

پرتوزایی طبیعی در نمونه‌های گرانیتی استفاده شده به عنوان مصالح ساختمانی در ایران

احمد جهانگیری^{۱*}، صالح اشرفی^۲

۱-دانشیار گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۲-استادیار فیزیک هسته‌ای دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز ashrafi@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۸۸/۷/۲۳ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱/۱۵

چکیده

برای تعیین پرتوزایی طبیعی مصالح ساختمانی استفاده شده و ارزیابی شاخص‌های مورد نظر در ارتباط با محیط زیست، بهداشت و جامعه، ۱۴ نمونه از سنگ‌های آذرین استفاده شده در ایران به عنوان سنگ‌های گرانیتی انتخاب و پرتوزایی طبیعی نمونه‌ها شامل اندازه‌گیری اکتیویته هسته‌های ^{232}Th ، ^{226}Ra و ^{40}K بر حسب Bq/kg انجام شد. پرتوزایی معادل نمونه‌های مطالعه شده بر حسب معادل رادیم Ra_{eq} برای تمام نمونه‌ها محاسبه شد که در محدوده $450/72 - 210/50$ Bq/kg است. برای ارزیابی شاخص‌های ریسک محیط زیست، شاخص‌های خطر خارجی H_{ex} ، خطر داخلی H_{in} و نرخ دوز جذب شده محاسبه شدند. شاخص محاسبه شده H_{in} برای نمونه‌های مطالعه شده در محدوده بین $0/81 - 1/63$ و برای H_{ex} $0/57 - 1/22$ است. مقادیر توصیه شده برای شاخص پرتوگیری داخلی و خارجی به ترتیب $1/5$ و 1 است. طبق استاندارد UNSCEAR میزان دوز پرتوزایی مؤثر سالانه بر حسب mSv/y محاسبه شد که مقدار آن برای یکی از نمونه‌ها $1/05$ و برای بقیه نمونه‌ها در محدوده $0/3 - 1$ mSv/y قرار می‌گیرد. طبق توصیه کمیسیون اروپا برای مصالح ساختمانی با دوز مؤثر سالانه بالاتر از 1 mSv/y می‌باید مراقبت‌های لازم جهت مراقبت از اشعه‌های پرتوزا صورت گیرد. تهویه فضاهای بسته و اتاقهای خواب از جمله اقدامات ساده و مراقبتی است که موجب کاهش غلظت گازهای پرتوزا می‌شود. مطالعات کانی‌شناسی نشانگر همبستگی مقدار رادیواکتیویته اندازه‌گیری شده با فراوانی کانی‌های فلدسپات پتاسیم، زیرکن، اسفن و آلانیت دارد و همچنین تأثیر یافت جمعی در افزایش پرتوزایی است.

کلید واژه

پرتوزایی طبیعی، گرانیت، مصالح ساختمانی، ایران، نرخ دوز مؤثر

سر آغاز

فرازمینی (کیهانی) منشأ می‌گیرند ضرورت دارد. تشعشعات پرتوزا ناشی از مواد زمینی بستگی به ویژگی‌های زمین‌شناسی و جغرافیایی ناحیه دارد. در بین عوامل طبیعی، خاک و سنگ‌ها نقش اصلی را در تشعشعات طبیعی دارند. در بین رسوبات و خاک‌ها، سنگ‌های گرانیتی دارای مواد پرتوزا بالایی هستند و در سالهای اخیر به دلیل استفاده فراوان از این سنگ‌ها به عنوان مصالح ساختمانی خصوصاً در داخل ساختمان‌ها، ارزیابی میزان تشعشعات پرتوزایی این سنگ‌ها ضروری به نظر می‌رسد. تشعشعات پرتوزایی حاصل از مصالح ساختمانی می‌توانند به پرتودهی خارجی^۱ و پرتودهی داخلی^۲ تقسیم شوند (EC, 1999). پرتوگیری خارجی نتیجه تابش مستقیم تشعشعات اشعه گاما است. پرتوگیری داخلی در اثر استنشاق گاز

