

اندازه‌گیری میزان گاز رادن در مناطق مختلف شهر تهران به همراه ارزیابی ریسک

مهشید شهبازی سحرانی^۱، سیامک بوداچه‌پور^{۱*}، محسن میرمحمدی^۲، احمدرضا حاجی‌زاده^۳

^۱ دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

^۲ دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۳ شرکت مهندسی مشاور ساحل، تهران، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۳۰ تیر ۱۳۹۶
بازنگری: ۱۷ آبان ۱۳۹۶
پذیرش: ۲ آذر ۱۳۹۶
ارائه آنلاین: ۸ آذر ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:

آلودگی هوا
محیط‌های بسته
گاز رادن
سرطان ریه
ارزیابی ریسک

چکیده: امروزه توسعه فناوری و استفاده از ابزارآلات گوناگون موجب افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی شده است. یکی از آلودگی‌های خطرناک محیط‌های بسته، گاز رادن (Rn-222) است. طبق گزارش سازمان حفاظت از محیط زیست (EPA) و بسیاری از سازمان‌های بین‌المللی دیگر، گاز رادن دومین عامل سرطان ریه پس از سیگار است. در این تحقیق، اندازه‌گیری گاز رادن در ۳۰ نقطه از شهر تهران و با استفاده از دستگاه اتافک نفوذی گاز رادن صورت گرفت. میانگین غلظت گاز رادن در شهر تهران، 104 Bq/m^3 به دست آمد؛ به گونه‌ای که حداکثر و حداقل غلظت به ترتیب برابر با $460/2 \text{ Bq/m}^3$ در غرب و کم‌تر از 31 Bq/m^3 در شمال تهران بودند. ارزیابی ریسک گاز رادن نیز با استفاده از روش EPA انجام شد. نتایج نشان داد نرخ مرگ و ریسک ناشی از سرطان ریه برای مردان و زنان سیگاری مستقل از سن، به ترتیب ۱۴ و ۱۲ برابر مردان و زنان غیرسیگاری است. در مجموع، خطر این نوع سرطان باید برای سنین بالاتر از ۷۰ و افراد سیگاری و به ویژه در زنان جدی‌تر پیگیری گردد.

۱- مقدمه

گاز رادن (Rn-222) یک پرتوزای طبیعی بدون رنگ، بدون بو و بدون مزه، با نقطه‌ی میعان -62 درجه‌ی سانتی‌گراد و چگالی ۸ برابر هوا است. این گاز محصولی از سری واپاشی اورانیوم در خاک و سنگ است که تقریباً در تمام دنیا وجود دارد [۱]. رادن ۲۷ ایزوتوپ دارد که از Rn-200 شروع و به Rn-226 ختم می‌شود. تمام این ایزوتوپ‌ها ناپایدارند و بعد از یک سری واپاشی‌ها با نیمه‌عمرهای مختلف، به حالت پایدار تبدیل می‌شوند. از میان همه ایزوتوپ‌ها، تنها Rn-220، Rn-219 و Rn-222 در طبیعت تولید می‌شوند [۲]. میانگین غلظت تشعشعات سالانه هر فرد که از منابع طبیعی دریافت می‌کند، $2/4 \text{ mSv}$ است که از این مقدار، $1/2 \text{ mSv}$ آن مربوط به پرتوگیری از گاز رادن است [۳]. محصولات واپاشی رادن، یعنی Po-218 با نیمه‌عمر $3/05$ دقیقه، Po-214 با نیمه‌عمر $0/0016$ دقیقه و نیز Pb-214 با نیمه‌عمر $26/8$ دقیقه و Bi-214 با نیمه‌عمر $19/7$ دقیقه همگی جامد هستند و با تنفس رادن و واپاشی آن در ریه، تولید شده و به سطح بافت آن

میچسبند. ذرات آلفای ناشی از واپاشی آنها باعث آسیب رساندن و احتمالاً بروز سرطان در افراد میشود. خطر بالقوه Po-218 و Pb-214 حدود ۲۰ برابر بیش از خود Rn-222 است [۴]. گاز رادن پس از سیگار، دومین عامل سرطان ریه است که بیش‌ترین میزان مرگ‌ومیر را در میان تمامی سرطان‌ها به خود اختصاص می‌دهد [۵-۷]. تقریباً ۹۰٪ سرطان‌های ریه در میان افراد سیگاری روی می‌دهند [۸]. تأثیر گاز رادن برای افراد سیگاری، بیش‌تر از غیرسیگاری‌ها است [۵ و ۹-۱۱]. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که خطر ابتلا به سرطان ریه برای افراد سیگاری که در معرض غلظت‌های بیش از حد رادن هستند، تقریباً ۲۵ برابر بیشتر از افراد غیر سیگاری است [۱۲]. توجه به این نکته که بیش‌تر سرطان‌های ریه ناشی از گاز رادن در میان کسانی روی می‌دهد که در معرض دود تنباکوی ناشی از سیگار نیز قرار دارند، بسیار مهم است [۱۳]. طبق بررسی‌های صورت گرفته، گاز رادن هر ساله مسئول ۲۱۰۰۰ مرگ ناشی از سرطان ریه در آمریکا است [۱۴]. مطالعات اخیر بر روی گاز رادن موجود در هوای بسته و سرطان ریه در اروپا، آمریکای شمالی و آسیا تأکید محکمی بر این موضوع دارند که تعداد قابل‌توجهی از سرطان‌های ریه به دلیل تنفس گاز رادن رخ می‌دهند [۱۷-۱۵]. فراسنج‌های

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: bodaghpour@kntu.ac.ir

زنجان بررسی کردند. ایشان متوسط غلظت گاز رادن را $130/57 \text{ Bq/m}^3$ محاسبه و اعلام نمودند که 60% مقادیر اندازه‌گیری شده، بالاتر از Bq/m^3 ۱۰۰ هستند [۲۹].

