

## بررسی تجربی اثر هندسه و ضخامت تضعیف کننده بر پهنای رادیوگرافی و طرح مناسب توزیع دز و مقایسه آن با نتایج شبیه سازی مونت کارلو

یاسمین کوگانی<sup>۱\*</sup>؛ محمدرضا قاسمی<sup>۲</sup>؛ امید رضا کاکویی<sup>۳</sup>؛ ارژنگ شاهرور<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه پیام نور، مرکز تهران شرق، گروه فیزیک

<sup>۲</sup>سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی

<sup>۳</sup>سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده علوم هسته ای

### چکیده

رادیوتراپی تطبیقی یکی از مهم ترین روش های درمان تومور در بیماران سرطانی بشمار می آید. در این روش، براساس شکل و حجم هدف، سعی می شود که تا حد ممکن میزان دز پرتو گاما در سلول های سرطانی بیشتر و در بافت سالم مجاور تومور کاهش یابد. به این منظور برنامه ریزی درمان و استفاده از شبیه سازی و محدودکننده های تضعیف پرتو اهمیت زیادی دارد. در این کار پژوهشی اثرات مرتبط با پهنای هندسی تضعیف کننده پرتو بر پهنای رادیوگرافی و نیز اثر برگ های تضعیف کننده جهت ایجاد طرح مناسب توزیع دز بصورت تجربی با دستگاه کبالت ۶۰ انجام و مقادیر آن با داده های نظیر حاصل از شبیه سازی مونت کارلو مقایسه شده است.

کلمات کلیدی - رادیوتراپی تطبیقی، مونت کارلو، دستگاه کبالت ۶۰، تنگستن، سرب

### مقدمه

در جوامع مدرن سرطان دومین عامل مرگ و میر است. حدود یک سوم هر جمعیتی، نوعی سرطان را در طول عمرشان تجربه می کنند. خوشبختانه امروزه این امکان حاصل شده است تا ۴۵ درصد از انواع سرطان ها را به طور موفقیت آمیز درمان کنند [۱]. یکی از مهم ترین روش های درمان سرطان، رادیوتراپی تطبیقی یا IMRT<sup>۱</sup> نام دارد که هدف آن برنامه ریزی برای تعیین توزیع دقیق دز ناشی از پرتوهای نافذ (گاما) در سه بعد و منطبق با شکل و حجم هدف به منظور از بین بردن سلول های تومور و در عین حال محدود کردن دز جذبی بافت های سالم و اندام های در معرض خطر می باشد [۲]. طبق گزارش ICRU<sup>۲</sup> خطا در دز داده شده به هدف نباید بیش از ۵ درصد دز تجویز شده باشد [۳]. بنابراین اجرای صحیح و بدون خطای پرتو درمانی در هر مرحله از درمان اهمیت بسزایی دارد. برای سازگاری و مطابقت دادن تابش با حجم تومور راه های

