بررسی اثر موقعیت مکانی بدن انسان بر روی دوز گاما ناشی از کف پوش های گرانیتی با استفاده از کد MCNPX

مطهره کفالتی*[۱]، سید فرهاد مسعودی[۱] و اکبر عباسی[۲]

[۱] گروه هسته‌ای، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الادین طوسی، تهران

[۲] دانشکده مهندسی، دانشگاه مدیترانه شرقی، قبرس

چکیده:

در این مقاله با استفاده از کد MCNPX میزان پرتوگیری گامای ناشی از سری ^{238}U، ^{232}Th و ^{40}K در ارگان های مختلف بدن در یک اتاق پوشیده شده با سنگ گرانیت نهبندان بیرجند مورد ارزیابی قرار گرفته است. با تغییر موقعیت مکانی ارگانها نسبت به کف اتاق، تغییرات دوز موثر بر حسب ارتفاع بررسی شده است. با یافتن میزان افزایش دوز با نزدیک شدن به کف برای هر شش، افزایش دوز سالیانه بواسطه موقعیت مکانی بافت در وضعیت‌هایی مانند خواب محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با تغییر ارتفاع از کف از ۱۷۰ تا ۱۰ سانتی متر، میزان دوز سه برابر خواهد شد.

کلید واژه: پرتوزایی طبیعی، دوز موثر سالیانه، فانتوم اسنایدر، MCNPX، پرتوگیری

مقدمه:

آگاهی از توزیع هسته‌ای پرتوزا و سطح تشعشعات آنها در محیط برای ارزیابی تاثیرات پرتوزا در محیط زندگی انسانی بسیار مهم است. بر طبق گزارش‌های UNSCEARدر سال‌های ۲۰۰۰ و ۱۹۹۳، مقادیر متوسط جهانی دوز جذبی ۱۸ تا ۹۳nGy/h است و محدوده تغییرات شاخص نرخ دوز جذب شده در هوای آزاد از مواد زمینی ۵۵nGy/hاست. بر طبق آیین نامه توصیه شده اتحادیه اروپا کلیه مصالح ساختمانی با دوز موثر ۰/۳mSv/yاز کلیه محدودیت‌ها در ارتباط با تشعشعات پرتوزایی طبیعی معاف می‌شوند و مصالح ساختمانی که دوز موثر آنها به بالاتر از ۱mSv/h می‌رسد خارج از استاندارد محسوب شده و شامل محصولاتی می‌شوند که جلوگیری از تشعشعات آنها لازم است[۱].در ایران از سنگ‌های گرانیتی در اماکن مسکونی، اداری و تجاری به وفور استفاده می‌شود. لذا بررسی میزان دوز موثر سالیانه بخصوص در حالتی که مواد با پرتوزایی بالا در مصالح ساختمانی محل زندگی انتخاب می‌شوند قابل توجه می‌باشد[۳-۲]. مقدار دوز موثر سالیانه برای پرتوگیری داخلی (بدون احتساب سهم رادون [٤])۰/٤۱mSv/y می‌باشد. در این مقاله، دوز گاما ناشی از مواد پرتوزا طبیعی موجود در

سنگ گرانیت که به عنوان کف پوش ساختمان‌ها اداری و منازل مسکونی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در یک فانتوم سرمحاسبه شده و اثر موقعیت مکانی فانتوم سر نسبت به کف بر میزان دوز محاسبه شده است تا افزایش دوز سالیانه به واسطه نزدیک بودن سر به کف هنگام خواب بررسی شود.

روش کار:

در این مقاله برای دسترسی به اطلاعات مربوط به میزان غلظت پرتوزایی زمینه طبیعی مواد ساختمانی از داده‌های مرجع[۵] استفاده شده است.در این مرجع غلظت پرتوزایی ویژه رادیونوکلوئید ^{40}K، سری^{238}Uو^{232}Th در نمونه‌هایی از سنگ گرانیت موجود در بازار ایران با استفاده از سیستم اسپکترومتر گاما مجهز به آشکارساز HPGe تعیین گردیده است. از ۲۹ نمونه سنگ گرانیت بررسی شده در آن مقاله یک سنگ که دارای بیشترین مقدار غلظت پرتوزایی رادیونوکلوئیدها بوده در این مقاله انتخاب شده و اثرات آن روی شش ارگان بدن انسان بررسی شده است. سنگ گرانیت استفاده شده گرانیت نهبدان بیرجند نام دارد که غلظت پرتوزایی ویژه آن در جدول ۱ آورده شده است.

