



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

اندازه گیری آهنگ دز گامای محیطی در فضای باز و فضای داخل ساختمان‌ها در شهرهای گرگان و بندرترکمن با استفاده از دزیمتر گازی و دزیمتری ترمولومینسانس

بهاره پنق، رحیم خباز*، عبدالمجید ایزدپناه
گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

اطلاعات مقاله: چکیده

زمینه و هدف: پرتوگیری خارجی انسان به واسطه پرتوهای حاصل از منابع طبیعی به مراتب بیشتر از منابع مصنوعی است. در این پژوهش با تعیین آهنگ دز گامای محیطی در داخل ساختمان‌ها و فضای باز، میزان دز موثر سالانه در شهرهای گرگان و بندرترکمن برآورد شد. **روش بررسی:** با استفاده از یک آشکارساز اتاقک یونیزاسیون، آهنگ دز معادل گامای محیطی در محیط بیرون و فضای آزاد شهرهای گرگان و بندرترکمن به ترتیب در ۳۲ و ۱۶ ایستگاه منتخب به مدت ۱ h مورد اندازه گیری قرار گرفت. همچنین اندازه‌گیری‌های آهنگ دز معادل گامای محیطی فضای داخل ساختمان‌ها توسط ۳۶ عدد دزیمتر در شهرهای گرگان و بندرترکمن به ترتیب در ۱۱ و ۶ منزل مسکونی با استفاده از روش دزیمتری ترمولومینسانس انجام گردید. **یافته‌ها:** نتایج این مطالعه نشان می‌دهند که تا حدودی آهنگ دز معادل گامای محیطی در فضای باز بیشتر از مقدار این کمیت در فضای داخل ساختمان است. مقدار دز موثر سالانه دریافتی ناشی از گامای محیطی در فضای باز و فضای داخل ساختمان‌ها توسط ساکنین گرگان و بندرترکمن به ترتیب معادل ۰/۷۲۰ و ۰/۷۱۹ mSv است. **نتیجه‌گیری:** دز موثر سالانه دریافتی توسط ساکنین شهرهای گرگان و بندرترکمن از مقدار میانگین جهانی آن و همچنین از سطح دز مرجع برای افراد عادی (۱ mSv) کمتر است.

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۳۰
تاریخ ویرایش: ۹۸/۰۷/۱۵
تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۲۰
تاریخ انتشار: ۹۸/۰۹/۳۰

واژگان کلیدی: گامای محیطی، پرتوایی محیطی، دز موثر، گرگان، بندرترکمن

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
r.khabaz@gu.ac.ir

مقدمه

اثرات زیانبار پرتوهای یونیزان از دیرباز شناخته شده است. عمده اثرات آن، به دلیل یونیزه شدن مولکول‌های مختلف موجود در سلول‌های بدن است (۱). واکنش سلول‌های بدن نسبت به دزهای دریافتی، علاوه بر عوامل بیولوژیکی مانند نژاد، سن، جنس، اندام تحت تابش و فرایندهای بازسازی صدمات ناشی از پرتوها، به اثرات دیگری از جمله شدت، قدرت و نوع پرتوها و همچنین به الگوی تغییر زمانی پرتوها بستگی دارد. مردم عادی به واسطه وجود هسته‌های پرتوزای ساطع‌کننده پرتوهای یون‌ساز در پوسته زمین (پرتوهای زمینی) و متعاقب آن در ترکیبات مصالح ساختمانی و سایر منابع نظیر فروریزه‌های ناشی از آزمایشات اتمی (پسماندهای شکافت) و همچنین پرتوهای کیهانی (عمدتاً گاما) به طور مستمر در معرض مقادیر مختلفی از پرتوهای یون‌ساز قرار می‌گیرند (۲). این نوع پرتوگیری را پرتوگیری حاصل از منابع طبیعی می‌نامند؛ که باتوجه به برآورد شورای ملی حفاظت در برابر پرتوها (National Council on Radiation Protection)، حداقل ۸۰ درصد دز جذب شده توسط افراد از این نوع منابع است. پرتوهای گاما چون دارای قدرت نفوذ و برد زیاد در هوا هستند، باعث بیشترین پرتوگیری انسان از محیط خارج می‌گردند.

انرژی پرتوهای گامای محیطی غالباً کمتر از $1/5 \text{ MeV}$ است و انرژی بالاتر از آن مربوط به تالیوم ($2/614 \text{ MeV}$) بوده که درصد فراوانی آن در محیط بسیار کم است. طبق اظهارات کمیته علمی سازمان ملل متحد در مورد آثار تشعشعات اتمی (UNSCEAR) بیشترین دز محیطی مربوط به عناصر موجود در خاک است که عمده‌ترین این عناصر عبارتند از رادیوم، توریم و پتاسیم که از این میان بیشترین انرژی را پتاسیم با مقدار $1/460 \text{ MeV}$ دارا است (۳-۵). به همین دلیل معمولاً سقف انرژی قابل اندازه‌گیری در دزیمترهای محیطی $1/5 \text{ MeV}$ در نظر گرفته شده است.

