

شبیه‌سازی شتابدهنده خطی زیمنس پریموس 6 MeV با استفاده از کد محاسباتی مونت کارلوی EGSnrc و تأیید ژل دزیمتری با سیستم برش‌نگاری رایانه‌ای نوری توسط کد EGSnrc

محمد مهدوی^{۱*}، معصومه حسین‌نژاد^۱ و سیدربیع مهدی مهدوی^۲

^۱گروه فیزیک هسته‌ای، دانشکده فیزیک، دانشگاه مازندران، بابلسر، مازندران، ایران.

^۲گروه فیزیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

*مازندران، بابلسر، دانشگاه مازندران، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای، کدپستی: ۴۷۴۱۵-۴۱۶

پست الکترونیکی: m.mahdavi@umz.ac.ir

چکیده

روش مونت کارلو روش دقیق برای شبیه‌سازی تجهیزات پرتودرمانی است. امروزه شتابدهنده‌های خطی به‌طور وسیعی در مراکز پرتودرمانی استفاده می‌شوند. در این مطالعه، مدل‌سازی مونت کارلو از شتابدهنده خطی زیمنس پریموس در انرژی 6 MeV استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی با TLD در آب اعتبارسنجی شدند. اندازه میدان 10×10 سانتی‌متر مربع در نظر گرفته شد و نتایج حاصل از TLD با نتایج حاصل از شبیه‌سازی مقایسه شد. شبیه‌سازی سر شتابدهنده زیمنس با فایل BEAMnrc و محاسبه دز با فایل dosxyznrc انجام پذیرفت. دز محاسبه شده تجربی و دز حاصل از شبیه‌سازی در انرژی 6 MeV و پهنای نیم ارتفاع برابر 0.35 توافق بسیار خوبی را با یکدیگر نشان می‌دهند. نتایج حاصل بسیار دقیق بوده و از این رو از این کد می‌توان با اطمینان بالا برای موارد شبیه‌سازی در پرتودرمانی استفاده نمود. بعد از اعتبارسنجی این کد، برای تأیید عملکرد سیستم برش‌نگاری رایانه‌ای نوری ساخته شده در گروه فیزیک هسته‌ای دانشگاه مازندران از این کد استفاده شد. سیستم مورد نظر برای انجام اعمال ژل دزیمتری مستقل از شیوه‌های دیگر نظیر ام آر آی به کار می‌رود.

کلیدواژگان: دزیمتری، شبیه‌سازی مونت کارلو، سیستم برش‌نگاری رایانه‌ای نوری، ژل دزیمتری، دز، شتابدهنده، کد EGSnrc

۱. مقدمه

رشد زیادی داشته است و در بعضی از رشته‌ها مانند رادیوتراپی، کاربرد آن‌ها تا آن‌جا گسترش یافته است که از شبیه‌سازی به‌عنوان یک ابزار قوی و مطمئن در محاسبات مربوط به توزیع دز و طرح درمان استفاده می‌شود [۱-۸]. در

استفاده از روش‌های محاسباتی مونت کارلو در پزشکی به دهه هفتاد میلادی بر می‌گردد، از آن تاریخ تا کنون با پیشرفت تکنولوژی و دسترسی به کامپیوترهای سریع و نرم‌افزارهای قوی، استفاده از این روش‌ها در شاخه‌های مختلف پزشکی

۲. روش های تجربی

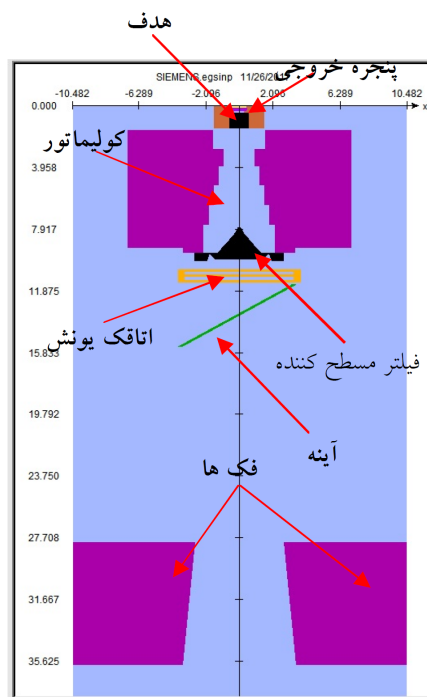
۱.۲. شبیه سازی EGSnrc

به منظور شبیه سازی در این مطالعه، از کد مونت کارلوی EGSnrc استفاده شد و شتابدهنده خطی 6 MeV شبیه سازی شد. قسمت های اصلی این شتابدهنده شامل: هدف، پنجره خروجی، موازی ساز اولیه، فیلتر مسطح کننده، آینه، اتاقک یونیزان و فک ها است. هندسه دستگاه، خصوصیات قسمت های مختلف و موقعیت نسبی آن ها از طریق اندازه گیری مستقیم تعیین گردید. در شکل شماره ۱ طرح واره اجزای شبیه سازی شده سر دستگاه برای شتابدهنده زیمنس نشان داده شده است. جنس مواد، ضخامت و فاصله آن ها روی محور Z برای شتابدهنده زیمنس در جدول ۱ نشان داده شده است. کد EGS دارای سه فایل اصلی می باشد: ۱. فایل beamnrc ۲. فایل dosexyznrc ۳. فایل beamdp.

