

Structural Studied of Haft Tappeh's cuneiform Tablets

M. Bater¹, A. Abed Esfahani², H. Paidar³

1- Department of Conservation of historical works, university of Zabol, Zabol, Iran.

2- Azad University, Khorasgan Branch, Esfahan, Iran.

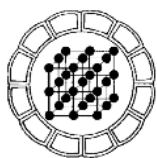
3- Azar refractories co., Esfahan, Iran.

E-mail: Masood_Bater@Yahoo.Com

(Received: 12/7/2004, received in revised form: 9/4/2005)

Abstract: The structural of Haft Tapph's cuneiform were studied by XRD and thermal methods. Complementary chemical analysis showed that cuneiform were made of marl. The studied of thermal behavior of cuneiform tablets by STA indicated very valuable treatment of cuneiform tablets by firing.

Keyword: *Cuneiform Tablets, XRD, Thermal Methods.*



بررسی و مطالعه ساختاری گل‌نوشته‌های خط میخی هفت تپه خوزستان

مسعود باتر^۱، عباس عابد اصفهانی^۲، حسین پایدار^۳

۱- زابل، دانشگاه زابل، دانشکده هنر، گروه مرمت آثار تاریخی.

۲- اصفهان، دانشگاه آزاد اسلامی خوراسگان.

۳- اصفهان، مرکز تحقیقات و آزمایشگاه شرکت فراورده‌های نسوز آذر.

پست الکترونیکی: Masood_Bater@Yahoo.Com

(دریافت مقاله ۸۳/۴/۲۱، دریافت نسخه نهایی ۸۴/۱/۲۰)

چکیده: بررسی و مطالعه ساختاری گل‌نوشته‌های هفت‌تپه به روش XRD و تکمیل داده‌ها با آنالیز عنصری به روش شیمی‌تر، حاکی از آن است که جنس خاک مورد استفاده در ساخت آنها نوعی مارن است. علاوه بر این، مطالعه رفتار گرمایی گل‌نوشته‌ها به روش STA اطلاعات ارزشمندی از تغییراتی که حین گرماگیری بدنه لوحه‌ها روی می‌دهد در اختیار ما قرار داد که به طور مستقیم در طراحی برنامه مرمتی گل‌نوشته‌ها به روش پخت درمانی مورد استفاده قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: لوحه‌های گلی، پراش پرتو ایکس، روشهای گرمایی.

مقدمه

لوحه‌های گلی با خط میخی به واسطه اطلاعات مفید و مستندی که به طور مستقیم از تمدنهای باستانی حاصل می‌شود از اهمیت بسیاری برخوردارند. در حقیقت آگاهی ما از عهد باستان تا حدود زیادی مرهون رمزگشایی و ترجمه گل‌نوشته‌هایی است که از کاوشهای باستان‌شناسی به دست آمده است. گل‌نوشته‌های با خط میخی در مناطق وسیعی از دریای اژه تا رشته جبال زاگرس و از دریای سیاه تا کشور مصر کشف شده‌اند. از برخی مناطق باستانی ایران نیز گل‌نوشته‌های بسیاری طی کاوشهای باستان‌شناسی به دست آمده‌اند.

ظاهراً در اواخر هزاره چهارم پیش از میلاد مسیح، سومریها بر اثر نیازهای اقتصادی و اداری شیوه نگارش به خط میخی بر لوحه‌های گلی را ابداع کردند. چون اولین نمونه‌های خط میخی نگاشته شده بر لوحه‌های گلی شکلی تصویری داشت، تنها در امور ساده اداری و اقتصادی به کار می‌رفت. ولی به تدریج نویسندگان سومری آنچنان دگرگونی شگرفی در این خط ایجاد کردند که خط میخی پس از مدتی ماهیت تصویری خود را از دست داد و به خطی صوتی مبدل شد، به طوری که در نیمه دوم هزاره سوم پیش از میلاد مسیح این خط چنان نرم و انعطاف‌پذیر شد که به آسانی پیچیده‌ترین مباحث ادبی با آن بیان می‌شد [۱].

با وجود آن که تا کنون تعداد بسیار کمی از گل‌نوشته‌های مکشوفه از منطقه باستانی هفت‌تپه رمزگشایی و ترجمه شده است، ولی همین تعداد اندک نیز اطلاعات بسیاری در زمینه‌های مختلف از جمله دوره تاریخی، بانی و سازنده ساختارهای معماری مکشوفه از هفت‌تپه، ترتیب ماههای سال ایلامی، واحدهای وزن و حجم مورد استفاده در آن زمان، مناصب و مقامهای کشوری، نحوه اداره تشکیلات حکومتی، اسامی خدایان مورد پرستش، و غیره در اختیار محققان قرار داده است و مسلماً مطالعه و ترجمه سایر گل‌نوشته‌ها نیز اطلاعات مفید و مستند بسیاری درباره تاریخ ایلام و به خصوص منطقه باستانی هفت‌تپه در اختیار ما قرار خواهد داد (تصویر ۱).



تصویر ۱ نمونه‌ای از گل‌نوشته‌های مکشوفه از هفت‌تپه.

