

اندازه گیری تشعشعات زمینه طبیعی استان چهارمحال و بختیاری

دکتر داریوش شهبازی گهرویی*

چکیده:

ساکتین کره زمین همواره تحت تابش پرتوهای زمینه طبیعی شامل پرتوهای کیهانی و پرتوهای زمینی بوده و خواهند بود. این پرتوها سبب بروز عوارض نابهنجارگوناگونی در انسان می شوند. در بیشتر نقاط دنیا و مخصوصاً در کشورهای پیشرفته چندین بار اندازه گیری پرتوهای زمینه صورت گرفته است. ایران یکی از معدود کشورهایی است که اطلاعات دقیق و جامعی را در این ارتباط به کمیته بین المللی حفاظت در برابر اشعه (ICRP) ارائه نداده است. اگر چه اندازه گیریها در برخی از استانها (مازندران، تهران، اصفهان و غیره) انجام شده است ولی اطلاعات مکتوبی در این زمینه وجود ندارد. اندازه گیری تشعشعات زمینه طبیعی در استان چهارمحال و بختیاری که جزء مناطق کوهستانی و ارتفاع بلند می باشد، ضروری بوده تا بتوان اطلاعات جامعی را در این ارتباط به دست آورد. چرا که به نظر می رسد میزان پرتوهای زمینه در مناطق کوهستانی و با ارتفاع بلندتر، بیشتر می باشد. با استفاده از دوزیمتر حساس به پرتوهای هسته ای (گایگر - مولر) و با مراجعه به نقاط مختلف استان در هر نقطه، ۸ اندازه گیری انجام شد و میانگین آنها به عنوان پرتو دهی آن نقطه محسوب گردید. میانگین آهنگ پرتو دهی برابر با (میکروروننگن بر ساعت) $28/2 \pm 1/4 \mu R/h$ و میانگین آهنگ دوز جذبی (نانوگری بر ساعت) 49 nGy/h و دوز معادل مؤثر سالیانه نیز برابر با (میلی سیورت) $0/49 \text{ mSv}$ بر آورد شده است. این مقادیر از حد میانگین جهانی بیشتر بوده ولی از نقاط با پرتو دهی بالای جهان کمتر می باشند. بنابراین احتمال شیوع سرطانها و ارتباط آنها با پرتوها و همچنین اثر پرتوها بر روی طول عمر از نکاتی است که باید مورد تحقیق بیشتر قرار گیرد.

واژه های کلیدی: تشعشعات زمینه، پرتو دهی، دوز جذبی، دوزیمتری، چهارمحال و بختیاری.

مقدمه:

می باشد که شامل پرتوهای ایکس (X-ray) اولیه و پروتونهای انرژی دار هستند. با برخورد این پرتوها به اتمهای لایه های خارجی اتمسفر، پرتوهای ثانویه $(e^-, e^+, \gamma, n, \dots)$ حاصل می شوند. قسمت اعظم این پرتوها در طبقات مختلف اتمسفر جذب شده و قسمتی از آنها نیز به سطح زمین می رسند (۵، ۶). به این دسته از پرتوهای جدید، پرتوهای کیهانی ثانویه گویند. هر چقدر

انسان در محیط زیست خود به طور طبیعی از پرتوهای کیهانی که از فضای خارج از جو بر زمین فرود می آیند و پرتوهای گسیل شده از مواد پرتوزای اولیه موجود در پوسته زمین تحت پرتوگیری مستمر قرار دارد (۲). علاوه بر منابع طبیعی، انسان در محیط زیست خود نیز از چشمه های صنعتی، پزشکی و غیره نیز پرتوگیری می نماید. منشأ پرتوهای کیهانی از خورشید و جو

* استادیار گروه فیزیک پزشکی - دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد: رحمتیه - دانشکده پزشکی - تلفن: ۳۳۳۵۶۵۴ - ۰۳۸۱ - داخلی ۲۳۳۳.

