بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱-۲ بهمن ۱۳۹۸

# کاربرد سامانه نوری هدایت پرتو برای لیزر Ce:Nd:YAG با دمش LED

**سید مرتضی زاهدی دیزجی [۱و۲]، امیر حسین فرهبد [۱*] و محمد محمودی [۲]**

**[۱] پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، کارگر شمالی، تهران**

**[۲] دانشکده فیزیک دانشگاه زنجان، زنجان**

*afarahbod@aeoi.org.ir

**چکیده – در این مقاله یافته های تجربی حاصل از به کارگیری سامانه نوری طراحی شده برای دمش محیط فعال Ce:Nd:YAG به کمک آرایه های دیودهای نورگسیل با بیناب نشری سفید مورد بررسی قرار گرفته است. برای سامانه دمش از ۳۵ دیود نورگسیل ۱۰ واتی و ساختار ۵ وجهی با ۷ دیود نور گسیل در هر وجه استفاده شده است. کارایی لیزر با ساختار مذکور با ساختار جفت شدگی نزدیک که در آن ۶۴ عدد دیود نوری با بیناب آبی عملاً در تماس با سطح خارجی میله محیط فعال هستند، برای تشدیدگر با تلفات نوری یکسان در رژیم کاری نوسانات آزاد و سوییچ Q مقایسه شده است که عملکرد مشابهی نسبت به یکدیگر از خود نشان می دهند.**

کلید واژه- سامانه دمش نوری، لیزر با دمش با دیود نور گسیل، محیط فعال Ce:Nd:YAG

# Application of the Beam Guiding System for LED-Pumped Ce:Nd:YAG Laser

Seyyed Morteza Zahedi Dizaji [1, 2], Amir Hossein Farahbod [1, 2*], and Mohammad Mahmoudi [1]

[1]*Department of Plasma and Nuclear Fusion, Nuclear Institute of Science and Technology, North Kargar, Tehran*
[2]*Physics Department, University of Zanjan, Zanjan*

Abstract- In this paper, the experimental findings where have been obtained by applying optimized pumping system and arrays of white spectrum light emitting diodes to pump Ce:Nd:YAG active medium are presented. The pumping system has a pentagon transverse geometry that is consisted of 7 arrays of ten watts LED on each side and total 35 light emitting diodes. The laser performance of the later pumping structure was compared with a closed coupled pumping system where consist of 64 blue LED in contact with the outer surface of laser rod. The comparable results, with equal optical losses, under laser relaxation oscillations and Q-switching were obtained.

Keywords: *Ce:Nd:YAG active medium, LED-pumped laser, Optical pumping system*



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

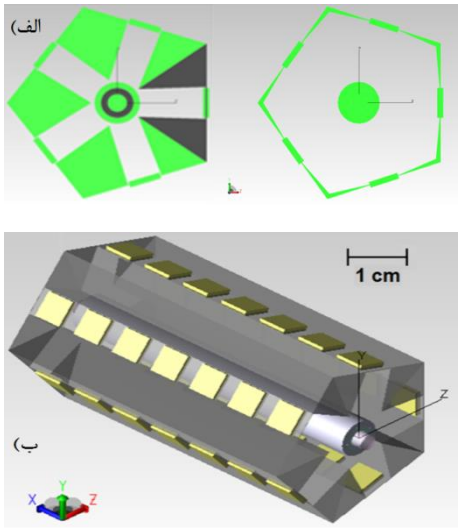
[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04 ]

## مقدمه

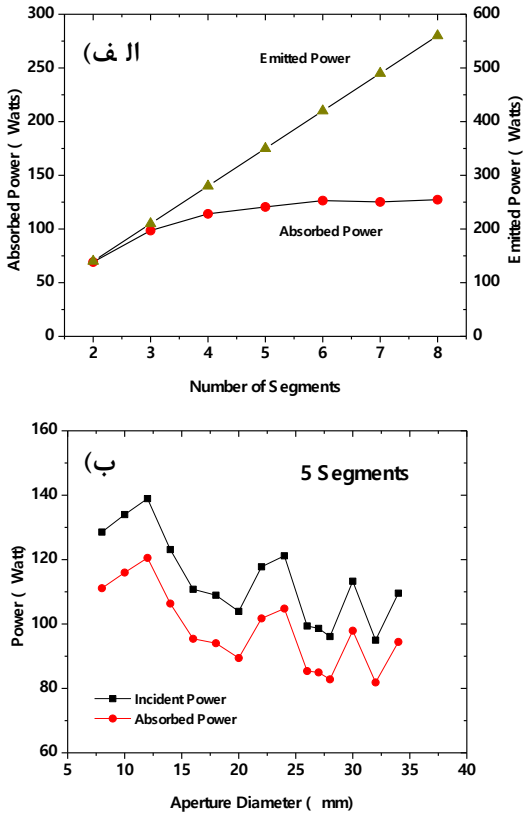
علیرغم محسنات متعدد دیودهای نور گسیل (LED) برای دمش نوری محیط های فعال لیزر [۲ و ۱] نظیر طول عمر بالای منابع دمش، بروز حداقل تنش گرمایی در محیط فعال، جذب موثر تابش ها و قابلیت کنترل منابع دمش، معهذا چگونگی انتقال موثر توان تابشی تعداد قابل توجه دیود نوری به محیط فعال یکی از مهمترین چالش های پیش روی در استفاده از دیودهای نورگسیل به شمار می آید. یکی از روش های غلبه بر این مشکل، استفاده از مبدل و متمرکز کننده نوری Ce:YAG است که خود با محدودیت هایی روبرو است [۴ و ۳]. در مقاله حاضر نتایج حاصل از کاربرد روش هدایت کننده نوری [۶ و ۵] برای دمش محیط فعال Ce:Nd:YAG جهت افزایش قابلیت انعطاف پذیری طراحی و بهبود عملکرد سامانه دمش نوری دیودهای نورگسیل مورد بررسی قرار می گیرد.