گرچه گاهی برخی از اسناد و قراردادهای مالی مهم را در عهد باستان در کوره می‌پختند [۲] و یا بعضی از لوحه‌ها به طور اتفاقی در اثر آتش سوزی در حین غارت و چپاول محلی به دست مهاجمان اندکی گرما می‌دید، ولی بیشتر گل‌نوشته‌های گلی مکشوفه از کاوشهای باستان‌شناسی به صورت گل خام است که فقط در آفتاب خشک شده‌اند. رمزگشایی و ترجمه گل‌نوشته‌های منقور به خط میخی توسط کارشناسان زبانهای باستانی، بدون حفاظت و مرمت آنها غیر ممکن است، زیرا گل‌نوشته‌ها ساختاری سست و شکننده دارند. از دهه چهل میلادی روش درمانی بر پایه پخت در کوره و در ادامه نمک‌زدایی برای تحکیم لوحه‌های گلی مرسوم شده است. چنین درمانی با روش پخت به برنامه‌ریزی دقیقی نیاز دارد تا از آسیب رساندن به گل‌نوشته‌ها در حین پخت‌درمانی جلوگیری شود، زیرا استفاده از این روش درمانی با مشکلات زیادی مانند: صدمه سطحی، تشکیل شوره بر سطح لوحه‌ها، متلاشی و خردشدن آنها هنگام پخت همراه بوده است [۳].

متأسفانه تا اواخر دهه نود و نه میلادی، هیچ کوششی برای شناسایی خاکهای رس مورد استفاده در ساخت لوحه‌های گلی و بررسی آزمایشگاهی آنها به منظور شناخت علت آسیبهای نام برده شده و جلوگیری از بروز آنها در راستای بهبود روش پخت‌درمانی انجام نشد [۴]. از آنجا که گل‌نوشته‌ها از خاکهای رس متفاوت ساخته شده‌اند، بنابراین واکنشهای متفاوت در برابر پخت از خود نشان می‌دهند، لذا مطالعه ساختاری و شناسایی موادی که گل‌نوشته‌ها از آنها ساخته شده‌اند، به منظور پیش‌بینی تنشهای احتمالی که هنگام پخت در اثر تغییرات دما به وقوع می‌پیوندد کاملاً لازم و ضروری است.

روش آزمایش

به منظور بررسی آزمایشگاهی و مطالعه ساختاری گل‌نوشته‌های هفت‌تپه، از میان مجموعه گل‌نوشته‌های اصیل هفت‌تپه، سه لوحه‌گلی خام به شماره‌های CL1, CL2, CL3 انتخاب شدند. سپس از بدنه گل‌نوشته‌های انتخابی به مقدار بسیار اندک نمونه‌برداری شد. این نمونه‌ها از بخشهایی از بدنه لوحه‌ها برداشته شد که فاقد هرگونه متن و کتیبه‌ای باشد تا به گل‌نوشته‌ها آسیب چندانی وارد نشود. پس از نمونه‌برداری، این نمونه‌ها به روشهای آزمایشگاهی زیر مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت:

۱. بررسی و مطالعه ساختاری گل‌نوشته‌ها به روش پراش پرتو ایکس (XRD).
۲. آنالیز عنصری گل‌نوشته‌ها به روش شیمی‌تر.
۳. بررسی و مطالعه رفتار گرمایی گل‌نوشته‌ها به روش آنالیز گرمایی همزمان (STA).

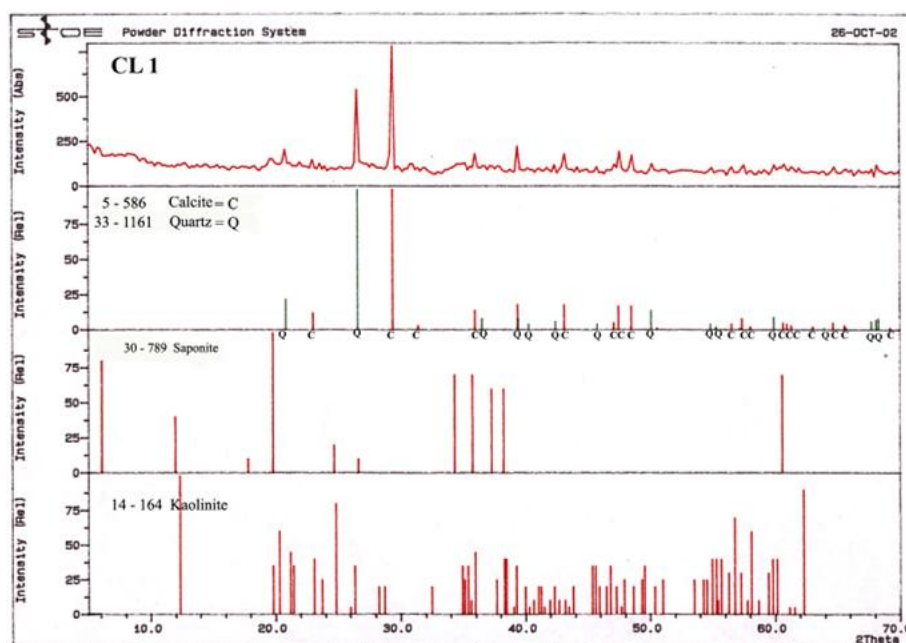
۱- بررسی و مطالعه ساختاری گل‌نوشته‌ها به روش پراش پرتو ایکس (XRD)

