

## ارزیابی میزان تأثیر رنگ سنگ‌های گرانیت در رادیواکتیویته‌ی طبیعی آن‌ها

دکتر محمد باقر توکلی<sup>۱</sup>، دکتر محمد رضا عبدی<sup>۲</sup>، هادی نخزری مقدم<sup>۳</sup>،  
گلزاده حاجی علیانی<sup>۴</sup>، سید علی موسوی<sup>۵</sup>

### مقاله پژوهشی

### چکیده

**مقدمه:** محیط زندگی و مصالح به کار رفته در ساختار ساختمان‌های مسکونی دارای مقادیر مختلفی از عناصر رادیواکتیو می‌باشد. آگاهی از توزیع و سطح تشعشعات در محیط برای ارزیابی تأثیرات پرتوزا در محیط زندگی انسان بسیار مهم است. در این مطالعه، میزان فعالیت هسته‌های پرتوزا در سنگ‌های گرانیت با توجه به نوع رنگ هر سنگ ارزیابی گردید.

**روش‌ها:** جهت تعیین پرتوزایی طبیعی سنگ‌های گرانیت، ۱۳ نوع از سنگ‌های گرانیتی مورد استفاده در شهر اصفهان انتخاب شد و پرتوزایی طبیعی نمونه‌ها به روش بیناب‌نمایی پرتوی گاما تعیین گردید. برای انجام کار نمونه‌برداری و کلیه‌ی مراحل کار، دستورالعمل آژانس بین‌المللی انرژی اتمی رعایت شد؛ به این ترتیب که شستشو ظروف نمونه‌برداری با آب مقطر و الکل انجام شد. سپس نمونه‌ها پودر شدند و در ظروف مارینلی بسته‌بندی و مهر و موم گردیدند. ظروف مارینلی قبل از طیف‌سنجی به مدت ۵ هفته برای به تعادل رسیدن دختر هسته‌های اورانیوم و تورنیوم موجود در نمونه‌ها نگهداری شدند. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، بیناب‌نمایی پرتوی گامای هر یک از آن‌ها به وسیله‌ی آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص (High-purity germanium یا HPGe) به مدت ۱۲ ساعت جمع‌آوری گردید. بعد از آن هر بیناب مقیاس‌بندی انرژی شد. در نهایت فعالیت ویژه‌ی هسته‌های پرتوزای موجود در هر نمونه به دست آمد.

**یافته‌ها:** اندازه‌گیری پرتوزایی طبیعی شامل اندازه‌گیری اکتیویته‌ی هسته‌های  $^{238}\text{U}$  (اورانیوم ۲۳۸)،  $^{232}\text{Th}$  (تورنیوم ۲۳۲) و  $^{40}\text{K}$  (پتاسیم ۴۰) بر حسب بکرل به ازای هر کیلوگرم (Becquerel / kilogram یا Bq/Kg) انجام شد. برای هر سه هسته‌ی پرتوزای مورد مطالعه، کمترین مقدار میانگین اکتیویته‌ی ویژه‌ی کمتر از MDA (Minimum detectable activity) برای سنگ‌های گرانیت سبز و بیشترین مقدار میانگین اکتیویته ویژه برای سنگ‌های گرانیت سفید بود.

**نتیجه‌گیری:** اکتیویته‌ی ویژه‌ی سنگ‌های گرانیتی که به رنگ سفید متمایل هستند، بیشترین مقادیر را برای هر سه هسته‌ی پرتوزا داشت. پس از آن سنگ‌های با رنگ قرمز قرار داشت و در نهایت کمترین مقدار اکتیویته برای هر سه هسته‌ی پرتوزا برای سنگ‌های سبز به دست آمد.

