

اندازه گیری اتلاف ناشی از جابجایی محوری در سامانه نوری تارنوری-به-تارنوری

لعیا کارگران¹، حسین گل نبی²

چکیده: در این مقاله اتلاف ناشی از جابجایی های محوری دو تار نوری پلاستیکی نسبت به یکدیگر در یک سامانه تار نوری-به-تار نوری با استفاده از دو منبع نوری (لامپ سفید و LED قرمز) مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از این ترکیب تارنوری-به-تارنوری منابع نور مستقیماً به تار اول جفت شده و نور از تار دوم به توان سنج فرستاده می شود. با استفاده از این ترکیب تغییرات توان و تلف در نتیجه جابجایی های محوری (جهت Z) نشان داده می شود. الگوی تئوری نیز برای ارزیابی جفت شدگی تارها ارائه و با نتایج تجربی مقایسه شده است. در حالت کلی، نتایج تجربی با پیش بینی های تئوری مطابقت دارد و اختلاف موجود ناشی از این حقیقت است، که فرمول تئوری برای موارد تارهای با هسته کوچک و جابجایی های محوری کوچک دقیق است، در حالی که تار استفاده شده دارای هسته نسبتاً بزرگ و جابجایی ها نیز، بلندتر می باشند. در ادامه برخی پارامترهای حائز اهمیت در یک سامانه نوری از قبیل تکرار پذیری اندازه گیری ها (حدود $0/0175 \mu W$) و اثر پسماند سامانه (حدود $0/034 \mu W$) نیز مورد بررسی واقع شده، که تایید کننده عملکرد قابل قبول سامانه طراحی شده می باشد. نتایج این تحقیق بیان می کند، جنس تار و سایر پارامترهای تار نوری بر توان انتقالی تاثیر می گذارد و چنین پارامترهایی را می توان بطور تجربی و با استفاده از ترکیب تار نوری-به-تار نوری مورد تحقیق قرار داد.

واژه های کلیدی: سامانه نوری، جابجایی طولی، تار نوری، توان

1. مقدمه

با پیشرفت سریع فن آوری ارتباطات نوری، سامانه های نوری و حسگرهای تار نوری مورد توجه بسیار قرار گرفته اند، به طوری که از اثرات فیزیکی و شیمیایی، برای اندازه گیری پارامترهای مختلف در حسگرها استفاده شده است [1-6]. در سال های اخیر موارد گوناگونی از طراحی، ساخت و کاربردهای مختلف سامانه های نوری و حسگرهای تار نوری

گزارش شده است [7-10]. فن آوری تعدیل شدت در حسگرهای تار نوری ساده ترین روش برای دستیابی به وضوح بالاست و سامانه هایی که بر مبنای تعدیل شدت کار می کنند، عموماً دارای مزایایی از قبیل اندازه گیری ها بدون تماس، ایمنی در برابر امواج الکترومغناطیسی، دقت بالا، محدوده بسامد پهن، ساختار ساده و اندازه کوچک می باشد. تارهای نوری پلاستیکی دارای مزایایی از قبیل هزینه کمتر، وزن سبک تر، عمل در محدوده طول موج مرئی، انعطاف پذیری بالاتر، حمل و اتصال آسان و محدوده دینامیکی بلندتری نسبت به تارهای شیشه ای می باشند که با توجه به اتلاف بیشتر آنها نسبت به تارهای شیشه ای در سامانه های نوری و حسگرها مورد استفاده قرار

(1) دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک گرایش حالت جامد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال،

L.kargaran@Gmail.com

(2) استاد، دانشگاه صنعتی شریف، مرکز تحقیقات آب و انرژی

Dr.golnabi@Gmail.com

تلفات خارجی (عموماً به علت ناخالصی) مورد توجه قرار داد. تضعیف معمولاً توسط ضریب تضعیف در واحد طول (dB/km) تعیین می شود. در ادامه تجزیه تحلیل های آورده شده در مرجع [10]، تلفات جفت شدگی تار-به-تار در شرایط نامیزان بودن محوری شرح داده شده است. با در نظر گرفتن دو تار با فاصله های انتهایی z ، بازده توان در جابجایی محوری، η ، برای تارهای با هسته ضریب شکست پله ای از رابطه زیر به دست می آید:

$$\eta \sim 1 - \frac{2z}{a\pi(NA)^2} \left[\arcsin(NA) - NA\sqrt{1 - (NA)^2} \right] \quad (1)$$

