

محاسبه دوز جذبی پوست برای بعضی گسیلنده‌های بتا با کد VARSKIN^۲

علی اصغر مولوی^{۱*}، اعظم سادات افضل^۲

۱- دانشیار گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم سبزوار، ایران

۲- کارشناس ارشد فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم سبزوار، ایران

تاریخ دریافت: ۸۷/۹/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۸۸/۳/۳۰

چکیده

مقدمه: دوز جذبی در پوست و توزیع دوز عمقی بعضی چشمه‌های گسیلنده بتا که ممکن است سبب آلودگی پوست یا پوشش محافظ آن به مواد رادیو اکتیو گردد با استفاده از کد VARSKIN^۲ محاسبه شده است.

مواد و روشها: در این پژوهش دوز جذبی در پوست بر حسب عمق پوست برای رادیوایزوتوپ‌های گسیلنده بتا ^{۹۰}Sr ، ^{۱۴۷}Pm و ^{۳۲}P با استفاده از پارامترهای ورودی مورد نیاز: قدرت چشمه، ضخامت ماده پوشاننده، چگالی ماده پوشاننده، ضخامت لایه هوا از چشمه تا پوست، زمان تابش و هندسه‌های مختلف چشمه محاسبه شده است.

نتایج: تغییرات دوز جذبی در پوست بر حسب عمق پوست برای چشمه‌های گسیلنده بتا با هندسه‌های نقطه‌ای، دیسک دوبعدی، استوانه‌ای، کره‌ای و بره‌ای محاسبه شده است؛ چشمه استوانه‌ای در هر سه نمونه ایزوتوپ مورد بررسی به عنوان بهترین چشمه به لحاظ حفاظت تابشی و وارد کردن کمترین آسیب به سلول‌های پوست تشخیص داده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری: کد VARSKIN^۲ با سرعت، دقت بالا و کاربرد آسان توسط کاربر ابزار مناسبی برای دوزیمتری پوست می‌باشد و می‌توان از آن برای بهینه‌سازی دوز تابشی چشمه‌های بتا در درمان سرطان پوست استفاده نمود. (مجله فیزیک پزشکی ایران، دوره ۶، شماره ۳ و ۴، پیاپی (۲۴ و ۲۵)، پاییز و زمستان ۸۸: ۸۱-۷۳)

واژگان کلیدی: چشمه‌های بتا؛ آلودگی پوست با مواد رادیو اکتیو؛ دوز جذبی؛ کد VARSKIN^۲

۱- مقدمه

بخصوص قرار می‌گیرد سرعت دفع نیز به طبیعت شیمیایی ایزوتوپ رادیو اکتیو بستگی دارد [۱]. کمیسیون بین المللی حفاظت در برابر تابش‌ها (ICRP) به منظور تعیین استانداردهای ایمنی تابش سه نوع پرتوگیری را مشخص کرده است که عبارتند از:

۱- پرتوگیری شغلی اشخاص بالغ هنگام کار با تابش یونساز: (الف) زنان باردار، (ب) سایر پرتوکاران.

۲- پرتوگیری عامه مردم در جامعه: (الف) تک تک افراد جامعه، (ب) گروه‌های جمعی.

۳- پرتوگیری پزشکی: بیماران و اشخاصی را که به خاطر مسائل تشخیصی و درمانی ناچار از پرتوگیری هستند، شامل می‌گردد.

ICRP هیچ حد دوز خاصی را برای پرتوگیری پزشکی توصیه نکرده است، اما تاکید کرده است که فقط در صورت لزوم و بر

بررسی اثرات مخرب تشعشع‌های رادیو اکتیو در حوادث مانند غیوب رآکتورهای اتمی، انفجارهای اتمی و با دیگر سوانح هسته‌ای که سبب آلودگی پوستی و یا داخلی بدن می‌شود؛ بسیار حائز اهمیت است. شدت آسیب وارده به سلول‌های بدن بستگی به مقدار انرژی جذب شده ناشی از پرتو در مدت معین دارد. مواد رادیو اکتیو از راه‌های مختلف مانند تنفس ذرات رادیو اکتیو معلق در هوا، مصرف مواد خوراکی آلوده، جذب از راه پوست، و ورود از طریق سائیدگی‌ها و زخم‌های پوست وارد بدن می‌شوند. هر آلوده کننده رادیو اکتیو بعد از ورود به بدن در یک عضو

* نویسنده مسؤول: علی اصغر مولوی

آدرس: گروه فیزیک دانشگاه تربیت معلم سبزوار، سبزوار
amowlavi@sttu.ac.ir

تلفن: ۰۴۴۱۰۱۰۴-۹۸ (۵۷۱)

جامعیت، سرعت و دقت دوز محاسبه شده و استفاده آسان توسط کاربر از مشخصات کد VARSKIN² است، که می‌توان از آن برای بهینه‌سازی دوز تابشی جهت ایمنی هر چه بیشتر بیمار ضمن پرتودهی پزشکی استفاده نمود.

