



بررسی زیست محیطی پرتوزایی بوکسیت و گل قرمز حاصل از فرآوری بوکسیت جاجرم و محاسبه نسبت اختلاط گل قرمز برای استفاده در مصالح ساختمانی

ناصر ناصری^{*}، محمدحسین محمودی قرائی^۱، صالح اشرفی^۲، محمدتقی بحرینی طوسی^۳، فرزین قائمی^۱
اختای جهانبخش^۱

۱- گروه زمین شناسی دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- گروه فیزیک هسته‌ای، دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز

۳- گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۱/۳/۳۱، نسخه نهایی: ۹۱/۷/۱۰)

چکیده: مواد معدنی موجود در پوسته زمین بسته به ترکیب و خواستگاهی که دارند حاوی مقادیری از رادیونوکلئیدهای پرتوزا هستند. حضور این رادیونوکلئیدها پیوسته بر میزان دوز دریافتی انسان از محیط تأثیر گذاشته و می‌تواند در سطوح بالا خطر را باشد. بوکسیت به عنوان ماده‌ی معدنی خام تولید آلومینیوم حاوی مقادیر نسبتاً بالایی از این رادیونوکلئیدها است. فرآیند برداشت بوکسیت می‌تواند باعث تمرکز بیشتر این رادیونوکلئیدها در باطن‌های آن یعنی گل قرمز شود. برای کاهش مخاطرات زیست محیطی گل قرمز و نیز به خاطر دارا بودن مقادیر بالای اکسیدهای آهن، از گل قرمز در صنایع سیمان و آجر سازی استفاده می‌شود. به لحاظ بالا بودن سطح پرتوزایی گل قرمز، باید پیش از استفاده در صنایع، سطح پرتوزایی آن از نظر شاخص‌ها و استانداردهای وابسته مورد ارزیابی قرار گیرد. از این رو در این پژوهش پرتوزایی نمونه‌های بوکسیتی و گل قرمز معدن بوکسیت جاجرم را که بزرگ‌ترین ذخیره‌ی بوکسیت ایران است و سالانه حدود ۱۰۰۰۰۰۰ تن گل قرمز تولید می‌کند، از نظر شاخص‌های زیست محیطی مورد بررسی قرار داده‌ایم. در نهایت با توجه به میانگین سطح پرتوزایی اندازه گیری شده گل قرمز، نسبت اختلاط گل قرمز با خاک رس برای ساخت مصالح ساختمانی با سطح پرتوزایی پایین‌تر از حد مجاز مورد محاسبه قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: بوکسیت؛ گل قرمز؛ جاجرم؛ پرتوزایی؛ مصالح ساختمانی.

شده برای هر ماده‌ی معدنی برای ارزیابی مخاطرات احتمالی تهدید کننده‌ی بسیار ضروری است.

اورانیوم و توریم به دلیل پتانسیل یونی که دارند در گروه عناصر هیدرولیزها قرار گرفته به همین دلیل می‌توانند در محصولات هوازدگی ناشی از هیدرولیز از قبیل بوکسیت تمرکز یابند [۱]. فرآیند تولید آلومینا از بوکسیت حجم بسیار زیادی از مواد باطن‌هه تحت عنوان گل قرمز تولید می‌کند. این ماده قلیایی است و pH آن بین ۱۰ تا ۱۲ است. مقدار گل قرمز تولیدی

مقدمه

مواد معدنی به دلیل داشتن عناصر پرتوزا به عنوان یکی از منابع طبیعی پرتو گیری بشر از محیط محسوب می‌شوند. قرار گرفتن در معرض این منابع پرتوزا و ذرات یونیده کننده بر میزان دوز دریافتی انسان از محیط تأثیر می‌گذارد. بسته به تمرکز هسته‌های پرتوزای طبیعی موجود در مواد معدنی، چگونگی در معرض قرار گیری آن‌ها زیان‌هایی را برای افراد به دنبال دارد. لذا شناخت میزان پرتوزایی مواد معدنی و نوع کاربری تعریف