برای $\frac{z}{a} \leq 1$ که NA روزنه عددی دو تار مشابه را نشان می دهد، a شعاع هسته تار می باشد. تغییر تلف ناشی از جابجایی محوری برای تارهای مشابه را می توان از معادله (1)، با تغییر دادن متغیر z مشخص کرد. فرمول تئوری ارائه شده در اینجا برای تارهای با هسته بسیار کوچک و نیز جابجایی های محوری کوچک قابل اطمینان می باشد، بنابراین در مقدار فرض شده برای روزنه عددی در فرمول مقداری تفاوت با مقدار واقعی وجود دارد، اگرچه اختلاف موجود در روزنه عددی به معنی دقیق نبودن نتایج تجربی نمی باشد، بلکه به علت عدم دقت فرمول تئوری در محدوده شعاع های هسته بزرگتر و جابجایی های بلندتر می باشد.

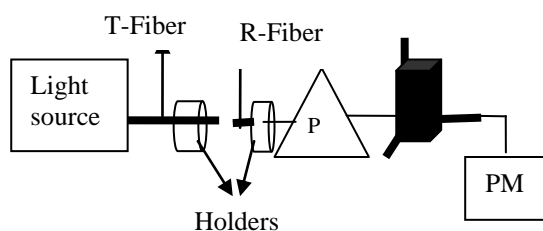
3. ترکیب تجربی آزمایش

تنظیم تجربی استفاده شده در این تحقیق در شکل 1. نشان داده شده است. منابع نوری می توانند لامپ سفید یا LED قرمز باشند که در ناحیه طول موجی 650 nm کار می کنند. همانطور که در شکل 1. دیده می شود از یک ترکیب تار-به-تار استفاده شده است، از تار انتقال دهنده (حدود 52 cm جهت انتقال نور منبع، که مستقیماً به منبع نور

می گیرند. از سازوکارهای تلف داخلی یا خارجی برای پیشرفت حسگرهای تار نوری مختلف بر اساس تعدیل شدت استفاده شده است. در بیشتر آزمایشات تارهای تک مد یا چند مد برای حمل پالس بر طبق نیاز و کاربرد آنها استفاده می شود. بطور کلی تارهای تک مد برای انتقال داده در ارتباطات استفاده می شود، در حالیکه از تارهای چندمد برای کاربردهایی از قبیل پیوندهای کوتاه داده، فرستادن توان و اهداف تصویرگیری پرتو استفاده می شود. در این مقاله اتلاف ناشی از جابجایی طولی در یک سامانه نوری تار نوری-به-تار نوری مورد مطالعه قرار گرفته است. سامانه نوری مورد نظر بر مبنای تعدیل شدت کار می کند و دارای کاربردهای مختلفی می باشد، هدف از طراحی این سامانه کیفیت و دقت بالا، شکل ساده، حساسیت و تمیزپذیری بالا، محدوده دینامیکی بلند با حداقل هزینه می باشد. در نهایت با مد نظر قرار دادن موارد فوق طراحی این سامانه می تواند اطلاعات جدید و مفیدی در استفاده موثر تارهای نوری فراهم کند. همچنین روش گزارش شده، روش جدیدی برای تحقیق اثر اندازه فیبر، نوع فیبر و سایر پارامترها روی توان منتقل شده و اتلاف به وجود آمده با دقت خوب می باشد.

