

## اندازه گیری میزان غلظت مواد پرتوزای طبیعی در سنگ های گرانیتی مورد استفاده در ساختمان های ایران

فرید اصغری زاده<sup>۱\*</sup>، اکبر عباسی<sup>۱</sup>، امید هوچقانی<sup>۱</sup> و الهام صدق گویا<sup>۳</sup>

۱. سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده چرخه سوخت هسته ای
۲. سازمان انرژی اتمی، شرکت تولید مواد اولیه و سوخت هسته ای ایران
۳. سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده تحقیقات و توسعه راکتورها و شتابدهنده ها

### چکیده

نظر به این که انسان قسمت زیادی از وقت خود را در درون ساختمان (محل زندگی و کار) می گذراند، آگاهی از میزان و سطح پرتوگیری داخل ساختمان ها به منظور ارزیابی پرتوگیری عمومی از اهمیت خاصی برخوردار است. در این کار پژوهشی میزان پرتو زایی سنگ های گرانیتی که در بازار مصرفی ایران به عنوان مصالح ساختمانی در نمای ساختمان، سنگ روی کابینت آشپزخانه و یا کف پوش ساختمانی از آن ها استفاده می شود، مورد اندازه گیری قرار گرفته است. برای اندازه گیری غلظت پرتو زایی رادیونوکلیدهای طبیعی تابش کننده پرتوهای گاما در نمونه های سنگ های گرانیتی آماده شده، روش طیف نگاری پرتوهای گاما<sup>۱</sup> مورد استفاده قرار گرفت.

غلظت پرتو زایی رادیونوکلیدهای  $^{232}\text{Th}$  و  $^{226}\text{Ra}$  با استفاده از سطح زیرپیک های گامای دختران نیمه عمر کوتاه آنها اندازه گیری شد. مقایسه پرتو زایی نمونه ها با یکدیگر نشان می دهد یکی از محصولات کشور چین بیشترین و نمونه ای از کشور هند، کمترین مقدار پرتو زایی را دارد. میزان غلظت  $^{226}\text{Ra}$  در سنگ های گرانیتی ساختمانی مورد اندازه گیری در این کار پژوهشی تا بیش از  $4 \text{ pCi.g}^{-1}$  نیز اندازه گیری شده است. میزان غلظت  $^{232}\text{Th}$  در همه سنگ های گرانیتی اندازه گیری شده، از میزان غلظت آن در سنگ گرانیتی گزارش شده توسط NCRP بیشتر بوده و در ۱۰ نمونه به بیش از ده برابر نیز می رسد.

### مقدمه

مطالعات و بررسی های مختلف نشان می دهند که همه مواد ساختمانی حاوی مقداری مواد پرتو زای طبیعی<sup>۲</sup> هستند. مقدار این مواد پرتوزا در نمونه های مختلف مواد ساختمانی متفاوت است. پرتو زایی ناشی از این مواد، منبع اصلی پرتوگیری داخلی و خارجی ساکنین ساختمان های مسکونی می باشد. بیشترین رادیونوکلیدها در این مواد مربوط به سری های واپاشی طبیعی U-238 و Th-232 (محصولات واپاشی آنها) و

<sup>1</sup> . Gamma-Ray Spectrometry

<sup>2</sup> . NORM; Naturally Occurring Radioactive Materials

### رادویازوتوپ طبیعی

K-40 موجود در محیط می باشد. [1] پتاسیم-۴۰ و برخی از محصولات واپاشی این زنجیره های طبیعی، پرتو گاما تابش می کنند. پرتوگیری خارجی مردم از مواد پرتوزای طبیعی محیطی مربوط به پرتوزایی پرتوهای گاما از این رادیونوکلیدها (به ویژه از دختران نیمه عمر کوتاه هر دو سری واپاشی) می باشد.

سنگ های آتشفشانی از جمله سنگ گرانیت دارای پرتوزایی بالا و سنگ های رسوبی دارای کمترین پرتوزایی هستند. البته در بعضی از موارد استثنایی وجود دارد مثلاً در برخی از سنگ های فسفاتی و رسی نیز پرتوزایی بالا مشاهده شده است. گرانیت یک سنگ آذرین است که در اثر سرد شدن آرام ماگما در اعماق پوسته زمین ایجاد می شود.

