

ارزیابی میزان دوز جذبی ناشی از تابش‌های آلفا و گامای دخترهسته‌های گاز رادون در بافت نای

زهرة دانایی^۱، حمیدرضا باغانی^{۲*}، علی اصغر مولوی^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد فیزیک هسته‌ای، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
۲. استادیار گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
۳. استاد گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۲

زمینه و هدف: رادون (^{222}Rn) یک گاز پرتوزای طبیعی است که به راحتی وارد دستگاه تنفسی می‌شود و باعث ایجاد آسیب‌های زیست‌شناختی قابل توجهی می‌گردد. هدف اصلی این مقاله، تعیین دوز ناشی از تابش آلفا و گامای دخترهسته‌های حاصل از زنجیره واپاشی رادون در بافت نای با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو می‌باشد. **مواد و روش‌ها:** ابتدا یک فانتوم استوانه‌ای معادل نای توسط کد مونت کارلوی MCNPX شبیه‌سازی شد. سپس پروفایل‌های دوز ناشی از محصولات آلفا و گامای حاصل از زنجیره واپاشی رادون به صورت جداگانه محاسبه گردید. دخترهسته‌های پرتوزای مورد مطالعه، به صورت معلق در فضای داخل نای در نظر گرفته شدند. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد که میزان دوز رسیده به نای در واپاشی آلفا، به مراتب بیشتر از واپاشی گاما است. بیشینه دوز ناشی از دخترهسته‌های آلفا برابر 1.0×10^{-6} گری بر واپاشی به دست آمد. پولونیم-۲۱۸ (^{218}Po) دارای بالاترین دوز در بین دخترهسته‌های آلفا بود. همچنین بیشینه دوز جذبی ناشی از واپاشی گاما برابر 1.9×10^{-6} گری بر واپاشی به دست آمد که سرب-۲۱۴ (^{214}Pb) و بیسموت-۲۱۴ (^{214}Bi) سهم تقریباً یکسانی در دوز محاسبه شده داشتند.

نتیجه‌گیری: دخترهسته‌های کوتاه‌عمر حاصل از واپاشی گاز رادون، به خصوص محصولات آلفا شامل پولونیم-۲۱۸ و پولونیم-۲۱۴ می‌توانند یک خطر جدی به لحاظ پرتوگیری داخلی تلقی گردند. این دخترهسته‌ها می‌توانند از طریق اتصال به دیواره نای به مدت طولانی در داخل سیستم تنفسی باقی بمانند و باعث پرتوگیری مداوم نای گردند. کاهش تأثیرات زیست‌شناختی ناشی از این چشمه‌های پرتوزای داخلی، مستلزم در نظر گرفتن تمهیدات ویژه‌ای است که تا حد ممکن از ورود گاز رادون و دخترهسته‌های پرتوزای آن به داخل بدن جلوگیری شود.

کلیدواژه‌ها:

رادون، دخترهسته‌های رادون، نای، دوزیمتری، روش مونت کارلو

۱. مقدمه

واپاشیده می‌شود. مهم‌ترین منبع گاز رادون، اورانیوم و رادیوم موجود در خاک و سنگ است (۱). آزاد شدن گاز رادون از سطح زمین و سنگ‌ها و تجمع این گاز پرتوزا در مکان‌های بسته مانند منازل مسکونی و ساختمان‌های اداری، آسیب‌های زیست‌شناختی قابل توجهی را در پی خواهد داشت. تنفس گاز رادون موجود در هوای ساختمان می‌تواند منجر به ناهنجاری‌هایی از قبیل

گاز رادون (^{222}Rn) یکی از ایزوتوپ‌های پرتوزای طبیعی است که در سری پرتوزای اورانیوم (^{238}U) و به دنبال واپاشی آلفای رادیم (^{226}Ra) تولید می‌شود. این گاز پرتوزا، نیمه‌عمر $3/8$ روز دارد و از طریق گسیل ذرات آلفا با انرژی $5/59 \text{ MeV}$

* نویسنده مسئول: حمیدرضا باغانی

نشانی: ایران، سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده علوم، گروه فیزیک

تلفن: ۰۵۱-۴۴۰۱۳۲۱۶

رایانامه: hamidreza.baghani@gmail.com

شناسه ORCID: 0000-0003-0392-9192

مجله علمی - پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، دوره ۲۷، شماره ۵، آذر و دی ۱۳۹۹، ص ۶۱۲-۶۰۳

آدرس سایت: <http://jsums.medsab.ac.ir> رایانامه: journal@medsab.ac.ir

شاپای چاپی: ۱۶۰۶-۷۴۸۷

بر سال) به‌دست‌آمد (۷). در سال ۱۳۹۳، یوسفی و همکاران با استفاده از آشکارساز ردپای هسته‌ای CR-39 به ارزیابی میزان غلظت گاز رادون موجود در منازل مسکونی شهرستان گرگان پرداختند (۸). نتایج حاصل از این پژوهش که در ۲۱۸ منزل مسکونی در این شهرستان انجام گرفته بود، نشان داد که میزان تراکم گاز رادون در طبقات پایین‌تر ساختمان بیشتر است؛ به‌طوری که بیشترین میزان تجمع گاز رادون در طبقه همکف ساختمان‌های مورد مطالعه مشاهده شد. میانگین تراکم اندازه‌گیری شده در طبقه همکف برابر ۴۵/۴ بکرل بر مترمکعب به‌دست‌آمد که معادل دوز مؤثر سالیانه‌ای برابر ۱/۱ میلی‌سیورت در سال می‌باشد. در سال ۱۳۹۶ خویسنداری و همکاران به اندازه‌گیری میزان تراکم گاز رادون در تعدادی از مدارس مقطع ابتدایی شهرستان یزد پرداختند (۹). در این پژوهش، میزان غلظت گاز رادون در ۲۳ مدرسه ابتدایی دخترانه توسط دستگاه رادون‌سنج RAD7 اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست‌آمده، حاکی از وجود گاز رادون با تراکم میانگین ۴۷/۹ بکرل بر مترمکعب در فضای داخل مدارس مورد مطالعه بود که کمتر از حدتراکم توصیه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (۱۴۸ بکرل بر مترمکعب)،^۳ ICRP^۳ (۳۰۰ بکرل بر مترمکعب) و سازمان جهانی بهداشت^۴ (۱۰۰ بکرل بر مترمکعب) می‌باشد (۹).