هدف از این پژوهش، اندازه‌گیری غلظت گاز رادن در شهر تهران و ارزیابی ریسک ناشی از آن در ایجاد سرطان ریه است که برای اولین بار در شهر تهران انجام شده است. هرچند که در کل ایران نیز نمونه این تحقیق کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به بالا بودن آمار سرطان در کشور ایران، بی شک تلاش برای یافتن دلایل این بیماری و نیز راهکارهای مقابله با آن ضروری است. به دلیل اهمیت اثرات منفی این گاز بر روی سلامتی انسان، در کشورهای پیشرفته از جمله آمریکا، مراکز تخصصی اندازه‌گیری، ارزیابی و کاهش گاز رادن وجود دارد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- اتاقت نفوذی گاز رادن AEOI

اتاقت نفوذی گاز رادن AEOI، در ایران طراحی و به طور وسیع در سنجش‌های محیطی مورد استفاده قرار گرفته است. اندازه‌گیری رادن توسط این اتاقت بر مبنای آشکارسازی ردپای هسته‌های از نوع لگزان است که به صورت یک قطعه فیلم در انتهای اتاقت قرار میگیرد. این اتاقت شامل یک ظرف استوانه‌ای پلاستیکی به قطر داخلی $46/6 \text{ mm}$ ، ارتفاع (با احتساب درب) $86/3 \text{ mm}$ و حجم داخلی 249 cm^3 است [۲۹]. این دستگاه، اندازه‌گیری گاز رادن را به روش غیرفعال انجام می‌دهد. شایان ذکر است که تحلیل این نمونه‌ها و به‌دست آوردن غلظت‌های گاز رادن از این اتاقت‌های نفوذی، توسط آزمایشگاه سازمان انرژی اتمی ایران صورت گرفته است.

۲-۲- ارزیابی ریسک

در این پژوهش، ارزیابی ریسک گاز رادن با استفاده از روش EPA انجام می‌شود. روشی که در ادامه توضیح داده خواهد شد، جدیدترین روش EPA به منظور محاسبه ریسک گاز رادن برای سلامتی است که بر پایه یافته‌های BEIR VI قرار دارد. ارزیابی‌ها بر اساس دو الگوی مختلف برای ریسک نسبی انجام می‌شود: ۱- الگوی غلظت و ۲- الگوی مدت. EPA ارزیابی‌های خود را بر پایه نوع مقیاسدار الگوی غلظت BEIR VI انجام می‌دهد. به منظور انجام ارزیابی ریسک، ۴ گام اصلی مورد نیاز است که در ادامه، به آن‌ها اشاره شده است.

گام اول: میزان مرگ و میر ناشی از سرطان ریه برای مردان و زنان سیگاری و غیرسیگاری. برای به‌دست آوردن این مقادیر، فرض می‌شود که این میزان (مستقل از سن) برای افراد سیگاری ۱۴ (برای مردان) و ۱۲ (برای زنان) برابر بیش‌تر از افراد غیرسیگاری است. سپس میزان مرگ ناشی از سرطان ریه از روی سهمیه‌های گروه‌های سنی مختلف در افراد سیگاری میان کل جمعیت شهر تهران به‌دست می‌آید [۱۱]:

هواشناسی، زمین‌شناسی، مواد و مصالح ساختمانی، نوع ساخت ساختمان‌ها و درجه تهویه، از جمله مهم‌ترین عوامل مؤثر بر میزان گاز رادن در هوای محیط‌های بسته هستند [۲۱-۱۸]. EPA مقدار مجاز این گاز را حداکثر برابر با 200 Bq/m^3 و WHO این میزان را برابر با 100 Bq/m^3 (برای محیط‌های بسته) اعلام نموده‌اند تا میزان خطر سلامتی ناشی از آن به کمترین میزان برسد [۲۲]. از آن‌جا که در ایران مقدار استاندارد برای غلظت این گاز اعلام نشده است، در این پژوهش، مبنای مقایسات، استاندارد WHO در نظر گرفته شده است.

ولوسو^۱ و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که از 8514 مرگ ناشی از این سرطان، حدود 18% تا 28% به دلیل تنفس رادن اتفاق افتاده است [۲۳]. ترویسی^۲ و همکاران (۲۰۱۲) غلظت گاز رادن موجود در هوای محیط‌های داخلی را در برخی مدارس جنوب شرقی ایتالیا اندازه‌گیری نمودند. غلظت متوسط سالانه گاز رادن در این مدارس، حدود 209 Bq/m^3 به‌دست آمد. 7% از این مدارس، دارای غلظت رادن بالاتر از 500 Bq/m^3 بودند که خطرات جدی سلامتی را در پی داشت [۲۴]. لی^۳ و همکاران (۲۰۱۳) میزان گاز رادن را در ۳ مدرسه اندازه‌گیری کردند. در این پژوهش مشخص شد یک مدرسه دارای غلظت گاز رادن بالاتر (648 Bq/m^3) از حد مجاز اعلام‌شده توسط EPA است و دو مورد دیگر در وضعیت عادی قرار دارند [۲۵]. سین^۴ و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که غلظت متوسط استنشاقی مشاهده شده در ۹۰ خانه مسکونی واقع در ۱۳ روستای مختلف در هند، $1/33 \pm 0/31$ تا $3/36 \pm 0/72 \text{ mSv/year}$ بوده که پایین‌تر از حد مجاز اعلام‌شده در سال ۲۰۱۱ توسط ICRP^۵ بود [۲۶]. حداد و همکاران (۲۰۰۷) میزان غلظت گاز رادن را در ۴ شهر لاهیجان، اردبیل، سرعین و نمین در یک دوره دو ساله مورد بررسی قرار دادند. ایشان برای اندازه‌گیری از دو روش فعال و غیرفعال استفاده کردند. میزان متوسط غلظت گاز رادن در این چهار شهر به ترتیب برابر با 163 ، 240 ، 160 و 144 Bq/m^3 به‌دست آمد. نتایج بیان‌گر غلظت بالای رادن در اردبیل و لاهیجان بود [۲۷]. جعفری‌زاده و همکاران (۲۰۱۴) به مطالعه میزان غلظت گاز رادن در برخی از منازل مسکونی کاشان پرداختند. منازل قدیمی‌تر از جنس خشت و گل و منازل جدیدتر از جنس آجر و سیمان انتخاب شدند. ایشان از دستگاه AEOI به منظور اندازه‌گیری رادن استفاده کردند. میزان متوسط غلظت در فصل زمستان، پاییز، بهار و تابستان به ترتیب برابر با 127 ، 108 ، 96 و 85 Bq/m^3 محاسبه شد. نتایج نشان داد که 95% از منازل غلظت پایین‌تر از 300 Bq/m^3 (حد مجاز اعلام شده توسط ICRP) دارند [۲۸]. توکلی و همکاران (۲۰۱۷) میزان این گاز را با استفاده از آشکارساز SSNTD و در شهرستان طارم واقع در استان

