بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده علوم‌پایه-گروه فیزیک

ارائه شده جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

عنوان پایان‌نامه:

شبیه‌سازی نسخه جدید فانتوم ORNL و دزسنجی آن برای چشمه‌های ^{252}Cf و $^{241}Am\text{-}Be$

استاد راهنما:

دکتر لاله رفعت متولی

استاد مشاور:

دکتر سید هاشم میری

نگارنده:

زهرا موردوئی

دی ماه ۱۳۹۰

یک روز نسیم خوش خبر می آید　　بس مژده به هر کوی و گذر می آید

عطر گل عشق در فضا می پیچد　　می آیی و انتظار سر می آید...

تقدیم به

ساحت مقدس مولایم مهدی موعود(عج)

و

بارگاه مقدس، هشتمین اختر تابناک ولایت

حضرت علی بن موسی الرضا(ع)

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم

تقدیم به همسر مهربانم

به صمیمیت باران

و تقدیم به خواهرانم سعیده، راضیه، رضوان و نرجس و زهرا السادات

که همیشه با دلگرمی شان قوت قلب من بوده اند.

سپاسگذاری

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان ساخت و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت. وظیفه خود می دانم از استاد عزیزم خانم دکتر لاله رفعت متولی که مرا در به ثمر رسانیدن این پایان نامه یاری نمودند کمال تشکر و سپاسگذاری را داشته باشم. از جناب آقای دکتر سید هاشم میری که رهنمون های ایشان در دوران تحصیل و تدوین این پایان نامه چراغ راه من بوده است بسیار سپاسگذارم. از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر جاویدان و جناب آقای دکتر محمدی بخاطر قبول زحمت مطالعه و داوری این پایان نامه، صمیمانه تشکر می کنم. از همسر عزیزم آقای سید ابوالحسن نور اشرف الدین که با دل و جان مرا در انجام این امر مهم یاری نمود بسیار سپاسگذارم. از دوست خوبم خانم اکرم عباسی ثانی که محبت های بی دریغش را فراموش نخواهم کرد کمال تشکر را دارم. و از همه کسانی که در این راه مرا یاری نمودند بسیار سپاسگذارم.

زهرا موردوئی - دی ماه ۱۳۹۰

چکیده

پرتوها در زندگی بشر کاربردهای زیادی دارند که بارزترین سهم آن‌ها در کاربردهای پزشکی، مثل استفاده در پرتونگاری و پرتودرمانی تشخیصی می‌باشد، همچنین کار با چشمه‌های پرتوزا در کارگاه‌ها و آزمایشگاه‌های تحقیقاتی از جمله کاربردهای مهم پرتوها در زندگی بشر است. از این رو که پرتوها چه اثری بر بافت‌های بدن دارند، روش‌های دزسنجی اهمیت فراوانی پیدا خواهند کرد. یکی از روش-های انجام محاسبات دزسنجی استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو است. دراین روش‌های محاسباتی یکسری پارامترها ازجمله، دز جذبی رسیده به اعضای مختلف بدن، دز معادل و دز مؤثر، محاسبه می‌شوند و برای محاسبه‌ی دز جذبی رسیده به اعضای بدن انسان بایستی هندسه‌ی مسئله به درستی شبیه سازی شود، که بدن انسان نیز جزء این هندسه‌ها است. مدل سه بعدی شبیه‌سازی شده از بدن انسان فانتوم نام دارد. این پایان نامه در جهت تصحیح فانتوم ریاضی بزرگسال اکرمن و کریستی انجام گرفته است و کار ما در این پژوهش تصحیح قسمت سر، گردن و مغز به همراه شبیه-سازی تمامی اعضای درون این نواحی به طور کامل، بر اساس نسخه‌ی MIRD-15 و جایگزینی آن به جای قسمت سر و گردن فانتوم قبلی بود و در نتیجه یک نسخه از فانتوم ریاضی مدل بزرگسالِ نزدیک‌تر به واقعیت بدن انسان طراحی شد. سپس کار دزسنجی چشمه‌های ^{241}Am-Be و ^{252}Cf را بر روی فانتوم تصحیح شده انجام دادیم. برای شبیه‌سازی نواحی مورد نظر در این مدل از کد محاسباتی مونت کارلو MCNP-4C استفاده شده است و پس از اتمام کارهای شبیه‌سازی فانتوم، پارامترهای دزسنجی مورد نظر، از طریقِ محاسبه با کد پیشرفته‌تر MCNPX صورت گرفت و نتایج بدست آمده شامل دز جذبی، دز معادل و دز مؤثر بافت‌های مختلف بدن در نمودارهای مختلف در دو فانتوم جدید و فانتوم قبلی بررسی و مورد مقایسه قرار گرفته شدند.

