



بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران  
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران  
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



## طراحی و تحلیل فیبر بلور نوری جهت جبرانسازی پاشیدگی در باند C مخابراتی

راضیه سنجری و مریم پورمحمی آبادی

دانشکده برق، دانشگاه شهید باهنر کرمان

چکیده - یکی از مسائل مهم در سیستم های مخابراتی مدیریت و کنترل پاشیدگی است. در این مقاله یک فیبر بلور نوری با ساختار دو هسته ای و پاشیدگی منفی بالا ارائه شده که می توان از آن در جبرانسازی پاشیدگی باند C مخابراتی استفاده کرد. هسته بیرونی با کوچک کردن قطر حفره های هوای حلقه سوم حاصل می شود و با قرار دادن حفره های هوای کوچک اضافی بین حفره های هوای اصلی در طرح پایه و تغییر سایر پارامترهای ساختار، پاشیدگی فیبر پیشنهادی در طول موج  $1.55\mu m$  به  $-11000 ps/nm/km$  می رسد. همچنین تلفات این فیبر در قیاس با سایر فیبرهای جبران ساز بسیار کم می باشد که مزیت مهمی در طراحی جبران ساز است.

کلید واژه- پاشیدگی منفی، تلفات تحدید، جبرانسازی پاشیدگی، فیبر بلور نوری

## Design and Analysis of a Dispersion Compensation Photonic Crystal Fiber for C Communication Bandwidth

Razieh Sanjari and Maryam Pourmahyabadi

Electrical Engineering Department of Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

Abstract- One of most important problem in communication system is the control of the overall chromatic dispersion. In this article, a novel dispersion compensation photonic crystal fiber (DCPCF) with high negative dispersion is proposed. There are two concentric cores in the proposed DCPCF structure so that the outer core is formed by decreasing the size of the air-holes of the third ring and also additional air holes are incorporated between the air holes. The simulation results show the proposed structure for DCPCF has a very high negative chromatic dispersion of  $-11000 ps/nm/km$  at  $1.55\mu m$  wavelength. Also this DCPCF exhibits much less confinement loss in compare with the other DCPCFs.

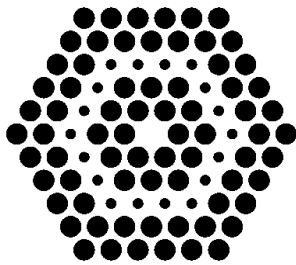
Keywords: Confinement loss, Dispersion Compensation, Dual Core Photonic Crystal Fibers, Negative Dispersion.