موجب اهمیت بیشتر آن شده است. بدین جهت بررسی و اندازه‌گیری پرتوگیری مردم نواحی مختلف دنیا حائز اهمیت می‌باشد. از آنجایی که در مناطق با پرتودهی زمینه بالا، پرتوگیری مردم از حد پرتوگیری در محیطهای دیگر جهان بیشتر است، دوزیمتری و بررسیهای اپیدمیولوژیکی در این مناطق از اهمیت بیشتری برخوردار است. در برخی از کشورها مناطقی با پرتودهی زمینه بالا مشاهده گردیده است (۴،۳،۱). در استانهای لازبو و کامپانیا در ایتالیا و مناطقی در برزیل، فرانسه، هندوستان، نیجریه و ماداگاسکار و منطقه رامسر در ایران ذاتاً دارای پرتودهی محیط باز (outdoor) بالایی می‌باشند (۴،۳،۲،۱). البته باید متذکر شد که اندازه‌گیری میزان پرتودهی تشعشعات در ایران در تمامی نقاط کشور صورت نگرفته و واقعاً اطلاعات مفید و ارزشمندی در این راستا به سازمان جهانی حفاظت در برابر اشعه (ICRP) ارائه نشده است. بدین منظور در بیشتر نقاط ایران این اندازه‌گیریها در حال انجام بوده تا بلکه این اطلاعات در اختیار تمامی سازمانهای مربوطه قرار داده شود. هدف از این تحقیق، اندازه‌گیری تشعشعات زمینه استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد که در نهایت اطلاعات مربوط به میزان تشعشعات زمینه را بتوان برآورد نمود.

با توجه به این که استان چهارمحال و بختیاری از ارتفاع بالایی برخوردار است و یک منطقه کوهستانی است و صخره‌های گرانیتی (که اورانیوم بیشتری دارند) زیادی در این منطقه کوهستانی وجود دارند، به نظر می‌رسد که میزان پرتوهای زمینه در این منطقه بیشتر باشد. از طرفی جمعیتی که در این منطقه زندگی می‌کنند نیز در معرض خطر تشعشعات زمینه طبیعی زیادی می‌باشند که می‌تواند خطراتی از قبیل افزایش بروز سرطانهای مرتبط با این پرتوها را به دنبال داشته باشد.

با توجه به موقعیت جغرافیایی این استان و ارتفاع بالا و کوهستانی بودن آن انتظار می‌رود که میزان تشعشعات

ضخامت جو زمین بیشتر باشد، اثر پرتوهای کیهانی بر روی بدن انسان کمتر بوده و پرتوگیری مردم نیز کاهش می‌یابد (۲،۱).

پرتوگیری انسان از پرتوهای کیهانی با افزایش ارتفاع و تغییر عرض جغرافیایی افزایش می‌یابد و تندی دوز جذبی ناشی از پرتوهای کیهانی در هوا به ازای اضافه شدن هر ۱۵۰۰ متر ارتفاع، دو برابر می‌شود (۷،۳). البته اثر ارتفاع نسبت به عرض جغرافیایی از اهمیت بیشتری برخوردار است. در اثر برخورد پرتوهای کیهانی با جو زمین ممکن است واکنشهای هسته‌ای بین آنها و اتمهای موجود در جو صورت گیرد که حاصل آن تولید رادیونوکلیدهای کیهان زا در داخل جو می‌باشد. این واکنشها غالباً با اتمهای هیدروژن، نیتروژن، اکسیژن و آرگون انجام گرفته و عناصر پرتوزائی همانند ^{23}Na ، ^{14}C ، ^3H ، ^7Be را به وجود می‌آورند. دوز جذبی کل بدن ناشی از این رادیونوکلیدها (گری) $13/3\text{ Gy}$ در سال برآورده شده است (۷). از دیگر منابع پرتوزای محیط زیست، رادیونوکلیدهای موجود در پوسته زمین می‌باشند. این رادیونوکلیدها همراه با پیدایش زمین وجود داشته و به علت دارا بودن نیمه عمر طولانی هنوز به فعالیت خود ادامه می‌دهند (۵). از میان این عناصر، سهم عمده پرتوگیری از منابع طبیعی ناشی از ^{238}U ، ^{252}Th و ^{40}K می‌شود. این منابع پرتوزا، از دو طریق داخلی و خارجی موجب پرتوگیری بدن انسان می‌گردد. در اثر ورود مواد پرتوزای طبیعی مانند گاز رادون و تورون و عناصر پرتوزای موجود در بافت زنده همانند ^{87}Rb و ^{40}K پرتوگیری بدن به صورت داخلی از این مواد صورت می‌پذیرد (۵).