از فایل beamnrc برای تعریف هندسه شتابدهنده استفاده می شود. با توجه به گزینه های موجود در این فایل و استفاده از مقادیر مربوط به هر ماژول در جدول ۱ هندسه شتابدهنده شبیه سازی شد و یک فایل فضای فاز ایجاد شد. کار فایل beamdp آنالیز فایل فضای فاز ایجاد شده می باشد. با وارد کردن نام فایل فضای فاز، توزیع طیف به صورت خروجی عددی نشان داده شد که با انتقال به نرم افزار اکسل نمودارهای مربوطه رسم گردید. فایل dosexyznrc برای انجام کارهای دزیمتری می باشد. نوع فانتوم، چشمه و پارامترهای مربوط به شبیه سازی در این قسمت تعریف شد. بعد از کامل کردن این فایل، برنامه اجرا شد. در این مرحله یک پوشه EGSnrc ایجاد شد. در این پوشه یک پوشه دیگر به نام EGSHOME ایجاد شد که شامل یک خروجی اصلی به نام 3Ddose (ماتریس سه بعدی دز)، فایل ورودی و خروجی بود. خروجی شامل اطلاعات و خطای مربوطه می باشد.

رادیوتراپی، شبیه سازی شامل دو مرحله است: مرحله اول شبیه سازی چشمه پرتوزا، که می تواند شتابدهنده خطی^۱ و یا چشمه دیگری باشد [۹-۱۱]. مرحله دوم شامل شبیه سازی بیمار یا فانتوم و بررسی پارامترهای مختلف توزیع دز در آن است. شبیه سازی چشمه از اهمیت زیادی برخوردار است و برای دستگاه های هر مرکز بایستی به صورت اختصاصی انجام گیرد [۵]. این نکته به ویژه در مورد پرتوهای ایکس حاصل از شتابدهنده های خطی از اهمیت بیش تری برخوردار است، زیرا دستگاه هایی از یک نوع می توانند در جزئیات و ملحقات متفاوت باشند و تغییرات جزئی در ساختار سر دستگاه و قسمت شتابدهنده، می تواند تأثیر زیادی بر طیف پرتو الکترونی اولیه و در نهایت ویژگی های پرتو فوتونی حاصل از آن و چگونگی توزیع دز در بیمار داشته باشد. شبیه سازی مونت کارلو صحیح ترین راهکار برای دزیمتری در شرایط پیچیده هندسی است که شامل ناهمگنی می باشد. کد EGSnrc که استاندارد طلایی شبیه سازی الکترون و گاما به حساب می آید، در ابتدا به منظور طراحی شتابدهنده های الکترونی نگاشته شده است و به طور خاص از شاخه BEAMnrc این کد که ماژول محور است برای شبیه سازی استفاده می شود. شتابدهنده ها در BEAMnrc طراحی و اجرا می شوند و خروجی آن ها در شاخه های دیگر از قبیل beamdp رسم و تحلیل می شوند [۱۲-۱۴]. در این مطالعه، از کد EGSnrc برای شبیه سازی شتابدهنده زیمنس پرموس موجود در کلینیک رادیوتراپی امید تهران استفاده شد. برای اعتبارسنجی کد EGSnrc از نمودار خطوط هم دز استاندارد شتابدهنده خطی زیمنس پرموس 6 MeV استفاده شده است. سپس بعد از تهیه ژل MAGIC-f در آزمایشگاه فیزیک هسته ای دانشگاه مازندران و خوانش ژل با سیستم برشنگاری رایانه ای نوری ساخته شده در دانشگاه مازندران نتایج خوانش با نتایج شبیه سازی مقایسه شد.

^۱ LinAc



شکل (۱): شماتیک شبیه‌سازی شتابدهنده زیرمنس پریموس.

جدول (۱): مشخصات شتابدهنده زیرمنس [۱۵].

فاصله (cm)	ضخامت (cm)	ماده	توصیف
-۱/۳۴	۰/۰۰۵	تیتانیوم	پنجره خروجی
۰/۰۰	۰/۰۶۴	تنگستن	هدف
۲/۳	۰/۰۹۷	طلا	
۹/۴۰	۷/۸۷۴	تنگستن	موازی‌ساز اولیه
۱۰/۲	۰/۲۵	استیل	فیلتر مسطح کننده
۱۰/۵۰	۰/۴۵۷	آلمینیوم	اتاقک یونش
۱۴/۵۳	۰/۱۶۰	شیشه	آینه
۳۷/۹۰	۷/۶۲۰	تنگستن	فک x
۳۰/۱۰	۷/۶۲۰	تنگستن	فک y