کلید واژه: دزسنجی، مونت‌کارلو، فانتوم، نسخه MIRD-15، ^{241}Am-Be، ^{252}Cf، MCNP-4C، MCNPX

فهرست

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ای بر دزسنجی

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ اهمیت دزسنجی ۴

۱-۳ کمیت‌های دزسنجی ۷

۱-۳-۱ دز جذبی ۷

۱-۳-۲ دز معادل ۸

۱-۳-۳ دز مؤثر و ضرایب وزنی بافت ۱۲

فصل دوم: فانتوم؛سیستم نرم‌افزاری دزسنجی بدن

۲-۱ مقدمه ۱۵

۲-۲ اثر پرتو بر بافت ۱۶

۲-۳ فانتوم انسان ۱۸

۲-۴ تاریخچه ۳۰

فصل سوم: روش‌های شبیه سازی مونت کارلو

۳-۵ چشمه $Am\text{-}Be^{241}$ ۳۶

۳-۶ چشمه Cf^{252} ۳۶

۳-۷ تعریف چشمه ۳۶

۳-۱ مقدمه ۳۷

۳-۲ روش مونت کارلو ۳۷

۳-۳ آشنایی باکد رایانه ای MCNP ۳۹

۳-۳-۱ استفاده از روش مونت کارلو در کد محاسبات نوترونی هسته‌ای ۳۹

۳-۳-۲ کد MCNP ۴۱

۳-۴ شبیه سازی فایل ورودی MCNP در این پایان نامه ۵۱

۳-۵ چشمه $Am\text{-}Be^{241}$ ۵۲

۳-۶ چشمه ^{۲۵۲}Cf ۵۴
۳-۶-۱ شکافت خودبه خود کالیفرنیم ۵۵
۳-۶-۲ اشعه گامای ناشی از واپاشی آلفای ایزوتوپ ^{۲۵۲}Cf ۵۵
۳-۷ تعریف چشمه ۵۶

فصل چهارم: شبیه سازی کامل ناحیه سر و گردن و مغز در فانتوم بزرگسال ORNL با کد MCNP

۴-۱ مقدمه ۶۰
۴-۲ بررسی مدلهای سر و مغز طراحی شده قبلی ۶۰
۴-۳ مدل جدید سر و مغز طراحی شده در نسخه MIRD-15 ..... ۶۰
۴-۱ مقدمه ۶۱
۴-۲ بررسی مدلهای سر و مغز طراحی شده قبلی ۶۲
۴-۳ مدل جدید سر و مغز طراحی شده در نسخه MIRD-15 ..... ۶۸
۴-۴ توصیف مدل کامل و جدید سر و مغز در فانتوم ریاضی بزرگسال ۷۰
۴-۴-۱ توصیف شکل سر در این مدل جدید ۷۰
۴-۴-۲ توصیف پوست سر ۷۴
۴-۴-۳ توصیف نواحی استخوانی ۷۶
۴-۴-۳-۱ جمجمه : ۷۶
۴-۴-۳-۲ دندان‌ها ۷۷
۴-۴-۳-۳ فک ۷۸
۴-۴-۳-۴ ناحیه بالای صورت(استخوان صورت) : ۷۹
۴-۴-۴ توصیف نواحی مربوط به ستون فقرات ۷۹
۴-۴-۵ توصیف نواحی متشکل از بافت نرم(به غیر از مغز) ۸۱
۴-۴-۵-۱ مایع نخاعی-مغزی درون ناحیه جمجمه‌ای: ۸۱
۴-۴-۵-۲ چشم‌ها : ۸۲
۴-۴-۵-۳ تیروئید : ۸۲
۴-۴-۵-۴ غدد بزاقی ۸۳
۴-۴-۶ توصیف مغز و اعضای داخل مغز در مدل جدید سر و گردن فانتوم بزرگسال ۸۶
۴-۴-۶-۱ قشر مخ ۸۶

