



برگزیده مقالات اولین و دومین همایش ملی

کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی

به کوشش: مهدی رازانی و بهرام آجورلو

۱۳۹۱-۱۳۹۲

برگزیده‌ی مقالات اولین و دومین همایش ملی
کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و
مرمت میراث فرهنگی

دانشگاه هنر اسلامی تبریز
(۲۵ و ۲۶ اردیبهشت ۱۳۹۲-۱۳۹۱)

به کوشش
مهدی رازانی و بهرام آجورلو



دانشگاه هنر اسلامی تبریز

۱۳۹۳

سرشناسه	: همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی (نخستین: ۱۳۹۱: تبریز)
عنوان و نام پدیدآور	: برگزیده‌ی مقالات اولین و دومین همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی.../ به کوشش مهدی رازانی، بهرام آجورلو.
مشخصات نشر	: تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ۴۱۵ ص: مصور (رنگی)، جدول، نمودار: ۲۲×۲۹ س.م.
شابک	: 978-600-93946-8-5
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: باستان‌سنجی -- ایران -- کنگره‌ها
موضوع	: آثار فرهنگی -- ایران -- نگهداری و مرمت -- کنگره‌ها
شناسه افزوده	: آجورلو، بهرام، ۱۳۵۴ - گردآورنده
شناسه افزوده	: رازانی، مهدی، ۱۳۶۳ - گردآورنده
شناسه افزوده	: همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی (دومین: ۱۳۹۲: تبریز)
رده بندی کنگره	: ۸۱۳۹۳۵/۷۵/۷CC
رده بندی دیویی	: ۹۳۰/۱۰۲۸
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۷۵۶۵۵۲



برگزیده‌ی مقالات اولین و دومین همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی
در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی دانشگاه هنر اسلامی تبریز
۱۳۹۱-۱۳۹۲

مهدی رازانی و بهرام آجورلو (به ویرایش)

ناشر: دانشگاه هنر اسلامی تبریز، نشر الکترونیک
نوبت چاپ اول: ۱۳۹۳
تعداد صفحه و قطع: - وزیری

امور فنی و نظارت بر آماده سازی: مؤسسه فرهنگی میراث مهر آفرین
(با همکاری: سحر احمد خان بیگی، نگار کاظمی پور و سمیرا جعفری)

تبریز، خیابان آزادی، میدان حکیم نظامی، صندوق پستی، ۴۵۶۷-۵۱۳۸
کد پستی: ۵۱۶۴۷۳۶۹۳۱؛ تلفن: ۰۴۱)۳۵۴۱۹۹۷۰
research@tabriziau.ac.ir

فهرست مندرجات

پیشگفتار

بیانیه‌ی تبریز

بخش اول: برگزیده‌ی مقالات باستان‌سنجی

- ۱-۱۶ نشر القائی اشعه‌ی ایکس القائی پروتن (PIXE)
روشی غیرتخریبی برای تجزیه و تحلیل مواد در باستان‌سنجی
مسعود باقرزاده کثیری
- ۱۷-۳۵ منشاء یابی اُبسیدین‌های یافته‌شده از کاوش تپه بوینو خدا آفرین آذربایجان
به‌روش PIXE
سمیه نوری، کمال‌الدین نیکنامی، بهرام آجورلو، محمد علیزاده سولا
- ۳۷-۵۷ فرآیند گذار از عصر مفرغ به عصر آهن بر اساس مطالعات آزمایشگاهی
سفال‌های تپه سگزآباد دشت قزوین
حسن طلایی، احمد علی یاری
- ۵۹-۸۷ تحلیل داده‌های سنجش از راه دور (ژئوماتیک) در بررسی‌های
آرکئومتالورژی معادن باستانی محدوده‌ی جیان و فریادان در استان فارس
سید محمد امین امامی، بامشاد یغمایی
- ۸۹-۱۰۵ مطالعات اولیه زمین‌باستان‌شناسی بر روی مواد و مصالح خاکی
(موضوع موردی: بررسی مواد و مصالح به کار رفته در کهن‌دژ و ارگ تاریخی توس)
معین اسلامی
- ۱۰۷-۱۳۲ جعل و تقلب در آثار باستانی و هنرهای تجسمی
(مفاهیم، گونه‌شناسی، سرنوشت قانونی و روش‌های بررسی)
مهدی رازانی، بهناز نصیرزاده
- ۱۳۳-۱۴۹ گاه‌شناسی درختی و اصول آن در مطالعه‌ی آثار تاریخی
محسن محمدی آچالویی، محمد معین دلداز

بخش دوم برگزیده‌ی مقالات حفاظت و مرمت میراث فرهنگی

- ۱۶۴-۱۵۱ مروری بر کاربرد روش‌های الکتروشیمیایی در حفاظت و مرمت آثار تاریخی فلزی
حمیدرضا بخشنده فرد
- ۱۹۸-۱۶۵ مروری بر روش‌های آنالیز بست در نقاشی
امیرحسین کریمی، غلامرضا وطنخواه
- ۲۲۹-۲۰۹ ردیابی فناوری ساخت در ریزساختارهای آثار فلزی تاریخی
محمد مرتضوی
- ۲۴۸-۲۳۱ بررسی و امکان‌سنجی استفاده از عسل میمند فارس به‌عنوان بازدارنده‌ی طبیعی خوردگی در حفاظت اشیاء برنزی تاریخی
وحید پورزرقان
- ۲۶۷-۲۴۹ لزوم به کارگیری مطالعات مکانیسم تخریب در معماری صخره‌کند روستای کندوان
مهدی رازانی، سیدمحمد امین امامی، علیرضا باغبانان، خوزه دلگادو رودریگوئز
- ۲۸۴-۲۶۹ ارزیابی روش‌های استحکام‌بخشی جهت بهبود مشخصات مقاومتی سنگ‌های آهکی لوماشل
احسان محمدی، علیرضا باغبانان، فرشاد رضانی‌فر، حمید هاشم‌الحسینی، مهدی رازانی
- ۳۰۷-۲۸۵ نقدی بر روش‌های حفاظت و مرمت تزئینات در مسجد مظفریه تبریز
سعید مهریار، مهدی رازانی
- ۳۳۳-۳۰۹ مطالعه و بررسی فنی لایه‌های دیوارنگاره‌ی سقف گنبد بقعه‌ی سیدرکن الدین یزد
یاسر حمزوی، رسول وطن‌دوست
- ۳۵۹-۳۳۵ مطالعات فن و آسیب‌شناسی یک نمونه تاپستری از مجموعه‌ی تاپستری‌های کاخ موزه‌ی نیاوران
مینا ناظر، محمد مرتضایی
- ۳۷۶-۳۶۱ مروری بر فنون و روش‌های طلاکاری آثار فلزی تاریخی
محمد مرتضوی، محمدعلی گل‌عذار، احمد صالحی کاخکی