برای بررسی و مطالعه کیفی فازهای تشکیل دهنده بدنه گل‌نوشته‌های هفت‌تپه، مقدار بسیار کمی از نمونه‌های برداشته شده از آنها به شماره‌های CL1, CL2, CL3 به روش XRD مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه ساختاری و بررسی فازی این سه لوحه در دو مرحله انجام شد:

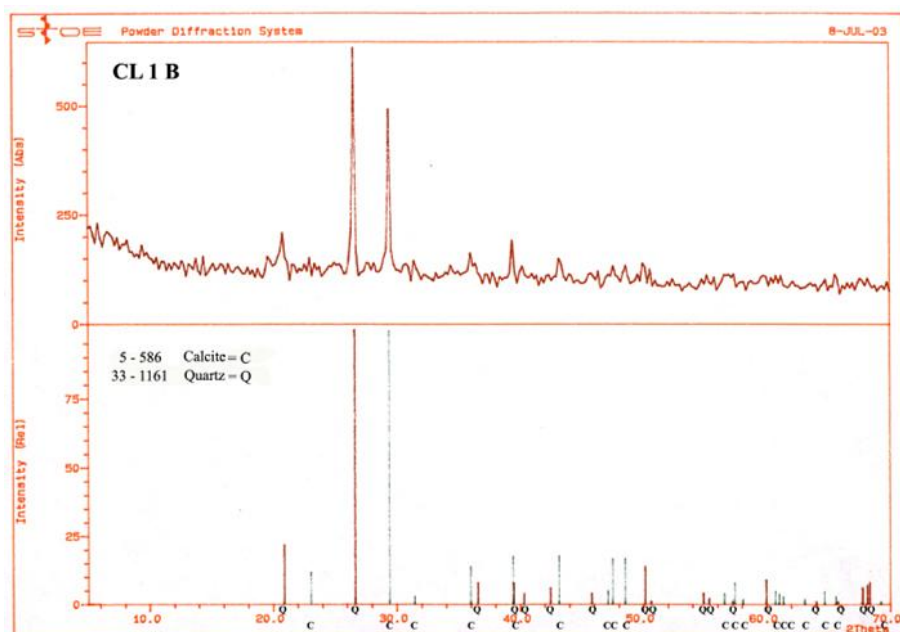
مرحله اول: مطالعه کیفی فازهای تشکیل دهنده بدنه گل‌نوشته‌های خام پیش از پخت درمانی.
 مرحله دوم: مطالعه کیفی فازهای تشکیل دهنده بدنه گل‌نوشته‌ها پس از پخت درمانی.
 بدین ترتیب در مرحله اول با مطالعه ساختاری گل‌نوشته‌های خام، نوع فازهای تشکیل دهنده بدنه لوحه‌ها و جنس خاک مورد استفاده در ساخت گل‌نوشته‌های هفت‌تپه شناسایی شد (شکل ۱، ۳ و ۵) و در مرحله دوم تغییرات فازی ایجاد شده در این لوحه‌ها به شماره‌های CL1, CL2, CL3 پس از تحکیم به روش پخت‌درمانی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند (شکل ۲، ۴ و ۶).