**واژگان کلیدی:** High-purity germanium، رنگ، سنگ گرانیت، طیف‌سنجی گاما، رادیونوکلئیدهای طبیعی

**ارجاع:** توکلی محمد باقر، عبدی محمد رضا، نخزری مقدم هادی، حاجی علیانی گلزاده، موسوی سید علی. **ارزیابی میزان تأثیر رنگ سنگ‌های**

**گرانیت در رادیواکتیویته‌ی طبیعی آن‌ها.** مجله دانشکده پزشکی اصفهان ۱۳۹۱؛ ۳۰ (۲۲۰): ۲۴۱۸-۲۴۱۲

۱- استاد، گروه فیزیک و مهندسی پزشکی، دانشکده‌ی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- استادیار، گروه فیزیک، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۳- کارشناس ارشد، گروه فیزیک و مهندسی پزشکی، دانشکده‌ی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۴- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۵- کارشناس ارشد، گروه فیزیک، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

## مقدمه

تشعشعات زمینه در نتیجه‌ی وجود هسته‌های ناپایدار موجود در مقادیر مختلف خاک، مصالح ساختمانی، آب، سنگ‌ها و اتمسفر می‌باشند. این رادیونوکلئیدها از طرق مختلف می‌توانند انسان را مورد تابش قرار دهند. با توجه به این که در ایران، حدود ۹۰ تا ۹۴ درصد پرتوگیری انسان از منابع طبیعی می‌باشد (۱-۲)، مهم‌ترین علت تابش رادیواکتیو سنگ‌های گرانیت از طریق واپاشی عناصر اورانیوم، توریم و پتاسیم ایجاد می‌شود. این عناصر به طور طبیعی در سنگ‌های گرانیت وجود دارند (۳-۴). رادون و تورون از محصولات واپاشی پرتوزای اورانیوم و توریم است که در سنگ‌های گرانیت وجود دارد. هدف از این مطالعه، ارزیابی تأثیر رنگ در رادیواکتیویته طبیعی سنگ‌های گرانیت بود.

## روش‌ها

جهت تعیین پرتوزایی طبیعی سنگ‌های گرانیت، انواع سنگ‌های گرانیتی مورد دزیمتری قرار گرفت. تعداد کل انواع سنگ‌های گرانیتی مورد استفاده در شهر اصفهان با مراجعه‌ی حضوری به تولیدی‌های سنگ، ۱۳ نوع بود. این نمونه‌گیری به صورتی انجام گرفت که کلیه‌ی اقلام سنگ‌های مصرفی را پوشش دهد. برای انجام کار نمونه‌برداری و کلیه‌ی مراحل کار، دستورالعمل آژانس بین‌المللی انرژی اتمی رعایت شد (۵). هر نمونه قبل از واکافت به آماده‌سازی خاصی احتیاج دارد که بسته به نوع و روش واکافت آن متفاوت است. مراحل آماده‌سازی نمونه‌های گرانیت جهت واکافت به روش بیناب‌نمایی پرتوی گاما به شرح زیر انجام شد (۶-۹):

## ۱- آسیاب‌کاری و الک کردن نمونه‌ها

آسیاب‌کاری و الک کردن نمونه‌ها موجب همگنی بیشتر هر یک از نمونه‌ها می‌شود. برای جلوگیری از آلودگی و اختلاط نمونه‌ها، ظرف‌های آسیاب و الک مورد استفاده توسط آب و الکل شسته و خشک شدند. پس از آسیاب‌کاری، نمونه‌ها خرد و به پودر تبدیل شدند. به منظور همگنی اندازه، ذرات کوچک‌تر از یک میلی‌متر (به وسیله‌ی الک با مش ۱۸) حفظ گردیدند و اندازه‌های بزرگ حذف شدند. دو تا سه بار آسیاب‌کاری برای تبدیل نمونه‌ی انتخابی به پودری که از الک مش ۱۸ رد شود، لازم بود.

## ۲- خشک کردن نمونه‌ها

همراه نمونه‌های برداشته شده مقادیری آب و رطوبت وجود دارد. به این دلیل نمونه‌ها پس از آن که به پودر تبدیل شدند، در دستگاه آون آزمایشگاه اصفهان به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار گرفتند تا به طور کامل عاری از رطوبت شوند. پس از آسیاب‌کاری هر نمونه برای جلوگیری از آلودگی و اختلاط نمونه‌ها، ظرف‌های آسیاب و الک مورد استفاده توسط آب و الکل شسته و خشک شدند.

