

ارایه ترکیب بهینه برای استحکام بخشی خشت‌های مصرفی در مرمت بناهای تاریخی کوه خواجه سیستان

محسن طبسی*

تاریخ دریافت مقاله: ۸۴/۳/۲۸

تاریخ پذیرش نهایی: ۸۴/۸/۱۴

چکیده:

خشت یکی از مصالح تشکیل دهنده ساختار اصلی بسیاری از بناهای متعلق به پیش از اسلام و اوایل دوره اسلامی می‌باشد. از جمله بناهای منحصر به فرد خشتی در ایران، مجموعه بناهای واقع در کوه خواجه سیستان است. لزوم مرمت این آثار، به تبع خود ضرورت مطالعه و بررسی درباره خشت را مطرح می‌کند. این مقاله با احساس چنین ضرورتی نگاشته شده و تلاشی است برای یافتن ترکیب بهینه‌ای برای خشت‌های مورد مصرف در مرمت بناهای کوه خواجه، به ویژه قلعه سام. روش انجام پژوهش نیز بر مطالعات میدانی، بررسی‌های محیطی، مطالعات کتابخانه‌ای و روش‌های آزمایشگاهی استوار است.

چهارده مورد آزمایش انجام شده در این پژوهش، عمدتاً مهمترین آزمایش‌هایی هستند که می‌توانند در تعیین کیفیت یک خشت مؤثر باشد. آزمایش‌ها و مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که خشت اصلاح شده با ترکیب پیشنهادی، در تمام موارد آزمایش شده، کیفیت بهتری در مقایسه با خشت معمولی دارد. این موضوع لزوم به کارگیری خشت‌های اصلاح شده را در مرمت بنای خشتی قلعه سام، و سایر آثار خشتی کوه خواجه نشان می‌دهد. بهره‌گیری از ضایعات کشاورزی و دامپروری رایج در منطقه سیستان، علاوه بر جنبه‌های اقتصادی، باید از منظر معیارهای زیست محیطی نیز مورد توجه قرار گیرد. مسلماً حفظ میراث فرهنگی کشور، بدون مطالعات دقیق علمی، و بدون توجه به سایر حوزه‌ها، از جمله اقلیم منطقه، مسایل اقتصادی، و الزامات زیست محیطی ممکن نخواهد بود.

واژه‌های کلیدی:

خشت، مصالح، استحکام بخشی، مرمت، کوه خواجه، سیستان.

* عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد؛ دانشجوی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.

مقدمه

کنفرانس بین المللی مطالعه و حفاظت معماری خشتی که در آذرماه ۱۳۸۲ در یزد برگزار شد. و البته نخستین کنفرانس از همین سری نیز، پیش از انقلاب در همین شهر برگزار شده بود. همچنین مطالعات پراکنده برخی پژوهشگران، که نتایج آنها به صورت مقالاتی در نخستین و دومین کنگره تاریخ معماری و شهرسازی ایران ارایه شده است.

این مقاله با احساس ضرورت پرداختن علمی به حفاظت و مرمت بناهای تاریخی، و با در نظر گرفتن مشکلات خاص منطقه سیستان و بلوچستان نگاشته شده است؛ و حاصل پژوهشی است که نگارنده طی سال های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۳ (در مدتی که عضو هیئت علمی دانشکده هنر دانشگاه سیستان و بلوچستان بود) انجام داده است. لازم به توضیح است که این طرح با هزینه شخصی انجام شد، لذا نگارنده ادعان می کند که به دلایل متعدد از جمله هزینه های گزاف آزمایشگاهی، کمبود یا نبود بعضی وسایل و تجهیزات، نداشتن همکار علمی، نبود تیم عملیاتی منسجم، و از همه بدتر، عدم همکاری برخی از مسؤولان محلی؛ این پژوهش تمام آن چیزی نیست که خواسته، بلکه فقط بخشی است که توانسته است به انجام برساند. روش انجام پژوهش نیز بر مطالعات میدانی، بررسی های محیطی، مطالعات کتابخانه ای، و روش های آزمایشگاهی استوار است.

