با تأکید بر شناخت دقیق ارزش‌های تاریخی بنا و ثبت کامل وضعیت موجود قبل از هرگونه مداخله مرمتی، به عنوان پایه‌ای برای انجام تحلیل تاریخی و مشاهده مستقیم وضعیت فعلی بنا در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است.

همچنین، «اصول تحلیل، حفاظت و مرمت سازه‌های میراث معماری» مصوب ایکوموس (۲۰۰۳) بر ضرورت تلفیق مطالعات تاریخی، شناخت مصالح، تحلیل رفتار سازه و ارزیابی ایمنی پیش از هرگونه مداخله تأکید دارد؛ امری که به‌طور مستقیم ساختار شش‌مرحله‌ای روش تحقیق حاضر را شکل داده است. از سوی دیگر، «منشور حفاظت و مدیریت میراث فرهنگی آب» (ICOMOS, 2017) و توصیه‌های ایکوموس در خصوص آثار واقع در بسترهای آبی، اهمیت درک نیروهای هیدرولیکی، فرسایش بستر و تعامل سازه با جریان آب را در تحلیل پل‌های تاریخی برجسته می‌سازد. این اصول، به‌ویژه در تحلیل رفتار سازه پل-بند ایزدخواست که بر بستر یک رودخانه فصلی قرار دارد، مورد توجه قرار گرفته‌اند.

در این چارچوب، «مرمت نادرست یا غیر اصولی» به مداخلاتی اطلاق می‌شود که بدون شناخت کافی از عملکرد سازه، ویژگی‌های مصالح و بستر تاریخی بنا انجام شده و منجر به تشدید آسیب‌ها یا ایجاد ناپایداری‌های جدید گریده است. «سازگاری مصالح» به میزان هم خوانی فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی مصالح جدید با مصالح تاریخی اطلاق می‌شود؛ مفهومی که در ادبیات مرمت به‌عنوان یکی از شروط اصلی حفظ اصالت و پایداری بنا شناخته می‌شود. همچنین «پایداری سازه‌ای» در این پژوهش، نه صرفاً به معنای تحمل بارهای وارده، بلکه به مفهوم حفظ تعادل سازه در برابر نیروهای درونی و بیرونی در طول زمان و بدون نیاز به مداخلات سنگین تعریف می‌شود.

از منظر مرمت سازه‌ای، پژوهش حاضر بر این فرض استوار است که تحلیل رفتار سازه‌های تاریخی تنها از طریق محاسبات عددی یا آزمون‌های آزمایشگاهی به‌تنهایی امکان‌پذیر نیست و دستیابی به تشخیص دقیق،



شکل ۱. متدولوژی آسیب‌شناسی بنا در شش مرحله
Figure 1. Six-step building pathology methodology

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]
[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

مستلزم تلفیق داده‌های تاریخی، مشاهده‌های میدانی، شناخت مصالح و تحلیل کمی رفتار سازه است. این رویکرد تلفیقی، مبنای تدوین روشی جامع برای آسیب‌شناسی ترکیبی و همه‌جانبه یک بنای تاریخی را در پژوهش حاضر شکل می‌دهد.

بر این اساس، روش تحقیق پژوهش حاضر در قالب یک فرآیند شش‌مرحله‌ای سامان یافته است که هر مرحله، در پیوند با یکدیگر و با هدف تشخیص دقیق آسیب‌ها تعریف شده است (شکل ۱).

۱- تحلیل تاریخی و بررسی سیر تحول بنا

در این مرحله، اسناد و مدارک توصیفی و تصویری مربوط به دوره‌های تاریخی و معاصر؛ گردآوری، بررسی و تفسیر می‌شوند تا تمامی دگرگونی‌های احتمالی نظیر تخریب‌ها، آسیب‌ها، بازسازی‌ها، الحاقات، اصلاحات سازه‌ای یا مرمت‌های انجام‌شده بر روی بنا تا زمان حاضر شناسایی گردد. تحلیل تاریخی، مطابق منشور ونیز، به‌عنوان پایه شناخت اصالت و درک رفتار سازه در طول زمان تلقی می‌گردد.

۲- مشاهده میدانی و تحلیل کیفی وضعیت موجود

در این بخش، بنا از نزدیک مورد معاینه و ثبت و ضبط دقیق قرار می‌گیرد تا ویژگی‌های کلی، وضعیت آسیب و ترک‌ها، نشانه‌های تغییر شکل، نشست، فرسایش مصالح و آثار ناشی از مرمت‌ها یا بازسازی‌های گذشته شناسایی شوند (کروچی، ۱۳۹۵) (ICOMOS, 1964; ICOMOS, 2003). در صورت لزوم، این مرحله می‌تواند شامل سوندژهای محدود و بررسی‌های باستان‌شناسی در خود بنا یا عرصه پیرامونی آن نیز باشد.

۳- تحلیل کیفی و نیمه کمّی ملات‌ها و تحلیل کیفی مصالح

به‌منظور شناسایی نوع، ویژگی‌های فیزیکی و مقاومت مصالح به‌کاررفته، مجموعه‌ای از آزمایش‌ها انجام می‌شود. لازم است توجه شود که انجام آزمون‌های بیش‌ازحد یا نامتناسب، ممکن است تنها اندکی به اطلاعات موجود بیفزاید، بدون آن‌که به بهبود راه‌حل‌ها یا کاهش هزینه و زمان بی‌انجامد. از این‌رو، مطالعات باید بر پایه‌ی ارزیابی هزینه و نفع و زیان تنظیم شوند. در گام نخست، آزمون‌ها باید تنها برای دستیابی به داده‌های پایه صورت گیرند و پس از تحلیل نتایج، در صورت نیاز، تصمیم به انجام بررسی‌های تکمیلی گرفته شود (کروچی، ۱۳۹۵). نتایج این مرحله، امکان تحلیل ارتباط میان نوع مصالح و رفتار سازه‌ای بنا را فراهم می کند.

۴- تحلیل سازه‌ای و بررسی رفتار کلی بنا

در این مرحله رفتار سازه بنا در برابر نیروهای وزن، آب، باد و زلزله با استفاده از تحلیل عددی و مدل‌سازی اجزای محدود بررسی می‌شود. این مرحله، به‌منظور درک عملکرد واقعی سازه و شناسایی نقاط بحرانی تعریف شده است.

۵- ارزیابی ایمنی و انجام تحلیل های کمی (آزمون سازه‌ای)

رفتار سازه از طریق نرم‌افزارهای تحلیلی یا با بهره‌گیری هم‌زمان از روش های محاسباتی و تجربی مورد بررسی قرار می‌گیرد تا نقاط ضعف و قوت آن مشخص شود. این تحلیل، با ترکیب داده‌های کیفی و کمی و با درنظرگرفتن شرایط کنونی، نارسایی‌های احتمالی طراحی اولیه را آشکار کرده و نشان می‌دهد که در صورت مرمت سازه بر اساس ساختار اولیه، آیا همچنان در برابر بارهای وارده ضعف خواهد داشت یا خیر. این مرحله نقش تعیین‌کننده‌ای در پرهیز از پیشنهاد مداخلات سنگین و غیرضروری دارد.

۶- قضاوت نهایی و ترکیب داده‌ها

در این مرحله، کلیه داده‌های تاریخی، کیفی و کمی به‌صورت یکپارچه تفسیر شده، درک دقیق و کاملی از وضعیت آسیب‌ها به دست می دهند که مبنای تصمیم‌گیری قرار می‌گیرند. هدف از این تلفیق، دستیابی به مداخلات حداقلی، اصالت حداکثری و پایداری، منطبق با اصول حفاظت بناهای تاریخی است. هدف از این مرحله، عبور از توصیف صرف آسیب‌ها و دستیابی به قضاوتی تحلیلی و تصمیم‌ساز در چارچوب اصول مرمت علمی است.

۴. معرفی پل- بند ایزدخواست

ایزدخواست یک منظر فرهنگی تمام عیار است. مهم‌ترین عنصر منظر فرهنگی ایزدخواست، درّه طبیعی آن است که رودخانه ایزدخواست در خط‌القعر آن واقع شده است (اسفنجاری و ستوده، ۱۴۰۳). پل تاریخی ایزدخواست، بر روی این رودخانه و در راستای محور ورودی کاروانسرا و هم‌زمان با آن در دوره صفوی و احتمالا در زمان شاه عباس ساخته‌شده است (شکل‌های ۲ الی ۴). این اثر در سال ۱۳۵۴ با شماره ۱۱۱۰، در فهرست آثار ملی ایران به ثبت رسیده است. همچنین این پل به‌همراه کاروانسرای ایزدخواست و به‌عنوان بخش از عرصه آن در پرونده زنجیره‌ایی کاروانسرای ایرانی در فهرست میراث جهانی نیز به ثبت رسیده، علاوه بر ارزش‌های ملی دارای ارزش برجسته جهانی است (ICOMOS, 2015). طول بخش دهانه دار پل ۱۸/۴۷ متر و در وضعیت فعلی (به علت آسیب‌ها)، پهنای پل در بیشترین حالت برابر با ۵/۴۰ متر و حداکثر ارتفاع پل نسبت به کف گذرگاه فعلی، برابر با ۳/۲۰ متر است. اختلاف ارتفاع بسترسازی و بستر رودخانه نشان می‌دهد که پل به احتمال قوی بر روی یک «بند» ساخته‌شده که با بالا بردن سطح آب در جنوب پل، موجب سوارشدن آب بر کانال انتقال آب رودخانه برای باغات و کشاورزی استفاده می‌شده است.

شکل ۲. موقعیت پل بر روی رودخانه (Esfanjari, 2017)

Figure 2. Location of the bridge over the river (Esfanjari, 2017)

شکل ۳. وضعیت فعلی بنا در نمای شمالی

Figure 3. Current condition of the building on the north façade

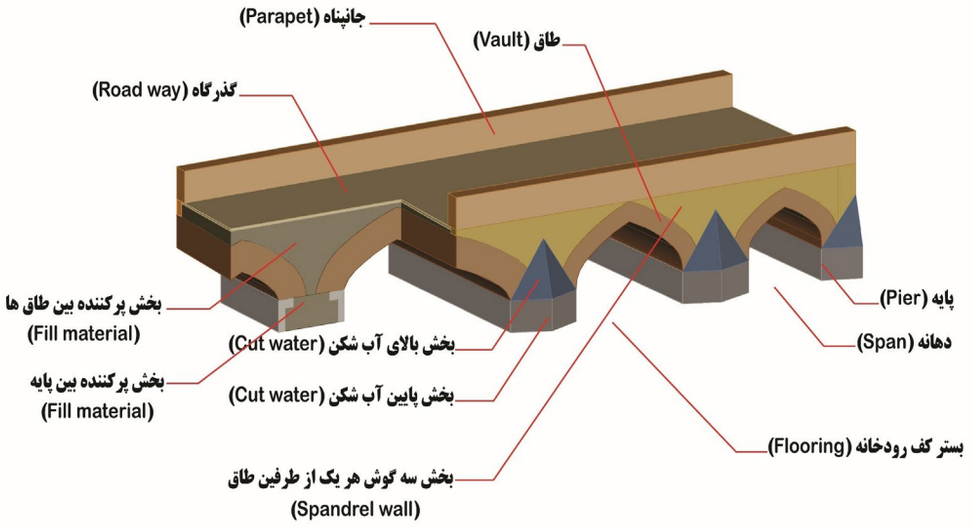
شکل ۴. وضعیت فعلی بنا در نمای جنوبی

Figure 4. Current condition of the building on the south façade

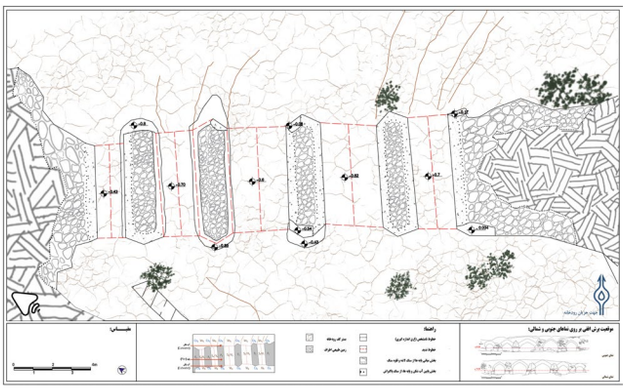
[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

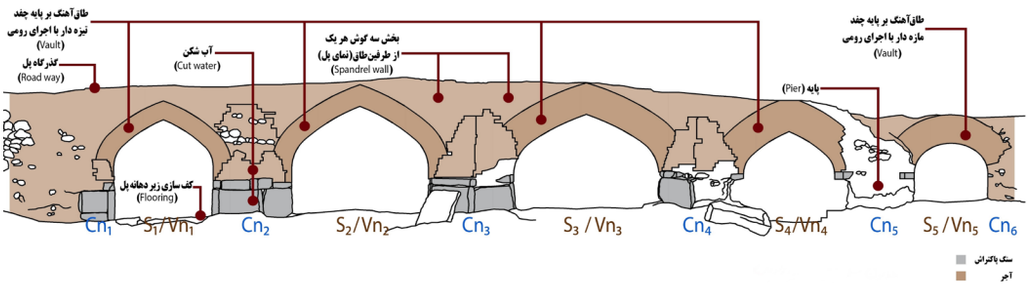
اجزای سازنده بنا در شکل ۵ و پلان و نماهای شمالی و جنوبی در شکل‌های ۶ الی ۸ قابل ملاحظه هستند. همچنین بر روی نماهای شمالی و جنوبی؛ دهانه‌ها، طاق‌ها و پایه‌های پل جهت سهولت در انجام مطالعات و ارائه توضیحات، شماره‌گذاری شده‌اند.