## ۳- بسته‌بندی نمونه‌ها

نمونه‌ها پودر شدند و در بسته‌بندی استاندارد ظروف مارینلی قرار گرفتند و سپس تحت فشار مهر و موم شدند. در این حالت وزن نمونه اندازه‌گیری شد. نمونه‌ی الک شده‌ی خشک، درون ظرف مارینلی خشکی که پیش از آن با آب و الکل شسته شده بود، به طوری که نمونه به طور یکنواخت ظرف را پر کند و سطح نمونه‌ی درون ظرف صاف و افقی باشد، ریخته شد. سپس یک ورقه‌ی آلومینیوم بر سطح نمونه

(High-purity germanium) دزیمتری گردید (۱۱-۱۰). در تمام مراحل نمونه‌برداری و اندازه‌گیری دستورالعملی که توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی برای نمونه‌برداری‌های محیطی ارائه شده است، رعایت گردید (۵). آشکارساز این سامانه، آشکارساز ژرمانیومی فوق خالص هم محور نوع n (n Type coaxial HPGe) بود.

### یافته‌ها

غلظت پرتوزایی  $^{238}\text{U}$ ،  $^{232}\text{Th}$  و  $^{40}\text{K}$  بر حسب بکرل به ازای هر کیلوگرم (Becquerel/kilogram) یا (Bq/Kg) برای نمونه‌های بررسی شده در جدول ۱ ارائه شده است.

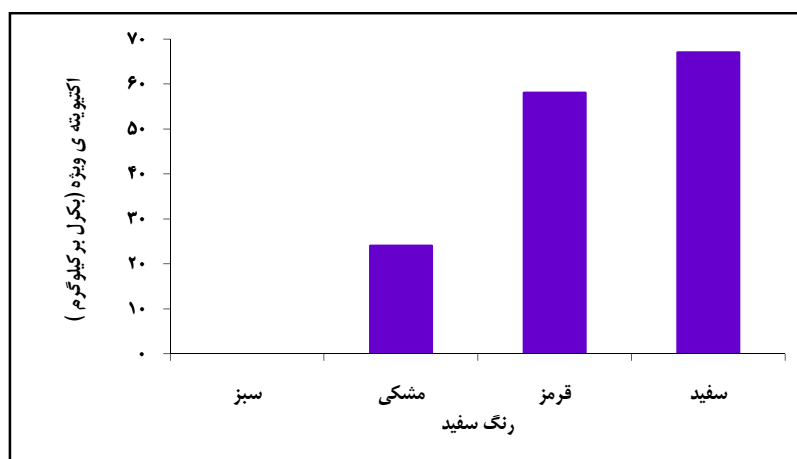
در درون ظرف قرار داده شد و لایه‌ای از پارافین مذاب به ضخامت ۵ میلی‌متر برای جلوگیری از فرار گاز رادون حاصل از واپاشی ویژه‌ی هسته‌های سنگین پرتوزا از درون نمونه به بیرون، بر روی ورقه‌ی آلومینیوم ریخته شد (ورقه‌ی آلومینیوم مانع از نفوذ شدن پارافین درب ظرف بسته شد و برای اطمینان از عدم خروج گاز رادون، توسط چسب سیلیکونی اطراف درب ظرف درزگیری گردید. قبل از شمارش به منظور حصول اطمینان از تعادل بین ذرات دختر و مادر، نمونه‌ها برای مدت پنج هفته نگهداری شدند. ظروف مورد استفاده که در داخل آنها گرانیت خالص پودر شده بود، توسط آشکارساز HPGe

جدول ۱. غلظت پرتوزایی  $^{238}\text{U}$ ،  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{40}\text{K}$  بر حسب بکرل به ازای هر کیلوگرم برای نمونه‌های بررسی شده