آگاهی از توزیع هسته‌های پرتوزا و سطح تشعشعات آنها در محیط برای ارزیابی تأثیرات پرتوزا در محیط زندگی انسانی بسیار مهم است. تشعشعات طبیعی منشأ زمینی و فرازمینی دارند. تشعشعات زمینی در نتیجه وجود هسته‌های ناپایدار موجود در مقادیر مختلف در خاک، مصالح ساختمانی، آب، سنگ‌ها و اتمسفر تولید می‌شوند. بعضی از این رادیونوکلئیدها از این منابع از طریق چرخه مواد غذایی، یا تنفس به بدن انسان منتقل می‌شوند. در حالی که تشعشعات فرازمینی از خارج از فضا و از اشعه‌های کیهانی منشأ می‌گیرند. اندازه‌گیری تشعشعات طبیعی در محیط اطراف زندگی ما برای تعیین اندازه سطح تشعشعات طبیعی پرتوزا که از مواد زمینی و

راديو اکتیویته طبیعی آجرهای ساختمانی استفاده شده در تهران و نواحی اطراف توسط Fathivand و همکاران (2007) مطالعه شده که نشانگر نبود ریسک پرتوزایی بالا در آجرهای ساختمانی استفاده شده است. همچنین Fathivand and Amidi (2007) پرتوزایی طبیعی سیمان‌های تولید شده در ایران را اندازه‌گیری کرده و نتیجه‌گیری کردند که تشعشعات گامای این سیمان‌ها پایین‌تر از حد استاندارد است و برای کارگران مرتبط با این صنعت و ساکنان ساختمان‌ها، دارای ریسک خطر پرتوزایی است. با توجه به گسترش استفاده از سنگ‌های گرانیتی به‌عنوان مصالح ساختمانی در کشور و پرتوزایی طبیعی بالای این سنگ‌ها، در این مقاله ۱۴ نمونه از سنگ‌های گرانیتی از معادن مختلف کشور انتخاب و راديو اکتیویته طبیعی آنها اندازه‌گیری و شاخص‌های محیط زیستی به تفکیک برای نمونه‌های مربوطه محاسبه شد.

روش مطالعه

برای اندازه‌گیری تشعشعات پرتوزایی طبیعی پلاک‌های سنگی نمونه‌های مورد نظر از کارخانه‌های سنگ‌بری تهیه و سپس در دستگاه خردکن، خرد و پودر نمونه‌ها تهیه شد. نمونه‌های سنگ را پس از آسیاب کردن در ظرف‌های مخصوص مارینلی بیکر^۳ ریخته و در آن را محکم می‌بندیم تا گاز رادون حاصل از واپاشی زنجیره اورانیوم و توریم از نمونه خارج نشود. نمونه‌ها به‌مدت یک ماه نگهداری می‌شوند تا تعادل پایداری بین رادون و محصولات واپاشی آن که نیمه عمر کوتاهی دارند برقرار شود (Khan and Khan, 2001). طیف گامای نمونه‌های مطالعه شده را با طیف‌سنج $\beta - \gamma$ مدل AT1315 اندازه‌گیری کردیم. این طیف‌سنج ساخت کشور روسیه سفید بوده و از دو آشکارساز سوسوزن پلاستیک پلی‌استیرین و بلور NaI تشکیل شده است. سوسوزن^۴ پلاستیک طیف β و سوسوزن NaI طیف اشعه گامای منتشر شده از نمونه‌ها را اندازه‌گیری می‌کنند. محفظه اندازه‌گیری به شکل استوانه‌ای به قطر 130mm و ارتفاع 130mm است که آشکارساز NaI را احاطه می‌کند. برای افزایش بازده آشکارسازی نمونه‌ها، گرانیت پودر شده درون ظروف پلاستیکی با هندسه مارینلی در داخل محفظه اندازه‌گیری احاطه شده با دیواره سربی به ضخامت ۵ سانتیمتر قرار گرفت و مدت زمان اندازه‌گیری برای هر نمونه بین ۳ تا ۵ ساعت در نظر گرفته شده است. این طیف‌سنج، توانایی آشکارسازی اشعه γ در محدوده انرژی ۵۰KeV تا ۳۰۰۰ keV و اشعه β را در محدوده انرژی KeV ۱۵۰ تا ۳۵۰۰ دارد. طیف تجربی حاصل از اشعه

