

اندازه‌گیری گاز رادون و تورون در مجاور گسل‌های فعال شمال شرق ایران

فرهاد محمدجعفری^۱، علی اصغر مولوی^{۲*} و علیرضا بینش^۴

^۱ گروه فیزیک دانشگاه پیام نور قوچان، قوچان، ایران.

^۲ گروه فیزیک دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

^۳ مرکز بین‌المللی فیزیک نظری عبدالسلام، تریست، ایتالیا.

^۴ گروه فیزیک دانشگاه پیام نور فریمان، فریمان، ایران.

* خراسان رضوی، سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، گروه فیزیک، کدپستی: ۹۶۱۷۹۷۶۴۸۷

پست الکترونیکی: aa_mowlavi@yahoo.com و aa_mowlavi@yahoo.com

چکیده

گازهای رادون و تورون رادیوایزوتوپ‌هایی هستند که از خود، ذرات آلفای پرانرژی ساطع می‌کنند. این دو گاز می‌توانند از راه‌های مختلف مانند استنشاق و خوردن و آشامیدن وارد بدن شده و سبب تخریب بافت داخلی بدن و بروز سرطان ریه شوند. غلظت این دو گاز در مناطق مختلف متفاوت و در مجاورت گسل‌های فعال، بیشتر از سایر نقاط است. در این تحقیق، میزان غلظت این دو گاز با نسبت دوری یا نزدیکی از گسل‌های فعال شمال شرق ایران در ۱۰۰ منطقه مسکونی، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد مناطق مسکونی نزدیک به گسل‌های فعال اکثراً دارای تمرکز گاز رادون و تورون بیشتری نسبت به سایر مناطق مسکونی بوده‌اند. در بیشتر مناطق مسکونی، تراکم گاز تورون دو تا سه برابر گاز رادون بود. حدود ۲۰ درصد از مناطق مسکونی مورد تحقیق، در معرض گاز رادون و تورون، بیشتر از حد مجاز قرار داشتند. بیشترین غلظت گاز رادون و تورون به ترتیب 188 Bq/m^3 و 803 Bq/m^3 و میانگین غلظت آن‌ها در اندازه‌گیری‌ها به ترتیب $71/52 \text{ Bq/m}^3$ و $326/44 \text{ Bq/m}^3$ به دست آمد.

کلیدواژه‌گان: رادون، تورون، آلفا، گسل، دستگاه رادومتر RTM168

۱. مقدمه

غبار و سایر مواد قابل استنشاق می‌شوند و قادر به نفوذ در درون ریه هستند. مطابق شکل (۱)، ۵۰ درصد از پرتوگیری طبیعی هر فرد در طول سال ناشی از گاز رادون است. همچنین ۱۴ درصد ناشی از پرتوگیری پزشکی، ۱۰ درصد ناشی از پرتوگیری کیهانی، ۱۴ درصد ناشی از اشعه گامای زمین، ۱۱ درصد ناشی از خوردن و آشامیدن و ۱ درصد ناشی از سایر عوامل است که در مجموع پرتوگیری سالانه هر فرد از منابع طبیعی در حدود ۳ تا ۶ میلی سیورت است [۲]. رادون از سنگ‌ها و خاک‌ها متصاعد می‌شود و به دلیل سنگین‌تر بودن از هوا در کف فضای سر بسته تجمع می‌یابد [۹].

