



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

راضیه سنجاری 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 جبرانساز بسیار کم می باشد که مزیت مهمی در طراحی جبرانساز 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

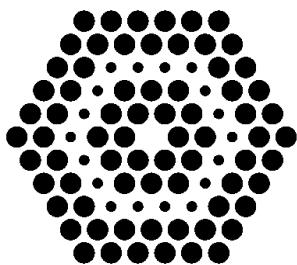
Electrical Engineering Department of Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

**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.

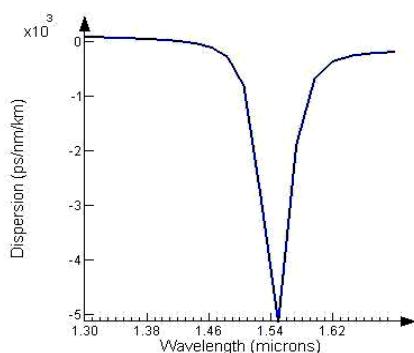
**Keywords:** Confinement loss, Dispersion Compensation, Dual Core Photonic Crystal Fibers, Negative Dispersion.

## ۱- مقدمه

شکل (۱) سطح مقطع فیبر بلور نوری با دو هسته هم مرکز رانشان می‌دهد که ماده زمینه آن سیلیکای خالص است. همانطور که در این شکل نشان داده شده استه 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 پلامترهای ساختار این فیبر، مانند ثبت شیکه،  $\Delta$ ، قطر حفره‌های هوای حلقه سوم  $d_3$  و قطر حفره‌های هوای سایر حلقه‌ها بهمراه قرار گرفتن حداقل پاشیدگی منفی در طول موج  $1/55\mu\text{m}$  نمودار پاشیدگی این فیبر در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۱: ساختار فیبر جبرانساز پاشیدگی.

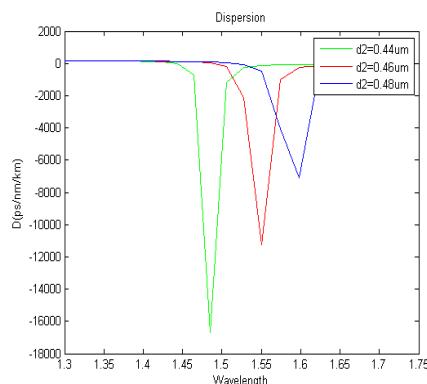


شکل ۲: پاشیدگی بر حسب طول موج فیبر پایه به ازای  $\Delta=1.2\mu\text{m}$ ,  $d_1=0.96\mu\text{m}$ ,  $d_2=0.507\mu\text{m}$

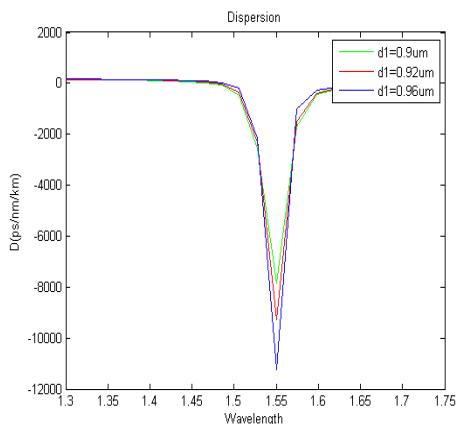
همانطور که در این شکل نشان داده شده حداقل پاشیدگی منفی این فیبر که در طول موج  $1/55\mu\text{m}$ ، قرار دارد  $-500\text{ ps/nm/km}$  است که در ادامه نشان خواهیم داد که می‌توان با افزودن حفره‌های هوای کوچک اضافی در بین حفره‌های اصلی این مقدار را تا  $-1100\text{ ps/nm/km}$  افزایش دل فیبر ارائه شده در این مقاله طرح جدیدی از فیبرهای جبرانساز پاشیدگی است که درای دو هسته هم مرکز است که قرار دادن حفره‌های هوای کوچک اضافی در بین حفره‌های هوای اصلی آن سبب ایجاد پاشیدگی منفی بسیار زیلای 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،  $\Delta$ ، قطر حفره‌های هوای حلقه سوم  $d_3$ ، قطر حفره‌های هوای سایر حلقه‌ها،  $d_1$  و

