بررسی پایداری، اثر آهنگ دز و تکرارپذیری پاسخ دزیمتر ژل فریک پلی وینیل الکل

INC29-1221

مهسا صدیقی[۱]، الهام عدالتخواه*[۲]، پیوند طاهرپرور[۱]

۱.گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گیلان، ۱۹۱۴-۴۱۳۳۵، رشت ـ ایران.

۲.پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران ـ ایران.

چکیده:

نیاز به دزیمتری سه بعدی در کاربردهای رادیوتراپی، ضرورت بررسی دزیمترهای ژل فریک برای رسیدن به پایداری و تکرارپذیری بهتر را مطرح می‌کند. در این پژوهش، آماده‌سازی دزیمتر ژل فریک پلی وینیل الکل بر پایه محلول سولفات فروس آمونیم و ژل پلی وینیل الکل انجام شد. پس از پرتودهی دزیمترها در یک سیستم گاماسل تا دز ۶۰ گری، پاسخ دزیمتر با استفاده از طیف‌سنج نوری تحلیل شد. سپس ویژگی‌های دزیمتر شامل پایداری، تکرارپذیری و اثر آهنگ دز بر پاسخ بررسی شدند. نتایج نشان داد که دزیمترهای ژل فریک پلی وینیل الکل تهیه‌شده تا هفت روز پس از پرتودهی از پایداری خوبی برخوردار هستند. ضریب تغییرات دزیمترها در محدوده ۰٫۸۹ تا ۱٫۲۵ درصد محاسبه شد. دزیمترهای تهیه‌شده تکرارپذیری خوبی دارند. دقت پاسخ دزیمتر با افزایش دز زیاد می‌شود. همچنین بررسی پاسخ دزیمتر در دو آهنگ دز متفاوت نشان داد که پاسخ دزیمترهای تهیه‌شده از آهنگ دز مستقل است.

کلیدواژه‌ها: پایداری دزیمتر، تکرارپذیری دزیمتر، دزیمتر ژل فریک پلی وینیل الکل ، پاسخ دزیمتر

Investigation of stability, dose rate effect and repeatability of the response of PVA Fricke gel dosimeters

M. Sedighi [1], E. Edalatkhah [2*], P. Taherparvar [1]

1. Physics Department, Faculty of Science, University of Guilan, 41335-1914, Rasht, Iran
2. Radiation Application Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, 14155-1339, Tehran, Iran

Abstract:

3D dosimetry in radiotherapy applications makes it necessary to investigate more in Fricke gel dosimeters field to reach better stability. In this research, samples of PVA Fricke gel dosimeters were prepared using ferrous ammonium sulphate and PVA solutions. After irradiation of the dosimeters up to 60 Gy by a gammacell, response of the dosimeters were analyzed using a spectrophotometer. Then, characteristics of the dosimeters such as stability, repeatability and dose rate was surveyed. Results show prepared PVA Fricke gel dosimeters has good stability for seven days after irradiation. Coefficient of variation of the samples was in range of 0.89 to 1.25%. So, the prepared dosimeters has good repeatability. Precision of the dosimeters was incremented by dose increase. Response survey at two different dose rate showed that response of the prepared dosimeters is independent of dose rate.

Keywords: Stability of the dosimeter, Repeatability of the dosimeter, PVA Fricke gel dosimeter, Response of dosimeter

۱. مقدمه

برای تثبیت توزیع دز دزیمتر محلول فریک، ماتریس ژل به آن اضافه می‌شود تا امکان اندازه‌گیری توزیع دز در سه بعد فراهم شود[۱]. بدین ترتیب با توسعه سه بعدی دزیمترها با اضافه کردن ماتریس ژل به محلول فریک، پایداری و حساسیت دزیمترها بهبود داده شد[۲]. انواع ماتریس ژل تاکنون معرفی‌شده‌اند. از این میان، آگارز[۳] و ژلاتین[۴] بیشتر مورد استفاده قرار گرفتند. اخیراً پلی وینیل الکل به‌عنوان ماتریس ژل کاربرد بیشتری نسبت به سایر ژل‌ها در دزیمتری پیداکرده است[۵].