خشت یکی از مصالح تشکیل دهنده ساختار اصلی بسیاری از بناهای تاریخی ایران به شمار می رود، و شمار زیادی از بناها، به ویژه بناهای متعلق به پیش از اسلام و اوایل دوره اسلامی، با خشت بنا شده اند. قدیمی ترین اثر خشتی را معبد چغازنبیل در شوش خوزستان دانسته اند که متعلق به ۱۲۵۰ سال پیش از میلاد می باشد. از جمله بناهای منحصر به فرد خشتی در ایران، مجموعه بناهای واقع در کوه خواجه سیستان، دارای ارزش و اهمیت خاصی می باشند؛ چه به لحاظ تاریخی و باستان شناختی، و چه از منظر معماری و زیبا شناختی؛ که در ادامه این مقاله، مطالبی درباره آن خواهد آمد.

شماری از شهرهای ایران نیز بافتی تماماً خشتی دارند، که در نوع خود در جهان بی همتا هستند. ارگ خراب شده بم، و شهر یزد که دارای سالم ترین بافت تاریخی خشتی جهان است و هم اکنون نیز مسکونی است؛ از این جمله به شمار می روند. لزوم حفظ و نگهداری این موارث فرهنگی؛ که در واقع نه میراث، بلکه امانت هستند؛ بر هیچکس پوشیده نیست. لزوم مرمت بناهای تاریخی خشتی، به تبع خود ضرورت مطالعه و بررسی درباره خشت را مطرح می کند. خوشبختانه تاکنون چندین کنفرانس ملی و بین المللی درباره حفاظت و مرمت معماری خشتی، در ایران برگزار شده است؛ از جمله نهمین

۱ - کلیات

۱ - ۲ - وجه تسمیه: از آنجا که آرامگاه خواجه مهدی بن محمد حنیفه، متعلق به قرن دوازدهم ه.ق.؛ در خط الرأس کوه که سطحی نسبتاً صاف و بسیار وسیع دارد، قرار گرفته، لذا این کوه به کوه خواجه موسوم گردیده است (باباخانی، ۱۳۷۸، ۹). آرامگاه خواجه مهدی، یک چهاردیواری ساده و محقر است، به ابعاد ۶ متر در ۹ متر که با سنگ و گل ساخته شده و مشخص است که پیشتر، یک سقف تیرپوش مسطح آن را پوشش می داده است. البته به جز این مقبره، قبور دیگری نیز متعلق به دوره اسلامی، در همین محدوده دیده می شوند (موسوی، ۱۳۷۵، ۷۴).

۱ - ۱ - موقعیت کوه خواجه: کوه خواجه در فاصله سی کیلومتری جنوب غربی شهر زابل و هجده کیلومتری جاده زابل به زاهدان واقع شده است. بر روی این کوه، که در واقع یک قطعه سنگ عظیم از جنس بازالت است، آثار معماری چندی به چشم می آیند که به ترتیب اهمیت عبارتند از قلعه سام، قلعه کک کهزاد، قلعه چهل دختران، و برخی آثار معماری و قبور پراکنده. مهمترین این آثار، قلعه بزرگی است که در محل، آن را قلعه کافران یا قلعه سام می نامند؛ و تمام کاوش های باستان شناسی نیز فقط در همین قلعه صورت گرفته است و درباره سایر آثار موجود، اصلاً اطلاعاتی در دست نیست. این مقاله نیز فقط به قلعه سام پرداخته است.

است. اندودها از گل، کاهگل، و گچ است. تزئینات نقاشی دیواری، و نقش برجسته های گلی نیز در این مجموعه دیده می شوند. از ویژگی های معماری منحصر به فرد این اثر، باید به آتشگاه و گنبد آن^۱، ایوان، و نقاشی های دیواری آن اشاره کرد^۲.

