

فن‌شناسی ملات‌های پل بانوصحرا با استفاده از آزمایش‌های XRF, XRD

مرال فیاضی

کارشناسی ارشد مرمت و احیای بناها و بافت‌های تاریخی
Mfayazi_art@yahoo.com

داریوش حیدری بنی

عضو هیئت علمی دانشگاه هنر و معماری اصفهان، گروه مرمت/ استاد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یزد
D.heydari@aui.ir

حامد ایمان‌طلب

استاد دانشگاه آزاد قشم
Hamed.imantalab@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۶ / ۶ / ۹۴

تاریخ پذیرش: ۸ / ۹ / ۹۴

چکیده

پل بانوصحرا^۱ تنها پل دودخانه‌ای شهرستان ساوجبلاغ است. این پل در دوره صفویه برای ایجاد ارتباط میان روستاهایی چون بانوصحرا، کردان، و... احداث شد. اهمیت منطقه چندار و ساوجبلاغ به قدری بود که بارها در متون تاریخی از آن یاد شده است اما به طور مشخص از روستای بانوصحرا و بافت آن مطالب دقیقی در دسترس نیست. به همین سبب شناخت کاملی از حمام و بقایای پل از مجموعه بافت دوران صفویه روستا به دست نمی‌آید (فیاضی، ۱۳۹۳). با توجه به این مطلب و در نظر داشتن تمرکز این پژوهش بر پل، بررسی بقایای اثر هدف اصلی بوده است. بر اثر آسیب‌های شدید وارده، تخریب پل به علت سیلاب و شستگی مصالح و ملات‌ها، و عدم توجه و مرمت مداوم - که نتیجه‌اش بر هم خوردن تعادل سازه است - به مرور زمان استحکام سازه کاهش یافته و خسارات جبران‌ناپذیری بدان وارد شده است. تا آنجا که در اسفندماه ۱۳۹۳ آخرین طاق (موج‌شکن) نیز فروریخته است. بنابراین می‌توان گفت برای بازسازی و ترمیم، یکی از اقدامات حیاتی، شناخت فنی و شناخت سازه اثر است و فن‌شناسی ملات امری بنیادین برای شناخت معماری و سازه و در نهایت احیا است که با نمونه‌برداری از نقاط مختلف آن و انجام آزمایش‌های XRF و XRD امکان‌پذیر است. بر طبق آزمایش‌های XRD و XRF انجام‌شده، جنس ملات در پی‌ها (پایین‌ترین قسمت بنا) و بندکشی جرزهای پایه که در تماس مداوم با آب هستند، مشابه بوده و از خاک رس، آهک، سیلیس (ماسه)، و خاکستر تشکیل شده که در مجموع ترکیبات ملات ساروج را شامل می‌شود. ترکیبات ملات در طاق‌ها تا اندازه‌ای متفاوت است. گچ، کربنات کلسیم، خاک رس، و سیلیس از مواد اصلی و کاربردی در بخش‌های فوقانی این بنا بوده است. همچنین مقدار زیاد گچ در این ترکیب، به منظور زودگیر شدن ملات و سهولت در اجرای طاق مورد استفاده قرار گرفته است. ترکیبات داخلی جرزها از لحاظ تنوع، مشابه ملات طاق است با این حال با توجه به مقدار ترکیبات و مواد، به نظر می‌رسد برای ساخت جرزها از ملات گل [استفاده] کرده‌اند. به این ترتیب با توجه به آنالیز نمونه‌های ملات از نقاط متنوع (و حساس از نظر سازه‌ای و معماری)، شناخت ترکیبات گوناگون مواد و مصالح و کاربرد مناسب آنها در پل بانوصحرا یکی از عوامل مهم در پایداری این اثر تاریخی است که باید در هنگام مرمت و احیای آن مد نظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی

ساوجبلاغ، پل بانوصحرا، صفویه، بخش چندار، فن‌شناسی ملات.