مطالعات اولیه زمین باستان‌شناختی مواد و مصالح خاکی؛ مطالعه موردی: بررسی مواد و مصالح به کار رفته در کهن‌دژ و ارگ تاریخی توس

معین اسلامی

دانشجوی دکتری دانشگاه گوته فرانکفورت، آلمان
(مکاتبات: moein.eslami@stud.uni-frankfurt.de)

چکیده

در این پژوهش مواد و مصالح خاکی مورد استفاده در شهر تاریخی توس مورد مطالعات باستان‌سنجی قرار گرفته تا ضمن کسب اطلاعات باستان‌شناسی از تکنیک و سیستم ساخت، با استفاده از این اطلاعات، پروسه مرمتی دقیق‌تری برنامه‌ریزی گردد. این بررسی در زمان اجرا با هدف امکان‌سنجی و روش‌شناسی کسب اطلاعات ضروری در باستان‌شناسی و مرمت اجرا شده است و طبق گفتگوهای انجام شده قرار بر این بوده است تا پروژه نهایی در ابعاد وسیع‌تری به انجام برسد. لذا نتایج در حکم گزارش اولیه است. در این راستا از روش‌های فلورسانس اشعه ایکس^۱، پراش پرتو ایکس^۲، آزمایشات خاک‌شناسی و بررسی‌های میکروسکوپی استفاده شده است. در مجموع این بررسی‌ها نشان دهنده احتمال ساخت هماهنگ و هم‌زمان بخش‌های مورد مطالعه است. در عین حال عدم کنترل کیفیت در تهیه مصالح به کار رفته نیز کاملاً مشهود است. ترکیب مینرالی این مصالح نیز عمدتاً کانی‌های حد واسط بوده که منجر به ایجاد مصالحی با کیفیت مهندسی پایین و ضریب فرسایش بالا شده است.

واژگان کلیدی: زمین‌باستان‌شناسی، باستان‌سنجی، مصالح خاکی، توس، تکنیک ساخت.

۱- مقدمه

چند دهه‌ای است که مواد و مصالح ساختمانی به‌عنوان ماده تشکیل دهنده ساختار یادمان‌ها و میراث فرهنگی بشری مورد بررسی‌های دقیق علمی قرار می‌گیرند. گرچه عمده چنین بررسی‌هایی بر مصالح سنگ، آجر، آهک و گچ انجام شده‌اند؛ اما اخیراً ساختار ترکیبات مصالح خاکی نیز با روش‌های مختلف علمی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (Balsam et al. 2007); (Shane. Rumsey, Patrick Drohan 2011) در این راستا، اهداف مختلفی را برای این مطالعات می‌توان در نظر داشت. شناخت بهتر مواد اصلی و تلاش برای حذف عامل تخریب (Friesem et al. 2011)، تهیه و ساخت مواد مرمتی سازگار با شرایط مصالح اصلی، (Binici et al. 2005); (Degirmenci 2008) شناخت ویژگی‌های تکنولوژیکی و منشأ مواد خام مورد استفاده (Yerkes et al. 2007) از مهم‌ترین موارد هستند. به‌طور کلی می‌توان جهت، روش و اهداف مطالعات معماری خشتی و خاکی را به دو بخش عمده تقسیم نمود که هر یک نیازمند متدولوژی و نحوه برخورد علمی خاص خود است. بخش اول معماری خشتی مدرن است که اغلب با روش‌های علمی کاربردی در علوم ساختمان بررسی می‌شود. با اهمیت یافتن مجدد خاک به عنوان منبع پایدار و پاک در ساخت و ساز، طیف گسترده‌ای از آزمایشات به‌جهت بهبود کیفیت خاک در حال و مصالح انجام می‌شوند. قسمت دوم که در واقع به بررسی ماده به‌کار رفته در یادمان‌های تاریخی فرهنگی و به‌طور عمده بقایای باستان‌شناسی می‌پردازد، در شاخه‌ای با نام زمین‌باستان‌شناسی مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند. هدف از این رشته به‌طور کلی استخراج اطلاعات باستان‌شناسی از لایه‌ها و رسوبات باقی مانده در محوطه‌های باستانی به‌منظور فهم بهتر نحوه تأثیر بشر بر محیط طبیعی پیرامونش با استفاده از روش‌های زمین‌شناسی است (French, Charles 2003) اگرچه در ابتدای رواج این کلمه در اوایل دهه ۷۰ میلادی، مرز مشخصی برای زمین‌باستان‌شناس نسبت به باستان‌شناس وجود نداشت (Rapp 1998)، اما اکنون زمین‌باستان‌شناسی منحصراً به مطالعه خاک و لایه‌های رسوبی به‌منظور کشف حقایقی از فعالیت‌ها و تغییرات انجام گرفته شده توسط انسان بر محیط پیرامونش می‌پردازد. یکی از مهم‌ترین اهداف زمین‌باستان‌شناسی، بازسازی و تشریح نحوه شکل‌گیری تپه‌ها و محوطه‌های باستان‌شناسی است که طبعاً نیازمند روش‌های ویژه برای بررسی حجم زیادی از نمونه‌های خاک و لایه‌های رسوبی پراکنده شده در محوطه باستان‌شناسی