۲.۲. روش تجربی اندازه‌گیری دز با TLD در آب

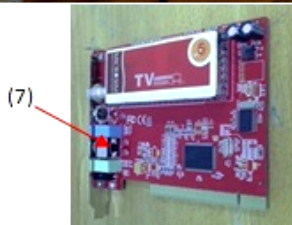
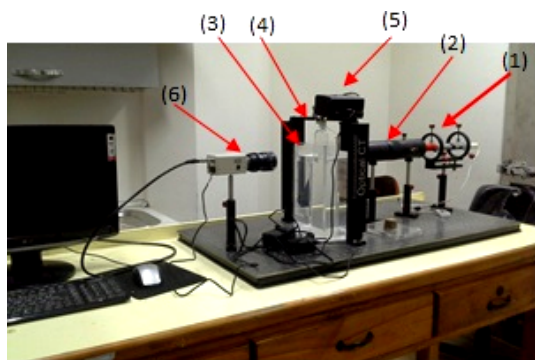
در عمق‌های مناسبی از آب قرار داده شد. این تراشه‌ها در کپسول‌های کوچکی جاسازی شده و به صورت متوالی در ۵ نی نازک پلاستیکی ۳۰ سانتی‌متری قرار گرفتند. در هر نی ۱۵

بعد از شبیه‌سازی سر شتابدهنده، یک فانتوم آب شیشه‌ای مکعبی ۳۰ × ۳۰ × ۳۰ سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شد. کپسول‌های حاوی تراشه‌های TLD از جنس LiF:Mg:Cu:P

تمامی محلول‌ها به مدت یک روز در دمای ۱۰ درجه در یخچال آزمایشگاه، نگهداری شدند.

۴.۲. خوانش ژل با سیستم برش‌نگاری رایانه‌ای نوری (OCT)

به منظور انجام کارهای ژل دزیمتری، سیستم برش‌نگاری رایانه‌ای نوری در گروه فیزیک هسته‌ای دانشگاه مازندران طراحی و ساخته شد. شکل ۳ سیستم OCT ساخته شده در دانشگاه مازندران را نشان می‌دهد [۱۶]. اجزای مختلف این سیستم در جدول ۲ نشان داده شده است.



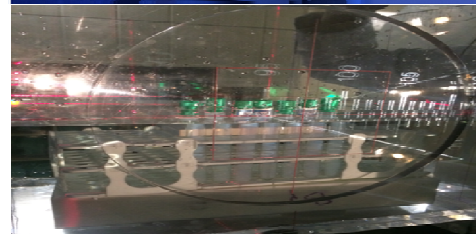
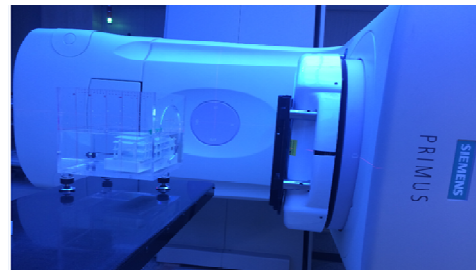
شکل (۳): سیستم OCT ساخته شده در دانشگاه مازندران.

جدول (۲): اجزای مختلف سیستم OCT.

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
منبع نور	باریکه گستر	فانتوم آب	ویال ژل	موتور چرخان	گیرنده نوری (CCD)	کارت کپچر

تابش دهی ژل‌ها، ۲۴ ساعت بعد از ساخت توسط شتابدهنده خطی زیمنس پریموس انجام گرفت به طوری که

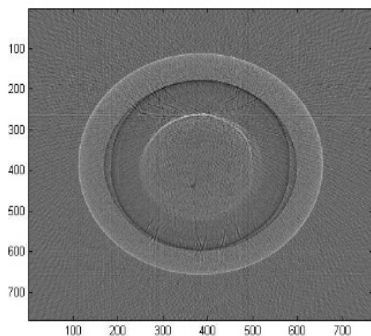
کپسول قرار داشت. یکی از نی‌ها در مرکز فانتوم آب و چهار عدد دیگر در چهار گوشه فانتوم به صورت عمودی چسبانده شد و بعد از تابش دهی آب با شتابدهنده خطی ۶ MeV، میزان دز در عمق‌های مختلف به صورت تجربی اندازه‌گیری و سپس میزان دز با شبیه‌سازی برآورد شد (شکل ۲).



شکل (۲): تابش دهی با شتابدهنده خطی زیمنس.

۳.۲. تهیه ژل MAGIC-f

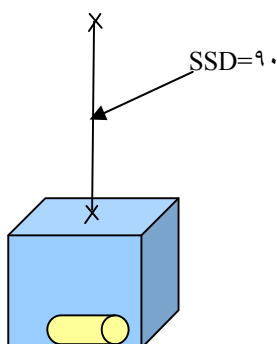
۸۰۰ میلی‌لیتر آب خالص داخل ظرف ریخته و ۸۲ گرم ژلاتین در دمای اتاق به آب مقطر اضافه شد و تا دمای ۴۵ درجه گرم شد و هم‌زمان به هم زده می‌شدند، تا ژلاتین کاملاً ذوب گردد. بعد از تقریباً ۳۰ دقیقه هیتراخاموش شد تا به دمای ۳۵ درجه برسد. سپس اسید آسکوربیک، سولفات مس و فرمالدهید اضافه شدند و بعد از ۵ دقیقه متاکریلیک اسید اضافه شد. بشر حاوی ژل داخل ویال‌ها ریخته شدند و با استفاده از پارافیلیم و در پوش‌های تهیه شده برای آن‌ها کاملاً بسته شدند. به طوری که کاملاً از نفوذ هوا به داخل آن‌ها جلوگیری شود.