غلظت عناصر پرتوزا در پوسته زمین، براساس ساختار زمین‌شناسی در مناطق مختلف متفاوت است. به‌علت همه‌گیر بودن پرتوگیری از منابع طبیعی، بررسی و اندازه‌گیری پرتوگیری

مردم در مناطق مختلف دنیا حائز اهمیت است؛ همچنین با توجه به انفجار راکتور چرنوبیل، ارزیابی میزان پرتوزایی احتمالی ناشی از فروریزه‌های باقیمانده این حادثه در مناطق شمال کشور ضروری به نظر می‌رسد. از این‌رو اندازه‌گیری پرتوگیری ساکنین شهرهای گرگان و بندر ترکمن در فضای داخل ساختمان‌ها و فضای باز نیز می‌تواند به‌عنوان یک مساله قابل بررسی باشد. در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در این زمینه به‌منظور ارزیابی تابش زمینه طبیعی در ایران و کشورهای دیگر انجام شده است که به بعضی از آنها در ذیل اشاره می‌شود: در سال ۲۰۱۶ در استان گلستان غلظت رادیونوکلوئیدهای طبیعی در نمونه‌های خاک گرفته شده از نقاط مختلف استان اندازه‌گیری شد که نتایج این اندازه‌گیری می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای ارزیابی آهنگ دز گامای محیطی مورد استفاده قرار گیرد (۶)، (۷). در سال ۱۹۹۰ در منطقه رامسر تحقیقی انجام شد که در نواحی با پرتوزایی طبیعی بالا، پرتودهی حدود 0.5 mSv/h و میزان پرتوگیری افراد در داخل منازل در این نواحی از 0.06 تا 360 mSv/y ارزیابی شد (۸). در سال ۱۹۹۴ مطالعه‌ای در منطقه هزار مسجد خراسان جهت بررسی وضعیت پرتوزایی طبیعی انجام گرفت که میانگین آهنگ دز $0.47 \mu\text{Sv/h}$ گزارش شد (۹). در مطالعه دیگری که در سال ۱۹۹۷ به منظور برآورد تابش زمینه در شهر مشهد انجام گرفت میانگین آهنگ دز برای شهر مشهد 87 nSv/h تعیین شد (۱۰). در سال ۲۰۰۰ اندازه‌گیری پرتوزایی ناشی از گامای محیطی در منطقه کردستان صورت گرفت که بیشترین و کمترین دز در این پژوهش 199 nSv/h و 79 nSv/h گزارش گردید که به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های فضای بسته در بانه و دریاچه زریبار در مریوان بود (۱۱). در سال ۲۰۰۰ با استفاده از دزیمتر ترمولومینسانس دز گامای محیطی در ۵۲ مرکز بهداشتی درمانی شهر اصفهان برای مدت یک سال مورد سنجش قرار گرفت. میانگین آهنگ دز فضای آزاد برای مکان‌های مورد بررسی معادل 137 nSv/h برآورد گردید (۱۲). در سال ۲۰۰۸ در شهرهای اردبیل و سرعین میزان دز موثر سالانه به ترتیب معادل $1/49 \text{ mSv}$ و $1/35 \text{ mSv}$ برآورد گردید (۱۳).

طرح ARGUS در انگلستان، ولز، اسکاتلند و ایرلندشمالی اشاره نمود که طی آن ۴۰ ایستگاه ثابت اندازه‌گیری در نقاط مختلف کشور دز گامای محیطی را به صورت لحظه‌ای ثبت می‌نمایند. نتایج حاصل از این برنامه در شبکه اینترنتی به صورت آنی در دسترس همگان قرار دارد (۲۰). مشابه این شبکه نیز در کشور کانادا فعال بوده و اطلاعات مربوط به پرتو‌زایی طبیعی مواد رادیواکتیو در هوا و همچنین اندازه‌گیری دز خارجی پرتو را در ۲۶ ایستگاه ثابت در استان‌های مختلف به صورت فصلی و در ۲۳ ایستگاه ثابت به صورت لحظه‌ای اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد (۲۱). در این پژوهش آهنگ دز گامای محیطی در فضای باز و فضای داخل ساختمان‌ها در شهرهای گرگان و بندرترکمن را با به‌کارگیری دزیمترهای گازی و ترمولومینسانس برآورد گردیدند.