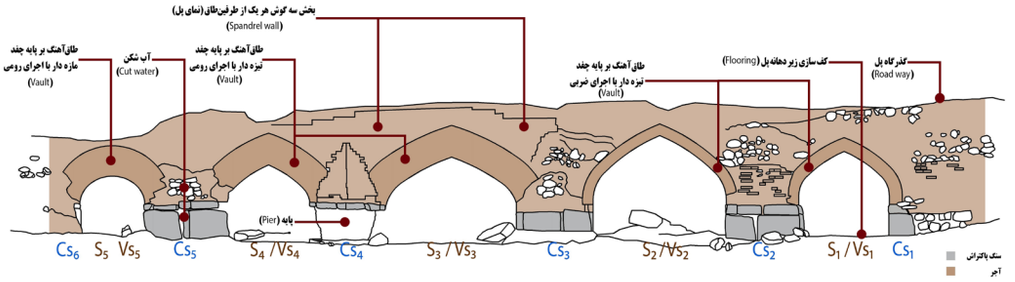
شکل ۵. اجزای معماری سازنده پل
Figure 5. Architectural components that make up a bridge



شکل ۶. پلان پل تاریخی ایزدخواست
Figure 6. Plan of the historical bridge of Izadkhast



شکل ۷. نمای شمالی و عناصر تشکیل‌دهنده پل در این نما
Figure 7. North view and the elements that make up the bridge in this view



شکل ۸. نمای جنوبی و عناصر تشکیل‌دهنده پل در این نما
Figure 8. South view and the elements forming the bridge in this view

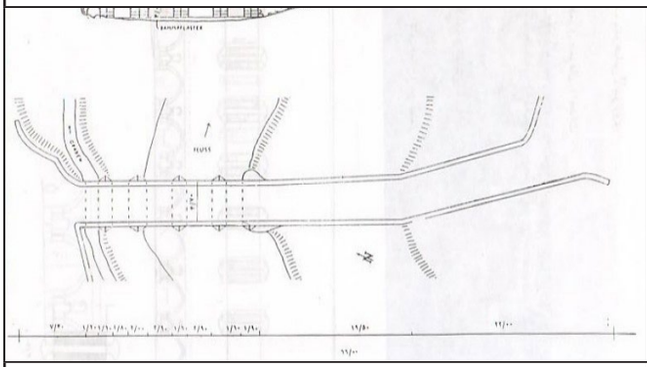
[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]
[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

در ادامه به بیان مشخصات و ویژگی‌های معماری بنا پرداخته خواهد شد (جدول ۱).

جدول۱. مشخصات معماری پل
Table 1. Architectural specifications of the bridge

پایه‌ها و دهانه‌ها
پل کوچک ایزدخواست از پنج دهانه تشکیل شده و در میان آن‌ها چهار پایه قرار دارد؛ علاوه بر این، دو پایه در ابتدا و انتهای پل واقع شده‌اند که در حقیقت، بخشی از بستر طبیعی زمین به شمار می‌آیند. پایه‌ها به‌صورت شش‌ضلعی طراحی و ساخته شده‌اند و هرکدام از سه بخش مجزا تشکیل می‌شوند. بخش مرکزی آن‌ها دارای شکل مستطیلی است و برای کاهش فشار جریان آب بر پایه، در سمت مقابل جریان، سازه‌ای مثلثی‌شکل به‌عنوان آب‌شکن تعبیه شده است. در سوی دیگر پایه، یعنی در قسمت پشت به جریان آب نیز آب‌شکنی مثلثی مشابه ساخته شده است. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که عرض دهانه‌های پل از غرب به شرق به‌تدریج افزایش می‌یابد (از دهانه‌ی S_1 تا S_5). همچنین، دهانه‌های S_2 و S_3 بزرگ‌ترین و دهانه S_5 کوچک‌ترین دهانه پل محسوب می‌شود (قرارگیری پل در پیچ رودخانه، سبب شده که در محل پل، رودخانه به سوی شرق متمایل باشد و ازاین‌جهت ابعاد دهانه‌های شرقی (S_3-S_2-S_1) بزرگ‌تر از دو دهانه دیگر انتخاب‌شده است. بدین ترتیب ارتفاع این دهانه‌ها نیز، اندکی بلندتر از دیگر دهانه‌هاست. با این‌حال، هیچ‌یک از دهانه‌ها ارتفاع لازم را جهت عبور سیلاب ندارند. احتمالاً به خاطر کوچک و کم عمق بودن رودخانه، دبی کم آب آن و همچنین برای هم‌سطح شدن گذرگاه با ساحل دو طرف رودخانه، معمار اجباراً پل را با دهانه و ارتفاع کم ساخته است.
طاق‌ها
دهانه‌های پل با پنج طاق آهنگ پوشانده شده‌اند. مرتفع‌ترین طاق‌ها، یعنی طاق‌های V_2 و V_3، به‌ترتیب دهانه‌های S_2 و S_3 را پوشش می‌دهند. از نظر ارتفاع، طاق V_5 از سایر طاق‌ها کوتاه‌تر است و بر روی کوچک‌ترین دهانه ساخته شده است، در حالی‌که از نظر ضخامت، طاق V_4 ضخامتی بیش از دیگر طاق‌های دیگر دارد. بررسی‌های تاریخی و نتایج آزمایش‌های مصالح نشان می‌دهد که تغییرات مشاهده‌شده در شیوه‌ی اجرای نمای رو به آب طاق‌های V_1 و V_2 ناشی از مرمت‌های انجام‌شده در دوره‌های بعدی است. سایر طاق‌ها از دو سمت شمالی و جنوبی، از نظر نوع قوس و نحوه‌ی ساخت، مشابه یکدیگرند. فضای بین طاق‌ها مانند بخش میانی پایه‌ها؛ با سنگ لاشه، قلوه‌سنگ و ملات پرشده است. به‌تبع ارتفاع کوتاه پل برای هم‌سطح شدن با ساحل دو طرف رودخانه، ارتفاع پایه‌های پل نیز کوتاه بوده و معمار به‌منظور استحکام کافی پایه‌ها در برابر سیلاب، وزن پایه‌ها را با پر کردن روی آن‌ها سنگین نموده و پل فاقد هر گونه کنوبندی است.
گذرگاه
سطح گذرگاه پل از دو سوی رودخانه تا دهانه V_2، به‌تبع افراز (ارتفاع طاق یا چفد) طاق‌ها تدریجاً ارتفاع می‌گیرد و این مسئله موجب انحنای نسبی سطح گذرگاه پل شده است. سطح عبوری کنونی پل ترکیبی از خاک، خرده‌سنگ و آجرهای شکسته بوده و بخش‌هایی از آن با قلوه‌سنگ پوشیده شده است. به‌نظر می‌رسد که کف عرشه پل به‌دلیل آسیب‌پذیر بودن و به‌منظور تسهیل عبور و مرور در دوره‌های بعدی، بارها مرمت و بازسازی شده باشد.
نماسازی پل
در فضای میان دهانه‌ها، جداره‌ای آجری با ضخامت تقریباً معادل یک آجر ساخته شده است که به‌عنوان پوشش نما عمل می‌کند. در دو انتهای شرقی و غربی پل نیز، در وجوه شمالی و جنوبی، از سنگ لاشه و قلوه‌سنگ برای نماسازی استفاده شده است. امروزه بخش عمده‌ای از نمای قسمت‌های شرقی در هر دو جبهه از بین رفته و تنها آثار محدودی از این نما در بخش‌های غربی باقی‌مانده است. شواهد نشان می‌دهد که این نماسازی در گذشته تا امتداد دنباله‌های پل در دو سوی شمالی و جنوبی ادامه داشته، در واقع، جزئی از دیواره‌های حاشیه رودخانه به‌شمار می‌رفته است.
جان‌پناه و دنباله‌های پل
در وضعیت فعلی، پل هیچ‌گونه جان‌پناهی ندارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد در چند نقطه از سطح پل، بقایای دیواری آجری با ضخامت متغیر بین ۴۸ تا ۸۵ سانتی‌متر وجود دارد که به‌احتمال زیاد، بستر جان‌پناه اصلی پل بوده است. تصاویر تاریخی نیز این فرض را تأیید می‌کنند؛ به‌طوری‌که جان‌پناه اولیه از آجر ساخته شده بود، اما پس از وقوع سیل سال ۱۳۳۵ هجری شمسی و تخریب کامل آن، جان‌پناه جدید با سنگ لاشه بازسازی شد (شکل ۹). در امتداد جان‌پناه‌ها، پل دارای دنباله‌هایی در دو سوی شمالی و جنوبی بوده که در امتداد مسیر رودخانه ادامه می‌یافته‌اند و بخشی از طول کلی پل را تشکیل می‌دادند. مطابق طرح ترسیمی ولفرام کلایس در سال ۱۹۸۶ میلادی، طول کلی پل همراه با دنباله‌های سدی آن حدود ۶۷/۵۰ متر برآورد شده است که تقریباً ۴۹ متر بیش از طول بخش دارای دهانه‌های اصلی است (مخلصی، ۱۳۷۹) (شکل ۱۰).

شکل ۹. تصویر ثبت شده از پل ایزدخواست در سال ۱۹۳۵ م. توسط آنه ماری شوارتسنباخ (E-Manuscripta, 1982)
Figure 9. Photograph of the Izadkhast Bridge taken in 1935 by Annemarie Schwarzenbach (E-Manuscripta, 1982)



شکل ۱۰. برداشت و ترسیم نقشه پل توسط ولفرام کلایس (مخلصی، ۱۳۷۹)
Figure 10. Drawing and mapping of the bridge by Wolfram Kleiss (Mokhlesi, 2000)

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

جدول۱. مشخصات معماری پل
Table 1. Architectural specifications of the bridge

دیواره سازی رودخانه و دیواره تقسیم آب
در حال حاضر، بخش مربوط به دیواره‌سازی رودخانه در محدوده‌ی جنوب‌غربی پل در وضعیت مناسبی حفظ شده است، اما در سه سمت دیگر رودخانه، اثری از دیواره‌سازی به‌چشم نمی‌خورد. بر پایه‌ی شواهد موجود، ساخت دیواره‌های اطراف رودخانه در بخش‌های مجاور دهانه‌های پل با استفاده از سنگ لاشه و قلوه‌سنگ انجام گرفته و در قسمت‌های نزدیک‌تر به بستر رودخانه، مصالح به‌کاررفته عمدتاً از نوع سنگ لاشه بوده است. از طریق دیواره ساخته‌شده بین دهانه‌های S_4 و S_5 که اکنون تنها بخشی از آن باقی‌مانده، آب رودخانه جهت آب‌رسانی به مزارع شمالی انتقال می‌یافته است.

۵. نتایج و یافته‌های تحقیق

الف- تحلیل تاریخی

با توجه به بررسی مشخصات پل بر پایه‌ی منابع توصیفی و تصویری تاریخی و معاصر، روند تحول تاریخی پل در ارتباط با تخریب‌ها، الحاقات و اصلاحات سازه‌ای، همچنین تغییرات، دگرگونی‌ها و اقدامات مرمتی، به‌صورت زیر قابل طبقه‌بندی و تبیین است (جدول ۲):

جدول ۲. تحلیل آسیب های وارد بر بنا در طول تاریخ
Table 2. Analysis of damage to buildings throughout history

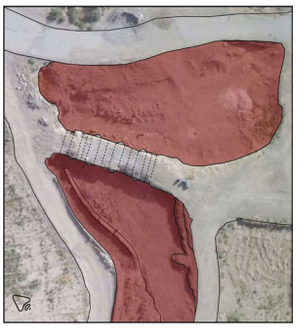
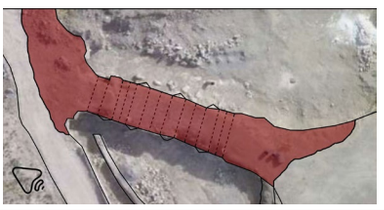
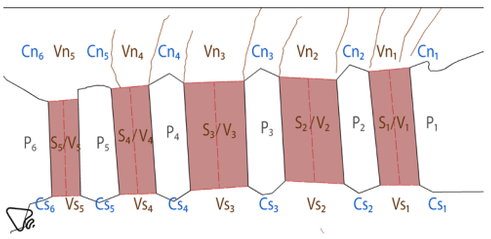
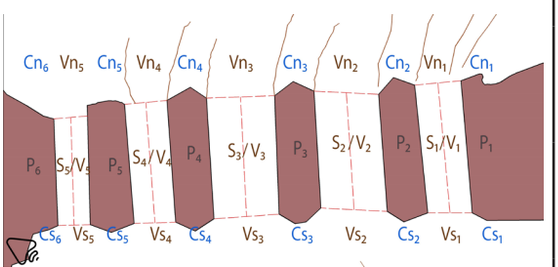
ویرانی‌ها
۱- ویرانی پل در حدود سال ۱۲۲۰ شمسی (دوره قاجار) (فلاندن، ۱۳۵۶) ۲- آب‌بردگی بسترسازی زیر دهانه‌های پل (احتمالاً در اواخر دوره پهلوی) ۳- آسیب دیدگی بنا در اثر وقوع سیل در سال ۱۳۳۵ شمسی (رنجبر و دیگران، ۱۳۷۳) ۴- شکستگی در طاق V_2 (اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری فارس، ۱۳۵۴) ۵- تخریب طاق‌های V_1 و V_2 در نتیجه‌ی عوامل طبیعی و همچنین عبور وسایل نقلیه (اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری فارس، ۱۳۵۴) (رنجبر و دیگران، ۱۳۷۳) ۶- تخریب دنباله‌های پل (احتمالاً در سیل ۱۳۳۵ شمسی و پس‌ازآن در دهه ۷۰) ۷- رسوب‌گذاری و مسدود شدن کامل دهانه‌های S_5 و S_4 به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۳ و تخریب طاق V_5 (احتمالاً در دهه ۸۰ به علت مسدود شدن دهانه از نخاله‌ها، گیاهان و غیره) (Flickr, 2009) ۸- تخریب ستون الحاقی در زیر طاق V_2 و کج شدن و رانش پایه P_2 در سال ۱۳۹۵ (An international collection of architectural photography, 2016) ۹- تخریب کامل جان‌پناه سنگی در سال ۱۳۹۶ (اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری فارس، ۱۳۹۶)
الحاقات و اصلاحات سازه‌ای
۱- احداث دیواره‌ای جهت تقسیم جریان آب رودخانه و هدایت آن به سمت زمین‌های کشاورزی واقع در شمال پل (احتمالاً در دوره قاجار) ۲- ساخت ستون آجری زیر طاق V_2 برای جلوگیری از ریزش طاق (اواخر پهلوی) (Archnet's digital library, 2003)
تغییرات و دگرگونی‌ها
۱- مرمت طاق‌های V_1 و V_2 به‌صورت ضربی و مغایر با شیوه اجرایی طاق‌های اصلی به شیوه دز یا پنهان (تلفیق اجرای ضربی و رومی) ۲- استفاده از ملات‌هایی با ترکیب و جنس متفاوت نسبت به ملات‌های اصلی بنا در عملیات مرمت سال ۱۳۹۶ (اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری فارس، ۱۳۹۶) ۳- تخریب بخشی از دیواره تقسیم آب در جنوب پل در سال ۱۳۹۶ (Archnet's digital library, 2003) ۴- ماشین‌رو شدن پل باوجود عدم طراحی آن برای عبور وسایل نقلیه سنگین ۵- تجمع رسوبات و رویش گیاهان در بستر رودخانه ۶- خشک‌شدن بستر رودخانه و از بین رفتن جریان دائمی آب ۷- نصب لوله در دهانه‌ی S_5 در سال ۱۳۹۹ به‌منظور انتقال آب به مزارع شمالی که منجر به تخریب بخشی از دیواره‌ی رودخانه و ریزش آوار در بستر آن شده است.
بازسازی‌ها و اقدامات مرمتی
۱- مرمت پل توسط مشیرالملک شیرازی (بین سال‌های ۱۲۹۳-۱۲۶۲) (پیرزاده نائینی، ۱۳۴۲) ۲- احداث راه جدید در مجاورت پل در سال ۱۳۳۵ (سازمان اسناد و کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران). ۳- مرمت پل در سال ۱۳۵۴ (هم‌زمان با ثبت بنا در فهرست آثار ملی ایران)، بازسازی گذرگاه پل با سنگ لاشه و قلوه‌سنگ در سال ۱۳۵۴ و بازسازی جان‌پناه با سنگ لاشه (احتمالاً در اواخر دوره پهلوی) (اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری فارس، ۱۳۵۴) ۴- مرمت طاق‌های V_1 و V_2 ۵- اقدامات مرمتی در دو مرحله در سال ۱۳۹۶ شامل: مرمت جزئی برخی از طاق‌ها، رسوب‌برداری و بازگشایی دهانه‌های S_4 و S_5، تعمیر پایه‌ها و بازسازی آب‌شکن‌های جنوبی پل (اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری فارس، ۱۳۹۶) ۶- انجام مرمت های جزئی در چند نوبت شامل رسوب برداری و ترمیم پایه‌ها، مرمت آب‌شکن‌ها و نصب مجدد سنگ‌های پاکتراش جدا شده از پایه‌های پل.

