

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشگاه محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران

مرور ساختاریافته مطالعات ملی پایش رادون

محرران طرح: دکتر محمد صادق حسوند- دکتر کاظم زندانی

عنوان گزارش

مرور ساختار یافته مطالعات ملی پایش رادون

مرکز بحری

مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران

محرران

دکتر محمد صادق حسوند - دکتر کاظم زندانی

همکاران

دکتر محمد رضا کاردان (گروه پژوهشی حفاظت پرتوی و ایمنی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران)

مهندس منصور جعفری زاده (گروه پژوهشی حفاظت پرتوی و ایمنی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران)

مهندس ساسان فریدی

مهندس فاطمه مومنی‌ها

دکتر نعمت‌الله... جعفرزاده حقیقی

تقدیر و تشکر

این مطالعه با حمایت مالی پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران با کد طرح ۹۳-۰۳-۴۶-۲۷۰۵۱ در مرکز تحقیقات آلودگی هوا به انجام رسیده که بدین وسیله از پژوهشکده محیط زیست و مرکز تحقیقات آلودگی هوا تشکر و قدردانی بعمل می‌آید.

خلاصه اجرایی

این طرح مطالعه مروری ساختار یافته، با هدف بررسی و مرور مطالعات انجام شده در زمینه میزان غلظت رادون در هوای داخل محیط‌های مسکونی در ایران و مطالعات ملی انجام شده در سایر نقاط دنیا تعریف و اجرا شده است. در ابتدا جهت گردآوری گزارشات فارسی، مطالعات انجام شده در ایران با استفاده از کلید واژه‌های "رادون، رادون، ^{222}Rn "، گاز رادون، هوای داخل، محیط بسته، منازل مسکونی و ایران" در پایگاه‌های اینترنتی *Google scholar*, *Iran medex*, *Magiran*, *SID*, *Irاندو*، سازمان انرژی اتمی ایران و وزارت بهداشت تا ۳۱ ژانویه ۲۰۱۵ جستجو انجام شد و در مرحله اول ۳۵۳ عنوان مطالعه فارسی پیدا شد که از این بین و با توجه به موجود بودن چکیده آنها تنها ۲۰ مطالعه فارسی مرتبط که در آنها گاز رادون در داخل هوای داخل منازل پایش شده بود مورد بررسی نهایی و محتوایی قرار گرفت.

همچنین به منظور جستجوی مطالعات انگلیسی زبان در ایران و سایر کشورها در سطح ملی به صورت سیستماتیک از نمایه نامه‌های معتبرین الملی *ISI/Web of Science*, *Scopus*, *Pubmed/Medline* و *Google Scholar* استفاده شد. در این مرحله، در پایگاه‌های اینترنتی و با توجه به کلمات کلیدی تا ۳۱ ژانویه ۲۰۱۵ جستجو انجام شد و در مرحله اول ۶۶۹۳ عنوان مطالعه پیدا شد که پس از بررسی عنوان آنها حدود ۷۵۰ مطالعه انتخاب شد که چکیده آنها مطالعه گردید و در نهایت ۱۲۵ مطالعه بصورت کامل مورد بررسی نهایی و محتوایی قرار گرفت.

هر فرد سالانه بطور میانگین $2/8 \text{ mSv}$ پرتو دریافت می‌کند که حدود 85% آن ناشی از منابع طبیعی است؛ همچنین حدود 60% از کل دوز پرتوهای طبیعی ناشی از ایزوتوپ‌های رادون می‌باشد. رادون یک گاز پرتوزای طبیعی، بدون رنگ، بو و مزه است. از محصولات واپاشی سری اورانیم (^{238}U) تولید می‌شود و بطور طبیعی سه ایزوتوپ رادون (Rn) وجود دارد که عبارتند از ^{219}Rn (اکتینن)، ^{220}Rn (تورن) و ^{222}Rn که عمدتاً رادون نامیده می‌شود. اکتینن داری نیم عمر بسیار کوتاهی است (حدود ۳ ثانیه) و در مقایسه چشمگیری به داخل هوا منتشر نمی‌شود. تورن در داخل منازل نیز گزارش شده است و حدود 4% از کل میزان دوز دریافتی پرتوها را در انسان به خود اختصاص می‌دهد. رادون (^{222}Rn) مهمترین ایزوتوپ رادون است که نگرانی‌های زیادی در باره آن وجود دارد. رادون یکی از اصلی‌ترین عوامل پرتوزای یونساز در پرتوگیری عمومی می‌باشد. رادون مهمترین منبع پرتوی یونساز در بین دیگر منابع طبیعی به شمار می‌رود.

رادون به ذرات پرتوزای دیگری تجزیه می‌شود که می‌توانند از طریق تنفس وارد بدن شوند. استنشاق محصولات حاصل از تجزیه رادون با افزایش ریسک سرطان‌های دستگاه تنفسی بخصوص سرطان ریه در ارتباط است. اغلب رادون تنفس شده قبل از اینکه تجزیه شود و بافتها و سیستم تنفسی را پرتو دهد کند از طریق هوای بازدمی خارج می‌شود. بهرحال رادون به شکل ذرات بسیار ریز جامد پرتوزا نظیر پلونیوم-۲۱۸ (دختران رادون) که به ذرات هوا برود و معلق در هوا می‌چسبند تجزیه می‌شود. این ذرات حاوی مواد رادیواکتیو ممکن

است در هوا معلق و یا بر روی سطوح ترسب یابند. زمانیکه این ذرات وارد دستگاه تنفسی شوند با انتشار ذرات آلفا سطح برونش ها در ریه را پر توده می کنند و این پدیده ممکن است ریسک ابتلا به سرطان ریه را افزایش دهد.

رادن در محیط های آزاد بطور معمول در هوا پخش می شود در حالیکه در محیط های بسته نظیر ساختمان ها، معادن و غارها ممکن است تجمع یابد. رادن هوای داخل عمدتاً ناشی از گاز خاک حاصل از خاک ها و سنگ های کف ساختمان و مقدار کمی نیز ناشی از انتشار گازهای موجود در آب خانگی و مصالح ساختمانی است. مقدار رادن موجود در آبهای سطحی بسیار ناچیز است و همچنین در تاسیسات تصفیه آب که سیستم های هوادهی بزرگی دارند مقدار گاز رادن در آب خروجی آنها بسیار کم می باشد چراکه از طریق هوادهی سبب انتشار رادن آب به هوا می شوند. گاز رادن محلول در آبهای زیرزمینی امکان طی کردن مسیرهای بسیار طولانی را دارد. اغلب منابع آب قبل از استفاده تحت تأثیر فرآیندهای تصفیه آب قرار میگیرند که سبب حذف رادن از آب می شوند اما در سیستم های تأمین آب کوچک و شبکه های خصوصی که دارای سیستم های بسته هستند بعلت اینکه زمان کافی جهت تجزیه رادن وجود ندارد غلظت رادن در آنها بیشتر است. در چنین شرایطی گاز رادن در زمان حمام کردن و دیگر فعالیت های خانگی وارد هوای داخل می شود. در ایالات متحده امریکا خانه هایی که دارای منابع آب زیرزمینی بوده اند، حدود ۵٪ از کل رادن هوای داخل ناشی از گاز رادن موجود در آب بوده است. برآورده شده است که 370 Bq/L رادن در منابع آب خانگی مسئول حدود 37 Bq/m^3 رادن در هوای داخل است. مصالح ساختمانی در مقایسه با خاک و آب های زیرزمینی به عنوان منابع کوچک انتشار رادن محسوب می شود، مگر اینکه از غلظت بالایی از رادیوم برخوردار باشد. در مجموع مصالح ساختمانی، آهنگ دز انتشار گاز رادن را ۳۰ تا ۵۰ درصد افزایش می دهد.

مطالعات نشان داده اند که مواجهه با رادن در منازل مسکونی، سبب افزایش ریسک سرطان ریه می شود و حدود ۳ تا ۱۴ درصد از کل سرطان های ریه منتسب به رادن می باشد. براساس گزارش سازمان بهداشت جهانی رادن پس از سیگار دومین عامل سرطان ریه است و در افراد سیگاری، بیشتر سبب سرطان ریه می شود و در افراد غیرسیگاری اولین عامل سرطان ریه است. در آمریکا تعداد مرگ و میر ناشی از سرطان ریه به طور متوسط سالانه حدود ۱۷۱۴۰۰ نفر برآورد شده است که ۲۱۰۰۰ نفر به علت تأثیر رادن جان خود را از دست می دهند. همچنین درصد مرگ های سرطان ریه منتسب به رادن در کانادا ۷/۸ درصد، در آلمان ۵ درصد، در سوئیس ۸/۳ درصد و در فرانسه بین ۵ و ۱۲ درصد بوده است. نکته قابل تأمل این است که تعداد مرگ های سرطان ریه تنها برای سیگار از این مقادیر بالاتر بوده است (یا به عبارت دیگر دومین عامل مرگ های ناشی از سرطان ریه پس از سیگار، استنشاق رادن می باشد). مطالعات انجام شده در امریکا نشان می دهد که میزان مرگ منتسب به رادن که حدود ۲۱۰۰۰ مورد بوده است از تعداد موارد مرگ ناشی از دیگر عوامل خطر خانگی نظیر مسمومیت (۱۳۰۰۰ مرگ)، سقوط (۱۰۰۰۰ مرگ)، آتش سوزی (۳۰۰۰ مرگ) و غرق شدن (۸۰۰ مرگ) بیشتر بوده است. در صورت ترکیب نتایج مطالعات اروپا، امریکا و چین، به ازای افزایش هر ۱۰۰ بکرل در متر مکعب، ریسک ابتلا سرطان ریه حدود ۱۰ درصد افزایش می یابد. در شرایطی که غلظت رادن در خانه حدود ۲۱ بکرل در متر مکعب باشد ریسک سرطان ریه برای یک فرد سیگاری حدود ۳۰ برابر فرد غیرسیگاری خواهد بود.

سطح مرجع ملی (national reference level) برای رادون بیانگر حداکثر غلظت مجاز (قابل قبول) رادون در منازل مسکونی است و یکی از ارکان اصلی برنامه ملی رادون است. منازلی که غلظت رادون در آنها بالاتر از مقادیر مرجع ملی باشد، انجام اقدامات اصلاحی در آنها ضروری و یا حداقل می بایست پیشنهاد شود. به منظور تدوین یک مقدار مرجع ملی می بایست به عوامل متعددی توجه نمود که برخی از آنها عبارتند از توزیع رادون در کشور، تعداد منازل موجود با غلظت بالای رادون، میانگین حسابی مقادیر رادون هوای داخل و شیوع افراد سیگاری. براساس آخرین یافته‌های علمی، سازمان بهداشت جهانی (WHO) به منظور به حداقل رساندن مخاطرات بهداشتی ناشی از مواجهه با رادون، مقدار 100 Bq/m^3 را به عنوان مقدار مرجع غلظت رادون در ساختمان‌های مسکونی پیشنهاد داده است. ضمن آنکه کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر اشعه (ICRP) مقدار 300 Bq/m^3 را پیشنهاد نموده است. بنابراین با در نظر گرفتن ملاحظات اجتماعی و اقتصادی و منطقه‌ای در هر کشور، مقدار مرجع نباید از 300 Bq/m^3 تجاوز نماید که این میزان معادل 10 mSv در سال براساس آخرین محاسبات ICRP است. نکته قابل توجه این است که هیچ‌گونه غلظت حد آستانه‌ای برای رادون که کمتر از آن خطری برای سلامتی وجود نداشته باشد نیست. میانگین جهانی غلظت رادون در منازل مسکونی در حدود 39 بکرل بر مترمکعب تخمین زده شده است. برآورد شده است که بطور متوسط در امریکا از هر 15 منزل مسکونی یک منزل (حدود $6/6$ درصد از کل منازل) دارای مقادیر بالایی از غلظت رادون (بالاتر از حد مرجع ملی (148 Bq/m^3)) می باشد و در برخی از ایالت‌ها از هر سه خانه یک خانه دارای مقادیر رادون بالا است.

اگرچه رادون گازی بی‌رنگ و بی‌بو است اما می‌توان به آسانی با استفاده از تجهیزات مناسب آن را پایش کرد. در امریکا، رادون در خانه‌ها توسط کیت‌های ارزان قیمتی که هر فرد قادر به انجام آن است سنجش می‌شود. سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (US EPA) پیشنهاد می‌کند که تمامی خانه‌های طبقات زیر سه می بایست گاز رادون آنها سنجش شود. سطوح رادون در ساختمان‌ها با گذشت زمان به صورت قابل توجهی تغییر می‌کند. تغییرات در سطوح گاز رادون از یک فصل به فصل دیگر تغییر می‌کند. بیشترین سطوح رادون در هوای داخل منازل مسکونی معمولاً در طول ماه‌های زمستان مشاهده شده است. در نتیجه اندازه‌گیری طولانی مدت نتایج بسیار بهتری از میانگین غلظت سالانه رادون نسبت به اندازه‌گیری کوتاه مدت آن بدست خواهد داد. اندازه‌گیری طولانی مدت می‌تواند از 3 تا 12 ماه بطول بیانجامد. اندازه‌گیری رادون برای مدت زمان کمتر از یک ماه توصیه نمی‌شود.

معمول‌ترین وسایل اندازه‌گیری رادون که برای برنامه‌ی بین‌المللی پایش رادون سازمان بهداشت جهانی استفاده شده‌اند شامل: آشکارسازهای ردپای آلفا، آشکارساز یون الکترونیکی و آشکارساز ذغال فعال است که از این بین با توجه به هزینه و عدم قطعیت نسبتاً پایین، آشکارسازهای ردپای آلفا بیشترین موارد استفاده را داشته‌اند. سه نوع متداول این آشکارسازها عبارتند از CR-39، LR-115 و Makrofol. بنابراین با توجه به اینکه آشکارسازهای CR-39 در دنیا از جمله پرکاربردترین و قابل اعتمادترین آشکارسازها جهت پایش رادون محسوب می‌شوند و همچنین با توجه به دسترسی به این آشکارساز و روش قرائت آن در کشور، پیشنهاد می‌گردد جهت پایش رادون در سطح ملی از این نوع آشکارساز استفاده گردد.

دو رویکرد اصلی برای تهیه نقشه رادن کشوری وجود دارد:

مناطق مستعد رادن وجود دارد: (۱) استفاده از داده‌های اندازه‌گیری رادن در ساختمان‌ها و (۲) استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی. به علت اینکه رادن در ساختمان‌ها عمدتاً از صخره‌های موجود در زمین وارد ساختمان‌ها می‌شود و نقشه‌های زمین‌شناسی در مورد اینکه چه صخره‌هایی در زیر ساختمان‌ها وجود دارد تهیه می‌شوند در ابتدا استفاده از شاخص‌های زمین‌شناسی از قبیل محتوی موجودی اورانیوم و نفوذپذیری صخره‌ها برای تهیه نقشه مناطق مستعد حضور رادن به نظر خیلی جذاب می‌آمد. اما نتایج محققین نشان داد که این روش شاخص معتبری برای نشان دادن غلظت رادن در ساختمان‌ها نمی‌باشد زیرا این احتمال وجود دارد که ارتباط بین شاخص‌های زمین‌شناسی و غلظت رادن در هوای داخل ساختمان‌ها با توجه به تنوع صخره‌ها متفاوت باشد. همچنین مطالعات نشان دادند که دو منطقه مجاور هم که دارای ساختار زمین‌شناسی مشابهی هستند لزوماً دارای غلظت رادن مشابهی نیستند.

جهت انتخاب مکان‌های نمونه‌برداری به منظور تهیه نقشه‌های رادن از روشهای مختلف با مبنای جغرافیایی و جمعیتی استفاده می‌شود که در ادامه هر کدام از این روشها تشریح خواهد شد. در یکی از روشهای بر اساس جغرافیا، مناطق مسکونی را با توجه به مساحت سلول (مش) بندی کرده و از هر بلوک یک یا چند محل نمونه‌برداری تعیین می‌شود. مساحت مینا جهت بلوک بندی تا حدودی متفاوت می‌باشد؛ به نحوی که مساحت‌های ۲×۲، ۵×۵ و ۱۰×۱۰ کیلومتر از مناطق مسکونی در بلوک بندی مناطق مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش دارای معایبی است که می‌توان به صورت زیر به آن اشاره کرد: در این روش مربع‌ها ممکن است ۲ یا بیشتر از ۲ منطقه زمین‌شناسی با پتانسیل مختلف انتشار رادن را پوشش دهند. از مزیت این روش می‌توان بدین صورت اشاره کرد که همه مناطق بطور مساوی انتخاب شده‌اند و اگر داده‌ها از بین بروند با توجه به مرزبندی این مربع‌ها می‌توان با سادگی درون‌یابی را انجام داد. در این روش حتی اگر جزئیات حذف شوند می‌تواند یک تصویر قوی از الگوی تغییرات پتانسیل انتشار رادن بر اساس اندازه‌گیری در ساختمان‌ها را بوجود آورد. برخی کشورهایی که از این روش استفاده کرده‌اند عبارتند از: اتریش از بلوک‌های ۲×۲ km، انگلستان از بلوک‌های ۵×۵ km استفاده کرده‌اند.

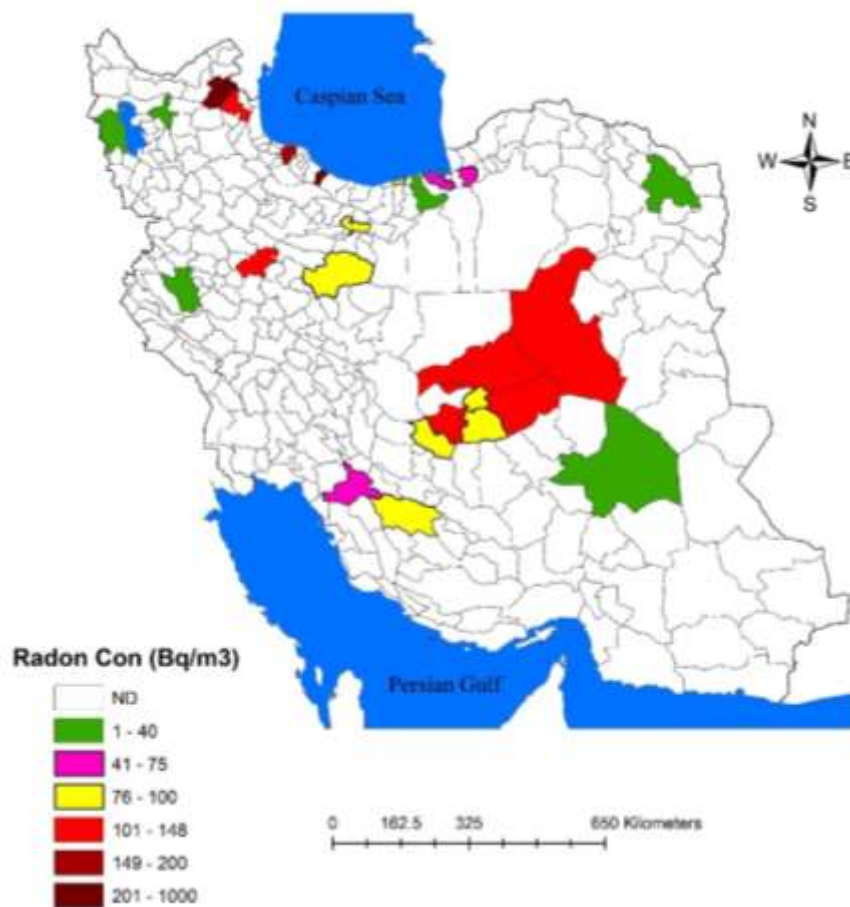
در روش پایش رادن بر اساس جمعیت برآورد نمونه‌ها با توجه به تعداد ساختمانهای موجود است که در آمریکای جنوبی حدود ۰/۵ درصد از خانه‌ها جهت نمونه‌برداری انتخاب شدند. نتایج مطالعات انجام شده در کشورهای اروپایی بیانگر این واقعیت است که بطور متوسط تقریباً به ازای هر ۵۸۰۰ نفر، یک نمونه (خانه مسکونی) برای رادن پایش شده است؛ البته می‌بایست توجه نمود که گستره این شاخص از حدود یک خانه به ازای هر ۱۸ نفر تا ۳۹۰۰۰ نفر نیز متغیر بوده است.

پیشنهاد می‌گردد تعداد نمونه‌های مورد نیاز در پایش ملی رادن بر مبنای تعداد جمعیت انتخاب گردد اما می‌بایست توجه نمود که برای همه مناطق و شهرها نمی‌توان از یک معیار خاص استفاده نمود چرا که در صورت در نظر گرفتن این معیار که به ازای هر ۵۸۰۰ نفر یک نمونه گرفته شود برای شهرهای کوچک با جمعیت کم، تعداد نمونه‌ها بسیار کمتر از حد معمول خواهد بود. بنابراین می‌بایست

معیار انتخاب تعداد نمونه‌ها را به نحوی انتخاب نمود که برای همه مناطق مناسب و معقول باشد. بنابراین با توجه به مطالعات انجام شده جدول ذیل جهت برآورد تعداد محل‌های نمونه‌برداری در مطالعه پایش رادون پیشنهاد می‌گردد.

تعداد ساختمان‌های مسکونی (هزار واحد)	<100	100-500	500-1000	>1000
درصد ساختمان‌های باید از آنها نمونه‌برداری صورت گیرد (% منازل مسکونی)	0/4 (کمترین تعداد نمونه 50)	0/35	0/25	0/20

بر اساس نتایج بدست آمده از این مطالعه تاکنون در برخی از شهرها و استانهای کشور بررسی رادون در هوای داخل ساختمان‌های مسکونی انجام شده است (شکل ذیل) و در کل حدود 4175 اندازه‌گیری انجام شده است. نکته قابل توجه این است که سهم مناطق شمالی کشور بیشتر از سایر مناطق بوده است و محققین طی سالهای مختلف رادون ساختمان‌های مسکونی را در مناطق شمالی بررسی کرده‌اند. در بین مطالعات انجام شده، تقریباً 40 درصد آنها از روش فعال (active) و 60 درصد آنها از روش غیرفعال (passive) استفاده کرده‌اند. نکته قابل توجه در این مطالعات این است که تقریباً هیچکدام از آنها روش بررسی، مبنای تعداد نمونه‌ها، روش کالیبراسیون و کنترل کیفیت و صحت داده‌ها را ذکر نکرده‌اند که این می‌تواند مهمترین نقطه ضعف این مطالعات باشد. نتایج بدست آمده از میانگین غلظت رادون ساختمان‌ها نشان می‌دهد که بالاترین میانگین غلظت رادون داخل ساختمان‌های مسکونی شهر رامسر (587Bq/m^3) بوده است و علاوه بر رامسر شهرهای یزد (136Bq/m^3)، لاهیجان (163Bq/m^3)، اردبیل (240Bq/m^3)، سرعین (169Bq/m^3)، نمین (144Bq/m^3)، همدان (108Bq/m^3)، تفت (126Bq/m^3)، هرات (122Bq/m^3)، بافق (115Bq/m^3)، طبس (116Bq/m^3)، میبد (121Bq/m^3)، اردکان (118Bq/m^3) و کاشان (104Bq/m^3) میانگین غلظت رادون هوای داخل ساختمان‌های مسکونی آنها بالاتر از 100Bq/m^3 (رهنمود WHO) بوده است. و در مقایسه با مقادیر مرجع سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (US EPA) (148Bq/m^3)، شهرهای رامسر، لاهیجان، اردبیل و سرعین مقدار میانگین غلظت رادون آنها بالاتر بوده است.



شمایی از مناطق مطالعه شده و غلظت رادون در هوای داخل ساختمان‌های آنها

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲	شناسنامه گزارش
۳	تقدیر و تشکر
۴	خلاصه اجرایی
۱۷	فصل اول: کلیات
۱۷	۱-۱. منابع پرتوگیری انسان
۱۸	۲-۱. اهمیت رادون در محیط
۱۹	۳-۱. منابع و مسیرهای ورود رادون به داخل ساختمان‌ها
۲۱	۱-۳-۱. خاک
۲۲	۲-۳-۱. مصالح ساختمانی
۲۳	۳-۳-۱. آب‌های زیرزمینی
۲۳	۴-۳-۱. سایر منابع رادون
۲۴	۴-۱. اثرات بهداشتی متناسب به رادون
۲۵	۱-۴-۱. بار سرطان ریه ناشی از رادون در منازل مسکونی در برخی از کشورها
۲۷	۲-۴-۱. رادون و بیماری‌های غیر از سرطان ریه
۲۷	۵-۱. راههای جلوگیری از ورود رادون به منازل مسکونی و کاهش آن
۲۷	۱-۵-۱. جلوگیری از ورود رادون به داخل منازل مسکونی
۲۹	۲-۵-۱. کاهش رادون در هوای داخل منازل مسکونی
۲۹	۶-۱. مقادیر مرجع ملی غلظت رادون
۳۱	۷-۱. روش‌های پایش رادون
۳۴	۱-۷-۱. آشکارسازهای رادون
۳۵	۲-۷-۱. آشکارساز ذغال فعال

۳۶	۱-۷-۳. آشکارساز یون الکترونیکی
۳۷	۱-۷-۴. پایشگرهای الکترونیکی جمع کننده
۳۸	۱-۷-۵. پایشگرهای مداوم رادن
۳۸	۱-۷-۶. محل قرارگیری آشکارساز و اندازه گیری گاز رادن
۳۹	۱-۸. نقشه مناطق مستعد حضور رادن
۴۲	فصل دوم: روش اجرای مطالعه
۴۲	۲-۱. اهداف
۴۲	۲-۱-۱. اهداف اصلی و فرعی مطالعه
۴۲	۲-۱-۲. مراحل اجرای مطالعه
۴۲	۲-۱-۳. تهیه و تدوین فرم جمع آوری اطلاعات
۴۴	۲-۱-۴. طراحی استراتژی جستجو
۴۹	فصل سوم: یافته ها و بحث
۴۹	۳-۱. مطالعات انجام شده در ایران
۴۹	۳-۱-۱. مقدمه
۵۰	۳-۱-۱-۱. مطالعات انجام شده در ایران
۵۳	۳-۱-۱-۲. پایش رادن در هوای داخل منازل مسکونی در شمال و شمال شرق ایران
۵۵	۳-۱-۱-۳. پایش رادن در شهر بهشهر
۵۶	۳-۱-۱-۴. پایش رادن در شهر نورآباد ممسنی
۵۷	۳-۱-۱-۵. پایش رادن در شهر قم
۵۸	۳-۱-۱-۶. پایش رادن در منطقه تالش
۵۹	۳-۱-۱-۷. پایش رادن در شهر لاهیجان
۶۰	۳-۱-۱-۸. پایش رادن در شهر مشهد
۶۱	۳-۱-۱-۹. پایش رادن در شهر کاشان
۶۲	۳-۱-۱-۱۰. پایش رادن در رامسر

۶۴	۳-۱-۲. مطالعات انجام شده سایر کشورهای دنیا در سطح ملی
۶۴	۳-۱-۲-۱. مطالعات انجام شده در آسیا
۶۴	۳-۱-۲-۱-۱. پایش رادون در کشور کره
۶۶	۳-۱-۲-۱-۲. پایش رادون در عربستان سعودی
۶۷	۳-۱-۲-۱-۳. پایش رادون در ژاپن
۶۸	۳-۱-۲-۱-۴. پایش رادون در چین
۷۰	۳-۱-۳. مطالعات انجام شده در اروپا
۷۱	۳-۱-۳-۱. پایش رادون در آلبانی
۷۲	۳-۱-۳-۲. پایش رادون در اتریش
۷۴	۳-۱-۳-۳. پایش رادون بلژیک
۷۵	۳-۱-۳-۴. پایش رادون در کرواسی
۷۷	۳-۱-۳-۵. پایش رادون در قبرس
۷۸	۳-۱-۳-۶. پایش رادون در جمهوری چک
۷۹	۳-۱-۳-۷. پایش رادون در دانمارک
۸۱	۳-۱-۳-۸. پایش رادون در استونی
۸۲	۳-۱-۳-۹. پایش رادون در فنلاند
۸۴	۳-۱-۳-۱۰. پایش رادون در فرانسه
۸۵	۳-۱-۳-۱۱. پایش رادون در مقدونیه
۸۶	۳-۱-۳-۱۲. پایش رادون در آلمان
۸۸	۳-۱-۳-۱۳. پایش رادون در یونان
۸۹	۳-۱-۳-۱۴. پایش رادون در مجارستان
۹۰	۳-۱-۳-۱۵. پایش رادون در ایرلند
۹۲	۳-۱-۳-۱۶. پایش رادون در ایتالیا
۹۴	۳-۱-۳-۱۷. پایش رادون در لتونی

۹۵	۱۸-۳-۱-۳. پایش رادون در لیتوانی
۹۶	۱۹-۳-۱-۳. پایش رادون در لوگزامبورگ
۹۸	۲۰-۳-۱-۳. پایش رادون در مالت
۹۹	۲۱-۳-۱-۳. پایش رادون در هلند
۱۰۱	۲۲-۳-۱-۳. پایش رادون در نروژ
۱۰۲	۲۳-۳-۱-۳. پایش رادون در لهستان
۱۰۴	۲۴-۳-۱-۳. پایش رادون در پرتغال
۱۰۵	۲۵-۳-۱-۳. پایش رادون در رومانی
۱۰۷	۲۶-۳-۱-۳. پایش رادون در صربستان و مونتنگرو
۱۰۸	۲۷-۳-۱-۳. پایش رادون در اسلواکی
۱۱۰	۲۸-۳-۱-۳. پایش رادون در اسلوانی
۱۱۲	۲۹-۳-۱-۳. پایش رادون در اسپانیا
۱۱۳	۳۰-۳-۱-۳. پایش رادون در سوئد
۱۱۵	۳۱-۳-۱-۳. پایش رادون در سوئیس
۱۱۶	۳۲-۳-۱-۳. پایش رادون در بریتانیا
۱۱۸	۳۳-۳-۱-۳. پایش رادون در فنلاند
۱۱۹	۳۴-۳-۱-۳. پایش رادون در بلغارستان
۱۲۰	۳۵-۳-۱-۳. پایش رادون در مالت
۱۲۱	۳۶-۳-۱-۳. پایش رادون در کانادا
۱۲۲	۴-۱-۳. پایش رادون در آمریکای جنوبی
۱۲۳	۱-۴-۱-۳. پایش رادون در مکزیک
۱۲۶	۴. نتیجه گیری
۱۳۹	۵. منابع

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۷	شکل ۱-۱. سهم منابع پرتوهای در میزان متوسط دوز دریافتی انسان
۲۰	شکل ۱-۲. راه‌های ورود رادون به ساختمان‌ها
۳۵	شکل ۱-۳. آشکارساز رد پای آلفا
۳۶	شکل ۱-۴. آشکارساز ذغال فعال
۳۷	شکل ۱-۵. آشکارساز Electret Ion Chamber یا E-PERM
۳۷	شکل ۱-۶. پایشگرهای الکترونیکی یکپارچه
۳۸	شکل ۱-۷. پایشگرهای مداوم رادون
۴۶	شکل ۲-۱. شماتیک استراتژی جستجو برای مطالعات در سایر کشورها
۴۶	شکل ۲-۲. شماتیک استراتژی جستجو برای مطالعات در ایران
۴۹	شکل ۳-۱. شمایی از مناطق مطالعه شده و غلظت رادون ساختمان‌ها

فهرست جداول

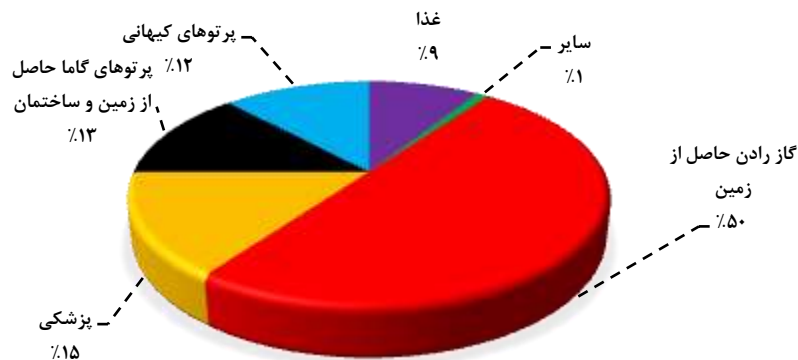
صفحه	عنوان
۲۶	جدول ۱-۱. غلظت رادن هوای داخل منازل مسکونی کشورهای عضو سازمان توسعه و همکاری اقتصادی
۲۷	جدول ۱-۲. سهم سرطان ریه متناسب به رادن در کشورهای مختلف
۳۰	جدول ۱-۳. مقادیر مرجع ملی رادن هوای داخل ساختمانها
۳۴	جدول ۱-۴. مشخصات آشکارسازهای معمول مورد استفاده در اندازه گیری رادن
۳۴	جدول ۱-۵. راهنمای انتخاب روش های اندازه گیری
۴۷	جدول ۲-۱. زمان بندی مراحل اجرای پژوهش
۵۱	جدول ۳-۱. خلاصه مطالعات انجام شده پایش رادن در هوای داخل منازل مسکونی در ایران

فصل اول

کلیات

۱-۱. منابع پرتوگیری انسان

بر اساس مطالعات انجام شده در انگلستان هر فرد سالانه بطور متوسط $2/8$ mSv پرتو دریافت می کند که حدود 85% آن ناشی از منابع طبیعی نظیر پرتوهای کیهانی، پرتوهای گاما، محصولات فروپاشی ^{220}Rn و ^{222}Rn است. بخش اعظم این دوز دریافتی ناشی از منابع زمینی است. حدود 60% از کل دوز پرتوهای طبیعی ناشی از ایزوتوپ های رادن (عمدتاً ناشی از ذرات آلفا) می باشد. مهمترین منبع مواجهه مردم با پرتوهای انسان ساخت، پرتوهای ایکس و مواد رادیواکتیو مورد استفاده در تشخیص بیماریها است. لازم به ذکر است که متوسط دوز دریافتی سالانه حاصل از منابع انسان ساخت کمتر از 1% می باشد. در کشورهای اروپایی متوسط دوز دریافتی سالانه از منابع طبیعی در گستره 2 mSv در دانمارک و حدود 3 mSv در فنلاند و سوئد که غلظت رادن هوای داخل و پرتو گاما بالا است. بطور کلی میزان دوز دریافتی هر فرد وابسته به محل زندگی، سبک زندگی و ماهیت داروها و یا درمان های انجام شده دارد. بخش اعظم مواجهه با پرتوهای گاما و محصولات فروپاشی ^{220}Rn و ^{222}Rn ناشی از محیط های داخل می باشد. مواد ساختمانی مهمترین منبع انتشار تورن (^{220}Rn) در هوای داخل است و بخش ناچیزی از آن ناشی از گازهای خاک است. در شکل ذیل سهم منابع پرتو در میزان متوسط دوز دریافتی انسان را نشان می دهد (۱-۴).



شکل ۱-۱. سهم منابع پرتو در میزان متوسط دوز دریافتی انسان

رادن از سلسله فروپاشی اورانیوم (^{238}U) تولید می شود. بطور طبیعی سه ایزوتوپ رادن (Rn) وجود دارد که شامل ^{219}Rn (اکتینین)، ^{220}Rn (تورن) و ^{222}Rn که عمدتاً رادن نامیده می شود. اکتینین داری نیم عمر بسیار کوتاهی است حدود ۳ ثانیه و در مقایسه چشمگیری به داخل هوا منتشر نمی شود. تورن (^{220}Rn) از سلسله فروپاشی توریم-۲۳۲ تولید می شود و در داخل منازل نیز گزارش شده است و حدود 4% از کل میزان دوز دریافتی از پرتوها را در انسان به خود اختصاص می دهد. رادن (^{222}Rn) مهمترین ایزوتوپ رادن است که نگرانی های زیادی در باره آن وجود دارد (۱-۵).

۲-۱. اهمیت رادون در محیط

رادون یک گاز رادیواکتیو طبیعی، بدون رنگ، بو و مزه است که تنها توسط تجهیزات مخصوص قابل آشکار سازی و اندازه گیری می باشد. همانطوری که اشاره شد رادون از طریق تجزیه رادیواکتیو رادیوم تولید می شود و خود رادیوم نیز از تجزیه اورانیوم بوجود می آید. اورانیوم در همه خاک ها و صخره ها به مقدار کمی وجود دارد و این میزان از محلی به محلی دیگر متفاوت می باشد. رادون به ذرات رادیواکتیوی تجزیه می شود که می توانند از طریق تنفس وارد بدن شوند. استنشاق محصولات حاصل از تجزیه رادون با افزایش ریسک سرطان های دستگاه تنفسی بخصوص سرطان ریه در ارتباط است (۲-۴). استنشاق رادون در هوای داخل منازل مسکونی در ایالات متحده امریکا و انگلستان هر ساله به ترتیب سبب حدود ۲۱۰۰۰ و ۱۱۰۰ مرگ ناشی از سرطان ریه می شود. نکته قابل تأمل این است که تعداد مرگ های سرطان ریه تنها برای سیگار از این مقادیر بالاتر بوده است (یا به عبارت دیگر دومین عامل مرگ های ناشی از سرطان ریه پس از سیگار، استنشاق رادون می باشد). مطالعات انجام شده در امریکا نشان می دهد که میزان مرگ منتسب به رادون که حدود ۲۱۰۰۰ مورد بوده است از تعداد موارد مرگ ناشی از دیگر عوامل خطر خانگی نظیر مسمومیت (۱۳۰۰۰ مرگ)، سقوط (۱۰۰۰۰ مرگ)، آتش سوزی (۳۰۰۰ مرگ) و غرق شدن (۸۰۰ مرگ) بیشتر بوده است (۱، ۴).

اغلب رادون استنشاق شده قبل از اینکه تجزیه شود و بافتها و سیستم تنفسی را پر تودهی کند از طریق هوای بازدمی خارج می شود. بهر حال رادون به شکل ذرات بسیار ریز جامد رادیواکتیو نظیر پلونیوم-۲۱۸ که به آئروسول ها و ذرات معلق هوا می چسبند تجزیه می شود. این ذرات حاوی مواد رادیواکتیو ممکن است در هوا معلق و یا بر روی سطوح ترسیب یابند. زمانیکه این ذرات وارد دستگاه تنفسی شوند از طریق ذرات آلفا سطح برونش ها در ریه را پر تودهی می کنند و این پدیده ممکن است ریسک ابتلا به سرطان ریه را افزایش دهد. متوسط دوز سالانه افراد از رادون $1/2$ mSv است که در گستره $0/3$ تا بیش از 100 mSv گزارش شده است. در مناطق با پتانسیل رادون بالا در انگلستان متوسط دوز دریافتی فرد حدود $7/8$ mSv بوده است که 81% آن ناشی از رادون گزارش شده است (۱-۴).

رادون در محیط های آزاد بطور معمول در هوا پخش می شود در حالیکه در محیط های محصور نظیر ساختمان ها، معادن و غارها ممکن است تجمع یابد. رادون هوای داخل عمدتاً ناشی از گاز خاک حاصل از خاک ها و سنگهای کف ساختمان و مقدار کمی نیز ناشی از انتشار گازهای موجود در آب خانگی و مصالح ساختمانی است. در برخی از موارد غلظت گاز رادون در هوای آزاد نیز به مقادیر خطرناکی ممکن است برسد؛ برای مثال هوای خروجی از معدن اورانیوم شهر Schneeberg آلمان حاوی حدود 10000 Bq/m³ رادون بوده است. رادون همچنین از برخی منابع انسان ساخت نظیر محل های دفع پسماندهای رادیواکتیو منتشر می شود (۱).

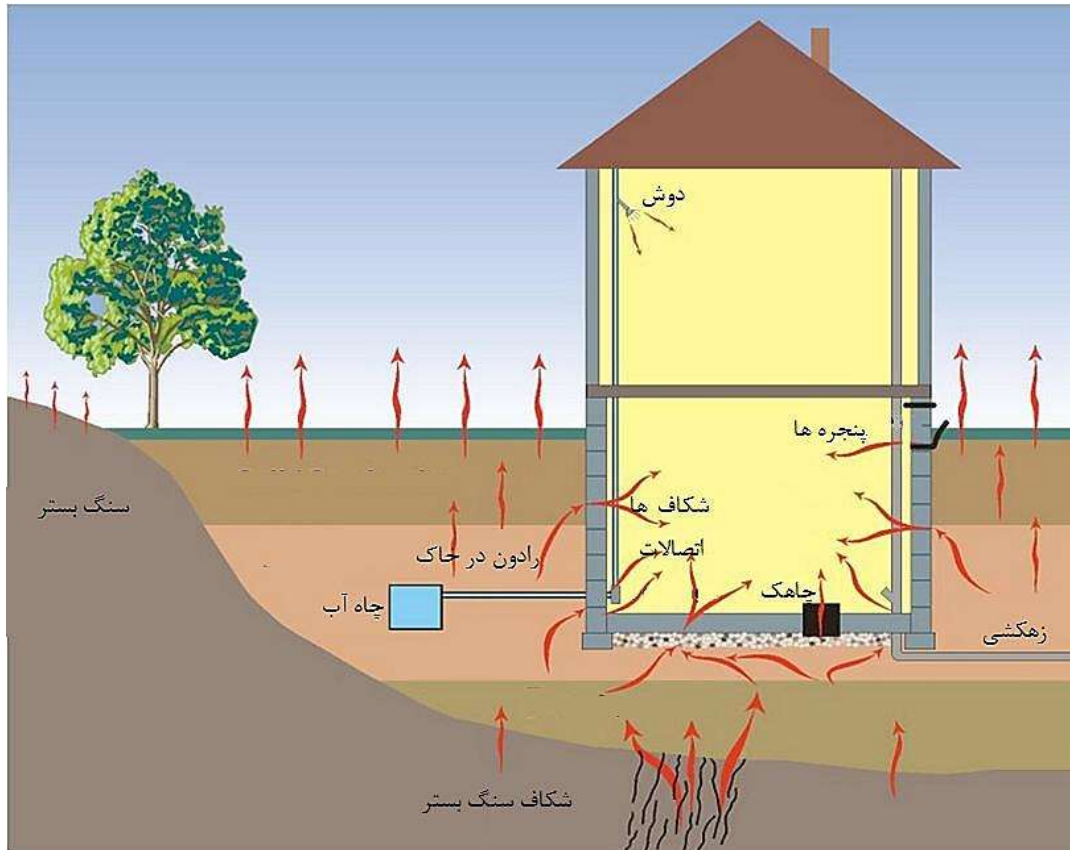
مقدار رادون موجود در آبهای سطحی بسیار ناچیز است و همچنین در تاسیسات تصفیه آب که سیستم های هوادهی بزرگی دارند مقدار گاز رادون در آب خروجی آنها بسیار کم می باشد چراکه از طریق هوادهی سبب انتشار رادون آب به هوا می شوند. گاز رادون محلول در آبهای زیرزمینی امکان طی کردن مسیرهای بسیار طولانی را دارد. اغلب منابع آب قبل از استفاده تحت تأثیر فرآیندهای

تصفیه آب قرار میگیرند که سبب حذف رادون از آب می شوند اما در سیستمهای تأمین آب کوچک و شبکه های خصوصی که دارای سیستمهای بسته (محصور) هستند بعلاوه اینکه زمان کافی جهت تجزیه رادون وجود ندارد غلظت رادون در آنها بیشتر است. در چنین شرایطی گاز رادون در زمان حمام کردن و دیگر فعالیتهای خانگی وارد هوای داخل می شود. در ایالات متحده امریکا خانه هایی که دارای منابع آب زیرزمینی بوده اند، حدود ۵٪ از کل رادون هوای داخل ناشی از گاز رادون موجود در آب بوده است. برآورده شده است که مقدار 370 Bq/L رادون در منابع آب خانگی منجر به حدود 37 Bq/m^3 رادون در هوای داخل می شود (۱).