جدول۱. غلظت اکتیویته ویژه رادیونوکلوئیدهای سنگ گرانیت نهبندان بیرجند در واحدBq/kg [۵].

عنصر	^{232}Th	^{238}U	^{40}K
غلظت اکتیویته ویژه	۱۷۲/۲	۹٤/۲	۱۵۳۲/۲

برای آنکه بتوانیم اثر نوع بافت را بر روی نتایج بررسی کینم، محاسبات دوزیمتری در یک مکعب $۱۰\times۱۰\times۱۰cm^3$ در یک اتاق استاندارد با ابعاد ۵×٤×۲/۸ مترمکعب انجام شده است. داخل اتاق هوا و کف آن با گرانیت مورد نظر به ضخامت ۳ سانتی‌متر پوشیده شده است. برای شبیه سازی میزان دوز جذبی و دوز موثر ناشی از پرتو گاما ساطع شده از رادیونوکلوئیدهای ذکر شده، از نسخه MCNPx 2.6 استفاده شده و محاسبات به گونه‌ای انجام شده است که خطا از یک درصد کمتر باشد. لازم به ذکر است که در این مقاله فقط پرتوهای گامای ناشی از سنگ گرانیت مد نظر قرار گرفته واز میزان پرتوزایی از سایر اجزای ساختمان چشم پوشی شده است. درصد ترکیب عناصر مختلف در نمونه‌های سنگ گرانیت از نوعی به نوع دیگر متفاوت است، که این تغییرات با رنگ و شکل ظاهری همراه است. در جدول ۲، عناصر سنگ گرانیت نهبندان بیرجند به همراه فراوانی آنها که به عنوان ورودی کد در تعریف سنگ استفاده شده، ذکر شده است. همچنین گامای تابشی با

احتمال واپاشی بالای ۱ درصد از هسته رادیونوکلوئید ^{40}Kو سری ^{238}U، ^{232}Th در ورودی کد تعریف گردید. لیست انرژی گاماهای تابشی در جدول۳ نشان داده شده است.

جدول۲.عناصر موجود در سنگ گرانیت و درصد وزنی آنها (ppm) برای Th و Ra **[۵]**.

عناصر	Fe	O	Na	Ca	K	Al	Si	Th	Ra
درصدفراوانی	2.14	48.11	2.73	1.30	4.89	7.63	33.01	42.41	8.48

جدول۳.انرژی و درصد گاماهای تابشی از هسته رادیونوکلوئید ^{40}K و سری ^{238}Uو ^{232}Th **[۵]**.

درصد (٪)	^{40}K(KeV)	درصد (٪)	^{226}Ra(KeV)	درصد (٪)	^{232}Th (KeV)
۱۰/۷	۱٤٦۱	۳/۹	٤٦	۱/۹	۳۹
		۳/۸	٦۳	٤/۸	٥۷/۷
		٥/٤	۹۲	۳/۸	٦۳/۷
		۱۹/۲	۲۹٥	۱/۲	۸٤/٤
		۳۷/۲	۳٥۲	۱/۲	۹٥/٥
		٤٦/۳	٦۰۹	۲/٤	۱۲۹
		۱٥/۱	۱۱۲۰	٦/۲	۱٥٤
		٥/۹	۱۲۳۸	۳/۹	۲۰۹
		۱٥/۸	۱۷٦٤	۲/۹	۲۳۸
		٥/۰	۲۲۰٤	٤/۱	۲٤۱
				٦/۸	۲۷۷