2. تلفات جفت شدگی تار

یک نظریه عمومی که حل معادله موج و انتشار پرتو را در تارهای نوری مورد توجه قرار می دهد در مرجع [10] آورده شده است. تضعیف یا اتلاف انتقالی تار نوری در جفت شدگی تارها یکی از مهم ترین پارامترها در کاربرد تارهای نوری می باشد. تضعیف داخلی در تارها می تواند به علت سازوکارهای مختلفی از قبیل جذب یا پراکندگی باشد که جذب به علت ناخالصی، تابش هسته ای و فرایندهای خمشی تار باشد. تلفات جذب را می توان در دو دسته اصلی تلفات داخلی (برهم کنش یک مولفه یا بیشتر) و



شکل 1. طرحی از سامانه نوری تارنوری-به-تارنوری

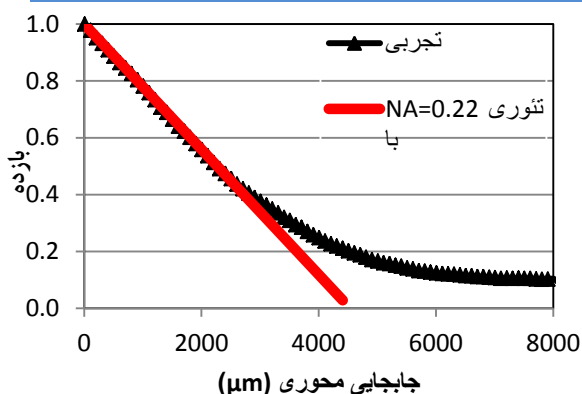
3. نتایج

با استفاده از ترکیب تجربی نشان داده شده در شکل 1. توان های منتقل شده به عنوان تابعی از متغیر Z، موقعیت فیبردوم به اول، برای منابع نوری لامپ سفید و LED قرمز اندازه گیری شده اند. هر اندازه گیری حداقل 10 بار تکرار شده و مقدار میانگین در اندازه گیری ها منظور شده است. شکل (2) نتایج اندازه گیری های توان را برای جابجایی های محوری تار پلاستیکی با منابع نوری مذکور نشان می دهد. بطوری که ابتدا با تاریک کردن سامانه سعی بر از بین بردن نور زمینه می کنیم، سپس دو تار را در فاصله حدود 10 میکرون قرار داده و با افزایش فاصله بین دو تار توان های خروجی را یادداشت می کنیم. همان طور که در شکل (2) دیده می شود، برای هر دو منابع نوری، توان منتقل شده با افزایش فاصله محوری کاهش می یابد. اگرچه توان خروجی برای لامپ سفید در مقایسه با LED قرمز بیشتر می باشد. به طوری که در فاصله حدود 10 میکرون، بیشینه توان خروجی برای LED قرمز حدود $9/476 \mu W$ و برای لامپ سفید حدود $56 \mu W$ می باشد. در فاصله 10 mm توان خروجی برای LED قرمز تا حدود $2 \mu W$ و برای لامپ سفید تا حدود $1 \mu W$ به سرعت افت می کند که به علت وجود نوفه این پالس ها به صفر نمی رسند. با توجه به شکل (2) با افزایش فاصله اتلاف نیز افزایش می یابد.

جفت شده و از تار گیرنده (حدود 4 cm) جهت نمایش توان خروجی که مستقیماً به آشکارساز و سپس توان سنج جفت شده، استفاده شده است. همانطور که در شکل (1) دیده می شود موقعیت تار انتقال دهنده، ثابت، در حالیکه تار گیرنده که به آشکارساز جفت شده، به دستگاه جابجاگر XYZ متصل می باشد. به واسطه پیچ های میکرومتری این دستگاه جابجاگر، امکان تغییر موقعیت تار دوم نسبت به تار اول در سه جهت X, Y, Z با وضوحی در حدود $20 \mu m$ و محدوده دینامیکی 20mm وجود دارد، که در این تحقیق تنها جهت Z بررسی می شود.