است (Butzer et al. 2013). مواد و مصالح خاکی مانند خشت، چینه، ملات و اندود، مکشوفه در محوطه‌های باستان‌شناسی به دلیل ماهیت ساختاری، بیشتر از گذشته در حیطه شاخه زمین باستان‌شناسی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. نه تنها به دلیل داشتن اطلاعات جامعی در ارتباط با تکنیک کلی ساختمان و مواد مورد استفاده در گذشته به دست می‌دهند، بلکه در مقیاس وسیع‌تر حاوی اطلاعات مهمی از سازندگان آنها در مورد نحوه تعامل با محیط زیست در استخراج منابع، نحوه مدیریت و بهینه‌سازی مواد مورد نیاز و یا حتی اطلاعاتی از نحوه زندگی و ارتباطات اجتماعی جوامع مورد بررسی هستند (Rosen 1986). به خصوص در چند سال اخیر با توسعه بیشتر روش‌های تحلیل زمین باستان‌شناسی، محققان بیشتری از این پتانسیل در کسب اطلاعات باستان‌شناسی از مصالح خاکی استفاده می‌کنند. "سرنا لاو" با مطالعه میکرومورفولوژی^۳ و مینرالوژیکی^۴ خشت‌های محوطه باستانی چاتل هیوک^۵ به این موضوع پی برده است که مدیریت ساخت و ساز در دوره نوسنگی نه به طور واحد و متمرکز توسط استادکاران که در واقع به صورت گروه‌های کوچک و غیر متمرکز به انجام رسیده اند (Love 2012). یا در پژوهش دیگر، محقق توانسته از طریق ژئومورفولوژی کیفیت مصالح خاکی به کار رفته در سراسر محوطه، فهم بهتری از کاربرد فضا و مکان به دست آورد (Matthews 2005). در مورد دیگر بررسی لایه‌های استفاده شده پی در پی اندود، در سراسر محوطه تاریخی، تصویر بهتری از دوره‌های زمانی احتمالی کل محوطه و ارتباط بخش‌های مجزا با یکدیگر به دست داده است (Boivin 2000). در تمام این پژوهش‌ها هدف تنها شناخت بهتر تکنیک معماری نبوده است بلکه تلاش شده است اطلاعاتی از سازندگان به دست آید. در واقع آنچه به تلی خاک بها داده است نه صرفاً خاک یا ساختمان که سازندگان و استفاده کنندگان خاک است. شاید به نظر برسد آنچه در اینجا انجام شده است تفاوتی با موضوع رشته باستان‌سنجی ندارد. نگارنده نیز با این سخن موافق است اما باید متذکر شد که تمرکز اصلی زمین باستان‌شناسی خاک و متعلقات آن است. این مقاله تلاش دارد تا با کاربرد روش‌های رایج در مطالعات زمین باستان‌شناسی، به کسب نتایج باستان‌شناسانه بپردازد. بدیهی است که از چنین داده‌هایی می‌توان در درک شرایط حفاظت بهتر نیز استفاده نمود.

۲- محوطه تاریخی توس

محوطه تاریخی توس آنچنان که در منابع آمده است، یکی از چهار ولایت معروف توس با نام تابران توس است که بین رشته کوه های الله اکبر و بینالود، در ۳۰ کیلومتری

(۹۲) همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی

مشهد امروزی و در کنار رود تاریخی حماسی کشف رود واقع شده است (سیستانی ۱۳۷۸). این محوطه بعدها با تغییر نام سه ولایت دیگر تنها با نام توس معروف شده است. محوطه تاریخی توس در عرض جغرافیایی $29^{\circ}36'11''N$ و طول $59^{\circ}30'46''E$ با ارتفاع حدود ۱۰۰۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. با وجود وسعت گسترده شهر توس در گذشته، امروزه تنها بخش کوچکی از آن در معرض دسترسی قرار دارد. از جمله می‌توان به حصار پیرامونی، بنای ارگ و کهن دژ محوطه تاریخی توس اشاره نمود (تصویر ۱).



تصویر ۱. موقعیت ارگ و کهن‌دژ شهر توس نسبت به محوطه آرامگاه فردوسی. (الف) آرامگاه فردوسی (ب) ارگ (ج) کهن‌دژ (Google earth, 2012)

۱-۲ نمونه‌برداری

نمونه‌برداری‌ها به روش‌های مختلفی در محوطه‌های تاریخی انجام می‌شود. اما نکته مهم در مورد نمونه‌برداری رعایت دقت در انتخاب محل است که تا جای ممکن قابل تعمیم به کل محوطه باشد. بر این اساس دو نوع کلی نمونه‌برداری شامل نمونه‌برداری انتخابی و تصادفی معرفی شده است (Torraca 2009). از آن‌جا که در مطالعه تکنیک ساخت خشت‌های تاریخی نمی‌توان در تمام بخش‌های بنا به مصالح سالم و بدون فرسایش دسترسی داشت، لذا نمونه‌برداری انتخابی بهترین روش برای حصول نتیجه مناسب است. در این راستا تلاش شده است تا با انتخاب محل‌های شایسته از نظر اصالت، قدمت و عدم وجود فرسودگی‌های موضعی، نمونه‌ها از دقت و عمومیت کافی برخوردار باشند. در مجموع ۱۸ نمونه از خشت، چینه، ملات و دو نمونه خاک کهن دژ و ارگ برداشته شده‌اند.