۲ - صورت مسأله و روش پژوهش

مصلح به کار رفته در بناهای کوه خواجه، به ویژه مهمترین بنای آن یعنی قلعه سام که مورد نظر این مقاله است، عمدتاً از خشت می باشد؛ و مسلماً برای مرمت این اثر تاریخی باید از خشت استفاده نمود. در این پژوهش سعی داریم تا با رسیدن به یک ترکیب بهینه از مواد، خشت مورد نیاز برای مرمت را به صورت اصلاح شده درآورده و به کار ببریم. پژوهش انجام شده بر مطالعات میدانی، بررسی های محیطی، مطالعات کتابخانه ای، و روش های آزمایشگاهی استوار است. برای رسیدن به اهداف مورد نظر، مراحل زیر را طی کرده ایم:

الف. ریخت شناسی خشت ها

ب. فن شناسی خشت ها

ج. آسیب شناسی خشت ها

د. ساخت نمونه ها و انجام آزمایش های لازم.

این توضیح نیز ضروری است که اساساً خشت به همراه ملات و اندود خاص خود به کار گرفته می شود. لذا بدیهی است که مطالعه و بررسی خشت ها باید با مطالعه و بررسی ملات و اندود مربوطه همراه باشد. اما توان و امکانات مطالعاتی ناچیزی که در اختیار نگارنده وجود داشت مانع از تحقق این مهم گردید. لذا این مقاله فقط به موضوع خشت پرداخته، و ملات و اندود را به فرصتی دیگر وانهاده است.

۳ - ریخت شناسی خشت ها

مقصود از ریخت شناسی، تدوین صورتی از مستندنگاری است که هدف از آن، درک بهتر معماری خشتی مجموعه، شناخت ویژگی های کلی خشت های بکار رفته، و مجموعاً فراهم آوردن بستر مناسبی برای مطالعات آسیب شناسی و فن شناسی خشت ها می باشد. در بحث ریخت شناسی؛ ابعاد، بافت، رنگ، فرم، و عملکرد خشت های بکار رفته در قلعه سام مورد توجه بوده اند؛ و اطلاعات مربوطه در جدول شماره یک خلاصه شده اند.

۱ - ۳ - سابقه مطالعاتی: نخستین مطالعات، که بیشتر جنبه زمین شناختی داشت، توسط ف. ج. گلداسمید F.G.Goldsmid در نیمه دوم قرن نوزدهم میلادی صورت گرفت^۱. اولین تلاش جدی درباره شناسایی قلعه سام، توسط باستان شناسی به نام اورل اشتاین Aurel Stein در ۱۹۱۵ م. صورت پذیرفت. به عقیده وی این اثر بقایای یک معبد و صومعه بودایی است، که معماری بودایی آسیای مرکزی و شرق دور را با یکدیگر مرتبط می ساخته است^۲. و البته اشتباه اشتاین در مورد این بنا، با تحقیقات باستان شناسان بعدی، مشخص گردید. دومین کار مهم درباره قلعه سام، یا اصطلاحاً همان کوه خواجه، توسط باستان شناس آلمانی به نام ارنست هرتسفلد Ernst Emil Herzfeld انجام شد. وی نخستین بار در ۱۹۲۵ و دیگر بار در ۱۹۲۹ م. در کوه خواجه به پژوهش پرداخت. هرتسفلد ضمن تهیه پلان قلعه سام، قایل به وجود دو دوره ساخت در این اثر بود. هر چند که نظرات هرتسفلد در مورد دوره های تاریخی اثر، چندین بار تغییر کرد؛ اما عقیده وی مبنی بر وجود دو دوره، همچنان ثابت ماند^۳.

سومین کار علمی، توسط یک هیئت ایتالیایی، به سرپرستی جیورجیو گولینی Giorgio Gullini در سال ۱۹۶۱ م. انجام شد. مطالعات گولینی و هیئت همراه، منجر به تصحیح تاریخگذاری های هرتسفلد، و ارایه لایه نگاری جدیدی از دوره های سکونت در قلعه سام گردید. هیئت مزبور در گزارش نهایی خود، شش لایه سکونت و استقرار، از عصر هخامنشی تا دوره اسلامی را در کوه خواجه مشخص ساخت؛ که این لایه بندی علمی و دقیق، هماکنون مورد اتفاق همه باستان شناسان می باشد^۴. چهارمین بخش از حفاری های باستان شناسی در این مجموعه، توسط آقای سید محمود موسوی و هیئت هایی از دانشجویان باستان شناسی دانشکده میراث فرهنگی، انجام شده است. این هیئت در سه فصل، طی سال های ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۲، در محوطه قلعه سام به فعالیت پرداخت^۵.