1 Environmental Protection Agency

2 World Health Organization

3 Veloso

4 Trevisi

5 Lee

6 Singh

7 International Commission on Radiological Protection

که در آن:

$$\begin{aligned} \beta^* &= 0.0561 & x < 55y \\ \beta^* &= 0.0292 & 55y \leq x < 65y \\ \beta^* &= 0.0157 & 65y \leq x < 75y \\ \beta^* &= 0.0073 & x \geq 75y \end{aligned}$$

گام چهارم: میانگین‌گیری ریسک ناشی از مرگ و میر سرطان ریه در گروه‌های سنی مختلف. میزان مرگ و میر مازاد ناشی از سرطان ریه در گروه‌های سنی مختلف باید محاسبه شوند تا ارزیابی‌های ریسک را برای مردان و زنان سیگاری و غیرسیگاری ارائه دهند. رابطه‌ای که برای محاسبه میزان ریسک بر WLM استفاده می‌شود، به صورت زیر است [۲۳]:

$$RWLM = \frac{ERR_x \times N_{x,s}}{1 + ERR_x} \quad (6)$$

که در آن RWLM میزان ریسک بر $N_{x,s}$ ، WLM تعداد کل مرگ‌های ناشی از سرطان ریه در سن a و جنسیت s است. غلظت محصولات گاز رادن معمولاً در سطوح فعالیت (WL) آن‌ها توصیف می‌شوند. یک WL برابر است با هر ترکیبی از دختران رادن با طول عمر کم در یک لیتر هوا که در نهایت منجر به رهاسازی $1.05 \times 10^3 / 3$ میلیون الکترون‌ولت انرژی آلفا می‌گردد. میزان آشکارسازی در WL ۱ برای ۱۷۰ ساعت، به صورت WLM ۱ تعریف می‌شود.

۳- نتایج و بحث

برای انجام این پروژه، تعداد ۳۰ اتاقک نفوذی AEOI از سازمان انرژی اتمی کشور تهیه و در ۳۰ نقطه از شهر تهران جایگذاری گردید؛ به این ترتیب که این شهر به ۵ بخش شمال، جنوب، شرق، غرب و مرکز تقسیم شد و در هر قسمت به صورت پراکنده، ۶ دستگاه به مدت حدود ۳ ماه در منازل قرار گرفت (شکل ۱). یکی از نمونه‌های واقع در جنوب تهران، مفقود شده و به همین دلیل در محاسبات در نظر گرفته نشده است. توجه به این موضوع که افراد به طور معمول بخش عمده‌ای از زمان خود را در محیط‌های بسته سپری می‌کنند، موجب شد تا در این تحقیق، نمونه‌های اندازه‌گیری در محیط‌های بسته مسکونی قرار داده شوند. مکان و غلظت گاز رادن در نقاط مختلف شهر تهران در جدول ۱ مطرح شده است. نتایج بر حسب واحد/Bq m^3 می‌باشد.

$$h_{pop}(x) = (1 - p(x))h_{NS}(x) + p(x)h_{ES}(x) \quad (1)$$

که در آن $h_{POP}(x)$ ، $h_{ES}(x)$ ، $h_{NS}(x)$ به ترتیب برابر با میزان مرگ ناشی از سرطان ریه برای افراد غیرسیگاری، افراد سیگاری و کل جمعیت؛ $p(x)$ میزان کسر افراد سیگاری در سن x است. اگر RR برابر با ریسک نسبی مربوط به سیگار کشیدن (یعنی ۱۴ برای مردان و ۱۲ برای زنان) و نیز جان‌نشینی برای $h_{ES}(x)$ تعریف شود، آن‌گاه [۱۱]:

$$h_{NS}(x) = h_{pop}(x) \left[(1 - p(x)) + p(x) \cdot RR \right]^{-1} \quad (2)$$

از معادله ۲ برای محاسبه میزان مرگ در افراد غیر سیگاری استفاده می‌شود؛ در حالی که برای افراد سیگاری، رابطه‌ی زیر به کار می‌رود [۱۱]:

$$h_{ES}(x) = RR \cdot h_{NS}(x) \quad (3)$$

با توجه به آمار افراد سیگاری شهر تهران که از وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی تهیه شد، فرض بر این است که ۵۶/۵٪ مردان و ۴۳٪ زنان بالای ۱۸ سال سیگاری هستند.

گام دوم: انتخاب یک الگوی ریسک نسبی. برای الگوسازی ریسک‌های نسبی، نسخه‌ی مقیاس‌دار الگوی غلظت که یکی از دو الگوی مورد استفاده BEIR VI بود، به کار گرفته شد. نتایج، مقیاسی در ارزیابی‌های ریسک طولانی‌مدت، بین دو گروه نتایجی بود که از دو الگوی غلظت و مدت مورد استفاده توسط BEIR VI به دست می‌آمد.

