بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

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

راضیه سنجری و مریم پورمحی‌آبادی

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 می‌توان از آن در جبرانسازی پاشیدگی باند ***C*** مخابراتی استفاده کرد. هسته بیرونی با کوچک کردن قطر حفره‌های هوای حلقه سوم حاصل می‌شود و با قرار دادن حفره‌های هوای کوچک اضافی بین حفره‌های هوای اصلی در طرح پایه و تغییر سایر پارامترهای ساختار، پاشیدگی فیبر پیشنهادی در طول موج ۱/۵۵μm به ۱۱۰۰۰$ps/nm/km$- می‌رسد. همچنین تلفات این فیبر در قیاس با سایر فیبرهای جبرانساز بسیار کم می‌باشد 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 -11000ps/nm/km at 1.55μm 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.

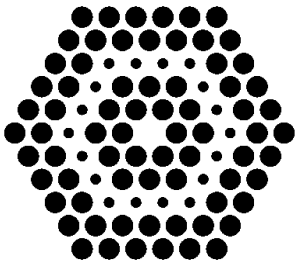
[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

۱- مقدمه

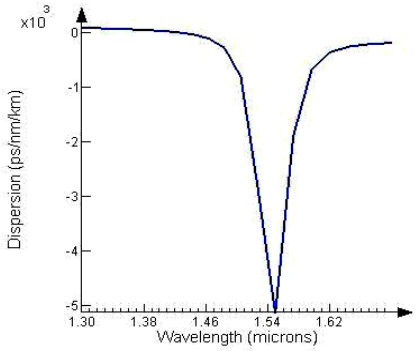
کنترل و مدیریت پاشیدگی رنگی برای سیستم‌های مخابرات فیبر نوری با مسافت زیاد، از اهمیت زیادی برخوردار است. معمولا پاشیدگی مثبت خط انتقال که عامل مهمی در پهن شدگی پالس نوری و در نتیجه محدودیت در مسافت انتقال و پهنای باند است، می‌تواند با استفاده از فیبر جبرانساز پاشیدگی با پاشیدگی منفی بزرگ برطرف شود [۱-۴]. 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 ۳-۲]. PCF ها با دارا بودن حفره‌های هوای متناوب در تمام طول خود و ایجاد نقص در این ساختار تناوبی به منظور ایجاد هسته مرکزی، خصوصیات منحصر به فردی دارند که یکی از این خصوصیات توانایی آن ها در کنترل پاشیدگی رنگی است که سبب شده با طراحی های مناسب بتوان از آنها در جبرانسازی پاشیدگی استفاده نمود [۹-۷]. در حقیقت برای جبرانسازی پاشیدگی به یک فیبر با ضریب پاشیدگی منفی بالا نیازداریم 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 GeO_2 به هسته می‌باشد که تحقق آن مخصوصا در هسته‌های کوچک دشوار است و خود سبب افزایش تلفات فیبر می‌گردد [۱۰و ۸] . اما در PCFها بخاطر اختلاف ضریب شکست بالایی که بین سیلیکا و هوا وجود دارد و همچنین امکان مدیریت پاشیدگی به وسیله تغییر مشخصه‌های ساختاری مانند قطر حفره‌های هوا، ثابت شبکه و ـ ، این امکان وجود دارد که بدون افزودن GeO_2 به هسته به ضریب پاشیدگی منفی بسیار بالا جهت جبرانسازی پاشیدگی در سیستم های مخابرات نوری دست یافت [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 دوهسته‌ای 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 **۱/۵۵μm**، **-۵۰۰۰ps/nm/km** است و سپس نشان خواهیم داد که می‌توان با افزودن حفره‌های هوای کوچک اضافی در بین حفره‌های اصلی، این مقدار را تا **-۱۱۰۰۰ps/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 ،Λ، قطر حفره‌های هوای حلقه سوم، d_2 و قطر حفره‌های هوای سایر حلقه‌ها، d_1به منظور قرار گرفتن حداکثر پاشیدگی منفی در طول موج ***۱/۵۵μm*** نمودار پاشیدگی این فیبر در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۱: ساختار فیبر جبرانساز پاشیدگی.