۱ - ۴ - توصیف بنای قلعه سام: قلعه سام، به احتمال زیاد، محل سکونت فرمانروایان محلی بوده است. ساختمان، در اطراف یک حیاط مرکزی قرار گرفته و ورودی جنوبی آن یک دروازه سرپوشیده است. در جبهه های شرقی و غربی، ایوان های بزرگ با تاق آهنگ، و رو به حیاط احداث شده و در پشت ایوان ها، اتاق هایی به شکل T به دست آمده است. در بخش شمالی حیاط، یک تالار سراسری وجود دارد که بلندترین بخش تپه را اشغال کرده است، و به محل آتشگاه در خط الرأس تپه می رسد. مصالح اصلی بنا به طور کلی خشت است؛ هرچند به ندرت از سنگ، و ظاهراً آجر نیز استفاده شده

جدول شماره ۱: ریخت شناسی خشت‌های به کار رفته در بنای قلعه سام، کوه خواجه سیستان.

عوامل مورد بررسی در ریخت شناسی	مشخصات
ابعاد	۴۰×۴۰×۱۰ ۳۸×۳۸×۸ ۳۸×۳۸×۵
بافت	* همگن و یکدست، بدون مواد افزودنی * ناهمگن و همراه با خرده سنگ و آجر
رنگ	* متمایل به قهوه ای * متمایل به قرمز * قهوه ای روشن با ته رنگ خاکستری
فرم	* فرسایش یافته با فرم نامشخص * فرسایش یافته. با بافت متلاشی شده و ترک خورده
عملکرد	* برپاسازی کالبد بنادر قلب جزرها و پوشش‌های قوسی شکل

ع - فن شناسی خشت‌ها

اطلاعات به دست آمده از بررسی‌های میدانی و نتایج آزمایشگاهی، پس از پردازش به صورت زیر خلاصه شده‌اند:

الف. خشت‌های به کار رفته در بنا، از تنوع رنگی محسوسی برخوردارند، که می‌تواند نشان دهنده بهره‌گیری از خاک‌های مختلف برای ساخت خشت‌ها باشد.

ب. خشت‌هایی که در آنها از خرده آجر یا خرده سنگ استفاده شده است، حجم بسیار کمتری نسبت به سایر انواع خشت‌ها دارند و ابعاد آنها ۳۵×۳۵×۸ می‌باشد، که مطمئناً متعلق به دوره اسلامی می‌باشند. ابتکار چنین خشت‌هایی می‌تواند برای اصلاح رفتار خشک شدن و کنترل ترک خوردگی خشت‌ها، یا به احتمال ضعیف، برای صرفه‌جویی در خاک مصرفی باشد.

ج. خشت‌های بکار رفته در بخش‌های مختلف بنا، تفاوت محسوسی از حیث تراکم منافذ سطحی با یکدیگر دارند. مسلماً شکل معماری، ارتفاع، و فرآیند فرسایش؛ در چنین پدیده‌ای مؤثر است.

د. چنین به نظر می‌آید که برای افزایش مقاومت فشاری، و اصلاح رفتار خشک شدن خشت‌ها، از ماسه نیز بهره‌گرفته شده است.

ه. میزان مرغوبیت خشت‌ها، از لحاظ بافت ظاهری، بسته به محل مورد استفاده در بنا، تفاوتی چشمگیر و هدفدار را نشان می‌دهد. به نظر می‌آید که خشت‌های با ترکیب خاک همگن، در نقاط مهم اثر بکار رفته‌اند.

و. الگوی مشخصی برای ترک خوردگی و فرسایش خشت‌ها

نمی‌توان متصور شد؛ و این شاید ناشی از تفاوت‌های ساختاری و توزیع دانه بندی آنها نیز باشد.

ز. در بافت داخلی خشت‌ها، تخلخل زیادی دیده می‌شود که می‌تواند ناشی از اضمحلال برخی از عناصر سازنده آنها باشد.