<sup>۱</sup> -Intensity modulated radiation therapy

<sup>۲</sup> - International Commission On Radiation Units And Measurement

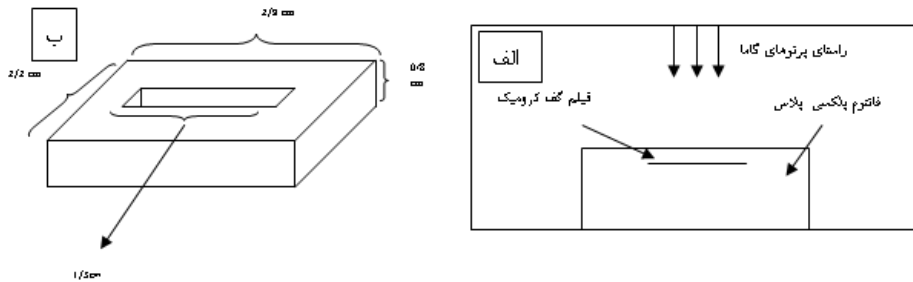
مختلفی وجود دارد. ساده‌ترین روش، مسدود کردن مسیر پرتو در مناطقی غیر از تومور به وسیله موازی سازه‌های چند برگ و یا بلوک‌های مخصوص (جبران کننده‌ها)، از جنس تنگستن یا سرب است [۳ و ۴]. ضخامت مناسبی از این فلزات توانایی میرا نمودن پرتوی گاما را به اندازه دلخواه دارند. چون هدف از پرتو درمانی (IMRT) برنامه ریزی برای از بین بردن سلول‌های سرطانی و در عین حال محدود کردن دز جذبی در بافت‌های سالم و اندام‌های در معرض خطر است [۵]، از این رو اندازه گیری دز جذبی در نواحی مختلف، برای کاهش خطا در پرتو درمانی بسیار موثر است. اندازه گیری میزان دز جذبی با دو روش دزیمتری نقطه‌ای (توسط اتاقک یونش و یا دیود) و دزیمتری دو بعدی (توسط فیلم‌های رادیوگرافی و یا رادیوکرومیک) انجام می‌شود. استفاده از فیلم‌های گف کرومیک یکی از پیشرفته‌ترین و جدیدترین روش‌های دزیمتری موجود برای ارزیابی سیستم‌های طراحی درمان می‌باشند [۶].

## مواد و روش‌ها

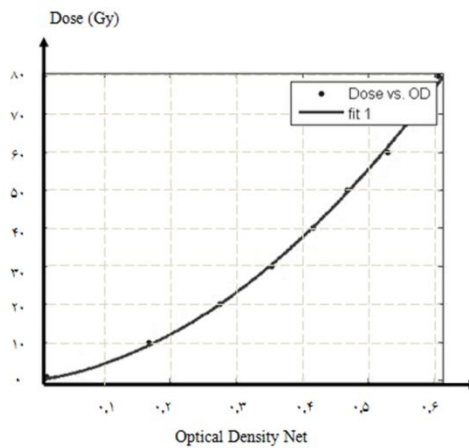
ابزار آرایی آزمایش: در این آزمایش‌ها از چشمه تابشی دستگاه کبالت ۶۰ با آهنگ دز ۱۵۰/۵ mGy/min استفاده شد. آشکارساز مورد استفاده فیلم گف کرومیک (Gafchromic-MD-V۲\_۵۵) [۷] به ابعاد  $cm^2$   $3 \times 3$  است. فیلم‌ها در فاصله‌ی ۸۰ cm از چشمه و در میدان تابشی یکنواخت  $10 \times 10$  سانتی‌متر مربع تابش دهی شده‌اند (شکل ۱-الف). فیلم‌های تابش یافته و فیلم شاهد به مدت ۴۸ ساعت در شرایطی یکسان و بدور از هر گونه تابش نگه داری شده و پس از آن توسط اسکنر با قدرت تفکیک ۳۰۰ پیکسل بر اینچ، بصورت سیاه و سفید اسکن شده و با فرمت TIF ذخیره شدند. داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار MATLAB برای بدست آوردن چگالی نوری خالص آنالیز شدند.

## الف- تعیین منحنی کالیبراسیون

به منظور بررسی پاسخ فیلم گف کرومیک و استخراج منحنی کالیبراسیون، فیلم‌های آشکارسازی با دزهای ۱ و ۲۰ و ۳۰ و ۴۰ و ۵۰ و ۶۰ و ۷۰ و ۸۰ گری، تحت تابش قرار گرفتند. یک فیلم باقیمانده به منظور اندازه‌گیری دز زمینه (Back ground) کنار گذاشته شد. در شکل ۲ منحنی رفتار چگالی نوری بر حسب دز پرتوهای تابش شده نشان داده شده است. با برازش داده‌ها منحنی کالیبراسیون حاصله، عبارت  $Dose(Gy) = 170.7 (ODNet)^2 + 25.59(ODNet)$  بدست آمده است.