کنترل و مدیریت پاشیدگی رنگی برای سیستم‌های مخابرات فیبر نوری با مسافت زیلای از اهمیت زیلای برخوردار است. معمولاً پاشیدگی مثبت خط انتقال که عمل مهمی در پهن شدگی پالس نوری و در نتیجه محدودیت در مسافت انتقال و پهنای باند است، می‌تواند با استفاده از فیبر جبرانساز پاشیدگی با پاشیدگی منفی بزرگ برطرف شود [۴-۱]. به منظور کاهش تلفات و هزینه‌ها، طول فیبرهای جبرانساز پاشیدگی باید حتی المقدور کم باشد و بنابراین دامنه پاشیدگی منفی آنها باید تا حد امکان بزرگ باشد [۶-۵] و [۲-۳] PCF‌ها با دلای بودن حفره‌های هوای متابلو در تمام طول خود و ایجاد نقص در این ساختار توابی به منظور ایجاد هسته مرکزی، خصوصیت منحصر به فردی دارند که یکی از این خصوصیت‌های توابی آن‌ها در کنترل پاشیدگی رنگی است که سبب شده با طراحی‌های مناسب بتوان از آنها در جبرانسازی پاشیدگی استفاده نمود [۷-۹]. در حقیقت برای جبرانسازی پاشیدگی به یک فیبر با ضربی پاشیدگی منفی بالا نیازداریم و بنابراین نیازمند اختلاف ضربی شکست زیلای در فیبرهای معمول مستلزم افزودن غلظت زیلای از  $\text{GeO}_2$  به هسته می‌باشد که تحقق آن مخصوصاً در هسته‌های کوچک دشوار است و خود سبب افزایش تلفات فیبر می‌گردد [۸-۱۰]. اما در PCF‌ها با خاطر اختلاف ضربی شکست بالایی که بین سیلیکا و هوای وجود دارد و همچنین امکان مدیریت پاشیدگی به وسیله تغییر مشخصه‌های ساختاری مانند قطر حفره‌های هوای شبکه و -، این امکان وجود دارد که بدون افزودن  $\text{GeO}_2$  به هسته به ضربی پاشیدگی منفی بسیار بالا جهت جبرانسازی پاشیدگی در سیستم‌های مخابرات نوری دست یافته [۱۰]. بنابراین این گروه از فیبرها، جایگزین بسیار مناسبی برای فیبرهای نوری معمول می‌باشند [۱۱]. یکی از روش‌های جبرانسازی پاشیدگی، تغییر اندازه حفره‌های هوای یک لایه خاص، به منظور طراحی فیبرهای بلور نوری دو هسته‌ای است [۱۲]. در این مقاله ابتدا به بررسی نمودار پاشیدگی یک طرح پایه از فیبر بلور نوری دو هسته‌ای می‌پردازیم که پاشیدگی آن در طول موج  $1/55\mu\text{m}$ ،  $-500\text{ ps/nm/km}$  است و سپس نشان خواهیم داد که می‌توان با افزودن حفره‌های هوای کوچک اضافی در بین حفره‌های اصلی، این مقدار را تا  $-1100\text{ ps/nm/km}$  افزایش داد.

## ۲- ساختار پیشنهادی



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  $d_e=0.3\mu\text{m}$



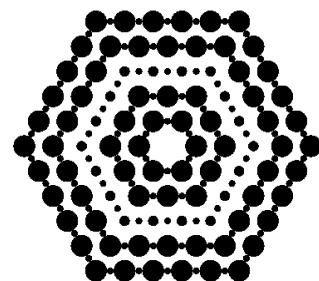
شکل ۶. پاشیدگی بر حسب طول موج را به ازای مقادیر مختلف  $d_1$  به ازای  $\Lambda=1.26\mu\text{m}$ ,  $d_e=0.3\mu\text{m}$ ,  $d_2=0.46\mu\text{m}$  و  $d_e=0.46\mu\text{m}$ ,  $d_1=0.96\mu\text{m}$

در شکل (۶) به بررسی تاثیر تغییرات  $d_1$  بر مقدار پاشیدگی منفی و  $\lambda_p$  به ازای  $\Lambda=1.26\mu\text{m}$ ,  $d_2=0.46\mu\text{m}$ ,  $d_e=0.3\mu\text{m}$  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 فiber جبرانساز حتی المقدور کم باشد، هرچه فiber جبرانساز پاشیدگی، پاشیدگی منفی بیشتر و تلفات تحدید کمتری داشته باشد بهتر است. در جدول (۱) مقادیر پاشیدگی و تلفات تحدید فiber 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 تاثیری بر مقدار پاشیدگی ندارد اما همانطور که انتظار می‌رود، تلفات تحدید با افزایش  $N$  کمتر می‌شود. بنابراین

قطر حفره‌های هوای اضافی  $d_e$  می‌باشد تعداد حلقه‌های این فiber ۵ و ملده زمینه این فiber نیز همانند فiber پایه سیلیکا خالص در نظر گرفته شده است.

