محاسبه‌ی دز ناشی از ذرات پرتوزای ^{238}U و ^{232}Th معلق در هوای آلوده به ریزگردهای ورودی به کشور در ریه

محرابی،محمد*(۱)– نصیری،سپیده(۲) – وثوقی،ناصر(۱)

دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی انرژی، گروه مهندسی هسته‌ای

دانشگاه یزد، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک حالت جامد

چکیده:

با توجه به ورود ریزگردها به داخل کشور و بروز مشکلات بسیار، بعد از بررسی‌ها مشخص شد مقادیری از ذرات پرتوزای ^{238}U و ^{232}Th در میان ذرات معلق در هوای آلوده به ریزگردها وجود دارد. در این مقاله با استفاده از توصیه‌ها و روش‌های ICRP، با استفاده از نرم‌افزار MATLAB، دز مؤثر ناشی از تنفس این مقدار مواد پرتوزا را در مدت حضور ریزگردها محاسبه، سپس با شبیه‌سازی مسئله با نرم‌افزار MCNPX V2.6، با استفاده از فانتوم محاسباتی MIRD، نتایج محاسبات با یکدیگر مقایسه می‌شود. با مقایسه‌ی محاسبات برای مقادیر مجاز و مقادیر محاسبه‌شده، ضمن ترسیم تصویر روشن‌تر از وضعیت سلامت انسان‌های تحت تأثیر ریزگردها، درمی‌یابیم که نرخ دز دریافتی ریه‌ها برابر $0/02\ \frac{\mu sv}{h}$ است و موج سرطان‌های ایجادشده در کشور عامل پزشکی دیگری دارد.

کلمات کلیدی: *ریزگرد، ^{238}U و ^{232}Th معلق در هوا، ICRP، شبیه‌سازی، MCNPX، مقادیر مجاز، MATLAB، فانتوم*

مقدمه:

در سال‌های اخیر، تأثیر عوامل طبیعی موجب خشک شدن تالاب‌ها و دریاچه‌های بیابان‌های شرق عراق گردیده‌است. وقوع بادهای قوی موسمی عراق، ذرات ریز خاک بستر تالاب‌ها و دریاچه‌های خشک‌شده را به حالت معلق درمی‌آورد. گردوغبار حاصل، به دلیل اختلاف فشار بین مناطق بیابانی شرق عراق با مناطق غرب و جنوب غربی ایران، به سمت کشورمان هدایت می‌شود و ریز گردها را موجب می‌گردد.[۱] بیش از۵۶٪ این ذرات اندازه‌های کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون دارند و به‌راحتی می‌توانند در اثر استنشاق از سد دفاعی طبیعی بدن عبور و به‌طور عمیقی به ریه‌ها نفوذ کنند.[۲] اندازه‌گیری‌های انجام‌شده با فیلترهای واتمن ٤١ توسط ارائه‌دهندگان این مقاله، در سه شهر اهواز (طول جغرافیایی: E ٤٠ ٤٨ ° و عرض جغرافیایی: N ٢٠ ٣١ °)، شوشتر (طول جغرافیایی: E ٥١ ٤٨ ° و عرض جغرافیایی: N ٠٣ ٣٢ °) و دشت آزادگان (طول جغرافیایی: E ١١ ٤٨ ° و عرض جغرافیایی: N ٣٤ ٣١ °)، در ۳ ماه از سال (تیر، مرداد، شهریور)، که این مناطق بیشترین میزان آلودگی با ریز گردها را داشتند، به این نحو انجام گرفت که: پنج منطقه مختلف هر شهر، به فاصله زمانی ۲۰ روزه و به تعداد ٤ بار در هر منطقه در طی این ٤ ماه (از تیر تا شهریور ماه)، مورد نمونه‌برداری

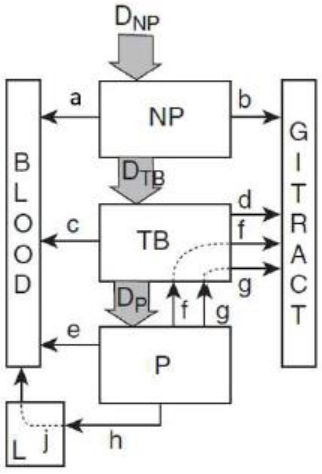
قرار گرفت. طبق این نمونه‌برداری‌ها مشخص شد به‌طور متوسط حدود $۵\times۱۰^{-۵}\ \frac{\mu g}{m^3}$ اورانیوم ۲۳۸، که از جنگ آمریکا و عراق باقی‌مانده و حدود $۲/۵\times۱۰^{-۵}\ \frac{\mu g}{m^3}$ توریم ۲۳۲، که در اثر فعالیت‌های معدنی غیراصولی ترکیه با جریان رودهای دجله و فرات، به عراق رسیده است. بنابراین نگرانی‌هایی به خاطر وجود این ذرات پرتوزای آلفازا برای سلامتی هم‌وطنانمان وجود دارد که در این مقاله با محاسبه‌ی دز حاصل از این ذرات پرتوزا در ریه، در مدت حضور ریزگردها، خطر احتمالی آن برای سلامتی انسان‌ها موردبررسی قرار گرفته‌است.