مهم‌ترین راه برای ورود گاز رادون و دخترهسته‌های پرتوزای آن به داخل بدن، استنشاق این گاز پرتوزا می‌باشد. رادون می‌تواند به راحتی وارد سیستم تنفسی شده و از طریق واپاشی و تولید دخترهسته‌های پرتوزا، باعث ایجاد آسیب در نای گردد (۱۰، ۱۱). به‌علاوه، دخترهسته‌های آلفا و گاما از این گاز پرتوزا می‌توانند مخاطرات به مراتب جدی‌تری را به دنبال داشته باشند؛ زیرا این محصولات جامد می‌توانند از طریق فرونشست در سیستم تنفسی و عدم خروج از بدن از طریق بازدم، دیواره نای را برای مدت‌زمان قابل‌توجهی مورد پرتودهی قرار دهند. بنابراین ارزیابی میزان دوز ناشی از استنشاق دخترهسته‌های گاز رادون در سیستم تنفسی، امری ضروری به شمار می‌رود. به دلیل وجود محدودیت‌های عملی، اندازه‌گیری و ارزیابی تجربی میزان دوز جذبی ناشی از پرتوگیری داخلی از دخترهسته‌های گاز رادون در داخل بافت نای با استفاده از دوزیمتری تجربی، تقریباً غیرممکن است. بنابراین در چنین مواردی می‌توان با کمک شبیه‌سازی مونت کارلو که ابزاری مهم و قابل اعتماد برای ارزیابی میزان ذخیره انرژی تابش‌های یونیزان در داخل بافت تلقی می‌گردد، به

فیروز، آمفیزم و سرطان ریه گردد. به‌علاوه، مصرف آب حاوی گاز رادون نیز می‌تواند منتهی به ایجاد ناهنجاری‌هایی مانند سرطان معده شود (۲). مطابق گزارش سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا^۱ (US-EPA)، در هر سال حدود ۲۱۰۰۰ نفر در آمریکا به دلیل سرطان ریه در اثر استنشاق گاز رادون موجود در هوا جان خود را از دست می‌دهند (۳). با توجه به اهمیت زیاد پرتوگیری از این گاز پرتوزا، در بسیاری از مقالات نیز به بررسی میزان رادون موجود در مناطق مختلف و تأثیرات زیست‌شناختی آن‌ها پرداخته شده است. در سال ۲۰۱۰، Rafique و همکاران نیز به بررسی غلظت گاز رادون در مناطق مسکونی منطقه کشمیر در پاکستان پرداختند (۴). در این مطالعه که در ۸۰ منزل مسکونی صورت پذیرفت، از آشکارساز ردپای هسته‌ای CR-39 برای تعیین میزان تراکم رادون در این منازل استفاده گردید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در غالب موارد مورد بررسی، بیشینه تراکم گاز رادون، کمتر از حد مجاز توصیه‌شده توسط سازمان حفاظت سلامت بریتانیا^۲ (۲۰۰ بکرل بر مترمکعب) و سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (۱۴۸ بکرل بر مترمکعب) می‌باشد. بیشینه دوز مؤثر سالیانه ناشی از بیشینه تراکم اندازه‌گیری شده نیز در محدوده ۲/۳۵ تا ۴ میلی‌سیورت بر سال قرار گرفت. در سال ۲۰۱۵، Mostafa و همکاران به اندازه‌گیری میزان دوز ناشی از دخترهسته‌های گاز رادون در سیستم تنفسی انسان در فصل‌های مختلف سال پرداختند (۵). این پایش که در نواحی اطراف دانشگاه Nagoya در ژاپن انجام شد، نشان داد که میزان دوز ناشی از دخترهسته‌های رادون در سیستم تنفسی در فصل زمستان به بیشترین مقدار خود که برابر ۰/۲۲ میلی‌سیورت در سال است، خواهد رسید. در عوض، میزان دوز رسیده به سیستم تنفسی در فصل بهار، به کمینه مقدار خود (۰/۰۲ میلی‌سیورت بر سال) خواهد رسید. Ramsiya و همکاران (۲۰۱۷) به اندازه‌گیری میزان تراکم گازهای رادون و تورون و همچنین دخترهسته‌های کوتاه‌عمر آنها در منازل مسکونی مستقر در مرکزی کراچی هندوستان با استفاده از آشکارساز ردپای هسته‌ای LR-115 پرداختند (۶). نتایج حاصل از این اندازه‌گیری نشان داد که غلظت متوسط گاز رادون و تورون در منازل مسکونی این نواحی، به‌ترتیب برابر ۲۵/۵۲ و ۱۴/۵۸ بکرل بر مترمکعب است که کمی بالاتر از تراکم متوسط این گازهای پرتوزا در سایر نواحی هندوستان می‌باشد. اما میزان دوز مؤثر سالیانه ناشی از استنشاق مقدار تراکم ذکر شده از این گازها کمتر از حد مجاز توصیه‌شده (۳ تا ۱۰ میلی‌سیورت

3. International Commission on Radiological Protection
4. WHO (World Health Organization)

1. United States Environmental Protection Agency
2. UK Health Protection Agency

چشمه‌های پرتوزای مورد بررسی را تأمین کند. چگالی بافت دیواره نای و هوای داخل آن نیز در شبیه‌سازی‌های انجام شده به ترتیب برابر ۱/۰۴ (معادل بافت نرم با ترکیب وزنی حدود ۱۰/۴ درصد هیدروژن، ۲۲/۶ درصد کربن، ۲/۵ درصد نیتروژن، ۶۳/۵ درصد اکسیژن، و مجموع ۱ درصد از سایر عناصر شامل سدیم، آلومینیوم، سیلیکان، فسفر و غیره) و ۰/۰۱۲۰۵ (معادل هوا با ترکیب وزنی ۷۵/۵ درصد نیتروژن، ۲۳/۲ درصد اکسیژن، ۱/۲ درصد آرگون و باقی شامل کربن) گرم بر سانتی‌مترمکعب در نظر گرفته شد (۱۵).