مواد و روش‌ها

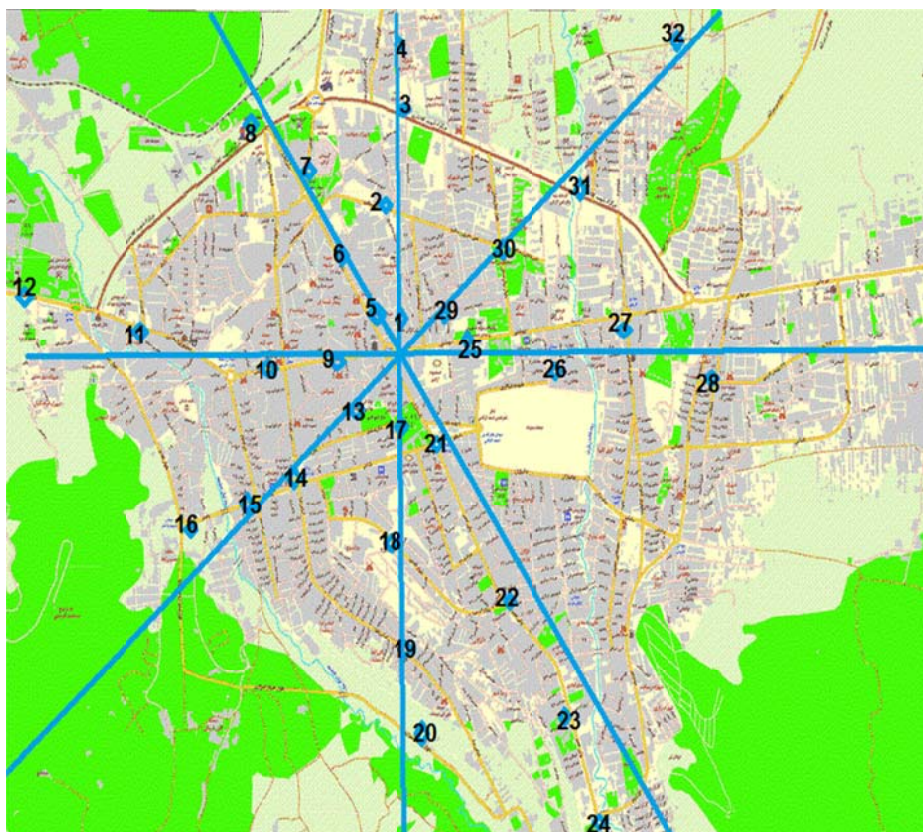
- اندازه‌گیری آهنگ دز پرتو گاما در فضای باز:

در این مطالعه مقطعی محل‌های اندازه‌گیری براساس ایستگاه‌بندی شهرهای گرگان و بندرترکمن (شکل‌های ۱ و ۲) تعیین گردید. با توجه به اینکه فضای نمونه‌گیری هر نقطه از محیط می‌تواند باشد لذا حجم کل فضای نمونه‌گیری بی‌نهایت نقطه است که نمی‌توان براساس اصل آماری خاصی نمونه‌گیری را انجام داد؛ بنابراین با توجه به محدودیت‌های موجود در سطح شهر از حداکثر حجم نمونه ممکن استفاده شد؛ در انتخاب نقاط تقریباً تمام جهت‌های اصلی و فرعی جغرافیایی پوشش داده شده و سعی بر این بود که نقاط با تراکم جمعیتی بالاتر (مناطق آپارتمان نشین) و یا با عبور مرور بیشتر (مثل بازارها) مورد مطالعه قرار گیرند. بدین ترتیب، تعداد ۳۲ ایستگاه (۴ ایستگاه در هر جهت) برای شهرگرگان و برای شهر بندرترکمن تعداد ۱۶ ایستگاه بر مبنای وزن‌دهی جمعیت به فاصله‌های مکانی مناسب براساس تراکم جمعیتی در جهات اصلی و فرعی جغرافیایی تعیین گردید (۲۲). در هر ایستگاه متوسط آهنگ دز معادل گامای محیطی در فضای بیرون اندازه‌گیری شد. در ایستگاه‌های منتخب، میانگین آهنگ

در سال ۲۰۰۹ نیز میزان پرتو گامای طبیعی در منازل مسکونی شهر زنجان بررسی شد و میانگین آهنگ دز جذبی در فضای بسته برابر 146 nGy/h به‌دست آمد (۱۴). در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ مطالعه‌ای به منظور تعیین میزان گامای محیطی در اطراف آب گرم‌های معدنی مشکین‌شهر برای مدت یک سال انجام گرفت. در این مطالعه میانگین آهنگ دز پرتو در فصول مختلف معادل 2661 nSv/h تعیین گردید که به مراتب از مقادیر متوسط جهانی و همچنین از اغلب مناطق مورد بررسی در ایران، بیشتر است. بدین ترتیب این منطقه جزو مناطق با پرتوگیری بالا محسوب گردید (۱۵). در زمینه اندازه‌گیری تابش زمینه با استفاده از دزیمتری ترمولومینسانس (TLD) می‌توان به اندازه‌گیری دز گامای محیطی در شهر مکزیکوسیتی در سال ۱۹۹۴ اشاره کرد که توسط Zarate-Morales و همکار انجام گرفت که ماکزیمم آهنگ دز داخلی و خارجی به‌ترتیب 112 nSv/h و 83 nSv/h برآورد گردید (۱۶). در سال ۱۹۹۹ تحقیق مشابهی جهت اندازه‌گیری آهنگ دز اشعه گامای داخلی در شهر گودالور در هند توسط Sivakumar و همکاران با استفاده از روش دزیمتری ترمولومینسانس انجام گرفت و میانگین آهنگ دز پرتو گامای داخلی در فصل‌های تابستان، بهار، پاییز و زمستان به ترتیب برابر با $151/4$ ، $144/5$ ، $132/7$ و $117/3 \text{ nGy/h}$ برآورد گردیدند (۱۷). در سال ۲۰۰۲ نیز دز پرتوهای گاما در فضای باز توسط Budzanowski و همکاران در ۱۰۰ ایستگاه در جنوب لهستان با استفاده از روش دزیمتری ترمولومینسانس انجام شد، در این پژوهش ماکزیمم آهنگ دز پرتو گاما در فضای باز 80 nGy/h گزارش شده است (۱۸). Banzi و همکاران نیز با استفاده از این روش به مدت ۷ سال در تانزانیا، آهنگ دز ناشی از تابش پرتو گامای محیطی را اندازه‌گیری نمودند. میانگین آهنگ دز ناشی از تابش زمینه برابر با 98 nGy/h برآورد گردید (۱۹). در بسیاری از کشورهای جهان به علت حوادث ناگوار مربوط به انفجارات اتمی از جمله حادثه چرنوبیل، ایستگاه‌های مانیتورینگ ثابت برای پایش ۲۴ ساعته میزان گامای محیطی در مناطق مختلف کشور تاسیس گردیده است. از جمله این ایستگاه‌ها می‌توان به شبکه پایش

