

بررسی فاکتورهای تاثیر گذار در پروتون تراپی توسط کد شبیه سازی MCNPX

رضا عبدی فرا^۱، سیدپژمان شیرمردی^{۲*}، علی اکبر میرزایی^۱

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، دانشکده علوم، گروه فیزیک

۲- پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده چرخه سوخت

چکیده

یکی از روشهای درمان تومورهای سرطانی روش درمان، پروتون تراپی است. در این مطالعه به بررسی فاکتورهای تاثیرگذار در پروتون تراپی همچون نوع بافت و انرژی و شعاع چشمه با استفاده از کد شبیه سازی MCNPX پرداخته شده است. نتایج بررسی این پارامترها نشان می دهد که با افزایش انرژی چشمه، انرژی انباشت یا ماکزیمم دز جذبی، پراکندگی جانبی و شیب پروفایل دز کاهش می یابد. عمق نفوذ باریکه با افزایش انرژی بیشتر می شود و نشان می دهد تغییرات میدان نسبت به عمق با افزایش انرژی کاهش می یابد. با افزایش اندازه میدان انرژی انباشت یا ماکزیمم دز جذبی و شیب منحنی پروفایل کاهش می یابد. عمق نفوذ باریکه با افزایش اندازه میدان تغییر نمی کند. پراکندگی جانبی با افزایش اندازه میدان، افزایش می یابد.

کلیدواژه: پروتون تراپی، MCNPX، انرژی، شعاع چشمه، پیک براگ

(۱) مقدمه

پروتون ذره ای باردار و دارای جرم سنگین می باشد لذا دارای LET بیشتری نسبت به تابشهای گاما و الکترون می باشد که این موضوع اهمیت ویژه ای در درمان تومورهای در عمق پایین درون بافت دارد. برهمکنش ذرات باردار سنگین مانند پروتون اساساً بوسیله یونیزاسیون و تحریک صورت می گیرد. همچنین ذرات باردار علاوه بر برهمکنشهای نیروهای کولنی ممکن است باعث واکنشهای هسته ای شوند و هسته های رادیواکتیو بوجود آورند. برای مثال یک باریکه پروتون به هنگام عبور از بافت، رادیو ایزوتوپ های با نیمه عمر کوتاه که گسیلنده ی پوزیترون هستند بوجود می آورد. آهنگ از دست رفتن انرژی یا توان توقف (SP) ناشی از برهمکنشهای یونش بر روی ذرات باردار بامجدور سرعت نسبت عکس دارد (رابطه ۱).

$$SP = \frac{dE}{dx} = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \left(\frac{4\pi z^2}{mc^2} \frac{NZ\rho}{\beta^2 A} \right) \left[\ln \left(\frac{2mc^2}{I} \beta^2 \right) - \ln(1-\beta^2) - \beta^2 \right] \quad (1)$$

با محدودیت هایی همراه بود. در سال ۱۹۷۰ با پیشرفت شتابدهنده ها و توسعه کامپیوترها پیشرفت زیادی نیز در این زمینه حاصل شد.

MCNPX کد کامپیوتری ۹۰ Fortran برای ترابرد تابش به روش مونته کارلو است که توانایی ترابرد ۳۴ نوع ذره و چهار یون سبک را دارد. MCNPX یک نسخه ارتقاء یافته از MCNP است. تواناییهای این نرم افزار در جهت ارتقاء فیزیک مسئله، منبعهای ذرات، حسابگرها و گرافیک توسعه یافته است. در نسخه MCNPX محدوده انرژی پروتون از ۱ keV تا ۲۵۰ MeV می باشد. هر برنامه MCNPX از سه قسمت اصلی کارت سلول Cell Card، کارت سطح Surface Card و کارت داده Data Card تشکیل شده است که فقدان هر کدام یا اشتباه در هر کدام باعث ایجاد پیغام خطا می شوند.

هدف این مطالعه بررسی فاکتورهای تاثیرگذار در پروتون تراپی با مدلسازی بافتهای مختلف بدن با چگال و عددهای اتمی معادل مختلف و چشمه پروتونی با انرژی و شعاع های مختلف با استفاده از کد شبیه سازی MCNPX می باشد.