جدول ۱. مجموع نمونه‌های برداشته شده از ارگ و کهن‌دژ به همراه مشخصات ظاهری		
مشخصات ظاهری	نوع و محل نمونه‌ها	کد گزاری
		KAI1
بافت ریزدانه همگن شامل قطعات سفال و آجر، استفاده گسترده از خاکستر و زغال	خشت از کهن دژ	KAI2
		KEA1
		KEA2
بافت ریزدانه، شامل قطعات سنگریزه رودخانه‌ای، ناهمگن		KMI1
	ملات از کهن دژ	KMI2
		KME1
		KME2
بافت درشت‌دانه‌تر از کهن‌دژ، کاربرد فراوان زغال و رسوبات رودخانه‌ای		AAN
		AAB
	نمونه خشت ارگ	AAS
		AAE
بافت کاملاً ریزدانه فاقد ماسه، فاقد استحکام ، بافت کاملاً یکنواخت ریزدانه بدون خورده سفال، سنگریزه و زغال	خشت و ملات مرمرتی	KAN
		KMN
	اندود و چینه در کهن دژ	KP
		CH
	نمونه خاک از محل محوطه	H
		N



تصویر ۲. طرح شماتیک از موقعیت ارگ در مرکز و کهن دژ در گوشه شمال غربی. (ماخذ: پایگاه میراث فرهنگی توس)

۳ - روش‌های آزمایشگاهی

۳-۱ تعیین دانه‌بندی و ضریب پلاستیک مصالح

تعیین دانه‌بندی مصالح خاکی اطلاعات مفیدی در مورد میزان همگنی، شباهت و جزئیات ساختاری به‌دست می‌دهد. بر این اساس تعیین کیفیت پراکندگی اندازه ذرات در مصالح خاکی، اولین قدم برای پیش‌بینی خواص فیزیکی احتمالی از جمله خاصیت موئینه و نفوذپذیری آن به حساب می‌آید (Avrami et al. 2008). به‌طور کلی، ۲ روش برای جداسازی بخش درشت دانه (سنگریزه و ماسه) از بخش ریزدانه (سیلت و رس) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش با استفاده از استاندارد ASTM-D2488 از روش الک خشک برای جداسازی ذرات بزرگ تر از ۰.۷۵ میلی‌متر و روش الک خیس برای جدا سازی سیلت و رس و همچنین از هیدرومتر نوع ۱۵۲ برای تعیین نسبی

درصد رس و سیلت استفاده شده است. از آنجا که تنها درصد بالای ذرات رس نمی‌تواند گویای کیفیت خاک مورد نظر از لحاظ کیفیت فیزیکی مورد استفاده در ساخت و ساز باشد، در اینجا از باقی مانده خاک عبور کرده از الک شماره ۴۰ و طبق دستورالعمل ASTM-D4318-87 برای تعیین حدود اتربرگ حد روانی، حد خمیری و همچنین شاخص پلاستیک استفاده شده است. نتایج در ادامه به صورت نمودارهای لگاریتمی آورده شده است.

۳-۲ آزمایشات مینرالوژیکی و شیمیایی

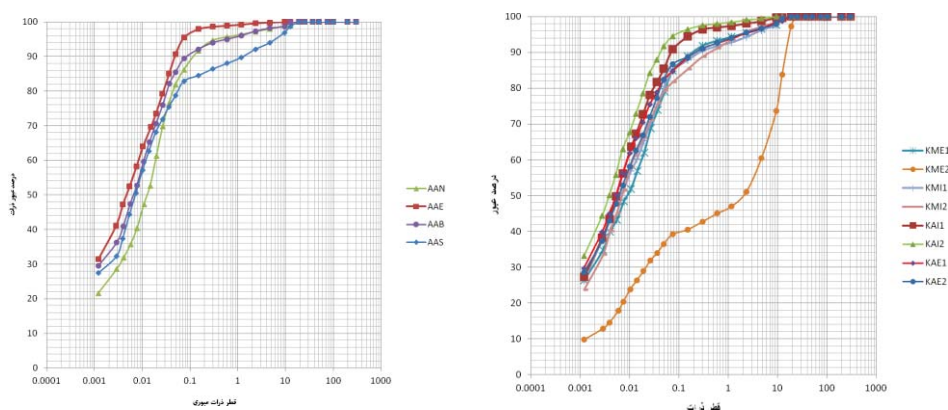
استفاده از پراش پرتو X و فلورسانس اشعه X به دلیل مزایای فراوان امروزه از تکنیک‌های پر کاربرد در مطالعه مواد و مصالح ساختمانی، به خصوص معماری خاکی محسوب می‌گردند (Nodarou, Frederick & Hein 2008)، (Calabria, Vasconcelos, Boccaccini 2008) & در این مطالعه از روش پودر XRD^۷ جهت شناسایی فازهای مینرالی موجود در نمونه مصالح استفاده شده است. فلورسانس اشعه X^۸ نیز جهت شناسایی عناصر مختلف موجود در نمونه‌ها جهت شناخت و تعیین درصد عناصر فعال استفاده شده است.

۴- بحث و تحلیل داده‌ها

بررسی دانه‌بندی از اولین آزمایشات برای کنترل شرایط مصالح خاکی به حساب می‌آید. منحنی دانه‌بندی در نمونه‌های خشت و ملات کهن دژ، شباهت ساختاری زیادی را نشان می‌دهند. در تمام موارد به جز یک مورد که ناشی از شسته شدن بافت ریز دانه است، وجود بافت سیلت شاخص است. سیلت در واقع دانه‌های ماسه با ابعاد نزدیک به رس است که به دلیل عدم وجود ساختار لایه‌ای رس، فاقد چسبندگی و فرم‌پذیری معمول در رس‌ها است. ملات در نمونه‌های کهن دژ بافت درشت‌تری نسبت به نمونه‌های خشت در همان بنا دارد، اما به طور کلی بافت درونی هر دو سیلتی ماسه‌ای نرم است. در مورد نمونه‌های ارگ، نسبت به کهن دژ بافت دانه درشت‌تر و ناهمگن‌تری دیده می‌شود (تصویر ۲). به طور کلی تمام نمونه‌ها در بافت ریزدانه ساختار مشابهی دارند اما به دلیل ماهیت بافت درشت دانه در نمونه‌ها تفاوت محسوس‌تری مشاهده می‌شود. در تمام بخش‌های محوطه تکه‌های آجر، سفال و سایر ضایعات به عنوان افزودنی