۲- مواد و روشها

کد کامپیوتری VARSKIN² که توسط مرکز اطلاعات و محاسبات ایمنی پرتو^۱ برای محاسبه دوز تابش‌های پرتوزای که منجر به صدمات پوستی می‌شود به کار می‌رود، در محیط ویندوز قابل اجرا است. پس از نصب VARSKIN با اجرای فایل EXE، تماس کاربر با اطلاعات کد اصلی فراهم می‌شود. هسته پرتوزا از کتابخانه کاربر انتخاب می‌شود، که در آن واحد قراردادی اندازه‌گیری فعالیت میکروکوری^۲ می‌باشد، VARSKIN² شامل دو کتابخانه برای هسته‌های پرتوزا است، یک کتابخانه شامل داده‌هایی برای ۸۳۸ هسته پرتوزا و دیگری فقط شامل هسته‌های اضافه شده توسط کاربر می‌باشد. در VARSKIN² می‌توان دوز کل ناشی از مخلوطی از گسیل کننده‌های ذرات بتا را نیز محاسبه کرد. VARSKIN² از الگوریتم‌های پیشرفته‌ای برای محاسبه دوز پوستی استفاده می‌کند که امتیاز استفاده از کامپیوتر شخصی پیشرفته را دارد و دقت محاسبات را افزایش می‌دهد. هنگامی که پارامترها و هندسه‌ی مطلوب انتخاب شد محاسبه شروع می‌شود، زمان محاسبه به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر تعداد هسته پرتوزا استفاده شده و انتخاب‌های دیگر پارامترها می‌باشد. دوزهای متوسط گرفته شده روی حجم به زمان طولانی برای محاسبه شدن نیاز دارند. هسته محاسباتی کد VARSKIN² برای تعیین دوز، یک برنامه فرترن است. برنامه اصلی که داده‌های ورودی را جمع‌آوری نموده و داده‌های خروجی را نمایش می‌دهد بر اساس ویژوال بیسیک نوشته شده است. ابتدا کد کامپیوتری VARSKIN² راه-اندازی شد. سپس هندسه‌های مورد استفاده در کد به صورت نقطه‌ای، دیسکی، استوانه‌ای، کروی و بُره‌ای یا مکعب

اساس سودمندی‌هایی که از روش‌های دیگر قابل حصول نیست قابل توجه باشد. طبق توصیه ICRP دوز دریافتی توسط بافت سرطانی باید به اندازه‌ای باشد که بافت‌های سالم اطراف و یا در مسیر تومور حداقل آسیب را متحمل شوند زیرا دوز دریافتی در آن‌ها موجب آسیب یا از بین بردن آن‌ها می‌شود و از طرفی سلول‌های تومور نیز باید دوز یکسانی که برابر با دوز کشنده آنهاست دریافت نمایند و حتی الامکان حجم تومور دوز یکنواختی دریافت کند [۲-۳].

امروزه از رادیوایزوتوپ‌ها در دو حیطه تشخیص در حد گسترده و درمان در حد محدودتر استفاده می‌کنند. رفتار ایزوتوپ‌هایی که جنبه درمانی دارند باید به گونه‌ای باشد که به از بین بردن سلول‌های معیوب و ضعیف کمک کند، برای رسیدن به چنین هدفی از پرتودهی رادیوایزوتوپی بهره می‌جویند که گسیل کننده ذرات بتا باشد، که در این فرایند عموماً ۵ الی ۶ هفته برای رساندن دوز تابشی مطلوب به تومور زمان لازم است. از این رو، محاسبه یا اندازه‌گیری دوز جذبی در درمان سرطان پوست و همچنین برای حفاظت سلول‌های سالم ضمن پرتوگیری پزشکی بسیار حائز اهمیت است [۴-۵].

رادیوایزوتوپ $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ دارای طیف گسترده‌ای از ذرات بتا می‌باشد و از این رادیوایزوتوپ در براکی تراپی درون رگی استفاده می‌گردد. ^{147}Pm یک گسیل کننده بتا است و پرتوهای گاما از خود ساطع نمی‌کند، پرومیتیم جزو دسته عناصری است که امروزه در حوزه پزشکی مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است. ذرات بتای ناشی از واپاشی ^{32}P برد متوسط ۲ میلی‌متر و بیشینه برد ۸ میلی‌متر دارند نیمه عمر ^{32}P برابر $14/3$ روز است. ^{32}P جزو معدود رادیونوکلیدهایی است که در پرتودرمانی کاربرد فراوانی دارد، در این پژوهش استفاده از ^{32}P به عنوان یک گسیلنده ذرات بتای کم انرژی در درمان سرطان پوست پیشنهاد می‌گردد.

با توجه به محاسبات دوزسنجی، استفاده از رادیوایزوتوپ‌های $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ، ^{147}Pm و ^{32}P در درمان سرطان پوست با رعایت اصول حفاظت تابشی پیشنهاد می‌گردد [۶].

