

بررسی پرتوزایی محیطی در مصالح ساختمانی مصرفی شهرستان اراک

رضا پورایمانی^۱

وحید حیدری^{۲*}

vheidari25@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۰۹

چکیده

زمینه و هدف: انسان ها همواره در معرض پرتوهای یون ساز قرار دارند. یکی از منابع این پرتوها، تابش های هسته ای مربوط به ویژه هسته های پرتوزای موجود در آب، خاک، سنگ، از جمله مصالح ساختمانی است. پرتوهای یون ساز برای موجودات زنده مضر هستند و باعث بروز بیماری های مختلف و گاهاً ناهنجاری های ژنتیکی می گردند. از این رو بررسی پرتوزایی مصالح ساختمانی از اهمیت زیادی برخوردار است. **روش بررسی:** در این پژوهش ۱۸ نمونه مصالح ساختمانی در اراک مورد مطالعه قرار گرفت. فعالیت ویژه هسته های پرتوزای طبیعی از روش بینابنگاری گاما و با استفاده از آشکارساز فوق خالص ژرمانیومی (HPGe) مدل GCD30195BSI با بازدهی نسبی ۳۰٪ تعیین گردید. مقدار فعالیت معادل رادیم، شاخص خطر پذیری داخلی و خارجی، آهنگ دوز موثر سالیانه داخلی و خارجی و آهنگ دز جذبی برای کلیه نمونه ها محاسبه شد.

یافته ها: فعالیت ویژه هسته های پرتوزای ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K در این نمونه ها به ترتیب از $0/32 <$ تا $1/44 \pm 1/44$ ، $1/43/50 <$ تا $0/86 <$ تا $1/12 <$ و $175/95 \pm 2/01$ بر حسب Bq/kg تغییر می کند. میزان آهنگ دوز جذبی در نمونه ها از $20/21$ تا $220/61$ بر حسب nGy/h متغیر می باشد. مقدار آهنگ دوز موثر سالیانه داخلی و خارجی به ترتیب از $0/1$ تا $1/08$ و $0/02$ تا $0/27$ بر حسب (mSv/y) به دست آمد. همچنین مقدار شاخص خطر پذیری داخلی و خارجی در نمونه ها به ترتیب از $0/01$ تا $1/61$ و $0/004$ تا $1/30$ محاسبه گردید.

بحث و نتیجه گیری: با توجه به مقادیر به دست آمده کمترین مقدار فعالیت معادل رادیوم برای نمونه گچ باکد GSS برابر $1/73 <$ و بیشترین مقدار برای نمونه پوکه معدنی قروه با کد PMQ برابر $479/88 \pm 3/42$ حاصل شد. حداکثر مقدار مجاز فعالیت معادل رادیوم (Ra_{eq}) 370 Bq/kg می باشد که تنها نمونه PMQ از آن تجاوز می کند. نتایج این تحقیق نشان می دهد که اکثر مصالح مصرفی در ساختمان سازی خطری برای ساکنین ایجاد نمی کنند.

واژه های کلیدی: فعالیت ویژه، آشکارساز HPGe، مصالح ساختمانی، پرتوزایی محیطی.

۱- دانشیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

۲* - (مسوول مکاتبات): دانش آموخته کارشناسی ارشد فیزیک هسته ای، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

Investigation of Environmental Radioactivity in the Building Materials in Arak City

Reza Pourimani¹

Vahid Heidari^{1*}

vheidari25@gmail.com

Abstract

Background and Objective: Human beings are always exposed to ionizing radiation. One of the main sources of this radiation is the nuclear radiation related to the particular radioactive nuclei present in water, soil, rock, and construction materials. The ionizing radiation is harmful to living organisms, causing various diseases and sometimes genetic abnormalities. Therefore, study of radiation from building materials is of great importance.

Method: In this study, 18 samples were collected from building materials in Arak city. Activity of natural radionuclides were determined using gamma ray spectrometry method using high purity germanium detector (HPGe) model GCD30195BSI with 30% relative efficiency. Radium equivalent, internal and external hazard indices, indoor and outdoor annual effective dose rates, and absorbed dose rate were also calculated for all of samples.

Findings: The specific activity concentrations of ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K in these samples were calculated and varied from <0.32 to 143.50±1.44, < 0.86 to 175.95±2.01 and <2.12 to 1021.60±7.29 in Bq/kg respectively. The absorbed dose rate for collected samples varied from 20.21 to 220.61 in nGy/h. The indoor and outdoor annual effective dose rates varied from 0.1 to 1.08 and 0.02 to .27 in mSv/y unit respectively. Internal and external hazard indices in the collected samples varied from 0.01 to 1.61 and 0.004 to 1.30 respectively.

Conclusion: According to the measurements, the minimum and maximum radium equivalent activities of <1.73 479.88±3/42 Bq/kg were obtained in Stucco (Code: GSS) and Qorveh Pumice (Code: PMQ) samples, respectively. The maximum permissible specific activity for radium equivalent is 370Bq/kg, which was only exceeded by PMQ sample. The results indicated that most of the materials used for construction are not hazardous to the residents.

Keywords: Specific activity, HPGe detector, Building material, Environmental radioactivity.

