

بررسی پاسخ R2-dose و وابستگی به انرژی دزیمتر ژل پلیمری PAGAT در باریکه های فوتونی با تکنیک MRI

بختیار آزادبخت^{۱*}، کریم آدینه وند^۲، کمال حداد^۳، محمد حسن زحمت کش^۴، سعید باقری^۵

* ۱- فوق لیسانس مهندسی هسته‌ای (مهندسی پرتو پزشکی) دانشگاه شیراز

۲- فوق لیسانس مهندسی هسته‌ای (مهندسی پرتو پزشکی) دانشگاه شهید بهشتی تهران

۳- دانشیار بخش مهندسی هسته‌ای دانشگاه شیراز

۴- استادیار انستیتو پرتو پزشکی نوین تهران

۵- فوق لیسانس فیزیک پزشکی و محقق انستیتو پرتو پزشکی نوین تهران

چکیده:

در بررسی پاسخ دزیمتر ژل پلیمری نورمکسیک PAGAT با استفاده از تکنیک MRI از مواد و ترکیبات شیمیایی با درصدهای وزنی زیر استفاده شده است: 4/5 درصد بیس (N,N'-methylene-bis-acrylamide)، 4/5 درصد اکریل آمید (acrylamide)، 5 درصد ژلاتین (gelatine)، 5 میلی مولار تتراکیس (THPC)، 0/01 میلی مولار هیدروکینون (HQ) و 86 درصد آب دو بار تقطیر (HPLC).

جهت تابش دهی و یالها از فوتونهای Co-60 و یک شتاب دهنده خطی استفاده شده است و توسط یک سیستم MRI ساخت شرکت زیمنس با قدرت 1/5 T تصویر برداری انجام شد. تمام ژلهای پلیمری یک روز بعد از ساخت پرتو دهی شده و یک روز بعد از پرتو دهی با استفاده از سیستم MRI تصویر برداری شده اند. پاسخ دزیمتر ژل پلیمری PAGAT تا 30 گری خطی بوده و برای دزهای بالاتر از 30 گری به اشباع می رود. ژل PAGAT مورد مطالعه در این تحقیق دارای رنج دینامیکی برابر $3/188 s^{-1}$ است که نسبت به رنج دینامیکی $2/5 s^{-1}$ به دست آمده توسط (Venning et al 2004) پاسخ بهتری را نشان می دهد. ژل PAGAT مورد استفاده در این تحقیق به انرژی وابسته نبوده به طوری که تقریباً میزان حساسیت به انرژی در آن برای انرژیهای 4، 1/25، 6 و 18MV یکسان بوده و تغییرات خاصی مشاهده نشده است.

کلمات کلیدی: دزیمترهای شیمیایی- ژل دزیمتری- ژل پلیمری نورمکسیک، PAGAT، تصویر برداری تشدید مغناطیسی (MRI)

۱- مقدمه

سیستم های ژل دزیمتری تنها دزیمتر های سه بعدی واقعی هستند. دزیمتر بطور همزمان فانتوم نیز هست و می تواند توزیع دز را در هندسه کامل سه بعدی اندازه گیری کند [۱-۲-۳-۴]. در حال حاضر دو نوع دزیمتر ژله ای قابل شناخت هستند. ژلهای فریک که بر اساس دزیمتری فیزیک کار می کنند و ژلهای

پلیمری [۱-۲]. علیرغم اینکه بسیاری از محققین در توسعه بیشتر ژلهای فریک تلاش کرده اند ولی امروزه تمایل به ژلهای پلیمر بیش از ژلهای فریک است و این بخاطر وجود دیفیوژن در ژل فریک است که مفید بودن و کاربری آن را محدود می کند.

مواد تشکیل دهنده دزیمترهای ژل پلیمری عبارتند از: آب (که بیشترین مقدار و حدود ۸۰٪ - ۹۰٪)، مونومرها و عامل ژل کننده (ژلاتین، آگارز و.....) که برای تثبیت تراکم پلیمری ایجاد شده بکار می رود و به منظور نگهداری توزیع فضایی دز جذبی استفاده می شود. برای ژلهای نورموکسیک که می توان آنها را در شرایط اکسیژن معمولی ساخت یک ماده ضد اکسیداسیون نیز اضافه می شود (معمولاً در مرتبه غلظت میکرومولار) [2-5-6]. دزیمتر ژله ای PAGAT مورد استفاده در این تحقیق دارای مزیت هایی نسبت به سایر دزیمتر های مرسوم می باشد که در بررسی پاسخ آن با استفاده از تکنیک MRI از خصوصیات خوب این دزیمتر می توان به موارد زیر اشاره نمود: ۱- ساخت و تهیه راحت تر ۲- عدم نیاز به شرایط هایپوکسیک ۳- معادل بافت نرم بودن ۴- امکان جمع آوری دز در سه بعد ۵- ارزانتر بودن نسبت به سیستم های دیگر ۶- بالاتر بودن رنج دینامیکی نسبت به دیگر ژلهای پلیمری ۷- عدم وابستگی به انرژی ۸- قابلیت استفاده مجدد