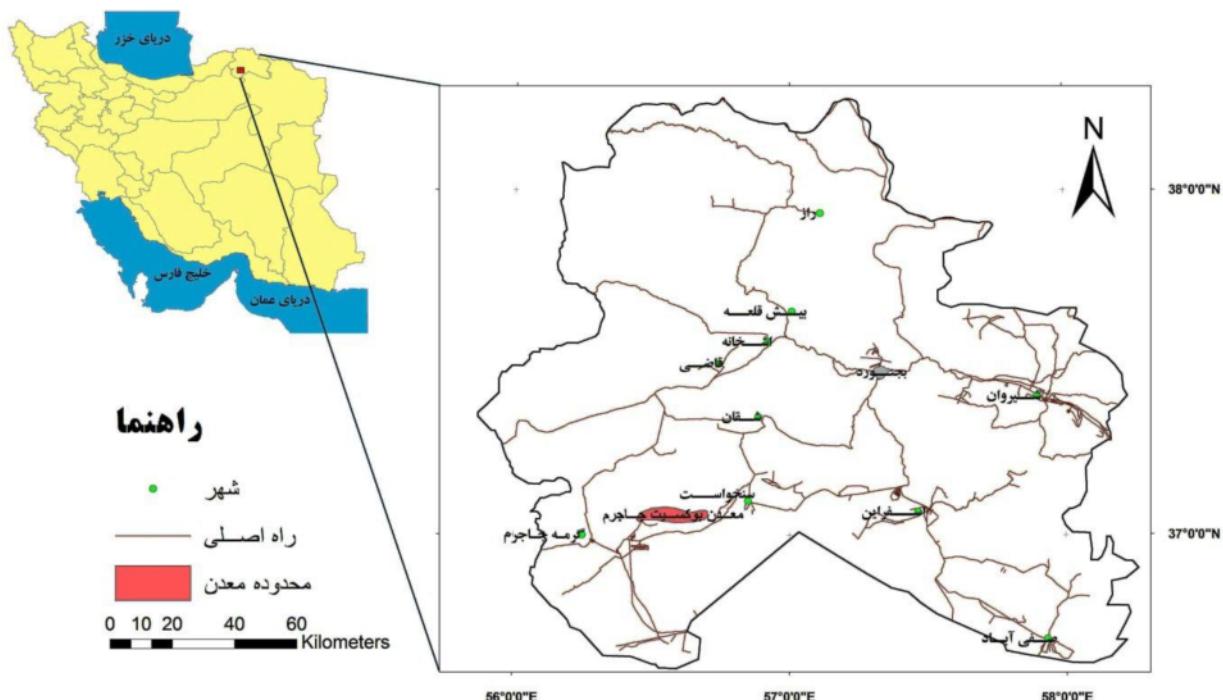
* نویسنده مسئول، تلفن نمبر: ۰۵۱۱۸۷۹۷۷۷۵، پست الکترونیکی: nassery@gmail.com

بهره برداری است و سالانه حدود یک میلیون تن گل قرمز تولید می کند [۵]، لازم است میزان پرتوزایی و شاخص های زیست محیطی مربوطه برای انواع بوکسیت و گل قرمز این معدن مورد بررسی قرار گیرد.

موقعیت و زمین‌شناسی گستره‌ی مورد بررسی
کانسار بوکسیت جاجرم در ۱۹ کیلومتری شمال شرق شهر جاجرم در کوه زو قرار دارد. وسعت منطقه‌ی معدنی ۱۲ کیلومتر مربع است (شکل ۱). این منطقه که در جنوبی‌ترین بخش زون ساختاری البرز شرقی و جنوب غربی کپه داغ قرار گرفته است از غرب و شمال با کوه های گدارگز، از شرق و جنوب شرقی با کوه های اسفراین و از شمال با کوه های آلاداع محصور شده است [۴]. رخنمون های سنگی وابسته به پالئوزوئیک و مژوزوئیک در گستره‌ی کوه زو گسترش داشته و در منطقه‌ی جاجرم نهشته های سنوزوئیک به صورت نهشته های تخریبی، تبخیری و نیز آذرین در بخش جنوبی‌تر قابل مشاهده‌اند. آشکارترین واحدهای رسوبی گستره مورد بررسی را سازنده‌های مبارک و الیکا و شمشک تشکیل می‌دهند. افق های بوکسیتی مورد نظر در مرز سازنده‌های مبارک و الیکا و نیز الیکا و شمشک تشکیل شده است [۶].

بستگی به میزان آلومینیم موجود در ترکیب بوکسیت و شرایط فرآیند کانه آرایی آن دارد [۲]. انباستن گل قرمز در یک منطقه به دلیل اینکه به شدت قلیایی بوده و حاوی مقادیر بالای اکسیدهای آهن و فلزات سنگین است، عاری از مشکلات زیست محیطی نیست. لذا برای کاهش خطرهای زیست محیطی گل قرمز بررسی های زیادی برای باز چرخش و استفاده مجدد از آن صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به کار گیری گل قرمز در صالح ساختمانی، مانند ساخت انواع آجرها، صنایع سیمان، سرامیک و بتون اشاره کرد [۳]. در فرآیند دریافت بوکسیت (باير) رادیونوکلئیدها بیشتر در مواد باطله تم رکز یافته و باعث می‌شوند که گل قرمز همیشه سطح پرتوزایی بالاتری نسبت به بوکسیت خام داشته باشد. با توجه به بالا بودن طبیعی این رادیونوکلئیدها در بوکسیت خام انتظار می‌رود که پرتوزایی گل قرمز حاصل از آن به سطوح بیشتر از حد مجاز استاندارد برسد که در این صورت باید موارد استفاده از آن کنترل شده و با تدبیر ویژه صورت گیرد.

با توجه به اینکه کانسار بوکسیت جاجرم با میزان ذخیره‌ی ماده‌ی معدنی بیست و دو میلیون تن، به عنوان بزرگ‌ترین ذخیره‌ی بوکسیت شناخته شده‌ی ایران [۴] هم اکنون در حال



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی گستره‌ی مورد بررسی.