1- Associate Professor , Department of Physics, Faculty of Science, Arak University, Arak, Iran
2- MSc of Nuclear Physics, Arak University, Arak, Iran.* (Corresponding Author)

مقدمه

نمونه مصالح ساختمانی مصرفی رایج در شهرستان اراک تعیین و ویژگی‌های تابشی آن‌ها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق سنگ‌های ساختمانی به علت تنوع زیاد و کاربردهای عمده آن در نمای بیرونی ساختمان‌ها به علت محدودیت مالی و زمانی مورد مطالعه واقع نشدند و در آینده اندازه‌گیری‌های لازم انجام خواهد شد.

روش انجام تحقیق

۱- نمونه برداری و نمونه سازی

در این پژوهش ۱۸ نمونه مصالح ساختمانی مورد استفاده در صنعت ساختمان سازی شهرستان اراک از مکان‌های ساختمان-سازی و فروشگاه‌های مصالح ساختمانی جمع‌آوری گردید. روش نمونه برداری در این تحقیق به گونه‌ای انجام شد که مقدار زیادی مصالح ساختمانی به صورت تصادفی به مقدار کافی جمع‌آوری گردید و جرم هر نمونه بعد از جمع‌آوری ۲ کیلوگرم شد. نمونه‌ها پس از خرد شدن و آسیاب شدن، به مدت ۶ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و به منظور یکنواخت‌سازی ابتدا از مش ۲۰ و سپس از مش ۴۰ عبور داده شدند. با توجه به این که گاز رادون همواره تمایل به فرار از سطح نمونه‌ها را دارد، بنابراین نمونه‌ها به جرم های ۳۳۰، ۸۰۰، ۹۰۰ و ۹۵۰ گرم درون ظروف استاندارد مارینتلی بیکر بسته بندی و کاملاً آب‌بندی گردیدند و به منظور برقراری تعادل دیرپا بین هسته‌های مادر و دختر حداقل به مدت ۵۰ روز در آزمایشگاه نگهداری شدند (۳).

در جدول (۱) مشخصات مصالح ساختمانی مورد تحقیق آورده شده است.

۲- طیف گیری و ارایه نتایج

طیف نگاری پرتوهای گاما با استفاده از آشکارساز فوق خالص ژرمانیوم (HPGe) هم محور از نوع P مدل GCD30195 BSI ساخت شرکت Baltic Science Instrument با بازدهی نسبی ۳۰ درصد و با استفاده از نرم افزار Lsrmbasi انجام شد. قدرت تفکیک انرژی آشکارساز ۱/۹۵ کیلوکترن ولت برای خط گامای ^{60}Co با انرژی ۱۳۳۲/۵۲۰ کیلوکترن ولت است و در ولتاژ کاری ۳۰۰۰ ولت کار می‌کند. از هر یک از نمونه‌ها به مدت دقیقاً یک روز (۸۶۴۰۰ ثانیه) طیف گیری به عمل آمد. کالیبراسیون انرژی و بازدهی سیستم با استفاده از

انسان‌ها همواره در معرض پرتوهای یون‌ساز قرار دارند. یکی از منابع این پرتوها، تابش‌های هسته‌ای مربوط به ویژه هسته‌های پرتوزای موجود در آب، خاک، سنگ، اتمسفر و همچنین مصالح ساختمانی است. پرتوهای یون‌ساز برای موجودات زنده مضر هستند و باعث بروز بیماری‌های مختلف و گاهاً ناهنجاری‌های ژنتیکی می‌گردند. برخی از این ویژه هسته‌های پرتوزا از طریق چرخه مواد غذایی و دستگاه تنفس وارد بدن انسان می‌شوند و باعث پرتوگیری داخلی می‌گردند. پرتوگیری داخلی به مراتب خطرناک‌تر از پرتوگیری خارجی بوده و حفاظت در مقابل آن پیچیده‌تر و مشکل‌تر می‌باشد. پرتوگیری خارجی طبیعی ناشی از تابش مستقیم اشعه گامای حاصل از واپاشی ویژه هسته‌های پرتوزای موجود در محیط زیست به بدن انسان و پرتوگیری داخلی ناشی از واپاشی ویژه هسته‌های پرتوزا در داخل بدن انسان یا موجود زنده می‌باشد که از طرق مختلف وارد بدن می‌گردند، مانند استنشاق گاز رادون که وارد دستگاه تنفسی انسان می‌شود و از طریق نشست در بافت‌های ریوی و واپاشی آن و دخترانش، باعث آسیب‌دیدگی جدی بافت‌های ریوی شده که گاهاً منجر به تولید سلول‌های سرطانی می‌گردد. انسان‌ها معمولاً ۸۰ درصد از عمرشان را داخل ساختمان‌ها سپری می‌کنند، بنابراین آگاهی از سطح تابش‌های هسته‌ای طبیعی موجود در مصالح ساختمانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۱).

قسمت عمده ویژه‌هسته‌های پرتوزای طبیعی موجود در مواد ساختمانی شامل سری‌های واپاشان ^{238}U ، ^{235}U و ^{232}Th و هسته‌های پرتوزای دختر آن‌ها و ویژه هسته پرتوزای منفرد ^{40}K می‌باشند (۲).

