

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

مطالعه و بررسی تاثیر تغییر ابعاد فیزیکی فیبر بلور فوتونی بر پروفایل‌های خطی و غیرخطی

وحید حیدری^۱، حامد سقایی^۲، مجید ابن علی حیدری^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) v.heidari1370@gmail.com

^۲ استادیار گروه برق دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد شهرکرد h.saghaei@iaushk.ac.ir

^۳ استادیار گروه برق دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهرکرد ebnali-m@eng.sku.ac.ir

چکیده - در این مقاله ضرایب خطی و غیرخطی فیبر بلور فوتونی مبتنی بر سیلیکا بر حسب طول موج بررسی و مطالعه می‌شوند که هدف از آن بررسی تاثیر تغییر ابعاد ساختار فیبر شامل قطر حفره‌های هوا، ثابت شبکه و تعداد ردیف‌های حفره‌های هوا بر روی پروفایل پاشندگی و ضریب غیرخطی آن است تا در نهایت با دستیابی به این نتیجه که با تغییر هر یک از موارد مذکور چه تاثیری بر مقدار و شیب پروفایل پاشندگی همچنین ضریب غیرخطی آن ایجاد خواهد شد. همچنین با تغییر در ابعاد فیبر به یک ساختار مطلوب جهت حصول طول موج پاشندگی صفر وابسته به کاربرد دست یابیم. نتایج شبیه سازی عددی نشان می‌دهند با ثابت فرض نمودن قطر حفره‌های هوا و افزایش ثابت شبکه، مقدار و شیب پروفایل پاشندگی بر حسب طول موج کاهش می‌یابد. همچنین با ثابت فرض نمودن ثابت شبکه، افزایش قطر حفره‌های هوا منجر به کاهش ضریب شکست موثر می‌شود که این امر به افزایش پروفایل پاشندگی بر حسب طول موج منتج خواهد شد. همچنین نتایج عددی نشان خواهند داد افزایش قطر حفره‌های هوا منجر به افزایش ضریب شکست غیرخطی می‌شود و افزایش طول موج منبع ورودی نیز کاهش این ضریب را به همراه خواهد داشت. کلید واژه- فیبر بلور فوتونی، مهندسی پاشندگی، طیف ابرپیوستار، ضریب غیرخطی

کاربردهای وسیعی در تولید نور سفید، تصویربرداری همدوس نوری، اندازه‌گیری فرکانس‌های سیگنال‌های نوری، انگشت‌نگاری، مخابرات طیف گسترده و نظایر آن دارد [۹، ۱۰].

۱- مقدمه

کاربردهای وسیعی در تولید نور سفید، تصویربرداری همدوس نوری، اندازه‌گیری فرکانس‌های سیگنال‌های نوری، انگشت‌نگاری، مخابرات طیف گسترده و نظایر آن دارد [۹، ۱۰]. وابسته به کاربردهای بالا، فیبری انتخاب می‌شود که دارای پاشندگی کمینه در محدوده مورد نظر باشد. در این تحقیق ضرایب خطی و غیرخطی فیبر بلور فوتونی مبتنی بر سیلیکا بر حسب طول موج بررسی و مطالعه می‌شوند که هدف از آن بررسی تاثیر تغییر ابعاد ساختار فیبر شامل قطر حفره‌های هوا، ثابت شبکه و تعداد ردیف‌های حفره‌های هوا بر روی پروفایل پاشندگی و ضریب غیرخطی آن است تا در نهایت به این نتیجه دست یابیم که با تغییر هر یک از موارد مذکور چه تاثیری بر مقدار و شیب پروفایل پاشندگی همچنین ضریب غیرخطی آن ایجاد خواهد شد.

فیبر بلور فوتونی ساختار جدیدی از موجبرهای نوری است که هسته آن توسط حفره‌های هوا در ساختارهای متنوع چهار و شش وجهی احاطه شده است. این ساختارها دارای ویژگی‌های متنوع است که اخیراً توسط محققان به طور گسترده‌ای مطالعه و بررسی شده‌اند [۱، ۲]. یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد فیبرهای بلور فوتونی در مقایسه با فیبرهای نوری معمولی پروفایل پاشندگی کنترل‌پذیر این دسته از فیبرها است.