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]
[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

ب- تحلیل کیفی وضعیت فعلی (بررسی در مکان)

در این بخش، وضعیت کنونی پل از منظر میزان و نوع آسیب‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. این بررسی در دو گام انجام گرفت: نخست آسیب‌نگاری (ثبت و طبقه‌بندی آسیب‌ها) و سپس آسیب‌شناسی (تحلیل علل و پیامدهای آن ها). خلاصه‌ی نتایج حاصل در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

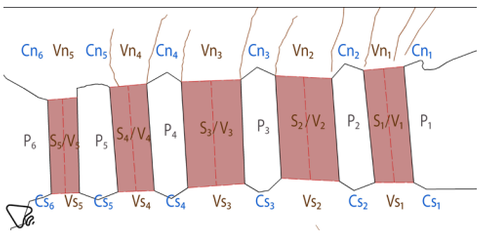
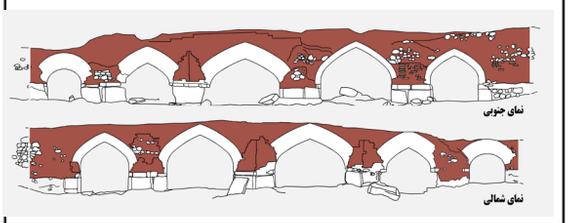
جدول ۳. آسیب‌نگاری و آسیب‌شناسی وضعیت موجود پل ایزدخواست
Table 3. Assessing damage to the existing building

موضع آسیب	نوع آسیب	آسیب های وارده	عامل آسیب‌رسان
بستر رودخانه 	فرسایشی	تجمع رسوبات و رشد گیاهان	عوامل طبیعی
	فرسایشی	پراکندگی مصالح جدید و قدیمی در بستر رودخانه	عوامل طبیعی و انسانی
	ویرانی	فرسایش طبیعی و تخریب و ریزش دیواره‌های رودخانه	عوامل طبیعی، کهولت مصالح، مرمت‌های نادرست و ترکیبات لایه های خاک
	تخریب	ازبین‌رفتن دیواره تقسیم آب	عوامل طبیعی و مرمت‌های نادرست (لوله گذاری جهت انتقال آب در سال ۱۳۹۹)
گذرگاه و جان‌پناه 	تخریب	ازبین‌رفتن جان‌پناه و دنباله‌های پل	کهولت مصالح، فرسایش دیواره‌های رودخانه و عوامل طبیعی
	تخریب و فرسایشی	فرسایش سنگ‌فرش و تخریب سطح گذرگاه	عبور وسایط نقلیه در گذشته، کهولت و فرسودگی ملات و مصالح و نفوذ رطوبت نزولی
	فرسایشی	رشد گیاهان در فضای خالی بین مصالح	وجود فضای خالی بین مصالح و عوامل طبیعی
پی و بسترسازی زیر دهانه‌ها 	فرسایشی	انباشت رسوبات	عوامل طبیعی
	فرسایشی	مرمت‌های غیر اصولی	عوامل انسانی
	تخریب	آب شستگی کف‌سازی زیر دهانه‌ها و فرسودگی مصالح	عوامل طبیعی و طغیان رودخانه، فرسودگی و ناپایداری ملات بین سنگ‌ها و گذر زمان
پایه‌ها (بخش میانی و بخش پایین آب‌شکن‌های متصل به پایه) 	فرسایشی	مرمت‌های نادرست	عوامل انسانی
	فرسایشی	تورق و پوسته‌پوسته شدن سطح سنگ‌ها، تغییر رنگ، شوره‌زدگی و خالی شدن بند ملات	تغییرات دما و یخزدگی، تر و خشک شدن متوالی، جنس مصالح، مرمت‌های نادرست (استفاده از ملات ناهماهنگ با ملات اصلی، سال ۱۳۹۶)، رطوبت صعودی
	ویرانی	جدا شدن برخی سنگ‌های پاک‌تراش از بدنه‌ی پایه‌ها	سیلاب، از بین رفتن چسبندگی ملات، رشد گیاهان، تغییرات دمایی و ضعف اجرایی
	فرسایشی	فرسایش موضعی در اطراف پایه‌ها	عدم عبور درست آب به علت از بین رفتن کف‌سازی زیر دهانه‌ها و رسوب‌گذاری
	ویرانی- فرسایشی	تخریب و شستگی ملات و سنگ‌ها در بخش‌های پرکننده‌ی پایه‌ها	آسیب‌دیدگی مصالح نما و نفوذ رطوبت به مصالح، کهولت مصالح، یخزدگی و تر و خشک شدن متوالی
	فرسایشی	رشد گیاهان در فضای خالی بین مصالح	فضای خالی بین سنگ‌ها و عوامل طبیعی

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

جدول ۳. آسیب‌نگاری و آسیب‌شناسی وضعیت موجود پل ایزدخواست
Table 3. Assessing damage to the existing building

موضع آسیب	نوع آسیب	آسیب های وارده	عامل آسیب‌رسان
طاق‌ها 	فرسایشی	رشد گیاهان در فضای خالی بین مصالح	فضای خالی بین مصالح و عوامل طبیعی
	ویرانی	تخریب و ریزش مصالح	رطوبت نزولی، مرمت‌های نادرست (اجرای ناهمگون طاق به شیوه ضربی به جای شیوه اصلی دز یا پنهان)، انسداد دهانه‌ها و تخریب آب‌شکن‌ها
	فرسایشی	مرمت‌های غیراصولی مغایر با گذشته	عوامل انسانی
بخش بالای آب‌شکن‌ها و نما 	ویرانی	تخریب و ریزش مصالح آب‌شکن‌ها	عوامل طبیعی، کهولت ملات و مصالح، رطوبت نزولی و حرکت پایه P_3
	فرسایشی	رشد گیاهان در فضای خالی بین مصالح	فضای خالی بین مصالح و عوامل طبیعی
	ویرانی	تخریب و ریزش مصالح نمای پل	فشار بار مرده و زنده، رطوبت نزولی، حرکت پایه‌ها و طاق‌ها، ضعف اجرایی (عدم اتصال و هشت و گیر شدن با بخش زیرین) و کهولت ملات و مصالح
	فرسایشی	مرمت‌های نادرست	عوامل انسانی

ج- تحلیل کیفی و نیمه کمّی ملات‌ها و تحلیل کیفی مصالح

یکی از اصول بنیادین در مرمت بناهای تاریخی، رعایت اصل هماهنگی و سازگاری مصالح و ملات‌های جدید با ساختار اصیل اثر است. بررسی‌های آزمایشگاهی و مطالعات تاریخی می‌تواند مشخص کند که آیا بنای تاریخی دارای مقاومت و پایداری کافی است یا به تقویت سازه نیاز دارد. در همین راستا، با توجه به ویژگی‌های فیزیکی و ساختاری پل، آزمایش‌های XRD و XRF برای شناسایی نوع و ترکیب ملات‌های به‌کاررفته در ساختار پل انجام شد (جدول ۴). همچنین، به‌منظور تعیین نوع سنگ‌ها، کانی‌های موجود و بررسی میزان تخلخل مصالح، آزمایش پتروگرافی بر روی ۱۲ نمونه شامل ۲ نمونه سنگ، ۴ نمونه آجر و ۶ نمونه ملات صورت گرفت (جداول ۵ و ۶).

ملات طاق‌ها (گچ + آهک + مقدار اندکی خاک حاوی کانی‌های رسی و خاکستر): گچ با وجود مقاومت پایین در برابر رطوبت مداوم، به‌دلیل اختلاط با آهک و خاکستر، تا حدی دوام و استحکام بیشتری یافته و ترک‌خوردگی‌های سطحی ناشی از رطوبت و یخبندان را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، زودگیر بودن ملات در اجرای طاق‌ها امری ضروری بوده است؛ از این رو، نسبت بیشتر گچ به آهک، امکان اجرای سریع‌تر و پایدارتر طاق‌ها را فراهم می‌ساخته است. افزوده شدن مقدار اندکی خاک حاوی کانی‌های رسی نیز با هدف کند کردن گیرش گچ انجام شده تا زمان لازم برای چیدن طاق‌ها در اختیار معمار قرار گیرد (فیاضی و دیگران، ۱۳۹۴). با این وجود به‌دلیل غلبه رفتار گچ در تماس مستقیم و مداوم با جریان آب، این ملات در برابر رطوبت طولانی مدت و نیروهای هیدرودینامیک سیلاب حساسیت بالایی دارد. ملات پایه‌ها، بخش پرکننده بین طاق‌ها و ملات دیواره‌سازی بدنه رودخانه (ساروج سرد: آهک + خاک رس + خاکستر): این ملات سنتی، ملاتی کندگیر است و برای عایق کردن منبع‌ها، حوضچه‌ها، آب انبار و آب‌روها و اندودکاری سطوح داخلی حمام‌ها به کار گرفته می‌شده است. این ملات در مناطق مرطوب بسیار پرکاربرد بوده و با سنگ و اجر به کار گرفته می‌شده است. زیرا آهک موجود در این ملات، بر اثر رطوبت مداوم، سخت‌تر شده و سبب استحکام و انسجام بیشتر بنا می‌شود (فیاضی و دیگران، ۱۳۹۴). بنابراین مقاومت بالای این ملات در برابر نفوذ آب و فشارهای جانبی، نقش اساسی در ثبات و پایداری طاق‌ها و پایه‌ها ایفا می‌کند. همچنین استفاده از این ملات در دیواره‌سازی بدنه رودخانه؛ در مقابله با فرسایش بستر و فشار آب نقش کلیدی دارد و به حفظ یکپارچگی و ایستایی پایه‌های انتهایی کمک می‌کند، که به نوبه خود پایداری کل سازه را افزایش می‌دهد.

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]
[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

جدول ۴. نتایج حاصل از آنالیزهای آزمایشگاهی بر روی ملات‌ها
Table 4. Results from laboratory analyses on mortars

نام نمونه / کد نمونه	آزمایش	فازهای اصلی و درصد ترکیبات شناسایی‌شده		نوع ملات
ملات طاق رومی	XRD	فازهای اصلی	گچ ($CaSo_4.2H_2O$)، کلسیت ($CaCo_3$)، کوارتز (SiO_2)، موسکویت و کلینوکلر (کانی‌های سیلیکاتی)	ملات گچ و آهک (به نسبت ۳ به ۱) (خاکستر نیز در ملات وجود دارد. خاک موجود در ملات به‌احتمال فراوان، از دشت‌های آبرفتی منطقه برداشت‌شده است.)
		فازهای ماکزیمم	گچ و کلسیت	
IB / M1	XRF	مقدار ماده جامد	٪۸۰/۱۶	
		مقدار گچ	٪۶۰/۷۶	
		مقدار آهک	٪۱۷/۸۱	
ملات طاق ضربی	XRD	فازهای اصلی	گچ، کلسیت، کوارتز، کلینوکلر و پالی گورسکیت (کانی‌های سیلیکاتی)	ملات گچ و آهک (تقریباً به نسبت ۲ به ۱) که مقدار اندکی خاک حاوی کانی‌های رسی و خاکستر نیز دارد (به علت عدم وجود $CaSO_4$ خشک در آنالیز XRD ملات طاق‌ها، این ملات نمی‌تواند ملات گچ سنتی (نیم‌پخته نیم‌کوب) باشد).
		فازهای ماکزیمم	گچ و کلسیت	
IB / M2	XRF	مقدار ماده جامد	٪۷۸/۴	
		مقدار گچ	٪۵۶/۴۶	
		مقدار آهک	٪۲۴/۸۱	
ملات پایه پل و بخش پرکننده بین طاق‌ها	XRD	فازهای ثانویه	گچ، نمک، آلبیت، موسکویت و کلینوکلر	ملات ساروج سرد (آهک + خاک رس + خاکستر) (آنالیز ملات پایه پل و بخش پرکننده بین طاق‌ها، نتایج مشابهی را با اختلاف کمتر از ۱٪ نشان می‌دهد)
		فازهای ماکزیمم	کلسیت و ساختارهای کوارتزی	
IB / M3 IB / M4	XRF	مقدار ماده جامد	٪۶۵/۴۶	
		مقدار گچ	٪۵/۰۴	
		مقدار آهک	٪۳۶/۶۲	
ملات دیواره سازی بدنه طبیعی رودخانه	XRD	فازهای اصلی	کوارتز، کلسیت، آلبیت (فلدسپات)، موسکویت (میکا)، کلینوکلر و پالی گورسکیت	این ملات شامل ۲۶٪ آهک، خاک رس و خاکستر بوده و به‌مانند ملات پایه‌ها، ملات ساروج سرد است.
		فازهای ماکزیمم	کوارتز و کلسیت	
IB / M5	XRF	مقدار ماده جامد	٪۸۲/۳۳	
		مقدار گچ	٪۰/۳۹	
		مقدار آهک	٪۲۵/۶۷	
ملات گذرگاه پل	XRD	فازهای اصلی	گچ، کلسیت، کوارتز، کلینوکلر و پالی گورسکیت	این ملات شامل ۵۰٪ گچ، ۲۹٪ آهک، خاک رس و خاکستر بوده و به‌مانند ملات طاق‌ها، ملات گچ و آهک به نسبت تقریبی (۲ به ۱) است.
		فازهای ماکزیمم	گچ و کلسیت	
IB / M6	XRF	مقدار ماده جامد	٪۷۹/۳۴	
		مقدار گچ	٪۴۹/۴۷	
		مقدار آهک	٪۲۹/۲۶	