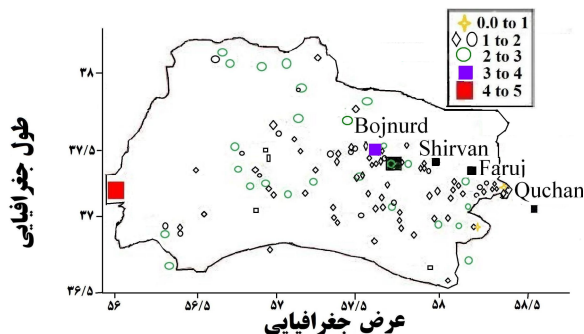
رادون یک گاز رادیواکتیو طبیعی، بدون رنگ، بو، طعم و با چگالی حدود ۸ برابر هواست. عدد اتمی رادون ۸۶ با ۲۷ ایزوتوپ که فراوان‌ترین آن‌ها رادون ۲۲۲ با نیمه‌عمر ۳/۸ روز، رادون ۲۲۰ (تورون) با نیمه‌عمر ۵۵/۶۱ ثانیه‌اند. گاز رادون ناشی از زنجیره واپاشی اورانیوم ۲۳۸ و گاز تورون ناشی از زنجیره واپاشی توریوم ۲۳۲ است. رادون از نظر شیمیایی بی‌اثر است و اندکی در آب حل می‌شود [۱، ۲ و ۳]. تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در مناطق مختلف در زمینه رادون انجام شده است [۴، ۵، ۶ و ۷].

به دلیل عمر کوتاهش، به سرعت به سایر عناصر مانند پلوتونیوم و سرب و بیسموت تبدیل می‌شود [۸]. عناصر فوق از لحاظ شیمیایی فعال‌اند و به راحتی جذب سطح ذرات گرد و

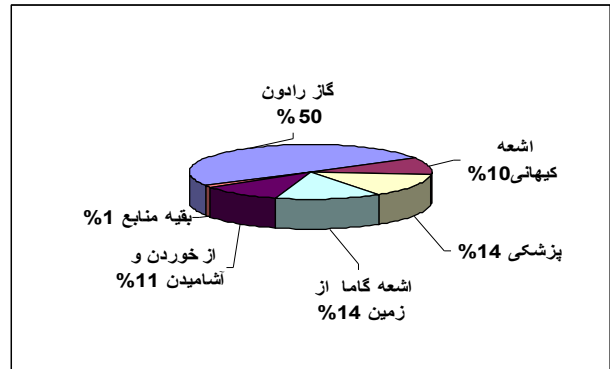
۲. مواد و روش

در شمال شرق ایران، گسل‌های فعال متعددی وجود دارند که تعداد اندکی از آن‌ها نام‌گذاری شده است. در این پژوهش، اندازه‌گیری گاز رادون و تورون در مناطق مسکونی شمال شرق ایران در مجاورت گسل‌های فعال، مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته که در حوضه رسوبی کپه داغ واقع است. منطقه حوضه رسوبی کپه داغ، نواحی از شمال ایران، بخش وسیعی از جنوب غرب ترکمنستان و شمال غرب افغانستان است. بخش ایرانی این حوضه بین ۳۰' و ۳۵' تا ۱۵' و ۳۸' عرض شمالی ۰' و ۵۴' تا ۳۱' و ۶۱' طول شرقی قرار دارد. وسعت منطقه در حدود ۵۵۰۰۰ کیلومترمربع یعنی ۳/۳ درصد مساحت کل ایران است [۱]. کپه‌داغ ایران منطقه‌ای کوهستانی است که با دو رشته کوه موازی بیشتر سطح منطقه را پوشانیده است. رشته‌کوه شمالی را کوه‌های کپه‌داغ و هزار مسجد و رشته‌کوه جنوبی را کوه‌های گلستان، آلا‌داغ و بینالود تشکیل می‌دهند.

قرارگرفتن ایران در بخشی از کمربند کوه‌زایی آلپ و هیمالیا که یکی از جوان‌ترین نواحی کوه‌زایی جهان محسوب می‌شوند، موجب فعال بودن ایران از لحاظ لرزه‌خیزی است. لذا استان خراسان شمالی از استان‌های زلزله‌خیز محسوب می‌شود و متأسفانه سهم زیادی در خطرات لرزه‌ای داشته است. به دلیل داشتن گسل فعال، منطقه کپه‌داغ ایران با زمین‌لرزه‌های متعددی مواجه بوده، به‌گونه‌ای که شهرستان‌های قوچان، فاروج، شیروان و گیغان در این ناحیه، با خطر خیلی زیاد زلزله و شهرهای آشنخانه، اسفراین، جاجرم، بجنورد، چمن بید و گرمخان با خطر زیاد گروه‌بندی شده‌اند. در شکل (۲)، توزیع زمین‌لرزه‌ها در استان خراسان شمالی نشان داده شده است [۱۴].