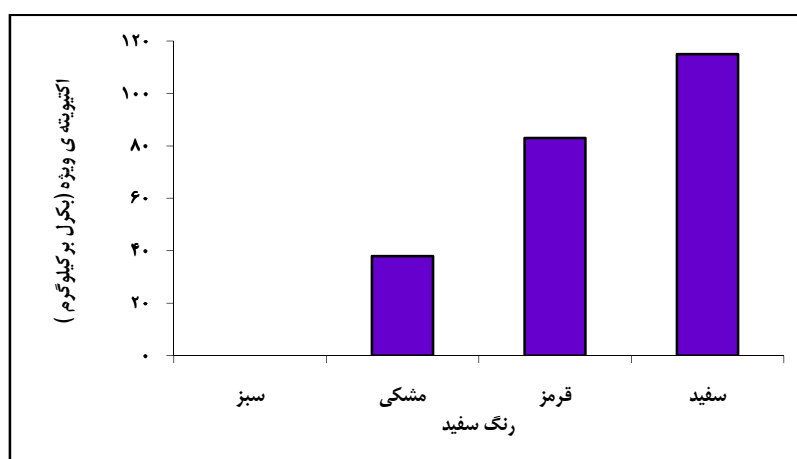
کد نمونه	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
	انحراف معیار $\pm$ میانگین	انحراف معیار $\pm$ میانگین	انحراف معیار $\pm$ میانگین
مشکی نوع ۱	۴۵/۸ $\pm$ ۱/۲۰	۶۶/۹۴ $\pm$ ۱/۴۱	۹۸۲/۱۸ $\pm$ ۰/۴۳
مشکی نوع ۲	۲/۸۲ $\pm$ ۲/۶۷	۱/۶۳ $\pm$ ۵/۴۲	۶۹/۴۶ $\pm$ ۱/۰۰
قرمز نوع ۱	۴۷/۳۹ $\pm$ ۲/۲۰	۶۰/۳۳ $\pm$ ۴/۱۱	۸۱۴/۳۸ $\pm$ ۱/۴۱
قرمز نوع ۲	۴۸/۶۹ $\pm$ ۶/۰۷	۹۵/۸۲ $\pm$ ۸/۵۹	۱۰۰۱/۷۸ $\pm$ ۷/۲۰
قرمز نوع ۳	۳۰/۳۲ $\pm$ ۱/۸۴	۲۶/۲۶ $\pm$ ۳/۹۹	۳۱۵/۳۵ $\pm$ ۱/۱۲
قرمز نوع ۴	۱۰۲/۶۶ $\pm$ ۱/۷۶	۱۵۴/۸۵ $\pm$ ۲/۵۶	۱۴۵۷/۹۷ $\pm$ ۱/۴۲
سفید نوع ۱	۵۷/۷۶ $\pm$ ۱/۲۰	۱۳۴/۰۷ $\pm$ ۱/۳۸	۱۴۰۰/۸۶ $\pm$ ۰/۷۴
سفید نوع ۲	۸۷/۰۸ $\pm$ ۰/۸۰	۹۴/۳۳ $\pm$ ۰/۰۰۴	۸۱۳/۴۸ $\pm$ ۰/۰۱
سفید نوع ۳	۵۴/۸۸ $\pm$ ۲/۰۶	۸۳/۴۸ $\pm$ ۳/۵۵	۱۱۱۹/۸۷ $\pm$ ۱/۲۴
سفید نوع ۴	۳۵/۶۴ $\pm$ ۳/۴۳	۱۰۶/۸۳ $\pm$ ۳/۵۲	۱۴۴۵/۱۳ $\pm$ ۱/۲۵
سفید نوع ۵	۹۵/۶۹ $\pm$ ۱/۹۴	۱۸۰/۲۳ $\pm$ ۷/۳۳	۱۵۹۰/۶۵ $\pm$ ۹/۶۱
سفید نوع ۶	۶۳/۲۸ $\pm$ ۱/۴۸	۸۱/۲۵ $\pm$ ۳/۳۱	۱۰۸۹/۷۱ $\pm$ ۲/۱۲
سبز نوع ۱	< MDA	< MDA	۵۳/۱۶ $\pm$ ۱/۱۰

با میانگین‌گیری بر روی اکتیویته‌ی ویژه هر کدام از نمونه‌ها، ویژه  $^{232}\text{Th}$  برای هر کدام از نمونه‌ها به دست آمد. میانگین اکتیویته ویژه هر رنگ از سنگ‌ها در شکل شماره ۲ آورده شده است. بیشترین این مقدار برای سنگ‌های گرانیت سفید با متوسط اکتیویته‌ی  $113/36$  بکرل بر کیلوگرم، برای سنگ‌های گرانیت قرمز متوسط اکتیویته‌ی  $84/31$  بکرل بر کیلوگرم، برای سنگ‌های گرانیت مشکی متوسط اکتیویته‌ی  $34/28$  بکرل بر کیلوگرم و کمترین مقدار با متوسط اکتیویته‌ی کمتر از MDA برای سنگ‌های گرانیت سبز حاصل شد.