۳-۱. منابع و مسیرهای ورود رادون به داخل ساختمانها

رادون خاک از طریق درز و شکافهای کف، دیوارها و خطوط لوله زیر ساختمان وارد هوای داخل ساختمان می شود. همانطور که در شکل ۱-۲ آورده شده است به طور کلی راههای ورود رادون به ساختمانها و منازل عبارتند از (۱-۵):

- ۱) آب زیرزمینی مورد مصرف در منازل مسکونی
- ۲) درزهای موجود در محل اتصالها
- ۳) درزهای موجود در دیوارها
- ۴) حفره های درون دیوارها
- ۵) شکستگی های کف ساختمان
- ۶) شکستگی های کف طبقات بالا
- ۷) لوله های آب و فاضلاب
- ۸) رادون متمرکز شده در زیرزمینها



شکل ۱-۲. راه های ورود رادون به ساختمان ها

مقادیر رادون موجود در هوای آزاد، هوای داخل، گاز خاک و آب های زیرزمینی بسیار متفاوت است. رادون رها شده از صخره ها و خاک ها به سرعت در اتمسفر رقیق می شود. غلظت ها در هوای آزاد معمولاً بسیار پایین بوده و احتمالاً خطری ندارند. رادون وارد شده به داخل ساختمان ها، غارها، معادن و تونل هایی که تهویه آن ها ضعیف است در برخی از موارد می تواند به غلظت های بالا برسد. روش ساخت و میزان تهویه ساختمان بر غلظت رادون داخل ساختمان تاثیر گذار می باشد. بنابراین مواجهه افراد با رادون با توجه به نحوه استفاده از ساختمان و فضاها متغیر خواهد بود (۳).

جهت تعیین میزان رادون می توان از طریق پایش رادون محیط داخل و نیز بررسی ساختار زمین منطقه نظیر نفوذپذیری، اورانیوم خاک، گاز رادون خاک و داده های اسپکترومتری گامای زمین و هوا استفاده نمود. لازم به ذکر است که توجه صرف به پارامترهای زمین شناسی جهت برآورد رادون داخل ساختمان چندان قابل قبول نیست چراکه غلظت این گاز بستگی به مسیرها و محل های تجمع و روش های کنترلی دارد. بنابراین گرچه نقشه های جغرافیایی رادون راهنمای صحیحی از میزان رادون داخل ساختمان نمی باشند اما می توانند برای نشان دادن مشکل غلظت بالای رادون در مناطقی که پتانسیل انتشار رادون بالایی دارند مورد استفاده قرار گیرند (۴).

۱-۳-۱. خاک

اولین منبع اصلی تولید گاز رادون، در درجه‌ی اول اورانیوم و سپس توریم موجود در خاک و سنگ می‌باشد. بدین معنی که گاز رادون تولید شده توسط آن‌ها در بسترهای زیرین زمین بر احتی از میان خاک‌ها به بالا نفوذ کرده و به فضای آزاد راه می‌یابد. مقدار متوسط اورانیوم در پوسته زمین برای سنگ ۳ ppm و برای خاک ۲/۱ ppm برآورد شده، و در نتیجه، میانگین غلظت آن را در پوسته زمین ۲/۷ ppm منظور می‌نمایند. اگر چه اورانیوم و به تبع آن رادیوم در تمام سنگ‌ها و خاک‌ها وجود دارد، ولی مقدار آن از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر و سنگی به سنگی دیگر متغیر می‌باشد. معمولاً میزان اورانیوم در سنگ‌های آذرین اسیدی مثل گرانیت، شیل‌های سیاه و بعضی از سنگ‌های دگرگونی مثل گنایس و شیست بیشتر از سنگ‌های مختلف دیگر می‌باشد. به عنوان مثال مقدار متوسط آن در سنگ گرانیت که دارای غلظت بالای اورانیوم می‌باشد، حدود ۴/۷ ppm و در بعضی از گرانیت‌ها به ۴۰-۲۰ ppm هم می‌رسد. برعکس میزان اورانیوم در سنگ‌های آذرین بازی مثل بازالت، سنگ‌های رسوبی فاقد فسفات‌ها و بعضی از سنگ‌های دگرگونی مثل مرمر و کوارتز معمولاً اندک است. مثلاً مقدار متوسط در بازالت در حدود ۰/۹ ppm برآورد شده است (۴).

کل مقدار گاز رادونی که در داخل خاک ایجاد می‌شود به منافذ خاک راه پیدا نمی‌کند، بنابراین ضریبی به نام ضریب انتشار را در نظر می‌گیرند. هر چه این ضریب بزرگتر باشد رادون بیشتری ایجاد و در نتیجه احتمال نفوذ به بیرون از خاک بیشتر می‌شود. به طور کلی غلظت رادون در خاک، به غلظت رادیوم موجود در خاک، ضریب انتشار^۱، تخلخل^۲، قابلیت انتقال^۳، دانه‌بندی^۴، رطوبت خاک و دمای خاک‌های سطحی بستگی دارد. کاهش قابلیت انتقال، باعث کاهش میزان خروج گاز از خاک به داخل ساختمان می‌گردد. به طوری که میزان ورود گاز رادون با ریشه دوم تغییرات قابلیت انتقال خاک متناسب است. زمین‌های شنی رادون بیشتری را از خود عبور می‌دهند. افزایش دمای خاک سطحی از ۵ به ۵۰ درجه سانتی‌گراد، باعث افزایش خروج رادون به میزان ۵۵ درصد از خاک می‌گردد (۴، ۵). چنانچه میزان رطوبت موجود در منافذ خاک زیاد باشد، خروج رادون از خاک بهتر صورت می‌گیرد. به طوری که کف بتونی یکپارچه مقدار گاز رادون ورودی به داخل ساختمان را در مقایسه با خاک فاقد هر گونه پوشش، به مقدار ۱۰ درصد کاهش می‌دهد. وجود ترک و شکاف در کف و درزهای اطراف مسیر لوله‌ها، ورود رادون را به داخل ساختمان افزایش می‌دهد. میزان جریان گاز رادون از خاک کف ساختمان در آپارتمان‌ها به دلیل بزرگی نسبت حجم به سطح کف زمین، خیلی کمتر از خانه‌های معمولی است. در نتیجه مقدار رادون به ازای هر نفر در ساختمان‌های آپارتمانی خیلی کمتر از خانه‌های معمولی خواهد بود. بنابراین مهمترین منبع گاز رادون در داخل ساختمان‌ها نشت آن از خاک‌های پی ساختمان می‌باشد (۴).

¹Emanation coefficient

²porosity

³permeability

⁴Grindsize

ساختار زمین مهمترین فاکتور کنترل کننده منبع و توزیع رادون است. مقادیر نسبتاً بالای رادون با انواع خاصی از بسترهای سنگی و رسوبات غیر متراکم نظیر گرانیت‌ها، سنگ‌های فسفاتی و پوسته‌های سرشار از مواد آلی مرتبط است. انتشار رادون از صخره‌ها و خاک‌ها متأثر از فاکتورهای متعددی است. به محض انتشار گاز رادون از مواد معدنی، حرکت آن به سطح (زمین) توسط مشخصه‌های انتقال بستر و خاک تحت کنترل قرار می‌گیرد؛ این مشخصه‌ها شامل ماهیت سیال حامل نظیر دی‌اکسید کربن و آب زیرزمینی، فاکتورهای هواشناسی نظیر فشار بارومتری، باد، رطوبت نسبی و بارش؛ تخلخل خاک و محتوای رطوبت خاک می‌باشند. مهمترین فاکتورهای کنترل کننده انتقال و تجمع رادون در داخل ساختمان عبارتند از (۱) مشخصه‌های بستر و خاک‌هایی که انتقال سیال را تحت تأثیر قرار می‌دهند (نفوذپذیری و تخلخل) (۲) ساختار ساختمان و کاربری آن که شامل میزان تهویه و گرمایش (۳) شرایط محیطی نظیر دما (دمای زیاد در ماه‌های سردتر سبب یک اثر دودکشی^۱ در خانه می‌شود که باعث کشیده شدن گازهای خاک نظیر رادون به داخل خانه می‌شود)، سرعت و جهت نیز سبب افزایش اثر دودکشی می‌شوند (۴، ۶).

۱-۳-۲. مصالح ساختمانی

معمولاً موادی نظیر چوب، آجر، کاشی، بتون، گچ، سیمان و مواد عایق‌بندی نظیر چوب و شیشه، در داخل ساختمان یافت می‌شود. با توجه به منشاء پیدایش هر یک از این مواد در پوسته زمین، ممکن است حاوی مقادیر مختلفی از رادیونوکلئیدهای طبیعی پوسته زمین از قبیل اورانیوم، توریم و رادیوم باشند. در گذشته از موادی نظیر خاکستر باقیمانده در نیروگاه‌های فسیلی، ذغال سنگ و گچ فسفاته که حاوی مقادیر بالایی از رادیوم - ۲۲۶ هستند، در صنعت ساختمان‌سازی استفاده می‌نمودند. بنابراین با توجه به وزن زیاد مصالح ساختمانی به کار رفته در بناها بویژه در مواد ساختمانی حاوی مقادیر بالای رادیوم، میزان انتشار گاز رادون نسبت به خاک، در درجه دوم اهمیت قرار دارد. گرچه غلظت رادیوم - ۲۲۶ در موادی نظیر کاشی، سیمان، بتون و آجر در محدوده ۲۰۰-۱۰۰ بکرل در هر کیلوگرم گزارش شده است. به دلیل اینکه میزان اتم‌های رادون - ۲۲۲ بسیار پایین است، تأثیر چندانی در افزایش غلظت رادون در هوای داخل ساختمان‌ها ندارد. همچنین علیرغم اینکه مقدار غلظت رادیوم در چوب، کم و در حدود ۱ بکرل در هر کیلوگرم است، به علت وجود منافذ زیاد، رادون تولید شده در آن، براحتی به خارج راه می‌یابد. مصالح ساختمانی در مقایسه با خاک و آب‌های زیرزمینی به عنوان منابع کوچک انتشار رادون محسوب می‌شود، مگر اینکه از غلظت بالایی از رادیوم برخوردار باشد. رویهم رفته مصالح ساختمانی، آهنگ دز انتشار گاز رادون را ۳۰ تا ۵۰ درصد افزایش می‌دهد (۴، ۵).

^۱Chimney effect

۱-۳-۳. آب های زیر زمینی

قابلیت ترکیب رادن با دیگر عناصر در شرایط آزمایشگاهی بسیار اندک بوده ولی به آسانی قابلیت انحلال در آب را دارد. از اینرو گاز تولید شده در بسترهای سنگی زیرین زمین براحتی از میان خاک و سنگ های مختلف عبور کرده و وارد آب های زیر زمینی می شود و زمانیکه این آب به سطح زمین می رسد، معمولاً قسمت اعظم رادن آن به سرعت در هوا آزاد شده و مقدار کمی از آن نیز وارد آب های سطحی می گردد. از این جهت آب دریاها و اقیانوس ها نیز به مقدار بسیار کمی سبب انتشار رادن به هوای آزاد می شود. بنابراین آب ها به طور کلی و بویژه آب های زیر زمینی، دومین منبع مهم انتشار گاز رادن بشمار می روند. چنانچه آب های زیر زمینی حاوی رادن در محیط خانه به مصرف برسند مقداری رادن در محیط منتشر می گردد. مقدار رادن موجود در آب های مصرفی در محیط خانه، به نوع و درجه تصفیه قبل از ورود به شبکه توزیع بستگی دارد. بر اساس مطالعات انجام شده اگر سنگ های تشکیل دهنده ی یک سفره ی آب زیر زمینی دارای ۱ میلی گرم اورانیوم در هر کیلوگرم باشد غلظت رادن در آب زیر زمینی به بیش از ۳۰۰۰۰ بکرل بر متر مکعب خواهد رسید (۱، ۴، ۵).

رادن مهمترین منبع پرتوی یونساز در بین دیگر منابع طبیعی به شمار می رود. غلظت گاز رادن در هر محیط به میزان اورانیوم موجود در آن محل بستگی دارد و چون میزان اورانیوم موجود در آب های جهان بطور متوسط کمتر از مقدار آن در خاک است، بدیهی است که غلظت گاز رادن در سطح مجاور آب های جهان کمتر از غلظت آن در سطح مجاور خشکی ها می باشد. غلظت متوسط رادن در هوای بالای اقیانوس ها ۰/۱۸-۰/۱۸ میلی بکرل (۰/۰۰۵-۰/۰۰۵ پیکوکوری در لیتر) است و این غلظت تقریباً ۰/۰۱ غلظت آن روی خشکی است. از طرفی چون اورانیوم یکی از عناصر تشکیل دهنده اکثر مواد ساختمانی است، منطقی است که غلظت رادن در فضاهای بسته بیش از میزان آن در هوای آزاد باشد. به عنوان مثال غلظت متوسط رادن در فضای آزاد تقریباً ۳/۷ میلی بکرل در لیتر (۰/۵ پیکوکوری در لیتر) و در فضاهای بسته ۱۸/۵ میلی بکرل در لیتر (۰/۱ پیکوکوری در لیتر) می باشد (۴).

۱-۳-۴. سایر منابع رادن

سایر منابع رادن شامل نفت، گاز طبیعی، ذغال سنگ و بعضی از صنایع می باشند که نسبت به دو منبع مذکور از اهمیت کمتری برخوردارند. غلظت رادن در نفت خام در حد ۳/۷ تا ۱۵ بکرل بر کیلوگرم گزارش شده است که قسمت عمده آن در مرحله جداسازی گاز طبیعی از آن جدا می شود. چون معمولاً از مرحله خروج هیدروکربن ها از چاه تا مصرف آن ها در ساختمان ها مدت نسبتاً طولانی سپری می شود، مقدار رادن در آن ها بسیار کاهش یافته و تقریباً بی خطر می شوند. از این رو عمده ترین منابع تولید و انتشار رادن، معمولاً خاک و آب های زیر زمینی می باشد (۴).

۱-۴. اثرات بهداشتی منتسب به رادون

براساس مطالعات انجام شده اثرات بهداشتی منتسب به رادون شامل سرطان ریه و بیماریهای غیر ریوی است که در ادامه هر کدام از آنها تشریح شده‌اند (۴).

اثرات بهداشتی گاز رادون بخصوص سرطان ریه برای چندین دهه مورد بررسی قرار گرفته است. سازمان بهداشت جهانی در سال ۱۹۸۰ اولین مطالعه اثرات بهداشتی پرتو رادون در هوای داخل را در اروپا انجام داده است. بعد از آن در سال ۱۹۸۸ رادون توسط موسسه بین‌المللی تحقیقات سرطان^۱ (IARC) وابسته به سازمان بهداشت جهانی تحت عنوان سرطان زای انسانی طبقه‌بندی گردید.

مطالعات نشان داده‌اند که مواجهه با رادون در منازل مسکونی، سبب افزایش ریسک سرطان ریه می‌شود و حدود ۳ تا ۱۴ درصد از کل سرطان‌های ریه منتسب به رادون می‌باشد. براساس گزارش سازمان بهداشت جهانی رادون پس از سیگار دومین عامل سرطان ریه است و در افراد سیگاری، بیشتر سبب سرطان ریه می‌شود و در افراد غیرسیگاری اولین عامل سرطان ریه است. در آمریکا تعداد مرگ و میر ناشی از سرطان ریه به طور متوسط سالانه حدود ۱۷۱۴۰۰ نفر برآورد شده است که ۲۱۰۰۰ نفر به علت تأثیر رادون جان خود را از دست می‌دهند. تعداد موارد سرطان ریه منتسب به مواجهه با رادون در آمریکا ۲۱۰۰۰ نفر برآورد شده است که معادل ۱۵-۱۰ درصد از مرگ‌های سرطان ریه می‌باشد. حدود ۱۱ درصد از مرگ‌های سرطان ریه در افراد سیگاری و ۲۳ درصد از مرگ‌های سرطان ریه در افراد غیرسیگاری منتسب به رادون بوده است. همچنین درصد مرگ‌های سرطان ریه منتسب به رادون در کانادا ۷/۸ درصد، در آلمان ۵ درصد، در سوئیس ۸/۳ درصد و در فرانسه بین ۵ و ۱۲ درصد بوده است.

در مطالعه‌ای در انگلستان مرگ‌های سرطان ریه منتسب به رادون مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید که (۱) ۱۱۰۰ مرگ ناشی از سرطان ریه منتسب به رادون بوده است که این میزان معادل ۳/۳ درصد از کل مرگ‌های ناشی از سرطان ریه می‌باشد (۲) رابطه دوز- پاسخ بصورت خطی بوده که طی آن با افزایش غلظت رادون، ریسک سرطان ریه افزایش می‌یابد (۳) هیچگونه حد آستانه‌ای برای رادون که کمتر از آن خطری وجود نداشته باشد مشاهده نشد (۴) از ۳/۳ درصد مرگ‌های سرطان ریه منتسب به مواجهه رادون، تنها ۰/۵ درصد از آن‌ها منتسب به رادون به تنهایی بوده است و ۲/۸ درصد باقیمانده ناشی از ترکیب مواجهه با رادون و سیگار بوده است. همچنین در این مطالعه مشخص گردید که اکثر مرگ‌های سرطان ریه منتسب به رادون در مناطقی رخ داده است که تحت عنوان "مناطق متأثر از رادون" (مناطق با غلظت بیش از ۲۰۰ بکرل در متر مکعب) نبوده‌اند و ۹۵ درصد این افراد در مناطقی زندگی کرده‌اند که غلظت رادون کمتر از ۲۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است و ۷۰ درصد از افراد در مناطقی زندگی کرده‌اند که غلظت رادون کمتر از ۷۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

^۱International Agency for Research on Cancer

مشخص گردیده است در صورتی که غلظت رادون در منازل کمتر از رهنمود سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا که ۱۴۸ بکرل در متر مکعب (۴ پیکوکوری در لیتر) است، باشد می توان حدود یک سوم از موارد منتسب به رادون (حدود ۴ درصد از کل مرگ های سرطان ریه) را کاهش داد. در صورت ترکیب نتایج مطالعات اروپا، امریکا و چین، به ازای افزایش هر ۱۰۰ بکرل در متر مکعب، ریسک ابتلا سرطان ریه حدود ۱۰ درصد افزایش می یابد. در شرایطی که غلظت رادون در خانه حدود ۲۱ بکرل در متر مکعب باشد ریسک سرطان ریه برای یک فرد سیگاری حدود ۳۰ برابر فرد غیر سیگاری خواهد بود (۴).

۱-۴-۱. بار سرطان ریه ناشی از رادون در منازل مسکونی در برخی از کشورها

با توجه به شواهد ذکر شده مشخص است که مواجهه با رادون یکی از عوامل خطر ایجاد سرطان ریه می باشد و بنابراین می توان گفت که در هر منطقه سهم عمده ای از سرطان های ریه منتسب به مواجهه رادون در منازل مسکونی می باشد. مطالعاتی جهت برآورد توزیع غلظت های رادون در منازل مسکونی در بیش از ۳۰ کشور عضو سازمان توسعه و همکاری اقتصادی (OECD^۱) صورت پذیرفته است که براساس نتایج آن، میانگین جهانی غلظت رادون در منازل مسکونی در حدود ۳۹ بکرل بر متر مکعب تخمین زده شده است. مطالعات انجام شده در امریکا نشان داده است که از هر سه منزل مسکونی موجود در امریکا مقدار غلظت رادون هوای داخل در یک منزل بالاتر از حد مرجع ملی (148 Bq/m^3) می باشد. میانگین غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی ۳۰ کشور عضو سازمان توسعه و همکاری اقتصادی در جدول ۱-۱ آورده شده است و همچنین برآورد سهم سرطان ریه منتسب به رادون در برخی از کشورها در جدول ۱-۲ آورده شده است (۴).

¹Organization for Economic Co-operation and Development

جدول ۱-۱. غلظت رادون هوای داخل منازل مسکونی کشورهای عضو سازمان توسعه و همکاری اقتصادی

غلظت (Bq/m ³)			کشور
میانگین حسابی	میانگین هندسی	انحراف معیار هندسی	
۱۱	۸	۲/۱	استرالیا
۹۹	۱۵	-	اتریش
۴۸	۳۸	۲	بلژیک
۲۸	۱۱	۳/۹	کانادا
۱۴۰	۴۴	۲/۱	جمهوری چک
۵۹	۳۹	۲/۲	دانمارک
۱۲۰	۸۴	۲/۱	فنلاند
۸۹	۵۳	۲	فرانسه
۴۹	۳۷	۲	آلمان
۵۵	۴۴	۲/۴	یونان
۸۲	۶۲	۲/۱	مجارستان
۱۰	-	-	ایسلند
۸۹	۵۷	۲/۴	ایرلند
۷۰	۵۲	۲/۱	ایتالیا
۱۶	۱۳	۱/۸	ژاپن
۱۱۰	۷۰	۲	لوگزامبورگ
۱۴۰	۹۰	-	مکزیک
۲۳	۱۸	۱/۶	هلند
۲۲	۲۰	-	نیوزیلند
۸۹	۴۰	-	نروژ
۴۹	۳۱	۲/۳	لهستان
۶۲	۴۵	۲/۲	پرتغال
۵۳	۴۳	۱/۸	کره جنوبی
۸۷	-	-	اسلواکی
۹۰	۴۶	۲/۹	اسپانیا
۱۰۸	۵۶	-	سوئد
۷۸	۵۱	۱/۸	سوئیس
۲۰	۱۴	۳/۲	بریتانیا
۴۶	۲۵	۳/۱	ایالات متحده آمریکا
۳۹	-	-	میانگین جهانی

جدول ۱-۲. سهم سرطان ریه منتسب به رادون در کشورهای مختلف

کشور	میانگین غلظت رادون (Bq/m^3)	درصد سرطان ریه منتسب به رادون	تعداد موارد فوت تخمین زده شده منتسب به سرطان ریه ناشی از رادون در سال
کانادا	۲۸	۷/۸	۱۴۰۰
آلمان	۴۹	۵	۱۸۹۶
سوئیس	۷۸	۸/۳	۲۳۱
بریتانیا	۲۱	۳/۳-۶	۱۰۸۹-۲۰۰۵
فرانسه	۸۹	۵-۱۲	۱۲۳۴-۲۹۱۳
امریکا	۴۶	۱۰-۱۴	۱۵۴۰۰ - ۲۱۸۰۰

۱-۴-۲. رادون و بیماری‌های غیر از سرطان ریه

هنگامیکه فرد در محیطی زندگی کند که رادون و محصولات ناشی از واپاشی آن وجود داشته باشد، قسمتی از بدن که بیشترین دز پرتوهای یونیزان را دریافت می‌کند بافت پوششی برونش‌های ریه می‌باشد؛ با این حال مجاری تنفسی و همچنین پوست نیز می‌توانند دز قابل توجهی را دریافت کنند. علاوه بر این دیگر اجزای بدن نظیر کلیه‌ها و مغز استخوان‌ها نیز ممکن است دزهای پایین‌تری را دریافت کنند. در صورتیکه شخص از آبی که رادون در آن محلول باشد مصرف کند دستگاه گوارش آن فرد نیز در معرض پرتوگیری قرار خواهد گرفت (۷).

۱-۵-۵. راههای جلوگیری از ورود رادون به منازل مسکونی و کاهش آن

اصولاً جلوگیری و کاهش سطح رادون در هوای داخل منازل مسکونی نیازمند دانش فنی و مهندسی و مهارت‌های خاصی می‌باشد. با توجه به اینکه ورود گاز رادون به داخل منازل مسکونی عمدتاً از طریق نشت آن از زمین و دیوارها به داخل منازل مسکونی صورت می‌گیرد راههای کاهش رادون در منازل مسکونی به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شود: (۱) جلوگیری از ورود گاز رادون به داخل منازل مسکونی (۲) کاهش گاز رادون در هوای داخل منازل مسکونی که در ادامه هر کدام از این دو روش تشریح شده است (۴، ۵).

۱-۵-۱. جلوگیری از ورود رادون به داخل منازل مسکونی

برای جلوگیری از ورود گاز رادون به داخل منازل مسکونی باید به پارامترهای زیر توجه خاصی شود (۴، ۵):

- **استفاده از چاهک رادون:** اگر ساختمان دارای کف بتنی یک تکه‌ای باشد، می‌توان با ایجاد چاهک رادون در زیر کف بتنی، گاز رادون جمع شده در زیر ساختمان را مستقیماً به بیرون هدایت کرد (این روش برای منازل مسکونی دارای سطوح رادون بیشتر از ۱۲۰۰ بکرل در متر مکعب بسیار مناسب و کارآمد می‌باشد).

- **آب بندی کف و دیوارهای ساختمان‌ها:** برای آب بندی کف و دیوارهای ساختمان‌ها باید از موادی از قبیل سیمان، رنگ و یا ورقه‌های پلاستیکی برای جلوگیری از نفوذ گاز رادن به داخل ساختمان استفاده کرد (این روش برای منازل مسکونی دارای سطوح رادن در محدوده ۴۰۰-۵۰۰ بکرل در متر مکعب بسیار مناسب و کارآمد می‌باشد).
- **افزایش تهویه در زیرزمین ساختمان‌ها:** در صورتیکه ساختمان دارای زیرزمین باشد، می‌توان با افزایش میزان تهویه در زیرزمین از تجمع گاز رادن در زیرزمین و منزل مسکونی جلوگیری کرد (این روش برای منازل مسکونی دارای سطوح رادن تا ۷۰۰ بکرل در متر مکعب بسیار مناسب و کارآمد می‌باشد).
- **استفاده از قلوه سنگ بجای شن درشت‌دانه در طراحی و ساخت پی ساختمان:** در این روش از قلوه سنگ‌های تمیزی به قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر و به ارتفاع تقریبی ۴ اینچ (حدود ۱۰ سانتی‌متر) در کف ساختمان که فونداسیون بتنی بر روی آن بنا خواهد شد، استفاده می‌شود. این لایه، جابجائی راحت تر هوا و گازهای خروجی از خاک و هدایت آن‌ها به لوله‌ی خروجی را فراهم می‌نماید.
- **استفاده از مواد کاهش دهنده سرعت گاز رادن خاک:** قبیل از اینکه بتن فونداسیون ریخته شود از یک لایه ورق پلی‌اتیلنی ۶ میلی‌متری برای پوشش قلوه سنگ‌ها استفاده شود و از این لایه همچنین می‌توان برای درزبندی محل ورود لوله‌ها به ساختمان استفاده کرد. این پوشش به عنوان یک مانع اولیه برای گاز خروجی از خاک بوده و باعث مسدود نمودن تمام سوراخ‌ها، ترک‌ها و شکستگی‌هایی که ممکن است بعداً در بتن بوجود آید، می‌شود.
- **لوله‌ی تهویه T شکل:** این لوله از جنس پی وی سی بوده و به گونه‌ای در داخل قلوه سنگ‌ها و در محل‌های نفوذ گاز قرار داده می‌شوند که بتوان گاز رادن را بعد از خروج از خاک براحتی و بدون هیچ مقاومتی از طریق این اتصال وارد لوله تخلیه کرد و شامل اجزای ذیل می‌باشد:
- **لوله‌ی سوراخ‌دار:** یک لوله‌ی ۳ یا ۴ اینچی سوراخ‌دار را بطور افقی در داخل قلوه سنگ‌ها و در قسمت‌هایی که خیزش گاز رادن اتفاق می‌افتد قرار داده می‌شود که با اتصال به لوله‌ی T شکل باعث ورود گاز رادن از زیر ساختمان به سیستم تهویه گاز رادن می‌گردد.
- **لوله‌ی تهویه:** یک لوله پی وی سی ۳ یا ۴ اینچی می‌باشد که با اتصال به لوله‌ی T در زیر بتون کف ساختمان و در داخل قلوه سنگ‌ها، به طور عمودی تا ارتفاع ۱۲ اینچی پشت بام ادامه داشته و معمولاً به فاصله‌ی حداقل ۱۰ فوت از پنجره‌ها و ساختمان‌های مجاور قرار می‌گیرد. این لوله مستقیماً گاز رادن خروجی از خاک را به بیرون از ساختمان هدایت می‌نماید.

- **محافظ پست بام:** یک تکه ورق فلزی و یا پلاستیکی دور تا دور لوله‌ی تهویه و در محل خروج لوله از پشت بام طوری قرار می‌دهند، که از ورود آب باران و نیز نشر احتمالی گاز رادن به بیرون و وارد شدن آن به داخل ساختمان جلوگیری به عمل آورد.

۱-۵-۲. کاهش رادن در هوای داخل منازل مسکونی

در این روش که اساس آن غیرفعال سازی گاز رادن وارد شده به داخل ساختمان بوده است، برخلاف روش اول اغلب بسادگی گاز رادن وارد شده به داخل ساختمان‌ها را از ساختمان‌ها خارج می‌سازند. برای کاهش گاز رادن در هوای داخل منازل مسکونی باید به نکات زیر توجه خاصی شود (۴، ۵):

- **بوجود آوردن فشار مثبت در ساختمان‌ها:** برای این کار می‌توان فشار هوای داخل ساختمان را توسط یک فن با مکش هوا از بیرون و دمیدن آن به داخل ساختمان بالا برده و از نفوذ گاز رادن به داخل ساختمان جلوگیری کرد (این روش برای منازل مسکونی دارای سطوح رادن تا ۷۰۰ بکرل در متر مکعب بسیار مناسب و کارآمد می‌باشد)؛ در انگلستان نتایج مطالعات نشان داده است که استفاده از یک فن با دبی ۵۰ l/s در منازلی که غلظت گاز رادن در آنها حدود 750 Bq/m^3 بوده است سبب کاهش غلظت رادن به کمتر از 200 Bq/m^3 شده است. [البته می‌بایست توجه نمود در مناطقی که غلظت آلاینده‌های هوای آزاد (بیرون از خانه) بالا است و در اکثر روزهای سال غلظت آلاینده‌ها بالاتر از حد استاندارد یا رهنمودی باشد این روش سبب افزایش غلظت آلاینده‌های هوا در هوای داخل می‌شود].
- **اصلاح سیستم تهویه ساختمان:** برای کاهش نفوذ گاز رادن از کف و دیوارهای ساختمان می‌توان سیستم تهویه اصلاح کرد (این روش برای منازل مسکونی دارای سطوح رادن پایین‌تر از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بسیار مناسب و کارآمد می‌باشد).

۱-۶. مقادیر مرجع ملی (national reference level) غلظت رادن

مقادیر مرجع ملی برای رادن بیانگر حداکثر غلظت مجاز (قابل قبول) رادن در منازل مسکونی است و یکی از ارکان اصلی برنامه ملی رادن است. منزلتی که غلظت رادن در آنها بالاتر از مقادیر مرجع ملی باشد، انجام اقدامات اصلاحی در آنها ضروری و یا حداقل می‌بایست پیشنهاد شود. به منظور تدوین یک مقدار مرجع ملی می‌بایست به عوامل ملی متعددی توجه نمود که برخی از آنها عبارتند از توزیع رادن در کشور، تعداد منازل موجود با غلظت بالای رادن، میانگین حسابی مقادیر رادن هوای داخل و شیوع افراد سیگاری. براساس آخرین یافته‌های علمی، سازمان بهداشت جهانی به منظور به حداقل رساندن مخاطرات بهداشتی ناشی از مواجهه با رادن، مقدار 100 Bq/m^3 را به عنوان مقدار مرجع پیشنهاد داده است. بنابراین در صورتیکه با توجه به شرایط موجود امکان دستیابی به این مقدار میسر نباشد، مقدار مرجع نباید از 300 Bq/m^3 تجاوز نماید که این میزان معادل 10 mSv در سال براساس آخرین محاسبات

اتحادیه بین‌المللی حفاظت در برابر پرتو (ICRP) است (۴). اغلب کشورها با توجه به شرایط موجود در آنها یک حد مرجع ملی در نظر گرفته اند که و با توجه به این مقادیر اقدامات اصلاحی می‌بایست انجام گیرد که در جدول ۱-۳ چند نمونه از این موارد آورده شده است. نکته قابل توجه این است که هیچ گونه غلظت حد آستانه‌ای برای رادون که کمتر از آن خطری برای سلامتی وجود نداشته باشد نیست. در حال حاضر محدوده مجاز غلظت رادون در هوای داخل اماکن نوساز در اروپا ۲۰۰ بکرل در مترمکعب و در اماکن مسکونی قدیمی ۴۰۰ بکرل در مترمکعب است.

جدول ۱-۳. مقادیر مرجع ملی رادون هوای داخل

Q1 Programme yes no					
Q2 Action level yes no					
Q2a for existing dwellings					
Q2b for dwellings under construction					
NO	Country	Q1	Q2	Q2a	Q2b
1.	Argentina	Y	Y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
2.	Austria	Y	Y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
3.	Brazil	Y	N	-	-
4.	Belgium	Y	Y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
5.	Bulgaria	Y	Y	500 Bq/m ³ (250 EEC) vol. existing	200 Bq/m ³ (100 EEC) vol
6.	Canada	Y	Y	800 Bq/m ³ under revision; new: 200 Bq/m ³ vol	800 (200) Bq/m ³ vol.
7.	China	Y	Y	400 Bq/m ³ . for houses; 1000 Bq/m ³ for workplace	200 Bq/m ³ .
8.	Czech Republic	Y	Y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
9.	Denmark	Y	Y	200 Bq/m ³ vol., (differentiated guidance < 400 Bq/m ³ vs. > 400 Bq/m ³)	200 Bq/m ³ vol., compulsory airtight construction;
10.	Ecuador	N	-	100 Bq/m ³ (min) comp. 400 Bq/m ³ (max)	comp.
11.	Finland	Y	Y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ comp.
12.	France	Y	(N)	400 Bq/m ³ comp. for selected public buildings	
13.	Georgia	Y	Y	200 Bq/m ³ comp.	100 Bq/m ³
14.	Germany	Y	Y	100 Bq/ m ³ vol.	100 Bq/ m ³ vol.
15.	Greece	Y	Y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
16.	Ireland	Y	Y	200 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
17.	Italy	Y	N	-	-
18.	Japan	Y	N	-	-
19.	Korea	-	N	-	-
20.	Kyrgyzstan	Y	Y	<200 Bq/m ³	200 Bq/m ³
21.	Latvia	Y	Y	200 Bq/m ³ vol., 600 Bq/m ³ comp.	200 Bq/m ³ comp.
22.	Lithuania	Y	Y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
23.	Morocco	Y	Y	(Dose limits as in IAEA-BSS) vol.	(no diff. existing – under constr.)
24.	Netherlands	Y	Y	-	30 Bq/m ³ (vol.) averaged over all new dwellings built in one year. If level exceeded there will be new regulation
25.	Norway	Y	Y	200 Bq/m ³	200 Bq/m ³ comp. upper level (bldng. regulations)
26.	Paraguay	N	-	-	-
27.	Peru	N	Y	200-600 Bq/m ³ for houses; 1000 Bq/m ³ for workplaces	-
28.	Romania	Y	Y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
29.	Russia	Y	Y	400 Bq/m ³ existing, homes comp. 200 Bq/m ³ (100 Bq/m ³ Rn EEC) new	200 Bq/m ³

نکته قابل توجه این است که سطوح مرجع ملی در هر کشور با توجه به مقادیر رادون موجود و رعایت ملاحظات اقتصادی و اجتماعی تعیین می‌گردد. در اغلب کشورها برای ساختمان‌های موجود، سطح مرجع ۴۰۰ بکرل و برای ساختمان‌های در دست ساخت ۲۰۰ بکرل در نظر گرفته شده است که این الگو می‌تواند در کشور ما نیز مدنظر قرار گیرد.

۱-۲. روش‌های پایش رادون

طبقه‌بندی‌های مختلفی در مورد روش‌های سنجش رادون در منازل وجود دارد که در ادامه به دو نوع از این طبقه‌بندی‌ها که توسط US. EPA و WHO ارائه شده است پرداخته می‌شود. در ابتدا روش‌های سنجش براساس US. EPA بیان شده است و در ادامه روش‌های ارائه شده توسط WHO آورده شده است (۴, ۸).

اگرچه رادون گازی بی‌رنگ و بی‌بو است اما می‌توان به آسانی با استفاده از تجهیزات مناسب آن را پایش کرد. در امریکا، رادون در خانه‌ها توسط تجهیزات مختلفی از جمله کیت‌های ارزان قیمتی که هر فرد قادر به انجام آن است سنجش می‌شود. US EPA پیشنهاد می‌کند که تمامی خانه‌های طبقات زیر سه می‌بایست گاز رادون آنها سنجش شود. معمولترین تجهیزات کوتاه مدت سنجش رادون شامل اتاقک‌های ذغال (charcoal canisters)، آشکارسازهای ردپای آلفا (alpha track detectors)، آشکارسازهای سینتیلیسیون مایع، محفظه‌های یون الکترونیکی (electret ion chambers) و پایشگرهای مداوم می‌باشند؛ در این روش بسته به نوع آشکارساز، تجهیزات برای ۹۰-۲ روز در منازل قرار می‌گیرند. از آنجاییکه مقدار رادون دارای تغییرات روزانه و فصلی است لذا روش‌های سنجش بلندمدت (طولانی مدت) نسبت به روش‌های سنجش کوتاه مدت بهتر مقدار متوسط سالانه سطح رادون را نشان می‌دهند. در صورتی که نیاز به نتایج فوری باشد پیشنهاد می‌شود که از روش سنجش کوتاه مدت بصورت دو بار پشت سر هم استفاده شود تا میزان مشکل رادون تعیین گردد. روش‌های سنجش بلند مدت از لحاظ هزینه با روش‌های کوتاه مدت قابل رقابت هستند و در این روش تجهیزات سنجش برای مدتی بیش از سه ماه در محل‌های نمونه برداری قرار داده می‌شوند و بنابراین نتایج حاصل از آنها شاخص بهتری از میزان متوسط سالانه می‌باشد. متداولترین تجهیزات سنجش بلند مدت رادون شامل آشکارسازهای ردپای آلفا (alpha track detectors) و آشکارسازهای یون الکترونیکی (electret ion detectors) می‌باشند.

اتاقک‌های ذغال و آشکارسازهای سینتیلیسیون مایع حاوی مقادیر کمی ذغال فعال می‌باشند. رادون و محصولات فروپاشی آن بر روی ذغال جذب شده و با استفاده از آشکارسازهای یدید سدیم یا شمارنده سینتیلیسیون مایع مقدار (تعداد) آنها اندازه‌گیری می‌شود. در این تجهیزات رادون جذب شده در مراحل اولیه مواجهه، پس از چند روز تجزیه می‌شود و بنابراین طول زمان اندازه‌گیری محدود می‌شود و لذا این تجهیزات توانایی سنجش میزان متوسط مواجهه واقعی را ندارند. آشکارسازهای ذغال تنها برای سنجش کوتاه مدت و برای شرایطی که نیاز به نتایج بسیار فوری باشد مناسب هستند.

آشکارسازهای رد پای آلفا دارای یک ورق پلاستیکی کوچک می باشند که طول مدت نمونه برداری آنها ۳-۱ ماه می باشد. ذرات آلفا به محض برخورد با ورق پلاستیکی طی فرآیندهای هسته ای رد پا ایجاد می نمایند و در نهایت این رد پاها تحت یک فرآیند شیمیایی یا الکتروشیمیایی و با استفاده از یک میکروسکوپ جهت تعیین غلظت رادون قرار می گیرند. آشکارسازهای etched track برای سنجش های بلند مدت نسبتاً ارزان و مناسب می باشند و معمولاً برای یک دوره سه ماهه طراحی شده اند.

آشکارسازهای یون الکترونیکی دارای یک صفحه تفلونی شارژ شده بصورت الکترواستاتیکی است. یونهای ایجاد شده بواسطه تجزیه رادون، به سطح صفحه چسبیده و سبب کاهش ولتاژ صفحه می شوند و از طریق سنجش کاهش ولتاژ، غلظت رادون محاسبه می گردد. انواع مختلفی از این نوع آشکارسازها وجود دارد که برای سنجش دوره های چند روزه تا چند ماهه طراحی شده اند و نکته قابل توجه در مورد این آشکارسازها این است که جهت دستیابی به نتایج با دقت بالا می بایست این آشکارسازها با دقت بسیار جابه جا شوند.

بر اساس طبقه بندی WHO روش های اندازه گیری رادون به چهار دسته: بلند مدت، کوتاه مدت، فعال و غیرفعال تقسیم بندی شده است. این روش ها در ادامه آورده شده اند.

روش بلند مدت^۱: سطوح رادون در ساختمان ها با گذشت زمان به صورت قابل توجهی تغییر می کند. تغییرات در سطوح گاز رادون از یک فصل به فصل دیگر تغییر می کند. بیشترین سطوح رادون در هوای داخل منازل مسکونی معمولاً در طول ماه های زمستان مشاهده شده است. در نتیجه اندازه گیری طولانی مدت نتایج بسیار بهتری از میانگین غلظت سالانه رادون نسبت به اندازه گیری کوتاه مدت آن بدست خواهد داد. اندازه گیری طولانی مدت می تواند از ۳ تا ۱۲ ماه بطول بیانجامد. وزارت بهداشت کانادا توصیه می کند اندازه گیری رادون در منازل مسکونی و یا مکان های عمومی بهتر است به صورت طولانی مدت انجام شود. اندازه گیری رادون برای مدت زمان کمتر از یک ماه توصیه نمی شود.

روش کوتاه مدت^۲: در برخی موارد برای نشان دادن سریعتر غلظت رادون از این روش استفاده می شود. تحت چنین شرایطی اندازه گیری کوتاه مدت در کمتر از ۳ ماه (به طور مشخص ۷-۲ روز) می تواند انجام شود. اندازه گیری غلظت گاز رادون برای مدت زمان کمتر از دو روز (۴۸ ساعت) هرگز برای ارزیابی فعالیت های اصلاحی قابل قبول نمی باشد. از آنجایی که غلظت گاز رادون در طول زمان تغییر می کند، شدیداً توصیه می شود که نتایج هر اندازه گیری کوتاه مدت توسط یک اندازه گیری طولانی مدت مورد آزمایش قرار گیرد و تأیید شود.

^۱Long-term

^۲Short-term

روش های فعال^۱: این روش برای اندازه گیری غلظت محصولات ناشی از واپاشی رادون استفاده می شود. این روش مستلزم جمع آوری محصولات ناشی از واپاشی رادون در هوا بر روی یک فیلتر توسط پمپ و آنگاه شمارش پرتوزایی فیلتر می باشد. در این روش، مدت زمان نمونه برداری از هوا حدود ۴۰-۵ دقیقه می باشد.

روش های غیر فعال^۲: در این روش ها هیچگونه پمپی برای مکش هوا بداخل سلول یا اتاقک استفاده نمی شود. به عنوان مثال با قرار دادن سلول یا یک اتاقک شبیه لیوان در محیط، گاز رادون از طریق یک فیلتر بداخل اتاقک نفوذ کرده، ذرات آلفای ناشی از رادون و محصولات ناشی از واپاشی آن در یک حجم مشخص از هوا توسط یک آشکارساز ثبت و اندازه گیری می گردد.

معمول ترین وسایل اندازه گیری رادون که برای برنامه ی بین المللی پایش رادون سازمان بهداشت جهانی استفاده شده اند شامل: آشکارسازهای رد پای آلفا، آشکارساز یون الکترونیکی و آشکارساز ذغال فعال است. روش های فعالی که توسط بسیاری از کشورها مورد استفاده قرار گرفته اند، شامل پایشگرهای الکترونیکی یکپارچه^۳ و پایشگرهای مداوم رادون^۴ می باشد. ابزارهای غیرفعال به توان الکتریکی و یا پمپ نمونه گیری نیاز ندارند در حالیکه ابزارهای فعال به الکتریسیته نیاز داشته و می توانند تغییرات غلظت گاز رادون را در طول دوره ی اندازه گیری ثبت کنند. برای اندازه گیری رادون در یک دوره ی بلند مدت در منازل مسکونی استفاده از آشکارسازهای رد پای آلفا معمول تر می باشد و اغلب اندازه گیری ها در یک دوره ی یکساله انجام می گیرد. آشکارساز یون الکترونیکی اغلب برای دوره های کوتاه مدت (چند روز) و یا متوسط (چندین هفته یا ماه) مورد استفاده قرار می گیرند. همچنین این آشکارسازها می توانند غلظت رادون را در طول یک دوره زمانی (۸ ساعته) مشخص تعیین کنند. با توجه به اینکه قیمت آشکارسازهای الکترونیکی یکپارچه تدریجا در حال کاهش می باشد، استفاده از آن ها افزایش پیدا کرده است. جدول ۱-۴ مزایا و معایب آشکارسازهای معمول مورد استفاده در اندازه گیری رادون را نشان می دهد.