رادون ^{222}Rn و تورون ^{220}Rn و دیگر محصولات زنجیره واپاشی با نیمه عمر کوتاه اورانیوم و توریم می‌شود (EC, 1999). رادون و تورون از محصولات واپاشی پرتوزای اورانیوم و توریم هستند که در مصالح ساختمانی وجود دارند. چون رادون یک گاز نجیب و بی اثر است می‌تواند به‌صورت آزاد حرکت کند و از فضاهای خالی مصالح ساختمانی عبور کرده و به سطح زمین برسد و وارد فضای داخلی ساختمان بشود. منبع اصلی رادون خاک زیر سطح زمین است اما در مواردی منشأ اصلی رادون در طبقات بالایی ساختمان‌ها از مصالح ساختمانی مصرفی است. تورون داخلی نیز در صورتی که مصالح ساختمانی استفاده شده حاوی عنصر توریم بالایی باشند می‌تواند منبع مهمی از پرتوهای باشد. از لحاظ کانی‌شناسی گرانیت‌ها اساساً از کانی‌های کوارتز دانه درشت، فلدسپات پتاسیم (ارتوکلاز و میکروکلین) و پلاژیوکلازهای سدیم‌دار تشکیل شده‌اند. کانی‌های دیگر آنها بیشتر شامل میکا (بیوتیت، مسکویت) و هورنبلند هستند. کانی‌های زیرکن، آپاتیت، اسفن و اکسیدهای آهن از کانی‌های فرعی تشکیل‌دهنده گرانیت‌ها هستند. اورانیم و توریم در سنگ‌های آذرین معمولاً در کانی‌های فرعی مانند آپاتیت، اسفن و زیرکن یافت می‌شوند. دیگر کانی‌ها با پرتوزایی بالا مانند مونازیت، آلانیت، اورانیت، توریت و پیروکلر می‌توانند در سنگ‌های مختلف در طبیعت یافت شوند. مونازیت و آلانیت از کانی‌های فرعی‌اند که می‌توانند در بعضی از گرانیت‌ها یافت شوند و میزبان مناسبی برای عناصر پرتوزایی اورانیوم و توریم هستند. مقدار اورانیوم و توریم در گرانیت‌ها به‌طور متوسط در حدود ۵ و ۱۵ ppm است که در مقایسه با سنگ‌های بازالتی و فوق‌بازیک که کمتر از ۱ ppm اورانیوم دارند از غلظت بالایی برخوردار هستند (Rudnick and Gao, 2003). غلظت پتاسیم در گرانیت‌ها تا حدود ۵٪ می‌رسد که ۱۲٪ آن ^{40}K بوده و پرتوزا است (Faure, 1986). مطالعات پرتوزایی طبیعی در ایران، با توجه به زمینه پرتوزایی بالا در مناطق شمالی کشور، بویژه رامسر متمرکز بوده است. اندازه‌گیری مقدار گاز رادون در نواحی رامسر، اردبیل، لاهیجان و نمین در فضاهای داخلی ساختمان‌ها، در ارتفاع، درجه حرارت متفاوت و مصالح ساختمانی متفاوت استفاده شده، به وسیله Hadad در سال (2007) انجام گرفته است. نتایج این مطالعات نشانگر اکتیویته بالای رادون در رامسر در بین شهرهای مطالعه شده است و همچنین نشان‌دهنده اکتیویته بالا در ساختمان‌هایی است که از آنها مصالح ساختمانی گرانیتی استفاده شده است. در ارتباط با پرتوزایی مصالح ساختمانی،

نام علمی نمونه‌های مطالعه شده و ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌های مطالعه شده ارائه شده است. غلظت پرتوزایی ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K نمونه‌های مطالعه‌شده گرانیتی در جدول بر حسب Bq/Kg در جدول شماره (۲) ارائه شده است.