یک دزیمتر باید دارای حساسیت بالا، پاسخ دز خطی، پایداری، تکرارپذیری و .... باشد[۶و۷]. در سال ۲۰۱۵، مرینی و همکارانش بر کاهش ضریب انتشار دزیمترهای ژل فریک پلی وینیل الکل با هدف بهبود حساسیت و تکرارپذیری تحقیق کردند[۸]. در سال ۲۰۱۷، بر ساخت یک دزیمتر با حساسیت بیشتر و انتشار یون‌های کمتر پس از پرتودهی و در نتیجه پایداری بیشتر دزیمتر ژل فریک کار شد[۹]. همچنین دیریکو و همکارانش با توسعه و بررسی فرمول‌های جدیدی از دزیمتر ژل فریک پلی وینیل الکل، بهترین عملکرد ژل‌های فریک را ارائه دادند[۱۰]. در سال ۲۰۱۹، گالو و همکارانش با تحقیق بر دزیمترهای ژل فریک پلی وینیل الکل نشان دادند که پاسخ آن از آهنگ دز مستقل است و این نوع دزیمترها در پرتودرمانی با پرتو ایکس کاربرد دارند[۱۱].

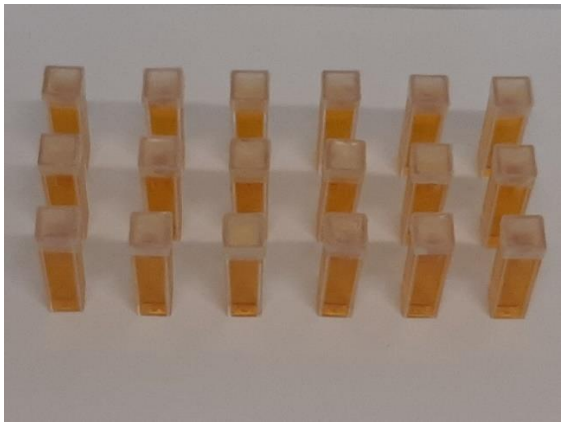
هدف این پژوهش، بررسی پایداری دزیمتر ژل فریک پلی وینیل الکل، تکرارپذیری آن و همچنین بررسی اثر آهنگ دز بر پاسخ دزیمتر می‌باشد. ابتدا دزیمتر بر اساس روش ارائه شده توسط گور و همکارانش[۱۲] ساخته شد، سپس پاسخ دزیمتر با طیف‌سنج نوری مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی پایداری دزیمتر، پس از پرتودهی آن، هر روز دزیمتر مورد خوانش قرار گرفت. به‌منظور بررسی تکرارپذیری دزیمتر ژل فریک پلی وینیل الکل، در هر دز نمونه‌های یکسانی پرتودهی و ضریب تغییرات نمونه‌ها محاسبه گردید. همچنین با استفاده از یک حفاظ سربی در برابر شارژ پرتو، تأثیر آهنگ دز بر پاسخ دزیمتر در مقایسه با عدم استفاده از حفاظ سربی، ارزیابی شد.

