دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک هسته‌ای

برآورد دز موثر گاما ناشی از پرتوزایی طبیعی در خاک

استاد راهنما:

دکتر سید هاشم میری

استاد مشاور:

دکترلاله رفعت متولی

نگارش:

سمانه بابازاده طلوتی

دی ۱۳۹۰

تقدیم به همسر گرامی‌ام

که

یاور همیشگی‌ام هست

تشکر و قدردانی

سپاس ایزد منان را که در این راه یاریم نمود تا با گام نهادن در طریق علم درست زندگی کردن را بیاموزم.

از پدر و مادر مهربانم که در تمام مراحل زندگی یار و یاورم بودند و موفقیت‌های خود را مرهون حمایت‌های آن‌ها هستم، بسیار سپاسگزارم.

از اساتید محترم، جناب آقای دکتر سید هاشم میری و سرکار خانم دکتر لاله رفعت متولی که با صبر و شکیبایی بسیار مرا در تهیه این رساله همراهی کردند، و اساتید بزرگوار آقایان دکتر کوروش جاویدان و دکتر سعید محمدی که با حضور خود در جلسه دفاع زحمت داوری رساله اینجانب را تقبل کردند، کمال تشکر را دارم.

از دوستان عزیزم خانم‌ها ساره طیبی نژاد، یترا کیانی نسب و فاطمه سپهری که با نظرات مفید خود مرا یاری کردند، نیز قدردانم.

سمانه بابازاده - دی ۹۰

چکیده

از آنجا که در محیط اطراف ما به طور طبیعی پرتودهی وجود دارد و انسان همواره در معرض تابش قرار دارد، مهم است که بدانیم میزان تابش دریافتی چقدر است. این مسئله، مسئله غامض و قابل اهمیتی است. هدف از این تحقیق، محاسبه‌ی مقادیر دز تحت پرتوگیری از چشمه‌های پرتوزای موجود در خاک است که این چشمه‌ها شامل عناصر پتاسیم-۴۰، توریوم-۲۳۲، اورانیوم-۲۳۸ و ایزوتوپ‌های حاصل از واپاشی زنجیره آن‌ها می‌باشند. به این منظور از فانتوم تصحیح شده‌ی ORNL و کد محاسباتی مونت‌کارلوی MCNP4C استفاده شده است. در ابتدا برای تخمین میزان دز حاصل از این چشمه‌های طبیعی، ابعاد بهینه‌ای متناظر با انرژی فوتون‌های تابشی هر ایزوتوپ تعیین شده و با جایگذاری این مقادیر در ورودی کد محاسباتی مونت‌کارلو، ضرایب تبدیل دز به ازای یک واپاشی از واحد حجم بدست آمد.

از سوی دیگر، میزان پرتوگیری مناطق مختلف به دلیل تفاوت در مقدار عناصر پرتوزای موجود در خاک هر منطقه، یکسان نیست. بنابراین نمی توان با اندازه گیری پرتودهی یک نقطه آن را به بقیه نقاط تعمیم داد. از این رو، بهتر است که غلظت مواد موجود در خاک محاسبه شود که برای این منظور از معادلات بیتمن استفاده شده است. با مشخص بودن غلظت مواد، برآورد دقیقی از میزان پرتوگیری و همچنین تخمین درستی از مقدار واقعی دز ناشی از دختران اورانیوم و توریوم در اعضای بدن به‌دست می‌آید.

در نهایت، نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج محاسبات پیشین مقایسه شده است.