۲- مواد و روشها

۱-۲ ساخت ژل PAGAT

جهت ساخت ژل PAGAT از مواد و ترکیبات شیمیایی با درصدهای وزنی زیر استفاده شده است: 4/5 درصد بیس (N,N'-methylene-bis-acrylamide)، 4/5% درصد اکریل آمید (acrylamid)، 5 درصد ژلاتین (gelatin)، 5 میلی مولار تتراکسیس (THPC)، 0/01 میلی مولار هیدروکینون (HQ) و 86 درصد آب دو بار تقطیر (HPLC) [7]. ابتدا ژلاتین در آب دوبار تقطیر (HPLC) خیسانده شده و توسط دستگاه همزن مغناطیسی به هم زده میشود، تا اینکه دمای آن به $49^{\circ}C$ برسد. بعد از شفاف شدن محلول ژلاتین ابتدا bis را اضافه میکنیم که در پودر سفید رنگ bis یک قطعه به هم چسبیده وجود داشت که در حین توزین مشاهده نشده بود و حل شدنش زمان زیادی طول کشید. بعد از حل شدن (bis)، پودر Acrylamid به مجموعه اضافه شد و آنقدر به هم زده شد تا حل شود و در نهایت HQ و THPC را اضافه کرده و بعد از ترکیب عناصر یاد شده ژل PAGAT آماده میشود.

۲-۲ شکل فانتوم

فانتوم بکار گرفته شده برای دزیمتر ژل پلیمری PAGAT، ویالهایی (Vials) از جنس پرسپکس به شعاع 0/5cm، ارتفاع 15cm و حجم ۱۵cc بودند.

۳-۲ تابش دهی

۱-۳-۲ تابش دهی با استفاده از Co-60

دستگاه تابش دهی تله تراپی ^{60}Co از سری 780c -Theratron (واقع در انستیتو پرتو پزشکی نوین تهران) می باشد. محدوده دز استفاده شده از $50-5000\text{cGy}$ می باشد. برای تابش دهی از میدان $20 \times 20 \text{cm}^2$ با عمق 5cm و $\text{S.S.D} = 80\text{cm}$ استفاده شده است.

۲-۳-۲- تابش دهی به کمک شتابدهنده خطی

در بررسی پاسخ دزیمتر ژل پلیمری نورمکسیک PAGAT جهت مواردی نظیر بررسی پاسخ R2-dose و ... با انرژیهای ۶، ۱۸MV و تابش دهی بوسیله یک سیستم شتابدهنده خطی الکتا (Elekta) صورت گرفته

است، که برای تابش دهی از میدان $20 \times 20 \text{cm}^2$ با عمق 5cm ، $\text{Dose Rate} = 400 \frac{\text{cGy}}{\text{min}}$ و $\text{SSD} = 80\text{cm}$ استفاده شده است.

۲-۴- تصویربرداری

سیستم تصویر برداری بکارگرفته شده یک دستگاه MRI از شرکت زیمنس و با قدرت $1/5T$ بوده است، که برای تصویر برداری از کوئل مغزی (Head Coil) و نگهدارنده ای برای محکم شدن در این کوئل استفاده شده است. با توجه به اساس کار که بر رابطه بین دز و R2 استوار بوده از پروتکل زیر استفاده شده است.