۴-۴-۶-۲ مخچه ۸۸
۴-۴-۶-۳ تالاموس ۸۸
۴-۴-۶-۴ بطن سوم ۸۹
۴-۴-۶-۵ بطن های جانبی ۸۹
۴-۴-۶-۶ هسته‌های دمدار ۹۰
۴-۴-۶-۷ هسته‌های عدسی شکل ۹۰
۴-۴-۶-۸ ماده سفید ۹۱

فصل پنجم: دزسنجی فانتوم تصحیح شده

۵-۱ مقدمه ۹۴
۵-۲ حد دز سالانه برای فرد پرتوکار ۹۵
۵-۳ شبیه سازی مدل MIRD-15 ..... ۹۵
۵-۴ تعریف چشمه ۹۷
۵-۵ برنامه خروجی ۹۹
۵-۶ بررسی حالات در نظر گرفته شده برای چشمه ها ۱۰۲
۵-۶-۱ چشمه $Am\text{-}Be^{124}$ در حالت AP در فانتوم تصحیح شده ۱۰۳
۵-۶-۲ برهمکنش پتانسیلی و کند شدن نوترون‌ها ۱۰۶
۵-۶-۳ چشمه cf^{252} در حالت AP در فانتوم تصحیح شده ۱۰۸
۵-۷ بررسی تفاوت محاسبات دز جذبی میان دو فانتوم قبلی و فانتوم تصحیح شده ۱۱۱
۵-۷-۱ چشمه $Am\text{-}Be^{124}$ ۱۱۱
۵-۸ مقایسه هندسه‌های مختلف برای چشمه ها ۱۲۰
۵-۸-۱ منحنی‌های دز جذبی معده در هندسه‌های مختلف ۱۲۱
۵-۸-۲ منحنی‌های دز جذبی چشم در فانتوم تصحیح شده در هندسه‌های مختلف ۱۲۴
۵-۸-۳ منحنی‌های دز جذبی چشم در فانتوم تصحیح شده در هندسه‌های مختلف برای چشمه $Am\text{-}Be^{241}$ ۱۲۷
۵-۸-۴ منحنی‌های دز جذبی تیروئید در فانتوم تصحیح شده در هندسه‌های مختلف برای چشمه $Am\text{-}Be^{241}$ .. ۱۲۸
۵-۸-۵ منحنی‌های دز جذبی تیروئید در فانتوم تصحیح شده در هندسه‌های مختلف برای چشمه Cf^{252} ۱۳۱
۵-۸-۶ منحنی‌های دز جذبی مخچه در فانتوم تصحیح شده در هندسه‌های مختلف ۱۳۳
۵-۹ بررسی تفاوت منحنی های دز جذبی ناشی از دو چشمه $Am\text{-}Be^{241}$ و Cf^{252} ۱۳۵

۵-۹-۱ دز جذبی جمجمه‌ی فانتوم تصحیح شده ناشی از دو چشمه پژوهش ۱۳۶
۵-۹-۲ دز جذبی تیروئید فانتوم تصحیح شده ناشی از دو چشمه این پژوهش ۱۳۸
۵-۹-۳ دز جذبی کلیه‌ها در فانتوم تصحیح شده ناشی از دو چشمه این پژوهش..... ۱۴۰
۵-۹-۴ دز جذبی Testie در فانتوم تصحیح شده، ناشی از دو چشمه این پژوهش ۱۴۲
۵-۱۰ بالاترین و پایین‌ترین میزان دز جذبی برای اعضای مختلف بدن فانتوم تصحیح شده در چشمه امرسیوم-برلیوم در هندسه های مختلف ۱۴۴
۵-۱۰-۱ ماکزیمم و مینیمم در هندسه AP..... ۱۴۴
۵-۱۰-۲ ماکزیمم-مینیمم در هندسه LLAT..... ۱۴۵
۵-۱۰-۳ ماکزیمم- مینیمم در هندسه PA..... ۱۴۵
۵-۱۰-۴ ماکزیمم- مینیمم در هندسه RLAT ۱۴۶
۵-۱۱ ماکزیمم و مینیمم مقدار دز جذبی ناشی از ذرات گسیل شده برای اعضای مختلف بدن فانتوم تصحیح شده در چشمه کالیفرنیوم در هندسه های مختلف..... ۱۴۸
۵-۱۱-۱ هندسه AP و چشمه ^{۲۵۲}Cf ۱۴۸
۵-۱۱-۲ هندسه LLAT و چشمه ^{۲۵۲}Cf ۱۴۸