مقدمه

معمولاً ساخت‌مایه بوم‌آورد در ایجاد سازه‌های تاریخی نقشی عمده داشته و از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. غالباً یکی از علل دوام و پایداری بناهای تاریخی به‌کارگیری به موقع و مناسب مصالح و ملات‌ها بوده است. مثلاً در پل بانوصحرا استفاده از ترکیب آجر و سنگ و مکان‌یابی مناسب و مرمت مداوم پل، استحکام آن را در برابر عوامل جوی و آب‌رودخانه (از عهد صفویه تا سال ۱۳۵۳ خورشیدی) تضمین کرده است. در بخش عمده بنا از جمله پی‌ها، جرزها و حتی تزئینات نما، به علت ارزان بودن و دوام، از قلوه‌سنگ بهره گرفته شده است. طاق آهنگ و تزئینات دیواره‌های خارجی بنا همه با آجر به ابعاد $24 \times 24 \times 4/5$ و $20 \times 20 \times 5$ ساخته شده است. تیرهای چوبی به قطر ۲۲ تا ۲۵ سانتی‌متر، در ارتفاع $2/70$ متری از بستر رود و از جبهه شمالی با فواصل افقی از مرکز تیر به ترتیب $2/3$ ، $2/22$ متر و 22 سانتی‌متر در عرض دهانه پل قرار گرفته‌اند که در پای طاق نیز هنگام اجرا از آنها به عنوان داربست بهره‌جسته‌اند و در پایان کار آنها را قطع کرده‌اند (تصویر ۱). پوسته بیرونی بدنه و اجزای طاق‌ها نیز آجری است. پی با سنگ‌لاشه کار شده است تا در برابر فشار حاصل از نیروی وزن طاق‌ها و جداره بر روی پایه، مقاومت کند (فیاضی، ۱۳۹۳).

در دیدگاهی کلی کاربرد آجر و سنگ در پل‌ها را می‌توان این‌گونه بیان کرد:

آجر: یکی از مصالح مهم ساختمانی در غالب پل‌ها آجر است

که در ادوار مختلف به‌خصوص در دوره‌های بعد از اسلام موارد استفاده فراوان داشته و مخصوصاً در طاق‌زنی و گاه در پی‌ها از آن سود جسته‌اند.

سنگ: از سنگ به صورت سنگ‌لاشه، سنگ تراش در پایه‌های پل سود می‌جستند و گاه از قلوه‌سنگ‌های درشت ته رودخانه و یا سنگ‌های لاشه نزدیک محل احداث پل بهره می‌گرفتند (انصاری، ۱۳۹۲، ۲۸).

برطبق عکس هوایی سال ۱۳۵۴، پس از سال ۱۳۵۳ (تصویر ۳) به علت سیلاب و طغیان رودخانه، بخشی از پل که بر روی پایه‌های دست‌ساز (دیواره تقریباً آجری) ساخته شده بود، توسط شاخه‌های درختان و سایر موادی که با جریان آب به‌شدت به دهانه‌ها برخورد می‌کردند و مصالح را جابه‌جا



تصویر ۱. تیرهای چوبی دهانه غربی طاق میانی (عکس از: نگارندگان، پاییز، ۱۳۹۳).



تصویر ۲. نمای جنوبی پل بانوصحرا (عکس از: نگارندگان، پاییز، ۱۳۹۳).



تصویر ۳. نمای شمالی پل بانوصحرا (مأخذ: آرشیو میراث فرهنگی استان تهران، بهار ۱۳۸۳).



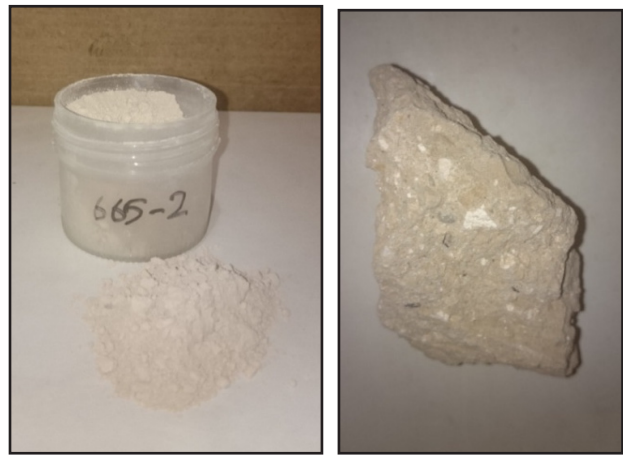
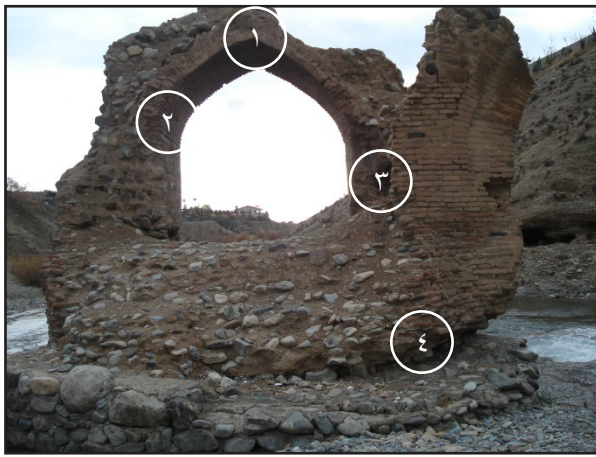
تصویر ۴. نمای شمالی پل بانوصحرا (مأخذ: میراث فرهنگی استان تهران، زمستان ۱۳۵۳).