در واپاشی گاز رادون و دخترهسته‌هایش علاوه بر ذرات آلفا، پرتوهای بتا و تابش گاما نیز تولید می‌شود (۱۶). در این تحقیق، تنها چشمه‌های آلفا و گاما از حاصل از زنجیره واپاشی گاز رادون مورد مطالعه قرار گرفتند.

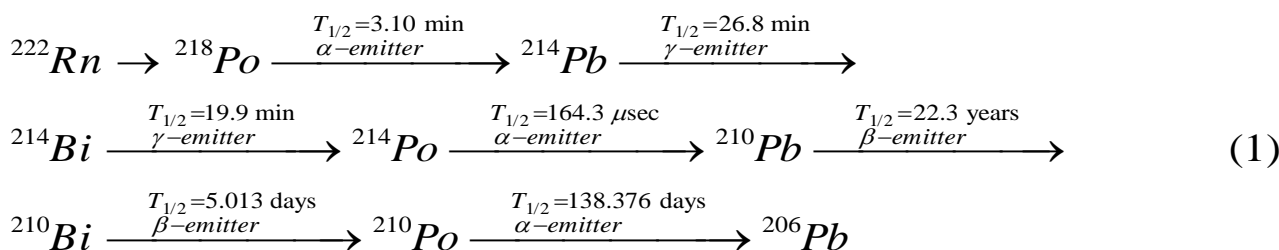
برای ارزیابی میزان دوز رسیده به نای، از چشمه‌های آلفا و گاما از حاصل از زنجیره واپاشی ذکر شده در معادله ۱ استفاده گردید؛ زیرا بیشترین میزان پرتوگیری طبیعی از این مسیر واپاشی گاز رادون حاصل می‌شود (۱۷). مشخصات فیزیکی این چشمه‌های آلفا و گاما به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ گزارش شده است.

ارزیابی میزان دوز جذبی ناشی از دخترهسته‌های گاز رادون و مخاطرات زیست‌شناختی ایجاد شده پرداخت.

نظر به اهمیت بالای این موضوع و توجه کمتر به رویکرد دوزیمتری مستقیم در اغلب مطالعات انجام شده در این زمینه، در کار حاضر به ارزیابی میزان دوز رسیده به نای در اثر پرتوگیری از دخترهسته‌های حاصل از واپاشی گاز رادون با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو پرداخته شده است.

۲. مواد و روش‌ها

در ابتدا یک فانتوم استوانه‌ای معادل نای توسط ویژگی‌های هندسی کد مونت کارلوی MCNPX (۱۲) شبیه‌سازی و سپس میزان دوز ناشی از دخترهسته‌های گاز رادون از طریق ترابرد ذرات گسیل شده از این چشمه داخلی در فضای داخل نای به دست آمد. هندسه بافت نای در شبیه‌سازی به صورت یک پوسته استوانه‌ای به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که شعاع داخلی و خارجی آن به ترتیب برابر ۰/۹۷۵ و ۱/۲۵ سانتی‌متر بود (۱۳، ۱۴). به علاوه، یک بافت نرم به ضخامت ۱/۶۵ سانتی‌متر در فضای اطراف نای در نظر گرفته شد تا شرایط پس‌پراکندگی برای تابش‌های گسیل شده از



جدول ۱. مشخصات انرژی ذرات آلفای مربوط به دخترهسته‌های رادون و وزن‌های متناظر به ازای یک واپاشی رادون

هسته پرتوزا	انرژی (MeV)	وزن در زنجیره (w)
${}^{218}\text{Po}$	۶/۱۱۵	۰/۸۱۴
${}^{214}\text{Po}$	۷/۸۳۳	۰/۰۵۱
${}^{210}\text{Po}$	۵/۴۰۷	$۲/۱ \times 10^{-7}$

جدول ۲. مشخصات انرژی پرتوهای گامای گسیل شده توسط دخترهسته‌های گاز رادون و وزن‌های متناظر به ازای یک واپاشی رادون

هسته پرتوزا	انرژی (MeV)	وزن در زنجیره (w)
${}^{214}\text{Pb}$	۰/۳۵۲	۰/۰۸۴
${}^{214}\text{Bi}$	۰/۶۰۹	۰/۰۵۱

ذکر شده در جدول‌های ۱ و ۲ از طریق معادلات زیر به دست آمد:

با توجه به تولید سری این چشمه‌های پرتوزا در زنجیره واپاشی رادون، وزن متناظر با تولید هر یک از چشمه‌های

$$a_1 = \frac{1}{T_{1/2-218Po}}, a_2 = \frac{1}{T_{1/2-218Po} + T_{1/2-214Pb}}, a_3 = \frac{1}{T_{1/2-218Po} + T_{1/2-214Pb} + T_{1/2-214Bi}} \quad (2)$$

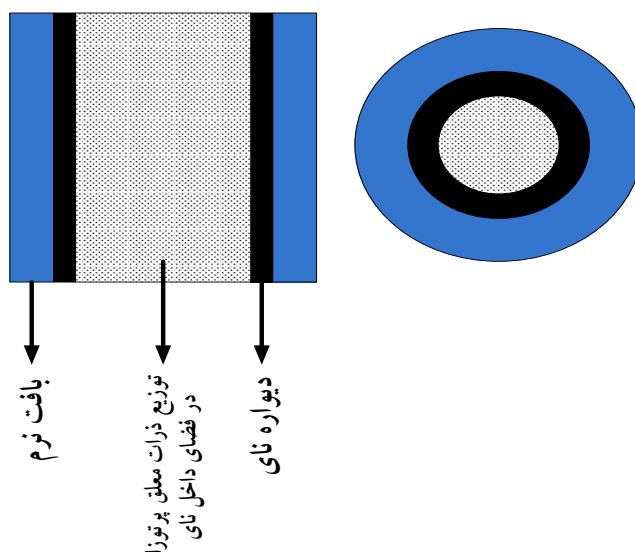
$$a_4 = \frac{1}{T_{1/2-218Po} + T_{1/2-214Pb} + T_{1/2-214Bi} + T_{1/2-214Po}} \quad (3)$$

$$w_{218Po} = \frac{a_1}{\sum_{i=1}^4 a_i}, w_{214Pb} = \frac{a_2}{\sum_{i=1}^4 a_i}, w_{214Bi} = \frac{a_3}{\sum_{i=1}^4 a_i}, w_{214Po} = \frac{a_4}{\sum_{i=1}^4 a_i} \quad (4)$$

عمودمنصف طولی نای عبور کردند، محاسبه گردید. برای محاسبه دوز در موارد بیان شده، از تالی استاندارد *F8 استفاده شد. با توجه به این که دخترهسته‌های حاصل از واپاشی گاز رادون به صورت ذرات معلق جامد هستند، چشمه‌های پرتوزای حاصل از زنجیره واپاشی گاز رادون به صورت معلق در فضای داخل نای (استولنه داخلی) مدنظر قرار گرفتند (۱۸). توزیع مکانی این دخترهسته‌های پرتوزا در فضای داخل نای به صورت یکنواخت در نظر گرفته شد. نمای طولی و مقطعی از هندسه نای شبیه‌سازی شده به همراه توزیع ذرات معلق پرتوزا در داخل آن در شکل ۱ آورده شده است.