فصل ششم: دز معادل و دز مؤثر

۶-۱ مقدمه ۱۵۲
۶-۲ دز معادل نوترون چشمه‌های ایزوتوپی ۱۵۴
۶-۳ محاسبات دز مؤثر ۱۵۹

مراجع ۱۶۴
پیوست‌ها : ۱۶۸

فصل اول

مقدمه‌ای بر دزسنجی

۱-۱ مقدمه

۱-۲ اهمیت ضرورت دزسنجی

۱-۳ کمیت‌های دز سنجی

۱-۱ مقدمه

زمانی که به اطراف انسان نگاه می‌کنیم می‌بینیم که انسان‌ها ناخواسته در معرض تابش‌های یونندە هستند که این تابش‌های یونندە علاوه بر تابش‌های طبیعی که از فضای خارج و نیز از هسته‌های رادیواکتیو موجود در صخره ها ، ساختمان ها ، هوا و حتی بدن خودمان به ما می رسند، شامل تابش‌های مصنوعی نیز می‌شوند. که این منابع مصنوعی از طریق استفاده بشر از مواد رادیواکتیو در صنعت، پزشکی، کارهای آزمایشگاهی و تحقیقاتی ... بوجود آمده اند.

منابع اصلی تابشهای یونساز:

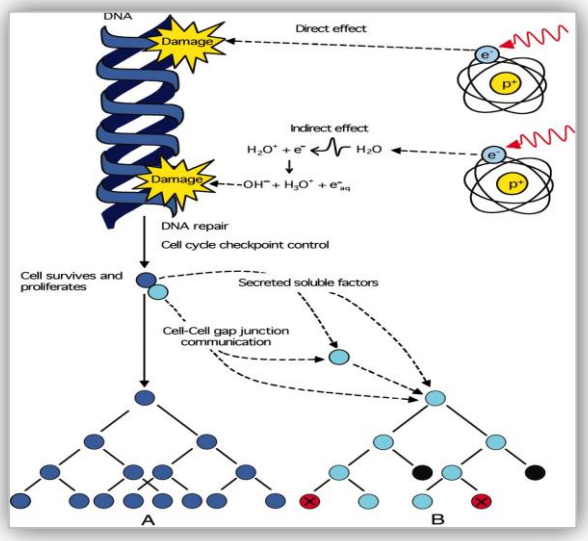
- ❖ پرتوهای کیهانی
- ❖ تابشهای زمینه از منابع مصنوعی
- ❖ واپاشی هسته‌های رادیواکتیو درون خاک وصخره ها
- ❖ هسته‌های پرتوزایی که در سوخت و ساز بدن دخیل هستند؛مثل ^{40}K

به عنوان مثال هسته‌ی پرتوزای ^{40}K بارزترین هسته ایست که در بدن یافت میشود و می‌تواند در بدن هر سه نوع واپاشی βزا را انجام دهدکه همراه با گسیل الکترون و آزادسازی ۱٫۳۲ MeV انرژی جنبشی است.امروزه با توجه به نقش مهم پرتوهای یونساز در زندگی بشر در مواجهات شغلی، از

جمله صنعت، پزشکی، تولید نیرو و... استفاده از این پرتوها امری اجتناب ناپذیر است و از این رو باید جهت حفظ کاربرانی که با پرتوهای یونیزان سر و کار دارند اقدامات مهمی انجام داد. بارزترین سهم استفاده از پرتوها، از کاربردهای پزشکی تابش‌های یونساز در پرتونگاری و پرتودرمانی تشخیصی، ناشی می شود.

