

اندازه‌گیری گاز تورون موجود در گاز شهری و بررسی آن بر سلامت افراد

فرهاد محمد جعفری^۱، بهارک اسلامی*، جواد بهمنی

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده:

هدف این پژوهش تعیین میزان غلظت گاز تورون موجود در گاز شهری و بررسی اثرات ناشی از استنشاق آن بر بروز سرطان ریه در ساکنین منازل می باشد. با استفاده از دستگاه مانیتور تورون در ۱۰۰ منزل مسکونی در آذر ماه و دی ماه اندازه‌گیری شد. برای حذف تأثیر پارامترهای محیطی در اندازه‌گیری، مقادیر تراکم این گاز در دو حالت محل بدون بخاری (خاموش) و با بخاری (روشن) انجام گرفت. سپس به کمک کد شبیه ساز MCNPX اثر استنشاق این گاز بر ریه افراد شبیه سازی شد. با استفاده از روابط دز جذبی موثر سالیانه، مقدار میانگین دز جذبی در این نواحی بر اساس میزان گاز تورون موجود در گاز شهری محاسبه شد. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که میانگین غلظت گاز تورون در منازل، ۳۳/۹۸ بکرل بر متر مکعب است. دز جذبی میانگین برای ریه کمتر از ۰/۰۵ میلی سیورت است که در مقایسه با دز جذبی مجاز می‌توان تأثیر گاز تورون بر سلامت افراد را نادیده گرفت.

کلیدواژه‌ها: گاز تورون، سرطان ریه، آلفا، تابش

Measurement of thoron gas in urban gas and its evaluation on the human health

F. Mohammad jafari, B. Eslami, J. Bahmani

Department of Physics, Faculty of fundamental science, University of Payame Noor, Tehran, Iran.

The purpose of this study is the determination of the concentration of thoron gas in urban gas and to investigate the effects of inhalation on the incidence of lung cancer in residents. Using the thoron monitor device, thoron measurements were performed at 100 residential homes in in months of Azar and Dey. To eliminate the environmental effects of measuring the compressibility values of the gas, measurements were made in two locations with and without heater. Then the effect of inhalation of this gas on the lungs of people was simulated using MCNPX code. Using the annual effective absorption dose relations, the average absorbed dose values in these areas are calculated based on the amount of thoron in the city gas. It is found that the average concentration of thoron in the homes was 33.98 Bq. m⁻³. The average absorbed dose for the lung was less than 0.05 mSv, which can be neglected in comparison with the permissible dose of thoron gas.

Keywords: Thoron gas, Lung cancer, Alpha, Radiation

¹ farhad_mohammad_jafari@yahoo.com

۱. مقدمه

یکی از دلایل شایع سرطان ریه در انسان پس از استعمال دخانیات ، استنشاق گاز رادیواکتیو رادون و تورون می باشد [۱-۲]. به دلیل حساسیت موضوع ، مطالعه و اندازه‌گیری این دو گاز در محیط زندگی افراد از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و تحقیقات زیادی در این خصوص انجام شده است . برای عنصر رادون ، ۲۷ ایزوتوپ شناخته شده‌است که پایدارترین ایزوتوپ رادون ۲۲۲ است که محصول فروپاشی رادیوم ۲۲۶ با نیمه عمر ۳/۸۲۳ روز می‌باشد و ذرات آلفا از خود ساطع می‌کند. رادون ۲۲۰ حاصل تجزیه توریوم است که تورون نامیده می‌شود و با نیمه عمر ۵۵/۶ ثانیه اشعه آلفا از خود ساطع می‌کند. این ایزوتوپ می تواند در فضاهای داخلی در مقادیر قابل توجه ایجاد شود و اغلب نمی‌تواند در گاز موجود در خاک زیر یک ساختمان به اندازه کافی دوام داشته باشد و به خانه وارد شود . به همین دلیل در سطح تورون هوای داخل ساختمان سهمی ندارد . بنابراین تورون داخل ساختمان ناشی از مصالح به کار رفته در سطح داخلی ساختمان یا گاز شهری موجود می‌باشد [۳-۴]. جدول ۱ انرژی گسیل شده از پرتوهای تورون نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می شود این میزان انرژی قابل توجه است.