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

جدول ۵. نتایج حاصل از آزمون پتروگرافی بر روی سنگ‌ها
Table 5. Results from petrographic testing on rocks

کد نمونه	نوع سنگ به لحاظ مورفولوژی و شکلی	نوع سنگ به لحاظ منشأ	ترکیبات شناسایی‌شده در نمونه
IB / S_1	قلوه‌سنگ	سنگ‌آهک میکرایت و جزء سنگ‌های رسوبی	این سنگ از کربنات کلسیم درست‌شده و دارای میکروفسیل و مربوط به دوره دوم زمین‌شناسی است.
IB / S_2	لاشه‌سنگ	ماسه‌سنگ آهکی و جزء سنگ‌های رسوبی	این سنگ از آهک، بلورهای کوارتزی، خرده‌سنگ‌های کوارتزی، کلسیت و االیت تشکیل‌شده است.

جدول ۶. نتایج حاصل از آزمون پتروگرافی بر روی نمونه‌های آجر
Table 6. Results from petrographic testing on brick samples

کد نمونه	رنگ نمونه / ترکیبات شناسایی‌شده	همگن بودن	مقاومت	تخلخل
		در میان نمونه‌ها (از ۱-۴)		
IB / B_1	سبز (به علت تغییر ماهیت مواد در اثر حرارت زیاد) بلورهای شکسته کوارتز و خرده‌های ماسه‌سنگی، شیشه ذوب‌شده (ساختارهای خاک و سنگ که در اثر حرارت زیاد ساختار شیشه‌ای پیداکرده‌اند)	۴	۴	۱
IB / B_2	زرد رس واکنش نداده، فاز شیشه، کوارتز به‌صورت دانه‌های زاویه‌دار، خرده‌های فلدسپات، کلسیت آزاد، کلسیت ثانویه (کربنات کلسیم رسوب‌کرده در حفره‌ها) و بافت‌های تخریبی سنگ	۳	۳	۲
IB / B_3	قرمز رس، آهک، خرده‌های کوارتز آزاد (خرده‌های کوارتز که در دمای بالا واکنش نشان نداده‌اند)، میکا و خرده‌سنگ‌های آذرین	۲	۲	۳
IB / B_4	قرمز (به خاطر پیگمنت و آغشتگی به هماتیت) رس واکنش نداده، ماسه‌سنگ، کوارتز، میکا، آهک آزاد، منشأ سنگ‌های رسوبی، خرده‌های فلدسپات	۱	۱	۴

د- تحلیل سازه‌ای (نیروهای وارد بر سازه بنا)

بارهای مؤثر بر پل را می‌توان به سه گروه اصلی تقسیم کرد: بارهای قائم، بارهای جانبی و بارهای ناشی از خودکرنشی سازه (طاحونی، ۱۳۹۷). تغییرات این نیروها با در نظر گرفتن سه دوره زمانی (از زمان احداث بنا تا پیش از ورود ماشین به عرصه حمل‌ونقل؛ از زمان ورود ماشین تا زمان احداث جاده جدید در سال ۱۳۴۰ شمسی و از سال ۱۳۴۰ شمسی تا زمان حاضر؛ قابل‌تحلیل است (جدول ۷)).

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

جدول ۷. بررسی تغییرات نیروهای وارد بر بنا در سه دوره زمانی از طول عمر بنا
Table 7. Investigating changes in forces acting on a building during three periods of its lifespan

تغییرات		توضیحات
عوامل انسانی، طبیعی و درونی: تغییر در میزان و نوع نیروهای قائم (بارهای زنده) در طول عمر بنا		– با گسترش حمل‌ونقل موتوری در میانه‌ی دوره‌ی پهلوی، بار وارد بر پل به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت؛ تا جایی که آثار این افزایش بار در اواسط همان دوره نمایان شد و وزارت راه در سال ۱۳۳۵ شمسی اقدام به مرمت پل و احداث مسیر جدید نمود (سازمان اسناد و کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران). – علاوه بر بارهای زنده، بارهای مرده‌ی سازه نیز در دوره‌های مختلف تغییر یافته‌اند. در دوره‌ای کاهش بار مرده سازه به دلیل تخریب طاق‌ها و جان‌پناه و در مقاطع زمانی دیگری افزایش بار مرده به علت نفوذ رطوبت نزولی در مصالح و یا افزایش بار مرده به دلیل مرمت جان‌پناه با مصالح سنگی به‌جای آجر مشاهده شده است. این تغییرات در مجموع موجب تغییر در نیروهای داخلی، برهم‌خوردن تعادل سازه‌ای، بروز ترک‌ها، تغییر شکل‌ها و خارج شدن بخش‌هایی از پل از حالت شاقولی شده‌اند. – بنابراین بخشی از آسیب‌های کنونی پل نتیجه‌ی تغییرات مداوم در اندازه و نوع نیروهای قائم (بارهای زنده) در طول حیات بنا است.
عوامل انسانی: عدم کاربرد و پیوند با عناصر پیرامون		– پس از ساخت راه جدید و به دنبال آن کاهش عملکرد بنا و بناهای پیرامون و نیز گسستگی محور تاریخی- فرهنگی ایزدخواست، عبور از روی بنا و حتی عبور عابران پیاده نیز تا حد زیادی کاهش‌یافته است. بنابراین بخشی از آسیب‌های فعلی بنا مربوط به عدم کاربرد و عدم پیوند بنا با عناصر پیرامون آن است.
بلایای طبیعی	سیلاب	– در فاصله‌ی حدود ده کیلومتری جنوب ایزدخواست، بقایای سد سنگی عظیمی موسوم به سد سربند ایزدخواست (منسوب به دوره‌ی ساسانی) وجود دارد که برای مهار سیلاب‌های بهاری و استفاده از آب ذخیره برای کشاورزی ساخته شده بوده است (ورجاوند، ۱۳۵۱). ویرانی این سد و اشارات متون تاریخی درباره‌ی آسیب‌های مکرر به پل، نشان‌دهنده‌ی وقوع سیلاب‌های متعدد و ویرانگر در منطقه است. – پس از ساخت سد جدید شهدای ایزدخواست در سال ۱۳۷۵ (رنجبر و همکاران، ۱۳۷۳) و بروز دوره‌های خشکسالی پی‌درپی، حجم جریان رودخانه به‌طور چشمگیری کاهش یافت. اگرچه در سال‌های اخیر بارش‌ها و وقوع سیلاب‌هایی مانند سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۴۰۱ افزایش یافته است، اما تأثیر محسوسی بر افزایش آب رودخانه نداشته و جز در زمان‌های محدود کشاورزی، بستر رودخانه بیشتر ایام سال خشک است. – بنابراین می توان نتیجه گرفت که حداقل تا اواخر دوره‌ی پهلوی، پل بارها در معرض سیلاب‌های شدید و تخریب‌های ناشی از جریان آب قرار گرفته است.
	زلزله	– در سفرنامه‌های بروگش و فیلد، اشاراتی به زلزله‌های ایزدخواست و تخریب برخی بناها و شکاف گنبد آتشکده شده است (فیلد، ۱۳۴۳) (برگش، ۱۳۶۷). – با وجود اشاره‌ی منابع تاریخی به زمین‌لرزه‌های متعدد در ایزدخواست، به‌سبب ارتفاع کم و طول محدود پل، بعید به نظر می‌رسد که این زلزله‌ها آسیب مستقیمی به سازه وارد کرده باشند. با این حال، طبق مطالعات لرزه‌خیزی، ایزدخواست در محدوده‌ی خطر نسبی متوسط تا زیاد قرار دارد (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۶؛ مهندسین مشاور نگارستان ماهور، ۱۳۹۱). از این رو، احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های نسبتاً بزرگ باید همواره در تحلیل پایداری بنا مدنظر قرار گیرد.
عوامل اقلیمی		– در ماه‌های آبان تا اسفند، کاهش دمای شبانه، افت ساعات تابش آفتاب و افزایش تعداد روزهای یخبندان، موجب انقباض و انبساط مصالح و ملات‌ها می شود (اداره هواشناسی فارس، ۱۳۹۹). تغییرات شدید دمایی باعث تبخیر یا یخ‌زدگی رطوبت ناشی از بارش، آب‌های سطحی یا زیرزمینی شده و با تشدید فرسایش فیزیکی، موجب خردشدگی و ازهم‌پاشیدگی مصالح می‌گردد. – به‌تدریج، تأثیر عوامل اقلیمی همچون باد، باران، رطوبت، و تغییرات دما، چه به‌صورت مجزا و چه در ترکیب با یکدیگر، باعث تسریع در فرسودگی سازه و افزایش دامنه‌ی آسیب‌ها می شود.
عوامل محیطی		– در گذر زمان، تخریب گذرگاه، رشد ریشه‌ی گیاهان در بین درزها، رسوب‌گذاری در بستر و دهانه‌ها و افزایش رطوبت، همه از جمله پیامدهای این شرایط اقلیمی هستند. – اگرچه بستر رودخانه مستقیماً بر نیروهای وارد بر سازه تأثیر نمی گذارد، اما تغییر شکل طبیعی آن از زمان ساخت پل تاکنون، موجب اختلال در مسیر جریان آب شده است. این تغییر مسیر آب در برخی نقاط باعث ایجاد فرسایش موضعی در پایه‌ها و دیواره‌ها گردیده است. همچنین، رشد گیاهان در بستر رودخانه و بر روی سازه، تأثیر غیرمستقیم قابل توجهی در افزایش رطوبت و آسیب‌پذیری مصالح دارد.

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

نیروهای دیگری نیز در ارتباط با بنا وجود دارند که به دلایل زیر قابل‌چشم‌پوشی هستند:

– نیروی جانبی خاک در دو سوی رودخانه به‌دلیل یکنواختی ترکیب لایه‌های خاک تقریباً برابر است و در نتیجه، اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند (بیات و همکاران، ۱۳۹۲).

– به علت عدم تردد وسایط نقلیه و عبور و مرور بسیار کم انسانی، پل تحت تأثیر بارهای قائم زنده قرار ندارد (همچنین بارگذاری و باربرداری ناشی از ترافیک عبور و مرور وسایل نقلیه (پدیده خستگی)، به‌تدریج موجب کهولت و خستگی مصالح می‌گردد و به‌مرور زمان، سبب ایجاد ترک‌هایی می‌شود که نمونه آن در زیر طاق V_2 قابل‌مشاهده است. از این پدیده و نیز پدیده خزش (افزایش تدریجی تغییر شکل نسبی بر اثر بارگذاری در مدت‌زمان طولانی، که می‌تواند منجر به شکست غیرمنتظره سازه شود) به جهت آنکه قابل‌اندازه‌گیری نیستند، چشم‌پوشی شده است).

– باد غالب ایزدخواست در جهت جنوب غربی–شمال شرقی (اداره هواشناسی استان فارس، ۱۳۹۹) و در جهت حرکت آب و درواقع عمود بر پل است. با این‌وجود به علت ارتفاع کوتاه بنا، نیروی باد تأثیری مستقیم بر سازه ندارد. هر چند که به صورت غیر مستقیم می‌تواند بر سرعت حرکت آب رودخانه تاثیرگزار باشد.

بنابراین بر اساس بررسی تغییرات نیروهای وارد بر بنا در سه دوره زمانی یاد شده، بار مرده ساختمان، نیروی حاصل از زلزله و سیلاب، نیروهایی هستند که بایستی محاسبه شده و اثر آن ها بر بنا مورد تحلیل قرار گیرد (جدول ۸).

جدول ۸. محاسبه نیروهای وارد بر بنا

Table 8. Calculation of forces acting on the structure

بار مرده								
عناصر سازنده بنا	طاق‌ها با اجرای رومی	طاق‌ها با اجرای ضربی	پایه‌ها و پایین آب‌شکن‌ها	پرکننده بین طاق‌ها و پایه‌ها	نمای آجری	بالای آب‌شکن‌ها	جان‌پناه	کل سازه
حجم (m^3)	۶۳	۴	۱۵	۱۲۰	۹	۱/۵	۱۳	۲۲۵/۵
وزن مخصوص مصالح و ملات (kg/m^3) (حیدری ۱۳۹۶) و International Union of) (Railways 2011	۱۸۵۰	۱۸۵۰	۲۴۱۷	۲۴۱۷	۱۸۵۰	۱۸۵۰	۱۸۵۰	–
محاسبه جرم کل (kg)	۱۱۶۵۵۰	۷۴۰۰	۳۶۲۵۵	۲۹۰۰۴۰	۱۶۶۵۰	۲۷۷۵	۲۴۰۵۰	۴۹۳۷۲۰

نیروی حاصل از زلزله

با توجه به موقعیت پل در بر روی زمین رسی آبدار با ظرفیت باربری کم و قرارگیری آن در ناحیه‌ی با خطر لرزه‌ای بالا (بیات و دیگران، ۱۳۹۲)؛ نیروی جانبی ناشی از زلزله (V) برابر است با (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، ۱۳۸۱):

$V = ۰/۳۳\ A\ I\ W$

وزن مؤثر لرزه‌ای (W) برابر بار مرده و با توجه به نوع بنا و موقعیت قرارگیری آن، ضریب اهمیت (I)، ۱/۴و شتاب مبنای طرح (A) برابر با ۰/۳است (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ۱۳۹۳، ۱۴ و ۳۳).