از سالهای ۱۹۵۱ و ۱۹۷۷ تاکنون کمیته بین‌المللی حفاظت در برابر اشعه ICRP (International Commission on Radiological Protection) اندازه‌گیری تشعشعات زمینه را شروع کرده و همچنان ادامه دارد. همه‌گیر بودن پرتوگیری از منابع طبیعی نیز

کلیه اندازه گیریها در فصول بهار و تابستان و در روز انجام گرفته است.

در هر نقطه، ۸ اندازه گیری در طول ۸ دقیقه انجام شد که این مقادیر شامل کمترین و بیشترین مقدار و اعدادی بین این دو بود. سپس میانگین این ۸ مقدار به عنوان میزان میانگین پرتو دهی برای آن منطقه محسوب گردیده است. در تمام اندازه گیریها مجموع پرتوهای کیهانی و زمینی اندازه گیری شده است. به دلیل این که استان چهارمحال و بختیاری هم دارای مناطق با ارتفاع بلندتر و هم ارتفاعهای متوسط می باشد، یعنی حداقل یک اختلاف ۱۰۰۰ متری بین مناطق اندازه گیری وجود داشت، بنابراین مناطق با ارتفاعهای بین ۱۶۵۰ تا ۲۰۹۹ متر به عنوان مناطق با ارتفاع کمتر و مناطق با ارتفاعهای بین ۲۱۰۰ تا ۲۵۵۰ متر به عنوان مناطق با ارتفاع بلندتر تقسیم بندی شدند. میانگین آهنگ پرتو دهی برای دو گروه فوق به طور جداگانه بررسی شد و میانگین پرتو دهی برای تمامی مناطق با هم محاسبه گردیده و نتایج با هم مقایسه شده است.

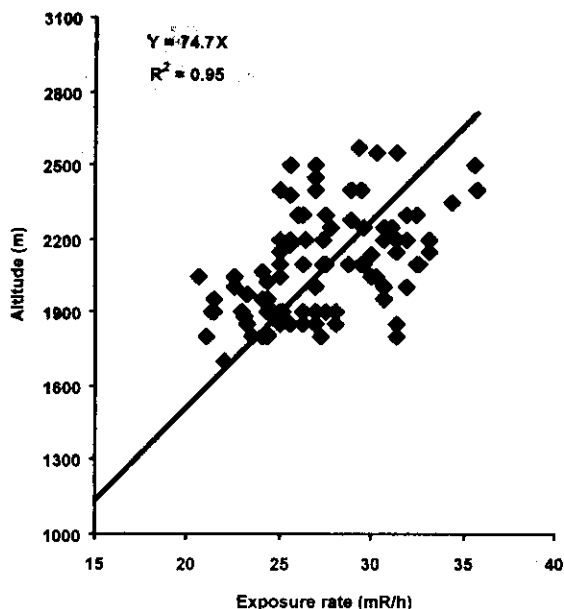
از آنجایی که مردم ۸۰ درصد اوقات در محیطهای بسته و ۲۰ درصد اوقات در محیطهای باز بسر می برند. لذا جهت محاسبه مجموع پرتوگیریهای محیطی از فاکتورهای اشتغال (Occupancy factor) $0/8$ و $0/2$ به ترتیب برای محیطهای بسته و باز استفاده می گردد (۲). به دلیل این که آشکارساز گایگر - مولر مقدار پرتو دهی را بر حسب رونتگن (R) و یا واحدهای وابسته به آن اندازه گیری می کند، بنابراین می بایست به طریقی مقدار پرتو دهی را به دوز جذبی و یا تندی دوز جذبی تبدیل نمود. چرا که اندازه گیری مقدار دوز جذبی روش ساده ای نیست. برای تبدیل تندی پرتو دهی به تندی دوز جذبی در هوا از فاکتور تبدیل $10^{-3} \times 69/8$ استفاده شده است (۳). از آنجایی که برای ایجاد یک جفت یون در هوا ۳۴ الکترون ولت (eV) انرژی نیاز است و هر رونتگن تعداد $10^{12} \times 1/6$ جفت یون در هوا تولید