شکل (۴): نمونه بازسازی شده ویال ژل با کد پردازش تصویر در متلب.

۵.۲. شبیه‌سازی ویال ژل بعد از تابش دهی

بعد از شبیه‌سازی شتابدهنده خطی، فانتوم آب و ویال ژل شبیه‌سازی شد. برای شبیه‌سازی فانتوم آب مکعبی و ویال ژل، از فایل dosexyz استفاده شد. در این فایل با انتخاب گزینه start a new input file اطلاعات مربوط به نوع کتابخانه موردنیاز، نوع فانتوم (non-CT)، مشخصات فانتوم، متریکال فانتوم و ژل و نوع چشمه که از نوع فایل فضای فاز تولید شده از فایل beamnrc بود، وارد شد. فانتوم استفاده شده در این بخش یک فانتوم مکعبی به ابعاد $30 \times 30 \times 30$ سانتی‌متر مکعب بود که یک ویال ژل استوانه‌ای به ارتفاع ۹ سانتی‌متر و قطر ۳ سانتی‌متر که حاوی ژل MAGIC-f بود، به‌طور افقی در مرکز آن قرار داشت. شکل ۵ شبیه‌سازی مربوط به فانتوم مکعبی و ویال ژل استوانه‌ای را نشان می‌دهد.



شکل (۵): شبیه‌سازی فانتوم آب و ژل.

ویال‌ها در فانتوم مکعبی محتوی آب طوری قرار گرفتند که فاصله ویال ژل تا دیواره ۵ سانتی‌متر بود؛ به‌عبارتی دیگر پرتودهی در ایزوسنتر ۱۰۰ cm و در عمق ۵ سانتی‌متری (cm SSD=۹۵) صورت گرفت. پرتودهی با پرتو ایکس ۶ MeV و با ابعاد میدان 20×20 سانتی‌متر مربع و در زاویه گانتری ۹۰ درجه تا ۴ گری برای ویال ژل انجام شد. فرآیند تابش دهی به صورتی انجام شد که ابتدا یک نمونه به عنوان نمونه‌ای با دز جذبی صفر یا شاهد، خارج و برجسب گذاری شد. نمونه‌های دیگر در فانتوم، مقابل سر دستگاه شتابدهنده قرار گرفتند و پرتودهی تا ۴ گری تابش انجام شد، در این مرحله نمونه‌ها دارای دز جذبی ۴ گری بودند.

برای خوانش ژل‌ها مدت زمان بهینه ۲۴ ساعت پس از تابش می‌باشد، زیرا مونومرهای موجود در ژل پس از تابش باید کاملاً به پلیمر تبدیل شوند. ابتدا منبع نور، CCD و کامپیوتر روشن شد، پس از گذشت ده دقیقه (زمان گرم شدن دوربین)، سیستم استفاده شد. ویال‌های ژل در جایگاه مربوطه روی موتور نصب شده و سپس چراغ اتاق خاموش گردید. بعد از روشن کردن موتور، اولین تصویر از طریق نرم‌افزار کارت کپچر گرفته شد. سپس اولین چرخش تحت زاویه ۱ درجه انجام گرفت و بعد از گذشت ۱ ثانیه متعاقباً با چرخش بعدی، تصویر بعدی نیز حاصل شد. این پروسه تا کامل شدن ۳۶۰ درجه کامل در ۳۶۰ مرحله انجام گرفت. به‌طوری‌که بعد از زمان حدود ۶ دقیقه اسکن کامل از نمونه تهیه شد و سپس توسط کد پردازش تصویر نوشته شده در نرم‌افزار MATLAB مورد بازسازی و پردازش قرار گرفت. شکل ۴ نمونه بازسازی شده تصویر حاصل از ژل را نشان می‌دهد.

۳. یافته‌ها و بحث

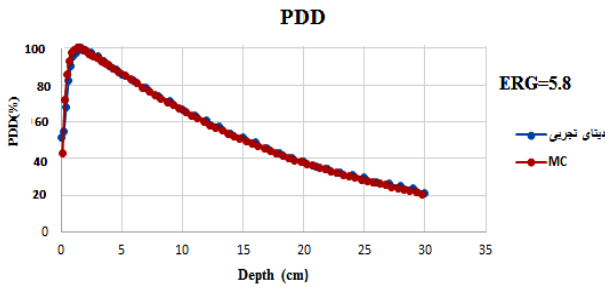
۱.۳. اعتبارسنجی شتابدهنده خطی با کد EGSnrc

برای اعتبارسنجی باید نمودارهای درصد دز عمقی^۱ (نسبت میزان دز در هر عمق به میزان دز بیشینه، برای انرژی‌های مختلف بر حسب درصد) و نمایه دز مطابق با داده‌های تجربی باشند. هنگام تعریف چشمه برای کد دو پارامتر انرژی و پهنای نیم ارتفاع^۲ نیاز است.