$\rightarrow V = ۰/۳۳ \times ۰/۳ \times ۱/۴ \times W = ۰/۱۴ \times ۴۹۳۷۲۰\ kg = ۶۹۱۲۱\ kgf$

فشار وارد بر محور طولی: $P_2 = (۶۹۱۲۱)/۲۰ = ۳۴۵۶/۰۵\ Pa = ۰/۰۰۳۴۵۶۰۵\ MPa$

فشار وارد بر محور عرضی: $P_1 = (۶۹۱۲۱)/۴۵ = ۱۵۳۶\ Pa = ۰/۰۱۵۳۶\ MPa$

فشار ناشی از جریان سیلاب

فشار هیدرولیک آب بر پایه پل (مهندسین مشاور یکم تهران، ۱۳۷۹) (علیزاده، ۱۳۸۳) (شکل ۱۱):

$P = \varrho\ g\ h \rightarrow P = ۱۰۰۰ \times ۹/۸۱ \times ۲/۴۷ = ۲۴۲۳۰/۷\ kg/m^2$

$P_1 = P\ Cos\ ۳۶° \rightarrow P_1 = ۲۴۲۳۰/۷ \times Cos\ ۳۶° = ۱۹۶۰۳/۰۵\ kg/m^2$

$P_2 = P\ Cos\ ۱۶° \rightarrow P_2 = ۲۴۲۳۰/۷ \times Cos\ ۱۶° = ۲۳۲۹۲/۰۴\ kg/m^2$

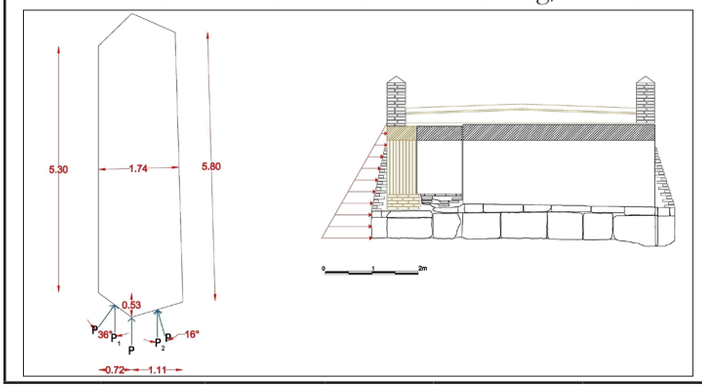
فشار دینامیک آب بر پایه پل $P = kV2$

$k = (۲۶/۳+۳۵)/۲ = ۳۰/۶۵$

$P = ۳۰/۶۵ \times (۴/۸۳)۲ = ۷۱۵/۰۳\ kg/m^2$

برآیند فشار ناشی از جریان سیلاب بر پایه‌های پل

$\rightarrow \Sigma P = ۱۹۶۰۳/۰۵ + ۲۳۲۹۲/۰۴ + ۷۱۵/۰۳ = ۴۳۶۱۰/۱۲\ kg/m^2 = ۰/۴۳\ MPa$



شکل ۱۱. مشخصات پایه P_2

Figure 11. Pier (P_2) specifications

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

هـ- تحلیل کمّی (آزمون سازه‌ای)

جهت تشخیص قوت و ضعف بنا در برابر نیروهای وارده، با در نظر گرفتن چگونگی انتقال نیروها، سازه تحت آنالیز استاتیکی و معادل استاتیکی قرار گرفت. در پژوهش حاضر پس از شکل‌برداری دقیق و مطابق با اجزای سازنده بنا و چگونگی انتقال نیروها، مدل‌سازی سه‌بعدی به شیوه مدل‌سازی ماکرو و در ۸ لایه در نرم‌افزار AutoCAD 2020 صورت گرفت و جهت آنالیز المان محدود در نرم‌افزار ANSYS 2019، فرض رفتار الاستیک خطی (مصالح پل هیچ‌گونه تغییر شکل پلاستیکی از خود نشان نمی دهند و رفتار آن ها کاملاً از قانون هوک تبعیت می کند) و ایزوتروپیک (ماده‌ای است که مشخصات مکانیکی آن در تمام جهات یکسان است) برای مصالح در نظر گرفته شد تا امکان شناسایی نواحی ضعیف سازه و المان‌هایی با رفتار نامطلوب فراهم شود. اتصالات بین لایه‌ها به حالت ایده‌آل فرض شدند و تنها در محل اتصال دو بخش رومی و ضربی در طاق‌های V_1 و V_2، به‌دلیل عدم هشت و گیری، اتصال به صورت ملات و به حالت المان تماسی مدل‌سازی شد.

نوع المان در این تحلیل، المان Solid 185 در نظر گرفته‌شد و مش‌بندی مدل هندسی انجام گردید (۲۲۹۲۱۱ المان و ۶۸۸۶۸ گره). همچنین یک ماده همگن، جایگزین «ملات و آجر» و «ملات و سنگ» گردید و مشخصات ملات و ماده همگن تعیین شد (جدول ۹) و تحلیل استاتیکی پل تحت بارگذاری‌های مختلف انجام شد، شامل: بارگذاری ثقلی سازه (شتاب g)، فشار وارد بر سازه ناشی از جریان سیلاب (۰/۴۳ مگاپاسکال) و تحلیل استاتیکی معادل در برابر نیروی جانبی زلزله در دو راستای طولی (۰/۰۰۳۴۵۶۰۵ مگاپاسکال) و عرضی (۰/۰۰۱۵۳۶ مگاپاسکال) (شکل ۱۲).

جدول ۹. مشخصات ملات‌ها و ماده همگن (حیدری ۱۳۹۶) و (International Union of Railways 2011)

Table 9. Characteristics of mortars and homogeneous material(International Union of Railways, 2011; Heydari, 2016)

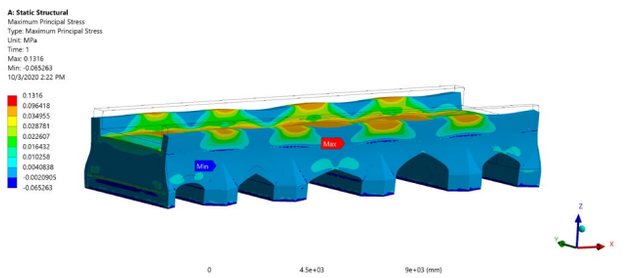
ماده همگن	مدول الاستیسیته (E) MPa	ضریب پواسون (ν)	مقاومت فشاری MPa	مقاومت کششی MPa
ماده همگن جایگزین آجر و ملات	۴۲۵	۰/۲۳	۱۰/۷	۱/۰۷
آجر	۵۳۹/۸	۰/۰۶	۱۱/۸۷	۱/۱۸۷
ملات گچ‌وخاک (جایگزین ملات طاق‌ها)	۳۰۹/۸۹	۰/۴	۵/۵۹	۰/۸۸
ماده همگن جایگزین سنگ و ملات	۲۱۰۰	۰/۲	۲۱	۲/۱
سنگ	۹۵۰	۰/۳	۱۰۰	۱۰
ملات شفته‌آهک (جایگزین ملات پایه‌ها)	۴۰۴/۸۶	۰/۳	۲/۴۲	۰/۴۳

شکل ۱۲. راستای اعمال نیروها بر سازه

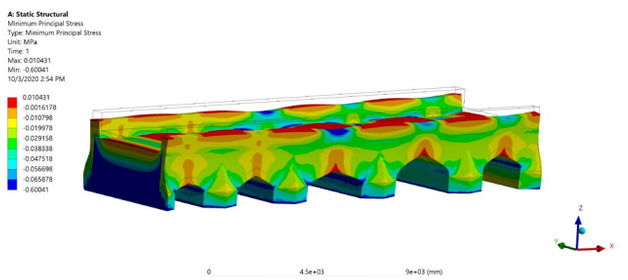
Figure 12. Direction of application of forces on the structure

الف) تحلیل استاتیکی پل تحت وزن سازه (بارگذاری ثقلی)

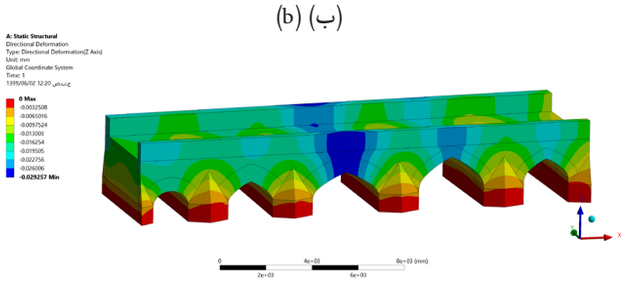
بار مرده ساختمان از نوع کنش‌های مکانیکی استاتیکی مستقیم (نیروهای اعمال شده) است (کروچی، ۱۳۹۵). نتایج تحلیل تحت وزن سازه نشان می‌دهد که مقدار تنش‌های اصلی کششی و تنش‌های اصلی فشاری در محدوده مجاز مصالح قرار دارند (شکل ۱۳؛ جدول ۱۰- سطر۱).



(a) (الف)



(b) (ب)



(c) (ج)

شکل۱۳. بارگذاری سازه تحت بار وزن: الف) نحوه توزیع تنش کششی اصلی ب) نحوه توزیع تنش فشاری اصلی ج) جابجایی کلی سازه

Figure 13. Loading of a structure under weight load: a) How the main tensile stress is distributed b) How the main compressive stress is distributed c) Total displacement of the structure

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

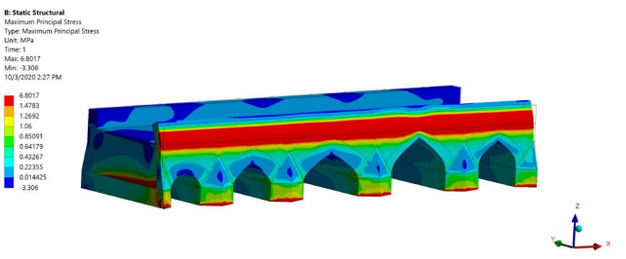
ب) تحلیل استاتیکی پل تحت اثر نیروی ناشی از فشار جریان سیلاب

اثرات کنش‌های دینامیکی مانند زلزله، باد، جریان آب و سایر نیروهای محیطی را می‌توان به‌صورت تئوری با استفاده از تحلیل دینامیکی ارزیابی کرد؛ اما در عمل معمولاً به دو دلیل از این آنالیز اجتناب می‌شود: پیش‌بینی دقیق و قابل‌اعتماد خصوصیات رفتار دینامیکی بسیار دشوار است و نیز مدل‌سازی دقیق رفتار کلی سازه و ویژگی‌های مصالح با اطمینان بالا مشکل می‌باشد. به همین دلایل، اغلب از تحلیل استاتیکی معادل استفاده می‌شود (کروچی، ۱۳۹۵). در این مطالعه برای اطمینان خاطر، نیروی فشار ناشی از جریان آب به کل سطح جنوبی پل اعمال شد تا شرایط ایمن بررسی شود. نتایج آنالیز نشان می‌دهد که:

تنش‌های فشاری در تیزه داخلی طاق‌های V_3 و V_5 (با چفدهای خوابیده) بیشتر از تنش‌های فشاری در تیزه طاق‌های V_1، V_2 و V_4 (با چفدهای تند) است.

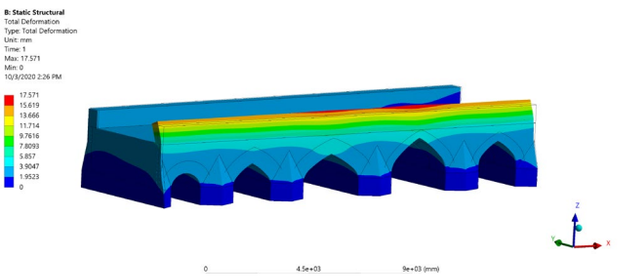
تنش‌های کششی ایجادشده در این طاق‌ها از مقاومت مصالح فراتر رفته و می‌تواند موجب آسیب به سازه شود.

در ناحیه پایین جان‌پناه، افزایش تنش‌های کششی در راستای اعمال نیرو و افزایش تنش‌های فشاری در خلاف جهت نیرو، باعث ریختگی و تخریب بخشی از جان‌پناه می‌گردد (شکل ۱۴؛ جدول ۱۰، سطر ۲).



(الف) (a)

(ب) (b)



(ج) (c)

شکل ۱۴. بارگذاری سازه تحت‌فشار آب: الف) نحوه توزیع تنش کششی اصلی ب) نحوه توزیع تنش فشاری اصلی ج) جابجایی کلی سازه

Figure 14. Loading of a structure under water pressure: a) How the main tensile stress is distributed b) How the main compressive stress is distributed c) Total displacement of the structure

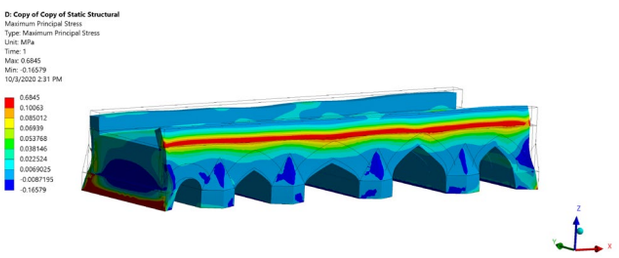
ج) تحلیل استاتیکی معادل در برابر نیروی جانبی زلزله در محور عرضی و طولی پل

تأثیر زلزله بر سازه را می‌توان با استفاده از دو روش خطی و غیرخطی بررسی کرد. روش خطی شامل تحلیل استاتیکی معادل، تحلیل دینامیکی طیفی و تحلیل دینامیکی با تاریخچه زمانی است. در روش تحلیل استاتیکی معادل، نیروی جانبی ناشی از زلزله به صورت استاتیکی به سازه وارد می‌شود و سازه با فرض رفتار خطی مصالح و اعضا تحلیل می‌گردد (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، ۱۳۸۱).