$\text{TE} = 20\text{ms}$, $\text{TR} = 3000\text{ms}$, $\text{FOV} = 256\text{mm}$, $\text{Number of Echo} = 32$,

$\text{Matrix size} = 512 \times 512$ و $\text{Slice Thickness} = 4\text{mm}$

۲-۵- پردازش و تحلیل داده ها

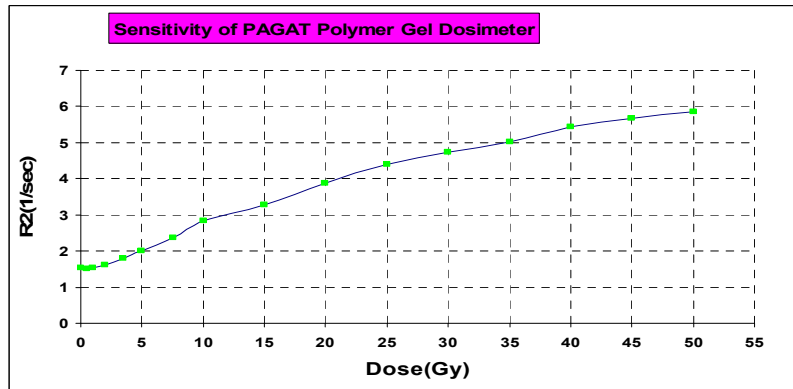
پس از انجام تصویر برداری، تصاویر به یک کامپیوتر شخصی انتقال داده شده و توسط نرم افزار MATLAB در نقاط مختلف با کشیدن پیکسلهای کوچک مقادیر R2 آن نقاط مشخص می شد. سعی بر آن بود پیکسل ها از نقاطی که دارای انحراف معیارهای (S.D) کمتری هستند انتخاب شوند. در نهایت از R2 های بدست آمده از این پیکسلها میانگین گرفته و به عنوان R2 نهایی آن دز بیان می شدند.

۳- نتایج

۳-۱- تعیین محدوده دز بالا، پایین و بررسی پدیده اشباع در ژل پلیمری نورمکسیک PAGAT

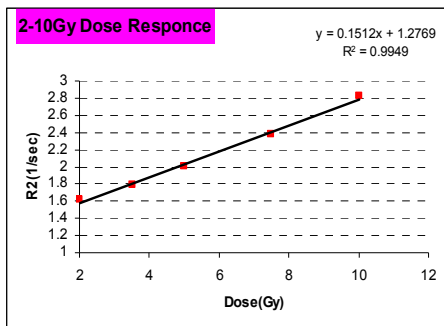
دزیمتر ژل پلیمری PAGAT با مقادیر و مواد با درصدهای وزنی معرفی شده در این تحقیق، در پاسخ گویی به دزهای زیر ۲ گری دقیق نیست و حساسیت دزیمتر برای دزهای زیر ۲ گری پائین و برابر $1\text{S}^{-1}\text{Gy}^{-1}$ می باشد. برای دزهای زیر ۲ گری مقادیر R2 زمینه و دزهای $0/5$ و 1 گری تقریباً با هم برابر هستند و این نشان دهنده این است که دزیمتر در این محدوده قادر به پاسخ گویی دقیق نیست. محدوده بالایی این دزیمتر در دزهای بالای ۳۰ گری دزیمتر به حالت اشباع رسیده و دارای یک رنج دینامیکی برابر با $3/188\text{S}^{-1}$ است. این نشان می دهد که رنج دینامیکی به دست آمده در این دزیمتر ژل پلیمری نسبت به

رنج دینامیکی $2/5 S^{-1}$ به دست آمده توسط (Vening et al 2004) دارای پاسخ بهتری است [3]، که افزایش آن بررسی بهتر پاسخ را میسر می‌سازد. دزیمتر ژل پلیمری PAGAT برای دزهای بالای ۳۰ گری از حساسیت پائینی برخوردار است، اما برای دزهای ۲ تا ۱۰ گری از حساسیت خوبی برخوردار بوده و در این محدوده حساسیت ژل PAGAT برابر $0/1512 S^{-1} Gy^{-1}$ می‌باشد و همچنین برای دزهای ۱۰ تا ۳۰ گری نیز دزیمتر قادر به پاسخ گویی بوده و از حساسیت خوبی نیز برخوردار است (شکل ۱).