¹ RSICC

² Micro Curi

می‌باشد. با اجرای کد VARSKIN² برای هندسه‌های مختلف چشمه با رادیونوکلئیدهای ^{147}Pm ، ^{90}Sr و ^{90}Y و ^{32}P مقدار دوز جذبی در پوست بر حسب عمق پوست محاسبه گردید. اصول محاسبات دوز بتا با کد VARSKIN² به این صورت است که کد یک انتگرال پنج گانه از حجم چشمه و مساحت هدف را اجرا می‌کند. انتگرال بسیار ساده شده است چون دوز برای یک هدف دایره‌ای متمرکز در زیر چشمه، تقارن دارد، کد آهنگ دوز بتا را با اجرای یک انتگرال عددی از هسته نقطه‌ای برگرد محاسبه می‌کند. این هسته در فرم ریاضی به صورت معادله‌ی زیر است:

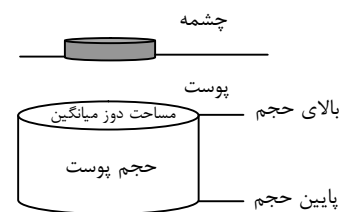
$$B(r) = \frac{k E_{\beta} Y F_{\beta}(r_1/X_{99})}{(\pi \rho r^2 X_{99})} \quad (1)$$

که در آن $B(r)$ دوز چشمه نقطه‌ای در فاصله r از چشمه نقطه‌ای؛ r فاصله بین یک مکان چشمه و نقطه دوز؛ K یک ثابت تبدیل واحد؛ E_{β} انرژی متوسط بتا برای هسته پرتوزا؛ Y تعداد متوسط بتاها در هر واپاشی؛ $F_{\beta}(r_1/X_{99})$ توزیع دوز جذبی به ازای واحد چشمه؛ r_1 طول مسیر اصلاح شده بین چشمه تا نقطه دوز و ρ چگالی متوسط محیط است که برای بافت واحد فرض می‌شود. معادله ۲ واحد کمیت‌های معرفی شده در معادله ۱ را بیان می‌کند، که در آن dis نشانه واپاشی است.

$$B(r) \left[\frac{rad}{h \cdot dis} \right] = \frac{k \left[\frac{rad \cdot q}{MeV \cdot h} \right] * Y \left[\frac{1}{dis} \right] * F_{\beta} \left(\frac{r_1}{X_{99}} \right) [frac]}{\pi \rho \left[\frac{g}{cm^3} \right] r^2 [cm^2] X_{99} [cm]} \quad (2)$$

بحث زیر یک دوزسنجی ساده برای هندسه استوانه‌ای را توصیف می‌کند (مطابق شکل ۲).

مسططیلی را برای دوزسنجی چشمه‌های مذکور به کار گرفته شد. این کد دو مدل دوزسنجی میانگین و دوزسنجی ذره نقطه‌ای را بررسی می‌کند. در مدل دوزسنجی میانگین که در این پژوهش مورد بهره‌برداری قرار گرفته است، دوز میانگین روی حجمی از بافت که توسط یک استوانه مشخص شده است، محاسبه گردید. قطر استوانه، معادل با مساحت منطقه‌ای است که دوز، میانگین‌گیری شده و از بالا و پایین با دو عمق پوستی دلخواه محدود شده است، که در شکل ۱ نشان داده شده است. این مدل برای محاسبه دوز میانگین بین دو عمق در بافت استفاده می‌شود و برای توصیف دوز اندازه‌گیری شده توسط آشکارسازها روی یک حجم معین مفید است [۱۰-۷].



شکل ۱- تصویر مدل دوزسنجی میانگین

همان طور که قبلاً اشاره شد؛ با راه‌اندازی کد کامپیوتری VARSKIN² برای محاسبه دوز، پارامترهای ورودی مورد نیاز هندسه چشمه شامل قدرت چشمه، ضخامت ماده پوشاننده، چگالی ماده پوشاننده، ضخامت لایه هوا از چشمه تا پوست، و زمان تابش برای هندسه‌های مختلف

فاصله X_{99} شعاع کره آبی است که یک چشمه نقطه‌ای ساطع کننده بتا را در بر گرفته به نحوی که ۹۹٪ انرژی بتا در آن بجا گذاشته می‌شود، بُرد ذرات بتا در کد VARSKIN² با این پارامتر معرفی می‌شود. به منظور تشریح یک محاسبه دوزسنجی برای یک چشمه متقارن،

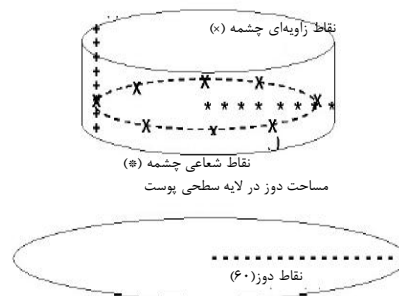
های تعریف شده با نقطه دوز شعاعی با علامت * و سپس به هشت چشمه نقطه‌ای در موقعیت‌هایی با زوایای مساوی تقسیم می‌شود چشمه‌های نقطه‌ای زاویه‌ای با x در شکل ۲ نشان داده شده‌اند، و مقدار دوز در هر نقطه دوز از هر یک از این هشت چشمه نقطه‌ای محاسبه شده است. سهم دوز چهار نقطه اول با سهم دوز چهار نقطه آخر قابل مقایسه است، اگر تفاوت نسبی بین دو توزیع کمتر از ۰/۰۰۰۱ باشد همگرایی انتگرال برای دایره قابل ملاحظه است و برای دستیابی به آن، این فرایند در موقعیت شعاعی بعدی تکرار می‌شود ولی اگر اختلاف نسبی بین دو توزیع بزرگتر از خطای نسبی باشد، هر یک از این دو سهم به هشت چشمه نقطه‌ای تقسیم می‌شوند و فرایند فوق برای هر دو مجموعه تکرار خواهد شد. این فرایند تحت عنوان مربع سازی هشت قطعه‌ای نیوتن- کورتز معروف است که یک روش سریع و دقیق برای انتگرال‌گیری عددی از توابع پیچیده‌ای چون هسته برگر را فراهم می‌آورد.

