بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

بهینه سازی شکل سطح مقطع غلاف داخلی در لیزرهای تار نوری دوغلافی به منظور افزایش جذب توان دمش

مسلم جوادی منش، سعید قوامی صبوری و علیرضا خورسندی

دانشکده فیزیک دانشگاه اصفهان

چکیده –در این مقاله با استفاده از روش پرتویابی دو بعدی، جذب پرتوهای دمش در تار با سطح مقطع غلاف داخلی مثلثی، مستطیلی،D–شکل و شش ضلعی مطالعه، شبیه سازی و مقایسه شده است. نتایج بهینه سازی با استفاده از روش الگوریتم بهینه سازی ژنتیک نشان می‌دهد که بازده‌ی جذب پرتوهای دمش از ۶۸٪ و ۹۳٪ برای شش ضلعی منتظم و D–شکل به ۹۶,۷٪ برای شش ضلعی نامنتظم افزایش می‌یابد.

کلید واژه- الگوریتم ژنتیک، تار نوری دو غلافی، جذب دمش، روش پرتویابی

Optimization shape of the inner cross section in double clad fiber lasers to enhance the pump beam absorption

Moslem Javadimanesh, Saeed Ghavami Sabouri and Alireza Khorsandi

Department of Physics, University of Isfahan, ۸۱۷۴۶-۷۳۴۴۱ Isfahan, Iran

Abstract- In this paper absorption of pump beam in a fiber with triangular, rectangular, D-shaped and hexagonal inner clad is studied, simulated and compared using two-dimensional ray tracing approach. Obtained results of optimization using Genetic algorithm indicate that the efficiency of pump beam absorption is increased from ***۶۸٪*** and ***۹۳٪*** for regular hexagonal and d-shaped to ***۹۶,۷٪*** for non-regular hexagonal geometries.

Keywords: Genetic algorithm, double-clad fiber optic, pump absorption, ray tracing method

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-30]

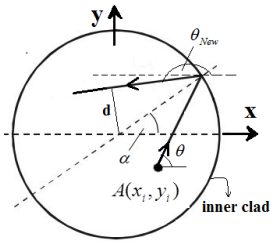
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱- مقدمه

یکی از مسائل مهم برای افزایش توان خروجی در لیزرهای تار نوری دوغلافی، جذب توان دمش توسط هسته‌ی فعال است. براساس گزارشات مرجع شماره [۱]، در این نوع لیزرها امکان ورود دمش با توان نسبتا بالا در تار وجود دارد، ولی توان جذب شده توسط هسته‌ی آلائیده نسبتا اندک می‌باشد. یکی از روشهای افزایش بازده جذب که به صورت گسترده‌ای استفاده می‌شود، استفاده از هندسه‌ی مناسب برای غلاف داخلی تار در تارهای دوغلافی است[۲]. تارهای نوری با غلاف داخلی مثلثی[۲]، مستطیلی و D-شکل[۳] از جمله تارهای نوری دوغلافی رایجی هستند که در لیزرهای تار نوری مورد استفاده قرار می‌گیرند. بهینه‌سازی سطح مقطع غلاف داخلی تار نوری دوغلافی برای بدست آوردن یک تابش لیزری با توان بالا بسیار مهم است. در این مقاله با استفاده از روش پرتویابی دو بعدی[۴]، جذب پرتوهای دمش در تار با سطح مقطع های مختلف بهینه و نتایج با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

۲- زمینه نظری

مسیر پرتوهای دمش در غلاف داخلی تار با سطح مقطع دایره‌ای در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: مسیر پرتو دمش در غلاف داخلی تار با سطح مقطع دایره‌ای[۵]

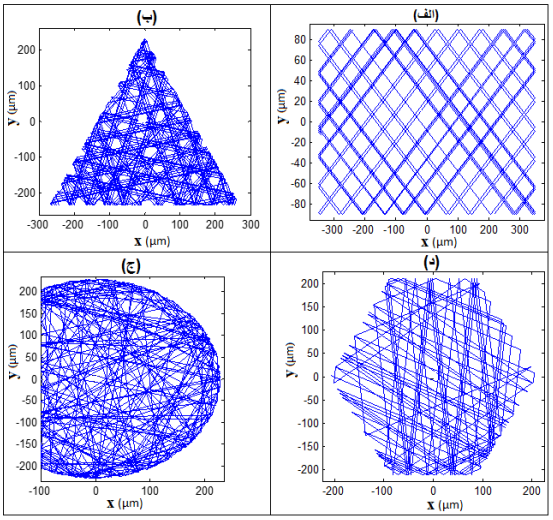
زاویه‌ی بازتاب، مسیر انتشار و فاصله پرتو با مرکز تار برای یک پرتو که از نقطه A شروع به انتشار می‌کند، به ترتیب با معادلات زیر مشخص می‌شوند[۵]:

$$\theta_{New} = \pi + 2\alpha - \theta \qquad (۱)$$

$$y - y_i = tg(\theta)(x - x_i) \qquad (۲)$$

$$d = \frac{tg(\theta)x_i - y_i}{\sqrt{1 + tg^2(\theta)}} \qquad (۳)$$

اگر r شعاع هسته‌ی تار باشد، برای اینکه پرتو دمش جذب هسته شود باید d < r باشد. بازده‌ی جذب دمش متناسب است با نسبت تعداد پرتوهای جذب شده در هسته به کل پرتوهایی که به غلاف داخلی فرود می‌آیند. تعداد بازتاب هر پرتو از سطح غلاف داخلی با N نشان داده می‌شود و رابطه‌ی مستقیمی با طول تار دارد. فرض شده است که اگر پرتو بعد از ۱۰۰ بار بازتاب از سطح غلاف داخلی جذب هسته نشود، از تار خارج می‌گردد[۵]. با تغییر هر سطح مقطع مساحت آن ثابت و برابر با $0.13(mm)^2$ می‌باشد، برای این کار از روش نیوتون-رافسون استفاده شده است. شکل (۲) مسیر پرتوهای دمش در تار با سطح مقطع‌های مختلف را نشان می‌دهد.

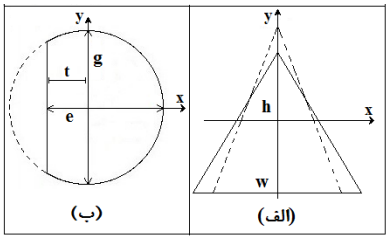


شکل ۲: مسیر پرتوهای دمش در غلاف داخلی تار با سطح مقطع الف) مستطیلی، ب) مثلثی، ج) D-شکل و د) شش ضلعی منتظم

مسیر پرتوها در این سطح مقطع‌ها کاملا بی‌نظم است. در ادامه تلاش می شود تا با استفاده از روش پرتویابی دو بعدی، برای هر شکل بهترین نسبت پارامترها به ازای بیشترین جذب توان دمش، محاسبه گردد .

۳- بهینه سازی ساختارهای مثلثی، مستطیلی و D-شکل برای سطح مقطع غلاف داخلی

شکل (۳) نسبت پارامترهای مختلف در سطح مقطع‌های مثلثی و D-شکل را نشان می‌دهد.



شکل۳: نسبت پارامترهای سطح مقطع الف) مثلثی، ب) D-شکل

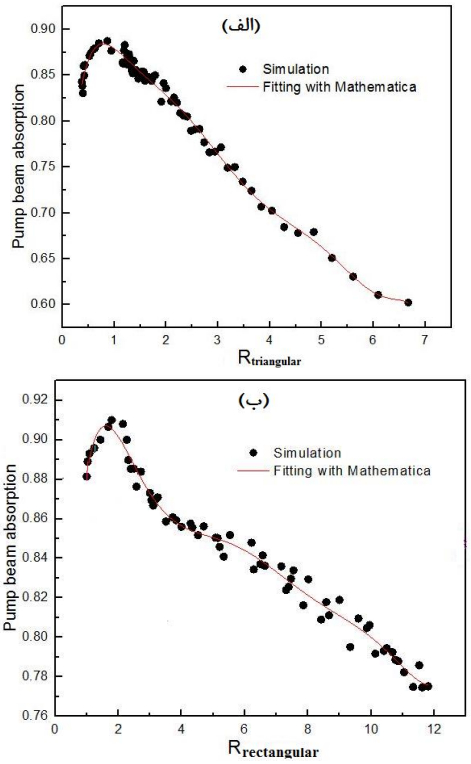
با معرفی $R_{triangular}$ و $R_{rectangular}$ به صورت زیر:

$$R_{triangular} = h/w \qquad (۴)$$

$$R_{rectangular} = b/a \qquad (۵)$$

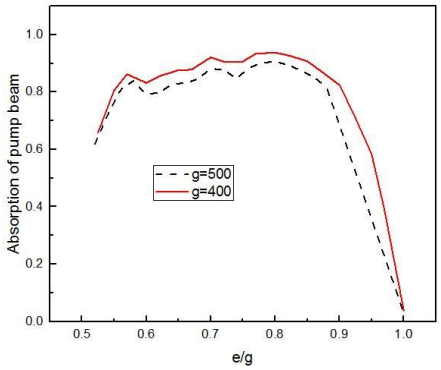
[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-30]

می‌توان معیاری از جذب پرتوهای دمش را بدست آورد. تغییر جذب پرتوهای دمش در N=۱۰۰ نسبت به $R_{triangular}$ و $R_{rectangular}$ محاسبه و در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴: تغییر جذب پرتوهای دمش بر حسب الف) $R_{triangular}$ ب) $R_{rectangular}$