جدول ۱. طیف انرژی آلفای گسیل شده از رادون و تورون [۵]

انرژی آلفای رادون ۲۲۲ (Kev)	احتمال گسیل	انرژی آلفای رادون ۲۲۰ (Kev)	احتمال گسیل
۴۸۲۸/۰	۰/۰۰۰۵	۷۰۰۱	۱/۰۴
۴۹۸۷/۰	۰/۰۷۸۰	۷۴۵۵	۹۸/۹۶
۵۴۸۹/۵	۹۹/۹۲۰۰	-	-

برخی از غلظت‌های بالای تورون و خطر زیاد در معرض قرار گرفتن تورون و دختران آن در داخل محیط بسته گزارش شده است [۶]. طبق مطالعات اخیر در حدود ۱۷ درصد دز ناشی از استنشاق گازهای رادیواکتیو، مربوط به تورون و دختر هسته‌های آن است. در طول دهه گذشته با روش‌های جدید و دستگاه‌های توسعه یافته غلظت تورون اندازه گیری شده است [۷و۸]. در سال ۱۳۹۱ تحقیق مشابه با عنوان غلظت و دوز موثر ناشی از گاز رادون و تورون در بیمارستان های دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه انجام شد بر اساس نتایج، سطوح رادون و تورون و متوسط دوز موثر ناشی از آن ها در ساختمان همه بیمارستان ها پایین تر از مقادیر توصیه شده بود. غلظت رادون و تورون با تهویه طبیعی و مصنوعی اتاق ها و مصالح ساختمانی مورد استفاده در دیوارها و کف تحت تاثیر قرار می گرفت. غلظت رادون و تورون در ICU بالا بود [۹]. برای شناخت توزیع مکانی غلظت تورون ، اندازه‌گیری میزان غلظت گاز تورون در محیط و برای اندازه‌گیری مستقیم دختران تورون ارزیابی دز لازم است ، اگر چه اندازه‌گیری دقیق تورون به دلیل نیمه عمر نسبتاً کوتاه آن دشوار است. گاز تورون می‌تواند علاوه بر روش گسل‌های زیرزمینی و آب ، با ورود گاز شهری نیز به عنوان سوخت در منازل نفوذ پیدا کند. در این تحقیق با توجه به این که هیچ نقشه‌ای از میزان تراکم گاز تورون در کشور وجود ندارد، میزان غلظت این گاز در حالت‌های مختلف وجود یا عدم وجود سوخت گاز شهری مورد بررسی قرار گرفت. اندازه‌گیری به وسیله دستگاه مانیتور رادون و تورون متر RTM1688 (شکل ۱) در فصل زمستان که مصرف گاز شهری به بیشترین حد می‌رسد در سه شهر استان سمنان و همچنین شهر قوچان در استان خراسان رضوی انجام شد. عملکرد این دستگاه تنها با یک دکمه انجام می شود. برای این تحقیق صد جامعه هدف (منزل مسکونی) مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت. سپس با استفاده از روابط دز مؤثر سالیانه، مقادیر دز این گاز محاسبه شد.



شکل ۱. دستگاه مانیتور رادون و تورون متر RTM1688

۲. روش کار

در این تحقیق میزان گاز تورون خروجی از زمین همراه گاز شهری مورد بررسی قرار گرفت. چون یکی از رایج‌ترین وسایل گازسوز در منازل بخاری گازی می‌باشد که تقریباً در یک بازه زمانی ۴ الی ۵ ماه مورد استفاده قرار می‌گیرد، اندازه‌گیری‌ها در مجاورت بخاری انجام گرفت. با توجه به سنگین بودن گاز تورون نسبت به هوا و قرار گرفتن آن در کف منازل، دستگاه مانیتور تورون در فاصله ۲۰ سانتی‌متری پشت بخاری و در کف زمین قرار گرفت. دستگاه می‌تواند در هر ۱۵ دقیقه یک ثبت انجام دهد. برای دقت بیشتر، اندازه‌گیری در بازه زمانی یک ساعت و در فضای بسته با شرایط یکسان انجام شد. در هر اندازه‌گیری عوامل محیطی از جمله فشار، رطوبت و دما ثبت گردید. شکل ۲ میزان تراکم گاز تورون در مقایسه با حد مجاز در مناطق مسکونی نشان می‌دهد.