صورت نگهداری می شدند تا تعادل پایداری بین رادون و فراورده های واپاشی آن که نیمه عمر کوتاهی دارند برقرار شود. پس از گذشت یک ماه هر نمونه به مدت ۳ ساعت در دستگاه شمارشگر قرار گرفت.

با استفاده از داده ای خام به دست آمده، سطح پرتوزایی نمونه ها از نظر شاخص های ریسک پذیری مورد ارزیابی قرار گرفتند. در پایان نمونه های گل قرمز را برای استفاده در مصالح ساختمانی از نقطه نظر استانداردهای زیست محیطی مربوط به پرتوزایی مصالح ساختمانی بررسی کرده و در صورت بالا بودن پرتوزایی گل قرمز، نسبت اختلاط گل قرمز با مواد دیگر برای کاهش خطرهای ناشی از پرتوزایی محاسبه کردیم.

بحث و بررسی

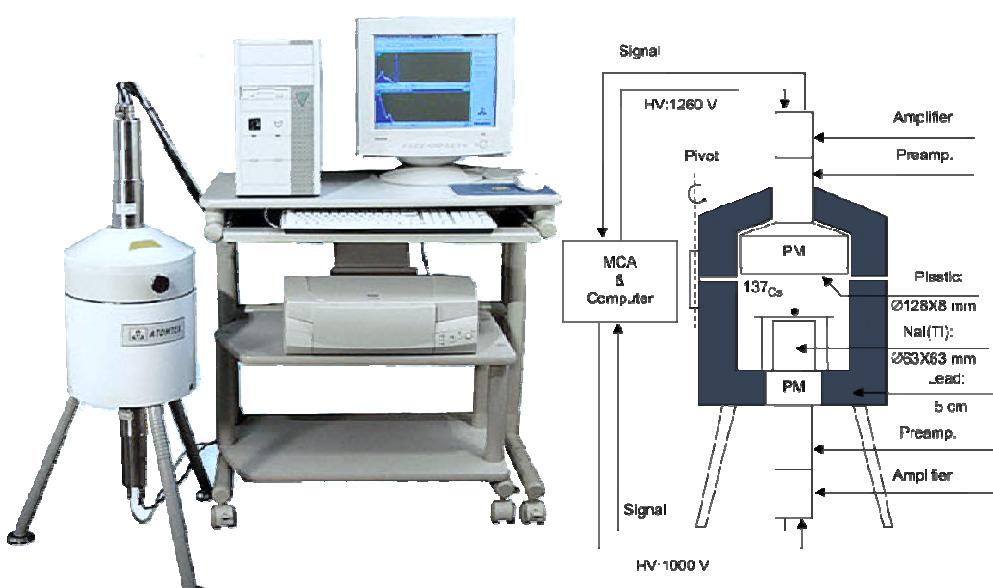
کانی شناسی بوکسیت و گل قرمز

بیشتر کانی های گزارش شده در ذخیره هی بوکسیت جاجرم از دیاسپور، شاموزیت، هماتیت، گوتیت، آناتاز، کائولینیت و ایلیت تشکیل شده، و اختلاف در فراوانی این کانی ها مهم ترین دلیل تنوع رنگ در بوکسیت ها به حساب می آید [۶]. حضور گوتیت باعث ایجاد رنگ زرد تا قهوه ای در بوکسیت شده [۷] و هماتیت رنگ های قرمز مایل به صورتی و گاهی بنفش را باعث می شود. مگنتیت رنگ قهوه ای و کلریت ها و شاموزیت نیز به رنگ سبزند. از کانی های اصلی گزارش شده در گل قرمز می توان به کانکرینیت، کاتویت، هماتیت و آمیست اشاره کرد [۵].

روش بررسی

برای بررسی پرتوزایی طبیعی بوکسیت جاجرم ۵ نمونه از انواع بوکسیت سخت قرمز (Bh1)، بوکسیت قرمز زیرین (Bh2)، بوکسیت شیلی (Bsh)، بوکسیت کائولینیتی (Bko) و بوکسیت شاموزیتی (Bch) موجود در معدن، و نیز ۵ نمونه گل قرمز (RM1,...RM5) از پنج نقطه و در محل های تخلیه گل سد باطله کارخانه تولید آلومنیا برداشته شدند.

برای اندازه گیری فعالیت نمونه های بوکسیت از بیناب سنج β - γ مدل AT1315 دانشگاه تبریز استفاده شد. این بیناب سنج از ۲ آشکارساز سوسوزن پلاستیک و سوسوزن NaI(Tl) تشکیل شده است. سوسوزن پلاستیک بیناب β و سوسوزن NaI(Tl) بیناب پرتو گامای منتشر شده از نمونه ها را اندازه گیری می کنند. این بیناب سنج قدرت آشکارسازی پرتو γ در گستره 3000KeV تا 50KeV و پرتو β را در گستره ای ارزی 150KeV تا 3500KeV دارد. برای پیشگیری از تداخل بیناب زمینه، آشکارسازها به همراه نمونه در یک حفاظ سری بیاناب خامت دیواره ۵ سانتی متر و به وزن ۱۲۰ کیلوگرم قرار داده می شوند. برای افزایش بازده آشکارسازی، نمونه ها را آسیاب کرده و از الک 1mm عبور دادیم، سپس نمونه های الک شده را درون ظرف پلاستیکی خاصی به نام مارینلی (Marinelli) ریخته و ظرف ها را نسبت به خروج گاز رادون آیق بندی کردیم (شکل ۲). نمونه ها به مدت یک ماه به همین



شکل ۲ نمایی از بیناب سنج β - γ مدل AT1315 همراه با برش شماتیک.