شکل۲: پاشیدگی بر حسب طول موج فیبر پایه به ازای $\Lambda=1.2\mu m, d_1=0.96\mu m, d_2=0.507\mu m$

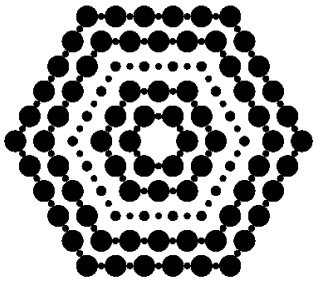
همانطور که در این شکل نشان داده شده حداکثر پاشیدگی منفی این فیبر که در طول موج **۱/۵۵μm**، قرار دارد، **-۵۰۰۰ps/nm/km** است که در ادامه نشان خواهیم داد که می‌توان با افزودن حفره‌های هوای کوچک اضافی در بین حفره‌های اصلی،این مقدار را تا **-۱۱۰۰۰ ps/nm/km** افزایش داد. فیبر ارائه شده در این مقاله طرح جدیدی از فیبرهای جبرانساز پاشیدگی است که دارای دو هسته هم مرکز است که قرار دادن حفره‌های هوای کوچک اضافی در بین حفره‌های هوای اصلی آن سبب ایجاد پاشیدگی منفی بسیار زیادی در طول موج **۱/۵۵μm** می‌شود. شکل (۳) سطح مقطع این فیبر را نشان می‌دهد که در آن فاصله بین دو حفره مجاور ،Λ، قطر حفره‌های هوای حلقه سوم ،d_2، قطر حفره‌های هوای سایر حلقه‌ها، d_1 و

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

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

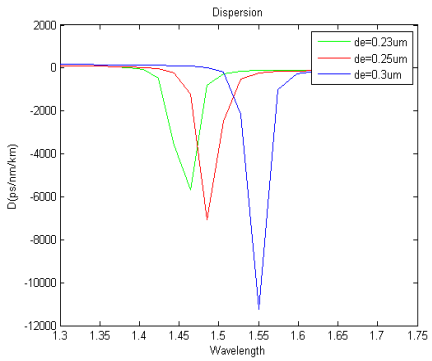
۲- نتایج شبیه سازی فیبر پیشنهادی

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،λ_p، می‌پردازیم.

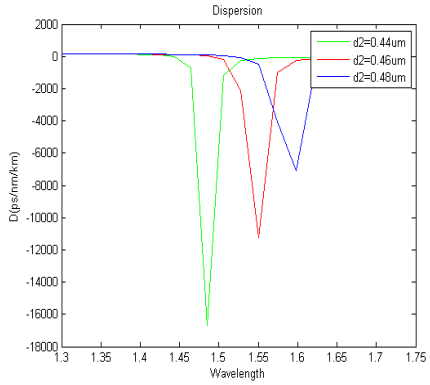


شکل ۳: ساختار فیبر جبرانساز پاشیدگی. پیشنهادی

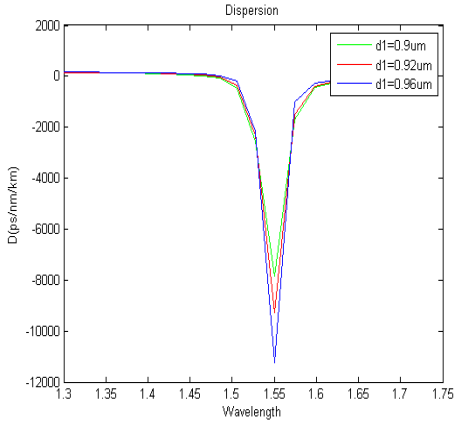
شکل (۴) پاشیدگی برحسب طول موج را به ازای مقادیر مختلف d_e برای $\Lambda=1.26\mu m$، $d_1=0.96\mu m$، $d_2=0.46\mu m$، نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، با افزایش d_e مقدار پاشیدگی منفی نیز بیشتر می‌شود و λ_p به سمت طول موج های بلندتر حرکت می‌کند. شکل (۵) تاثیر تغییرات قطر حفره‌های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