ح. در توزیع دانه بندی خشت‌ها نیز تفاوت‌های محسوسی به چشم می‌آید؛ که می‌تواند با ذخایر خاک مناسب در محل، ارتباط داشته باشد.

ط. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که در نمونه‌هایی که توزیع دانه بندی متناسبتر است یا به عبارتی دیگر، خشت همگن است؛ مقاومت فشاری نیز افزایش یافته است.

ی. نتایج مربوط به اندازه‌گیری حدود آتربرگ (حد روانی، حد خمیری، شاخص خمیری) برای خشت‌ها نشان می‌دهند که در همه نمونه‌ها، درصد ذرات رس (کوچکتر از ۲ میکرون) بسیار اندک است؛ ولی در عوض مقدار زیادی ماسه وجود دارد.

ک. آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهند که اجزای اصلی خشت‌ها را کلسیت و کوارتز تشکیل داده‌اند، و کانی‌های رسی و فلدسپات به میزان ناچیزی در نمونه‌ها دیده می‌شوند. همگی خشت‌ها از نظر مقدار کانی‌های رسی مرغوب، فقیر هستند در حالی که کانی‌های هالیت و ژیبس به وفور یافت می‌شوند.

ل. مشاهدات میدانی و نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهند که برای ساخت خشت‌ها، هم از خاک‌های رودخانه‌ای و هم از خاک‌های سازندی بهره‌گرفته شده است.

۵ - آسیب شناسی خشت‌ها

نتایج به دست آمده از بررسی‌های میدانی، در خصوص آسیب‌های وارده به بنا، پس از پردازش به صورت زیر خلاصه شده‌اند:

الف. مهمترین آسیب‌های وارده، بر حسب شدت و وسعت و به ترتیب اهمیت عبارتند از:

اول. آب شستگی؛ ناشی از نیروی مکانیکی رگبار و باران.

دوم. پوسته شدن و پودره شدن؛ ناشی از پدیده مکث رطوبت در خشت.

سوم. ترک خوردگی؛ ناشی از تکرار سیکل‌های متناوب تر و خشک شدن، و نوسان زیاد دما و رطوبت.

چهارم. از هم پاشیدگی؛ ناشی از بافت متخلخل خشت‌ها، توام با ضربات مکانیکی باران، در پای دیواره‌ها.

پنجم. شوره زنی؛ ناشی از وفور نمک‌های محلول در ساختار خشت‌ها و قرارگیری مصالح در معرض رطوبت.

ب. شدت و نوع آسیب‌ها، بستگی کامل به محل مورد استفاده در بنا دارند. به نظر می‌آید که آب شستگی در اکثر خشت‌ها مشهود است و در نقاط مرتفع بنا به خاطر وجود باد، شدت

ماده استحکام بخش، مورد نظر قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های اولیه، نهایتاً حکایت از آن داشت که ترکیب زیر برای برآوردن توقع ما از یک خشت اصلاح شده، کافی به نظر می‌رسد:

- خاک سازندی موجود در محل با افزودن کانی‌های رسی مرغوب (کوچکتر از ۲ میکرون) و فلدسپات، به میزان ۵ درصد وزنی؛ به منظور افزایش چسبندگی ذرات خاک، افزایش مقاومت کششی خشت‌ها، و کنترل جمع شدن و ترک برداشتن خشت‌ها پس از خشک شدن.

- ماسه (۲ میکرون تا ۲ میلی متر)، تا ۱۲ درصد وزنی؛ برای ایجاد استخوان بندی مناسب برای خشت‌ها.

- موی بز، ۵ درصد وزنی؛ به جهت کاستن از میزان ترک‌پذیری خشت‌ها.

- کاه، ۷ درصد وزنی؛ برای افزایش پیوند ذرات خاک.

- خرده آجر یا خرده سنگ (با قطر حداکثر ۷ میلی متر)، تا ۱۰ درصد وزنی؛ برای افزایش مقاومت فشاری خشت‌ها.

- مقدار نام لازم برای تهیه خشت‌ها، ۱۰ تا ۱۵ درصد وزنی.