گام سوم: به کارگیری الگوهای غلظت و مدت. الگوی غلظت BEIR VI نشان می‌دهد که ریسک نسبی مازاد (۱- ریسک نسبی) = ریسک نسبی مازاد) به زمان (از موقع تماس)، سن و غلظت در تماس قرار گرفتن بستگی دارد. رابطه زیر این موضوع را نشان می‌دهد [۱۱]:

$$ERR = \beta^* (w_{5-14} + 0.78w_{15-24} + 0.51w_{25+}) \quad (4)$$

که در آن:

$$\begin{aligned} \beta^* &= 0.0760 & x < 55y \\ \beta^* &= 0.0438 & 55y \leq x < 65y \\ \beta^* &= 0.0223 & 65y \leq x < 75y \\ \beta^* &= 0.0069 & x \geq 75y \end{aligned}$$

ERR نشان‌دهنده ریسک نسبی مازاد، x سن، β^* ثابت ریسک و w فرصت تماس با گاز رادن است.

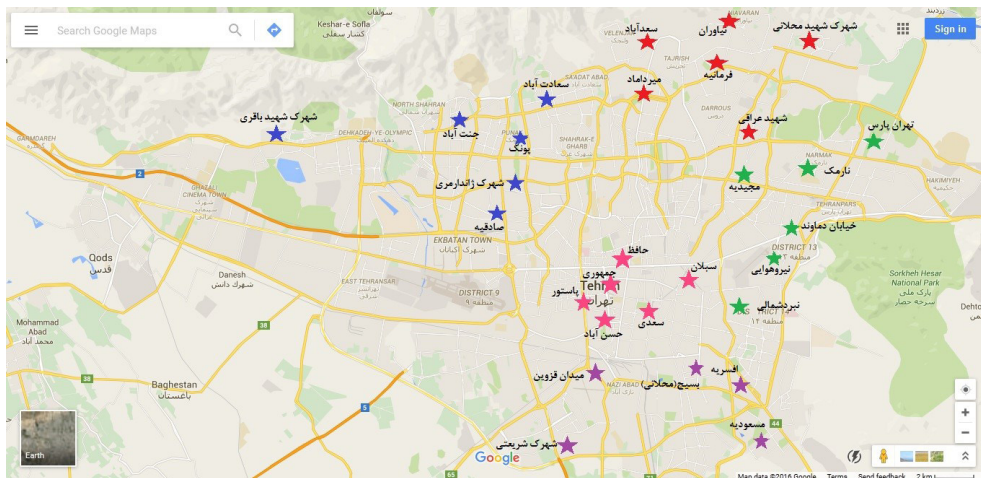
برای میزان تماس‌های ثابت و نیز سنین بیش‌تر از ۳۵ سال، الگوی مدت به شکل زیر نوشته می‌شود [۱۱]:

$$ERR = \beta^* (w_{5-14} + 0.72w_{15-24} + 0.44w_{25+}) \quad (5)$$

جدول ۱. مکان و غلظت گاز رادن در شهر تهران (Bq/m^3)

Table. 1. The names of the places and their radon concentrations (Bq/m^3)

نام محل (شمال)	شهید عراقی	نیاوران	فرمانیه	سعدآباد	میرداماد	مینی سیتی	میانگین غلظت
غلظت رادن	۳۰	۱۲۷/۲	۸۹/۴	۸۴/۱	۷۱/۷	۶۷/۵	۷۱/۹۶
نام محل (جنوب)	میدان قزوین	شهرک شریعتی	جنوب شرق	افسریه	بسیج	مسعودیه	
غلظت رادن	۳۸/۶	۲۵۹/۵	موجود نیست	۵۰/۹	۸۲/۱	۳۹/۶	۶۹/۸۱
نام محل (شرق)	نبرد شمالی	نیروهوایی	تهران پارس	مجیدیه	نارمک	خیابان دماوند	
غلظت رادن	۳۱/۹	۱۳۲/۳	۳۴	۹۶/۵	۱۱۱/۱	۱۲۱/۴	۷۵/۶۰
نام محل (غرب)	شهرک شهید باقری	سعادت آباد	شهرک ژاندارمری	پونک	صادقیه	جنت آباد	
غلظت رادن	۴۶۰/۲	۲۰۹/۳	۱۳۴/۶	۱۴۴/۵	۶۵/۲	۱۰۷/۵	۱۵۳/۶۰
نام محل (مرکز)	حسن آباد	سعدی	پاستور	جمهوری	سبلان	حافظ	
غلظت رادن	۶۲/۵	۵۱/۹	۴۵/۱	۷۹/۱	۱۰۴/۵	۸۳/۵	۶۸/۲۴



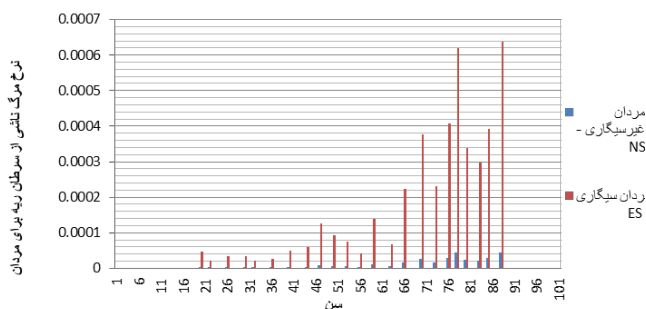
شکل ۱. پراکندگی نقاط اندازه‌گیری در کل شهر تهران

Fig. 1. Measurement locations in Tehran

با توجه به جدول ۱، ۳۸٪ نمونه‌ها، غلظتی بالاتر از $100 Bq/m^3$ (استاندارد تعیین شده توسط WHO) دارند.