به دلیل نیمه عمر بسیار بالای ^{210}Po در مقایسه با دیگر محصولات آلفا (۱۳۸/۴ روز) و فاکتور وزنی بسیار پایین در زنجیره واپاشی گاز رادون، از سهم مربوط به این رادیوایزوتوپ در زنجیره صرف نظر گردید و تنها دو رادیوایزوتوپ ^{218}Po و ^{214}Po به عنوان دخترهسته‌های آلفا مورد مطالعه قرار گرفتند.

در هر حالت، میزان دوز ناشی از تابش آلفا و گاما به صورت مجزا و با در نظر گرفتن ضرایب وزنی به دست آمده برای هر دخترهسته محاسبه گردید. برای ارزیابی میزان دوز جذبی در نای، پروفایل‌های دوز عرضی در داخل نای که از مرکز

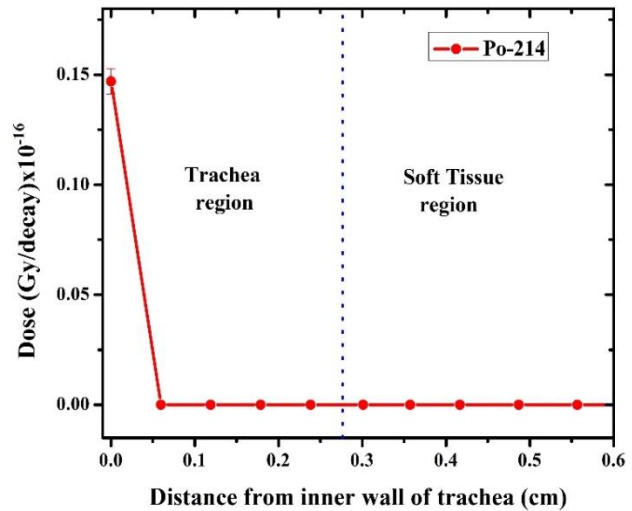
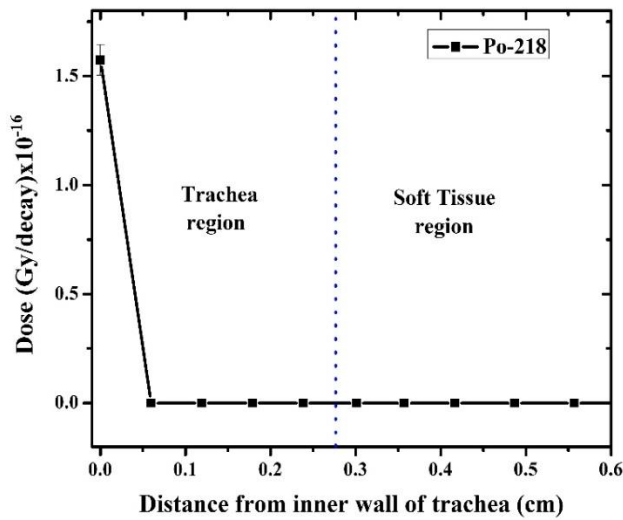


شکل ۱. نمای طولی و مقطعی از هندسه فانتوم نای شبیه‌سازی شده و توزیع یکنواخت ذرات معلق پرتوزا در فضای داخل نای

۳. یافته‌های پژوهش

پروفایل‌های دوز مربوط به دخترهسته‌های آلفای ^{218}Po و ^{214}Po ، در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، دخترهسته ^{218}Po باعث ایجاد بیشترین دوز جذبی در نای با مقدار متناظر $10^{-16} \times 1/57$ گری به ازای هر واپاشی می‌شود.

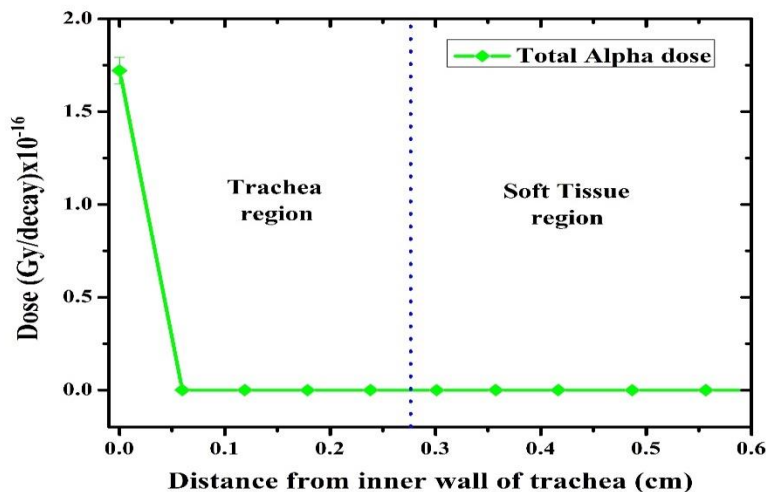
شایان ذکر است که خطای آماری وابسته به نتایج شبیه‌سازی در تمام محاسبات انجام شده کمتر از ۳ درصد بود که این امر به واسطه تعداد ترابرد زیاد ذرات آلفا و گامای در نظر گرفته شده (پانصد میلیون ذره) به دست آمد.