پس از رسیدن به ترکیب بهینه مورد نظر، تعدادی نمونه از خشت‌های اصلاح شده، و از خشت‌های معمولی (با خاک محل) به

ابعاد $40 \times 40 \times 10$ سانتی متر تهیه گردید و بر روی آنها آزمایش‌هایی صورت گرفت که نتایج حاصل از آنها در جدول شماره دو آمده است. ذکر این نکته نیز ضروری است که هر کدام از اعداد مندرج در جدول شماره دو، میانگین به دست آمده از داده‌های حاصل از سه نمونه می‌باشد، که با دقت $0/01$ محاسبه شده‌اند.

بیشتری داشته است.

ج. پدیده ترک‌خوردگی خشت‌ها، اغلب در جبهه جنوبی بنا دیده می‌شود.

د. پوسته شدن و پودره شدن خشت‌ها، بیشتر در جبهه شمالی و شمال غربی به چشم می‌آیند.

ه. شوره زدن، پدیده غالب بدنه جنوب غربی (و شمال شرقی، خارج از قلعه) می‌باشد.

و. پدیده از هم پاشیدگی خشت‌ها، عموماً در نواحی سایه گیر بنا رخ داده است.

۶- مطالعات آزمایشگاهی

نتایج حاصل از مشاهدات میدانی، بررسی‌های محیطی، و آزمایش‌های صورت گرفته بر روی خشت‌های قدیمی؛ همچنین تحت نظر داشتن فرآیند فرسایش در محوطه تاریخی کوه خواجه (به مدت سه سال متوالی)، نشان می‌دهد که باید در مورد چگونگی تهیه خشت مورد نیاز برای مرمت بنا، ملاحظاتی صورت گیرد. این ملاحظات، در واقع عبارتند از ارایه ترکیبی بهینه برای ساخت خشت‌هایی که پس از بکارگیری در جریان مرمت، مشکلات کمتری را نسبت به خشت‌های فرسوده موجود (و البته، خشت‌های معمولی) داشته باشند.

به همین منظور و برای دستیابی به فرمولاسیون جدیدی برای خشت اصلاح شده، مطالعات آزمایشگاهی اولیه ای صورت گرفت؛ که در آن ترکیب خاک مناسب، نوع و میزان بهینه و اقتصادی مواد استحکام بخش، و شرایط ساخت و عمل آوری نمونه‌ها، مورد توجه واقع شد. همچنین بعضی ملاحظات زیست محیطی نیز در انتخاب

جدول شماره ۲: مقایسه موارد آزمایش شده، بر روی نمونه‌های خشت معمولی و خشت اصلاح شده.

نمونه خشت اصلاح شده	نمونه خشت معمولی	آزمایش‌های صورت گرفته
۰	۴	مقایسه تعداد ترک‌ها در نمونه
۰	۵/۱۰	مقایسه حداکثر طول ترک‌ها، بر حسب سانتی متر
۰	۲/۳۰	مقایسه حداکثر پهناي ترک‌ها، بر حسب میلی متر
۶/۶۲	۲۳/۱۲	مقایسه انقباض حجمی، بر حسب سانتی متر مکعب
۱/۵۱	۱/۷۱	مقایسه وزن فضایی، بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب
۶۷/۵۰	۴۳/۹۰	مقایسه مقاومت فشاری در وضعیت خشک، بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع؛ تحت فشار ۴۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع
۵۸/۶۴	۳۷/۱۰	مقایسه مقاومت فشاری در وضعیت مرطوب، بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع؛ تحت فشار ۴۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع
۸/۵۴	۷/۹۷	مقایسه مقاومت خمشی، بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع
۲۴	۱۶	مقایسه مقاومت ضربه پذیری، بر حسب تعداد ضربه
۳۹/۱	۱۸/۷	مقایسه مقاومت سایشی، بر حسب گرم
۲/۱	۸/۳	مقایسه سرعت نفوذ و صعود آب، بر حسب سانتی متر
نامحدود	۱۷	مقایسه میزان تحمل و سرعت از هم پاشی در زیر آب (غوطه وری)، بر حسب دقیقه
ناچیز	۲۱۳	مقایسه میزان فرسایش در برابر فشار پاریکه آب، بر حسب گرم؛ در مدت زمان سه دقیقه
ناچیز	۳۰۲	مقایسه میزان فرسایش در آزمون آب فشانی، بر حسب گرم؛ در مدت زمان سه دقیقه