سنگ های گرانیتی به طور گسترده ای در ساختمان ها به کار می روند. با توجه به فراوانی غلظت مواد پرتوزای طبیعی در این سنگ ها امکان پرتوگیری ناخواسته ساکنین در این گونه ساختمان ها وجود دارد.

بر اساس NCRP 94, 1987 میزان غلظت اورانیوم، توریم و پتاسیم در سنگ گرانیت به عنوان یکی از مواد ساختمانی به ترتیب  $1/7$ ،  $0/22$  و  $32$  گزارش شده است. [2] همچنین غلظت اورانیوم، توریم-۲۳۲، رادیوم-۲۲۶ و پتاسیم-۴۰ در خاک های سطحی به ترتیب حدود  $2$ ،  $1$ ،  $1$  و  $10$  تخمین زده شده است [3][4][5].

### روش کار

#### نمونه سازی

هدفه نمونه سنگ گرانیتی که در ساختمان ها بیشتر به عنوان سنگ نما یا روکابیتی آشپزخانه مورد استفاده قرار می گیرند، از طریق هماهنگی با اتحادیه مربوطه در تهران تهیه گردیدند. نمونه ها خرد شده و با آسیاب مخصوص به صورت پودری درآمدند. [6] نمونه های بدست آمده الک شدند تا دارای اندازه ذرات یکسانی باشند. یک کیلوگرم نمونه در یک ظرف مارینلی<sup>۳</sup>، از جنس پلی اتیلن خالص دارای چگالی  $1/1 \text{ g/cm}^3 \pm$  ساخته شده در پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، منطبق بر استاندارد 1996 - IEEE-ANSI Std [7] 325، ریخته شده و سیلد شدند. نمونه های تهیه شده به مدت ۵ ماه در یک محل خنک نگهداری شدند تا رادیونوکلیدهای  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{226}\text{Ra}$  با دختران نیمه عمر کوتاه خود به ترتیب  $^{228}\text{Ac}$ ،  $^{208}\text{Tl}$  و  $^{214}\text{Bi}$  به حالت تعادل برسند. فرض بر این بود که گاز رادن از ظروف سیلد شده خارج نمی شود [7]. نمونه های IAEA SOIL-6 و IAEA-375 آژانس بین المللی انرژی اتمی به ترتیب به عنوان نمونه های استاندارد و مرجع به همان روش توضیح داده شده در بالا در ظروف مارینلی آماده سازی شدند.

<sup>3</sup>. Marinelli beaker

### اندازه گیری نمونه ها

برای اندازه گیری غلظت پرتوزایی رادیونوکلیدهای تابش کننده پرتوهای گاما در نمونه های سنگ های گرانیتهی آماده شده، روش طیف نگاری اشعه گاما مورد استفاده قرار گرفت [8]. پس از آماده سازی و سپری شدن زمان تعادل پایسته بین رادیونوکلیدها، شمارش نمونه ها با استفاده از آشکارساز ژرمانیوم خالص با بازده نسبی ۸۰٪ انجام گرفت. زمان شمارش طولانی مدت (۸۰۰۰۰ ثانیه) تعیین شد. قدرت تفکیک این آشکارساز، keV ۱/۸ برای پیک ۱۳۳۲ keV اشعه گامای مربوط به  $^{60}\text{Co}$  است. آشکارساز به یک تحلیل گر چند کاناله High Count-rate Multi Task 16k متصل شده بود.

### کالیبراسیون بازده

جهت کالیبراسیون بازده به جای روش کالیبراسیون مطلق از روش مقایسه ای یعنی مقایسه میزان شمارش پیک حاصل از شمارش نمونه با میزان شمارش پیک مربوط به نمونه استاندارد آژانس بین المللی<sup>۴</sup> IAEA SOIL-6 استفاده شد.