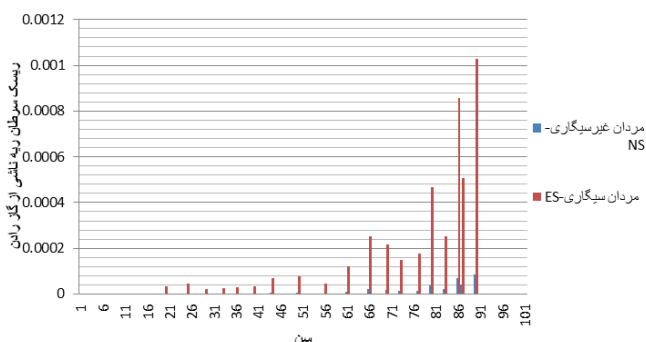
به طور کلی، میانگین غلظت گاز رادن در غرب بیش‌ترین و در مرکز کمترین مقدار را دارد. شرق، شمال و جنوب شهر نیز به ترتیب رتبه دوم تا چهارم حداکثر غلظت را کسب کردند. در مجموع نتیجه می‌شود مناطق

شهید عراقی، نبرد شمالی و تهران پارس با غلظت‌های کم‌تر از Bq/m^3 و $31 m^3$ و $31/9 Bq/m^3$ و $34 Bq/m^3$ ، به ترتیب کم‌ترین غلظت‌های گاز رادن را در کل نمونه‌ها دارند؛ در حالی که شهرک شهید باقری، شهرک شریعتی و سعادت آباد با غلظت‌های $460/2 Bq/m^3$ ، $259/5 Bq/m^3$ و $209/3 Bq/m^3$ ، به ترتیب بیش‌ترین غلظت‌ها را به خود اختصاص می‌دهند.



شکل ۳. نرخ مرگ ناشی از سرطان ریه برای مردان به تفکیک وضعیت سیگاری بودن و سن

Fig. 3. Lung cancer death rates for ES and NS males



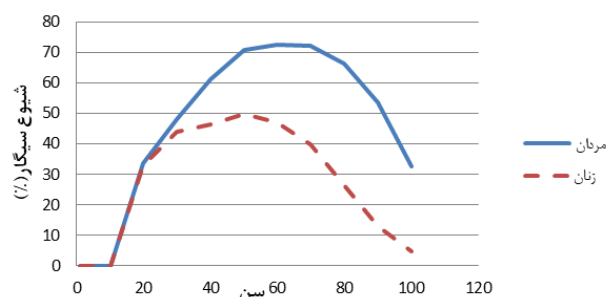
شکل ۴. ریسک سرطان ریه برای مردان به تفکیک وضعیت سیگاری بودن و سن

Fig. 4. Age-specific excess relative risks for ES and NS males

شکل ۴ نشان می‌دهد حداکثر ریسک سرطان ریه برای مردان غیرسیگاری و سیگاری در شهر تهران، در سن ۷۰ سالگی روی می‌دهد که به ترتیب برابر با $6/18 \times 10^{-6}$ و $8/6579 \times 10^{-5}$ است. در نتیجه، نرخ این ریسک برای مردان سیگاری، ۱۴ برابر مردان غیرسیگاری است. با توجه به شکل ۴، ریسک سرطان ریه نیز برای مردان در سنین پایین‌تر از ۴۰، کم‌تر اتفاق می‌افتد. در میان مردان غیرسیگاری در سنین پایین‌تر از ۴۰، این نرخ تقریباً برابر با صفر می‌باشد. با توجه به این موارد، ریسک ناشی از این نوع سرطان برای سنین بالاتر و نیز افراد سیگاری خطرناک‌تر خواهد بود.

مرکز و جنوب به ترتیب در وضعیت مناسب‌تری نسبت به مناطق دیگر قرار می‌گیرند.

میزان جمعیت شهر تهران به تفکیک سن و جنس، از مرکز آمار ایران و تعداد افراد سیگاری و نیز تعداد مرگ و میر ناشی از سرطان ریه به تفکیک سن و جنس در شهر تهران در سال ۱۳۹۰ (آخرین داده‌های موجود)، از وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی تهیه شدند. با استفاده از داده‌های مربوط به افراد سیگاری، نمودار شیوع سیگار در میان زنان و مردان قابل ترسیم است (شکل ۲).



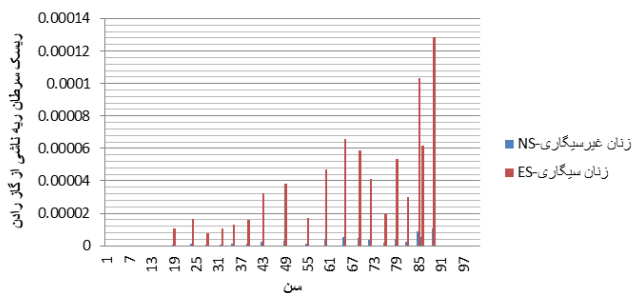
شکل ۲. شیوع سیگار در شهر تهران به تفکیک سن و جنس در سال ۱۳۹۰

Fig. 2. Ever smoking prevalence in Tehran, 2011

حداکثر شیوع سیگار برای زنان در حدود سن ۵۰ و برای مردان در حدود ۶۲ سالگی اتفاق می‌افتد.