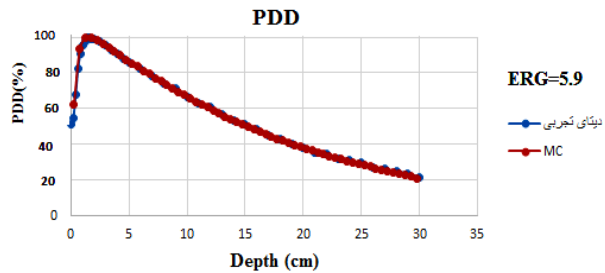
۲.۳. نمودار درصد دز عمقی

در شتابدهنده واقعی انرژی بر حسب مگاولت می‌باشد ولی در شبیه‌سازی مگاالکترون‌ولت می‌باشد که این دو پارامتر کاملاً متفاوت هستند. در این شتابدهنده دسته‌ای الکترون وجود دارند که تحت اختلاف پتانسیل ۶ MV شتاب می‌گیرند و در نهایت طیفی از الکترون به وجود می‌آید که دارای انرژی‌های مختلفی می‌باشند. به علت عدم قطعیت در طیف انرژی الکترون‌های خروجی، این الکترون‌ها حول انرژی ۶ MeV دارای یک تابع توزیع گاوسی با پهنای نیم ارتفاع ۰/۳۵ است. به این علت برای منحنی درصد دز عمقی از انرژی کم‌تر از ۶ MeV (در اینجا ۵/۵) با گام ۰/۱ تا انرژی ۶/۵ ادامه داده می‌شود و برای هر انرژی نمودار درصد دز عمقی رسم شد.

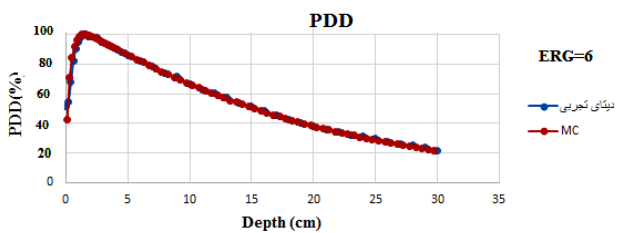
نمودار درصد دز عمقی به دست آمده با نمودار حاصل از داده‌های تجربی انطباق داده شد تا مشخص شود در کدام انرژی دو نمودار بر هم منطبق است. نمودار درصد دز عمقی برای سه انرژی ۵/۸، ۵/۹ و ۶ مگاالکترون‌ولت در شکل‌های ۶a، ۶b و ۶c نشان داده شده است.



(a)



(b)



(c)

شکل (۶): درصد دز عمقی در انرژی‌های متفاوت (نمودار آبی مربوط به داده‌های تجربی و نمودار قرمز مربوط به داده‌های شبیه‌سازی است).

شاخص گاما یک ابزار مناسب برای مقایسه توزیع دز تجربی و شبیه‌سازی می‌باشد. اگر $D_R(x)$ توزیع دز مرجع و $D_T(y)$ توزیع دز تجربی باشد، آن‌گاه شاخص گاما در هر نقطه عبارت است از:

$$\gamma = \min \sqrt{\left(\frac{y-x}{\delta}\right)^2 + \left(\frac{D_T(y) - D_R(x)}{\Delta}\right)^2} \quad (1)$$

که δ و Δ به ترتیب ضرایب بهنجارش مکان و دز است. به طور معمول ضرایب بهنجارش قابل قبول $\delta = 3mm$ و $\Delta = 3\%Dose\ max$ می‌باشد. با در نظر گرفتن این مقادیر،

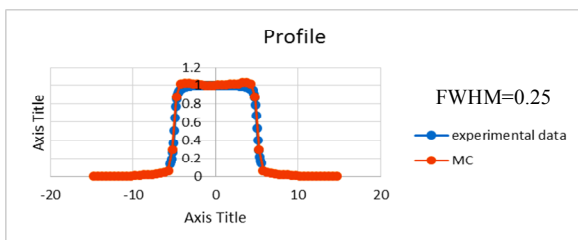
¹ Percentage Dose Depth (PDD)

² FWHM

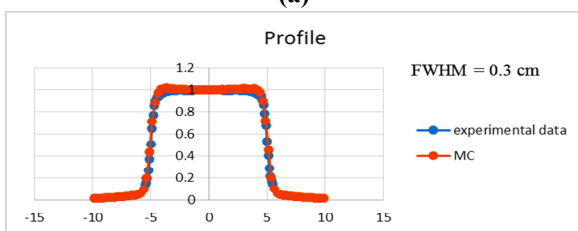
۰/۳، ۰/۴۷ و ۰/۳ برآورد شد. پس شاخص گامای نمودار ۷c نسبت به دو نمودار دیگر میزان کم‌تری دارد که این نشان دهنده آن است که انرژی ۶ MeV برای شتابدهنده در شبیه‌سازی تأیید می‌شود.

۳.۳. نمودار پروفایل دز

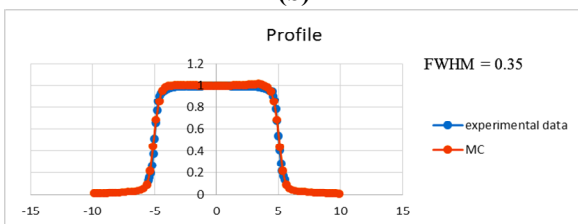
برای رسم نمودار نمایه دز از پهنای نیم ارتفاع استفاده می‌شود. به این صورت که انرژی ثابت فرض شده و پهنای نیم ارتفاع از ۰/۱ سانتی‌متر تا ۰/۵ سانتی‌متر تغییر داده شد. با رسم هر پروفایل دز باید تعیین شود که در کدام پهنای نیم ارتفاع دو نمایه دز تجربی و شبیه‌سازی بر هم منطبق می‌شوند. شکل‌های ۸a، ۸b و ۸c منحنی‌های مربوط به پروفایل دز را به ترتیب در ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۳۵ سانتی‌متر نشان می‌دهد. محور افقی نمودار فاصله عرضی و محور عمودی میزان دز را در هر پروفایل نشان می‌دهد.