## ۱- مقدمه

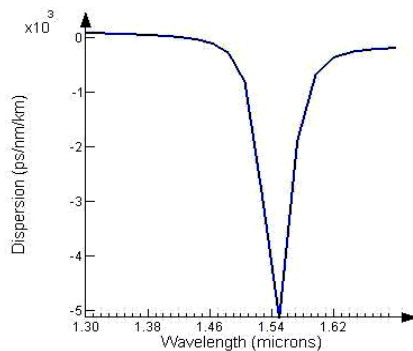
کنترل و مدیریت پخشیدگی رنگی برای سیستم‌های مخابرات فیبر نوری با مسافت زیاد از اهمیت زیادی برخوردار است. معمولاً پخشیدگی مثبت خط انتقال که عمل مهمی در پهن شدن پالس نوری و در نتیجه محدودیت در مسافت انتقال و پهنای باند است، می‌تواند با استفاده از فیبر جبرانساز پخشیدگی با پخشیدگی منفی بزرگ برطرف شود [۱-۴]. به منظور کاهش تلفات و هزینه‌ها، طول فیبرهای جبرانساز پخشیدگی باید حتی المقدور کم باشد و بنابراین دامنه پخشیدگی منفی آنها باید تا حد امکان بزرگ باشد [۵-۶]. PCF ها با دارا بودن حفره‌های هوای متناوب در تمام طول خود و ایجاد نقص در این ساختار تناوبی به منظور ایجاد هسته مرکزی، خصوصیت منحصر به فردی دارند که یکی از این خصوصیات توانایی آن‌ها در کنترل پخشیدگی رنگی است که سبب شده با طراحی‌های مناسب بتوان از آنها در جبرانسازی پخشیدگی استفاده نمود [۷-۹]. در حقیقت برای جبرانسازی پخشیدگی به یک فیبر با ضریب پخشیدگی منفی بالا نیاز داریم و بنابراین نیازمند اختلاف ضریب شکست زیاد بین هسته و پوشش می‌باشیم. این اختلاف ضریب شکست زیاد در فیبرهای معمول مستلزم افزودن غلظت زیادی از  $\text{GeO}_2$  به هسته می‌باشد که تحقق آن مخصوصاً در هسته‌های کوچک دشوار است و خود سبب افزایش تلفات فیبر می‌گردد [۱۰ و ۸]. اما در PCF ها بخاطر اختلاف ضریب شکست بالایی که بین سیلیکا و هوا وجود دارد و همچنین امکان مدیریت پخشیدگی به وسیله تغییر مشخصه‌های ساختاری مانند قطر حفره‌های هوا، ثابت شبکه و... این امکان وجود دارد که بدون افزودن  $\text{GeO}_2$  به هسته به ضریب پخشیدگی منفی بسیار بالا جهت جبرانسازی پخشیدگی در سیستم‌های مخابرات نوری دست یافت [۱۰]. بنابراین این گروه از فیبرها، جایگزین بسیار مناسبی برای فیبرهای نوری معمول می‌باشند [۱۱]. یکی از روش‌های جبرانسازی پخشیدگی، تغییر اندازه حفره‌های هوای یک لایه خاص، به منظور طراحی فیبرهای بلور نوری دوهسته‌ای است [۱۲]. در این مقاله ابتدا به بررسی نمودار پخشیدگی یک طرح پایه از فیبر بلور نوری دوهسته‌ای می‌پردازیم که پخشیدگی آن در طول موج  $1.55\mu\text{m}$ ،  $5000\text{ ps/nm/km}$  است و سپس نشان خواهیم داد که می‌توان با افزودن حفره‌های هوای کوچک اضافی در بین حفره‌های اصلی، این مقدار را تا  $11000\text{ ps/nm/km}$  افزایش داد.

## ۲- ساختار پیشنهادی

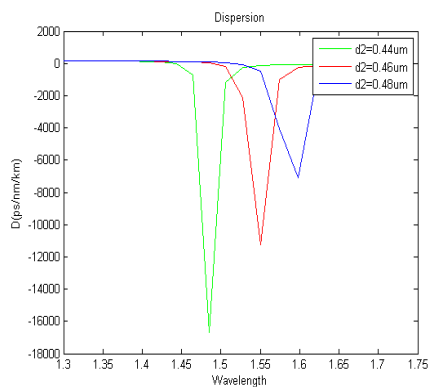
شکل (۱) سطح مقطع فیبر بلور نوری با دو هسته هم مرکز را نشان می‌دهد که ماده زمینه آن سیلیکای خالص است. همانطور که در این شکل نشان داده شده است این فیبر ۵ حلقه دارد که قطر حفره‌های هوای حلقه سوم آن، به منظور ایجاد هسته بیرونی، کوچکتر از قطر حفره‌های هوای سایر حلقه‌ها می‌باشد. با تنظیم پارامترهای ساختار این فیبر، مانند ثابت شبکه  $\Lambda$ ، قطر حفره‌های هوای حلقه سوم  $d_3$  و قطر حفره‌های هوای سایر حلقه‌ها  $d_1$  به منظور قرار گرفتن حداکثر پخشیدگی منفی در طول موج  $1.55\mu\text{m}$  نمودار پخشیدگی این فیبر در شکل (۲) نشان داده شده است.



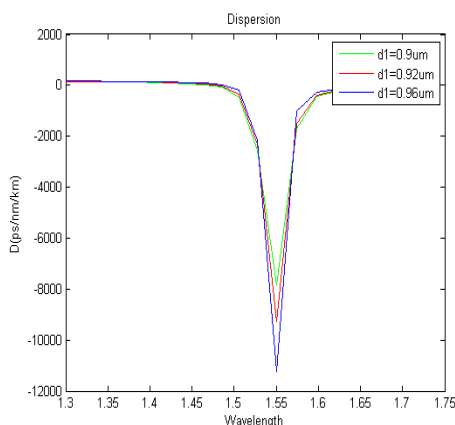
شکل ۱: ساختار فیبر جبرانساز پخشیدگی.