شکل ۲: توزیع مرکز زمین‌لرزه‌ها در استان خراسان شمالی در سه‌ماهه سوم سال ۱۳۹۲



شکل ۱: درصد پرتوگیری افراد از چشمه‌های مختلف رادیواکتیو [۲]

از جمله عوامل مهم در میزان تمرکز گاز رادون و تورون منازل، می‌توان به چاه‌های حفرشده در کف، مصالح ساختمانی مورد استفاده در آن‌ها، نزدیکی یا دوری از گسل‌های زیرزمینی و نوع بافت خاک پی اشاره کرد [۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳].

به دلیل پرتوایی رادون و تورون، مطالعه آن‌ها در تمام دنیا از اهمیت زیادی برخوردار است و تحقیقات زیادی در این خصوص انجام شده است [۵]. مطالعات نشان می‌دهد رادون پس از دخانیات، یکی از عوامل اصلی ایجادکننده سرطان ریه است. با توجه به تراکم این گاز، سالانه ۳ تا ۱۶ درصد از مردم به دلیل تشعشعات ناشی از رادون و دختر هسته‌هایش به سرطان ریه مبتلا می‌شوند [۲ و ۳]. بر اثر واپاشی آلفایی رادون، دختر هسته‌های رادیواکتیوی تولید می‌شوند که به صورت گاز نیستند و در جداره‌های ریه رسوب می‌کنند، مانند پلوتونیوم ۲۱۴ و پلوتونیوم ۲۱۸ که سبب تخریب DNA می‌شوند [۵ و ۱۱] در جدول (۱) طیف انرژی رادون و تورون درج شده است.

جدول ۱: طیف انرژی آلفاهای گسیل‌شده از رادون و تورون [۶]

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

مطالعات دانشمندان بر روی بستر زمین نشان می‌دهد که میزان تراکم گاز رادون در نواحی دارای گسل فعال از سایر نقاط، معمولاً بیشتر است. حرکت این گاز از میان شکستگی‌های سنگ‌های بستر زمین به صورت انتشار مولکولی است [۳ و ۹].



شکل ۴: توزیع زمین‌لرزه‌ها در فصول مختلف سال برحسب ریشتر در استان خراسان شمالی



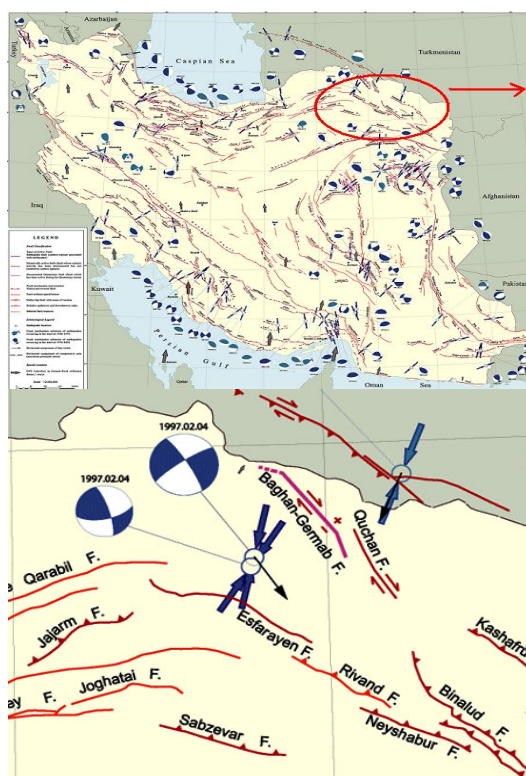
شکل ۵: توزیع زمین‌لرزه‌ها در فصول مختلف سال برحسب عمق (کیلومتر) در استان خراسان شمالی