چشم پوشی شده و تنها به شاخص‌های ریسک پذیری وابسته به دوز جذبی خارجی که ناشی از گامای محیطی است می‌پردازیم. البته از آنجا که بخشی از هدف این پژوهش امکان بررسی استفاده از گل قرمز در مصالح ساختمانی است، شاخص‌های زیست محیطی وابسته به مصالح ساختمانی و دوز جذبی داخلی برای گل قرمز محاسبه می‌شود.

با استفاده از فعالیت ^{232}Th , ^{238}U و ^{40}K هر نمونه، می‌توان سطح پرتوزایی آن نمونه را برای ارزیابی شاخص‌های ریسک پذیری محاسبه کرد. مخاطرات ناشی از تابش گاما و استنشاق گاز رادون بیشتر به وسیله‌ی "شاخص معادل رادیوم (Ra_{eq})"، "آهنگ دوز جذب شده در هوا"، "شاخص خطر تابش‌های خارجی (H_{ex})" و "داخلی (H_{in})" مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.^[۹]

محاسبه‌ی معادل رادیوم

از آنجا که ۹۸/۵ درصد از اثرهای بیولوژیکی تابش‌های سری‌های U²³⁸, در اثر تابشهای Ra²²⁶ و دخترانش ایجاد می‌شود، بنابراین می‌توان اثر U²³⁸ و فراورده‌های دیگر محصولات دختر پیش از Ra²²⁶ را در این سری واپاشی نادیده گرفت [۱۰]. معادل رادیوم عبارت است از مجموع فعالیت‌های سه رادیونوکلئید ^{232}Th , ^{238}U و ^{40}K بر پایه این فرض که آهنگ دوز گاما رادیوم با اکتیویته ۳۷۰Bq.Kg^{-۱} با نرخ دوز گاما توریم با اکتیویته ۲۵۹Bq.Kg^{-۱} و نرخ دوز گاما پتاسیم با فعالیت ۴۸۱۰Bq.Kg^{-۱} برابر است [۱۰]. معادل رادیوم با معادله‌ی زیر محاسبه می‌شود [۱۱] :

$$\text{Reaq} = \frac{\text{ARA}}{370\text{Bq/Kg}} + \frac{\text{ATH}}{259\text{Bq/Jg}} + \frac{\text{AK}}{4810\text{Bq/Kg}} \quad (1-1)$$

در این رابطه A_{Ra}, A_{Th}, A_K در ترتیب عبارتند از پرتوزایی K⁴⁰, Ra²²⁶, Th²³² بر حسب Bq.Kg^{-۱}. مقادیر Ra_{eq} برای هر نمونه محاسبه شده و در جدول شماره (۱) نشان داده شده‌اند. حد قابل قبول برای معادل رادیوم کمتر یا مساوی ۳۷۰Bq/Kg است [۱۲].

محاسبه‌ی آهنگ دوز جذب شده در هوا

مقدار انرژی ذخیره شده به وسیله‌ی تابش یونیده کننده واحد جرم ماده‌ای که در واحد زمان تابش از آن عبور کرده است، را آهنگ دوز جذب شده می‌گویند. آهنگ دوز جذب شده ناشی از تابش گاما در هوا و در فاصله یک متري بالاي سطح زمين، از سوي UNSCEAR^۱ به صورت زير تعریف شده است [۸]:

به طور کلی رنگ می‌تواند در تعبیر و تفسیرهای ژئوشمیایی اولیه یک کانسار بوکسیت بیانگر ویژگی‌های خاصی از محیط تشکیل و شرایط اکسایش و احیا بوده و همراه با تعیین کانی‌های رسی موجود در بوکسیت به عنوان ابزاری مفید در جدایش بوکسیت‌ها در محیط معدن مورد استفاده قرار گیرد. مثلاً رنگ‌های قرمز، صورتی، زرد، بنفش و زرد مایل به قهوه‌ای نشان دهنده‌ی شرایط اکسایش در طی مراحل تشکیل بوکسیت است. بوکسیت‌های این منطقه غالباً سخت و قرمز بوده و در صورت داشتن ایلیت زیاد که حالت شیلی به بوکسیت می‌دهد. بوکسیت شیلی قرمز نامیده می‌شود. رنگ سفید بوکسیت بیان کننده‌ی آبشویی شدید آهن در شرایط احیاء و تولید کائولینیت است و به این گونه بوکسیت‌ها در کانی‌شناسی بوکسیت کائولینیتی گفته می‌شود. رنگ‌های سبز و قهوه‌ای تیره که در بوکسیت‌های فریک شاموزیتی دیده می‌شوند نشانی از محیط احیاکننده‌ی قوی‌تری است [۷].