شکل ۱-الف) نمایی از نحوه ی پرتو دهی و فیلم در عمق ۱ cm فانتوم پلکسی گلاسی به ابعاد  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  و ضخامت ۵cm، ب)- نمایی از صفحه تنگستن مورد استفاده با شکافی تعبیه شده در وسط آن



شکل ۲- منحنی کالیبراسیون

جهت بدست آوردن چگالی نوری خالص فیلمها از روابط زیر استفاده شده است:  $OD_{bc} = \text{Log}(I_o/I_{bc})$  و  $OD_{Net} = OD_{exp} - OD_{bc}$ ,  $OD_{exp} = \text{Log}(I_o/I_{exp})$  که در این روابط  $I_{bc}$  شدت نور اندازه گیری شده از فیلم کنار گذاشته شده،  $I_o$  شدت نور اندازه گیری شده از یک فیلم کاملاً خام و  $I_{exp}$  شدت نور اندازه گیری شده از فیلم تابش شده است.

### ب- آزمایش ها

آزمایش مقایسه پهنای هندسی با رادیوگرافی- مرسوم ترین ماده ی بکار رفته برای تضعیف پرتو گاما، تنگستن است. به منظور محاسبه ی قدرت میرایی صفحه تنگستن نشان داده شده در شکل ۱-ب استفاده شده است. به منظور مقایسه ی پهنای هندسی با پهنای رادیوگرافی چهار عرض مختلف (به ترتیب ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ میلیمتر) برای شکافهای صفحه تنگستن در نظر گرفته شده است. این آزمایش به مدت زمان ۱۰۰ دقیقه و برای شکافهای مختلف با هندسه قرارگیری فیلم بیان شده در ابزارآرایی آزمایش انجام شده است.

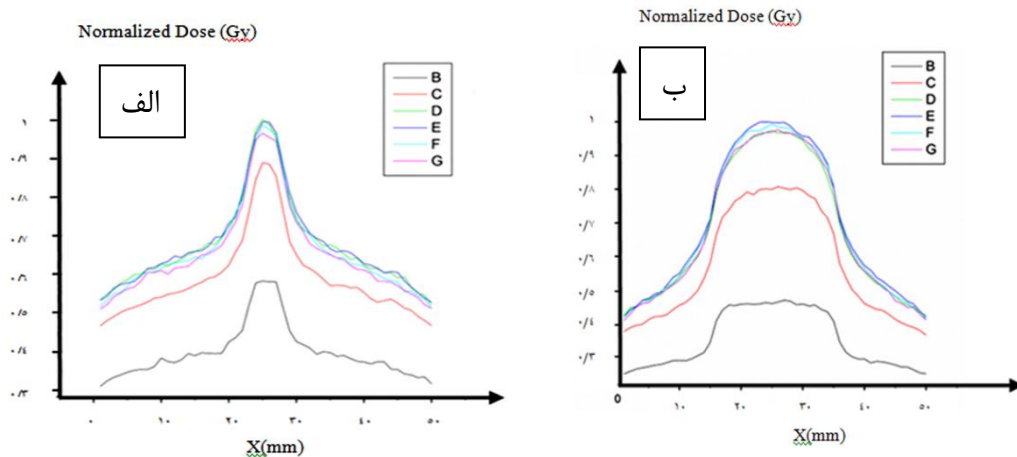
## 19 th Iranian's Nuclear Conference

به منظور شبیه‌سازی با  $Geant^4$  برای بررسی میزان دز در اعماق مختلف فانتوم، آشکارسازی به ابعاد  $6 \times 6 \text{ cm}^2$  و ضخامت  $2 \text{ cm}$  (۲۰ قسمت با ضخامت  $0.1 \text{ mm}$ ) از سطح فانتوم در نظر گرفته. انرژی متوسط پرتوهای گاما در حالت شبیه سازی  $1252/85 \text{ keV}$  و به تعداد  $100$  میلیون ذره در نظر گرفته شد.