فیبرهای بلور فوتونی با حفره‌های هوا در غلاف و هسته‌ای جامد، نور را توسط پدیده انتشار مبتنی بر بازتاب داخلی کلی انتقال می‌دهند. زیرا مشابه فیبرهای معمولی ضریب شکست هسته از ضریب شکست موثر غلاف بیشتر است که این مهم اساس چنین انتقالی است [۳]. تغییر ساختار فیزیکی فیبر بلور فوتونی منجر به تغییر اندازه سطح مقطع موثر آن‌ها می‌شود و در نهایت کنترل پارامتر غیرخطی را به همراه دارد [۴]. این دسته از فیبرها به دلیل سطح مقطع موثر کوچک‌تر در مقایسه با فیبرهای متداول نه تنها خاصیت تک مد بودن را حفظ می‌نمایند، بلکه محیطی واسط برای ظاهر شدن آثار غیرخطی با توان آستانه کوچک‌تر می‌باشند که تولید طیف ابرپیوستار با استفاده از آن‌ها امکان‌پذیر می‌گردد [۵-۸]. این طیف

۲- ساختار پیشنهادی فیبر بلور فوتونی

ساختار پیشنهادی فیبر مورد استفاده در این تحقیق مطابق شکل ۱ ارائه می‌شود که از سیلیکا مذاب به عنوان ماده اصلی تشکیل دهنده فیبر استفاده شده است. حفره‌های هوا با رنگ خاکستری اطراف هسته در پنج ردیف در ساختار شش وجهی قرار گرفته‌اند. در این ساختار قطر حفره‌های هوا ۱/۴ میکرومتر، ثابت شبکه، فاصله مرکز به مرکز حفره‌های هوا، ۲ میکرومتر و در

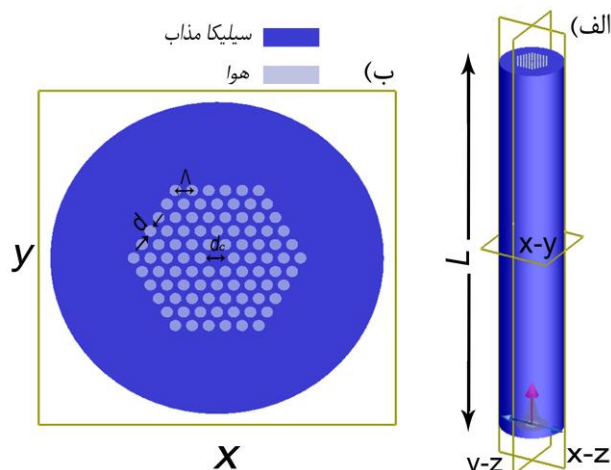
(۱) به نرم افزار معرفی می گردد. سپس ساختار مورد نظر در محیط گرافیکی آن رسم می شود و مُد اصلی در طول موج ۰/۸ میکرومتر محاسبه می گردد که این توزیع میدان نوری در شکل ۲ ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می شود منبع نوری کاملا در مرکز فیبر قرار دارد که این مهم نشان دهنده حداقل پاشندگی و تلفات و حفظ ساختار تک مُدی فیبر است. در شبیه سازی عددی انجام شده جهت دستیابی به این شکل، مقادیر ثابت شبکه برابر ۲ میکرومتر و قطر حفره های هوا ۱/۲ میکرومتر می باشد.

در نهایت مقدار ضریب شکست موثر در هر طول موج محاسبه می گردد. در این شبیه سازی ها سعی شده در بازه طول موج مورد نظر تعداد نقاط تا حد امکان زیاد انتخاب شوند تا بتوان مطابق رابطه زیر پاشندگی رنگی مطلوب را محاسبه نمود. اثر پاشندگی، ناشی از وابستگی ضریب شکست محیط دی الکتریک به فرکانس است که رابطه آن مطابق زیر ارائه می شود [۱۲].

$$D(\lambda) = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2}{d\lambda^2} \operatorname{Re}[n_{\text{eff}}(\lambda)] = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \beta_2 \left[\text{ps} \cdot (\text{nm} \cdot \text{km})^{-1} \right] \quad (2)$$

رابطه بالا جهت محاسبه پاشندگی رنگی است که پاشندگی رنگی حاصل جمع پاشندگی ماده و پاشندگی ساختار است و برای محاسبه مقدار دقیق آن تعریف رابطه ضریب شکست بر حسب طول موج در هر یک از ساختارها امری ضروری است. در صورتی که این ضریب برای ماده سیلیکا یک مقدار ثابت در محدوده وسیعی از طول موج در نظر گرفته شود پاشندگی نهایی تنها پاشندگی ساختار (پاشندگی موجبر) است و نتایج درستی حاصل نمی شود که باید در این مورد دقت کافی صورت پذیرد.

