

سالیابی نمونه‌ی سفال منطقه تاریخی آق قلا به روش ترمولومینسانس

حمیده قیام^۱؛ مصطفی زاهدی فر^{۱،۲*}؛ احسان صادقی^۱

^۱دانشکده فیزیک دانشگاه کاشان

^۲دانشگاه کاشان، پژوهشکده علوم و فناوری نانو

چکیده

در این تحقیق سالیابی نمونه‌ای سفالی متعلق به یک ظرف کاسه‌ای شکل از شهرستان آق قلا (منطقه‌ی شمالی ایران)، به روش ترمولومینسانس انجام شد. منحنی درخشش گرمالیانی ناشی از نمونه‌های طبیعی و نمونه‌های طبیعی پرتو دهی شده با پرتوهای گاما توسط چشمه‌ی ^{60}Co با یکدیگر مقایسه و ناحیه‌ی افقی از تقسیم داده‌های این دو منحنی تعیین شد. دز معادل کل با استفاده از اختلاف منحنی پاسخ گرمالیانی نسبت به دز گاما برای نمونه‌ها (18.41 Gy) بدست آمد. با توجه به مقادیر دز محیطی، دز سالیانه و مقدار بدست آمده برای دز معادل، سن نمونه‌ی مورد نظر تعیین شده و مشخص شد که نمونه متعلق به دوره‌ی اشکانیان می‌باشد.

کلمات کلیدی: سالیابی، ترمولومینسانس، کوارتز، سفال

Archeology dating of a pottery sample from Aghala historical zone by using thermoluminescence technique

hamide ghiam¹; mostafa Zahedifar^{1,2*}; Ehsan Sadeghi¹

¹Physics department, University of Kashan, Kashan, I.R.Iran

²Institute of Nano science and Nanotechnology, University of Kashan, Kashan, I.R.Iran

E-mail: zhdfr@kashanu.ac.ir

Abstract

Archeology dating of a bowl sample obtained from Aghola (north zone of Iran) was done using thermoluminescence (TL) technique. The TL glow curves of the samples received natural dose and samples irradiated with gamma rays of ^{60}Co source + natural dose were compared and from which the plateau region was determined. The total equivalent dose of 18.41 Gy was obtained by the use of TL dose response of the samples. The archeology dating using the environmental dose, annual dose and equivalent dose were performed and it determined that the sample was from ashkanian period.

Keywords: Dating, Thermoluminescence, Quartz, Pottery

مقدمه

ترمولومینسانس، نور ساطع شده از مواد در اثر حرارت دادن آنها تا دمای حدود ۵۰۰ درجه سانتیگراد است. جهت بکارگیری ترمولومینسانس در سالیابی از دانه های معدنی کوارتز و فلدسپار موجود در مواد که به عنوان دزیتر عمل می کنند، استفاده می شود [۱]. اولین پیشنهاد در زمینه ی استفاده از ترمولومینسانس برای عمرسنجی نمونه های زمین شناسی و باستان شناسی توسط دانیلز و همکارانش (۱۹۵۳) ارائه شد که پس از آن به سرعت کارهای وسیعی در این زمینه انجام شد [۲]. اولین بار امکان سالیابی نمونه های سفالی با استفاده از روش ترمولومینسانس توسط گروگler (۱۹۶۰) و کندی (۱۹۶۰) ارائه شد [۳ و ۴]. طی دهه ۱۹۶۰ گروه پژوهشگران دانشگاه آکسفورد به سرپرستی آتکین با انجام دادن صدها مورد سالیابی و تعیین قدمت سفال، آجر، کاشی و ارائه روش های مختلف نمونه سازی، توانستند سالیابی ترمولومینسانس را به عنوان روشی دقیق و مطمئن، با درصد خطای پایین و با استفاده از مقدار ناچیزی از نمونه (در حد میلی گرم) برای سالیابی مطلق اشیای سفالی ارائه دهند [۵]. در واقع سالیابی ترمولومینسانس جزئی جدایی ناپذیر از روش های پژوهشی در باستان شناسی و زمین شناسی است [۶].

