



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و  
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس  
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،  
دانشگاه شیراز،  
شیراز، ایران.  
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷



## افزایش جذب و یکنواخت‌سازی دمش در لیزر Nd:YAG با ساختار دمش از پهلوی دیودی یک طرفه.

مریم، زاوش<sup>۱</sup>، پگاه، غرقی<sup>۲</sup>.

<sup>۲</sup> پژوهشکده مکانیک، پژوهشگاه فضایی ایران.

<sup>۱</sup> mzavoosh@yahoo.com, <sup>۲</sup> pegah.gharghi@gmail.com.

چکیده - در این مقاله، راه‌های متفاوتی برای دستیابی به دمش یکنواخت و افزایش چگالی جذب در لیزر Nd:YAG در ساختار دمش از پهلوی دیودی یک طرفه بررسی شد. در اولین پیشنهاد، تیغه‌ی لیزر از سه طرف لایه‌نشانی و از یک بازتابنده اضافی در ورودی کاواک و یک روزنه جهت ورود تابش دمش استفاده گردید. در طرح دیگر، ترکیب دو تایی بهینه‌ای از میکروعدسی‌های واگرا کننده را طراحی و در جلوی دیود قرار دادیم تا با افزایش زاویه واگرایی موجب یکنواخت‌سازی دمش گردد. در نهایت نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی‌ها مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت.

کلیدواژه- چگالی جذب، دمش از یک طرف، لیزر Nd:YAG، میکروعدسی واگرا کننده، یکنواخت‌سازی دمش.

## Increasing the Absorption and Uniformity of Pumping on the Nd:YAG Laser with Single Side Diode Pumping Structure.

Maryam Zavosh<sup>1</sup>, Pegah Gharghi<sup>2</sup>.

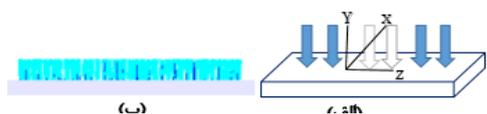
<sup>2</sup> Mechanics Institute, Iranian Space Research Center.

<sup>1</sup>mzavoosh@yahoo.com, <sup>2</sup>pegah.gharghi@gmail.com.

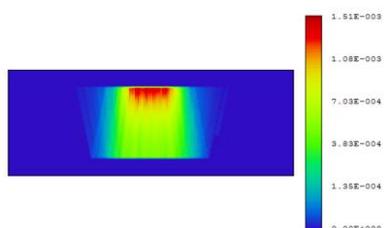
Abstract- In this paper, different ways to get uniform and increased absorption flux of Nd:YAG laser with single-side diode pumping geometry were investigated. In the first suggestion, the slab laser is coated from three sides and use an additional reflector at the entrance to the cavity with a slit for injection of the pumping radiation. In the other suggestion, we designed the optimal dual composition of divergent arrays micro lens and placed in front of the diode that by increasing the divergence angle makes the uniformity of pumping. The results of each simulation are compared and analyzed.

Keywords: Absorption Flux, Single Side Pump, Nd:YAG Laser, Divergent Micro Lens, Uniformity of Pumping.

به دلیل تمرکز دممش در یک ناحیه، احتمال ذوب شدگی و ظهور اثرات گرمایی نامطلوب را افزایش می‌دهد.



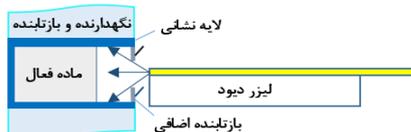
شکل ۱: طرحی از تیغه لیزر الف: بدون بازتابنده ب: با بازتابنده.



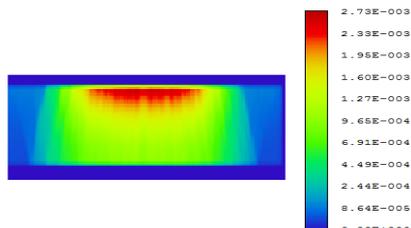
شکل ۲: پروفایل جذب در سطح مقطع تیغه لیزر.