روش کار:

رسوب ذرات معلق در مجاری تنفسی، تابع توزیع اندازه‌ی ذرات معلق تنفس‌شده، آهنگ زدایش ذرات رسوب‌کرده، محل رسوب و ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی این ذرات است. شکل شماره (۱) نمودار مدل ICRP ریه است. سه ناحیه نشان داده‌شده عبارت‌اند از: گلو و بینی N-P، نای و نایژه T-B، مجاری عمیق تنفسی P. با توجه به اینکه از فیلتر واتمن ٤١ یک میکرومتری استفاده شده‌است، طبق جداول ICRP، مقادیر انباشته‌شده در هر ناحیه، طبق جدول شماره (۱) خواهد بود:[۳]

جدول شماره (۱): مقادیر انباشته‌شده مواد پرتوزا در هر ناحیه از مدل ICRP ریه [۳]

ناحیه	مقدار ذرات پرتوزای رسوب‌کرده
N-P	٪۳۰
T-B	٪۸
P	٪۲۵



شکل شماره (۱): مدل ICRP ریه [۳]

ابتدا دز حاصل از Bq ۱ این ذرات محاسبه می‌شود، سپس می‌توان با توجه به نرخ تنفس که برابر $۲۰\ \frac{m^3}{day}$ است[۳]، مقدار دز حاصل از مقادیر ذکرشده ^{۲۳۸}U و ^{۲۳۲}Th را در مدتی که فرد در حال تنفس مواد پرتوزا است، محاسبه کرد. دقت داریم که در کشور ایران، حدود ۸ ماه هجوم ریزگردها ادامه دارد، که حدود ۳ ماه از سال شرایط بحرانی است.[۱] برای دز معادل انباشته‌شده در هدف T پس از رسوب Bq ۱ از معادله‌ی زیر به دست می‌آید:[٤]

$$D = \frac{1.6\times10^{-13}\frac{J}{MeV}\times\sum U_S transf \times SEE\left(S\rightarrow T\right)\frac{MeV}{t/\mathrm{kg}}}{1\frac{J/kg}{Gy}} \qquad (۱)$$

که در آن:

$$U_s\left(t\right)=\frac{A_S\left(0\right)Bq\times1\frac{t/s}{Bq}}{\lambda_E S^{-1}}\left(1-e^{-\lambda_E t}\right) \qquad \text{و} \qquad SEE=\frac{\sum_i n_i E_i \phi_i}{m} \qquad (۲)$$

تعداد تبدیلاتی را که طی زمان تنفس ریزگردها از جذب ۱ Bq در هر قسمت از ریه، پس از مدت‌زمان t انباشته می‌شود، با رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:[٤]

$$U_S\left(t\right)=\sum\frac{A_S\left(0\right)_j\ Bq\times1\frac{t/s}{Bq}}{\lambda_{E\,j}s^{-1}}\left(1-e^{-\lambda_E t}\right)_j \qquad (۳)$$

که در آن $A_s\left(0\right)$ فعالیت اولیه‌ی رسوب در هر قسمت و λ_E ثابت دفع مؤثر در آن قسمت است. طبق جداول توصیه‌های ICRP، تنها نواحی T-B و P در محاسبات در نظر گرفته‌می‌شوند، یعنی تنها ۰/٦۳ Bq از ۱ Bq مواد پرتوزای ورودی به بدن جذب می‌شود. مقادیر تبدیلات اولیه برای محاسبه‌ی دز معادل انباشته‌شده ریه به ریه، در جدول شماره (۲) نشان داده شده است:

جدول شماره (۲): مقادیر تبدیلات اولیه برای محاسبه‌ی دز معادل انباشته‌شده ریه به ریه [٤]