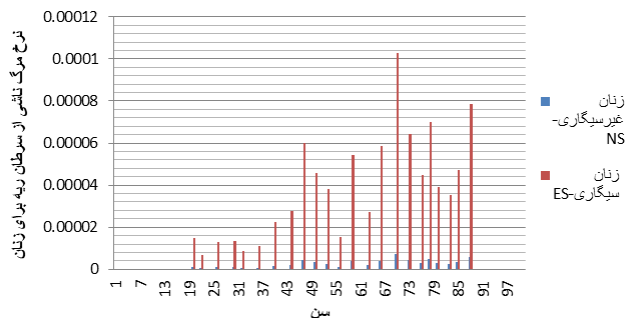
برای انجام ارزیابی ریسک، نیاز است تا میزان غلظت گاز رادن اندازه‌گیری شده در نقاط مختلف شهر تهران بر حسب Bq/m^3 ، به واحد WLM/y تبدیل شوند. متوسط غلظت گاز رادن در شهر تهران با توجه به داده‌های موجود، $0/327 WLM/y$ به‌دست آمده و محاسبات بر این پایه انجام شده است.

باتوجه به شکل ۳، حداکثر نرخ مرگ ناشی از سرطان ریه برای مردان غیرسیگاری و سیگاری در شهر تهران، در سن ۸۸ سالگی اتفاق می‌افتد که به ترتیب برابر با $4/546 \times 10^{-5}$ و $6/3645 \times 10^{-4}$ است. بنابراین نرخ این مرگ برای مردان سیگاری، ۱۴ برابر مردان غیرسیگاری است. همچنین مرگ ناشی از سرطان ریه برای مردان در سنین پایین‌تر از ۴۰، کم‌تر اتفاق می‌افتد. برای مردان غیرسیگاری در سنین پایین‌تر از ۴۰، این نرخ ناچیز و تقریباً برابر با صفر می‌باشد. بنابراین، خطر این نوع سرطان باید برای سنین بالاتر و نیز افراد سیگاری به طور جدی‌تری پیگیری گردد.



شکل ۶. ریسک سرطان ریه برای زنان به تفکیک وضعیت سیگاری بودن و سن

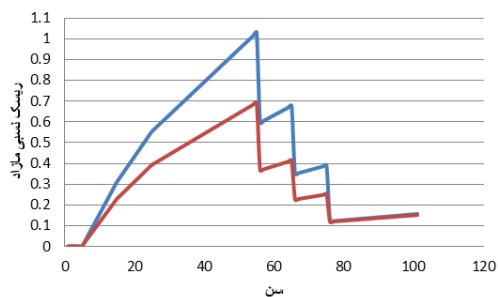
Fig. 6. Age-specific excess relative risks for ES and NS females



شکل ۵. نرخ مرگ ناشی از سرطان ریه برای زنان به تفکیک وضعیت سیگاری بودن و سن

Fig. 5. Lung cancer death rates for ES and NS females

با توجه به شکل‌های ۳ تا ۶، به طور معمول، خطر ابتلا به سرطان در اثر گاز رادن، برای زنان سیگاری و در سنین بالاتر از ۷۰ نمود بیش‌تری دارد. به طور کلی مشخص شد که میزان گاز رادن استنشاقی با میزان سرطان ریه، به ویژه در افراد سیگاری، ارتباط معناداری دارد. میزان ریسک نسبی مازاد مستقل از جنسیت است. نمودار ریسک نسبی مازاد^۱ به دو روش الگوی غلظت و مدت در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷. ریسک نسبی مازاد (الگوی غلظت) به تفکیک سن در مواجهه با غلظت $WLM/y327/0$

Fig. 7. Age-specific excess relative risks (based on concentration and duration model) from a constant radon exposure at rate 0.327 WLM/y

با توجه به شکل ۵، حداکثر نرخ مرگ ناشی از سرطان ریه برای زنان غیرسیگاری و سیگاری در شهر تهران، در سن ۸۹ سالگی اتفاق می‌افتد و به ترتیب برابر با $10^{-5} \times 8/5616$ و $10^{-3} \times 1/0.274$ است. نرخ این مرگ برای زنان سیگاری، ۱۲ برابر زنان غیرسیگاری است. بر اساس شکل ۳ و ۵، این نرخ برای زنان غیرسیگاری و سیگاری به ترتیب حدود ۴ و ۱/۵ برابر مردان غیرسیگاری و سیگاری است. بنابراین به طور کلی زنان در بیشتری نسبت به مردان قرار دارند. مرگ ناشی از سرطان ریه برای زنان در سنین پایین‌تر از ۴۰، کم‌تر مشاهده می‌شود. برای زنان غیرسیگاری در سنین پایین‌تر از ۴۰، این نرخ تقریباً برابر با صفر است. بنابراین خطر این نوع سرطان در سنین بالاتر و نیز افراد سیگاری به طور قابل ملاحظه‌ای بیش‌تر خواهد بود.

با توجه به شکل ۶ حداکثر ریسک سرطان ریه برای زنان غیرسیگاری و سیگاری در شهر تهران، در سن ۸۹ سالگی مشاهده می‌شود که به ترتیب برابر با $10^{-6} \times 8/7482$ و $10^{-4} \times 1/0.498$ است. بنابراین نرخ این ریسک برای زنان سیگاری، ۱۲ برابر زنان غیرسیگاری است. این ریسک‌ها در مقایسه با ریسک‌های مرگ و میر برای مردان که به ترتیب $10^{-6} \times 6/18$ و $10^{-5} \times 8/6579$ بودند، بیش‌تر هستند. ریسک برای زنان غیرسیگاری و سیگاری تقریباً ۱/۵ برابر مردان غیرسیگاری و سیگاری است. بنابراین به طور کلی زنان در خطر بیشتری نسبت به مردان قرار دارند. ریسک ناشی از سرطان ریه برای زنان در سنین پایین‌تر از ۴۰، کم‌تر است. برای زنان غیرسیگاری در سنین پایین‌تر از ۵۰، این نرخ ناچیز هستند. بنابراین، نتیجه می‌شود این نوع سرطان در سنین بالاتر و افراد سیگاری جدی‌تر بوده و تبعات بیش‌تری به همراه دارد.