### محاسبات و آنالیز

محاسبات غلظت پرتوزایی رادیونوکلیدهای  $^{232}\text{Th}$  و  $^{226}\text{Ra}$  با استفاده از سطح زیرپیک های گامای دختران نیمه عمر کوتاه آنها، یعنی  $^{228}\text{Ac}$  با انرژی گامای ۹۱۱ keV و  $^{208}\text{Tl}$  با انرژی گامای ۵۸۳ keV برای  $^{232}\text{Th}$  و  $^{214}\text{Bi}$  با انرژی گامای ۶۰۹ keV برای  $^{226}\text{Ra}$ ، انجام گرفت. برای محاسبه غلظت پرتوزایی  $^{40}\text{K}$  از پیک گامای ۱۴۶۱ keV استفاده شد.

### تضمین کیفیت

جهت تضمین کیفیت اندازه گیری های انجام گرفته، نمونه خاک مرجع آژانس بین المللی با کد IAEA-375 به کار گرفته شد. این نمونه به همان شکل هندسی و در ظرف شمارش مارینلی شمارش و محاسبات روی آن مانند نمونه های سنگ تحت بررسی، انجام گرفت. محدوده خطای محاسبات غلظت پرتوزایی، براساس اندازه گیری نمونه مرجع فوق، حدود ۰.۸-۰.۵٪ تعیین شد.

### نتایج

نتایج اندازه گیری ۱۷ نمونه سنگ گرانیتهی در جدول ۱ ارایه شده است. نتایج به دست آمده در نمودارهای ارائه شده در شکل های ۱، ۲ و ۳ با یکدیگر مقایسه شده اند. همچنین در این نمودارها میزان متوسط غلظت رادیونوکلید مربوطه براساس گزارش NCRP 94, 1987 برای مقایسه آمده است. در مورد رادیوم-۲۲۶ کار مقایسه با استفاده از میزان غلظت اورانیوم انجام شده است.

### بحث و نتیجه گیری

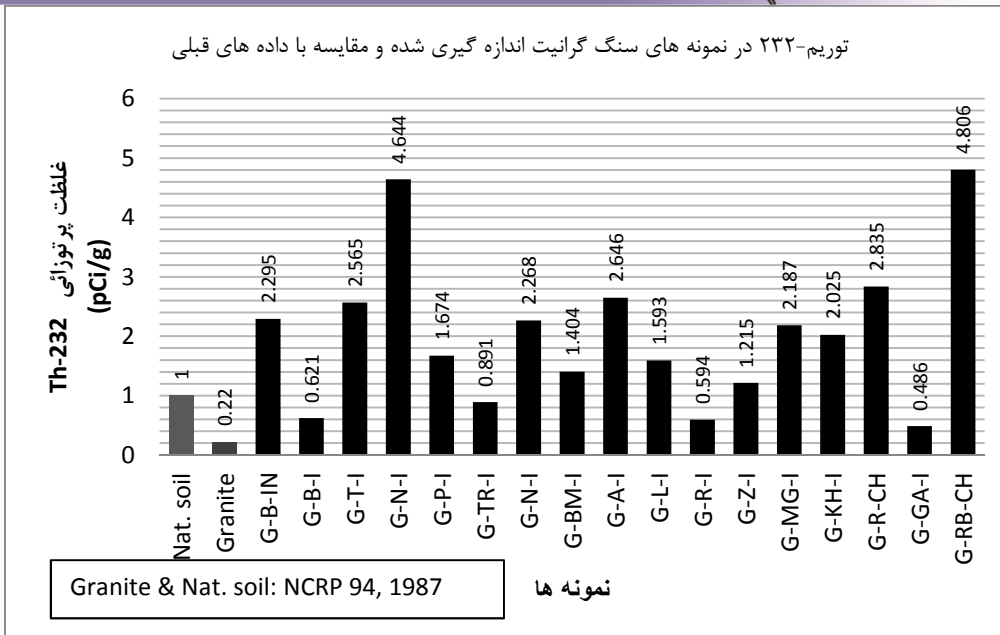
مقایسه پرتوزایی نمونه ها با یکدیگر نشان می دهد نمونه شماره ۱۷ با کد G-RB-CH محصول کشور چین بیشترین و نمونه شماره ۱۶ با کد G-GA-I محصول کشور هند، کمترین مقدار پرتوزایی را دارد.