تجمع گاز رادون در محیط‌های مسکونی برای سلامتی ساکنین آن مضر بوده و براین اساس انتخاب نوع مصالح ساختمانی با پرتوزایی کمتر از اهمیت زیادی برخوردار است. امروزه با توجه به صرفه‌جویی در مصرف انرژی، سبک‌سازی و مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در مقابل حوادث و بلایای طبیعی مانند زلزله و انبوه‌سازی برای پاسخ‌گویی به جمعیت در حال رشد جامعه مصالح ساختمانی از تنوع زیادی برخوردار می‌باشند و هم‌زمان با پیشرفت علوم و فناوری هر ساله مصالح جدیدی با ترکیبات مختلف وارد بازار می‌شود. در این پژوهش پرتوزایی طبیعی ۱۸

$$Act = \frac{Net\ Area}{\epsilon \times B.R \times t \times m} \times 100 \quad (2)$$

که در این رابطه Act ویژه فعالیت نمونه پرتوزا بر حسب Net Area Bq/kg سطح زیر پیک متناظر با انرژی خاص، ϵ بازدهی آشکارساز در آن انرژی بر حسب درصد، (B.R) نسبت انشعابی یا احتمال گسیل اشعه گاما با انرژی E_i به ازای هر واپاشی، t زمان طیف گیری از نمونه بر حسب ثانیه و m جرم نمونه بر حسب کیلوگرم است (۵). برای تعیین ویژه فعالیت ^{226}Ra در نمونه‌ها، از پرتو گامای ^{214}Pb با انرژی $60.9/31\ keV$ و پرتو گامای ^{214}Bi با انرژی $351/93\ keV$ استفاده شده است. برای تعیین ویژه فعالیت ^{232}Th از دو خط گامای ^{228}Ac ، یکی با انرژی $911/21\ keV$ و احتمال واپاشی $26/6\ %$ و دیگری با انرژی $968/97\ keV$ و احتمال واپاشی $17/4\ %$ استفاده شده است. ویژه فعالیت ^{40}K از خط گامای این هسته با انرژی $1460/70\ keV$ تعیین گردید. در نهایت برای تعیین ویژه فعالیت ^{137}Cs در نمونه‌ها، از خط گامای این هسته با انرژی $661/66\ keV$ استفاده شد. مقادیر محاسبه شده ویژه فعالیت هسته های پرتوزای موجود در نمونه ها در جدول (۲) درج گردیده است. در مواردی که مقدار فعالیت ویژه نمونه مورد نظر کمتر از حداقل قابلیت تشخیص دستگاه بوده، در آن صورت از علامت < استفاده گردیده و مقدار حداقل قابلیت تشخیص دستگاه ذکر شده است. همچنین طیف گامای ثبت شده مربوط به نمونه پوکه معدنی قروه کردستان با کد PMQ به عنوان نمونه در شکل (۱) مشاهده می گردد.

چشمه استاندارد حاوی ویژه هسته‌های پرتوزای ^{241}Am ، ^{152}Eu ، ^{137}Cs با فعالیت مشخص انجام شد. تجزیه و تحلیل طیف‌های ثبت شده با استفاده از نرم افزار Maestro II Gamma Vision32 محصول شرکت EG&G Ortec انجام گردید. به منظور کاهش اثرات تابش زمینه، آشکارساز در مرکز یک حفاظ سربی به ضخامت ۱۰ سانتی متر با یک لایه درونی مسی به ضخامت ۲ میلی متر قرار داده شد که پرتوهای نرم کیهانی شامل فوتون های کم انرژی و الکترون ها به وسیله حفاظ سربی به سطح بسیار پایینی کاهش می یابند و لایه مسی فوتون های اشعه ایکس $73/9$ کیلو الکترون ولت مربوط به سرب را جذب می کند (۳).

تصحیح تابش زمینه با استفاده از طیف ثبت شده برای ظرف خالی در تحت شرایط یکسان انجام گردید. بر مبنای طیف‌های ثبت شده ویژه، فعالیت هسته‌های ^{226}Ra ، ^{40}K و ^{232}Th در نمونه‌ها تعیین گردید. بازدهی مطلق آشکارساز با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (۴).

$$\epsilon(\%) = \frac{N_i}{Act \times P_n(E_i) \times t} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه N_i شمارش خالص زیر قله فوتوپیک متناظر با انرژی E_i ، Act فعالیت نمونه بر حسب Bq، $P_n(E_i)$ احتمال انتشار فوتون گاما با انرژی E_i به ازای هر واپاشی و t زمان طیف گیری از نمونه بر حسب ثانیه است.

۳- اندازه گیری ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزا در نمونه- های مورد مطالعه