شکل ۲. میزان تراکم گاز تورون در مقایسه با حد مجاز در منزل مسکونی

۳. محاسبه دز مؤثر سالیانه

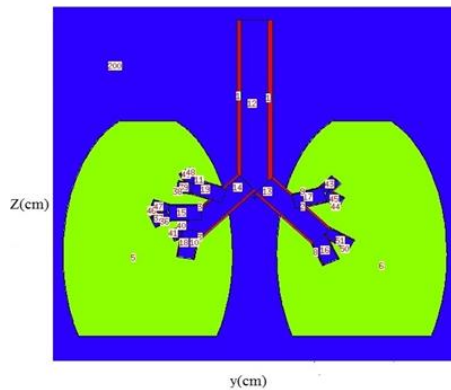
با استفاده از رابطه زیر مقادیر اندازه‌گیری شده به دز مؤثر سالیانه تبدیل می‌شود [۱۰].

$$\text{دز جذبی سالیانه مؤثر تورون} = C_{Th} (\text{Bq.m}^{-3}) \times 0.09 \times 3650 \text{h} \times 40 \text{h s} (\text{Bq.h.m}^{-3}) \quad (1)$$

C_{Th} مقدار متوسط تراکم گاز تورون در داخل منزل مسکونی است. مقدار متوسط ضریب تعادل برای تورون و دختر هسته‌هایشان برابر با ۰/۰۹ است. فرض می‌شود یک شخص در طول یک سال به طور متوسط ۳۶۵۰ ساعت در منزل سکونت دارد. این ضرایب به صورت آزمایشگاهی بدست آمده‌اند [۱۱-۱۲].

۴. شبیه‌سازی ریه با کد MCNPX

در این تحقیق شکل ریه با استفاده از نرم افزار MCNPX شبیه‌سازی شده است. تصویر شبیه‌سازی شده در صفحه YZ با نرم افزار Xming در شکل ۲ آمده است. اعداد در این شکل، شماره‌هایی هستند که برای هر سلول در شبیه‌سازی تعریف شده است. داده‌های مربوط به ابعاد ریه از ICRP66 گرفته شده است [۱۳ و ۱۴] که شامل نای به طول ۹/۱ سانتی‌متر و ضخامت دیواره ۰/۲۲۵ سانتی‌متر (سلول ۱۲)، دو بطن (سلول‌های ۵ و ۶)، لوله‌های فرعی به طول ۳/۸ سانتی‌متر و ضخامت دیواره ۰/۱ سانتی‌متر (سلول‌های ۱۳ و ۱۴) و لوله‌های بیرونشیل به طول ۱/۵ سانتی‌متر و ضخامت دیواره ۰/۰۵ سانتی‌متر (سایر سلول‌ها) می‌باشد و هر یک از آنها از جنس بافت نرم ریه می‌باشند (شکل ۳). داده‌ها و درصد جرمی مربوط به مواد تشکیل دهنده بافت نرم ریه و هوا همگی از فانتوم MIRD گرفته شده‌اند [۱۵]. چگالی بافت ریه 0.26 g/cm^3 ، بافت نرم 1.04 g/cm^3 و هوا 0.001205 g/cm^3 می‌باشد.



شکل ۳. پروفایل رنگی شبیه‌سازی شده با MCNPX، رسم شده توسط Xming

در شکل شبیه‌سازی شده ریه سلول‌های هوایی به عنوان چشمه تورون تعریف و فانتوم مش‌بندی شد. برنامه برای ۵۸۰ دقیقه (حدود ده ساعت) اجرا شد و نتایج خروجی در سلول‌های خواسته شده بدست آمده است. نمودارهای انرژی را از فانتوم موردنظر در صفحه YZ و Xهای ثابت به صورت پروفایل‌های رنگی رسم شده است.