۲) مواد و روشها

در این تحقیق با مدل سازی یک فانتوم به ابعاد (۲۰×۲۰×۴۰) از بافت بدن با چگالی 0.9869 g/cm^3 توسط کد شبیه ساز MCNPX و قراردادن یک چشمه سطحی پروتون در بالای این فانتوم، ترابرد ذرات و برهمکنش های آن موجب دادن دز به بافت می شود، بررسی شده است. در کد شبیه سازی MCNPX از حسابگر mesh در قسمت کارت داده جهت محاسبه انرژی انباشت استفاده گردید سپس با استفاده از نرم افزار Tecplot نتایج برنامه شبیه سازی شده رسم گردید. فاکتورهای بررسی شده در این تحقیق عبارتند از:

۱-۲) اثر تغییرات انرژی چشمه: در این قسمت با ثابت بودن اندازه میدان (شعاع چشمه پروتونی) بصورت ثابت ۱ cm انرژی چشمه از ۵۰ MeV تا ۲۲۰ MeV تغییر داده شد.

۲-۲) اثر تغییرات اندازه میدان: در این قسمت انرژی چشمه پروتونی بصورت ثابت ۱۰۰ MeV در نظر گرفته شده است و شعاع چشمه از ۰/۱ cm تا ۱ cm تغییر کرده است.

19 th Iranian's Nuclear Conference

۳-۲) اثر تغییرات نوع بافت: در این قسمت با انتخاب ۳ ارگان شامل بافت معمولی، بافت نرم (ریه) با چگالی g/cm^3 ۰/۲۹۵۸ و بافت سخت (استخوان) با چگالی g/cm^3 ۱/۴۸۶۲ اثرات چگالی بافت بر بیشترین انرژی انباشت و عمق نفوذ بررسی شده است.

نتایج (۳)

۱-۳) بررسی اثر انرژی چشمه

با افزایش انرژی چشمه، انرژی انباشت کاهش یافته است ولی عمق نفوذ باریکه با افزایش انرژی بیشتر می شود. درجدول (۱) خلاصه نتایج بررسی اثر انرژی چشمه آمده است.

جدول (۱): تاثیر تغییرات انرژی چشمه بر انرژی انباشت، عمق نفوذ پروتون و شیب منحنی پروفایل در بافت معمولی

انرژی چشمه MeV	۵۰	۶۰	۷۰	۹۰	۱۱۰	۱۳۰	۱۶۰	۱۹۰	۲۲۰
انرژی انباشت MeV/cm^3	۲۱/۵۶	۱۷/۷۹	۱۶/۵۸	۱۶/۴۲	۱۳/۲۰	۱۲/۷۸	۸/۵۴	۵/۱۴	۳/۲۰
عمق نفوذ cm	۱/۸۹	۲/۳۱	۳/۲۳	۵/۵۷	۸/۵۵	۱۱/۷۰	۱۶/۹۲	۲۲/۸۰	۲۹/۵۹
شیب منحنی پروفایل	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۴۶	۰/۳۸	۰/۳۴	۰/۳۱	۰/۲۶	۰/۱۶	۰/۰۵

۲-۳) بررسی اثر اندازه میدان

با افزایش اندازه میدان انرژی انباشت کاهش می یابد. این کاهش بصورت تقریباً خطی می باشد. ولی عمق نفوذ با تغییر اندازه میدان تقریباً ثابت است. درجدول (۲) خلاصه نتایج بررسی اثر اندازه میدان آمده است.

جدول (۲): اثر تغییرات شعاع چشمه پروتونی بر انرژی انباشت، عمق نفوذ و شیب منحنی پروفایل در بافت معمولی

شعاع چشمه cm	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹
انرژی انباشت MeV/cm^3	۶۳/۷۳	۵۹/۱۹	۵۳/۱۹	۴۶/۵۱	۴۰/۰۲	۳۴/۱۹	۲۹/۱۵	۲۴/۹۰	۲۱/۳۶
عمق نفوذ cm	۷/۴۶	۷/۴۵	۷/۴۶	۷/۴۶	۷/۴۶	۷/۴۸	۷/۴۷	۷/۴۵	۷/۴۸
شیب منحنی پروفایل	۱/۱۵	۱/۰۷	۰/۹۶	۰/۹۰	۰/۸۵	۰/۷۷	۰/۶۹	۰/۶۲	۰/۵۱

شیب تغییرات دز دریافتی یا انرژی انباشت درعرض میدان با افزایش اندازه میدان کاهش می یابد یا به طور کل شیب منحنی پروفایل درشعاع های بالای چشمه کمتر است.

۳-۳) بررسی اثر نوع بافت

19 th Iranian's Nuclear Conference

در این قسمت اثر بافت روی عمق ماکزیمم دز و ماکزیمم انرژی انباشت و شیب منحنی پروفایل بررسی شده است. درجدول (۳) خلاصه نتایج بررسی اثر نوع بافت برای انرژی 50 MeV و درجدول (۴) خلاصه نتایج بررسی اثر نوع بافت برای انرژی 100 MeV آمده است.

