



ارزیابی دز جذبی دزیمتر ژل پلیمری ماگاس جهت مقاصد رادیوتراپی

مقدسی، علی*^(۱) - افرا، امید^(۲) - محمدحسن، محمود^(۲)

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی هسته‌ای، تهران، ایران.

^۲ دانشگاه فنی و حرفه‌ای، گروه علوم پایه، کرج، ایران، کدپستی ۳۱۵۵۷-۱۳۶۹۹

چکیده:

محاسبه‌ی نرخ دز دریافتی سلول‌ها و بافت‌های تحت تابش، به منظور حصول اطمینان از عدم دریافت غیرمجاز پرتو در رادیوتراپی بسیار مهم است. ژل پلیمر یک ابزار ارزشمند برای اندازه‌گیری دز است، دزیمتر ژل ماگاس^۱ به عنوان یک دزیمتر برای استفاده در پرتودرمانی استفاده می‌شود. در این کار به بررسی پاسخ پلاستیک ماگاس برای یک پرتو الکترونی با استفاده از دزهای مختلف و بررسی میزان دز و نیز تعیین پارامترهای مؤثر جهت تعیین دزیمتری مانند PDD نرخ دز و انرژی پراکنده شده است. نتایج تحقیق با استفاده از کد EGSnrc در عمق ۳۰cm حاصل و هر بار عمق ۰.۳cm افزایش پیدا کرده است. در انرژی ۱۵MeV در عمق ۲/۸۵cm دز عمقی ۱۰۰٪ شد.

کلمات کلیدی: پرتودرمانی، ژل پلیمر، ماگاس، دزیمتری، EGSnrc

Evaluation of absorbed dose of MAGAS polymer gel dosimetry in radiotherapy applications

Moghadasi, Ali⁽¹⁾; Afra, Omid⁽²⁾; Mohammad Hasan, Mahmoud⁽²⁾

¹ Department of Nuclear Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

² Department of Basic science, Technical and Vocational University, Karaj, Iran.

Abstract:

Calculating the dose rate of cells and tissues under radiation is very important in order to ensure that unauthorized radiation is not received in the radiotherapy. The polymer gel is a valuable tool for measuring dose and the MAGAS dosimeter is used as a dosimeter for use in radiation therapy. In this work, the response of MAGAS to an electron beam using different doses has been investigated and the dose rate and also determining the effective parameters for determining dosimetry parameters such as PDD and energy have been evaluated. The results using EGSnrc code at a depth of 30 cm was evaluated and each depth was increased by 0.3cm. In 15MeV energy, at a depth of 2/85 cm, the percentage depth dose was 100%.

Key words: Radiation therapy, polymer gel, MAGAS, dosimetry, EGSnrc.

¹ - MAGAS (Methacrylic Acid Gelatin with Ascorbic Acid)



مقدمه:

در حال حاضر از دزیمترهای متداول در کلینیک جهت تأیید تکنیک‌های انتقال پرتویی استفاده می‌شود. هرکدام از این دزیمترها محدودیت و کاستی‌هایی دارد که استفاده از آن را در ارزیابی کیفیت پرتودرمانی سه‌بعدی جهت‌دار با مشکل روبرو ساخته است [۱]. طبق بررسی‌های صورت گرفته، دزیمترهای ژل پلیمری گزینه‌ای با اطمینان قابل قبول جهت جایگزینی خلأ موجود در زمینه توزیع دز سه‌بعدی هستند [۲]. در دو دهه گذشته تعداد افرادی که در زمینه ژل دزیمتری فعالیت داشته‌اند به سرعت در حال افزایش و آگاهی‌های فردی نسبت به ژل دزیمتری به‌طور قابل توجهی رو به گسترش است. در این تکنیک، ژل هم نقش فانتوم چند بعدی و هم آشکارساز را دارد [۳]. توزیع سه‌بعدی دز در داخل دزیمتر ژلی از روی ماتریکس شیمیایی ایجاد شده و اندازه‌گیری آن بعد از تابش دهی به کمک تکنیک‌های تصویربرداری امکان‌پذیر است [۴]. در زمینه استفاده از دزیمترهای ژلی به برخی مطالعات انجام شده نظیر اندازه‌گیری پارامترهای دزیمتری پایه همچون درصد دز عمقی، توزیع دز حاصل از صافی‌های گوه‌ای شکل، بررسی تأثیر ناهمگنی‌های بافتی روی توزیع دز و تأیید طرح درمان کارسینومای مجامه با پرتوهای الکترونی می‌توان اشاره کرد. جهت اندازه‌گیری توزیع دز پرتوهای الکترونی مطالعات معدودی صورت گرفته است. با این وجود مطالعات پراکنده‌ای در زمینه استفاده و کاربرد دزیمترهای ژل پلیمری برای پرتوهای ذره‌ای به‌ویژه پرتوهای الکترونی گزارش شده است. از این رو سؤالی که مطرح می‌شود این است که تخمین دز جذبی دزیمتر ژل پلیمری ماگاس و ارتباط آن جهت مقاصد رادیوتراپی چگونه است؟ هدف از این تحقیق، بررسی پاسخ ماگاس برای یک پرتو الکترونی با استفاده از دزهای مختلف، بررسی میزان دز و نیز تعیین پارامترهای مؤثر جهت تعیین دزیمتری مانند PDD نرخ دز و انرژی است. در نهایت می‌توان گفت بررسی پاسخ دزیمتر ژل پلیمری ماگاس باهدف مقاصد رادیوتراپی است و می‌توان از نتایج این تحقیق به‌عنوان یک ابزار در کارهای پیش‌کلینیکی رادیوتراپی و نیز به‌عنوان یک طراحی و نقشه جامع جهت بررسی توزیع دز سه‌بعدی استفاده کرد.

تعیین دز عمقی برای فوتون با انرژی ۶MV با استفاده از دزیمتر ژل پلیمر ماگاس که به‌صورت مایع در فانتوم شیشه‌ای استوانه‌ای ولوله‌های شیشه‌ای پایرکس (Pyrex) است، محاسبه شده است. در این مطالعه از کد محاسباتی مونت‌کارلو (EGS4) استفاده شده که اندازه‌گیری اتافک یونیزاسیون در آب که اختلاف بین روش مونت‌کارلو و اتافک یونیزاسیون برای تعیین دوزهای عمقی ژل پلیمری ۴ درصد بود. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از یک اتاق یونیزاسیون تحت ضخامت‌های مختلف شیشه پایرکس انجام شده تا فاکتورهای اصلاح مواد دیوار فانتوم شیشه‌ای پایرکس در اندازه‌گیری مقدار دز عمقی ژل پلیمر مورد بررسی قرار گیرد. پاسخ دز R2 برای ژل پلیمری در ویال‌های شیشه‌ای حدود ۲۵Gy بود. دزیمتر ژل پلیمری ماگاس پتانسیل خودش را به‌عنوان یک ابزار رادیوتراپی کلینیکی برای ارزیابی دز عمقی نشان داده است [۵].



روش کار:

در این تحقیق، از کد EGSnrc که از پرکاربردترین بسته‌های شبیه‌سازی در رادیوتراپی می‌باشد، استفاده شده است. این کد قابلیت گسترده‌ای برای شبیه‌سازی انواع مختلفی از چشمه‌های رادیوتراپی و شتاب‌دهنده‌ها و محاسبه دز در هندسه حجمی مستقیم سه بعدی را دارد [۶]. در این تحقیق، از یک فانتوم آب شبیه‌سازی شده برای تعیین درصد دز عمقی استفاده شده است. در داخل این فانتوم، ژل پلیمر ماگاس قرار داده شد. سپس از آن برای انجام پرتودهی در هر محدوده انرژی با مقادیر ۱۵ مگاولت استفاده شد. PDD در پرتودرمانی، منحنی درصد دز عمقی (PDD) (گاهی اوقات منحنی دز عمق) مربوط به دز جذب شده توسط پرتو تابش داده شده به یک محیط است که با عمق در امتداد محور پرتو بیان شده در رابطه (۱) متفاوت است، بنابراین مفهوم پروفایل بدین صورت تعریف می‌شود که مقدار دز در راستای عرضی یا پهنا محاسبه شود.