<sup>۴</sup>. AQCS-IAEA

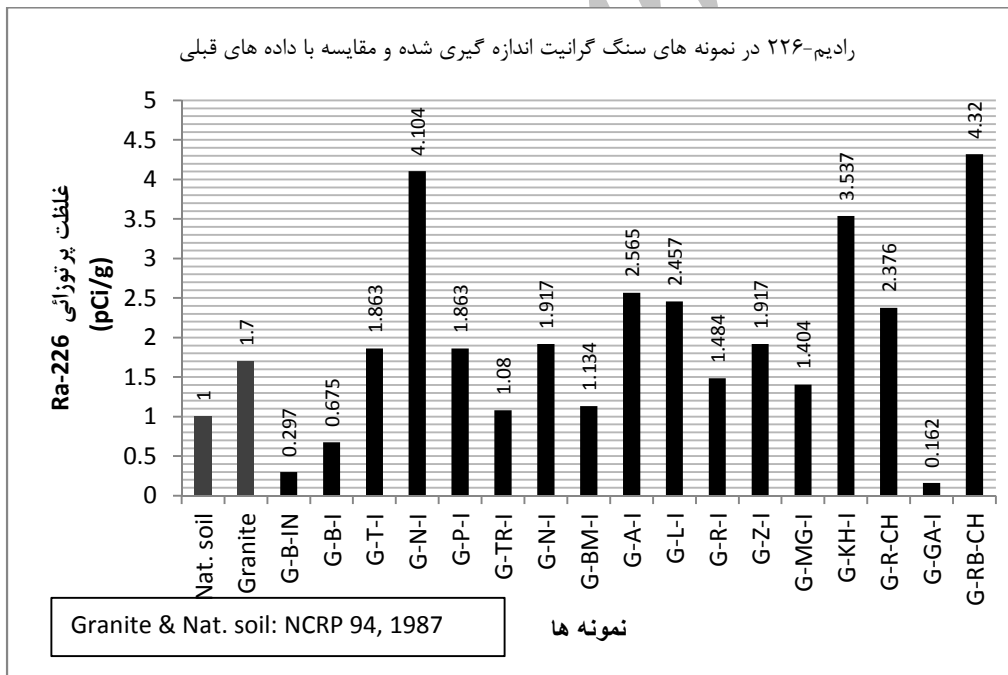
کمترین میزان غلظت رادیوم-۲۲۶ اندازه گیری شده در نمونه سنگ گرانیت هندی با کد G-GA-I به میزان  $0.4/1.3 \text{ pCi.g}^{-1}$  بوده است. میزان غلظت رادیوم-۲۲۶ مثلاً در خاک آمریکا حدود  $0.4/1.3 \text{ pCi.g}^{-1}$  برآورد شده است (Eisenbud and Gesell 1997)، [9] در حالی که غلظت آن در سنگ های گرانیتی ساختمانی مورد اندازه گیری در این کار تحقیقی تا بیش از  $4 \text{ pCi.g}^{-1}$  نیز اندازه گیری شده است. میزان غلظت توریم-۲۳۲ در همه سنگ های گرانیتی اندازه گیری شده، از میزان غلظت آن در سنگ گرانیتی گزارش شده توسط NCRP بیشتر بوده و در ۱۰ نمونه به بیش از ده برابر نیز می رسد. در مورد پتاسیم-۴۰ غلظت های اندازه گیری شده در حدود غلظت اعلام شده توسط NCRP ( $32 \text{ pCi.g}^{-1}$ ) می باشد.