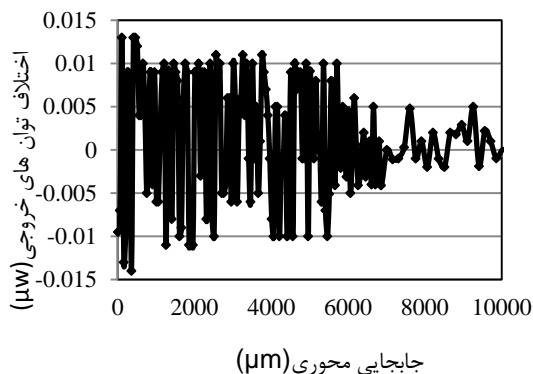
تارهای فرستنده و گیرنده هر دو از جنس پلاستیک، دارای ضریب شکست پله ای و کاملاً یکسان هستند. قطر کلی (هسته+غلاف+روکش) هر یک از آنها حدود $2/2 \text{ mm}$ و قطر هسته به تنهایی حدود $850 \mu m$ می باشد. نور جفت شده به تار گیرنده به آشکار ساز سیلیکونی ارسال می شود، که این آشکارساز نوری پالس های نوری را به پالس های الکتریکی تبدیل کرده و پالس های الکتریکی توسط سیم رابط به توان سنج نوری مدل (OPM37LAN) فرستاده می شوند، این توان سنج جهت استفاده انحصاری تارهای نوری طراحی شده است [11].

چون سطح مقطع تارها به اندازه کافی بزرگ می باشد، منبع نور مستقیماً به تار انتقال دهنده و همچنین تار دوم مستقیماً به آشکارساز جفت می شود. چنین جفت شدگی مستقیمی بسیار ساده بوده و نیازی به لنز یا سایر عناصر نوری ندارد، بنابراین بازده جفت شدگی برای چنین تارهایی بیشتر می باشد. در نهایت توان خروجی از تار گیرنده توسط این توان سنج نوری قابل اندازه گیری می باشد. به علت جفت شدگی ساده تار های نوری پلاستیکی، اتصال دهنده های مورد نیاز می توانند از جنس پلاستیک یا فلز با هزینه پایین باشند.

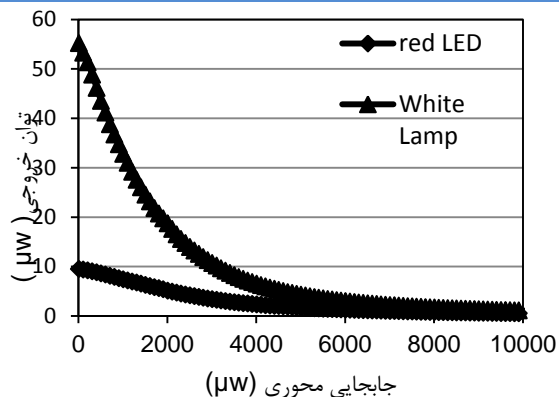


شکل 3: مقایسه نتایج تئوری و تجربی

در مطالعه بعدی قابلیت تکرار پذیری اندازه گیری ها مورد بررسی واقع شده است و هدف بررسی قابلیت تکرار پذیری اندازه گیری ها در آزمایش های مکرر برای تغییر فاصله محوری بین دو تار می باشد. نتایج این تحقیق در شکل (4) آورده شده است. این منحنی تفاوت توان های خروجی برای دو آزمایش مکرر را بر حسب فاصله محوری میان تارها با منبع LED قرمز نشان می دهد. مطابق شکل (4) نوسانات اندازه گیری شده بین $(-0/013) \mu w$ و $(0/011) \mu w$ با مقدار میانگین $(0/0175 \mu w)$ می باشد. منبع نوسان عموماً به نوسان در دیود LED و پالس نور زمینه بر می گردد. نتایج این تحقیق بیانگر این است که سامانه نوری مورد بررسی تکرار پذیری خوبی در آزمایشات مکرر دارد که یک فاکتور مهم در عملکرد حسگرها می باشد.