در این تحقیق، برای اندازه‌گیری رادون به روش فعال پیوسته از دستگاه RTM1688 استفاده کرده‌ایم که غلظت گاز رادون براساس دختر هسته‌های آن که نیمه‌عمر کوتاه‌تری نسبت به رادون دارند، اندازه‌گیری کند. پس از واپاشی آلفایی رادون، دختر هسته پلوتونیوم باقی مانده به یک هسته باردار مثبت با نیمه‌عمر کوتاه تبدیل می‌شود. این یون‌ها تحت‌تأثیر یک میدان الکتریکی بر روی سطح یک آشکارساز نیمه‌هادی جمع می‌شوند و تعداد آن‌ها معرف غلظت گاز رادون است. زمان واپاشی پلوتونیوم ۲۱۸، ۱۸۵ ثانیه است [۷].

۳. نتایج و تحلیل

با استفاده از نقشه‌های جغرافیایی منطقه، روستاهای مسکونی در نزدیکی گسل‌ها شناسایی و به کمک دستگاه RTM1688 در محل‌های گوناگون با شرایط یکسان (کف دارای بستر طبیعی خاکی با دیواره‌های گلی و سقف چوبی با حداقل روزنه ورود و خروج هوا) اندازه‌گیری گاز رادون و تورون انجام پذیرفت. برای

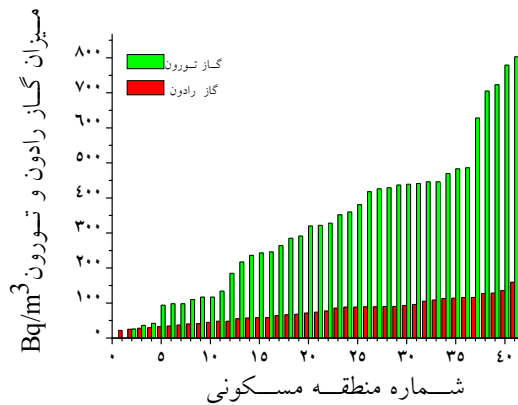
دلایل مختلف و فراوانی برای بروز زمین‌لرزه‌ها بیان شده است که یکی از مهم‌ترین عواملی که تاکنون ارتباط منطقی با زلزله داشته، وجود گسل‌هاست. می‌توان گفت که ایجاد گسل‌ها نتیجه فعالیت زمین‌لرزه‌هاست. معروف‌ترین گسل‌های فعال خراسان شمالی عبارت‌اند از: زون گسل اصلی، زون گسل بخاردن-قوچان، گسل باغان-گرماب، گسل اسفراین، گسل رباط قره بیل، گسل بجنورد و گسل جاجریم. در شکل (۳) نحوه قرارگرفتن گسل‌ها در شمال شرق ایران مشخص شده است [۱۴].