کد دوز را برای هر یک از نقاط دوز(-) که در شکل ۲ نشان داده شده است، محاسبه می‌کند. وقتی که مقدار دوز هر چشمه نقطه‌ای شعاعی (*) تعیین شد، ابتدا چهار مقدار شعاعی جمع می‌شوند و با مجموع مقادیر شعاعی چهار چشمه آخر مقایسه می‌شوند، این دو گروه از نقاط شعاعی به لحاظ همگرایی بررسی می‌شوند و فرایند فوق دنبال می‌شود تا برای همه نقاط شعاعی در چشمه به همگرایی دست یابیم. دوزسنجی در یک نقطه دوز با استفاده از انتگرال‌گیری مربعی مطابق معادله ۳ صورت می‌گیرد:

$$\dot{D} = \int_0^{2\pi} \int_0^R \int_0^Z S_v B(r', \theta, z) r' dz dr' d\theta \quad (3)$$

که در آن S_v قدرت چشمه حجمی و Z عمق استوانه است. معادلات مشابهی برای هندسه‌های کروی و بره‌ای می‌توان نوشت. این معادلات در روابط ۴ و ۵ درج شده است.

$$\dot{D} = S_v \int_0^\pi \int_0^\pi \int_0^R B(r', \theta, \varphi) r' \sin \theta dr' d\theta d\varphi \quad (4)$$



شکل ۲- تصویر محاسبه دوز برای یک چشمه متقارن.

کد نقطه‌ای را که در مرکز نقطه تابش قرار داده شده، انتخاب می‌کند سپس چشمه را به یک سری حجم‌های بسیار کوچک (چشمه‌های نقطه‌ای) تقسیم می‌کند. تعداد چشمه‌های نقطه‌ای از ۵۱۲ تا 10^{18} بسته به ابعاد چشمه‌ها تغییر می‌کند. سهم هر یک از چشمه‌های نقطه‌ای به نقطه‌ای دوز توسط معادله ۱ تخمین زده می‌شود و سپس تمام سهم‌ها جمع زده می‌شود. سهم کل بر حسب دوز بر واپاشی با ضرب فعالیت چشمه در دوز نقطه‌ای به دست می‌آید. این روند برای هر ۶۰ دوز نقطه‌ای با شروع از مرکز منطقه تابش تکرار می‌شود، و تا به منطقه مورد نظر گسترش می‌یابد. این دوزهای نقطه‌ای منحنی‌های هم‌دوزی را در منطقه تابش ارائه می‌دهند، در نهایت منحنی‌ها روی مساحت تابش، به منظور تعیین دوز کل مساحت میانگین گرفته می‌شوند. انتگرال با انتخاب ۶۰ دوز نقطه‌ای اجرا می‌شود، نقاطی که در آن‌ها دوز محاسبه می‌شود با علامت (-) نشان داده شده‌اند به شکل ۲ رجوع شود، این نقاط از خط مرکزی چشمه شروع شده و به طور شعاعی به سمت خارج از خط مرکزی در لایه سطحی پوست پیشروی می‌کنند چون چشمه متقارن است، نقاط دوز دایره‌های هم دوز هم مرکزی را ارائه می‌دهند که این دوایر نمودار تغییر دوز شعاعی را در یک عمق به خصوص از پوست توصیف می‌کند.

برای هر دوز نقطه‌ای، انتگرالی روی مساحت چشمه دیسکی شکل در ارتفاع داده شده در چشمه توسط یکی از هشت نقطه‌ای که با علامت (+) مشخص شده، با انتخاب هشت دایره متحدالمرکز که در موقعیت‌های شعاعی مساوی قرار گرفته‌اند محاسبه می‌شود. یکی از این دایره-

۳- نتایج

در شکل ۳ نمودارهای مربوط به چشمه‌ی $^{۹۰}\text{Sr}/^{۹۰}\text{Y}$ ، در شکل ۴ نمودارهای مربوط به چشمه‌ی ^{۱۴۷}Pm و در شکل ۵ نمودارهای مربوط به چشمه‌ی ^{۳۲}P رسم شده است و میزان فعالیت تمام چشمه‌ها ۱ میکروکوری در نظر گرفته شده است.