آزمایش به منظور بررسی تجربی استفاده از برگ‌های تضعیف‌کننده جهت ایجاد طرح مناسب توزیع دز و مقایسه آن با شبیه‌سازی برای این منظور از برگ‌های سرب با ضخامت مناسب استفاده شد به گونه‌ای که ۹ ناحیه با ضخامت‌های دو ناحیه با ضخامت  $3 \text{ cm}$ ، سه ناحیه با ضخامت  $2 \text{ cm}$ ، سه ناحیه با ضخامت  $1 \text{ cm}$  و یک ناحیه ی بدون سرب که در وسط قرار داشت با هر آزمایش تابش دهی شود. فیلم گف کرومیک نخست در عمق  $1 \text{ cm}$  با فاصله  $80 \text{ cm}$  از چشمه و دیگر فیلم‌ها در عمق‌های  $1/2$  و  $1/4$ ،  $1/6$ ،  $1/8$ ،  $2$ ، و  $4$  سانتی متری فانتوم قرار داده شده و تابش دهی مجموعه برای  $100$  دقیقه انجام شد. در شبیه سازی این آزمایش نیز کلیه شرایط یکسان در نظر گرفته شد با این تفاوت که به منظور بررسی میزان دز در اعماق مختلف فانتوم آشکارسازی با ضخامت مشابه آزمایش قبل در نظر گرفته شد.

## نتایج

در شکل ۳ الف و ب منحنی شبیه‌سازی  $Geant^4$  حاصل از نحوه تغییر دز بر حسب عمق برای دو شکاف  $0.5 \text{ mm}$  و  $2 \text{ mm}$  نشان داده شده است.



شکل ۳- منحنی توزیع دز نسبی حاصل از شبیه‌سازی  $Geant^4$  برای عمق‌های (D:  $3 \text{ mm}$ , C:  $2 \text{ mm}$ , B:  $1 \text{ mm}$ ) برای شکاف‌های الف) ( $G: 6 \text{ mm}$ , F:  $5 \text{ mm}$ , E:  $4 \text{ mm}$ ) و ب)  $2 \text{ mm}$  و  $0.5 \text{ mm}$

در نمودار شکل ۳ مشاهده می‌شود که میزان دز پس از ورود به فانتوم، ابتدا تا عمق  $4 \text{ mm}$  افزایش یافته و سپس روند کاهشی دارد. این  $4 \text{ mm}$  اول که در آن دز افزایشی است همان ناحیه **Build up** دز است. بررسی دز عمقی در محدوده شکاف نشان می‌دهد که در عمق  $1/6 \text{ cm}$ ، دز به  $90\%$  مقدار حداکثر آن میرسد.

## 19 th Iranian's Nuclear Conference

جدول ۱- مقایسه پهنای دز ۹۰٪ و ۸۰٪ در مقابل کلیماتور تنگستن با پهنای شکاف‌های مختلف و درصد دز نسبی در زیر