جدول ۲. تبدیل نتایج خروجی شبیه‌سازی تورون و دخترهسته‌های آن به دز مؤثر سالیانه بر حسب میلی‌سیورت

سلول	^{220}Th (mSv) دز سالیانه	^{212}Bi (mSv) دز سالیانه	^{216}Po (mSv) دز سالیانه
۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹
۳	۰/۰۱۴	۰/۰۰۹	۰/۰۱۰
۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۲۱۱
۹	۰/۰۷۸	۰/۰۵۲	۰/۰۵۸
۱۰	۰/۰۸۱	۰/۰۵۴	۰/۰۶۰
۱۱	۰/۰۷۷	۰/۰۵۱	۰/۰۵۷
۳۶	۰/۰۲۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱۶
۳۸	۰/۰۹۰	۰/۰۶۱	۰/۰۶۸
۴۰	۰/۰۷۰	۰/۰۴۷	۰/۰۵۳
۴۲	۰/۰۷۷	۰/۰۵۳	۰/۰۵۹
۱۸	۰/۰۶۴	۰/۸۷۲	۰/۸۰۰
۳۷	۳/۶۲۹	۴/۵۱۳	۴/۲۲۴
۴۳	۳/۶۳۱	۴/۵۷۷	۴/۲۹۸
۵۱	۳/۸۳۲	۴/۹۵۹	۴/۶۰۳

سپس برنامه برای هر یک از دخترهسته‌های تورون به صورت مجزا اجرا و مراحل ذکر شده مجدداً انجام شدند. نتایج خروجی برنامه در جدول ۲ با فرض این است که سلول‌های ریه که به عنوان چشمه تعریف شده‌اند به طور کامل از تورون یا دخترهسته‌های آن پر شده‌اند و از طرف دیگر برای یک سال در معرض بودن گاز تورون، محاسبه شده‌اند در حالی که تقریباً یک چهارم حجم ریه شامل تورون یا دخترهسته‌های آن می‌شود و وسیله گازسوز در یک بازه زمانی ۴ ماه مورد استفاده قرار می‌گیرد، زمان حضور افراد در منزل به طور متوسط ۱۰ ساعت است و بر همین اساس ضرایبی برای تصحیح دز جذبی موثر سالیانه ناشی از تورون که در محاسبات شبیه‌سازی یک سال لحاظ شده بود، در نظر گرفته شد. با داشتن C_{Th} از اندازه‌گیری و جایگذاری در رابطه ۱ نتایج بدست می‌آید.

