



## بررسی دز سالانه خاک بخش شمالی و مرکزی ایران جهت سالیابی نمونه‌های باستانی به روش ترمولومینسانس

عباسی، فهیمه<sup>۱\*</sup>؛ زاهدی فر، مصطفی<sup>۱</sup>؛ صادقی، احسان<sup>۲</sup>؛ سعیدیان، معصومه<sup>۱</sup>؛ هاشمیان کربکندی، نیلوفر<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه کاشان، دانشکده فیزیک

<sup>۲</sup> دانشگاه کاشان، پژوهشکده علوم و فناوری نانو

\*اصفهان، کاشان، کیلومتر ۶ بلوار قطب راوندی، دانشگاه کاشان، دانشکده فیزیک

### چکیده:

قسمت اعظمی از منابع رادیواکتیو موجود در خاک ناشی از پتاسیم، اورانیوم، تورنیوم و درصد کمی رادیوم و پرتوهای کیهانی است. در این پژوهش یک نمونه باستانی از بخش شمالی ایران و یک نمونه از بخش مرکزی ایران انتخاب شد و مقدار عناصر پرتوزای موجود در خاک این مناطق به کمک طیف سنجی گاما اندازه‌گیری شده و همچنین با استفاده از دزیمترهای GR-200 میزان پرتوهای کیهانی و پرتوهای گاما در این دو منطقه به روش ترمولومینسانس اندازه‌گیری شد. این اندازه‌گیری جهت انجام سالیابی آثار باستانی کشف شده از این مناطق مورد استفاده قرار می‌گیرد.

**کلمات کلیدی:** ترمولومینسانس، دز سالانه، سالیابی، پرتوهای کیهانی، عناصر پرتوزا

### مقدمه:

قرار گرفتن انسان در برابر تشعشعات یون‌ساز از ویژگی‌های اجتناب‌ناپذیر زندگی انسان در روی زمین است. آگاهی از میزان تابش پرتوزایی در محیط برای ارزیابی اثرات تابش بر انسان مهم است. دو عامل اصلی در تشعشعات طبیعی عبارتند از: تابش‌های کیهانی و هسته‌های رادیواکتیو که در پوسته زمین در همه جا وجود دارند [۱].

زمین به طور مداوم توسط پرتوهای کیهانی در فضا بمباران می‌شود، این پرتوهای کیهانی با هسته‌های موجود در جو اندرکنش کرده و محصولات ثانویه‌ای را تولید می‌کنند که پرتوزا می‌باشند. همچنین خاک به علت دارا بودن منابع رادیواکتیو مانند پتاسیم، تورنیوم، اورانیوم و روبیدیوم از منابع پرتوزا در محیط به شمار می‌آید [۱].

در این پژوهش مقدار دز سالانه خاک دو منطقه از ایران که ناشی از دو منبع رادیواکتیو فوق می‌باشند به روش ترمولومینسانس محاسبه و مقایسه شده است. در بخش شمالی کشور منطقه بهشتر مازندران و در بخش مرکزی منطقه



استرک اصفهان مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ترمولومینسانس یکی از زیر شاخه‌های لومینسانس است که طی آن مواد هنگام حرارت‌دهی تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد از خود نور ساطع می‌کنند [۲].

امروزه ثابت شده است اجسامی با خاصیت لومینسانس قادرند انرژی‌ای را که از محیط به آن‌ها منتقل می‌شود در خود ذخیره‌کنند و پس از مدتی با ساطع کردن نور، انرژی ذخیره شده را آزاد کنند [۳]. ترمولومینسانس قابلیت ساطع کردن نور بر اثر حرارت‌دادن نمونه در درجه حرارت‌های مشخص است در نمونه‌هایی است که قبلاً تحت تابش پرتوهای یونساز قرار گرفته‌اند. نور ترمولومینسانس ساطع شده از سفال نشان‌دهنده‌ی انرژی آزاد شده در کانی‌های موجود در خاک است. این انرژی از دو منبع به خاک منتقل می‌شود، یکی مواد پرتوزای موجود در خاک سفال یا در محیط اطراف آن مانند اورانیوم، توریم، پتاسیم یا روبیدیم و دیگری پرتوهای کیهانی [۴]. از جمله مهمترین کاربردهایی که برای مواد ترمولومینسانس وجود دارد، برای هدفهای دزیمتری و عمرسنجی می‌باشد. از آنجا که رابطه مستقیمی میان ترمولومینسانس و پرتوهای طبیعی محیط وجود دارد، تحقیقات وسیعی برای یافتن تاریخچه تشکیل مواد با استفاده از این پدیده آغاز گردیده و گزارشی در مورد امکان کاربرد روش ترمولومینسانس برای اهداف زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی تاریخی