$$PDD = \frac{D_d}{D_{dm}} * 100 \quad (1)$$

در رابطه (۱)، dm عمق مرجع می‌باشد، یعنی عمقی که در آن دز بیشینه است. اعتبارسنجی در این شبیه‌سازی بدین صورت است که از یک چشمه گوسی استفاده می‌شود؛ این چشمه گوسی دو پارامتر دارد، انرژی و پهنا. زمانی که یک پرتو الکترونی به هدف شتاب‌دهنده برخورد می‌کند، در راستای x یا y به صورت یک خط با پهنایی مشخص است که این پهنا از طریق شبیه‌سازی یا اعتبارسنجی به دست می‌آید. زمانی که به طور مثال عنوان می‌شود شتاب‌دهنده خطی زیرمنس پرمیوس $15MV$ است؛ در واقع منظور اختلاف پتانسیلی است که به الکترون‌ها اعمال می‌شود تا الکترون‌ها شتاب بگیرند، پس لزوماً انرژی تمام الکترون‌ها $15MeV$ نیست. از آنجایی که ورودی انرژی در شبیه‌سازی بر حسب MeV می‌باشد، برای وارد کردن انرژی شتاب‌دهنده یک ارتباط میان MeV و معادل آن MV در نظر گرفته می‌شود. برای این منظور زمانی که انرژی $15MV$ می‌باشد، مقدار انرژی کمتر از 15 در نظر گرفته می‌شود، به عنوان مثال انرژی به صورت 11.2 ، 11.3 و 11.5 در نظر گرفته می‌شود و در حالتی که انرژی‌ها تغییر می‌یابد پهنای پرتو (FWHM) یک عدد ثابت تصادفی در نظر گرفته می‌شود. به ازای هر کدام از انرژی‌ها یک نمودار دز عمقی pdd به دست می‌آید. این نمودار منحنی دز با یک منحنی دز pdd تجربی مقایسه می‌شود و در یک نقطه خاص این دو نمودار باهم منطبق می‌شوند که البته این تطابق با چشم قابل دیدن نیست. بدین منظور از شاخص گاما ($Gamma Index$) استفاده می‌شود. در این شاخص هر انرژی که دارای گامای کمتری باشد به عنوان انرژی کاری در نظر گرفته می‌شود که در اختلاف پتانسیل $15MV$ انرژی $11.3MeV$ حاصل شد. برخلاف منحنی دز pdd که برای انرژی استفاده شد و یک نمودار به دست آمد، برای بررسی پروفایل سه منحنی وجود دارد، ۱- $Gamma Index$ ۲- نمودار DTA ۳- نمودار DD. همان‌طور که بیان شد، در دز عمقی PDD.