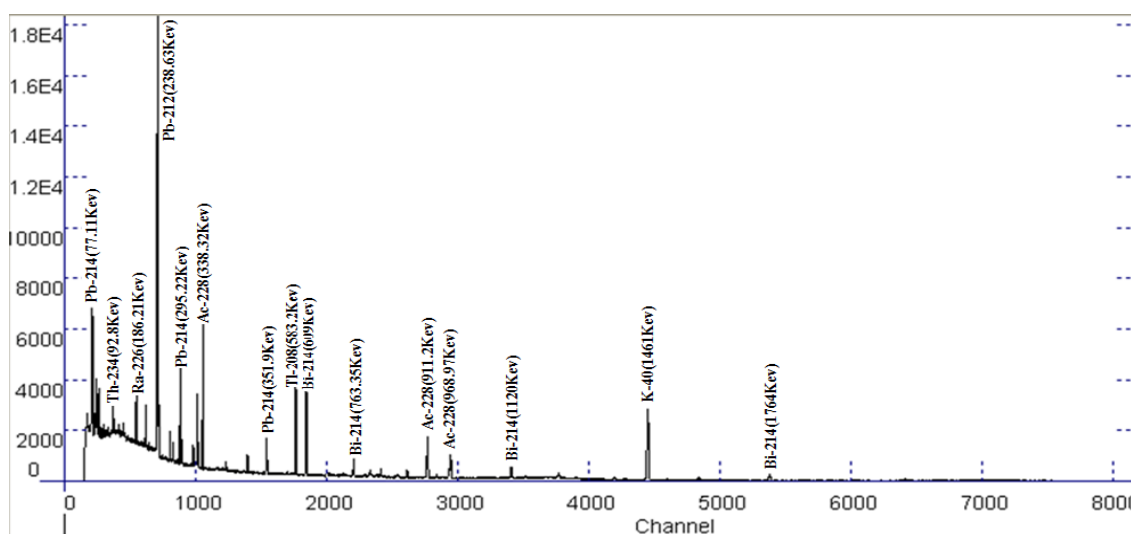
برای محاسبه ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزا از رابطه (۲) استفاده شد.

جدول ۱- نوع، جرم و کد نمونه ها

Table 1- Kind, mass and code of samples

کد نمونه	نوع نمونه	جرم نمونه
AF	آجر فراهان	۹۵۰ گرم
ASDE	آجرسفالی دولت آباد اصفهان	۸۰۰ گرم
BAAC	بلوک سبک اتوکلاو شده	۲۳۰ گرم
BS	بتن	۹۵۰ گرم
BSS1	بلوک سیمانی سنگین	۹۵۰ گرم
BSS2	بلوک سیمانی سبک	۹۵۰ گرم
GOS	گچ امید سمنان	۸۰۰ گرم
GSHS	گچ شمیران سمنان	۸۰۰ گرم

GSS	گچ صدف سمنان	گرم ۹۰۰
GSS1	گچ صدف سلفچگان	گرم ۹۵۰
GGs	گچ گپیتون ساوه	گرم ۹۵۰
KHG	خاک روستای گاوخانه اراک	گرم ۹۵۰
PMB	پوکه معدنی بستان آباد تبریز	گرم ۹۵۰
PMQ	پوکه معدنی قروه	گرم ۹۵۰
SNQ	سیمان نیزار قم	گرم ۹۵۰
SSE	سیمان سپاهان اصفهان	گرم ۹۵۰
SSM	سیمان سفید مشهد	گرم ۹۵۰
SSS	سیمان سفید ساوه	گرم ۹۵۰



شکل ۱- بیناب گامای حاصل از نمونه PMQ به مدت ۸۶۴۰۰ ثانیه

Figure 1 - Gamma ray spectrum of PMQ sample for 86400 s

جدول ۲- مقادیر ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزای مصالح ساختمانی بر حسب Bq/kg

Table 2 – Specific activities of radionuclides of building material in Bq/kg

کد نمونه	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
AF	۴۷/۱۳±۰/۹۹	۶۱/۳۴±۱/۴۲	۲۰۷/۲۸±۶/۳۳
ASDE	۷۶/۷۳±۱/۲۸	۶۵/۰۹±۱/۶۹	۱۸۹/۴۵±۷/۶۰
BAAC	۴۱/۳۵±۱/۸۱	۲۷/۴۷±۱/۸۵	۲۷۱/۴۵±۲۷۹
BS	۴۸/۰۰±۱/۰۹	۳۸/۹۴±۱/۱۷	۴۹۴/۶۱±۴/۳۲
BSS1	۳۲/۳۱±۰/۸۲	۲۲/۸۴±۰/۹۱	۳۰۶/۹۸±۴/۴۸
BSS2	۴۸/۳۱±۱/۰۲	۴۸/۵۵±۱/۷۷	۷۲۹/۹۷±۶/۵۹
GGs	۳/۰۲±۰/۱۵	۲/۰۶±۰/۲۲	< ۵/۴۸
GOS	< ۹/۳۴	< ۱/۱۱	< ۲/۹۷
GSHS	< ۰/۹۱	< ۱/۲۷	< ۲/۱۲
GSS	< ۰/۳۲	< ۰/۸۶	< ۲/۴۳

GSSI	< ۵/۲۰	< ۰/۸۸	< ۲/۵۹
KHG	۵۳/۶۲±۱/۰۹	۶۶/۹۸±۱/۲۰	۱۰۲۱/۶۰±۷/۲۹
PMB	۴۷/۲۱±۱/۱۳	۴۸/۸۲±۱/۷۳	۷۵۹/۱۸±۶/۵۰
PMQ	۱۱۶/۸۰±۱/۷۵	۱۷۵/۹۵±۲/۰۱	۱۴۴۷/۸۰±۷/۹۳
SNQ	۸۰/۱۹±۱/۲۶	۳۴/۶۴±۱/۲۸	۴۰۲/۸۲±۴/۹۰
SSE	۱۴۳/۵۰±۱/۴۴	۱۰۸/۴۳±۱/۷۱	۶۳/۷۵±۴/۲۱
SSM	۱۷/۰۹±۰/۶۵	۱۹/۶۵±۰/۷۶	۱۰/۸۶±۱/۸۹
SSS	۷۵/۳۵±۱/۰۱	< ۳/۴۳	۱۳/۴۴±۲/۶۱