وسيله دانيلز و همکارانش (۱۹۳۵) ارائه شده است [۳]. طی دهه ۱۹۶۰ گروه پژوهشگران دانشگاه آکسفورد به سرپرستی آتکین با انجام دادن صدها مورد سنجش دز دریافتی توسط سفال، آجر، کاشی و ارائه روش‌های مختلف نمونه‌سازی، توانستند روش ترمولومینسانس را به عنوان روشی دقیق و مطمئن، با در صد خطای پایین (حدود ۵ تا ۱۰ در صد) و با استفاده از مقدار ناچیزی نمونه (در حدود چند میلی‌گرم) برای اشیای سفالی ارائه دهند [۵].

## روش کار :

در این پژوهش یک قطعه سفال و مقداری از خاک اطراف آن از بخش مرکزی ایران، روستای استرک استان اصفهان و یک قطعه آجر و مقداری از خاک اطراف آن از بخش شمالی، شهرستان بهشهر واقع در مازندران جهت انجام سالیابی به روش ترمولومینسانس انتخاب شد. روستای استرک یکی از روستاهای دهستان کوهپایه از بخش مرکزی شهرستان کاشان می‌باشد که قدمت این شهر به ۷۰۰۰ سال قبل باز می‌گردد و شهرستان بهشهر از شهرستان‌های استان مازندران ایران است و قدمت آن بالغ بر ۱۰۰۰۰ سال می‌باشد [۶].



جهت انجام سالیابی به روش ترمولومینسانس باید دز دریافتی کل توسط نمونه در طول سالیانی که دفن بوده است تعیین شود، سپس نسبت این دز به دز دریافتی نمونه در هر سال، سن نمونه را تعیین می‌کند. برای تعیین غلظت عناصر پرتوزا در محیط و خاک می‌توان از روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلف استفاده کرد [۷]. شیوه‌ای که ما در این تحقیق مورد استفاده قرار داده‌ایم، روش حساس و بسیار دقیق استفاده از دزیترهای محیطی ترمولومینسانس است. این دزیترها برای مدتی معین در محل نصب می‌شوند و می‌توانند مستقیماً مقدار انرژی عناصر پرتوزای محیط و نیز میزان پرتوهای کیهانی موجود در محل را به دقت اندازه‌گیری کنند.

آهنگ دز دریافتی سالانه توسط خاک منطقه از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۸]:

$$\text{Dose rate} = k\dot{D}_\alpha + C_\beta\dot{D}_\beta + C_\gamma\dot{D}_\gamma + \dot{D}_C \quad (1)$$

در این رابطه  $\dot{D}_\alpha$ ،  $\dot{D}_\beta$ ،  $\dot{D}_\gamma$ ،  $\dot{D}_C$  به ترتیب، آهنگ دز پرتوهای آلفا، بتا، گاما و پرتوهای کیهانی می‌باشد. در این رابطه  $k$  بازدهی نسبی می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود [۹]:

$$k = \frac{\text{Termoluminescence per unit dose of } \alpha\text{-radiation}}{\text{Termoluminescence per unit dose of } \beta\text{-radiation}} \quad (2)$$

باتوجه به اندازه ذرات مورد استفاده در این کار  $k = 0.1$  می‌باشد.

پرتوهای همه نمونه‌ها با چشمه گاما انجام شد. قرائت نمونه‌ها با دستگاه *TLD مدل Harshaw TLD reader*

4500 از دمای ۵۰ تا ۴۵۰ درجه سانتیگراد، با آهنگ دمایی  $2 \frac{^\circ\text{C}}{\text{s}}$  انجام گرفت.

با توجه به میزان عمق نفوذ پرتوهای آلفا و بتا و گاما، برای اندازه‌گیری دز محیطی کفیسست میزان دز پرتوی گاما و پرتوهای کیهانی محیط اندازه‌گیری شود [۱۰]. در این پژوهش به منظور اندازه‌گیری دز محیطی دریافتی توسط خاک منطقه، تراشه‌های  $(LiF:Mg,Cu,P)$ ، *GR-200* بکار برده شد. ابتدا برای کالیبره کردن تراشه‌ها با استفاده از برنامه‌ی تابکاری از قبل تعیین شده [۱۱] ۵ تراشه به مدت ده دقیقه در دمای ۲۴۰ درجه سانتیگراد تابکاری شده و با استفاده از یک چشمه سزیم ۱۳۷ با آهنگ دز ۲۲۲/۶۹ میکروگری بر ساعت کالیبره شدند. سپس این چهار تراشه یک بار دیگر با همان برنامه قبلی تابکاری شدند. تراشه‌ها را بسته‌بندی و درون بسته‌های پلاستیکی مشکی رنگ قرار دادیم و به مدت ۵ روز (معادل ۱۱۹ ساعت) در عمق چند سانتیمتری خاک منطقه‌ی مورد مطالعه، قرار گرفتند. پس از آن تراشه‌ها مجدداً به آزمایشگاه منتقل شده و میزان دز دریافتی از خاک منطقه توسط دستگاه *TLD* قرائت شد. نتایج قرائت در جدول ۱ بیان شده است.