(۹۶) همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی

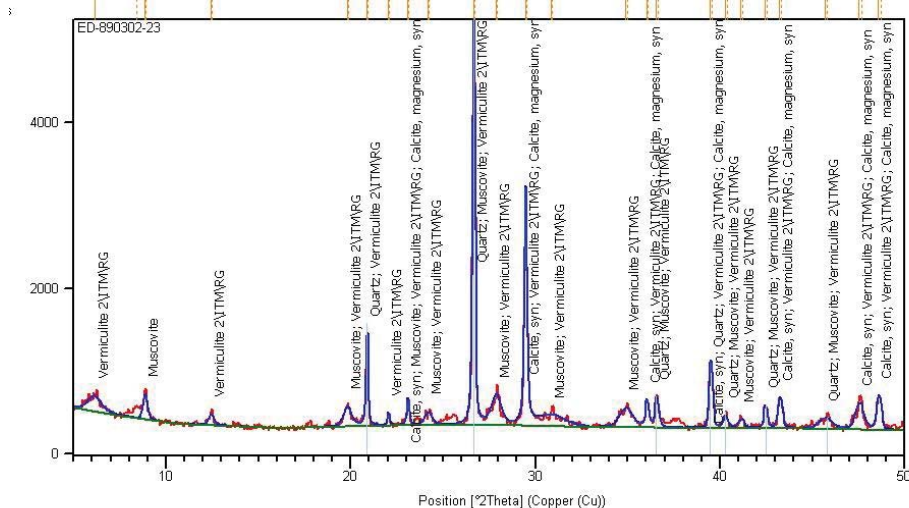
در مصالح به کار رفته است. با توجه به نوع و ابعاد مواد اضافه شده به نظر نمی‌رسد که این مواد با هدف یا برنامه‌ریزی شده اضافه شده باشند. همچنین حجم عظیمی از زغال چوب در کلیه مصالح قابل شناسایی هستند. گرچه الیاف گیاهی مانند کاه در بعضی نمونه‌ها شناسایی شده است اما حجم کاه استفاده شده بسیار کمتر از آن است که بتوان کاربرد فیلر برای آن در نظر گرفت. مجموع مشاهدات انجام شده نشان می‌دهند که سازندگان از هرگونه مواد زاید بدون هیچ گونه دخل و تصرف در جهت بهبود این مواد به عنوان پر کننده استفاده کرده‌اند.



نمودار ۱. سمت چپ: نمودار دانه‌بندی در نمونه‌های خشت در ارگ - سمت راست: نمونه‌های خشت و ملات در بنای کهن دژ

اما همانطور که قبلاً اشاره گردید، وجود درصد بالای ذرات کوچکتر از ۰,۰۰۲ میلیمتر در نمونه‌ها نمی‌تواند الزاماً نشانه میزان بالای رس در نمونه‌ها باشد، چرا که خاک‌های غیر رسی شامل ذرات فلدسپات، کوارتز و میکا نیز به دلیل اندازه بسیار کوچک می‌توانند در زمره خاک‌های رسی طبقه‌بندی شوند. در واقع خاصیت خمیری کانی‌های رسی در کنار اندازه ذرات عامل تشخیص منشأ خاک‌های رسی خواهد بود. بر این اساس حدود اتربرگ برای کلیه نمونه‌های مورد بررسی در این مطالعه آزمایش شده که نتیجه نشان دهنده شاخص خمیری ۱۰ درصد هستند. این میزان بسیار کمتر از شاخص خمیری مطلوب برای کانی‌های رسی است. چنین میزانی این موضوع در واقع نشان‌دهنده وجود میزان بالای ذرات غیره چسبنده ماسه و سیلت و کاربرد خاک غیر رسی (سیلتی-ماسه ای) است (داس ۱۳۸۵). مقاومت خاک در مقابل گسیختگی با توجه به نوع خاک عمدتاً

های ورمیکولیت و مسکوویت هستند (جدول ۲).



نمودار ۲. پراش پرتو ایکس یکی از نمونه‌ها. سایر موارد در جدول ۲ آورده شده‌اند.

جدول ۲. فراوانی کانی‌های شناسایی شده در مصالح به ترتیب فراوانی به ترتیب عددی آورده شده‌اند									
	البت	سودالیت	سریسیت	دولومیت	ورمیکولیت	مسکویت	کوارتز	کلسیت	
AAB	-	-	-	-	4	3	2	1	-
AAE	-	5	-	-	4	3	2	1	-
AAN	-	-	-	-	4	-	2	1	-
AAS	-	-	-	-	4	3	2	1	-
CH	-	-	-	-	4	3	1	2	-
H	-	-	-	3	-	4	1	2	-
KAE1	-	-	-	-	4	3	2	1	-
KAE2	-	-	5	-	4	3	2	1	-
KAI1	-	-	-	-	4	3	1	2	-
KAI2	-	-	-	-	4	3	2	1	-
KMI1	-	-	-	-	4	3	2	1	-
KMI2	-	-	-	-	4	3	2	1	-
KP	-	-	-	-	4	3	2	1	-
N	4	-	-	-	-	3	2	1	-
KAN	3	-	-	-	-	4	2	1	-
KMN	3	-	-	-	-	4	2	1	-

این کانی‌ها در واقع در زمره کانی‌های حد واسطه اسمکتیت و میکا محسوب می‌شوند. اگرچه این کانی‌ها دارای ساختار ورقه ای تیپیک در کانی‌های رسی هستند، اما در واقع به دلیل ظرفیت جذب آب پایین در حیطه کانی‌های رسی طبقه نمی شوند (Reeves et al. 2006). در نتیجه به دلیل تشکیل نیروی سطحی ضعیف، مصالح میل شدید به وارفنگی دارند به طوریکه حتی در بارش های خفیف، حجم زیادی از مصالح شسته شده و در سطح محوطه باقی می‌ماند.