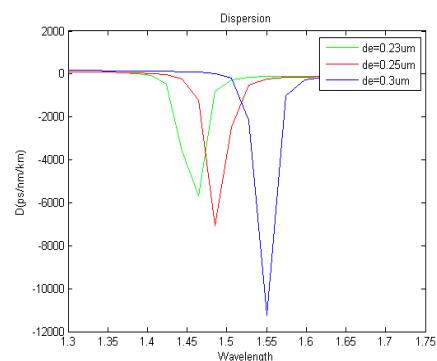
## ۲- نتایج شبیه‌سازی فiber پیشنهادی

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



شکل ۳: ساختار فiber جبرانساز پاشیدگی، پیشنهادی

شکل (۴) پاشیدگی بر حسب طول موج را به ازای مقادیر مختلف  $d_e$  برای  $d_2=0.46\mu\text{m}$ ,  $d_1=0.96\mu\text{m}$ ,  $\Lambda=1.26\mu\text{m}$  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 بر حسب طول موج را به ازای مقادیر مختلف  $d_e$  برای  $d_2=0.46\mu\text{m}$ ,  $d_1=0.96\mu\text{m}$ ,  $\Lambda=1.26\mu\text{m}$

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

مرجع	پاشیدگی ( $ps/nm/km$ )	تلفات تحديد (dB/m)
[۱]	-۶۵۰	۱۰
[۹]	-۲۰۰	$6 \times 10^{-3}$
[۱۳]	-۱۰۰۰	-
[۱۴]	-۲۱۰	-
[۱۵]	-۲۲۰۰	-
[۶]	-۶۰۰۰	-
[۱۱]	-۸۰۰۰	-
فیبر پیشنهادی با حلقه	-۱۱۰۰۰	$2 \times 10^{-7}$

### 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. Tormaa, 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 Weiguo,WANG Liwen, and JIAN Shui-sheng, OPTOELECTRONICS LETTERS, Vol.5 No.1, 2009.
- [14] J. Patrocfnio da Silva, Diego Souza Bezerra, Igua temi 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 جبرانساز پاشیدگی با پاشیدگی منفی زیاد و تلفات تحديد کم دست یافت. در بسیاری از مراجع تلفات فیبر بررسی نشده است [۱۱-۱۵ 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 نشان‌دهنده تلفات بسیار کم ان است که مزیت آن را نسبت به فیبرهای جبرانساز دیگر نشان می‌دهد. بنابراین بدلیل پاشیدگی منفی بالا در قیاس با دیگر فیبرها، از طول کمتری از این فیبر جهت جبرانسازی استفاده می‌شود، بدون آن که دچار تلفات تحديد قابل محسوس شود.

جدول ۱. پاشیدگی و تلفات تحديد به ازای مقادیر متفاوت N در طول  $d_1=0.96\mu m$  و پارامترهای ساختار  $d_e=0.3\mu m$ ,  $d_2=0.46\mu m$ ,  $\Lambda=1.26\mu m$

تعداد حلقه ها (N)	پاشیدگی ( $ps/nm/km$ )	تلفات تحديد (dB/m)
۵	-۱۱۰۰۰	۴۰
۷	-۱۱۰۰۰	$4 \times 10^{-3}$
۸	-۱۱۰۰۰	$2/8 \times 10^{-5}$
۹	-۱۱۰۰۰	$2 \times 10^{-7}$

### ۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک فیبر بلور نوری با ساختار دو هسته‌ای هم مرکز لامه شده که با قرار دادن حفره‌های هوای کوچک اضافی بین حفره‌های هوای اصلی آن، به پاشیدگی منفی  $1/55\mu m$  در طول موج  $1100 ps/nm/km$  دست یافته‌یم. بنابراین می‌توان از این فیبر در کلردهای جبرانساز پاشیدگی در بلند مخلبواتی استفاده کرد همچنین نشان داده شد که می‌توان با افزایش حلقه‌های تلفات تحديد فیبر پیشنهادی را بدون تغییر در منحنی پاشیدگی بسیار کاهش داد درنتیجه، بدلیل پاشیدگی منفی بالا، می‌توان از طول کمتری از آن و بدون متحمل شدن تلفات تحديد قلل توجه در قیلس با سایر فیبرهای استفاده کرد.