کلید واژه: خاک، دز، فانتوم ORNL، کد MCNP4C

فهرست

فصل اول ۵

پرتوزایی طبیعی ۵

۱-۱ مقدمه ۶

۱-۲ پرتوزایی طبیعی ۶

۱-۲-۱ پرتوهای کیهانی ۷

۱-۲-۲ پرتوهای زیست محیطی ۷

۱-۳ قدرت نفوذ انواع تابش‌ها ۱۱

۱-۴ آثار زیست شناختی تابش ۱۲

فصل دوم ۱۵

۲-۱ مقدمه ۱۶

۲-۲ دزسنجی ۱۶

۲-۳ دز مؤثر(E) ۱۸

۲-۴ محاسبه دز مؤثر ۱۹

۲-۵ مدل‌های بدن انسان ۲۱

۲-۶ آشنایی با روش مونت کارلو ۲۲
۲-۷ کد محاسباتی MCNP ۲۳
۲-۷-۱ روش استفاده از کد MCNP ۲۴
۲-۷-۲ فایل ورودی برنامهMCNP4C ۲۴
۲-۸ روش‌های مختلفی که قبلا برای محاسبه‌ی دز مؤثر استفاده شده است ۳۴
فصل سوم ۳۵
معادلات بیتمن ۳۵
۳-۱ مقدمه ۳۶
۳-۲ معادلات بیتمن ۳۶
۳-۳ نسبت‌های انشعاب ۳۹
۳-۴ زنجیره واپاشی اورانیوم-۲۳۸ ..... ۴۱
۳-۵ زنجیره واپاشی توریوم-۲۳۲ ..... ۵۵
فصل چهارم ۶۷
۴-۱ مقدمه ۶۸
۴-۲ تعیین شعاع و عمق بهینه ۶۹
۴-۲-۱ تعیین شعاع بهینه ۷۲
۴-۲-۲ تعیین عمق بهینه ۷۳
۴-۳ برآورد ضرایب تبدیل دز جذبی و نتایج آن ۷۵
۴-۳-۱ ضریب تبدیل دز جذبی حاصل از چشمه پتاسیم-۴۰ ..... ۷۷
۴-۳-۲ ضریب تبدیل دز جذبی حاصل از ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره واپاشی اورانیوم-۲۳۸
..... ۷۸
۴-۳-۳ ضریب تبدیل دز جذبی حاصل از ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره واپاشی ۱۰۶
توریوم-۲۳۲ ..... ۱۰۶

۴-۴ تعیین عمق و شعاع بهینه برای ایزوتوپ‌های کم انرژی .....۱۲۵.....

۴-۵ تعیین مقادیر ضریب تبدیل دز جذبی حاصل از ایزوتوپ‌های کم انرژی با در نظر گرفتن شعاع و عمق بهینه جدید .....۱۳۳.....

۴-۶ مقایسه ضریب تبدیل دز جذبی با اعمال ضرایب بیتمن و بدون در نظر گرفتن این ضرایب .....۱۴۱.....

فصل پنجم .....۱۴۸.....

۵-۱ مقایسه نتایج این پژوهش در برآورد ضریب تبدیل دز جذبی بافت‌های مختلف با نتایج ضریب تبدیل دز جذبی گزارش FGR 12 .....۱۴۹.....

۵-۲ بررسی علل تفاوت داده‌های ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن در گزارش FGR 12 و این پژوهش .....۱۶۰.....

۵-۳ برآورد ضریب تبدیل دز مؤثر و مقایسه نتایج ضریب تبدیل دز مؤثر در این پژوهش با نتایج FGR .....۱۶۱.....

۵-۴ مقایسه نتایج ضریب تبدیل دز مؤثر در این پژوهش با نتایج تحقیقات پیشین .....۱۶۶....

۵-۵ برآورد میزان دز مؤثر .....۱۶۹.....

۵-۵-۱ میزان دز مؤثر در استان فارس .....۱۶۹.....

۵-۵-۲ مقایسه میزان دز مؤثر .....۱۷۱.....

۵-۶ پیشنهادات ادامه کار .....۱۷۳.....

پیوست .....۱۷۵.....

مراجع .....۲۳۳.....

فهرست جداول

جدول ۱-۱ زنجیره واپاشی ^{۲۳۲}Th .....۸.....

جدول ۱-۲ زنجیره واپاشی ^{۲۳۸}U .....۱۰.....

جدول۲-۱ ضرایب وزنی بافت، W_T ، برای بافت و اندام‌های مختلف .....۱۰۸.....

جدول ۲-۲ ترکیبات خاک .....۳۲.....

جدول ۳-۱: نحوه واپاشی در زنجیره اورانیوم-۲۳۸ .....۴۲.....

جدول ۳-۲ تعداد ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره^{۲۳۸}U بعد از زمان $t = ۴/۴ \times ۱۰^{+۱۷} s$ که به هسته مادر بهنجار شده‌اند. .....۵۴.....

جدول ۳-۳ نحوه واپاشی در زنجیره توریوم-۲۳۲ .....۵۵.....

جدول ۳-۴ تعداد ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره ^{۲۳۲}Thبعد از زمان $t = ۴/۴ \times ۱۰^{+۱۷} s$ که به هسته مادر بهنجار شده‌اند. .....۶۵.....