جدول ۱. آزمایش نتایج XRF نمونه ها

	AAN	CHO	H1	KA11	N1	AAS	KMI2	KMI1	KA12	KP	AAB	AAE	KAEL	KAEL2
SiO2	46.61	44.02	43.66	40.3	39.74	39.63	38.99	38.65	38.56	38.41	37.48	36.97	36.34	36.1
CaO	14.89	12.7	19.22	17.81	17.01	17.59	17.78	18.28	18.47	18.02	18.84	17.32	19.56	18.45
Al2O3	12.2	14.9	10.5	11.4	12.3	12.4	11.7	11.7	11.7	11.6	11.9	11.4	11	11.4
Fe2O3	4.612	5.529	3.825	4.454	4.625	4.887	4.713	4.487	4.577	4.376	4.528	4.286	4.657	4.525
MgO	3.52	2.92	3.13	3.53	4.03	3.63	3.59	3.59	3.71	3.48	3.64	3.6	3.38	3.87
K2O	2.86	3.04	2.1	2.94	2.37	3.08	3.02	2.91	2.84	3.01	2.75	2.6	2.89	2.85
Na2O	1.56	1.12	0.955	0.959	0.676	0.826	0.859	0.984	0.743	0.854	0.707	1.4	1.19	0.883
TiO2	0.662	0.63	0.634	0.585	0.551	0.562	0.567	0.562	0.553	0.539	0.528	0.552	0.597	0.537
SO3	0.318	0.303	0.157	0.889	0.203	0.31	0.681	0.989	0.575	1.21	1.1	0.213	0.555	1.78
P2O5	0.16	0.18	0.18	0.662	0.187	0.556	0.534	0.355	0.34	0.433	0.409	0.189	0.286	0.471
Cl	0.435	0.3		0.219		0.169	0.198	0.39	0.091	0.24	0.076	1	0.616	0.43
MnO	0.0995	0.11	0.0839	0.0918	0.0867	0.095	0.0982	0.095	0.0844	0.0878	0.0841	0.0825	0.0895	0.0862
SiO	0.0541	0.0499	0.0435	0.0704	0.0534	0.0805	0.075	0.0661	0.072	0.0708	0.0843	0.0812	0.074	0.104
Y2O3	0.0048													
nb2O5		0.0054	0.0056			0.0052								0.0049
Cr2O3	0.028												0.015	
NiO				0.008			0.0078							
Rb2O	0.0092	0.0122	0.0088	0.0081	0.008	0.0105	0.0094	0.0087	0.0098	0.0097	0.0085	0.008	0.0093	0.0085
ZnO	0.0171	0.0152	0.0092	0.013	0.0146	0.0143	0.0192	0.0137	0.014	0.0117	0.0128	0.0096	0.0123	0.0156
ZrO2	0.0349	0.023	0.0342	0.0288	0.0171	0.0193	0.022	0.0224	0.0235	0.0203	0.0204	0.0259	0.0246	0.02
CuO	0.0176	0.013	0.0159	0.02	0.0174	0.0195	0.0183	0.0161	0.0165	0.0159	0.0184		0.0185	0.017

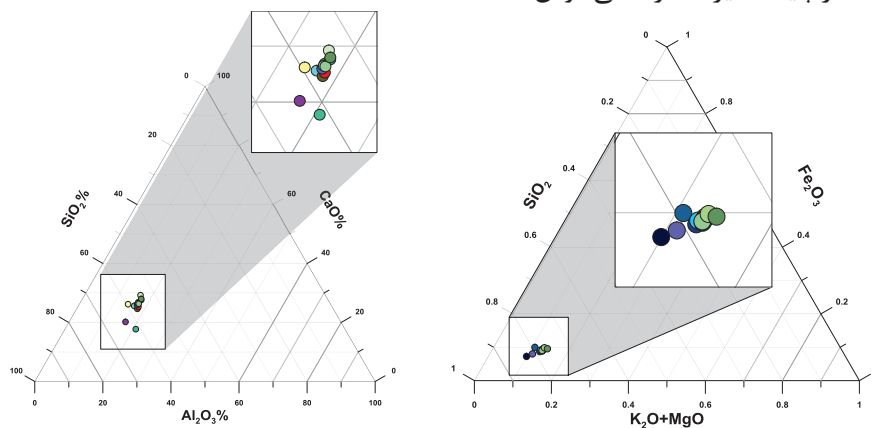
مطالعه اولیه زمین باستان شناختی

(مزم)