## ساختار سامانه دمش

ساختار نوری سامانه دمش بر پایه ایده های ارائه شده در مراجع ۵ و ۶ قرار دارد که در آن هدایت پرتوهای نشر یافته از دیودهای نور گسیل به کمک سطوح تمام بازتابان به سوی میله محیط فعال لیزر هدایت می شوند، شکل ۱. شبیه سازی ساختار نوری به کمک پرتویابی تصادفی و نرم افزار Trace Pro و با لحاظ کردن طیف نشری دیودهای نور گسیل و طیف جذبی محیط فعالCe:Nd:YAG صورت گرفته است. با توجه به نتایج محاسبات و شبیه سازی ها، طراحی و ساخت سامانه دمش بر پایه مقطع هندسه ۵ وجهی صورت گرفت، شکل۲-الف. نمودارهای شکل۲-ب نشان می دهد که برای سامانه هدایت کننده پرتو، بیشینه توان جذب شده در محیط فعال برای ساختار ۵ وجهی به ازای گشودگی دهانه ۱۲ میلی متر حاصل می شود. برای دمش محیط فعال از ۷ دیود نور گسیل ۱۰




شکل ۱: سامانه هدایت کننده پرتو. الف) مقطع سامانه ۵ وجهی، ب) نمای کلی با ۷ دیود نورگسیل در هر وجه [۵].




شکل ۲: بستگی توان تابشی در سطح میله محیط فعال لیزر و توان نوری جذب شده در آن به گشودگی دهانه سامانه هدایت کننده پرتو دیودهای نورگسیل به سوی محیط فعال [۵].

واتی ساخت شرکت CREE در هر وجه، و در مجموع ۳۵ دیود نورگسیل با طیف نشری سفید و دمای موثر تابش ۶۵۰۰ کلوین استفاده شد. تمام دیودهای نورگسیل بر



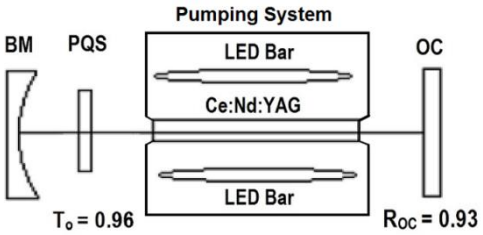
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04 ]

روی هیت سینک نصب شده اند و برخلاف تجربه های گذشته [۲ و ۷]، امکان عملکرد دیودها با آهنگ تکرار بالا از مرتبه ۱ هرتز و بیشتر برای دمش محیط فعال لیزر وجود دارد.