جدول ۴– ۱ میزان ضریب تبدیل دز مؤثر به ازای شعاع و عمق‌های متفاوت از چشمه استوانه‌ای توریوم-۲۲۸ .....۱۲۶.....

جدول ۴-۲ میزان ضریب تبدیل دز مؤثر به ازای شعاع و عمق‌های متفاوت از چشمه استوانه‌ای اورانیوم-۲۳۸ .....۱۲۷.....

جدول ۴-۳ میزان ضریب تبدیل دز مؤثر به ازای شعاع و عمق‌های متفاوت از چشمه استوانه‌ای سرب-۲۱۰ .....۱۲۸.....

جدول ۴-۴ میزان ضریب تبدیل دز مؤثر به ازای شعاع و عمق‌های متفاوت از چشمه استوانه‌ای توریوم-۲۳۲ .....۱۲۹.....

جدول ۴– ۵ میزان ضریب تبدیل دز مؤثر به ازای شعاع و عمق‌های متفاوت از چشمه استوانه‌ای اورانیوم-۲۳۴ .....۱۳۰.....

جدول ۴-۶ میزان ضریب تبدیل دز مؤثر به ازای شعاع و عمق‌های متفاوت از چشمه استوانه‌ای توریوم-۲۳۰ .....۱۳۱.....

جدول ۴-۷ میزان ضریب تبدیل دز مؤثر به ازای شعاع و عمق‌های متفاوت از چشمه استوانه‌ای رادیوم-۲۲۸ ..... ۱۳۲

جدول ۵-۱ ضرایب وزنی بافت بر اساس ICRP 2007 و ICRP 1991 ..... ۱۶۵

جدول ۵-۲ مقایسه نتایج ضریب تبدیل دز مؤثر در این پژوهش با مطالعات پیشین ۱۶۶

فهرست نمودارها

شکل ۱-۱ قدرت نفوذ انواع تابش‌ها .....۱۰۲.....

شکل ۱-۲ : چشمه‌های گسیلنده‌ی تابش .....۱۰۳.....

جدول۲-۱ ضرایب وزنی بافت، W_T ، برای بافت و اندام‌های مختلف .....۱۰۸.....

شکل ۳-۱ تعداد اتم‌های $U^{۲۳۸}$ بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه $U^{۲۳۸}$ .....۴۰۵.....

شکل ۳-۲ تعداد اتم‌های $Th^{۲۳۴}$ بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه $U^{۲۳۸}$ .....۴۰۶.....

شکل ۳-۳ تعداد اتم‌های $Pa^{۲۳۴}$ بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه $U^{۲۳۸}$ .....۴۰۶.....

شکل ۳-۴ تعداد اتم‌های $U^{۲۳۴}$ بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه $U^{۲۳۸}$ .....۴۰۷.....

شکل ۳-۵ تعداد اتم‌های $Th^{۲۳۰}$ بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه $U^{۲۳۸}$ .....۴۰۷.....

شکل ۳-۶ تعداد اتم‌های $Ra^{۲۲۶}$ بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه $U^{۲۳۸}$ .....۴۰۸.....

شکل ۳-۷ تعداد اتم‌های $Rn^{۲۲۲}$ بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه $U^{۲۳۸}$ .....۴۰۸.....

شکل ۳-۸ تعداد اتم‌های $Po^{۲۱۸}$ بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه $U^{۲۳۸}$ .....۴۰۹.....

شکل ۳-۹ تعداد اتم‌های $Pb^{۲۱۴}$ بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه $U^{۲۳۸}$ .....۴۰۹.....

شکل ۳-۱۰ تعداد اتم‌های $Bi^{۲۱۴}$ بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه $U^{۲۳۸}$ .....۵۰۰.....

شکل ۳-۱۱ تعداد اتم‌های $Po^{۲۱۴}$ بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه $U^{۲۳۸}$ .....۵۰۰.....

شکل ۳-۱۲ تعداد اتم‌های $Pb^{۲۱۰}$ بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه $U^{۲۳۸}$ .....۵۰۱.....

شکل ۳-۱۳ تعداد اتم‌های $Bi^{۲۱۰}$ بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه $U^{۲۳۸}$ .....۵۰۱.....