γ و β به‌طور همزمان و جداگانه در کانال‌های از صفر تا ۱۰۲۳ ثبت می‌شوند. همچنین از نمونه‌های سنگی مطالعه شده مقاطع نازک میکروسکوپی تهیه و با میکروسکوپ پلاریزان ویژگی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناختی آنها مطالعه شد که در جدول شماره (۱)

جدول شماره (۱): نام تجاری و علمی نمونه‌های مطالعه شده و ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌های مطالعه شده

شماره نمونه	نام تجاری	نام سنگ	کانی‌های اصلی	کانی‌های فرعی
A-1	گرانیت تیره پیرانشهر	گابرو-دیوریت	Plg+Px±Ol±Bt	Ap+Qtz+Opaq
A-2	گرانیت روشن تکاب	گرانیت	Afs+Plg+Qtz+Bt+Amp	Ap+Zrn+Ttn
A-3	صورتی روشن اهر	هورنبلند گرانیت	Afs+Plg+Qtz+Bt+Amp	Ap+Zrn+Ttn+Opaq
A-4	گرانیت تیره مهاباد	کوارتز مونزودیوریت	Afs+Plg+Qtz+Bt+Hbl	Ap+Zrn+ Opaq
A-5	نهندان	گرانیت	Afs+Plg+Qtz+Bt	Ap+Zrn+ Opaq
A-6	همدان	بیوتیت گرانیت	Afs+Plg+Qtz+Bt	Ap+Zrn+ Opaq
A-7	سبز تیره پیرانشهر	مونزونیت	Afs+Plg+Cpx+Bt	Ap + Opaq
A-8	خرم دره	کوارتز مونزودیوریت	Afs+Plg+Cpx+Bt+Cpx	Ap +Ttn+ Opaq +Zrn
A-9	مروارید مهاباد	گرانودیوریت	Afs+Plg+Qtz+Bt	Ap +Ttn+ Opaq
A-10	شکلاتی خرم دره	کوارتز مونزودیوریت	Afs+Plg+Cpx+Bt+Cpx	Ap +Ttn+ Opaq +Zrn
A-11	جوکار بروجرد	گرانیت	Afs+Plg+Qtz+Bt	Zrn+Ala+ Opaq
A-12	سبز بروجرد	پیروکسن آندوزیت	Plg+Cpx	Ap+Chl
Gu-30	صورتی قوشچی	آلکالی گرانیت	Afs+Plg+Qtz+Bt+Cpx	Zrn+Ap+Opaq
J-13	خاکستری بوکان	گرانیت	Afs+Plg+Qtz+Bt	Zrn+Ap+ Opaq

* برای نامگذاری علمی از طبقه بندی مودال سنگ‌های آذرین توسط اشتريک‌هايزن استفاده شده است. علائم اختصاری کانی‌ها به ترتیب زیر است: آپاتیت Ap، کوارتز Qtz، اکسیدهای آهن Opaq، پلاژیوکلاز plg، پیروکسن Px، الیون Ol، بیوتیت Bt، زیرکن Zrn، اسفن Ttn، آمفیبول Amp، فلدسپات پتاسیم Afs، کلینوپيروکسن Cpx، کلریت Chl، آلانیت Ala، کلسیت Cc (خلاصه نام کانی‌ها از Kretz, 1983).

نتایج و بحث

Ra_{eq} محاسبه شده در محدوده $210/50 - 450/72$ است که کمترین مقدار مربوط به سنگ نیمه آتشفشانی سبز رنگ بروجرد و بیشترین مقدار مربوط به نمونه A3 گرانیت اهر است.

نمونه مربوط به گرانیت‌های اهر دارای اکتیویته بالایی برای هر سه نوکلید ^{40}K ، ^{232}Th and ^{226}Ra است. این نمونه دارای ترکیب هورنبلند-گرانیت بوده و دارای درصد بالایی از فلدسپات‌های درشت پرتیتی بوده و کانی‌های فرعی اسفن (تیتانیت)، آپاتیت و زیرکن دارد. در نمونه مطالعه شده درصد فراوانی کانی فلدسپات پتاسیم بالا بوده و کانی‌های اسفن حالت تجمع (بافت کومولایی) نشان می‌دهند که می‌تواند عاملی بر افزایش غلظت پرتوزایی باشد.

نمونه مربوط به سنگ نیمه آتشفشانی بروجرد دارای بافت میکروکریستالین پرفیری بوده و دارای کانی‌های فنوکریست پلاژیوکلاز، کلینوپيروکسن و اکسیدهای آهن در زمینه‌ای از کانی‌های دانه‌ریز است.

این نمونه مقادیر اندکی از کانی‌های فلدسپار پتاسیم و زیرکن است که در نتایج با اکتیویته پایین پتاسیم و توریم مشخص می‌شود.