شکل ۳ نتایج محاسبات عددی پروفایل های پاشندگی بر حسب طول موج برای فیبر بلور فوتونی ارائه شده در شکل ۱ برای مقادیر مختلف ثابت شبکه از ۱/۶ تا ۲/۶ میکرومتر با ثابت فرض نمودن قطر حفره های هوا برابر ۱/۴ میکرومتر را نشان می دهد. این نتایج نشان می دهند افزایش ثابت شبکه منجر به تغییر ضریب شکست موثر ساختار و در نهایت کاهش مقدار و شیب پروفایل پاشندگی می شود. با توجه به این نتایج، در صورتی که به دنبال دستیابی به طول موج پاشندگی صفر با مقدار کمتر هستیم انتخاب ساختار با ثابت شبکه کمتری پیشنهاد می گردد که هدف از آن تولید طیف ابرپیوستار در محدوده نور مرئی است هر چند این امر ممکن است پیچیدگی فرایند ساخت



شکل ۱: ساختار پیشنهادی فیبر بلور فوتونی، الف) فیبر بلور فوتونی به طول ۲۰۰ میلی متر، ب) برش عرضی سطح مقطع فیبر که حفره های هوا به رنگ خاکستری و ماده تشکیل دهنده فیبر، سیلیکا، به رنگ آبی است.

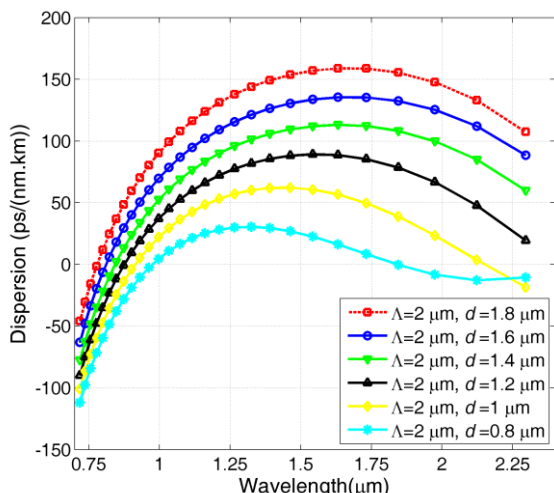
نتیجه قطر هسته مرکزی فیبر ۲/۶ میکرومتر فرض و طول این فیبر نیز ۲۰۰ میلی متر در نظر گرفته شده است.

۳- محاسبات عددی ساختار

در بخش قبل ساختار فیبر بلور فوتونی مورد استفاده در این تحقیق نشان داده شد در این بخش به محاسبات عددی مربوط به آن پرداخته می شود. همان طور که بیان شد هسته فیبر از جنس سیلیکا مربوط به کمپانی Corning است که ضریب شکست آن تابع طول موج آن است و با استفاده از رابطه Sellmeier مطابق زیر معرفی می شود [۱۱].

$$n(\lambda) = (1 + 0.68\lambda^2(\lambda^2 - 0.004)^{-1} + 0.42\lambda^2(\lambda^2 - 0.013)^{-1} + 0.58\lambda^2(\lambda^2 - 64.49)^{-1})^{0.5} \quad (1)$$

نرم افزارهای متنوعی جهت محاسبه ضریب شکست موثر n_{eff} به روش عددی برای ساختار پیشنهادی وجود دارند که برخی از آن ها مبتنی بر روش عددی اجزا محدود مشابه Comsol و برخی بر اساس روش عددی تفاضلی محدود در حوزه زمان مشابه Rsoft و Lumerical هستند. در این تحقیق از روش عددی تفاضلی محدود در حوزه زمان بر اساس Full Vectorial Modal Solver استفاده می شود و در آخرین ردیف از حفره های هوا از یک لایه تطبیق پذیر کامل به صورت غیر همسانگرد استفاده شده است که هدف از این روش جلوگیری از فرار پرتوهای نور منبع ورودی به خارج از فیبر و کاهش تلفات ساختار است. نرم افزار شبیه سازی نیز Mode Solution Lumerical است که در آن ابتدا روابط متناظر با ضریب شکست ماده مورد نظر توسط رابطه