### یکنواخت سازی و افزایش جذب

شکل ۳ طرح پیشنهادی در [۱] به منظور یکنواخت‌سازی دممش را نشان می‌دهد که در آن تیغه بین دو نگهدارنده به عنوان بازتابنده و گرماگیر قرار گرفته و از سه طرف لایه‌نشانی شده است. ورود تابش به تیغه از طریق روزنه‌ای تعبیه شده در ورودی کاواک، با محصور کردن سطح مقطع دممش، توزیع یکنواختی را در محیط فعال ایجاد می‌کند. لیزر دیود در فاصله  $2/3 \text{ mm}$  از روزنه قرار داده شده است. جهت محصورسازی پرتوها در فاصله‌ی بین ماده فعال و لایه‌نشانی‌های سطوح، روزنه‌ای با ابعاد  $1/6 \text{ mm} \times 51$  در فاصله  $3/7 \text{ mm}$  از تیغه قرار گرفت. شکل ۴ افزایش یکنواختی جذب در سطح مقطع تیغه را نشان می‌دهد.



شکل ۳: طرحی از تیغه لیزر با لایه‌نشانی از سه طرف و روزنه دممش.



شکل ۴: پروفایل جذب در سطح مقطع تیغه با روزنه دممش.

### مقدمه

دستیابی به توزیع یکنواخت پرتو دممش در سطح مقطع محیط فعال به دلیل افزایش چگالی نوری و یکنواخت‌سازی توزیع جذب در دممش‌های دیودی از اهمیت زیادی برخوردار است [۱]. علیرغم سادگی و کاهش هزینه در دممش از یک طرف، عدم یکنواختی دممش در محیط فعال چنین سیستم‌هایی مشکلات زیادی را در خروجی لیزر به دنبال [۲] و از دغدغه‌های اصلی طراحان لیزری است [۱-۳]. هدف از این مقاله، افزایش یکنواختی دممش در تیغه‌ی لیزری Nd:YAG در یک ساختار دممش از پهلوی تک دیودی است. شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای MATLAB و ZEMAX صورت گرفته است.

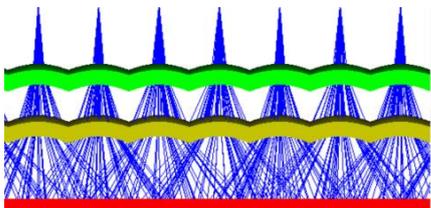
### توصیف ساختار کلی نحوه دممش

در این ساختار ماده‌ی فعال متشکل از یک تیغه‌ی لیزری Nd:YAG (۱٪) با ابعاد  $2 \times 6 \times 65 \text{ mm}$  است. در تعیین هندسه و ابعاد ماده‌ی فعال پارامترهایی از جمله مزایای ترمو اپتیکی بهتر [۲]، نسبت ظاهری [۴] و ساختار دیود در نظر گرفته شده است. دممش با استفاده از یک لیزر دیود از سطح بالایی تیغه صورت می‌گیرد. سطح مقابل دممش جهت برگشت پرتوهای جذب نشده به درون ماده‌ی فعال با بازتابندگی بالا لایه‌نشانی شده است (شکل ۱). لیزر دیودی استک متشکل از ۵ بار هر کدام به طول  $10 \text{ mm}$  است. هر بار شامل ۷ لیزر دیودی است که در فاصله  $1/2 \text{ mm}$  نسبت به هم قرار دارند. طول موج متناظر با دممش ( $808 \text{ nm}$ ) و زوایای واگرایی  $35 \times 10^\circ$  است. لیزر دیودی در فاصله  $3 \text{ mm}$  از سطح دممش تیغه قرار دارد. زاویه‌ی واگرایی تند دیود در راستای پهنای تیغه است. با توجه به ضرایب شکست و جذب، ماده فعال به عنوان یک ماده‌ی جدید در نرم‌افزار ZEMAX مدل‌سازی شده است. در شکل ۲ پروفایل جذب در سطح مقطع تیغه قابل مشاهده است که به دلیل عدم یکنواختی دممش جذب تنها در بخش کوچکی از پهنای تیغه متمرکز و در بیش از نیمی از آن جذبی صورت نمی‌گیرد. این نتیجه علاوه بر کاهش انرژی خروجی،