شکل ۲. پروفایل دوز مربوط به دخترهسته‌های آلفازای زنجیره واپاشی رادون به ازای هر واپاشی گاز رادون

ملاحظه می‌شود، با افزایش فاصله از دیواره داخلی نای، میزان دوز ناشی از ذرات آلفا یک‌باره به سمت صفر میل می‌کند که این واقعیت به دلیل برد بسیار محدود ذرات آلفای مورد مطالعه در داخل بافت نرم است که به مقادیر کمتر از ۱۰۰ میکرومتر در داخل بافت نرم (آب) برای ذرات آلفا با انرژی کمتر از MeV ۸ کاهش می‌یابد (۱۹).

پروفایل دوز ناشی از مشارکت تمام دخترهسته‌های آلفازای مربوط به یک زنجیره واپاشی گاز رادون در شکل ۳ آورده شده است. همان‌طور که از این شکل پیداست، دوز کل جذب شده توسط نای به دلیل پرتوگیری از دخترهسته‌های آلفازای ^{218}Po و ^{214}Po گاز رادون در یک واپاشی گاز رادون برابر $1/72 \times 10^{-16}$ می‌باشد. به‌علاوه، همان‌طور که

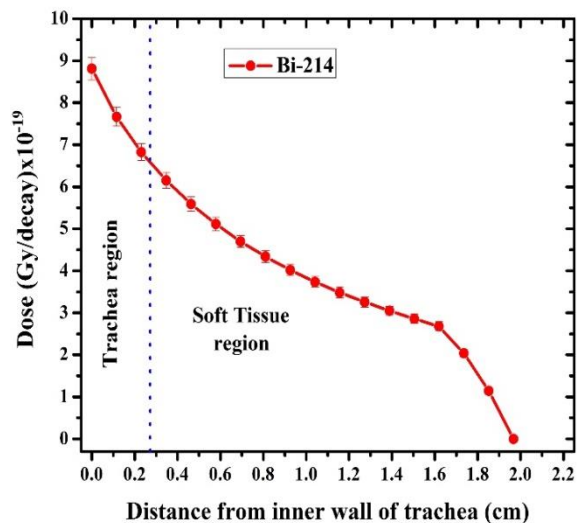
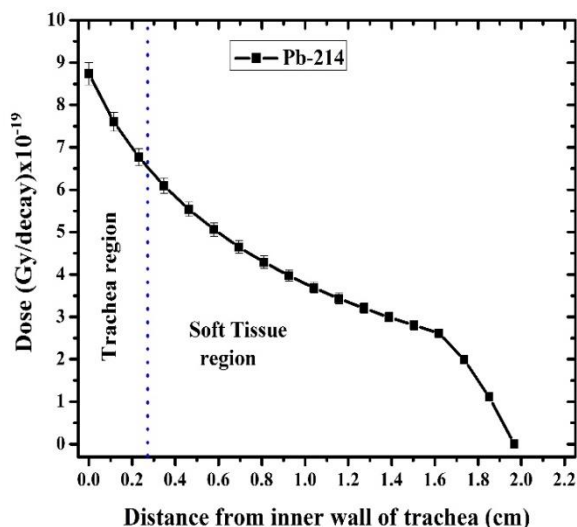


شکل ۳. پروفایل دوز مربوط به مشارکت تمام دخترهسته‌های آلفازای زنجیره واپاشی رادون به ازای هر واپاشی

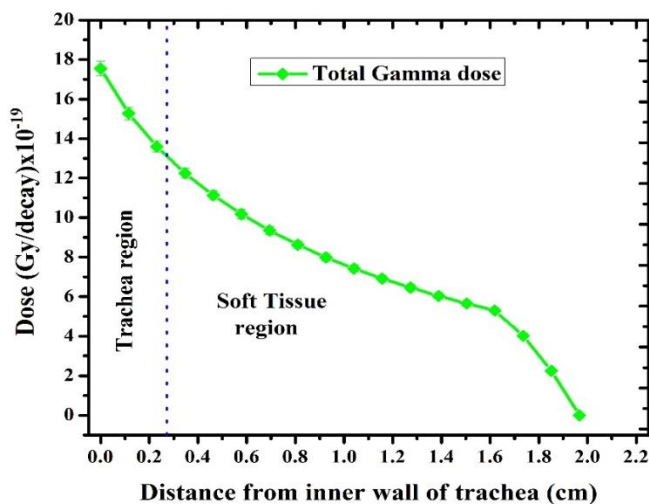
به‌ترتیب برابر $8/74 \times 10^{-19}$ و $8/81 \times 10^{-19}$ می‌باشد. واپاشی گاز رادون به‌دست‌آمد.

پروفایل دوز مربوط به مشارکت تمام دخترهسته‌های گامازای زنجیره واپاشی گاز رادون در شکل ۵ نمایش داده شده است.

پروفایل‌های دوز مربوط به چشمه‌های گامازای زنجیره واپاشی گاز رادون شامل ^{214}Pb و ^{214}Bi در شکل ۴ آورده شده است. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است ^{214}Pb و ^{214}Bi سهم تقریباً یکسانی در میزان دوز رسیده به نای دارند. بیشینه دوز مربوط به پرتوهای گامای ^{214}Pb و ^{214}Bi در نای،



شکل ۴. پروفایل دوز مربوط به دخترهسته‌های گاما‌زای زنجیره واپاشی رادون به ازای هر واپاشی



شکل ۵. پروفایل دوز مربوط به مشارکت تمام دخترهسته‌های گاما‌زای زنجیره واپاشی رادون به ازای هر واپاشی

میزان دوز رسیده به نای در اثر استنشاق گاز رادون و پرتوگیری از دخترهسته‌های پرتوزای حاصل از آن پرداخته شد.

پروفایل‌های دوز مربوط به تابش آلفا و گامای حاصل از محصولات واپاشی گاز رادون در شکل‌های ۲ تا ۵ نشان داده شده است.