مسیر حرکت ذرات (ناحیه‌ها)	A(0) , t/s	$T_{\frac{1}{2}}$, d	λ_E , d
c	۰/۰۷٦	۰/۰۱	٦۹/۳
d	۰/۰۰٤	۰/۲	۳/٤۷
e	۰/۲۰۰	۰/۵	۱/۳۹
f	۰/۰۵۰	۰/۵	۱/۳۹
l	۰/۰۵۰	۰/۵	۱/۳۹

با استفاده از مقادیر جدول بالا و روابط (۱) تا (۳)، می‌توان دز حاصل از ذرات پرتوزای ذکرشده در ریه به ریه را محاسبه نمود. برای محاسبه‌ی دز معادل انباشته‌شده بقیه‌ی بدن در ریه، با توجه به معادله زیر قابل محاسبه است:[٤]

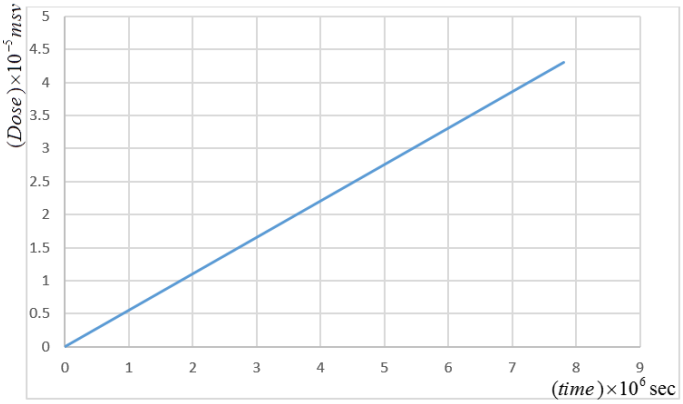
$$q\left(t\right)=f_1q_0e^{-\lambda_1 t}+f_2q_0e^{-\lambda_2 t}+\ldots+f_nq_0e^{-\lambda_n t} \qquad (٤)$$

که طبق آن ۱۰٪ از ۰/٦۳ Bq مواد پرتوزای ^{۲۳۸}U و ^{۲۳۲}Th جذب‌شده، یعنی ۰/۰٦۳ Bq، به ناحیه‌ای (بافت) انتقال می‌یابد که آهنگ دفع آن ۰/۰۲۵۳ در روز و ۹۰٪ دیگر، یعنی ۰/۵٦۷ Bq، به ناحیه‌ای (استخوان) می

رود که آهنگ دفع آن ۰/۰۰۵۲ در روز است.[۵] با استفاده از کسر جذب‌شده انرژی گاماها و بتاهای حاصل از واپاشی ^{238}U و ^{232}Th [٤] و مقادیر ذکر شده در بالا و روابط (۱) تا (۳)، می‌توان دز موثر حاصل از ذرات پرتوزای ذکرشده را در بدن به ریه محاسبه کرد.[۱]

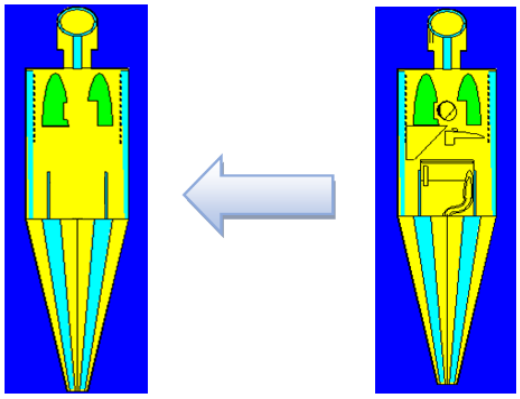
بنابراین، دز معادل کل انباشته‌شده در ریه‌ها در پی استنشاق ۱ Bq، ^{238}U و ^{232}Th را می‌توان با جمع دز ریه به ریه و بدن به ریه محاسبه کرد. برای محاسبه‌ی دز معادل باید ω_R متناسب با نوع پرتوها و برای دز معادل مؤثر نیز باید ثابت ω_T = ۰/۱۲ را در این مقدار ضرب کرد.[٦]

بنابراین مقدار دز کل برابر با msv ٤/۳×۱۰$^{-5}$ خواهد بود. نمودار شماره (۱) میزان دز کل را برحسب مدت‌زمان تنفس مواد پرتوزای ذکرشده نشان می‌دهد. این نمودار حاصل تکرار محاسبات ذکرشده برای نواحی مختلف بدن و برای زمان‌های ۰ تا ۳ ماه با استفاده از برنامه نوشته‌شده با نرم‌افزار MATLAB است.