شکل ۳-۱۴ تعداد اتم‌های $Po^{۲۱۰}$ بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه $U^{۲۳۸}$ .....۵۰۲.....

شکل ۳-۱۵ تعداد اتم‌های $Pb^{۲۰۶}$ بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه $U^{۲۳۸}$ .....۵۰۲.....

شکل۳-۱۶ تعداد ایزوتوپ‌های زنجیره $U^{۲۳۸}$ پس از گذشت زمان $t = ۴/۴ \times ۱۰^{+۱۷} s$ .....۵۰۳.....

شکل ۳-۱۷ تعداد اتم‌های $Th^{۲۳۲}$ بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه $Th^{۲۳۲}$ .....۵۰۸.....

شکل ۳-۱۸ تعداد اتم‌های $Ra^{۲۲۸}$ بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه $Th^{۲۳۲}$ .....۵۰۸.....

شکل ۳-۱۹ تعداد اتم‌های ^{228}Ac بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه ^{232}Th ۵۹
شکل ۳-۲۰ تعداد اتم‌های ^{228}Th بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه ^{232}Th ۵۹
شکل ۳-۲۱ تعداد اتم‌های ^{224}Ra بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه ^{232}Th ۶۰
شکل ۳-۲۲ تعداد اتم‌های ^{220}Rn بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه ^{232}Th ۶۰
شکل ۳-۲۳ تعداد اتم‌های ^{216}Po بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه ^{232}Th ۶۱
شکل ۳-۲۴ تعداد اتم‌های ^{212}Pb بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه ^{232}Th ۶۱
شکل ۳-۲۵ تعداد اتم‌های ^{212}Bi بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه ^{232}Th ۶۲
شکل ۳-۲۶ تعداد اتم‌های ^{212}Po بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه ^{232}Th ۶۲
شکل ۳-۲۷ تعداد اتم‌های ^{208}Tl بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه ^{232}Th ۶۳
شکل ۳-۲۸ تعداد اتم‌های ^{208}Pb بر حسب زمان به ازای یک اتم اولیه ^{232}Th ۶۳
شکل۳-۲۹ تعداد ایزوتوپ‌های زنجیره ^{232}Th پس از گذشت زمان $t = ۴/۴ \times ۱۰^{+۱۷} s$ ۶۴
شکل ۴-۱ نمودار تعیین ناحیه اشباع ۷۱
شکل ۴-۲ نمودار تعیین شعاع بهینه با استفاده از داده‌های پتاسیم-۴۰ ..... ۷۳
شکل ۴-۳ نمودار تعیین عمق بهینه با استفاده از داده‌های پتاسیم-۴۰ ..... ۷۴
شکل ۴-۴ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه یکنواخت و همسانگرد پتاسیم-۴۰ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۵۰cm و عمق بهینه ۴۰cm ۷۷
شکل ۴-۵ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی اورانیوم-۲۳۸ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا ۷۹
شکل ۴-۶ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی اورانیوم-۲۳۴ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا ۸۰
شکل ۴-۷ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی سرب-۲۱۰ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا ۸۱

شکل ۴–۸ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی توریوم-۲۳۰ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا .....۸۲.....

شکل ۴–۹ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه یکنواخت و همسانگرد اورانیوم-۲۳۸ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۵۰cm و عمق بهینه ۴۰cm .....۸۴.

شکل ۴-۱۱ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه یکنواخت و همسانگرد اورانیوم-۲۳۴ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۵۰cm و عمق بهینه ۴۰cm .....۸۶.

شکل ۴– ۱۲ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه یکنواخت و همسانگرد توریوم-۲۳۰ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۵۰cm و عمق بهینه ۴۰cm .....۸۷.

شکل ۴–۱۳ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی توریوم-۲۳۴ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا .....۸۸.....

شکل ۴–۱۴ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه یکنواخت و همسانگرد توریوم-۲۳۴ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۵۰cm و عمق بهینه ۴۰cm .....۸۹.

شکل ۴-۱۵ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی پروتکتینیم-۲۳۴ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا .....۹۰.....

شکل ۴–۱۶ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه یکنواخت و همسانگرد پروتکتینیوم-۲۳۴ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۵۰cm و عمق بهینه ۴۰cm .....۹۱.

شکل ۴–۱۷ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی رادیوم-۲۲۶ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا .....۹۲.....