۳- شاخص های خطرپذیری

3-1 (Ra_{eq}) فعالیت معادل رادیوم

ویژه فعالیت هسته های پرتوزای موجود در مواد ساختمانی یکنواخت نیست و ²²⁶Ra و هسته های دختر مربوط به آن تقریباً ۹۸/۵ درصد از اثرات رادیولوژیکی مربوط به سری های ²³⁸U را به خود اختصاص می دهند. از این حیث شاخصی به نام معادل رادیوم با لحاظ کردن فعالیت رادیوم، توریم و پتاسیم تعریف شده است که طبق رابطه (۳) محاسبه می گردد. ضرایب مورد استفاده در رابطه (۳) بر مبنای تحقیقات جامع و گسترده کمیته علمی حفاظت در برابر اشعه وابسته به سازمان ملل متحد تعیین شده است (۶).

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1.43A_{Th} + 0.077A_K \quad (3)$$

در این رابطه، A_{Ra} ، A_{Th} و A_K به ترتیب فعالیت ویژه ²²⁶Ra، ²³²Th و ⁴⁰K بر حسب Bq/kg هستند. اکتیویته معادل رادیوم (Ra_{eq}) برای تمام مصالح ساختمانی باید کمتر از ۳۷۰ Bq/kg باشند.

۲-۳ شاخص خطرپذیری خارجی (H_{ex}) و داخلی (H_{in})

انسان همواره در معرض پرتوگیری ناشی از رادیونوکلیدهای پرتوزای موجود در مصالح ساختمانی قرار می گیرد و برای تعیین میزان خطرات ناشی از پرتوگیری در داخل و بیرون از محیط مسکونی از شاخصی به نام شاخص خطرپذیری خارجی و داخلی استفاده می شود که رابطه آن به صورت زیر است (۶).

(۴)

$$H_{ex} = A_{Ra}/370 + A_{Th}/259 + A_K/4810 < 1$$

(۵)

$$H_{in} = A_{Ra}/185 + A_{Th}/259 + A_K/4810 < 1$$

که در این رابطه A_{Ra} ، A_{Th} و A_K به ترتیب فعالیت ویژه ²²⁶Ra، ²³²Th و ⁴⁰K بر حسب Bq/kg هستند. به منظور

ناچیز ماندن مخاطرات ناشی از پرتوزایی طبیعی این شاخص ها همواره باید کوچکتر از یک باشند (۶).

۴- آهنگ دوز جذبی (D)

آهنگ دوز جذبی ناشی از ویژه هسته های پرتوزای موجود در مواد ساختمانی در ارتفاع یک متر بالاتر از سطح زمین، به وسیله رابطه زیر محاسبه شد (۷).

$$D(nGy/h) = 0.462A_{Ra} + 0.604A_{Th} + 0.0417A_K \quad (6)$$

در این رابطه، A_{Ra} ، A_{Th} و A_K به ترتیب فعالیت ویژه ²²⁶Ra، ²³²Th و ⁴⁰K بر حسب Bq/kg هستند. مقدار میانگین جهانی آهنگ دوز جذبی ناشی از ویژه هسته های پرتوزای طبیعی موجود در زمین برابر ۵۵ nGy/h می باشد (۷).

۴-۱ آهنگ دوز موثر سالیانه داخلی و خارجی در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین

با محاسبه مقادیر مربوط به آهنگ دوز جذبی مصالح ساختمانی، آهنگ دوز موثر سالیانه داخل منازل مسکونی ناشی از تابش رادیواکتیو مصالح ساختمانی در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین محاسبه شد که رابطه آن به صورت زیر است (۸).

$$AED^1 \text{ indoor (mSv/y) = Dose rate (nGy/h)} \\ \times 8766(h/y) \times 0.8 \times 0.7(Sv/Gy) \times 10^{-6} \quad (7)$$

در این رابطه ۸۷۶۶ ساعت مدت زمان قرارگیری در معرض پرتو در طول یک سال، ۰/۸ عامل قرارگیری در معرض پرتو در فضای داخل ساختمان و ۰/۷ عامل تبدیل دوز جذبی به دوز موثر است. واحد آهنگ دوز موثر سالیانه میلی سیورت بر سال است. بر طبق آیین نامه توصیه شده اتحادیه اروپا آیین نامه شماره ۱۱۲ حفاظت از تشعشعات طبیعی مصالح ساختمانی باید

1 - Annual effective dose

(۸) $AED_{outdoor} (mSv/y) = Dose \text{ rate}(nGy/h) \times 8766(h/y) \times 0.2 \times 0.7(Sv/Gy) \times 10^{-6}$
 که در این رابطه ۰,۲ عامل قرارگیری در معرض پرتو در فضای خارج از ساختمان می‌باشد. مقادیر Ra_{eq} ، H_{in} ، AED_{indoor} ، $AED_{outdoor}$ ، H_{ex} و آهنگ دوز جذبی (D) برای نمونه‌های مورد مطالعه در جدول (۳) ارائه شده است.