شکل ۲: پخشیدگی بر حسب طول موج فیبر پایه به ازای  $\Lambda=1.2\mu\text{m}$ ,  $d_1=0.96\mu\text{m}$ ,  $d_2=0.507\mu\text{m}$ 

همانطور که در این شکل نشان داده شده حداکثر پخشیدگی منفی این فیبر که در طول موج  $1.55\mu\text{m}$ ، قرار دارد  $5000\text{ ps/nm/km}$  است که در ادامه نشان خواهیم داد که می‌توان با افزودن حفره‌های هوای کوچک اضافی در بین حفره‌های اصلی این مقدار را تا  $11000\text{ ps/nm/km}$  افزایش داد. فیبر ارائه شده در این مقاله طرح جدیدی از فیبرهای جبرانساز پخشیدگی است که دارای دو هسته هم مرکز است که قرار دادن حفره‌های هوای کوچک اضافی در بین حفره‌های اصلی آن سبب ایجاد پخشیدگی منفی بسیار زیادی در طول موج  $1.55\mu\text{m}$  می‌شود. شکل (۳) سطح مقطع این فیبر را نشان می‌دهد که در آن فاصله بین دو حفره مجاور  $\Lambda$ ، قطر حفره‌های هوای حلقه سوم  $d_3$  و قطر حفره‌های هوای سایر حلقه‌ها  $d_1$  و



شکل ۵. تاثیر تغییرات قطر حفره‌های هوای حلقه سوم،  $d_2$  را بر مقدار پاشیدگی منفی و  $\lambda_p$  به ازای  $\Lambda=1.26\mu\text{m}$ ,  $d_1=0.96\mu\text{m}$  و  $d_e=0.3\mu\text{m}$



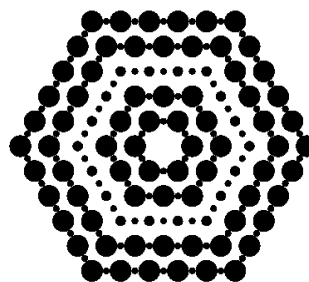
شکل ۶. پاشیدگی برحسب طول موج را به ازای مقادیر مختلف  $d_1$  به ازای  $\Lambda=1.26\mu\text{m}$  و  $d_2=0.46\mu\text{m}$  و  $d_e=0.3\mu\text{m}$

در شکل (۶) به بررسی تاثیر تغییرات  $d_1$  بر مقدار پاشیدگی منفی و  $\lambda_p$  به ازای  $\Lambda=1.26\mu\text{m}$ ،  $d_2=0.46\mu\text{m}$  و  $d_e=0.3\mu\text{m}$  پرداخته ایم. با توجه به این شکل، با افزایش  $d_1$ ، مقدار پاشیدگی منفی نیز افزایش می‌یابد اما  $\lambda_p$  جابجا نمی‌شود. از آنجا که برای کاهش تلفات و هزینه‌ها بایستی طول فیبر جبرانساز حتی المقدور کم باشد، هرچه فیبر جبرانساز پاشیدگی، پاشیدگی منفی بیشتر و تلفات تعیین کمتری داشته باشد بهتر است. در جدول (۱) مقادیر پاشیدگی و تلفات تعیین فیبر پیشنهادی و در طول موج  $1.55\mu\text{m}$  به ازای تعداد حلقه‌های مختلف،  $N$ ، آورده شده است. با توجه به این جدول افزایش حلقه‌ها تاثیر بر مقدار پاشیدگی ندارد اما همانطور که انتظار می‌رود، تلفات تعیین با افزایش  $N$  کمتر می‌شود. بنابراین

قطر حفره‌های هوای اضافی  $d_e$  می‌باشد تعداد حلقه‌های این فیبر ۵ و ماده زمینه این فیبر نیز همانند فیبر پایه سیلیکاتی خالص در نظر گرفته شده است.