۲. روش کار

در این پژوهش، ابتدا دزیمتر ژل فریک پلی وینیل الکل- گلوتارآلدهید (PVA-GTA) ساخته شد. این نوع دزیمتر شامل پلی وینیل الکل و محلول سولفات فروس آمونیم می‌باشد. مواد مورد نیاز برای ساخت این نوع دزیمتر سولفات فروس آمونیم ، اسیدسولفوریک ٪۹۸، زایلنول اورنج سدیم، پلی وینیل الکل، گلوتارآلدهید و آب فوق خالص می‌باشند.
پس از حل شدن یکنواخت پلی وینیل الکل در ۷۰ درصد از حجم نهایی محلول، در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۵ دقیقه محلول فریک به آن اضافه گردید. ۲۰ درصد حجم نهایی کل محلول را، محلول فریک تشکیل می‌دهد که از آب، اسیدسولفوریک، سولفات فروس آمونیم و زایلنول اورنج تشکیل می‌شود. پس از اضافه شدن محلول فریک به محلول پلی وینیل الکل، محلول به مدت چند دقیقه همزده شد تا به‌خوبی همگن گردد. سپس محلول گلوتارآلدهید که از آب، گلوتارآلدهید و اسیدسولفوریک در حجم ۱۰ درصد از حجم کل محلول تهیه گردید[۱۲]، به ترکیب دو محلول پلی وینیل الکل و فریک اضافه شد. پس از چند دقیقه همزده شدن سه محلول با یکدیگر و حصول اطمینان همگنی، محلول در کووت‌هایی از جنس پلی متیل متاکریلات در ابعاد ۴۵×۱۰×۱۰ mm و دارای دو سطح موازی نوری و ۱۰ میلی‌متر طول

مسیر نوری به‌منظور پرتودهی و خوانش انتقال داده شد و سپس با پارافیلم، انتهای بالایی کووت‌ها بسته شد تا از ورود اکسیژن به دزیمتر ژل فریک PVA-GTA جلوگیری شود.

دزیمتر ژل فریک PVA-GTA با دستگاه گاماسل-۲۲۰ در محدوده ۱۰ تا ۶۰ گری پرتودهی شد. همچنین برای آن‌که تعادل شیمیایی نمونه‌ها برقرار شود؛ پس از گذشت نیم ساعت از اتمام پرتودهی، خوانش و تحلیل نوری با استفاده از طیف‌سنج نوری BECKMAN COULTER DU-800 انجام شد. اندازه‌گیری‌های جذب در طول‌موج ۵۸۵ نانومتر که بیشینه حساسیت دزیمتر است [۱۲]، انجام شد.



شکل۱. نمونه‌های دزیمتر ژل فریک PVA-GTA تهیه‌شده.

۱،۲. بررسی پایداری دزیمتر

به‌منظور بررسی پایداری پاسخ دزیمتر ژل فریک، نمونه‌های تهیه‌شده پس از آماده‌سازی در محیط تاریک و دمای ۶ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا اثر اکسایش خودبه‌خودی دزیمتر کاهش یابد. پس‌ازآنکه دزیمترهای ژل فریک پرتودهی شدند تا ده روز پس از پرتودهی توسط طیف‌سنج نوری ارزیابی شدند تا تغییراتی که به‌واسطه‌ی زمان بر پاسخ دزیمتر روی می‌دهد تحلیل شوند.

۲،۲. بررسی تکرارپذیری دزیمتر

این بررسی نشان می‌دهد که آیا دزیمتر ساخته شده اگر بیش از یک بار مورد خوانش قرار بگیرد، آیا مانند دفعه اول پاسخ می‌دهد. به همین منظور پنج نمونه با ویژگی‌های یکسان در هر دز پرتودهی شدند تا تکرارپذیری پاسخ دزیمتر مورد بررسی قرار گیرد. دزیمتر ژل به روش ذکر شده در بخش ۲ ساخته شد، سپس بعد از گذشت نیم ساعت تحت پرتو قرار می‌گیرد و جهت برقراری تعادل شیمیایی نمونه‌ها، پس از گذشت نیم ساعت از اتمام پرتودهی، نمونه‌های دزیمتر ژل فریک PVA-GTA مورد خوانش قرار گرفت.

۳،۲. بررسی اثر آهنگ دز

برای آن‌که مشخص شود که آهنگ دز بر پاسخ دزیمتر اثر می‌گذارد یا خیر، از یک حفاظ سربی با ضخامت ۱٫۶۵ سانتی‌متر در برابر شار پرتو استفاده شد. بدین گونه که حفاظ سربی در محفظه گاماسل قرار می‌گیرد و قسمتی از میدان پرتو تضعیف شد. در این بخش نیز مانند سایر دو بخش دیگر حداقل زمان بین پرتودهی و خوانش نمونه‌های دزیمتر ژل فریک PVA-GTA نیم ساعت بود.

