



بررسی پاسخ دزیمتر ژل فریک آگاروز (FAX)

الهام عدالتخواه*، پیمان رضاییان، صدیقه کاشیان

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

*Email: eedalatkhah@aeoi.org.ir

مقاله‌ی فنی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۷/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۹/۱۹

چکیده

با توجه به اهمیت کنترل کیفی دستگاه‌های پرتودرمانی و امکان تعیین توزیع سه‌بعدی دز توسط دزیمتر ژل فریک آگاروز، این دزیمتر بر پایه محلول سولفات فروس و ژل آگاروز تهیه شد. پاسخ دزیمترهای ژل فریک آگاروز آماده‌شده تحت تابش گاما تا دز جذبی ۲۰ Gy بررسی شدند. دزیمترهای تهیه شده به روش طیف‌سنجی ارزیابی شدند. با توجه به اثر غلظت عوامل تشکیل‌دهنده بر پاسخ دزیمتر ژل فریک آگاروز، ترکیب‌های مختلف برای رسیدن به حساسیت بهتر و تکرارپذیری بررسی شدند. در این راستا، پاسخ نمونه‌های دزیمتر در غلظت‌های مختلف یون فروس، اسید سولفوریک و نشانگر ارزیابی شدند. نتایج نشان دادند دزیمتر ژل فریک آگاروز تهیه شده تا ۲۰ Gy رفتار خطی دارد. همچنین بهترین ترکیب دزیمتر ژل فریک آگاروز با حساسیت و پایداری بالای دزیمتر به صورت ۰٫۲ mM فروس، ۲۵ mM اسید سولفوریک و ۰٫۱۵ mM زایلنول تعیین شد.

کلیدواژه‌ها: دزیمتر ژل فریک، آگاروز، طیف جذب، منحنی پاسخ دز

Study on the response of Fricke Agarose gel dosimeters (FAX)

E. Edalatkhah*, P. Rezaeian, S. kashian

Radiation Applications Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, P.O.Box: 1339-14155, Tehran-Iran

Technical Paper

Received 7.10.2020, Accepted 9.12.2020

Abstract

Considering the importance of quality control of radiotherapy systems and 3D dose mapping possibility done with a Fricke agarose gel dosimeter, this dosimeter based on ferrous solution and agarose gel was prepared. The prepared Fricke gel dosimeters was investigated under gamma irradiation with a dose range up to 20 Gy. Concerning the effect of the gel dosimeter constituent's concentration on the response of the dosimeter, different compositions were surveyed for better sensitivity and repeatability. So, the responses were evaluated for different concentrations of ferrous ion, sulphuric acid, and the indicator. We found that the Fricke agarose gel dosimeter has a linear behavior up to 20 Gy. In addition, the best composition of Fricke agarose gel dosimeter with high sensitivity and stability was determined to be 0.2 mM ferrous, 25 mM sulphuric acid, and 0.15 mM Xylenol orange.

Keywords: Fricke gel dosimeter, Agarose, Absorption spectrum, Dose-response curve



۱. مقدمه

دزیمتری ژل یکی از روش‌های اندازه‌گیری دز پرتوها در کاربردهای پزشکی است. با استفاده روزافزون دستگاه‌های پرتودرمانی، کنترل کیفی آن‌ها به منظور نتایج بهینه ضروری است [۱]. با توجه به امکان تعیین توزیع سه‌بعدی دز توسط دزیمتر ژل فریک آگاروز^۱، مطالعاتی بر کاربرد این دزیمتر در کنترل کیفی دستگاه‌های درمان انجام شده است [۲-۴]. دزیمتر FAX شامل محلول اسیدی یون‌های Fe^{2+} پراکنده شده در یک ماتریس ژل آگاروز است. اکسایش القایی یون‌های Fe^{2+} بر اثر پرتودهی، دز جذبی و غلظت یون‌های Fe^{3+} را به یک‌دیگر مرتبط می‌سازد. افزودن آگاروز به محلول سولفات فروس، حساسیت دزیمتر ژل را به دلیل واکنش زنجیره‌ای در آگاروز افزایش می‌دهد [۵].

یک دزیمتر ژل باید دارای ویژگی‌های پاسخ دز خطی، حساسیت بالا و یکنواخت بر حجم و پایداری فیزیکی برای روزهای زیاد باشد [۶]. با وجود آزمون‌های بالینی، همچنان لازم است دزیمتر FAX برای تکرارپذیری، پایداری و دقت بهتر در ارزیابی دز بهینه شود. غلظت عوامل تشکیل‌دهنده یک دزیمتر ژل بر پاسخ آن و رسیدن به دزیمتری حساس‌تر با پاسخ دز خطی تکرارپذیر مؤثر است [۷]. با این وجود، تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه بر دزیمتر FAX انجام نشده است. در سال ۱۹۹۱ اثر غلظت فروس و اسید سولفوریک بر پاسخ دزیمتر FAX (۱ درصد وزنی ژل از نوع دمای پایین) به فوتون 6 MeV با استفاده از تصویربرداری تشدید مغناطیسی بررسی شد [۸]. در همین سال اثر غلظت فروس و نشانگر بر پاسخ دزیمتر FAX (۱ درصد وزنی ژل) به الکترون‌های 15 MeV به روش طیف‌سنجی بررسی شدند [۹]. در سال ۲۰۱۴ اثر غلظت فروس بر پاسخ دزیمتر FAX (۳ درصد وزنی ژل) به فوتون 6 MeV با استفاده از تصویربرداری تشدید مغناطیسی بررسی گردید [۱۰]. در تنها تحقیق انجام شده در ایران نیز در سال ۲۰۱۲، اثر غلظت فروس و غلظت نشانگر بر پاسخ دزیمتر FAX (۱ درصد وزنی ژل) به فوتون 9 MeV و باریکه الکترون 6 MeV به روش طیف‌سنجی بررسی شده‌اند [۱۱].

هدف این تحقیق، ساخت و مشخصه‌یابی دزیمتر FAX است. ساخت این دزیمتر براساس روش ارزیابی شده توسط ماراله^۲ انجام می‌شود [۱۰]. مشخصه‌یابی این دزیمتر با اندازه‌گیری طیف جذبی برای تعیین ارتباط میان چگالی اپتیکی و دز جذبی

با استفاده از یک طیف‌سنج نوری انجام می‌شود. همچنین اثر غلظت یون فروس، غلظت اسید سولفوریک و غلظت نشانگر بر پاسخ دزیمتر FAX به پرتوهای گامای ^{60}Co با استفاده از روش طیف‌سنجی (حالت جذبی) بررسی می‌شوند. طیف‌های جذب دزیمترهای ژل پرتو ندیده و پرتودهی شده با گاما تا دز 20 Gy اندازه‌گیری می‌شوند. در نهایت منحنی‌های پاسخ دز تحلیل و ناحیه دز خطی تعیین خواهد شد.

۲. مواد و روش‌ها

دزیمتر FAX شامل ژل آگاروز و محلول سولفات فروس آمونیم اسیدی است [۱۲]. مواد موردنیاز برای ساخت این دزیمتر شامل سولفات آمونیم فروس $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ (FAS)، اسید سولفوریک H_2SO_4 ۹۶٪، زایلنول اورنج سدیم (XO) $C_{31}H_{28}N_2Na_4O_{13}S$ ، آگاروز $[C_{12}H_{14}O_8(OH)_4]_n$ [۱۰] که همه از شرکت مرک تهیه شده‌اند و آب مقطر هستند. آگاروز یک پلی‌ساخارید است که از جلبک دریایی تهیه می‌شود و ژل پایداری با زنجیره‌های طولانی تشکیل می‌دهد [۹]. از آنجایی که فرایند آماده‌سازی دزیمتر بر عملکرد آن اثرگذار است، همواره لازم است روش تعریف‌شده ساخت دزیمتر کنترل شود. همان‌گونه که بیان شد، در این تحقیق دزیمترهای FAX براساس روش ارزیابی شده توسط ماراله ساخته شدند [۱۰]. آماده‌سازی دزیمتر FAX شامل مراحل زیر است: محلول فریک با مخلوط کردن FAS، XO و اسید سولفوریک در ۵۰٪ آب مقطر آماده شد. مخلوط آگاروز و ۵۰٪ مابقی آب مقطر تا 90°C درحین همزدن پیوسته با همزن مغناطیسی گرما داده شد تا پودر کاملاً حل شده، محلول شفاف تولید شد. وقتی دمای این محلول به 70°C رسید، با محلول فریک آماده شده مخلوط شد و بدین ترتیب دزیمتر FAX تهیه شد. مراحل آماده‌سازی دزیمتر در هوا و نور روز انجام شد. هنگامی که محلول دزیمتر ژل آماده شده هنوز گرم است، در کووت‌های پلکسی‌گلاس ریخته شد تا شکل ظرف را بگیرد. کووت‌های استفاده شده دو سطح نوری موازی با یک سانت طول مسیر نوری و ابعاد $10 \times 10 \times 45\text{ mm}$ دارند. انتهای بالایی کووت‌ها با پارافیلیم بسته شد. دزیمترهای ژل با غلظت‌های متفاوتی از ترکیبات تشکیل‌دهنده آماده شدند تا دزیمتر ژل حساس‌تر و پایداری به دست آید.

دزیمترهای FAX در گاماسل-۲۲۰ (Nordion, Canada) در محدوده‌ی ۵ تا 20 Gy پرتودهی شدند. این ناحیه، دز مورد استفاده در روش‌های پرتودرمانی را پوشش می‌دهد. نمونه‌ها در

1. Fricke Agarose Gel Dosimeter
2. Marrale



۱.۳ اثر غلظت یون فروس

غلظت یون فروس بر حساسیت دزیمتر FAX به شدت مؤثر است. طیف‌های جذب نمونه‌ها در غلظت‌های مختلف یون فروس جمع‌آوری شده‌اند. در شکل ۲ منحنی پاسخ دزیمترها در غلظت‌های مختلف یون فروس آورده شده است. داده‌های شکل میانگین سه نمونه یکسان تهیه شده است.

حساسیت دزیمتر FAX با افزایش غلظت یون فروس کاهش می‌یابد. در غلظت بالای فروس، رادیکال‌های کم‌تری تشکیل می‌شوند که بتوانند یون‌های فروس را اکسید کنند. بنابراین بهره اکسایش یون فروس به یون فریک کاهش می‌یابد. این موضوع با مکانیسم واکنش‌های پیشنهادی اکسایش سازگار است [۱۳]. واکنش‌ها در واقع رقابت رادیکال‌های OH در واکنش با آگاروز و فروس را نشان می‌دهند. در غلظت‌های خیلی پایین فروس، احتمال واکنش رادیکال‌ها با یون‌های فروس پایین است و احتمال بالایی برای واکنش با آگاروز وجود دارد.

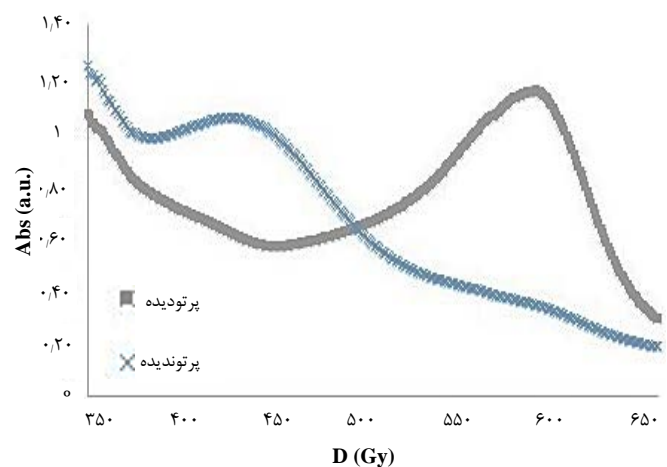
۲.۳ اثر غلظت اسید سولفوریک

مسئله اصلی ساخت یک دزیمتر ژل از محلول سولفات فروس و آگاروز لزوم ایجاد یک محیط اسیدی است چون یون‌های فروس در محلول خنثی حل نمی‌شوند. از طرفی اسید سولفوریک مورد استفاده باعث شکست ساختار زنجیره‌ای ژل آگاروز می‌شود که با زیاد شدن دما افزایش می‌یابد. البته ژل آگاروز در مقایسه با سایر ژل‌ها مانند آگار و ژلاتین در برابر اسید سولفوریک نسبتاً مقاوم است [۹]. طیف‌های جذب نمونه‌ها در غلظت‌های مختلف اسید سولفوریک جمع‌آوری شده‌اند. در شکل ۳ منحنی پاسخ دزیمترها در غلظت‌های مختلف اسید سولفوریک آورده شده است. داده‌های شکل میانگین سه نمونه یکسان تهیه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در ابتدا حساسیت دزیمتر با افزایش غلظت اسید سولفوریک زیاد می‌شود. با این وجود، غلظت بالای اسید سولفوریک تهیه ژل پایدار را مشکل می‌سازد و همچنین بر یکنواختی پاسخ دز تأثیرگذار است. در آماده‌سازی دزیمتر ژل فریک آگاروز، محلول فروس ترجیحاً در دمای پایین‌تر از نقطه جوش به محلول ژل اضافه می‌شود تا بدین ترتیب اثر مخرب اسید سولفوریک کاهش یابد. در عمل زمان بهینه اضافه کردن اسید سولفوریک هنگامی است که ژل نزدیک به سفت شدن باشد.

بخش مرکزی اتاقک گاماسل در معرض پرتو گامای ^{60}Co قرار گرفتند. این میدان با دزیمتر محلول فریک استاندارد کالیبره شده است به گونه‌ای که آهنگ دز در زمان پرتودهی برابر $1/2 \text{ Gy/s}$ بود. در هر آزمایش سه نمونه با ویژگی‌های یکسان پرتودهی شدند تا تکرارپذیری پاسخ بررسی شود. تحلیل نوری بعد از گذشت زمان لازم برای برقراری تعادل شیمیایی نمونه‌ها (۳۰ دقیقه) با استفاده از طیف‌سنج نوری نمونه‌ها (۳۰ دقیقه) با استفاده از طیف‌سنج نوری BECKMAN COULTER DU-۸۰۰ انجام شد. پرتودهی و آنالیز در دمای اتاق انجام شدند. در نهایت منحنی‌های پاسخ دز تحلیل شدند.

۳. نتایج

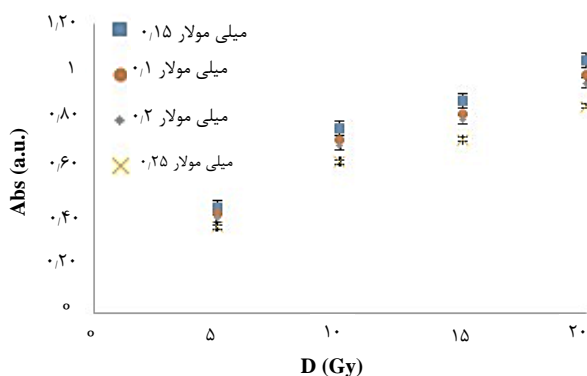
اندازه‌گیری‌های جذب دزیمترهای FAX در ناحیه طول موج ۳۵۰ تا ۶۵۰ nm انجام شد. نمونه‌ای از طیف ثبت شده در شکل ۱ آورده شده است. طیف چگالی اپتیکی، قله جذب پهنی در محدوده ۵۰۰ تا ۶۰۰ nm دارد. حساسیت دزیمتر که به صورت تغییر چگالی اپتیکی بر واحد دز جذبی تعریف می‌شود در طول موج‌های مختلف متفاوت است. حساسیت بیشینه در طول موج ۵۸۵ nm مشاهده شد. بنابراین منحنی‌های پاسخ دزیمتر (منحنی جذب برحسب دز جذبی) در این طول موج ارایه شدند. دزیمترهای FAX با غلظت‌های متفاوتی از یون فروس، اسید سولفوریک و نشانگر تهیه شدند. با انتخاب غلظت‌های مشخص دو عامل تشکیل دهنده دزیمتر، غلظت عامل سوم تغییر داده شد. هر بار سه نمونه با ویژگی‌های یکسان تهیه شد تا تکرارپذیری بررسی شود. در ادامه به بررسی اثر غلظت عوامل تشکیل دهنده دزیمتر FAX بر پاسخ آن می‌پردازیم:



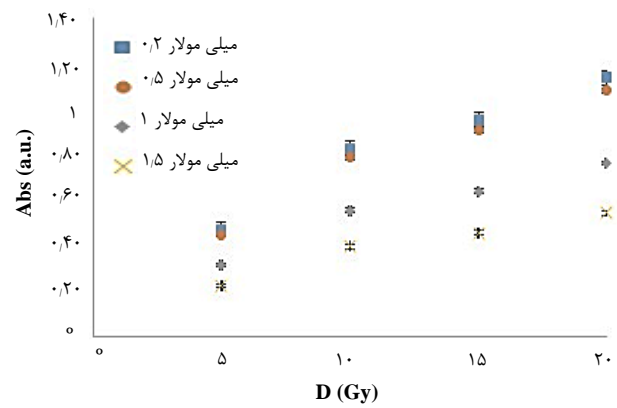
شکل ۱. طیف جذب نمونه دزیمتر FAX قبل و بعد از پرتودهی.



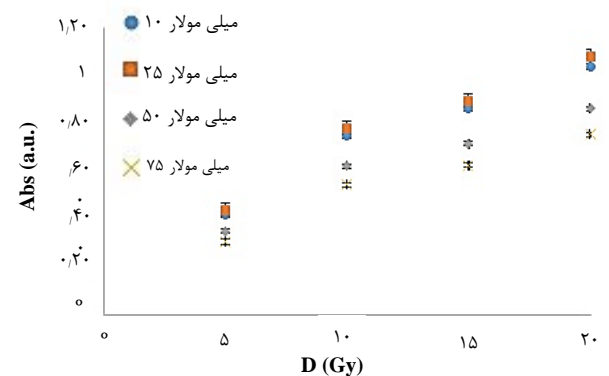
غلظت نشانگر افزایش می یابد. بهترین ترکیب دزیمتر ژل فریک آگاروز با حساسیت و پایداری بالای دزیمتر به صورت 0.2 mM فروس، 25 mM اسید سولفوریک و 0.15 mM زایلنول تعیین شد. نتایج به دست آمده با نتایج تحقیق انجام شده توسط ماراله [۱۰] همخوانی دارند که نشان دهنده صحت داده دزیمتر ژل تهیه شده است. بنابراین این دزیمتر برای اندازه گیری توزیع دز جذبی کیفیت مناسبی دارد، نسبتاً به سادگی آماده می شود، در مقایسه با ژل پلیمرها ارزان تر است. کاربرد این ژل در تصویربرداری توزیع دز غیریکنواخت به آهنگ پخش یون های فریک وابسته است که این مسأله در تحقیقات بعدی بررسی خواهد شد.



شکل ۴. منحنی پاسخ دزیمتر FAX برای غلظت های متفاوت نشانگر.



شکل ۲. منحنی پاسخ دزیمتر FAX برای غلظت های متفاوت یون فروس.



شکل ۳. منحنی پاسخ دزیمتر FAX برای غلظت های متفاوت اسید سولفوریک.

۳.۳ اثر غلظت نشانگر

نشانگر یون فلزی XO، به یون Fe^{+3} متصل شده، تشکیل کمپلکس رنگی (XO-Fe^{+3}) می دهد که امکان اندازه گیری جذب اپتیکی در ناحیه مرئی را فراهم می کند. طیف های جذب نمونه ها در غلظت های مختلف نشانگر جمع آوری شده اند. در شکل ۴ منحنی پاسخ دزیمترها در غلظت های مختلف نشانگر آورده شده است. داده های شکل میانگین سه نمونه یکسان تهیه شده است. افزودن عامل نشانگر به دزیمتر تا 0.15 mM سبب افزایش حساسیت دزیمتر می شود.

۴. نتیجه گیری

در این مقاله، پاسخ دزیمتر ژل فریک آگاروز (FAX) پس از آماده سازی آن بررسی شد. دزیمتر تهیه شده تا 20 Gy رفتار خطی نشان داد. نتایج نشان دادند تغییر غلظت عوامل تشکیل دهنده دزیمتر چون یون فروس، اسید سولفوریک و نشانگر بر پاسخ دزیمتر مؤثر است. حساسیت دزیمتر در حالت کلی با کاهش غلظت یون فروس، افزایش غلظت اسید و افزایش



مراجع

1. L.E. Olsson, et al., *MR imaging of absorbed dose distributions for radiotherapy using ferrous sulphate gels*, *Physics in Medicine & Biology*, **35(12)**, 1623 (1990).
2. 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).
3. M.A. Bero, *Dosimetric properties of a radiochromic gel detector for diagnostic X-rays*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A.*, **580**, 186 (2007).
4. S.A. Back, et al., *Improvements in absorbed dose measurements for external radiation therapy using ferrous dosimeter gel and MR imaging (FeMRI)*, *Physics in Medicine & Biology*, **43**, 261 (1998).
5. C.C. Cavinato, L.L. Campos, *Study of Fricke gel dosimeter response for different gel quality*, *Journal of Physics: Conference Series*, **249**, 012064 (2010).
6. A.M. Galante, et al., *MRI study of radiation effect on Fricke gel solutions*, *Radiation Measurements*, **43(2)**, 550 (2008).
7. 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).
8. L.E. Olsson, et al., *A New Dosimeter Based on Ferrous Sulphate Solution and Agarose Gel*, *Applied Radiation Isotopes*, **42(11)**, 1081 (1991).
9. Appelby A. A. Leghrouz, *Imaging of radiation dose by visible color development in ferrousagarosexylene 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-Xylene 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 xylene orange gel dosimeters*, *Radiation Measurements*, **103**, 25 (2017).
13. L.J. Schreiner, *Review of Fricke gel dosimetry*, *Journal of Physics, Conference Series*, **3**, 9 (2004).

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



استناد به این مقاله

الهام عدالتخواه، پیمان رضاییان، صدیقه کاشیان (۱۴۰۱)، بررسی پاسخ دزیتر ژل فریک آگاروز (FAX)، ۹۹، ۱۸۱-۱۸۵

DOI: 20.1001.1.17351871.1401.43.1.20.3

Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1363.html