۲- آنالیز عنصری گل‌نوشته‌ها به روش شیمی‌تر

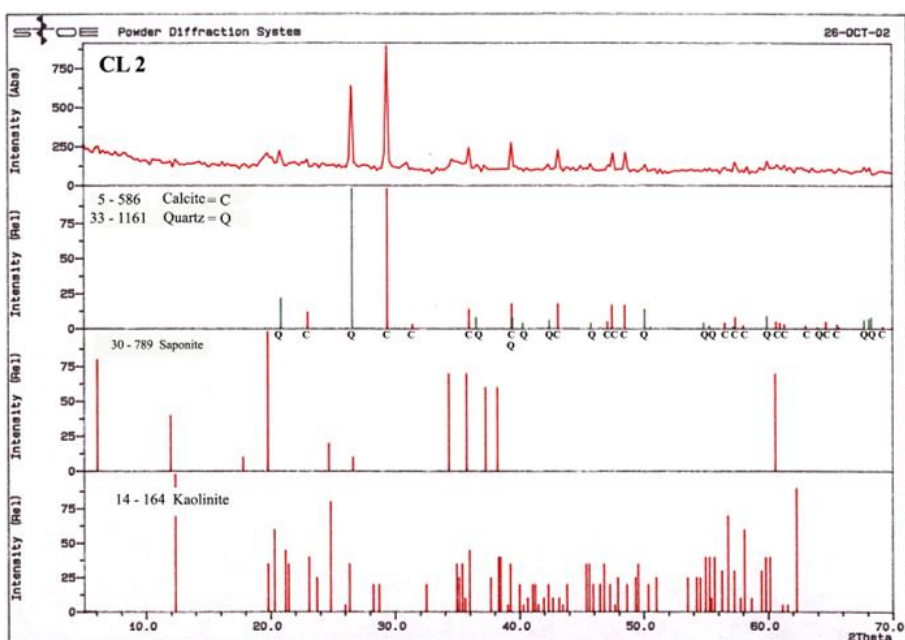
به منظور بررسی و مطالعه عنصری بدنه گل‌نوشته‌های هفت‌تپه به صورت کمی، نمونه‌های برداشته شده از گل‌نوشته‌های انتخابی با شماره‌های CL1, CL2, CL3 به روش شیمی‌تر مورد آزمایش قرار گرفتند که در جدول ۱ اکسیدهای عناصر آنها محاسبه و ارائه شده‌اند. آنالیز عنصری به روش وزن‌سنجی، تیتراکدن (با حساسیت چند بخش در هزار و دقت نسبی بیش از یک درصد) [۵]، رنگ‌سنجی و نشر اتمی شعله (با حساسیت چند بخش در میلیون ppm) [۶] انجام شد. بررسی نتایج حاصل از آنالیز عنصری گل‌نوشته‌های هفت‌تپه به روش شیمی‌تر نشان می‌دهد که این گل‌نوشته‌ها دارای ترکیب شیمیایی تقریباً مشابهی هستند.



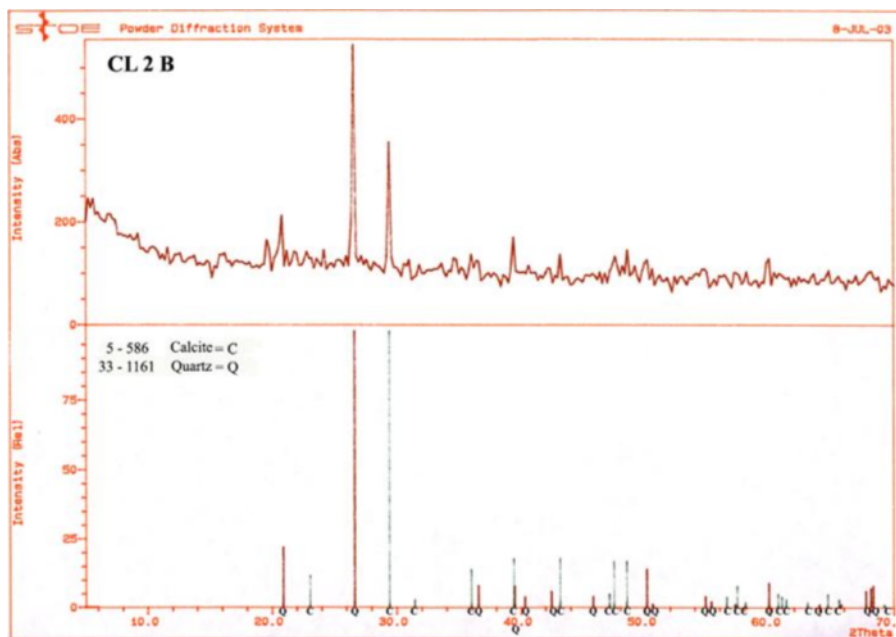
شکل ۱ طرح XRD نمونه CL1 پیش از پخت درمانی.



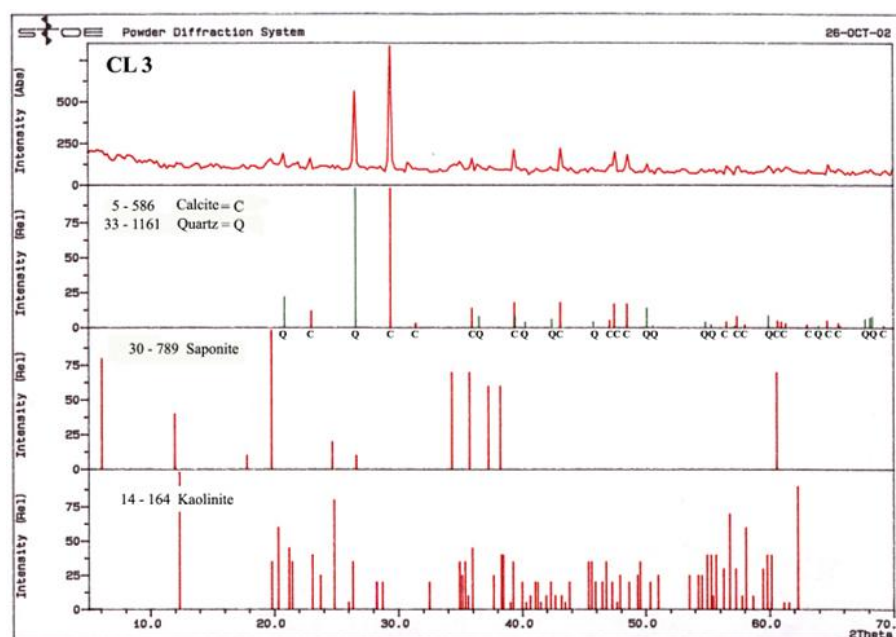
شکل ۲ طرح XRD نمونه CL1B پس از پخت درمانی.