شکل ۴–۱۸ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه یکنواخت و همسانگرد رادیوم-۲۲۶ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۵۰cm و عمق بهینه ۴۰cm .....۹۳.

شکل ۴–۱۹ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی رادون-۲۲۲ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا .....۹۴.....

شکل ۴–۲۰ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه یکنواخت و همسانگرد رادون-۲۲۲ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۵۰cm و عمق بهینه ۴۰cm .....۹۵.

شکل ۴–۲۱ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی سرب-۲۱۴ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا ۹۶

شکل ۴-۲۳ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی بیسموت-۲۱۴ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا ۹۸

شکل ۴–۲۴ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه یکنواخت و همسانگرد بیسموت-۲۱۴ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۵۰cm و عمق بهینه ۴۰cm ۹۹

شکل ۴–۲۵ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی پلونیوم-۲۱۴ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا ۱۰۰

شکل ۴–۲۶ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه یکنواخت و همسانگرد پلونیوم-۲۱۴ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۵۰cm و عمق بهینه ۴۰cm ۱۰۱

شکل ۴–۲۷ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی بیسموت-۲۱۰ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا ۱۰۲

شکل ۴–۲۸ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه یکنواخت و همسانگرد بیسموت-۲۱۰ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۵۰cm و عمق بهینه ۴۰cm ۱۰۳

شکل ۴–۲۹ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی پلونیوم-۲۱۰ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا ۱۰۴

شکل ۴–۳۰ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه یکنواخت و همسانگرد پلونیوم-۲۱۰ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۵۰cm و عمق بهینه ۴۰cm ۱۰۵

شکل ۴–۳۱ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی توریوم-۲۳۲ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا ۱۰۷

شکل ۴–۳۲ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه یکنواخت و همسانگرد توریوم-۲۳۲ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۵۰cm و عمق بهینه ۴۰cm ۱۰۸

شکل ۴–۳۳ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی توریوم-۲۲۸ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا ۱۰۹

شکل ۴–۳۴ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه یکنواخت و همسانگرد توریوم-۲۲۸ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۵۰cm و عمق بهینه ۴۰cm ۱۰۱۰

شکل ۴–۳۵ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی رادیوم-۲۲۸ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا ۱۰۱۱

شکل ۴–۳۶ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه یکنواخت و همسانگرد رادیوم-۲۲۸ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۵۰cm و عمق بهینه ۴۰cm ۱۰۱۲

شکل ۴–۳۷ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی اکتینیوم-۲۲۸ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا ۱۰۱۳

شکل ۴–۳۸ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه یکنواخت و همسانگرد اکتینیوم-۲۲۸ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۵۰cm و عمق بهینه ۴۰cm ۱۰۱۴

شکل ۴–۳۹ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی رادیوم-۲۲۴ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا ۱۰۱۵

شکل ۴–۴۱ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی رادون-۲۲۰ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا ۱۰۱۷

شکل ۴–۴۲ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه یکنواخت و همسانگرد رادون-۲۲۰ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۵۰cm و عمق بهینه ۴۰cm ۱۰۱۸

شکل ۴–۴۳ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی پلونیوم-۲۱۶ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا ۱۰۱۹

شکل ۴– ۴۵ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی سرب-۲۱۲ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا ۱۰۲۱

شکل ۴–۴۷ طیف حاصل از فوتون‌های تابشی بیسموت-۲۱۲ موجود در خاک به ازای یک واپاشی از هر ایزوتوپ پرتوزا ۱۰۲۳

شکل ۴-۴۹ نمودار سه بعدی توریوم-۲۲۸ ..... ۱۰۲۶

شکل ۴-۵۰ نمودار سه بعدی اورانیوم-۲۳۸ ..... ۱۰۲۷

شکل۴– ۵۱ نمودار سه بعدی سرب-۲۱۰ .....۱۲۸.....

شکل ۴- ۵۲ نمودار سه بعدی توریوم-۲۳۲ .....۱۲۹.....

شکل ۴-۵۳ نمودار سه بعدی اورانیوم-۲۳۴ .....۱۳۰.....

شکل ۴-۵۴ نمودار سه بعدی توریوم– ۲۳۰ .....۱۳۱.....

شکل ۴-۵۵ نمودار سه بعدی رادیوم – ۲۲۸ .....۱۳۲.....