¹Active

²Passive

³Electronic Integrating Device

⁴Continuous Radon Monitor

جدول ۱-۴. مشخصات آشکارسازهای معمول مورد استفاده در اندازه گیری رادون

نوع آشکارساز	فعال/غیر فعال	عدم قطعیت معمول * (%)	دوره نمونه برداری	هزینه
آشکارساز رد پای آلفا	غیر فعال	۱۰-۲۵	۱ تا ۱۲ ماه (طولانی مدت)	پایین
آشکارساز ذغال فعال	غیر فعال	۱۰-۳۰	۲-۷ روز (کوتاه مدت)	پایین
آشکارساز یون الکترونیکی	غیر فعال	۸-۱۵	۵ روز الی یک سال (کوتاه مدت و طولانی مدت)	متوسط
پایشگرهای الکترونیکی یکپارچه	فعال	۲۵	دو روز تا چند سال (کوتاه مدت و طولانی مدت)	متوسط
پایشگرهای مداوم رادون	فعال	۱۰	یک ساعت تا چند سال (کوتاه مدت و طولانی مدت)	بالا

*عدم قطعیت ذکر شده مربوط به مدت زمان پرتوگیری متوسط و در حدود ۲۰۰ بکرل بر مترمکعب می باشد.

بر اساس هدف سنجش رادون، از جدول ۱-۵ می تواند به عنوان راهنمایی برای انتخاب روش های اندازه گیری استفاده نمود.

جدول ۱-۵. راهنمای انتخاب روش های اندازه گیری

هدف اندازه گیری	روش های اندازه گیری رادون
تست های مقدماتی رادون	آشکارسازهای Activated Charcoal، Electret Ion Chamber و Continuous Radon Monitor
ارزیابی مواجهه	آشکارسازهای Electronic، Continuous Radon Monitor، Electret Ion Chamber و Integrating Device Alpha-track
ارزیابی اقدامات اصلاحی	Continuous Radon Monitor

۱-۷-۱. آشکارسازهای رادون

آشکارسازهای رد پای آلفا: این آشکارسازها دارای یک قطعه کوچک از جنس پلیمر می باشند که توسط فیلتری در داخل یک محفظه (اتاقک) محصور شده است. این فیلتر اجازه ی ورود به فرآورده های ناشی از فروپاشی رادون را نمی دهد. تصویر یک نمونه از این آشکارسازها در شکل ۱-۳ ارائه شده است.



شکل ۱-۳. آشکارساز رد پای آلفا

این آشکارسازها به طور معمول از موادی همچون پلی آلیل دی گلیکول کربنات^۱ (CR-39)، نیترات سلولز (LR-115) یا پلی کربنات (Makrofol) ساخته می شود. هنگامی که ذرات آلفای ساطع شده توسط رادون یا محصولات فروپاشی آن در مجاورت این مواد قرار می گیرند می توانند طی فرآیندهای هسته ای رد پای میکروسکوپی در مسیر حرکتشان ایجاد کنند که تحت عنوان رد پای آلفا (Alpha-track) بیان می شوند. رد پاهای میکروسکوپی تحت فرآیندهای خوردش شیمیایی و الکتروشیمیایی در آزمایشگاه قرار می گیرند و بزرگتر می شوند به گونه ای که زیر میکروسکوپ قابل مشاهده و شمارش به صورت دستی یا اتوماتیک می شوند. تعداد رد پاهای شمارش شده بر روی سطوح مواد این آشکارساز مستقیماً متناسب با غلظت رادون بوده که بر اساس بکرل در مترمکعب می باشد. برای تبدیل تعداد رد پاهای شمارش شده به غلظت از یک فاکتور تبدیل استفاده می شود. این فاکتور که ضریب کالیبراسیون نامیده می شود پس از کالیبراسیون آشکارساز در یک میدان رادون با غلظت معلوم و در شرایط کنترل شده در آزمایشگاه کالیبراسیون بدست می آید. به طور کلی این نوع از آشکارسازها می بایست برای مدت زمان یک ماه تا یک سال در معرض پرتوگیری قرار گیرند. در اندازه گیری های انجام شده در ارتفاعات بسیار بالا (به عنوان مثال بالاتر از ۲۰۰۰ متر) با توجه به اختلاف در چگالی هوا (که می تواند بر فاصله ذرات آلفا تاثیر بگذارد) ممکن است این آشکارساز به تنظیمات جزئی نیاز داشته باشد. حداقل غلظت قابل آشکارسازی^۲ برای در معرض قرارگیری یک ماهه این نوع آشکارساز حدود 30 Bq/m^3 می باشد.

۱-۲-۷. آشکارساز ذغال فعال

این آشکارسازها دستگاه های غیر فعالی برای اندازه گیری رادون هستند که به مدت ۷-۱۰ روز در داخل ساختمان ها قرار داده می شوند. مبنای اصلی تشخیص رادون در این آشکارسازها جذب این گاز در جایگاه های فعال موجود در کربن فعال می باشد. بعد از نمونه برداری، آشکارساز بسته بندی می شود تا محصولات ناشی از فروپاشی رادون با گاز رادون جمع آوری شده به تعادل برسد. پس از یک تا ۳ ساعت، پرتو گاما انتشار یافته از کربن فعال به طور مستقیم مورد شمارش قرار گرفته و یا آماده سازی می شوند تا توسط روش سینتیلاسیون مایع مورد شمارش قرار گیرند. از آنجا که نتایج پاسخ آشکارسازهای ذغال فعال تحت تاثیر میزان رطوبت قرار دارد، این آشکارسازها باید

^۱polyallyl diglycol carbonate

^۲Minimum Detectable Concentration

در رطوبت های مختلفی کالیبره شوند. همچنین این آشکارسازها باید در زمان ها و درجه حرارت های مختلفی کالیبره شوند تا نتایج دقیق تری را بدست دهند. از آنجایی که نیمه عمر واپاشی رادون $3/8$ روز می باشد، باید آشکارسازها در حداقل زمان ممکن جهت تجزیه و تحلیل به آزمایشگاه انتقال داده شوند. شکل ۱-۴ یک نمونه از آشکارسازهای ذغال فعال را نشان می دهد.



شکل ۱-۴. آشکارساز ذغال فعال

۱-۷-۳. آشکارساز یون الکترونیکی

این آشکارساز نمونه بردارهای غیرفعال هستند که عملکرد آن ها مشابه آشکارسازهای جمع کننده می باشد. در این آشکارساز مواد الکتروت^۱، به عنوان یک منبع میدان الکتریکی عمل کرده و همچنین به عنوان یک حسگر در محفظه ی یونی عمل می کند. گاز رادون، و نه محصولات ناشی از فروپاشی آن، از طریق یک ورودی دارای فیلتر به صورت غیرفعال به داخل اتاقک نفوذ می کند. پرتوهای انتشار یافته از رادون و محصولات واپاشی آن، هوای موجود در اتاقک را یونیزه می کنند. یون های منفی توسط الکتروت های مثبت واقع در پایین اتاقک جمع آوری می شوند. تخلیه بار در الکتروت طی یک بازه ی زمانی مشخص برابر با کل یونیزاسیون انجام شده در طول آن بازه زمانی است و این به نوبه ی خود با غلظت رادون در ارتباط است. تخلیه بار الکتروت بر حسب ولت با استفاده از تجهیزات خوانشگر الکتروت بدون باطری سنجیده می شود. این مقادیر را با لحاظ نمودن زمان و فاکتور کالیبراسیون می توان به میزان غلظت رادون بر اساس واحد دلخواه تبدیل کرد. آشکارسازهای کوتاه مدت، برای اندازه گیری رادون در مدت ۱۵-۲ روز و غلظت ۱۵۰ بکرل در متر مکعب طراحی شده اند و آشکارسازهای بلند مدت، برای اندازه گیری رادون در مدت بیش از ۳ تا ۱۲ ماه و غلظت ۱۵۰ بکرل در متر مکعب مورد استفاده قرار می گیرند. این وسایل در کشورهای مختلفی مورد استفاده قرار گرفته اند. در صورتیکه دستورالعمل های عملیاتی

^۱ مواد الکتروت مواد دی الکتریک هستند که پس از گدازش و سرد شدن در میدان الکتریکی قوی به صورت دائمی باردار و قطبیده می شوند.

استاندارد در کاربرد این نوع از آشکارسازها رعایت شوند، دقت و صحت بالایی را از خود نشان می دهند. شکل ۱-۵ آشکارساز Electret Ion Chamber یا E-PERM را نشان می دهد.



شکل ۱-۵. آشکارساز Electret Ion Chamber یا E-PERM

۱-۷-۴. پایشگرهای الکترونیکی جمع کننده

در این پایشگرها از یک آشکارساز سیلیکونی جامد که در داخل یک اتاقک نفوذی قرار گرفته است برای شمارش ذرات آلفای انتشار یافته از دختران رادون استفاده می شود. جهت دستیابی به حساسیت های بالاتر می توان از ولتاژ بالا و با استفاده از مکانیزم جمع آوری الکترواستاتیکی محصولات باردار واپاشی رادون از طریق تماس مستقیم با آشکارساز استفاده کرد. رطوبت زیاد هوا ممکن است در اندازه گیری اثر داشته باشد. در برخی از این پایشگرها، قابلیت کالیبراسیون دائمی وجود ندارد. شکل ۱-۶ پایشگرهای الکترونیکی جمع کننده را نشان می دهد.



شکل ۱-۶. پایشگرهای الکترونیکی جمع کننده

۱-۷-۵. پایشگرهای مداوم رادون

انواع مختلفی از پایشگرهای مداوم تجاری رادون وجود دارند که در آن‌ها از حسگرهای متفاوتی از قبیل سلول‌های سینتیلایسیون، اتاقک‌های یونیزاسیون پالسی و یا جریان دائم و آشکارسازهای سیلیکونی جامد استفاده می‌شود. در این پایشگرها هوا می‌تواند توسط یک پمپ کوچک و یا از طریق نفوذ به داخل اتاقک جهت آنالیز حسگر انتقال یابد. همه‌ی این پایشگرها دارای مدارهای الکتریکی برای گزارش دهی و محاسبه غلظت رادون جمع‌آوری شده هستند. هریک از این نوع پایشگرها دارای مزیت‌های خاصی هستند. برای مثال، وقتی که از آشکارساز سیلیکون جامد استفاده شود، بیناب سنجی ذرات آلفا برای جدا سازی رادون و تورون قابل انجام خواهد بود. در برخی دستگاه‌ها جهت کاهش اثر رطوبت، هوای ورودی به دستگاه را خشک می‌کنند. معمولاً حداقل غلظت قابل تشخیص این وسایل در حدود ۵ بکرل در مترمکعب با استفاده از روش‌های استاندارد می‌باشد. پایشگرهای مداوم رادون به کالیبراسیون دوره‌ای و مداوم جهت دستیابی به نتایج صحیح و قابل اطمینان و معتبر نیاز دارند. شکل ۱-۷ پایشگرهای مداوم رادون را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۷. پایشگرهای مداوم رادون

۱-۷-۶. محل قرارگیری آشکارساز و اندازه‌گیری گاز رادون

محل قرارگیری آشکارساز بایستی در پایین‌ترین سطح قابل دسترسی در منزل مسکونی قرار گیرد. اگر اتاق خواب در پایین‌ترین قسمت در منزل مسکونی قرار گیرد بهترین انتخاب برای نصب آشکارساز می‌باشد. برای نصب آشکارساز باید به فاکتورهای زیر توجه شود (۸):

- ۱) آشکارساز بایستی حداقل ۵۰ سانتی‌متر از کف اتاق، و دست کم ۱۰ سانتی‌متر از هر شی دیگر فاصله داشته باشد.
- ۲) مکان اندازه‌گیری بایستی در حدود ۹۰ سانتی‌متر از درب‌ها و پنجره‌ها یا از هر خروجی دیگری فاصله داشته باشد.
- ۳) اندازه‌گیری نبایستی در آشپزخانه، رختشویخانه و حمام که دارای رطوبت بالا و یا فن که سبب عدم قطعیت نتایج می‌شوند انجام گیرد.
- ۴) محل قرارگیری آشکارساز نبایستی در دوره اندازه‌گیری تغییر کند.
- ۵) اندازه‌گیری نبایستی نزدیک بخاری، تهویه، درب‌های ورودی و خروجی، فن‌ها، پنجره‌ها و مکانی با رطوبت بالا انجام گیرد.

- ۶) بدلیل حساسیت برخی آشکارسازها نسبت به افزایش جابجایی هوا، فن‌ها در ناحیه اندازه‌گیری بایستی خاموش گردند.
- ۷) برای اندازه‌گیری کوتاه مدت غلظت رادون و محصولات ناشی از واپاشی آن بایستی تمام خروجی‌های ساختمان بسته باشد. تمامی پنجره‌ها و درب‌های خروجی بایستی در دوره اندازه‌گیری کاملاً بسته باشد (بجز ورودی‌ها و خروجی‌های عادی).

۱-۸. نقشه مناطق مستعد حضور رادون

نقشه‌های مناطق مستعد حضور رادون^۱ دارای کاربردهای مهمی بخصوص در کنترل رادون از طریق اقدامات بهداشتی و ساختمانی می‌باشند. این نقشه‌ها به منظور اهداف زیر استفاده می‌شوند (۹):

- ۱) نیاز به ارزیابی روش‌های کنترلی برای ساختمان‌های جدید
- ۲) هدفمند و مقرون به صرفه کردن پایش رادون در اماکن موجود
- ۳) مطلع کردن خریداران و فروشندگان از وضعیت رادون در مناطق مختلف
- ۴) تهیه داده‌های مواجهه برای مطالعات اپیدمیولوژیک.

بنابراین گرچه نقشه‌های زمین‌شناسی پیش‌بینی رادون بیانگر خطر نسبی رادون می‌باشند اما در واقع نمی‌توانند غلظت رادون را در داخل ساختمان‌ها برآورد نمایند و این امر تنها از طریق پایش رادون در داخل ساختمان‌ها امکان‌پذیر می‌باشد (۹).

دو رویکرد اصلی برای تهیه نقشه مناطق مستعد رادون وجود دارد: ۱) استفاده از داده‌های اندازه‌گیری رادون در ساختمان‌ها و ۲) استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی. به علت اینکه رادون در ساختمان‌ها عمدتاً از صخره‌های موجود در زمین وارد ساختمان‌ها می‌شود و نقشه‌های زمین‌شناسی در مورد اینکه چه صخره‌هایی در زیر ساختمان‌ها وجود دارد تهیه می‌شوند در ابتدا استفاده از شاخص‌های زمین‌شناسی از قبیل محتوی اورانیوم و نفوذپذیری صخره‌ها برای تهیه نقشه مناطق مستعد حضور رادون به نظر خیلی جذاب می‌آید. اما نتایج محققین نظیر Hulka و همکارانش نشان دادند که این روش شاخص معتبری برای نشان دادن غلظت رادون در ساختمان‌ها نمی‌باشد زیرا این احتمال وجود دارد که ارتباط بین شاخص‌های زمین‌شناسی و غلظت رادون در هوای داخل ساختمان‌ها با توجه به تنوع صخره‌ها متفاوت باشد. همچنین Ball و Miles نشان دادند که دو منطقه مجاور هم که دارای ساختار زمین‌شناسی مشابهی هستند لزوماً دارای غلظت رادون مشابهی نیستند (۹).

اگر نتایج کافی از اندازه‌گیری رادون در ساختمان‌ها در دسترس باشد می‌توان از آن‌ها بطور مستقیم برای تهیه نقشه مستعد رادون استفاده کرد. در مطالعات مختلف، مناطق کوچکی انتخاب شده است که محدوده وسیعی از غلظت رادون در هوای داخل ساختمان‌های آن مناطق مشاهده شده است. علت این پدیده (محدوده وسیعی از غلظت رادون) این است که فاکتورهای متعددی بر روی غلظت رادون

¹radon potential maps

در ساختمان‌ها تاثیر می‌گذارد که از این فاکتورها می‌توان به محتوی رادیوم و نفوذپذیری زمین زیرساختمان‌ها و سایر مشخصه‌های ساختمان اشاره کرد. تغییر در این فاکتورها در بین ساختمان‌ها منجر به این محدوده وسیع از غلظت رادن شده است. یافته‌ها نشان داده‌اند که توزیع غلظت رادن در ساختمان‌های کل کشور و یا در منطقه کوچکی از کشور معمولاً غیرنرمال می‌باشد و انتخاب نوع منطقه مشکل است و هر انتخابی دارای مزایا و معایبی می‌باشد. بنابراین جهت انتخاب مکان‌های نمونه‌برداری به منظور تهیه نقشه‌های رادن از روشهای مختلف با مبنای جغرافیایی و جمعیتی استفاده می‌شود که در ادامه هر کدام از این روشها تشریح خواهد شد (۹).

در یکی از روشهای بر اساس جغرافیا محل، مناطق مسکونی را با توجه به مساحت سلول بندی کرده و از هر سلول یک یا چند محل نمونه‌برداری تعیین می‌شود. مساحت بنا جهت بلوک بندی تا حدودی متفاوت می‌باشد؛ به نحوی که مساحت‌های 2×2 ، 5×5 و 10×10 کیلومتر از مناطق مسکونی در بلوک بندی مناطق مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش دارای معایبی است که می‌توان به صورت زیر به آن اشاره کرد: در این روش مربع‌ها ممکن است ۲ یا بیشتر از ۲ منطقه زمین‌شناسی با پتانسیل مختلف انتشار رادن را پوشش دهند. از مزیت این روش می‌توان بدین صورت اشاره کرد که همه مناطق بطور مساوی انتخاب شده‌اند و اگر داده‌ها از بین بروند با توجه به مرزبندی این مربع‌ها می‌توان با سادگی درون‌یابی را انجام داد. در این روش حتی اگر جزئیات حذف شوند می‌تواند یک تصویر قوی از الگوی تغییرات پتانسیل انتشار رادن بر اساس اندازه‌گیری در ساختمان‌ها را بوجود آورد. هدف اصلی در این پایش جغرافیایی رادن تهیه نقشه موزائیکی پتانسیل رادن زایی در پهنه کشور می‌باشد. نمونه‌های از کشورهایی که از این روش استفاده کرده‌اند عبارتند از: اتریش از بلوک‌های 2×2 km، انگلستان از بلوک‌های 5×5 km و جمهوری چک از بلوک‌های 10×10 km استفاده کرده‌اند (۹).

از دیگر روش‌های تهیه نقشه‌های رادن برآورد نمونه‌ها با توجه به تعداد ساختمانهای موجود است که در آمریکای جنوبی حدود ۰/۵ درصد از خانه‌ها جهت نمونه‌برداری انتخاب شدند (۱۰).

فصل دوم

روش اجرایی مطالعه

۱-۲. اهداف

۱-۱-۲. اهداف اصلی و فرعی مطالعه

هدف اصلی

(۱) مرور ساختار یافته مطالعات ملی پایش رادن

اهداف فرعی

- (۲) مرور ساختار یافته مطالعات انجام شده برای ارزیابی غلظت رادن در منازل مسکونی در سطح ملی
- (۳) تعیین متدلوژی مطالعات پایش ملی رادن
- (۴) مرور ساختار یافته مطالعات انجام شده برای ارزیابی غلظت رادن در منازل مسکونی کشور
- (۵) مرور ساختار یافته مطالعات انجام شده برای ارزیابی رادن در محیط‌های آموزشی، خدماتی و تفریحی کشور
- (۶) تبیین نقاط ضعف و قوت پژوهش‌های انجام شده برای ارزیابی غلظت رادن در کشور

۲-۱-۲. مراحل اجرای مطالعه

این مطالعه یک مطالعه مروری ساختار یافته است که با توجه به اهداف آن می‌بایست مطالعات انجام شده در ایران در زمینه رادن در هوا داخل محیط‌های مسکونی و مطالعات ملی انجام شده در سایر نقاط دنیا که مرتبط با رادن هوای داخل منازل مسکونی بوده است گردآوری شود و در نهایت این مطالعات مورد بررسی قرار گیرند.

به منظور دستیابی به اهداف این مطالعه بطور کلی مراحل ذیل انجام شد:

- (۱) تهیه و تدوین فرم جمع‌آوری اطلاعات جهت گردآوری داده‌های مورد نظر از مطالعات صورت گرفته
- (۲) طراحی استراتژی جستجو جهت یافتن مطالعات انجام شده در زمینه رادن در هوا داخل
- (۳) گردآوری و بررسی مطالعات انجام شده در ایران در زمینه رادن هوای داخل
- (۴) گردآوری و بررسی مطالعات انجام شده در سایر مناطق دنیا در زمینه رادن هوای داخل در سطح ملی

۲-۱-۳. تهیه و تدوین فرم جمع‌آوری اطلاعات

جهت یکپارچه شدن نتایج حاصل از مطالعات گردآوری شده، ابتدا ویراست اولیه فرم جمع‌آوری اطلاعات توسط همکاران در پژوهشکده محیط زیست طراحی گردید و جهت دریافت نظرات سایر همکاران در سازمان انرژی اتمی برای آنها ارسال گردید و در نهایت فرم ذیل تهیه شد.

فرم جمع آوری اطلاعات

- (۱) عنوان مطالعه:
- (۲) هدف مطالعه:
- (۳) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه):
- (۴) مؤسسه محل انجام مطالعه:
- (۵) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور):
- (۶) محیط نمونه برداری:
- (۷) روش مطالعه (پایش رادن بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادن بر مبنای جغرافیا):
- (۸) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): -
- (۹) روش انتخاب جمعیت پایش شده:
- (۱۰) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور):
- (۱۱) شرایط اقلیمی (دما/رطوبت) محله‌های مورد پایش:
- (۱۲) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور):
- (۱۳) روش انتخاب ساختمان‌ها: -
- (۱۴) نوع ساختمان‌های انتخاب شده (قدیم/جدید/نوع مصالح ساختمانی / ویلایی/چندطبقه)::
- (۱۵) روش اندازه گیری رادن (فعال/غیرفعال):
- (۱۶) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال:
CR-39 □ LR115 □ PC □ etc :
- (۱۷) اتاقک نفوذی ران مورد استفاده (تجاری / طراحی داخلی):
- (۱۸) کالیبراسیون اتاقک نفوذی رادن و قابلیت ردیابی:
- (۱۹) پروتکل تضمین کیفیت برنامه پایش رادن (مرجع):
- (۲۰) بازه زمانی نصب دزیتر رادن (فصلی / سالانه / تعداد ماه):
- (۲۱) مقدار غلظت رادن اندازه گیری شده (میانگین / کمینه / بیشینه):
- (۲۲) مقدار پرتوگیری مردم محاسبه شده:
- (۲۳) سیستم فعال اندازه گیری رادن مورد استفاده (مدل / سازنده):
- (۲۴) هدف از به کارگیری سیستم فعال اندازه گیری رادن (پایش ابتدایی / پایش نقاط غیر عادی /...):

(۲۵) روش بکارگیری سیستم فعال رادن:

(۲۶) بازه زمانی اندازه گیری با روش فعال:

(۲۷) کالیبراسیون و قابلیت رد یابی سیستم فعال:

(۲۸) ارزیابی نهایی مطالعه (نکات مثبت، منفی، قابلیت استناد):

۲-۱-۴. طراحی استراتژی جستجو

همانطوری که قبلاً اشاره شد، این مطالعه یک مطالعه مروری ساختار یافته است که با توجه به اهداف آن می‌بایست مطالعات انجام شده در ایران در زمینه رادن در هوای داخل محیط‌های مسکونی و مطالعات ملی انجام شده در سایر نقاط دنیا که مرتبط با رادن هوای داخل منازل مسکونی بوده است گردآوری شود. در ابتدا جهت گردآوری مطالعات انجام شده فارسی در ایران با استفاده از کلید واژه‌های "رادن، رادون، ^{222}Rn ، گاز رادن، هوای داخل، محیط بسته، منازل مسکونی و ایران" در پایگاه‌های اینترنتی SID, Iran doc, Magiran, Iran medex, Google scholar و منابع منتشر نشده وزارت بهداشت از ابتدا تا ۳۱ ژانویه ۲۰۱۵ جستجو انجام شد و در مرحله اول ۳۴۸ عنوان مطالعه فارسی پیدا شد که از این بین و با توجه به موجود بودن چکیده آنها تنها ۱۵ مطالعه فارسی مرتبط که در آنها گاز رادن در داخل هوای داخل منازل پایش شده بود مورد بررسی نهایی و محتوایی قرار گرفت. لازم به ذکر است که تعداد مطالعات چاپ شده انگلیسی که در ایران در زمینه گاز رادن در هوای داخل منازل مورد بررسی قرار گرفت شش عدد بود. تعدادی از کلمات کلیدی که رای جستجو منابع به زبان انگلیسی ایران بکاربرده شده عبارت بودند از:

“Iran” OR “I.R.Iran” OR “I.R. Iran” OR “IR Iran” OR “I R Iran” OR “Islamic Republic of Iran” OR “Iran (Islamic Republic of)” OR “Iran (Islamic Republic)” OR “Iranian” OR “Iranians” OR “Persia”

AND

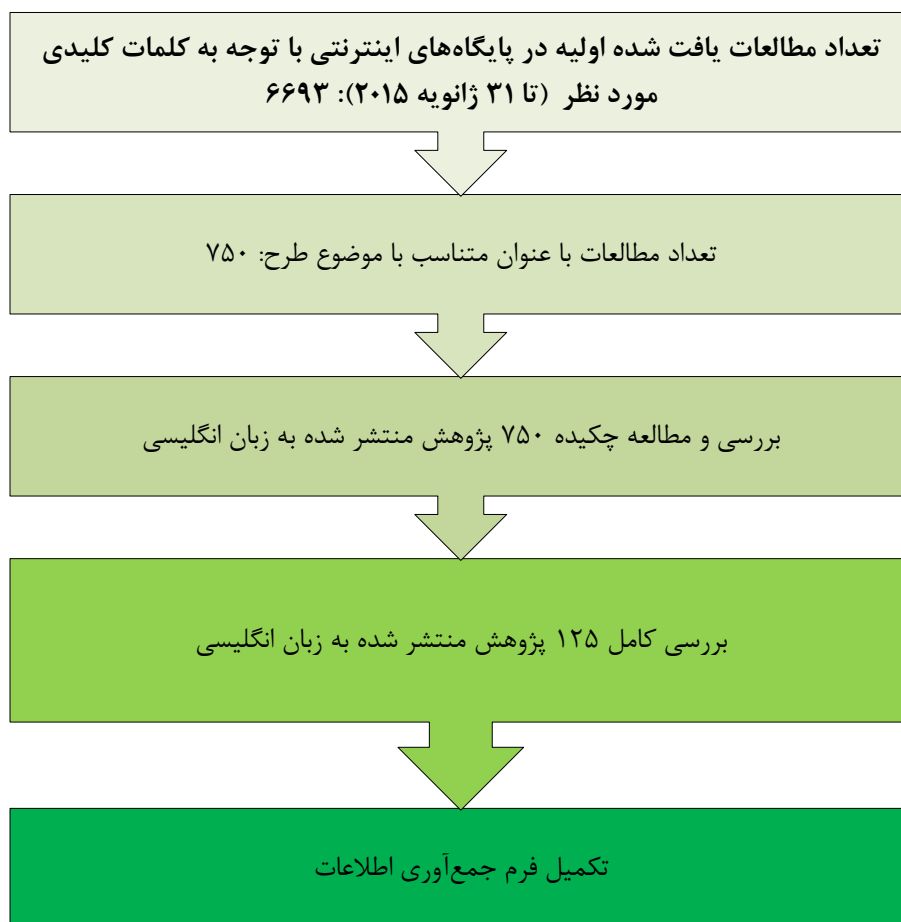
“Radon” OR “Radon gas” OR “Rn222” OR “radon daughters ” OR “Residential Radon” OR “Radon in buildings” OR “radon exposure” OR “residential radon exposure” OR “environmental radon exposure” OR “indoor radon” OR “Radon survey” OR “ Country Radon Map”

همچنین به منظور جستجوی مطالعات انگلیسی ایران و مطالعات سایر کشورها در سطح ملی به صورت سیستماتیک از نمایه نامه‌های معتبر بین‌المللی ISI/Web of Science, Scopus, Pubmed/Medline, Google Scholar استفاده شد. در این مرحله، در پایگاه‌های اینترنتی و با توجه به کلمات کلیدی تا ۳۱ ژانویه ۲۰۱۵ جستجو انجام شد و در مرحله اول ۶۶۹۳ عنوان مطالعه پیدا شد که

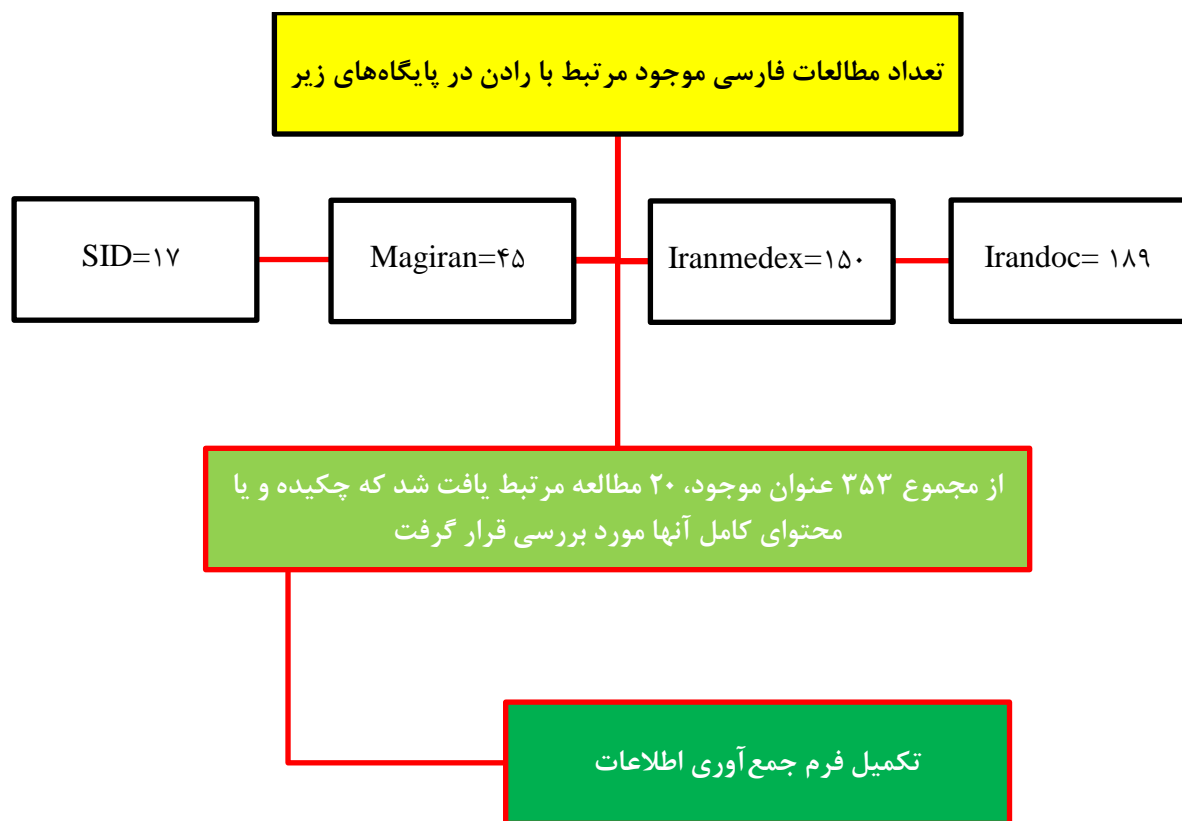
پس از بررسی عنوان آنها حدود ۷۵۰ مطالعه انتخاب شد که چکیده آنها مطالعه گردید و در نهایت ۱۲۵ مطالعه بصورت کامل مورد بررسی نهایی و محتوایی قرار گرفت. تعدادی از کلمات کلیدی که برای جستجو بکاربرده شد عبارت بودند از:

“Radon” OR “Radon gas” OR “Rn222” OR “radon daughters ” OR “Residential Radon” OR “Radon in buildings” OR “radon exposure” OR “residential radon exposure” OR “environmental radon exposure” OR “indoor radon” OR “Radon survey” OR “ Country Radon Map”

در شکل های ذیل استراتژی جستجو به صورت شماتیک آورده شده است.



شکل ۲-۱. شماتیک استراتژی جستجو برای مطالعات با زبان انگلیسی



شکل ۲-۲. شماتیک استراتژی جستجو برای مطالعات انجام شده در ایران

جدول ۲-۱. زمان بندی مراحل اجرای پژوهش

زمان اجرا به ماه						زمان کل	فعالیت‌های اجرایی	ردیف
۶	۵	۴	۳	۲	۱			
						۱ ماه	تهیه فرم گردآوری اطلاعات	۱
						۳ ماه	جستجو و گردآوری مطالعات	۲
						۲ ماه	بررسی اولیه مطالعات انجام شده و غربالگری آنها	۴
						۲ ماه	بررسی دقیق مطالعات غربال شده و تکمیل اطلاعات مورد نیاز	۳
						۲ ماه	تهیه گزارش نهایی	۷

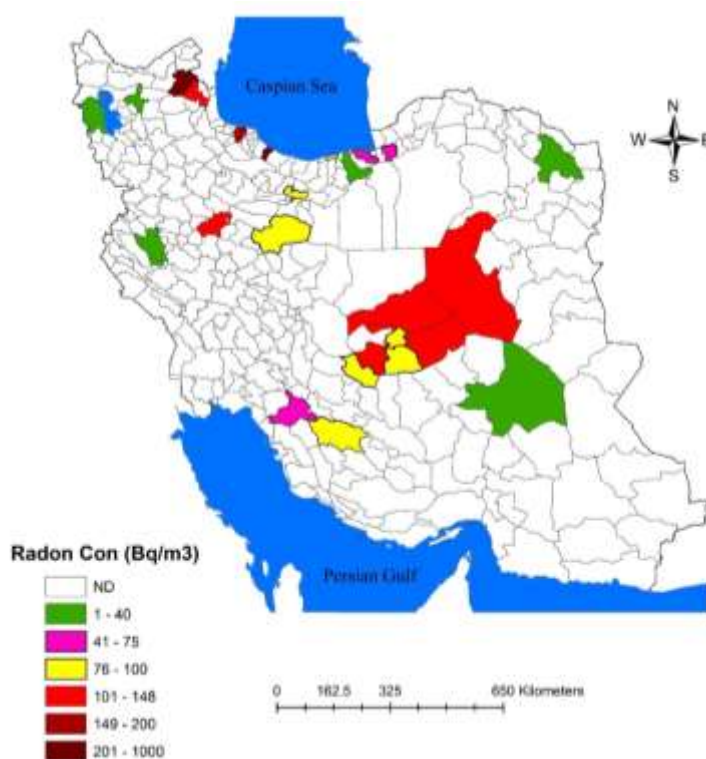
فصل سوم

یافته‌ها و بحث

۱-۳. مطالعات انجام شده در ایران

۱-۱-۳. مقدمه

اولین اندازه گیری رادون در ایران در ۱۹۶۸ توسط تقی زاده و افتخارنژاد صورت گرفته است. سازمان انرژی اتمی ایران تکنیک های اندازه گیری رادون را از سال ۱۹۸۸ توسعه داده است. اگرچه تعدادی از کشورهای اروپایی و آمریکای شمالی نقشه رادون مربوط به خود را فراهم کرده و منتشر کرده اند اما کشورهای آسیایی و از جمله ایران، مطالعه در زمینه پایش رادون را در دو دهه گذشته آغاز کرده اند. پس از سال ۱۹۶۸ و در سال ۱۹۸۸ پایش رادون در ایران توسط سهرابی و سلیمانیان از سر گرفته شده است و از نظر زمانی به صورت نامنظم در حال انجام و اجرا می باشد (۱۱). تاکنون هیچگونه طرح ملی پایش رادون در ایران برنامه ریزی نشده است و اندازه گیری های صورت گرفته به صورت موردی و در نقاط مختلفی از کشور انجام شده است. با این حال، اندازه گیری رادون در دو دهه گذشته در ایران نسبت به سایر کشورهای در حال توسعه سرعت بیشتری داشته است و از مطالعاتی که در ایران انجام شده است می توان به موارد ارائه شده در جدول ۱-۳ اشاره کرد. همچنین در شکل ۱-۳ شمایی از محل انجام مطالعات موردی و نتایج آنها در کشور آورده شده است.



شکل ۱-۳. شمایی از مناطق مطالعه شده و غلظت رادون هوای داخل ساختمانهای آنها

۳-۱-۱-۱. مطالعات انجام شده در ایران

لازم به ذکر است که براساس نتایج حاصل از جستجو در این مطالعه تا کنون حدود ۲۳ مطالعه در رابطه با پایش رادون در هوای داخل منازل انجام شده است که بخشی از خلاصه نتایج و روش اجرای آنها در جدول ۳-۱ آورده شده است (۱۱-۲۳) و در ادامه با توجه به موجود بودن فایل گزارش آنها، توضیح مختصری از این مطالعات بیان شده است.

براساس نتایج بدست آمده از این مطالعه تا کنون در برخی از استانهای کشور بررسی رادون در هوای داخل انجام شده است و در کل کشور حدود ۴۱۷۵ نمونه اخذ شده است. نکته قابل توجه این است که سهم مناطق شمالی کشور بیشتر از سایر مناطق بوده است و محققین طی سالهای مختلف رادون هوای داخل را در مناطق شمالی بررسی کرده‌اند. در بین مطالعات انجام شده، تقریباً ۴۰ درصد آنها از روش فعال (active) و ۶۰ درصد آنها از روش غیرفعال (passive) استفاده کرده‌اند و در بین روش‌های غیر فعال، آشکارسازهای CR-39 بیشترین مورد را به خود اختصاص داده‌اند. نکته قابل توجه در این مطالعات این است که تقریباً هیچکدام از آنها مبنایی تعداد نمونه‌ها، روش کالیبراسیون و کنترل کیفیت و صحت داده‌ها را ذکر نکرده‌اند که این می‌تواند مهمترین نقطه ضعف این مطالعات باشد. نتایج بدست آمده از میانگین غلظت رادون ساختمان‌ها نشان می‌دهد که بالاترین میانگین غلظت رادون داخل ساختمان‌های مسکونی شهر رامسر (587Bq/m^3) بوده است و علاوه بر رامسر شهرهای یزد (136Bq/m^3)، لاهیجان (163Bq/m^3)، اردبیل (240Bq/m^3)، سرعین (169Bq/m^3)، نمین (144Bq/m^3)، همدان (108Bq/m^3)، تفت (126Bq/m^3)، هرات (122Bq/m^3)، بافق (115Bq/m^3)، طبس (116Bq/m^3)، میبد (121Bq/m^3)، اردکان (118Bq/m^3) و کاشان (104Bq/m^3) میانگین غلظت رادون هوای داخل ساختمان‌های مسکونی آنها بالاتر از 100Bq/m^3 (رهنمود WHO) بوده است. و در مقایسه با مقادیر مرجع سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (US EPA) (148Bq/m^3)، شهرهای رامسر، لاهیجان، اردبیل و سرعین مقدار میانگین غلظت رادون آنها بالاتر بوده است.

لازم به ذکر است که برخی از مطالعات پایش رادون هم اکنون در برخی از شهرهای کشور در حال اجرا می‌باشند که عبارتند از: مطالعه پایش رادون هوای داخل منازل مسکونی شهر تهران (با تعداد ۱۱۰۰ نمونه و آشکارسازهای CR-39)، مطالعه پایش رادون در شهر تبریز (با تعداد ۴۰۰ نمونه و آشکارسازهای CR-39) و مطالعه پایش رادون در شهر شیراز (با تعداد ۳۰۰ نمونه و آشکارسازهای CR-39).

جدول ۳-۱. خلاصه مطالعات انجام شده پایش رادون در هوای داخل منازل مسکونی در ایران

نام مطالعه	سال انجام	استان	شهر	نوع محل	تعداد نمونه ها	روش پایش	میانگین غلظت (Bq/m ³)
بررسی غلظت گاز رادون در خانه های مسکونی تبریز	۱۳۹۲	آذربایجان شرقی	تبریز	مسکونی	۱۹۶	CR-39	۳۹±۲۵
غلظت و دوز مؤثر ناشی از گاز رادون و تورون در بیمارستانهای دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه	۱۳۹۱	کرمانشاه	کرمانشاه	بیمارستان	۱۰۲	RTM 1688-2	۱۱/۴۴±۴/۹
اندازه گیری غلظت گاز رادون در منازل مسکونی شهر گرگان با آشکارساز CR-39	۱۳۹۲	گلستان	گرگان	مسکونی	۲۱۸	CR-39	اتاق خواب ۴۸/۰۴±۴۰/۳۹ اتاق نشیمن ۳۹/۹۴±۳۵/۲۲
بررسی سطح آلودگی گاز رادون در هوای داخل ساختمان در شهرک اکباتان	۱۳۸۷	تهران	تهران (شهرک اکباتان)	مسکونی	-	آلفا گارد	۱۵-۹۸
میزان آهنگ دوز مؤثر ناشی از گاز رادون در چشمه آب گرم جوشان واقع در استان کرمان	۱۳۹۰	کرمان	کرمان	چشمه های آب گرم	-	آشکارساز اکتیو RAD7	۳/۹۸±۹/۴
بررسی رد پای ذرات آلفای حاصل از غلظت گاز رادون در هوای مناطق مسکونی شهر ارومیه سال ۸۰	۱۳۸۰	آذربایجان غربی	ارومیه	منازل مسکونی	۲۵۰	آشکارساز پلی کربناتی	۳۵±۱۵ (بیشینه ۲۱۰)
اندازه گیری میزان غلظت گاز رادون در ایستگاه های مترو شهر تهران از نظر اثرات زیست محیطی	۱۳۸۴	تهران	تهران	ایستگاه های مترو	۱۶	آلفاگارد	۱۹/۴
Indoor radon measurement and effective dose assessment of 150 apartments in mashhad, iran	۲۰۰۹	خراسان رضوی	مشهد	منازل مسکونی	۱۵۰	Portable Radon Gas Surveyor SILENA (PRASS I)	۳۱/۹ (۱۲/۲-۱۳۵/۲)
بررسی و تعیین حساسیت دزیمتر و اندازه گیری گاز رادون منازل مسکونی گاز رادون AEOI شهر مشهد	۱۳۷۹	خراسان رضوی	مشهد	منازل مسکونی	غیر فعال: ۲۵۰ فعال: ۱۲۰	پلی کربنات فعال: Silena	غیر فعال: ۵۲±۳۳ فعال: ۱۷±۱۳
اندازه گیری غلظت رادون با استفاده از آشکارسازهای جامد رد پای هسته ای در منازل مسکونی شهر لاهیجان	۱۳۸۲	گیلان	لاهیجان	منازل مسکونی	۱۰۰	آشکارساز پلی کربنات	۱۳۸/۵۸±۵۴/۲۲
بررسی میزان پرتو زایی محیطی و سنجش غلظت گاز رادون در منطقه تالش	۱۳۸۱	گیلان	تالش	ساختمان های اداری	۳۲	آشکارساز پلی کربنات	۸۲
Radon level in dwellings basement of Yazd-Iran	۲۰۰۷	یزد	یزد	منازل مسکونی	۸۴	Portable Radon Gas Surveyor SILENA	۱۳۷/۳۶ ۵/۵۵-۷۴۷/۴

نام مطالعه	سال انجام	استان	شهر	نوع محل	تعداد نمونه ها	روش پایش	میانگین غلظت (Bq/m ³)
						(PRASS I)	
اندازه گیری غلظت گاز رادون در منازل مسکونی شهر شیراز و بررسی ارتباط آن با سلامتی مردم مناطق	۱۳۸۷	فارس	شیراز	منازل مسکونی	۱۵۱	آشکارساز پلی کربناتی	۳/۹۴±۳/۴۴
بررسی میزان گاز رادون در خوابگاههای اصلی دانشگاه علوم پزشکی کرمان در سال ۱۳۸۸	۱۳۸۸	کرمان	کرمان	خوابگاههای د.ع.پ کرمان	۷	Portable Radon Gas Surveyor SILENA (PRASS I)	۴/۷ (بیشینه ۲۴/۵)
تعیین دز مؤثر مردم رامسر از استنشاق گاز رادون-۲۲۲	۱۳۷۸	مازندران	رامسر	ساختمانهای مسکونی	۵۰۰	آشکارساز پلی کربنات	پائیز ۶۴-۲۲۵۵ زمستان ۱۰۷- ۳۲۳۵
اندازه گیری غلظت گاز رادون در هوای شهر رامسر با استفاده از آشکارسازهای رادون نوع RAD7 و ALPHAGUARD و مقایسه ی نتایج به دست آمده	۱۳۹۲	مازندران	رامسر	منازل مسکونی	-	آشکارساز RAD7 و آلفاگارد	-
اندازه گیری آلودگی محیطی ناشی از گاز رادون در هوای منازل شهرستان رامسر	۱۳۹۲	مازندران	رامسر	منازل مسکونی	۵۰۰	روش فعال	-
اندازه گیری غلظت رادون در برخی ساختمان های مسکونی شهر کاشان	۱۳۹۳	اصفهان	کاشان	ساختمانهای مسکونی	۱۰۰	آشکارساز پلی کربنات	۱۰۴
اثرات زیست محیطی گاز رادون، سنجش رادون مناطق مسکونی و هوای درون خاک در محدوده ی گسل نوزاد واقع در خراسان جنوبی	۱۳۹۲	خراسان جنوبی	درمیان (روستاهای در مسیر گسل نوزاد)	منازل مسکونی	۵۰	سیستم سوسوزن مدل RTM2200	۰-۵۸۸۳ ۶۳.۶٪ از نمونه ها بیشتر از ۱۴۸ Bq/m ³
اندازه گیری رادون هوای داخل منازل مسکونی در شهر قم	۱۳۹۲	قم	قم	منازل مسکونی	۹۷	CR-39	۹۵/۸۳ (۱۵-۲۹۵)
اندازه گیری رادون هوای داخل منازل مسکونی در شهر نورآباد ممسنی	۱۳۹۱	فارس	نورآباد ممسنی	منازل مسکونی	۵۲	CR-39	۴۲/۴۳
اندازه گیری رادون هوای داخل منازل مسکونی در شهر بهشهر	۱۳۹۱		بهشهر	منازل مسکونی	۷۷	CR-39	۵۲/۰۵
Indoor radon monitoring in Northern Iran using passive and active measurements	۲۰۰۲-۲۰۰۴		لاهیجان، سرعین، نمین و اردبیل	منزل مسکونی	۱۱۲۴ منزل در چهار شهر لاهیجان(۴۰۰)، سرعین(۱۴۸)، نمین(۱۷۶) و اردبیل(۴۰۰)	PRASSI CR-39 و	لاهیجان ۱۶۳، اردبیل ۲۴۰، سرعین ۱۶۹ و نمین ۱۴۴
Indoor radon survey in Shiraz-Iran using developed passive measurement method	۲۰۰۹-۲۰۱۰	فارس	شیراز	منازل مسکونی	۱۳۱	CR-39	۹۴±۵۲

نام مطالعه	سال انجام	استان	شهر	نوع محل	تعداد نمونه ها	روش پایش	میانگین غلظت (Bq/m ³)
Indoor radon level measurements in some regions of Iran	۱۹۸۶-۱۹۸۷		رامسر، تهران، بابلسر و گناباد	منازل مسکونی	۲۵۰	AEOI radon diffusion dosimeter	رامسر ۵۸۷±۶۷۷، تهران ۸۰±۸۴، بابلسر ۸۸±۳۵ و گناباد ۸۴±۳۱
A reconnaissance study of radon concentrations in Hamadan city, Iran	۲۰۰۵-۲۰۰۹	همدان	همدان	منازل مسکونی	۷۰	CR-39	۱۰۸ (۴-۳۶۴)
Measurement of Radon Concentration of Air Samples and Estimating Radiation Dose from Radon in SARI Province	۲۰۱۳	مازندران	ساری	منازل مسکونی	۶۵۰	dosimeters DOSEman	۳۱
Indoor radon variations in central Iran and its geostatistical map	(چاپ شده در ۲۰۱۵)	یزد	۱۰ شهر	منازل مسکونی		LATEX polycarbonate films	جدول زیر

۱-۱-۲. پایش رادون در هوای داخل منازل مسکونی در شمال و شمال شرق ایران

عنوان مطالعه: Indoor radon monitoring in Northern Iran using passive and active measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در کشور ایران در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ بر روی اندازه‌گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شده است، ۱۱۲۴ نمونه در شهرهای لاهیجان، اردبیل، سرعین و نمین گرفته شده است. مکان‌های نمونه‌برداری در اردبیل زیرزمین، طبقات همکف، اول و دوم و در لاهیجان طبقات همکف، اول و دوم بوده است. نمونه‌برداری به صورت فصلی (در روش غیرفعال) و در تمام فصول انجام شده است. منازل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شده است. در این مطالعه از روش اندازه‌گیری فعال و غیرفعال استفاده می‌شود. در روش اندازه‌گیری غیرفعال از آشکارساز (SSNTDs) Solid state nuclear track detectors با فیلم‌های CR-39 استفاده می‌شود و در روش اندازه‌گیری فعال از روش قابل حمل PRASSI استفاده می‌شود. در روش فعال ۳ دوره ۱۵ دقیقه‌ای و در طی فصل زمستان اندازه‌گیری صورت گرفته است. میانگین غلظت رادون در لاهیجان، اردبیل، سرعین و نمین به ترتیب ۱۶۳، ۲۴۰، ۱۶۹ و ۱۴۴ بکرل در متر مکعب گزارش شده است. بر اساس نتایج این مطالعه و مطالعات قبلی، بیشترین غلظت رادون در رامسر مشاهده شده است و به ترتیب اردبیل و لاهیجان در مکان‌های دوم و سوم قرار دارند. بیشترین غلظت رادون (۲۳۸۶ بکرل در متر مکعب) در طی فصل زمستان در اردبیل و کمترین غلظت رادون (۵۵ بکرل در متر مکعب) در طی فصل بهار در لاهیجان مشاهده شده است (۱۹).