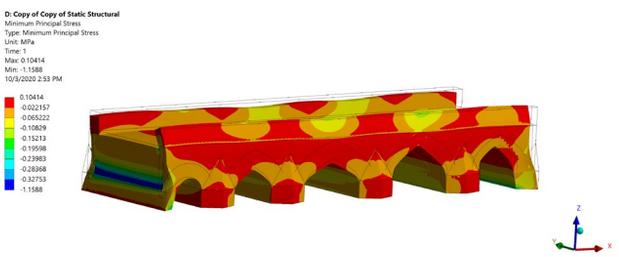
نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که تنش‌های کششی و فشاری ایجادشده در پل از مقاومت مصالح فراتر نمی‌روند. همچنین:

تنش‌های فشاری در تیزه داخلی طاق‌های V_3 و V_5 (با چفدهای خوابیده) کمتر از تنش‌های فشاری در تیزه داخلی طاق‌های V_1 ، V_2 و V_4 (با چفدهای تند) است.

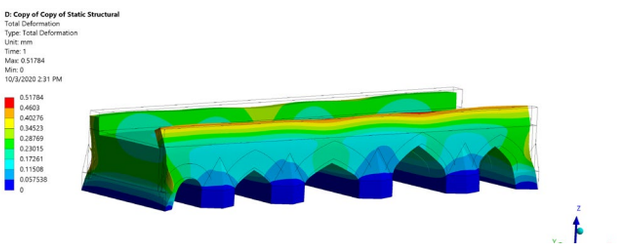
در تیزه‌های بیرونی طاق‌ها، تنش‌های کششی ایجاد شده‌اند که رفتار سازه را تحت تأثیر قرار ی دهند (شکل ۱۵؛ جدول ۱۰، سطر ۳).



(الف) (a)



(ب) (b)



(ج) (c)

شکل ۱۵. بارگذاری سازه تحت نیروی جانبی زلزله در محور عرضی: الف) نحوه توزیع تنش کششی اصلی ب) نحوه توزیع تنش فشاری اصلی ج) جابجایی کلی سازه

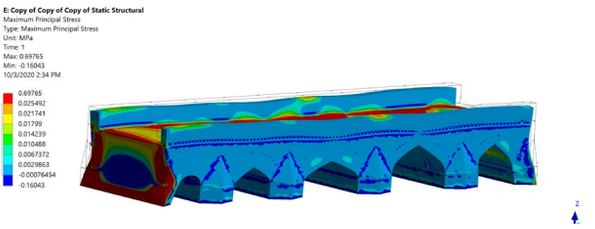
Figure 15. Loading of a structure under lateral earthquake force in the transverse axis: a) How the main tensile stress is distributed b) How the main compressive stress is distributed c) Total displacement of the structure

نتایج تحلیل استاتیکی معادل برای نیروی زلزله در محور طولی پل نشان می‌دهد که مشابه تحلیل اعمال نیرو در محور عرضی، تنش‌های کششی و

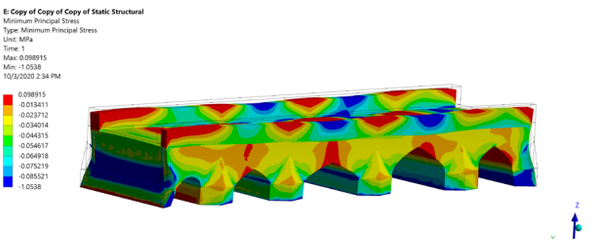
[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

فشاری ایجادشده از حد مقاومت مصالح فراتر نمی‌روند. بنابراین، سازه در برابر این نوع بارگذاری دچار آسیب‌های جدی نخواهد شد (شکل ۱۶؛ جدول ۱۰، سطر ۴).

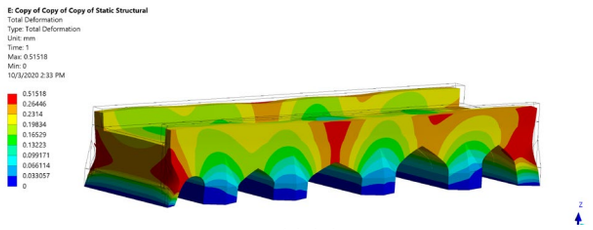


(الف) (a)



(ب) (b)

نتایج تحلیل سازه تحت اثر بارگذاری وزن سازه، جریان سیلاب و نیروی جانبی زلزله در جدول ۱۰، مشخص‌شده است.



(ج) (c)

شکل ۱۶. بارگذاری سازه تحت نیروی جانبی زلزله در محور طولی: الف) نحوه توزیع تنش کششی اصلی ب) نحوه توزیع تنش فشاری اصلی ج) جابجایی کلی سازه

Figure 16. Loading of a structure under water pressure: a) How the main tensile stress is distributed b) How the main compressive stress is distributed c) Total displacement of the structure

جدول ۱۰. نتایج تحلیل سازه تحت اثر وزن سازه، جریان سیلاب و نیروی جانبی زلزله

Table 10. Results of structural analysis under the influence of structural weight, flood flow and earthquake lateral force

نوع بارگذاری	حداکثر جابجایی (mm)	حداکثر تنش کششی (MPa)	حداکثر تنش فشاری (MPa)	نسبت حداکثر تنش کششی به مقاومت کششی (MPa)
	موقعیت	موقعیت	موقعیت	نسبت حداکثر تنش فشاری به مقاومت فشاری (MPa)
بار وزن سازه	۰/۲۷۵۷۳	۰/۱۳۱۶	۰/۶۰۰۴۱	۰/۱۲
	تیزه طاق V_3	بین طاق‌های V_2 و V_3 و در محل اتصال جان‌پناه	پایین پایه‌ها و محل اتصال پایه‌های انتهایی با دیواره‌های رودخانه	۰/۰۲۹
فشار حاصل از جریان سیلاب	۱۷/۵۷۱	۶/۸۰۱۷	۲۰/۴۶۲	۶/۳۶
	بالای جان‌پناه	محل اتصال پایه‌های انتهایی به دیواره طبیعی رودخانه	زیر تیزه طاق‌های V_3 و V_5	۰/۹۷
نیروی جانبی زلزله–محور عرضی	۰/۵۱۷۸۴	۰/۶۸۴۵	۱/۱۵۸۸	۰/۳۳
	بالای جان‌پناه	محل اتصال پایه‌های انتهایی بنا به بستر	محل اتصال پایه‌های انتهایی با بدنه طبیعی رودخانه	۰/۰۵۵
نیروی جانبی زلزله–محور طولی	۰/۵۱۵۱۸	۰/۶۹۷۶۵	۱/۰۵۳۸	۰/۳۳
	در تحلیل سازه تحت محل اعمال نیروی زلزله	محل اتصال پایه انتهایی بنا با بستر	محل اتصال به بدنه رودخانه	۰/۰۵

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

و- ترکیب و تحلیل یکپارچه تمام داده‌ها

شناخت و فهم دقیق بنا، مطالعه پیشینه تاریخی آن، تحلیل ویژگی‌های مصالح و ملات‌ها، ویژگی‌های ذاتی و ساختاری مواد سازنده و همچنین تاریخچه تعمیرات، تغییرات و الحاقات صورت‌گرفته مقدمات اولیه تشخیص آسیب‌های سازه را فراهم ساخت. بدنبال چنین اطلاعاتی، عملیات بررسی و معاینه میدانی عمیق اثر انجام، سپس تحلیل سازه‌ای کمی و کیفی بنا صورت پذیرفت. در نتیجه همه این مراحل، درک جامع و کاملی نسبت به تشخیص و ارزیابی دقیق و لایه به لایه آسیب‌های وارده به بنا با تکیه‌بر نتایج به‌دست‌آمده از مراحل ششگانه حاصل گردید که در جدول زیر تلخیص شده است (جدول ۱۱).

جدول ۱۱. نتایج حاصل از تحلیل آسیب‌ها در ۵ مرحله
Table 11. Results from damage analysis in 5 stages

مراحل	نتایج به‌دست‌آمده
تحلیل تاریخی	۱- آسیب های اساسی در اثر تغییر کاربری بنا و وارد آمدن بارهایی بیش از ظرفیت سازه بر آن و همچنین سیل سال ۱۳۳۵ شمسی ۲- ضعف اجرایی (در ارتباط با اتصال سنگ‌های پاک‌تراش دورتادور پایه‌ها و همچنین بی‌توجهی به ملات، مصالح و شیوه‌های اجرایی اصلی بنا در مرمت‌های دوره‌ای (علی‌الخصوص در مرمت طاق‌های V_1 و V_2، جان‌پناه و انتخاب ملات‌های مرمتی) ۳- تغییر شرایط عمومی بستر رودخانه از جمله تغییرات مورفولوژی، عدم جریان دائمی آب، فرسایش بدنه‌های رودخانه، رسوب‌گذاری در بستر، عدم توجه به لایروبی به مدت طولانی و تغییر در شیوه تقسیم آب رودخانه برخلاف گذشته ناشی از عوامل انسانی
تحلیل کیفی وضعیت فعلی	۱- بررسی وضعیت فعلی بنا نشان می‌دهد که آسیب‌های اساسی و سازه‌ای بنا مربوط به تغییر نیروها درگذشته بوده و دلایل ایجاد شرایط فعلی مربوط به عدم رسیدگی به بنا و بستر رودخانه، مرمت‌های نادرست، کهولت ملات و مصالح و عوامل طبیعی است. ۲- تناقض در مدیریت و سردرگمی در مرمت بنا و نیمه‌تمام ماندن اقدامات مرمتی، مهم‌ترین عامل پدیدآورنده وضعیت فعلی است و بنا تاریخی در حالت نیمه تمام و نیمه کاره در بستر رودخانه رها شده که یک تهدید جدی برای ادامه حیات و بقای یک بنای تاریخی است.
تحلیل ملات‌ها و مصالح	۱- در بخش‌های مجاور با آب (پایه‌ها، پرکننده بین طاق‌ها و دیواره رودخانه) از ملات بر پایه آهک (ساروج سرد) که توان بالایی در برابر رطوبت دارد و در بخش‌های دیگر (طاق‌ها و گذرگاه) از ملات بر پایه گچ (گچ و آهک) استفاده شده است. ۲- در ترکیب ملات طاق‌ها مقدار اندکی خاک رس مشاهده شد و در مقابل، از آهک و خاکستر به‌عنوان اجزای اصلی استفاده شده است. از آنجا که طاق‌ها فاقد هواکش مناسب برای عبور جریان‌های شدید آب هستند، چنین ترکیبی موجب افزایش مقاومت ملات در برابر رطوبت و نفوذ آب شده است. ۳- ملات طاق‌های رومی با ملات بخش ضربی طاق Vs_2 متفاوت است. ۴- اگرچه مصالح مورد استفاده بر اساس شرایط محل و کاربری انتخاب شده‌اند، اما از نظر کیفیت ساخت و فرآیند پخت در سطح مطلوبی قرار ندارند. به نظر می‌رسد پخت آجرها با شتاب انجام شده است؛ موضوعی که احتمالاً ناشی از کمبود سوخت و چوب در منطقه بوده است. افزون بر این، وجود مقدار زیاد آهک در خاک اولیه سبب افزایش تخلخل و کاهش استحکام آجرها شده و در نتیجه کیفیت کلی آجر پایین است و این بخشی از ویژگی ذاتی اثر محسوب می‌شود.
تحلیل سازه‌ای	۱- با توجه به تحلیل و محاسبه نیروهای وارد بر بنا، تأثیر بارهای زنده، فشار جانبی خاک، باد و پدیده خستگی بر سازه قابل‌چشم‌پوشی هستند. ۲- تأثیر بار مرده، نیروی حاصل از زلزله به علت لرزه‌خیز بودن منطقه و نیروی حاصل از جریان سیلاب با توجه به شرایط گذشته و فعلی، بایستی ارزیابی شود.
تحلیل کمی (آزمون سازه‌ای)	۱- نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که سازه در برابر بارهای ثقلی عملکرد مقاومی دارد و بررسی رفتار لرزه‌ای نیز بیانگر آن است که به دلیل ابعاد و جنس مصالح، بنا در برابر نیروهای جانبی زلزله واکنش مناسبی از خود نشان می‌دهد. ۲- سنگین شدن زیاد پشت طاق‌ها با مصالح سنگی، تأثیر مخربی بر سازه نداشته و از این بابت نگرانی های اولیه با انجام آنالیزهای کمی و محاسبات بر طرف گردید. ۳- بزرگ‌ترین نقطه‌ضعف بنا در مواجهه با جریان‌های سیلابی بروز می‌یابد. همان‌گونه که در تحلیل تراز سیلاب مشاهده شد، نبود هواکش کافی برای عبور آب از زیر طاق‌ها یکی از عوامل آسیب‌زا محسوب می‌شود. با این‌حال، نوع مصالح مورد استفاده، سنگینی پل و پر شدن فضای بین طاق‌ها با سنگ، وجود آب‌شکن‌های آجری در دو سوی پل و همچنین ابعاد قابل‌توجه جرزها و طاق‌ها، از عواملی هستند که سبب شده‌اند سازه با وجود آسیب‌های واردشده در اثر سیل‌های گذشته، همچنان پایداری خود را حفظ نماید. ساخت سد جدید، مدیریت و کنترل آب و سیلاب‌ها در بالا دست تا حدی این نگرانی را برطرف می نماید. ۴- از مهم‌ترین نقاط بحرانی سازه، محل اتصال پایه‌های انتهایی به بستر و دیواره طبیعی رودخانه است. بنابراین، تقویت محل اتصال پایه‌های کناری به بستر طبیعی اطراف، جلوگیری از فرسایش خاک، استحکام‌بخشی دیواره‌های رودخانه و تقویت ماهیچه‌های خاکی پیرامونی از جمله اقدامات ضروری در طرح مرمت محسوب می‌شود. ۵- باوجود تفاوت در مصالح و ملات و عدم پیوستگی بخش مرمت‌شده با سازه اصلی در محل اتصال بخش‌های ضربی و رومی در طاق‌های V_1 و V_2، این طاق‌ها در برابر نیروهای وارده عملکرد مناسبی دارند، با این حال اصلاح مرمت های غیر اصولی جدید به لحاظ جنس، رنگ و مصالح و فنون به کار رفته با رعایت کامل اصل انسجام و پیوستگی و هشت‌وگیر کردن طاق رومی و ضربی ضروریست. ۶- در برابر نیروی سیلاب، ایجاد ترک در تیزه درونی طاق‌ها به علت تنش کششی بیش از مقاومت مصالح، و همچنین تخریب جان‌پناه به‌علت عدم پیوستگی با سازه بسیار محتمل است. بنابراین در مرمت جان‌پناه، این بخش بایستی به‌صورت هشت و گیر با نمای آجری بنا و به‌صورت پیوسته اجرا گردد.