شکل ۴–۵۶ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه همسانگرد اورانیوم-۲۳۴ موجود در خاک با شعاع بهینه ۳۰۰cm و عمق بهینه ۸cm .....۱۳۴.....

شکل ۴–۵۷ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه همسانگرد توریوم-۲۳۰ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۰۰cm و عمق بهینه ۱۸cm .....۱۳۵.....

شکل ۴–۵۹ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه همسانگرد اورانیوم-۲۳۸ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۰۰cm و عمق بهینه ۱۰cm .....۱۳۷.....

شکل ۴–۶۰ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه همسانگرد توریوم-۲۳۲ موجود در خاک با شعاع بهینه ۴۰۰cm و عمق بهینه ۱۰cm .....۱۳۸.....

شکل ۴–۶۱ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه همسانگرد سرب-۲۱۰ موجود در خاک با شعاع بهینه ۳۰۰cm و عمق بهینه ۲cm .....۱۳۹.....

شکل ۴–۶۲ ضریب تبدیل دز جذبی اعضای بدن تحت پرتوگیری از چشمه همسانگرد رادیوم-۲۲۸ موجود در خاک با شعاع بهینه ۳۰۰cm و عمق بهینه ۲cm .....۱۴۰.....

شکل ۴-۷۸ ضریب تبدیل دز جذبی بافت سینه تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره اورانیوم-۲۳۸ به ازای یک مول از $U^{۲۳۸}$ .....۱۴۲.....

شکل ۴-۷۹ ضریب تبدیل دز جذبی بافت سینه تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره توریوم-۲۳۲ به ازای یک مول از $Th^{۲۳۲}$ .....۱۴۲.....

شکل ۴-۸۰ ضریب تبدیل دز جذبی بافت پوست تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره اورانیوم-۲۳۸ به ازای یک مول از $U^{۲۳۸}$ .....۱۴۳.....

شکل ۴-۸۱ ضریب تبدیل دز جذبی بافت پوست تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره توریوم-۲۳۲ به ازای یک مول از ^{232}Th ۱۰۴۳

شکل ۴-۸۲ ضریب تبدیل دز جذبی بافت ریه تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره اورانیوم-۲۳۸ به ازای یک مول از ^{238}U ۱۰۴۴

شکل ۴-۸۳ ضریب تبدیل دز جذبی بافت ریه تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره توریوم-۲۳۲ به ازای یک مول از ^{232}Th ۱۰۴۴

شکل ۴-۸۴ ضریب تبدیل دز جذبی سطح استخوان تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره اورانیوم-۲۳۸ به ازای یک مول از ^{238}U ۱۰۴۵

شکل ۴-۸۵ ضریب تبدیل دز جذبی سطح استخوان تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره توریوم-۲۳۲ به ازای یک مول از ^{232}Th ۱۰۴۵

شکل ۴-۸۶ ضریب تبدیل دز جذبی مغز استخوان تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره اورانیوم-۲۳۸ به ازای یک مول از ^{238}U ۱۰۴۶

شکل ۴-۸۷ ضریب تبدیل دز جذبی مغز استخوان تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره توریوم-۲۳۲ به ازای یک مول از ^{232}Th ۱۰۴۶

شکل ۵-۱ ضریب تبدیل دز جذبی بافت سینه تحت تابش چشمه همسانگرد پتاسیم-۴۰ و مقایسه آن با داده‌های FGR ۱۰۵۰

شکل ۵- ۲ ضریب تبدیل دز جذبی بافت سینه تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره اورانیوم-۲۳۸ و مقایسه آن با داده‌های FGR ۱۰۵۱

شکل ۵- ۳ ضریب تبدیل دز جذبی بافت سینه تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره توریوم-۲۳۲ و مقایسه آن با داده‌های FGR ۱۰۵۱

شکل ۵- ۴ ضریب تبدیل دز جذبی بافت پوست تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره اورانیوم-۲۳۸ و مقایسه آن با داده‌های FGR ۱۰۵۲

شکل ۵- ۵ ضریب تبدیل دز جذبی بافت پوست تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره توریوم-۲۳۲ و مقایسه آن با داده‌های FGR ۱۰۵۲

شکل ۵- ۶ ضریب تبدیل دز جذبی بافت پوست تحت تابش چشمه همسانگرد پتاسیم-۴۰ و مقایسه آن با داده‌های FGR ۱۵۳