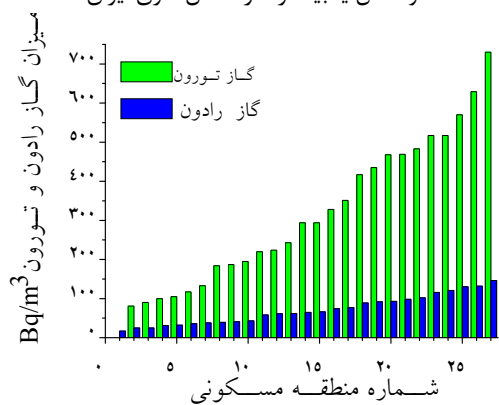
شکل ۳: نقشه گسل‌های خراسان شمالی

براساس آمار زمین‌لرزه‌ها در خراسان شمالی شهرهای فاروج و بجنورد و راز، بیشترین زمین‌لرزه‌ها را در یک دهه گذشته داشته‌اند. شدت این زمین‌لرزه‌ها بیشتر در حدود ۲ ریشتر در عمق متوسط ۱۰ تا ۲۰ کیلومتری زمین بوده است. بیشترین زمین‌لرزه هم از لحاظ زمان در ماه‌های اردیبهشت، مرداد، مهر، آبان و بهمن به وقوع پیوسته است [۱۴]. در شکل (۴) و (۵) متوسط توزیع زمین‌لرزه‌ها در شمال شرق ایران، برحسب شکل عمق و بزرگی در طی ۵ سال گذشته، در فصول مختلف سال نشان داده شده است.

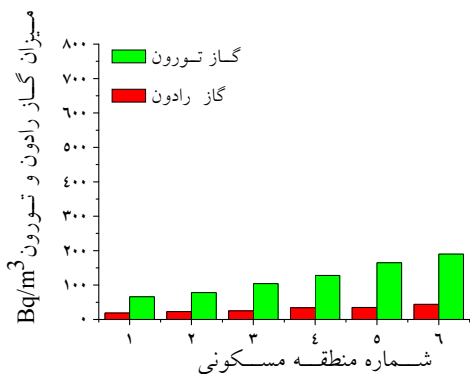
ترکمن و در صوفیان (بین سه گسل فعال بی نام)، در حوزه شهرستان شیروان روستای هنامه (روی گسل) و چپانلو (بین دو گسل بی نام) و در حوزه شهرستان فاروج روستاهای مایوان و اسفیجر (بین دو گسل) به ترتیب دارای بیشترین میزان تراکم رادون و تورون هستند.



شکل ۸: میزان گاز رادون و تورون در ۴۱ منطقه مسکونی نزدیک به دو گسل یا بیشتر، در شمال شرق ایران



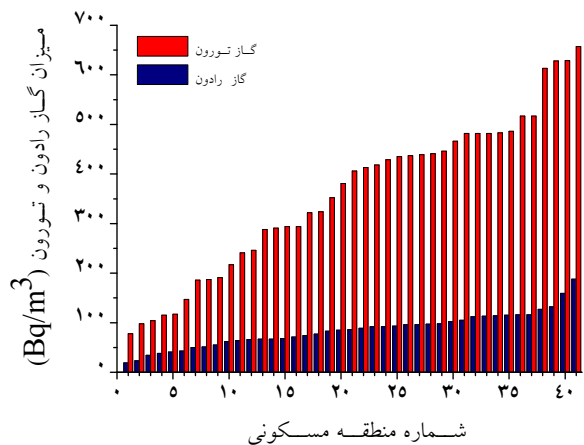
شکل ۹: میزان گاز رادون و تورون در ۲۷ منطقه مسکونی نزدیک به یک گسل، در شمال شرق ایران



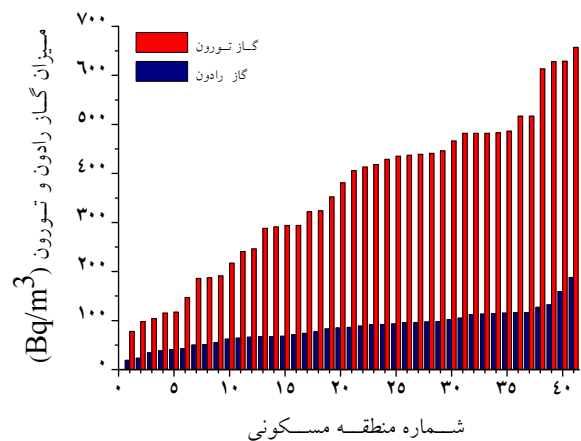
شکل ۱۰: میزان گاز رادون و تورون در ۶ منطقه مسکونی دور از گسل‌ها در شمال شرق ایران

افزایش دقت، اندازه‌گیری در چهار بازه زمانی در طول یک روز صورت گرفت.