با میانگین‌گیری بر روی اکتیویته‌ی ویژه هر کدام از نمونه‌ها، اکتیویته‌ی ویژه  $^{238}\text{U}$ ، برای مجموعه‌ی سنگ‌هایی با همان نوع رنگ حاصل شد که این اعداد در شکل ۱ آورده شده است. بیشترین این مقدار برای سنگ‌های گرانیت سفید با متوسط اکتیویته‌ی  $65/72$  بکرل بر کیلوگرم بود. متوسط اکتیویته برای سنگ‌های گرانیت قرمز  $57/26$  بکرل بر کیلوگرم و برای سنگ‌های گرانیت مشکی  $24/31$  بکرل بر کیلوگرم به دست آمد. کمترین مقدار با متوسط اکتیویته‌ی کمتر از MDA برای سنگ‌های گرانیت سبز حاصل شد.



شکل ۱. میانگین اکتیویته‌ی ویژه  $^{238}\text{U}$  بر حسب بکرل بر کیلوگرم



شکل ۲. میانگین اکتیویته‌ی ویژه  $^{232}\text{Th}$  بر حسب بکرل بر کیلوگرم



شکل ۳. میانگین اکتیویته‌ی ویژه  $^{40}\text{K}$  بر حسب بکرل بر کیلوگرم

متوسط بیشترین پرتوزایی مربوط به سنگ گرانیت سفید بود. همچنین سنگ گرانیت قرمز رتبه‌ی دوم و سنگ گرانیت سبز کمترین پرتوزایی را داشت.

این نتایج نشان می‌دهد که اکتیویته‌ی ویژه‌ی سنگ‌های گرانیتی که به رنگ سفید متمایل هستند، بیشترین مقادیر را برای هر سه نوکلئید داشت. همچنین اکتیویته‌ی ویژه سنگ‌هایی با رنگ قرمز پس از سنگ‌های سفید قرار داشت. در نهایت کمترین مقدار اکتیویته برای هر سه هسته‌ی پرتوزا برای سنگ‌های سبز به دست آمد.

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان در ساخت ساختمان‌ها به این موارد دقت کرد.

میانگین اکتیویته‌ی ویژه‌ی  $^{40}\text{K}$  برای هر کدام از رنگ‌های سنگ‌ها به دست آمد (شکل ۳). بیشترین این مقدار برای سنگ‌های گرانیت سفید با متوسط اکتیویته‌ی  $1243/28$  بکرل بر کیلوگرم، برای سنگ‌های گرانیت قرمز با متوسط اکتیویته‌ی  $897/37$  بکرل بر کیلوگرم و برای سنگ‌های گرانیت مشکی با متوسط اکتیویته‌ی  $525/82$  بکرل بر کیلوگرم و کمترین مقدار با متوسط اکتیویته‌ی  $53/16$  بکرل بر کیلوگرم برای سنگ‌های گرانیت سبز حاصل شد.

### بحث

همان گونه که نتایج نشان داد برای هر سه نوکلئید مورد بررسی در نمونه سنگ‌های بررسی شده به طور

### References

1. Azarm T, Harirchian M, Bahman Ziari F, Raei H, Mehrabi S, Haghi S, et al. Epidemiologic distribution of cancers in a 5-year study: Retrospective study in Isfahan, 1990-95. Pajouhesh Dar Pezeshki 2000; 5(2): 109-12. [In Persian].
2. Hollins M. Measuring and controlling radiation. In: Hollins M, editor. Medical physics. London, UK; McMillan: 1990. p. 145-58.
3. Tilaki R, Yazdanifar A. Beta and gamma radiation dosimetry in Granite and marble stones In Sari in 2008. Proceedings of the 12<sup>th</sup> National Conference on Environmental Health; 2009 Nov; Tehran, Iran.
4. Faure G. Principles of isotope geology. 2<sup>nd</sup> ed. New York, NY: Wiley; 1986.
5. International Atomic Energy Agency. Collection and preparation of bottom sediment