مدل چشمه نقطه‌ای بسیار ساده است و به هیچ داده‌ای برای توصیف فیزیکی چشمه نیاز ندارد و عموماً بالاترین آهنگ دوز را برای یک فعالیت مشخص در بین چشمه‌های دیگر دارد، این هندسه برای آلودگی که به مساحت بسیار کوچکی از پوست محدود شده یا برای یک محاسبه سریع به کار می‌رود و خود جذبی ندارد (شکل‌های ۳-a، ۴-a و ۵-a). هندسه چشمه دیسکی ساده است و برای آلودگی‌های پوستی مایع پرتوزا به کار می‌رود؛ در این مدل کاربر باید قطر چشمه را وارد کند و کد VARSKIN^۲ مساحت دایره را به طور اتوماتیک حساب می‌کند، به طور مشابه با وارد کردن مساحت چشمه کد قادر به محاسبه قطر دایره است، در شکل‌های ۳-b، ۴-b و ۵-b نتایج این دوزسنجی‌ها ارائه شده است. هندسه چشمه بره‌ای به اطلاعات در سه بعد نیاز دارد؛ طول در راستای X ، طول در راستای Y و ضخامت. در این مدل، زمان اجرا ۲ تا ۵ مرتبه بیش از استوانه و کره است و دقت محاسبات به طور قابل ملاحظه‌ای پایین‌تر است. این هندسه فقط برای محاسبه دوز پوستی ناشی از چشمه‌های مختلف مجزا کاربرد دارد (شکل‌های ۲-c، ۳-c و ۴-c).

هندسه چشمه کروی ساده‌ترین هندسه سه بعدی در دوزسنجی است؛ چون فقط به اطلاعات یک بعد چشمه یعنی قطر یا شعاع نیاز دارد. در این هندسه فرض بر این است که چشمه توسط هوا احاطه شده و پوست یا ماده پوشاننده در پایین‌ترین نقطه روی سطح کره قابل لمس است. همان‌طور که در نمودار ۲-d، ۳-d و ۴-d نشان داده شده است، برای یک فعالیت یکسان، چشمه کروی در مقایسه با چشمه استوانه‌ای تخمین دست بالاتری از دوز می‌دهد، چون هوای احاطه‌کننده نیمکره از ذرات

در هندسه کروی θ و ϕ زوایای سمتی و قطبی هستند. و برای هندسه بره‌ای با ابعاد $2X$ ، $2Y$ و Z داریم:

$$\dot{D}(d) = s_v \int_{-X}^X \int_{-Y}^Y \int_0^Z B(x, y, z) dz dy dx \quad (5)$$

مقدار دوز در نقطه دوز بعدی محاسبه می‌شود تا در تمام ۶۰ نقطه دوز اندازه‌گیری‌ها انجام شود. اگر منحنی دوز در این ۶۰ به صورت تابعی از شعاع هدف یعنی d' تعریف شود که با $D(d')$ نشان داده شده، لذا مقدار دوز میانگین محاسبه شده روی مساحت پوست از رابطه ۶ به دست می‌آید.

$$D_{Avg} = \frac{2\pi \int_0^R D(d') d' dd'}{\pi R^2} \quad (6)$$

۶۰ نقطه دوز به صورت خطی از مرکز منطقه تابش به سمت شعاع خارج انتخاب نمی‌شوند؛ بلکه به نحوی انتخاب می‌شوند که نمودار دوز بیشترین تغییرات ممکن را داشته باشد و این رویداد معمولاً در لبه چشمه است.

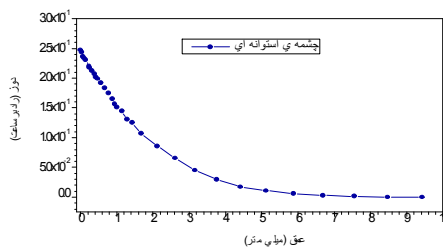
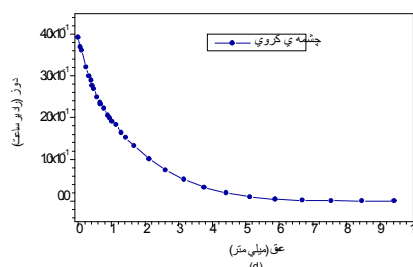
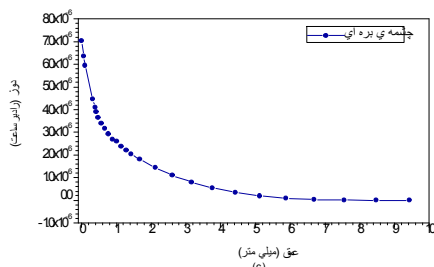
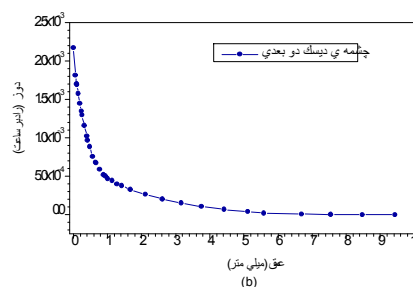
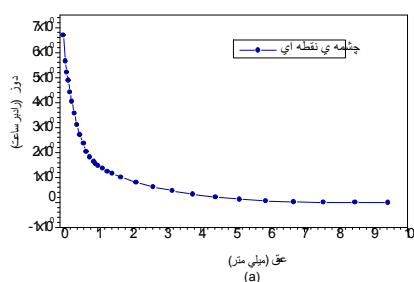
در این کد برای محاسبه دوز حاصل از چشمه نقطه‌ای و دیسک نازک، مدل برگشت دهنده‌ای مطرح شده بود که اثر کاهش دهندگی داشت؛ چون هسته برگرد در محاسبات دوز، چشمه را به عنوان یک محیط نامحدود در نظر می‌گیرد که در آن دوزسنجی شامل سهمی از ذرات بتایی است که به خارج از پوست گسیل می‌شدند و به طور متوالی به عقب به سمت پوست پراکنده شده تا به صورت دوز پوستی توزیع شوند، لذا تصحیح برگشت دهنده لازم بود. بنابراین زمانی که هسته نقطه‌ای برگرد برای محاسبه دوز ناشی از چشمه با ضخامت نامحدود استفاده می‌شود تخمین دست بالایی از دوز به دست می‌آید. به لحاظ وابستگی به انرژی ماکزیمم طیف بتا، این برآورد ممکن است تا حدود ۴۰٪ خطا داشته باشد. کد VARSKIN^۲ یک تصحیح برگشت دهنده وابسته به عمق را برای دوزهای محاسبه شده از چشمه‌های نقطه‌ای و دیسکی به کار می‌برد. محاسبات مدل برگشت دهنده؛ توسط کد ترابرد مونت کارلو اجرا می‌شوند.