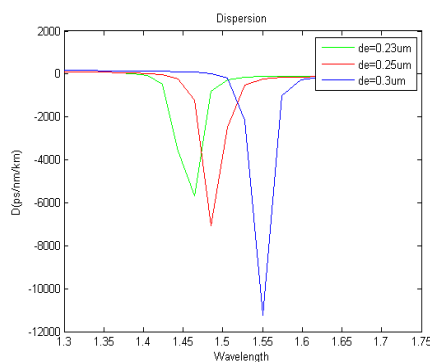
## ۲- نتایج شبیه سازی فیبر پیشنهادی

در این بخش به بررسی تاثیر  $d_1$ ،  $d_2$  و  $d_e$  بر مقدار پاشیدگی منفی و طول موجی که در آن پاشیدگی منفی حداکثر است  $\lambda_p$  می‌پردازیم



شکل ۳: ساختار فیبر جبرانساز پاشیدگی. پیشنهادی

شکل (۴) پاشیدگی برحسب طول موج را به ازای مقادیر مختلف  $d_e$  برای  $\Lambda=1.26\mu\text{m}$ ،  $d_1=0.96\mu\text{m}$ ،  $d_2=0.46\mu\text{m}$  نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، با افزایش  $d_e$  مقدار پاشیدگی منفی نیز بیشتر می‌شود و  $\lambda_p$  به سمت طول موج‌های بلندتر حرکت می‌کند. شکل (۵) تاثیر تغییرات قطر حفره‌های هوای حلقه سوم،  $d_2$  را بر مقدار پاشیدگی منفی و  $\lambda_p$  به ازای  $\Lambda=1.26\mu\text{m}$ ،  $d_1=0.96\mu\text{m}$  و  $d_e=0.3\mu\text{m}$  نشان می‌دهد. با توجه به این شکل پیداست که با افزایش  $d_2$  مقدار پاشیدگی منفی کاهش می‌یابد و  $\lambda_p$  به سمت طول موج‌های بلندتر حرکت می‌کند.



شکل ۴. پاشیدگی برحسب طول موج را به ازای مقادیر مختلف  $d_e$  برای  $\Lambda=1.26\mu\text{m}$ ،  $d_1=0.96\mu\text{m}$  و  $d_2=0.46\mu\text{m}$

جدول ۲. مقایسه نتایج شبیه سازی فیبر پیشنهادی با برخی از مراجع

مرجع	پاشیدگی (ps/nm/km)	تلفات تحدید (dB/m)
[۱]	-۶۵۰	۱۰
[۹]	-۲۰۰	$۶ \times 10^{-3}$
[۱۳]	-۱۰۰۰	-
[۱۴]	-۲۱۰	-
[۱۵]	-۲۲۰۰	-
[۶]	-۶۰۰۰	-
[۱۱]	-۸۰۰۰	-
فیبر پیشنهادی با ۹ حلقه	-۱۱۰۰۰	$۲ \times 10^{-7}$