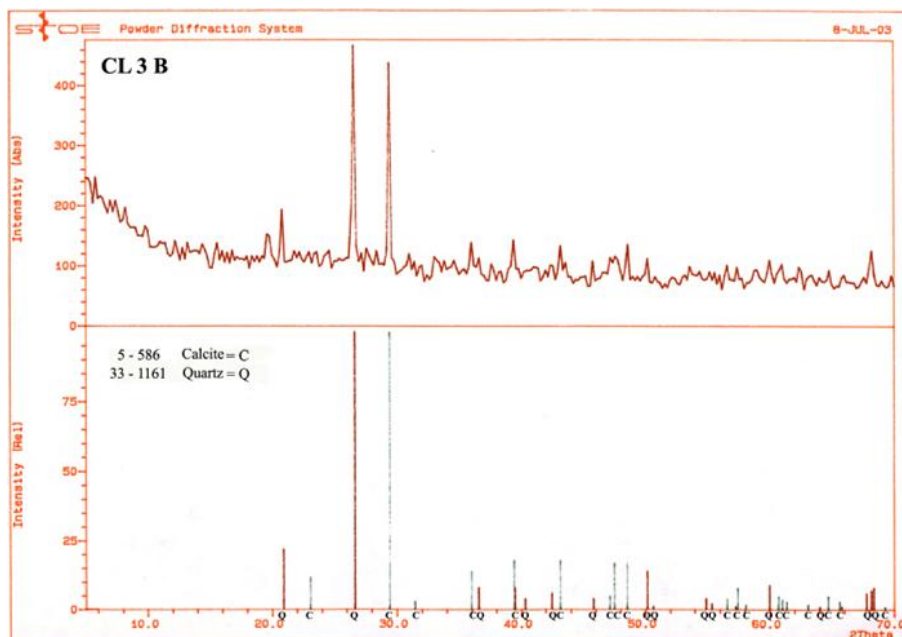


شکل ۳ طرح XRD نمونه CL2 پس از پخت درمانی.



شکل ۴ طرح XRD نمونه CL2B پس از پخت‌درمانی.





شکل ۶ طرح XRD نمونه CL3B پس از پخت درمانی.

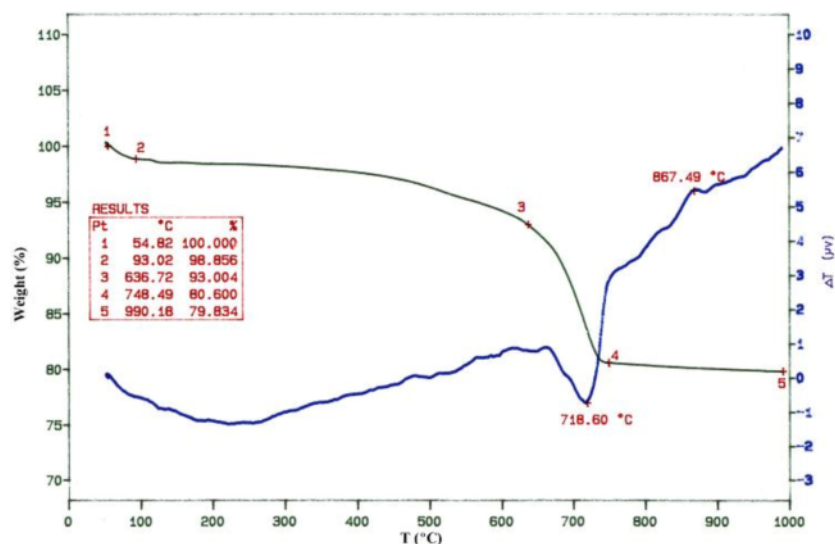
جدول ۱ نتایج آنالیز شیمی تر نمونه‌ها بر حسب درصد اکسید در نمونه‌ها.

ردیف	نوع اکسید	روش آنالیز	CL1	CL2	CL3
۱	Al ₂ O ₃	تیتراژ کردن	۱۲/۸۶	۱۲/۶۰	۱۳/۱۰
۲	MgO	تیتراژ کردن	۵/۸۷	۶/۶۲	۶
۳	CaO	تیتراژ کردن	۱۷/۸۹	۱۷/۳۶	۱۷/۹۲
۴	Fe ₂ O ₃	تیتراژ کردن	۴/۸۶	۴/۸۸	۴/۷۲
۵	TiO ₂	رنگ‌سنجی	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۸
۶	SiO ₂	وزن‌سنجی	۳۴/۹۶	۳۴/۹۶	۳۳/۷۸
۷	Na ₂ O	نشر اتمی شعله	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۷۸
۸	K ₂ O	نشر اتمی شعله	۰/۹۹	۰/۸۶	۰/۷۹
۹	MnO	-----	ناچیز	ناچیز	ناچیز
۱۰	SO ₃	-----	ناچیز	ناچیز	ناچیز