با توجه به این که رادیم در زنجیره واپاشی اورانیوم ^{238}U به‌عنوان مهم‌ترین هسته نوزاد محسوب می‌شود، معمولاً در اندازه‌گیری‌های پرتوزایی مربوط به اورانیوم به این هسته ارجاع داده می‌شود. در صورتی که سنگ‌ها به‌عنوان پلاک‌های ساختمانی استفاده شوند با استفاده از غلظت پرتوزایی ^{40}K ، ^{232}Th ، ^{226}Ra هر نمونه، می‌توانیم نرخ دوز پرتوزایی نمونه‌ها را در هوا جهت ارزیابی شاخص‌های ریسک به‌دست آوریم (Tzortzis, et al., 2003; Anjos, et al., 2004). میزان پرتودهی تشعشعات نمونه‌ها می‌تواند به‌صورت معادل رادیم آنها Ra_{eq} تعریف شود که به‌صورت معادله زیر محاسبه می‌شود. (Tufail, et al., 1992)

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

در حالی که A_{Ra} ، A_{Th} ، A_K به ترتیب مبین پرتوزایی ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K بر حسب Bq/Kg هستند. مقادیر Ra_{eq} محاسبه شده و اکتیویته نمونه‌ها در جدول شماره (۲) نشان داده شده است. مقدار

جدول شماره (۲): نام تجاری نمونه‌های مطالعه شده، پرتوزایی طبیعی اندازه‌گیری شده و مشخصه‌های محاسبه شده

در ارتباط با محیط طبیعی

نمونه	نام تجاری نمونه	²²⁶ Ra Bq/Kg	²³² Th Bq/Kg	⁴⁰ K Bq/Kg	Ra _{eq}	H _{ex}	H _{in}	دوز جذب شده (nGy/h)	دوز مؤثر (mSv/y)
A1	گرانیت تیره پیرانشهر	۱۱۶	۵۱	۹۶۸	۲۶۳/۴۷	/۷۱	۱/۰۳	۱۲۴/۳۹	۰/۶۱
A2	گرانیت روشن تکاب	۱۳۴	۱۰۳	۱۳۰۳	۳۸۱/۶۲	۱/۰۳	۱/۳۹	۱۸۰/۸۱	۰/۸۹
A3	گرانیت صورتی اهر	۱۵۳	۱۳۲	۱۴۱۵	۴۵۰/۷۲	۱/۳۲	۱/۶۳	۲۱۲/۹۸	۱/۰۵
A4	گرانیت تیره مهاباد	۱۱۳	۱۰۱	۱۲۵۸	۳۵۴/۳۰	۰/۹۶	۱/۲۶	۱۶۸/۵۸	۰/۸۳
A5	نهبندان	۱۲۷	۶۵	۱۲۶۰	۳۱۶/۹۷	۰/۸۶	۱/۲۰	۱۵۰/۶۹	۰/۷۴
A6	گل پنبه‌ای همدان	۱۳۴	۱۰۸	۱۲۱۰	۳۸۱/۶۱	۱/۰۳	۱/۳۹	۱۸۰/۲۳	۰/۸۸
A7	سبز تیره پیرانشهر	۸۵	۴۰	۹۶۴	۲۱۶/۴۳	۰/۵۸	۰/۸۱	۱۰۳/۵۹	۰/۵۱
A8	خرمدره	۱۵۲	۸۸	۱۲۹۶	۳۷۷/۶۳	۱/۰۲	۱/۴۳	۱۷۸/۲۵	۰/۸۸
A9	مروارید مهاباد	۱۴۰	۱۰۲	۱۳۲۸	۳۸۸/۱۲	۱/۰۵	۱/۴۳	۱۸۳/۷۷	۰/۹۰
A10	شکلاتی خرم دره	۱۶۰	۱۰۱	۱۵۰۰	۴۱۹/۹۳	۱/۱۳	۱/۵۷	۱۹۸/۹۱	۰/۹۸
A11	جوکار بروجرد	۱۲۷	۶۴	۱۳۹۹	۳۲۶/۳۴	۰/۸۸	۱/۲۲	۱۵۵/۸۷	۰/۷۷
A12	سبز بروجرد	۱۰۲	۴۴	۵۹۲	۲۱۰/۵۰	۰/۵۷	۰/۸۴	۹۷/۹۳	۰/۴۸
Gu30	صورتی قوشچی	۱۴۵	۷۹	۸۶۵	۳۳۴/۵۸	۰/۸۸	۱/۲۷	۱۵۱/۱۵	۰/۷۴
J13	خاکستری بوکان	۱۳۱	۸۵	۱۲۷۳	۳۵۰/۵۷	۰/۹۵	۱/۳۰	۱۶۶/۲۸	۰/۸۲