چگونگی فعالیت گاما در نمونه‌های مورد بررسی

نتایج بدست آمده از بیناب سنجی گاما که حاصل واپاشی رادیونوکلئیدهای ^{232}Th , ^{238}U و ^{40}K در نمونه‌های بوکسیتی و گل قرمز حاصل از فراوری بوکسیت است در جدول (۱) ارائه شده‌اند. چنانکه مقادیر به دست آمده نشان می‌دهند میزان پرتوزایی گاما در نمونه‌های گل قرمز بالاتر از نمونه‌های بوکسیتی است. بیشترین فعالیت به میزان ۲۹۸ Bq.Kg^{-۱} حاصل از واپاشی Ra²²⁶ و به نمونه‌ی گل قرمز RM2 وابسته است، در حالی که کمترین فعالیت اندازه گیری شده به میزان ۱۸ Bq.Kg^{-۱} حاصل از واپاشی Th²³² و به نمونه‌ی Bsh از انواع بوکسیت وابستگی دارد. در مجموع بیشترین فعالیت حاصل از واپاشی هر سه نوکلئید در نمونه‌های اندازه گیری شده به نمونه‌ی گل قرمز RM1 و به میزان ۷۱۸ Bq.Kg^{-۱} مربوط می‌شود.

محاسبه‌ی دوز و ارزیابی شاخص‌های زیست محیطی

پرتو گیری بشر از محیط می‌تواند ناشی از یک منبع تابش در خارج از بدن (پرتو گیری خارجی) و یا ناشی از واپاشی رادیونوکلئیدهای پرتوزایی که در نتیجه بلعیدن و یا استنشاق وارد بدن شده‌اند، (پرتو گیری داخلی) [۸]. از آنجا که معدن کاری صورت گرفته در معدن بوکسیت جاجرم از نوع روباز است، احتمال انباست گاز رادون در سطوح خطر زا در منطقه بسیار کم خواهد بود. به همین منظور در این پژوهش برای ماده‌ی معدنی بوکسیت از محاسبه‌ی شاخص‌های وابسته به دوز جذبی داخلی که بیشتر متأثر از استنشاق گاز رادون است،

1- United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation

مقادیر معادل رادیوم و هم ارز دوز سالیانه نیز برای هر یک از نمونه‌های مورد بررسی محاسبه شده و در جدول شماره (۱) نشان داده شده‌اند.

شاخص خطر تابش‌های خارجی (Hex)

این شاخص بیان کننده اثرهای پرتو گاما ای خارجی ناشی از دریافت تابش گاما از محیط پیرامون به عنوان مصالح ساختمانی است و به صورت معادله‌ی زیر مشخص می‌شود:

$$H_{ex} = A_{Ra}/370 + A_{Th}/259 + A_K/4810 \quad (4-1)$$

دوز پرتو گاما ای خارجی قابل قبول محاسبه شده ۱/۵ خواهد بود [۱۵]

شاخص خطر تابش‌های داخلی (Hin)

میزان پرتودهی داخلی ناشی از استنشاق گاز رادون و پرتوزایی عناصر دختر آن در بدن با شاخص خطر داخلی (H_{in}) مشخص و بر اساس معادله‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$H_{in} = A_{Ra}/185 + A_{Th}/259 + A_K/4810 \quad (5-1)$$

برای کاربرد این موادی که در داخل ساختمان‌ها به عنوان مصالح ساختمانی استفاده می‌شوند این شاخص باید کمتر از ۱ باشد [۱۲]. شاخص‌های خطر داخلی (H_{in}) و خارجی (H_{ex}) نیز برای هر نمونه محاسبه شده و در نمودار شماره ۱ نشان داده شده‌اند.

با توجه به نتایج به دست آمده از بیناب سنجی گاما مشاهده می‌شود که میزان پرتوزایی در نمونه‌های گل قرمز بالاتر از بوکسیتی است که از آن فرآوری شده است. این افزایش غلظت در گل قرمز بیانگر این است که فرآیند بایر اورانیوم و توریوم موجود در بوکسیت را در باطله متمرکز می‌نماید. رخداد این پدیده را می‌توان به جدایش اکسیدهای آهن و تیتانیوم از بوکسیت و متمرکز شدن آن در گل قرمز طی فرآیند بایر، نسبت داد. گل قرمز تولید شده از مجموعه آلومینیای جاجرم حاوی ۳۲ درصد اکسیدهای آهن و ۸ درصد اکسید تیتانیوم است [۱۶,۱۷]. اکسیدهای آهن بیشتر به صورت کانی‌هایی همچون هماتیت و گوتیت است، و مقادیر کمتری لیمونیت و مگنتیت نیز می‌تواند در گل قرمز وجود داشته باشد [۳]. اکسیدهای آهن و تیتانیوم قدرت جذب سطحی زیادی نسبت به یون‌های اورانیوم و توریوم دارد [۱۷,۱۸]. این خاصیت در کانی‌های آهن داری همچون هماتیت و گوتیت نیز وجود داشته [۱۹,۲۰] به طوری که از این کانی‌ها به صورت اقتصادی برای آبشویی اورانیوم استفاده می‌شود [۲۰].