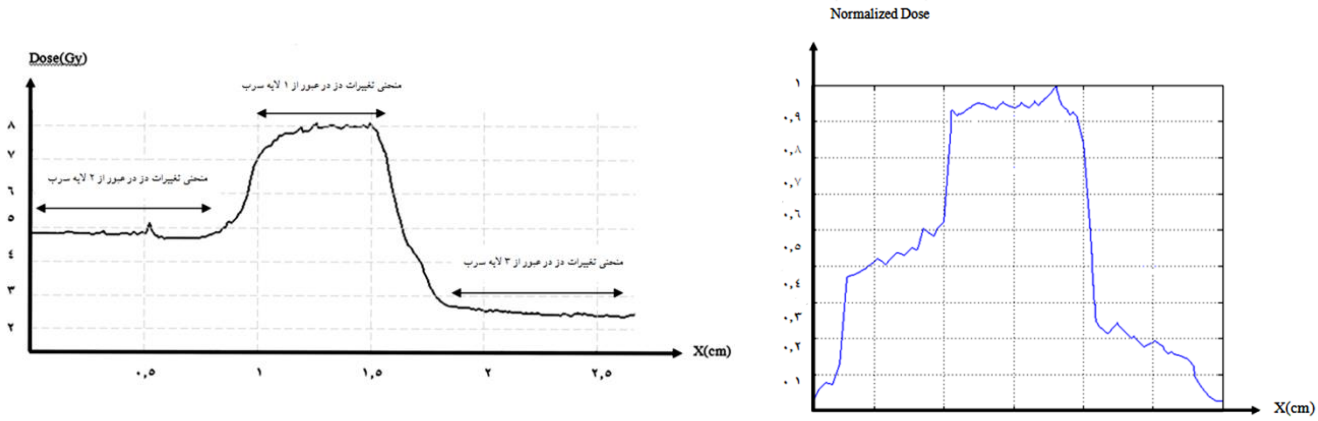
۸ mm تنگستن به مرکز شکاف (اندازه گیری تجربی و شبیه سازی)

پهنای شکاف	پهنای دز ۹۰٪ (mm)		پهنای دز ۸۰٪ (mm)		درصد دز نسبی در زیر ۸ mm تنگستن به مرکز شکاف	
	شبیه سازی	تجربی	شبیه سازی	تجربی	شبیه سازی	تجربی
۰/۵mm	۰/۴۵	۰/۴۷	۰/۸۶	۱/۷۸	۶۲	۷۷
۱ mm	۰/۸۲	۰/۸۶	۱/۱۵	۱/۲۹	۶۰	۶۹
۱/۵ mm	۱/۳۰	۱/۳۳	۱/۷۰	۱/۸۳	۵۷	۶۴
۲ mm	۱/۵۷	۱/۶۰	۱/۸۵	۲/۱۰	۵۲	۶۲

در جدول ۱ پهنای دز ۹۰ و ۸۰ درصد در دو حالت شبیه سازی و تجربی برای چهار شکاف مختلف نشان داده شده است. مشاهده می شود که پهنای دز ۹۰ درصد برای همه شکافها و در هر دو حالت تجربی و شبیه سازی از پهنای فیزیکی شکاف کمتر است. پهنای دز ۸۰ درصد و پهنای فیزیکی شکاف تقریباً به هم نزدیک می شوند. برای مثال در شکاف ۰/۵mm دز در مرکز شکاف ۱۴ گری و در ناحیه زیر ۸ mm تنگستن ۱۰/۷۸ گری اندازه گیری شده است. یعنی ۷۷ درصد مقدار دز در وسط شکاف و در حالت شبیه سازی این مقدار به ۶۲ درصد رسیده است. برای شکاف های ۱، ۱/۵ و ۲ میلی متر نیز این مقادیر نشان داده شده است. البته پهنای بدست آمده برای حالت تجربی در مقایسه با مورد مشابه در حالت شبیه سازی همواره بیشتر بدست آمده است (جدول ۱). میزان تضعیف بدست آمده از ضخامت ۸mm تنگستن در حالت شبیه سازی همواره از حالت تجربی بیشتر است (جدول ۱). علت این اختلاف ناشی از کلیماتور بکار رفته در آزمایش تجربی می باشد. زیرا به دلیل عدم دسترسی به بلوک یکپارچه تنگستن، از کنار هم گذاشتن ورق هایی با ضخامت ۱mm، کلیماتور تنگستنی ساخته شد که قطعاً فواصل بسیار کوچک بین صفحات موجب عبور پرتو و بالا آمدن منحنی دز در زیر ناحیه تنگستن خواهد شد. علاوه بر این، اختلاف موجود را می توان ناشی از قرائت فیلم با اسکنر معمولی به جای چگالی سنج نوری مختص فیلمهای گف کرومیک دانست. نتایج آزمایش به منظور بررسی تجربی استفاده از برگ های تضعیف کننده جهت ایجاد طرح مناسب توزیع دز و مقایسه آن با شبیه سازی نشان می دهد که در نواحی مختلف یک لایه سرب (یک سانتیمتر) میزان دز عبوری را به ۰/۴۹۸۱، ۰/۵۷ و ۰/۴۷۷۷ مقدار اولیه کاهش می دهد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که به طور میانگین یک لایه سرب در آزمایش تجربی میزان دز را به ۰/۵۱ مقدار اولیه کاهش داده است. در حالی که آزمایش شبیه سازی این مقدار را ۰/۵۵ پیش بینی می کند. درصد اختلاف بین آزمایش تجربی و شبیه سازی ۷ درصد بدست آمد. به طور مشابه داده ها نشان دادند که دو لایه سرب (دو سانتیمتر) در آزمایش تجربی میزان دز را به ۰/۲۶ مقدار اولیه و در شبیه سازی به ۰/۲۸ مقدار اولیه کاهش می دهد که اختلاف بین این دو نیز ۷ درصد بدست آمد. می توان این درصد اختلاف را به دلیل استفاده از اسکنر معمولی به جای اسکنرهای