از مزیت های روش ترمولومینسانس محدوده ی سالیابی آن است. در واقع با استفاده از روش معمول کربن ۱۴ می توان حدود ۴۰ تا ۵۰ هزار سال را سالیابی کرد، در حالی که در روش سالیابی ترمولومینسانس سن تا بالای یک میلیون سال می تواند اندازه گیری شود. از دیگر مزیت های این روش تعیین دقیق زمان پخت سفال است. در حالی که در سالیابی چوب یا ذغال به روش کربن ۱۴، قطع درخت ممکن است مدت ها قبل از واقعه ای باشد که باستان شناس قصد سالیابی آن را دارد یا اینکه ساخت شئی و استفاده از چوب در بنا ممکن است حتی سال ها پس از قطع درخت باشد. از دیگر مزیت های این روش مدت زمان نسبتاً کوتاه لازم برای آزمایش سالیابی است. که در حدود یک ماه می توان قدمت یک نمونه را مشخص کرد [۱]. سفال، آجر، کاشی، رسوبات، سنگهای آتشفشانی و به طور کلی هر نوع خاک پخته شده در درون کوره که بیش از ۴۰۰ درجه سانتیگراد حرارت دیده باشد، برای سالیابی با روش ترمولومینسانس مناسب هستند. کلیه ی مراحل آماده سازی و اندازه گیری نمونه باید در زیر نور قرمز انجام شود چون نور معمولی می تواند انرژی ذخیره شده ی درون بلور ها را آزاد کند و در نتیجه قدمت نمونه کمتر از میزان واقعی آن بدست آید [۷].

روش کار

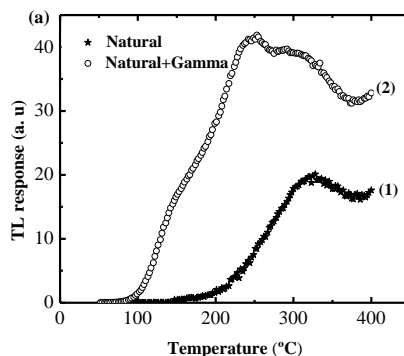
برای انجام تحقیق نمونه ی سفال از منطقه آق قلا تهیه شد. در مرحله ی آماده سازی، برای زدودن آلودگی ناشی از دز بتا، سطح سفال را کنار گذاشته و با استفاده از مته مخصوص مقداری پودر از لایه های داخلی نمونه برداشته شد. بعد از آن برای زدودن ترکیب های کربنات HCl ۱۰٪ به پودر اضافه شد. پس از چند روز با آب یونیزه شده شستشو داده شد و در این مرحله H_2O_2 ۱۰٪ به نمونه شسته شده افزوده و نمونه در محیط تاریک

نگهداری شد. در مرحله بعد مخلوط را چند بار با آب یونیزه شده و اتانول شسته و محلول نهایی یک شب در کوره در دمای 50°C قرار گرفت. در ادامه استون را به نمونه خشک شده اضافه کرده و رسوب حاصل از این مرحله را کنار گذاشته و محلول باقیمانده به حال خود رها شد. پس از آن رسوب حاصل را با مقداری استون مخلوط کرده و محلول را در قالب‌های استیل ریخته و قالب‌ها به مدت یک روز در کوره در دمای 50°C قرار گرفتند. نمونه نهایی به صورت رسوب در کف قالب‌ها باقی می‌ماند. به مجموع رسوب و قالب الیکوت گفته می‌شود [۹]. جرم نمونه‌ها به منظور پرتودهی با استفاده از یک ترازو با دقت $\pm 0.0001\text{ g}$ ثابت نگه داشته شد. برای گرمادهی پودر بدست آمده از یک کوره الکتریکی (با دقت $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$) استفاده شد. پرتودهی همه‌ی نمونه‌ها با استفاده از چشمه ^{60}Co انجام شد. قرائت نمونه‌های پرتودهی شده با یک دستگاه TLD مدل ۴۵۰۰ Harshaw TLD reader از دمای 50°C تا 400°C با آهنگ دمایی 2°C/S انجام گرفت. طیف سنجی گاما با استفاده از دستگاه طیف نگاری پرتو گاما، ساخت شرکت اورتک انجام شد. برای تعیین قدمت نمونه از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود [۸]:

$$Age = \frac{ED}{k D_{\alpha} + C_{\beta} D_{\beta} + C_{\gamma} D_{\gamma} + D_c}$$

که در آن ED دز معادل، D_{α} مقدار انرژی مؤثر پرتوهای آلفا، D_{β} مقدار انرژی مؤثر پرتو بتا، D_{γ} مقدار انرژی مؤثر پرتوهای گاما و D_c مقدار انرژی پرتوهای کیهانی منتقل شده به جسم و ضرایب k ، C_{β} و C_{γ} بازدهی نسبی و ضرایب تصحیح رطوبت می‌باشند.