۴- نتیجه گیری

با توجه به اهمیت گاز رادن، برای انجام این پژوهش ۳۰ عدد اتاقک نفوذی از سازمان انرژی اتمی کشور تهیه شد. این دستگاه‌ها در ۳۰ نقطه از شهر تهران قرار گرفتند. با توجه به این موضوع که افراد به طور معمول بخش عمده‌ای از زمان خود را در محیط‌های بسته سپری می‌کنند، در این تحقیق نمونه‌های اندازه‌گیری، در محیط‌های بسته‌ی مسکونی قرار داده شدند.

نتایج حاصل نشان داد شهید عراقی با غلظت کمتر از 31 Bq/m^3 کم‌ترین و شهرک شهید باقری با غلظت $460/2 \text{ Bq/m}^3$ بیش‌ترین غلظت گاز رادن را در میان کل نمونه‌ها دارند.

با توجه به جدول ۱، ۳۸٪ نقاط، غلظتی بالاتر از 100 Bq/m^3 (استاندارد تعیین‌شده توسط WHO) دارند. به طور کلی، میانگین غلظت گاز رادن در غرب بیش‌ترین و در مرکز کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص می‌دهند. در مجموع، مناطق مرکز و جنوب به ترتیب در وضعیت مناسب‌تری نسبت به مناطق دیگر قرار دارند.

داده‌های مربوط به میزان جمعیت به تفکیک سن و جنس، از مرکز آمار ایران و تعداد افراد سیگاری و نیز تعداد مرگ و میر ناشی از سرطان ریه به تفکیک سن و جنس در برای سال ۱۳۹۰ از وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی تهیه شدند.

در این پژوهش، مشخص شد که حداکثر نرخ مرگ ناشی از سرطان ریه برای مردان غیرسیگاری و سیگاری در شهر تهران، در سن ۸۸ سالگی اتفاق می‌افتد؛ درحالی‌که حداکثر ریسک سرطان ریه برای مردان سیگاری و غیرسیگاری در سن ۷۰ سالگی روی می‌دهد. نرخ این ریسک برای مردان سیگاری، ۱۴ برابر مردان غیرسیگاری است.

هم‌چنین حداکثر نرخ مرگ ناشی از سرطان ریه و نیز حداکثر ریسک سرطان ریه برای زنان غیرسیگاری و سیگاری در سن ۸۹ سالگی مشاهده شد. نرخ این ریسک برای زنان سیگاری، ۱۲ برابر زنان غیرسیگاری است. در مجموع نتایج نشان می‌دهند که به طور معمول، خطر ابتلا به سرطان در اثر گاز رادن، برای زنان سیگاری و در سنین بالاتر از ۷۰ نمود بیش‌تری دارد.

۴-۱- راه کارهایی برای کاهش گاز رادن

بر اساس پژوهش‌های انجام شده، راه کارهای زیر برای کاهش گاز رادن توصیه می‌شود:

۱. نصب دستگاه کاهش فشار هوای دارای تخته‌های بتنی (یا غشای زیرین).
۲. استفاده از عایق‌های مکانیکی برای ورود گازهای خاک.
۳. کاهش تأثیر توده‌ای.
۴. نصب دستگاه‌های توزیع هوا به گونه‌ای که هوای خاک در زیرزمین جمع نشده باشد.
۵. لایه‌ی نفوذپذیر گاز.

۶. لوله‌های هواکش.

۷. آب‌بندی درز و ترک‌ها.

۸. استفاده از سنگ‌های درشت (گراول) در پی.

۹. کف‌پوش جمع‌آوری گازهای خاک [۳۰].

در تمامی این راه کارها، سعی بر کاهش میزان درز و ترک در ساختمان‌ها و نیز جمع‌آوری گاز رادن پیش از ورود به آن‌هاست.

امید است که در کشور ایران و در آینده‌ای نزدیک، به گاز رادن به طور جدی‌تر پرداخته شود و این راه کارها و نیز روش‌های تکمیلی در جهت کاهش میزان این گاز خطرناک در محیط‌های بسته و منازل مورد استفاده قرار گیرند. توصیه می‌شود در ایران به این موضوع، اهمیت بیش‌تری داده شده و اندازه‌گیری این گاز در کل مناطق کشور انجام شود. در این صورت، امکان تهیه نقشه غلظت گاز رادن وجود خواهد داشت که می‌توان از آن به منظور جلوگیری از بروز سرطان ریه و سایر مشکلات سلامتی ناشی از گاز رادن استفاده نمود.

۵- تشکر و قدردانی

در نهایت از همکاری آزمایشگاه سازمان انرژی اتمی ایران در پیش‌روی این پژوهش، تشکر می‌نماید.

۶- فهرست علائم

علائم انگلیسی

Bq/m^3 بکرل بر متر مکعب (واحد غلظت)