بیشترین مقدار جذب پرتوهای دمش در $R_{triangular}=0.86$ و $R_{rectangular}=1.8$ به ترتیب برابر با ۸۹٪ و ۹۱٪ است. تغییرات توان جذب شده نسبت به مقدار e/g در تار D-شکل در شکل (۵) نشان داده شده است:

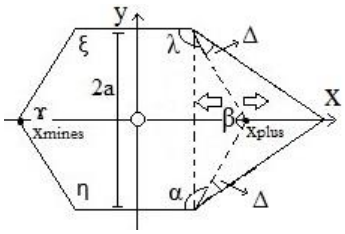


شکل ۵: تغییرات جذب پرتوهای دمش نسبت به مقدار e/g

مطابق شکل (۵)، بازده جذب بیشینه پرتوهای دمش در نسبت e/g=۰,۸ و برابر با ۹۳,۲٪ می‌باشد. مطابق مرجع شماره [۶]، برای این نوع تارها بیشترین جذب پرتوهای دمش در محدوده ۰,۷۵<e/g<۰,۸۵ می‌باشد، که با نتایج این پژوهش مطابقت کامل دارد.

۴- بهینه سازی شش ضلعی

جهت افزایش جذب پرتوهای دمش در هسته‌ی تار با سطح مقطع شش ضلعی، سه زاویه‌ی α ، β و λ مطابق شکل (۶) تغییر داده شده است.

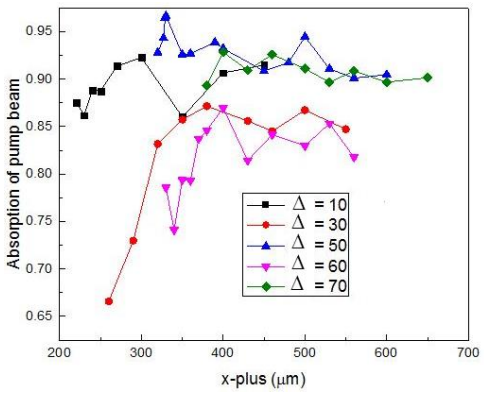


شکل۶: تغییر پارامترهای تار دو غلافی با سطح مقطع شش ضلعی

بنابراین با معرفی پارامتر Δ در بازه‌ی ۶۰- تا ۱۰۰ درجه، زاویه‌های جدید به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$\alpha' = \alpha + \Delta/2$$
$$\lambda' = \lambda + \Delta/2$$
$$\beta' = \beta - \Delta \qquad (۶)$$

جهت ثابت ماندن مساحت غلاف داخلی، مقدار a و x_{plus} متناسب با این زاویه‌ها تغییر می‌کند. در این تغییرات $x_{mines} = 210\mu m$ و $\gamma = \xi = \eta = 120^\circ$ ثابت در نظر گرفته شده‌اند. در یک Δ مشخص با تغییر x_{plus} و در نتیجه تغییر a می‌توان جذب توان دمش را تغییر داد. این تغییرات جذب به ازای چند Δ در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۶: تغییرات جذب پرتو دمش نسبت به x_{plus} به ازای Δ های مختلف

برای رسیدن به بیشینه بازده‌ی جذب پرتوهای دمش، لازم است که Δ و x_{plus} همزمان بهینه شوند. از طرفی مطابق شکل (۶) با تغییر x_{plus} و Δ، جذب پرتوهای دمش به صورت نامنظم تغییر می‌کنند. بنابراین یکی از

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-30]

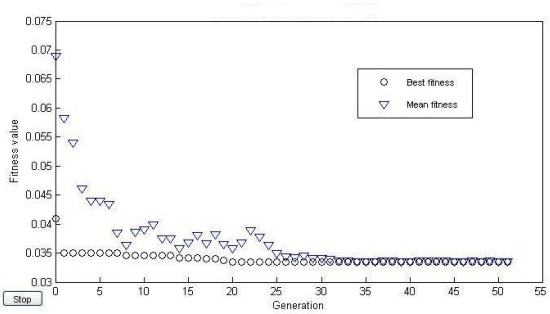
مناسب ترین راه‌ها برای بهینه کردن هندسه‌ی شش ضلعی استفاده از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک است.

۴-۱- الگوریتم بهینه سازی ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یکی از روشهای بهینه‌سازی پرکاربرد و الهام گرفته شده از طبیعت است. اساس این روش ترکیب تصادفی اطلاعات کروموزم‌های والدین و بروز جهش ژنتیک است. برای اطمینان از بهینه بودن جواب نهایی، برنامه چند بار اجرا و سرانجام بهترین جواب انتخاب شده است. بنابراین احتمال یافتن جواب بهینه در این روش بسیار بالاست[۷]. پارامتر FV (Fitness Value) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$FV = (1\text{-pump beam absorption}) \qquad (۷)$$

با کمینه شدن FV می‌توان به بیشترین بازده جذب پرتوهای دمش دست یافت. شکل (۷) نمودار تغییرات پارامتر FV بر حسب تعداد نسل را، نشان می‌دهد.