این اندازه‌گیری‌ها در مناطق مسکونی و روستایی شهرهای بجنورد، شیروان، فاروج و حومه آن‌ها انجام شد. میزان تراکم گاز رادون و تورون اندازه‌گیری و مرتب‌شده برحسب کمترین تا بیشترین مقدار در شکل‌های ۶ و ۷ مرتب شده‌اند.



شکل ۶: مقدار گاز رادون و تورون در ۴۱ منطقه مسکونی بجنورد و حومه



شکل ۷: مقدار گاز رادون و تورون در ۵۹ منطقه مسکونی شیروان و فاروج و حومه

تغییرات گاز رادون و تورون برای مناطق مسکونی شمال شرق ایران در شکل‌های (۸) بین دو یا چند گسل، (۹) نزدیک یک گسل و (۱۰) دور از گسل درآورده شده است. بعد از اندازه‌گیری میزان غلظت دو گاز و مقایسه فاصله مکان‌های مسکونی از گسل‌ها مشاهده شد در حوزه شهرستان بجنورد روستاهای تنگه

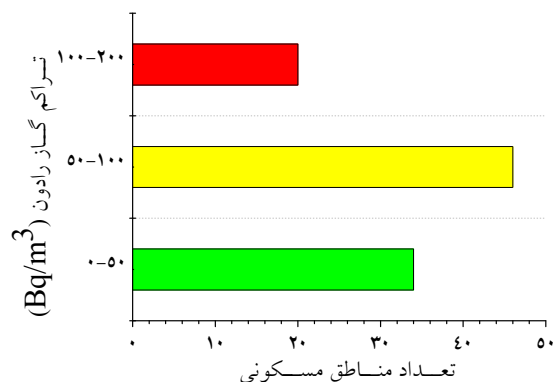
شکل ۱۲: بازه‌بندی تراکم تورون در ۱۰۰ منطقه مسکونی شمال شرق ایران

۴. نتیجه‌گیری

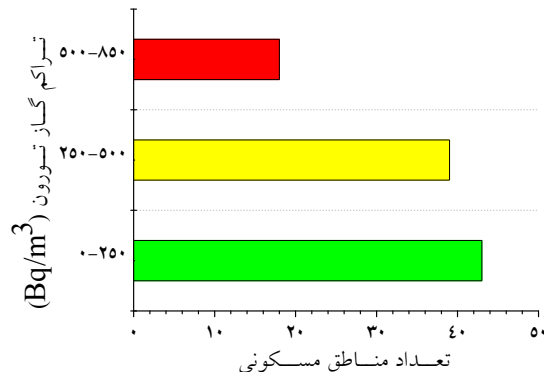
در بررسی‌ها مشخص شد مناطق بین چند گسل فعال، دارای تراکم رادون و تورون بیشتری نسبت به سایر نقاطند. در حدود ۸۰ درصد نمونه‌ها دارای غلظت رادون و تورون کمتر از حد مجاز و حدود ۲۰ درصد از نمونه‌ها دارای غلظت بالاتر از حد مجازند.

بیشترین غلظت گاز رادون و تورون به ترتیب 188 Bq/m^3 ، 803 Bq/m^3 و کمترین آن‌ها 17 Bq/m^3 ، صفر و میانگین غلظت آن‌ها در مناطق مسکونی اندازه‌گیری شده، به ترتیب $71/52 \text{ Bq/m}^3$ و $326/44 \text{ Bq/m}^3$ به دست آمد. همچنین مشخص شد که مناطق مسکونی با غلظت بالای حد مجاز یا بر روی گسل فعال واقع‌اند یا گسل‌های فعال آن‌ها را محصور کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که از پایش مداوم رادون و تورون می‌توان برای مطالعه فعالیت گسل‌ها و پیش‌بینی زلزله احتمالی در این منطقه استفاده کرد. جالب اینکه در اکثر مناطق، غلظت گاز تورون دو تا سه برابر گاز رادون و در برخی مناطق حتی خیلی بیشتر بوده است. علت این موضوع به ساختار زمین‌شناسی منطقه مربوط است.