ERR ریسک نسبی مازاد

h میزان مرگ ناشی از سرطان ریه

N تعداد کل مرگ‌های ناشی از سرطان ریه

p میزان کسر افراد سیگاری

RR ریسک نسبی مربوط به سیگار کشیدن

RWLM ریسک بر سطح کاری

w فرصت تماس با گاز رادن

WL سطح کاری

x سن

علائم یونانی

β^* ثابت ریسک

زیرنویس

a سن

ES افراد سیگاری

NS افراد غیرسیگاری

pop کل جمعیت

S جنسیت
X سن
Y سال

مراجع

- Fisher, J.S. Neuberger, C.E. Platz, R.A. Robinson, R.F. Woolson, C.F. Lynch, Residential radon gas exposure and lung cancer: the Iowa Radon Lung Cancer Study, *American Journal of Epidemiology*, 151(11) (2000) 1091-1102.
- [16] E. Lazo, R. Smith, R. Coates, R. Andersen, Y. Asano, C.-L. Chapple, K. Faulkner, A. Hefner, M. Hill, R. Jones, The state of radiological protection; views of the radiation protection profession: IRPA13, Glasgow, May 2012, *Journal of Radiological Protection*, 32(4) (2012) 489.
- [17] W.H. Organization, Proceedings of IRPA12: 12. Congress of the International Radiation Protection Association: Strengthening Radiation Protection Worldwide-Highlights, Global Perspective and Future Trends, (2010).
- [18] M. Faheem, Radon exhalation and its dependence on moisture content from samples of soil and building materials, *Radiation Measurements*, 43(8) (2008) 1458-1462.
- [19] G. Kropat, F. Bochud, M. Jaboyedoff, J.-P. Laedermann, C. Murith, M. Palacios, S. Baechler, Major influencing factors of indoor radon concentrations in Switzerland, *Journal of environmental radioactivity*, 129 (2014) 7-22.
- [20] F. Malik, M. Rafique, Indoor radon monitoring near an in situ leach mining site in D G Khan, Pakistan, *Journal of Radiological Protection*, 32(4) (2012) 427.
- [21] M. Müllerová, K. Holý, Study of Relation between Indoor Radon in Multi-storey Building and Outdoor Factors, in: AIP Conference Proceedings, AIP, 2010, pp. 161-162.
- [22] W.H. Organization, WHO handbook on indoor radon: a public health perspective, World Health Organization, 2009.
- [23] B. Veloso, J.R. Nogueira, M.F. Cardoso, Lung cancer and indoor radon exposure in the north of Portugal—an ecological study, *Cancer epidemiology*, 36(1) (2012) e26-e32.
- [24] R. Trevisi, F. Leonardi, C. Simeoni, S. Tonnarini, M. Veschetti, Indoor radon levels in schools of South-East Italy, *Journal of environmental radioactivity*, 112 (2012) 160-164.
- [25] J.M. Lee, C.H. Park, S.J. Kim, J.H. Moon, Investigation of the areas of high radon concentration in Gyeongju, *Applied Radiation and Isotopes*, 81 (2013) 248-254.
- [26] P. Singh, S. Singh, B. Sahoo, B. Sapra, B. Bajwa, A study of indoor radon, thoron and their progeny measurement in Tosham region Haryana, India, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 8(2) (2015) 226-233.
- [1] P. Hystad, M. Brauer, P.A. Demers, K.C. Johnson, E. Setton, A. Cervantes-Larios, K. Poplawski, A. McFarlane, A. Whitehead, A.-M. Nicol, Geographic variation in radon and associated lung cancer risk in Canada, *Can J Public Health*, 105(1) (2014) 4-10.
- [2] T.M. Dyess, Radon in building. Environmental analysis and remediation, 1998.
- [3] U.N.S.C.o.t.E.o.A. Radiation, Sources and effects of ionizing radiation: sources, United Nations Publications, 2000.
- [4] L.A. Owen, K.T. Pickering, An introduction to global environmental issues, Routledge, 2006.
- [5] M. Al-Zoughool, D. Krewski, Health effects of radon: a review of the literature, *International journal of radiation biology*, 85(1) (2009) 57-69.
- [6] U.D.o. Health, H. Services, Surgeon General releases national health advisory on radon, Washington, DC: US Department of Health and Human Services, (2005).
- [7] R.L. Siegel, K.D. Miller, A. Jemal, Cancer statistics, 2015, *CA: a cancer journal for clinicians*, 65(1) (2015) 5-29.
- [8] O. Catelinois, A. Rogel, D. Laurier, S. Billon, D. Hemon, P. Verger, M. Tirmarche, Lung cancer attributable to indoor radon exposure in france: impact of the risk models and uncertainty analysis, *Environmental health perspectives*, 114(9) (2006) 1361.
- [9] In re TMI Litigation, in: F. 3d, Court of Appeals, 3rd Circuit, 1999, pp. 613.
- [10] A. Enflo, Lung cancer risks from residential radon among smokers and non-smokers, *Journal of Radiological Protection*, 22(3A) (2002) A95.
- [11] P.U. Environmental, Agency. EPA assessment of risks from radon in homes. EPA 402-R-03-003. Washington, (2003).
- [12] R. Chauhan, Radon exhalation rates from stone and soil samples of Aravali hills in India, *Iranian Journal of Radiation Research*, 9(1) (2011) 57-61.
- [13] P.M. Lantz, D. Mendez, M.A. Philbert, Radon, smoking, and lung cancer: the need to refocus radon control policy, *American journal of public health*, 103(3) (2013) 443-447.
- [14] U.E.P. Agency(EPA), News Releases By State. Radon Action Could Save Many Lives in, 2009.
- [15] R.W. Field, D.J. Steck, B.J. Smith, C.P. Brus, E.L.

- [29] A. Tavakoli, A. Parizanganeh, Y. Khosravi, P. Hemmati, Study of Radon Concentration of dwellings in Tarom, Zanjan, Iran, *Iranian Journal of Health and Environment* 10(1) (2017) 115-124(in Persian).
- [30] B.R. Out, a Step-by-step Guide on How to Build Radon-resistant Homes, in, USA EPA/402-K-01-002, 2001.
- [27] K. Hadad, R. Doulatdar, S. Mehdizadeh, Indoor radon monitoring in Northern Iran using passive and active measurements, *Journal of Environmental Radioactivity*, 95(1) (2007) 39-52(in Persian).
- [28] M. Jafarizadeh, M. Zahedifar, M. Taheri, S. Baradaran, Radon Measurement of some dwellings in Kashan, Iran. *Iranian Journal of Radiation Safety and Measurement*, 2 (2014) 37-41(in Persian).

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

M. Shahbazi Sehrani, S. Boudaqpoor, M. Mirmohammadi, A. R. Hajizadeh, Radon Gas Concentration Measurement and Assessment of Health Risk in Tehran, Iran, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 51(1) (2019) 109-118.

DOI: 10.22060/ceej.2017.13176.5343