شکل ۵- ۷ ضریب تبدیل دز جذبی بافت ریه تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره اورانیوم-۲۳۸ و مقایسه آن با داده‌های FGR ۱۵۴

شکل ۵- ۸ ضریب تبدیل دز جذبی بافت ریه تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره توریوم-۲۳۲ و مقایسه آن با داده‌های FGR ۱۵۴

شکل ۵-۹ ضریب تبدیل دز جذبی بافت ریه تحت تابش چشمه همسانگرد پتاسیم-۴۰ و مقایسه آن با داده‌های FGR ۱۵۵

شکل ۵- ۱۰ ضریب تبدیل دز جذبی سطوح استخوانی تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره اورانیوم-۲۳۸ و مقایسه آن با داده‌های FGR ۱۵۶

شکل ۵-۱۲ ضریب تبدیل دز جذبی بافت سطوح استخوانی تحت تابش چشمه همسانگرد پتاسیم-۴۰ و مقایسه آن با داده‌های FGR ۱۵۷

شکل ۵- ۱۳ ضریب تبدیل دز جذبی مغز استخوان تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره اورانیوم-۲۳۸ و مقایسه آن با داده‌های FGR ۱۵۸

شکل ۵-۱۴ ضریب تبدیل دز جذبی مغز استخوان تحت تابش ایزوتوپ‌های موجود در زنجیره توریوم-۲۳۲ و مقایسه آن با داده‌های FGR ۱۵۸

شکل ۵-۱۵ ضریب تبدیل دز جذبی بافت مغز استخوان تحت تابش چشمه همسانگرد پتاسیم-۴۰ و مقایسه آن با داده‌های FGR ۱۵۹

شکل ۵-۱۶ میزان ضریب تبدیل دز مؤثر تحت پرتوزایی عناصر موجود در زنجیره واپاشی اورانیوم-۲۳۸ و مقایسه آن با FGR ۱۶۲

شکل ۵-۱۷ میزان ضریب تبدیل دز مؤثر تحت پرتوزایی عناصر موجود در زنجیره واپاشی توریم-۲۳۲ و مقایسه آن با FGR ۱۶۳

شکل ۵-۱۸ میزان ضریب تبدیل دز مؤثر تحت پرتوزایی پتاسیم-۴۰ و مقایسه آن با FGR ۱۶۴.

فصل اول

پرتوزایی طبیعی

۱-۱ مقدمه

۱-۲ پرتوزایی طبیعی

۱-۳ قدرت نفوذ انواع تابش‌ها

۱-۴ آثار زیست شناختی تابش

۱-۱ مقدمه

جهان به طور طبیعی پر از مواد پرتوزا است. از این رو انسان در محیط پیرامون خود در معرض پرتو قرار دارد. پرتوهای یونیزانی که موجودات زنده همواره و بطور طبیعی در معرض تابش آنها قرار دارند، پرتوهای زمینه نامیده می‌شوند. منشأ این پرتوهای زمینه، پرتوهای کیهانی و مواد طبیعی موجود در پوستهٔ زمین می‌باشند. منابع طبیعی پرتوزا از بدو خلقت(آغاز پیدایش) کرهٔ زمین در آن وجود داشته اند و با گذشت زمان کاهش ناچیزی پیدا کرده‌اند. در حال حاضر حتی در مناطق عادی بیش از ۸۵ درصد پرتوگیری انسان از منابع طبیعی است. هسته‌های پرتوزای طبیعی شامل توریوم (^{۲۳۲}Th) و اورانیوم (^{۲۳۸}U) به همراه زنجیره واپاشی پرتوزای آنها و پتاسیم (^{۴۰}K) می‌باشد[۱]. در این فصل، تابش دریافتی از پرتوهای طبیعی موجود در خاک بررسی می‌شود.

۱-۲ پرتوزایی طبیعی

پرتوزایی، خاصیت هسته‌هایی است که منجر به گذار خود به خود از یک حالت هسته‌ای به حالت دیگر می‌شود. تابش‌ها معمولا زمانی گسیل می‌شوند که هسته تحت گذار هسته‌ای قرار می‌گیرد. تابش‌ها، انرژی‌ها و خواص خیلی متفاوتی دارند. اما وقتی در ماده جذب می‌شوند می‌توانند موجب یونش شوند، بنابراین آن‌ها را تابش‌های یونیزان می‌نامند.