نمونه، مقادیر بالاتر از یک است. مقادیر شاخص‌های محاسبه شده در نمودار شماره (۱) نمایش داده شده است. دوز خارجی جذب شده (هوای آزاد) در نتیجهٔ تشعشعات اشعهٔ گامای مواد زمینی در یک متری بالای سطح زمین از غلظت‌های اکتیویته ²²⁶Ra، ²³²Th و ⁴⁰K در نمونه‌های گرانیتی با این فرض محاسبه می‌شود که مجموعهٔ واپاشی نوکلیدهایی همانند ²³⁵U، ⁹⁰Sr، ¹³⁷Cs قابل صرف‌نظر کردن هستند چون مشارکت ناچیزی در دوز سطح زمینه محیط اطراف (Jacob, et al., 1986; Leung, et al., 1990) دارند.

فاکتور تبدیل استفاده شده برای محاسبه نرخ دوز جذب شده با رابطهٔ شماره (۳) به شرح زیر ارائه شده است (UNSCEAR, 1993):

$$D = 0.429A_{Ra} + 0.666A_{Th} + 0.042A_K.$$

در تبدیل بالا فرض می‌شود که همه محصولات واپاشی ²²⁶Ra و ²³²Th در تعادل پرتوزا با هسته‌های والد خود هستند. مقادیر نرخ دوز جذب شده در نتیجه حضور ²²⁶Ra، ²³²Th، ⁴⁰K در نمونه‌های گرانیتی مطالعه شده از ۹۷/۹۳ تا ۲۱۲/۹۸ است (جدول شماره ۲).

بر طبق گزارش‌های (UNSCEAR) در سالهای (1993,2000) مقادیر متوسط جهانی ۱۸ تا ۹۳ nGy/h است و محدودهٔ تغییرات شاخص نرخ دوز جذب شده تشعشعات گاما در هوای آزاد از مواد زمینی ۵۵ nGy/h است. این مقادیر نشان می‌دهد که نمونه‌های مطالعه شده دارای دوز جذب شده در محدودهٔ بین ۹۸ تا ۲۱۳ nGy/h دارند که

مقایسهٔ داده‌های حاصل از اندازه‌گیری رادیواکتیویته و نتایج کانی‌شناسی نشانگر نقش فلدسپات پتاسیم بعنوان کانی اصلی و کانی‌های زیرکن، اسفن، آپاتیت و آلانیت از کانی‌های فرعی در پرتوزایی بالاست.

کاربرد نهایی اکتیویته اندازه‌گیری شده در مصالح ساختمانی، تخمین دوز تشعشعات پیش‌بینی شده و آزاد شده از مصالح ساختمانی استفاده شده است. شاخص خطر تشعشعات خارجی (H_{ex}) از معادلهٔ زیر مشخص می‌شود.

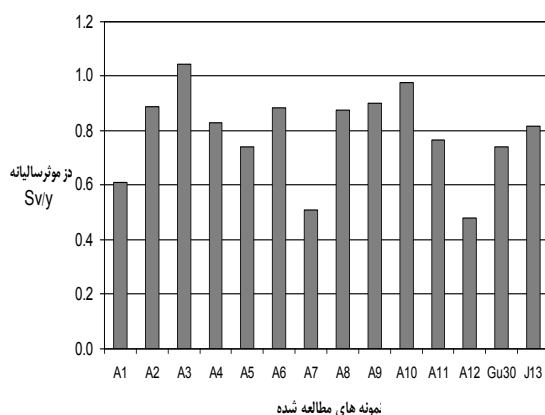
$$H_{ex} = A_{Ra}/370 + A_{Th}/259 + A_K/4810$$

دوز اشعه گامای خارجی قابل قبول محاسبه شده ۱/۵ خواهد بود. به طوری که در جدول مشاهده می‌شود مقادیر محاسبه شدهٔ (H_{ex}) برای تمام نمونه‌ها (۰/۵۷-۱/۲۲)، پایین‌تر از ۱/۵ است. میزان پرتودهی داخلی ²²²Rn و پرتوزایی عناصر نوزاد آن به وسیله شاخص خطر داخلی (H_{in}) مشخص می‌شود که به وسیلهٔ (Cottens 1990) و همکاران (1987) براساس معادله (۲) محاسبه شده است.