با توجه به خواص مواد رادیواکتیو، آسیب زیستی این مواد پرتوزا بر روی بافت‌های بدن موجود زنده بررسی می‌شود. مواد رادیواکتیو موادی هستند که بدون اعمال نیروی خارجی، از خود انرژی تابش می‌کنند. مواد رادیواکتیو می توانند تابنده خالص فوتون، تابنده خالص آلفا، بتا و یا ترکیبی از آلفا و فوتون، یا بتا و فوتون و نوترون باشند. . اثر پرتوهای یونیزه کننده بیولوژیکی است. آسیب زیستی ناشی از گونه‌های مختلف تابش را می‌توان برحسب اثر بخشی آن در ایجاد شکست در تارهای DNA بیان نمود واین امر باعث آسیب سلولی و چه بسا مرگ سلول شود. از جمله آسیب‌هایی که تابش یونساز بر مولکول DNA می‌گذارد، ایجاد سرطان وآسیب های وراثتی است. بنابراین تابش یوننده به DNA سلول آسیب می‌رساند ولی با آهنگ بسیارکم ودر نتیجه باعث تخریب سلولی می‌شود.

در شکل ۱ اثر پرتو یونیزان بر روی DNA نشان داده شده است.



شکل۱-۱ اثر پرتو در شکستن DNA

۱-۲ اهمیت دزسنجی

همان‌طور که گفته شد امروزه از مواد رادیواکتیو استفاده‌های زیادی می‌شود. به‌طوری‌که در جوامع صنعتی نزدیک به یک هزار عنوان شغلی برای کارکنان با پرتو و مواد رادیواکتیو تعریف شده است. همچنین برای مقاصد تشخیصی ودرمانی در پزشکی بسیار سودمند می‌باشند. بنابراین شناخت و چگونگی استفاده از مواد رادیواکتیو ضروری به نظر می‌رسند.

در زمینه پرتو درمانی در امر پزشکی، برای درمان بیشتر سرطان‌ها و بیماری‌های جدید از پرتوها به عنوان درمان اصلی و یا بخشی از مراحل درمانی استفاده می‌شود. پرتوهای مورد استفاده غالباً پرتوهای فوتونی و الکترونی می‌باشند. همچنین ذرات پروتون، آلفا و یون‌های سنگین را نیز شامل می‌شود.

که هدف اصلی استفاده از این پرتوها، انتقال انرژی پرتو به عضو هدف و یا به منطقه‌ی سلول‌های سرطانی و همچنین حفاظت از بافت‌های سالم اطراف آن است. . داروهایی که برای امر پزشکی هسته‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند رادیوداروهایی هستند که به شکل خوراکی و یا تزریق وریدی استفاده می‌شوند.

بنابراین باتوجه به حضور پرتوها در زندگی روزانه بشر دسترسی به روش‌های برتر دزسنجی اهمیت فراوانی پیدا می‌کند. دزسنجی پرتو، محاسبه‌ی دز جذب شده در بدن یا ماده، ناشی از درمعرض اشعه‌ی یونیزان قرار گرفتن است حال چه مستقیم و چه غیرمستقیم.

این علم تخصصی در زمینه‌های فیزیک بهداشت و فیزیک پزشکی است که بر روی محاسبه‌ی دُز داخلی و خارجی ناشی از اشعه‌ی یونیزان متمرکز شده است. دز جذبی به صورت انرژی ذخیره شده در واحد جرم ماده تعریف می‌شود.

یکی از فعال‌ترین حوزه‌های تحقیقاتی در زمینه‌های ۱) حفاظت در برابر پرتو و تشعشعات یونیزان، ۲) تصویربرداری‌های انجام شده از بدن انسان و ۳) پرتو درمانی، شبیه‌سازی بدن انسان به صورت تشریحی و کامل بر اساس روش‌های شبیه‌سازی مونت کارلو به‌شکل شبیه‌سازی حرکت پرتو و ثبت تاریخچه هر ذره تولید شده از پرتو و محاسبه دُز می‌باشد. دزسنجی پرتو یونیزان به منظور تخمین مقدار و توزیع انرژی ناشی از تابش‌های داخلی و خارجی در قسمت‌ها و اعضای مختلفِ بدن انسان تعریف و بیان شده است. روش‌های شبیه‌سازی مونت کارلو بر مبنای شبیه‌سازی ویژگی چشمه پرتوزا و شرایط و حالت‌های مختلف پرتودهی آن و همچنین بدن انسان و خصوصیات ناحیه درمانی می-باشند و اگر شبیه‌سازی به طور دقیق و خیلی نزدیک به حالت واقعی صورت گیرد قادر به تخمین دقیق توزیع دز در ناحیه هدف مورد نظر خواهد بود.