$$D_a = \sum_{X} A_X \times C_X \quad (2-1)$$

به طوری که A_X فعالیت ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K و C_X فاکتور تبدیل متناظر میزان دوز برای هر یک از رادیونوكلئیدهای یاد شده است این فاکتور بر پایه محاسبات ریاضی مونت کارلو با استفاده از داده‌های ICRP و نتایج حاصل از توموگرافی بیماران بزرگسال و جوان را UNSCEAR در سال ۱۹۹۳ محاسبه کرده است [۸]. به عبارت دیگر این فاکتور آهنگ دوز جذب شده در هوا بر واحد جرم جسم است که واحد $\frac{nGy.h^{-1}}{Bq.Kg^{-1}}$ است و مقدار آن برای ^{238}Th , ^{232}Th و ^{40}K به ترتیب $0,414, 0,623$ و $0,461$ می‌شود. بنابراین رابطه بالا به صورت زیر خواهد بود:

$$D_a (nGy.h^{-1}) = 0.461 A_{238U} + 0.623 A_{232Th} + 0.0414 A_{40K} \quad (2-2)$$

آهنگ دوز جذب شده از هوا در نمونه‌های مورد بررسی در جدول (۱) نشان داده شده است.

هم ارز دوز سالانه

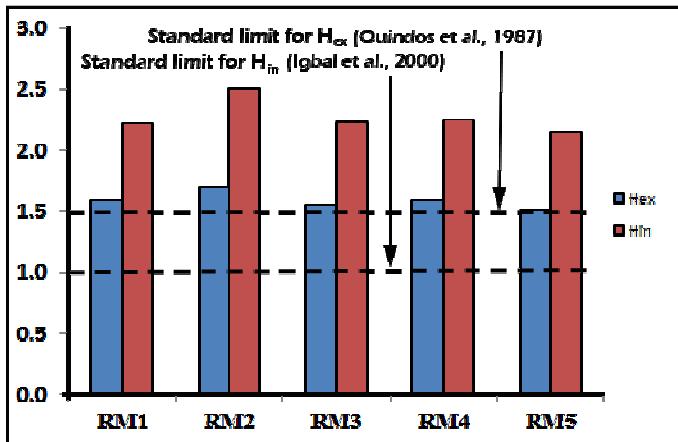
هم ارز دوز کمیتی است که خطرها و خسارت‌های ناشی از تابش را روی بافت‌های بدن توصیف می‌کند. حاصل ضرب دوز جذب شده در یک فاکتور مناسب، اثرهای بیولوژیکی نوع ویژه‌ای از تابش را ارائه داده و کمیتی به نام هم ارز دوز را موجب می‌شود. کمیت هم ارز دوز مؤثر سالانه که آسیب‌های ناشی از پرتو گاما به عموم را طی یک سال گزارش می‌کند به صورت زیر تعریف می‌شود [۸] :

$$D_E (nSv) = D_a (nGy.h^{-1}) \times Q \times O_f \quad (3-1)$$

در این رابطه D_a آهنگ دوز جذب شده در هواست که با رابطه $-T$ به دست می‌آید. T زمانی است که مقدار آن برابر است با ۸۶۷۰ ساعت در یک سال. Q ضریب تبدیل دوز جذب شده در هوا به دوز مؤثر است که این ضریب از سوی UNSCEAR در سال ۱۹۸۲ برای یک فرد بالغ $0.7 (Sv.Gy^{-1})$ ^۱ گزارش شده است. O_f فاکتور اشتغال خوانده می‌شود و بستگی به این دارد که فرد معمولاً چند درصد از وقت خود را در بیرون از ساختمان می‌گذراند. با توجه به اینکه ساعت کاری برای معدن کاران در معدن ۱۰ ساعت است فاکتور اشتغال برابر است با 0.4 و برای گل قرمز که به عنوان مصالح ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد بنابر گزارش 0.8 در نظر گرفته می‌شود [۱۳]. بنا بر آیین نامه کمیته بین‌المللی حفاظت در برابر پرتو، دوز سالانه نباید بیشتر از $1mSv/y$ باشد [۱۴].

جدول ۱ فعالیت هر نمونه بررسی شده به همراه مقادیر معادل رادیوم و هم ارز دوز سالانه.