### مراجع

- [1] Gilliard N. Malheiros-Silveira, José A. Mores Jr, Hugo E. Hernández-Figueroa, IEEE, 2011
- [2] Feroza Begum, Yoshinori Namihira, S.M. Abdur Razzak, Shubi Kaijage, Nguyen Hoang Hai, Tatsuya Kinjo, Kazuya Miyagi, Nianyu Zou, Optics & Laser Technology 41, 679–686, 2009.
- [3] Md. Selim Habib, Md. Samiul Habib, S.M.A. Razzak, M. A. G. Khan, International Journal of Engineering and Technology, Vol. 1, No 4, 384-394, 2012.
- [4] Jianhua Li, Rong Wang, Jingyuan Wang, Zhiyong Xu and Yang Su, IEEE, 2011.
- [5] Chin-ping Yu, Jia-hong Liou, Sheng-shuo Huang, and Hung-chun Chang, OPTICS EXPRESS, Vol. 16, No. 7, 2008.
- [6] Xingtao Zhao, Guiyao Zhou, Shuguang Li, Zhaolun Liu, Dongbin Wei, Zhiyun Hou, and Lantian Hou, APPLIED OPTICS, Vol. 47, No. 28, 2008
- [7] Takashi Matsui, Kazuhide Nakajima, and Izumi Sankawa, IEEE, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. 25, NO. 3, 2007.
- [8] Yi Ni, Lei Zhang, Liang An, Jiangde Peng, and Chongcheng Fan, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 16, NO. 6, 2004.
- [9] M. Aliramezani, Sh.Mohammad Nejad, Optics & Laser Technology, Vol. 42, 1209–1217, 2010.
- [10] Takeshi Fujisawa, Kunimasa Saitoh, Keisuke Wada, and Masanori Koshiba, OPTICS EXPRESS, Vol. 14, No. 2, 2006.
- [11] A. Huttunen, P. Tormä, OPTICS EXPRESS, Vol. 13, No. 2, 2005.
- [12] Jui-Ming Hsu, Der-Li Ye, IEEE, 2011.
- [13] LI Hong-lei, LOU Shu-qin, GUO Tie-ying, CHEN Weigu WANG Liwen, and JIAN Shui-sheng, OPTOELECTRONICS LETTERS, Vol.5 No.1, 2009.
- [14] J. Patrocínio da Silva, Diego Souza Bezerra, Iguatemi E. Fonseca, Vitaly F. Rodriguez-Esquerre, Hugo E. Hernandez-Figueroa, IEEE, 2009.
- [15] F. Gérôme, J.-L. Auguste, and J.-M. Blondy, OPTICS LETTERS, Vol. 29, No. 23, 2004.

می‌توان با افزایش تعداد حلقه های فیبر پیشنهادی، به یک فیبر جبران ساز پاشیدگی با پاشیدگی منفی زیاد و تلفات تحدید کم دست یافت. در بسیاری از مراجع تلفات فیبر بررسی نشده است [۱۵–۱۱ و ۶] و یا این تلفات دارای مقادیر بالایی است [۹ و ۱]. جدول (۲) به منظور مقایسه نتایج فیبر پیشنهادی با برخی از مراجع آورده شده است. نتایج این جدول نشان دهنده تلفات بسیار کم آن است که مزیت آن را نسبت به فیبرهای جبران ساز دیگر نشان می‌دهد. بنابراین بدلیل پاشیدگی منفی بالا در قیاس با دیگر فیبرها، از طول کمتری از این فیبر جهت جبران سازی استفاده می‌شود، بدون آن که دچار تلفات تحدید قابل محسوس شود.

جدول ۱. پاشیدگی و تلفات تحدید به ازای مقادیر متفاوت N در طول موج  $1/55 \mu\text{m}$  و پارمترهای ساختار  $d_1=0.96\mu\text{m}$ ,  $d_e=0.3\mu\text{m}$ ,  $d_2=0.46\mu\text{m}$ ,  $\Lambda=1.26\mu\text{m}$

تعداد حلقه ها (N)	پاشیدگی (ps/nm/km)	تلفات تحدید (dB/m)
۵	-۱۱۰۰۰	۴۰
۷	-۱۱۰۰۰	$۴ \times 10^{-3}$
۸	-۱۱۰۰۰	$۲/۸ \times 10^{-5}$
۹	-۱۱۰۰۰	$۲ \times 10^{-7}$

### ۳- نتیجه گیری

در این مقاله یک فیبر بلور نوری با ساختار دو هسته ای هم مرکز ارائه شده که با قرار دادن حفره های هوای کوچک اضافی بین حفره های هوای اصلی آن، به پاشیدگی منفی  $11000 \text{ ps/nm/km}$  در طول موج  $1/55 \mu\text{m}$  دست یافتیم. بنابراین می‌توان از این فیبر در کاربردهای جبران ساز پاشیدگی در بلند مدت مخابراتی استفاده کرد همچنین نشان داده شد که می‌توان با افزایش حلقه ها، تلفات تحدید فیبر پیشنهادی را بدون تغییر در منحنی پاشیدگی بسیار کاهش داد در نتیجه بدلیل پاشیدگی منفی بالا، می‌توان از طول کمتری از آن و بدون متحمل شدن تلفات تحدید قبل توجه در قیاس با سایر فیبرها استفاده کرد.