- (۱) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): مقاله، مجله Environmental Radioactivity
- (۲) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): ایران
- (۳) محیط نمونه‌برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۴) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): ذکر نشده است.

(۵) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۱۱۲۴ منزل مسکونی در چهار شهر لاهیجان (۴۰۰ منزل مسکونی)، سرعین (۱۴۸ منزل مسکونی)، نمین (۱۷۶ منزل مسکونی) و اردبیل (۴۰۰ منزل مسکونی) مورد پایش قرار گرفته‌اند.

(۶) نوع ساختمان‌های انتخاب شده (قدیم/جدید/نوع مصالح ساختمانی/ویلايي/چندطبقه): مصالح ساختمانی استفاده شده در منازل مسکونی تحت پایش به صورت زیر ارائه شده است:

نوع مصالح ساختمانی	لاهیجان (درصد)	اردبیل (درصد)	نمین (درصد)	سرعین (درصد)
خشتی	۱۷	۱۲	۳۶	۰
آجری	۴۸	۳۸	۶۴	۹۱
بلوکی	۳۴	۵۰	۰	۹

(۷) روش اندازه‌گیری رادون (فعال/غیرفعال): در این مطالعه هم از روش فعال (PRASSI) و هم از روش غیرفعال استفاده شده است.

(۸) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: CR-39

(۹) مقدار غلظت رادون اندازه‌گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): غلظت‌های فصلی و سالانه در این مطالعه به صورت زیر ارائه شده است:

کل نمونه‌ها (برای چهار فصل)	لاهیجان (۴۰۰)	اردبیل (۴۰۰)	نمین (۱۷۶)	سرعین (۱۴۸)
بهار	میانگین حسابی (بکرل در متر مکعب)	۱۴۰±۳۲	۱۸۹±۲۰۷	۱۰۸±۴۵
	میانگین هندسی (بکرل در متر مکعب)	۱۳۶	۱۳۶	۹۹
	میانه (بکرل در متر مکعب)	۱۴۷	۱۲۸	۹۹
تابستان	میانگین حسابی	۱۳۳±۳۳	۲۰۳±۲۲۰	۱۶۲±۵۳
	میانگین هندسی	۱۳۰	۱۵۱	۹۰
	میانه	۱۲۳	۱۴۱	۹۴
پاییز	میانگین حسابی	۱۶۶±۴۵	۲۷۶±۲۹۶	۱۶۵±۵۶
	میانگین هندسی	۱۶۰	۲۱۳	۱۵۵
	میانه	۱۸۳	۱۹۸	۱۶۱
زمستان	میانگین حسابی	۲۱۶±۶۸	۲۸۶±۲۵۳	۲۰۱±۸۵
	میانگین هندسی	۲۰۶	۲۲۱	۱۸۷
	میانه	۲۱۱	۲۰۸	۱۹۴
سالانه	میانگین حسابی	۱۶۳±۵۷	۲۳۸±۲۴	۱۴۴±۷۳
	میانگین هندسی	۱۶۰	۱۷۴	۱۲۶
	میانه	۱۶۰	۱۶۸	۱۳۳

۳-۱-۱-۳. پایش رادن در شهر بهشهر

عنوان مطالعه: بررسی غلظت گاز رادن در منازل مسکونی و اماکن عمومی شهر بهشهر

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در شهر بهشهر (استان مازندران) در سال ۱۳۹۱-۱۳۹۲ بر روی اندازه‌گیری غلظت گاز رادن در منازل مسکونی و اماکن عمومی شهر بهشهر انجام شده است، ۸۰ منزل مسکونی انتخاب شد که در نهایت از داده‌های ۷۷ منزل مسکونی استفاده شده است. از هر منزل مسکونی دو نمونه (اتاق نشیمن و اتاق خواب) گرفته شده است. اندازه‌گیری در فصل زمستان و به مدت ۳ ماه (۹۰ روز) انجام شده است. منازل مسکونی به صورت منظم و در فواصل ۷۰۰-۲۰۰ متری از هم انتخاب شده‌اند. در این مطالعه از روش اندازه‌گیری غیرفعال و از آشکارساز CR-39 استفاده شده است. میانگین غلظت رادن در منازل مسکونی ۵۲/۰۵ بکرل در متر مکعب بدست آمده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادن در منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/ گزارش داخلی، نام مؤسسه): پایان نامه، دانشگاه علوم پزشکی تهران
- (۳) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): ایران
- (۴) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۵) روش مطالعه (پایش رادن بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادن بر مبنای جغرافیا): روش این مطالعه بر اساس شرایط جغرافیایی انتخاب شده است.
- (۶) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): ۹۷۶۸۰ نفر
- (۷) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۸۰ منزل مسکونی (از داده‌های ۷۷ منزل مسکونی استفاده شده است، ۴۷ منزل مسکونی یک طبقه و ۳۰ منزل مسکونی بیشتر از یک طبقه) مورد پایش قرار گرفته است.
- (۸) روش انتخاب ساختمان‌ها: منازل مسکونی در فواصل ۷۰۰-۲۰۰ متری از یکدیگر انتخاب شده‌اند.
- (۹) روش اندازه‌گیری رادن (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۰) آشکارساز مورد استفاده در روش غیرفعال: CR-39
- (۱۱) بازه زمانی نصب دزیمتر رادن (فصلی/سالانه/تعداد ماه): بازه زمانی نصب دزیمتر به صورت فصلی بوده است. اندازه‌گیری‌ها به صورت ۳ ماهه و در فصل زمستان انجام شده است.
- (۱۲) مقدار غلظت رادن اندازه‌گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادن به ترتیب ۵۲/۰۵، ۹/۰۵ و ۱۸۲/۳۵ بکرل در متر مکعب بدست آمده است.

۳-۱-۱-۴. پایش رادن در شهر نورآباد ممسنی

عنوان مطالعه: بررسی غلظت گاز رادن در منازل مسکونی و اماکن عمومی شهر نورآباد ممسنی

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در شهر نورآباد ممسنی (استان فارس) در سال ۱۳۹۲-۱۳۹۱ بر روی اندازه‌گیری غلظت گاز رادن در منازل مسکونی و اماکن عمومی این شهر انجام شده است، ۵۶ منزل مسکونی انتخاب شد که در نهایت از داده‌های ۵۲ منزل مسکونی استفاده شده است. از هر منزل مسکونی دو نمونه (اتاق نشیمن و اتاق خواب) گرفته شده است. اندازه‌گیری در فصل پاییز و زمستان و به مدت ۳ ماه در هر فصل انجام شده است. منازل مسکونی به صورت منظم و در فواصل ۶۰۰-۴۰۰ متری از هم انتخاب شده‌اند. در این مطالعه از روش اندازه‌گیری غیرفعال و از آشکارساز CR-39 استفاده شده است. میانگین غلظت رادن در منازل مسکونی ۴۲/۴۳ بکرل در متر مکعب بدست آمده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادن در منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): پایان نامه، دانشگاه علوم پزشکی تهران
- (۳) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): ایران
- (۴) محیط نمونه‌برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۵) روش مطالعه (پایش رادن بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادن بر مبنای جغرافیا): روش این مطالعه بر اساس شرایط جغرافیایی انتخاب شده است.
- (۶) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): ۵۲۰۰۰ نفر
- (۷) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۵۶ منزل مسکونی (از داده‌های ۵۲ منزل مسکونی استفاده شده است، ۴۶ منزل مسکونی یک طبقه و ۶ منزل مسکونی بیشتر از یک طبقه) مورد پایش قرار گرفته است.
- (۸) روش انتخاب ساختمان‌ها: منازل مسکونی در فواصل ۶۰۰-۴۰۰ متری از یکدیگر انتخاب شده‌اند.
- (۹) روش اندازه‌گیری رادن (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۰) آشکارساز مورد استفاده در روش غیرفعال: CR-39
- (۱۱) بازه زمانی نصب دزیتر رادن (فصلی/سالانه/تعداد ماه): بازه زمانی نصب دزیتر به صورت فصلی بوده است. اندازه‌گیری‌ها به صورت ۳ ماهه و در فصل پاییز و زمستان انجام شده است.
- (۱۲) مقدار غلظت رادن اندازه‌گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادن به ترتیب ۴۲/۴۳، ۱۵/۶۵ و ۸۳/۶۵ بکرل در متر مکعب بدست آمده است.

۳-۱-۱-۵. پایش رادن در شهر قم

عنوان مطالعه: بررسی غلظت گاز رادن در منازل مسکونی و اماکن عمومی شهر قم

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در شهر قم در سال ۱۳۹۲ بر روی اندازه‌گیری غلظت گاز رادن در منازل مسکونی و اماکن عمومی این شهر انجام شده است، ۹۷ منزل مسکونی، شش مدرسه، شش محیط اداری و شش بیمارستان انتخاب شد که در این گزارش داده‌های منازل مسکونی آورده شده است. در منازل مسکونی ۱۲۳ آشکارساز نصب شده است. از هر منزل مسکونی تقریباً ۱/۳ نمونه (در بعضی منازل ۲ و در بعضی از منازل ۱ نمونه) گرفته شده است. اندازه‌گیری در فصل تابستان و پاییز (ماه‌های شهریور، مهر و آبان) انجام شده است. منازل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند. در این مطالعه از روش اندازه‌گیری غیرفعال و از آشکارساز CR-39 استفاده شده است. میانگین غلظت رادن در منازل مسکونی ۹۵/۸۳ بکرل در متر مکعب (زیرزمین: ۱۲۳/۴۳، همکف: ۸۷/۹۴، اول: ۶۳/۷۲ و دوم: ۴۰/۶۹ بکرل در متر مکعب) بدست آمده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادن در منازل مسکونی و اماکن عمومی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): طرح پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی تهران
- (۳) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): ایران
- (۴) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی و اماکن عمومی
- (۵) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): ۱۰۷۴۰۳۶ نفر
- (۶) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۹۷ منزل مسکونی مورد پایش قرار گرفته است.
- (۷) روش انتخاب ساختمان‌ها: منازل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند.
- (۸) روش اندازه‌گیری رادن (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۹) آشکارساز مورد استفاده در روش غیرفعال: CR-39
- (۱۰) بازه زمانی نصب دزیمتر رادن (فصلی / سالانه / تعداد ماه): بازه زمانی نصب دزیمتر به صورت فصلی بوده است. اندازه‌گیری‌ها به صورت ۳ ماهه و در فصل پاییز و تابستان (شهریور، مهر و آبان) انجام شده است.
- (۱۱) مقدار غلظت رادن اندازه‌گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادن به صورت ذیل آورده شده است:

غلظت (بکرل در متر مکعب)			تعداد آشکارساز	طبقات منازل مسکونی
بیشینه	میانگین	کمینه		
۲۵۹	۱۲۳/۴۳	۴۸/۸۵	۳۵	زیرزمین
۱۴۱/۹۹	۸۷/۹۴	۴۳/۴۱	۴۰	همکف
۱۴۱	۶۳/۷۲	۱۹	۲۱	اول
۹۴	۴۰/۶۹	۱۵	۲۷	دوم و بالاتر
۲۵۹	۹۵/۸۳	۱۵	۱۲۳	مجموع

۳-۱-۱-۶. پایش رادون در منطقه تالش

عنوان مطالعه: بررسی میزان پرتوزایی محیطی و سنجش غلظت گاز رادون در منطقه تالش

خلاصه مطالعه: در این تحقیق اندازه گیری رادون در فضای بسته در ۳۲ مورد از ادارات دولتی شهرستان تالش در دو دوره زمانی حدوداً سه ماهه صورت گرفته که برای اندازه گیری غلظت رادون از اتاقک نفوذی گاز رادون و شمارش رد پای آلفا بر فیلم پلی کربنات استفاده شده است. طبق نتایج به دست آمده، میانگین غلظت گاز رادون در فصل سرد و گرم به ترتیب ۴۸ و ۹۲ بکرل بر متر مکعب گزارش شده است.

هدف مطالعه: این پژوهش، به عنوان بخشی از طرح جامع " بررسی رادیو اکتیویته محیطی در اکو سیستم شمال البرز " به سنجش میزان گامای محیطی در ارتفاع یک متری از سطح زمین و تعیین غلظت گاز رادون در درون ساختمان ها در منطقه تالش، از توابع استان گیلان پرداخته است.

منبع نشر گزارش پژوهش انجام شده (مشخصات مقاله، نام مجله/ مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/ گزارش داخلی، نام مؤسسه): پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک هسته ای، دانشگاه: دانشکده علوم پایه دانشگاه گیلان، نگارنده: مریم قدیری، استاد راهنما: دکتر مسعود وهابی مقدم، اساتید راهنما: مهندس منصور جعفری زاده- مهندس مسعود بیت اللهی، سال انتشار: ۱۳۸۱

- ۱) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/ کشور): شهر تالش- استان گیلان
- ۲) محیط نمونه برداری: ادارات دولتی شهرستان تالش
- ۳) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/ پایش رادون بر مبنای جغرافیا): -
- ۴) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/ کشور): -
- ۵) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/ کشور): ۳۲ نمونه

- ۶) روش انتخاب ساختمان‌ها: ادارات دولتی شهرستان تالش
- ۷) روش اندازه‌گیری رادون (فعال/غیرفعال):
روش غیر فعال با بکارگیری اتاقک نفوذی گاز رادون
- ۸) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: پلی کربنات
- ۹) بازه زمانی نصب دزیمتر رادون (فصلی / سالانه / تعداد ماه):
دو دوره حدوداً سه ماهه، یک دوره در فصل گرم و دوره بعدی در فصل سرد.
- ۱۰) مقدار غلظت رادون اندازه‌گیری شده Bq/m^3 (میانگین / کمینه / بیشینه):
میانگین: $82 Bq/m^3$ - حداقل: $5 Bq/m^3$ - حداکثر: $205 Bq/m^3$
- ۱۱) مقدار ارزیابی پرتوگیری سالانه مردم (mSv): -

۳-۱-۱-۷. پایش رادون در شهر لاهیجان

عنوان مطالعه: اندازه‌گیری غلظت گاز رادون با استفاده از آشکارسازهای جامد رد پای هسته‌ای در منازل مسکونی شهر لاهیجان

خلاصه مطالعه: در این پژوهش غلظت گاز رادون در روش غیر فعال در ۱۰۰ واحد مسکونی و در روش فعال در ۷۰ واحد مسکونی شهر لاهیجان با مصالح ساختمانی متفاوت و در طبقات مختلف اندازه‌گیری گردید. در روش غیر فعال از اتاقک نفوذی گاز رادون حاوی آشکارساز پلی کربنات و در روش فعال از آشکارساز پراسی برای اندازه‌گیری‌ها استفاده شد. طبق نتایج حاصله از روش غیر فعال، غلظت گاز رادون در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب برابر $109/16$ ، $117/57$ ، $148/44$ و $179/165$ بکرل بر متر مکعب و میانگین سالانه غلظت گاز رادون $138/58$ بکرل بر متر مکعب بدست آمد. نتایج بر حسب مصالح ساختمانی، طبقات مختلف، قدمت بنا و نوع بنا مرتب و مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

- ۱) اهداف مطالعه: ۱- بررسی روش‌های اندازه‌گیری غلظت رادون، ۲- بررسی تأثیر پارامترهای مختلف اتاقک نفوذی گاز رادون بر روی حساسیت آن، ۳- کالیبراسیون اتاقک نفوذی گاز رادون، ۴- اندازه‌گیری غلظت رادون در منازل مسکونی شهر لاهیجان، ۵- تخمین میزان پرتوگیری ساکنین خانه‌ها از ذرات آلفای این گاز و عناصر دختر آن، ۶- مقایسه غلظت رادون بر اساس بناهای قدیمی و جدید.
- ۲) منبع نشر گزارش پژوهش انجام شده (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه):
پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی هسته‌ای، دانشگاه شیراز، نگارنده: علیرضا آزادپر، سال انتشار: ۱۳۸۲
- ۳) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): شهر لاهیجان - استان گیلان
- ۴) محیط نمونه‌برداری: واحد‌های مسکونی شهرستان لاهیجان
- ۵) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا):

- پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت
- ۶) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): -
 - ۷) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): روش فعال: ۷۰ واحد مسکونی، روش غیر فعال: ۱۰۰ واحد مسکونی
 - ۸) روش انتخاب ساختمان‌ها: -
 - ۹) روش اندازه‌گیری رادون (فعال/غیرفعال): روش فعال: آشکارساز پراسی، روش غیر فعال: اتاقک نفوذی گاز رادون
 - ۱۰) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: پلی‌کربنات
 - ۱۱) بازه زمانی نصب دزیمتر رادون (فصلی / سالانه / تعداد ماه): فصلی (اندازه‌گیری در هر چهار فصل انجام شده است).
 - ۱۲) مقدار غلظت رادون اندازه‌گیری شده Bq/m^3 (میانگین / کمینه / بیشینه):
میانگین: $138/58 Bq/m^3$ ، حداقل: $22/5 Bq/m^3$ ، حداکثر: $399/99 Bq/m^3$
 - ۱۳) مقدار ارزیابی پرتوگیری سالانه مردم (mSv): $1/42 msv.yr^{-1}$

۳-۱-۱-۸. پایش رادون در شهر مشهد

- عنوان مطالعه: بررسی و تعیین حساسیت دزیمتر گاز رادون AEOI و اندازه‌گیری گاز رادون در منازل مسکونی شهر مشهد
- خلاصه مطالعه: در این تحقیق اندازه‌گیری گاز رادون در ۲۵۰ منزل مسکونی شهر مشهد با مصالح ساختمانی متفاوت و در طبقات مختلف و با توزیع مناسب انجام شد. اندازه‌گیری‌ها به دو روش فعال و غیر فعال انجام شد که در روش فعال از دستگاه SILENA و در روش غیر فعال از اتاقک نفوذی رادون با فیلم پلی‌کربنات بهره‌گرفته شد. اندازه‌گیری‌ها در روش غیر فعال در بازه زمانی ۹ ماهه صورت گرفت و طبق نتایج حاصله، میانگین غلظت رادون ۵۲ بکرل بر مترمکعب بدست آمد. نتایج بر حسب مصالح مختلف ساختمانی، طبقات مختلف، قدمت بنا و نوع بنا (ویلائی یا آپارتمانی) مورد بحث و بررسی قرار گرفتند.
- ۱) هدف مطالعه: ۱- بررسی منابع پرتوزا و نقش آن‌ها در پرتوگیری انسان، ۲- بررسی خواص فیزیکی گاز رادون و دختران آن، ۳- بررسی روش‌های اندازه‌گیری غلظت گاز رادون به ویژه روش غیر فعال با استفاده از آشکارساز پلی‌کربنات، ۴- بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر روی حساسیت اتاقک نفوذی گاز رادون (AEOI)، ۵- کالیبراسیون اتاقک نفوذی گاز رادون (AEOI)، ۶- اندازه‌گیری غلظت گاز رادون در خانه‌های مسکونی شهرستان مشهد و تخمین مقدار پرتوگیری ساکنین این خانه‌ها از ذرات آلفای این گاز و دختران آن، ۶- اندازه‌گیری غلظت گاز رادون در طیف گسترده‌ای از خانه‌های مسکونی شهرستان مشهد بصورت فعال، ۷- مقایسه غلظت گاز رادون در طبقات مختلف ساختمان‌ها و همچنین مقایسه غلظت گاز رادون در ساختمان‌های ویلائی و آپارتمانی با مصالح و قدمت متفاوت.
 - ۲) منبع نشر گزارش پژوهش انجام شده (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان‌نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه):

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی هسته‌ای، دانشگاه: صنعتی امیر کبیر، نگارنده: سید جواد تفقید سادات زاده، اساتید راهنما: دکتر مهدی غیاثی نژاد- دکتر مجتبی شمسائی ظفرقندی، اساید مشاور: مهندس مهرا ن کاتوزی-مهندس مسعود بیت‌اللهی، سال انتشار: ۱۳۷۹

- (۳) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): مشهد- خراسان رضوی
- (۴) محیط نمونه برداری: منازل مسکونی شهر مشهد
- (۵) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت
- (۶) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): -
- (۷) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۲۵۰ منزل مسکونی
- (۸) روش انتخاب ساختمان‌ها: از بین طیف وسیعی از افراد، ۲۵۰ نفر با مشاغل گوناگون که طبیعتاً نحوه زندگی متفاوتی داشتند و محل زندگی آن‌ها پوشش مناسبی را در شهر مشهد ایجاد می‌نمود انتخاب گردید.
- (۹) روش اندازه گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیر فعال: اتاقک نفوذی گاز رادون، فعال: SILENA
- (۱۰) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: پلی کربنات
- (۱۱) بازه زمانی نصب دزیمتر رادون (فصلی / سالانه / تعداد ماه): ۹ ماه
- (۱۲) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده Bq/m^3 (میانگین / کمینه / بیشینه): میانگین: $52 Bq/m^3$ ، حداکثر: $180 Bq/m^3$ ، حداقل: $25 Bq/m^3$
- (۱۳) مقدار ارزیابی پرتوگیری سالانه مردم (mSv): $1.31 msv.yr^{-1}$

۳-۱-۱-۹. پایش رادون در شهر کاشان

عنوان مطالعه: اندازه گیری غلظت رادون در برخی ساختمان های مسکونی شهر کاشان

خلاصه مطالعه: در این پژوهش اندازه گیری غلظت رادون در برخی واحدهای مسکونی شهر کاشان انجام شده است. فهرست ساختمان ها به صورت تصادفی شامل ساختمان های قدیمی ساخته شده از خشت و گل و جدید ساخته شده از آجر و سیمان انتخاب شده است. طبقه وقوع واحدها زیر زمین تا طبقه ۲ بوده است. با در نظر گرفتن معیارهای ارزیابی غلظت رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت، بدون در نظر گرفتن نوع مصالح ساختمانی و طبقه وقوع واحد مسکونی میانگین غلظت رادون در فصل زمستان دارای بیشترین مقدار $127 Bq/m^3$ و به ترتیب در پائیز $108 Bq/m^3$ ، در بهار $96 Bq/m^3$ و در تابستان کمترین مقدار $85 Bq/m^3$ می باشد. نتایج اندازه گیری ها نشان می دهد که غلظت رادون در بیش از ۹۵٪ از واحدهای مسکونی اندازه گیری شده کمتر از $300 Bq/m^3$ است که کمتر از سطح مرجع غلظت رادون پیشنهاد شده توسط ICRP در سال ۲۰۰۹ برای ساختمان های مسکونی می باشد.

- (۱) هدف مطالعه: این پژوهش بخشی از طرح ارزیابی پرتوگیری مردم کاشان از پرتوهای طبیعی گاما و رادون می باشد. ارزیابی غلظت رادون در ساختمان های مسکونی قدیمی ساخته شده از خشت و گل و ساختمان های جدید ساخته شده از آجر و سیمان می باشد.
- (۲) منبع نشر گزارش پژوهش انجام شده (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): مجله سنجش و ایمنی پرتو جلد ۲، شماره ۲، بهار ۱۳۹۳
- (۳) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): شهر کاشان، استان اصفهان
- (۴) محیط نمونه برداری: ساختمان های مسکونی قدیمی و جدید
- (۵) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): وزن دهی جمعیت
- (۶) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): جمعیت پایش شده حدود ۴۰۰ نفر
- (۷) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۱۰۰ واحد مسکونی
- (۸) روش انتخاب ساختمان ها: اتفاقی در طبقات زیرزمین تا طبقه دوم
- (۹) روش اندازه گیری رادون (فعال/غیرفعال):
- روش غیر فعال با بکار گیری اتاقک نفوذی گاز رادون
- (۱۰) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: پلی کربنات
- (۱۱) بازه زمانی نصب دزیتر رادون (فصلی/سالانه/تعداد ماه): فصل های بهار، تابستان، پاییز و زمستان
- (۱۲) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده Bq/m^3 (میانگین/کمینه/بیشینه): میانگین: $104 Bq/m^3$ - حداقل: $85 Bq/m^3$ - حداکثر: $127 Bq/m^3$
- (۱۳) مقدار ارزیابی پرتوگیری سالانه مردم (mSv): -

۳-۱-۱۰. پایش رادون در رامسر

عنوان مطالعه: تعیین دز مؤثر مردم رامسر از استنشاق گاز رادون-۲۲۲

خلاصه مطالعه: در این پژوهش دز ناشی از تنفس گاز رادون با اندازه گیری غلظت رادون در ۵۰۰ واحد مسکونی اندازه گیری شده است. اندازه گیریها در مناطق با پرتوژیایی طبیعی عادی و پرتوژیایی بالا (۱۲ منطقه) انجام شده است. اندازه گیری در دو فصل پاییز و زمستان انجام شده است. در مناطق با پرتوژیایی بالا تقریباً ۹۰٪ ساختمان ها پوشش داده شده است. و در بقیه مناطق ساختمان ها به صورت تصادفی انتخاب شدند. میانگین غلظت رادون در پاییز $64 Bq/m^3$ الی $2255 Bq/m^3$ و در زمستان $107 Bq/m^3$ الی $3235 Bq/m^3$

اندازه گیری شده است. بیشینه غلظت رادن در پائیز 193 Bq/m^3 تا 18097 Bq/m^3 و در زمستان 256 Bq/m^3 تا 31080 Bq/m^3 اندازه گیری شده است. گستره پرتوگیر سالانه مردم دز معادل مؤثر (خارجی و داخلی) $3/1 \text{ mSv}$ تا $77/74 \text{ mSv}$ ارزیابی شده است.

(۱) هدف مطالعه: هدف ارزیابی پرتوگیری مردم از تنفس گاز رادن در مناطق با پرتوزایی طبیعی عادی و پرتوزایی طبیعی بالا می باشد.

(۲) منبع نشر گزارش پژوهش انجام شده (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): پایان نامه کارشناسی ارشد مژگان باباپوران دانشگاه امیر کبیر

ارائه شده در کنفرانس مناطق با پرتوزایی طبیعی و رادن بال، ۶ تا ۱۰ سپتامبر ۲۰۰۴، اوزاکا، ژاپن

(۳) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): شهر رامسر، استان مازندران

(۴) محیط نمونه برداری: ساختمان های مسکونی

(۵) روش مطالعه (پایش رادن بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادن بر مبنای جغرافیا):

(۶) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): جمعیت پایش شده حدود ۲۰۰۰ نفر

(۷) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۵۰۰ واحد مسکونی

(۸) روش انتخاب ساختمان ها: تصادفی

(۹) روش اندازه گیری رادن (فعال/غیر فعال):

روش غیر فعال با بکار گیری اتاقتک نفوذی گاز رادن

(۱۰) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: پلی کربنات

(۱۱) بازه زمانی نصب دزیتر رادن (فصلی / سالانه / تعداد ماه):

فصل های پائیز و زمستان

(۱۲) مقدار غلظت رادن اندازه گیری شده Bq/m^3 (میانگین/کمینه/بیشینه):

میانگین: پائیز 64 Bq/m^3 الی 2255 Bq/m^3 زمستان: زمستان 107 Bq/m^3 الی 3235 Bq/m^3

بیشینه غلظت رادن در پائیز 193 Bq/m^3 تا 18097 Bq/m^3 و در زمستان 256 Bq/m^3 تا 31080 Bq/m^3

مقدار ارزیابی پرتوگیری سالانه مردم (mSv): $3/1 \text{ mSv}$ تا $77/74 \text{ mSv}$

۳-۱-۲. مطالعات انجام شده سایر کشورهای دنیا در سطح ملی

۳-۱-۲-۱. مطالعات انجام شده در آسیا

۳-۱-۲-۱-۱. پایش رادون در کشور کره

عنوان مطالعه: NATIONAL RADON SURVEY IN KOREA

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در کشور کره در سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۰، ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی و ساختمان‌های عمومی انجام شد، حدود ۵۶۰۰ منزل مسکونی در مطالعات اول تا سوم (۱۹۸۹، ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۰ و ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵) و ۱۱۰۰ ساختمان عمومی در مطالعه چهارم (۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹) مورد پایش قرار گرفته است. روش مطالعه بر مبنای تراکم جمعیتی و تعداد خانه‌ها بوده است. روش اندازه‌گیری غیرفعال بوده و از آشکارسازهای Landauer, (RadTrak® USA), Radopot®, (RadTrak® USA), Radosys, Hungary) RadTrak® و Radosys, Hungary) Raduet® استفاده شده است. پایش غلظت رادون در منازل مسکونی در مطالعات اول، دوم و سوم به صورت فصلی (اولین مطالعه در فصل زمستان و مطالعات دوم و سوم در تمام فصول) بوده است (۲۴).

(۱) هدف مطالعه: در مطالعاتی که در کشور کره صورت گرفته است هدف پایش ملی رادون بوده است:

- در سال ۱۹۸۹، نخستین پایش ملی رادون در ۵ کلان شهر و ۹ استان انجام شد.
- در دومین پایش ملی رادون که در سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۰ انجام شده است هدف شناسایی خانه‌هایی بوده است که بیشترین مواجهه با رادون در آن‌ها اتفاق افتاده است و همچنین تعیین ارتباط بین غلظت رادون با فصل، نوع خانه و سن ساختمان بوده است. لازم به ذکر است این مطالعه در ۷ کلان شهر و ۹ استان انجام شده است.
- سومین پایش ملی رادون در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ انجام شده است.
- چهارمین پایش ملی رادون که در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹ انجام شده است هدف پایش رادون در مدارس ابتدایی (مناطق) که مستعد حضور رادون بوده است برای نمونه‌برداری انتخاب شده است) و ادارات دولتی بوده است.

(۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/ گزارش داخلی، نام مؤسسه): مقاله، مجله دانشگاه

آکسفورد (Published by Oxford University Press)

(۳) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): کره

(۴) محیط نمونه‌برداری: هوای داخل منازل مسکونی و ساختمان‌های عمومی از قبیل مدارس ابتدایی و سازمانهای دولتی

(۵) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر مبنای تراکم جمعیتی و تعداد خانه‌ها بوده است.

- (۶) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده عنوان نشده است.
- (۷) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): تعداد نمونه‌های پایش شده به صورت زیر ارائه شده است:
- در نخستین پایش ملی که در سال ۱۹۸۹ صورت گرفته است ۵۳۰ منزل مسکونی برای پایش غلظت رادن انتخاب شده است.
 - در دومین پایش ملی که در سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۰ انجام شده است ۲۹۵۳ منزل مسکونی (۳۹/۵ درصد آپارتمان‌ها، ۲۳/۸ درصد خانه‌های سنتی کره‌ای، ۲۴/۷ درصد خانه‌های مدرن یا به سبک غربی و ۱۱/۹ درصد سایر خانه‌ها) مورد پایش قرار گرفته است. لازم به ذکر است در این مطالعه بیشتر منازل مسکونی در مناطق شهری انتخاب شده است.
 - در سومین پایش ملی ۹۷۰ منزل مسکونی (۲۶/۴ درصد آپارتمان‌ها، ۲۶/۲ درصد خانه‌های سنتی کره‌ای و ۴۷/۳ درصد خانه‌های مدرن یا به سبک غربی) و بیشتر در مناطق روستایی انتخاب شده است.
 - در چهارمین پایش ملی ۱۱۰۰ ساختمان عمومی (۶۳/۴ درصد مدارس ابتدایی و ۳۶/۳ درصد ادارجات دولتی) انتخاب شده است.
- (۸) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور کره انجام شده است.
- (۹) نوع ساختمان‌های انتخاب شده (قدیم/جدید/نوع مصالح ساختمانی/ویلاهی/چندطبقه): سنتی، آپارتمانی، مدارس ابتدایی، ساختمان‌های عمومی از قبیل سازمانهای دولتی، منازل مسکونی که به سبک منازل مسکونی کشورهای غربی ساخته شده است.
- (۱۰) روش اندازه‌گیری رادن (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۱) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: (RadTrak[®], Landauer, USA)، (RadTrak[®]، Radopot[®]، (Radosys, Hungary) و (Radosys, Hungary)
- (۱۲) بازه زمانی نصب دزیتر رادن (فصلی/سالانه/تعداد ماه): پایش غلظت رادن به صورت فصلی بوده است:
- اولین پایش ملی رادن فقط در فصل زمستان انجام شده است.
 - دومین پایش ملی رادن در ۴ دوره ۳ ماهه (تمام فصول) انجام شده است.
 - سومین پایش ملی در ۴ دوره ۳ ماهه (تمام فصول) انجام شده است.
 - بازه زمانی چهارمین پایش ملی ارائه نشده است.
- (۱۳) مقدار غلظت رادن اندازه‌گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): نتایج غلظت رادن اندازه‌گیری شده در پایش ملی رادن در کشور کره به صورت زیر ارائه شده است:

غلظت سالانه رادون (بکرل در متر مکعب)			پایش رادون
بیشینه	انحراف معیار \pm میانگین هندسی	انحراف معیار \pm میانگین هندسی	
۴۹۶	$103/9 \pm 59/0$	$92/2 \pm 1/6$	اولین پایش
۱۳۵۰	$52/5 \pm 57/7$	$42/1 \pm 1/8$	دومین پایش
۱۱۸۶	$66/3 \pm 59/7$	$55/7 \pm 1/7$	سومین پایش
۱۰۰۴	$79/3 \pm 85/1$	$60/5 \pm 1/7$	چهارمین پایش
۱۳۵۰	$62/1 \pm 66/4$	$49/0 \pm 1/9$	کل

لازم به ذکر است حدود ۰/۸ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بیش از ۳۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۳-۱-۲-۱-۲-۱-۲. پایش رادون در عربستان سعودی

عنوان مطالعه:

INDOOR RADON SURVEY IN DWELLINGS OF NINE CITIES IN THE EASTERN AND THE WESTERN PROVINCES OF SAUDI ARABIA

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در کشور عربستان سعودی در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۲ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی، ۱۶۱۰ منزل مسکونی در شرق (۷ استان) و غرب (۲ استان) این کشور مورد پایش قرار گرفته است که فقط داده‌های ۷۲۴ منزل مسکونی قابل استفاده بوده است. جمعیت پایش شده ۳۷۱۸۰۰۰ نفر بوده است. روش اندازه‌گیری غیرفعال بوده و از آشکارساز CR-39 استفاده شده است. مدت زمان نمونه‌برداری یک سال خورشیدی عنوان شده است. لازم به ذکر است اندازه‌گیری در زیرزمین، طبقات همکف، ۱، ۲، ۳ و ۴ انجام شده است (۲۵).

(۱) هدف مطالعه: هدف از انجام این مطالعه، ارائه داده‌های مربوط به غلظت رادون در منازل مسکونی ۷ استان در شرق و ۲ استان در غرب عربستان سعودی بوده است.

(۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/ مشخصات پایان‌نامه، نام دانشگاه/ گزارش داخلی، نام مؤسسه): مقاله، مجله Radiation Protection Dosimetry

(۳) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/ کشور): عربستان سعودی

(۴) محیط نمونه‌برداری: هوای داخل منازل مسکونی

- (۵) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ۳۷۱۸۰۰۰ عنوان شده است.
- (۶) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): این مطالعه در ۷ استان در شرق و در ۲ استان در غرب کشور عربستان سعودی انجام شده است. تعداد نمونه‌هایی که داده‌های آن‌ها قابل استفاده بوده است در شرق و غرب عربستان به ترتیب ۵۸۷ و ۱۳۷ منزل مسکونی ذکر شده است. لازم به ذکر است همچنین از داده‌های ۹۸ مدرسه استفاده شده است.
- (۷) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در بخش شرقی و غربی کشور عربستان انجام شده است.
- (۸) روش اندازه‌گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۹) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: CR-39
- (۱۰) بازه زمانی نصب دزیمتر رادون (فصلی / سالانه / تعداد ماه): سالانه عنوان شده است.
- (۱۱) مقدار غلظت رادون اندازه‌گیری شده (میانگین / کمینه / بیشینه): در این مطالعه، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون در ۷۲۴ منزل مسکونی و ۹۸ مدرسه به ترتیب ۲۲، ۱ و ۱۳۷ بکرل در متر مکعب ذکر شده است.

۳-۱-۲-۱-۳. پایش رادون در ژاپن

عنوان مطالعه: A Nation-Wide Survey on Indoor Radon from 2007 to 2010 in Japan

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در کشور ژاپن در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ بر روی اندازه‌گیری غلظت رادون هوای داخل منازل مسکونی انجام شده است، ۳۹۰۰ منزل مسکونی توسط روش نیمین در ۴۷ استان انتخاب شد که در بین این تعداد، ۳۴۶۱ منزل مسکونی (۸۸/۷ درصد) مورد پایش قرار گرفت. اندازه‌گیری‌ها در اتاق نشیمن و اتاق خواب صورت گرفته است. اندازه‌گیری از سپتامبر ۲۰۰۷ شروع و در فوریه ۲۰۱۰ خاتمه یافت. اندازه‌گیری‌ها به صورت ۶ ماهه و از ماه مارس تا آگوست (بهار و تابستان) یا از سپتامبر تا فوریه (پاییز و زمستان) انجام شده است. در این مطالعه از روش اندازه‌گیری غیرفعال و از آشکارسازی که از RadoSys Ltd (بوداپست، مجارستان) خریداری شد استفاده شده است. میانگین حساسی و هندسی غلظت رادون بعد از تعدیل کردن برای تغییرات فصلی به ترتیب ۱۴/۳ و ۱۰/۸ بکرل در متر مکعب گزارش شده است (۲۶).

- (۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادون در منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله / مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه / گزارش داخلی، نام مؤسسه): مقاله، مجله Radiation Research

Research

- ۳) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): ژاپن
- ۴) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- ۵) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): روش این مطالعه بر اساس تراکم جمعیتی انتخاب شده است.
- ۶) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۳۴۶۱ منزل مسکونی مورد پایش قرار گرفته است.
- ۷) روش اندازه گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- ۸) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: RadoSys Ltd
- ۹) بازه زمانی نصب دزیتر رادون (فصلی / سالانه / تعداد ماه): بازه زمانی نصب دزیتر به صورت فصلی بوده است. اندازه گیری ها به صورت ۶ ماهه و از ماه مارس تا آگوست (بهار و تابستان) یا از سپتامبر تا فوریه (پاییز و زمستان) انجام شده است.
- ۱۰) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده (میانگین / کمینه / بیشینه): میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به صورت زیر ارائه شده است:

غلظت رادون (بکرل در متر مکعب)				
انحراف معیار	میانگین هندسی	انحراف معیار	میانگین حسابی	
۲/۲	۱۱	۱۷	۱۵/۲	داده های خام
۲/۱	۱۰/۸	۱۴/۷	۱۴/۳	بعد از تعدیل کردن تغییرات فصلی
۲	۱۰/۴	۱۲/۳	۱۳/۷	وزن دهی جمعیتی

۳-۱-۲-۱-۴. پایش رادون در چین

عنوان مطالعه: A survey of radon level in underground building in China

خلاصه مطالعه: در مطالعه ای که در کشور چین در سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۴ بر روی اندازه گیری غلظت رادون هوای زیرزمین ساختمان ها انجام شده است، ۲۳۴ زیرزمین در ۲۳ شهر انتخاب شده است. نمونه برداری به صورت فصلی و در فصل های زمستان، تابستان و بهار انجام شده است. در ۱۲ شهر که در مناطق گرانیی واقع شده بودند نمونه برداری در فصل های زمستان، تابستان و بهار صورت گرفته است در حالیکه در سایر شهرها نمونه برداری در فصل های زمستان و تابستان انجام شده است. مدت زمان نمونه برداری به صورت دوره های ۳ ماهه (۹۰ روز در هر فصل) در نظر گرفته شده است. در هر زیرزمین تقریباً ۲/۵ نمونه گرفته شده است. در این مطالعه از روش اندازه گیری غیرفعال و از آشکارساز CR-39 استفاده شده است. میانگین غلظت سالانه رادون ۲۴۷ بکرل در متر مکعب گزارش شده است (۲۷).