جدول شماره (۱) نتایج قرائت چیب های GR-200 قرار گرفته در منطقه.

		۱۰	۹	۸	شماره چیب	منطقه
		۱۶/۰۰	۱۹/۶۸	۱۸/۹۷	پاسخ ( $\mu\text{C}$ )	استرک
۵	۴	۳	۲	۱	شماره چیب	منطقه
۷۰/۱۴	۶۸/۹۱	۵۶/۰۹	۷۳/۵۸	۸۵/۱۶	پاسخ ( $n\text{C}$ )	بهشهر

جهت اندازه‌گیری میزان پرتوزایی مواد رادیواکتیو موجود در خاک منطقه که منجر به ساطع شدن پرتوی آلفا و بتا می‌شوند، با همکاری بخش حفاظت در برابر پرتوها از روش طیف سنجی گاما استفاده شد. نتایج این طیف سنجی ها در جدول ۲ ذکر شده است.

جدول ۲. نتایج طیف سنجی گاما ی خاک منطقه.

ماده رادیواکتیو	اکتیویته جرمی ( $Bq/Kg$ ) (بهشهر)	اکتیویته جرمی ( $Bq/Kg$ ) (استرک)	به دلیل
Ra226	۵۱/۱۴	۲۴/۰۷	
Th232	۶۱/۵۷	۱۴/۷۴	
K40	۷۸۷/۹۲	۲۰۹/۳۱	

اهمیت وجود رطوبت در خاک، درصد وزنی رطوبت اندازه‌گیری شد [۱۰] با توجه به اینکه نمونه خاک برداشته شده از منطقه در شرایط مناسب نگهداری شده بودند، ابتدا نمونه مرطوب وزن شد و سپس نمونه به مدت ۱۲ ساعت در کوره‌ای با دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت تا کاملاً خشک شود و مجدداً وزن شد. نسبت اختلاف وزن نمونه در حالت مرطوب و خشک به وزن نمونه خشک، درصد وزنی رطوبت در نمونه است. نتایج اندازه‌گیری ها و محاسبات در جدول ۳ بیان شده است.

جدول ۳. میزان پرتوزایی مواد رادیواکتیو موجود در خاک.

وزن نمونه خشک (g)	وزن نمونه مرطوب (g)	اختلاف وزن (g)	درصد وزنی رطوبت %	
۳۴/۳۲	۳۵/۳۸	۱/۰۶	۳/۰۹	بهشهر
۲۴/۶۷	۲۵/۲۲	۰/۵۵	۲/۲۳	استرک



### نتایج :

برای محاسبه دز آلفا و بتای نمونه باتوجه به طولانی بودن نیمه عمر این مواد، با داشتن اکتیویته و انرژی هر واپاشی، میزان دز آلفا و بتای نمونه خاک از طریق رابطه زیر بدست می‌آیند [۸]:

$$D_{\alpha,\beta} = Activity (Bq / Kg) \times E_{\alpha,\beta} (J) \quad (3)$$

این رابطه بیانگر دز آلفا و بتای نمونه به ازای ۱ ثانیه است. باتوجه به اینکه هر سال  $3.15 \times 10^7$  ثانیه است، دز سالانه ی آلفا و بتای نمونه خاک تخمین زده شد. نتایج محاسبات در جدول ۴ بیان شده است. جدول ۴. میزان پرتوزایی مواد رادیواکتیو موجود در خاک.

ماده رادیواکتیو	Ra226	Th232	K40
دز (mGy/Year) (بهشهر)	۱/۲۵	۲/۷۶	۵/۱۹
دز (mGy/Year) (استرک)	۰/۵۹	۰/۳۰	۱/۵۹