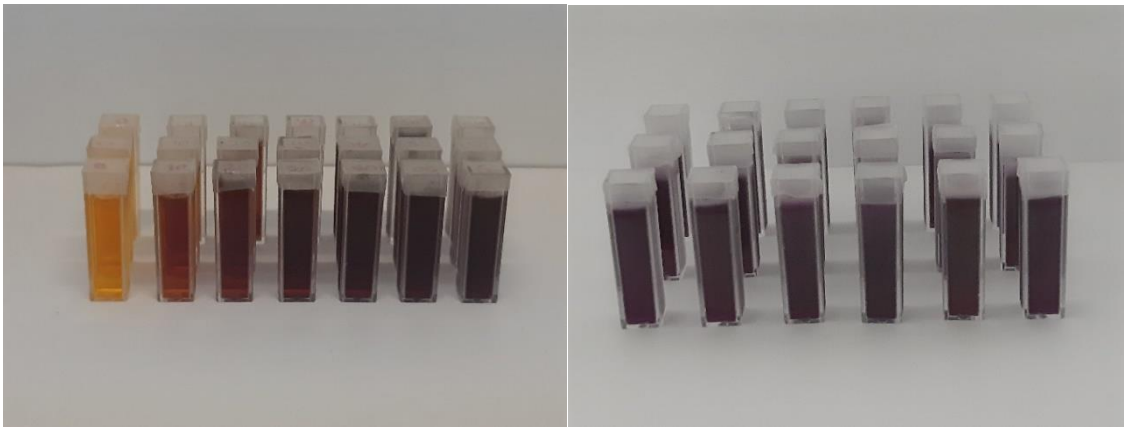
جدول ۱. مقادیر مواد تشکیل‌دهنده دزیمتر.

آب فوق خالص	گلوتارآلدهید	زایلنول اورنج سدیم	سولفات آمونیم فروس	اسیدسولفوریک	پلی وینیل الکل	مواد
			تشکیل‌دهنده			
باقی محلول	٪۱	۱۶۵ mM	۰٫۵ mM	۲۵ mM	٪۱۰	
			غلظت			

۳. نتایج

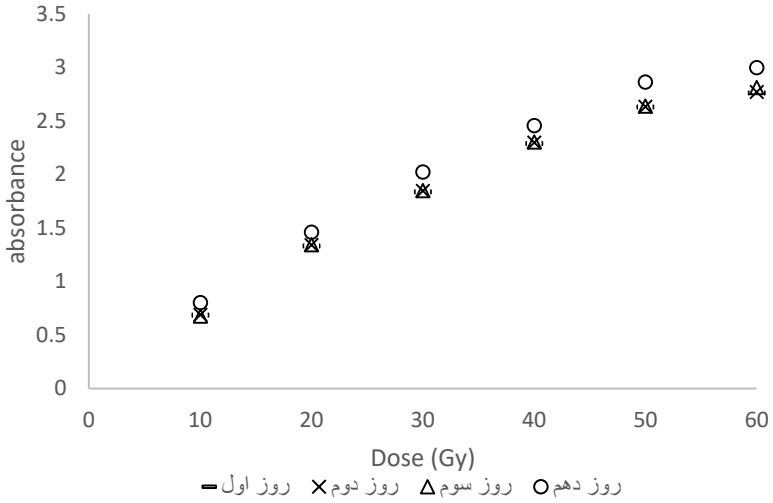
۱،۳. بررسی پایداری

به‌منظور بررسی اثر پایداری دزیمترها، خوانش نمونه‌های ژل فریک PVA-GTA با طیف‌سنج نوری در ده روز متوالی پس از پرتودهی توسط گاماسل ۲۲۰ انجام شد. شکل ۲.الف نمونه‌های دزیمتر ژل فریک PVA-GTA را یک روز پس از پرتودهی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، رنگ دزیمتر متناسب با دز جذبی به بنفش متمایل است. شکل۲.ب دزیمترها را در روز دهم پس از پرتودهی نشان می‌دهد. در همه دزها به دلیل اکسایش خودبه‌خودی یون‌های فریک، رنگ القایی تغییر پیداکرده است.