- (۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادون در زیرزمین ساختمان‌ها
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/ مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/ گزارش داخلی، نام مؤسسه): مقاله، مجله Environment International
- (۳) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/ کشور): چین
- (۴) محیط نمونه برداری: هوای داخل
- (۵) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/ کشور): ۲۳۴ زیرزمین در ۲۳ شهر در کشور چین برای اندازه گیری انتخاب شده است (در این ۲۳۴ زیرزمین ۶۷۴ آشکارساز نصب شده است که در نهایت ۶۰۱ آشکارساز جهت اندازه گیری به آزمایشگاه برگردانده شده است).
- (۶) روش اندازه گیری رادون (فعال/ غیرفعال): غیرفعال
- (۷) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: CR-39
- (۸) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده (میانگین/ کمینه/ بیشینه): میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۲۴۷، ۱۴/۹ و ۲۴۸۲ بکرل در متر مکعب گزارش شده است.

۳-۱-۳. مطالعات انجام شده در اروپا

یکی از مهمترین ارکان مطالعات ملی پایش رادون، برآورد تعداد نمونه‌های مورد نیاز است که در جدول ذیل تعداد نمونه‌های اخذ شده در برخی از کشورهای اروپایی جهت مطالعات ملی پایش رادون ذکر شده است. مطالعات انجام شده در اروپا در گزارشی تحت عنوان AN OVERVIEW OF RADON SURVEYS IN EUROPE آورده شده است و در ادامه به آنها اشاره شده است (۲، ۳، ۲۸، ۲۹).

نام کشور	جمعیت (میلیون نفر) (سال ۲۰۰۵)	تعداد خانه‌های پایش شده	نسبت کل جمعیت به خانه‌های پایش شده (به ازای تعداد جمعیت زیر، یک خانه پایش شده است)
آلبانی	۳/۶	۱۱۰	۳۲,۷۲۷
اتریش	۸/۲	۱۶۰۰۰	۵۱۳
بلژیک	۱۰/۴	۹۰۰۰	۱,۱۵۶
کرواسی	۴/۵	۷۸۲	۵,۷۵۴
قبرس	۰/۸	۸۴	۹,۵۲۴
جمهوری چک	۱۰/۲	۱۵۰,۰۰۰	۶۸
دانمارک	۵/۴	۳۱۲۰	۱,۷۳۱
استونی	۱/۳	۵۱۵	۲,۵۲۴
فنلاند	۵/۲	۷۳۰,۷۴	۷۱
فرانسه	۶۰/۷	۱۲۲۶۱	۴,۹۵۱
آلمان	۸۲/۴	> ۵۰,۰۰۰	۱,۶۴۸
یونان	۱۰/۷	۱۲۷۷	۸,۳۷۹
مجارستان	۱۰	۱۵۶۰۲	۶۴۱
ایرلند	۴	۱۱۳۱۹	۳۵۳
ایتالیا	۵۸/۱	۵۳۶۱	۱۰,۸۳۸
لیتوانی	۳/۶	۴۰۰	۹,۰۰۰
لوگزامبورگ	۰/۵	۲۶۱۹	۱۹۱
مالت	۰/۴	۹۰	۴,۴۴۴
هلند	۱۶/۴	۱۸۴۶	۸,۸۸۴
نروژ	۴/۶	۵۱۹۲۵	۸۹
لهستان	۳۸/۶	۴۰۹۸	۹,۴۱۹
پرتغال	۱۰/۶	۳۳۱۷	۳,۱۹۶
رومانی	۲۲/۳۳	۵۶۷	۳۹,۳۳۰
اسپانیا	۴۰/۳	۵۶۰۰۰	۷۲۰
سوئد	۹	۵۰۰,۰۰۰	۱۸
سوئیس	۷/۵	۵۵۰,۰۰۰	۱۳۶
انگلستان	۶۰/۴	۴۵۰,۰۰۰	۱۳۴

نتایج جدول فوق بیانگر این واقعیت است که بطور متوسط در کشورهای اروپایی تقریباً به ازای هر ۵۸۰۰ نفر جمعیت، یک خانه مسکونی برای رادن پایش شده است؛ البته می‌بایست توجه نمود که گستره این شاخص از حدود یک خانه به ازای هر ۱۸ نفر تا ۳۹۰۰۰ نفر نیز متغیر بوده است. بنابراین برای تهیه نقشه رادن در ایران با جمعیت حدود ۷۷ میلیون نفر و با در نظر گرفتن یک محل نمونه‌برداری به ازای هر ۵۸۰۰ نفر، تقریباً ۱۳۳۰۰ نمونه مورد نیاز خواهد.

۱-۳-۱-۳. پایش رادن در آلبانی

indoor measurements: عنوان مطالعه:

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در شهر تیرانا در کشور آلبانی در سال‌های ۱۹۹۷ تا ۱۹۹۸ بر روی میزان مواجهه با رادن در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۱۱۰ منزل مسکونی و در هر منزل مسکونی بطور متوسط ۳ تا ۴ اتاق (اتاق خواب، طبقات همکف و اتاق‌های مجزا) پایش شده است. روش مطالعه بر مبنای شرایط جغرافیایی انتخاب شده است. در حدود ۳۵۰ اندازه‌گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادن به ترتیب ۱۳۴، صفر و ۵۶۹۰ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است در بین این ۱۱۰ منزل مسکونی، ۴ منزل مسکونی (۳/۶ درصد) دارای غلظت بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ بکرل در متر مکعب، ۶ منزل مسکونی (۵/۴ درصد) دارای غلظت بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادن در هوای داخل منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله / مشخصات پایان‌نامه، نام دانشگاه / گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: United Nations Environment Program, State of the Environment
- (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر / کشور): کشور آلبانی شهر تیرانا
- (۵) محیط نمونه‌برداری: هوای داخل اماکن مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادن بر مبنای وزن‌دهی جمعیت / پایش رادن بر مبنای شرایط جغرافیایی): بر مبنای شرایط جغرافیایی انجام شده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش‌شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر / کشور): در این مطالعه تعداد جمعیت پایش شده ارائه نشده است اما جمعیت کشور آلبانی ۳/۶ میلیون نفر ذکر شده است.

- (۸) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۱۱۰ منزل مسکونی و در هر منزل مسکونی بطور متوسط ۳ تا ۴ اتاق پایش شده است (اتاق خواب، طبقات همکف و اتاق‌های مجزا).
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): این مطالعه در کل سطح شهر تیرانا انجام شده است.
- (۱۰) روش انتخاب ساختمان‌ها: ساختمان‌ها به صورتی انتخاب شده است که در تمام سطح شهر تیرانا توزیع شده باشند.
- (۱۱) روش اندازه‌گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیرفعال: نوع آشکارساز ذکر نشده است.
- (۱۳) بازه زمانی نصب دزیتر رادون (فصلی / سالانه / تعداد ماه): بازه زمانی نصب دزیتر ذکر نشده است. لازم به ذکر است مدت زمان نمونه‌برداری ۲/۶ روز بوده است (منظور از مدت زمان نمونه‌برداری، زمانبندی است که آشکارساز بطور پیوسته در معرض هوا قرار داده شده است).
- (۱۴) مقدار غلظت رادون اندازه‌گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۱۳۴، صفر و ۵۶۹۰ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است در بین این ۱۱۰ منزل مسکونی، ۴ منزل (۳/۶ درصد) دارای غلظت بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ بکرل در متر مکعب، ۶ منزل (۵/۴ درصد) دارای غلظت بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۳-۱-۳-۲. پایش رادون در اتریش

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در شهر وین در کشور اتریش در سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۲ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۱۶۰۰۰ منزل مسکونی مورد پایش قرار گرفته است که از هر منزل ۳ بار نمونه‌برداری صورت گرفته است (۴۸۰۰۰ نمونه). منازل مسکونی به صورت تصادفی و representative بوده است. مکان‌های نمونه‌برداری در منازل مسکونی شامل اتاق نشیمن و اتاق خواب بوده است. لازم به ذکر است روش مطالعه بر اساس دانسیته جمعیتی انتخاب شده است. در این مطالعه بازه زمانی نصب دزیتر به صورت فصلی بوده و در فصل پاییز و بهار اندازه‌گیری صورت گرفته است. مدت زمان اندازه‌گیری در این مطالعه ۳ ماه (۹۰ روز) ذکر شده است. در این مطالعه روش اندازه‌گیری رادون غیرفعال بوده و از سه نوع آشکارساز مختلف استفاده شده است که این آشکارسازها شامل: Track-etch یا 2 یا SSNTD، system Karlsruhe، E-PERM و Charcoal با شمارش سنتیلاسیون مایع بوده است. لازم به ذکر است زمانیکه از آشکارسازهای Track-etch یا 2 یا SSNTD، system Karlsruhe و E-PERM استفاده شده، مدت زمان نمونه‌برداری برای هر کدام بطور میانگین ۹۰ روز بوده است اما زمانیکه از Charcoal با شمارش سنتیلاسیون مایع استفاده شده مدت زمان نمونه‌برداری فقط ۳ روز بوده است. در ۴۰۰۰۰ اندازه‌گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۹۷، کمتر از ۵ و ۸۳۲۵

بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است غلظت سالانه رادن ۹۷ بکرل در متر مکعب بوده است که در بین این ۱۶۰۰۰ منزل مسکونی، ۸ درصد دارای غلظت بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ بکرل در متر مکعب، ۴ درصد دارای غلظت بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادن در هوای داخل منازل مسکونی
 - (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/ گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
 - (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: University of Vienna
 - (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): شهر وین، کشور اتریش
 - (۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
 - (۶) روش مطالعه (پایش رادن بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادن بر مبنای جغرافیا): بر اساس دانسیته جمعیتی انتخاب شده است.
 - (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ارائه نشده است اما جمعیت کشور اتریش در حین انجام این مطالعه ۸/۲ میلیون ذکر شده است.
 - (۸) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۱۶۰۰۰ منزل مسکونیو از هر منزل مسکونی ۳ نمونه گرفته شده است (۴۸۰۰۰ نمونه). لازم به ذکر است مکان های نمونه برداری در منازل مسکونی شامل اتاق نشیمن و اتاق خواب بوده است.
 - (۹) روش انتخاب ساختمان ها: ساختمان ها به صورت تصادفی و به گونه ای انتخاب شده است که نمایانگر تمام منازل موجود در شهر وین باشد.
 - (۱۰) روش اندازه گیری رادن (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: در این مطالعه از سه نوع آشکارساز مختلف استفاده شده است که این آشکارسازها شامل: Track-etch یا SSNTD، system Karlsruhe 2 و E-PERM، Charcoal با شمارش سنتیلاسیون مایع بوده است.
- (۱۱) بازه زمانی نصب دزیتر رادن (فصلی / سالانه/ تعداد ماه): بازه زمانی نصب دزیتر به صورت فصلی بوده و در فصل های پاییز و بهار اندازه گیری صورت گرفته است. لازم به ذکر است زمانیکه از آشکارسازهای Track-etch یا SSNTD، system Karlsruhe 2 و E-PERM استفاده شده، مدت زمان نمونه برداری برای هر کدام به طور میانگین ۹۰ روز بوده است اما زمانیکه از Charcoal با شمارش سنتیلاسیون مایع استفاده شده مدت زمان نمونه برداری فقط ۳ روز بوده است (لازم به ذکر است کمیته و بیشینه مدت زمان نمونه برداری برای هر ۳ نوع آشکارساز به ترتیب ۲ و ۱۵۰ روز بوده است).

۱۲) مقدار غلظت رادن اندازه گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): برای ۴۰۰۰۰ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادن به ترتیب ۹۷، کمتر از ۵ و ۸۳۲۵ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است غلظت میانگین سالانه در منازل مسکونی در وین ۹۷ بکرل در متر مکعب گزارش شده است که ۸ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و ۴ درصد منازل هم دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۱۳) لینک مطالعه: http://www.univie.ac.at/Kernphysik/oenrap/onrap_e.htm

۳-۳-۱-۳. پایش رادن بلژیک

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در کشور بلژیک در سال‌های ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹ بر روی میزان مواجهه با رادن در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، از ۹۰۰۰ منزل مسکونی نمونه برداری صورت گرفت و در هر منزل مسکونی یک نمونه گرفته شد که نمونه برداری‌ها عمدتاً در اتاق نشیمن یا آشپزخانه صورت گرفته است. روش مطالعه بر مبنای شرایط جغرافیایی بوده است. اندازه گیری به صورت فصلی بوده و از فوریه تا آوریل اندازه گیری صورت گرفته است. مدت زمان اندازه گیری به طور میانگین ۳ ماه (۹۰ روز) بوده است. روش اندازه گیری رادن غیر فعال بوده و از آشکارساز LR115 استفاده شده است. در ۹۵۰۰ اندازه گیری، غلظت میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۹۳، ۱۰ و ۴۱۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است غلظت میانگین سالانه در منازل مسکونی در بلژیک ۴۸ بکرل در متر مکعب گزارش شده است که ۱/۷ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و ۰/۵ درصد منازل هم دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- ۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادن در هوای داخل منازل مسکونی بوده است.
- ۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/ گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- ۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Federal Agency for Nuclear Control (FANC)
- ۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): کشور بلژیک
- ۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- ۶) روش مطالعه (پایش رادن بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادن بر مبنای جغرافیا): بر مبنای شرایط جغرافیایی بوده است.
- ۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ارائه نشده است اما جمعیت کشور بلژیک در حین انجام این مطالعه ۱۰/۴ میلیون نفر عنوان شده است.

- (۸) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): از ۹۰۰۰ منزل مسکونی نمونه‌برداری صورت گرفته، که از هر منزل مسکونی فقط یک نمونه گرفته شده است. لازم به ذکر است نمونه‌برداری‌ها عمدتاً در اتاق نشیمن یا آشپزخانه صورت گرفته است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): این مطالعه در کل سطح کشور بلژیک صورت گرفته است.
- (۱۰) روش انتخاب ساختمان‌ها: این مطالعه طرح ملی پایش رادن بوده است و عمدتاً منازل انتخاب شده که میزان رادن در هوای داخل آن‌ها افزایش پیدا کرده باشد.
- (۱۱) روش اندازه‌گیری رادن (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: LR115
- (۱۳) بازه زمانی نصب دزیمتر رادن (فصلی / سالانه / تعداد ماه): اندازه‌گیری به صورت فصلی بوده و از ماه‌های آوریل تا فوریه انجام شده است. میانگین، کمینه و بیشینه مدت زمان نمونه‌برداری به ترتیب ۹۰، ۶۰ و ۱۸۰ روز بوده است.
- (۱۴) مقدار غلظت رادن اندازه‌گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادن به ترتیب ۹۳، ۱۰ و ۴۱۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است غلظت میانگین سالانه در منازل مسکونی در بلژیک، ۴۸ بکرل در متر مکعب گزارش شده است که ۱/۷ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و ۰/۳ درصد منازل هم دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.
- (۱۵) لینک مطالعه: <http://www.fanc.fgov.be/fr/radnat.htm> <http://www.fanc.fgov.be/nl/radnat.htm>

۳-۱-۳-۴. پایش رادن در کرواسی

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در کشور کرواسی در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵ بر روی میزان مواجهه با رادن در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، از ۷۸۲ منزل مسکونی نمونه‌برداری صورت گرفت و از هر منزل فقط یک نمونه گرفته شد. اندازه‌گیری‌ها در اتاق نشیمن صورت گرفته است. در این مطالعه منازل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شده است. روش مطالعه بر اساس دانسیته جمعیتی بوده است. اندازه‌گیری بصورت سالانه و مدت زمان نمونه‌برداری بطور میانگین ۳۸۲/۴ روز بوده است. روش اندازه‌گیری رادن غیرفعال بوده و از آشکارساز LR115 استفاده شده است. در ۷۸۲ اندازه‌گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادن به ترتیب ۶۸، ۴ و ۷۵۱ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است غلظت میانگین سالانه در منازل مسکونی در کرواسی ۶۸ بکرل در متر مکعب گزارش شده

است که ۵/۴ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و ۱/۸ درصد منازل هم دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/ گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: University of Osijek, Department of Physics
- (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): کشور کرواسی
- (۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر اساس دانسیته جمعیتی بوده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ذکر نشده است اما جمعیت کشور کرواسی در حین انجام این مطالعه ۴/۵ میلیون نفر عنوان شده است.
- (۸) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۷۸۲ منزل مسکونی انتخاب شده است که از هر منزل فقط یک نمونه گرفته شد و اندازه گیری ها در اتاق نشیمن صورت گرفته است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در سراسر کشور کرواسی انجام شده است.
- (۱۰) روش انتخاب ساختمان ها: منازل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شده است.
- (۱۱) روش اندازه گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: LR115
- (۱۳) بازه زمانی نصب دزیتر رادون (فصلی / سالانه/ تعداد ماه): اندازه گیری بصورت سالانه و میانگین، کمینه و بیشینه مدت زمان نمونه برداری به ترتیب ۲۴۹،۳۸۲/۴ و ۵۰۸ روز بوده است.
- (۱۴) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): در ۷۸۲ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۶۸، ۴ و ۷۵۱ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است غلظت میانگین سالانه در منازل مسکونی در کرواسی ۶۸ بکرل در متر مکعب گزارش شده است که ۵/۴ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و ۱/۸ درصد منازل هم دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.
- (۱۵) لینک مطالعه: <http://www.ffos.hr/radon>

۳-۱-۳-۵. پایش رادون در قبرس

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در کشور قبرس در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۲ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، از ۸۴ منزل مسکونی نمونه‌برداری صورت گرفت و از هر منزل فقط یک نمونه گرفته شد. اندازه‌گیری‌ها در اتاق نشیمن و زیرزمین صورت گرفته است. در این مطالعه، منازل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شده است. روش مطالعه بر اساس دانسیته جمعیتی بوده است. اندازه‌گیری از ماه سپتامبر ۲۰۰۱ تا ماه می ۲۰۰۲ انجام شده است و مدت زمان نمونه‌برداری بطور میانگین ۲ روز بوده است. روش اندازه‌گیری رادون غیرفعال بوده و از آشکارساز Passive electronic radon (Radim-3 از GT-Analytic) استفاده شده است. در ۸۴ اندازه‌گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۱۹/۳، ۶/۲ و ۱۰۲/۸ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است غلظت میانگین سالانه در منازل مسکونی در قبرس ۱۹/۳ بکرل در متر مکعب گزارش شده است که هیچکدام از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب نبوده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Department of Physics, University of Cyprus
- (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): کشور قبرس
- (۵) محیط نمونه‌برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر اساس دانسیته جمعیتی انتخاب شده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ذکر نشده است اما جمعیت کشور قبرس در حین انجام این مطالعه ۸۰۰۰۰۰ نفر ذکر شده است.
- (۸) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۸۴ منزل مسکونی انتخاب شده است که از هر منزل فقط یک نمونه گرفته شد. اندازه‌گیری‌ها در اتاق نشیمن و زیرزمین صورت گرفته است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): کشور قبرس
- (۱۰) روش انتخاب ساختمان‌ها: منازل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شده است
- (۱۱) روش اندازه‌گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیرفعال: Passive electronic radon detector (Radim-3 از GT-Analytic)

۱۳) بازه زمانی نصب دزیتر رادن (فصلی / سالانه / تعداد ماه): اندازه گیری از ماه سپتامبر ۲۰۰۱ تا ماه می ۲۰۰۲ بوده است. میانگین، کمینه و بیشینه مدت زمان نمونه برداری به ترتیب ۲، ۲ و ۲ روز بوده است.

۱۴) مقدار غلظت رادن اندازه گیری شده (میانگین / کمینه / بیشینه): میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادنه ترتیب ۱۹/۳، ۶/۲ و ۱۰۲/۸ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است غلظت میانگین سالانه در منازل مسکونی در قبرس ۱۹/۳ بکرل در متر مکعب گزارش شده است که هیچکدام از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب نبوده است.

۱۵) لینک مطالعه: http://www-np.ncy.ac.cy/radio_isotopes/wwwen/radon/map/radon_map.html

۱-۳-۶. پایش رادن در جمهوری چک

indoor measurements: عنوان مطالعه:

خلاصه مطالعه: در مطالعه ای که در جمهوری چک در سال های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۵ بر روی میزان مواجهه با رادن در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، بیشتر از ۱۵۰۰۰۰ منزل مسکونی در ۶۹۰۰ منطقه انتخاب شده است و از هر منزل دو نمونه (بیشتر از ۳۰۰۰۰۰ نمونه) و عمدتاً در اتاق نشیمن گرفته شده است. در هر اتاق از دو آشکارساز استفاده شده است. در این مطالعه منازل مسکونی به صورت تصادفی و سپس هدفمند (targeted) انتخاب شده است. روش مطالعه بر اساس شرایط جغرافیایی بوده است. اندازه گیری به صورت سالانه و از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۵ انجام شده است. مدت زمان نمونه برداری بطور میانگین ۳۶۵ روز بوده است. روش اندازه گیری رادن غیرفعال بوده و از آشکارساز LR115 (Kodak) استفاده شده است. در ۳۰۵۰۰۰ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادنه ترتیب ۱۴۰، ۲۰-۱۰ و ۲۵۰۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است غلظت میانگین سالانه در منازل مسکونی در جمهوری چک ۱۴۰ بکرل در متر مکعب گزارش شده است و ۱۵-۱۰ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و ۳-۲ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- ۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادن در هوای داخل منازل مسکونی
- ۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله / مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه / گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- ۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: (SURO) National Radiation Protection Institute
- ۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر / کشور): جمهوری چک
- ۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- ۶) روش مطالعه (پایش رادن بر مبنای وزن دهی جمعیت / پایش رادن بر مبنای جغرافیا): بر اساس شرایط جغرافیایی بوده است.



- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده مشخص نشده است اما جمعیت کشور جمهوری چک در حین انجام این مطالعه ۱۰/۲ میلیون در نظر گرفته شده است.
- (۸) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): بیشتر از ۱۵۰۰۰۰ منزل مسکونی انتخاب شده است و از هر منزل مسکونی نمونه گرفته شده است (بیشتر از ۳۰۰۰۰۰ نمونه). اندازه‌گیری‌ها عمدتاً در اتاق نشیمن صورت گرفته است. در هر اتاق از دو آشکارساز استفاده شده است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در جمهوری چک انجام شده است.
- (۱۰) روش انتخاب ساختمان‌ها: منازل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شده است.
- (۱۱) روش اندازه‌گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: LR115
- (۱۳) بازه زمانی نصب دزیتر رادون (فصلی / سالانه / تعداد ماه): اندازه‌گیری به صورت سالانه و از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۵ اجرا شده است. میانگین، کمینه و بیشینه مدت زمان نمونه‌برداری به ترتیب ۳۶۵، ۳۶۵ و ۳۶۵ روز بوده است.
- (۱۴) مقدار غلظت رادون اندازه‌گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): برای ۳۰۵۰۰۰ اندازه‌گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۱۴۰، ۲۰-۱۰ و ۲۵۰۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است غلظت میانگین سالانه در منازل مسکونی در جمهوری چک ۱۴۰ بکرل در متر مکعب گزارش شده است و ۱۵-۱۰ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و ۳-۲ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.
- (۱۵) لینک مطالعه: <http://www.suro.cz/en/prirodni/mapy/index.html>

۳-۱-۳-۷. پایش رادون در دانمارک

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در دانمارک در سال‌های ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۶ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۳۱۲۰ منزل مسکونی (۳۰۱۹ منزل مسکونی تک‌خانوار و ۱۰۱ منزل چندخانوار) یا آپارتمان انتخاب شده است. محل نمونه‌برداری اتاق نشیمن بوده است. روش مطالعه بر مبنای شرایط جغرافیایی (بخش‌های شهری) انتخاب شده است. این مطالعه در ۲۹۰ بخش شهری انجام شده است. روش انتخاب ساختمان‌ها به صورت تصادفی بوده است به صورتیکه در ۲۷۵ بخش شهری، منازل تک‌خانوار و در ۱۵ بخش شهری، منازل چندخانوار یا آپارتمان انتخاب شده است. اندازه‌گیری به صورت سالانه و در تمام طول سال صورت گرفته است. مدت زمان نمونه‌برداری بطور میانگین ۳۶۵ روز بوده است. روش اندازه‌گیری رادون غیرفعال بوده و از آشکارساز CR-39 استفاده شده است. برای منازل تک‌خانوار میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۸۹/۵، ۲ و ۵۹۰ بکرل در

متر مکعب و برای منازل آپارتمانی میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادن به ترتیب ۱۹/۳، ۲ و ۵۹۰ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است غلظت میانگین سالانه در منازل مسکونی تک خانواری و آپارتمانی در دانمارک ۵۳ بکرل در متر مکعب گزارش شده است و ۲/۷ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و ۰/۲ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادن در هوای داخل منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: National Institute of Radiation Hygiene, Geological Survey of Denmark and Greenland, Risoe National Laboratory
- (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): کشور دانمارک
- (۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادن بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادن بر مبنای جغرافیا): بر مبنای شرایط جغرافیایی (بخش های شهری) انتخاب شده است و در ۲۹۰ بخش شهری انجام شده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ارائه نشده است اما جمعیت کشور دانمارک در حین انجام این مطالعه ۵/۴ میلیون ذکر شده است.
- (۸) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۳۱۲۰ منزل مسکونی انتخاب شده است که ۳۰۱۹ منزل مسکونی تک خانواری و ۱۰۱ منزل چند خانواری یا آپارتمان انتخاب شده است. لازم به ذکر است محل نمونه برداری اتاق نشیمن بوده است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور دانمارک انجام شده است.
- (۱۰) روش انتخاب ساختمان ها: منازل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شده است به صورتیکه در ۲۷۵ بخش شهری، منازل تک خانواری و در ۱۵ استان، منازل چند خانواری یا آپارتمان انتخاب شده است.
- (۱۱) روش اندازه گیری رادن (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: CR-39
- (۱۳) بازه زمانی نصب دزیمر رادن (فصلی / سالانه/ تعداد ماه): اندازه گیری به صورت سالانه و در تمام طول سال صورت گرفته است و مدت زمان نمونه برداری بطور میانگین ۳۶۵ روز بوده است (کمینه و بیشینه مدت زمان نمونه برداری به ترتیب ۳۱۹ و ۵۳۴ بوده است).

۱۴) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): برای منازل تک خانواری میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۲۸۹/۵ و ۵۹۰ بکرل در متر مکعب و برای منازل آپارتمانی به ترتیب ۱۹/۳، ۲ و ۵۹۰ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است غلظت میانگین سالانه در منازل مسکونی تک خانواری و آپارتمانی در دانمارک ۵۳ بکرل در متر مکعب گزارش شده است و ۲/۷ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و ۰/۲ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۱۵) لینک مطالعه: <http://www.risoe.dk/nuk/radon.htm>

http://www.sst.dk/Borgerinfo/Miljoe_og_sundhed/Radon/Radon_i_boliger/Landsomfattende_radonundersoegelse/Hovedrapport.aspx?lang=da

۱-۳-۸. پایش رادون در استونی

indoor measurements: **عنوان مطالعه:**

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در استونی در سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۵۱۵ منزل مسکونی انتخاب شده است و از هر منزل مسکونی دو نمونه گرفته شده است (۱۰۳۰ نمونه). اندازه‌گیری‌ها در اتاق نشیمن و اتاق خواب صورت گرفته است. روش مطالعه بر مبنای شرایط جغرافیایی (بخش‌های شهری) بوده است که تمام نواحی شهری انتخاب شده است. روش انتخاب ساختمان‌ها به صورت تصادفی بوده است، بطوریکه در تمام نواحی شهری توزیع شده باشد. اندازه‌گیری به صورت سالانه و در تمام طول سال صورت گرفته است. مدت زمان نمونه‌برداری ۹۰-۶۰ روز و بطور میانگین ۷۱ روز بوده است. روش اندازه‌گیری رادون غیرفعال بوده و از آشکارساز CR-39 استفاده شده است. در ۱۰۳۰ اندازه‌گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۹۸، ۱۵ و ۱۰۴۴ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است غلظت میانگین سالانه در منازل مسکونی در استونی ۶۰ بکرل در متر مکعب گزارش شده است و ۲/۵-۲ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و ۰/۵-۰/۳ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی

۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre

European Commission

۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Estonian Radiation Protection Centre

۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): کشور استونی

- ۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- ۶) روش مطالعه (پایش رادن بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادن بر مبنای جغرافیا): بر اساس ناحیه شهری انتخاب شده است. لازم به ذکر است این مطالعه در تمام نواحی شهری انجام شده است.
- ۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده عنوان نشده است اما جمعیت کشور استونی در حین انجام این مطالعه ۱/۳ میلیون ذکر شده است.
- ۸) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۵۱۵ منزل مسکونی انتخاب شده است و از هر منزل دو نمونه گرفته شده است (۱۰۳۰ نمونه).
- ۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور استونی انجام شده است.
- ۱۰) روش انتخاب ساختمان ها: به صورت تصادفی انتخاب شده است، بطوریکه در تمام نواحی شهری توزیع شده باشد.
- ۱۱) روش اندازه گیری رادن (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- ۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: CR-39
- ۱۳) بازه زمانی نصب دزیمر رادن (فصلی / سالانه / تعداد ماه): اندازه گیری به صورت سالانه و در تمام طول سال صورت گرفته است. مدت زمان نمونه برداری ۹۰-۶۰ روز و بطور میانگین ۷۱ روز بوده است (کمینه و بیشینه مدت زمان نمونه برداری به ترتیب ۵۵ و ۱۰۲ روز بوده است).
- ۱۴) مقدار غلظت رادن اندازه گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): در ۱۰۳۰ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادنه ترتیب ۱۵،۹۸ و ۱۰۴۴ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است غلظت میانگین سالانه در منازل مسکونی در استونی ۶۰ بکرل در متر مکعب گزارش شده است و ۲/۵-۲ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و ۰/۵-۰/۳ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۳-۱-۳-۹. پایش رادن در فنلاند

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه ای که در فنلاند در سال های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۱ و ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۴ بر روی میزان مواجهه با رادن در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، در اولین مطالعه ۳۰۷۴ منزل مسکونی و در دومین مطالعه ۷۰۰۰۰ منزل مسکونی انتخاب شده است (حدود ۱۰۶۱۴۸ نمونه). منازل مسکونی به صورت تصادفی و representative انتخاب شده است. اندازه گیری ها در اتاق نشیمن و اتاق خواب و در پایین ترین طبقه صورت گرفته است. بر اساس تراکم جمعیتی بوده است. اندازه گیری به صورت فصلی و در فصل زمستان و تابستان (اولین مطالعه) و در فصل زمستان (دومین مطالعه) گرفته است. مدت زمان نمونه برداری ۳۶۵ روز (مطالعه اول) و ۶۰ روز (مطالعه

دوم) بوده است. روش اندازه گیری رادون غیرفعال بوده و از آشکارساز Track-etch (Makrofol) استفاده شده است. در ۶۱۴۸ اندازه گیری در مطالعه اول، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۱۲۰، ۱۳ و ۶۶۲۹ بکرل در متر مکعب و در حدود ۱۰۰۰۰۰۰ اندازه گیری در مطالعه دوم به ترتیب ۲۴۸، ۱۳ و ۳۳۰۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است غلظت میانگین سالانه در منازل مسکونی ۱۲۰ بکرل در متر مکعب گزارش شده است و ۸/۷ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و ۳/۶ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Radiation and Nuclear Safety Contact point (STUK)
- (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): فنلاند
- (۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر اساس تراکم جمعیتی بوده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ذکر نشده است اما جمعیت کشور فنلاند در حین انجام این مطالعه ۵/۲ میلیون عنوان شده است.
- (۸) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): در اولین مطالعه ۳۰۷۴ منزل مسکونی انتخاب شده است که از هر منزل دو نمونه و به صورت پی در پی گرفته شده است و در دومین مطالعه ۷۰۰۰۰ منزل مسکونی انتخاب شده است که از هر منزل ۱-۲ نمونه گرفته شده است. لازم به ذکر است اندازه گیری ها در هر دو مطالعه در اتاق نشیمن یا اتاق خواب در پایین ترین طبقه صورت گرفته است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور فنلاند انجام شده است.
- (۱۰) روش انتخاب ساختمان ها: به صورت تصادفی انتخاب شده است.
- (۱۱) روش اندازه گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: در تمام مطالعات انجام شده در کشور فنلاند از Track-etch (Makrofol) استفاده شده است.
- (۱۳) بازه زمانی نصب دزیتر رادون (فصلی / سالانه/ تعداد ماه): بازه زمانی نصب دزیتر به صورت فصلی و در اولین مطالعه (۱۹۹۰ تا ۱۹۹۱) فصل زمستان و تابستان و در دومین مطالعه (۱۹۸۶ تا ۲۰۰۴) فقط فصل زمستان (اکتبر تا آوریل) بوده است. در اولین مطالعه مدت زمان اندازه گیری دو دوره ۶ ماهه (۳۶۵ روز) و در دومین مطالعه ۲ ماهه (۶۰ روز) بوده است.

۱۴) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): در اولین مطالعه در ۶۱۴۸ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۱۲۰، ۱۳ و ۶۶۲۹ بکرل در متر مکعب بوده است. در دومین مطالعه در حدود ۱۰۰۰۰۰ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۲۴۸، ۱۳ و ۳۳۰۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است غلظت میانگین سالانه در منازل مسکونی ۱۲۰ بکرل در متر مکعب گزارش شده است و ۸/۷ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و ۳/۶ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۱۵) لینک مطالعه: http://www.stuk.fi/sateilytietoa/sateily_ymparistossa/radon

۳-۱-۳-۱۰. پایش رادون در فرانسه

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در فرانسه در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۳ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۱۲۲۶۱ منزل مسکونی انتخاب شده است و از هر منزل مسکونی یک نمونه و از اتاق پذیرایی گرفته شده است. روش مطالعه بر مبنای شرایط جغرافیایی و بیشتر نمونه‌ها در مناطق مستعد رادون بالا انتخاب شده است. منازل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شده است و تعداد منازل مسکونی در مناطقی که مستعد حضور رادون هستند بیشتر از سایر مناطق انتخاب شده است. اندازه گیری سالانه بوده است. مدت زمان اندازه گیری ۳ ماه (۹۰ روز) ذکر شده است. روش اندازه گیری رادون غیرفعال بوده و از آشکارساز LR115(Kodak) استفاده شده است. در ۱۲۲۶۱ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۸۹/۳، ۱ و ۴۹۶۴ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است غلظت میانگین سالانه در منازل مسکونی در استونی ۶۳ بکرل در متر مکعب گزارش شده است و ۶/۵ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و ۲ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- ۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- ۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- ۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety (IRSN)
- ۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): کشور فرانسه
- ۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- ۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر اساس شرایط جغرافیایی انتخاب شده است.
- ۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ارائه نشده است اما جمعیت کشور فرانسه در حین انجام این مطالعه ۶۰/۷ میلیون نفر ذکر شده است.

- (۸) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۱۲۲۶۱ منزل مسکونی انتخاب شده است و از هر منزل یکنمونه گرفته شده است. لازم به ذکر است نمونه‌برداری از اتاق پذیرایی صورت گرفته است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور فرانسه انجام شده است.
- (۱۰) روش انتخاب ساختمان‌ها: به صورت تصادفی انتخاب شده است و تعداد منازل مسکونی انتخاب شده در مناطقی که مستعد حضور رادون هستند بیشتر از سایر مناطق بوده است.
- (۱۱) روش اندازه‌گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: LR115
- (۱۳) بازه زمانی نصب دزیتر رادون (فصلی / سالانه / تعداد ماه): سالانه بوده است و میانگین، کمینه و بیشینه مدت زمان نمونه‌برداری به ترتیب ۳۰، ۷۱ و ۳۳۴ روز بوده است.
- (۱۴) مقدار غلظت رادون اندازه‌گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): در تمام منازل مسکونی، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۱، ۸۹/۳ و ۴۹۶۴ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است غلظت میانگین سالانه در منازل مسکونی در فرانسه ۶۳ بکرل در متر مکعب گزارش شده است و ۶/۵ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و ۲ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.
- (۱۵) لینک مطالعه:

http://www.irsn.fr/vf/05_inf/05_inf_1dossiers/05_inf_16_radon/05_inf_16_2campagne.shtml

۱-۳-۱۱. پایش رادون در مقدونیه

indoor measurements: عنوان مطالعه:

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در مقدونیه در سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۵ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، تعداد منازل مسکونی و مکان نمونه‌برداری ذکر نشده است. از هر منزل مسکونی یک نمونه گرفته شده است. روش مطالعه بر اساس شرایط جغرافیایی انتخاب شده است و هدف، انتخاب ساختمان‌های دارای زیرزمین بوده است. بازه زمانی نصب دزیتر ذکر نشده است اما مدت زمان نمونه‌برداری ۳ روز و ۱ روز بوده است. زمانیکه از آشکارساز Alpha Lucas cells استفاده شده است مدت زمان نمونه‌برداری ۳ روز و زمانیکه از آشکارساز Radhome استفاده شده است مدت زمان نمونه‌برداری ۱ روز بوده است. روش اندازه‌گیری رادون غیرفعال بوده و از آشکارسازهای Alpha Lucas cells و Radhome استفاده شده است. میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۹۶/۱۳، ۲۲ و ۲۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/ مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/ گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Republic Institute for Health Protection (RIHP)
- (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/ کشور): جمهوری مقدونیه
- (۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/ پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر اساس شرایط جغرافیایی انتخاب شده است و هدف، انتخاب ساختمان‌های دارای زیرزمین بوده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/ کشور): تعداد جمعیت پایش شده ارائه نشده است اما جمعیت کشور جمهوری مقدونیه در حین انجام این مطالعه و میلیون نفر ذکر شده است.
- (۸) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/ کشور): در کل سطح کشور جمهوری مقدونیه انجام شده است.
- (۹) روش انتخاب ساختمان‌ها: ساختمان‌های دارای زیرزمین انتخاب شده است.
- (۱۰) روش اندازه گیری رادون (فعال/ غیرفعال): غیرفعال
- (۱۱) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: Radhome و Alpha Lucas cells
- (۱۲) بازه زمانی نصب دزیتر رادون (فصلی / سالانه/ تعداد ماه): بازه زمانی ذکر نشده است. مدت زمان نمونه برداری ۳ و ۱ روز بوده است. زمانیکه از آشکارساز Alpha Lucas cells استفاده شده است مدت زمان نمونه برداری ۳ روز و زمانیکه از آشکارساز Radhome استفاده شده است مدت زمان نمونه برداری ۱ روز بوده است.
- (۱۳) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده (میانگین/ کمینه/ بیشینه): میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۲۲،۹۶/۱۳ و ۲۰۰ بکریل در متر مکعب بوده است.

۱-۳-۱۲. پایش رادون در آلمان

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در آلمان در سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۳ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، تعداد منازل مسکونی انتخاب شده بیشتر از ۵۰۰۰۰ بوده است و در هر منزل مسکونی دو نمونه (بیشتر از ۱۰۰۰۰۰ نمونه) و عمدتاً در اتاق نشیمن، اتاق خواب و زیرزمین گرفته شده است. روش مطالعه بر اساس شرایط جغرافیایی انتخاب شده است. در ابتدا

سطح کشور به شبکه‌های ۳×۳ کیلومتری تقسیم‌بندی شد و سپس منازل مسکونی به صورت تصادفی، یا در مناطق مستعد رادون (مناطق معدنی) یا در مناطق با زمین‌شناسی خاص انتخاب شده است. روش اندازه‌گیری رادون غیرفعال بوده و از آشکارسازهای Activated charcoal (gamma spectrometry, LSC) و LR115 استفاده شده است. بازه زمانی نصب دزیتر سالانه ذکر شده است. زمانیکه از Track-etch (Makrofol) استفاده شده مدت زمان نمونه‌برداری بیشتر از ۳۶۵ روز و زمانیکه از Activated charcoal استفاده شده است مدت زمان نمونه‌برداری ۳ و ۱ روز بوده است. در حدود ۵۰۰۰۰ اندازه‌گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۵۰، کمتر از ۱۰ و بیشتر از ۱۰۰۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است. ۱/۱۵ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و ۰/۴۵ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بیشتر از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان‌نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Federal Office for Radiation Protection (BfS)
- (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): آلمان
- (۵) محیط نمونه‌برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر مبنای شرایط جغرافیایی انتخاب شده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ذکر نشده است اما جمعیت کشور آلمان در حین انجام این مطالعه ۸۲/۴ میلیون ذکر شده است.
- (۸) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): تعداد منازل مسکونی انتخاب شده بیشتر از ۵۰۰۰۰ بوده است و از هر منزل مسکونیدو نمونه‌گرفته شده است (بیشتر از ۱۰۰۰۰۰ نمونه). عمدتاً اندازه‌گیری در اتاق نشیمن، اتاق خواب و زیرزمین صورت گرفته است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور آلمان انجام شده است.
- (۱۰) روش انتخاب ساختمان‌ها: به صورت تصادفی، یا در مناطق مستعد حضور رادون (مناطق معدنی) و یا در مناطق با زمین‌شناسی خاص انتخاب شده است.
- (۱۱) روش اندازه‌گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: LR115 و Activated charcoal (gamma spectrometry, LSC)

۱۳) بازه زمانی نصب دزیتر رادن (فصلی / سالانه / تعداد ماه): بازه زمانی سالانه ذکر شده است. زمانیکه از (Makrofol)Track-etch استفاده شده است مدت زمان نمونه برداری بیشتر از ۳۶۵ روز و زمانیکه از Activated charcoal استفاده شده است مدت زمان نمونه برداری ۳ و ۱ روز بوده است.

۱۴) مقدار غلظت رادن اندازه گیری شده (میانگین / کمینه / بیشینه): میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادنه ترتیب ۵۰، کمتر از ۱۰ و بیشتر از ۱۰۰۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۱۵) لینک مطالعه: <http://www.radon-info.de/> / <http://www.bfs.de/ion/radon>

۳-۱-۳-۱۳. پایش رادن در یونان

indoor measurements: عنوان مطالعه:

خلاصه مطالعه: در مطالعه ای که در یونان در سال های ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۸ بر روی میزان مواجهه با رادن در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۱۲۷۷ منزل مسکونی انتخاب شده است و از هر منزل یک نمونه گرفته شده است. اندازه گیری در اتاق نشیمن و در فاصله یک متری از سطح زمین و نزدیک دیوار انتخاب شده است. روش مطالعه بر اساس شرایط جغرافیایی انتخاب شده است. تمام سطح شهر بصورت منظم به شبکه های متعددی تقسیم بندی شده است و ۷۳۴ محل برای نمونه برداری در تمام سطح کشور انتخاب شده است. روش اندازه گیری رادن غیر فعال بوده و از آشکارساز CR-39 استفاده شده است. بازه زمانی نصب دزیتر سالانه ذکر شده است. میانگین، کمینه و بیشینه مدت زمان نمونه برداری ۳۶۵، ۳۶۵ و ۳۶۵ روز بوده است. در ۱۲۷۷ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادنه ترتیب ۳/۷، ۵۵ و ۱۷۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است. ۲ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ و ۱/۱ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بیشتر از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- ۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادن در هوای داخل منازل مسکونی
- ۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله / مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه / گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- ۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Greek Atomic Energy Commission
- ۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر / کشور): یونان
- ۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- ۶) روش مطالعه (پایش رادن بر مبنای وزن دهی جمعیت / پایش رادن بر مبنای جغرافیا): بر مبنای شرایط جغرافیایی انتخاب شده است.
- ۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر / کشور): تعداد جمعیت پایش شده ذکر نشده است اما جمعیت کشور یونان در حین انجام این مطالعه ۱۰/۷ میلیون بوده است.