برای حفاظت از بشر در برابر تابش‌های یوننده در مواجهات شغلی، ، توسط کمیته‌های حفاظتی مثل ICRP، یکسری حدود قانونی برای دز تابشی رسیده به تمامی اندام‌های بدن(مخصوصاً برای اعضای حساس به پرتو در بدن مثل چشم‌ها، غدد جنسی) تعیین و در نظر گرفته شده است.

همانطور که گفته شد مراحل شبیه‌سازی در امر حفاظت و یا درمان به دو صورت می‌باشد یکی شبیه‌سازی چشمه‌ی پرتوزاست که این روش‌ها قادر به شبیه‌سازی هر نوع چشمه‌ای با مشخصات طیف انرژی، نوع ذره‌ی گسیل شده از چشمه و هندسه چشمه(نوع هندسه : سطحی، نقطه‌ای، حجمی و همچنین مختصات مرکز چشمه شبیه‌سازی شده در حالت‌های AP، PA، LLAT و RLAT که بعدا شرح داده خواهد شد) می‌باشد. مرحله بعد شامل شبیه‌سازی بدن انسان به طور آناتومی و بر اساس معادلات ریاضی است. به مدل‌های سه بعدی شبیه‌سازی شده از بدن انسان فانتوم می‌گویند. فانتوم‌هایی که بر اساس معادلات ریاضی شبیه‌سازی می‌شوند فانتوم‌های ریاضی نامگذاری شده اند و مدل‌های واقعی بدن انسان را که برای هر شخص تهیه می‌شود فانتوم‌های وُکسِل می‌نامند.

فانتوم‌های وکسل دارای پیچیدگی خاصی هستند به همین علت همیشه نمی‌توان از این فانتوم‌ها بر خلاف واقعی‌تر بودنشان، در محاسبات دزسنجی استفاده کرد و فانتوم‌های ریاضی که فانتوم‌های ساده‌تر و راحت‌تری هستند در محاسبات دزسنجی ارجحیت بیشتری دارند. از سال ۱۹۶۸ کمیته‌ی MIRD برای اولین بار الگوریتم محاسبه‌ی دز رسیده به بدن را تحت عنوان الگوی MIRD تدوین کرد و از آن زمان به بعد فانتوم‌های ریاضی توسط دانشمندان مختلف طراحی و اصلاح شده‌اند. اولین مدل ناهمگن بدن انسان به منظور محاسبه دز جذبی تابش داخلی در پرتوپزشکی در سال ۱۹۷۰ در آزمایشگاه ملی Oak با استفاده از داده‌های تشریحی "مرجع مرد" که توسط کمیته بین المللی حفاظت رادیولوژیک (ICRP) طراحی و ارائه شد.

بدن طراحی شده، بوسیله‌ی استوانه‌های بیضی شکل(مثل سر، نیم تنه و بازوها) و ساق پاها به صورت مخروط های بیضوی بریده شده تعریف شد. این مدل به مدل فانتوم ریاضی MIRD معروف است. در فاصله زمانی سال های ۱۹۸۰ تا ۱۹۸۵ فانتوم ریاضی کریستی از مؤسسه‌ی ORNL پس از اشنایدر با تفاوت در چگالی‌ها و ترکیب شیمیایی برای بافت‌های ریه و اسکلت و بافت نرم طراحی و اصلاح شد. این نوع فانتوم با نام مدل ORNL معرفی شد، که این سری از فانتوم‌ها شامل دو جنس مرد و زن در شش گروه سنی مختلف، بر اساس نتایج قبلی به صورت شبیه‌تر به بدن انسان طراحی شد. و تصحیحات بر روی این دو فانتوم در طی سالیان متوالی انجام شد تا مدل‌های دقیق‌تر و شبیه‌تر به مدل واقعی بدن انسان طراحی شد و بدین گونه دزسنجی با تخمین بهتر و دقیق‌تر انجام می‌شد. این اقدامات به‌دلیل ضرورت دزسنجی انجام شده است.