## 19 th Iranian's Nuclear Conference

مخصوص پزشکی در اسکن فیلم‌های گف کرومیک دانست. نمونه‌ایی از نمودار تغییرات دز حاصل از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری تجربی در شکل ۴ برای نواحی با یک، دو و سه سانتی‌متر سرب نشان داده شده است.



شکل ۴ - نمودار تغییرات دز حاصل از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری تجربی در نواحی با یک، دو و سه سانتی‌متر سرب

### بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت رادیوتراپی تطبیقی به عنوان روشی مهم برای درمان تومور در بیماران سرطانی و همچنین اثر استفاده از محدودکننده‌های تضعیف پرتو در این روش درمان و تطابق روش شبیه‌سازی مورد استفاده با نتایج تجربی، آزمایش‌هایی در این فعالیت پژوهشی انجام شده و نتایج آن با روش شبیه‌سازی مونت کارلو بررسی شده است. در این کار پژوهشی اثرات مرتبط با پهنای هندسی تضعیف‌کننده پرتو بر پهنای رادیوگرافی و نیز اثر برگ‌های تضعیف‌کننده جهت ایجاد طرح مناسب توزیع دز بصورت تجربی با دستگاه کبالت ۶۰ انجام و مقادیر آن با داده‌های نظیر حاصل از شبیه‌سازی مونت کارلو بحث و بررسی شده است.

### مراجع

- ۱- Relative Biological Effectiveness In Ion Beam Therapy, IAEA technical report series ۴۶۱, IAEA, Vienna, ۲۰۰۸.
- ۲- S. Hariri, M. Shahriari, Suggesting a new design for multileaf collimator leaves based on Monte Carlo simulation of two commercial systems, J Appl Clin Med Phys., ۱۱, ۳۱۰۱, ۲۰۱۰.
- ۳- P.C. Williams, IMRT: delivery techniques and quality assurance, British Journal of Radiology, ۷۶, ۷۶۶, ۲۰۰۳.
- ۴- K.K. Ferachi, Multileaf collimator positional reproducibility evaluated with a two-dimensional diode array, Thesis Master of Science thesis, Louisiana Tech University, ۲۰۰۳.
- ۵- S.K. Dhanesar, Conformal Radiation Therapy With Cobalt-۶۰ Tomotherapy, Master of Science thesis, Queen's University Kingston, Ontario, Canada, ۲۰۰۸.
- ۶- Alex F Bielajew, Fundamentals of the Monte Carlo method For neutral and charged particle transport, Alex F Bielajew, The University of Michigan, ۲۰۰۱.
- ۷- S. Devic et al., Absorption spectroscopy of EBT model GAFCHROMIC film, Medical Physics, ۳۴, ۱۱۲, ۲۰۰۷.