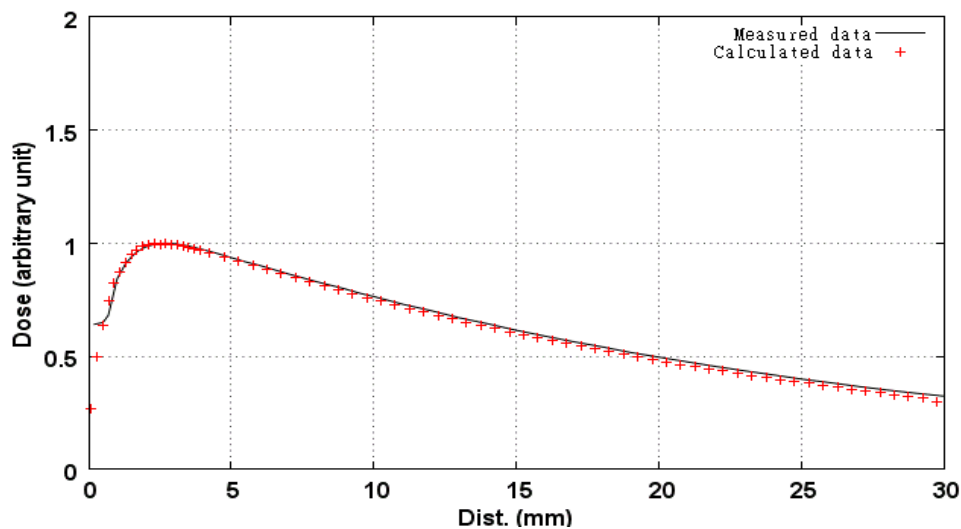


فقط نمودار شاخص گاما مورد نیاز می‌باشد و دو نمودار دیگر بررسی نمی‌شود. زمانی که نیازمند مقایسه به صورت دقیق باشیم، لازم است دو منحنی دیگر نیز بررسی شود. همان‌طور که بیان شد پهنای شاخص گامای هر انرژی که دارای مقدار کمتری باشد به معنای تطابق بیشتر است و در واقع تعیین‌کننده پهنای کاری مدنظر این تحقیق می‌باشد. در پاره‌ای از مواقع بجای یک پهنای دو تا پهنای خوبی حاصل شده است، برای این منظور، دو پهنای بررسی خواهد شد، در منحنی پروفایل یک ناحیه flat وجود دارد. ناحیه‌ای که بالاترین قسمت و صاف هم می‌باشد و نیز پایین‌ترین ناحیه که دز به کم‌ترین مقدار خود تقریباً صفر می‌رسد. برای ناحیه‌ای که بیشترین مقدار دز را دارد نمودار dd مشاهده می‌شود، پس در ناحیه flat هر نمودار که dd کمتری داشت گزینه مناسب‌تری است. برای پایین‌ترین حالت ممکن نمودار DTA مشاهده می‌شود و هر نمودار که مقدار کمتری داشته باشد گزینه ایده آلی می‌باشد و تعیین‌کننده پهنای کار مدنظر در این تحقیق می‌باشد.

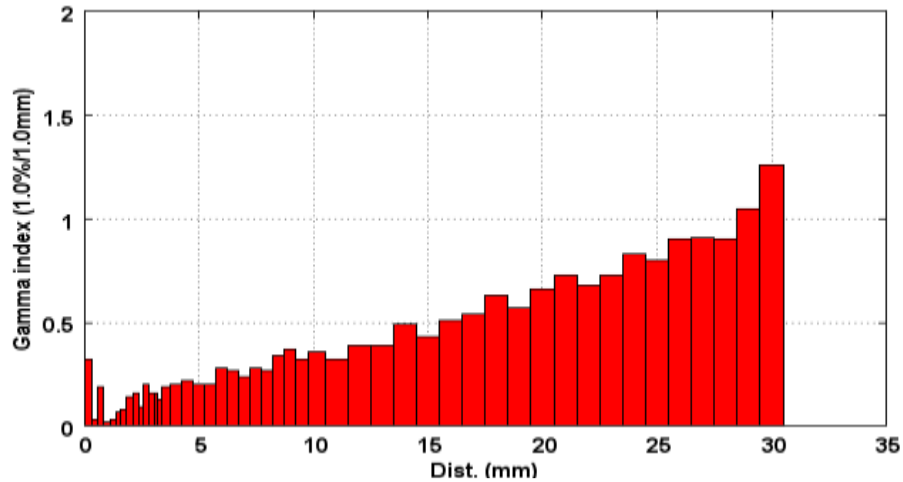
نتایج:

• بررسی منحنی دز عمقی در انرژی ۱۵MeV

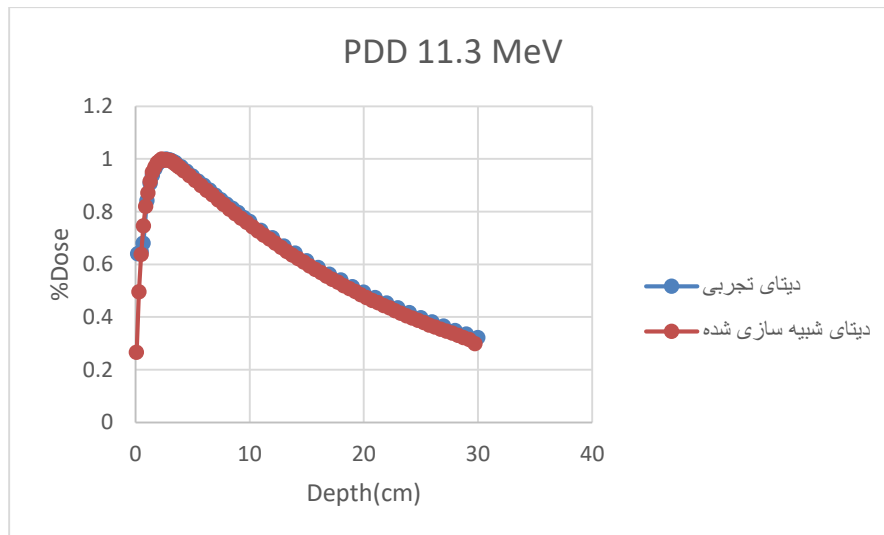
برای انجام این تحقیق، در ابتدا یک فانتوم آب با ابعاد $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^2$ برای انجام پرتودهی در نظر گرفته و در ادامه ژل پلیمر ماگاس در داخل فانتوم تعبیه شده است. مطابق با روش انجام تحقیق، منحنی دز عمقی PDD در نمودار ۱ و منحنی شاخص گاما در انرژی 113 MeV در نمودار ۲ نشان داده شده است.



نمودار ۱: منحنی دز عمقی PDD در انرژی ۱۱۳MeV.



نمودار ۲: منحنی شاخص گاما در انرژی ۱۱۳ MeV.

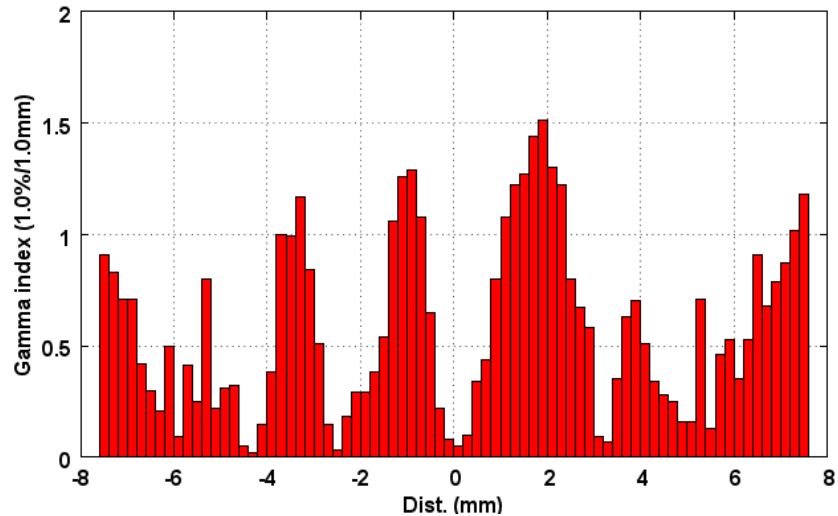


نمودار ۳: منحنی مقایسه PDD دیتای تجربی و شبیه‌سازی در انرژی ۱۱۳ MeV.