زمینه طبیعی در این استان بیشتر از حد میانگین جهانی باشد. بنابراین، با اندازه گیری دقیق تشعشعات زمینه طبیعی این استان می توان زمینه تحقیقات دیگری نظیر ارتباط آن با شیوع سرطانها و مورتالیتی ناشی از آنها یا حتی ارتباط با طول عمر را نیز هموار نمود.

مواد و روشها:

برای تعیین میزان تشعشعات زمینه طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، تعداد ۱۰۰ نقطه به صورت تصادفی انتخاب گردید که ارتفاع کلیه نقاط نیز در نظر گرفته شده است. برای به دست آوردن ارتفاع نقاط انتخاب شده از نقشه های توپوگرافی جهاد سازندگی استان استفاده شده است. برای اندازه گیری میزان تشعشعات زمینه طبیعی از آشکارساز گایگر - مولر (مدل SUM-AD8 با مارک Ricken Fine و ساخت کشور ژاپن) استفاده شده است. این سیستم قادر است تندی پرتو دهی را بین (میلی رونتگن بر ساعت) $0/1 \text{ mR/h}$ تا 100 mR/h یا (شمارش در دقیقه) 1 count/minute تا $30000 \text{ count/minute}$ اندازه گیری نماید. عمل کالیبراسیون سیستم توسط یک چشمه رادیوم استاندارد و همچنین چشمه کبالت صورت گرفت.

یکی از مزایای دستگاه گایگر - مولر استفاده شده در این تحقیق این است که علاوه بر میزان آهنگ پرتو دهی، تعداد یونهای رسیده به اتاقک یون ساز آشکارساز را نیز نشان می دهد. به بیان دیگر توسط این آشکارساز، شمارش یونها در دقیقه نیز معلوم می گردد. آشکارساز گایگر - مولر در تمام اندازه گیریها در سطح زمین قرار داده شده و در فاصله ۶ متری از ساختمانها و دیوارها قرار گرفته تا پرتوهای ناشی از آنها اثر کمتری را روی آشکارساز داشته باشد. بدین طریق است که نهایتاً مقدار پرتو دهی حاصل از کل تشعشعات زمینه، به آشکارساز می رسد و در اثر خاصیت یون سازی که در آشکارساز صورت می گیرد، می توان مقدار آنها را اندازه گیری نمود.



نمودار شماره ۱: ارتباط بین ارتفاع و مقدار آهنگ پرتودهی در صد نقطه انتخاب شده در استان چهارمحال و بختیاری.

مربوط به چم‌چنگ با ارتفاع ۱۹۰۰ متر و کوانک با ارتفاع ۲۳۰۰ متر می‌باشد. ارتباط بین ارتفاع مناطق و میزان آهنگ پرتودهی اندازه‌گیری شده، در نمودار شماره ۱ آورده شده است. چنانچه این نمودار نشان می‌دهد، با افزایش ارتفاع مناطق مورد بررسی، میزان آهنگ پرتودهی نیز افزایش می‌یابد و یک ارتباط خطی بین میزان آهنگ پرتودهی و ارتفاع مناطق وجود دارد. بر اساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته، متوسط آهنگ پرتودهی در محیط باز در ارتفاعات بین ۱۶۵۰-۲۰۹۹ متر، برابر با $27/9 \mu\text{R/h}$ و متوسط آهنگ پرتودهی در محیط باز در ارتفاعات بین ۲۱۰۰-۲۵۵۰ متر، برابر با $28/4 \mu\text{R/h}$ و متوسط آهنگ پرتودهی در هوا در کل استان نیز برابر با $28/2 \mu\text{R/h}$ برآورد شده است.