(۱۰۰) همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی

حاصل کار تشکیل حجم زیادی آوار و محصولات بی‌استفاده بوده که البته در صورت کاربرد روش مناسب، مجدداً قابل استفاده خواهند بود (Eslami and Emami 2012). با توجه به نتایج به‌دست آمده همچنین بررسی‌های ظاهری در کل محوطه عدم توجه به کیفیت ساخت و ساز و همچنین مواد انتخابی کاملاً مشهود است. احتمال دارد عدم توجه به کیفیت مواد خام و در نهایت تولید مصالح با کیفیت بالا، ناشی از عجله در پروسه ساخت و ساز باشد. آنچنان که در منابع تاریخی آماده است، در چندین مورد به شهر آسیب‌های جدی وارد شده است اما در مراحل زمانی مختلف بارها مورد ساخت و ساز مجدد قرار گرفته است (خانیک و دیگران ۱۳۸۰). با این حال با توجه به کیفیت یکسان مواد و همچنین تکنیک‌های به‌کار رفته در قسمت‌های مختلف، می‌توان این احتمال را مطرح نمود که پروسه ساخت و ساز در مورد نمونه‌های برداشته شده از ارگ و کهن‌دژ در دوره‌ای همزمان و تحت سیستم ساخت یکپارچه به انجام رسیده باشد. بر طبق مطالعات خاک‌شناسی منطقه، منابع خاک مناسب در فاصله نه چندان دور از محوطه توس در دسترس بوده‌اند (آمود ۱۳۸۵). اما عدم تلاش برای دسترسی به چنین منابعی می‌تواند نشانه دیگری از عجله سازندگان در اتمام سریع مراحل ساختمان باشد. آنالیز فلورسانس اشعه ایکس، به‌خصوص در چند دهه اخیر کاربرد گسترده‌ای در شناسایی منشأ مواد خام و مقایسه آنها با یکدیگر داشته است. با مقایسه عناصر اصلی، جزئی یا عناصر نشانه می‌توان به احتمال منشأ مشترک در مواد مورد استفاده پی برد. علاوه بر این به خوبی می‌توان به شرایط تشکیل خاک و شرایط منبع استحصال ماده خام اصلی پی برده و با مقایسه موارد مختلف میزان شباهت آنها بررسی شود. چنین بررسی‌هایی اکنون به‌خوبی جای خود را در مطالعات سفال باز کرده‌اند، اما در حیطه مواد و مصالح ساختمان و به‌خصوص خشت و خاک اقدامات پژوهشی خاصی حداقل در ایران انجام نشده است. می‌توان تا حدودی به شرایط در این پژوهش از این روش برای شناسایی عناصر موجود در مصالح استفاده شده است (جدول ۳). بررسی درصد عناصر اصلی کلسیم، سیلیسیوم و آلومینیوم در نمونه‌های مورد بررسی نشان‌دهنده شباهت بسیاری در ماتریکس رس است (نمودار ۲). در واقع نسبت اکسید عناصر اصلی در خاک در تمام موارد بسیار شبیه بوده و دارای همپوشانی هستند. در نمودار دیگر نسبت سیلیسیوم با اکسید آهن و پتاسیم و منیزیم بررسی شده است که روند تغییرات

ناخالصی در خاک را نشان می‌دهد. هر دو نمودار گویای شباهت کلی خاک پایه در تمام نمونه‌هاست. این شباهت می‌تواند به دلیل کاربرد خاکی با منبع مشابه برای تمام نمونه‌ها فرض شود. همچنین نتایج درصد بالای پتاسیم را نشان می‌دهند. میزان بالای پتاسیم در خاک عامل مساعدی در انتخاب خاک خشت نیست، چرا که موجب می‌شود مینرال رسی ظرفیت جذب آب کمتری داشته باشد و منجر به مصالح وارفنگی شدید مصالح می‌شود. این مشکلی است که قبل از این هم به آن اشاره شد و هم اکنون از مشکلات عمده در پایگاه میراث فرهنگی توس است.



نمودار ۲. نتایج آنالیز XRF سمت چپ: مقایسه عناصر عمده در نمونه‌های مورد بررسی نشان داده‌اند که مطابقت خوبی با یکدیگر دارند. سمت راست: مقایسه عناصر جزئی با سیلیسیوم به منظور شناخت روند تغییرات عناصر ثانویه

۵- نتیجه‌گیری

اگرچه در بررسی‌های زمین باستان‌شناسی از روش‌های مرسوم در باستان‌سنجی استفاده می‌شود. اما موضوع بررسی، خاک و مواد وابسته به آن بوده و با هدف پاسخگویی به سؤالات باستان‌شناسانه در مورد نحوه ارتباط و بهره‌برداری انسان گذشته از منابع طبیعی است.

بررسی‌های شیمیایی و فیزیکی انجام گرفته در محوطه تاریخی توس بیان گر موارد زیر است:

بافت ماکروسکپی نمونه‌ها بسیار شبیه به هم بوده و عمدتاً سیلیسی- ماسه‌ای هستند. آزمایشات انجام گرفته نیز تأییدکننده شباهت کلی ساختار تمام نمونه‌ها شامل، خشت،

(۱۰۲) همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی

اندود و ملات است. چنین شرایطی، احتمال استفاده از یک منبع خاک را در تمام قسمت‌های مورد ساخت و ساز تقویت می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که هیچ‌گونه کنترلی در پروسه انتخاب منابع یا بهینه‌سازی مصالح انجام نشده است. با بررسی مطالعات خاک‌شناسی منطقه می‌توان احتمال داد که برای تهیه مصالح از خاک خود محل استفاده شده است. اگرچه در بافت مصالح انواع مواد افزودنی مانند سفال، سرامیک و الیاف گیاهی قابل شناسایی هستند اما به دلیل تنوع گسترده از انواع مواد زائد و همچنین عدم باز شناسایی روشمند افزودن این مواد، نمی‌توان انتظار ساخت و ساز قاعده مندی داشت. علاوه بر این آزمایشات XRD و XRF نشان داده‌اند که کیفیت خاک مورد استفاده به هیچ وجه مساعد و مناسب استفاده در ساخت و ساز نبوده است. مجموع این موارد این احتمال این را تقویت می‌کند که کلیه بخش‌های مورد مطالعه به‌طور هم‌زمان و به‌سرعت ساخته شده‌اند. همچنین با بررسی تکنیک و مواد مورد استفاده، به‌نظر می‌رسد ساخت و ساز به‌طور یکپارچه و توسط گروه‌های متحد انجام گرفته باشد. عدم وجود شرایط تکنیکی در مصالح، می‌تواند این احتمال را تقویت نماید. بدیهی است آنچه در این نوشتار به عنوان نتیجه‌گیری آمده است صرفاً شامل نمونه‌های مورد آزمایش بوده و برای تعمیم آن به سایر بخش‌های محوطه نیاز به بررسی‌های بیشتری در آینده است.

پی‌نوشت‌ها

- 1 – X Ray Florescence spectrometry (XRF)
- 2 – X Ray Diffraction spectrometry (XRD)
- 3 – Micromorphology
- 4 – Mineralogy
- 5 – Catalhöyük

۶- مشخصات جغرافیائی با رجوع به Google Earth گرفته شده است.

۷- آزمایشات پرش پرتو ایکس توسط شرکت کانسار بینالود انجام شده است.