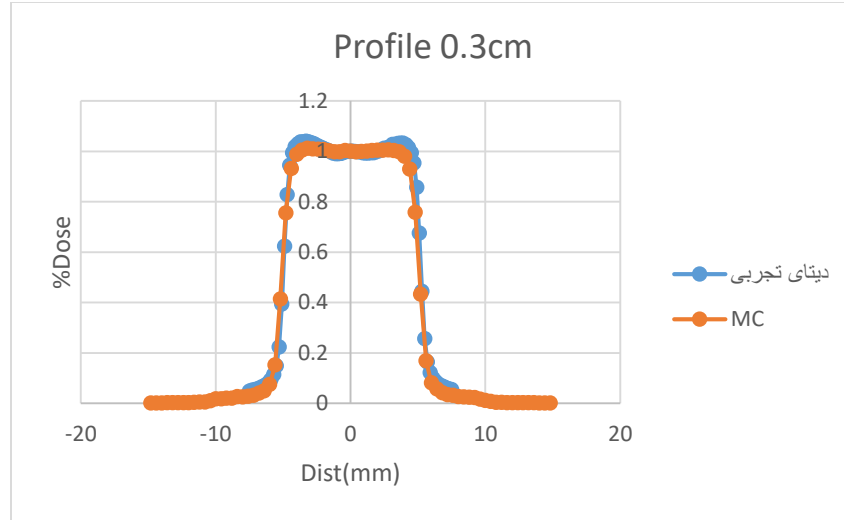
با توجه به منحنی شاخص گاما (نمودار ۲)، زمانی که منحنی دز عمقی شبیه‌سازی شده با یک منحنی دز عمقی تجربی مقایسه می‌شود، در یک نقطه خاص این دو نمودار بر همدیگر منطبق می‌شوند که این نقطه با چشم قابل دیدن نیست برای این منظور، منحنی شاخص گاما استفاده به کار برده می‌شود که در این شاخص گاما هر انرژی که دارای گامای کمتری باشد به عنوان انرژی کاری در نظر گرفته می‌شود که در اختلاف پتانسیل ۱۵ MV انرژی ۱۱۳ MeV حاصل شد. در نمودار ۳ منحنی مقایسه PDD تجربی با نتایج شبیه‌سازی در انرژی ۱۱۳ MeV نشان داده شده است. برای پهنای پرتو نمودارهای



پروفایل مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، انرژی که با منحنی دز عمقی به دست آمده است را در پهنای مختلف ۱، ۱٫۵، ۲، ۲٫۵ و ۳ میلی‌متر جداگانه اجرا و به ازای هر کدام پروفایل جداگانه به دست آمده است و با پروفایل تجربی، مقایسه شده است. در اینجا، معیار مقایسه شاخص گاما می‌باشد. منحنی شاخص گاما FWHM در نمودار ۴ نشان داده شده است. این منحنی (نمودار ۴)، پهنای پرتو کاری را تعیین می‌کند و در هر پهنایی این مقدار کمتر باشد پهنای کاری مد نظر این تحقیق می‌باشد. در این تحقیق، پهنای کاری ۰٫۳cm شد. همچنین منحنی مقایسه profile تجربی و آزمایشگاهی در ۰٫۳cm در نمودار ۵ نشان داده شده است.



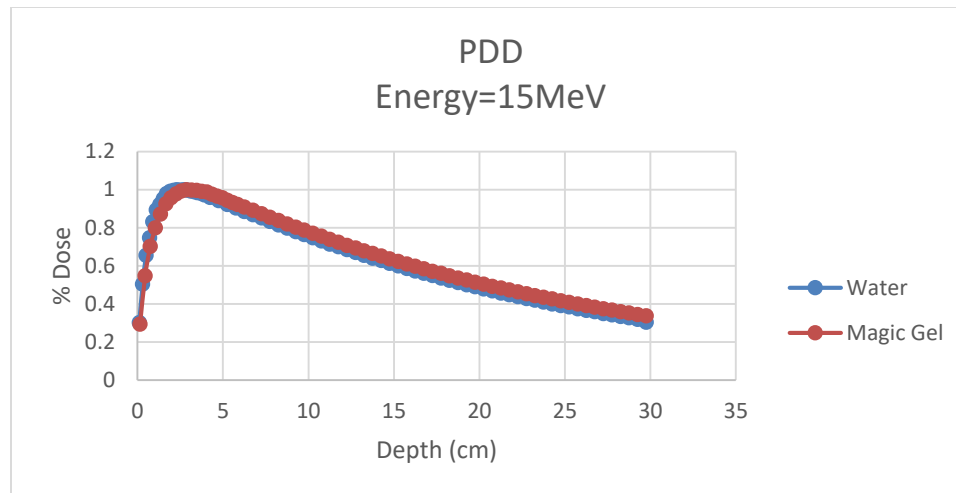
نمودار ۴: منحنی شاخص گاما FWHM در ۰٫۳cm.