یکسان گردد. پرتوهای دایره‌ای با برخورد به سطح استوانه‌ای سوم، موازی و به صورت واگرا از سطح چهارم خارج می‌شوند. محاسبات اولیه بر اساس اصل فرما صورت گرفت. با به کار بردن روابط اپتیکی حاکم بر عدسی‌ها [۶] و معادلات مثلثاتی، عبارتی برای شعاع انحنا به صورت  $R_i = f_i(n-1)$  به دست آمد که  $i$  شماره سطوح،  $f_i$  فاصله‌ی کانونی هر سطح و  $n$  ضریب شکست است. ثابت مخروطی  $K$  در هر سطح با خروج از مرکز ( $e$ ) از رابطه‌ی  $k = -e^2$  محاسبه که با توجه به معادلات استاندارد و روابط حاکم بر مقاطع مخروطی پس از ساده‌سازی  $k = -n^2$  به دست آمد. شکل ۶ شبیه‌سازی مطابق با پارامترهای محاسبه شده در جدول ۱ را نشان می‌دهد.

جدول ۱: پارامترهای محاسبه شده در شبیه‌سازی.

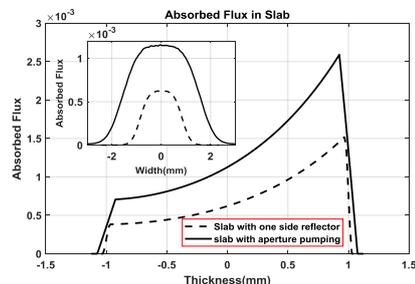
سطح چهارم	سطح سوم	سطح دوم	سطح اول	$n = 1.7880$
۰/۳ mm	۱/۰۶ mm	۰/۲۷ mm	۱/۱۷ mm	شعاع انحنا
غیر کروی	غیر کروی	غیر کروی	غیر کروی	نوع سطح
-۳/۱۴	-۳/۱۰	-۳/۱۲	-۳/۱۸	ثابت مخروطی
۲۹۳۲/۵۹	۱۳۷۴۶/۵۴	۲۷۴۹/۳۰	۱۲۷۲۸/۲۸	$\beta$
۰/۲۱ mm	۰/۲۰ mm		ضخامت	



شکل ۶: نمای کلی از شبیه‌سازی آرایه‌ای از میکرو عدسی‌ها.

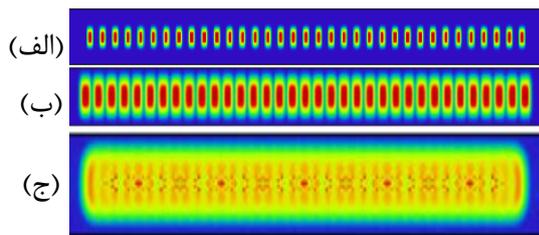
طراحی به روش اپتیک هندسی صورت گرفت، از آنجایی که تعیین کیفیت روش طراحی با استفاده از پارامتر  $\beta$  صورت می‌گیرد و با توجه به اینکه  $\beta > 32$  به دست آمد، درستی روش انجام کار تایید شد. از جمله دلایل عدم یکنواختی و کاهش جذب، یکسان نبودن توزیع شدت دیود در دو محور تند و کند (بیضوی بودن نمایه خروجی از لیزر دیود) است که عدم پیوستگی در نمایه‌ی شدت لیزر دیودها را ایجاد می‌کند. مطابق با شکل ۷ استفاده از میکروعدسی‌ها (از جنس S-LAH46) با تغییر توزیع شدت لیزر دیودها، پیوستگی و یکنواخت‌سازی توزیع پرتوها بر روی طول سطح دُمش را موجب شده است. در مقایسه با لایه‌نشانی سطح مقابل دُمش (شکل ۵)، شکل ۸ نشان می‌دهد بیشینه‌ی جذب در ضخامت (در توان دُمش یکسان)، افزایشی ده برابر داشته است. در این حالت توزیع جذب در بیش از نیمی از پهنای تیغه یکنواخت (۴۸/۴٪ بیشتر) و بیشینه مقدار آن در این راستا ۷/۸ برابر گردید. این توزیع یکنواخت