۸- آزمایشات فرورسانس اشعه ایکس در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان انجام شده است.

Plastic Index (PI).10

منابع

- آمود، م. م. (۱۳۸۵) طرح ویژه آمایش منطقه تاریخی- فرهنگی توس (جلد اول). پایگاه میراث فرهنگی توس: چاپ نشده.
- خانیک، ر. ل.، طغرائی، م.، خانیک، م. ل. و نعمتی، ب. (۱۳۸۰). شناخت تابران ج. اول. مشهد: چاپ نشده.
- داس، ب. ا. (۱۳۸۵). اصول مهندسی ژئوتکنیک، تهران: پارس آئین.
- سیستانی، ا. ا. (۱۳۷۸). شناخت استان خراسان. هیرمند.

Avrami, Erica; Guillaud, Hubert; Hardy, Mary (Eds.) (2008): Terra Literature Review: An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation. Los Angeles, United States: Getty Conservation Institute. Available online at www.getty.edu/conservation,

Balsam, William; Deaton, Bobby; Adler, Michael (2007): Analysis of adobe wall composition at the Chaves-Hummingbird Site, New Mexico, by diffuse reflectance spectrophotometry. In *Geoarchaeology* 22 (8), pp. 825–844.

Binici, Hanifi; Aksogan, Orhan; Shah, Tahir (2005): Investigation of fibre reinforced mud brick as a building material. In *Construction and Building Materials* 19 (4), pp. 313–318.

Boivin, Nicole (2000): Life rhythm and Floor Sequence: excavation Time in rural Rajasthan and Neolithic Catalhuyuk. In *world Archaeology* 31 (3), pp. 367–388.

Butzer, Karl W.; Butzer, Elisabeth; Love, Serena (2013): Urban geoarchaeology and environmental history at the Lost City of the Pyramids, Giza: synthesis and review. In *Journal of Archaeological Science* 40 (8), pp. 3340–3366.

Calabria, Juliana A.; Vasconcelos, Wander L.; Boccaccini, Aldo R. (2009): Microstructure and chemical degradation of adobe and clay bricks. In *Ceramics International* 35 (2), pp. 665–671.

Degirmenci, Nurhayat (2008): The using of waste phosphogypsum and natural gypsum in adobe stabilization. In *Construction and Building Materials* 22 (6), pp. 1220–1224.

Eslami, M., & Emami, S. M. (2012). Recycling of Debris in Earthen Ruins as Economical substance used in conservation with natural clay minerals. XIth International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage, Terra 2012. Lima, Peru.

- French, Charles A. I (2003): *Geoarchaeology in action. Studies in soil micromorphology and landscape evolution*. London [u.a.]: Routledge.
- Friesem, David; Elisabetta Boaretto; Adi Eliyahu-Behar; Ruth Shahack-Gross (2011): Degradation of mud brick houses in an arid environment: a geoarchaeological model. In *Journal of Archaeological Science* (38), pp. 1135–1147,
- Friesem, David E.; Karkanias, Panagiotis; Tsartsidou, Georgia; Shahack-Gross, Ruth (2014): Sedimentary processes involved in mud brick degradation in temperate environments: a micromorphological approach in an ethnoarchaeological context in northern Greece. In *Journal of Archaeological Science* 41, pp. 556–567.
- Giorgio Torracca (2009): *Lectures on Materials Science for Architectural Conservation*. Los Angeles: Getty Conservation Institute. Available online at www.getty.edu/conservation,
- Guerrero, I. C., & Delgado, M. C. (2007). The selection of soils for unstabilised earth building: . *Construction and Building Materials*, 237-251.
- Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *EARTH CONSTRUCTION* . London: ICCROM.
- kouakou, C. H., & Morel, J. C. (2009). Strength and elasto-plastic properties of non-industrial building materials manufactured with clay as a natural binder. *Applied Clay Science* , 44, 27-34.
- Love, Serena (2012): The Geoarchaeology of Mudbricks in Architecture: A Methodological Study from Çatalhöyük, Turkey. In *Geoarchaeology* 27 (2), pp. 140–156.
- Matthews, Wendy (cop.2005): Micromorphological and microstratigraphic traces of Uses and Concepts of Space. In Ian Hodder (Ed.): *Inhabiting Çatalhöyük 1995-99 seasons*. [Ankara/London], Cambridge: British Institute of Archaeology at Ankara; McDonald Institute for Archaeological Research (McDonald Institute monographs, no. 38), pp. 355–398.
- Nodarou, E., Frederick, C., & Hein, A. (2008). Another mudbrick in the wall: scientific analysis of bronze age earthen construction materials from East Crete. *Journal of Archaeological Science*, 2997-3015.
- Rapp, George Robert; Hill, Christopher L. (1998): *Geoarchaeology. The earth-science approach to archaeological interpretation*. New Haven: Yale University Press.
- Reeves, G. M.; Sims, I.; Cripps, J. C. (2006): *Clay materials used in construction*. London: Geological Society of London (Geological Society engineering geology special publication, no. 21).
- Rosen, Arlene Miller. (1986): *Cities of clay. The geoarcheology of tells*. Chicago: University of Chicago Press (Prehistoric archeology and ecology).
- Shane D. Rumsey; Patrick J. Drohan (2011): Cultural implications of architectural mortar selection at Mesa Verde National Park, Colorado. In *Geoarchaeology* 26 (4), pp. 544–583,

toghraei, M. (2007). archaeological landscape of TOOS. mashhad: Khorasan cultural heritage ministry.

waren, j. (1999). conservation of Earth Structures. london: butterworth.

Yerkes, Richard W.; Sarris, Apostolos; Frolking, Tod; Parkinson, William A.; Gyucha, Attila; Hardy, Meredith; Catanoso, Luigi (2007): Geophysical and geochemical investigations at two early copper age settlements in the Körös River Valley, Southeastern Hungary. In *Geoarchaeology* 22 (8), pp. 845–871

[صفحه سفید]