طوری انتخاب شوند که در زمان یک سال آهنگ دوز موثر سالیانه در فضای داخل ساختمان‌ها کوچک‌تر از یک mSv/y باشد تا خطرات ناشی از تابش هسته ای مصالح ساختمانی ناچیز بمانند. در صورتی که برای نوعی از مصالح ساختمانی از یک mSv/y تجاوز کند آن نوع مصالح باید در قسمت های خارجی ساختمان و تحت مقررات ویژه مورد استفاده قرار گیرد(۱). هم‌چنین آهنگ دوز موثر سالیانه در فضای خارجی در ارتفاع ۱ متری سطح زمین نیز به وسیله رابطه زیر محاسبه شد(۸).

جدول ۳- فعالیت معادل رادیوم، شاخص خطر پذیری داخلی و خارجی، آهنگ دوز جذبی پرتو گاما و آهنگ دوز موثر سالیانه در فضای داخلی و خارجی

Table 3- Radium equivalent, Internal and external hazard indices, absorbed gamma ray dose rate and annual effective dose rate indoor and outdoor

کد نمونه	$Ra_{eq}(Bq/kg)$	H_{in}	H_{ex}	D(nGy/h)	AED outdoor(mSv/y)	AED indoor(mSv/y)
AF	$150/81 \pm 2/31$	$0/53 \pm 0/00$	$0/41 \pm 0/01$	$67/47 \pm 1/01$	۰,۰۸	۰/۳۳
ASDE	$184/40 \pm 2/80$	$0/71 \pm 0/01$	$0/50 \pm 0/01$	$82/66 \pm 1/22$	۰,۱۰	۰/۴۱
BAAC	$\pm 3/28$ $101/54$	$0/39 \pm 0/01$	$0/27 \pm 0/01$	$47/02 \pm 1/45$	۰,۰۶	۰/۲۳
BS	$\pm 2/03$ $141/77$	$0/51 \pm 0/01$	$0/38 \pm 0/01$	$66/32 \pm 0/89$	۰,۰۸	۰/۳۳
BSS1	$88/61 \pm 1/58$	$0/33 \pm 0/01$	$0/24 \pm 0/00$	$41/52 \pm 0/69$	۰,۰۵	۰/۲۰
BSS2	$\pm 2/77$ $173/94$	$0/60 \pm 0/00$	$0/47 \pm 0/01$	$82/08 \pm 1/20$	۰,۱۰	۰/۴۰
GGs	$< 6/39$	$< 0/03$	$< 0/02$	$< 2/87$	$< 0/035$	$< 0/014$
GOS	$< 11/16$	$< 0/06$	$< 0/03$	$< 5/11$	$< 0/01$	$< 0/03$
GSHS	$< 2/89$	$< 0/01$	$< 0/01$	$< 1/27$	$< 0/015$	$< 0/01$
GSS	$< 1/73$	$< 0/01$	$< 0/004$	$< 0/27$	$< 0/009$	$< 0/0037$
GSS1	$< 6/66$	$< 0/03$	$< 0/02$	$< 3/04$	$< 0/037$	$< 0/01$
KHG	$\pm 2/13$ $228/07$	$0/76 \pm 0/01$	$0/62 \pm 0/01$	$107/83 \pm 0/94$	۰,۱۳	۰/۵۳
PMB	$\pm 2/77$ $175/48$	$0/60 \pm 0/01$	$0/47 \pm 0/01$	$82/96 \pm 1/20$	۰,۱۰	۰/۴۱
PMQ	$\pm 3/42$ $479/88$	$1/61 \pm 0/01$	$1/30 \pm 0/01$	$220/61 \pm 1/50$	۰,۲۷	۱/۰۸
SNQ	$\pm 2/25$ $160/74$	$0/65 \pm 0/01$	$0/43 \pm 0/01$	$74/77 \pm 0/99$	۰,۰۹	۰/۳۷
SSE	$303/46 \pm 2/86$	$1/21 \pm 0/01$	$0/82 \pm 0/01$	$134/45 \pm 1/24$	۰,۱۶	۰/۶۶
SSM	$46/02 \pm 1/28$	$0/17 \pm 0/00$	$0/12 \pm 0/00$	$20/21 \pm 0/47$	۰,۰۲	۰/۱۰
SSS	$81/29 \pm 1/03$	$0/42 \pm 0/01$	$0/22 \pm 0/00$	$37/45 \pm 0/48$	۰,۰۵	۰/۱۸

مقایسه نتایج این تحقیق با مقادیر اندازه‌گیری شده در بعضی از کشورهای جهان برای نمونه‌های مصالح ساختمانی در جدول (۴) آورده شده است.

جدول ۴- مقایسه فعالیت ویژه هسته‌های پرتوزای مصالح ساختمانی مصرفی شهرستان اراک با بعضی از کشورها

Table 4 – Comparison of radionuclide concentration of building material of Arak with some countries

