



ارزیابی بهره شیمیایی دزیمتر ژل فریک آگاروز

الهام عدالتخواه*

پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران - ایران

چکیده:

محللول‌های فریک برای چندین دهه در دزیمتری پرتوها استفاده شده‌اند. با این وجود، همچنان افزایش حساسیت دزیمتر فریک و پایداری پاسخ آن مسأله‌ای مطرح است. با پیشرفت سیستم‌های تصویربرداری پزشکی و بررسی ارتباط تغییرات تشدید مغناطیسی هسته‌ای با دز جذبی، امکان ثبت توزیع سه بعدی دز توسط دزیمترهای ژل فریک فراهم شد. مطالعات نشان داد که افزودنی‌های آلی می‌توانند بهره شیمیایی دزیمتر فریک را افزایش دهند. در این پژوهش، با ساخت دزیمتر ژل فریک آگاروز به بررسی این مسأله پرداخته شده است. دزیمترهای ژل فریک آگاروز آماده‌شده تحت تابش گاما تا دز جذبی ۳۰ Gy قرار داده شده‌اند. سپس دزیمترهای تهیه شده به روش طیفسنجی نوری بررسی شدند. با استفاده از منحنی کالیبراسیون دزیمتر ژل فریک آماده شده، بهره شیمیایی آن ارزیابی شد. نشان داده شد که بهره شیمیایی دزیمتر ژل فریک آگاروز بیشتر از بهره شیمیایی دزیمتر فریک است که نشان دهنده مزیت دزیمتر ژل فریک بر دزیمتر فریک می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: دزیمتر ژل فریک، دزیمتر فریک، طیفسنجی، بهره شیمیایی دزیمتر

Radiation Yield Assessment of Agarose Fricke Gel Dosimeters

Elham Edalatkhah¹

1. Application Radiation Research School, Research Institute, P.O.BOX:14155-1339, Tehran, Iran.

Abstract:

Fricke solutions have been used for radiation dosimetry for many decades. Despite sensitivity increase of Fricke dosimeter and its response stability is also needed. Medical imaging improvement and relation between nuclear magnetic resonance with absorbed dose makes #D dose distribution recording possible. It was shown organic additives could increase the sensitivity of Fricke dosimeter. In this research, this issue is investigated with agarose Fricke gel dosimeter. Prepared agarose Fricke gel dosimeters irradiated up to 30 Gy with gamma exposure. Then, the optical densities recorded with a spectrophotometer. Using the calibration curve, radiation yield of the dosimeter was assessed. It was shown radiation yield of agarose Fricke gel dosimeter is more than that of a Fricke dosimeter which verifies the preference of Fricke gel dosimeter to Fricke dosimeter.

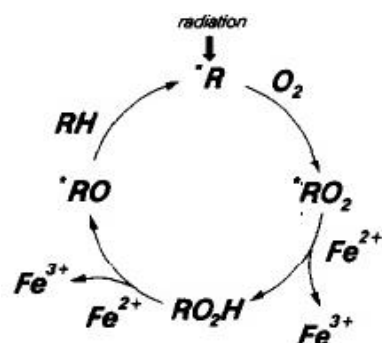
Keywords: Fricke gel dosimeter, Fricke dosimeter, Spectroscopy, Radiation Yield of Dosimeter

۱. مقدمه

دزیمتر فریک از جمله دزیمترهای شیمیایی است که در سال ۱۹۲۷ معرفی شد [۱]. این دزیمتر که در واقع همان محلول فروس سولفات است، تبدیل یون فروس (Fe^{+2})، که در محلول فروس آمونیوم سولفات موجود است، به یون فریک (Fe^{+3})، که بر اثر پرتو دهی محلول تولید می‌شود، را اندازه‌گیری می‌کند [۲]. در دزیمتری فریک متداول، غلظت یون فریک با طیف‌سنجی تعیین می‌شود. یون فریک در طول موج ۳۰۴ nm شدیداً جذب می‌شود [۳]. اگرچه اثر پرتو بر محلول شامل مراحل میانی است، نتیجه نهایی وابستگی خطی غلظت یون فریک به یون جذبی است. واکنش‌های مطرح عبارتند از [۴]:



اندازه‌گیری دز با بررسی تغییرات جذب نوری توسط طیف‌سنج انجام می‌شد تا اینکه در سال ۱۹۸۴ پیشنهاد استفاده از تغییرات تشدید مغناطیسی هسته‌ای با دز جذبی مطرح شد [۵]. بدین ترتیب امکان تهیه تصویر از یک فانتوم پرتو دهی شده با سیستم‌های تصویربرداری پزشکی و ثبت توزیع سه بعدی دز فراهم شد که با پیشرفت‌های اخیر پرتودرمانی حایز اهمیت بسیاری است. پایداری فضایی اطلاعات دز در دزیمتری فریک، با وارد کردن محلول فریک در یک ماتریس ژل میسر شد و این ترکیب دزیمتر ژل فریک خوانده شد [۶]. نشان داده شده است که افزودن عامل ژل به محلول سولفات فروس، حساسیت دزیمتر ژل را به دلیل ایجاد مسیرهای جدید و واکنش زنجیره‌ای افزایش می‌دهد [۷]. طرح واکنش‌های زنجیره‌ای دزیمتر ژل فریک در شکل ۱ آورده شده است. RH مولکول ژل، RX عامل ژل کاهیده شده و ROH عامل ژل اکسید شده است. زنجیره با رادیکال عامل ژل، R^* ، آغاز می‌شود. در حضور اکسیژن رادیکال دیگری تولید می‌شود، RO_2^* . اکسایش فروس به فریک رخ می‌دهد. محصول RO_2H اکسایش را ادامه می‌دهد و رادیکال دیگری تولید می‌شود، RO^* . اگر این رادیکال بتواند دوباره با عامل ژل واکنش دهد R^* جدیدی تشکیل می‌شود که می‌تواند زنجیره بعدی را آغاز کند [۸].



شکل ۱. دینامیک واکنش‌های زنجیره‌ای در دزیمتر ژل [۸].

بهره شیمیایی پرتو بر حسب تعداد یون‌های فریک آزاد شده به ازای ۱۰۰ eV انرژی جذب شده بیان می‌شود. رابطه دز جذبی با تغییر غلظت یون فریک به صورت زیر است:

$$G = 9.64 \times 10^9 \frac{\Delta D}{\rho D} \quad (۵)$$

در این رابطه G بهره شیمیایی ΔD تغییرات جذب نوری و چگالی دزیمتر هستند.

در این پژوهش، نمونه‌هایی از دزیمترهای ژل فریک آگاروز ساخته می‌شوند. نمونه‌ها با پرتوی گاما در محدوده دز جذبی ۳۰-۱۰ Gy پرتو دهی می‌شوند. این ناحیه، دز مورد استفاده در روش‌های پرتودرمانی را پوشش می‌دهد. مشخصه‌یابی دزیمترها با اندازه‌گیری طیف جذبی برای تعیین ارتباط میان چگالی اپتیکی و دز جذبی با استفاده از یک طیف‌سنج نوری انجام می‌شود. با استفاده از منحنی کالیبراسیون، بهره شیمیایی دزیمتر ژل فریک ساخته شده ارزیابی می‌شود. بدین ترتیب حساسیت دزیمتر ژل فریک در مقایسه با دزیمتر فریک بررسی خواهد شد.

۲. روش کار

یک ماتریس ژل متداول با حساسیت خوب در تهیه دزیمترهای ژل فریک، آگاروز است [۹]. در این پژوهش، نمونه‌هایی از دزیمترهای ژل فریک آگاروز ساخته شدند. ترکیبات مورد نیاز برای ساخت این دزیمتر در جدول ۱ آورده شده‌اند. دزیمترها بر اساس روش ارائه شده توسط ماراله ساخته شدند [۱۰]. پودر آگاروز با آب مقطر تا دمای 90°C حرارت داده شد تا محلول شفاف بدست آید. اجازه داده شد تا دمای محلول به 70°C برسد. محلول دیگری با حل کردن

جدول ۱. ترکیبات مورد نیاز ساخت دزیمتر ژل فریک آگاروز

غلظت (mM)	وزن اتمی	فرمول شیمیایی	مواد مورد نیاز
۰/۴	۳۱۲/۱۲	$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 (\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	سولفات آمونیوم فروس
۰/۰۱	۱۲۴	$[\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{O}_5(\text{OH})_4]_n$	آگاروز
۰/۱۶۵	۷۶۰/۵۸	$\text{C}_{31}\text{H}_{28}\text{N}_2\text{Na}_4\text{O}_{13}\text{S}$	زایلنول
۲۵	۹۸/۰۷	H_2SO_4	اسید سولفوریک