ایکس و گاما از 45 keV تا سطح 1.5 MeV و در اندازه گیری دز، دقت دستگاه 1 nSv است. این دستگاه به پرتوهای ایکس، گاما و بتا حساس بوده و شدت پرتوهای دریافتی را به همراه پارامترهای دیگر از قبیل دز جمعی و زمان کارکرد را اندازه گیری و نمایش می دهد. کالیبراسیون دستگاه توسط آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه شرکت خدمات دزیمتری پرتوهای پارسیان بوسیله چشمه ^{137}Cs انجام شده و دزیمتر دارای ضریب تصحیح 0.985 و انحراف استاندارد 3.7% درصد است. جهت انجام عملیات دزیمتری، دستگاه بر روی سه پایه چوبی با ارتفاع قابل تنظیم قرار داده شد. اندازه گیری میانگین آهنگ دز معادل گامای محیطی در تابستان سال 1396 و در روزهای کاملاً آفتابی و در ساعات 9 الی 18 انجام گرفت و در هر ایستگاه به مدت 1 h ادامه یافت. نتایج اندازه گیری در پایان هر ساعت قرائت و در فرم های مربوط ثبت گردید. اطلاعات

دز معادل محیطی در دو ارتفاع 10 cm و 100 cm سطح زمین هر یک به مدت 1 h مورد اندازه گیری قرار گرفت تا مقایسه ای از تاثیر دز گاما ناشی از منابع زمینی در ارتفاعات مختلف به دست آید. دستگاه توسط کابل رابط مستقیماً به رایانه متصل بوده و توسط نرم افزار Geiger View میانگین گیری داده ها بصورت آنی انجام گرفت به طوری که در هر 10 s میانگین آهنگ دز معادل برآورد شده و در پایان 1 h میانگین آهنگ دز معادل محیطی در آن نقطه ثبت شد. محققین زیادی جهت اندازه گیری شدت پرتوهای زمینه ای، دزیمترهای گازی را مورد استفاده قرار داده اند که صحت و دقت کاربرد دزیمترهای محیطی گازی را در مقایسه با دزیمترهای ترمولومینسانس تایید می نماید (۱۳). در این مطالعه، گامای محیطی با استفاده از یک آشکارساز اتا فک یونیزان مدل Crooks-U121 مورد اندازه گیری قرار گرفت. سطح انرژی این دستگاه برای پرتوهای



شکل ۱- ایستگاه های اندازه گیری آهنگ دز گامای محیطی در فضای باز در شهر گرگان

۱۳۹۵ توسط مرکز آمار ایران انجام گردید برابر ۳۵۰۶۷۶ نفر جمعیت دارد و شهر بندر ترکمن با وسعتی حدود 19 km^2 و طبق سرشماری رسمی در سال ۱۳۹۵، جمعیتی بالغ بر ۵۳۷۹۰ نفر دارد. ارتفاع این شهرها از سطح دریا برای گرگان 155 m و برای بندر ترکمن 20 m است.

به دست آمده پس از طبقه بندی، توسط نرم افزار Excel و با آزمون آماری T (T-test) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. استان گلستان در شمال ایران واقع شده است و طول و عرض جغرافیایی شهرهای گرگان به ترتیب $54/16$ و $36/58$ درجه و بندر ترکمن $54/04$ و $36/54$ درجه است. شهر گرگان با وسعتی بیشتر از 60 km^2 طبق آخرین سرشماری سراسری که در سال



شکل ۲- ایستگاه‌های اندازه‌گیری آهنگ دز گامای محیطی در فضای باز در شهر بندر ترکمن

اندازه‌گیری آهنگ دز پرتو گاما در فضای داخل ساختمان‌ها:

اندازه‌گیری آهنگ دز گاما در فضای داخل ساختمان‌ها با استفاده از روش دزیمتری ترمولومینسانس (TLD) انجام شد. به این منظور تعداد ۱۱ منزل مسکونی در شهر گرگان و ۶ منزل مسکونی در بندر ترکمن بر مبنای وزن‌دهی جمعیت در نقاط مختلف این شهرها انتخاب گردید؛ به عبارتی نقاط انتخابی دارای تراکم جمعیتی نسبتاً بالاتری بودند (۲۲). همچنین عامل دیگری که در انتخاب مکان اهمیت داشت، قابلیت برپایی و استقرار ایستگاه اندازه‌گیری در آن مکان بود. جهت اندازه‌گیری آهنگ دز داخلی از دزیمترهای (GR-۲۰۰) LiF:Mg,Cu,P با نام تجاری TLD-۱۰۰H و به قطر ۴/۵ mm و ضخامت ۰/۹mm استفاده شد. به‌منظور آماده‌سازی و پاک کردن پرتوگیری قبلی، دزسنج‌ها ابتدا در کوره آزمایشگاهی در دمای 240°C به مدت ۱۰ min حرارت‌دهی شدند سپس در آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه مرکز تحقیقات کشاورزی و پزشکی هسته‌ای کرج تحت میدان پرتو گامای ^{137}Cs با مقدار معین پرتودهی شدند. پس از پرتودهی به منظور حذف قله‌های هم‌دما و حذف محوشدگی گرمایی در دمای 100°C به مدت ۱۰ min پیش‌گرمادهی شدند. پس از این مرحله دزسنج‌ها تا دمای 240°C با آهنگ گرمادهی 10°C/s با استفاده از دستگاه قرائتگر دزسنج ترمولومینسانس در گاز نیتروژن با خلوص بالا خوانده شدند. با استفاده از قرائت تصحیح شده دزسنج‌ها و معادله‌های ۱ و ۲، فاکتور ضریب حساسیت برای هر قرص دزسنج محاسبه شد.

قرار نمی‌گیرند که برای تصحیح قرائت دزسنج میدان استفاده می‌شود)، TL_p قرائت هر یک از دزسنج‌ها و E.C.C ضریب حساسیت هر دزسنج است که به وزن و سابقه پرتوگیری دزسنج بستگی دارد. تعدادی از دزسنج‌های هم‌حساسیت (دارای ضریب حساسیت نزدیک به یک) پس از آماده‌سازی در میدان پرتوهای گامای ^{137}Cs با مقدار معین پرتودهی شدند و پس از اعمال پیش‌گرمادهی خوانده شدند. ضریب کالیبراسیون دزسنج‌ها (C.F) برابر $0/003$ تعیین شدند. دزیمترها پس از کالیبره شدن از طریق زمینی به گرگان منتقل گردید. جهت نصب دزیمترها در منازل مسکونی، ابتدا ۲ عدد دزیمتر که به‌عنوان دزیمتر کنترلی انتخاب شده بود در موقع نصب، در منزل اول در داخل محفظه سربی قرار داده شدند؛ دیگر دزیمترها را هر کدام در محفظه‌ای از جنس پلاستیک نازک قرار داده و شماره TLD و زمان نصب هر دزیمتر روی محفظه نگهدارنده نظیر ثبت شد. با توجه به مطالعات انجام شده مشابه در ایران و کشورهای دیگر، محل اندازه‌گیری باید به فاصله تقریبی ۳m از کف زمین و ۳۰cm از دیوارها انتخاب و تا حد امکان دور از درب و پنجره، کانال کولر و لامپ قرار داشته باشد (۲۵-۲۳). این اندازه‌گیری به‌علت متعادل و میانه بودن دمای هوا در اواخر فصل زمستان (اسفند ماه) و اوایل فصل بهار (فروردین ماه) انجام گرفت. پس از انتخاب محل نصب دزیمترها، محفظه‌های محتوی قرص‌های TLD از سقف آویزان گردید. بعد از گذشت حدود ۶۵ روز از نصب دزیمترها، آنها را جمع‌آوری و جهت قرائت به شرکت مربوطه واقع در تهران از طریق زمینی برگردانده شدند. با قرار دادن مقدار قرائت شده از دزسنج‌ها در معادله ۳، دز محیطی گاما محاسبه شد:

(۳)

$$Dose(mSv) = TL_{net} \times C.F \times E.C.C \times (RL_0 / RL)$$

در معادله بالا RL_0 نور مرجع قرائتگر TLD در زمان کالیبراسیون دزسنج‌ها، RL نور مرجع در زمان قرائت دزسنج میدان و TL_{net} قرائت تصحیح شده دزسنج نسبت به قرائت دزسنج زمینه است. دز موثر کمیته است که علاوه بر اینکه

$$TL_{mean} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(TL_i - TL_{BKG})] \quad (1)$$

$$E.C.C = \frac{TL_{mean}}{TL_i - TL_{BKG}} \quad (2)$$

در معادله‌های بالا TL_{mean} میانگین قرائت دزسنج‌ها، TL_{BKG} قرائت دزسنج زمینه (در تمام فرایندهای دزسنجی، تعدادی از دزسنج‌ها به‌عنوان دزسنج زمینه انتخاب می‌شوند و تحت پرتودهی

T: زمان مورد نظر بر حسب ساعت (برای یک سال معادل ۸۷۶۰ ساعت است)
 \dot{D} : میانگین آهنگ دز در محیط بر حسب nSv/h
 C_c : ضریب تبدیل دز جذبی به دز موثر در انسان که برای انسان بالغ معادل ۰/۷ منظور گردید (۴)
 OF: درصدی از زمان که یک فرد به طور متوسط در داخل ساختمان‌ها (حدود ۸۰ درصد) و فضای باز (حدود ۲۰ درصد) سپری می‌کند.