(a)



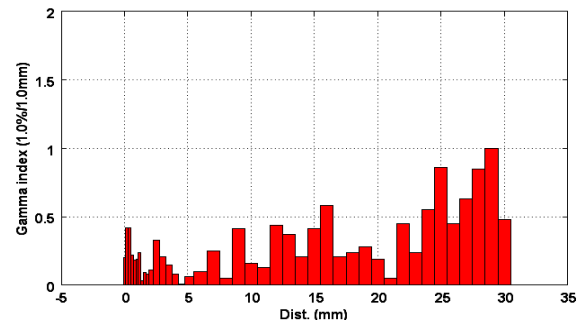
(b)



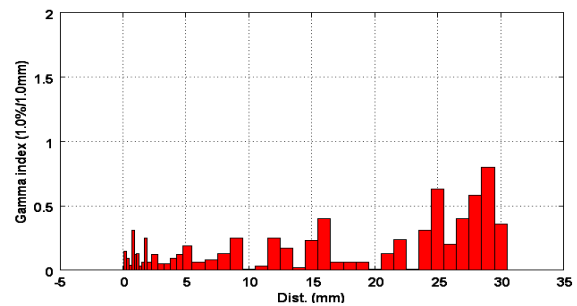
(c)

شکل (۸): نمودار پروفایل دز در FWHMهای مختلف.

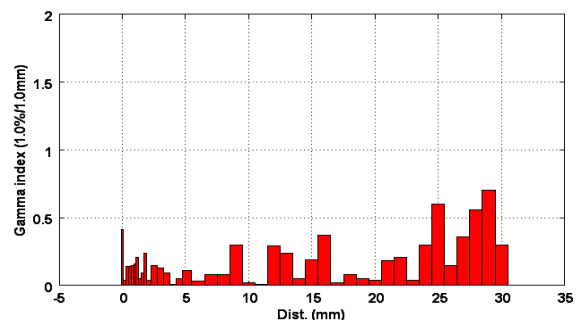
کیفیت دزی قابل قبول است که در آن $\gamma_{D_T, D_R} < 1$. پس هر چه میانگین binهای نمودار شاخص گاما از ۱ کم‌تر باشد، نمودار دقیق‌تر خواهد بود [۱۷]. برای تعیین میزان شاخص گاما از روی نمودار می‌توان میانگین بارهای نمودار را محاسبه کرد. در شکل ۷a، ۷b و ۷c نمودار شاخص گاما به ترتیب برای انرژی‌های ۵/۸، ۵/۹ و ۶ مگا‌ولت نشان داده شده است.



(a)



(b)



(c)

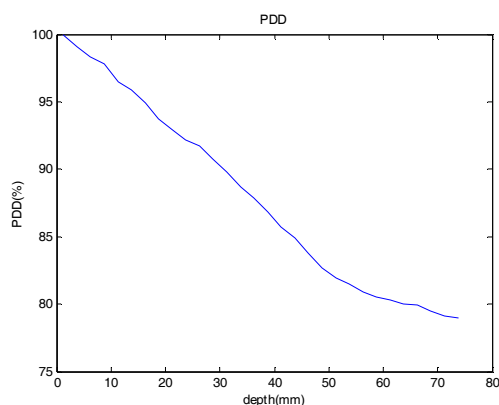
شکل (۷): شاخص گاما برای انرژی‌های مختلف.

با توجه به نمودارهای شکل ۶ ملاحظه می‌شود که از بین این سه نمودار، نمودار شکل ۶c نسبت به سایر نمودارها انطباق بهتری با داده‌های تجربی دارد، حتی این مطلب را با توجه به شاخص گامای آن که در شکل ۷c نشان داده شده است، می‌توان دریافت. شاخص گاما برای نمودار ۷a، ۷b و ۷c به ترتیب

۹c می‌توان ملاحظه کرد. بررسی منحنی‌ها نشان‌دهنده تطبیق کامل منحنی‌های محاسباتی و تجربی می‌باشد بنابراین در ادامه بدون نگرانی می‌توان از شبیه‌سازی برای انجام اعمال ژل دزیتمتری استفاده نمود.

۴.۳. نتایج حاصل از خوانش دز در ژل با سیستم OCT

تابش دادن باعث تغییر رنگ و کدوری ژل می‌شود. از این خاصیت برای خوانش میزان دز در روش OCT استفاده می‌شود. میزان کدوری با میزان تابش رابطه مستقیم دارد. پس از پردازش داده‌ها در نرم‌افزار متلب و به‌دست آوردن تصاویر سطح مقطعی با برش‌هایی به طول ۰/۲۵ سانتی‌متر در عمق‌های مختلف ژل، میزان تضعیف نور در عمق‌های مختلف ژل با کمک برنامه inverse radon برآورد شد و سپس از روی میزان تضعیف نور، نمودار میزان دز در عمق‌های مختلف (PDD) برای ژل با استفاده از نرم‌افزار متلب رسم شد. شکل ۱۰ نمودار PDD را برای ژل نشان می‌دهد.