در بخش بعد دوزسنجی سه رادیونوکلئید مهم گسیلنده بتا یعنی $^{۹۰}\text{Sr}/^{۹۰}\text{Y}$ ، ^{۱۴۷}Pm و ^{۳۲}P مورد بررسی قرار گرفته است [۸، ۱۱، ۱۲].

اجرای این هندسه تقریباً مشابه مدل کروی است این مدل در مقایسه با سایر مدل‌ها دوزسنجی دقیق‌تری ارائه می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رود تغییرات دوز جذبی در پوست بر حسب عمق پوست یک تابع نمایی است. با توجه به نمودارهای کد $VARSKIN_2$ مشاهده می‌شود که با دور شدن نقاط از چشمه، دوز بسیار سریع و به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد، و این به علت برد کوتاه ذرات بتا است. گرادیان دوز در فاصله‌های نزدیک‌تر به چشمه نسبت به فاصله‌های دورتر از چشمه بیشتر می‌باشد.

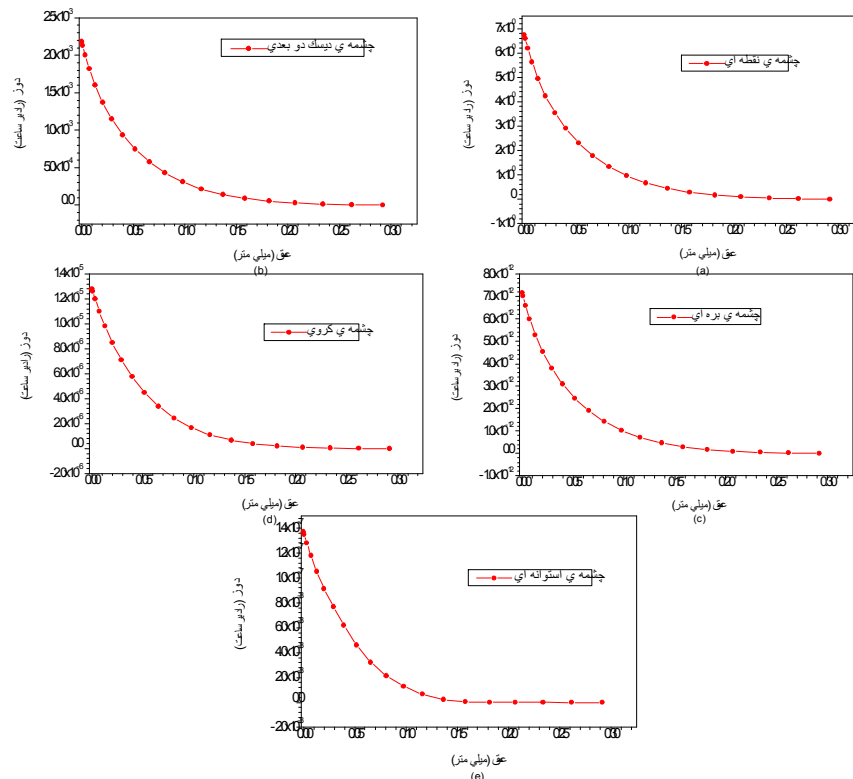
چشمه به طور موثری محافظت نمی‌کند و مساحت بزرگتری از پوست تحت تابش قرار می‌گیرد و دوزهای بالایی به دست خواهد آمد.

مدل استوانه‌ای به اطلاعات در دو بعد نیاز دارد؛ قطر استوانه و ضخامت آن. در این مدل چشمه توسط هوا احاطه شده ولی قاعده استوانه به طور کامل در تماس با پوست یا ماده پوشاننده است. در این مدل دوز محاسبه شده نسبت به تغییرات ضخامت حساس‌تر است تا قطر استوانه. زمان