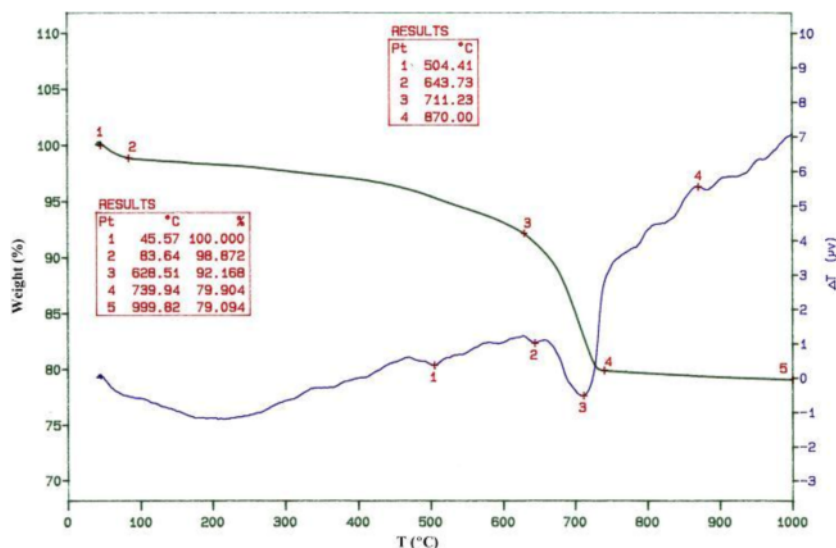
۳- بررسی و مطالعه رفتار گرمایی گل‌نوشته‌ها به روش آنالیز گرمایی همزمان (STA)

یکی از مهمترین عوامل آسیب لوحه‌های گلی در طول پخت درمانی واکنشهایی است که منجر به آزاد شدن گاز از بدنه لوحه‌ها می‌شود. اگر این گازها نتوانند، به آرامی از بدنه لوحه‌ها خارج شوند، فشار داخلی حاصل از آنها موجب تخریب گل‌نوشته‌ها می‌شود [۷].

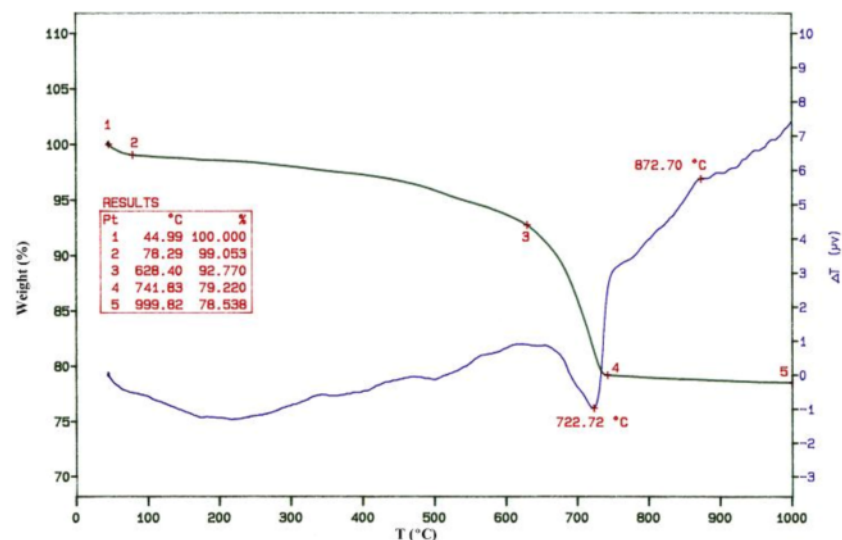
با توجه به اطلاعات ارزشمندی که آنالیز گرمایی گل‌نوشته‌ها در اختیار ما قرار می‌داد، مطالعه و بررسی گل‌نوشته‌های هفت‌تپه پیش از تحکیم به روش پخت‌درمانی است که کاملاً لازم و ضروری به نظر می‌رسید. بنابراین برای اندازه‌گیری مستقیم تغییرات ایجاد شده در گل‌نوشته‌های هفت‌تپه هنگام پخت‌درمانی و بررسی و مطالعه رفتار گرمایی آنها از روش آنالیز گرمایی DTA و TG به طور همزمان (STA) استفاده شد. برای این کار مقدار بسیار کمی از نمونه‌های برداشته شده از گل‌نوشته‌های انتخابی با شماره‌های CL1, CL2, CL3 به روش آنالیز گرمایی همزمان (STA) مورد آزمایش قرار گرفتند (شکل‌های ۷ تا ۹).



شکل ۷ نمودار دمایی نمونه CL1.



شکل ۸ نمودار گرمایی نمونه CL2.



شکل ۹ نمودار گرمایی نمونه CL3.