برای محاسبه دوزموثر سالیانه در فانتوم سر نیز از رابطه $\dot{E}(mSv/y)=D\times T\times F$ استفاده شده که در آن D نرخ دوز جذبی بر حسب $nGy.h^{-1}$، T زمان سپری شده(یک سال) وF ضریب تبدیل بر حسب($Sv.Gy^{-1}$) می‌باشد. برای بررسی اثرات فاصله سر از کف زمین نیز مکعبی که در آن محاسبات دوزیمتری انجام می گیرد، با فواصل ۵ سانتی‌متری از ارتفاع ۱۷۰ تا کف اتاق قرار داده شد تا رفتار دوز جذبی بر حسب فاصله از کف‌پوش بررسی شود. تمامی محاسبات برای نمونه در شش بافت مختلف (استخوان، ریه، بافت نرم، مغز، قلب، کبد و پوست) انجام شده است. عناصر تشکیل دهنده این مواد از فانتوم MIRD و مقاله [٦] اقتباس شده است.

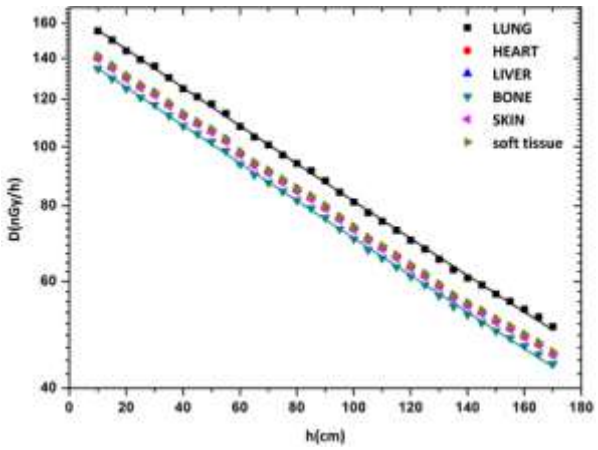
نتایج:

دوز جذبی در ٦ بافت ذکر شده به همراه دوز موثر سالیانه در ارتفاع‌های مختلف محاسبه شدند. شکل (۱) منحنی نیمه لگاریتمی تغییرات دوز جذبی در فانتوم سر بر حسب فاصله از کف اتاق را نشان می‌دهد. چنانکه

دیده می‌شود کاهش نرخ دوز جذبی به واسطه افزایش ارتفاع دارای رفتاری نمایی است. با برازش یک رابطه خطی بر روی نتایج شکل (۱) تغییرات نرخ دوز جذبی بر حسب ارتفاع را می‌توان به صورت رابطه زیر بیان کرد:

$$\log D = -0.31h + c \qquad (۱)$$

در آن D نرخ دوز جذبی بر حسب ($nGy.h^{-1}$)، h ارتفاع بر حسب متر و c ثابتی است که برای ریه ۲/۲۲، استخوان ۲/۱٦ و ٤ ماده دیگر ۲/۱۸ است. با توجه به نتیجه بدست آمده، در صورت قرارگیری اعضا بدن در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از کف اتاق (وضعیتی که در حالت خوابیده برای سر بوجود می‌آید)، نرخ دوز جذبی در مغز یا جمجمه نسبت به ارتفاع ۱۷۰ سانتی‌متری (حالت ایستاده برای یک انسان با قد متوسط) تقریبا ۳ برابر افزایش پیدا خواهد کرد.



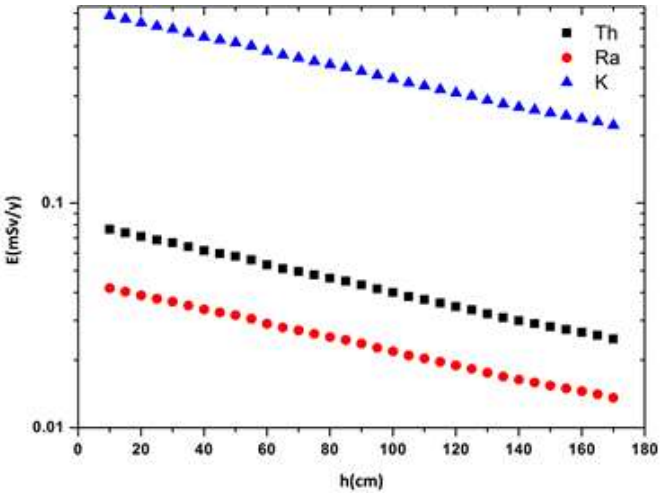
شکل (۱): نرخ دوز جذبی در فانتوم سر بر حسب فاصله مرکز فانتوم از کف اتاق برای ٦ ماده مختلف (ریه، قلب، کبد، استخوان، پوست و بافت نرم)