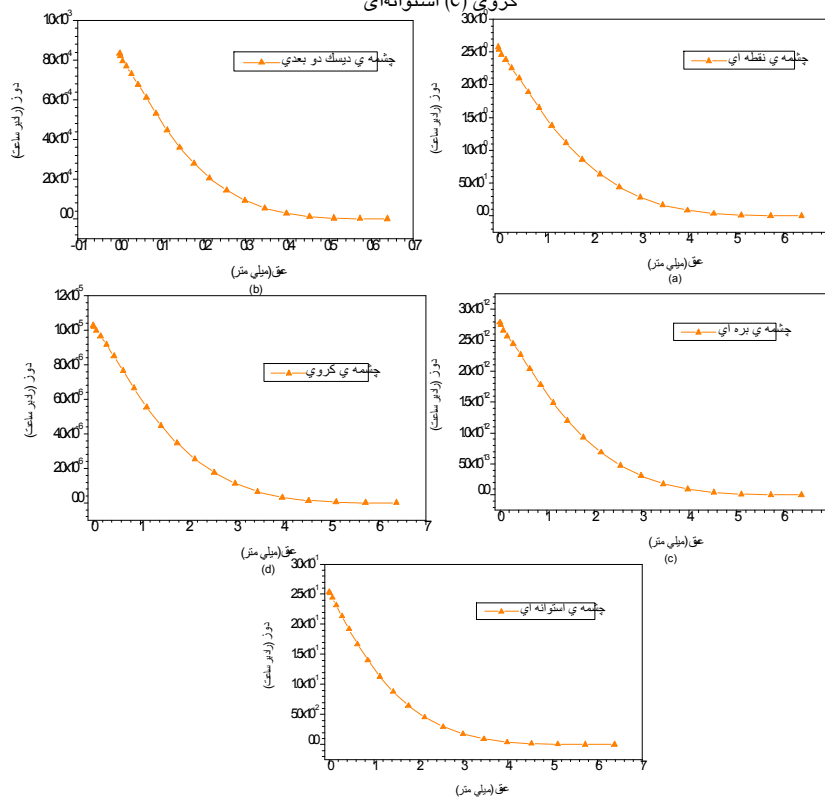
شکل ۳- نمودار تغییر دوز جذبی در پوست بر حسب عمق برای چشمه‌ی $^{90}Sr/^{90}Y$ با فعالیت ۱ میکروکوری (a) نقطه‌ای (b) دیسک دو بعدی (c) بره‌ای (d) کروی (e) استوانه‌ای

محاسبه دوز جذبی پوست برای گسیلنده‌های بتابا کد VARSKN^۲



شکل ۴- نمودار تغییر دوز جذبی در پوست بر حسب عمق برای چشمه‌ی ^{۱۳۷}Pm با فعالیت ۱ میکروکوری (a) نقطه‌ای (b) دیسک دو بعدی (c) برای (d)

کروی (e) استوانه‌ای



شکل ۵- نمودار تغییر دوز جذبی در پوست بر حسب عمق برای چشمه‌ی ^{۳۲}P با فعالیت ۱ میکروکوری (a) نقطه‌ای (b) دیسک دو بعدی (c) برای (d) کروی (e) استوانه‌ای

جدول ۳- ضرایب دز در مقابل عمق برای ۹۰-Y که میانگین گرفته شده روی ۰/۰۰۱ سانتی متر مربع بر حسب (راد سانتی متر مربع بر میکرو کوری بر ساعت)

روش	۴۰ μm	۷۰ μm	۱۰۰ μm	۴۰۰ μm
VARSKIN۲	۷/۹۴	۶/۸۶	۶/۱۷	۴/۰۹
دلاکرویکس	۱۰/۴۶	۹/۱۸	۸/۳۷	۵/۲۴
کوچر و اکرم	۱۰/۱۴	۸/۸۷	-	۵/۰۷

۴- نتیجه گیری

از بررسی‌های به عمل آمده روی چشمه‌های مختلف در دوزسنجی پوستی به این نتیجه رسیدیم که این مدل نسبت به سایر مدل‌ها، دوزسنجی دقیق‌تری را ارائه می‌دهد. چنانچه این مدل را برای رادیونوکلیدهای مورد نظر بررسی نماییم؛ مشاهده می‌شود که رادیونوکلید $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ بیشترین مقدار دوز را در سطح پوست می‌دهد و ^{32}P در درجه دوم به لحاظ دوز دریافتی توسط پوست قرار دارد و تقریباً ^{147}Pm کمترین مقدار دوز را به سطح پوست ارائه می‌دهد. مطابق نمودارهای رسم شده این مقادیر دوز به طور نمایی سریعاً کاهش یافته که نشان دهنده برد کوتاه ذرات بتا است. لذا در درمان سرطان‌های پوستی رادیونوکلید پیشنهادی $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ است که موجب تحویل بیشترین مقدار دوز ذرات بتا در سطح پوست برای نابودی سلول‌های توموری فراهم می‌کند و سپس به سرعت افت می‌نماید؛ لذا از وارد شدن آسیب جدی به سلول‌های سالم پوستی که در لایه‌های درونی‌تر پوست قرار دارند ممانعت به عمل می‌آید.

روش کد کامپیوتری VARSKIN۲ به دلیل داشتن ویژگی‌هایی نظیر سرعت و دقت بالا، هماهنگی و همسازی با نتایج بالینی و تجربی و به کارگیری راحت توسط کاربران در محاسبه دوز جذبی در پوست مناسب است. استفاده از کد VARSKIN۲ در تأمین هدف قانون کمینه جانبی (ALARA) برای کاهش دوز در درمان سرطان پوست مفید می‌باشد.