محاسبات انجام شده بیانگر این است که متوسط دوز جذبی در گروه اول برابر با $48/5 \text{ nGy/h}$ و در گروه دوم برابر با $49/4 \text{ nGy/h}$ می‌باشد. از طرفی همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، مردم حدود ۲۰ درصد اوقات خود را در محیط باز بسر می‌برند و برای تبدیل پرتوگیری به دوز جذبی نیز در هوا از فاکتور $8/69 \times 10^{-3}$ استفاده شده

می‌کند، بنابراین می‌توان انرژی جذب شده در یک گرم هوا را به صورت ذیل به دست آورد:

$$1 \text{ R} = 1/61 \times 10^{12} \times 34 = 86/9 \text{ erg/g}$$

پس میزان دوز جذبی در هوا برابر است با:

$$D_{air} = 8/69 \times 10^{-3} \text{ Gy}$$

به عنوان مثال، در منطقه فارسان میزان پرتو دهی حاصل از کل پرتوهای طبیعی زمینه (زمینی و کیهانی) برابر با $30 \mu\text{R/h}$ اندازه‌گیری شده است. چنانچه اشاره شد، برای تبدیل این میزان پرتودهی به دوز جذبی بر حسب μGy (میکروگری) در هوا از فاکتور $8/69 \times 10^{-3}$ استفاده می‌شود.

$$1 \mu\text{R} = 8/69 \times 10^{-3} \mu\text{Gy} = 8/69 \text{ nGy}$$

بنابراین میزان پرتودهی در فاکتور $8/69$ ضرب می‌شود و چون این اندازه‌گیریها برای محیط باز (outdoor) انجام گرفته است، در فاکتور $0/2$ نیز ضرب شده تا نهایتاً میزان دوز جذبی در هوا به دست آید:

$$30 \mu\text{R/h} \times 0/2 \times 8/69 = 52/1 \text{ nGy/h}$$

با در نظر گرفتن یک تقریب ساده نیز می‌توان دوز مؤثر ناشی از کل پرتوهای زمینه را محاسبه نمود. یعنی اگر دوز معادل مؤثر همان دوز جذبی در هوا در نظر گرفته شود، در نتیجه دوز مؤثر سالیانه ناشی از پرتوهای زمینه معمولاً بر حسب سیورت (Sv) بیان می‌شود. برای منطقه مورد بحث (منطقه فارسان)، این مقدار به صورت زیر می‌باشد:

$$52/1 \text{ nGy/h} \times 8760 \text{ h/y} \times 10^{-6} \text{ mSv/nSv} = 0/45 \text{ mSv}$$

میزان دوز مؤثر برای تمامی مناطق مورد نظر به صورت فوق و به طور مشابه محاسبات لازم انجام گرفته است.

نتایج:

در اندازه‌گیری‌های انجام شده، حداقل میزان پرتودهی محیط‌های باز برابر $15/6 \mu\text{R/h}$ و حداکثر مقدار آن $38/1 \mu\text{R/h}$ برآورد شده است که به ترتیب

مربوط به مقادیر متوسط آهنگ پرتودهی در هوای خارج، بیانگر پراکندگی زیاد مقادیر پرتودهی نقاط مختلف است.

پرتوهای کیهانی ثانویه، در ارتفاعات مختلف از سطح دریا دوزهای کاملاً متفاوتی را به بدن انسان می دهند و این خود به مقدار زیادی به ضخامت جو زمین مربوط می شود، که هر چه این ضخامت بیشتر باشد، اثر پرتوهای کیهانی بر روی بدن انسان کمتر می شود و دوز کمتری به مردم می رسد (۸،۵،۲). از طرفی نیز با توجه به اینکه پرتوهای زمینی از خاک و مصالح ساختمانی ناشی می شوند و نوع سنگهای منطقه هم بر میزان این تشعشعات تأثیر گذار است و با توجه به این که استان چهارمحال و بختیاری از ارتفاع بسیار بالایی برخوردار است و یک منطقه کوهستانی است و صخره های گرانیتی (که اورانیوم بیشتری دارند) در آن وجود دارند پس میزان تشعشعات بالایی را نشان می دهد.