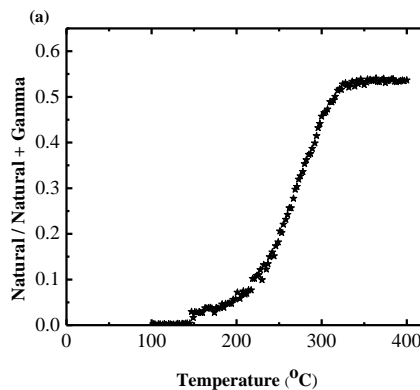
اولین گام در تعیین قدمت، مشخص کردن پایداری گرمایی نمونه است. برای این منظور باید پاسخ ترمولومینسانس نمونه‌های طبیعی (نمودار ۱) و همچنین پاسخ ترمولومینسانس این نمونه‌ها که با چشمه‌ی گاما پرتودهی شده‌اند (نمودار ۲)، قرائت شوند. شکل (۱) منحنی درخشش ترمولومینسانس نمونه‌های طبیعی و نمونه‌های طبیعی پرتودهی شده با پرتو گاما را نشان می‌دهد.



شکل (۱): نمودار درخشش ترمولومینسانس که با آهنگ 2°C/S قرائت شده. منحنی ۱ مربوط به نمونه‌ی طبیعی و منحنی ۲ مربوط به نمونه‌ی طبیعی + پرتو گاما است.

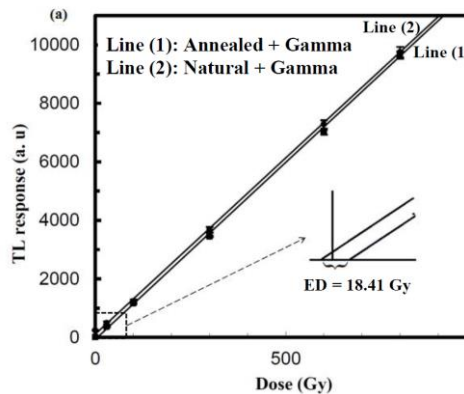
19 th Iranian's Nuclear Conference

همانطور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود قله‌ای که در دمای حدود 300°C قرار دارد پس از گذشت سال‌ها همچنان پایدار است و فقط از شدت آن کاسته شده است. با رسم منحنی نسبت نمودار ۱ به نمودار ۲ در شکل (۱) محدوده دمایی که این نسبت به صورت خط افقی باشد به عنوان محدوده‌ی پایدار دمایی در نظر گرفته می‌شود و اندازه‌گیری شدت نور ترمولومینسانس در این محدوده انجام می‌گیرد. شکل (۲) منحنی این نسبت را نشان می‌دهد.



شکل (۲): منحنی نسبت پاسخ ترمولومینسانس نمونه‌ی طبیعی به پاسخ ترمولومینسانس نمونه‌ی طبیعی که با 30 Gy دز گاما پرتودهی شده است.

با توجه به این شکل مشاهده می‌کنیم که ناحیه‌ی پایدار دمایی 310°C تا 400°C است. به منظور تعیین سن سفال از رابطه ۱ باید مقدار دز معادل به صورت دقیق تعیین شود. برای تعیین دز معادل، چند عدد از الیکوت‌های آماده شده (الیکوت بدون تابکاری) و به همان تعداد الیکوت تابکاری شده در دمای 600°C به مدت یک ساعت را با پرتوی گاما از 0 تا 800 Gy پرتودهی کرده و منحنی درخشش ترمولومینسانس آنها را در یک نمودار ثبت می‌کنیم. نتیجه بدست آمده در شکل (۳) مشاهده می‌شود.



شکل (۳): منحنی پاسخ ترمولومینسانس بر حسب افزایش مقدار دز از 0 تا 800 Gy خط آبی رنگ مربوط به الیکوت‌های تابکاری شده و خط قرمز رنگ متعلق به الیکوت‌های بدون تابکاری است.

با توجه به شکل (۳) دز معادل $18/41 \text{ Gy}$ تخمین زده شد. یک روش بسیار دقیق برای تعیین غلظت عناصر پرتوزا در محیط اطراف نمونه، استفاده از دزیمترهای محیطی ترمولومینسانس (TLD) است. با نصب این دزیمترها در محل برای یک مدت مشخص، می‌توان مقدار پرتوهای یونیزه کننده و کیهانی موجود در محیط را به دقت اندازه‌گیری کرد. با توجه به حساسیت بسیار بالای قرص‌های GR-۲۰۰، از این دزیمتر برای دزیمتری محیطی استفاده شد. بدین منظور چند قرص GR-۲۰۰ پس از تابکاری (240°C به مدت ۱۰ دقیقه) در محدوده‌ی کشف سفال‌ها در ویگل قرار داده و پس از چند روز قرائت شد. میزان دز محیطی بدست آمده برای آن منطقه $10^{-6} \text{ Gy/Year} \times 644/992$ تعیین شد. جهت اندازه‌گیری میزان پرتوزایی مواد رادیو اکتیو موجود در نمونه‌ی سفال که منجر به ساطع شدن پرتو آلفا و بتا می‌شوند، با همکاری بخش حفاظت در برابر پرتوها از روش طیف سنجی گاما استفاده شد. نتایج این طیف نگاری در جدول (۱) ذکر شده است.