- samples for analysis of radionuclides and trace elements. Vienna, Austria: Renouf Publishing Company; 2003.
6. Abdi MR, Kamali M, Vaezifar S. Distribution of radioactive pollution of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in northwestern coasts of Persian Gulf, Iran. *Mar Pollut Bull* 2008; 56(4): 751-7.
  7. Akhtar N, Tufail M, Ashraf M, Mohsin Iqbal M. Measurement of environmental radioactivity for estimation of radiation exposure from saline soil of Lahore, Pakistan. *Radiation Measurements* 2005; 39(1): 11-4.
  8. Sadremomtaz A, Moghaddam MV, Khoshbinfar S, Moghaddasi A. A comparative study of field gamma-ray spectrometry by NaI (TI) and HPGe detectors in the south Caspian region. *Caspian J Env Sci* 2010; 8(2): 203-10.
  9. Celik N, Cevik U, Celik A, Koz B. Natural and artificial radioactivity measurements in Eastern Black Sea region of Turkey. *J Hazard Mater* 2009; 162(1): 146-53.
  10. Arafa W. Specific activity and hazards of granite samples collected from the Eastern Desert of Egypt. *J Environ Radioact* 2004; 75(3): 315-27.
  11. Tzortzis M, Tsertos H, Christofides S, Christodoulides G. Gamma radiation measurements and dose rates in commercially-used natural tiling rocks (granites). *J Environ Radioact* 2003; 70(3): 223-35.

## The Effect of the Color of Granite on its Natural Radioactivity

Mohammad Bagher Tavakoli PhD<sup>1</sup>, Mohammad Reza Abdi PhD<sup>2</sup>,  
Hadi Nakhzari Moghadam MSc<sup>3</sup>, Golzadeh Hajjaliani MSc<sup>4</sup>, Seyyed Ali Mousavi, MSc<sup>5</sup>

### Original Article

#### Abstract

**Background:** Living environment and applied building materials in dwellings contain various amounts of radioactive elements. Knowing about the distribution and the level of radiation in the environment is very important to evaluate the effects of radiation on the human. In this study, the level of radioactive nuclei in the granite was assessed according to the color of the stone.

**Methods:** 13 different types of granite used in city of Isfahan (Iran) dwellings were selected, turned to powder, packaged in Marinli dishes and sealed accordingly. The International Atomic Energy Commission instructions were applied for sampling and all other steps of the survey. The dishes were kept for 5 weeks before spectroscopy, to obtain equivalent amount of uranium and thorium nuclides. Then, the gamma-spectroscopy of each sample was collected by HPGe (high purity germanium detector) for 12 hours and categorized based on its energy level. Finally, the special activity of the radiating nuclides in each sample was obtained. Measuring natural radioactivity, including nucleus radioactivity of <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K based on Bq/kg unit, was done. The specific average radioactivity concentration of each radiating nuclei was evaluated, too.

**Findings:** The reported special activities for <sup>238</sup>U were less than malondialdehydc (MDA) level for green, 65.72 Bq/Kg for white, 57.26 Bq/kg for red, and 24.31 Bq/kg for black granites. The measured special activities for <sup>232</sup>Th were 113.36, 84.31, and 34.28 Bq/kg, and less than MDA level for white, red, black and green granites, respectively. Besides, the measured special activities for <sup>40</sup>K were 53.16, 525.82, 897.37, and 1243.28 Bq/kg for green, black, red, and white granites, respectively.

**Conclusion:** White granite sample has the highest special activity for the three nuclides, <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, and <sup>40</sup>K. Also, the lowest special activity for these nuclides was found in green stones and the red granite had an intermediate activity.

**Keywords:** High-purity germanium detector (HPGe), Color, Granite, Gamma spectroscopy, Natural radionuclides

**Citation:** Tavakoli MB, Abdi MR, Nakhzari Moghadam H, Hajjaliani G, Mousavi SA. **The Effect of the Color of Granite on its Natural Radioactivity.** J Isfahan Med Sch 2013; 30(220): 2412-8

1- Professor, Department of Physics and Medical Engineering, School of Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Physics, School of Science, University of Isfahan, Isfahan, Iran

3- Department of Physics and Medical Engineering, School of Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

4- Department of Nuclear Engineering, School of Modern Sciences and Technologies, University of Isfahan, Isfahan, Iran

5- Department of Physics, School of Science, University of Isfahan, Isfahan, Iran

**Corresponding Author:** Mohammad Bagher Tavakoli PhD, Email: mbtavakoli@mui.ac.ir