

بررسی اثر دزهای مختلف باریکه‌ی الکترونی بر روی اتلاف نوری در فیبرنوری

الهام حبوباتی، لیلا غلام‌زاده* و محمدعلی حداد

دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

* یزد، دانشگاه یزد، دانشکده فیزیک، کدپستی: ۷۴۱-۸۹۱۹۵

پست الکترونیکی: gholamzadeh@yazd.ac.ir

چکیده

سنجش تابش یون‌ساز در زمینه‌های مختلف همانند ایمنی محیط زیست، فرایندهای آشکارسازی صنعتی، حفاظت در برابر تابش و پزشکی اهمیت بسیاری دارد. دزیمتری تابش نقش مهمی برای تعیین مقدار انرژی جذب شده و ارزیابی اثرات تابش دارد که اخیراً سنسورهای فیبر نوری به عنوان دزیمترهای تابش نشان داده شده‌اند که هدف ما در این‌جا بررسی اثر تابش یون‌ساز بر روی فیبر نوری است. بدین ترتیب در این مقاله اثر تابش باریکه‌ی الکترونی بر اتلاف نور عبوری از فیبرنوری، پس از پایان تابش دهی در گستره‌ی طول موج‌های ۱۵۵۰-۱۳۰۰ nm مورد بررسی قرار گرفته است. فیبرهای نوری با دزهای ۲۲ و ۴۷ kGy تابش داده شدند. تمام اندازه‌گیری‌ها در دمای $25 \pm 2^\circ \text{C}$ انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که اتلاف نور عبوری از فیبرنوری متناسب با دز تابشی افزایش می‌یابد و بعد از پایان تابش دهی با گذشت زمان کاهش می‌یابد.

کلیدواژگان: فیبرنوری، باریکه‌ی الکترونی، اتلاف، دز، دزیمتر.

۱. مقدمه

است، که شواهد تجربی از آن نیز گزارش شده است. حس‌گرهای مرسوم توری فیبر براگ که استفاده موفق در آشکارسازی دما، کرنش و فشار داشته‌اند، برای آشکارسازی تابش یون‌ساز نیز به‌کاربرده شده‌اند. پایه‌ی دزیمتری‌های توری فیبر براگ انتقال دز بین فیبرنوری است که به همین دلیل سنسورهای فیبرنوری به عنوان کاندید برای دزیمترهای تابش در نظر گرفته شده‌اند [۲، ۳].

فیبرنوری، رشته‌ای از جنسی شفاف با قابلیت گذردهی نور است که برای انتقال اطلاعات دیجیتال مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروز مخابرات فیبرنوری، به دلیل پهنای باند وسیعتر و مصرف پایین انرژی در مقایسه با کابل‌های مسی و تاخیر کم‌تر و امنیت بالا در مقایسه با مخابرات ماهواره‌ای از مهم‌ترین ابزار انتقال اطلاعات محسوب می‌شود [۱]. اخیراً تلاش‌های قابل توجهی به‌منظور استفاده از فیبرنوری به عنوان سنجه‌های کاربردی در تابش‌های زیست محیطی انجام شده

پراهمیت‌ترین ویژگی دزیمتر فیبرنوری این است که اطلاعات دز را به جای سیگنال‌های الکتریکی با استفاده از سیگنال‌های نوری منتقل می‌کند، که در نتیجه فیبرهای نوری نسبت به دخالت‌های الکترومغناطیسی که می‌تواند یک مسئله‌ی مهم برای تعداد زیادی از دزیمترهای الکترونیکی باشد، ایمن هستند و همچنین این دزیمترها به دلیل دارا بودن روش‌های سنجش تابش پایدار برای استفاده در داخل راکتورها هم بسیار مناسب هستند و توانایی فیبرهای نوری برای آشکارسازی تابش از راه دور، آن‌ها را برای محیط‌های سخت مانند ماشین‌آلات و توربین‌ها مناسب گردانیده است [۴].