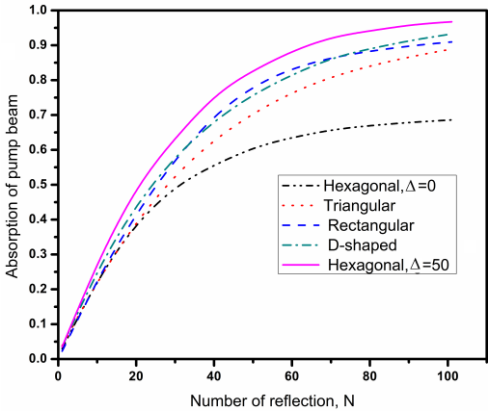
شکل ۷: تغییرات FV نسبت به تعداد نسل در بیشینه جذب پرتوهای دمش

مطابق شکل (۷) کمترین مقدار FV بعد از ۵۰ نسل برابر با ۰/۰۳۳ و بنابراین طبق رابطه‌ی (۷) جذب پرتوهای دمش برابر با ۰/۹۶۷ است. سایر پارامترهای بهینه برای شش ضلعی برابر اند با:

$$x_{plus} = 326\mu m \quad ، \Delta = 50.15^{\circ}$$

$$a = 174.8\mu m \quad ، \beta' = 70^{\circ} \quad ، \alpha' = \lambda' = 145^{\circ}$$

شکل (۸) تغییرات جذب پرتوهای دمش نسبت به تعداد بازتاب از سطح مقطع غلاف داخلی در چهار سطح مقطع مثلثی، مستطیلی ، D-شکل و شش ضلعی بهینه شده را نشان می‌دهد.



شکل ۸: مقایسه جذب پرتوهای دمش در سه تار دو غلافی با سطح مقطع مثلثی، مستطیلی و D-شکل برای غلاف داخلی.

دیده می‌شود که توان دمش جذب شده در شش ضلعی نامنتظم (Δ=۵۰) نسبت به سطح مقطع‌های دیگر بیشتر است. همچنین بازده‌ی جذب پرتوهای دمش در شش ضلعی نامنتظم و در N=۱۰۰ تا ۳,۵٪ نسبت به D-شکل افزایش یافته است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله بازده جذب پرتوهای دمش در لیزرهای تار نوری دوغلافی با سطح مقطع مثلثی، مستطیلی، D-شکل بهینه شده است. در N=۱۰۰ بازده جذب در تار شش ضلعی منتظم (Δ=۰)، مثلثی، مستطیلی، D-شکل و شش ضلعی نامنتظم (Δ=۵۰) به ترتیب برابر با ۶۸٪، ۸۹٪، ۹۱٪، ۹۳,۲٪ و ۹۶,۷٪ است. این کار با برهم زدن شکل منتظم شش ضلعی با بهینه سازی مقدار Δ صورت گرفته است.

مراجع

[۱] Kim, N.S., et al., *Numerical analysis and experimental results of output performance for Nd-doped double-clad fiber lasers. Optics communications*, ۲۰۰۰. ۱۸۰**(٤): p.** ۳۲۹-۳۳۷.
[۲] Xu, J., et al., *Influence of cross-sectional shape on absorption characteristics of double-clad fiber lasers*. **Optical Engineering**, ۲۰۰۳. ٤۲**(۹): p.** ۲۵۲۷-۲۵۳۳.
[۳] Konieczny, P., et al., *Analysis of activation of active double-clad optical fibers*. *Optica Applicata*, ۲۰۰۵. ۳۵**(٤): p.** ۹۵۵.
[٤] Liu, A. and K. Ueda, *The absorption characteristics of circular, offset, and rectangular double-clad fibers. Optics Communications*, ۱۹۹۶. ۱۳۲**(۵): p.** ۵۱۱-۵۱۸.
[۵] Loua, J.Z.Q., et al. *A new inner cladding shape for high-power double-clad fiber lasers*. **in Proceedings of SPIE**. ۲۰۰۲.
[٦] Narro-Garcia, R ,.et al., *Study of the pump absorption efficiency in D-shaped double clad optical fiber*. **Optica Applicata**, ۲۰۱۲. ٤۲**(۳): p.** ۵۸۷-۵۹٦.
[۷] Popov, A., *Genetic algorithms for optimization*. *User Manual, Hamburg*. ۲۰۱۳.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-30]