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]
[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

جدول ۱۱. نتایج حاصل از تحلیل آسیب‌ها در ۵ مرحله
Table 11. Results from damage analysis in 5 stages

مراحل	نتایج به‌دست‌آمده
تلفیق داده‌ها	۱- نتایج تلفیقی نشان می‌دهد که بخش عمده آسیب‌های مشاهده‌شده در پل-بند تاریخی ایزدخواست، نه ناشی از ضعف ذاتی در سیستم سازه‌ای بنا، بلکه حاصل برهم‌خوردن تعادل تاریخی سازه در اثر تغییر کاربری، اعمال بارهای فراتر از الگوی بهره‌برداری سنتی، مرمت‌های ناهماهنگ با مصالح و منطق اجرایی اولیه و نیز تغییر شرایط هیدرومورفولوژیک بستر رودخانه است. ۲- تحلیل تاریخی وقوع سیلاب‌های مخرب، به‌ویژه سیل سال ۱۳۳۵ شمسی، در کنار شواهد میدانی رسوب‌گذاری، فرسایش بستر و فقدان لایروبی مستمر، نشان می‌دهد که تشدید آسیب‌های سازه‌ای ارتباط مستقیمی با مدیریت نادرست بستر رودخانه داشته است. ۳- در خصوص مصالح، تحلیل‌ها بیانگر آن است که انتخاب ملات‌های اصیل آهکی (ساروج سرد) در بخش‌های در تماس با آب و ملات‌های گچ و آهک در طاق‌ها، متناسب با شرایط محیطی و عملکردی پل بوده است. ضعف‌های مشاهده‌شده در عملکرد ملات‌ها و آجرها، بیش از آن‌که ناشی از ذات سیستم مصالح باشد، به کیفیت ساخت، فرآیند پخت شتاب‌زده و جایگزینی‌های نامناسب در مرمت‌های متأخر بازمی‌گردد. این موضوع با نتایج تحلیل های کمی سازه‌ای هم خوانی دارد؛ به‌گونه‌ای که مدل‌سازی عددی نشان می‌دهد پل در برابر بارهای ثقلی و لرزه‌ای از پایداری مناسبی برخوردار است و نقاط بحرانی آن عمدتاً در مواجهه با نیروهای هیدرودینامیکی سیلاب و در محل اتصال پایه‌ها به بستر و دیواره طبیعی رودخانه متمرکز شده‌اند. ۴- قضاوت نهایی پژوهش نشان می‌دهد که پل ایزدخواست در وضعیت کنونی نیازمند مداخلات سنگین استحکام‌بخشی یا دخل‌وتصرف گسترده در سازه نیست. راهبرد مرمتی مناسب، بر پایه اصول حداقل مداخله، حفظ اصالت مصالح و یکپارچگی سازه‌ای و محیطی، باید بر اصلاح مرمت‌های نادرست گذشته، تقویت موضعی نقاط بحرانی، سامان‌دهی و تثبیت بستر رودخانه و استقرار نظام نگهداری مستمر متمرکز شود. این رویکرد، ضمن حفظ منطق سازه‌ای تاریخی پل، از تحمیل مداخلات پرهزینه و غیرقابل بازگشت جلوگیری کرده و پایداری بلندمدت بنا را تضمین می کند.

۶. نتیجه گیری

یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که دستیابی به تشخیص دقیق آسیب‌ها در پل‌های تاریخی، فرآیندی چندلایه است و تنها از طریق رویکردی تک‌بعدی امکان‌پذیر نیست و مستلزم تلفیق نظام‌مند داده‌های تاریخی، مشاهدات میدانی، شناخت مصالح و تحلیل رفتار سازه‌ای است. به‌کارگیری متدولوژی شش‌مرحله‌ای در مطالعه پل-بند تاریخی ایزدخواست، این امکان را فراهم ساخت تا آسیب‌ها نه صرفاً به‌صورت توصیفی، بلکه در پیوندی علّی با شرایط محیطی، ویژگی‌های مصالح، رفتار سازه و مداخلات انسانی تحلیل شوند. یکی از دستاوردهای اصلی این پژوهش، نشان دادن این نکته است که بسیاری از آسیب‌های مشاهده‌شده در پل-بند تاریخی ایزدخواست، لزوماً بیانگر ناپایداری سازه‌ای یا ضعف ذاتی بنا نیستند، بلکه اغلب حاصل تغییر شرایط محیطی، مداخلات انسانی ناهماهنگ، فقدان نگهداری مستمر و گسست میان سازه و بستر طبیعی آن هستند. این یافته، ضرورت بازنگری در رویکردهای مداخله‌گرایانه و استحکام‌بخشی‌های گسترده را برجسته می‌سازد و بر اهمیت تشخیص صحیح منشأ آسیب پیش از هرگونه اقدام مرمتی تأکید می کند. نتایج پژوهش همچنین نشان می‌دهد که تحلیل کمی و مدل‌سازی عددی، زمانی می‌تواند به تصمیمات مرمتی معنادار منجر شود که در پیوند مستقیم با شناخت تاریخی بنا، ویژگی‌های مصالح و شرایط محیطی آن تفسیر گردد. جداسازی این تحلیل‌ها از بستر تاریخی و کالبدی بنا، نه‌تنها به تشخیص نادرست آسیب‌ها می‌انجامد، بلکه می‌تواند زمینه‌ساز مداخلات غیرضروری و مخرب شود. در سطح کاربردی، یافته‌های این پژوهش بر ضرورت تغییر رویکرد از «مرمت واکنشی و مقطعی» به «مدیریت پیشگیرانه و یکپارچه» در پل‌های تاریخی تأکید دارد؛ رویکردی که در آن، سامان‌دهی بستر رودخانه، کنترل مداخلات انسانی، تداوم نگهداری و هماهنگی میان اقدامات حفاظتی، جایگزین مداخلات سنگین و گسسته می‌شود. در نهایت، پژوهش حاضر با ارائه یک چارچوب تحلیلی ترکیبی و قابل تعمیم، نشان می‌دهد که چگونه تلفیق داده‌های تحلیلی-تاریخی، معاینه و بررسی میدانی، آسیب‌شناسی کیفی، شناخت آزمایشگاهی مصالح، بررسی پایداری بنا و تحلیل کمی رفتار سازه می‌تواند به تصمیمات مرمتی آگاهانه، حداقلی و مبتنی بر اصول حفاظت منجر شود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته «مرمت و احیای ابنیه و بافت‌های تاریخی» با عنوان «طرح مرمت و استحکام‌بخشی پل تاریخی شهر ایزدخواست» به راهنمایی دکتر عیسی اسفنجاری در دانشکده «حفاظت و مرمت» «دانشگاه هنر اصفهان» است. بدین‌وسیله از جناب آقای دکتر مهرداد حجازی، آقای دکتر محمود هاشمی اصفهانیان و جناب آقای دکتر محمدعلی مکّی زاده، اعضای هیئت‌علمی دانشگاه اصفهان و جناب آقای دکتر داریوش حیدری به جهت مشاوره و همراهی ارزشمندشان در فرآیند انجام این پژوهش صمیمانه قدردانی می‌گردد.

سهم نویسندگان

سهم نویسنده اول (۶۰٪) و سهم نویسنده دوم (۴۰٪) است.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می کنند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با انتشار این مقاله وجود ندارد.

حامیان مادی و معنوی

دانشگاه هنر اصفهان حمایت معنوی لازم را برای تکمیل موفقیت آمیز این تحقیق فراهم کرد و منابع مادی این پژوهش از طریق نویسنده اول تأمین شده است.

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

References / منابع

Abdollahi, M & Mohseni, I. (2007). Numerical modeling and finite element analysis of historical bridges. *Proceedings of the National Conference on Earthquake Engineering and Structural Retrofitting*. Behbahan, Iran. https://civilica.com/doc/35224 (In Persian)

[عبداللهی، محمد و محسنی، ایمان. (۱۳۸۶). مدلسازی عددی و تحلیل اجزای محدودی پل های تاریخی. همایش ملی زلزله و مقاوم سازی ساختمان. بهبهان.]

Abdoli, M & Eslami, R. (2012). Historical and hydrostatic analysis of Dezful Bridge. *National Conference on Archeology and Architecture of Dezful Water Structures*. Dezful, Iran. https://civilica.com/doc/164994 (In Persian)

[عبدلی، محمد و اسلامی، راحله. (۱۳۹۰). بررسی تاریخی و هیدرو استاتیکی پل دزفول. همایش ملی باستان شناسی و معماری سازه های آبی دزفول. دزفول.]

Alizadeh, A. (2004). *Principles of Applied Hydrology*. Mashhad: Imam Reza University Press. (In Persian)

[علیزاده، امین. (۱۳۸۳). اصول هیدرولوژی کاربردی. مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا.]

An international collection of architectural photography. (2016). *Izadkhast*. Retrieved May 2020 ,10, from https://www.larryspeck.com.

Archnet. (2003). *Qal'ah-i Izadkhvast*. Retrieved May ,10 2020, from https://archnet.org.

Bayat, R, Pashabandpuri, M.A & Ghorbi, E. (2012). Implementation of special railway bridges with a focus on Izadkhast Bridge (Isfahan–Shiraz railway). *In Proceedings of the National Conference on Applied Civil Engineering and New Achievements*. Karaj, Iran. https://civilica.com/doc/255636 (In Persian)

[بیات، رامین، پاشاباوندپوری، محمدعلی و قربی، احسان. (۱۳۹۲). اجرای پل های خاص راه آهن با نگاهی به پل ایزدخواست (راه آهن اصفهان – شیراز). همایش ملی مهندسی عمران کاربردی و دستاوردهای نوین. کرج.]

Brugsch, H. (1988). *A journey to the court of Sultan Sahibqaran*. M. Kordbacheh, Trans. Tehran: Ettelaat Publication. (In Persian)

[بروگش، هینریش. (۱۳۶۷). سفری به دربار سلطان صاحبقران. ترجمه مهندس کردبچه. تهران: انشارات اطلاعات.]

Building and Housing Research Center (BHRC). (2013). *Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings* (Standard No. 2800). Tehran. (In Persian)[مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. (۱۳۹۳). آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰). تهران.]

Croci, G. (2018). *The Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*. B. Ayatollahzadeh Shirazi & M. Hejazi, Trans. Tehran: Cultural Research Bureau. (In Persian)

[کروچی، جورجو. (۱۳۹۵). حفاظت و مرمت سازه‌ای میراث معماری. ترجمه باقر آیت ا... زاده شیرازی و مهرداد حجازی. تهران: دفتر پژوهش های فرهنگی.]

E--manuscripta. (1982). *Persien, Jesdegad* (Jäz-de-chast, Jesdichast). Retrieved August 2022 ,15, from https://www.e-manuscripta.ch

Esfanjary, E. (2017). *Project of documenting, identifying, and introducing the historical–cultural complex of Izadkhast*. Fars Province: General Department of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism. (In Persian)

[اسفنجاری، عیسی. (۱۳۹۶). پروژه مستندسازی، شناسایی و معرفی مجموعه تاریخی–فرهنگی ایزدخواست. استان فارس: اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان فارس.]

Esfanjary, E & Sotoodeh, E. (2024). Cultural landscape of Izadkhast. In R. Vatan-Doust (Ed.), *About conservation* (pp. 350–372). Tehran: Dadkhin Publications. (In Persian)

[اسفنجاری، عیسی و ستوده، احسان. (۱۴۰۳). منظر فرهنگی ایزدخواست. رسول وطن‌دوست (به کوشش)، درباره مرمت (صص. ۳۷۲–۳۵۰). تهران: انتشارات دادکین.]

Eslami, Sh, Rahimnia, R & Khanjari Mianeh, M. (2021). Structural Analysis and Vulnerability on Historical Structures; An Experience for Preventive Conservation in Small Tower of Semiran. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 8(9), 337-352. (In Persian)

[اسلامی، شادی، رحیم نیا، رضا و خنجری میانه، میلاد. (۱۴۰۰). تحلیل رفتار سازه و تشخیص آسیب پذیری در ساختارهای تاریخی؛ تجربه ای برای اقدامات پیشگیرانه در برج کوچک سمیران. مهندسی سازه و ساخت، ۸ (۹)، ۳۳۷–۳۵۲.]

Fars Meteorological Organization. (2020). *Monthly statistical report of Fars Province*. Retrieved March ,7 2020, from www.farsmet.ir. (In Persian)

[اداره کل هواشناسی استان فارس (۱۳۹۹) . گزارش آمار ماهانه استان فارس. بازیابی‌شده از www.farsmet.ir.]

Fayyazi, M, Heydari Bani, D & Iman Talab, H. (2015). Geometrical analysis in the construction of the historical Banosahra Bridge. *The First International Conference on Arts, Crafts and Tourism*. Shiraz, Iran. https://civilica.com/doc/543506 (In Persian)

[فیاضی، مرال، حیدری بنی، داریوش و ایمان طلب، حامد. (۱۳۹۴). بررسی هندسه در ساخت پل تاریخی بانوصحرا. اولین کنفرانس بین المللی هنر، صنایع دستی و گردشگری. شیراز.]

Fayyazi, M, Heydari Bani, D & Iman Talab, H. (2016). Technological analysis of mortars used in the Banoo-Sahra Bridge based on XRF and XRD analyses. Athar Quarterly, 36(71), 109–114. (In Persian)

[فیاضی، مرال، حیدری بنی، داریوش و ایمان طلب، حامد. (۱۳۹۴). فن شناسی ملات‌های پل بانوصحرا با استفاده از آزمایشهای XRF , XRD. فصلنامه اثر، ۳۶ (۷۱)، ۱۱۴–۱۰۹.]