در بررسی نمودارهای حاصل از آنالیز گرمایی همزمان (STA) نمونه‌های مربوط به گل‌نوشته‌های هفت‌تپه چند فرایند گرمایی مشاهده می‌شود. نخستین فرایند به شکل یک قله گرماگیر در حدود دمای ۴۴ تا ۵۵ درجه سانتیگراد ظاهر شد که احتمالاً مربوط به از دست دادن رطوبت جذب سطحی رس (آب آزاد) است که نتیجه آن تراکم بسیار کمی در بدنه لوحه‌هاست. از دست دادن آب آزاد رس تا حدود دمای ۹۳ درجه سانتیگراد ادامه می‌یابد که با یک قله گرماگیر با کاهش وزنی در حدود ۱۰۷۳ درصد همراه است. این کاهش وزن به تدریج تا دمای ۵۰۴ درجه سانتیگراد ادامه می‌یابد، در این دما ظهور یک قله گرماگیر نشان از خروج آب درون شبکه‌ای رس (آب شیمیایی) است. به عبارت دیگر در حدود دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد کاتولینیت بخش زیادی از آب ترکیبی خود را از دست می‌دهد و در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد تمامی آب موجود در شبکه کاتولینیت خارج می‌شود [۸]. تبخیر آب حین پخت گل‌نوشته‌ها موجب آسیب دیدن آنها می‌شود. تغییر فازی در حدود دمای ۶۲۸ تا ۶۴۳ درجه سانتیگراد با تبدیل کوارتز آلفا به کوارتز بتا به وقوع می‌پیوندد که کاهش وزنی در حدود ۶/۲۷ درصد در بدنه گل‌نوشته‌ها ایجاد می‌کند. این تغییر فاز و افت وزنی می‌تواند در طول پخت منجر به ایجاد ریز ترک و ترک در لوحه‌ها شود. تمامی آنالیزهای گرمایی یک کاهش وزن سریع در حدود ۱۲/۷۳ درصد را بین دمای ۷۱۱ تا ۷۴۸ درجه سانتیگراد نشان می‌دهند که احتمالاً مربوط به تجزیه کلسیت و خروج گاز دی اکسید کربن است که می‌تواند بسیار مخرب باشد و به خرد شدن بدنه لوحه منجر شود. در بالای دمای ۸۶۷ درجه سانتیگراد نیز یک قله گرمازا در تمامی نمودارهای آنالیز گرمایی مشاهده می‌شود که احتمالاً مربوط به تبدیل فاز کوارتز بتا به تری‌دیمیت و یا تبدیل کائولن به متا کائولن است (جدول ۲).

جدول ۲ نتایج حاصل از آنالیز گرمایی نمونه‌ها.

ردیف	دمای تقریبی (°C)	میانگین درصد افت وزنی	نوع فرایند	تفسیر	خطر حاصل طی پخت درمانی
۱	۴۴-۵۵	۰	گرماگیر	احتمالاً ازدست دادن رطوبت جذب سطحی رس (آب آزاد)	احتمال خطر متوسط، تراکم
۲	۷۸-۹۳	۱۰۷۳	گرماگیر	احتمالاً از دست دادن رطوبت جذب سطحی رس	خطر کم، همراه با کاهش وزن کم
۳	۵۰۴	-----	گرماگیر	احتمالاً ازدست دادن آب درون شبکه‌ای رس (آب مولکولی یا آب شیمیایی)	خطر متوسط، همراه با مقداری تراکم و کاهش وزن
۴	۶۲۸-۶۴۳	۶۲۷۹	گرماگیر	احتمالاً تغییر فاز و تبدیل کوارتز آلفا به کوارتز بتا	خطر کم، بدلیل اندازه بسیار ریز ذرات و پراکندگی خوب
۵	۷۱۱-۷۴۸	۱۲۷۳۹	گرماگیر	احتمالاً تجزیه کلسیت و خروج گاز CO ₂	خطر زیاد، با بیشترین میزان کاهش وزن
۶	۸۶۷-۱۰۰۰	۰۷۵۲	گرمازا	احتمالاً تبدیل فاز کوارتز بتا به تریدیمیت و یا تبدیل کائولن به متا کائولن	خطر کم

برداشت

بررسی و مطالعه کیفی فازهای تشکیل دهنده بدنه گل‌نوشته‌های هفت‌تپه با روش پراش پرتو ایکس (XRD) پیش و پس از پخت‌درمانی نشان می‌دهد که فازهای محدودی در بدنه این گل‌نوشته‌ها وجود دارند که عبارتند از: کوارتز، کلسیت، ساپونیت و کائولینیت پیش از پخت‌درمانی و کوارتز و کلسیت پس از پخت‌درمانی. شناخت ویژگی‌های هر یک از این کانیها که دارای ترکیب شیمیایی و ساختار بلوری خاصی است، از اهمیت بسیاری برخوردار است، زیرا نوع کانیهای موجود در خاک رس و ترکیب شیمیایی آنها نقش موثری در فرایند پخت دارد.

بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از مطالعه فازشناسی گل‌نوشته‌های هفت‌تپه به روش XRD و مقایسه آنها با نتایج آنالیز عنصری لوحه‌ها به روش شیمی تر نشان می‌دهد که جنس خاک مورد استفاده در ساخت بدنه گل‌نوشته‌های هفت‌تپه در واقع نوعی مارن است که مخلوطی از آهک و رس است و چون ناخالصی سیلیس در آن یافت شده است، می‌توان آن را مارن سیلیسی یا مارن همراه با ناخالصی سیلیس نامید. وجود سیلیس در این ترکیب سبب جلوگیری از ترک خوردن بدنه گل‌نوشته‌ها هنگام خشک شدن آنها شده و علاوه بر این میزان سختی بدنه لوحه‌ها را نیز افزایش داده است.

از طرف دیگر بررسی فازهای حاصل از آنالیز XRD (کوارتز، کلسیت، ساپونیت و کائولینیت) نشان می‌دهد که با توجه به وجود فاز کلسیت و بالا بودن درصد CaO، بنابر نتایج آنالیز عنصری گل‌نوشته‌های خام به روش شیمی تر، تحکیم گل‌نوشته‌ها به روش پخت‌درمانی با دمای بالاتر از ۷۰۰ درجه سانتیگراد مناسب نیست، زیرا بالاتر از این دما فاز کلسیت به CaO و CO₂ تجزیه شده و خروج گاز CO₂ از بدنه گل‌نوشته‌ها هنگام پخت و فشار شدید داخلی حاصل از آن، منجر به ایجاد ترک و یا خرد شدن بدنه لوحه‌ها خواهد شد که در نتیجه آن، گل‌نوشته‌ها هنگام پخت‌درمانی به شدت آسیب خواهند دید.

بررسی و مطالعه نمودارهای حاصل از آنالیز گرمایی گل‌نوشته‌های هفت‌تپه به روش STA نیز آسیب ناشی از تجزیه کلسیت در بالای دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد را تایید می‌کند. برپایه این نمودارها در حدود دمای ۷۱۱ تا ۷۴۸ درجه سانتیگراد یک قله گرماگیر در این ناحیه ظاهر شده است که به تجزیه فاز کلسیت مربوط است. علاوه بر این تجزیه کلسیت در این دما، بیشترین میزان افت وزنی در اثر گرما را با خود به همراه داشته است. بنابراین با استفاده از بررسی‌های انجام شده در مورد گل‌نوشته‌های هفت‌تپه می‌توان چنین برداشت کرد که به دلیل وجود فاز کلسیت و آسیب شدید حاصل از تجزیه آن در دمای بالاتر از 700°C ، نمی‌توان به منظور تحکیم گل‌نوشته‌های هفت‌تپه، آنها را به روش پخت‌درمانی تا این دما گرما داد.

از طرف دیگر بررسی نتایج آنالیز XRD گل‌نوشته‌های تحکیم شده به روش پخت‌درمانی تا دمای ۶۳۰ درجه سانتیگراد نشان می‌دهد که بخش اعظم فاز کلسیت همچنان بدون تجزیه و تغییر در بدنه لوحه‌ها باقی مانده است. به همین خاطر در طیف XRD سه لوحه تحکیم شده به روش پخت‌درمانی با دمای ۶۳۰ درجه سانتیگراد، فاز کلسیت دوباره دیده می‌شود. علاوه بر این مقایسه طیفهای XRD این لوحه‌ها پیش و پس از پخت درمانی، نشان می‌دهد که تغییر قابل ملاحظه و چشمگیری در اثر پخت در فازهای موجود در بدنه آنها به وجود نیامده است. بنابراین به نظر می‌رسد که پخت‌درمانی تا دمای ۶۳۰ درجه سانتیگراد، علاوه بر استحکام‌بخشی گل‌نوشته‌ها، آسیب ناشی از تجزیه کلسیت در اثر پخت را نیز در بر نخواهد داشت.

مراجع

- (۱) کریم‌س، "الواح سومری"، ترجمه رسایی د، نشر فرانکلین، تهران (۱۳۴۰) ص ۹ تا ۱۰.
- (۲) شی‌پرا ادوارد، "الواح بابل"، ترجمه علی اصغر حکمت، انتشارات علمی و فرهنگی، تهران (۱۳۷۵) ص ۳۰.
- [3] Thickett David, "Playing with fire: Characterisation of clay types used to fabricate cuneiform tablets and their thermal behaviour during firing-based conservation treatments", 12th Triennial Meeting Lyon 29 August-3 September 1999 Iccom Committee for Conservation, Janet Bridgland, Volume II, James & James, London (1999) pp 809-810.
- [4] Ibid, p 810.
- (۵) وست، اسکوک، "مبانی شیمی تجزیه"، ترجمه هوشنگ خلیلی، جلد اول، مرکز نشر دانشگاهی، تهران (۱۳۶۶) ص ۱۹۰.
- (۶) وست، اسکوک، "مبانی شیمی تجزیه"، ترجمه هوشنگ خلیلی، جلد دوم، مرکز نشر دانشگاهی، تهران (۱۳۷۰) ص ۳۸۵.
- [7] Thickett David, Ibid, p 810.
- (۸) منشی احمد، "سرامیکها و مواد نسوز"، نشر جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، اصفهان (۱۳۸۰) ص ۲۳۵.