نمودار شماره (۱): میزان دز کل را برحسب مدت‌زمان تنفس مواد پرتوزای ^{238}U و ^{232}Th

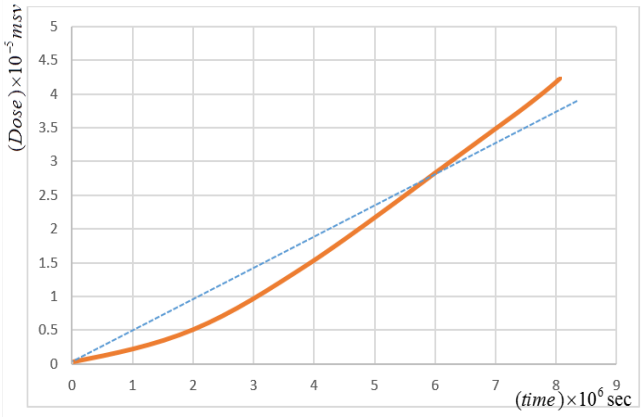
برای شبیه‌سازی با نرم‌افزار MCNPX، ابتدا باید تغییراتی در فانتوم طراحی‌شده محاسباتی MIRD ایجاد کرد. فانتومی بر اساس فانتوم MIRD طراحی می‌شود که تنها شامل ریه، بافت و استخوان‌هاست. شکل شماره (۲) نمایی از تغییرات فانتوم را نشان می‌دهد که با نرم‌افزار MCNPX Visual Editor رسم شده‌است:



شکل شماره (۲): نمایی از تغییرات فانتوم MIRD

بنابراین می‌توان با سادگی بیشتری، سلول‌های هدف برای محاسبه‌ی دز و سلول منبع برای در نظر گرفتن مواد پرتوزایی را که به‌صورت یکنواخت در بدن پراکنده‌شده‌اند، تعریف کرد.

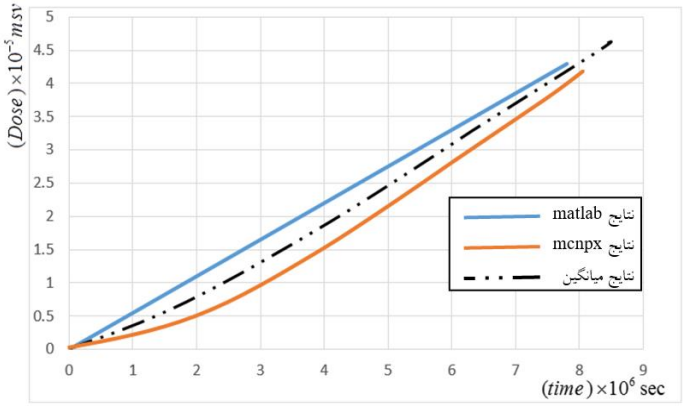
حال مقادیر فعالیت هر یک از ذرات رسوب‌کرده در داخل بدن را که با توجه به مدل ICRP محاسبه شده-است، در نظر گرفته، سپس هر یک را به‌عنوان منبعی در سلول‌های مبدأ که توسط توصیه‌های ICRP مشخص‌شده، در نرم‌افزار MCNPX قرار می‌گیرد. حال باید دز حاصل از ذرات موجود در بافت، دز ذرات موجود در استخوان و سپس دز حاصل از ذرات موجود در ریه محاسبه شود، مجموع این دزها مقدار دز موثر کل دریافتی توسط ریه را مشخص می‌کند. نمودار شماره (۲) دز موثر کل برحسب غلظت ذرات پرتوزای ذکرشده، که با استفاده از نتایج شبیه‌سازی حاصل‌شده، را نمایش می‌دهد:



نمودار شماره (۲): دز مؤثر کل برحسب غلظت ذرات پرتوزای ^{238}U و ^{232}Th با استفاده از نتایج شبیه‌سازی

نتایج:

مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مقادیر محاسبه‌شده با نرم‌افزار متلب، در نمودار شماره (۳) رسم شده است. مشاهده می‌کنیم که اختلاف ناچیزی بین آن‌ها وجود دارد و نتایج یکسان هستند. این نتیجه ضمن اینکه درستی محاسبات را بیان می‌کند، دید خوبی از شرایط سلامت محیطی می‌دهد.