یافته‌ها

آهنگ دز معادل گامای محیطی (از نتایج اندازه‌گیری در ارتفاع ۱۰۰ cm) در فضای شهر گرگان معادل ۱۳۹ nSv/h و بندرت‌رکمن معادل ۱۳۵ nSv/h برآورد شد. خلاصه نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری آهنگ دز معادل گامای محیطی شهرهای گرگان و بندرت‌رکمن در جدول ۱ بیان شده است. به منظور محاسبه دز موثر سالانه ساکنین شهرهای گرگان و بندرت‌رکمن داده‌های جدول ۱ مورد استفاده قرار گرفت و نتایج حاصل از آن در جدول ۲ ارائه شده‌است.

نقش پرتوهای مختلف را در بروز اثرات بیولوژیکی منظور می‌دارد، نقش پرتوگیری بافت‌های مختلف بدن را نیز در بروز اثرات آماری، نظیر سرطان‌ها در نظر می‌گیرد. از نظر عددی مقادیر دز جذبی گامای محیطی (بر حسب Gy) برابر با دز معادل (بر حسب Sv) است. میزان دز موثر سالانه ناشی از گامای محیطی با استفاده از معادله‌های ۴ تا ۶ برای ساکنین شهرهای گرگان و بندرت‌رکمن محاسبه گردید.

$$HE_T = HE_{In} + HE_{Out} \quad (۴)$$

$$HE_{In} = T \cdot C_c \cdot \dot{D} \cdot OF_{In} \cdot 10^{-6} \quad (۵)$$

$$HE_{Out} = T \cdot C_c \cdot \dot{D} \cdot OF_{Out} \cdot 10^{-6} \quad (۶)$$

که در معادلات فوق پارامترهای ذکر شده عبارتند از:
 HE_{Out} : دز موثر سالانه ناشی از گامای محیطی در فضای باز بر حسب mSv
 HE_{In} : دز موثر سالانه ناشی از گامای محیطی در فضای داخل ساختمان بر حسب mSv

جدول ۱- متوسط آهنگ دز معادل گامای محیطی فضای باز (nSv/h) در مکان‌های مورد سنجش همراه با انحراف معیار هر یک

بندرت‌رکمن		گرگان		ایستگاه پارامتر
۱۰۰ cm	۱۰ cm	۱۰۰ cm	۱۰ cm	ارتفاع
۱۳۵ ± ۱	۱۳۷ ± ۱	۱۳۹ ± ۱	۱۴۱ ± ۱	میانگین (nSv/h)
۱۱۳ ± ۱	۱۰۶ ± ۱	۹۸ ± ۱	۹۵ ± ۱	حداقل (nSv/h)
۱۷۱ ± ۱	۱۸۰ ± ۱	۱۹۷ ± ۱	۲۱۱ ± ۱	حداکثر (nSv/h)

جدول ۲- متوسط آهنگ دز معادل و دز موثر سالانه در فضای باز

دز موثر سالانه (mSv)	متوسط آهنگ دز معادل در هوا (nSv/h)	ایستگاه
۰/۱۷۰ ± ۰/۰۰۹	۱۳۹ ± ۱	گرگان
۰/۱۶۵ ± ۰/۰۰۹	۱۳۵ ± ۱	بندرت‌رکمن

معنی داری بین آهنگ پرتودهی در ارتفاع ۱۰ cm و ۱۰۰ cm وجود ندارد؛ لذا چنین به نظر می‌رسد که توزیع مکانی رادیونوکلوییدهای منتشرکننده گاما در زمین و اتمسفر به گونه‌ای است که کاهش شدت گامای کیهانی در ارتفاع پایین‌تر (۱۰ cm) با افزایش پرتو منتشرشده از زمین خنثی می‌گردد. همانگونه که دیده می‌شود مقدار دز در محیط بیرون برای شهر گرگان کمی بیشتر از مقدار دز برای شهر بندرترکم است؛ که می‌تواند ناشی از ارتفاع بیشتر شهر گرگان نسبت به شهر بندرترکم از سطح دریا باشد. همچنین داده‌های جدول ۴ نشان می‌دهند وجود مقادیری از مواد رادیواکتیو در مصالح ساختمانی و خاک محل بنای ساختمان‌ها و همچنین تجمع گازهای رادون و تورون در داخل ساختمان‌ها عامل این مقدار

جدول ۳ میانگین آهنگ دز ۱۷ منزل مسکونی در شهرهای گرگان و بندرترکم با استفاده از روش دزیمتری ترمولومینسانس (TLD) را ارائه می‌دهد. با استفاده از نتایج حاصل از جدول ۲ مقادیر دز موثر سالانه در فضای داخل ساختمان‌ها را می‌توان به دست آورد که در جدول ۴ نشان داده شده است. با استفاده از نتایج جداول ۲ و ۴ می‌توان مقادیر دز موثر سالانه کل در شهرهای گرگان و بندرترکم را به دست آورد که نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است.

