



بررسی اثر جنس موازی‌ساز سیستم پروتون درمانی در تولید دز نوترون با استفاده از کد MCNPX

نقیسه اسدی، مجتبی تاجیک*، سارا صدرزاده

دانشگاه دامغان، دانشکده فیزیک

چکیده:

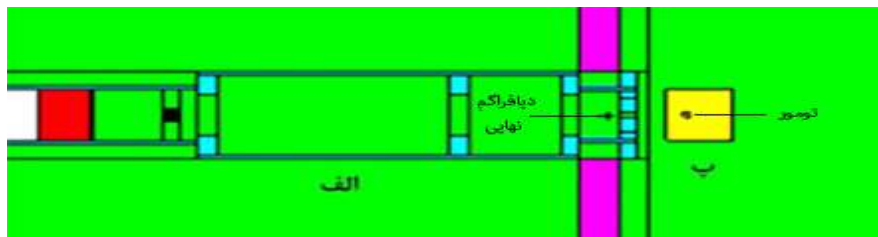
پروتون درمانی روشی است که با آن می‌توان تومورها را به وسیله تحویل سطوح بالایی از دز (در قالب قله براگ) به حجم هدف، با حفظ بافت‌های سالم از تابش درمان نمود. اما در این بین مقداری دز ثانوی ناشی از ذرات ثانویه نیز تولید می‌گردد. اگرچه این دز نسبت به روش‌های موجود بسیار ناچیز است اما برای ذره‌ای چون نوترون که اثر زیستی نسبی بالایی دارد، کاهش دز آن بسیار مطلوب خواهد بود، به این منظور در این کار با به کارگیری کد MCNPX به بررسی اثر تغییر جنس کلیماتور، دیافراگم و دهانه بر کاهش دز نوترون پرداخته شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با تغییر جنس قطعات مذکور به فلز نیکل دز نوترون کاهش خواهد یافت.

کلمات کلیدی: پروتون درمانی، پراکندگی منفعل، دز نوترون، کد MCNPX.

مقدمه:

در حال حاضر در بیشتر پرتو درمانی‌ها از باریکه فوتون با محدوده انرژی بین ۴ تا ۱۸ مگا‌ولت استفاده می‌شود. کمتر از ۱ درصد بیماران در دنیا با پروتون‌ها و ذرات سنگین‌تر درمان می‌شوند. البته این میزان با افزایش پیشرفت در دستگاه‌های پرتو درمانی رو به افزایش می‌باشد. این در حالی است که ذرات فوتون در تمام مسیر خود در بدن بیمار دز بر جای می‌گذارد. اما در مقابل زمانی که پروتون‌ها انرژی می‌گیرند (نوعاً بین ۷۰ MeV تا ۲۵۰ MeV) آنها به آرامی و به صورت تابعی از عمق نفوذشان دز برجای می‌گذارند، در واقع هرچه سرعتشان کمتر می‌شود میزان انباشت انرژی افزایش می‌یابد تا جاییکه بیشینه آن در انتهای مسیر باقی گذاشته شده و بعد از آن به سرعت افت پیدا میکند، این رفتار سبب ایجاد منحنی دز-عمقی به نام قله براگ می‌شود [۱]. فناوری‌های پروتونی از زمان معرفی آنها در برنامه‌های پزشکی پیشرفت چشمگیری داشته‌اند. تا همین اواخر، تنها روش پراکندگی منفعل مورد استفاده قرار می‌گرفت، اما روش اسکن فعال نیز پس از آن روی کار آمد. چون پرتوهایی که از شتاب‌دهنده استخراج می‌شود، تک‌انرژی هستند، در روش پراکندگی منفعل، از فویل

پراکننده، جاذب و فیلترها به منظور گسترش قله براگ (تشکیل SOBP) و به دست آوردن پوشش بهتر تومور استفاده می‌شود [۲]. زمانی که پروتون‌ها به وسیله یک هسته در یک برهم‌کنش جذب می‌شوند، ذرات دیگری به عنوان محصولات از هسته خارج می‌شوند، این ذرات منتشر شده را ذرات ثانویه می‌نامند که عبارت‌اند از: پروتون، دوترون، هسته‌های سبک‌تر مانند آلفا و هسته‌های پس‌زده شده باقی‌مانده، فوتون‌های گاما و نوترون. هرکدام از این ذرات تولیدی، بخشی از انرژی اولیه را با خود به همراه دارند [۳]. بیشتر انرژی نهایی توسط پروتون، نوترون و فوتون حمل می‌شود [۴]. یکی از مشکلات درمانی این روش درمانی دز ذرات ثانویه بویژه دز نوترون است. مطالعات قبلی نشان داد که بیشترین دز نوترون ناشی از برهم‌کنش پروتون با موازی‌ساز شامل: دیافراگم، کولیماتور و دهانه می‌باشد. در این کار با استفاده از کد MCNPX به بررسی اثر جنس دیافراگم نهایی در تولید نوترون و تخمین اثرات جانبی این روش درمانی پرداخته شده است.