فعالیت ویژه بر حسب (Bq/kg)			نوع مصالح ساختمانی	نام کشور/منابع
^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K		
80.19 ± 1.26	34.64 ± 1.28	402.82 ± 4.90	سیمان پرتلند (نیزار قم)	ایران (در این تحقیق)
143.50 ± 1.44	108.43 ± 1.71	63.75 ± 4.21	سیمان پرتلند (سپاهان اصفهان)	ایران (در این تحقیق)
62.3 ± 9.7	59.4 ± 7.4	329 ± 22.4	سیمان پرتلند	بنگلادش (۹)
۲۶/۱	۲۸/۶	۲۷۲/۹	سیمان پرتلند	پاکستان (۱۰)
۳۷	۲۴	۴۳۹	سیمان پرتلند	هند (۱۱)
3.02 ± 0.15	2.06 ± 0.22	< 5.48	گچ گپتون	ایران (در این تحقیق)
۷	۲	$< \text{MDA}^1$	گچ	فنلاند (۱۲)
۶/۳	$< \text{MDA}$	۱۸/۱	گچ	برزیل (۱۲)
2.81 ± 0.4	0.55 ± 0.1	۱۷/۴	گچ	کویت (۱۳)
47.13 ± 0.99	61.34 ± 1.42	207.28 ± 6.33	آجر معمولی	ایران (در این تحقیق)
۶۵	۵۱	۶۷۵	آجر معمولی	الجزایر (۱۴)
۳۵	۴۵	۷۱۰	آجر معمولی	یونان (۱۵)
۲۳	۳۵	۴۳۱	آجر معمولی	پاکستان (۱۶)
76.73 ± 1.28	65.09 ± 1.69	189.45 ± 7.60	آجر سفالی	ایران (در این تحقیق)
۶۵	۴۸	۶۲۰	آجر سفالی	بریتانیا (۱۷)
33.4 ± 1.0	27.7 ± 0.8	284 ± 13.1	آجر سفالی	مصر (۱۷)
۷۸	۶۲	۹۶۲	آجر سفالی	فنلاند (۱۲)
53.62 ± 1.09	66.98 ± 1.20	102.160 ± 7.29	خاک	ایران (در این تحقیق)
۵۰/۶	۶۲/۳	۶۶۲/۲	خاک	پاکستان (۱۸)
۱ - ۲۴۰	۱ - ۱۹۰	۱۲ - ۱۵۷۰	خاک	یونان (۱۹)
۶ - ۵۲	۷ - ۷۰	۸۰ - ۱۸۰۰	خاک	لوکزامبورگ (۱۹)

1 - Minimum detectable activity

بحث و نتیجه گیری

از بالاترین سطح پرتوزایی طبیعی برخوردار هستند. هم‌چنین پرتوزایی طبیعی گچ خیلی کمتر از خاک است، در صورتی که اگر از گچ با درصد کمتر خاک جهت ساخت دیوارهای منازل مسکونی استفاده شود پرتوزایی طبیعی بسیار پایین خواهد آمد. استفاده از نمونه های پوکه معدنی قروه و سیمان سپاهان اصفهان از نظر پرتوزایی طبیعی ایمن نخواهند بود و باید مراقبت های زیست محیطی هنگام استفاده از این مصالح ساختمانی در داخل ساختمان‌ها صورت گیرد. لذا استفاده از آن‌ها در ساخت ساختمان‌ها به خصوص در قسمت‌های داخلی توصیه نمی‌شود و لازم است این دو نوع مصالح ساختمانی در قسمت های بیرونی ساختمان‌ها و تحت مقررات ویژه مورد استفاده قرار گیرند. در این تحقیق در هیچ کدام از نمونه‌ها مقدار ^{137}Cs از مقدار حداقل قابل تشخیص دستگاه تجاوز نکرد. این به آن دلیل است که مصالح ساختمانی در دمای بالا تهیه می‌شوند و سزیوم در دمای بیش از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تبخیر می‌گردد. در نمونه خاک هم به دلیل این که از خاک‌های رسی عمقی برای ساختمان استفاده می‌شود سزیوم قادر به نفوذ به لایه درونی نمی‌باشد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق توسط معاونت پژوهشی دانشگاه اراک تأمین مالی گردیده است. بنابراین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از معاونت مذکور و نیز کارکنان آزمایشگاه مکانیک سنگ دانشگاه صنعتی اراک کمال سپاس‌گزاری را داشته باشند.

منابع

- 1- European Commission (EC). 1999. Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials. Radiation Protection 112 (Brussels: EC).
- 2- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 1993. "Sources and effects of ionizing radiation". United Nations, New York
- 3- ANSN42.14, 1999. "American National Standard for Calibration and use of Germanium Spectrometers for the Measurement of Gamma Ray

ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزای ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K بر حسب Bq/kg در نمونه‌های سیمان به ترتیب از $0/65 \pm$ تا $17/09 \pm$ تا $1/44 \pm$ ، $143/50 \pm$ از $3/43 <$ تا $108/43 \pm$ تا $13/44 \pm$ تا $402/82 \pm$ تغییر می‌کند. ویژه فعالیت همین ویژه هسته‌ها در نمونه‌های گچ به استثنای گچ گپتون کمتر از MDA می‌باشد. در نمونه گچ گپتون به ترتیب مقادیر $0/15 \pm$ ، $3/02 \pm$ و $2/22 \pm$ و $5/48 <$ به دست آمد. در نمونه های بلوک مقادیر ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K به ترتیب از $0/82 \pm$ تا $32/31 \pm$ تا $1/02 \pm$ ، $48/31 \pm$ از $0/91 \pm$ تا $22/84 \pm$ تا $1/77 \pm$ تا $48/55 \pm$ و $27/27 \pm$ تا $271/45 \pm$ تا $729/97 \pm$ متغیر است. مقادیر این ویژه هسته در نمونه های آجر و خاک به ترتیب از $0/99 \pm$ تا $47/13 \pm$ تا $1/28 \pm$ و $76/73 \pm$ تا $61/34 \pm$ تا $102/120 \pm$ و $66/98 \pm$ تا $189/45 \pm$ تا $7/60 \pm$ تا $102/160 \pm$ تعیین گردید. مقادیر همین ویژه هسته‌ها در پوکه‌های معدنی $0/113 \pm$ تا $47/21 \pm$ تا $1/75 \pm$ ، $116/80 \pm$ از $1/73 \pm$ تا $48/82 \pm$ تا $2/01 \pm$ و $175/95 \pm$ و $759/18 \pm$ تا $7/93 \pm$ تا $1447/80 \pm$ تغییر می‌یابد. با توجه به مقادیر به دست آمده، کمترین مقدار فعالیت معادل رادیوم برای نمونه گچ با کد GSS برابر $1/73 <$ و بیشترین مقدار برای نمونه پوکه معدنی قروه با کد PMQ برابر $479/88 \pm$ محاسبه گردید. حداکثر مقدار مجاز فعالیت هم ارز رادیوم (Ra_{eq}) 370 Bq/kg می‌باشد که تنها نمونه PMQ از آن تجاوز می‌کند. هم‌چنین مقدار ویژه فعالیت ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K در نمونه خاک بیشتر از میانگین جهانی می‌باشد که به ترتیب برابر با ۳۵، ۳۰ و ۴۰۰ گزارش شده است (۸). مقدار پتاسیم موجود در نمونه خاک مورد مطالعه بیش از دو برابر سطح متوسط جهانی است، یعنی این خاک علاوه بر استفاده جهت ساخت و ساز ساختمان می‌تواند به عنوان خاک کشاورزی نیز مورد استفاده قرار گیرد. شاخص های خطرپذیری داخلی و خارجی محاسبه شده به ترتیب در محدوده بین $0/01$ تا $1/61$ و $0/04$ تا $1/30$ به دست آمد که تنها برای دو نمونه PMQ و SSE از عدد یک تجاوز می‌کند. آهنگ دوز موثر سالیانه در داخل ساختمان‌ها بر حسب mSv/y برای نمونه‌ها دامنه‌ای بین $0/03$ تا $1/08$ دارد که بیشترین آهنگ دوز موثر سالیانه در فضای داخلی ساختمان‌ها مربوط به نمونه PMQ است. بنابراین دو نمونه PMQ و SSE

- radioactivity in Building materials, Report by NEA Group of Experts, OECD, Paris 1979.
- 13- Kumer V., Ram Achandran T.V., Prasad R, 1999." Natural radioactivity of Indian building materials and by products". Appl. Radiat. Isot. 51, 93–96.
 - 14- Amrani D., Tahtat M, 2001." Natural radioactivity in Algerian building materials". Appl Radiat Isot 54:687–689
 - 15- Papaefthymiou H., Gouseti O ., 2008." Natural radioactivity and associated radiation hazards in building materials used in Peloponnese", Greece. Radiat Meas 43;8:1453–1457
 - 16- Faheem M., Mujahid SA., Matiullah M. ,2008." Assessment of radiological hazards due to the natural radioactivity in soil and building material samples collected from six districts of the Punjab province". Pakistan. Radiat Meas, 43;8:1443–1447
 - 17- Viruthagiri G and Ponnarasi K, 2011."Measurement of natural radioactivity in brick samples". Advances in Applied Science Research, 2(2):103-108 .
 - 18- Basim A., Al-Mayahi., Dhia A., Muthana H., Raad J, 2009. "Radioactivity level measurement of some cement samples", Journal of Kerbala University , Vol. 7; 2:
 - 19- Singha S., Rania A., Mahajanb RK, 2005. " 226Ra, 232Th and 40K analysis in soil samples from some areas of Punjab and Himachal Pradesh, India using gamma ray spectrometry", Radiation Measurements 39: 431 – 439.
 - Emission Rates of Radionuclides", USA.
 - 4- Kertz, R., 1983. "Distribution of natural and anthropogenic radionuclides in Soil and Beach Sand Samples of Kalpakam(India) using hyper pure germanium(HPGe) gamma ray spectrometry Symbol for rock-forming minerals" , Appl, Radiat, Isot, 57, 109-119, Am. Miner, 65 277-279.
 - 5- Turhan S., Baykan UN., Sen K, 2008. "Measurement of the Natural Radioactivity in Building materials used in Ankara and assessment of external doses", J. of Rad. Prot. 28;1: 83-91
 - 6- Beretka J., Mathew PJ, 1985. "Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products", Health Phys.48:87–95.
 - 7- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 2008. "Exposure from natural sources of radiation", United Nations, New York.
 - 8- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 2000. "Effects and Risks of Ionizing Radiation & Exposure from natural sources of radiation", United Nations, New York.
 - 9- Mantazul IC., Alam MN and Ahmed AK, 1998." Concentration of radionuclides in building and ceramic materials of Bangladish and evaluation of radiation hazard, J. Radioanal. Nucl. Chem. 231: 117–122.
 - 10- Khan K., Khan HM., 2001." Natural gamma-emitting radionuclides in Pakistani Portland cement". Appl Radiat. Isot 54:861–865
 - 11- Kumar V., Ramachandran TV., Prasad R, 1999." Natural radioactivity of Indian building materials and by-products". Appl Radiat Isot 51:93–96
 - 12- NEA-OECD, Nuclear Energy Agency. Exposure to radiation from natural