جدول ۱: نتایج غلظت پرتوزایی  $Th-232$ ،  $Ra-226$  و  $K-40$  در سنگ های گرانیتی مورد استفاده در ایران

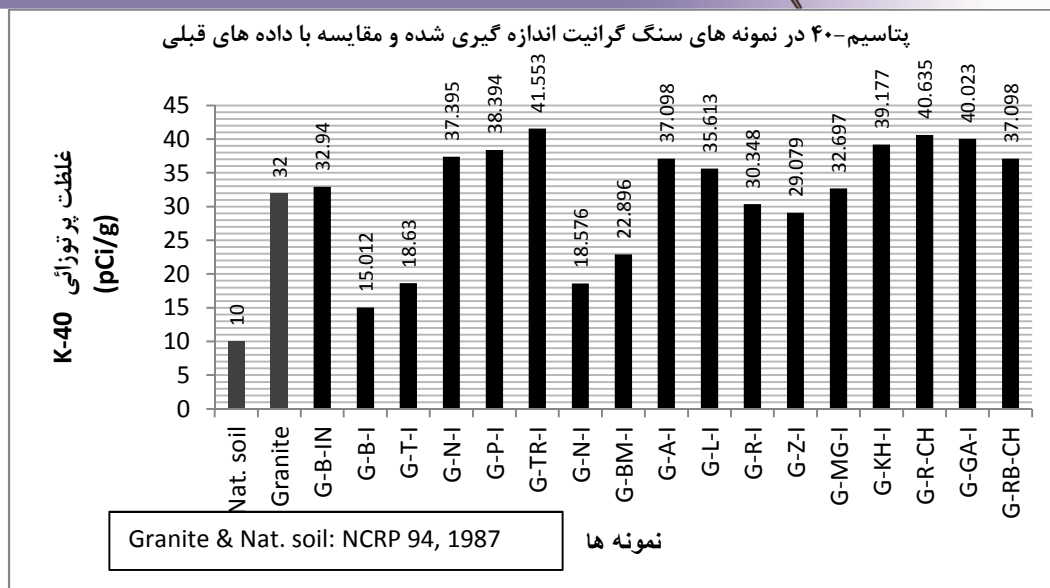
ردیف	غلظت پرتوزایی $\pm$ خطا						نمونه		کشور
	K-40		Ra-226		Th-232		محصول	کد نمونه	
	$\text{pCi.g}^{-1}$	$\text{Bq.kg}^{-1}$	$\text{pCi.g}^{-1}$	$\text{Bq.kg}^{-1}$	$\text{pCi.g}^{-1}$	$\text{Bq.kg}^{-1}$			
۱	$32/94 \pm 0.513$	$1220 \pm 19$	$0.297 \pm 0.054$	$11 \pm 2$	$2/295 \pm 0.054$	$85 \pm 2$	هند	G-B-IN	۱
۲	$15/0.12 \pm 0.729$	$556 \pm 27$	$0.675 \pm 0.081$	$25 \pm 3$	$0.621 \pm 0.027$	$23 \pm 1$	ایران	G-B-I	۲
۳	$18/63 \pm 0.648$	$690 \pm 24$	$1/863 \pm 0.108$	$69 \pm 4$	$2/565 \pm 0.081$	$95 \pm 3$	ایران	G-T-I	۳
۴	$37/395 \pm 1.053$	$1385 \pm 39$	$4/104 \pm 0.324$	$152 \pm 12$	$4/644 \pm 0.216$	$172 \pm 8$	ایران	G-N-I	۴
۵	$38/394 \pm 0.459$	$1422 \pm 17$	$1/863 \pm 0.054$	$69 \pm 2$	$1/674 \pm 0.162$	$62 \pm 6$	ایران	G-P-I	۵
۶	$41/553 \pm 1.377$	$1539 \pm 51$	$1/08 \pm 0.054$	$40 \pm 2$	$0/891 \pm 0.081$	$33 \pm 3$	ایران	G-TR-I	۶
۷	$18/576 \pm 0.621$	$688 \pm 23$	$1/917 \pm 0.054$	$71 \pm 2$	$2/268 \pm 0.108$	$84 \pm 4$	ایران	G-N-I	۷
۸	$22/896 \pm 0.297$	$848 \pm 11$	$1/134 \pm 0.027$	$42 \pm 1$	$1/404 \pm 0.054$	$52 \pm 2$	ایران	G-BM-I	۸
۹	$37/098 \pm 0.972$	$1374 \pm 36$	$2/565 \pm 0.135$	$95 \pm 5$	$2/646 \pm 0.135$	$98 \pm 5$	ایران	G-A-I	۹
۱۰	$35/613 \pm 0.540$	$1319 \pm 20$	$2/457 \pm 0.054$	$91 \pm 2$	$1/593 \pm 0.108$	$59 \pm 4$	ایران	G-L-I	۱۰
۱۱	$30/348 \pm 0.918$	$1124 \pm 34$	$1/484 \pm 0.054$	$55 \pm 2$	$0/594 \pm 0.027$	$22 \pm 1$	ایران	G-R-I	۱۱
۱۲	$29/079 \pm 1.242$	$1077 \pm 46$	$1/917 \pm 0.108$	$71 \pm 4$	$1/215 \pm 0.081$	$45 \pm 3$	ایران	G-Z-I	۱۲
۱۳	$32/697 \pm 1.458$	$1211 \pm 54$	$1/404 \pm 0.081$	$52 \pm 3$	$2/187 \pm 0.108$	$81 \pm 4$	ایران	G-MG-I	۱۳
۱۴	$39/177 \pm 0.837$	$1451 \pm 31$	$3/537 \pm 0.081$	$131 \pm 3$	$2/025 \pm 0.108$	$75 \pm 4$	ایران	G-KH-I	۱۴
۱۵	$40/635 \pm 0.756$	$1505 \pm 28$	$2/376 \pm 0.108$	$88 \pm 4$	$2/835 \pm 0.243$	$105 \pm 9$	چین	G-R-CH	۱۵
۱۶	$40/023 \pm 0.270$	$1490 \pm 10$	$0/162 \pm 0.027$	$6 \pm 1$	$0/866 \pm 0.054$	$18 \pm 2$	هند	G-GA-I	۱۶
۱۷	$37/098 \pm 1.107$	$1374 \pm 41$	$4/320 \pm 0.216$	$160 \pm 8$	$4/806 \pm 0.297$	$178 \pm 11$	چین	G-RB-CH	۱۷