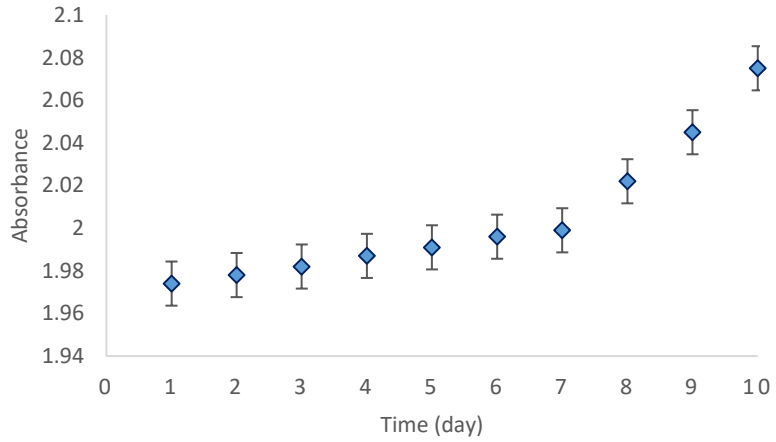
الف **ب**

شکل۲. نمونه‌های دزیمتر ژل فریک PVA-GTA پس پرتودهی از الف) روز اول ب) روز دهم.



شکل ۳.الف. پایداری دزیمترهای ساخته شده.

مقادیر جذب دزیمتر در طول‌موج ۵۸۵ نانومتر که دزیمتر بیشترین حساسیت را از خود نشان می‌دهد، در روزهای اول، دوم، سوم و دهم پس از پرتودهی برحسب دز در شکل ۳.الف آورده شده است. دزیمترها در روز دهم ٪۸ پایداری خود را از دست می‌دهند. در شکل ۳.ب. جذب دزیمتر در ده روز متوالی برای دز ۳۰ گری آورده شده است. جذب اپتیکی دزیمتر نسبت به زمان تا روز هفتم تقریباً ثابت است، اما به‌تدریج تا روز دهم افزایش پیدا می‌کند. درواقع با گذشت زمان به دلیل انتشار یون‌های فریک و اکسایش خودبه‌خودی، نمونه‌های دزیمتر پایداری خود را از دست می‌دهند. بررسی نمونه‌ها در روزهای متوالی نشان می‌دهد دزیمتر ساخته شده از تجدیدپذیری خوبی برخوردار است.



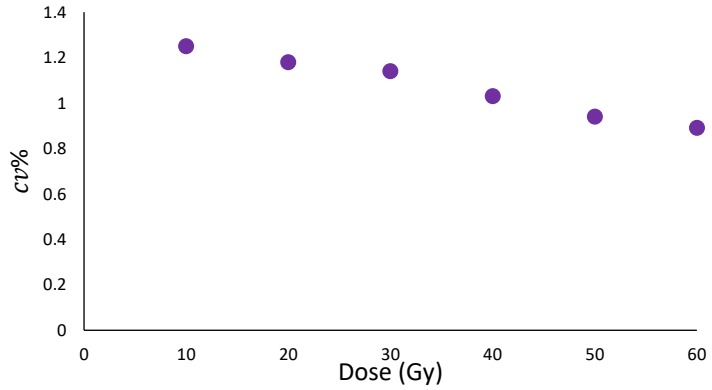
شکل ۳.ب. تجدیدپذیری دزیمترهای ساخته شده.