شکل (۱): فانتوم آب در مقابل نازل پروتون درمانی؛ (الف) نازل، (ب) فانتوم آب و تومور درون آن.

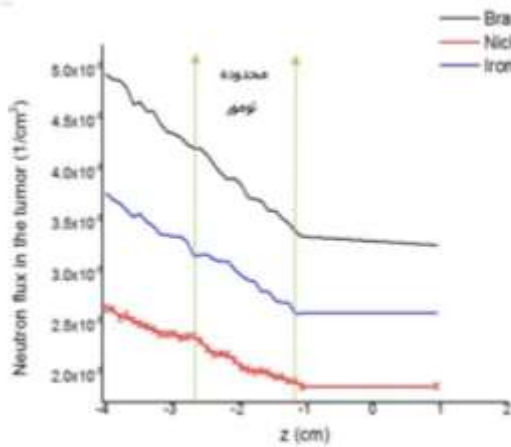
روش کار:

در این کار با استفاده از سیستم پراکندگی دوگانه مرجع [۵] که در شکل (۱) نشان داده شده است، اثرات جانبی پروتون درمانی به روش پراکندگی منفعل را با تغییر جنس موازی‌ساز شامل دیافراگم، کولیماتور و دهانه مورد بررسی قرار داده و به مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج مرجع [۵] پرداخته شده است.

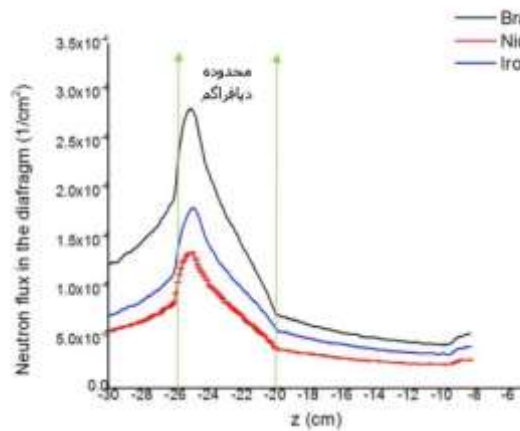
میانگین انرژی پروتون به 231 MeV با پهنای انرژی نسبی 0.26% یا 0.606 MeV تنظیم شد. منبع به صورت یک چشمه نقطه‌ای جهت‌دار در خلأ و تعداد 100 میلیون ذره در نظر گرفته شده است. فانتوم آب استوانه‌ای در راستای محور Z و به قطر 30 cm و تومور نیز به صورت استوانه‌ای شکل به قطر 3 cm و ضخامت $1/5 \text{ cm}$ درون آن شبیه‌سازی شد و سپس شار و دز نوترون را در کولیماتور، دیافراگم و دهانه برای سه ماده برنج، آهن و نیکل مقایسه شد. سپس فانتوم MIRD-UF در مقابل دهانه پروتون درمانی قرار داده شد و دز پروتون و نوترون در تومور و سایر ارگان‌های مجاور محاسبه شد. معمولاً برای نوترون که روی یک محدوده از انرژی، اثر زیستی نسبی (RBE) متفاوتی دارد، دز معادل محاسبه می‌شود [۶]. میزان شار و دز نوترون در محدوده تومور و دیافراگم با استفاده از مش تالی محاسبه گردید که در شکل‌های (۲) و (۳) نشان داده شده است.

نتایج:

شکل‌های (۲) و (۳) نشان می‌دهند که اگر جنس کلیماتور، دیافراگم و دهانه از نیکل باشد میزان شار نوترون و دز نوترون در تومور نسبت به وقتی که جنس آنها از آهن و برنج باشد، کاهش می‌یابد.

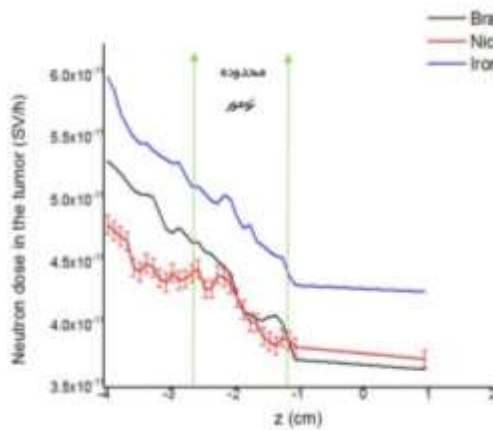


(ب)

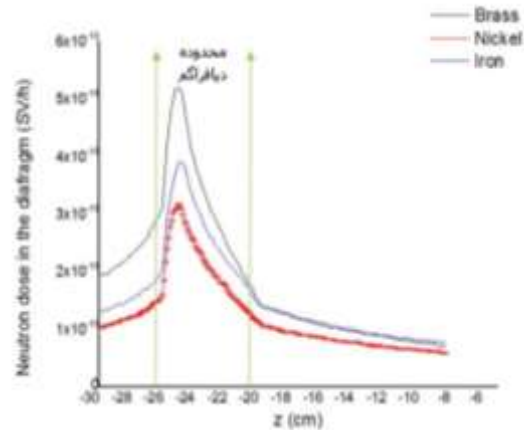


(الف)

شکل (۲): منحنی شار نوترون در الف) دیافراگم و ب) تومور.