## نوسانگر لیزر

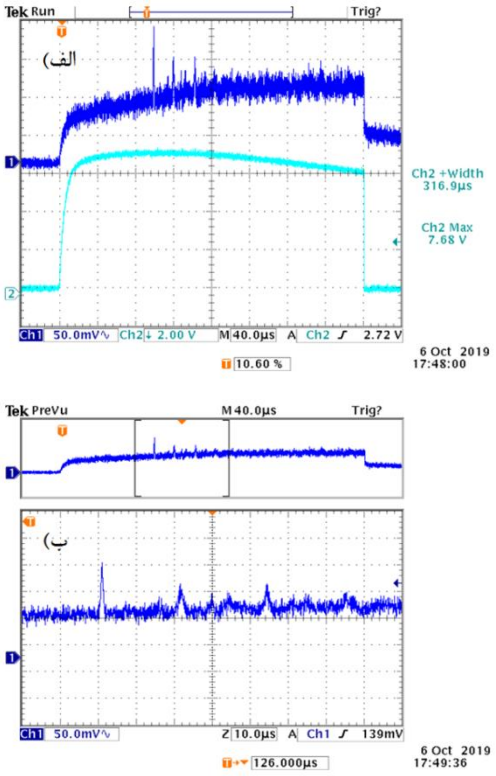
برای فراهم نمودن امکان مقایسه مستقیم با یافته های مرجع ۷، تشدیدگر نوری مورد استفاده یک تشدیدگر نوری پایدار به طول ۱۴ سانتیمتر، متشکل از دو آینه تخت و کروی با شعاع انحنای ۵۰ سانتیمتر به ترتیب با ضریب بازتاب ۹۳ و ۹۸ درصد است. برای انجام عمل سوییچ Q نیز از یک تیغه سوییچ Q انفعالی $Cr^{4+}$:YAG با گذردهی اولیه ۹۶ درصد استفاده شد. بانک خازنی آرایه های LED متشکل از دو خازن ۴۷۰۰ میکروفارادی است که به صورت سری قرار گرفته و به کمک یک سوییچ ترانزیستوری از نوع IGBT در مدار دیودهای نورگسیل تخلیه می شوند.




شکل ۳: تشدیدگر نوری به همراه سامانه دمش و سوییچ نوری انفعالی PQS برای انجام فرایند سوییچ Q.

## یافته های تجربی

مشاهده رفتار زمانی تپ لیزر به کمک ترکیبی از یک آشکارساز سریع نیمه رسانا به همراه تقویت کننده با پهنای باند ۵۰ مگاهرتز و اسیلوسکوپ تکترونیکس TDS3052B صورت گرفت. نمونه ای از رفتار نواسانات آزاد لیزر به ازای عبور یک تپ جریان کم و بیش مربعی با پهنای ۳۲۰ میکروثانیه و بیشینه دامنه ۷۶/۸ آمپر از مجموعه دیودهای نورگسیل در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴-ب پهنای زمانی هر میخه لیزر از مرتبه ۱ میکروثانیه است و اولین میخه لیزر حدود ۱۰۰ میکروثانیه ازلحظه آغاز فرایند دمش پدید آمده است. مشاهدات تجربی نشان می دهند که انرژی آستانه دمش جهت بروز نوسانات آزاد لیزر ۱/۴۸ ژول است.




شکل ۴: الف) موقعیت میخه های لیزر (آبی) نسبت به تپ جریان دیودهای نور گسیل (نیلی)، ب) رفتار زمانی میخه های لیزر متناظر با شکل الف.

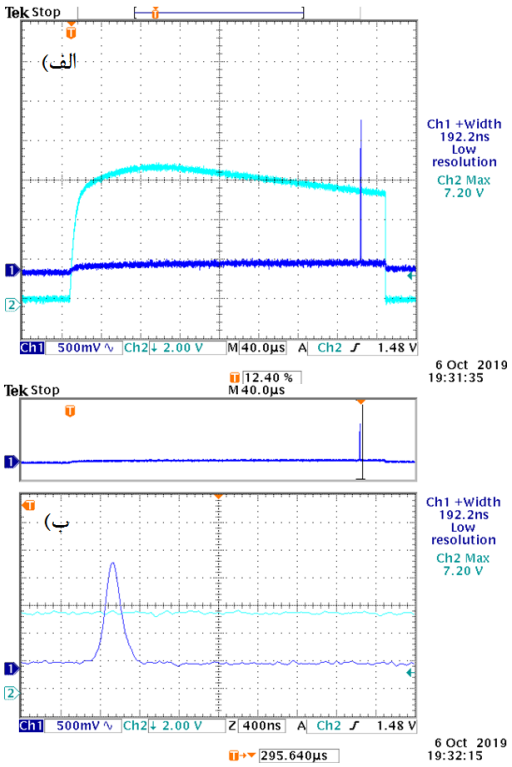
با قرار دادن بلور $Cr^{4+}$:YAG با گذردهی اولیه ۹۶ درصد درون تشدیدگر لیزر و در نزدیکی آینه BM، تپ سوییچ Q با پهنای زمانی ۱۹۲ الی ۲۴۳ نانوثانیه به ازای جریان ۷۲ الی۸۴ آمپر از مجموعه دیودهای نوری پدید آمد. شکل ۵ رفتار زمانی تپ سوییچ Q، متناظر با جریان بیشینه ۷۲ آمپر عبوری از دیودهای نورگسیل را نشان می دهد. با افزایش انرژی دمش، تپ سوییچ Q به لحظه آغاز دمش نزدیکتر می شود و به ازای جریان ۸۴ آمپر تپ لیزر پس از ۲۴۰ میکروثانیه از آغاز فرایند دمش تپ لیزر پدید می آید. انرژی آستانه دمش جهت بروز تک تپ سوییچ Q، $E_{th_white}$ =۱/۷ J است. تحت شرایط و تلفات نوری یکسان، مشاهدات تجربی نشان می دهند که انرژی آستانه دمش برای تولید تک تپ سوییچ Q با استفاده از ۶۴ عدد