همان‌طور که از شکل‌های ۲ و ۳ پیداست، با افزایش فاصله از دیواره داخلی نای، میزان دوز جذب شده توسط نای، به سرعت، کاهش می‌یابد. به علاوه به دلیل برد بسیار کوتاه ذرات آلفا در داخل بافت، میزان دوز ناشی از ذرات آلفا در بافت نرم اطراف نای به صفر می‌رسد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که

همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، بیشینه دوز جذب شده توسط نای به دلیل پرتوگیری از دخترهسته‌های گاما‌زای گاز رادون در یک واپاشی برابر $17/55 \times 10^{-19}$ گری می‌باشد. به‌علاوه نتایج به‌دست‌آمده نیز مؤید این واقعیت است که میزان دوز حاصل از تابش گاما نیز با افزایش فاصله از دیواره داخلی نای، کاهش می‌یابد که با توجه به افت شدت این نوع تابش با افزایش میزان نفوذ در داخل بافت امری منطقی می‌باشد.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو به ارزیابی

^{218}Po بیش‌ترین مشارکت را در پروفایل‌های دوز مربوط به ذرات آلفا دارد. بنابراین خطرناک‌ترین دخترهسته آلفازا در زنجیره واپاشی گاز رادون، ^{218}Po می‌باشد. علت این امر، تقدم این رادیویزوتوپ در زنجیره واپاشی گاز رادون و بالاتر بودن احتمال واپاشی این دخترهسته در مقایسه با دیگر دخترهسته‌های گاز رادون در یک زنجیره واپاشی می‌باشد.

هر چند که با افزایش فاصله از دیواره داخلی نای، میزان دوز ناشی از پرتوهای گاما نیز کاهش می‌یابد اما پروفایل‌های دوز مربوط به محصولات گامازای زنجیره واپاشی گاز رادون به‌طور قلیل توجهی متفاوت از پروفایل‌های دوز مربوط به ذرات آلفا بود. از مقایسه شکل ۳ و شکل ۵ می‌توان به این نتیجه رسید که شیب افت دوز ناشی از تابش گاما در داخل بافت نای به مراتب کمتر از شیب افت دوز مربوط به ذرات آلفا است. این واقعیت به این دلیل است که تابش گاما فاقد بار است و برخلاف ذرات آلفا به‌طور پیوسته انرژی خود را از دست نمی‌دهد؛ بنابراین برد آن در داخل بافت، افزایش می‌یابد و قادر به ذخیره انرژی تا عمق‌های بیشتری در داخل دیواره نای می‌باشد. به علاوه، همان‌طور که از نتایج به‌دست آمده پیداست، تابش گاما به دلیل برد بیشتر می‌تواند منجر به پرتوگیری بافت‌های سالم اطراف نای نیز گردد؛ در حالی که این وضعیت برای ذرات آلفا، به دلیل برد محدود در داخل بافت، مشاهده نمی‌شود. با توجه به شکل ۴ می‌توان به این نتیجه رسید که سهم رادیویزوتوپ‌های گامازای ^{214}Pb و ^{214}Bi در میزان دوز جذب شده توسط نای، تقریباً یکسان است. دلیل این واقعیت را می‌توان به انرژی بالاتر ^{214}Bi و تقدم ^{214}Pb در زنجیره واپاشی گاز رادون نسبت داد. هر چند که انرژی تابش گامای ناشی از واپاشی ^{214}Bi بیشتر از ^{214}Pb است اما به دلیل تقدم ^{214}Pb بر ^{214}Bi در زنجیره واپاشی، وزن تابش گامای ناشی از ^{214}Pb در میزان دوز نای، بیشتر خواهد بود. انرژی بالاتر تابش گامای ^{214}Bi و وزن بالاتر تابش گامای ^{214}Pb در زنجیره واپاشی، باعث ایجاد یک موازنه میان سهم این دو رادیویزوتوپ در میزان دوز رسیده به نای در اثر پرتوهای گاما خواهد شد.

به‌علاوه، میزان دوز رسیده به نای در واپاشی آلفازا و گامازا، کاملاً متفاوت بود؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان دوز رسیده به نای در واپاشی آلفا برابر $10^{-16} \times 1/72$ گری بر واپاشی و در واپاشی گاما معادل $10^{-16} \times 17/55$ گری بر واپاشی به‌دست آمد. این واقعیت را می‌توان به برد کوتاه و انرژی بالای ذرات آلفا در مقایسه با تابش گاما نسبت داد.

در این پژوهش، میزان دوز ناشی از دخترهسته‌های گاز

رادون در نای، ارزیابی شد و پروفایل‌های دوز در دیواره نای به‌واسطه تابش‌گیری از این ذرات معلق در سیستم تنفسی به ازای یک واپاشی گاز رادون به‌دست آمد. بنابراین با دسترسی به میزان تجمع گاز رادون در سیستم تنفسی (بر حسب بکرل) در نواحی جغرافیایی مختلف، می‌توان میزان دوز دریافتی توسط نای را با استفاده از نتایج گزارش‌شده در این مطالعه به‌دست آورد. متوسط غلظت گاز رادون در سطح زمین برابر ۵ تا ۱۰ بکرل بر مترمکعب است، اما با این وجود نواحی وجود دارند که به دلیل وجود سنگ‌های اورانیومی در داخل خاک دارای غلظت‌های بسیار بالاتری از گاز رادون در سطح زمین می‌باشند (۲۰). بنابراین می‌توان انتظار داشت که میزان دوز رسیده به نای و سیستم تنفسی در نواحی جغرافیایی مختلف، مقادیر متفاوتی داشته باشد که درستی این ادعا در پژوهش‌های مختلف نیز به اثبات رسیده است (۲۵-۲۱، ۹-۴). یکی از عوامل مهمی که می‌تواند در میزان دوز دریافتی توسط سیستم تنفسی مؤثر باشد، میزان ورود و خروج گاز رادون از سیستم تنفسی در هر چرخه تنفس است (۲۰). بنابراین تفاوت در تعداد سیکل‌های تنفسی بر دقیقه در افراد مختلف، می‌تواند میزان دوز دریافتی از گاز رادون و دخترهسته‌های آن در سیستم تنفسی این افراد را تغییر دهد. برای مثال Yu و همکاران در سال ۲۰۰۶ با استفاده از مدل‌سازی سیستم تنفسی مطابق توصیه‌های ICRP-66، به ارزیابی آسیب‌های ناشی از گاز رادون در سیستم تنفسی پرداختند (۲۶). محاسبات دوزیمتری حاصل از این کار نشان داد که علی‌رغم گزارش منتشر شده در این خصوص که خطر پرتوگیری از گاز رادون و دخترهسته‌های آن به ازای هر تراز کار ماهیانه (1WLM) را برابر ۵ میلی‌سیورت در نظر می‌گیرند، مقدار آسیب زیست‌شناختی ایجادشده در سیستم تنفسی برابر ۱۵ میلی‌سیورت به ازای هر 1WLM می‌باشد که حدود ۳ برابر بزرگ‌تر از دیگر نتایج اپیدمیولوژیک انجام‌شده در این زمینه است. به‌علاوه کیفیت زندگی افراد نیز در میزان تأثیرات زیست‌شناختی ناشی از پرتوگیری توسط گاز رادون و دخترهسته‌های آن تأثیرگذار خواهد بود. مطابق گزارش ICRP-50 (۲۷)، کشیدن سیگار توسط شخص می‌تواند خطر ابتلا به سرطان ریه در اثر استنشاق گاز رادون را به‌طور قابل توجهی افزایش دهد.