- (۸) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۱۲۷۷ منزل مسکونی انتخاب شده است و از هر منزل یک نمونه گرفته شده است. محل اندازه‌گیری در اتاق‌های نشیمن و در فاصله یک متری از سطح زمین و نزدیک دیوار انتخاب شده است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور یونان انجام شده است.
- (۱۰) روش انتخاب ساختمان‌ها: تمام سطح کشور بصورت منظم به شبکه‌های متعددی تقسیم‌بندی شده است و ۷۳۴ محل در تمام سطح کشور برای نمونه‌برداری انتخاب شده است.
- (۱۱) روش اندازه‌گیری رادن (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: CR-39
- (۱۳) بازه زمانی نصب دزیمتر رادن (فصلی / سالانه / تعداد ماه): بازه زمانی سالانه ذکر شده است. میانگین، کمینه و بیشینه مدت زمان نمونه‌برداری به ترتیب ۳۶۵، ۳۶۵ و ۳۶۵ روز بوده است.
- (۱۴) مقدار غلظت رادن اندازه‌گیری شده (میانگین / کمینه / بیشینه): میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادنه ترتیب ۳/۷، ۵۵ و ۱۷۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۳-۱-۳-۱۴. پایش رادن در مجارستان

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در مجارستان در سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۴ بر روی میزان مواجهه با رادن در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۱۵۶۰۲ (۱۵۲۷۷ در طبقات همکف و ۳۲۵ در طبقات بالایی) منزل مسکونی انتخاب شد. از هر منزل مسکونی سه نمونه گرفته شده است. اندازه‌گیری در اتاق خواب صورت گرفته است. روش مطالعه بر اساس شرایط جغرافیایی انتخاب شده است و هدف، انتخاب منازل مسکونی در مناطق دارای غلظت بالاتر رادن بوده است. منازل مسکونی به صورت تصادفی و هدفمند (targeted) انتخاب شده است. روش اندازه‌گیری رادن غیرفعال بوده و از آشکارساز CR-39 استفاده شده است. بازه زمانی نصب دزیمتر فصلی و بطور پیوسته در فصل‌های پاییز، زمستان و بهار بوده است. میانگین، کمینه و بیشینه مدت زمان نمونه‌برداری به ترتیب ۴۵، ۸۰ و ۱۶۰ روز در هر فصل بوده است. اندازه‌گیری‌ها بطور پیوسته انجام شده است. لازم به ذکر است بطور کلی مدت زمان نمونه‌برداری ۲۴۰ روز بوده است. در حدود ۶۰۰۰۰ اندازه‌گیری، کمینه و بیشینه غلظت رادن به ترتیب ۵ و بیشتر از ۱۰۰۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است میانگین غلظت رادن ذکر نشده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادن در هوای داخل منازل مسکونی

- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Greek Atomic Energy Commission
- (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): مجارستان
- (۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر مبنای شرایط جغرافیایی انتخاب شده است و هدف انتخاب منازل در مناطق با تراکم بالاتر بوده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ذکر نشده است اما جمعیت کشور مجارستان در حین انجام این مطالعه 10×10^6 میلیون نفر عنوان شده است.
- (۸) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): $15602 / 15277$ در طبقات همکف و ۳۲۵ در طبقات بالایی) منزل مسکونی انتخاب شده است و از هر منزل سه نمونه گرفته شده است. لازم به ذکر است اندازه‌گیری در اتاق خواب صورت گرفته است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور مجارستان انجام شده است.
- (۱۰) روش انتخاب ساختمان‌ها: به صورت تصادفی و هدف انتخاب منازل مسکونی در مناطق با غلظت بالاتر رادون بوده است.
- (۱۱) روش اندازه‌گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیرفعال: CR-39
- (۱۳) بازه زمانی نصب دزیتر رادون (فصلی/سالانه/تعداد ماه): بازه زمانی فصلی و بطور پیوسته در فصل‌های پاییز، زمستان و بهار بوده است. مدت زمان نمونه برداری بطور میانگین ۸۰ روز در هر فصل بوده است که اندازه‌گیری‌ها بطور پیوسته و پشت سر هم انجام شده است (کمینه و بیشینه مدت زمان نمونه برداری به ترتیب ۴۵ و ۱۶۰ روز بوده است). لازم به ذکر است مدت زمان نمونه برداری بطور کلی ۲۴۰ روز بوده است.
- (۱۴) مقدار غلظت رادون اندازه‌گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): در حدود 60000 اندازه‌گیری، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۵ و بیشتر از 10000 بکرل در متر مکعب بوده است. میانگین غلظت رادون ذکر نشده است.

۳-۱-۳-۱۵. پایش رادون در ایرلند

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در ایرلند در سال‌های ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۹ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۱۱۳۱۹ منزل مسکونی انتخاب شده است و از هر منزل دو نمونه گرفته شده است. اندازه‌گیری در اتاق خواب و اتاق نشیمن صورت گرفته است. روش مطالعه بر اساس شرایط جغرافیایی انتخاب شده است. برای انتخاب منازل مسکونی ابتدا سطح کشور بصورت منظم به شبکه‌های ۱۰ کیلومتر مربعی درآمده و سپس منازل مسکونی بصورت تصادفی از هر شبکه انتخاب شده‌اند. روش اندازه‌گیری رادون غیرفعال بوده و از آشکارساز CR-39 استفاده شده است. بازه زمانی نصب دزیتر به صورت سالانه انتخاب شده است. میانگین، کمینه و بیشینه مدت زمان نمونه‌برداری به ترتیب ۳۶۵، ۳۶۵ و ۳۶۵ روز بوده است. در حدود ۲۲۶۳۸ اندازه‌گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۸۹، ۱۰ و ۱۹۲۴ بکرل در متر مکعب بوده است. غلظت میانگین سالانه ۸۹ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است حدود ۶ درصد از منازل دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ و حدود ۱/۵ درصد از منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Radiological Protection Institute of Ireland (RPII)
- (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): ایرلند
- (۵) محیط نمونه‌برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر مبنای شرایط جغرافیایی انتخاب شده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ذکر نشده است، اما جمعیت کشور ایرلند در حین انجام این مطالعه ۴ میلیون عنوان شده است.
- (۸) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۱۱۳۱۹ منزل مسکونی انتخاب شده است و از هر منزل مسکونیدو نمونه گرفته شده است. لازم به ذکر است اندازه‌گیری در اتاق خواب و اتاق نشیمن صورت گرفته است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور ایرلند انجام شده است.
- (۱۰) روش انتخاب ساختمان‌ها: ابتدا سطح کشور بصورت منظم به شبکه‌های ۱۰ کیلومتر مربعی درآمده و سپس منازل مسکونی بصورت تصادفی از این شبکه‌ها انتخاب شده‌اند.
- (۱۱) روش اندازه‌گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: CR-39

۱۳) بازه زمانی نصب دزیتر رادن (فصلی / سالانه / تعداد ماه): بازه زمانی به صورت سالانه انتخاب شده است. مدت زمان نمونه برداری بطور میانگین ۳۶۵ روز بوده است (کمینه و بیشینه مدت زمان نمونه برداری به ترتیب ۳۶۵ و ۳۶۵ روز بوده است).

۱۴) مقدار غلظت رادن اندازه گیری شده (میانگین / کمینه / بیشینه): در ۲۲۶۳۸ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادن به ترتیب ۸۹، ۱۰ و ۱۹۲۴ بکرل در متر مکعب بوده است. غلظت میانگین سالانه ۸۹ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است حدود ۶ درصد از منازل دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ و حدود ۱/۵ درصد از منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۱۵) لینک مطالعه: <http://www.rpii.ie/radon/index.html>

۳-۱-۱۶. پایش رادن در ایتالیا

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در ایتالیا در سال‌های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۸ بر روی میزان مواجهه با رادن در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۵۳۶۱ منزل مسکونی در ۲۳۲ شهر در سراسر ایتالیا انتخاب شده است و از هر منزل چهار نمونه گرفته شده است. لازم به ذکر است ۲ دوره ۶ ماهه و بطور پیوسته و پشت سر هم اندازه گیری صورت گرفته است که در هر دوره از دو آشکارساز در یک اتاق که عموماً اتاق خواب بوده استفاده شده است. روش مطالعه بر اساس جمعیت انتخاب شده است. روش انتخاب جمعیت در این مطالعه، بر اساس یک برنامه ریزی و طی دو مرحله انتخاب شده‌اند. در مرحله اول همه‌ی ۵۰ شهر دارای جمعیت بیشتر از ۱۰۰۰۰۰ نفر انتخاب شدند در حالیکه ۱۸۲ شهر کوچکتر به صورت تصادفی انتخاب شدند. در مرحله دوم منازل مسکونی درون شهرهای انتخاب شده به صورت تصادفی انتخاب شدند. تناسب نمونه‌ها عموماً یک منزل به ازای هر ۴۰۰۰ نفر بوده است و در ۵ منطقه یک منزل به ازای هر ۲۰۰۰ نفر بوده است. روش اندازه گیری رادن غیرفعال بوده و از آشکارساز LR115 استفاده شده است. به علت اینکه بازه زمانی نصب دوزیتر رادن دو دوره شش ماهه بوده است یک دوره فصل‌های پاییز و زمستان را پوشش داده و یک دوره فصل‌های بهار و پاییز را پوشش داده است. مدت زمان نمونه برداری سالانه (۱۸۰ روز برای فصل پاییز و زمستان و ۱۸۰ روز هم برای فصل بهار و پاییز) بوده است. در حدود ۵۳۶۱ منزل مسکونی، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادن به ترتیب ۷۰، حدود ۵ و ۱۰۳۶ بکرل در متر مکعب بوده است. غلظت میانگین سالانه ۷۰ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است حدود ۳/۲ درصد از منازل دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ و حدود ۰/۹ درصد از منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

(۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادن در هوای داخل منازل مسکونی

(۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله / مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه / گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre

European Commission

- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Istituto Superiore di Sanità (ISS) (Italian National Institute of Health)
- (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): ایتالیا
- (۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر مبنای جمعیت انتخاب شده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ذکر نشده است اما جمعیت کشور ایتالیا در حین انجام این مطالعه ۵۸/۱ میلیون ذکر شده است.
- (۸) روش انتخاب جمعیت پایش شده: همه منازل مسکونی انتخاب شده در این مطالعه، بر اساس یک برنامه ریزی و طی دو مرحله انتخاب شده اند. در مرحله اول همه ۵۰ شهر دارای جمعیت بیشتر از ۱۰۰۰۰۰ نفر انتخاب شدند در حالیکه ۱۸۲ شهر کوچکتر به صورت تصادفی انتخاب شدند. در مرحله دوم منازل مسکونی درون شهرهای انتخاب شده به صورت تصادفی انتخاب شدند. تناسب نمونه ها عموماً یک منزل به ازای هر ۴۰۰۰ نفر بوده است و در ۵ منطقه یک منزل به ازای هر ۲۰۰۰ نفر بوده است.
- (۹) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۵۳۶۱ منزل مسکونی انتخاب شده است و از هر منزل چهار نمونه گرفته شده است. لازم به ذکر است ۲ دوره ۶ ماهه و بطور پیوسته و پشت سر هم اندازه گیری صورت گرفته است که در هر دوره از دو آشکارساز در یک اتاق که عموماً اتاق خواب بوده استفاده می شد. در هر منزل فقط یک اتاق انتخاب شده است که عموماً اتاق خواب بوده است.
- (۱۰) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور ایتالیا انجام شده است.
- (۱۱) روش انتخاب ساختمان ها: منازل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شدند
- (۱۲) روش اندازه گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۳) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: LR115
- (۱۴) بازه زمانی نصب دزیتر رادون (فصلی / سالانه / تعداد ماه): به علت اینکه بازه زمانی نصب دوزیتر رادون دو دوره شش ماهه بوده است یک دوره فصل های پاییز و زمستان را پوشش داده و یک دوره فصل های بهار و پاییز را پوشش داده است. میانگین، کمینه و بیشینه مدت زمان نمونه برداری ۱۸۰ روز بوده است.
- (۱۵) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): در ۵۳۶۱ منزل مسکونی، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۷۰، ۵ و ۱۰۳۶ بکرل در متر مکعب بوده است. غلظت میانگین سالانه ۷۰ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است حدود ۳/۲ درصد از منازل دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ و حدود ۰/۹ درصد از منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.
- (۱۶) لینک مطالعه: http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Temi/Radioattivita_e_radiazioni/Radon/

۳-۱-۳-۱۷. پایش رادون در لتونی

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در لتونی در سال‌های ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۴ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۳۰۰ منزل مسکونی انتخاب شده است. اندازه‌گیری‌ها عمدتاً در اتاق خواب و اتاق نشیمن انجام شده است. روش مطالعه بر اساس تراکم جمعیتی انتخاب شده است. برای انتخاب منازل مسکونی ابتدا منطقه‌بندی صورت گرفته است و سپس در هر ۷۸۰ خان‌های که در هر منطقه وجود داشته است یک خانه به صورت تصادفی انتخاب شده است. روش اندازه‌گیری رادون غیرفعال بوده و از آشکارسازهای (Rad Elec, Inc)Electret Ion Chambers و (ATMOS-12, Gammadata MattekNIK AB) Pulsed Ionization Chamber استفاده شده است. بازه زمانی نصب دوزیمتر به صورت فصلی و در اواسط تابستان و اوایل پاییز بوده است و مدت زمان نمونه‌برداری ذکر نشده است. در ۳۰۰ منزل مسکونی میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۷۰، ۳۰ و ۱۴۳ بکرل در متر مکعب بوده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان‌نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Radiation Safety Centre
- (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): کشور لتونی
- (۵) محیط نمونه‌برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر مبنای تراکم جمعیت انتخاب شده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): ۲/۳ میلیون
- (۸) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۳۰۰ منزل مسکونی انتخاب شده است و دفعات نمونه‌برداری در هر منزل ذکر نشده است. اندازه‌گیری‌ها عمدتاً در اتاق خواب و اتاق نشیمن انجام شده است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور لتونی انجام شده است.
- (۱۰) روش انتخاب ساختمان‌ها: ابتدا منطقه‌بندی صورت گرفته است و سپس در هر ۷۸۰ خان‌های که در هر منطقه وجود داشته است یک خانه به صورت تصادفی انتخاب شده است.
- (۱۱) روش اندازه‌گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: (Rad Elec, Inc)Electret Ion Chambers و (ATMOS-12, Gammadata MattekNIK AB) Pulsed Ionization Chamber

۱۳) بازه زمانی نصب دوزیمتر رادون (فصلی / سالانه / تعداد ماه): به صورت فصلی و در اواسط تابستان و اوایل پاییز بوده است. مدت زمان نمونه برداری ذکر نشده است.

۱۴) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده میانگین / کمینه / بیشینه: میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون اندازه گیری شده در ۳۰۰ منزل انتخاب شده به ترتیب ۷۰، ۳۰ و ۱۴۳ بکرل در متر مکعب بوده است.

۱-۳-۱۸. پایش رادون در لیتوانی

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در لیتوانی در سال‌های ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۸ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۴۰۰ منزل مسکونی انتخاب شده است و از هر منزل مسکونیدو نمونه گرفته شده است. اندازه گیری‌ها در هر منزل مسکونی عمدتاً در دو اتاق انجام شده است که اتاق‌ها ذکر نشده است. نمونه برداری بر اساس تراکم جمعیتی بوده است و ترجیحاً نمونه برداری در مناطقی که تراکم جمعیت بالاتر بوده انجام شده است. لازم به ذکر است منازل مسکونی به گونه‌ای انتخاب شده است که در سراسر سطح کشور توزیع شده باشد. منازل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شده است. روش اندازه گیری رادون غیرفعال بوده و از آشکارساز Electret Ion Chambers (Rad Elec, Inc) استفاده شده است. بازه زمانی نصب دوزیمتر به صورت فصلی و در فصل زمستان بوده است. مدت زمان نمونه برداری بطور میانگین ۲۶ روز ذکر شده است. در ۷۹۸ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۵۵، ۴ و ۴۵۵ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است میانگین غلظت سالانه ۵۵ بکرل در متر مکعب و ۲/۵ درصد از منازل دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ و ۰/۳ درصد از منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- ۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- ۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/ مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/ گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- ۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Radiation Protection Centre
- ۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/ کشور): جمهوری لیتوانی
- ۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- ۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/ پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر مبنای تراکم جمعیت انتخاب شده است.
- ۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/ کشور): تعداد جمعیت پایش شده ذکر نشده است اما جمعیت کشور لیتوانی در حین انجام این مطالعه ۳/۶ میلیون عنوان شده است.

- ۸) روش انتخاب جمعیت پایش شده: نمونه برداری بر اساس تراکم جمعیت بوده است و ترجیحا نمونه برداری در مناطقی که تراکم جمعیت بالاتر بوده انجام شده است. لازم به ذکر است منازل مسکونی به گونه ای انتخاب شده است که در سراسر سطح کشور توزیع شده باشد.
- ۹) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۴۰۰ منزل مسکونی انتخاب شده است و از هر منزل مسکونی دو نمونه گرفته شده است. اندازه گیری ها عمدتا در هر منزل در دو اتاق انجام شده است که اسامی این اتاق ها ذکر نشده است.
- ۱۰) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور لیتوانی انجام شده است.
- ۱۱) روش انتخاب ساختمان ها: منازل مسکونی به صورت تصادفی و به گونه ای انتخاب شده است که در سراسر سطح کشور توزیع شده باشد.
- ۱۲) روش اندازه گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- ۱۳) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: Electret Ion Chambers (Rad Elec, Inc).
- ۱۴) بازه زمانی نصب دوزیمتر رادون (فصلی / سالانه / تعداد ماه): به صورت فصلی و در فصل زمستان بوده است. میانگین، کمینه و بیشینه مدت زمان نمونه برداری به ترتیب ۲۶، ۵ و ۴۱ روز ذکر شده است.
- ۱۵) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): در ۷۹۸ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۵۵، ۴ و ۴۵۵ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است میانگین غلظت سالانه ۵۵ بکرل در متر مکعب و ۲/۵ درصد از منازل دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ و ۰/۳ درصد از منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۱-۳-۱۹. پایش رادون در لوگزامبورگ

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه ای که در لوگزامبورگ در سال های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۲ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۲۶۱۹ منزل مسکونی انتخاب شده است و از هر منزل مسکونی ۱/۷ نمونه گرفته شده است. اندازه گیری ها در اتاق نشیمن و اتاق خواب و عمدتا در اتاق نشیمن انجام شده است. نمونه برداری بر مبنای شرایط جغرافیایی انتخاب شده است. در ابتدای پایش، ۳۰۰ منزل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شده است اما تعداد منازل مسکونی بیشتر بر اساس شرایط زمین شناسی خاصی که داشته اند انتخاب شده اند. روش اندازه گیری رادون غیرفعال بوده و از آشکارساز LR115 استفاده شده است. بازه زمانی نصب دوزیمتر به صورت فصلی و عمدتا در فصل زمستان بوده است. مدت زمان نمونه برداری بطور میانگین ۱۰۳ روز ذکر شده است. در ۴۶۰۳

اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۱۱۵، ۱ و ۲۷۷۶ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است میانگین غلظت سالانه ۱۱۵ بکرل در متر مکعب و ۳ درصد از منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Radioprotection Survey – Health Ministry
- (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): لوگزامبورگ
- (۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر مبنای شرایط جغرافیایی انتخاب شده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ذکر نشده است اما جمعیت کشور لوگزامبورگ در حین انجام این مطالعه ۵۰۰۰۰۰ نفر عنوان شده است.
- (۸) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۲۶۱۹ منزل مسکونی انتخاب شده است و از هر منزل مسکونی ۱/۷ نمونه گرفته شده است. اندازه گیری ها در اتاق نشیمن و اتاق خواب و عمدتاً در اتاق نشیمن انجام شده است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور لوگزامبورگ انجام شده است.
- (۱۰) روش انتخاب ساختمان ها: در ابتدای پایش غلظت رادون، ۳۰۰ منزل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شده است اما تعداد منازل مسکونی بیشتر بر اساس شرایط زمین شناسی خاصی که داشته اند انتخاب شده اند.
- (۱۱) روش اندازه گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: LR115
- (۱۳) بازه زمانی نصب دزیمتر رادون (فصلی / سالانه / تعداد ماه): به صورت فصلی و عمدتاً در فصل زمستان بوده است. میانگین، کمینه و بیشینه مدت زمان نمونه برداری به ترتیب ۱۰۳، ۸ و ۳۶۴ روز ذکر شده است.
- (۱۴) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): در ۴۶۰۳ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۱۱۵، ۱ و ۲۷۷۶ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است میانگین غلظت سالانه ۱۱۵ بکرل در متر مکعب و ۳ درصد از منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۳-۱-۳-۲۰. پایش رادون در مالت

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در مالت در سال‌های ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۵ و ۱۹۹۷ تا ۱۹۹۸ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۸۹ منزل مسکونی انتخاب شده است (در مطالعه اول که در سال ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۵ انجام شده است ۶۸ منزل مسکونی و در مطالعه دوم که در سال ۱۹۹۷ تا ۱۹۹۸ صورت گرفته است ۲۱ منزل مسکونی انتخاب شده است). از هر منزل مسکونی یک نمونه گرفته شده است. اندازه‌گیری‌ها در مطالعه اول در زیرزمین و در طبقات مختلف در چندین اتاق انجام شده است در صورتیکه در مطالعه دوم در اتاق خواب و اتاق نشیمن انجام شده است. نمونه‌برداری بر مبنای شرایط جغرافیایی انجام شده است. در این مطالعه که اساس آن فقط یک مطالعه پایلوت بوده انتخاب منازل مسکونی فقط در بین خانوارهایی که در مراکز بهداشت آن مناطق سابقه یا آشنایی داشته‌اند صورت گرفته است. روش اندازه‌گیری رادون غیرفعال بوده که در مطالعه اول از آشکارساز Alpha-Guard و در مطالعه دوم از Track-etch استفاده شده است. بازه زمانی نصب دوزیمتر در مطالعه اول به صورت فصلی و از ژوئن تا نوامبر (تابستان و پاییز) بوده است و مدت زمان نمونه‌برداری یک روز ذکر شده است و در مطالعه دوم که در تمام طول سال صورت گرفته است مدت زمان نمونه‌برداری ۳۶۵ روز بوده است. در مطالعه اول میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۱۰،۵۵ و ۱۹۹ بکرل در متر مکعب بوده است و در مطالعه دوم غلظت میانگین رادون ۴۰ بکرل در متر مکعب بوده است و کمینه و بیشینه ذکر نشده است.

- ۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- ۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- ۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Radiation Protection Board
- ۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): مالت
- ۵) محیط نمونه‌برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- ۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر مبنای تراکم جمعیتی انتخاب شده است.
- ۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): ۴۰۰۰۰۰ نفر
- ۸) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۸۹ منزل مسکونی انتخاب شده (در مطالعه اول که در سال ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۵ انجام شده است ۶۸ منزل مسکونی و در مطالعه دوم که در سال ۱۹۹۷ تا ۱۹۹۸ صورت گرفته است ۲۱ منزل مسکونی انتخاب شده است) است و دفعات نمونه‌برداری در هر منزل یک بار ذکر شده است. اندازه‌گیری‌ها در مطالعه

اول در زیرزمین و در طبقات مختلف در چندین اتاق انجام شده است در صورتیکه در مطالعه دوم در اتاق خواب و اتاق نشیمن انجام گرفته است.

(۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور مالت انجام شده است.
(۱۰) روش انتخاب ساختمان ها: در این مطالعه که اساس آن فقط یک مطالعه آزمایشی (pilot) بوده است. انتخاب منازل مسکونی فقط در بین خانوارهایی که در مراکز بهداشت آن مناطق سابقه یا آشنایی (acquaintances) داشته اند صورت گرفته است.

(۱۱) روش اندازه گیری رادن (فعال/غیرفعال): فعال و غیرفعال

(۱۲) آشکارساز مورد استفاده: در مطالعه اول از Alpha-Guard و در مطالعه دوم از Track-etch استفاده شده است.

(۱۳) بازه زمانی نصب دزیمتر رادن (فصلی / سالانه / تعداد ماه): مطالعه اول به صورت فصلی و از ژوئن تا نوامبر (تابستان و پاییز) بوده است و مدت زمان نمونه برداری یک روز ذکر شده است. در مطالعه دوم که در تمام طول سال صورت گرفته است مدت زمان نمونه برداری ۳۶۵ روز بوده است.

(۱۴) مقدار غلظت رادن اندازه گیری شده میانگین / کمینه / بیشینه): در مطالعه اول غلظت میانگین رادن اندازه گیری شده ۵۵ بکرل در متر مکعب، کمینه و بیشینه به ترتیب ۱۰ و ۱۹۹ بکرل در متر مکعب بوده است. در مطالعه دوم غلظت میانگین رادن اندازه گیری شده ۴۰ بکرل در متر مکعب و انحراف معیار، کمینه و بیشینه مشخص نشده است.

۳-۱-۳. پایش رادن در هلند

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه ای که در هلند در سال های ۱۹۸۴ و ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۶ بر روی میزان مواجهه با رادن در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، در اولین پایش که در سال ۱۹۸۴ انجام شده است اتاق نشیمن و اتاق خواب ۸۹۴ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است و در دومین پایش که در سال های ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۶ انجام شده است اتاق نشیمن ۹۵۲ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است. در اولین پایش ساختمان هایی که قبل از سال ۱۹۷۰ ساخته شده بودند مورد مطالعه قرار گرفتند. در دومین پایش ساختمان هایی که در طی سال های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۳ ساخته شده بودند مورد مطالعه قرار گرفتند و در سومین پایش که طرح ملی غلظت رادن و تهویه بوده است (در واقع ارتباط بین میزان تهویه و غلظت رادن بررسی شده است) در ساختمان های نوسازی که بین سال های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۶ ساخته می شدند صورت گرفته است. اساس نمونه برداری در پایش اول ذکر نشده است. اما پایش دوم بر اساس تراکم جمعیتی انجام شده است. روش اندازه گیری رادن غیرفعال بوده که در مطالعه اول از Track-etch (KVI) و در مطالعه دوم از Track-etch (FzK(Karlsruhe)) استفاده شده است. پایش ها به صورت سالانه انجام شده است و مدت زمان نمونه برداری ۳۶۵ روز ذکر شده است. لازم به ذکر است فقط غلظت های رادن در پایش دوم ارائه شده است و داده های پایش اول و سوم در دسترس نبوده است. در ۹۵۲ اندازه گیری انجام شده در

اتاق نشیمن میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادنبه ترتیب ۳/۳، ۵/۷ و ۳۸۲ بکرل در متر مکعب بوده است. لازم به ذکر است حدود ۱۲۰ منزل مسکونی (۰/۳ درصد از منازل مسکونی) دارای طول عمر ۱۰ سال دارای غلظت رادون ۲۰۰ تا ۴۰۰ و کمتر از ۰/۰۰۰۱ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بیشتر از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/ مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/ گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: RIVM/LSO (National Institute for Public Health and the Environment/ Laboratory for Radiation Research)
- (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/ کشور): هلند
- (۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/ پایش رادون بر مبنای جغرافیا): پایش دوم بر اساس تراکم جمعیتی انجام شده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/ کشور): تعداد جمعیت پایش شده ذکر نشده است اما جمعیت کشور هلند در حین انجام این مطالعه ۱۶/۴×۱۰۶ ذکر شده است.
- (۸) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/ کشور): در اولین پایش که در سال ۱۹۸۴ انجام شده است اتاق نشیمن و اتاق خواب ۸۹۴ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است. در دومین پایش که در سال های ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۶ انجام شده است اتاق نشیمن ۹۵۲ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/ کشور): در کل سطح کشور هلند انجام شده است.
- (۱۰) روش انتخاب ساختمان ها: در این مطالعه ساختمان ها به ۳ دسته به صورت زیر تقسیم بندی شده است:
 - در اولین پایش، ساختمان هایی که قبل از سال ۱۹۷۰ ساخته شده بودند مورد مطالعه قرار گرفتند.
 - در دومین پایش، ساختمان هایی که در طی سال های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۳ ساخته شده بودند مورد مطالعه قرار گرفتند.
 - در سومین پایش که طرح ملی غلظت رادون و تهویه بوده است (در واقع ارتباط بین میزان تهویه و غلظت رادون بررسی شده است) در ساختمان های نوسازی که بین سال های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۶ ساخته می شدند مورد مطالعه قرار گرفتند.
- (۱۱) روش اندازه گیری رادون (فعال/ غیرفعال): غیرفعال
- (۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: در مطالعه اول از Track-etch (KVI) و در مطالعه دوم از Track-etch (FzK(Karlsruhe)) استفاده شده است.

۱۳) بازه زمانی نصب دزیتر رادن (فصلی / سالانه / تعداد ماه): پایش ها به صورت سالانه انجام شده است و مدت زمان نمونه برداری ۳۶۵ روز ذکر شده است.

۱۴) مقدار غلظت رادن اندازه گیری شده (میانگین / کمینه / بیشینه): در ابتدا لازم به ذکر است فقط غلظت های رادن در پایش دوم ارائه شده است و داده های پایش اول و سوم در دسترس نبوده است. در ۹۵۲ اندازه گیری انجام شده در اتاق نشیمن میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادن به ترتیب ۳/۳۰، ۵/۷ و ۳۸۲ بکرل در متر مکعب بوده است.

۱-۳-۲۲. پایش رادن در نروژ

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ی که در نروژ در سال های ۱۹۸۷ تا ۱۹۸۹ و ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۳ بر روی میزان مواجهه با رادن در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، در اولین پایش ۷۵۲۵ منزل مسکونی، در در دومین پایش ۷۰۰۰ منزل مسکونی و در سومین پایش ۳۷۴۰۰ منزل مسکونی مورد پایش قرار گرفته است. لازم به ذکر است در منازل مسکونی اندازه گیری در اتاق خواب و اتاق نشیمن صورت گرفته است و از هر منزل مسکونی فقط یک نمونه گرفته شده است بجز در پایش دوم که از هر منزل مسکونی یک تا دو نمونه گرفته شده است. پایش ها (اول، دوم و سوم) بر اساس دانسیته جمعیتی انجام شده است. در پایش اول، منازل مسکونی به صورت تصادفی در سراسر کشور انتخاب شده است و در پایش های دوم و سوم منازل مسکونی به صورت تصادفی در منطقه های شهری انتخاب شده اند. لازم به ذکر است در پایش های دوم و سوم برای شناسایی مناطق مستعد حضور رادن در مناطق با جمعیت بیشتر تعداد اندازه گیری ها کمتر و در مناطق کم جمعیت تر تعداد اندازه گیری ها بیشتر بوده است. روش اندازه گیری رادن غیر فعال بوده که از آشکارساز CR-39 استفاده شده است. پایش ها هم به صورت سالانه و هم به صورت فصلی (فصل گرم) انجام شده است و مدت زمان نمونه برداری ۱۸۰-۶۰ روز ذکر شده است. مدت زمان نمونه برداری در پایش اول، دوم و سوم به ترتیب بطور میانگین ۱۸۵، ۷۰ و ۶۰ روز ذکر شده است. در حدود ۵۳۵۰۰ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادن به ترتیب ۸۹، کمتر از ۱۰ و ۵۰۰۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است. غلظت سالانه رادن ۸۹ بکرل در متر مکعب بوده است که ۶ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ و ۳ درصد از منازل مسکونی هم دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادن در هوای داخل منازل مسکونی

۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله / مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه / گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre

European Commission

۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Norwegian Radiation Protection Authority (NRPA)

۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر / کشور): نروژ

- (۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادن بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادن بر مبنای جغرافیا): پایش ها (اول، دوم و سوم) بر اساس دانسیته جمعیتی انجام شده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): ۴/۶ میلیون
- (۸) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): در اولین پایش ۷۵۲۵ منزل مسکونی، در دومین پایش ۷۰۰۰ منزل مسکونی و در سومین پایش ۳۷۴۰۰ منزل مسکونی مورد پایش قرار گرفته است. لازم به ذکر است در منازل مسکونی اندازه گیری در اتاق خواب و اتاق نشیمن صورت گرفته است و در هر منزل مسکونی فقط یک بار اندازه گیری صورت گرفته است بجز در پایش دوم که بین یک و دوبار اندازه گیری صورت گرفته است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور نروژ انجام شده است.
- (۱۰) روش انتخاب ساختمان ها: در پایش اول منازل مسکونی به صورت تصادفی در سراسر کشور انتخاب شده است و در پایش های دوم و سوم منازل مسکونی به صورت تصادفی در منطقه های شهری انتخاب شده اند. لازم به ذکر است در پایش های دوم و سوم برای شناسایی مناطق مستعد در مناطق با جمعیت بیشتر تعداد اندازه گیری ها کمتر و در مناطق کم جمعیت تر تعداد اندازه گیری ها بیشتر بوده است.
- (۱۱) روش اندازه گیری رادن (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: CR-39
- (۱۳) بازه زمانی نصب دزیمتر رادن (فصلی / سالانه / تعداد ماه): پایش ها هم به صورت سالانه و هم به صورت فصلی (فصل گرم) انجام شده است و مدت زمان نمونه برداری ۱۸۰-۶۰ روز ذکر شده است. مدت زمان نمونه برداری در پایش اول و دوم به ترتیب بطور میانگین ۱۸۵ (کمینه و بیشینه مدت زمان نمونه برداری به ترتیب ۱۸۰ و ۲۰۰ روز) و ۷۰ (کمینه و بیشینه مدت زمان نمونه برداری به ترتیب ۴۵ و ۱۰۰ روز) بوده است.
- (۱۴) مقدار غلظت رادن اندازه گیری شده (میانگین / کمینه / بیشینه): در حدود ۵۳۵۰۰ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادن به ترتیب ۸۹، کمتر از ۱۰ و ۵۰۰۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است. غلظت سالانه رادن ۸۹ بکرل در متر مکعب بوده است که ۶ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ و ۳ درصد از منازل مسکونی هم دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۳-۱-۳-۲۳. پایش رادن در لهستان

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در لهستان در سال‌های ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۴ و ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۳ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، در اولین پایش ۲۸۸۶ منزل مسکونی و در دومین پایش ۱۲۱۲ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است. لازم به ذکر است اندازه‌گیری در اتاق خواب و اتاق نشیمن و در هر منزل مسکونی دو نمونه گرفته شده است. روش مطالعه در پایش اول ارائه نشده است در حالیکه در پایش دوم روش مطالعه بر مبنای شرایط جغرافیایی و زمین‌شناسی خاص بوده است. در پایش اول منازل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شده است در حالیکه در پایش دوم انتخاب منازل مسکونی هدفمند روش اندازه‌گیری رادون غیرفعال بوده که در در پایش اول از آشکارساز CR-39 و در پایش دوم از آشکارسازهای CR-39، LR115 و Charcoal استفاده شده است. پایش‌ها به صورت فصلی (پاییز و بهار) انجام شده است و مدت زمان نمونه‌برداری در هر دو پایش ۹۰ روز ذکر شده است. در پایش اول که ۵۷۷۲ اندازه‌گیری صورت گرفته است میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۴،۴۴/۵ و ۷۵۶ بکرل در متر مکعب و در پایش دوم که ۲۳۲۴ اندازه‌گیری صورت گرفته است میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۷،۱۱۸ و ۳۲۶۱ بکرل در متر مکعب بوده است. غلظت سالانه رادون ۴۹ بکرل در متر مکعب بوده است که ۱/۶ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ و ۰/۴ درصد از منازل مسکونی هم دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان‌نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Central Laboratory for Radiological Protection
- (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): لهستان
- (۵) محیط نمونه‌برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): روش مطالعه در پایش اول ارائه نشده است در حالیکه در پایش دوم روش مطالعه بر مبنای شرایط جغرافیایی و زمین‌شناسی خاص مناطق مورد مطالعه بوده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): ۳۸/۶×۱۰۶
- (۸) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): در اولین پایش ۲۸۸۶ منزل مسکونی و در دومین پایش ۱۲۱۲ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است. لازم به ذکر است در منازل مسکونی اندازه‌گیری در اتاق خواب و اتاق نشیمن صورت گرفته است و در هر منزل مسکونی دو بار اندازه‌گیری صورت گرفته است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور لهستان انجام شده است.

- ۱۰) روش انتخاب ساختمان‌ها: در پایش اول منازل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شده است در حالیکه در پایش دوم انتخاب منازل مسکونی هدفمند (انتخاب منازل مسکونی در مناطقی که انتظار غلظت بالای رادون وجود داشته است) بوده است. لازم به ذکر است در پایش دوم مناطقی انتخاب شده است که بعلا زمین‌شناسی خاصی که دارند غلظت بالایی از رادون تولید می‌شود.
- ۱۱) نوع ساختمان‌های انتخاب شده (قدیم/جدید/نوع مصالح ساختمانی/ویلايي/چندطبقه): -
- ۱۲) روش اندازه‌گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- ۱۳) آشکارساز مورد استفاده در روش غیرفعال: در پایش اول از آشکارساز CR-39 و در پایش دوم از آشکارسازهای CR-39، LR115 و Charcoal استفاده شده است.
- ۱۴) بازه زمانی نصب دزیمتر رادون (فصلی/سالانه/تعداد ماه): پایش‌ها به صورت فصلی (پاییز و بهار) انجام شده است و مدت زمان نمونه‌برداری در هر دو پایش ۹۰ روز ذکر شده است.
- ۱۵) مقدار غلظت رادون اندازه‌گیری شده میانگین/کمینه/بیشینه): در پایش اول که ۵۷۷۲ اندازه‌گیری صورت گرفته است میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۴، ۴۴/۵ و ۷۵۶ بکرل در متر مکعب و در پایش دوم که ۲۳۲۴ اندازه‌گیری صورت گرفته است میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۷، ۳۲۶۱ بکرل در متر مکعب بوده است. غلظت سالانه رادون ۴۹ بکرل در متر مکعب بوده است که ۱/۶ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ و ۰/۴ درصد از منازل مسکونی هم دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۳-۱-۳-۲۴. پایش رادون در پرتغال

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در پرتغال در سال‌های ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۱ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۳۳۱۷ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است. لازم به ذکر است در منازل مسکونی اندازه‌گیری در اتاق خواب و اتاق نشیمن و در هر منزل مسکونی یک نمونه گرفته شده است. روش مطالعه بر مبنای تراکم جمعیتی بوده است و به ازای هر ۲۰۰۰ نفر از یک آشکارساز استفاده شده است. روش اندازه‌گیری رادون غیرفعال بوده که از آشکارساز LR115 استفاده شده است. پایش‌ها به صورت فصلی و در فصل زمستان و تابستان (عمدتاً فصل زمستان) انجام شده است و مدت زمان نمونه‌برداری ۸۰ روز ذکر شده است. در ۳۷۴۷ اندازه‌گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۸۶، ۶ و ۳۵۸۸ بکرل در متر مکعب بوده است.

- ۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- ۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان‌نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre

European Commission

- ۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Instituto Tecnológico Nuclear (ITN)
- ۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): پرتغال
- ۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- ۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر مبنای جمعیت بوده است.
- ۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): ۱۰/۶ میلیون
- ۸) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۳۳۱۷ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است. لازم به ذکر است در منازل مسکونی اندازه گیری در اتاق خواب و اتاق نشیمن صورت گرفته است و در هر منزل مسکونی یک بار اندازه گیری صورت گرفته است.
- ۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور پرتغال انجام شده است.
- ۱۰) روش اندازه گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- ۱۱) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: LR115
- ۱۲) بازه زمانی نصب دزیتر رادون (فصلی / سالانه / تعداد ماه): پایش ها به صورت فصلی (عمدتاً فصل زمستان) انجام شده است و مدت زمان نمونه برداری در هر دو پایش ۸۰ روز ذکر شده است.
- ۱۳) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده میانگین / کمینه / بیشینه: در ۳۷۴۷ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۸۶، ۶ و ۳۵۸۸ بکرل در متر مکعب بوده است.

۳-۱-۳-۲۵. پایش رادون در رومانی

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه ای که در رومانی در سال های ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۰ و ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۴ و ۲۰۰۰ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، در پایش اول، دوم و سوم به ترتیب ۱۱۹، ۳۴۸ و ۱۰۰ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است. لازم به ذکر است در پایش اول و دوم اندازه گیری در اتاق خواب و در پایش سوم اندازه گیری در کلاس درس و طبقات همکف صورت گرفته است. روش مطالعه بر مبنای تراکم جمعیتی بوده است. روش اندازه گیری رادون غیرفعال بوده که در پایش اول و دوم از فیلترهای غشایی مورد استفاده در نمونه برداری هوا و در پایش سوم از آشکارسازهای Track Etch استفاده شده است. پایش های اول و دوم در تمام فصول و پایش سوم در ماه دسامبر انجام شده است. لازم به ذکر است مدت زمان نمونه برداری در پایش اول و دوم ۱۰ دقیقه و در پایش سوم ۳۱ روز ذکر شده است. در پایش اول غلظت میانگین ذکر نشده است اما غلظت کمینه و بیشینه رادون به ترتیب ۳

و ۱۲۷ بکرل در متر مکعب عنوان شده است. در پایش دوم غلظت میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۲/۲۰، ۸/۳ و ۴۳۴ و در پایش سوم ۱۴۶، ۴۳ و ۴۷۷ ارائه شده است. غلظت میانگین سالانه رادون ۴۵ بکرل در متر مکعب مشخص شده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Radiation Hygiene Laboratory (Institute of Public Health Bucharest)
- (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): رومانی
- (۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر مبنای تراکم جمعیتی بوده است و نمونه‌ها در مناطق با تراکم جمعیتی بالا گرفته شده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ذکر نشده است اما جمعیت کشور رومانی در حین انجام این مطالعه ۲۲/۳۳ میلیون بوده است.
- (۸) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): در پایش اول، دوم و سوم به ترتیب ۱۱۹، ۳۴۸ و ۱۰۰ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است. لازم به ذکر است در پایش اول و دوم اندازه گیری در اتاق خواب و در پایش سوم اندازه گیری در کلاس درس و طبقات همکف صورت گرفته است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور رومانی انجام شده است.
- (۱۰) روش اندازه گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۱) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: در پایش اول و دوم از فیلترهای غشایی مورد استفاده در نمونه برداری هوا در پایش سوم از آشکارسازهای Track Etch استفاده شده است.
- (۱۲) بازه زمانی نصب دزیمتر رادون (فصلی/سالانه/تعداد ماه): پایش‌های اول و دوم در تمام فصول و پایش سوم در دسامبر انجام شده است. لازم به ذکر است مدت زمان نمونه برداری در پایش اول و دوم ۱۰ دقیقه و در پایش سوم ۳۱ روز ذکر شده است.
- (۱۳) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): در پایش اول غلظت میانگین ذکر نشده است اما غلظت کمینه و بیشینه رادون به ترتیب ۳ و ۱۲۷ بکرل در متر مکعب عنوان شده است. در پایش دوم غلظت میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۲/۲۰، ۸/۳ و ۵۳۴ و در پایش سوم ۱۴۶، ۴۳ و ۴۷۷ ارائه شده است. غلظت میانگین سالانه رادون ۴۵ بکرل در متر مکعب مشخص شده است.

۳-۱-۳-۲۶. پایش رادون در صربستان و مونتنگرو

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در صربستان و مونتنگرو در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۳ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۹۶۸ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است و از هر منزل یک نمونه گرفته شده است. اندازه‌گیری در اتاق خواب انجام شده است. روش مطالعه بر مبنای شرایط جغرافیایی و زمین‌شناسی بوده است. پایش در بخش شمالی کشور که انتظار سطوح بالای رادون می‌رفته است انجام شده است که به همین علت اولین پایش در استان Vojvodina انجام شده است. روش اندازه‌گیری رادون غیرفعال بوده و از آشکارساز CR-39 استفاده شده است. پایش‌ها به صورت فصلی و در فصل زمستان انجام شده است. لازم به ذکر است مدت زمان نمونه‌برداری ۹۰ روز ذکر شده است. در ۹۶۸ منزل مسکونی، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۱۴۴، ۲ و ۸۹۳ بکرل در متر مکعب عنوان شده است. غلظت میانگین سالانه رادون ۱۴۴ بکرل در متر مکعب مشخص شده است که ۱۸ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ بکرل در متر مکعب و ۴ درصد منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان‌نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Faculty of Sciences University of Novi Sad Department of Physics
- (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): صربستان و مونتنگرو
- (۵) محیط نمونه‌برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر مبنای شرایط جغرافیایی و زمین‌شناسی بوده است. پایش در بخش شمالی کشور که انتظار سطوح بالای رادون می‌رفته است انجام شده است که به همین علت اولین پایش در استان Vojvodina انجام شده است (غلظت رادون در هوای منازل مسکونی مناطق روستایی ۴۵ منطقه شهری که نمایانگر بیشتر استان بوده است اندازه‌گیری شده است).
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ذکر نشده است اما جمعیت کشور صربستان و مونتنگرو در حین انجام این مطالعه $10/8 \times 10^6$ عنوان شده است.
- (۸) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۹۶۸ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است و از هر منزل یک نمونه‌گرفته شده است. اندازه‌گیری در اتاق خواب انجام شده است.



- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور صربستان و مونتنگرو انجام شده است.
- (۱۰) روش اندازه گیری رادن (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۱) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: CR-39
- (۱۲) بازه زمانی نصب دزیتر رادن (فصلی / سالانه / تعداد ماه): پایش ها به صورت فصلی و در فصل زمستان انجام شده است. لازم به ذکر است مدت زمان نمونه برداری ۹۰ روز ذکر شده است.
- (۱۳) مقدار غلظت رادن اندازه گیری شده میانگین/کمینه/بیشینه): در ۹۶۸ منزل مسکونی، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادن به ترتیب ۱۴۴، ۲ و ۸۹۳ بکرل در متر مکعب عنوان شده است. غلظت میانگین سالانه رادن ۱۴۴ بکرل در متر مکعب مشخص شده است که ۱۸ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ بکرل در متر مکعب و ۴ درصد منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۳-۱-۳-۲۷. پایش رادن در اسلواکی

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه ای که در اسلواکی در سال های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۳ بر روی میزان مواجهه با رادن در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۴۰۱۹ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است که از هر منزل دو نمونه گرفته شده است. لازم به ذکر است اندازه گیری ها در دو اتاق مختلف انجام شده است. روش مطالعه بر اساس شرایط جغرافیایی بوده است. ساختمان ها به صورت تصادفی در تمام سطح کشور جمهوری اسلواکی انتخاب شده است. لازم به ذکر است منازل مسکونی بر منازل ویلایی ترجیح داده شده است. روش اندازه گیری رادن غیر فعال بوده و از آشکارساز CR-39 استفاده شده است. پایش ها به صورت فصلی و نیمی از پایش ها در فصل گرم و نیمی هم در فصل غیر گرم انجام شده است. لازم به ذکر است مدت زمان نمونه برداری ۱۸۳ روز ذکر شده است. در ۸۲۷۰ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادن به ترتیب ۱۷۲، ۱۰ و ۳۷۵۰ بکرل در متر مکعب عنوان شده است. غلظت میانگین سالانه رادن ۱۰۸ بکرل در متر مکعب مشخص شده است که ۱۴ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ بکرل در متر مکعب و ۱۱ درصد منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادن در هوای داخل منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/ گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Slovak Medical University Bratislava

- ۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): جمهوری اسلواکی
- ۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- ۶) روش مطالعه (پایش رادن بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادن بر مبنای جغرافیا): بر اساس شرایط جغرافیایی بوده است.
- ۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ذکر نشده است اما جمعیت جمهوری اسلواکی در حین انجام این مطالعه $5/4 \times 10^6$ ذکر شده است.
- ۸) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۴۰۱۹ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است که در هر منزل دو بار اندازه گیری انجام شده است. لازم به ذکر است اندازه گیری ها در دو اتاق مختلف انجام شده است.
- ۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح جمهوری اسلواکی انجام شده است.
- ۱۰) روش انتخاب ساختمانها: ساختمانها به صورت تصادفی در تمام سطح کشور جمهوری اسلواکی انتخاب شده است. لازم به ذکر است منازل مسکونی بر منازل ویلایی ترجیح داده شده است.
- ۱۱) روش اندازه گیری رادن (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- ۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: CR-39
- ۱۳) بازه زمانی نصب دزیمتر رادن (فصلی / سالانه / تعداد ماه): پایشها به صورت فصلی و نیمی از پایشها در فصل گرم و نیمی هم در فصل غیرگرم انجام شده است. لازم به ذکر است مدت زمان نمونه برداری ۱۸۳ روز ذکر شده است.
- ۱۴) مقدار غلظت رادن اندازه گیری شده میانگین/کمینه/بیشینه): در ۸۲۷۰ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادن به ترتیب ۱۷۲، ۱۰ و ۳۷۵۰ بکرل در متر مکعب عنوان شده است. غلظت میانگین سالانه رادن ۱۰۸ بکرل در متر مکعب مشخص شده است که ۱۴ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ بکرل در متر مکعب و ۱۱ درصد منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۳-۱-۳-۲۸. پایش رادون در اسلوونی

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در اسلوونی در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۲، ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۴، ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۵ و ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، در اولین مطالعه (سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۲) هدف اندازه‌گیری غلظت رادون در آشپزخانه بوده است که ۷۳۰ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است و از هر منزل یک نمونه گرفته شده است. در دومین پایش (سال ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۴) هدف اندازه‌گیری غلظت رادون در مدارس بوده است که ۸۹۰ مدرسه مورد مطالعه قرار گرفته است و از هر مدرسه یک نمونه گرفته شده است. در سومین پایش (سال ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۵) هدف اندازه‌گیری غلظت رادون در منازل مسکونی بوده است که ۸۹۲ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است و از هر منزل مسکونی یک نمونه گرفته شده است (لازم به ذکر است در ۹۰ درصد موارد محل‌های نمونه‌برداری اتاق نشیمن (۴۵ درصد) اتاق خواب (۴۵ درصد) بوده است و در ۱۰ درصد موارد سایر محل‌ها برای نمونه‌برداری استفاده شده است). در چهارمین پایش (سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵) هدف اندازه‌گیری غلظت رادون در مدارس و آشپزخانه‌های دارای غلظت بیشتر از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است. در این مطالعه ۴۵ آشپزخانه و ۷۸ مدرسه مورد مطالعه قرار گرفته است و به ازای هر ساختمان (مدارس و منازل مسکونی) ۶ نمونه گرفته شده است. در مطالعه اول و دوم هدف انتخاب تقریباً تمام آشپزخانه‌ها (۹۵ درصد) و مدارس (۸۰ درصد) بوده است. در مطالعه دیگری (مطالعه چهارم) که بر روی آشپزخانه‌ها و مدارس صورت گرفته است هدف انتخاب آشپزخانه‌ها و مدارس دارای غلظت رادون بیشتر از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است. در مطالعه سوم که بر روی منازل مسکونی انجام شده است، منازل مسکونی به صورت تصادفی و به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که در سراسر سطح کشور توزیع شده باشد. روش اندازه‌گیری رادون غیرفعال بوده و از آشکارساز Track-etch (Jožef Stefan Institute) استفاده شده است. پایش غلظت رادون در منازل مسکونی (مطالعه سوم) به صورت فصلی و در فصل زمستان بوده است. مدت زمان نمونه‌برداری ۹۶ روز بوده است. لازم به ذکر است بازه زمانی نصب دزیومتر و مدت زمان نمونه‌برداری در سایر مطالعه‌ها (اول، دوم و چهارم) ارائه نشده است. در ۸۹۲ اندازه‌گیرنده منازل مسکونی (پایش سوم)، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۱۲۱، ۷ و ۱۸۹۰ بکرل در متر مکعب عنوان شده است. غلظت میانگین سالانه رادون ۸۷ بکرل در متر مکعب مشخص شده است که ۵/۷ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ بکرل در متر مکعب و ۲ درصد منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

(۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی

(۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/ مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/ گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre

European Commission

(۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Ministry of Health (Slovenian Radiation Protection Administration)

- ۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): اسلونی
- ۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- ۶) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ذکر نشده است اما جمعیت کشور اسلونی در حین انجام این مطالعه ۱ میلیون بوده است.
- ۷) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): مطالعات انجام شده در کشور اسلونی به صورت زیر ارائه شده است:
- در اولین مطالعه که در سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۲ انجام شده است، هدف اندازه گیری غلظت رادن در آشپزخانه بوده است که ۷۳۰ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است و در هر منزل فقط یک بار اندازه گیری صورت گرفته است.
 - در دومین پایش که در سال ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۴ انجام شده است، هدف اندازه گیری غلظت رادن در مدارس بوده است که ۸۹۰ مدرسه مورد مطالعه قرار گرفته است و در هر مدرسه فقط یک بار اندازه گیری صورت گرفته است.
 - در سومین پایش که در سال ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۵ انجام شده است، هدف اندازه گیری غلظت رادن در منازل مسکونی بوده است که ۸۹۲ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است و در هر منزل مسکونی فقط یک بار اندازه گیری صورت گرفته است (لازم به ذکر است در ۹۰ درصد موارد مکان نمونه برداری اتاق نشیمن (۴۵ درصد) و اتاق خواب (۴۵ درصد) بوده است و در ۱۰ درصد موارد نمونه برداری در سایر مکان ها صورت گرفته است).
 - در چهارمین پایش که در سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ انجام شده است، هدف اندازه گیری غلظت رادن در مدارس و آشپزخانه های دارای غلظت بیشتر از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است. در این مطالعه ۴۵ آشپزخانه و ۷۸ مدرسه مورد مطالعه قرار گرفته است و به ازای هر ساختمان (مدارس و منازل مسکونی) ۶ نمونه گرفته شده است.
- ۸) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور اسلونی انجام شده است.
- ۹) روش انتخاب ساختمان ها: روش انتخاب ساختمان ها در این مطالعه ها به صورت زیر ارائه شده است:
- در مطالعه اول و دوم هدف انتخاب تقریباً تمام آشپزخانه ها (۹۵ درصد) و مدارس (۸۰ درصد) بوده است. در مطالعه دیگری (مطالعه چهارم) که بر روی آشپزخانه ها و مدارس صورت گرفته است هدف انتخاب آشپزخانه ها و مدارس دارای غلظت رادن بیشتر از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.
 - در مطالعه سوم که بر روی منازل مسکونی انجام شده است، منازل مسکونی به صورت تصادفی و به گونه ای انتخاب شده اند که در سراسر سطح کشور توزیع شده باشد.

- ۱۰) نوع ساختمان های انتخاب شده (قدیم/جدید/نوع مصالح ساختمانی / ویلایی /چندطبقه): -
- ۱۱) روش اندازه گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- ۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: Track-etch detectors (Jožef Stefan Institute)
- ۱۳) بازه زمانی نصب دزیمتر رادون (فصلی / سالانه / تعداد ماه): پایش غلظت رادون در منازل مسکونی به صورت فصلی و در فصل زمستان بوده است. مدت زمان نمونه برداری ۹۶ روز بوده است. لازم به ذکر است بازه زمانی نصب دزیمتر و مدت زمان نمونه برداری در سایر مطالعات ارائه نشده است.
- ۱۴) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): در ۸۹۲ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۱۲۱، ۷ و ۱۸۹۰ بکرل در متر مکعب عنوان شده است. غلظت میانگین سالانه رادون ۸۷ بکرل در متر مکعب مشخص شده است که ۵/۷ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ بکرل در متر مکعب و ۲ درصد منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۳-۱-۳-۲۹. پایش رادون در اسپانیا

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در اسپانیا در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، تقریباً ۵۶۰۰ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است. لازم به ذکر است اندازه‌گیری‌ها در اتاق نشیمن و خواب صورت گرفته است. روش مطالعه بر مبنای شرایط جغرافیایی بوده است. در این مطالعه بر روی مناطق روستایی و مناطق دارای سطوح بالای رادون متمرکز شده‌اند. روش اندازه‌گیری رادون غیرفعال بوده و از آشکارسازهای Track-etch، Terradex، KfK و Charcoal و Lucas cells استفاده شده است. پایش غلظت رادون در منازل مسکونی به صورت فصلی و در همه فصول انجام شده است. مدت زمان نمونه‌برداری ۹۰ روز بوده است. در ۹۸۰۰ اندازه‌گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۹۰/۴، ۱۰ و ۱۵۴۰۰ بکرل در متر مکعب عنوان شده است. غلظت میانگین سالانه رادون ۹۰ بکرل در متر مکعب مشخص شده است که ۴ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ بکرل در متر مکعب و ۲ درصد منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- ۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- ۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان‌نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- ۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Consejo de Seguridad Nuclear
- ۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): اسپانیا

- (۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادن بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادن بر مبنای جغرافیا): بر مبنای شرایط جغرافیایی بوده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ذکر نشده است اما جمعیت کشور اسپانیا در حین انجام این مطالعه ۴۰/۳ میلیون عنوان شده است.
- (۸) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): تقریباً ۵۶۰۰ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است و از هر منزل مسکونی یک نمونه گرفته شده است. لازم به ذکر است در منازل مسکونی اندازه گیری ها در اتاق نشیمن و اتاق خواب صورت گرفته است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور اسپانیا انجام شده است.
- (۱۰) روش انتخاب ساختمان ها: در این مطالعه بر روی مناطق روستایی و مناطق دارای سطوح بالای رادن متمرکز شده اند.
- (۱۱) روش اندازه گیری رادن (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: Track-etch detectors, Terradex, KfK detectors, Charcoal detectors و Lucas cells
- (۱۳) بازه زمانی نصب دزیتر رادن (فصلی / سالانه / تعداد ماه): پایش غلظت رادن در منازل مسکونی به صورت فصلی و در همه فصول انجام شده است. مدت زمان نمونه برداری ۹۰ روز بوده است.
- (۱۴) مقدار غلظت رادن اندازه گیری شده (میانگین / کمینه / بیشینه): در ۹۸۰۰ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادن به ترتیب ۹۰/۴، ۱۰ و ۱۵۴۰۰ بکرل در متر مکعب عنوان شده است. غلظت میانگین سالانه رادن ۹۰ بکرل در متر مکعب مشخص شده است که ۴ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ بکرل در متر مکعب و ۲ درصد منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۱-۳-۳۰. پایش رادن در سوئد

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه ای که در سوئد در سال های ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۲ بر روی میزان مواجهه با رادن در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۱۳۶۰ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است و از هر منزل تقریباً ۲/۵ نمونه گرفته شده است. لازم به ذکر است، اندازه گیری ها برای هر طبقه، در دو یا یک اتاق صورت گرفته است. روش مطالعه بر مبنای شرایط جغرافیایی بوده است. در این مطالعه تمام مناطق شهری برای اندازه گیری انتخاب شده است. لازم به ذکر است منازل مسکونی به صورت تصادفی و در هر منطقه شهری انتخاب شده است. روش اندازه گیری رادن غیرفعال بوده و از آشکارساز CR-39 استفاده شده است. پایش غلظت رادن در منازل مسکونی به صورت فصلی و از اول اکتبر تا ۳۰ آوریل بوده است. لازم به ذکر است مدت زمان نمونه برداری ۹۰ روز بوده است. در

حدود ۳۴۰۰ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۱۰۸، - و ۳۹۰۴ بکرل در متر مکعب عنوان شده است. غلظت میانگین سالانه رادون ۱۰۸ بکرل در متر مکعب مشخص شده است که ۶-۹ درصد (۱۴-۹ درصد منازل مسکونی ویلایی و ۴-۱ درصد منازل آپارتمانی) از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ بکرل در متر مکعب و ۴-۳ درصد (۷-۴ درصد منازل مسکونی ویلایی و ۴-۰/۸ درصد منازل آپارتمانی) منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Swedish Radiation Protection Authority (SSI)
- (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): سوئد
- (۵) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر مبنای شرایط جغرافیایی بوده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده ارائه نشده است اما جمعیت کشور سوئد در حین انجام این مطالعه ۹ میلیون بوده است.
- (۸) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۱۳۶۰ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است و از هر منزل تقریباً ۲/۵ نمونه گرفته شده است. لازم به ذکر است اندازه گیری ها در منازل مسکونی در دو یا یک اتاق برای هر طبقه صورت گرفته است.
- (۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور سوئد انجام شده است.
- (۱۰) روش انتخاب ساختمان ها: در این مطالعه تمام مناطق شهری برای اندازه گیری انتخاب شده است. لازم به ذکر است منازل مسکونی به صورت تصادفی در هر منطقه شهری انتخاب شده است.
- (۱۱) روش اندازه گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: CR-39
- (۱۳) بازه زمانی نصب دزیتر رادون (فصلی/سالانه/تعداد ماه): پایش غلظت رادون در منازل مسکونی به صورت فصلی و از اول اکتبر تا ۳۰ آوریل بوده است. لازم به ذکر است مدت زمان نمونه برداری ۹۰ روز بوده است.
- (۱۴) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): در حدود ۳۴۰۰ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۱۰۸، - و ۳۹۰۴ بکرل در متر مکعب عنوان شده است. غلظت میانگین سالانه رادون ۱۰۸ بکرل در متر مکعب مشخص شده است که ۶-۹ درصد (۱۴-۹ درصد منازل مسکونی ویلایی و ۴-۱ درصد منازل آپارتمانی) از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰

و ۴۰۰ بکرل در متر مکعب و ۳-۴ درصد (۴-۷ درصد منازل مسکونی ویلایی و ۴-۸ درصد منازل آپارتمانی) منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۳-۱-۳. پایش رادون در سوئیس

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در سوئیس در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، تقریباً ۵۵۰۰۰ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است و از هر منزل مسکونی تقریباً ۱/۵ نمونه گرفته شده است. لازم به ذکر است مکان‌های اندازه‌گیری‌ها در منازل مسکونی، اتاق نشیمن (۳۵ درصد)، زیرزمین (۳۶ درصد) و اتاق خواب (۸ درصد) بوده است. روش مطالعه بر مبنای شرایط جغرافیایی بوده است. در این مطالعه در ابتدا منازل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شده است. ساختمان‌ها و مدارس قدیمی نسبت به ساختمان‌های نوساز در اولویت بوده‌اند. منازل مسکونی مناطق شهری دارای غلظت بیش از ۲۰۰ بکرل در متر مکعب به صورت سیستماتیک غربال شدند. روش اندازه‌گیری رادون غیرفعال بوده و در ۶۰ درصد موارد از آشکارساز Track-etch و در ۴۰ درصد موارد از electrets استفاده شده است. پایش غلظت رادون در منازل مسکونی به صورت فصلی و از نوامبر تا مارس (زمستان و پاییز) بوده است. لازم به ذکر است مدت زمان نمونه‌برداری ۱۰۰ روز بوده است. در ۹۶۰۰ اندازه‌گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۲۳۰، ۲۰ و ۲۹۷۰۵ بکرل در متر مکعب عنوان شده است. غلظت میانگین سالانه رادون ۷۷ بکرل در متر مکعب مشخص شده است که ۱۰ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ بکرل در متر مکعب و ۷ درصد منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- ۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی
- ۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان‌نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- ۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Swiss Federal Office of Public Health (SFOPH)/ Consumer Protection Directorate/ Division of Radiological Protection/ Radon Unit
- ۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): سوئیس
- ۵) محیط نمونه‌برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- ۶) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): بر مبنای شرایط جغرافیایی بوده است.
- ۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده عنوان نشده است اما جمعیت کشور سوئیس در حین انجام این مطالعه $7/5 \times 10^6$ ذکر شده است.

۸) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): تقریباً ۵۵۰۰۰ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است و از هر منزل تقریباً ۱/۵ نمونه‌گرفته شده است. لازم به ذکر است مکان‌های نمونه‌برداری در منازل مسکونی به صورت زیر ارائه شده است:

- اتاق نشیمن (۳۵ درصد)
- زیرزمین (۳۶ درصد)
- اتاق خواب (۸ درصد)

۹) مساحت منطقه تحت مطالعه (نسبت مساحت پایش شده به کل مساحت شهر/کشور): در کل سطح کشور سوئیس انجام شده است. ۱۰) روش انتخاب ساختمان‌ها: در این مطالعه در ابتدا منازل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شده است. ساختمان‌ها و مدارس قدیمی به بیشتر ساختمان‌های نوساز در اولویت بوده‌اند. منازل مسکونی مناطق شهری دارای غلظت بیش از ۲۰۰ بکرل در متر مکعب به صورت سیستماتیک غربال شدند.

۱۱) روش اندازه‌گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال

۱۲) آشکارساز مورد استفاده در روش غیرفعال: در ۶۰ درصد موارد از آشکارساز Track-etch و در ۴۰ درصد موارد از electrets استفاده شده است.

۱۳) بازه زمانی نصب دزیتر رادون (فصلی / سالانه / تعداد ماه): پایش غلظت رادون در منازل مسکونی به صورت فصلی و از نوامبر تا مارس بوده است. لازم به ذکر است مدت زمان نمونه‌برداری ۱۰۰ روز عنوان شده است.

۱۴) مقدار غلظت رادون اندازه‌گیری شده (میانگین / کمینه / بیشینه): در ۹۶۰۰ اندازه‌گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۲۳۰، ۲۰ و ۲۹۷۰۵ بکرل در متر مکعب عنوان شده است. غلظت میانگین سالانه رادون ۷۷ بکرل در متر مکعب مشخص شده است که ۱۰ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ بکرل در متر مکعب و ۷ درصد از منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۱-۳-۳۲. پایش رادون در بریتانیا

عنوان مطالعه: indoor measurements

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در بریتانیا در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵ بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۴۵۰۰۰۰ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است و از هر منزل تقریباً ۲/۱ نمونه گرفته شده است. منازل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شده است. لازم به ذکر است مکان‌های نمونه‌برداری اتاق نشیمن و اتاق خواب بوده است. روش مطالعه بر مبنای شرایط جغرافیایی بوده است. در این مطالعه تمام سطح کشور و ترجیحاً مناطق دارای سطح بالای رادون به شبکه‌های متعددی

تبدیل شده است و سپس منازل مسکونی به صورت تصادفی از این مناطق انتخاب شده‌اند. هدف اصلی، شناسایی ساختمان‌های دارای غلظت رادن ۴۰۰ بکرل در متر مکعب (محل کار) و ساختمان‌های دارای غلظت رادن ۲۰۰ بکرل در متر مکعب (منازل) بوده است. روش اندازه‌گیری غیرفعال بوده و از آشکارساز (Track-etch (NRPB/HPA, NET, Gammadata استفاده شده است. پایش غلظت رادن در منازل مسکونی به صورت فصلی و در تمام فصول بوده است. مدت زمان نمونه‌برداری ۳۶۵-۹۰ روز بوده است. در ۹۴۵۰۰۰ اندازه‌گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادن به ترتیب ۸۷، صفر و ۱۷۰۰۰ بکرل در متر مکعب عنوان شده است. غلظت میانگین سالانه رادن ۲۰ بکرل در متر مکعب مشخص شده است که ۰/۴ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ بکرل در متر مکعب و ۰/۱ درصد منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

- (۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادن در هوای داخل منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان‌نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): Joint Research Centre European Commission
- (۳) مؤسسه محل انجام مطالعه: Health Protection Agency (HPA)
- (۴) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): بریتانیا
- (۵) محیط نمونه‌برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۶) روش مطالعه (پایش رادن بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادن بر مبنای جغرافیا): بر مبنای شرایط جغرافیایی بوده است.
- (۷) تعداد جمعیت پایش شده (نسبت جمعیت پایش شده به کل جمعیت شهر/کشور): تعداد جمعیت پایش شده عنوان نشده است اما جمعیت بریتانیا در حین انجام این مطالعه ۶۰/۴×۱۰۶ عنوان شده است.
- (۸) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۴۵۰۰۰۰ منزل مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است و از هر منزل تقریباً ۲/۱ نمونه گرفته شده است. لازم به ذکر است مکان‌های نمونه‌برداری اتاق نشیمن و اتاق خواب بوده است.
- (۹) روش انتخاب ساختمان‌ها: تمام سطح کشور و ترجیحاً مناطق دارای سطح بالای رادن به شبکه‌های متعددی تبدیل شده است که سپس منازل مسکونی به صورت تصادفی از این مناطق انتخاب شده‌اند. هدف اصلی شناسایی ساختمان‌های دارای غلظت رادن ۴۰۰ بکرل در متر مکعب (محل کار) و ساختمان‌های دارای غلظت رادن ۲۰۰ بکرل در متر مکعب (منازل) بوده است.
- (۱۰) روش اندازه‌گیری رادن (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۱۱) آشکارساز مورد استفاده در روش غیرفعال: Track-etch detectors (NRPB/HPA, NET, Gammadata)
- (۱۲) بازه زمانی نصب دزیتر رادن (فصلی/سالانه/تعداد ماه): پایش غلظت رادن در منازل مسکونی به صورت فصلی و در تمام فصول بوده است. لازم به ذکر است مدت زمان نمونه‌برداری ۳۶۵-۹۰ روز بوده است.

۱۳) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده میانگین/کمینه/بیشینه): در ۹۴۵۰۰۰ اندازه گیری، میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۸۷، صفر و ۱۷۰۰۰ بکرل در متر مکعب عنوان شده است. غلظت میانگین سالانه رادون ۲۰ بکرل در متر مکعب مشخص شده است که ۰/۴ درصد از منازل مسکونی دارای غلظتی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ بکرل در متر مکعب و ۰/۱ درصد منازل دارای غلظتی بیش از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۱-۳-۳۳. پایش رادون در فنلاند

عنوان مطالعه: Radon Prevention in New Construction in Finland: A Nationwide Sample Survey in 2009

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در کشور فنلاند (دومین مطالعه پایش ملی رادون) در سال ۲۰۰۹ بر روی اندازه گیری غلظت رادون هوای داخل منازل مسکونی انجام شده است، در ابتدا ۳۰۰۰ منزل مسکونی به صورت تصادفی انتخاب شد که در بین این تعداد منازل مسکونی، ۱۸۶۲ مالک تمایل به همکاری نشان دادند که به هر مالک یک آشکارساز داده شد و در این افراد ۱۷۰۵ نفر آشکارساز را تحویل دادند و در بین آشکارسازها ۱۵۶۱ (۷ درصد منازل مسکونی که در سال ۲۰۰۶ پروانه ساخت گرفته بودند) برای اندازه گیری قابل استفاده بود. در بین این ۱۵۶۱ منزل مسکونی، ۱۰۷۰ خانه‌ی مسکونی مجزا و ۴۹۱ خانه‌ی متصل بهم (۳۳۳ خانه‌ی دارای تراس و ۱۵۸ خانه‌ی نیمه مجزا) انتخاب شده است. نمونه برداری به مدت ۲ ماه و از ماه مارس تا ماه می ۲۰۰۹ انجام شده است. در این مطالعه از روش اندازه گیری غیرفعال و از آشکارساز alpha track استفاده شده است. میانگین غلظت سالانه رادون ۹۵ بکرل در متر مکعب گزارش شده است (۳۰).

- ۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادون در منازل مسکونی
- ۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): مقاله، مجله Radiation Protection Dosimetry
- ۳) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): فنلاند
- ۴) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- ۵) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۱۵۶۱ منزل مسکونی
- ۶) روش اندازه گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- ۷) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: alpha track
- ۸) بازه زمانی نصب دزیمتر رادون (فصلی/سالانه/تعداد ماه): نمونه برداری به مدت ۲۸ تا ۱۰۰ روز صورت گرفته است (در ۱ درصد موارد مدت زمان نمونه برداری کمتر از ۵۳ روز و در ۹۹ درصد موارد هم اندازه گیری کمتر از ۹۶ روز بوده است). مدت زمان نمونه برداری به طور میانگین ۶۰ روز ذکر شده است.

۹) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به ترتیب ۹۵، ۱ و ۴۳۱۰ بکرل در متر مکعب گزارش شده است. لازم به ذکر است ۲۹/۴ درصد منازل دارای غلظت بیشتر از ۱۰۰ بکرل در متر مکعب و ۱۰/۶ درصد دارای غلظت بیشتر از ۲۰۰ و ۲/۱ درصد منازل مسکونی هم دارای غلظت بیشتر از ۴۰۰ بکرل در متر مکعب بوده است.

۳-۱-۳-۳۴. پایش رادون در بلغارستان

عنوان مطالعه: Pilot Survey of Indoor Radon in the Dwellings of Bulgaria

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در کشور بلغارستان در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۲ بر روی اندازه‌گیری غلظت رادون هوای داخل منازل مسکونی انجام شده است، ۴۰۰ منزل مسکونی در ۴ ناحیه شهری انتخاب شد که در نهایت از داده‌های ۳۷۳ منزل مسکونی استفاده شده است. اندازه‌گیری‌ها به صورت ۶ ماهه و از ماه اکتبر ۲۰۱۱ تا ماه می ۲۰۱۲ انجام شده است. در این مطالعه از روش اندازه‌گیری غیرفعال و از آشکارساز CR-39 استفاده شده است. در این مطالعه کمینه، بیشینه و میانگین غلظت رادون به ترتیب ۲۰، ۳۵۶۰ و ۹۰ بکرل در متر مکعب گزارش شده است (۳۱).

- ۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادون در منازل مسکونی
- ۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/ گزارش داخلی، نام مؤسسه): مقاله، مجله Radiation Protection Dosimetry
- ۳) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): بلغارستان
- ۴) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- ۵) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): روش این مطالعه بر اساس تراکم جمعیتی انتخاب شده است.
- ۶) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۴۰۰ منزل مسکونی مورد پایش قرار گرفته است که در نهایت از داده‌های ۳۷۳ منزل مسکونی استفاده شده است.

تعداد منازل مسکونی	نواحی مورد مطالعه
۹۱	Plovdiv
۸۸	Sofia
۹۶	Sofia
۹۸	Varna
۳۷۳	کل مناطق

- (۷) روش انتخاب ساختمان‌ها: ساختمان‌ها به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند.
- (۸) روش اندازه‌گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال
- (۹) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: CR-39
- (۱۰) بازه زمانی نصب دزیتر رادون (فصلی / سالانه / تعداد ماه): بازه زمانی نصب دزیتر به صورت فصلی بوده است. اندازه‌گیری‌ها به صورت ۶ ماهه و از ماه اکتبر ۲۰۱۱ تا ماه می ۲۰۱۲ (پاییز، زمستان و بهار) انجام شده است.
- (۱۱) مقدار غلظت رادون اندازه‌گیری شده (میانگین/کمینه/بیشینه): میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به صورت زیر ارائه شده است:

درصد منازل مسکونی دارای غلظت بیشتر از ۳۰۰ بکرل در متر مکعب	غلظت (بکرل در متر مکعب)				تعداد منازل مسکونی	نواحی مورد مطالعه
	بیشینه	میانه	میانگین حسابی	کمینه		
۱۴/۳	۳۵۶۰	۱۰۰	۲۸۰	۳۰	۹۱	Plovdiv
۳/۴	۴۱۰	۷۰	۹۶	۲۰	۸۸	Sofia
۹/۴	۸۰۰	۱۰۰	۱۵۱	۳۰	۹۶	Sofia
۵/۱	۶۵۰	۷۰	۱۰۷	۲۰	۹۸	Varna
۸	۳۵۶۰	۹۰	۱۵۸	۲۰	۳۷۳	کل مناطق

۳-۱-۳-۳۵. پایش رادون در مالت

عنوان مطالعه: National Mapping Survey of Indoor Radon Levels in the Maltese Islands (2010-2011)

خلاصه: در مطالعه‌ای که در جزایر مالت در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۱ بر روی اندازه‌گیری غلظت رادون هوای داخل ساختمان‌ها (منازل مسکونی، مدارس، دفاتر شورای محلی، هتل، رستوران و ساختمان اداری دولتی) انجام شده است، ۸۶ ساختمان (۵۳ منزل مسکونی، ۱۷ مدرسه، ۱۳ دفتر شورای محلی، ۱ هتل، ۱ رستوران و ۱ ساختمان اداری دولتی) انتخاب شده است. از هر ساختمان حدود ۴ نمونه گرفته شده است (۳۳۴ نمونه). کشور مالت به صورت شبکه‌های ۵×۵ کیلومتری درآمده و ساختمان‌ها به صورتی انتخاب شده‌اند که در سراسر سطح جزایر مالت توزیع شده باشند. این مطالعه از نوامبر ۲۰۱۰ شروع و در نوامبر ۲۰۱۱ خاتمه یافت. نمونه‌برداری در طبقات همکف (اتاق نشیمن) صورت گرفته است. اندازه‌گیری‌ها به صورت دو دوره ۶ ماهه و از ماه نوامبر ۲۰۱۰ تا می ۲۰۱۱ (پاییز و زمستان) و از ماه ژوئن ۲۰۱۱ تا نوامبر ۲۰۱۱ (بهار و تابستان) انجام شده است. در این مطالعه از روش اندازه‌گیری غیرفعال و از آشکارساز Kodak LR115 استفاده شده است. میانگین حسابی سالانه رادون در هوای داخل ساختمان‌های جزایر مالت ۳۲ بکرل در متر مکعب گزارش شده است (۳۲).

- (۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادون در هوای داخل ساختمان‌ها
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/ مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/ گزارش داخلی، نام مؤسسه): مقاله، مجله Malta Medical
- (۳) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/ کشور): جزایر مالت
- (۴) محیط نمونه برداری: هوای داخل ساختمان‌ها
- (۵) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/ پایش رادون بر مبنای جغرافیا): روش این مطالعه بر اساس شرایط جغرافیایی انتخاب شده است.
- (۶) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/ کشور): ۸۶ ساختمان مورد پایش قرار گرفته است.
- (۷) روش انتخاب ساختمان‌ها: ساختمان‌ها به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند.
- (۸) روش اندازه گیری رادون (فعال/ غیر فعال): غیر فعال
- (۹) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: LR115
- (۱۰) بازه زمانی نصب دزیتر رادون (فصلی/ سالانه/ تعداد ماه): بازه زمانی نصب دزیتر به صورت فصلی بوده است. اندازه گیری‌ها به صورت ۶ ماهه و از ماه نوامبر ۲۰۱۰ تا می ۲۰۱۱ و از ژوئن تا نوامبر ۲۰۱۱ انجام شده است.
- (۱۱) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده (میانگین/ کمینه/ بیشینه): میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به صورت زیر ارائه شده است:

غلظت (بکرل در متر مکعب)			مناطق مورد مطالعه
بیشینه	میانگین حسابی	کمینه	
۹۲	۳۱	۸	Malta
۹۱	۳۶	۱۷	Comino و Gozo
۹۲	۳۲	۸	کل جزایر مالت

۳-۱-۳۶. پایش رادون در کانادا

عنوان مطالعه: Results of Simultaneous Radon and Thoron Measurements in 33 Metropolitan Areas of Canada

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در کانادا در سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۳ بر روی اندازه گیری غلظت رادون در داخل منازل مسکونی انجام شده است، در ابتدا ۴۰۶۴ منزل مسکونی در ۳۳ کلان شهر (۷۰ درصد جمعیت کانادا را تحت پوشش قرار داده است) انتخاب شد که در بین این تعداد منازل مسکونی، مالکین ۳۱۲۵ منزل مسکونی (نرخ همکاری ۷۹ درصد) آشکارسازهای خود را برگرداندند و در بین آن‌ها از داده‌های ۳۱۸۴ آشکارساز استفاده شده است. اندازه گیری در سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۱۳ در پاییز و زمستان (اکتبر تا مارس) انجام شده است. اندازه گیری در اتاق نشیمن، سالن نشیمن، اتاق بدون منظره یا بدون پنجره، اتاق بازی و اتاق خواب انجام شده است. مدت

زمان اندازه گیری به صورت دوره های ۳ ماهه (۹۰ روز در هر فصل) بوده است. در این مطالعه از روش اندازه گیری غیرفعال و از آشکارساز RADUET استفاده شده است. میانگین غلظت رادون در هوای داخل منازل مسکونی در کانادا ۹۶ بکرل در متر مکعب گزارش شده است که این مقدار ۲ برابر بیشتر از میانگین جهانی غلظت رادون بوده است (۳۳).

- (۱) هدف مطالعه: اندازه گیری غلظت رادون در منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/ مشخصات پایان نامه، نام دانشگاه/ گزارش داخلی، نام مؤسسه): مقاله، مجله Radiation Protection Dosimetry
- (۳) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/ کشور): کانادا
- (۴) محیط نمونه برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۵) تعداد نمونه های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/ کشور): ۳۱۸۴ منزل مسکونی (تقریباً ۱۲۲ منزل مسکونی در هر کلان شهر)
- (۶) روش انتخاب ساختمانها: ساختمانها به صورت تصادفی انتخاب شده اند.
- (۷) روش اندازه گیری رادون (فعال/ غیرفعال): غیرفعال
- (۸) آشکارساز مورد استفاده در روش غیر فعال: غیره (RADUET)
- (۹) بازه زمانی نصب دزیتر رادون (فصلی/ سالانه/ تعداد ماه): بازه زمانی نصب دزیتر به صورت فصلی و در فصل های پاییز و زمستان بوده است نمونه برداری به مدت زمان ۹۰ روز در هر فصل انجام شده است.
- (۱۰) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده (میانگین/ کمینه/ بیشینه): میانگین حسابی و انحراف معیار غلظت رادون به ترتیب ۹۶ و ۸۷ بکرل در متر مکعب گزارش شده است.

۳-۱-۴. پایش رادون در آمریکای جنوبی

در مطالعه ای که در کشورهای آمریکای جنوبی بر روی میزان مواجهه با رادون در هوای داخل منازل مسکونی انجام شد، ۸۰۲۴ منزل مسکونی (آرژانتین: ۲۰۳۴، برزیل: ۸۶۹، اکوادور: ۶۱، پرو: ۱۶۸، ونزوئلا: ۱۴۳، شیلی: ۱۱۹ و مکزیک: ۴۶۳۰) مورد مطالعه قرار گرفته است. مکان های نمونه برداری اتاق نشیمن و اتاق خواب بوده است. روش مطالعه بر مبنای شرایط جغرافیایی و تراکم جمعیتی بوده است. روش اندازه گیری غیرفعال بوده و از آشکارساز Track-etch استفاده شده است. اطلاعات مربوط به این مطالعات به صورت زیر ارائه شده است (۱۰):

ردیف	کشور	کمینه (بکرل در متر مکعب)	میانگین (بکرل در متر مکعب)	بیشینه (بکرل در متر مکعب)
۱	آرژانتین	۱۵	۳۶/۹۶	۲۸۶
۲	برزیل	۱۶/۷	۸۱/۹۵	۳۱۰
۳	برزیل	۱۵	۷۹/۹۲	۲۶۲/۷
۴	اکوادور	۲۰/۳۹	۹۴/۳	۲۲۵/۶۶
۵	مکزیک	۱۵	۸۳/۲۵	۲۸۰
۶	مکزیک	۴۳	۸۸	۳۰۰
۷	مکزیک	۱۵	۳۰/۶۲	۱۰۳/۷
۸	پرو	۱۸/۵۷	۳۲/۲۹	۵۰/۲
۹	ونزوئلا	۱۵	۵۲/۵	۳۴۶۵
۱۰	شیلی	-	۲۵	-

۳-۱-۴-۱. پایش رادون در مکزیك

عنوان مطالعه: Distribution of Indoor Radon Levels in Mexico

خلاصه مطالعه: در مطالعه‌ای که در کشور مکزیک در سال ۱۹۹۹ بر روی اندازه‌گیری غلظت رادون هوای داخل منازل مسکونی انجام شده است، ۳۹ منطقه شهری (مناطق دارای جمعیت بیشتر از ۱۰۰۰۰۰ نفر بجز مناطق گرمسیری) انتخاب شد. در این مطالعه از روش اندازه‌گیری غیرفعال و از آشکارساز CR-39 استفاده شده است. با توجه به این مطالعه مشخص شد ۸ منطقه شهری دارای غلظت رادون ۱۷۹-۱۵۰ بکرل در متر مکعب، ۵ منطقه شهری دارای غلظت ۱۵۰-۱۰۰، ۲۳ منطقه شهری دارای غلظت ۱۰۰-۵۰ و ۳ منطقه شهری هم دارای غلظتی کمتر از ۵۰ بکرل در متر مکعب بوده است (۳۴).

- (۱) هدف مطالعه: اندازه‌گیری غلظت رادون در منازل مسکونی
- (۲) منبع نشر مطالعه (مشخصات مقاله، نام مجله/مشخصات پایان‌نامه، نام دانشگاه/گزارش داخلی، نام مؤسسه): مقاله، مجله Radiation Measurements
- (۳) محل جغرافیایی انجام مطالعه (شهر/کشور): مکزیك
- (۴) محیط نمونه‌برداری: هوای داخل منازل مسکونی
- (۵) روش مطالعه (پایش رادون بر مبنای وزن دهی جمعیت/پایش رادون بر مبنای جغرافیا): روش این مطالعه بر اساس تراکم جمعیتی انتخاب شده است.
- (۶) تعداد نمونه‌های پایش شده (نسبت واحدهای پایش شده به کل واحدهای شهر/کشور): ۸۰۹۰ منزل مسکونی در ۳۹ منطقه شهری انتخاب شده است.

(۷) مقدار غلظت رادون اندازه گیری شده (میانگین / کمینه / بیشینه): میانگین، کمینه و بیشینه غلظت رادون به صورت زیر ارائه شده است:

ردیف	شهرهای مورد مطالعه		تعداد منازل مسکونی پایش شده	غلظت (بکرل در متر مکعب)		
	ایالت	شهر		کمینه	میانگین	بیشینه
۱	Aguascalientes	Aguascalientes	۲۰۰	۳۹	۷۹	۱۵۴
۲	Baja California	Tijuana	۲۵۰	۶۲	۷۸	۱۱۹
۳	Chihuahua	Chihuahua	۲۰۰	۶۹	۱۶۹	۲۷۳
۴	Chihuahua	Ciudad Juarez	۲۸۰	۶۳	۱۵۹	۲۵۲
۵	Chihuahua	Saltiilo	۲۰۰	۳۵	۷۹	۱۲۷
۶	Chihuahua	Torreon	۲۰۰	۶۱	۸۷	۱۶۰
۷	Chihuahua	Monclova	۱۵۰	۴۷	۶۰	۱۱۰
۸	Distrito Federal	Mexico City	۹۰۰	۸۳	۱۵۳	۲۷۵
۹	Durango	Durango	۲۰۰	۳۳	۷۳	۱۵۹
۱۰	Estado de Mexico	Toluca	۲۰۰	۲۳	۹۳	۲۱۵
۱۱	Estado de Mexico	Ecatepec	۲۸۰	۳۷	۵۹	۱۱۵
۱۲	Estado de Mexico	Ciudad Netzahualcoyoti	۲۶۰	۱۵	۶۱	۱۱۳
۱۳	Estado de Mexico	Nauealpan	۲۲۰	۹۰	۱۳۱	۲۰۰
۱۴	Estado de Mexico	Tlalnepantla	۲۰۰	۳۵	۵۵	۱۱۷
۱۵	Guanajuato	Guanajuato	۱۰۰	۵۷	۱۵۳	۲۶۳
۱۶	Guanajuato	Leon	۲۸۰	۳۴	۸۵	۱۳۰
۱۷	Guanajuato	Irapuato	۱۵۰	۶۰	۷۳	۱۱۷
۱۸	Guanajuato	Celaya	۱۵۰	۵۸	۶۰	۱۱۲
۱۹	Hidalgo	Pachuca	۱۲۰	۴۷	۱۳۷	۱۸۷
۲۰	Hidalgo	Tulancingo	۱۰۰	۳۲	۴۸	۱۰۰
۲۱	Hidalgo	Tula	۱۰۰	۱۵	۶۳	۹۸
۲۲	Jalisco	Ouadalajara	۲۸۰	۷۵	۱۷۹	۲۱۴
۲۳	Jalisco	Zapopan	۲۵۰	۴۷	۷۳	۱۱۲
۲۴	Jalisco	Tlaquepaque	۱۸۰	۴۹	۷۵	۱۱۷
۲۵	Michoacan	Morelia	۲۰۰	۴۰	۸۰	۱۶۵
۲۶	Michoacan	Uruapan	۱۵۰	۳۱	۷۳	۱۳۹
۲۷	NuevoLeon	Monterrey	۲۸۰	۴۸	۱۷۰	۲۹۵
۲۸	NuevoLeon	Guadalupe	۲۰۰	۳۷	۵۵	۱۲۰
۲۹	NuevoLeon	S. Nicolas de los Garza	۲۰۰	۳۲	۴۳	۹۷

غلظت (بکرل در متر مکعب)			تعداد منازل مسکونی پایش شده	شهرهای مورد مطالعه		ردیف
بیشینه	میانگین	کمینه		ایالت	شهر	
۹۳	۳۷	۲۱	۱۸۰	Oaxaca	Oaxaca	۳۰
۲۰۱	۱۶۳	۶۲	۲۸۰	Puebla	Puebla	۳۱
۲۶۰	۱۶۰	۷۳	۱۰۰	Puebla	Tehuacan	۳۲
۱۹۳	۱۱۰	۳۹	۲۰۰	Queretaro	Queretaro	۳۳
۱۴۸	۷۳	۳۳	۲۰۰	San Luis Potosi	San Luis Potosi	۳۴
۱۳۲	۸۷	۳۰	۱۵۰	Sonora	Ciudad Obregon	۳۵
۱۵۷	۹۱	۲۷	۲۰۰	Sonora	Hermosillo	۳۶
۱۶۹	۸۷	۱۵	۱۰۰	Tlaxcala	Tlaxcala	۳۷
۲۶۳	۱۳۰	۷۰	۱۰۰	Zacatecas	Zacatecas	۳۸
۱۷۵	۱۲۵	۷۱	۱۰۰	Zacatecas	Fresnilio	۳۹

۸) روش انتخاب ساختمان‌ها: ساختمان‌ها به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند.