منحنی دو بعدی چگالی جذب در راستای پهنای و ضخامت تیغه با حالتی که سطح مقابل دُمش لایه‌نشانی شده باشد، در شکل ۵ مقایسه شده است. در توان دُمش یکسان (۲۵۰ W)، با استفاده از طرح شکل ۳ نتایج بیانگر افزایشی بیش از ۱/۷ برابر از چگالی جذب در راستای ضخامت بود. حضور بازتابنده‌ی اضافی برگشت پرتوهای جذب نشده با یکبار عبور به درون تیغه را موجب می‌گردد. در راستای پهنای افزایش توزیع یکنواختی جذب در سطح بیشتری از پهنای تیغه (در مقایسه با حالت قبل ۱۳/۴٪ بیشتر) بیانگر توزیع گسترده‌تری از پرتوهاست. بهبود یکنواختی جذب و عدم تمرکز آن در یک ناحیه محدود تائیدی بر افزایش یکنواخت‌سازی دُمش است.



شکل ۵: منحنی دو بعدی چگالی جذب در راستای پهنای و ضخامت.

اگر ماده‌ی فعال از جذب پایینی برخوردار باشد (نظیر لیزرهای اربیم) دُمش با استفاده از روش جفت‌شدگی نزدیک و لیزر دیود در فاصله‌ی بسیار کمی از ماده فعال قرار می‌گیرد [۲]. این راهکار افزایش جذب موجب انبساط ضخامت در ناحیه‌ی دُمش و مشکلاتی را در ظاهر تیغه ایجاد می‌کند که رفع آن مستلزم استفاده از توان‌های دُمشی کمتر است. استفاده از طرح شکل ۳ به دلیل دُمش غیر مستقیم تیغه امکان دُمش در توان‌های بالاتر را میسر، تاثیر نامطلوب بر ظاهر تیغه را مرتفع و توزیع جذب یکنواختی را موجب می‌گردد. در ادامه، نتایج به ازای توان‌های بالاتری از دُمش بررسی و در توان دُمش یکسان (۴۸۰ W) با مرجع [۵] مقدار جذب چهار برابر بیشتر به دست آمد. در طرح دیگر، آرایه‌ای از ترکیبات دوتایی میکروعدسی‌های واگراکننده، هر ترکیب شامل دو عدسی غیرکروی، به طور افقی و موازی با لیزر دیود استک قرار داده شد که افزایش پخش‌شدگی پرتو در سطح دُمش را موجب گردید. در این ترکیبات دوتایی وظیفه سطح اول عدسی، موازی‌سازی پرتوها در دو جهت تند و کند است. پرتوهای موازی به سطح دوم که سطحی استوانه‌ای است و نقش تغییر نمایه از بیضوی به متقارن دایره‌ای را دارد برخورد می‌کنند. در این حالت انتشار پرتو تند بدون شکست و موازی با محور و پرتو کند به اندازه‌ای واگرا شده که قطر هر دو پرتو



شکل ۱۰: توزیع شدت لیزر دیود از ماده فعال در فاصله الف) ۳mm شکل (ب) ۶mm ج) ۶mm و استفاده از میکروعدسی های واگرا کننده.

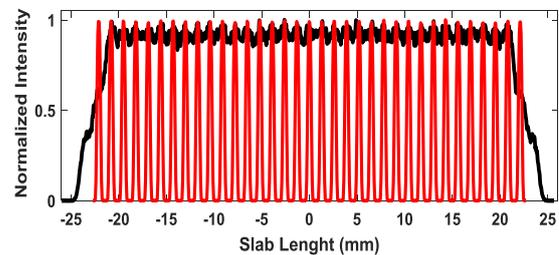
### نتیجه گیری

دو راهکار جهت دستیابی به دمش یکنواخت و افزایش جذب مورد بررسی قرار گرفت. در طرح اول با لایه نشانی تیغی لیزر از سه طرف از یک روزنه جهت ورود تابش به درون ماده فعال استفاده شد. این طرح به دلیل طراحی خاص و امکان دمش در توان های بیشتر حتی در لیزرهایی با جذب کم یکنواخت سازی و افزایش جذب را موجب می گردد. در طرح دوم از آرایه ای از میکروعدسی های واگرا کننده در جلوی لیزر دیود استفاده شد. مقدار چگالی جذب در این حالت علیرغم استفاده از توان دمش بسیار کمتر نسبت به [۵] حدود ۱۲/۳ برابر به دست آمد.