بحث

تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری آهنگ دز گامای محیطی در فضای باز توسط آزمون آماری T نشان می‌دهند که اختلاف

جدول ۳- متوسط آهنگ دز معادل گامای محیطی فضای داخلی (nSv/h) در منازل مورد سنجش

پارامتر	ایستگاه	گرگان	بندرترکم
میانگین (nSv/h)		۱۱۲	۱۱۳
حداقل (nSv/h)		۹۲	۹۶
حداکثر (nSv/h)		۱۳۶	۱۲۷

جدول ۴- متوسط آهنگ دز معادل و دز موثر سالانه در فضای داخل ساختمان‌ها

ایستگاه	متوسط آهنگ دز معادل در هوا (nSv/h)	دز موثر سالانه (mSv)
گرگان	۱۱۲	۰/۵۵۰
بندرترکم	۱۱۳	۰/۵۵۴

جدول ۵- دز موثر سالانه کل ناشی از دز موثر ناشی از پرتوهای گامای فضای داخلی و فضای باز

ایستگاه	دز موثر سالانه فضای داخلی (mSv)	دز موثر سالانه فضای باز (mSv)	دز موثر سالانه کل (mSv)
گرگان	۰/۵۵۰	۰/۱۷۰	۰/۷۲۰
بندرترکم	۰/۵۵۴	۰/۱۶۵	۰/۷۱۹

دز موثر در فضای داخل ساختمان‌ها است. از سایر عوامل موثر می‌توان به تهویه ساختمان‌ها اشاره کرد که معمولاً در فصل‌های گرم به مراتب بیشتر بوده و باعث کاهش غلظت مواد رادیواکتیو در هوای داخل ساختمان‌ها خواهد بود. هرچند که این پژوهش در اواخر زمستان و اوایل بهار که هوا نسبتاً معتدل است صورت پذیرفت تا نتیجه آن تقریباً متناسب با متوسط مقدار دز در فصل‌های سرد و گرم باشد. در این پژوهش پرتوگیری ناشی از ورود مواد پرتوزا به بدن از طریق خوردن و آشامیدن در نظر گرفته نشده است؛ همچنین به علت محدودیت‌های موجود در سطح شهر، تعداد نمونه‌ها و مدت زمان اندازه‌گیری‌ها نسبتاً کم بودند که از جمله کاستی‌های این پژوهش هستند. آهنگ دز معادل اندازه‌گیری شده در این مطالعه از نتایج گزارش شده از نقاط مختلف ایران و جهان از جمله مشهد، کردستان، مکزیکوسیتی، لهستان و تانزانیا بیشتر است و از طرف دیگر نتایج به‌دست آمده در این مطالعه از مقادیر گزارش شده برای مناطقی مانند رامسر، هزارمسجد خراسان، اردبیل، زنجان، اصفهان و سرعین کمتر است (۸-۱۹).

نتیجه‌گیری

میانگین جهانی دز موثر سالانه توسط UNSCEAR مقدار

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل (بخشی از) پایان‌نامه با عنوان "اندازه‌گیری آهنگ دز گامای محیطی در شهرهای گرگان و بندرترکمن" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۷ است که با حمایت دانشگاه گلستان انجام شده است.

References

1. Mesbah AA. Ionizing Radiation and its Health. Tehran: Tehran University Press; 1998 (in Persian).
2. Holm E. Radioecology: Lectures in Environmental Radioactivity. Singapore: World Scientific; 1994.
3. Faheem M, Mujahid S. Assessment of radiological hazards due to the natural radioactivity in soil and building material samples collected from six districts of the Punjab province-Pakistan. Radiation Measurements. 2008;43(8):1443-47.
4. UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Volume I: Sources. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; 2000.
5. Rahim K, Maryam H. Radioactivity concentrations and dose characteristics of granite stones. Nuclear Technology and Radiation Protection. 2017;32(3):275-80.