نمودار ۵: منحنی مقایسه profile تجربی و آزمایشگاهی در ۰.۳cm.

بحث و نتیجه گیری:

در این تحقیق، در ابتدای کار اعتبارسنجی صورت پذیرفت و سپس نتیجه اعتبارسنجی با پاسخ دز ژل دزیمتر ماگاس انجام شده است که نتیجه مطلوبی را در پی داشت. نتایج شبیه‌سازی بدین شرح می‌باشد که: در عمق ۳۰cm دزیمتری انجام و هر عمق ۰.۳cm افزایش پیدا کرد و در انرژی ۱۵MV و در عمق ۲۸.۵cm به بیشترین مقدار خود یعنی ۱۰۰ درصد رسید و در عمق ۲۵.۷۵cm، ۷۷ درصد کاهش یافته و به مقدار ۳۳ درصد رسید. در نهایت نمودار مقایسه دز عمقی، بین فانتوم آب و ژل دزیمتر ماگاس در نمودار ۶ نشان داده شده است.



نمودار ۶: مقایسه منحنی دز عمقی دو فانتوم ماگاس و آب در انرژی ۱۵ MeV.

در نمودار ۶، منحنی مقایسه دو فانتوم ماگاس و آب با درصد خطای ۰.۰۵٪ نشان داده شده است، از آنجایی که ویژگی ژل دزیمتری این می باشد که معادل بافت بدن باشد و بافت بدن هم معادل آب است؛ بنابراین زمانیکه مشخص شود ژل معادل آب است یعنی معادل بافت بدن هم می باشد، بنابراین با استفاده از این ژل، دزیمتری انجام می شود. نتایج این شبیه سازی مطابق با توضیحات ارائه شده و نیز نمودار ۶ نشان می دهد که این ژل برای دزیمتری بسیار مناسب و ایده آل خواهد بود.

مراجع:

- [1] Vergote K, De Deene Y, Claus F, De Gerssem W, Van Duyse B, Paelinck L, et al. Application of monomer/polymer gel dosimetry to study the effects of tissue inhomogeneities on intensity-modulated radiation therapy (IMRT) dose distributions. *Radiotherapy and oncology*. 2003;67(1):119-28.
- [2] McJury M, Oldham M, Cosgrove V, Murphy P, Doran S, Leach M, et al. Radiation dosimetry using polymer gels: methods and applications. *The British Journal of Radiology*. 2000;73(873):919-29.
- [3] Bäck S. Implementation of MRI gel dosimetry in radiation therapy: Department of Radiation Physics, Lund university; 1998.
- [4] Trapp J, Partridge M, Hansen V, Childs P, Bedford J, Warrington A, et al. The use of gel dosimetry for verification of electron and photon treatment plans in carcinoma of the scalp. *Physics in medicine and biology*. 2004;49(9):1625.



بیت و پنجمین کنفرانس هسته‌ای ایران



۲۰۱ اسفندماه ۱۳۹۲- دانشگاه آزاد اسلامی (واحد پوشش)

[5] A. Venning , B. Healy , K. Nitschke C. Baldock” Investigation of the MAGAS normoxic polymer gel dosimeter with Pyrex glass walls for clinical radiotherapy dosimetry” Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 555 (2005) 396–402.

[6] E. Mainegra-Hing, D.W.O. Rogers, F. Tessier and B.R.B. Walters” The EGSnrc Code System: Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport” NRCC Report PIRS-701’ June 1, 2018.