جدول (۲): میزان پرتوزایی مواد رادیو اکتیو موجود در نمونه‌ی بدست آمده.

ماده رادیو اکتیو	U_{235}	U_{238}	Ra_{226}	Th_{232}	K_{40}
دز $\times 10^{-6} \text{ (Gy/Year)}$	۶/۹۳۴	۱۱۴/۸۶۱	۶۰/۷۴۰	۶۳/۵۹۷	۲۱۶/۴۶۲

جهت اندازه‌گیری ضرایب رطوبت، نسبت اختلاف وزن نمونه در حالت مرطوب و خشک به وزن نمونه‌ی خشک، درصد وزنی رطوبت در نمونه است. نتایج اندازه‌گیری‌ها و محاسبات در جدول (۳) بیان شده است.

جدول (۳): نتایج اندازه‌گیری رطوبت نمونه‌ی بدست آمده.

وزن نمونه خشک (g)	وزن نمونه مرطوب (g)	اختلاف وزن (g)	درصد وزنی رطوبت %
۵۳/۸۹۰۱	۵۵/۰۰۰۳	۱/۱۱۰۲	۲/۱

با قرار دادن این درصدها در روابط ۲ و ۳ ضرایب مربوط به رطوبت مطابق جدول (۴) بدست آمدند.

جدول (۴): ضرایب رطوبت برای نمونه‌ی بدست آمده.

ضریب	C_β	C_γ
میزان ضرایب رطوبت	۰/۹۷۴	۰/۹۷۷

بحث و نتیجه گیری

ترمولومینسانس جهت سن یابی نمونه‌ی کشف شده در منطقه‌ی آق قلا در استان گلستان انجام شد. با توجه به مقادیر دز معادل، دز سالانه و دز محیطی برای منطقه‌ی گلستان، سن بدست آمده برای نمونه 111 ± 2268 سال می‌باشد. خطای ایجاد شده بیشتر ناشی از محاسبه‌ی دز معادل می‌باشد.

سپاسگذاری

از مرکز تحقیقات کشاورزی و پزشکی هسته‌ای کرج که ما را در پرتودهی نمونه‌ها یاری رساندند، کمال تشکر را داریم.

مراجع

- [۱] فرانک بحرالعلومی شاپور آبادی، روش‌های سالیابی در باستان‌شناسی، انتشارات سمت، ۱۳۸۸.
- [۲] F. Daniels, C. A. Boyd, D. F. Saunders, "Thermoluminescence as a Research Tool", *Science*, vol. ۱۱۷, No. ۳۰۴۰, pp. ۳۴۳-۳۴۹, ۱۹۵۳.
- [۳] N. Grogler, F. G. Houtermans and H. staufer, "Ueber die datierung von Keramik und Ziegel durch Thermolumineszenz", *Helvetica PhysicaActa*, vol. ۳۳, pp. ۵۹۵-۵۹۹, ۱۹۶۰.
- [۴] G. C. Kennedy, and L. Knopff, "Dating by thermoluminescence", *Archaeology*, vol. ۱۳, pp. ۱۴۷-۱۴۸, ۱۹۶۰.
- [۵] M. J. Aitken, Thermoluminescence dating, *Academic Press*, London, ۱۹۸۵.
- [۶] M. Fattahi, R. Walker, "Dating volcanic and related sediments by luminescence methods: a review", *Quaternary Geochronology*, vol. ۲, pp. ۲۸۴-۲۸۹, ۲۰۰۷.
- [۷] S. Khasswneh, Z. Almuheisen, R. Abdallah, "Thermoluminescence dating of pottery objects from Tell Al-Husn, northern Jordan", *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, vol. ۱۱, No. ۱, pp. ۴۱-۴۹, ۲۰۱۱.
- [۸] S.W.S. McKeever, Thermoluminescence of solids, *University Press*, Cambridge, ۱۹۹۷.