با استفاده از نرخ دوز جذبی می‌توان تغییرات دوز موثر سالیانه را بر حسب ارتفاع بررسی نمود. در این قسمت برای بررسی چگونگی این تغییرات ناشی از هر کدام از مواد رادیواکتیو داخل سنگ گرانیت، محاسبات در شکل (۲) برای K، Th و Ra به صورت مجزا انجام شده است. با توجه به اینکه نرخ دوز جذبی نسبت به ارتفاع دارای رفتار نمایی است، توقع داریم برای دوز موثر نیز چنین رفتاری دیده شود. این حقیقت در شکل (۲) به وضوح دیده می‌شود که در آن دوز موثر سالیانه برای بافت نرم به عنوان ماده‌ای که تقریبا با بافتهای دیگر یکسان

است، بر حسب ارتفاع رسم شده است. مشابه قبل می‌توان رابطه نمایی به صورت زیر برای دوز موثر سالیانه بر حسب ارتفاع پیشنهاد داد:

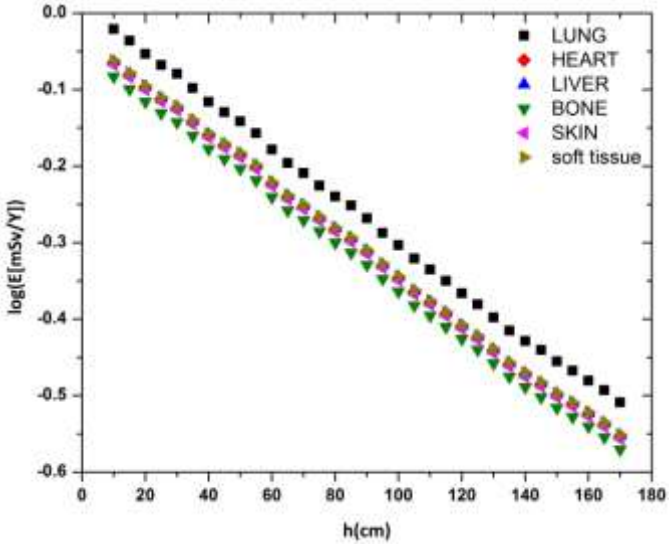
$$\log \dot{E} = -0.31h - c' \qquad (3)$$

که در آن $\dot{E}$ دوز موثر سالیانه بر حسب mSv/y، h ارتفاع بر حسب متر و c' ثابتی است که به ترتیب برای K، Th و Ra برابر با ۰/۱٤، ۱/۰۹ و ۱/۳۵ است. بنابراین مشابه قبل، در صورت قرارگیری فانتوم سر در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از کف اتاق، دوز موثر سالیانه بواسطه هر سه ماده K، Th و Ra، نسبت به ارتفاع ۱۷۰ سانتی‌متری به میزان ۳ برابر افزایش پیدا خواهد کرد.



شکل (۲): دوز موثر سالیانه در بافت نرم بر حسب فاصله مرکز فانتوم از کف اتاق برای سه ماده رادیواکتیو موجود در سنگ گرانیت به صورت مجزا

با توجه به اینکه شیب تغییرات برای هر سه ماده یکی است، برای دوز موثر سالیانه کل نیز می‌توان این نتیجه را تعمیم داد. شکل (۳) تغییرات دوز موثر کل سالانه را بر حسب فاصله برای ٦ ماده مورد بررسی نشان می‌دهد. چنانکه مشاهده می‌شود، با افزایش ارتفاع از ۱۰ سانتی‌متر تا ۱۷۰ سانتی‌متر، دوز موثر سالیانه در تمامی مواد با کاهش نسبی تقریبا ۷۰ درصدی مواجه خواهد شد.