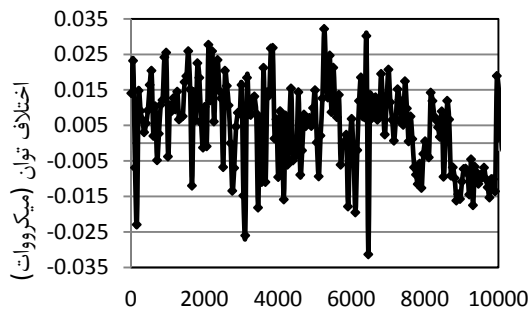
شکل 4: بررسی تکرار پذیری آزمایشات



شکل 2: توان های خروجی برای جابجایی های

محوری تار پلاستیکی با منابع لامپ سفید و LED

در مرحله بعدی این تحقیق با در نظر گرفتن فرمول تئوری ارائه شده، منحنی مربوط به این فرمول را رسم کرده و با روی هم انداختن نتایج تئوری و تجربی روزنه عددی را برای تار مربوطه فرض کرده ایم. مقدار روزنه عددی مفروض حدود $0/22$ می باشد که مقدار واقعی روزنه عددی تار استفاده شده که از آزمایشات دیگر به دست آمده حدود $0/25$ است که علت این اختلاف همان گونه که قبلاً نیز ذکر شد، دقیق نبودن فرمول تئوری برای تار های با هسته بزرگتر می باشد. شکل (3) نتایج این مقایسه نتایج تئوری و تجربی را نشان می دهد. جهت قابل مقایسه کردن نتایج تئوری و تجربی، نتایج تجربی را نرمالیزه (تقسیم بر بیشینه توان خروجی) کرده ایم. همان طور که در شکل (2) دیده می شود در فاصله های کوچک توافق خوبی بین نتایج تئوری و تجربی وجود دارد و اختلاف موجود در فواصل بلندتر نیز به علت دقیق نبودن فرمول مذکور برای فاصله های بلند می باشد، زیرا فرمول (1) تنها برای $z/a \ll 1$ قابل اطمینان می باشد.



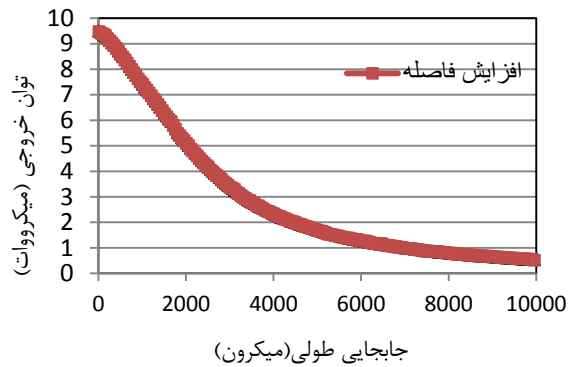
جابجایی طولی (میکرون)

شکل ۶: بررسی اثر پسماند

4. نتیجه گیری

در این مقاله اندازه گیری های توان انتقالی و اتلاف جفت شدگی توسط یک سامانه نوری تارنوری-به-تار نوری شرح داده شده است. آزمایشات برای تار پلاستیکی با دو منبع لامپ سفید و LED قرمز انجام شده است، که لامپ سفید توان خروجی بیشتری را در مقایسه با LED قرمز نشان می دهد. یک کاهش در توان خروجی با افزایش فاصله محوری دو تار مورد توجه می باشد، ارزیابی تئوری جفت شدگی تار به تار ارائه شده است، که با نتایج به دست آمده از آزمایشات در حالت کلی مطابقت دارد و اختلاف کوچک موجود در این مقایسه ناشی از دقیق نبودن فرمول تئوری در تارهای با هسته بزرگ و فواصل جابجایی بلند می باشد. در تحقیقات بعدی اگر فرمول تئوری ارائه شده که دارای محدودیت می باشد اصلاح شود مقایسه بهتری را می توان برای اندازه گیری های توان خروجی با جابجایی های محوری انجام داد و نیز تدابیر بهتری برای انتهای تارها می تواند منجر به نتایج بهتری در جفت شدگی ها ارائه دهد. در نهایت تکرار پذیری آزمایشات انجام شده و نیز اثر پسماند سامانه طراحی شده مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل بیانگر عملکرد خوب و موفقیت آمیز سامانه طراحی شده می باشد، به طوری که می توان از سامانه تارنوری-به-تارنوری برای ساخت حسگر های نوری با کاربردهای گوناگون استفاده کرد که به عنوان مثال طراحی حسگری جهت بررسی شارش مایعات، که در

در مطالعه بعدی اثر پسماند سامانه نوری مورد نظر بررسی می شود که یکی دیگر از پارامترهای مهم در هر سامانه حسگری می باشد، به طوری که اندازه گیری های توان خروجی را یک بار با افزایش فاصله محوری بین دو تار و بار دیگر با کاهش فاصله محوری می کنیم و نتایج را با یکدیگر مقایسه می کنیم.