از دیگر عوامل مؤثر بر میزان دوز دریافتی از گاز رادون و دخترهسته‌های پرتوزای آن توسط ساکنان یک منطقه، نوع مصالح و مواد ساختمانی مورد استفاده در ساخت منازل مسکونی در آن منطقه می‌باشد. در سال ۲۰۱۸ Al-Azmi و

دخترهسته‌های پرتوزای آن به داخل بدن می‌باشد. همچنین نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که شبیه‌سازی مونت کارلو و کد مونت کارلوی MCNPX می‌تولند ابزار مفیدی برای ارزیابی مخاطرات بالینی و اثرات زیست‌شناختی ناشی از استنشاق گاز رادون در داخل سیستم تنفسی شود؛ جایی که استفاده از ابزارهای علمی و دوزیمتری مستقیم تابش در داخل بافت با محدودیت مواجه است.

مهم‌ترین محدودیت این تحقیق، عدم دسترسی به یک فانتوم دیجیتال معادل سیستم تنفسی با ابعاد واقعی بود تا بتوان تأثیر میزان خروج دخترهسته‌های گاز رادون در هر سیکل تنفسی را نیز در محاسبات دوز مربوط به ذرات معلق پرتوزا در داخل سیستم تنفسی در نظر گرفت. همچنین، با در اختیار داشتن این فانتوم، قابلیت بررسی دقیق میزان دوز رسیده به اندام‌های سالم مجاور نای؛ از قبیل پوست، بافت نرم و مری که عمدتاً تحت تأثیر دخترهسته‌های گاماگسیل گاز رادون قرار می‌گیرند، امکان‌پذیر خواهد بود.

همکاران به ارزیابی میزان رادون گسیل‌شده از مصالح ساختمانی مختلف شامل گچ، سنگ مرمر، سرامیک و گرانیت پرداختند (۲۸). اندازه‌گیری‌های گاز رادون متصاعدشده از مواد مورد بررسی که از طریق یک اتاقک یونش با قابلیت آشکارسازی ذرات آلفای گسیل‌شده از گاز رادون انجام پذیرفت، نشان داد که نرخ گسیل گاز رادون از مصالح ساختمانی مورد بررسی به ترتیب برابر ۱/۶۳، ۲/۲۹، ۳/۹۹ و ۵/۳۹ بکرل بر مترمربع - ساعت می‌باشد. بنابراین نوع مصالح ساختمانی مورد استفاده نیز می‌تولند در میزان پرتوگیری شخص از گاز رادون، مؤثر باشد و مقدار دوز دریافتی توسط افراد مختلف در یک منطقه مورد بررسی را تغییر دهد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که دخترهسته‌های حاصل از واپاشی گاز رادون می‌توانند یک خطر جدی به لحاظ پرتوگیری داخلی تلقی گردند. این دخترهسته‌های پرتوزا می‌توانند به مراتب خطرناک‌تر از هسته مادر رادون باشند؛ زیرا نیمه عمر نسبتاً بالای این رادیوایزوتوپ شانس خروج آن از دستگاه تنفسی در طی بازدم را امکان‌پذیر می‌سازد اما دخترهسته‌های پرتوزای گاز رادون ذرات معلق جامدی هستند که می‌توانند به دیواره نای چسبیده و به علت عدم خروج از سیستم تنفسی، تا مدت زیادی بافت نای را مورد پرتودهی قرار دهند. کاهش تأثیرات زیست‌شناختی ناشی از این چشمه‌های پرتوزای داخلی، مستلزم در نظر گرفتن تمهیدات ویژه‌ای برای جلوگیری از ورود گاز رادون و

References

- [1]. Wiedner H, Lotter K, Karner P, Friedmann H, Maringer FJ. Radon in drinking water: Comparison and evaluation of two ionisation chamber activity measurement methods. *Appl Radiat Isot*. 2018; 134: 477-481.
- [2]. Asadi Mohammad Abadi A, Rahimi M, Jabbari koopaei L. The Estimation of Radon Gas Annual Absorbed Dose in Rafsanjan and Anar Residents Based on Measurement of Radon Concentration Dissolved in Water. *Iran South Med J* 2015; 18: 960-969. (Persian)
- [3]. US EPA, Citizen's Guide to Radon. (Accessed 10 September, 2018, at https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-02/documents/2012_a_citizens_guide_to_radon.pdf)
- [4]. Rafique M, Rahman S, Rahman SU. Indoor radon concentration measurement in the dwellings of district Poonch (Azad Kashmir), Pakistan. *Radiat Prot Dosimetry* 2010; 138: 158-65.
- [5]. Mostafa AMA, Yamazawa H, Uosif AMA, Moriizumi J. Seasonal behavior of radon decay products in indoor air and resulting radiation dose to human respiratory tract. *J Radiat Res Appl Sci* 2015; 8: 142-147.
- [6]. Ramsiya M, Joseph A, Jojo PJ. Estimation of indoor radon and thoron in dwellings of Palakkad, Kerala, India using solid state nuclear track detectors. *J Radiat Res Appl Sci* 2017; 10: 269-272.
- [7]. ICRP 65. Protection against Radon-222 at home and at work. *Ann ICRP* 1993; 23: 1-48.
- [8]. Yousefi Z, Naddafi K, Mohamadpur Tahamtan RA, Zazouli MA, Koushki Z. indoor radon concentration in Gorgan 212 dwellings using CR-39 detector. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2014; 24: 2-10. (Persian).
- [9]. Khishdari A, Eslami-Kalantari M, Bouzarjomehri F, Asgari A. Determination of Radon-222 concentration in girl's elementary schools of Yazd city. *IJRSM* 2018; 6: 39-46. (Persian).
- [10]. Zhu H, Li J, Qiu R, Pan Y, Wu Z, Li C, et al. Establishment of detailed respiratory tract model and Monte Carlo simulation of radon progeny caused dose. *J Radiol Prot* 2018; 38: 990-1012.
- [11]. Azrin Sabuti A, Abd Rahim Mohamed C. Correlation between total suspended particles and natural radionuclide in Malaysia maritime air during haze