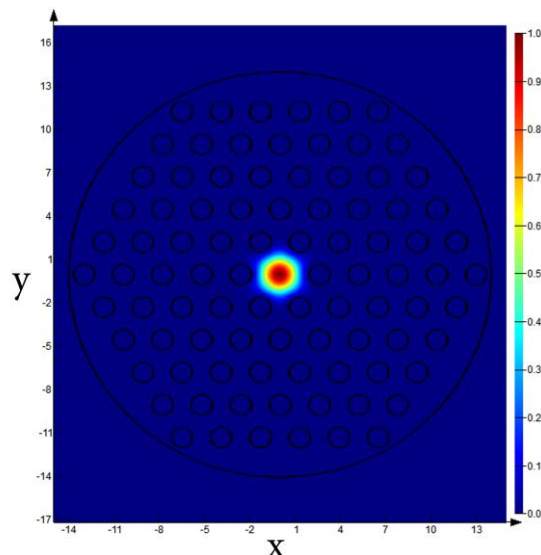
شکل ۴: پروفایل‌های پاشندگی فیبر بلور فوتونی برای مقادیر مختلف قطر حفره‌های هوا از ۰/۸ تا ۱/۸ میکرومتر.

فرض شدند طوری که افزایش بیشتر حفره‌های هوا تاثیر چندانی بر روی پروفایل پاشندگی ندارد.

انتشار پالس نوری درون فیبر تحت تاثیر پارامترهای خطی و غیرخطی است که بخش خطی آن شامل تلفات و پاشندگی است که مقدار تلفات ساختار ناچیز و تنها تلفات ماده سیلیکا در نظر گرفته می‌شود و در مورد پاشندگی نیز بحث شد و مقادیر پاشندگی مربوط به هر یک از ساختارها بر حسب طول موج محاسبه و رسم شدند. اکنون می‌خواهیم بخش غیرخطی و ضریب حاکم بر آن را معرفی و در هر طول موج مقادیر آن را محاسبه کنیم. برای محاسبه آن، ابتدا سطح مقطع موثر مودی فیبر را با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آوریم [۱۲].

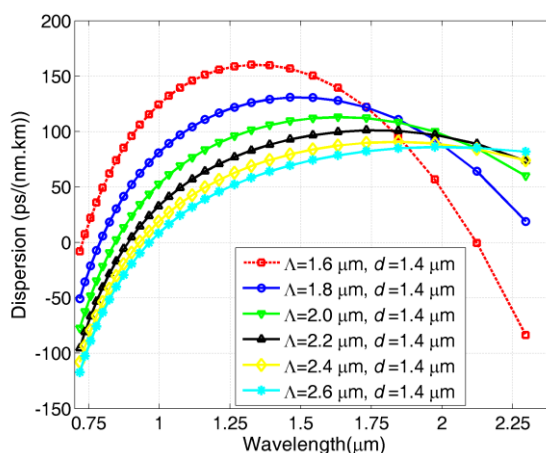
$$A_{\text{eff}}(\lambda) = \frac{\left(\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} |F(x, y)|^2 dx dy \right)^2}{\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} |F(x, y)|^4 dx dy} \quad (3)$$

که در آن $F(x, y)$ میدان نوری است که مطابق شکل ۲ نشان داده شده است. رابطه بالا برای هر یک از ساختارهای ارائه شده در هر طول موج بر روی مود اصلی توسط نرم‌افزار عددی Mode Solution محاسبه می‌شود که نتایج آن در شکل ۵ ارائه شده‌اند. همان‌طور که از شکل ۵ ملاحظه می‌شود کاهش قطر حفره‌های هوا منجر به افزایش سطح مقطع موثر فیبر می‌شود که دلیل آن افزایش قطر هسته و ایجاد سطحی بیشتر جهت قرار گرفتن میدان نوری درون فیبر است. همچنین شکل ۵ نشان می‌دهد سطح مقطع موثر با افزایش طول موج، افزایش می‌یابد. در هر حالت، افزایش سطح مقطع موثر کاهش تلفات