و یگانه پایان‌نامه نوشته‌شده درباره این اثر است (فیاضی، ۱۳۹۳: ۴۴).

۱. نمونه‌برداری ملات‌های پل بانوصحرا

محل نمونه‌برداری از ملات‌ها با توجه به شکل هندسی اثر، توجه به رفتار سازه، نیروهای وارده به بنا، و نحوه به‌کارگیری اجزا به منظور مقاومت در برابر نیروها تعیین شد. به نظر می‌رسد که تأثیر ترکیبات مصالح و استفاده از ملات در

می‌کردند، سبب ریزش و شستگی کامل دهانه شرقی شدند. در پی این پیشامد به علت عدم تعادل، تغییر در انتقال نیروی باربر، نقص در شکل پایه میانی، عدم مرمت و کاربرد تخریب ادامه یافت تا آنجا که هنگام ثبت بنا در فهرست آثار ملی سال ۱۳۸۳ خورشیدی توسط میراث فرهنگی استان تهران، بخش اعظم دهانه و طاق میانی نیز فروریخته بود. لازم به ذکر است که این پژوهش به طور کامل همراه طرح مرمت، به صورت مکتوب و جامع در سال ۱۳۹۳ انجام گرفته است



تصویر ۵. نمونه ملات و محل نمونه برداری ملات در بنا (نمونه برداری توسط نویسندگان، ۱۳۹۳).

اقتصادی.

به منظور شناسایی ملات‌های پل بانوصحرا و انتخاب ملات مناسب برای مرمت، از روش‌های آنالیز دستگامی XRF و XRD استفاده شد. بدین ترتیب در قسمت‌های مختلف پل از ملات‌ها نمونه برداری شد و جهت آنالیز به مرکز پژوهشی - متالوژی رازی ارسال شد (فیاضی، ۱۳۹۳: ۴۵).

۳. شرح آنالیزها و نتایج

بر اساس آنالیزهای صورت پذیرفته، نتایج حاصله را به طور خلاصه می‌توان چنین بیان کرد (فیاضی، ۱۳۹۳):

۱.۳. ملات پایین‌ترین قسمت (۱-۶۶۵) و بندکشی جرزها (۲-۶۶۵): این دو نمونه مشابه بود و به نظر می‌رسد ساروج است و از خاک رس، آهک، سیلیس (ماسه) و خاکستر تشکیل شده است. وجود کربنات کلسیم (کلسیت) نشان‌دهنده کربناتیزه شدن آهک است که با توجه به واقع بودن ملات (۱-۶۶۵) در زیر زمین و عدم دسترسی به CO_2 هوا، عمل کربناته شدن آهک توسط خاکستر انجام شده است. از طرفی در خاک رس موجود جایگزینی و جذب یون کلسیم مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده انجام واکنش‌های شفته آهک و مراحل تشکیل سیلیکات کلسیم است (این واکنش‌ها تا حدودی پیشرفته ولی کامل نشده اند). همچنین خاک رس گزارش شده فلدسپات است که به وجود آورنده خاک‌های رسی است و قدرت چسبندگی آن بالاست. وجود سیلیس زیاد بیانگر وجود ماسه در ملات و نیز مربوط به سیلیس موجود در ترکیب خاک رس است. مقدار خیلی کمی گچ

نقاط مختلف با توجه به نیروها و محل قرارگیری، در دوام و پایداری پل متفاوت خواهد بود.