فیبرهای نوری وقتی در معرض تابش قرار می‌گیرند، تغییراتی در خواص نوریشان رخ خواهد داد، که از آن جمله می‌توان به افزایش اتلاف جذب، تغییرات ضریب شکست و تغییر تابناکی فیبرهای نوری نام برد. مطالعه‌ی اثرات تابش بر فیبرهای نوری با اندازه‌گیری تغییرات پارامترهای اتلاف ناشی از تابش، زمان بهبودی تابش و آنالیز عوامل مؤثر صورت می‌گیرد. اتلاف ناشی از تابش بر فیبرهای نوری بسیار بزرگ‌تر از اتلاف ذاتی است که به نوع فیبر مورد استفاده بستگی دارد. ماده‌ی فیبرنوری نباید بلافاصله بعد از تابش شروع به بازیابی (ترمیم) آسیب ناشی از تابش کند که در غیر این صورت اطلاعات دز تابش از بین می‌رود، به همین دلیل زمان ترمیم آسیب تابش مورد توجه است [۵،۶].

عواملی مانند ترکیب هسته و پوسته فیبرنوری و روش ساخت آن، نوع تابش، آهنگ دز و دز کل، توان و طول موج نور عبوری، شرایط محیطی و دما، مقدار ناخالصی موجود در فیبر و زمان سپری شده بین قرار گرفتن تحت تابش و اندازه‌گیری بر رفتار فیبرنوری در معرض تابش بستگی دارد [۶،۷،۱۰]. پژوهش‌های قبلی نشان می‌دهد که وقتی

فیبرهای نوری تحت تابش قرار می‌گیرند به دلیل تشکیل مراکز رنگی و نقاط نقص اتلاف نور فرودی به طور قابل توجهی افزایش می‌یابند [۷،۹]. متداول‌ترین ذرات حاصل از برخورد باریکه‌ی الکترونی به سطح نمونه را الکترون‌های ثانویه، الکترون‌های پس پراکندگی و الکترون‌های اوژه تشکیل می‌دهند، بدین ترتیب مراکز رنگی در وهله‌ی اول به علت گیراندازی الکترون‌ها و حفره‌های ایجاد شده در مواد ساختاری فیبرها مانند سیلیکا تشکیل می‌شوند. مراکز رنگی با جذب و پراکنده کردن نور فرودی باعث بوجود آمدن اتلاف می‌شوند. هنگامی که تابش قطع می‌شود اتلاف با توجه به ترمیم خودبه-خود مراکز رنگی و فرایندهای نقص ناشی از تابش، توسط بازپخت حرارتی با گذشت زمان بهبود می‌یابند [۸-۱۰].

۲. مواد و روش تحقیق

دو نمونه فیبرنوری تک مد مخابراتی به طول ۱۵ m که قطر هسته $9\mu\text{m}$ ، قطر پوسته $125\mu\text{m}$ و قطر روکش اکریلات $250\mu\text{m}$ می‌باشد، تهیه و مورد آزمایش قرار گرفت. ابتدا اتلاف نور عبوری از نمونه‌ها قبل از تابش با دستگاه سنجش اتلاف^۱ در گستره‌ی طول موج‌های 1550nm – 1300nm اندازه‌گیری شد و سپس فیبرهای نوری با شتابدهنده‌ی الکترونی رودترون موجود در مجتمع پژوهشی ایران مرکزی با انرژی 10 MeV تحت دزهای معین 22 kGy و 47 kGy مورد تابش قرار گرفتند. پس از پایان تابش دهی مجدداً اتلاف نور عبوری از فیبر با دستگاه سنجش اندازه‌گیری شد و همچنان نیم ساعت، یک روز، ده روز، بیست روز و سی روز بعد از پایان تابش، اندازه‌گیری اتلاف ادامه داشت و در انتها نتایج قبل و بعد از تابش مورد بررسی قرار گرفت. تمام مراحل اندازه‌گیری در دمای $25\pm 2^\circ\text{C}$ انجام شده است.

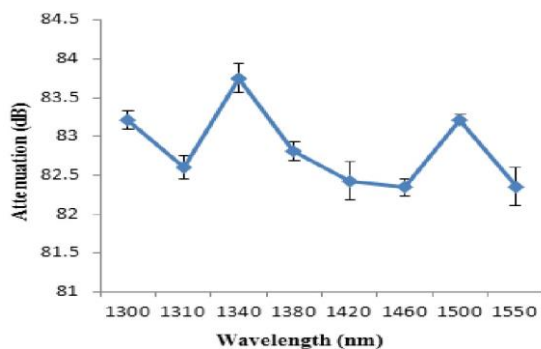
¹Anritsu ML9001A(optical laser source & optical power meter).

۳. نتایج آزمایش

$$\frac{10 \log_{10} \frac{P_i}{P_F}}{L} \quad (1)$$

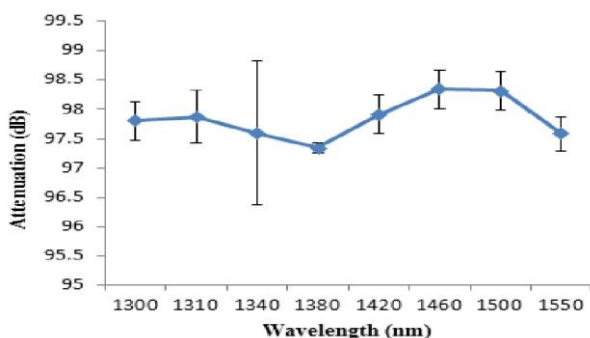
دسی بل یک واحد اندازه گیری لگاریتمی برای بیان نسبت یک کمیت فیزیکی (معمولا توان یا شدت) به یک مقدار مرجع مشخص است. مقدار دسی بل یک کمیت، ده برابر لگاریتم در پایه ده نسبت به مقدار واقعی آن به مقدار مرجع است و از آنجایی که دسی بل نسبت دو کمیت فیزیکی با یکای یکسان است، بی بعد است.

اختلاف مقدار اتلاف برای هر نمونه ی فیبرنوری، قبل و بعد از تابش دهی، اتلاف ناشی از تابش را نشان می دهد. در شکل ۳ و ۴ اتلاف ناشی از تابش نیم ساعت پس از پایان تابش دهی نشان داده شده است.



شکل (۳): اتلاف برحسب طول موج در فیبرنوری تک مد شماره ی یک،

نیم ساعت پس از پایان تابش دهی با دز ۲۲ kGy.

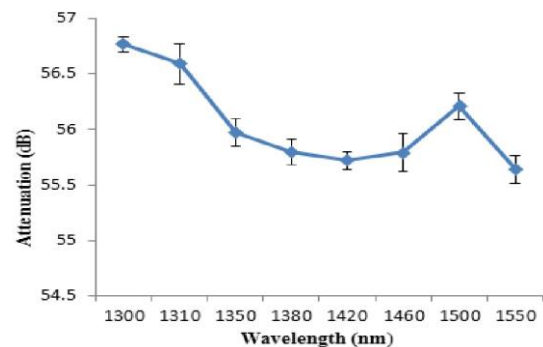


شکل (۴): اتلاف برحسب طول موج در فیبرنوری تک مد شماره ی دو، نیم

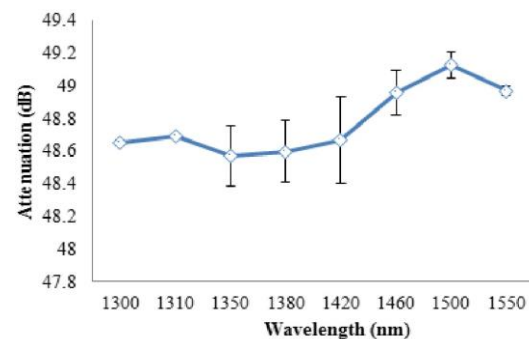
ساعت پس از پایان تابش دهی با دز ۴۷ kGy.

در شکل های ۵ و ۶ میزان اتلاف بر حسب روز در دو نمونه نشان داده شده است. همان طور که از شکل ها مشخص است

اندازه گیری های قبل از تابش دهی نمونه های فیبرنوری در شکل های ۱ و ۲ نمایش داده شده که اتلاف نور عبوری را بر حسب طول موج نشان می دهد، که بخشی از این اتلاف، اتلاف ذاتی فیبرهای نوری و بخش دیگر آن اتلاف ناشی از دو اتصال دهنده^۱ ابتدا و انتهای فیبرنوری به دستگاه سنجش می باشد.



شکل (۱): اتلاف برحسب طول موج در فیبرنوری تک مد شماره ی یک، قبل از تابش دهی.



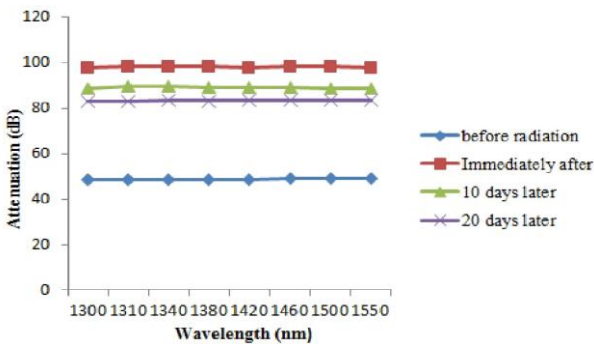
شکل (۲): اتلاف برحسب طول موج در فیبرنوری تک مد شماره ی دو، قبل از تابش دهی.

طبق تعریف اگر پرتو با توان برابر P_i به یک انتهای

فیبرنوری نزدیک شود و توان باقی مانده پس از عبور از طول L (کیلومتر) برابر P_f باشد، اتلاف نور عبوری در فیبرنوری بر حسب دسی بل بر کیلومتر (dB/km) با رابطه ی ۱ داده می شود [۱۱]:

^۱ Connector

شکل (۷): اتلاف برحسب طول موج در فیبر نوری تک‌مد شماره ۱ یک، قبل از تابش دهی و بلافاصله پس از پایان تابش دهی با دز ۲۲ kGy و ترمیم آن در ده و بیست روز پس از پایان تابش دهی.

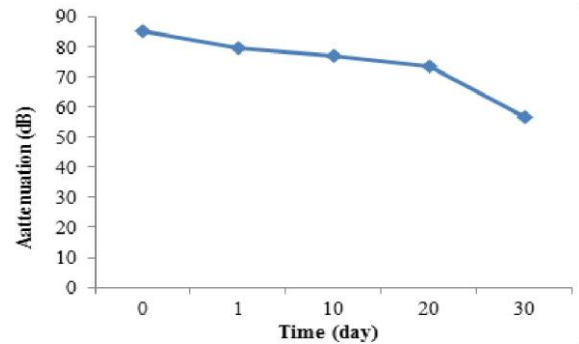


شکل (۸): اتلاف برحسب طول موج در فیبر نوری تک‌مد شماره ۲، قبل از تابش دهی و بلافاصله پس از پایان تابش دهی با دز ۴۷ kGy و ترمیم آن در ده و بیست روز پس از پایان تابش دهی.

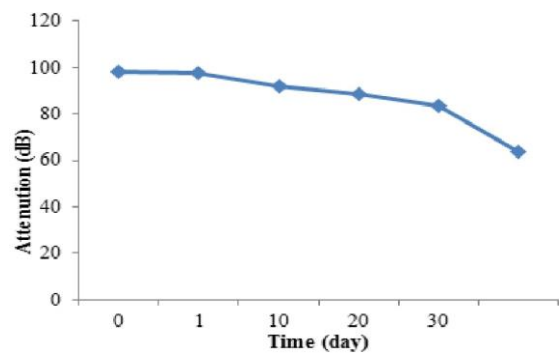
مشاهده می‌شود که بلافاصله پس از پایان تابش دهی، اتلاف نسبت به قبل از تابش دهی برای هر دو نمونه از فیبر نوری بطور قابل توجهی افزایش یافته است و با گذشت زمان (ده، بیست و سی روز) فیبر نوری بطور قابل ملاحظه‌ای ترمیم یافته و اتلاف نور عبوری کاهش یافته است، که این کاهش اتلاف ناشی از ترمیم خودبه‌خود مراکز رنگی و فرایند-های نقص ناشی از تابش، توسط فرایند بازپخت حرارتی می‌باشد.

اتلاف برحسب دز تابشی در فیبر نوری تک‌مد، یک روز پس از پایان تابش دهی در طول موج ۱۵۵۰ nm، در شکل ۹ نشان داده شده است.

با گذشت زمان از میزان اتلاف کاسته شده و میزان اتلاف به مقدار اولیه یعنی قبل از تابش نزدیک می‌شود.

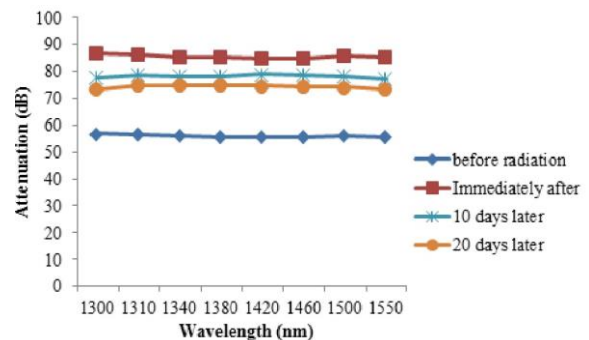


شکل (۵): اتلاف برحسب روز در فیبر نوری تک‌مد شماره ۱ یک، بلافاصله پس از پایان تابش دهی با دز ۲۲ kGy در طول موج ۱۵۵۰ nm.



شکل (۶): اتلاف برحسب روز در فیبر نوری تک‌مد شماره ۲، بلافاصله پس از پایان تابش دهی با دز ۴۷ kGy در طول موج ۱۵۵۰ nm.

اتلاف مربوط به فیبرهای نوری تک‌مد شماره ۱ یک و دو برحسب طول موج، قبل از تابش دهی، بلافاصله، ده و بیست روز پس از پایان تابش دهی با دزهای ۲۲ و ۴۷ kGy به ترتیب نشان داده شده است.

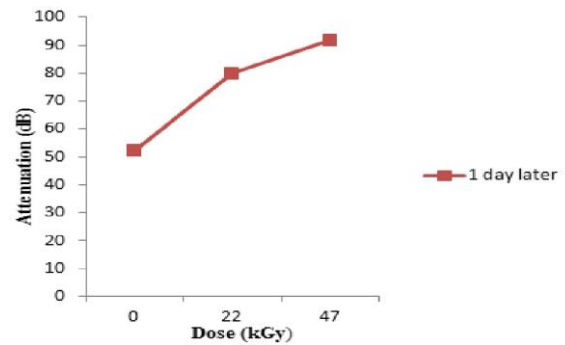


شکل (۹): اتلاف بر حسب دز تابشی در فیبرنوری تکمد، یک روز پس از پایان تابش دهی در طول موج ۱۵۵۰ nm.

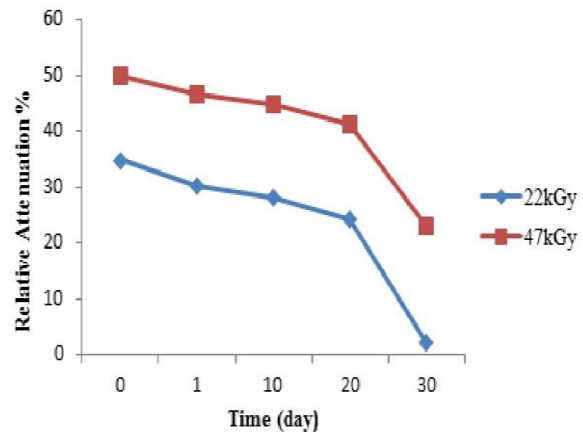
در شکل ۱۰، درصد نسبی اتلاف نسبت به قبل از تابش باریکه‌ی الکترونی بر روی فیبرنوری بلافاصله، یک روز،

۴. نتیجه گیری

اثر تابش باریکه‌ی الکترونی با دزهای ۲۲ و ۴۷ kGy بر اتلاف نور عبوری از دو نمونه فیبرنوری تکمد بلافاصله و نیم ساعت پس از پایان تابش دهی در گستره‌ی طول موج‌های ۱۵۵۰-۱۳۰۰ مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که اتلاف نور عبوری از فیبرنوری متناسب با دز تابشی افزایش می‌یابد و اندازه‌گیری‌های اتلاف به مرور زمان (یک، ده، بیست و سی روز) بعد از پایان تابش دهی نشان می‌دهد که اتلاف نور عبوری از فیبرنوری با گذشت زمان کاهش می‌یابد، به عبارتی نوعی ترمیم خودبه‌خودی در فیبرهای نوری رخ داده است که این کاهش اتلاف را در پی داشته است. در ادامه کار، لازم به بررسی اثر دزهای تابشی بیشتر بر روی تعداد نمونه های فیبرنوری متنوع تر است تا بتوانیم رابطه‌ی دقیق بین اتلاف نور عبوری از فیبرنوری و میزان دز تابشی داشته باشیم.



ده روز، بیست روز و سی روز پس از پایان تابش دهی نشان داده شده است که نتایج بیان می‌کند با گذشت زمان، طبق ترمیمی که در فیبر نوری رخ می‌دهد، درصد نسبی اتلاف کاهش یافته است.



شکل (۱۰): درصد تضعیف نسبی بر حسب روز در فیبرنوری تکمد، بلافاصله پس از پایان تابش دهی با دز ۲۲ و ۴۷ kGy در طول موج ۱۵۵۰ nm.

۵. مراجع

- [1] اسمعیلی سراجی، فرامرز. مطالعه راهبردی ادوات مخابرات نوری، فیبرهای نوری. تهران، جهاد دانشگاهی صنعتی شریف، (۱۳۸۲).
- [2] S. Avino, V. D'Avino, A. Giorgini, R. Pacelli, R. Liuzzi, L. Cella, P. De Natale and G. Gagliardi, Ionizing Radiation Detectors Based on Ge-Doped Optical Fibers Inserted in Resonant Cavities, Italy (2015).
- [3] Yun-Jiang Rao, bragg grating sensors fiber, china (1997).
- [4] S. O'Keeffe, C. Fitzpatrick, E. Lewis and A.I. Al-Shamma'a, a review of optical fiber radiation dosimeters, Ireland (2008).
- [5] F. liu, Y. An, P. Wang, B. Shao and Sh. Chen, effects of radiation on optical fibers, China (2012).
- [6] Wojtek J. Bock, Israel Gannot and Stoyan Tanev. Optical Waveguide Sensing and Imaging. 167-195.(2006).
- [7] L.Gherardi, p. Marelli, A. Serra and G. Viezzoli, Radiation effects on doped silica-core optical fibers, Italy, (1993).
- [8] K. Gill , R. Grabit, M. Persello, G. Stefanini, F. Vasey, Gamma and neutron radiation damage studies of optical fibres, Switzerland, (1397).
- [9] صفری، ابراهیم. حساس، ساینه. حسینی، محمدرضا سادات. صالحپور، بهروز و امامی، علی. بررسی تلفات نور عبوری از فیبرهای نوری در اثر تابش گاما، (۱۳۹۰).
- [10] Y. Kim, S. Ju, S. Jeong, S. Ho Lee, and W. Han, Department of Physics and Photon Science/School of Information and Communications, Gwangju Institute of Science and Technology (GIST), 123 Cheomdan-gwagi-ro, Buk-gu, Gwangju, Gamma-ray radiation response at 1550 nm of fluorine-doped radiation hard single-mode optical fiber, South Korea (2016).
- [11] بهجت، عباس. لیزر اصول و کاربردها. یزد، دانشگاه یزد، (۱۳۸۹).