نتیجه گیری

بهره گیری از ضایعات کشاورزی و دامپروری رایج در منطقه سیستان، علاوه بر جنبه های اقتصادی، باید از منظر معیارهای زیست محیطی نیز مورد توجه قرار گیرد. مسلماً حفظ میراث فرهنگی کشور، بدون مطالعات دقیق علمی، و بدون توجه به سایر حوزه ها، از جمله اقلیم منطقه، مسایل اقتصادی، و الزامات زیست محیطی ممکن نخواهد بود.

چهارده مورد آزمایش انجام شده در این پژوهش، عمدتاً مهمترین آزمایش هایی هستند که می توانند در تعیین کیفیت یک خشت مؤثر باشد. آزمایش ها و مطالعات انجام شده نشان می دهند که خشت اصلاح شده با ترکیب پیشنهادی، در تمام موارد آزمایش شده، کیفیت بهتری در مقایسه با خشت معمولی دارد. این موضوع لزوم بکارگیری خشت های اصلاح شده را در مرمت بنای خشتی قلعه سام، و سایر آثار خشتی کوه خواجه نشان می دهد.

پی نوشت ها:

- ۱- رک: Goldsmid, F.G. (1863): Diary of Proceedings of Misson into Mekran etc., J.R.G.S. .
 ۲- رک: Kawami, Trudy S. (1987): Kuh-e-Khwaja, Iran and its Wall Paintings, Metropolitan Museum Journals, No.22.
 در این شماره از مجله موزه متروپولیتن، کتابشناسی تقریباً کاملی از کوه خواجه نیز آمده است. همچنین رک:
 Stein, A. (1916): A Third Journey of Exploration in Central Asia, G.J., vol 48.
 ۳- رک: Herzfeld, E. (1932): Sakastan Geschichtliche unter Suchungen zu den aus Grabungen auf dem Kuhu Kwadja dans .
 Archaologische Mitteilungen aus Iran, vol. 4, pp. 1- 116
 Herzfeld, E. (1941): Iran in the Ancient East; London.
 و همچنین رک:
 ۴- رک: Gullini, G. (1964): Palazzo di Kuh-i-Khwagia(Seistan), Firenze, Rome .
 ۵- رک: موسوی، سید محمود (۱۳۷۵).
 ۶- هرچند از گنبد آتشگاه، امروزه به جز نشانه هایی از گوشه سازیهای آن چیزی باقی نمانده است، ولی بدون شک باید آن را جزء نخستین گنبد های ایران به شمار آورد.
 ۷- بخشی از نقاشی های دیواری این بنا، توسط اشتاین به موزه ملی دهلی نو منتقل شد. بخشی دیگر، یعنی نقاشی های راهرو و دالان جنوبی آتشگاه، توسط هرتسفلد به برلین؛ و دو قطعه آن به موزه متروپولیتن نیویورک منتقل گردید.

فهرست منابع:

- افشار سیستانی، ایرج (۱۳۶۹)، "سیستان نامه"، دو جلد، ناشر مؤلف، تهران.
 باباخانی، آیلین (۱۳۷۸)، "کوه خواجه، یادمانی اسرار آمیز"، ساختار، ش ۳، ص ۹.
 پرادا، ایدت (بی تا)، "هنر ایران باستان"، ترجمه یوسف مجیدزاده، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
 پیرنیا، محمد کریم (۱۳۸۰)، "سبک شناسی معماری ایرانی"، تدوین غلامحسین معماریان، نشر پژوهنده و نشر معمار، تهران.
 تاجبخش، احمد (۱۳۵۵)، "تاریخ مختصر تمدن و فرهنگ ایران"، دانشگاه ملی، تهران.
 تیت، جی. بی. (۱۳۶۴)، "سیستان"، ترجمه سید احمد موسوی، دو جلد، اداره کل ارشاد اسلامی سیستان و بلوچستان، زاهدان.
 جمعی از خاورشناسان (۱۳۶۶)، "میراث ایران"، ترجمه چند مترجم، بنگاه ترجمه و نشر کتاب، تهران.
 حامی، احمد (۱۳۶۹)، "مصالح ساختمان"، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
 رحمانی، رضا (۱۳۸۲)، "بررسی تزیینات گلی بر روی ساختارهای خشتی به جا مانده در کوه خواجه"، پیش چاپ مقالات نهمین کنفرانس بین المللی مطالعه و حفاظت معماری خشتی، سازمان میراث فرهنگی کشور، تهران، ص ۱۴۰ - ۱۲۵.
 زرین کوب، عبدالحسین (۱۳۶۴)، "تاریخ مردم ایران قبل از اسلام"، امیرکبیر، تهران.
 زمرشیدی، حسین (۱۳۷۷)، "معماری ایران، مصالح شناسی سنتی"، انتشارات زمر، تهران.
 سازمان میراث فرهنگی کشور (۱۳۸۲)، پیش چاپ مقالات نهمین کنفرانس بین المللی مطالعه و حفاظت معماری خشتی، تهران.
 سید سجادی، سید منصور (۱۳۷۴)، "باستان شناسی و تاریخ بلوچستان"، سازمان میراث فرهنگی کشور، تهران.
 کالج، مالکوم (۱۳۵۳)، "پارتیان"، ترجمه مسعود رجب نیا، سحر، تهران.
 کرمانی، ذوالفقار (۱۳۷۴)، "جغرافیای نیمروز"، به کوشش عزیزالله عطاردی، نشر عطارد، تهران.
 گیرشمن، رمان (۱۳۵۰)، "هنر ایران در دوران پارتی و ساسانی"، ترجمه بهرام فره وشی، بنگاه ترجمه و نشر کتاب، تهران.
 گیرشمن، رمان (۱۳۶۴)، "ایران از آغاز تا اسلام"، ترجمه محمد معین، انتشارات علمی و فرهنگی، تهران.
 لوکاماریانی، ریگولی.گ. (۱۳۷۵)، "بازپیرایی در دهانه غلامان و کوه خواجه"، ترجمه سید احمد موسوی، سازمان میراث فرهنگی کشور، تهران.
 موسوی، سید محمود (۱۳۷۵)، "یادمان خشتی کوه خواجه زابل و خلاصه ای از نتایج مطالعات و کاوشهای انجام شده در آن"، مجموعه مقالات اولین کنگره تاریخ معماری و شهرسازی ایران، پنج جلد، سازمان میراث فرهنگی کشور، جلد چهارم، تهران، ص ۹۸-۶۷.
 نفیسی، نوشین دخت (۱۳۶۶)، "بررسی هنری و بازسازی دیوارنگاره های کوه خواجه"، موزه ها، ش ۲۸ (ش ۷ دوره جدید)، ص ۴۵-۴۸.
 هرتسفلد، ارنست (۱۳۵۴)، "تاریخ باستانی ایران"، ترجمه علی اصغر حکمت، انتشارات انجمن آثار ملی، تهران.

Goldsmid, F.G. (1863), "Diary of Proceedings of Misson into Mekran etc.", J.R.G.S. .

Gullini, G. (1964), "Palazzo di Kuh-i-Khwagia(Seistan)" Firenze, Rome .

Herzfeld, E. (1932), "Sakastan Geschichtliche unter Suchungen zu den aus Grabungen auf dem Kuhu Kwadja dans Archaologische Mitteilungen aus Iran", vol. 4

Herzfeld, E. (1935), "Archaeological History of Iran", London .

Herzfeld, E. (1941), "Iran in the Ancient East", London .

Kawami, Trudy S. (1987), "Kuh-e-Khwaja, Iran and its Wall Paintings", Metropolitan Museum Journals, No.22 .

Stein, A. (1916), "A Third Journey of Exploration in Central Asia", G.J., vol 48 .