میانگین آهنگ دوز جذبی در هوا در محیط های باز در کشورهای مختلف جهان بین $160-24 \text{ nGyh}^{-1}$ گزارش شده است (۹،۸). در مطالعه ای که توسط عالم خورشید در پاکستان و در سال ۱۹۹۸ انجام شد، میانگین دوز جذبی پرتوهای گاما در محدوده $80-60 \text{ nGyh}^{-1}$ و متوسط آن 70 nGyh^{-1} برآورد شده است که از میانگین جهانی که 44 nGyh^{-1} می باشد بیشتر است و علت آن را وجود صخره های گرانیتی زیاد در این منطقه ذکر کرده اند (۱). در تحقیقی که توسط دکتر سهرابی در سال ۱۹۹۷ انجام شده است آهنگ دوز جذبی در هوا در ۷ استان کشور بر اساس غلظت رادیونوکلیدهای خاک محاسبه گردیده و بیشترین میزان مربوط به استان مازندران برابر با $88-46 \text{ nGyh}^{-1}$ و کمترین آن مربوط به استان خوزستان برابر با $72-20 \text{ nGyh}^{-1}$ بوده است.

در تحقیق حاضر، میزان دوز جذبی بین مقادیر $11/27 \text{ nGyh}^{-1}$ تا $2/66 \text{ nGyh}^{-1}$ متغیر بوده و میانگین دوز جذبی در استان نیز برابر با 49 nGyh^{-1} برآورد شده

است. بنابراین مقدار متوسط دوز معادل مؤثر سالیانه برای گروه اول $42/0 \text{ mSv}$ و مقدار متوسط آن برای گروه دوم نیز $43/0 \text{ mSv}$ می باشد. بررسیهای آماری نشان می دهد که بین این مقادیر برای ارتفاعات بلندتر و ارتفاعات کمتر اختلاف معنی داری وجود دارد. از آنجایی که میانگین آهنگ پرتودهی کل استان برابر با $28/2 \mu\text{Rh}^{-1}$ محاسبه شده است، بنابراین میانگین دوز جذبی برابر با 49 nGyh^{-1} و همچنین متوسط دوز معادل مؤثر سالیانه نیز برابر با $49/0 \text{ mSv}$ برآورد شده است.

بحث:

به طور کلی بیش از ۹۰ درصد دوزی که افراد در محیط زیست خود دریافت می کنند، ناشی از پرتوهای منتشر شده از منابع طبیعی می باشد (۳،۲). پرتوهایی که در فضای اطراف ما وجود دارد، شامل پرتوهای یون ساز مختلف با انرژیها و منشأهای مختلف هستند و دارای سه منبع متفاوت می باشند. یکی پرتوهایی که از خارج از منظومه شمسی به زمین رسیده اند و دیگری پرتوهایی که ناشی از ذرات بارداری است که در لایه هایی که زمین را محصور کرده اند، محبوس شده اند. سومین منبع ممکن، پرتوهای ناشی از وقایع خورشیدی می باشد که تابش ذرات خورشیدی (Solar particle radiation) نامیده می شوند (۹). به تمامی انواع پرتوهای نام برده شده پرتوهای کیهانی اولیه گویند. این پرتوها با انرژی بیش از 1 GeV یک گیگا الکترون ولت به جو زمین برخورد می کنند. بدون شک، با برخورد به لایه های جو زمین و با برهم کنشهایی که با اتمهای داخل جو انجام می دهند، موجب پدید آمدن ذرات ثانویه ای همانند پروتونها و نوترونها می گردند.