۱-۳ کمیت‌های دزسنجی

هدف از دزسنجی، بررسی خطرات احتمالی ناشی از تشعشعات یونیزان و یا به عبارتی تخمین آسیب رسیده از پرتو به بدن موجود زنده است. این مسئله به‌خصوص برای کسانی که به دلیل موقعیت شغلی خود به صورت مستمر در معرض تشعشع ناشی از سیستم‌های هسته‌ای هستند حائز اهمیت بیشتری می‌باشد. همیشه تلاش بر این بوده است که این موقعیت کمترین آسیب را برای کاربران خود به دنبال داشته باشد. تخریب بافت و انرژیی که در بافت ذخیره می‌شود رابطه‌ی مستقیم با هم دارند. به همین دلیل استانداردهایی در سطح دنیا بوجود آمده است که برای افراد پرتوکار حد پرتوگیری را در یک بازه زمانی مشخص بر حسب کمیت‌های فیزیکی معنی‌دار مشخص می‌کند. بنابراین کمیته بین المللی یکاها و کمیت‌های تابش ICRU و کمیته بین المللی حفاظت در برابر پرتو ICRP یکسری کمیت‌های دزسنجی برای تخمین انرژی رسیده به بدن به‌صورت‌های زیر معرفی کرده است. یکی از این کمیت‌ها کمیت محاسباتی دز جذبی است این مؤسسات دز جذبی را به عنوان کمیت دزسنجی به شکل زیر تعریف کرده‌اند:

۱-۳-۱ دز جذبی

دز جذبی در یک نقطه از ماده، D، به‌صورت مقدار انرژی جذب شده در واحد جرم آن ماده تعریف و بیان می‌شود.

$$D = \frac{dE}{dm} \qquad ۱-۱$$

که dE معرف انرژی جذب شده ناشی از تابش در جرم dm از ماده می‌باشد. یکای دز جذب شده در دستگاه cgs راد است که به‌صورت:

$$۱ \ \text{rad} = ۱۰۰ \ \text{erg/g}$$

تعریف می‌شود.

واحد این کمیت در دستگاه SI، گری می‌باشد. است که به‌صورت زیر تعریف می‌شود :

$$۱\ Gy = ۱\ \ J/kg = ۱۰۰ rad$$

یکای راد و گری به نوع پرتو و ماده بستگی ندارد. ۱ گری دز دریافتی ناشی از تابش است که در هر کیلوگرم از بافت بدن موجود زنده یک ژول انرژی ذخیره شده است.[۱]

به متوسط انرژی ذخیره شده در واحد جرم عضو T ناشی از تشعشع پرتو R - دز جذبی عضو - " $D_{T,R}$ " می‌گویند.

۱-۳-۲ دز معادل[۱]

اگرچه دز جذبی اعضای بدن در محاسبات دزسنجی از مباحث ضروری محسوب می‌شود اما این کمیت در اهداف مربوط به امر حفاظتی در برابر تشعشعات، یک کمیت مناسب محسوب نمی‌شود زیرا اثر مخربی که پرتو در بافت ایجاد می‌کند علاوه بر انرژیی که در بافت رسوب می‌شود به عوامل دیگری نیز بستگی دارد یکی از این عوامل اثر نوع و انرژی پرتو است به‌طور واضح‌تر، ممکن است دو ذره متفاوت انرژی یکسانی را در بافت ذخیره کنند اما اثر تخریبی‌ای که به عضو مورد نظر وارد می-کنند متفاوت باشد. که این تفاوتِ در اثر تخریبیِ عضو، مربوط به اندرکنش‌هایی است که ذراتِ پرتو(بنا به نوع پرتو) با بافت عضو انجام می‌دهند. به عنوان نمونه، نوترون در برخورد با ماده تولید ذرات باردار سنگین می‌نماید که می‌توانند الکترون‌های ثانویه و یا ذرات باردار سنگین دیگری ایجاد کنند و در این اندرکنش‌ها اصولاً نوع اتم تغییر می‌کند در نتیجه اثر تخریبی بیشتری نسبت به الکترون‌های ثانویه‌ی تولید شده از پرتو فوتونی تابیده شده به عضو مورد نظر دارد. با توجه به این