شکل (۱۰): نمودار PDD تجربی برای ژل.

۵.۳. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مونت کارلوی

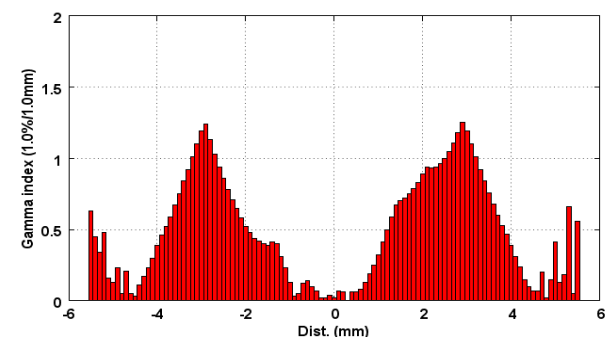
EGSnrc برای ژل

بعد از اینکه هندسه شتاب‌دهنده و فانتوم آب و ویال ژل شبیه‌سازی شد، از پوشه EGSnrc گزینه EGSHOME

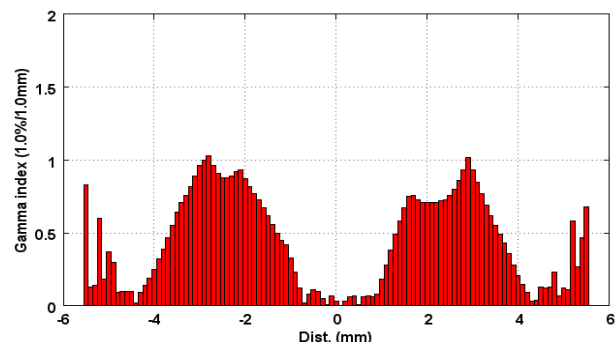
نمودار ۹a، ۹b و ۹c شاخص گاما را به ترتیب برای پروفایل دز بالا نشان می‌دهد. میزان شاخص گاما برای نمودار ۹a، ۹b و ۹c به ترتیب ۱/۰۹، ۰/۶۹ و ۰/۴۲ برآورد شد.



(a)



(b)



(c)

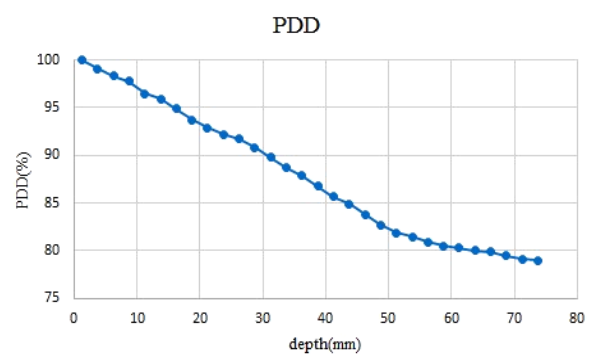
شکل (۹): شاخص گاما برای پروفایل دز.

میزان انرژی برای رسم نمایه دز ثابت فرض می‌شود که با توجه به نمودار دز عمقی در بالا این میزان ۶ MeV در نظر گرفته شده است. پروفایل دز برای پهنای نیم ارتفاع‌های متفاوت رسم شده و با توجه به نمودارهای شکل ۴ ملاحظه می‌شود که نمودار شکل ۸c با پهنای نیم ارتفاع ۰/۳۵ cm انطباق خیلی خوبی با داده‌های تجربی دارد، همان‌گونه که این مطلب را با در نظر گرفتن شاخص گامای این نمودار در شکل

۴. نتیجه گیری

با استفاده از کد EGSnrc، شتاب‌دهنده خطی زیرمنس پریموس ۶ MeV شبیه‌سازی شد که نشان‌دهنده توانایی این کد در شبیه‌سازی انواع میدان‌ها با چشمه‌های متفاوت می‌باشد. با استفاده از این کد می‌توان انواع ژئومتری‌های ساده و پیچیده و چشمه‌های مختلف پرتوی با توزیع‌های متفاوت از نظر انرژی و شدت را تعریف نمود. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد توافق مناسب بین منحنی‌های دز عمقی و نمایه‌های محاسباتی با اندازه‌گیری‌های عملی وجود دارد. لذا از این شبیه‌سازی می‌توان به منظور پیش‌بینی توزیع دز در میدان‌های درمانی مختلف استفاده نمود. سیستم تیرش‌نگاری کامپیوتری نوری روشی برای خوانش سریع و دقیق توزیع دز در داخل ژل‌های پلیمری است. با وجود چنین سیستمی در بخش فیزیک هسته‌ای، انجام ژل دزیمتری به‌طور مستقل از شیوه‌های دیگر مانند MRI می‌تواند صورت گیرد. در نهایت با کاربرد این سیستم در دزیمتری پرتودرمانی می‌توان به بهبود درمان بیماران و همچنین بالا بردن کیفیت پرتودرمانی کمک کرد. درستی کارکرد این سیستم با مقایسه با شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که این سیستم با الگوریتم‌های بکار گرفته شده، قادر به بازسازی تصاویر به صورت دو بعدی و به دست آوردن تصاویر سطح مقطع از محیط‌های شفاف (دارای قابلیت عبور نور) می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که این سیستم قابلیت سنجش دز جذبی پرتوها و همچنین قابلیت استفاده در دزیمتری پرتودرمانی را داراست.