محاسبات مربوط به آلودگی ^{90}Sr توزیع شده روی پوست است، یک آلودگی با غلظت ۱ میلی کوری بر سانتی متر مربع روی یک مساحت دایره‌ای ۱۰۰ سانتی متر مربع در نظر گرفته شده، و مقدار دوز بتا به مساحت ۱ سانتی متر مربع از پوست که زیر آلودگی متمرکز شده، محاسبه گردید. محاسبات با VARSKIN۲ کامل شد و مقادیر نتایج با مقادیر منتشره توسط رلف و هاینزمن و توسط کوچر و اکرم مقایسه شد، که در جدول ۱ نشان داده شده است [۱۳، ۱۴].

جدول ۱- مقایسه دز پوستی بتا برای آلودگی با توزیع ۱ میکروکوری بر سانتی متر مربع که میانگین گرفته شده روی پوست با مساحت ۱۰۰ سانتی متر مربع

VARSKIN۲	کوچر و اکرم	رولف و هاینزمن
۱۲/۴۳	۱۵/۶۱	۱۲/۰۶

توافق خوبی بین نتایج وجود دارد چون در هر دو روش محاسبات با فقدان برگشت‌دهنده از چشمه نازک نامحدود انجام شده است. نتایجی که از روش کوچر و اکرم استفاده کرده، تا حدی بالاتر هستند چون این روش تخمین دست بالایی از برگشت دهنده هوا می‌دهد. بعداً، نتایج محاسبات VARSKIN۲ با نتایج محاسباتی دلاکرویکس، کوچر و اکرم و پیچوسکی مقایسه شده است. این سه مقاله مقدار دوز ماکزیم ناشی از چشمه نازک نامحدود را ارائه می‌دهد. سطح صفحه بطور یکنواختی با مقدار ۱ میکروکوری بر سانتی متر مربع آلوده شده و دوزها در اعماق مختلف پوست محاسبه شده است. داده‌های ورودی به VARSKIN۲ هندسه دیسکی با قطر ۲ سانتی متر و قدرت ۳/۱۴ میکروکوری است.

جدول ۲ و ۳ نشان دهنده توافق خوبی بین روش‌ها است، اگر چه نتایج VARSKIN۲ بخاطر تصحیح در برگشت دهنده پایین‌تر هستند [۱۵، ۱۶].

جدول ۲- ضرایب دز عمقی ۷۰ میکرو کوری بر حسب (راد سانتی متر مربع بر میکرو کوری بر ساعت)

روش	P-۳۲	Si-۹۰	Y-۹۰
VARSKIN۲	۶/۶۳	۵/۴۶	۶/۸۴
دلاکرویکس	۹/۱۵	۶/۹۹	۹/۱۸
کوچر و اکرم	۸/۸۷	۶/۷۶	۸/۸۷
پیچوسکی	۷/۰	۵/۹	۷/۵

1. ICRP "Recommendations of the International Commission on Radiological Protection", ICRP Publication 103, Annals of the ICRP, 2007; 37(2-4):11-34.
2. Cember H, Johnson ET, Introduction to Health Physics, 4th ed, McGraw-Hill, New York, 2009.
3. Chandra R, Nuclear Medicine Physics: The Basics, 6th ed., Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia, 2004.
4. Skin cancer prevention and education invitation, 2005, The web site: <http://www.cdc.gov>
5. Wang R, Li XA, Monte Carlo calculation of dosimetric parameters of ⁹⁰Sr/⁹⁰Y and ¹⁹²Ir SS sources for intravascular brachytherapy, Med Phys 2000; 27(11): 2528-2535.
6. The web site: <http://www.web-elements.com>
7. Durham JS, NUREG/CR-5873, PNL-7913, VARSKIN Mode2 and Sadde Mode2: Computer Code for Assessing Skin Dose From Skin Contamination, Washington, Dc: NRC 1992.
8. Chase J, The VARSKIN code is a tool for assessing doses from skin contamination, 2005. The web site: <http://www.nrc.gov/nuregs/cr6918>
9. Radiation Safety Information Computational Center, The web site: <http://www.cdc.gov>
10. The website: <http://www.cardiovascularservices.org>
11. Chibani O, Li XA, Dosimetric effects of source – offset in intravascular brachytherapy, Med Phys 2002; 29(4): 530-537.
12. Amols HI, Dosimetric considerations for catheter based beta and gamma emitters in the therapy of neointimal hyperplasia in human coronary arteries, Int J Radiat Oncol Biol Phys 1996; 36: 913–921.
13. Kocher DC, Eckerman KF, Electron Dose-Rate Conversion Factors for External Exposure of the Skin From Uniformly Deposited Activity on the Body Surface, Health Phys 1987; 53: 135-141.
14. Rohloff F, Heinzelmann M, Calculation of Dose Rates for Skin Contamination by Beta Radiation, Rad Prot Dos 1986; 14: 279-287.
15. Delacroix D, Beta Particle and Electron Absorbed Dose Calculation for Skin Surface Contamination (in French). DCES/SPR/SRI/86-656, Paris, France: Commissariat a l'Energie Atomique, 1986.
16. Piechowski J, Dosimetry and Therapy of Skin Contaminations (in French). CEA-R-5441, Paris, France: Commissariat a l'Energie Atomique, 1988.