۵. نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف اندازه‌گیری گاز تورون ناشی از انتشار گاز شهری در داخل منازل طراحی شد. مشخص شد مقدار تراکم این گاز در نود و نه درصد منازل، پایین‌تر از حد مجاز می‌باشد. دستگاه‌های مختلفی برای ثبت و اندازه‌گیری گاز تورون (روش اندازه‌گیری پیوسته) وجود دارد که با یکدیگر تفاوت‌هایی دارند. با توجه به واپاشی تورون به دخترهسته‌هایش اثرات دخترهسته‌های آن نیز بر بافت تأثیر دارد. دز جذبی مؤثر سالیانه با استفاده از مقادیر تراکم بدست آمده برای گاز تورون، محاسبه شد. مقادیر دز سالیانه برای افراد، به شرایط حاکم بر زندگی آن‌ها وابسته است. علاوه بر مبحث وجود گاز تورون در گاز شهری موارد مؤثر دیگری مانند نحوه قرار گرفتن و تعداد پنجره‌ها، موقعیت مکانی منازل، زمان قرار گرفتن در معرض گاز در محیط، مصالح خاصی که برای هر منزل بکار رفته و ... می‌تواند دز مؤثر سالیانه را تغییر دهد. با توجه به تحقیقات انجام شده مقدار دز بیش از حد مجاز، خطر ابتلای افراد به بیماری سرطان ریه را در محیط افزایش می‌دهد و با توجه به پراکندگی جمعیت در یک منطقه، تنوع شغلی، سبک زندگی متفاوت افراد، مصرف دخانیات و اعتیاد در منطقه، نتیجه‌گیری از اثرات تورون بر سلامت افراد را به چالش می‌کشد. به همین دلیل با شبیه‌سازی ریه یک فرد بالغ تلاش شد که آثار مخرب این گاز در ریه شخص مورد بررسی قرار بگیرد. شکل ریه بر اساس مدل‌های ریاضی طراحی شد ولی باز هم بطور دقیق تطبیق بسیار بالایی با ریه واقعی ندارد. بنابر این در شبیه‌سازی ریه باید به این نکته توجه شود که نتایج ممکن است با مقادیر واقعی تا حدودی اختلاف داشته باشند. پس از طراحی شکل ریه و قرار دادن تورون در بخش‌های مختلف آن بصورت چند مرحله‌ای مشخص شد که بیشترین دز جذبی به ترتیب در نواحی اتصالات لوله‌های فرعی سوم، دوم و اول است. در لوله‌های برونشیل سوم فرعی میزان دز جذبی بسیار بیشتر از سایر قسمت‌ها بود. این بخش‌ها مهمترین قسمت در ابتلا به سرطان ریه هستند. در اندازه‌گیری به دلیل تعدد چشمه‌ها و محدودیت نرم افزار نمی‌توان همزمان تمام سلول‌ها را به عنوان چشمه در نظر گرفت و همچنین تأثیر دخترهسته‌ها و مادر را به طور همزمان مورد مطالعه قرار داد. علاوه بر این تأثیر پارامترهای محیطی همچون شرایط اقلیمی و مصالح ساختمانی به کار گرفته کیفیت اندازه‌گیری را تغییر می‌دهد.

۶. مراجع

1. Ishikawa T. Effects of thoron on a radon detector of pulse-ionization chamber type. Radiation protection dosimetry. Apr 1; **108**(4):327-30 (2004).
2. UNSCEAR S. effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York.453-87(2000).
3. World Health Organization (WHO). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. WHO Regional Office for Europe. DK-2100 Copenhagen Ø. Denmark.; 347-69 (2010).
4. Bossew P, Lettner H. Investigations on indoor radon in Austria, Part 1: Seasonality of indoor radon concentration. Journal of Environmental Radioactivity. **1**; 98(3):329-45 (2007).
5. [WWW Table](#) of Radioactive Isotopes.
6. Guo Q, Sun J, Zhuo W. Potential of high thoron exposure in China. Journal of nuclear science and technology, **1**; 37(8):716-9 (2000).
7. Shang B, Tschiersch J, Cui H, Xia Y. Radon survey in dwellings of Gansu, China: the influence of thoron and an attempt for correction. Radiation and environmental biophysics. **1**; 47(3):367-73 (2008).
8. Zhang L, Wu J, Guo Q, Zhuo W. Measurement of thoron gas in the environment using a Lucas scintillation cell. Journal of Radiological Protection, **8**; 30(3):597 (2010).
9. Pir Sahib Miqdad, Najafi Farid, Haghparast Abbas, Azizi Ismail, Hemmat Lida, on centration and effective dose of radon and thoron gas in hospitals of Kermanshah University of Medical Sciences, 2012.
10. United Nations. Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation: sources. United Nations Publications; (2000).
11. Mowlavi AA, Shahbahrami A, Binesh A. Dose evaluation and measurement of radon concentration in some drinking water sources of the Ramsar region in Iran. Isotopes in environmental and Health Studies. **1**; 45(3):269-72 (2009).
12. 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. ISMJ. **15**; 20(1):70-6(2017).
13. Bair WJ. The ICRP human respiratory tract model for radiological protection. Radiation Protection Dosimetry **1**; 60(4):307-10 (1995).
14. Valentin J. Guide for the Practical Application of the ICRP Human Respiratory Tract Model: ICRP Supporting Guidance 3 Approved by ICRP Committee 2 in October 2000. Annals of the ICRP; 32(1-2):13-4 (2002).
15. Olsher RH, Van Riper KA. Application of a sitting MIRD phantom for effective dose calculations. Radiation protection dosimetry **20**; 116(1-4):392-5 (2005).