۲،۳. بررسی تکرارپذیری

به ازای هر دز، پنج نمونه دزیمتر در شرایط یکسان پرتودهی شدند. جذب نمونه‌های دزیمتر اندازه‌گیری شد تا تکرارپذیر بودن پاسخ دزیمترهای ژل فریک PVA-GTA مورد بررسی قرار گیرد. با استفاده از مقادیر جذب در طول‌موج ۵۸۵ نانومتر که دزیمتر بیشینه حساسیت را دارد، ضریب تغییرات داده‌های اندازه‌گیری شده مطابق رابطه ۱ محاسبه گردید:

$$cv\% = \sqrt{\frac{\Sigma(n_i-1)(SD_i^2/\bar{x}_i^2)}{\Sigma(n_i-1)}} \times 100 \qquad (1)$$

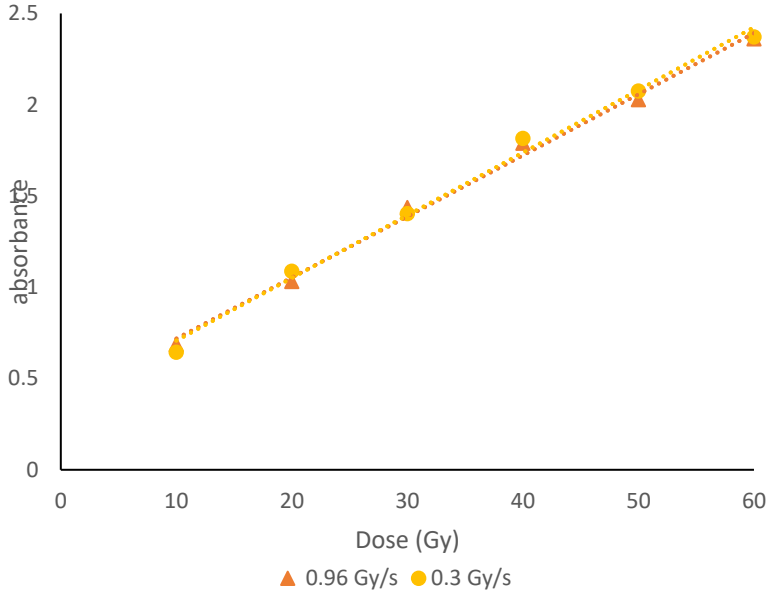
که در آن، n_i تعداد اندازه‌گیری‌های هر جذب، $\bar{X}_i$ میانگین مقدار جذب و SD_i انحراف استاندارد نمونه است.
منحنی ضریب تغییرات برحسب دز در شکل ۴ آورده شده است. در دز ۱۰ گری، ضریب تغییرات ٪۱٫۲۵ است. روند نزولی در منحنی نشان می‌دهد که در دزهای بالاتر نسبت به دزهای پایین، ضریب تغییرات، مقدار کمتری دارد و مقدار آن در دز ۶۰ گری به ٪ ۰٫۸۹ می‌رسد. بنابراین نمونه‌های ساخته شده از تکرارپذیری بالایی برخوردار هستند.



شکل ۴. ضریب تغییرات پاسخ دزیمتر برحسب دز.

۳،۳. بررسی اثر آهنگ دز

برای بررسی اثر آهنگ دز بر پاسخ دزیمتر ژل فریک PVA-GTA ، مقادیر جذب دزیمتر در هنگام استفاده از حفاظ استوانه‌ای سربی توخالی به ضخامت ۱٫۶۵ سانتی‌متر و عدم استفاده از آن در طول‌موج ۵۸۵ نانومتر که دزیمتر بیشترین حساسیت را از خود نشان می‌دهد مقایسه گردید. هنگامی‌که از حفاظ در برابر شار پرتو استفاده گردید، آهنگ پرتودهی گاماسل برابر با ۰٫۳ گری بر ثانیه و در حالت بدون حفاظ برابر با ۰٫۹۶گری بر ثانیه بود. با مقایسه داده‌های جذب دزیمتر در دو حالت مشخص گردید پاسخ دزیمتر ژل فریک PVA-GTA به آهنگ دز پرتودهی وابسته نیست.



شکل۵. پاسخ دزیمترهای ساخته شده در دو آهنگ دز متفاوت.