شکل ۲: توزیع مود اصلی پالس ورودی در فیبر بلور فوتونی

را به همراه داشته باشد. در واقع تولید طیف ابرپیوستار در محدوده نور مرئی با ساختاری از فیبرهای بلور فوتونی امکان‌پذیر است که علاوه بر ضریب غیرخطی بالا دارای طول موج پاشندگی صفر در محدوده نور مرئی همچنین انتخاب منبع لیزر ورودی در محدوده طول موجی چند ده نانومتر بیش از طول موج پاشندگی صفر و در ناحیه پاشندگی غیر نرمال است. اکنون که متوجه شدیم با ثابت فرض نمودن قطر حفره‌های هوا، تغییر ثابت شبکه چه تاثیری بر روی پروفایل پاشندگی دارد، این بار با ثابت فرض نمودن ثابت شبکه با مقدار ۲ میکرومتر به بررسی تاثیر تغییر اندازه قطر حفره‌های هوا می‌پردازیم که در شکل ۴ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهند افزایش قطر حفره‌های هوا از ۰/۸ به ۱/۸ میکرومتر منجر به افزایش پروفایل پاشندگی بر حسب طول موج ناشی از کاهش ضریب شکست موثر ساختار خواهد شد. تعداد ردیف‌های هوا در شبیه‌سازی عددی معادل ۵ ردیف



شکل ۳: پروفایل‌های پاشندگی فیبر بلور فوتونی برای مقادیر مختلف ثابت شبکه ساختار از ۱/۶ تا ۲/۶ میکرومتر.

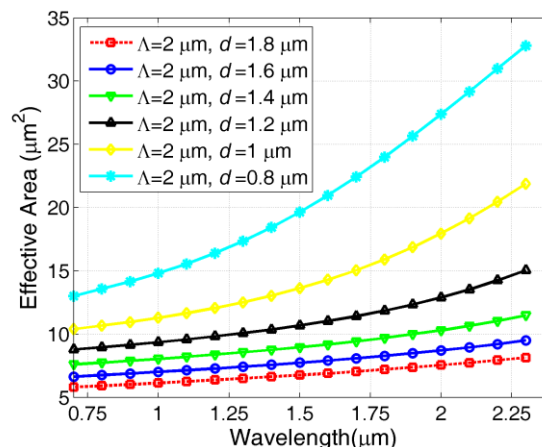
ضریب غیرخطی و افزایش تلفات با توجه به طول های کوچک فیبر افزایش ضریب غیر خطی فیبر در اولویت قرار دارد. شکل ۶ همچنین نشان می دهد افزایش طول موج منجر به کاهش ضریب غیرخطی خواهد شد.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله نخست فیبر بلور فوتونی مبتنی بر سیلیکا ارائه، مطالعه و بررسی شد. سپس روابط مربوط به پاشندگی و ضریب غیرخطی فیبر ارائه و تاثیر تغییر ابعاد فیبر شامل ثابت شبکه و قطر حفره های هوا بر پروفایل های پاشندگی و ضریب غیرخطی بررسی شدند. نتایج شبیه سازی عددی نشان داد با ثابت فرض نمودن قطر حفره های هوا و افزایش ثابت شبکه، مقدار و شیب پروفایل پاشندگی بر حسب طول موج کاهش می یابد. همچنین با ثابت فرض نمودن ثابت شبکه، افزایش قطر حفره های هوا منجر به کاهش ضریب شکست موثر می شود که این امر به افزایش پروفایل پاشندگی بر حسب طول موج منتج خواهد شد. همچنین نتایج عددی نشان دادند افزایش قطر حفره های هوا منجر به افزایش ضریب شکست غیر خطی شد و افزایش طول موج منبع ورودی نیز کاهش این ضریب را به همراه داشت.