رطوبت و جذب آب در خاک موجب کاهش تاثیر پرتوهای یونزا روی نمونه است. یعنی انرژی منتقل شده به خاک نسبت به موقعیتی که خاک کاملاً خشک است، کمتر خواهد بود. کاهش اثر تابش‌های یونیزه کننده در این حالت، حدود ۵۰ درصد برای پرتوهای  $\alpha$ ، حدود ۲۵ درصد برای پرتوهای  $\beta$  و حدود ۱۴ درصد برای پرتوهای  $\gamma$  است. به همین دلیل باید رطوبت نسبی و مطلق نمونه‌ها و محیط اطراف نمونه اندازه‌گیری شود اثر وجود رطوبت در نمونه به علت ناچیز بودن دز آلفا، فقط به صورت ضرایبی برای دزهای بتا و گاما ظاهر می‌شود که این ضرایب به صورت زیر تعریف می‌شوند [۵]:

$$C_{\beta} = \frac{1}{1+1.25W \%} \quad (4)$$

$$C_{\gamma} = \frac{1}{1+1.14W \%} \quad (5)$$

$$C_{\alpha} = \frac{1}{1+1.5W \%} \quad (6)$$

با قرار دادن این درصدها در روابط (۴) و (۵)، ضرایب مربوط به رطوبت مطابق جدول ۵ بدست آمدند.



جدول ۵. ضرایب رطوبت برای نمونه برداشته شده از خاک منطقه.

ضریب		$C_{\beta}$	$C_{\gamma}$
مقدار ضرایب	بهشهر	۰/۲۰	۰/۲۲
رطوبت	استرک	۰/۹۷	۰/۹۸

همچنین براساس جدول ۱ و انجام محاسبات، میانگین دز چپ‌ها به ازای ۱۱۹ ساعت محاسبه شد و نهایتاً دز سالانه‌ی ناشی از پرتوی گاما و پرتوهای کیهانی برای منطقه بهشهر  $0.80 \pm 0.01 \text{ mGy/y}$  و برای منطقه استرک  $1.27 \pm 0.01 \text{ mGy/y}$  بدست آمد. با توجه به اطلاعات فوق و محاسبات انجام شده، میزان کل دز سالانه ناشی از مواد پرتوزای موجود در خاک و پرتوهای کیهانی در منطقه بهشهر  $1.28 \pm 0.01 \text{ mGy/y}$  و در منطقه استرک  $2.27 \pm 0.01 \text{ mGy/y}$  می‌باشد.

### بحث و نتیجه‌گیری :

محاسبه دز سالانه دریافتی خاک منطقه بهشهر استان مازندران و استرک استان اصفهان از پرتوهای کیهانی و عناصر پرتوزای موجود در خاک جهت استفاده در سالیابی نمونه‌های باستانی بدست آمده از این مناطق انجام شد. دز دریافتی توسط پرتوهای کیهانی، از روش ترمولومینسانس و با استفاده از دزیمترهای GR-200، که روشی بسیار دقیق برای سنجش دز ناشی از پرتوهای کیهانی است، و دز دریافتی از عناصر پرتوزای درون خاک با روش طیف سنجی گاما با دقت ۹۵٪ محاسبه شد. در نتیجه محاسبات، دز سالانه منطقه بهشهر  $1.28 \pm 0.01 \text{ mGy/y}$  و منطقه استرک  $2.27 \pm 0.01 \text{ mGy/y}$  بدست آمد. با توجه به اینکه دز عناصر پرتوزای موجود در خاک منطقه استرک کمتر از منطقه بهشهر بوده است، به دلیل بیشتر بودن مقدار دز پرتوهای کیهانی در منطقه استرک، دز کل سالانه دریافتی نمونه‌های این منطقه بیشتر از نمونه‌های منطقه بهشهر می‌باشد.

### مراجع :

[۱] Kapdan, E. , Varinlioglu , A. and Karahan, G, Radioactivity Levels and Health Risks due to Radionuclides in the Soil of Yalova, Northwestern Turkey, Int. J. Environ. Res., 5(4):837-846, Autumn 2011



[۲] بهپور، محسن. ۱۳۸۴. طیف سنجی لومینسانس، چاپ اول.

[۳] R. Chen, and S.W.S McKeever, Theory of thermoluminescence and related phenomena, World scientific, Singapore, (1997).

[۴] C. A. Daniels and D. F. Saunders; Science 117, (1960) 343-349.

[۵] M. J. Aitken; "Thermoluminescence dating", Academic Press, London (1985).

[۶] <https://fa.wikipedia.org/wiki>

[۷] T. M. Piters, A.J.J. Bos, Radiat. Prot. Dosim., 33, 91-94, (1990).

[۸] D. W. Zimmermann; Archaeology, 13,(1971) 29-52.

[۹] E. H. Bakraji; "Study of Syrian archaeological pottery by the combined application of thermoluminescence (TL) dating, X-ray fluorescence analysis and statistical multivariate analysis"; Nuc. Instr. Meth. B 269, (2011)2052-2056

[۱۰] د. شهبازی گهروی، اندازه گیری تشعشعات زمینه استان چهارمحال بختیاری، مجله دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، ۱۳۸۱.

[۱۱] S.W.S. McKeever; "Thermoluminescence of solids"; University Press, Cambridge, (1997).