### مرجع ها

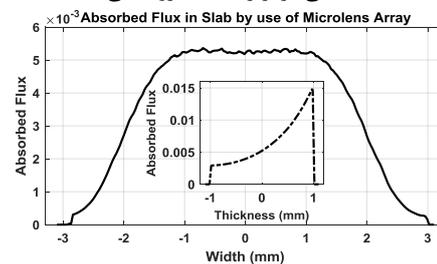
- [1] A. Levoshkin, J. E. Montagne, "Efficient diode pumping for Q-switched Yb: Er: glass lasers", *Applied optics.*, Vol. 40, No. 18. pp. 3023-3032, 2001.
- [2] زاوش، مریم، حاتمی، محسن، نوفرستی، امیر، یزدانی، علی، حسینی، امین، مقایسه ی نتایج شبیه سازی لیزر Er:Yb:glass دمش دیودی هواخنک با دو هندسه ی استوانه ای و تیغه ای توسط نرم افزار LASCAD، چهارمین همایش ملی مهندسی اپتیک و لیزر ایران، اصفهان، ص ۲۹-۳۲، ۱۳۹۴.
- [3] K. Lee, Y. Kim, H. C. Lee, J. Y. Cho, J. C. Lee, Y. G. Jeon, J. Yi, "Optimization of reflector design for diode-pumped Nd: YAG laser with single-side pumping geometry", *High-Power Lasers and Applications.*, Vol. 7843, pp. 78431W, 2010.
- [4] W. Koechner, *Solid-State Laser Engineering*, Springer, New York, 2006.
- [5] M. H. Dindarlu, G. Solookinejad, H. Izadneshan, M. Jabbari, M. Nafar, "Precise simulation of thermal effects in side diode-pumped laser slab", *Optoelectronics And Advanced Materials.*, Vol. 18, No. 11-12, pp. 938-942, 2016.
- [6] Pedrotti, F. L., Pedrotti, L. S., *Introduction to Optics*, Second edition, Prentice Hall International Inc, New Jersey, 2000.

جذب به همراه افزایش بازده دو فاکتور بسیار مهم در طراحی لیزرهای پر توان با کیفیت پرتوی خوب هستند. شکل ۹ جذب یکنواخت در سطح مقطع تیغه لیزر را نشان می دهد.

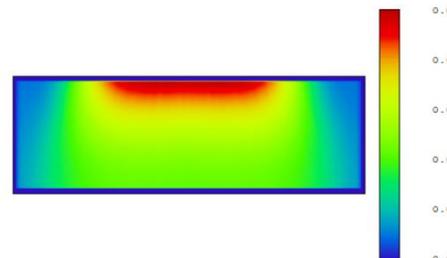


شکل ۷: توزیع شدت در سطح دمش با (منحنی سیاه رنگ) و بدون

(منحنی قرمز رنگ) میکروعدسی.



شکل ۸: منحنی دو بعدی جذب در دمش با استفاده از میکروعدسی.



شکل ۹: پروفایل جذب در تیغه در دمش با استفاده از میکروعدسی.

قابل توجه است که اگر تنها سطح مقابل دمش لایه نشانی شده باشد به دلیل دستیابی به جذب کافی و انرژی بیشتر لیزر دیود باید در فاصله کمی از ماده فعال قرار گیرد (۳mm). شکل ۱۰-الف توزیع شدت پرتوها را در فاصله مذکور نشان می دهد. افزایش فاصله لیزر دیود از ماده فعال (۶mm) همپوشانی بیشتر پرتوها، ناشی از واگرایی، را موجب می شود که در شکل ۱۰-ب نشان داده شده است. اما این افزایش فاصله کاهش ۱/۵ برابری جذب را به دنبال خواهد داشت که مطلوب نیست. در حالت دوم که به دلیل استفاده از روزنه و سطوح لایه نشانی شده فاصله دیود از ماده فعال می تواند افزایش یابد لیزر دیود در فاصله ۶mm قرار گرفت که در این حالت محصور شدن پرتوها عامل مهم دیگری در افزایش همپوشانی و دستیابی به جذب بالاتر بوده است. در حالت سوم علیرغم یکسان بودن فاصله دیود از ماده فعال (۶mm) استفاده از میکروعدسی ها همپوشانی بیشتر پرتوهای واگرا شده را موجب شده است (شکل ۱۰-ج).