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

برای کاربرد ایمن موادی که در داخل ساختمان‌ها به عنوان مصالح ساختمانی استفاده می‌شوند این شاخص می‌باید کمتر از ۱ باشد. شاخص محاسبه شده (H_{in}) برای نمونه‌های مطالعه شده بین ۰/۸۱-۱/۶۳ است که در تمام نمونه‌ها به غیر از یک

یک بوده و بقیه نمونه‌ها دارای دوز مؤثر سالانه بین ۰/۳ تا ۱ هستند که بر اساس توصیه EC (1999) می‌باید مراقبت‌های لازم محیط زیستی هنگام استفاده از این مصالح در داخل ساختمان‌ها صورت گیرد. تهویه فضای ساختمان، فضاهای بسته و اتاقهای خواب از جمله اقدامات ساده و مراقبتی است که موجب کاهش غلظت گازهای پرتوزا همانند رادون و تورون می‌شود.



نمودار شماره (۲): مقادیر دوز مؤثر سالانه محاسبه شده برای

نمونه‌های مطالعه شده (نمونه‌هایی که دوز مؤثر سالانه آنها بالاتر از یک است دارای تشعشعات بالاتر از استانداردهای توصیه شده هستند).

پیشنهاد

با توجه به محدود بودن اندازه‌گیری‌های پرتوزایی طبیعی برای یک نمونه از هر گرانیب و نقش کانی‌های فرعی در تجمع عناصر پرتوزا لازم است مطالعات تکمیلی برای توده‌های گرانیتی و ارزیابی پرتوزایی طبیعی آنها با اندازه‌گیری نمونه‌های بیشتری همراه باشد.

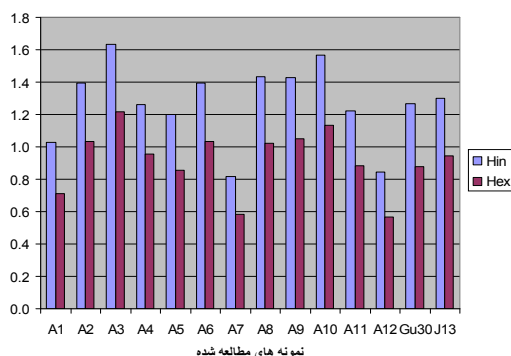
تشکر و قدردانی

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی مطالعه پرتوزایی طبیعی سنگ‌های گرانیتی استفاده شده در داخل ساختمان‌های ایران است که در دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز و با پشتیبانی مالی حوزه معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه انجام گرفته است. بدین وسیله از مساعدت‌های همکاران محترم حوزه معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه تبریز تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

یادداشت‌ها

- 1- External Exposure
- 2- Internal Exposure
- 3- Marinelli Baker
- 4- Scintillator

میانگین آنها حدود ۲ تا ۳ برابر متوسط جهانی است. برای تخمین دوز مؤثر سالانه لازم است ضریب تبدیل از دوز هوای آزاد به دوز مؤثر و عامل سکونت در داخل ساختمان را در معادله وارد کرد.



نمودار شماره (۱): شاخص ارزیابی ریسک پرتوگیری

خارجی (Hex) و داخلی (Hin)، مقادیر توصیه شده برای شاخص

پرتوگیری خارجی و داخلی به ترتیب ۱ و ۱/۵ است.