آزمایش XRD , XRF	
نام نمونه	محل برداشت نمونه
۶۶۵-۱	پایین‌ترین نقطه (بعد از سنگ چین سیمانی)
۶۶۵-۲	ملات بندکشی
۶۶۵-۳	بالترین نقطه موجود
۶۶۵-۴	ملات وسط سازه

۲. ملات‌ها

یکی از مهم‌ترین مصالح مورد استفاده در ساخت بناها ملات‌ها هستند. زیرا وظیفه چسباندن و اتصال دانه‌های آجر، خشت، سنگ و تبدیل آنها از دانه‌های مجزا به یک توده‌ی باربر را بر عهده دارند. هر چه قدرت و توان چسباندگی ملات و مقاومت آن بیشتر باشد طبیعتاً توده باربر حاصل، از توان و مقاومت بیشتری برخوردار خواهد بود. ملات‌های مورد استفاده در یک بنای تاریخی معمولاً واحد نبوده و بسته به اینکه در کدام قسمت بنا به کار گرفته شده باشند، نوع-شان متفاوت است. به عبارت دیگر در قسمت‌های مختلف بناهای تاریخی از ملات‌های گوناگونی استفاده می‌شده است. تنوع ملات‌های مورد استفاده در یک بنای تاریخی از عوامل متفاوتی متأثر است؛ همانند وضع محیطی و اقلیمی، شرایط نیرویی و بارگذاری، نوع عملکرد مورد انتظار از ملات، امکانات موجود در منطقه، دانش و فن آوری موجود در منطقه، مقطع زمانی ساخت بنا، و نهایتاً صرفه‌جویی و توجه به مسائل

نیز در ملات وجود دارد که احتمالاً مربوط با گچ موجود در خاک طبیعی است.

۲.۳. ملات طاق (۳-۶۶۵): ملات طاق با ملات‌های دیگر بخش‌های بنا متفاوت بوده و در آن مقدار زیادی گچ مشاهده شده است. وجود مقدار زیاد گچ، منطقی‌ست زیرا برای اجرا و ساخت طاق باید از یک ملات زودگیر استفاده کرد که بدین منظور همواره در معماری سنتی ایران از گچ بهره برده‌اند. لیکن در نتایج آنالیز علاوه بر گچ، کربنات کلسیم، خاک رس، و سیلیس هم مشاهده می‌شود. وجود خاک رس به منظور دیرگیر کردن گچ است تا به معمار فرصت چیدن طاق را بدهد. همچنین سیلیس موجود مربوط به ماسه موجود در خاک و سیلیس موجود در ترکیب خاک رس است. وجود کربنات کلسیم در این ملات بیانگر ترکیب شفته آهکی نیست و مربوط به نحوه تولید گچ سنتی است. در فرآیند تولید گچ سنتی (گچ نیم‌کوب) آهک نیز تولید می‌شود که برای انجام واکنش‌های آهک و مقاوم شدن ملات، خاکستر کوره را به آن می‌افزوند. در نتیجه در ملات گچ، کربنات کلسیم نیز تشکیل می‌شد که موجب مقاومت و استحکام و دوام ملات در مقابل رطوبت می‌شد. همانند ملات‌های قبلی، به علت وجود خاک رس و آهک، تا حدودی جایگزینی یون کلسیم در خاک و تشکیل سیلیکات کلسیم رخ داده است.

۳.۳. ملات جرزها (وسط سازه): ملات جرزها از لحاظ تنوع ترکیبات موجود در آن، مشابه ملات طاق است. با این حال با توجه به مقدار ترکیبات و مواد، به نظر می‌رسد برای ساخت جرزها از ملات گل استفاده شده است. بنابراین جهت افزایش مقاومت و پایداری آن در مقابل رطوبت، مقداری گچ (گچ نیم‌کوب) به ملات افزوده شده است. لذا در ملات این بخش، مقدار خاک رس و ماسه زیاد است (ملات گل) و مقدار دیگر مواد، کمتر از ملات طاق است.

۴. نتیجه

جنس ملات در پی‌ها (پایین‌ترین قسمت بنا) و بندکشی

جرزهای پایه پل - که در تماس مداوم با آب هستند- مشابه است و از خاک رس، آهک، سیلیس (ماسه)، و خاکستر تشکیل شده است که در مجموع شامل ترکیبات ملات ساروج است.