۱. Equivalent dose

دلایل کمیت دیگری با نام " دز معادل " تعریف شد. که در این کمیت اثر نوع پرتو توسط ضرایب وزنی تابشِ[۱] W_R در محاسبات اعمال می‌شود. کمیت دز معادل به صورت زیر تعریف می‌شود :

$$H_T = \sum_R W_R \times D_{T,R} \qquad ۲-۱$$

در این معادله H_T دز معادل در عضو یا بافت، T و $D_{T,R}$ متوسط دز جذبی و W_R ضریب وزنی تابش برای پرتو R است. ضریب وزنی تابش برای فوتون‌ها با انرژی‌های متفاوت مقدار ۱ را دارد اما نوترون‌ها با توجه به انرژی‌ای که دارند W_R شان بر طبق روابط صفحه بعد تعریف می‌شود.

$$W_R = \begin{cases} ۲/۵ + ۱۸/۲\, e^{-[\ln(E_N)]^۲/۶} & \text{و} \quad E_n < ۱\ \text{MeV} \\ ۵/۰ + ۱۷/۰\, e^{-[\ln(۲E_N)]^۲/۶} & \text{و} \quad ۱\ \text{Mev} \le E_n \le ۵۰\ \text{MeV} \\ ۲/۵ + ۳/۲۵\, e^{-[\ln(۰/۰۴E_N)]^۲/۶} & \text{و} \quad E_n > ۵۰\ \text{MeV} \end{cases} \qquad ۳-۱$$

در معادلات بالا E_n انرژی نوترون می‌باشد.

جدول ۱-۱ ضرایب وزنی تابش پیشنهادی مؤسسه ICRP برای انواع چشمه‌های داخلی و خارجی

ضرایب وزنی تابش W_R	نوع پرتو
۱	فوتون‌ها
۱	الکترون‌ها و میون‌ها
۲	پروتون و پایون‌های باردار
۲۰	ذرات آلفا، پاره‌های شکافت، یون‌های سنگین
تابعی پیوسته از انرژی نوترون (معادلات ۱-۳)	نوترون‌ها

۲. Radiation weighting factor

در اوایل سال ۱۹۶۰ اثر پرتوها و وزن آنها در تعریف کمیت‌های حفاظتی رادیولوژیکی، بر اساس پارامتر کیفیت تابش (radiation quality factor)، Q، که از محاسبات LET[۱] بدست آمده نمایان می‌شد. که در نسخه‌ی شماره ۲۶ از ICRP منتشر شده بود(ICRP,۱۹۷۷).

انتقال خطی انرژی (LET) انرژی منتقل شده در واحد طول مسیر است. واحد ویژه‌ای که معمولاً برای این کمیت مورد استفاده قرار می گیرد، کیلوالکترون ولت در میکرومتر (keV/μm) در واحد چگالی ماده است. این یکا، در زمانِ استفاده از روش LET در محیط زیستی بدن موجود زنده و امر دزسنجی حفاظت بیان می‌شود.

کمیته بین المللی یکاهای مربوط به پرتوها این کمیت را در سال ۱۹۶۲ به صورت زیر تعریف کرده است:

انتقال خطی انرژی(L) ذرات باردار در محیط، نسبت dE/dl است که dE، انرژی متوسط واگذار شده به صورت موضعی به محیط توسط یک ذره باردار با انرژی مشخص در فاصله dl می‌باشد:

یعنی : $$L = dE/dl$$

به عبارتی LET مقیاسی برای اندازه‌گیری انرژی منتقل شده به مواد ناشی از پرتو رسیده به ماده در طی مسیرش است. که از این روش برای تعیین اثر نوع پرتو در انتقال انرژی به ماده و بررسی اثر زیستی که بر ماده دارد استفاده می‌شود.

با انتشار نسخه‌ی ICRP-60 روش تعیین وزن تابش در کمیت‌های دز معادل و همچنین دز مؤثر تغییر یافته است. این کمیته یک مجموعه‌ای کلی از ضرایب وزنی تابش با نام W_R را در نظر گرفت که برای تعاریف کمیت‌های دز معادل و دز مؤثر که کمیت‌های بسیار مناسبی در زمینه فیزیک حفاظت در برابر پرتوها هستند ضرایب مناسبی می‌باشند. این W_Rها بر اساس اثر نسبی

۱. Linear energy transfer