- event in June-July 2009. *Journal Clean WAS* 2018; 2: 1-5.
- [12]. Pelowitz DB. MCNPX User's Manual, Vresion 2.6.0. Los Alamos, Los Alamos National Laboratory; 2008.
- [13]. Breatnach E, Abbott CG, Fraser R. Dimensions of the human trachea. *AJR Am J Roentgenol.* 1984; 142: 903-906.
- [14]. Sharma N, Khan GA, Pandit P. Cadaveric study of length of trachea in nepalese population of various age groups. *J Univers Coll Med Sci* 2017; 5: 17-21.
- [15]. Midorikawa T, Ohta M, Torii S, Sakamoto S. Lean soft tissue mass measured using dual-energy x-ray absorptiometry is an effective index for assessing change in leg skeletal muscle mass following exercise training. *J Clin Densitom* 2018; 21: 394-398.
- [16]. Kim H, Jung Y, Ji YY, Lim JM, Chung KH, Kang MJ. Validation of procedure for the analysis of ^{226}Ra in naturally occurring radioactive materials using a liquid scintillation counter. *J Environ Radioact* 2017; 166: 188-194.
- [17]. Anjos RM, Umisedo N, da Silva AA, Estellita L, Rizzotto M, Yoshimura EM, et al. Occupational exposure to radon and natural gamma radiation in the La Carolina, a former gold mine in San Luis Province, Argentina. *J Environ Radioact* 2010; 101: 153-158.
- [18]. Saad AF, Abdallah RM, Hussein NA. Physical and geometrical parameters controlling measurements of radon emanation and exhalation from soil. *Appl Radiat Isot* 2018; 137: 273-279.
- [19]. Palmer RBJ, Simons HAB. The experimental determination of the range-energy relations for alpha particles in water and water vapour, and the stopping power of water and water vapour for alpha particles at energies below 8.78 MeV. *Proc Phys Soc* 1959; 74: 585-598.
- [20]. Vogiannis EG, Nikolopoulos D. Radon sources and associated risk in terms of exposure and dose. *Front Public Health* 2014; 2: 207.
- [21]. Bozkurt A, Kam E. Indoor radon measurement in the city of Edirne, Turkey. *AIP Conf Proc* 2007; 899: 355.
- [22]. Quarto M, Pugliese M, La Verde G, Loffredo F, Roca V. Radon exposure assessment and relative effective dose estimation to inhabitants of Puglia region, South Italy. *Int J Environ Res Public Health* 2015; 12: 14948-57.
- [23]. Haddadi G. Assessment of radon level in dwellings of Tabriz. *J Fasa Univ Med Sci* 2011; 1: 13-19. (Persian).
- [24]. Jafarizadeh M, Zahedifar M, Taheri M, Baradaran S. Measurement of radon concentration in some dwellings of Kashan city in Iran. *IJRSM* 2014; 2: 37-41. (Persian).
- [25]. Mowlavi AA, Mohammad Jafari F. The estimated annual effective dose caused by radon and thoron gases in the vicinity of active faults in the North East of Iran. *Iran South Med J.* 2017; 20: 70-76. (Persian).
- [26]. Yu KN, Lau BM, Nikezic D. Assessment of environmental radon hazard using human respiratory tract models. *J Hazard Mater* 2006; 132: 98-110.
- [27]. Smith H. ICRP Publication 50: lung cancer risk from indoor exposures to radon daughters. *Can Assoc Radiol J* 1988; 39: 144.
- [28]. Al-Azmi D, Okeyode IC, Alatise OO, Mustapha AO. Setup and procedure for routine measurements of radon exhalation rates of building materials. *Radiat Meas* 2018; 112: 6-10.

Absorbed Dose Assessment from Alpha and Gamma Rays of Radon Progeny in Trachea Tissue

Danaei Z.¹, Baghani H.R.^{2*}, Asghar Mowlavi A.

1. MSc graduated of Nuclear Physics, Physics Department, School of Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran
2. Assistant Professor of Physics Department, School of Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran
3. Professor of Physics Department, School of Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Abstract

Introduction: Radon is a natural radioactive gas that easily enter to respiratory tract and cause considerable biologic damages. The main objective of this study was to determine the dose from the alpha and gamma radiations of radon decay chain products in trachea tissue using Monte Carlo simulation.

Materials and Methods: At first a trachea-equivalent cylindrical phantom was simulated by MCNPX Monte Carlo code. Then, dose profiles from alpha and gamma-emitter progenies were separately calculated. The daughter radionuclides were considered as suspended particles with uniform distribution inside the trachea inner volume.

Results: The results showed that the received dose by trachea in alpha decay is considerably higher than that of gamma decay. The maximum administered dose by alpha decay was 1.72×10^{-16} Gy/decay. ^{218}Po was had the highest dose among the studied alpha emitter daughter nuclides. The maximum administered dose by gamma decay was also equal to the 17.55×10^{-19} Gy/decay, where ^{214}Pb and ^{214}Bi had almost the same contribution in calculated dose.

Conclusion: The daughter radionuclides from radon decay chain, especially alpha emitter products of ^{218}Po and ^{214}Po , can be considered as a serious danger viewpoint to the internal exposure. These daughter nuclides can attach to the inner wall of trachea and remain in the respiratory system for long periods of time which can cause to the continuous exposure of trachea. Reducing the biologic effects of these internal radiation source requires especial schemes in order to avoid entering the radon and its radioactive daughters to human respiratory system, as much as possible.

Received: 2019/04/21

Accepted: 2019/06/12

Keywords: Radon, Radon daughters, Dosimetry, Monte carlo method