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



شکل۵. تاثیر تغییرات قطر حفره‌های هوای حلقه سوم،d2 را بر مقدار پاشیدگی منفی و λp به ازای Λ=1.26μm,d1=0.96μm و de=0.3μm



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

در شکل (۶) به بررسی تاثیر تغییرات d_1 بر مقدار پاشیدگی منفی و λ_p به ازای $\Lambda=1.26\mu m$، $d_2=0.46\mu m$، $d_e=0.3\mu m$ پرداخته ایم. با توجه به این شکل، با افزایش d_1 ، مقدار پاشیدگی منفی نیز افزایش می‌یابد اما λ_p جابجا نمی‌شود. از آنجا که برای کاهش تلفات و هزینه ها بایستی طول فیبر جبرانساز حتی المقدور کم باشد، هرچه فیبر جبرانساز پاشیدگی، پاشیدگی منفی بیشتر و تلفات تحدید کمتری داشته باشد بهتر است. در جدول (۱) مقادیر پاشیدگی و تلفات تحدید فیبر پیشنهادی و در طول موج μm ۱/۵۵ به ازای تعداد حلقه های مختلف، N، آورده شده است. با توجه به این جدول افزایش حلقه ها تاثیری بر مقدار پاشیدگی ندارد اما همانطور که انتظار می‌رود، تلفات تحدید با افزایش N کمتر می‌شود. بنابراین

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

می‌توان با افزایش تعداد حلقه های فیبر پیشنهادی، به یک فیبر جبرانساز 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 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 تحدید قابل محسوس شود.

جدول ۱.پاشیدگی و تلفات تحدید به ازای مقادیر متفاوت N در طول موج ۱/۵۵ μm و پارمترهای ساختار d_1=0.96μm, d_e=0.3μm ،d_2=0.46μm ،Λ=1.26μm

تلفات تحدید (dB/m)	پاشیدگی (*ps/nm/km*)	تعداد حلقه ها (N)
۴۰	-۱۱۰۰۰	۵
۴×۱۰^{-۳}	-۱۱۰۰۰	۷
$۲/۸\times۱۰^{-۵}$	-۱۱۰۰۰	۸
۲×۱۰^{-۷}	-۱۱۰۰۰	۹

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک فیبر بلور نوری با ساختار دو هسته‌ای هم مرکز ارائه شد، که با قرار دادن حفره‌های هوای کوچک اضافی بین حفره‌های هوای اصلی آن، به پاشیدگی منفی *-۱۱۰۰۰ps/nm/km* در طول موج *۱/۵۵μm*، دست یافتیم. بنابراین می‌توان از این فیبر در کاربردهای جبرانساز پاشیدگی در باند *C*مخابراتی استفاده کرد. همچنین نشان داده شد که می‌توان با افزایش حلقه‌ها، تلفات تحدید 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 تحدید قابل توجه در قیاس با سایر فیبرها، استفاده کرد.

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

تلفات تحدید (dB/m)	پاشیدگی (*ps/nm/km*)	مرجع
۱۰	-۶۵۰	[۱]
۶×۱۰^{-۳}	-۲۰۰	[۹]
-	-۱۰۰۰	[۱۳]
-	-۲۱۰	[۱۴]
-	-۲۲۰۰	[۱۵]
-	-۶۰۰۰	[۶]
-	-۸۰۰۰	[۱۱]
۲×۱۰^{-۷}	-۱۱۰۰۰	فیبر پیشنهادی با ۹ حلقه

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. T¨ orm¨ a, 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 Wei-guoWANG Liwen, and JIAN Shui-sheng, OPTOELECTRONICS LETTERS, Vol.5 No.1, 2009.
[14] J. Patrocfnio 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.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]