شکل ۵: بررسی اثر پسماند سامانه نوری

تارنوری-به-تارنوری

همان طور که در شکل 5 دیده می شود، اختلاف موجود در توان های خروجی به قدری ناچیز است که قابل رویت نمی باشد، به منظور محاسبه پسماند سامانه طراحی شده اختلاف توان های خروجی برای موارد افزایش و کاهش فاصله، در شکل (6) رسم شده است. باتوجه به شکل (6) پسماند سامانه نوری مورد نظر حدود $0/034 \mu W$ می باشد. بنابراین سامانه نوری طراحی شده دارای اثر پسماند قابل قبولی می باشد.

- double-coated optical fibers*. J Appl Phys 2000, 88, pp.616–20.
- [5] Golnabi H., *Fiber optic displacement sensor using a coated lens optic*. Rev Sci Instrum 2000, 71, pp.4314–8.
- [6] Golnabi H., Azimi P., *Design and performance of a plastic optical fiber leakage sensor*. Optics & Laser Technology 2006.
- [7] Golnabi H., Azimi P., *Design and operation of a double-fiber displacement sensor*. Optics Communications 281, 2008, pp.614-620.
- [8] Golnabi H., Kavei M., Azizi Kh. *Potentials of plastic optical fibers for sensor technology*. Advanced materials research vols, 2008, pp. 47-50.
- [9] Golnabi H., Bahar M., Razani M., Abrishami M., Asadpour A., *Design and operation of an evanescent optical fiber sensor*. Optics and Lasers in Engineering 45, 2007, pp. 12–18.
- [10] Etten Wim van., Plaats Jan van der., *Fundamentals of optical fiber communications*. New York: Prentice-Hall int., 1991.
- [11] M.Bahar., L. Kargaran., M. Razani., H. Golnabi., *Different optical fiber sensor designs for liquid flow monitoring*. Australian journal of basic and applied sciences. CC-CC, 2010, ISSN 1991-8178, 2010, INSInet publication.
- [12] Sanva, electric instrument co.
- مرجع [12] آورده شده است. با مورد توجه قرار دادن از منحنی درجه بندی شده که در شکل (2) آورده شده از سامانه طراحی شده می توان به عنوان حسگر فاصله استفاده کرد. نتایج به دست آمده در این تحقیق بیان می کند که می توان بدون استفاده از یک طرح جفت شدگی و دستگاه های الکترونیکی پیچیده، با استفاده از سامانه طراحی شده، روشی برای اندازه گیری های دقیق ارائه داد. نتایج این تحقیق می تواند در نورشناخت، طیف سنجی، پزشکی، علوم اندازه گیری، صنعت و بسیاری از دستگاه ها که نیازمند اطلاعات دقیق درباره عملکرد بهینه تارها می باشند و از تار به عنوان یک موجبر نوری استفاده می کنند، مفید واقع شود.

مراجع

- [1] Golnabi H., *Design and operation of a fiber optic sensor for liquid level detection*. Opt. Lasers Eng. 2004; 41, pp.801–12.
- [2] Chubb DL., Wolford DS., *Rare earth temperature sensor*. Rev Sci Instrum 71, 2000, pp.2233–40.
- [3] Amud A., *Strain and temperature effects on erbium-doped fiber for decay-time based sensors*. Rev. Sci. Instrum 71, 2000, pp.104–8.
- [4] Chang WJ., Lee HI., Yang YC., *Hydrostatic pressure and thermal loading induced optical effects in*