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله، ابتدا دزیمترهای ژل فریک PVA-GTA تهیه گردید. نمونه‌ها پس از پرتودهی با طیف‌سنج نوری خوانش شدند و اثر پایداری، تکرارپذیری و آهنگ دز بر پاسخ دزیمتر بررسی شد. نتایج نشان دادند که تا روز هفتم پس از پرتودهی، دزیمتر ژل فریک PVA-GTA پایدار است و با بررسی در روزهای بعدی، نمونه‌ها به‌تدریج پایداری خود را به دلیل انتشار یون‌های فریک و اکسایش خودبه‌خودی از دست می‌دهند. بررسی تکرارپذیری نشان می‌دهد که درصد تغییرات جذب در بازه دز ۱۰ تا ۶۰ گری، در محدوده ۰,۸۹ تا ۱,۲۵ درصد می‌باشد و در نتیجه پاسخ دزیمتر ژل فریک PVA-GTAاز تکرارپذیری خوبی به‌خصوص در دزهای بالاتر برخوردار است. همچنین استفاده از حفاظ سربی در پرتودهی نمونه‌ها تأثیری در میزان جذب ندارد و پاسخ دزیمتر به آهنگ دز وابسته نیست. ویژگی‌های خوب دزیمتر ژل فریکPVA-GTA امکان استفاده از آن را در کاربردهای رادیوتراپی فراهم می‌آورد.

مراجع

1. Penev, Kalin I., and Kibret Mequanint. "Controlling sensitivity and stability of ferrous–xylenol orange–gelatin 3D gel dosimeters by doping with phenanthroline-type ligands and glyoxal." *Physics in Medicine & Biology* 58.6 (2013): 1823.
2. Caldeira, A. M. F., et al. "Fricke xylenol gel characterization using a photoacustic technique." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 582.2 (2007): 484-488.

3. Gore, J. C., and Y. S. Kang. "Measurement of radiation dose distributions by nuclear magnetic resonance (NMR) imaging." *Physics in Medicine & Biology* 29.10 (1984): 1189.

4. Hazle, J. D., et al. "Dose-response characteristics of a ferrous-sulphate-doped gelatin system for determining radiation absorbed dose distributions by magnetic resonance imaging (Fe MRI)." *Physics in Medicine & Biology* 36.8 (1991): 1117.

5. Chu, K. C., et al. "Polyvinyl alcohol-Fricke hydrogel and cryogel: two new gel dosimetry systems with low Fe3+ diffusion." *Physics in Medicine & Biology* 45.4 (2000): 955.

6. Galante, Ana Maria Sisti, et al. "MRI study of radiation effect on Fricke gel solutions." *Radiation measurements* 43.2-6 (2008): 550-553.

7. Bero, M. A., et al. "Tissue-equivalent gel for non-invasive spatial radiation dose measurements." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 166 (2000): 820-825.

8. Marini, Andrea, et al. "Diffusion coefficient of PVA Fricke gel dosimeters." Italian National Conference on Condensed Matter Physics. 2015.

9. Marini, Andrea, et al. "Fricke gel dosimeters with low-diffusion and high-sensitivity based on a chemically cross-linked PVA matrix." *Radiation Measurements* 106 (2017): 618-621.

10. d'Errico, Francesco, et al. "Novel GTA-PVA Fricke gels for three-dimensional dose mapping in radiotherapy." Radiation Measurements 106 (2017): 612-617.

11. Gallo, Salvatore, et al. "Characterization of radiochromic poly (vinyl-alcohol)–glutaraldehyde Fricke gels for dosimetry in external x-ray radiation therapy." Journal of Physics D: Applied Physics 52.22 (2019): 225601.

12. Gallo, Salvatore, et al. "Does the gelation temperature or the sulfuric acid concentration influence the dosimetric properties of radiochromic PVA-GTA Xylenol Orange Fricke gels?." *Radiation Physics and Chemistry* 160 (2019): 35-40.