(ب)

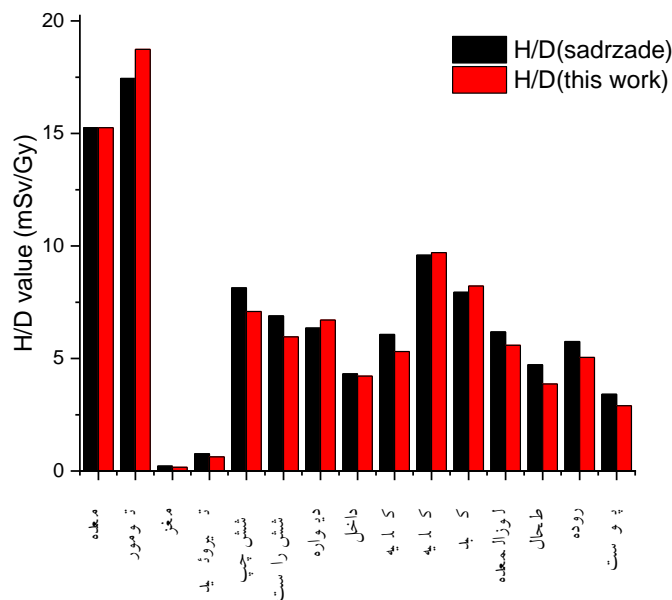


(الف)

شکل (۳): منحنی دز-عمقی نوترون در الف) دیافراگم و ب) تومور.

با توجه به هدف پژوهش مبنی بر کاهش دز نوترون در ارگان‌های اطراف تومور، میزان دز معادل نوترون محاسبه شد. دز معادل نوترون در تمام ارگان‌های بدن به جز کلیه چپ و لوزالمعده (که میزان کمی افزایش یافته)، به طور قابل توجهی کاهش یافته است.

محاسبه متعارف دیگری که برای اندازه‌گیری دز ثانویه استفاده می‌شود دز معادل نوترون بر دز جذبی درمانی (H/D) می‌باشد که در آن H دز معادل نوترون در ارگان مد نظر و D دز جذبی پروتون تابش شده به تومور می‌باشد. مقادیر H/D درون تومور و ارگان‌های بدن که با نتایج مرجع [۵] مقایسه گردیده، در شکل (۴) نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که با تغییر جنس کلیماتور، دیافراگم و دهانه از برنج به نیکل میزان H/D به طور قابل توجهی کاهش یافته است. البته میزان H/D در طحال، لوزالمعده و کلیه چپ مقدار ناچیزی افزایش یافته است.



شکل (۴): مقادیر H/D درون تومور و ارگان‌های بدن.

بحث و نتیجه‌گیری:

در این پژوهش به دنبال یافتن روشی برای کاهش دز نوترون، به بررسی اثر جنس دیافراگم نهایی و بدنه دستگاه پروتون درمانی به روش پراکندگی منفعل پرداخته شد، نتایج نشان می‌دهد وقتی از فلز نیکل استفاده گردد، دز دریافتی تومور



افزایش و دز دریافتی سایر ارگانهای بدن کاهش یافته است. همچنین بررسی ها نشان می‌دهد دز معادل نوترون بر دز جذبی درمانی (H/D) در سایر ارگانهای بدن بجز تومور کاهش یافته است. از آنجاییکه یک درمان ایده آل درمانی است که در آن میزان دز ذرات ثانویه بسیار کم باشد تا منجر به سرطان‌های مجدد نگردد، با توجه به نتایج بدست آمده در بین مواد بررسی شده نیکل گزینه مناسبتری نسبت به برنج، آهن برای استفاده در سیستم پروتون درمانی است.

مراجع:

- [۱] Mohan, R. and D. Grosshans, *Proton therapy – Present and future*. Advanced Drug Delivery Reviews, 2017. **109**: p. 26-44
- [۲] Dionisi, F.A., Stephen Lukens, John N Ding, Xuanfeng Kralik, John Kirk, Maura Roses, Robert E Amichetti, Maurizio Metz, James M Plastaras, John P, *Proton therapy in adjuvant treatment of gastric cancer: planning comparison with advanced x-ray therapy and feasibility report*. Acta Oncologica, 2014. **53**(10): p. 1312-1320
- [۳] *dose Distribution, Spectra and*-Berger, M.J., *Penetration of Proton Beams Through Water: Depth LET Distributions*. 1993: National Institute of Standards and Technology
- [۴] Paganetti, H., *Proton Therapy Physics*. 2016: CRC Press
- [5] سارا صدرزاده، مجتبی تاجیک، دز سنجی در پروتون درمانی سرطان معده به روش پراکندگی منفعل با استفاده از کد MCNPX ، بیست و چهارمین کنفرانس هسته ای ایران، ۱۳۹۶.
- [۶] *primary and secondary dose in proton therapy*. 2011, Ryckman, J.M., *Using MCNPX to calculate* Georgia Institute of Technology