شکل (۳): دوز موثر کل سالیانه در فانتوم سر بر حسب فاصله مرکز فانتوم از کف اتاق

با توجه به شکل (۳)، در نظر گرفتن موقعیت بدن انسان مخصوصا موقعیت سر در هنگام خواب برای بررسی میزان دوز موثر سالیانه ضروری است. به عنوان یک نمونه اگر مشابه محاسبات مقالات دیگر محاسبات دوزیمتری را در وسط اتاق و در ارتفاع ۱۷۰ سانتی‌متری انجام دهیم، دوز سالیانه برابر ۰/۲۸mSv/y خواهد بود در حالی که اگر فرض کنیم انسان در یک اتاق در طول یک روز ۸ ساعت در وضعیت خواب، ۸ ساعت در وضعیت نشسته (در ارتفاع ۱۲۰ سانتی متری) و ۸ ساعت در وضعیت ایستاده (در ارتفاع ۱۷۰ سانتی‌متری) قرار بگیرد، دوز موثر سالیانه با توجه به شکل (۳) برابر خواهد بود با ۰/۵۳ mSv/y که معادل افزایش دو برابری در محاسبات دوزیمتری است.

بحث و نتیجه‌گیری:

نتایج این مقاله نشان داد که در نظر گرفتن موقعیت مکانی بدن انسان در طول شبانه روز، مخصوصا تفاوت بین حالت خوابیده و ایستاده، منجر به افزایش تقریبا سه برابری نرخ دوز جذبی در بافتهای بدن انسان خواهد شد. با توجه به نتایج تغییرات نرخ دوز جذبی یا دوز موثر سالیانه بر حسب فاصله تا کف اتاق دارای یک رفتار نمایی است و شیب تغییرات برای هر سه ماده رادیواکتیو K، Th و Ra به یک اندازه است. با توجه به اینکه استفاده از سنگهای گرانیتی در دیواره‌های یک اطاق و همچنین سهم رادون بر میزان دوز سالیانه می‌افزاید، در نظر گرفتن موقعیت مکانی بدن انسان در طول شبانه روز در محاسبات دوزیمتری مشابه به شدت توصیه

می‌شود. در نظر گرفتن گاز رادون، لحاظ کردن سنگ در دیواره و انجام محاسبات مشابه برای سنگهای نوع دیگر نتایج این مقاله را تکمیل‌تر خواهد کرد.

مراجع:

[۱] احمد جهانگیری، صالح اشرفی،پرتوزایی در نمونه های گرانیتی استفاده شده به عنوان مصالح ساختمانی در ایران، محیط شناسی،سال سی و ششم، شماره ٥٦، صفحه ٥٥-٦٠،زمستان ۱۳۸۹

[۲] فرید اصغری زاده، محمد قنادی مراغه، بهرام سلیمی،الهام صدق گویا، محاسبات آهنگ دوز ناشی از پزتوزایی طبیعی موجود دوز سنگ های گرانیتی ساختمانی در ایران، مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد۲، شماره ۲، صفحه۲۷-۳۰، بهار۱۳۹۳

[3] A. Ababasi,M. Hasanzadeh,Measurement and monte Carlo simulation of gamma-ray dose rate in high-exposure building materials,NUCL SCL TECH,28:20,2017

[4] UNSCEAR,United Nations Scientific Committee on Effects ofAtomic Radiation, "Sources and Effects of IonisingRadiation", UNSCEAR Report, New York, 1993.

[5] A.Abbasi,Calculation of gamma radiation dose rate and Radon concentration due to granites used as building materials in Iran,radiation protection disometry.radiat.Dosimetry,155(3),335-342,2013.

[6] F.S. Rasouli and F. Masoudi, Water or realistic compositions in proton radiotherapy? An analytical study, Int J Radiat Biol. 93(3):351-356, 2017.