شکل ۱. نمودار غلظت پرتوزائی توریم-۲۳۲ در نمونه های سنگ گرانیت مورد اندازه گیری و مقایسه با میزان آن در نمونه خاک سطحی و سنگ گرانیت اعلام شده توسط NCRP 94



شکل ۲. نمودار غلظت پرتوزائی رادیم-۲۲۶ در نمونه های سنگ گرانیت مورد اندازه گیری و مقایسه با میزان آن در نمونه خاک سطحی و مقایسه با غلظت اورانیوم در سنگ گرانیت اعلام شده توسط NCRP 94



شکل ۳. نمودار غلظت پرتوزائی پتاسیم-۴۰ در نمونه های سنگ گرانیت مورد اندازه گیری و مقایسه با میزان آن در نمونه

خاک سطحی و سنگ گرانیت اعلام شده توسط NCRP 94

#### مراجع

- 1- A. J. A. H. Khatibeh, N. Ahmad, Matiullah and M. A. Kenawy, Natural Radioactivity in Marble Stones-Jordan, Radiation Measurements, Vol. 28, Nos 1-6, pp. 345-348, 1997.
- 2- Estimates of concentrations of uranium, thorium and potassium in building materials, NCRP 94 (1987)
- 3- Myrick, T.E.; Berven, B.A.; Haywood, F.F., Determination of concentrations of selected radionuclides in surface soil in the U.S. Health Physics. 45(3): 631-642 (1983).
- 4- Eisenbud Merrill; Environmental Radioactivity from Natural, Industrial, and Military Sources. New York: Academic Press, Inc. (1987)
- 5- Exposure of the Population in the United States and Canada from Natural Background Radiation. Report No. 94. Bethesda, MD: NCRP 94 (1987).
- 6- Standard Practice for Soil Sample Preparation for the Determination of Radionuclides. ASTM-C999
- 7- IEEE Std 325-1996. IEEE Standard Test Procedures for Germanium Gamma-Ray Detectors. Approved by ANSI (1997).
- 8- Standard Guide for High-Resolution Gamma-Ray Spectrometry of Soil Samples. ASTM-C1402
- 9- Environmental Radioactivity from Natural, Industrial & Military Sources: From Natural, Industrial And Military Sources, Merill Eisenbud, Thomas F. Gesell, 1997.