| Sample No | Sample Type | ^{226}Ra Activity | ^{232}Th Activity | ^{40}K Activity | Ra_{eq} (Bq.Kg $^{-1}$) | D _a | D _E |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--|----------------|----------------|
| Bh1 | Hard red bauxite | ۱۴۲ | ۳۳ | Nd | ۱۸۹ | ۸۶,۰ | ۰,۲۱ |
| Bh2 | red bauxite | ۱۶۳,۲۹ | ۲۱,۹۴ | Nd | ۱۹۵ | ۸۸,۹۹ | ۰,۲۲ |
| Bsh | shaleBauxite | ۱۴۲ | ۱۸ | ۴۲۳ | ۲۰۰ | ۷۶,۷۲ | ۰,۱۹ |
| Bko | Kaolinitic | ۱۰,۹ | ۲۶ | Nd | ۱۴۶ | ۶۶,۴۹ | ۰,۱۷ |
| Bch | Chamositic | ۱۳۰,۵ | ۲۰,۲۳ | Nd | ۱۵۹ | ۷۲,۸۱ | ۰,۱۸ |
| RM1 | Red Mud | ۲۳۰ | ۲۳۸ | ۲۵۰ | ۵۹۰ | ۲۵۴,۳۵ | ۱,۲۳ |
| RM2 | Red Mud | ۲۹۸ | ۲۲۲ | Nd | ۶۳۰ | ۲۸۱,۹۶ | ۱,۳۷ |
| RM3 | Red Mud | ۲۴۹ | ۲۲۷ | Nd | ۵۷۴ | ۲۵۶,۲۵ | ۱,۲۴ |
| RM4 | Red Mud | ۲۴۳ | ۲۴۱ | Nd | ۵۸۸ | ۲۶۲,۲۱ | ۱,۲۷ |
| RM5 | Red Mud | ۲۲۴ | ۲۱۶ | ۲۲۱ | ۵۶۰ | ۲۴۲,۴۸ | ۱,۱۸ |
| C-1 | Clay | ۱۰ | ۲۰ | ۳۸۹ | ۶۸ | ۱۷ | ۰,۰۸ |

نمودار ۱ شاخص ارزیابی ریسک پرتو گیری خارجی (H_{ex}) و داخلی (H_{in}) برای نمونه‌های گل قرمز.

$$X + Y = Z \quad (6-1)$$

از آنجا که در این پژوهش، (H_{in}) برای بوکسیت ۰,۲۶ و برای خاک رس مورد نظر ۰,۲۱ است و با توجه به این که حداکثر (H_{in}) برای مصالح ساختمانی باید برابر ۱ باشد [۱۳] معادله مربوطه به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$2.26X + 0.21Y = 1Z \quad (6-2)$$

با قرار دادن مقدار Z در معادله (6-۲) با استفاده از معادله (6-۱) می‌توان نسبت y/x را بدست آورد:

$$\begin{aligned} 2.26X + 0.21Y &= X + Y \\ 1.26X &= 0.79Y \quad X/Y = 3.5 \end{aligned}$$

با توجه به نتایج حاصل، اگر بخواهیم از گل قرمز برای ساخت مصالح ساختمانی استفاده کنیم باید به ازای هر ۳ واحد از گل قرمز، ۵ واحد از خاک رس استفاده شود تا میزان پرتوودهی به زیر حد استاندارد برسد.

با توجه به این که مقدار پرتووزایی ارزیابی شده گل قرمز بیش از حد استاندارد است لازم است تا گل قرمز پیش از باز چرخش و استفاده در مصالح ساختمانی با یک نسبت معین با دیگر موادی که پرتو زایی پایینی دارند مخلوط شود. بنابر این، لازم است نسبت اختلاط گل قرمز محاسبه شود. از آنجا که بحرانی ترین حالت پرتو گیری از مصالح ساختمانی، به پرتو گیری داخلی (H_{in}) وابسته است، پایه‌ی محاسبات نسبت اختلاط بر مبنای H_{in} است. لذا برای بدست آوردن نسبت اختلاط، نخست شاخص خطر داخلی (H_{in}) را برای گل قرمز و خاکی که قرار است با بوکسیت مخلوط شود، محاسبه می‌کنیم که در جدول (۲) نمایش داده شده است. در صورتی که X مقدار گل قرمز، Y مقدار رسی که می‌خواهیم با گل قرمز مخلوط کنیم و Z مقدار خاک ایجاد شده ناشی از اختلاط گل قرمز و رس باشد؛ معادله مورد نظر به صورت زیر خواهد بود:

جدول ۲ شاخص‌های خطر داخلی و خارجی محاسبه شده برای نمونه‌های گل قرمز و رس.

| Sample | Hex | Hin |
|--------|-----|-----|
| RM1 | ۱,۵ | ۲,۲ |
| RM2 | ۱,۷ | ۲,۵ |
| RM3 | ۱,۵ | ۲,۲ |
| RM4 | ۱,۵ | ۲,۲ |
| RM5 | ۱,۵ | ۲,۱ |
| clay | ۰,۱ | ۰,۲ |

[2] Díaz B., Joiret S., Keddam M., Nóvoa X. R., Pérez M. C., Takenouti H., "Passivity of iron in red mud's water solutions", *Electrochemical Acta*, Vol: 49 (2004) PP. 3039-3048 .

[3] Somlai J., Jobb'agy.V., Kov'acs.J., Tarj'an.S., Kov'acs.T., "Radiological aspects of the usability of red mud as building material additive", *Journal of Hazardous Materials* 150 (2008) 541–545.

[۴] رحیم پور بناب. ح ، اسماعیلی د، "پتروگرافی و ژنزر کانسنسار بوکسیت جاجرم" ، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد سی و سوم، شماره ۱، (۱۳۸۶) ص ۱۰۷-۱۲۳.