در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) فراوانی نمونه‌ها در سه بازه غلظت رادون و تورون نشان داده شده است. دیده می‌شود که ۸۰ درصد نمونه‌ها دارای غلظت رادون کمتر از 100 Bq/m^3 (حد مجاز) و ۲۰ درصد از نمونه‌ها غلظتی بالاتر از این مقدار دارند. مطابق نتایج شکل (۱۲)، ۸۲ درصد نمونه‌ها دارای غلظت تورون کمتر از 500 Bq/m^3 و ۱۸ درصد از نمونه‌ها دارای غلظت بالاتر از این مقدارند.



شکل ۱۱: بازه‌بندی تراکم رادون در ۱۰۰ منطقه مسکونی شمال شرق ایران



۵. مراجع

- [1] A. Khan, H. Haseebullah. Indoor radioactive pollution due to radon and its daughters. Journal of Islamic Academy of Sciences 5(4) (1993) 249-255.
- [2] M. Abd El-Hady. Measurement of individual radon progeny in Egyptian underground coal mine and related lung doses. Egypt. J. Solids, 29(2) (2006) 383-391.
- [3] A.C. George. World history of Radon research and measurement from the early 1900's to today. AIP Conf. Proc. (2008) 1034, 20.
- [4] Health Canada's Ministerial Message released in November 2012: "Lung Cancer Awareness Month." Available at: http://www.hc-sc.gc.ca/ahc-asc/minist/messages/_2012/2012_11_01-eng.php, 2013.
- [5] International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Pergamon Press, New York, 1991.
- [6] International Commission on Radiological Protection, Limits for inhalation of radon daughters by workers: A Report of the International Commission on Radiological

- Protection: ICRP Publication 32, Pergamon Press, Oxford, 1981.
- [7] K.N. Yu, B.M.F. Lau, D. Nikezic. Assessment of environmental radon hazard using human respiratory tract models. *Journal of Hazardous Materials* 132 (2006) 98–110
- [8] S. Karimdoust, L. Ardebili. The Environmental Impact of Radon Emitted from Hot Springs of Sarein (A Touristic City Northwestern Iran). *World Applied Journal* 10(8) (2010) 930-935.
- [9] M.H. Shapiro. Comparison of radon monitoring techniques, the effects of thermoelastic strains on subsurface radon, and the development of a computer- operated radon monitoring network for earthquake prediction. U.S. Geological Survey Open Field report (1980) 80-896.
- [10] A.A. Mowlavi, M.R. Fornasier, A. Binesh, M. de Denaro. Indoor radon measurement and effective dose assessment of 150 apartments in Mashhad, Iran. *Environ. Monit. Assess.* 184(2) (2012)1085-8.
- [11] A.A. Mowlavi, A. Shabahrami, A. Binesh. Dose evaluation and measurement of radon concentration in some drinking water sources of the Ramsar region in Iran. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 45(3) (2009) 269–272.
- [12] S. Pavlides, A. Chatzipetros, E. Karakala. Soil gas radon: a tool for exploring active fault zones. *Applied Radiation and Isotopes* 59 (2003) 205-213.
- [13] Radon (Rn), Health Risks (2011); R.L. Fleischer, in: S.A. Durrani, R. Ilic (Eds.), *Radon Measurements by Etched Track Detectors*, World Scientific, Singapore.
- [۱۴] گزارش ده ساله سازمان زلزله نگاری و زمین شناسی کل کشور وابسته به مرکز ژئوفیزیک دانشگاه تهران، بهار ۹۳.