مقدار ۰/۷ SvG/y برای تبدیل در هوای آزاد به دوز مؤثر استفاده شده و ضریب ۰/۸ به‌عنوان ضریب ماندگاری در منزل استفاده شده که مبین گذراندن ۲۰٪ از زمان در خارج از منزل است (UNSCEAR, 2000). میزان دوز مؤثر داخلی بر حسب mSv در سال با رابطه شماره (۴) تعیین می‌شود:

$$\text{Effective dose rate (mSv per year)} = \text{dose rate (in nGy/h)} \times 24 \text{ h} \times 365.25 \text{ d} \times 0.8 \text{ (occupancy factor)} \times 0.7 \text{ SvG/y (conversion coefficient)} \times 10^{-6}$$

مقادیر دوز مؤثر داخلی نمونه‌های گرانیتی مطالعه شده در جدول شماره (۲) و نمودار شماره (۲) گزارش و نشان دهنده تغییرات در محدوده ۰/۵۱ تا ۱/۰۵ است. بر طبق آیین نامه توصیه شده اتحادیه اروپا آیین نامه شماره ۱۱۲ حفاظت از تشعشعات طبیعی در سال ۱۹۹۹ (EC, 1999) کلیه مصالح ساختمانی با دوز مؤثر ۰/۳ mSv/y از کلیه محدودیت‌ها در ارتباط با تشعشعات پرتوزایی طبیعی معاف می‌شوند و مصالح ساختمانی که دوز مؤثر آنها به بالاتر از ۱ mSv/y می‌رسد خارج از استاندارد محسوب شده و شامل محصولات می‌شوند که جلوگیری از تشعشعات آنها لازم است. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد نمونه‌های مطالعه شده دارای دوز مؤثر سالانه بین ۰/۴۸ تا ۱/۰۵ هستند که نمونه A3 دارای دوز سالانه بیش از

منابع مورد استفاده

- Anjos,R.M., et al. 2004. Radioecology teaching: evaluation of the background radiation levels from areas with high concentrations of radionuclides in soil. *European Journal of Physics*, 25 (2), 133–144.
- Cottens,E. 1990. Actions against radon at the international level. In: *Proceedings of the Symposium on SRBII, Journee Radon*, Royal Society of Engineers and Industrials of Belgium, 17 January 1990, Brussels.
- European Commission (EC). 1999. Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials. *Radiation Protection 112* (Brussels: EC).
- Fathivand,A.A., J.,Amidi and A.,Najafi.2007. The natural radioactivity in the bricks used for the construction of the dwelling Teheran areas of Iran. *Radiation Protection Dosimetry*, 123, 391–393.
- Fathivand,A.A., J.,Amidi.2007. Assessment of natural radioactivity and the associated hazards in Iranian cements. *Radiation Protection Dosimetry* ,124, 145–147.
- Faure,G. 1986. *Principles of Isotope Geology*, second ed. John Wiley & Sons, ISBN: 0471864129.
- Hadad,K., R.,Doulatdar and S.,Mehdizadeh. 2007. Indoor radon monitoring in Northern Iran using passive and active measurements. *Journal of Environmental Radioactivity* 95 39-52.
- Jacob,P., et al. 1986. Effective dose equivalents for photon exposure from plane sources on the ground. *Radiation Protection Dosimetry*, 14, 299–310.
- Kretz,R. 1983. Symbols for rock-forming minerals, *American Mineralogist*, 67, 277-279.
- Khan,K., H.,Khan. 2001. Natural gamma-emitting radionuclides in Pakistani Portland cement. *Applied Radiation Isotopes* 54, 861-865.
- Leung,K.C., S.Y.,Lau and C.B.,Poon. 1990. Gamma radiation dose from radionuclides in Hong Kong soil. *Journal of Environmental Radioactivity*. 11, 279–290.
- Quindos,L.S., P.L.,Fernandez and J.,Soto.1987. Building materials as source of exposure in houses. In: Seifert, B., Esdorn, H. (Eds.), *Indoor Air'87*, vol. 2. Institute for Water, Soil and Air Hygiene, Berlin, p. 365.
- Rudnick,R.I., S.,Gao. 2003. Composition of the continental crust. *Treatise on Geochemistry*, vol. 3. Elsevier, Amsterdam, pp. 1–64.
- Tufail,M., et al .1992. Natural radioactivity from building materials used in Islamabad and Rawalpindi, Pakistan. *The Science of the total Environment*, 121, 283–291.
- Tzortzis,M., et al. 2003. Gamma radiation measurements and dose rates in commercially-used natural tiling rocks (granites). *Journal of Environmental Radioactivity* 70, 223–235.
- UNSCEAR. 1993. *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations.
- UNSCEAR. 2000. *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.