اسید سولفوریک، فروس آمونیوم سولفات و زایلنول اورنج دی سدیم تهیه شد. بدین ترتیب با مخلوط کردن این دو محلول، دزیمتر ژل فریک آگاروز ساخته شد. مراحل آماده‌سازی دزیمتر در هوا و نور روز انجام شد. هنگامیکه دزیمتر ژل تهیه شده هنوز گرم است، در کووت‌های مخصوص طیف‌سنجی ریخته شد تا شکل ظرف را بگیرد. کووت‌های استفاده شده دو سطح نوری موازی با یک سانتی‌متر طول مسیر نوری و ابعاد $10 \times 10 \times 45 \text{ mm}$ دارند. انتهای بالایی کووت‌ها با پارافیلیم بسته شد. برای کالیبراسیون دزیمتر ژل فریک آگاروز تهیه شده، نمونه‌ها در گاماسل -۲۲۰ (Nordion, Canada) در محدوده ۱۰-۳۰ Gy پرتو دهی شدند. این ناحیه، دز مورد استفاده در روش‌های پرتودرمانی را پوشش می‌دهد. در زمان پرتو دهی، آهنگ دز گاماسل $1/31 \text{ Gy/s}$ بود. برای بررسی تکرارپذیری پاسخ در هر آزمایش سه نمونه پرتو دهی شدند. شکل ۲ نمونه‌هایی از دزیمترهای پرتو دهی شده با دز 20 Gy را نشان می‌دهد.

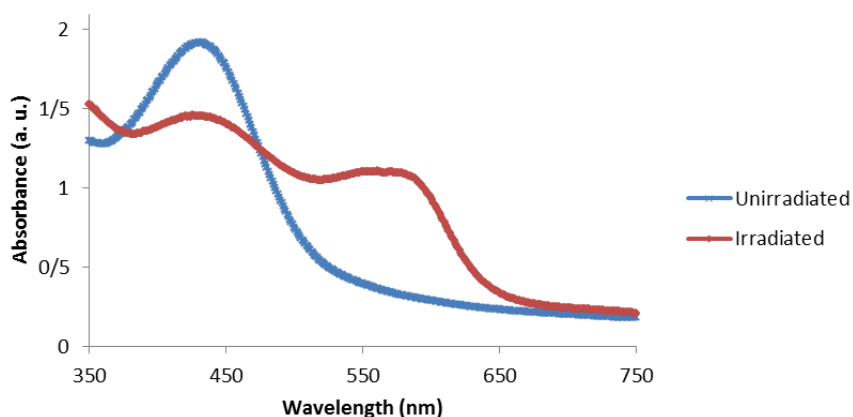


شکل ۲. دزیترهای ژل فریک آماده شده بعد از پرتودهی.

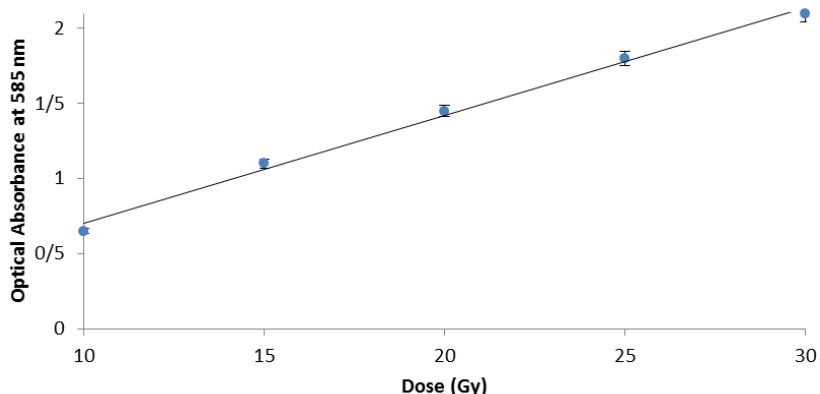
اندازه‌گیری جذب نمونه‌ها با استفاده از طیف‌سنج نوری BECKMAN-COULTER-DU 800 انجام شد. پرتودهی و آنالیز در دمای اتاق انجام شدند و منحنی پاسخ دز رسم شد.

۳. نتایج

جذب دزیترهای ژل فریک آماده شده در ناحیه طول موج ۳۵۰-۶۵۰ nm اندازه‌گیری شد. نمونه‌ای از طیف ثبت‌شده در شکل ۳ آورده شده است. قله طیف جذب نمونه قبل از پرتودهی متناظر با یون‌های فروس موجود در ژل است. در طیف جذب نمونه پس از پرتودهی قله‌ای در ۵۸۵ nm مشاهده می‌شود که متناظر با یون‌های فریک تولید شده بر اثر اکسایش القایی یون‌های فروس توسط پرتو می‌باشد. جذب در طول موج ۵۸۵ nm به صورت خطی با تغییرات دز تا ۳۰ Gy افزایش می‌یابد که در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۳. طیف جذب دزیتر قبل و بعد از پرتودهی.



شکل ۴. پاسخ دزیمتر.

با استفاده از پاسخ دزیمتر، بهره شیمیایی دزیمتر ژل فریک آگاروز ۴۰ تعیین شد. بهره شیمیایی دزیمتر فریک به صورت ۱۵/۵ تعیین شده است [۱۱]. مقایسه این دو مقدار به خوبی نشان از مزیت دزیمتر ژل فریک بر دزیمتر فریک دارد. همچنین در پژوهش انجام شده در سال بهره شیمیایی دزیمتر ژل فریک آگاروز به صورت ۴۴ تخمین زده شد که انحراف قابل قبولی را نشان می‌دهد [۱۲]. دلیل این امر را می‌توان به نوع مواد اولیه بکاررفته و روند ساخت دزیمتر نسبت داد.

۳. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با ساخت دزیمتر ژل فریک آگاروز به بررسی افزایش حساسیت دزیمتر فریک با افزودن عامل آلی پرداخته شد. دزیمتر ژل فریک آگاروز تهیه شده تا ۳۰ Gy رفتار خطی نشان داد. با استفاده از منحنی کالیبراسیون آن، بهره شیمیایی دزیمتر ژل فریک آگاروز ۴۰ تعیین شد که در مقایسه با بهره شیمیایی دزیمتر فریک بسیار بیشتر است و بر مزیت دزیمتر ژل فریک بر دزیمتر فریک تاکید دارد. همچنین مقایسه بهره شیمیایی ژل فریک آگاروز تهیه شده با پژوهش دیگر همخوانی خوبی دارد.

۴. مراجع

1. ISO/ASTM, Standard Practice for Using the Fricke Dosimetry System, 51026, (2015).
2. ISO/ASTM, Standard Guide for Selection and Calibration of Dosimetry Systems for Radiation Processing, 51261(E), (2002).
3. J.B. Davies, C. Baldock, Sensitivity and stability of the Fricke-gelatin-xylene orange gel dosimeter, Rad. Phys. and Chem. 77, 690 (2008).
4. L. H. Leong, S. Kandaiya and Ng Bong Seng. Characterisation of a Ferrous Agarose Xylene (FAX) gel for radiotherapy dose measurement, Austr. Phys. & Eng. Sci. in Med, 30, 2 (2007).
5. M. A. Bero. et al. Tissue-equivalent gel for non-invasive spatial radiation dose Measurements. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 166. 820 (2000)
6. G. M. Liosi et al. Study of Fricke-gel dosimeter calibration for attaining precise measurements of the absorbed dose, 4th International Conference on Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications (ANIMMA), DOI: 10.1109/ANIMMA.2015.7465581 (2015).



7. L. E. Olsson. et al. Ferrous sulphate gels for determination of absorbed dose distributions using MRI technique: basic studies. *Physics in Medicine & Biology*. 34. 43 (1989)
8. O. E. OLSSON, A. APPLEBY and J. SOMMER, A New Dosimeter Based on Ferrous Sulphate Solution and Agarose Gel, *Appl. Radiat. Isot.* 42, 11, 1081 (1991).9.
9. Appelby A. A. Leghrouz, Imaging of radiation dose by visible color development in ferrousagarosexylenol orange gels. *Medical Physics*. 18. 309 (1991)
10. M. Marrale. et al. Correlation between ferrous ammonium sulfate concentration, sensitivity and stability of Fricke gel dosimeters exposed to clinical X-ray beams. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*. 335. 54 (2014).
11. M. Dehghan. et al. Evaluation of Ferrous-Agarose-Xylenol Gel Properties in Radiation Dosimetry, *J Biomedical Physics Engineering*. 2(2) (2012).
12. G. Gambarini. et al. Study of optical absorbance and MR relaxation of Fricke xylenol orange gel dosimeters. *Radiation Measurements*. 103. 25 (2017).