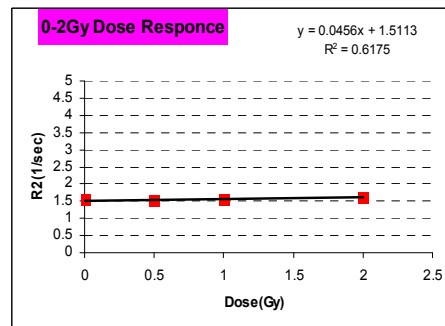


شکل ۱. تعیین محدوده دز بالا، پایین و بررسی پدیده اشباع در ژل پلیمری نورمکسیک PAGAT

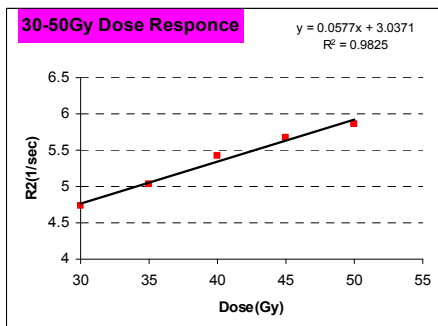
شکل های ۲-الف، ۲-ب، ۲-ج و ۲-د پاسخ R2-dose را برای نواحی 0-2Gy، 2-10Gy، 10-30 Gy و 30-50Gy نشان می‌دهد.



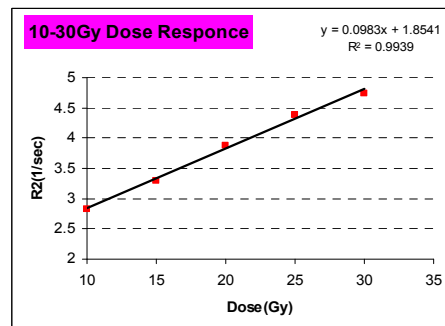
شکل ۲-ب



شکل ۲-الف



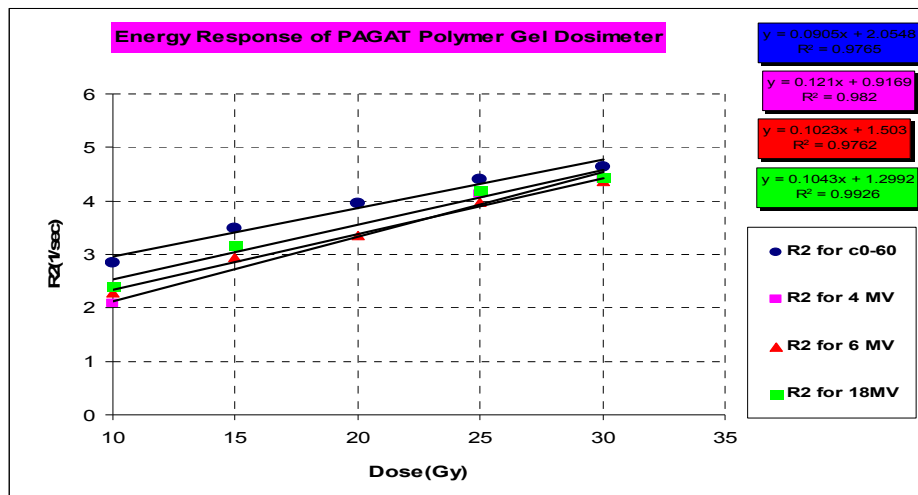
شکل ۲-د



شکل ۲-ج

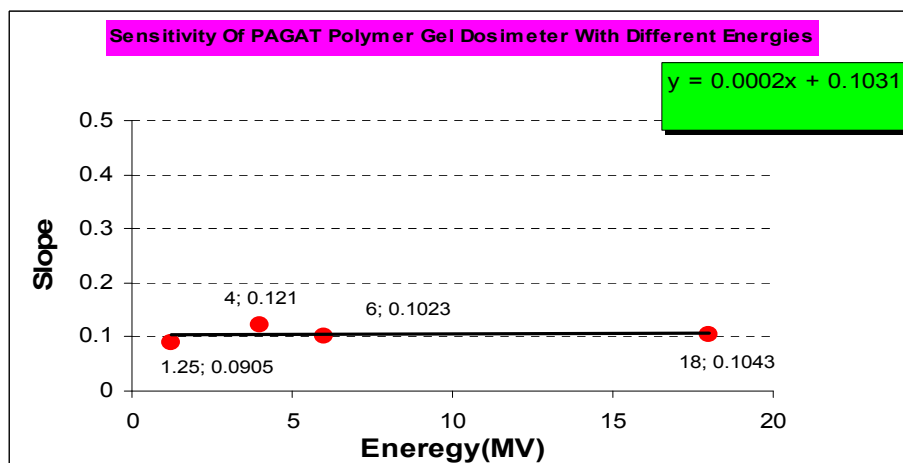
۳-۲- بررسی وابستگی پاسخ دز دزیمتر ژله ای PAGAT به انرژی های مختلف

در تعیین پاسخ دز ژل دزیمتر PAGAT با انرژی های مختلف، چند دسته ژل پلیمری را تحت شرایط یکسان آزمایشگاهی ساخته و به وسیله سیستم های پرتودهی و با انرژی های 60 - Co، 4، 6 و 18MV تابش دهی شدند که با خواندن مقادیر R2-dose برای انرژیهای مختلف نمودار شکل ۳ بدست آمد.