[۵] اسم خانی.ر، قبادی. ب، امیرخانی. الف، امین خانی.ع، ۱۳۸۷، "شناسایی گل قرمز کارخانه تولید آلومینیمی جاجرم و مطالعه روش‌های بازیابی تیتانیوم دی اکسید از آن، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران" ، دوره ۲۷، شماره ۲، ص ۵۹-۶۶

[۶] ناصری م، "کانی‌شناسی و ژئوشیمی بوکسیت جاجرم" ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی (گرایش اقتصادی) ، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۲) ص ۱۴۶.

[7] Schwertmann U., "Relations between iron oxides, soil color, and soil formation. In Bingham", *Soil Color* 31(1993) 51-69.

[8] UNSCEAR., "Sources and Effects of Ionizing Radiation", United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (1993).

[9] Abbady A.G.E., "Estimation of radiation hazard indices from sedimentary rocks in Upper Egypt", *Applied Radiation and Isotopes* 60 (2004) 111- 114.

[۱۰] اعلایی ش، "بررسی کمی و کیفی رادیویزوتوب های موجود در آب و خاک منطقه مرند و زنجوز" ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک (گرایش هسته‌ای)، دانشگاه تبریز، ص ۱۰۷ (۱۳۸۳).

برداشت

مقدار معادل رادیوم (Ra_{eq}) محاسبه شده برای تمامی نمونه‌های بوکسیتی زیر حد مجاز 370Bq/Kg و در گستره‌ی 146Bq/Kg-200Bq/Kg است، ولی برخلاف بوکسیت‌ها تمامی نمونه‌های گل قرمز Ra_{eq} بیشتر از حد مجاز 370Bq/Kg و در گستره‌ی 560Bq/Kg-630Bq/Kg قرار دارند. همانند معادل رادیوم، هم ارز دوز سالانه نیز برای نمونه‌های بوکسیتی زیر حد استاندارد 1mSv/y کمیته بین‌المللی حفاظت در برابر پرتو و در گستره‌ی 0.17mSv/y - 0.22mSv/y قرار دارند، ولی برخلاف بوکسیت تمامی نمونه‌های گل قرمز هم ارز دوز سالانه بیشتر از حد استاندارد داشته و در گستره‌ی 1.18 mSv/y - 1.37 mSv/y قرار دارند. برای ارزیابی پرتوزایی گل قرمز برای استفاده در مصالح ساختمانی شاخص، ارزیابی ریسک پرتو گیری خارجی (H_{ex}) و داخلی (H_{in}) برای نمونه‌های گل قرمز محاسبه شدند و نتایج به دست آمده بیانگر این است که تمامی نمونه‌های گل قرمز حدود ۲ برابر حد مجاز پرتوزایی دارند. لذا از گل قرمز کارخانه آلومینیمی جاجرم به صورت خالص نمی‌توان به عنوان مصالح ساختمانی استفاده کرد و باید با مواد دیگری که سطح پرتوزایی پایینی داشته مخلوط شده و سپس مورد استفاده قرار گیرد. در نهایت برای استفاده از گل قرمز در مصالح ساختمانی نسبت اختلاط گل قرمز با خاک رسی که پرتوزایی پایینی داشت محاسبه شد و نسبت اختلاط گل قرمز به رس ۳ به ۵ به دست آمد.

مراجع

- [1] Mason M., Moore C.B., "Principles of Geochemistry (4th Edition)" , John Wiley & Sons, New York (1982).

- [16] قربانی ا., اولیازاده م., شاهوردی ار., پیرایه گر ا., فروشویشیمی‌آی‌الومینا از گل قرمز با بررسی اثر مجزا و ترکیبی اسیدهای آلی و معدنی، نشریه دانشکده فنی، جلد ۴۱، شماره ۳ (۱۳۸۶) ص ۳۴۳-۳۵۳.
- [17] Jaffrezic-Renault N., Poirier-Andrade H., Trang., "Models for the adsorption of uranium on titanium dioxide", Journal of Chromatography A 201 (1980) 187-192.
- [18] Noubactep C., Sch"oner A., Meinrath G., "Mechanism of uranium removal from the aqueous solution by elemental iron", Journal of Hazardous Materials B132 (2006) 202-212.
- [19] Sabriye Y., Erenturk S., "Sorption behaviors of uranium (VI) ions on α -FeOOH", Desalination 269 (2011) 58-66.
- [20] Giammar D.E., Hering J.G., "Time scales for sorption-desorption and surface precipitation of Uranyl on Goethite", Environmental Sci Technol 35 (2001) 3332-3337.
- [11] Tufail,M., "Natural radioactivity from building materials used in Islamabad and Rawalpindi", Pakistan The Science of the total Environment, 121 (1992) 283-291
- [12] Iqbal, M., Tufail, M., Mirza, S.M., "Measurement of natural radioactivity in marble found in Pakistan using a NaI(Tl) gamma-ray spectrometry", J. Environ. Radioactivity 51 (2000) 255.
- [13] UNSCEAR., "ANNEX B Exposures to natural radiation sources", United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (1982).
- [14] ICRP-60, "Radiation Protection: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection". Oxford Press (1990).
- [15] Quindos, L.S., Newton, G.J., Fernandez, P.L., Soto, J., "Natural radioactivity of some Spanish building materials", Sci. Tot. Environ. 68 (1987) 181.