جدول (۳) اثر تغییرات نوع بافت بر انرژی انباشت، عمق نفوذ و شیب منحنی پروفایل در انرژی 50 MeV

نوع بافت	بافت ریه	بافت بدن	بافت استخوان
انرژی انباشت MeV/cm^3	۹/۸۹	۲۱/۵۶	۲۳/۴۸
عمق نفوذ cm	۷/۴۶	۱/۸۹	۰/۹۶
شیب منحنی پروفایل	۰/۲۷	۰/۵۵	۰/۷۶

جدول (۴) اثر تغییرات نوع بافت بر انرژی انباشت، عمق نفوذ و شیب منحنی پروفایل در انرژی 100 MeV

نوع بافت	بافت ریه	بافت بدن	بافت استخوان
انرژی انباشت MeV/cm^3	۲/۶۸	۱۷/۴۱	۱۷/۶۵
عمق نفوذ cm	۲۵/۶۵	۷/۴۲	۴/۷۵
شیب منحنی پروفایل	۰/۰۶	۰/۳۶	۰/۵۸

(۴) بحث و نتیجه گیری

یکی از مفیدترین و موثرترین روشهای درمان تومورهای سرطانی استفاده از پرتودرمانی است. در این روش با در معرض قرار دادن ارگان بیمار در مقابل تابشهای هسته ای و اتمی هسته سببهای هدف را تخریب نموده که این

19 th Iranian's Nuclear Conference

خود منجر به مرگ سلولی خواهد شد. پروتون تراپی یکی از روشهای تقریباً پرهزینه اما سودمندی است که دز انبوهی را در تومور تحویل داده و بدلیل وجود پیک براگ، ارگانهای پشت تومور که در مسیر بیم هستند تابشی را دریافت نخواهند کرد. از دیگر مزایای این روش کم بودن پراکندگی این نوع تابش در برخورد با بدن می باشد که موجب کاهش تحویل دز مزاحم به ارگانهای سالم اطراف نسبت به روشهای گاما و الکترون تراپی می شود. در این تحقیق فاکتورهای متعددی که اثرگذار بر درمان هستند مورد مطالعه قرار گرفت که با افزایش انرژی چشمه، کاهش انرژی انباشت یا ماکزیمم دز جذبی مشاهده گردید و عمق نفوذ باریکه بیشتر شد. شیب منحنی پروفایل با افزایش انرژی کاهش می یابد. پراکندگی جانبی باریکه با افزایش انرژی کاهش می یابد. با افزایش اندازه میدان یا شعاع چشمه، انرژی انباشت یا ماکزیمم دز جذبی کاهش یافته و عمق نفوذ باریکه تغییر نمی کند. همچنین مشاهده گردید که شیب منحنی پروفایل با افزایش اندازه میدان کاهش یافته و پراکندگی جانبی افزایش می یابد. عمق نفوذ باریکه در بافتهای استخوانی نسبت به بافتهای نرم کمتر است به عبارت دیگر جذب در بافتهای استخوانی بیشتر است. با افزایش چگالی بافت ماکزیمم انرژی انباشت افزایش می یابد. شیب منحنی پروفایل با افزایش چگالی بافت افزایش می یابد و پراکندگی جانبی در بافتهای استخوانی نسبت به بافتهای نرم کمتر است.

(۵) منابع

- ۱- شیرمردی، طاهری، امیری، کاربرد کد شبیه سازی MCNP در محاسبات هسته ای ۱۳۸۹، چاپ اول، انتشارات سنوبرک
- ۲- ندایی، قرائتی، اله وردی، فیزیک رادیوتراپی ۱۳۸۹، چاپ اول، انتشارات اباصالح - حیان
- ۳- سمبر، هرمان، فیزیک بهداشت از دیدگاه پرتو شناسی ۱۳۷۱، ترجمه محمد ابراهیم ابوالکاسمی هوشنگ سپهری، علیرضا بینش، چاپ اول، انتشارات نشر دانشگاهی
- ۴- سولفانیدیس، نیکلاس، اندازه گیری و آشکار سازی تابش های هسته ای ۱۳۷۰، ترجمه رحیم کوهی و محمد هادی زاده، چاپ اول، انتشارات سیمین
- ۵- کرین، کنت، آشنایی با فیزیک هسته ای ۱۳۸۶، جلد اول، ترجمه محمد ابراهیم ابوالکاسمی و منیژه رهبر، چاپ پنجم، انتشارات نشر دانشگاهی

۶) Khan, Faiz.M, The Physics of Radiotioin Therapy, ۱۹۸۰

۷) Rajo MR .Eeavy Particle radio therapy, New York: Accademic Press, ۱۹۸۰

۸) <http://www.procure.com>

۹) <http://www.proton-therapy.org>