نمودار شماره (۳): مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مقادیر محاسبه‌شده با نرم‌افزار متلب

اختلاف ناشی از این دو نمودار ناشی از نحوه حل مسئله، و خطای متوسط ناچیز ۲/۳ درصدی محاسبات مونتکارلویی نرم افزار MCNPX است. میدانیم که در ابتدای زمان ورود مواد پرتوزا به بدن مقادیر آن در قسمت‌های بدن کم است و سپس رفته‌رفته انباشت مواد پرتوزا در قسمت‌های مختلف بدن صورت می‌گیرد. علاوه بر آن، میدانیم که بیشتر انباشت مواد پرتوزا در غدد لنفاوی انجام می‌گیرد و این غدد بیشتر نزدیک شش‌ها و در ناحیه سینه و گردن هستند.[۷] این غدد ابتدا انباشت کمی از مواد پرتوزا دارند و سپس با افزایش انباشت مواد پرتوزا در آن‌ها با توجه به فاصله کمتر از سایر نواحی بدن به ریه‌ها تأثیر دز ناشی از آن‌ها روی ریه از سایر قسمت‌ها بیشتر است. همچنین در محاسبات با روش ICRP که با نرم افزار MATLAB مدل شد؛ بیشترین میزان محافظه‌کاری برای محاسبات توسط موسسه ICRP صورت گرفته است و همواره بدترین شرایط متوسط در نظر گرفته می‌شود. به‌طوری‌که از ابتدا فرض بر انباشت کامل این مواد در قسمت‌های مختلف بدن است و همچنین تفاوتی بین غدد لنفاوی و سایر نواحی صورت نمی‌گیرد و کل قسمت‌های بدن انباشتی شبیه غدد لنفاوی دارند. لذا با بررسی و توجه دقیق به عواملی از این قبیل و تأثیر آن در شبیه‌سازی و محاسبات، قبل از انباشت قابل‌قبول مواد پرتوزا در قسمت‌های مختلف بدن، اختلاف جزئی بین این مقادیر، نه‌تنها طبیعی است بلکه بر صحت و دقت محاسبات اذعان دارد. بنابراین همان‌طور که در نمودار شماره (۳) مشاهده می‌شود، ابتدا این دو نمودار تفاوتی اندک دارند، ولی رفته‌رفته به هم نزدیک و نزدیکتر می‌شوند و اختلاف کم و کم‌تر می‌گردد.

بحث و نتیجه‌گیری:

با توجه به نرخ تنفس در شبانه‌روز که برابر $20\ \frac{m^3}{day}$ است، و فعالیت ویژه‌ی ^{238}U که برابر $12455\ \frac{Bq}{gr}$ و ^{232}Th که برابر $4070\ \frac{Bq}{gr}$ است، [۸] و غلظت ^{238}U و ^{232}Th، میزان دز حاصل در مدت سه ماه تنفس ریزگردها به ریه برابر است با $4/3\times10^{-5}\ msv$، که نرخ دز مربوطه برابر $0/02\ \frac{\mu sv}{h}$ خواهد بود. به نظر می‌رسد این مقدار نرخ دز، خطری برای هم‌وطنانمان ایجاد نمی‌کند؛ هرچند مقادیری نیز مواد پرتوزا به‌صورت بلع یا مواد موجود در محیط روی سلامتی آنان اثر دارد. خوشبختانه حداقل می‌توان اعلام کرد موج سرطان‌های ایجادشده از جانب مواد پرتوزای معلق در هوا نیست و منشأ پزشکی دیگری دارد.

سپاسگزاری:

صمیمانه از آقای دکتر مصطفی سهراب پور عضو هیئت‌علمی دانشکده مهندسی هسته‌ای دانشگاه صنعتی شریف متشکریم. این کار با حمایت‌های ایشان انجام شد.

مراجع:

[۱] شهریار کریم دوست، لیلا اردبیلی، بررسی پدیده گرد و غبار و اثرات زیست‌محیطی آن، چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمائی علوم زمین، ۱۳۸۹

[۲] A.Kumar, M.A. and B.N.Pandy Understanding the biological effects of Thorium and developing efficient strategies for decorporation and mitigation, Journal of Cancer Research and Therapeutics, Vol.8, No.3, 2012

[۳] ICRP recommendations, ICRP website

[٤] H.Cember, Th.E.Johnson, introduction to health physics, part 8 and 7, 1969

[٥] E.T.Marshall, R.E.Toohey, J.D.Cossairt, and R.L.Kathren, Distribution of Uranium in two whole body donors, part3, 1995

[٦] J.K.Shultis, R.E.Faw, Radiation Shielding, part3, 2000

[٧] S. N. Nabili, What are lymph nodes, MPH, 2015

[٨] Specific activity, Plexus website