First consulting engineers of Tehran. (2000). *Synthesis of comprehensive studies on revitalization and development of agriculture and natural resources in Fars province (surface*

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

management of water-related heritage. Paris: International Council on Monuments and Sites.

International Union of Railways. (2011). *Recommendations for the inspection, assessment and maintenance of masonry arch bridges*. Paris: UIC.

Khayat Rostami, B & Hasanzadeh, Y. (2014). Investigating the effect of floodwater on the transformation of span geometry in the architecture of historical bridges. *First National Conference on Sustainable Development in Geography and Planning, Architecture and Urban Planning*. Tehran, Iran. https://civilica.com/doc/336798 (In Persian)

[خیاط رستمی، بابک و حسن زاده، یوسف. (۱۳۹۳). بررسی تاثیر خیزاب بر تحول هندسه دهانه در معماری پل های تاریخی. اولین کنفرانس ملی توسعه پایدار در علوم جغرافیا و برنامه ریزی، معماری و شهرسازی. تهران.]

Management and Planning Organization of Iran. (2002). *Guidelines for determining erosion depth and mitigation methods in bridge areas*. Tehran. (In Persian)

[سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. (۱۳۸۱). راهنمای تعیین عمق فرسایش و روش های مقابله با آن در محدوده پل. تهران: انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.]

Management and Planning Organization of Iran. (2012). *Guidelines for seismic rehabilitation of existing buildings* (Publication No. 360). Tehran. (In Persian)

[سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. (۱۳۹۲). دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه ۳۶۰). تهران: انتشارات معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور.]

Mirdarikvandi, M, Haj Ebrahim Zargar, A & Heydari Bani, D. (2016). Identification of ancient mortars of the Shapouri Bridge in Khorramabad and feasibility assessment of their use in bridge conservation through laboratory methods. *Iranian Journal of Restoration and Architecture*, 5(9), 45–58. (In Persian)

[میردریکوندی، محدثه، حاج ابراهیم زرگر، اکبر و حیدری بنی، داریوش. (۱۳۹۴). شناسایی ملات های باستانی پل شاپوری خرم آباد و امکان سنجی استفاده از آن در مرمت پل از طریق روش های آزمایشگاهی. نشریه مرمت و معماری ایران، ۵ (۹)، ۵۸-۴۵.]

Mokhlesi, M. (2000). *Ancient bridges of Iran*. Tehran: Iran Cultural Heritage Organization. (In Persian)

[مخلصی، محمدعلی. (۱۳۷۹). پل‌های قدیمی ایران. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.]

Mostafanejad, A, Karimi, AH & Montazeralghaem, M. (2019). Investigation of mortars used in historical bridges of Lorestan Province. *Proceedings of the 3rd National Conference on Modern Academic Research in Art, Architecture and Civil Engineering*. Tehran, Iran. https://civilica.com/doc/1255232 (In Persian)

[مصطفی نژاد، علی، کریمی، امیرحسین و منتظرالقائم، مهدی. (۱۳۹۸). بررسی ملات پل های تاریخی در استان لرستان. سومین همایش ملی پژوهش‌های نوین دانشگاهی در هنر، معماری و عمران. تهران.]

National Library and Archives of Iran. (1956). *Restoration of Izadkhast Bridge and construction of an adjacent road*. *water*). Tehran. (In Persian)

[مهندسین مشاور یکم تهران. (۱۳۷۹). سنتز مطالعات جامع احیاء و توسعه کشاورزی و منابع طبیعی در استان فارس (آبهای سطحی). تهران.]

Flandin, E. (1977). *Travel in Iran*. H. Mirsadeghi, Trans. Tehran: Eshraghi Publications. (In Persian)

[فلاندن، اوژن. (۱۳۵۶). سفر به ایران. ترجمه حسین نورصادقی. تهران: انتشارات اشراقی.]

Flickr. (2009). *Izadkhast*. Retrieved May 10, 2020, from https://www.flickr.com

Field, H. (1964). *Anthropology of Iran*. A. Faryar, Trans. Tehran: Ibn Sina Library Publications. (In Persian)

[فیلد، هنری. (۱۳۴۳). مردم شناسی ایران. ترجمه عبدالله فریار. تهران: انتشارات کتابخانه ابن سینا.]

General Department of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism of Fars Province. (1975). *Registration file of Izadkhast Bridge* (Registration No. 1110). Fars, Iran. (In Persian)

[اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان فارس. (۱۳۵۴). پرونده ثبتی پل ایزدخواست (شماره ثبت ۱۱۱۰) فارس.]

General Department of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism of Fars Province. (2017). *Safavi bridge restoration report*. Fars, Iran. (In Persian)

[اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان فارس. (۱۳۹۶). گزارش مرمت پل صفوی.]

Hashemi Esfahanian, M & Heydari, M. (2017). *Geological report of the Izadkhast historical–cultural complex*. Fars Province: General Department of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism. (In Persian)

[هاشمی اصفهانیان، محمود، و مجتبی حیدری. (۱۳۹۶). گزارش زمین شناسی مجموعه تاریخی–فرهنگی ایزدخواست. استان فارس: اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان فارس.]

Heydari, D. (2016). Analysis of cracks caused by foundation settlement in historical brick walls (Doctoral dissertation). Art University of Isfahan, Iran.(In Persian)

[حیدری، داریوش. (۱۳۹۶). تحلیل ترک‌های ناشی از نشست شالوده دردیوارهای آجری تاریخی. پایان‌نامه دکتری رشته مرمت بناهای تاریخی، دانشگاه هنر اصفهان.]

ICOMOS. *(1964). International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (Venice Charter)*. Venice: ICOMOS.

ICOMOS. (1994). *The Nara Document on Authenticity. Nara:* ICOMOS.

ICOMOS. (1999). *Bura Charter for the Conservation of Historic Towns and Urban Areas. Bura*: ICOMOS.

ICOMOS. (2003). *Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage. Paris:* ICOMOS.

ICOMOS. (2015). *Iranian Caravanserais: Nomination dossier for the World Heritage List*. UNESCO World Heritage Centre.

ICOMOS. (2017). *Principles for the conservation and*

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

Retrieved July 25, 2022, from http://opac.nlai.ir/opac-prod/bibliographic/4407159 (In Persian)

[سازمان اسناد و کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران. (۱۳۳۵). مرمت پل شهر ایزدخواست و ساخت جاده‌ای در مجاورت آن. بازیابی‌شده از http://opac.nlai.ir/opac-prod/bibliographic/4407159.]

Negaristan Mahur Consulting Engineers. (2013). *Comprehensive-detailed plan of Izadkhas city* (Vol. 2). Fars Province. (In Persian)

[مهندسین مشاور نگارستان ماهور. (۱۳۹۱). طرح جامع-تفصیلی شهر ایزدخواست (جلد ۲). فارس.]

Pirhayati, M. (2024). Interpreting construction techniques and indigenous knowledge in the architecture of historical bridges of Lorestan during the flourishing period of the Hasanwayhid dynasty (the era of Badr ibn Hasanwayh). *Iranian Journal of Indigenous Knowledge*, 11(22), 254–291. (In Persian)

[پیرحیاتی، مهدی. (۱۴۰۳). خوانش تکنیک های و دانش بومی معماری پل های تاریخی لرستان در دوران شکوفایی آل حسنویه (دوران بدرابن حسنویه). دوفصلنامه دانش بومی ایران، ۱۱ (۲۲)، ۲۹۱-۲۵۴.]

Pirzadeh Naini, M. (1963). *Haji Pirzadeh Naini's travelogue*. Tehran: Tehran University Press.)In Persian(

[پیرزاده نائینی، محمدعلی. (۱۳۴۲). سفرنامه حاجی پیرزاده نائینی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.]

Ranjbar, H, Izadi, M & Amini, A. (1994). *Land and culture of the people of Izadkhast*. Tehran: Ayat Cultural Institute. (In Persian)

[رنجبر، حسین، ایزدی، محمدرضا و امینی، ابوالقاسم. (۱۳۷۳). سرزمین و فرهنگ مردم ایزدخواست. تهران: انتشارات موسسه فرهنگی آیات].

Tahouni, Sh. (2018). *Bridge design*. Tehran: University of Tehran Press. (In Persian)

[طاحونی، شاپور. (۱۳۹۷). طراحی پل. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.]

UNESCO World Heritage Centre. (2005). *Operational guidelines for the implementation of the World Heritage Convention*. Paris: UNESCO.

Varjavand, P. (1972). The Ancient Castle of Izadkhast and its Historical Monuments. *Journal of Historical Studies*, 1 (7), 57-72.(In Persian)

[ورجاوند، پرویز. (۱۳۵۱). قلعه باستانی ایزدخواست و آثار تاریخی آن. مجله بررسی های تاریخی، ۷ (۱)، ۷۲-۵۷.]

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

A Systematic Method for Integrated Damages Assessment of Historic Structures: A Case Study of the Conservation of the Izadkhast Historic Bridge–Dam

Elham Haji Nili*[1], Eisa Esfanjary Kenari[2]

1. Doctoral of restoration and revival of historical buildings and textures, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

elham_haji@arch.iust.ac.ir*

2. Assistant Professor, Faculty of Conservation and Restoration, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran

Received: 2025.10.13

Accepted: 2026.02.21

doi: https://10.66224/kcr.8.4.92

Knowledge of Conservation and Restoration

pISSN: 2538-6093 eISSN: 3060-6217

This journal adheres to COPE guidelines. Access to this article is free for all. Any non-commercial use of it is permitted, provided appropriate attribution is given.

Historic bridges represent complex structural systems that have endured centuries of environmental exposure, functional transformation, and human intervention. Due to their structural configuration and location within dynamic riverine contexts, they are particularly vulnerable to natural forces, material decay, and incompatible repairs. Conservation doctrine has consistently emphasized that intervention must be grounded in knowledge. Documents such as the Venice Charter, the Burra Charter, the Nara Document on Authenticity, and the ICOMOS Principles for the Analysis and Restoration of Architectural Heritage stress that understanding a monument's historical development, material composition, and structural performance is essential before any action is taken. Building on this understanding, the present study develops and applies an integrated damage diagnosis approach to the historic Bridge-Dam of Izadkhast. Although Iranian historic bridges have been widely studied, previous research has often addressed historical interpretation, qualitative assessment, and structural modeling separately. In many instances, laboratory testing and structural calculations were treated as isolated technical exercises rather than as components of conservation decision making. This separation has occasionally led to reinforcement strategies that exceed actual structural needs and conflict with principles such as minimal intervention and respect for authenticity. The principal research gap therefore lies in the absence of a coherent methodological framework that integrates historical studies, qualitative damage assessment, laboratory material testing, and quantitative structural behavior analysis into a unified and conservation oriented decision making model.

The Izadkhast Bridge-Dam was selected as the case study because of its historical and structural importance. Located along the Historic route from Isfahan to Shiraz via Izadkhast, it once played a strategic role in regional communication and maintained a functional relationship with the nearby caravanserai. Built across a seasonal river prone to flooding, the structure was originally designed to serve caravan traffic. In later periods, however, the passage of automobiles and heavier transport introduced load conditions that had not been anticipated in the original architectural conception. As a result, the bridge was

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]

subjected to stresses exceeding its intended structural capacity. Despite these pressures, it remained functional for centuries.

Only in recent decades have climatic variability, renewed water flow after extended drought, inappropriate restoration efforts, and insufficient river management significantly increased its vulnerability.

The methodology adopted in this research consisted of six interconnected stages: (1) historical analysis and investigation of the structural evolution of the monument; (2) direct observation and qualitative assessment of the current condition; (3) qualitative and semi-quantitative analysis of mortars and qualitative assessment of materials; (4) structural analysis and evaluation of the overall structural behavior; (5) safety assessment through quantitative analyses and structural testing; and (6) final judgment and data integration. In this method, Laboratory investigations were conducted to determine the physical and chemical properties of mortars and bricks, and structural behavior under gravity, seismic forces, wind, and hydraulic actions was analyzed through finite element modeling using ANSYS software.

The findings demonstrate that a comprehensive understanding of the monument requires the simultaneous interpretation of historical documentation, field evidence, material characteristics, and structural modeling results. Historical analysis revealed that major damage resulted from changes in function, excessive loading beyond traditional use patterns, destructive floods particularly the flood of 1956 CE. and alterations in river morphology caused by human intervention. Qualitative assessment identified inconsistencies in restoration management, incomplete conservation measures, deterioration of mortars, and neglect of riverbed maintenance as significant contributors to the bridge's current condition.

Material analyses indicated that lime mortars (cold sarooj) were intentionally employed in water exposed sections, while gypsum–lime mortars were used in arches and passageways, reflecting functional adaptation to environmental conditions. Although bricks quality was relatively low due to manufacturing and firing limitations, this characteristic forms part of the bridge's original material system and does not in itself indicate structural weakness.

Structural analyses showed that the bridge performs satisfactorily under gravitational and seismic loads. The vulnerable structural points was identified in relation to hydrodynamic flood forces and at the junction between the end piers and the natural riverbanks.

The integratetion of the obtained results indicate that most observed damages do not stem from inherent structural vulnerability, but rather from the disruption of the bridge's historical equilibrium. Changes in functional loads, incompatible restoration materials, interruption of structural continuity, and hydromorphological alterations in the riverbed have collectively intensified deterioration. Numerical modeling confirmed that heavy structural reinforcement or radical alteration of the structural system is unnecessary. Instead, conservation efforts should focus on correcting inappropriate past restorations, locally reinforcing critical points, stabilizing and organizing the riverbed and establishing a continuous maintenance system.

This study demonstrates that that quantitative structural analysis can meaningfully inform conservation decisions only when interpreted in direct connection with historical understanding and material characterization. Detached numerical assessments risk misdiagnosis and unnecessary intervention. Accordingly, the research advocates a shift from reactive, episodic restoration toward preventive and integrated management of historic bridges.

Ultimately, this research proposes a transferable analytical framework for the conservation of historic bridges in Iran and comparable contexts. By integrating historical research, qualitative damage assessment, laboratory based material evaluation, structural stability assessment, and finite element analysis into a unified diagnostic process, the study provides a methodological model that supports minimal, authenticity compatible, and scientifically grounded conservation strategies, while preventing costly and irreversible interventions.

Keywords: Pathology, Restoration, Conservation, Bridge, Izadkhast

[Downloaded from kcr.richt.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.66224/kcr.8.4.92]