ملات ساروج: ساروج ملاتی کندگیر است که در شهرهای مختلف با ترکیبات متفاوت استفاده می‌شده است. گاهی ترکیب آن به صورت ۲۰٪ تا ۳۶٪ آهک + خاکستر + خاک رس + ریگ و خرده آجر + آب است. از ملات ساروج برای عایق کردن منبع‌ها، حوضچه‌ها، آب‌انبار و آبروها، و اندودکاری سطوح داخلی حمام و... استفاده می‌شده است (همان، ۴۱). ساروج در مناطق مرطوب بسیار پرکاربرد بوده و با سنگ و آجر 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.

ترکیب ملات در طاق‌ها (بخش‌های فوقانی) شامل گچ، کربنات کلسیم، خاک رس، و سیلیس از مواد اصلی و کاربردی بوده که با توجه ضرورت زودگیر بودن ملات این بخش، گچ در این ترکیب به مقدار زیاد استفاده شده و اجرای طاق‌ها را آسان‌تر کرده است.

گچ و خاک: این ملات کاربرد فراوانی در معماری دارد و به هر روشی که تهیه شود، برای کُرم‌بندی^۳، شمشه‌گیری، اندودکاری و پوشش چشمه‌ها و طاق‌های آجری و بدنه‌های دیوار مورد استفاده قرار می‌گیرد (همان، ۴۵).

ترکیبات ملات داخلی جرزها از لحاظ تنوع، مشابه ملات طاق است. با این حال با توجه به مقدار ترکیب مواد، به نظر می‌رسد برای ساخت جرزها از ملات گل استفاده شده است. ملات گل و قلوه‌سنگ از مصالح بوم‌آورد، قابل دسترس، و ارزان بوده که در ترکیب با مواد دیگری همچون آهک، ضمن ایجاد انسجام، سبب افزایش تحمل نیروی وزن وارده به پی می‌شود.

ملات گل آهک^۴ (شفته آهک، مارون): این ملات بیشتر در کرسی‌چینی و پی‌ریزی بناهای تاریخی از جمله پل‌ها و پایدار کردن زمین‌های مرطوب کاربرد دارد. همچنین در گذشته از این ملات برای ساختن مجاری آب، حوض‌ها، آب‌انبار

می شود.

۳. ساختن یک نوار گچی روی دیوار برای شمشه‌گیری

۴. Mud-Lime Mortar

منابع

- انصاری، علی محمد. (تابستان ۱۳۹۲). مطالعه و طرح مرمت شترگلو و آب‌باره کال خرائق با رویکرد استحکام‌بخشی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته مرمت بناها و بافت‌های تاریخی. استاد راهنما: دکتر داریوش حیدری بنی دانشگاه آزاداسلامی - واحد یزد.

- پرونده ثبت ملی پل بانوصحرا (۱۳۸۳). میراث فرهنگی استان تهران.

- فیاضی، مرال. (اسفند ۱۳۹۳). طرح مرمت پل بانوصحرا با رویکرد فن‌شناسی ملات‌های آن. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته مرمت بناها و بافت‌های تاریخی. استاد راهنما: دکتر داریوش حیدری بنی دانشگاه آزاداسلامی - واحد یزد.

- گلابچی، محمود و آیدین جوانی دیزجی. (۱۳۹۲). فن‌شناسی معماری ایران. تهران: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

عمومی، پوشش طاق‌های عرقچین، و... استفاده شده است. از ویژگی این نوع ملات سخت شدن آن در مجاورت رطوبت است. این ملات پس از گرفتن یخ نمی‌زند و پس از یک هفته تحمل بارگذاری حدود ۲ تا ۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع را دارد (گلابچی و جوانی دیزجی، ۱۳۹۲: ۴۰).

بر اساس مطالب مذکور و نتایج بیان شده از نمونه‌گیری ملات‌ها، کاربرد مناسب و ترکیبات درست از عوامل مهم در پایداری و دوام پل بانوصحرا بوده است. بنابراین شناخت صحیح و کامل از عناصر سازنده اثر و دستیابی به علل کاربرد آنان در نقاط مورد نیاز راهی مناسب در جهت ارائه طرح مرمت و اجرای آن به منظور استحکام و پایداری اثر است که می‌تواند با استفاده از ملات‌های مشابه و در مواردی همگن با بنا (تا حد امکان) محقق شود.

پی‌نوشت‌ها

۱. ثبت ملی در سال ۱۳۸۳ به شماره ۱۱۱۰۴.

۲. در این میان گاهی آجرهایی در ابعاد ۲۲×۲۲×۴/۵ نیز یافت