6. Kardan M, Fathabdi N, Attarilar A, Esmaeili-Gheshlaghi M, Karimi M, Najafi A, et al. A national survey of natural radionuclides in soils and terrestrial radiation exposure in Iran. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2017;178:168-76.
7. Saleh Kotahi M. Estimation of natural radioactivity and radiation exposure in environmental soil samples of Golestan, Iran. *Iranian Journal of Medical Physics*. 2017;14(2):98-103.
8. Sohrabi M, Ahmed J, Durrani S. High levels of natural radiation. *Proceeding of the 3rd International Conference on High Levels of Natural Radiation Ramsar; 1990; Iran*.
9. Bahreini Tosi M, Safaeian Layen G. Evaluation of natural gamma radiation in Hezarmasjed. *Teb va Tazkieh*. 1997;30:26-32 (in Persian).
10. Bahreyni Toossi M, Oroogi M. An investigation of environmental gamma radiation rate in Mashhad and Rural area. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*. 1999;2:117-23 (in Persian).
11. Bahreyni Toossi M, Yarahmadi M. Comparison of indoor and outdoor dose rates from environmental gamma radiation in Kurdistan province. *Journal of Kerman University of Medical Sciences*. 2009;16(3):255-62 (in Persian).
12. Tavakoli MB. Annual radiation background in the city of Isfahan. *Medical Science Monitor*. 2003;9(7):PH7-10.
13. Hazrati S, Barak M, Alighadri M. Assessment of environmental gamma radiation dose rate in Ardabil and Sarein in 2009. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2011;4(3):341-50 (in Persian).
14. Saghatchi F, Eslami A, Salouti M. Assessment of indoor gamma radiation and related annual effective dose in Zanjan, Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2009;2(2):88-93 (in Persian).
15. Alizadeh S, Samvat H, Samadi MT. Environmental gamma radiation rate of hot springs of Ghainarjeh, Ilando and Moill in Meshkinshahr 2006-2007. *Journal of Ardabil University of Medical Sciences*. 2008;8(3):281-87 (in Persian).
16. Zarate-Morales A, Buenfil A. Environmental gamma dose measurements in Mexico City using TLD. *Health Physics*. 1996;71(3):358-61.
17. Sivakumar R, Selvasekarapandian S, Mugunthamanikandan N, Raghunath V. Indoor gamma dose measurements in Gudalore (India) using TLD. *Applied Radiation and Isotopes*. 2002;56(6):883-89.
18. Budzanowski M, Olko P, Ryba E, Wo_nicka U. A system for rapid large-area monitoring of gamma dose rates in the environment based on MCP-N (LiF: Mg, Cu, P) TL detectors. *Radiation Protection Dosimetry*. 2002;101(1-4):205-10.
19. Banzi F, Msaki P, Makundi I. A survey of background radiation dose rates and radioactivity in Tanzania. *Health Physics*. 2002;82(1):80-86.
20. Malcolm JA. Project Argus and the resilient citizen. *Politics*. 2013;33(4):311-21.
21. Ungar K, Zhang W, Aarnio P, Ala-Heikkila J, Toivonen H, Siiskonen T, et al. Automation of analysis of airborne radionuclides observed in Canadian CTBT radiological monitoring networks using LINSSI. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2007;272(2):285-91.
22. IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series, National and Regional Surveys of Radon Concentration in Dwellings. Austria: International Atomic Energy Agency; 2013. Report No.: 33.
23. Bahreini MT, Jomezade A. Comparison of outdoor environmental gamma dose rate in Kerman province and indoor in the city of Kerman, using TLD dosimetry and Survey meter model RD0053-110. *Medical Journal of Hormozgan University*. 2004;9(3):173-80 (in Persian).
24. Ajayi O. Environmental gamma radiation indoors at Akure, Southwestern Nigeria. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2000;50(3):263-66.
25. Paschoa AS, Pinho RR, Binns DAC. *Monitoring Radon and Environmental Gamma Radiation Indoors and Outdoors at PUC/RJ, Brazil*. Singapore: World Scientific; 1990.
26. UNSCEAR. *Sources and Effects of Ionizing Ra-*

diation, UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; 1994.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Measurement of outdoor and indoor ambient gamma dose rate in Gorgan and Bandar-Torkman cities using gas and thermoluminescent dosimeters

B Pangh, R Khabaz*, A Izadpanah

Department of Physics, Faculty of Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 21 July 2019

Revised: 7 October 2019

Accepted: 12 October 2019

Published: 21 December 2019

Keywords: Ambient gamma, External radiation, Effective dose, Gorgan, Bandar-Torkaman

ABSTRACT

Background and Objective: Human external exposure to natural radiation sources is much more than artificial radiation sources. In this study, external annual effective doses were estimated in cities of Gorgan and Bandar-Torkman by determining ambient gamma dose rate in indoor and outdoor spaces.

Materials and Methods: Using an ionization chamber detector, the outdoor and indoor ambient gamma dose rate at 32 and 16 selected stations in Gorgan and Bandar-Torkman cities was measured for one hour, respectively. Indoor measurements were performed by 36 dosimeters in Gorgan and Bandar-Torkman cities in 11 and 6 residential buildings respectively using thermoluminescence dosimetry method.

Results: The results of this study indicate that the ambient gamma dose rate in outdoor is a little more than this quantity in indoor space. The annual effective dose received by residents of Gorgan and Bandar-Torkman were 0.720 and 0.719 mSv, respectively.

Conclusion: The annual effective dose received by residents of Gorgan and Bandar-Torkman cities is less than the worldwide average, and it is also less than the reference dose level for ordinary people (1 mSv).

*Corresponding Author:

r.khabaz@gu.ac.ir