شکل ۳- بررسی پاسخ R2-dose با انرژیهای مختلف در ژل پلیمری نورمکسیک PAGAT

از نمودار شکل ۳ مشهود است مقدار حساسیت ژل پلیمری PAGAT برای انرژیهای 60 - Co، 4، 6 و 18MV به ترتیب برابر 0/12، 0/1، 0/1 و 0/1 بوده است که با در نظر گرفتن عدم قطعیت های آزمایش همه آنها را می توان برابر گرفته و نتیجه گرفت که میزان حساسیت با انرژیهای مختلف تحت شرایط فوق تقریباً ثابت است. شکل ۴ حساسیت دزیمتر را برحسب انرژیهای مختلف نشان می دهد و همانطوری که از شکل مشخص شده است تقریباً میزان حساسیت به انرژی برای ژل PAGAT یکسان بوده است.



شکل ۴- حساسیت دزیمتر ژل پلیمری PAGAT با انرژیهای مختلف

۴- نتیجه گیری

ژل پلیمری PAGAT با ترکیبات و درصد‌های وزنی استفاده شده در این تحقیق برای دزهای تا ۳۰ گری دارای پاسخ R2-dose خطی و رنج دینامیکی برابر با $3.188S^{-1}$ می باشد. پاسخ این دزیمتر برای دزهای زیر ۲ گری دقیق نیست و در این محدوده دزیمتر قادر به پاسخگویی نمی باشد. مقدار حساسیت ژل پلیمری PAGAT برای انرژیهای 60-Co، 4، 6 و 18MV به ترتیب برابر 0/1، 0/12، 0/1 و 0/1 بوده است که با در نظر گرفتن عدم قطعیت های آزمایش همه آنها را می توان برابر گرفته و نتیجه گرفت که میزان حساسیت به انرژیهای مختلف تقریباً ثابت است. به علت نسبت زیاد آب به سایر مواد در ژل پلیمری نورمکسیک PAGAT این ژل معادل بافت نرم می باشد و به هیچ تصحیح انرژی برای باریکه های فوتونی که در رادیو تراپی بکار می روند نیازی نیست.

۵- مراجع

- 1- Podgorsak, E.B., [Editor of] "Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students". ISBN 92-0-107304-6. International Atomic Energy Agency (IAEA), Austria. (2005).
- 2- Vetgote Koen. Development of polymer gel dosimetry for applications in intensity-modulated radiotherapy", PhD. Thesis. Department of radiotherapy and Nuclear medicine . faculty of medicine and health sciences . university of Gent . Belgium .(2005).
- 3- Venning A.J. Brindha S. Hill. B and Baldock C. 2004. Preliminary study of a normoxic PAG gel dosimeter with tetrakis (hydroxymethyl) phosphonium chloride as an antioxidant. Third International Conference on Radiotherapy Gel Dosimetry. *Journal of Physics: Conference Series* 3(2004) 155-158.
- 4- Zahmatkesh M.H., Kousari R., Akhlaghpour Sh., Bagheri S.A., "MRI gel dosimetry with methacrylic acid. Ascorbic acid. Hydroquinone and Copper in Aharose (MAGICA) gel". *Preliminary Proceedings of DOSGEL 2004*. Sep 13-16. 2004. Ghent. Belgium.
- 5- Hilts M., Jirasek A. and Duzenli C., "Technical considerations for implementation of x-ray CT polymer gel dosimetry". *Phys. Med. Biol.* 50 (2005) 1727-1745.
- 6- Hill B. Venning A. Baldock C. "The dose response of normoxic polymer gel dosimeters measured using X-ray CT". *The British Journal of Radiology*, 78 (2005), 623-630.
- 7- Venning A.J., Hill B., Brindha S., Healy B.J., and Baldock C., "Investigation of the PAGAT polymer gel dosimeter using magnetic resonance imaging". *Phys. Med. Biol.* 50 (2005) 3875-3888.