۹) روش اندازه‌گیری رادون (فعال/غیرفعال): غیرفعال

۱۰) آشکارساز مورد استفاده در روش غیرفعال: CR-39

۴. نتیجه گیری

این طرح مطالعه مروری ساختار یافته، با هدف بررسی و مرور مطالعات انجام شده در زمینه میزان غلظت رادون در هوای داخل محیط های مسکونی در ایران و مطالعات ملی انجام شده در سایر نقاط دنیا تعریف و اجرا شده است. در ابتدا جهت گردآوری گزارشات فارسی، مطالعات انجام شده در ایران با استفاده از کلید واژه های "رادون، رادون، ^{222}Rn "، گاز رادون، هوای داخل، محیط بسته، منازل مسکونی و ایران" در پایگاه های اینترنتی *Google scholar*، *Iran medex*، *Magiran*، *SID*، *Iran doc* و منابع منتشر نشده دانشگاه ها، سازمان انرژی اتمی ایران و وزارت بهداشت تا ۳۱ ژانویه ۲۰۱۵ جستجو انجام شد و در مرحله اول ۳۵۳ عنوان مطالعه فارسی پیدا شد که از این بین و با توجه به موجود بودن چکیده آنها تنها ۲۰ مطالعه فارسی مرتبط که در آنها گاز رادون در داخل هوای داخل منازل پایش شده بود مورد بررسی نهایی و محتوایی قرار گرفت.

همچنین به منظور جستجوی مطالعات انگلیسی زبان در ایران و سایر کشورها در سطح ملی به صورت سیستماتیک از نمایه نامه های معتبر بین المللی *ISI/Web of Science*، *Scopus*، *Pubmed/Medline* و *Google Scholar* استفاده شد. در این مرحله، در پایگاه های اینترنتی و با توجه به کلمات کلیدی تا ۳۱ ژانویه ۲۰۱۵ جستجو انجام شد و در مرحله اول ۶۶۹۳ عنوان مطالعه پیدا شد که پس از بررسی عنوان آنها حدود ۷۵۰ مطالعه انتخاب شد که چکیده آنها مطالعه گردید و در نهایت ۱۲۵ مطالعه بصورت کامل مورد بررسی نهایی و محتوایی قرار گرفت.

هر فرد سالانه بطور میانگین $2/8 \text{ mSv}$ پرتو دریافت می کند که حدود 85% آن ناشی از منابع طبیعی است؛ همچنین حدود 60% از کل دوز پرتوهای طبیعی ناشی از ایزوتوپ های رادون می باشد. رادون یک گاز پرتوزای طبیعی، بدون رنگ، بو و مزه است. از محصولات واپاشی سری اورانیم (^{238}U) تولید می شود و بطور طبیعی سه ایزوتوپ رادون (Rn) وجود دارد که عبارتند از ^{219}Rn (اکتینین)، ^{220}Rn (تورن) و ^{222}Rn که عمدتاً رادون نامیده می شود. اکتینین داری نیم عمر بسیار کوتاهی است (حدود ۳ ثانیه) و در مقایسه چشمگیری به داخل هوا منتشر نمی شود. تورن در داخل منازل نیز گزارش شده است و حدود 4% از کل میزان دوز دریافتی پرتوها را در انسان به خود اختصاص می دهد. رادون (^{222}Rn) مهمترین ایزوتوپ رادون است که نگرانی های زیادی در باره آن وجود دارد. رادون یکی از اصلی ترین عوامل پرتوزای یونساز در پرتوگیری عمومی می باشد. رادون مهمترین منبع پرتوی یونساز در بین دیگر منابع طبیعی به شمار می رود. رادون به ذرات پرتوزای دیگری تجزیه می شود که می توانند از طریق تنفس وارد بدن شوند. استنشاق محصولات حاصل از تجزیه رادون با افزایش ریسک سرطان های دستگاه تنفسی بخصوص سرطان ریه در ارتباط است. اغلب رادون تنفس شده قبل از اینکه تجزیه شود و بافتها و سیستم تنفسی را پرتو دهد کند از طریق هوای بازدمی خارج می شود. بهر حال رادون به شکل ذرات بسیار ریز جامد پرتوزا نظیر پلونیوم-۲۱۸ (دختران رادون) که به ذرات هوا برود و معلق در هوا می چسبند تجزیه می شود. این ذرات حاوی مواد رادیواکتیو ممکن است در هوا معلق و یا بر روی سطوح ترسیب یابند. زمانیکه این ذرات وارد دستگاه تنفسی شوند با انتشار ذرات آلفا سطح برونش ها در ریه را پرتو دهی می کنند و این پدیده ممکن است ریسک ابتلا به سرطان ریه را افزایش دهد.

رادن در محیط‌های آزاد بطور معمول در هوا پخش می‌شود در حالیکه در محیط‌های بسته نظیر ساختمان‌ها، معادن و غارها ممکن است تجمع یابد. رادن هوای داخل عمدتاً ناشی از گاز خاک حاصل از خاک‌ها و سنگ‌های کف ساختمان و مقدار کمی نیز ناشی از انتشار گازهای موجود در آب‌خانی و مصالح ساختمانی است. مقدار رادن موجود در آب‌های سطحی بسیار ناچیز است و همچنین در تاسیسات تصفیه آب که سیستم‌های هوادهی بزرگی دارند مقدار گاز رادن در آب خروجی آنها بسیار کم می‌باشد چراکه از طریق هوادهی سبب انتشار رادن آب به هوا می‌شوند. گاز رادن محلول در آب‌های زیرزمینی امکان طی کردن مسیرهای بسیار طولانی را دارد. اغلب منابع آب قبل از استفاده تحت تأثیر فرآیندهای تصفیه آب قرار می‌گیرند که سبب حذف رادن از آب می‌شوند اما در سیستم‌های تأمین آب کوچک و شبکه‌های خصوصی که دارای سیستم‌های بسته هستند بعلاوه اینکه زمان کافی جهت تجزیه رادن وجود ندارد غلظت رادن در آنها بیشتر است. در چنین شرایطی گاز رادن در زمان حمام کردن و دیگر فعالیت‌های خانگی وارد هوای داخل می‌شود. در ایالات متحده امریکا خانه‌هایی که دارای منابع آب زیرزمینی بوده‌اند، حدود ۵٪ از کل رادن هوای داخل ناشی از گاز رادن موجود در آب بوده است. برآورده شده است که 370 Bq/L رادن در منابع آب خانگی مسئول حدود 37 Bq/m^3 رادن در هوای داخل است. مصالح ساختمانی در مقایسه با خاک و آب‌های زیرزمینی به عنوان منابع کوچک انتشار رادن محسوب می‌شود، مگر اینکه از غلظت بالایی از رادیوم برخوردار باشد. در مجموع مصالح ساختمانی، آهنگ دز انتشار گاز رادن را ۳۰ تا ۵۰ درصد افزایش می‌دهد. مطالعات نشان داده‌اند که مواجهه با رادن در منازل مسکونی، سبب افزایش ریسک سرطان ریه می‌شود و حدود ۳ تا ۱۴ درصد از کل سرطان‌های ریه منتسب به رادن می‌باشد. براساس گزارش سازمان بهداشت جهانی رادن پس از سیگار دومین عامل سرطان ریه است و در افراد سیگاری، بیشتر سبب سرطان ریه می‌شود و در افراد غیرسیگاری اولین عامل سرطان ریه است. در آمریکا تعداد مرگ و میر ناشی از سرطان ریه به طور متوسط سالانه حدود ۱۷۱۴۰۰ نفر برآورد شده است که ۲۱۰۰۰ نفر به علت تأثیر رادن جان خود را از دست می‌دهند. همچنین درصد مرگ‌های سرطان ریه منتسب به رادن در کانادا ۷/۸ درصد، در آلمان ۵ درصد، در سوئیس ۸/۳ درصد و در فرانسه بین ۵ و ۱۲ درصد بوده است. نکته قابل تأمل این است که تعداد مرگ‌های سرطان ریه تنها برای سیگار از این مقادیر بالاتر بوده است (یا به عبارت دیگر دومین عامل مرگ‌های ناشی از سرطان ریه پس از سیگار، استنشاق رادن می‌باشد). مطالعات انجام شده در امریکا نشان می‌دهد که میزان مرگ منتسب به رادن که حدود ۲۱۰۰۰ مورد بوده است از تعداد موارد مرگ ناشی از دیگر عوامل خطر خانگی نظیر مسمومیت (۱۳۰۰۰ مرگ)، سقوط (۱۰۰۰۰ مرگ)، آتش‌سوزی (۳۰۰۰ مرگ) و غرق شدن (۸۰۰ مرگ) بیشتر بوده است. در صورت ترکیب نتایج مطالعات اروپا، امریکا و چین، به ازای افزایش هر ۱۰۰ بکرل در متر مکعب، ریسک ابتلا سرطان ریه حدود ۱۰ درصد افزایش می‌یابد. در شرایطی که غلظت رادن در خانه حدود ۲۱ بکرل در متر مکعب باشد ریسک سرطان ریه برای یک فرد سیگاری حدود ۳۰ برابر فرد غیرسیگاری خواهد بود.

سطح مرجع ملی (national reference level) برای رادن بیانگر حداکثر غلظت مجاز (قابل قبول) رادن در منازل مسکونی است و یکی از ارکان اصلی برنامه ملی رادن است. منزلی که غلظت رادن در آنها بالاتر از مقادیر مرجع ملی باشد، انجام اقدامات اصلاحی در

آنها ضروری و یا حداقل می بایست پیشنهاد شود. به منظور تدوین یک مقدار مرجع ملی می بایست به عوامل ملی متعددی توجه نمود که برخی از آنها عبارتند از توزیع رادون در کشور، تعداد منازل موجود با غلظت بالای رادون، میانگین حسابی مقادیر رادون هوای داخل و شیوع افراد سیگاری. براساس آخرین یافته‌های علمی، سازمان بهداشت جهانی (WHO) به منظور به حداقل رساندن مخاطرات بهداشتی ناشی از مواجهه با رادون، مقدار 100 Bq/m^3 را به عنوان مقدار مرجع غلظت رادون در ساختمان‌های مسکونی پیشنهاد داده است. ضمن آنکه کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر اشعه (ICRP) مقدار 300 Bq/m^3 را پیشنهاد نموده است. بنابراین با در نظر گرفتن ملاحظات اجتماعی و اقتصادی و منطقه ای در هر کشور، مقدار مرجع نباید از 300 Bq/m^3 تجاوز نماید که این میزان معادل 10 mSv در سال براساس آخرین محاسبات ICRP است. نکته قابل توجه این است که هیچ‌گونه غلظت حد آستانه‌ای برای رادون که کمتر از آن خطری برای سلامتی وجود نداشته باشد نیست. میانگین جهانی غلظت رادون در منازل مسکونی در حدود 39 بکرل بر مترمکعب تخمین زده شده است. برآورد شده است که بطور متوسط در امریکا از هر 15 منزل مسکونی یک منزل (حدود $6/6$ درصد از کل منازل) دارای مقادیر بالایی از غلظت رادون (بالتر از حد مرجع ملی 148 Bq/m^3) می باشد و در برخی از ایالت‌ها از هر سه خانه یک خانه دارای مقادیر رادون بالا است.

اگرچه رادون گازی بی رنگ و بی بو است اما می توان به آسانی با استفاده از تجهیزات مناسب آن را پایش کرد. در امریکا، رادون در خانه‌ها توسط کیت‌های ارزان قیمتی که هر فرد قادر به انجام آن است سنجش می شود. سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (US EPA) پیشنهاد می کند که تمامی خانه‌های طبقات زیر سه می بایست گاز رادون آنها سنجش شود. سطوح رادون در ساختمان‌ها با گذشت زمان به صورت قابل توجهی تغییر می کند. تغییرات در سطوح گاز رادون از یک فصل به فصل دیگر تغییر می کند. بیشترین سطوح رادون در هوای داخل منازل مسکونی معمولاً در طول ماه‌های زمستان مشاهده شده است. در نتیجه اندازه‌گیری طولانی مدت نتایج بسیار بهتری از میانگین غلظت سالانه رادون نسبت به اندازه‌گیری کوتاه مدت آن بدست خواهد داد. اندازه‌گیری طولانی مدت می تواند از 3 تا 12 ماه بطول بیانجامد. اندازه‌گیری رادون برای مدت زمان کمتر از یک ماه توصیه نمی شود.

معمول‌ترین وسایل اندازه‌گیری رادون که برای برنامه‌ی بین‌المللی پایش رادون سازمان بهداشت جهانی استفاده شده‌اند شامل: آشکارسازهای ردپای آلفا، آشکارساز یون الکترونیکی و آشکارساز ذغال فعال است که از این بین با توجه به هزینه و عدم قطعیت نسبتاً پایین، آشکارسازهای ردپای آلفا بیشترین موارد استفاده را داشته‌اند. سه نوع متداول این آشکارسازها عبارتند از CR-39، LR-115 و Makrofol. بنابراین با توجه به اینکه آشکارسازهای CR-39 در دنیا از جمله پرکاربردترین و قابل اعتمادترین آشکارسازها جهت پایش رادون محسوب می شوند و همچنین با توجه به دسترسی به این آشکارساز و روش قرائت آن در کشور، پیشنهاد می گردد جهت پایش رادون در سطح ملی از این نوع آشکارساز استفاده گردد. دو رویکرد اصلی برای تهیه نقشه رادون کشوری وجود دارد:

مناطق مستعد رادن وجود دارد: ۱) استفاده از داده‌های اندازه‌گیری رادن در ساختمان‌ها و ۲) استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی. به علت اینکه رادن در ساختمان‌ها عمدتاً از صخره‌های موجود در زمین وارد ساختمان‌ها می‌شود و نقشه‌های زمین‌شناسی در مورد اینکه چه صخره‌هایی در زیر ساختمان‌ها وجود دارد تهیه می‌شوند در ابتدا استفاده از شاخص‌های زمین‌شناسی از قبیل محتوی موجودی اورانیوم و نفوذپذیری صخره‌ها برای تهیه نقشه مناطق مستعد حضور رادن به نظر خیلی جذاب می‌آمد. اما نتایج محققین نشان داد که این روش شاخص معتبری برای نشان دادن غلظت رادن در ساختمان‌ها نمی‌باشد زیرا این احتمال وجود دارد که ارتباط بین شاخص‌های زمین‌شناسی و غلظت رادن در هوای داخل ساختمان‌ها با توجه به تنوع صخره‌ها متفاوت باشد. همچنین مطالعات نشان دادند که دو منطقه مجاور هم که دارای ساختار زمین‌شناسی مشابهی هستند لزوماً دارای غلظت رادن مشابهی نیستند.

جهت انتخاب مکان‌های نمونه‌برداری به منظور تهیه نقشه‌های رادن از روشهای مختلف با مبنای جغرافیایی و جمعیتی استفاده می‌شود که در ادامه هر کدام از این روشها تشریح خواهد شد. در یکی از روشهای بر اساس جغرافیا، مناطق مسکونی را با توجه به مساحت سلول (مش) بندی کرده و از هر بلوک یک یا چند محل نمونه‌برداری تعیین می‌شود. مساحت مبنا جهت بلوک‌بندی تا حدودی متفاوت می‌باشد؛ به نحوی که مساحت‌های 2×2 ، 5×5 و 10×10 کیلومتر از مناطق مسکونی در بلوک بندی مناطق مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش دارای معایبی است که می‌توان به صورت زیر به آن اشاره کرد: در این روش مربع‌ها ممکن است ۲ یا بیشتر از ۲ منطقه زمین‌شناسی با پتانسیل مختلف انتشار رادن را پوشش دهند. از مزیت این روش می‌توان بدین صورت اشاره کرد که همه مناطق بطور مساوی انتخاب شده‌اند و اگر داده‌ها از بین بروند با توجه به مرزبندی این مربع‌ها می‌توان با سادگی درون‌یابی را انجام داد. در این روش حتی اگر جزئیات حذف شوند می‌تواند یک تصویر قوی از الگوی تغییرات پتانسیل انتشار رادن بر اساس اندازه‌گیری در ساختمان‌ها را بوجود آورد. برخی کشورهایی که از این روش استفاده کرده‌اند عبارتند از: اتریش از بلوک‌های 2×2 km، انگلستان از بلوک‌های 5×5 km استفاده کرده‌اند.

در روش پایش رادن بر اساس جمعیت برآورد نمونه‌ها با توجه به تعداد ساختمانهای موجود است که در آمریکای جنوبی حدود $0/5$ درصد از خانه‌ها جهت نمونه‌برداری انتخاب شدند. نتایج مطالعات انجام شده در کشورهای اروپایی بیانگر این واقعیت است که بطور متوسط تقریباً به ازای هر ۵۸۰۰ نفر، یک نمونه (خانه مسکونی) برای رادن پایش شده است؛ البته می‌بایست توجه نمود که گستره این شاخص از حدود یک خانه به ازای هر ۱۸ نفر تا ۳۹۰۰۰ نفر نیز متغیر بوده است.

پیشنهاد می‌گردد تعداد نمونه‌های مورد نیاز در پایش ملی رادن بر مبنای تعداد جمعیت انتخاب گردد اما می‌بایست توجه نمود که برای همه مناطق و شهرها نمی‌توان از یک معیار خاص استفاده نمود چرا که در صورت در نظر گرفتن این معیار که به ازای هر ۵۸۰۰ نفر یک نمونه گرفته شود برای شهرهای کوچک با جمعیت کم، تعداد نمونه‌ها بسیار کمتر از حد معمول خواهد بود. بنابراین می‌بایست معیار انتخاب تعداد نمونه‌ها را به نحوی انتخاب نمود که برای همه مناطق مناسب و معقول باشد. بنابراین با توجه به مطالعات انجام شده جدول ذیل جهت برآورد تعداد محل‌های نمونه‌برداری در مطالعه پایش رادن پیشنهاد می‌گردد.

>۱۰۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰-۵۰۰	<۱۰۰	تعداد ساختمان‌های مسکونی (هزار نفر)
۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۴ (کمترین تعداد نمونه ۵۰)	درصد ساختمان‌های مورد نظر برای محل نمونه‌برداری (% منازل مسکونی)

بر اساس نتایج بدست آمده از این مطالعه تاکنون در برخی از شهرها و استانهای کشور بررسی رادن در هوای داخل ساختمان‌های مسکونی انجام شده است (شکل ذیل) و در کل حدود ۴۱۷۵ اندازه‌گیری انجام شده است. نکته قابل توجه این است که سهم مناطق شمالی کشور بیشتر از سایر مناطق بوده است و محققین طی سالهای مختلف رادن ساختمان‌های مسکونی را در مناطق شمالی بررسی کرده‌اند. در بین مطالعات انجام شده، تقریباً ۴۰ درصد آنها از روش فعال (active) و ۶۰ درصد آنها از روش غیرفعال (passive) استفاده کرده‌اند. نکته قابل توجه در این مطالعات این است که تقریباً هیچکدام از آنها روش بررسی، مبنای تعداد نمونه‌ها، روش کالیبراسیون و کنترل کیفیت و صحت داده‌ها را ذکر نکرده‌اند که این می‌تواند مهمترین نقطه ضعف این مطالعات باشد.

با توجه به اینکه تا کنون مطالعات اندازه‌گیری رادن در برخی شهرها و ساختمان‌های مسکونی کشور به صورت موردی و پراکنده انجام شده است و در هریک از مطالعات انجام شده روش خاصی چه فعال و غیر فعال به کار گرفته شده است. بنابراین لزوم اجرای یک طرح ملی پایش رادن در ساختمان‌های مسکونی کشور با مدیریت متمرکز و بر مبنای استانداردهای بین‌المللی کاملاً ضروری است. نتایج حاصل از اجرای چنین طرح ملی می‌تواند منجر به تهیه بانک اطلاعات جامع غلظت رادن در ساختمان‌های مسکونی کشور شود. این بانک اطلاعاتی می‌تواند توسط نهادهای علمی - پژوهشی کشور، نهاد های متولی سلامت مردم و مطالعات اپیدمیولوژیک، زمین‌شناسی، محیط زیست و ساخت ساختمان‌های مقاوم در برابر گاز رادن مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

همچنین تاکنون سطوح مرجع ملی رادن در کشور به صورت رسمی تعیین و ابلاغ نشده است. تهیه بانک اطلاعات جامع رادن در کشور اطلاعات معتبر و قابل اعتمادی را در اختیار می‌گذارد که با استفاده از آنها تعیین سطوح مرجع ملی رادن امکان پذیر می‌گردد. بر مبنای سطوح مرجع رادن برنامه کاهش غلظت رادن در ساختمان‌های موجود و در دست ساخت می‌تواند در دستور کار نهادهای متولی و مسئول کشوری قرار گیرد و این خود گام مهمی در برنامه پیشگیری از بیماری‌های منتسب به رادن در کشور می‌باشد.

خلاصه مطالعات انجام شده در زمینه پایش ملی رادون در هوای داخل در سایر کشورها

ردیف	محل انجام مطالعه	سال انجام	مکان نمونه برداری (اتاق خواب، نشیمن)	تعداد نمونه‌ها	مدت زمان نمونه برداری (روزانه، فصلی)	نوع آشکارساز	غلظت (Bq/m^3)		
							کمینه	میانگین	بیشینه
۱	شهر تیرانا، آلبانی	۱۹۹۷ تا ۱۹۹۸	اتاق خواب، طبقات همکف و اتاق‌های مجزا	۳۵۰	۲/۶ روز	-	صفر	۱۳۴	۵۶۹۰
۲	شهر وین، اتریش	۱۹۹۱ تا ۲۰۰۲	اتاق نشیمن و اتاق خواب	۴۸۰۰۰	فصلی، ۹۰ روز	LR115 E-Track-etch PERM Charcoal با شمارش سنتیلاسیون مایع	کمتر از ۵	۹۷	۸۳۲۵
۳	بلژیک	۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹	عمدتا اتاق نشیمن	۹۵۰۰	فصلی، ۹۰ روز	LR115	۱۰	۹۳	۴۱۰۰
۴	کرواسی	۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵	اتاق نشیمن	۷۸۲	سالانه، ۳۸۲/۴ روز	LR115	۴	۶۸	۷۵۱
۵	قبرس	۲۰۰۱ تا ۲۰۰۲	اتاق نشیمن و زیرزمین	۸۴	فصلی، ۲ روز	Passive electronic radon(Radim-3 GT-Analytic) از	۶/۲	۱۹/۳	۱۰۲/۸
۶	جمهوری چک	۱۹۸۴ تا ۲۰۰۵	عمدتا اتاق نشیمن	۳۰۵۰۰۰	سالانه، ۳۶۵ روز	LR115	۱۰-۲۰	۱۴۰	۲۵۰۰۰
۷	دانمارک	۱۹۹۵ تا ۱۹۹۶	اتاق نشیمن	۳۱۲۰	سالانه، ۳۶۵ روز	CR-39	۲	۸۹/۵	۵۹۰
۸	استونی	۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱	اتاق نشیمن و اتاق خواب	۱۰۳۰	سالانه، ۷۱ روز	CR-39	۱۵	۹۸	۱۰۴۴
۹	فرانسه	۱۹۸۰ تا ۲۰۰۳	اتاق پذیرایی	۱۲۲۶۱	سالانه، ۹۰ روز	LR115	۱	۸۹/۳	۴۹۶۴

ردیف	محل انجام مطالعه	سال انجام	مکان نمونه برداری (اتاق خواب، نشیمن)	تعداد نمونه‌ها	مدت زمان نمونه برداری (روزانه، فصلی)	غلظت (Bq/m ³)			
						نوع آشکارساز	کمینه	میانگین	بیشینه
۱۰	مقدونیه	۱۹۹۸ تا ۲۰۰۵	-	-	ذکر نشده است اما مدت زمان نمونه برداری ۱ و ۳ روز بوده است	Alpha Lucas Radhome و cells	۲۲	۹۶/۱۳	۲۰۰
۱۱	آلمان	۱۹۷۸ تا ۲۰۰۳	اتاق نشیمن، اتاق خواب و زیرزمین	بیشتر از ۱۰۰۰۰۰	سالانه، مدت زمان نمونه برداری ۳، ۳۶۵ روز و ۱ روز	Activated LR115, charcoal Track-etch و	کمتر از ۱۰	۵۰	بیشتر از ۱۰۰۰۰
۱۲	یونان	۱۹۹۴ تا ۱۹۹۸	اتاق نشیمن	۱۲۷۷	سالانه، ۳۶۵ روز	CR-39	۳/۷	۵۵	۱۷۰۰
۱۳	مجارستان	۱۹۹۴ تا ۲۰۰۴	اتاق خواب	۶۰۰۰۰	فصلی، ۸۰ روز	CR-39	۵	-	بیشتر از ۱۰۰۰۰
۱۴	ایرلند	۱۹۹۱ تا ۱۹۹۲	اتاق خواب و اتاق نشیمن	۲۲۶۳۸	سالانه، ۳۶۵ روز	CR-39	۱۰	۸۹	۱۹۲۴
۱۵	ایتالیا	۱۹۸۹ تا ۱۹۹۸	عموماً اتاق خواب	۵۳۶۱	فصلی (دو دوره ۶ ماهه)	LR115	حدود ۵	۷۰	۱۰۳۶
۱۶	لتونی	۱۹۹۳ تا ۱۹۹۴	عمدتاً اتاق خواب و اتاق نشیمن	۳۰۰	فصلی	Electret Ion Chambers, Pulsed Ionization Chamber	۳۰	۷۰	۱۴۳
۱۷	لیتوانی	۱۹۹۵ تا ۱۹۹۸	-	۷۹۸	فصلی، ۲۶ روز	Electret Ion Chambers	۴	۵۵	۴۵۵
۱۸	لوگزامبورگ	۱۹۹۳ تا ۲۰۰۲	اتاق نشیمن و اتاق خواب (عمدتاً اتاق نشیمن)	۴۶۰۳	فصلی، ۱۰۳ روز	LR115	۱	۱۱۵	۲۷۷۶
۱۹	مالت	۱۹۹۴ تا ۱۹۹۵	زیرزمین و در طبقات مختلف در چندین	۱۱۰	مطالعه اول: فصلی (۱ روز)، مطالعه دوم:	Alpha-Guard Track-etch و	مطالعه	مطالعه	مطالعه اول:

ردیف	محل انجام مطالعه	سال انجام	مکان نمونه برداری (اتاق خواب، نشیمن)	تعداد نمونه‌ها	مدت زمان نمونه برداری (روزانه، فصلی)	غلظت (Bq/m^3)		
						نوع آشکارساز	کمینه	میانگین
		۱۹۹۷ تا ۱۹۹۸	اتاق، اتاق خواب و اتاق نشیمن		سالانه (۳۶۵ روز)	اول: ۱۰ دوم: -	اول: ۵۵ دوم: ۴۰	اول: ۱۹۹ دوم: -
۲۰	هلند (فقط داده‌های پایش اول ارائه شده است)	۱۹۸۴ و ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۶	اتاق نشیمن و اتاق خواب	۹۵۲	سالانه، ۳۶۵ روز	۵/۷	۳۰/۳	۳۸۲
۲۱	نروژ	۱۹۸۷ تا ۱۹۸۹ و ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۳	اتاق خواب و اتاق نشیمن	۵۳۵۰۰	سالانه و فصلی (۱۸۵- ۶۰ روز)	کمتر از ۱۰	۸۹	۵۰۰۰۰
۲۲	لهستان	۱۹۹۲ تا ۱۹۹۴ و ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۳	اتاق خواب و اتاق نشیمن	۸۰۹۶	فصلی، ۹۰ روز	پایش اول: ۴ و دوم: ۷	پایش اول: ۴۴/۵ و پایش دوم: ۱۱۸	پایش اول: ۷۵۶ و پایش دوم: ۳۲۶۱
۲۳	پرتغال	۱۹۸۸ تا ۱۹۹۱	اتاق خواب و اتاق نشیمن	۳۷۴۷	فصلی، ۸۰ روز	۶	۸۶	۳۵۸۸
۲۴	رومانی	۱۹۸۷ تا ۱۹۹۰ و ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۴ و ۲۰۰۰	اتاق خواب، کلاس درس و طبقات همکف	۵۶۷	پایش اول و دوم: فصلی، پایش سوم: ماهانه	پایش اول: ۰.۳، دوم: ۴/۸، سوم: ۴۳	پایش اول: -، دوم: ۲۰/۲، پایش سوم: ۱۴۶	پایش اول: ۱۲۷، پایش دوم: ۵۳۴، پایش سوم: -

ردیف	محل انجام مطالعه	سال انجام	مکان نمونه برداری (اتاق خواب، نشیمن)	تعداد نمونه‌ها	مدت زمان نمونه برداری (روزانه، فصلی)	غلظت (Bq/m ³)			
						نوع آشکارساز	کمینه	میانگین	بیشینه
									۴۷۷
۲۵	صربستان و مونتنگرو	۲۰۰۲ تا ۲۰۰۳	اتاق خواب	۹۶۸	فصلی، ۹۰ روز	CR-39	۲	۱۴۴	۸۹۳
۲۶	اسلواکی	۱۹۹۲ تا ۲۰۰۳	دو اتاق مختلف (نوع اتاق ذکر نشده است)	۸۲۷۰	فصلی، ۱۸۳ روز	CR-39	۱۰	۱۷۲	۳۷۵۰
۲۷	اسلونی (فقط داده‌های منازل مسکونی ارائه شده است)	۱۹۹۰ تا ۱۹۹۲، ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۴، ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۵ و ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵	مدارس، منازل مسکونی (آشپزخانه، اتاق نشیمن، اتاق خواب و سایر اتاق‌های منازل مسکونی)	۸۹۲ در منازل مسکونی)	فصلی (۹۶ روز در منازل مسکونی)	Track-etch	۷	۱۲۱	۱۸۹۰
۲۸	اسپانیا	۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵	اتاق نشیمن و اتاق خواب	۹۸۰۰	فصلی، ۹۰ روز	Track-etch, KfK, Terradex و Charcoal Lucas cells	۱۰	۹۰/۴	۱۵۴۰۰
۲۹	سوئد	۱۹۹۱ تا ۱۹۹۲	دو یا یک اتاق (نوع اتاق ذکر نشده است)	حدود ۳۴۰۰	فصلی، ۹۰ روز	CR-39	-	۱۰۸	۳۹۰۴
۳۰	سوئیس	۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵	اتاق نشیمن، اتاق خواب و زیرزمین	۹۶۰۰	فصلی، ۱۰۰ روز	Track-etch electrets و	۲۰	۲۳۰	۲۹۷۰۵
۳۱	بریتانیا	۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵	اتاق نشیمن و اتاق خواب	۹۴۵۰۰۰	فصلی (۳۶۵-۹۰ روز)	Track-etch (NRPB/HPA, NET, Gammadata)	صفر	۸۷	۱۷۰۰۰
۳۲	فنلاند	۱۹۹۰ تا ۱۹۹۱ و ۱۹۸۶ تا	اتاق نشیمن و اتاق خواب و در پایین ترین طبقه	حدود ۱۰۶۱۴۸	فصلی، مطالعه اول: زمستان و تابستان (۳۶۵ روز)	Track-etch (Makrofol)	مطالعه اول و دوم: ۱۳	مطالعه اول: ۱۲۰ و مطالعه	مطالعه اول: ۶۶۲۹ و مطالعه

ردیف	محل انجام مطالعه	سال انجام	مکان نمونه برداری (اتاق خواب، نشیمن)	تعداد نمونه‌ها	مدت زمان نمونه برداری (روزانه، فصلی)	غلظت (Bq/m ³)			
						نوع آشکارساز	کمینه	میانگین	بیشینه
		۲۰۰۴			مطالعه دوم: زمستان (۶۰ روز)		دوم: ۲۴۸	دوم: ۳۳۰۰۰	
۳۳	آرژانتین	-	اتاق نشیمن و اتاق خواب	۲۰۳۴	-	LR-115 .CR-39 و Makrofol	۱۵	۳۶/۹۶	۲۸۶
۳۴	برزیل	-	اتاق نشیمن و اتاق خواب	۸۶۹	-	LR-115 .CR-39 و Makrofol	۱۶/۷	۸۱/۹۵	۳۱۰
۳۵	برزیل	-	اتاق نشیمن و اتاق خواب		-	LR-115 .CR-39 و Makrofol	۱۵	۷۹/۹۲	۲۶۲/۷
۳۶	اکوادور	-	اتاق نشیمن و اتاق خواب	۶۱	-	LR-115 .CR-39 و Makrofol	۲۲۵/۶۶	۹۴/۳	۲۰/۳۹
۳۷	مکزیک	-	اتاق نشیمن و اتاق خواب	۴۶۳۰	-	LR-115 .CR-39 و Makrofol	۲۸۰	۸۳/۲۵	۱۵
۳۸	مکزیک	-	اتاق نشیمن و اتاق خواب		-	LR-115 .CR-39 و Makrofol	۳۰۰	۸۸	۴۳
۳۹	مکزیک	-	اتاق نشیمن و اتاق خواب		-	LR-115 .CR-39 و Makrofol	۱۰۳/۷	۳۰/۶۲	۱۵
۴۰	پرو	-	اتاق نشیمن و اتاق خواب	۱۶۸	-	LR-115 .CR-39 و Makrofol	۵۰/۲	۳۲/۲۹	۱۸/۵۷
۴۱	ونزوئلا	-	اتاق نشیمن و اتاق خواب	۱۴۳	-	LR-115 .CR-39 و Makrofol	۳۴۶۵	۵۲/۵	۱۵
۴۲	شیلی	-	اتاق نشیمن و اتاق خواب	۱۱۹	-	LR-115 .CR-39 و Makrofol	-	۲۵	-
۴۳	کره	۱۹۹۹، ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۰	-	در مطالعه اول: ۵۳۰	اولین مطالعه در فصل زمستان، دومین و	®Radopot	-	میانگین حسابی:	اولین پایش:

ردیف	محل انجام مطالعه	سال انجام	مکان نمونه برداری (اتاق خواب، نشیمن)	تعداد نمونه‌ها	مدت زمان نمونه برداری (روزانه، فصلی)	نوع آشکارساز	غلظت (Bq/m ³)		
							کمینه	میانگین	بیشینه
		۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹		دوم: ۲۹۵۳ و سوم: ۹۷۰ منزل مسکونی و در مطالعه چهارم: ۱۱۰۰ ساختمان عمومی	سومین مطالعه در تمام فصول انجام شده است	RadTrak® و Raduet®	اولین پایش: ۱۰۳/۹ دومین پایش: ۱۳۵۰ سومین پایش: ۵۲/۵ سومین پایش: ۱۱۸۶ چهارمین پایش: ۶۶/۳ چهارمین پایش: ۱۰۰۴ و کل: ۱۳۵۰ و ۷۹/۳ کل: ۶۲/۱		
۴۴	عربستان سعودی	۲۰۰۱ تا ۲۰۰۲	زیرزمین، طبقات همکف، ۱، ۲، ۳ و ۴	۷۲۴	سالانه	CR-39	۱	۲۲	۱۳۷
۴۵	ژاپن	۱۹۹۷ تا ۱۹۹۹	-	۷۰۰	-	PC	۶/۱	۳/۳	۹/۸
۴۶	فنلاند (دومین مطالعه پایش ملی رادون)	۲۰۰۹	-	۱۵۶۱	ماهانه (۲ ماه و از ماه مارس تا ماه می)	alpha track	۱	۹۵	۴۳۱۰
۴۷	ایران (شمال و شمال شرق: لاهیجان، اردبیل، سرئین و نمین)	۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴	زیرزمین، طبقات همکف، اول و دوم	۱۱۲۴	فصلی	CR-39	-	-	لاهیجان، اردبیل، سرئین و نمین به ترتیب ۱۶۳ ۱۶۹، ۲۴۰ و ۱۴۴
۴۸	کانادا	۲۰۱۲ تا	اتاق نشیمن، سالن	۳۱۸۴	فصلی (پاییز و	RADUET	-	۹۶	-

ردیف	محل انجام مطالعه	سال انجام	مکان نمونه برداری (اتاق خواب، نشیمن)	تعداد نمونه‌ها	مدت زمان نمونه برداری (روزانه، فصلی)	غلظت (Bq/m ³)			
						نوع آشکارساز	کمینه	میانگین	بیشینه
		۲۰۱۳	نشیمن، اتاق بدون منظره یا بدون پنجره، اتاق بازی و اتاق خواب		زمستان (اکتبر تا مارس))، مدت زمان نمونه برداری ۹۰ روز بوده است				
۴۹	ژاپن	۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰	اتاق نشیمن و اتاق خواب	۳۴۶۱	فصلی (بهار و تابستان و پاییز و زمستان)	RadoSys Ltd	-	میانگین حسابی: ۱۴/۳	-
۵۰	مکزیک	۱۹۹۹	-	۸۰۹۰	فصلی	CR-39	در ۸ منطقه شهری: ۱۷۹-۱۵۰، در ۵ منطقه شهری: ۱۵۰-۱۰۰، در ۲۳ منطقه شهری: ۱۰۰-۵۰ و در ۳ منطقه شهری کمتر از ۵۰ بکرل در متر مکعب		
۵۱	بلغارستان	۲۰۱۱ تا ۲۰۱۲	-	۳۷۳	فصلی (دوره نمونه برداری ۶ ماهه)	CR-39	۲۰	۳۵۶۰	۹۰
۵۲	جزایر مالت	۲۰۱۰ تا ۲۰۱۱	منازل مسکونی، مدارس، دفاتر شورای محلی، هتل، رستوران و ساختمان اداری دولتی (طبقه همکف منازل مسکونی) (اتاق نشیمن))	۳۳۴	دو دوره ۶ ماهه و از ماه نوامبر ۲۰۱۰ تا می ۲۰۱۱ (پاییز و زمستان) و از ماه ژوئن ۲۰۱۱ تا نوامبر ۲۰۱۱ (بهار و تابستان)	Kodak LR115	۸	۳۲	۹۲
۵۳	روسیه	-	-	-	-	-	-	۵۲	-
۵۴	چین	۲۰۰۳ تا ۲۰۰۴	زیرزمین ساختمان‌ها (اداره، سوپرمارکت، بیمارستان‌ها،	۶۷۴ نمونه که در نهایت از ۶۰۱ داده	فصلی (زمستان و تابستان که در هر فصل ۹۰ روز اندازه گیری انجام	CR-39	۱۴/۹	۲۴۷	۲۴۸۲

غلظت (Bq/m^3)			نوع آشکارساز	مدت زمان نمونه برداری (روزانه، فصلی)	تعداد نمونه‌ها	مکان نمونه برداری (اتاق خواب، نشیمن)	سال انجام	محل انجام مطالعه	ردیف
بیشینه	میانگین	کمینه							
				شده است)	استفاده شده است	مکان‌های تفریحی و رستوران‌ها)			

۵. منابع

۱. Appleton JD. Radon in air and water: Springer; 2013.
۲. Organization WH. Air quality guidelines for Europe. 2000.
۳. Organization WH. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants: WHO; 2010.
۴. Organization WH. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective: World Health Organization; 2009.
۵. Nagda NL. Radon: prevalence, measurements, health risks, and control: ASTM; 1994.
۶. Appleton J, Miles J. A statistical evaluation of the geogenic controls on indoor radon concentrations and radon risk. *Journal of environmental radioactivity*. 2010;101(10):799-803.
۷. Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios J, Baysson H, Bochicchio F, et al. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *Bmj*. 2005;330(7485):223.
۸. Radon I. Radon Decay Product Measurement Device Protocols. Document EPA. 1992;402.
۹. Miles J, Appleton J. Mapping variation in radon potential both between and within geological units. *Journal of radiological protection*. 2005;25(3):257.
۱۰. Zielinski JM, Canoba AC, Shilnikova NS, Veiga LH. Working towards residential radon survey in South America. 2008.
۱۱. Hadad K, Mokhtari J. Indoor radon variations in central Iran and its geostatistical map. *Atmospheric Environment*. 2015;102:220-7.
۱۲. حدادی، غلامحسن. بررسی غلظت گاز رادون در خانه های مسکونی تبریز. *مجله دانشگاه علوم پزشکی فسا*. ۲۰۱۱;۱۱(۱):۹-۱۳.
۱۳. Pirsahab M, Najafi F, Haghparast A, Azizi E, Hemati L. Effective dose and concentration of radon and thoron gases at hospitals of Kermanshah University of Medical Sciences (2012). *Journal of Kermanshah University of Medical Sciences*. 2014;18(6):362-70.
۱۴. یافته ه. عنوان مقاله: اندازه گیری غلظت گاز رادون در منازل مسکونی شهر گرگان با آشکارساز CR-39.
۱۵. مهدی هاشمی س، نگارستانی ع. میزان آهنگ دوز مؤثر ناشی از گاز رادون در چشمه آب گرم جوشان واقع در استان کرمان. *مجله دانشگاه علوم پزشکی کرمان*. ۲۰۱۱;۱۸(۳):۲۷۹-۸۵.
۱۶. RADIA K, America GM. Astaneh Asl. *Times/Toronto*. ca.
۱۷. Mowlavi AA, Fornasier MR, Binesh A, de Denaro M. Indoor radon measurement and effective dose assessment of 150 apartments in Mashhad, Iran. *Environmental monitoring and assessment*. 2012;184(2):1085-8.
۱۸. Bouzarjomehri F, Ehrampoosh M. Radon level in dwellings basement of Yazd-Iran. *Iranian Journal of Radiation Research*. 2008;6(3):141-4.
۱۹. Hadad K, Doulatdar R, Mehdizadeh S. Indoor radon monitoring in Northern Iran using passive and active measurements. *Journal of environmental radioactivity*. 2007;95(1):39-52.
۲۰. Hadad K, Hakimdavoud M, Hashemi-Tilehnoee M. Indoor radon survey in Shiraz-Iran using developed passive measurement method. *Iran J Radiat Res*. 2011;9(3):175-82.
۲۱. Sohrabi M, Solaymanian A. Indoor radon level measurements in some regions of Iran. *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation Part D Nuclear Tracks and Radiation Measurements*. 1988;15(1):613-6.
۲۲. Gillmore G, Jabarivasal N. A reconnaissance study of radon concentrations in Hamadan city, Iran. *Natural Hazards and Earth System Science*. 2010;10(4):۸۵۷-۶۳.

۳۳. Rahimi S. Measurement of Radon Concentration of Air Samples and Estimating Radiation Dose from Radon in SARI Province. *Universal Journal of Public Health*. 2013;1(2):26-31.
۳۴. Kim Y, Chang B-U, Park H-M, Kim C-K, Tokonami S. National radon survey in Korea. *Radiation protection dosimetry*. 2011;146(1-3):6-10.
۳۵. Fazal-ur-Rehman A, Al-Jarallah M, Al-Shukri A, Abu-Jarad F. INDOOR RADON SURVEY IN DWELLINGS OF NINE CITIES IN THE EASTERN AND THE WESTERN PROVINCES OF SAUDI ARABIA. *Radiation Protection Dosimetry*. 2003;106(3):227-32.
۳۶. Suzuki G, Yamaguchi I, Ogata H, Sugiyama H, Yonehara H, Kasagi F, et al. A nation-wide survey on indoor radon from 2007 to 2010 in Japan. *Journal of radiation research*. 2010;51(6):683-9.
۳۷. Li X, Zheng B, Wang Y, Wang X. A survey of radon level in underground buildings in China. *Environment international*. 2006;32(5):600-5.
۳۸. Dubois G. An overview of radon surveys in Europe. European Commission; 2005.
۳۹. Synnott H, Fenton D. An evaluation of radon mapping techniques in Europe. European Radon Research and Industry Collaborative Concerted Action (ERRICCA 2), European Commission Contract (FIRI-CT-2001-20142). 2005.
۴۰. Arvela H, Holmgren O, Reisbacka H. Radon prevention in new construction in Finland: a nationwide sample survey in 2009. *Radiation protection dosimetry*. 2012;148(4):465-74.
۴۱. Ivanova K, Stojanovska Z, Badulin V, Kunovska B. Pilot survey of indoor radon in the dwellings of Bulgaria. *Radiation protection dosimetry*. 2013;nct176.
۴۲. Baluci C, Vincenti K, Tilluck B, Conchin S, Formosa S, Grech D. National mapping survey of indoor radon levels in the Maltese Islands (2010-2011). *Malta Medical Journal*. 2013;25(04):33.
۴۳. Chen J, Bergman L, Falcomer R, Whyte J. RESULTS OF SIMULTANEOUS RADON AND THORON MEASUREMENTS IN 33 METROPOLITAN AREAS OF CANADA. *Radiation protection dosimetry*. 2014;ncu141.
۴۴. Espinosa G, Golzarri J, Rickards J, Gammage R. Distribution of indoor radon levels in Mexico. *Radiation measurements*. 1999;31(1):355-8.