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

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04 ]

دیود نور گسیل با طیف نشری آبی در ۴۶۰ نانومتر در آرایش جفت شدگی نزدیک برابر با $E_{th_blue}$ =۰/۶۸ J است [۷]. با محاسبه بازدهی جذب $\eta_a$ بیناب نشری LED سفید و آبی در محیط فعال Ce:Nd:YAG، ملاحظه می شود که نسبت بازدهی جذب $\eta_{a_blue}/\eta_{a_white} \approx$ ۳ است. بنابر این، رابطه $E_{th_white} \approx E_{th_blue}\eta_{a_blue}/\eta_{a_white}$ برقرار است که نشاندهنده کارایی نوری کم و بیش برابر آرایش جفت شدگی نزدیک و سامانه هدایت پرتو دمش است.




شکل ۵: الف) موقعیت تپ سوییچ Q نسبت به تپ جریان دیودهای نور گسیل، ب) رفتار زمانی تپ سوییچ Q متناظر با شکل الف. در تمام موارد بیشینه جریان عبوری از دیودهای نورگسیل ۷۲ آمپر است.

## نتیجه‌گیری

یافته های تجربی حاصل از کاربرد سامانه دمش بر پایه هدایت پرتوهای دیودهای نورگسیل به کمک سطوح تمام بازتابان، نشان می دهد که کارایی روش مذکور قابل مقایسه با آرایش جفت شدگی نزدیک است که در آن ضروری است تا دیودها در کمترین فاصله از سطح جانبی میله لیزر قرار گیرند. در آرایش جدید، سطوح تابنده دیودها در فاصله ۲۰ میلی متر از سطح میله لیزر قرار دارند که بدین ترتیب علاوه بر امکان خنک سازی مناسب دیودها امکان خنک سازی میله لیزر برای دمش محیط فعال با آهنگ تکرار بیش از ۱ هرتز فراهم آمده است که مزیت قابل توجهی نسبت به آرایش جفت شدگی نزدیک به شمار می آید.

## مرجع‌ها

**[1]** C.Y. Cho, C.C. Pu, K.W. Su, and Y.F. Chen" LED-side-pumped Nd:YAG laser with >20% optical efficiency and the demonstration of an efficient passively Q-switched LED-pumped solid-state laser" Optics Letters, Vol. 42, No. 12, p,p, 2396-2397, 2017.

**[2]** M. Tarkashvand, A.H. Farahbod, S.A. Hashemizadeh, “First demonstration of green and amber LED-pumped Nd:YAG laser”, Laser Physics. Vol. 28, p.p. 055801-7, 2018.

**[3]** A. Barbet, A, Paul, T. Gallinelli, F. Balembois, J. P. Blanchot, S. Forget, S. Chenais, F, Druon, and P. Grorges "Light-emitting diode pumped luminescent concentrators: a new opportunity for low-cost solid-state lasers" Optica, Vol. 3, No. 5, p.p. 465-468, 2016.

**[4]** P. Pichon, A. Barbet, D. Blengino, D. Legavre, T. Gallinelli, F. Druon, J.P. Blanchot, F. Balembois, S. Forget, S. Chénais, P. Georges; “High-radiance light sources with LED-pumped luminescent concentrators applied to pump Nd:YAG passively Q-switched laser”, Optics and Laser Technology. Vol, 96, p,p.7-12, 2017.

[۵] سید مرتضی زاهدی دیزجی، امیرحسین فرهبد، محمد محمودی، *بهینه سازی سامانه دمش برای لیزر Ce:Nd:YAG با دمش دیود نور گسیل*، کنفرانس سالانه فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز (۱۳۹۸).

[۶] سید مرتضی زاهدی دیزجی، امیرحسین فرهبد، محمد محمودی، سعید قنبری، *سامانه هدایت کننده پرتو برای دمش محیط های فعال لیزر حالت جامد با دیود نور گسیل*، اولین کنفرانس اپتوالکترونیک، اپتیک کاربردی و میکروالکترونیک، نمین، اردبیل (۱۳۹۸).

[۷] مصطفی ترکاشوند، امیر حسین فرهبد، سید علی هاشمی زاده، *لیزر Ce:Nd:YAG با دمش دیود نورگسیل و سوییچ Q انفعالی*، مجلهٔ پژوهش فیزیک ایران، جلد ۱۸، شماره ۳، (۱۳۹۷).



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

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04 ]