نتایج حاصل از اندازه گیریهای مستقیم در این نواحی نشان می دهد که محدوده تغییرات آهنگ پرتودهی از پرتوهای گامای محیطی در محیط های باز بین $15/6$ تا $38/1 \mu\text{Rh}^{-1}$ در سطح زمین می باشد. انحراف معیار زیاد

برآورد شده است و میانگین دوز معادل مؤثر سالیانه نیز 0.49 mSv می‌باشد که از مقادیر میانگین جهانی بیشتر بوده ولی از نقاط با پرتودهی بالای دنیا کمتر است. با توجه به موقعیت جغرافیایی این استان و ارتفاع بلند و کوهستانی بودن آن و با توجه به این که میزان تشعشعات زمینه طبیعی بیشتر از حد میانگین می‌باشد، بنابراین شیوع سرطانها و ارتباط آنها با پرتوها و هم چنین اثر پرتوها بر روی طول عمر نیز سؤالاتی است که باید به آنها پاسخ داده شود و به تحقیقات بیشتری در این موارد نیاز می‌باشد.

تشکر و قدردانی:

بدینوسیله نگارنده از کلیه کسانی که به نحوی در تحقق و نگارش این پژوهش همکاری نمودند، بالاخص آقای غلامرضا مبینی و سرکار خانمها فریبا هوشمند، سعیده صالح ریاحی و میترا لده‌گانی تشکر و قدردانی می‌شود.

است. همانظوری که مشاهده می‌شود، این مقدار از میانگین جهانی آن که 44 nGy^{-1} می‌باشد، بیشتر است. از طرفی دوز معادل مؤثر سالیانه نیز همانظوری که قبلاً ذکر شد، بر حسب mSv برای کلیه نقاط مورد مطالعه محاسبه شده و از 0.24 mSv تا 0.58 mSv متغیر بوده و میانگین آن نیز 0.49 mSv می‌باشد که از میانگین جهانی آن که 0.38 mSv می‌باشد، بیشتر است (۸، ۱۰). اندازه‌گیریهای حاصل از پرتوهای زمینه طبیعی استان، نشان می‌دهد که یک ارتباط مستقیمی بین ارتفاع و میزان آهنگ پرتودهی وجود دارد. بنابراین، ارتفاع به عنوان یکی از عوامل مؤثر در میزان دوز جذبی بوده به طوری که مناطق با ارتفاع بلندتر میزان دوز جذبی بیشتری را دارا می‌باشند. البته در بعضی از نقاط کم ارتفاع نیز میزان دوز جذبی بیشتری اندازه‌گیری شد و این مربوط به وجود صخره‌های گرانیتی و پرتوهای زمینی طبیعی می‌باشد. میانگین آهنگ پرتودهی $28/2 \mu\text{R}h^{-1}$

References:

- 1- Butt KA.; Ali A.; Qureshi AA. Estimation of environmental gamma background radiation levels in Pakistan. *Health Phys.* 75(1): 63-6, 1998.
- 2- Cember H. Radiation dosimetry. In: Cember H. Introduction to health physics: From Pergamon Press. New York: USA, 1st ed. 135-76, 1983.
- 3- Hollins M. Measuring and controlling radiation. In: Hollins M. Medical physics: From McMillan. London: UK, 1st ed. 145-58, 1990.
- 4- Karunakara N.; Somashekarappa HM.; Avadhani DN.; Mahesh HM.; et al. Radium-226, Th-232, and K-40 distribution in the environment of Kaiga of south coast of India. *Health Phys.* 80(5): 470-6, 2001.
- 5- McAinsh TF. Radiation protection and personnel monitoring. In: McAinsh TF. Physics in medicine and biology encyclopedia: From Pergamon Perss. New York: USA, vol 2. 621-40, 1986.
- 6- Niemann EG. Radiation biophysics. In: Hoppe W.; Lohmann W.; Markl H.; Zeigler H. Biophysics: From Springer-Verlag. Berlin: Germany, 299, 1983.
- 7- Quindos LS.; Fernandez PL.; Soto H.; Rodenas C.; et al. Natural radioactivity in Spanish soil. *Health Phys.* 66(2): 194-200, 1994.
- 8- United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation. Sources, effects and risks of ionizing radiation. United Nations, New York: USA, 1988.
- 9- United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation. Sources, effects and risks of ionizing radiation. United Nations, New York: USA, 1998.
- 10- United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation. Sources, effects and risks of ionizing radiation. United Nations, New York: USA, 2000.