انتخاب شد. این پوشه شامل خروجی‌هایی است که با شبیه‌سازی به وجود آمد. خروجی اصلی 3D دز می‌باشد که همان ماتریس سه‌بعدی دز می‌باشد. فایل ورودی و فایل خروجی ساخته شده و فایل خروجی شامل اطلاعات و خطای مربوطه می‌باشد که مورد نیاز است. این اطلاعات را می‌توان در یک فایل متنی کپی کرد و با انتقال به محیط اکسل، نمودارهای مربوطه را رسم کرد. شکل ۱۱ نمودارهای PDD حاصل از شبیه‌سازی مربوط به ژل را نشان می‌دهد.



شکل (۱۱): نمودار PDD حاصل از شبیه‌سازی برای ژل.

در نمودارهای ۱۰ و ۱۱ مکان چشمه به‌عنوان مبدأ در نظر گرفته شد و دو نمودار تطابق خوبی را نشان می‌دهند. در هر دو نمودار با فاصله گرفتن از چشمه رفته رفته میزان دز کاهش می‌یابد و این از سیر نزولی هر دو نمودار مشخص است. بیشینه دز در هر دو نمودار تقریباً یکسان است، بنابراین کارایی سیستم OCT ساخته شده برای ژل دزیمتری با شبیه‌سازی تأیید می‌شود.

۵. مراجع

- [1] A.E. Schach von wittenau, P.M. Bergstrom, L.J. Cox. Patient-dependent beam –modifier Physics in Monte Carlo photon dose calculations, *Med Phys*, 27(5) (2000) 935–47.
- [2] A. Chaves, M.C. Lopes, C.C. Alves, C. Oliveria, L. Peralta, P. Rodrigues, A. Trindade. Basic dosimetry of radiosurgery narrow beams dosimetry of radiosurgery narrow beams using Monte Carlo simulation: A detailed study Of depth of maximum dose, *Med Phys*, 30(11) (2003) 2904–2911.
- [3] I. Chetty, J.J. Demarco, T.D. Solberg. A virtual source model for Monte Carlo modeling of arbitraray intensity distribution, *Med Phys*, 27 (2000) 166–172.
- [4] A. Chaves, M.C. Lopes, C.C. Alves. A Monte Carlo multiple source model applied toradiosurgery narrow photon beam, *Med Phys*. 31(8) (2004) 2196–2204.
- [5] F. Verhaegen, J. Seuntjens. Monte Carlo modeling of external radiotherapy photon beams. *Phys Med Biol*. 48 (2003) R107–64.
- [6] X.G. Ding, Using Monte Carlo simulation to commission photon beam output factors-a feasibility study, *Phys Med Biol*. 48 (2003) 3865–3874.
- [7] D. Sheikh-Bagheri, D.W. Rogers. Monte Carlo calculation of nine megavoltage photon beam spectra using the BEAM code. *Med Phys* 29(3) (2002) 391–402.
- [8] M.K. Fix, H. Keller, P. Rugesegger, E.J Born. Simple beam models for Monte Carlo photon beam dose calculations in radiotherapy, *Med Phys*. 27(12) (2000) 2739–2747.
- [9] S.Y. Lin, T.C. J.P. Chu, Lin. Monte Carlo simulation of a clinical linear accelerator, *Applied Radiation and Isotopes*. 55 (2001) 759–765.
- [10] H. Helen, T. Rock Mackie, C. Edwin. A dual source photon beam model used in convolution/superposition dose calculation for clinical megavoltage x-ray beams, *Med. Phys*. 24(12) (1997) 1960–74 .
- [11] R.D. Lewist, S.J. Ryde, D.A. Hancock, C.J. Evans. An MCNP-based model of linear accelerator xray beam, *Phys Med Biol*. 44 (1999) 1219–1230.
- [12] D.W.O. Rogers, B. Walters, I. Kawrakow, BEAMnrcUser's. NRC Report PIRS 509, Canada, (2013).
- [13] B. Walters, I. Kawrakow, D.W.O. Rogers, DOSXYZnrc Users Manual. NRC Report PIRS 794, Canda, (2013).
- [14] WORKING GROUP6: COMPUTATIONAL DOSIMETRY. Standard Monte Carlo Modeling of a Medical Linear Accelerator, (2010).
- [15] Siemense medical solution USA INC oncology care systems group
- [16] M. Mahdavi, M. Hoseinnezhad, S.R. Mahdavi. Development of an Advanced Optical Coherence Tomography System for Radiation Dosimetry. *IJMP* 15(4) (2018) 243–250.
- [17] M. Chen, W. Lu, Q. Chen, K. Ruchala, G. Olivera. Efficient gamma index calculation using fast Euclidean distance transform. *Med Phys*. 54 (2009) 2037–2047.