مراجع

- [1] J. M. Dudley, G. Genty, and S. Coen, "Supercontinuum generation in photonic crystal fiber," *Reviews of modern physics*, vol. 78, no. 4, pp. 1135, 2006.
- [2] N. A. Mortensen, "Effective area of photonic crystal fibers," *Arxiv preprint physics/0204008*, 2002.
- [3] T. Birks, D. Bahloul, T. Man, W. Wadsworth, and P. S. J. Russell, "Supercontinuum generation in tapered fibres." pp. 486-487 vol. 1.
- [4] W. Reeves, D. Skryabin, F. Biancalana, J. Knight, P. S. J. Russell, F. Omenetto, A. Efimov, and A. Taylor, "Transformation and control of ultra-short pulses in dispersion-engineered photonic crystal fibres," *Nature*, vol. 424, no. 6948, pp. 511-515, 2003.
- [5] T. R. D. Erickson, T. Emery, A. Scherer, and D. Psaltis, "Nanofluidic tuning of photonic crystal circuits", *Optics letters*, vol. 31, pp. 59-61, 2006.
- [6] M. Ebnali-Heidari, H. Saghaei, F. Koohi-Kamali, M. Naser Moghadasi, and M. K. Moravvej-Farshi, "Proposal for supercontinuum generation by optofluidic infiltrated photonic crystal fibers," *Selected Topics in Quantum Electronics, IEEE Journal of*, vol. 20, no. 5, pp. 582-589, 2014.
- [7] H. Saghaei, M. Moravvej-Farshi, M. Ebnali-Heidari, and M. Moghadasi, "Ultra-Wide Mid-Infrared Supercontinuum Generation in As₄₀Se₆₀ Chalcogenide Fibers: Solid Core PCF versus SIF," *Selected Topics in Quantum Electronics, IEEE Journal of*, vol. 22, no. 2, pp. 1-8, 2016.
- [8] H. Saghaei, M. Ebnali-Heidari, and M. K. Moravvej-Farshi, "Midinfrared supercontinuum generation via As₂Se₃ chalcogenide photonic crystal fibers," *Applied optics*, vol. 54, no. 8, pp. 2072-2079, 2015.
- [9] P.-A. Champert, V. Couderc, P. Leproux, S. Février, V. Tombelaine, L. Labonté, P. Roy, C. Froehly, and P. Nérin, "White-light supercontinuum generation in normally dispersive



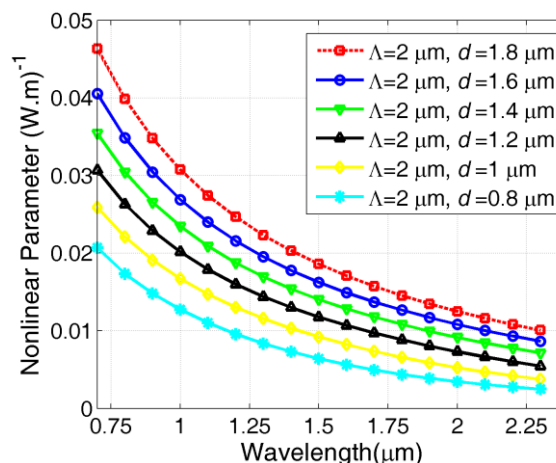
شکل ۵: سطح مقطع موثر برای مقادیر مختلف قطر حفره های هوا از ۰/۸ تا ۱/۸ میکرومتر.

ساختار را به همراه دارد. حال با داشتن سطح مقطع موثر در هر طول موج برای هر یک از ساختارهای ارائه شده، ضریب غیرخطی γ مطابق رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\gamma (\text{W} \cdot \text{m})^{-1} = n_2 \omega_0 / c A_{\text{eff}} (\lambda) \quad (4)$$

که در آن n_2 ضریب شکست غیرخطی است که این ضریب برای سیلیکا برابر با $3 \times 10^{-20} (\text{m}^2 / \text{W})$ در نظر گرفته می شود.

شکل ۶ پروفایل ضریب غیرخطی بر حسب طول موج برای هر یک از ساختارها، محاسبه شده توسط رابطه (۴) را نشان می دهد. شکل ۵ نشان داد افزایش قطر حفره های هوا با کاهش سطح مقطع موثر همراه بوده و با توجه به قرار گرفتن مقدار سطح مقطع موثر در مخرج رابطه (۴) و داشتن نسبت عکس با ضریب غیر خطی، بنابراین افزایش سطح مقطع موثر با کاهش ضریب غیرخطی همراه است هر چند تلفات ساختار نیز با کوچک تر شدن سطح مقطع، ناشی از تمایل ورود منبع نوری به درون حفره های هوا، افزایش می یابد. اما در این مصالحه بین افزایش



شکل ۶: ضریب شکست غیرخطی برای مقادیر مختلف قطر حفره های هوا از ۰/۸ تا ۱/۸ میکرومتر.

- optical fiber using original multi-wavelength pumping system," *Optics express*, vol. 12, no. 19, pp. 4366-4371, 2004.
- [10] A. Kudlinski, G. Bouwmans, O. Vanvincq, Y. Quiquempois, A. Le Rouge, L. Bigot, G. Mélin, and A. Mussot, "White-light cw-pumped supercontinuum generation in highly GeO₂-doped-core photonic crystal fibers," *Optics letters*, vol. 34, no. 23, pp. 3631-3633, 2009.
- [11] "Corning® HPFS® 7979, 7980, 8655 Fused Silica."
- [12] G. P. Agrawal, *Nonlinear fiber optics*: Springer, 2000.

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی

مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها

اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله