مجله پژوهش و کاربرد در مکانیک دوره ۱۴ شماره ۲ سال ۱۴۰۳ (۲۰۲۴) ۱۳-۷

# شبیه سازی تغییر نمایه خروجی لیزر دیودی آرایه ای توان بالا برای تزویج به فیبر نوری به جهت پردازش مواد

سید حامد قاسمی*[۱]، حسن قلمی باویل علیایی[۱]
[۱]دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، گروه فیزیک, ایران

**چکیده**

در این مقاله، یک سیستم نوری برای تزویج لیزرهای دیودی با توان بالا به داخل فیبر نوری طراحی و شبیه‌سازی شده است. هدف از این طراحی، بهبود کیفیت پرتو لیزر و افزایش بازده تزویج آن است. برای دستیابی به این هدف، از یک المان چرخاننده استفاده شده که پرتو خروجی از هر گسیلنده را می‌چرخاند و بدین وسیله باعث بهبود توزیع انرژی پرتو می‌شود. همچنین، جهت کاهش اندازه لکه و تمرکز بهتر پرتو بر روی فیبر نوری، از یک جفت منشور بهره گرفته شده است. این تکنیک موجب کاهش واگرایی پرتو و افزایش دقت تزویج می‌شود. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که نور حاصل از یک لیزر دیودی با ۱۹ گسیلنده به کمک این روش قادر است به یک فیبر نوری با قطر ۴۰۰ میکرومتر و گشودگی عددی ۰.۲۲ تزویج شود. بازده تزویج این سیستم حدود ۹۳ درصد محاسبه شده است که نشان‌دهنده کارایی بالای این طراحی در انتقال انرژی لیزر به داخل فیبر نوری است.

## ۱. مقدمه

لیزرهای دیودی آرایه‌ای از منابع مهم نوری بشمار می آیند به دلیل حجم کم، طول عمر زیاد و قیمت پایین، این لیزرها، توجه بسیار زیادی را به خود جلب نموده‌اند. در لیزرهای دیودی آرایه‌ای، گسیلنده‌ها را می‌توان با آرایش‌های مختلف در کنار هم قرار داد. یکی از مرسومترین آرایش‌ها، آرایش خطی از ۱۹-۵۰ تک گسیلنده بوده که در امتداد هم قرار گرفته و یک نوار از گسیلنده‌های لیزری تخت با عنوان بار را تشکیل می‌دهند. در پیکربندی بار، عموماً نور از یک نوار با ابعاد $1\mu m \times 10mm$ منتشر می‌شود. بعد کوچکتر که در راستای عمود بر پیوند p-n قرار گرفته است، تحت تاثیر پراش نور به دلیل ابعاد کوچک، دارای واگرایی بسیار زیادی است. در این جهت که عموماً جهت تند نامیده می‌شود، واگرایی پرتو از مرتبه

° ۴۰- ° ۲۵می‌باشد. در جهت موازی با پیوند ، p-n ناحیه گسیلنده نور طول بیشتری دارد. این طول از مرتبه ۱۰۰ µm می‌باشد، بنابراین واگرایی در این جهت بسیار کمتر است. این جهت، جهت کند نامیده میشود و واگرایی لیزر گسیل شده در این راستا در محدوده° ۵- °۱۲ می باشد [۱]. فاکتور کیفیت پرتو، ، M2 در جهت محور تند حدود ۱ و در جهت کنـــد حدود ۱۷۰۰ می‌باشد[۲].

شکل نامتقارن و کیفیت متفاوت پرتو در دو راستا، سبب می‌شود تا در تمامی کاربردهای لیزرهای دیودی آرایه‌ای، نظیر پمپاژ لیزرهای فیبری پرتوان، پزشکی و پردازش مواد، استفاده از سیستمهای شکل دهی پرتو لیزر الزامی باشد. وظیفه سیستم شکل دهی پرتو، متقارن کردن پرتو لیزر دیودی ، برابر کردن کیفیت پرتو در دو راستا، افزایش درخشندگی و کوچک کردن لکه لیزر می‌باشد. سیستمهای مختلفی برای شکل دهی پرتوی خروجی ازدیودهای بار پیشنهاد شده است[۲-۴]. پیچیدگی برخی از این سیستمها زیاد و ساخت برخی از المانهای میکرو استفاده شده در آن بسیار پیچده و پرهزینه می‌باشد. برخی سیستمهای شکل‌دهی پیشنهاد شده [۳] که از ساختار ساده‌تری برخوردارند، نیاز به همخط سازی وتنظیم بسیار دقیق دارند. در این مقاله یک سیستم ساده با کارآیی بسیار بالا جهت شکل دهی و تزویج نور لیزر دیودی آرایه‌ای به فیبر نوری پیشنهاد شده است. المان بکار گرفته شده در این سیستم به راحتی قابل تهیه است و سیستم طراحی شده علیرغم طول تزویج کم، کارآیی بسیار زیادی دارد.

## ۲. اصول عملکرد

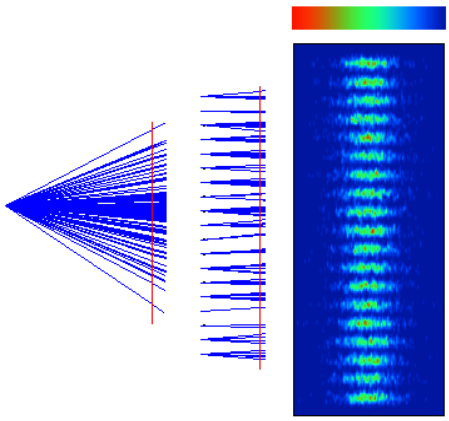
لیزر دیودی مورد استفاده، شامل یک دیود بار متشکل از ۱۹تک گسیلنده خطی است. در گام اول پرتو در راستای محور تند بوسیله یک میکرو لنز استوانه ای موازی می شود با این عمل، واگرایی پرتوی خروجی از این لنز به کمتر از ۸/۵ mrad کاهش می یابد. همچنین می توان با استفاده از یک میکرو لنز غیراستوانه ،ای واگرایی خروجی در این راستا را به کمتر از ۲mradرساند. در گام بعد پرتو در راستای محور کند موازی می شود. این موازی سازی را میتوان به دو روش انجام .داد روش اول، استفاده از تعداد ۱۹میکرولنز استوانهای است. در این حالت فاکتورکیفیت پرتوی خروجی در راستای محور کند در حدود ،۱۷۰۰باقی خواهد ماند. روش دوم، استفاده از المانهای چرخاننده پرتو است. در این روش هرکدام از گسیلنده‌های دیودی، با کمک المانهای چرخاننده، به اندازه ۹۰ درجه میچرخند. این عمل سبب تغییر کیفیت پرتو در راستای محور کند و تند می شود. بنابراین واگرایی پرتو در راستای دو محور جابجا شده این امر سبب می

شود تا فاکتور کیفیت پرتو، $M^2$، در جهت محور تند افزایش، و در جهت محور کند کاهش یابد. بنابراین کیفیت پرتو خروجی از دیود در دو راستا، تقریبا به یک مرتبه میرسد.

درگام سوم برای اینکه بتوان پرتو حاصله را به فیبر نوری با مغزی کوچکتر از ۶۰۰µm تزویج نمود، به جهت کانونی کردن پرتو بر روی نوک فیبر لازم است تا از تعدادی عدسی استوانه‌ای استفاده شود.

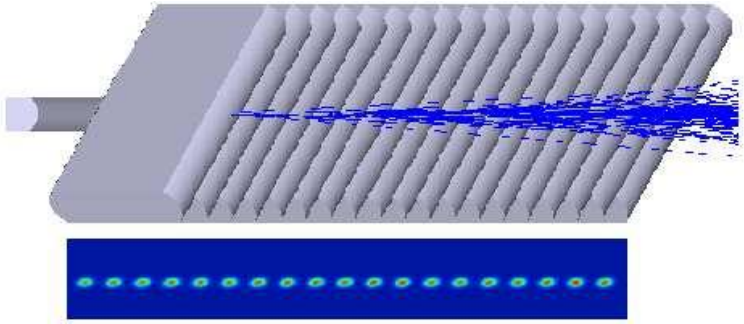
## ۳. شبیه سازی سیستم

لیزر دیودی مورد استفاده در این شبیه سازی، یک بار۸۰ وات، متشکل از ۱۹ تک گسیلنده خطی دیودی است. هر گسیلنده دارای ابعاد ۱۰۰×۱ µm بوده که در فاصله حدود ۵۰۰µm از یکدیگر قرار گرفته‌اند. واگرایی این لیزر در راستای محور تند حدود ۲۸ درجه و در راستای محور کند، حدود ۶ درجه است. در شکل ۱،پرتوهای خروجی از لیزر در دو جهت کند و تند و همچنین نمایه پرتو نمایش داده شده است.



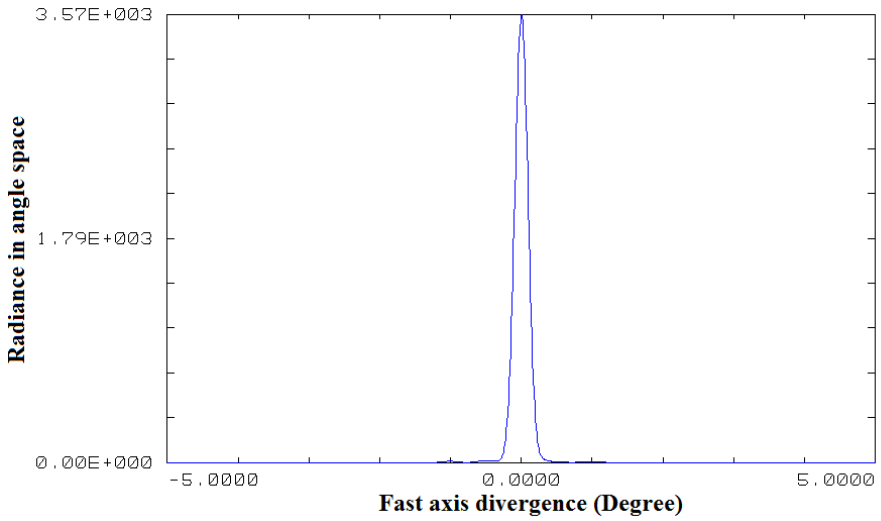
شکل۱ : پرتو و نمایه خروجی از دیود بار. از چپ به راست، پرتو خروجی در راستای محور تند، پرتو خروجی در راستای محور کند، نمایه شدت خروجی دیود بار.

برای شکل دادن پرتو و انجام تزویج نور لیزر لازم است ابتدا واگرایی بسیار زیاد نور در جهت محور تند کاهش یابد [۴]. بنابراین، به منظور موازی سازی پرتوها، ابتدا از یک میکرولنز غیر استوانه ای با فاصله کانونی۰.۳ mm ساخت شرکت focuslight استفاده می‌کنیم. واگرایی در راستای محور تند و پروفایل لیزر بعد از عبور از میکرولنز در شکل ۲ نمایش داده شده است. همانطور که در نمودار دیده میشود، واگرایی در راستای محور تند پس از موازی سازی به کمتر از ۰/۵ درجه می‌رسد.

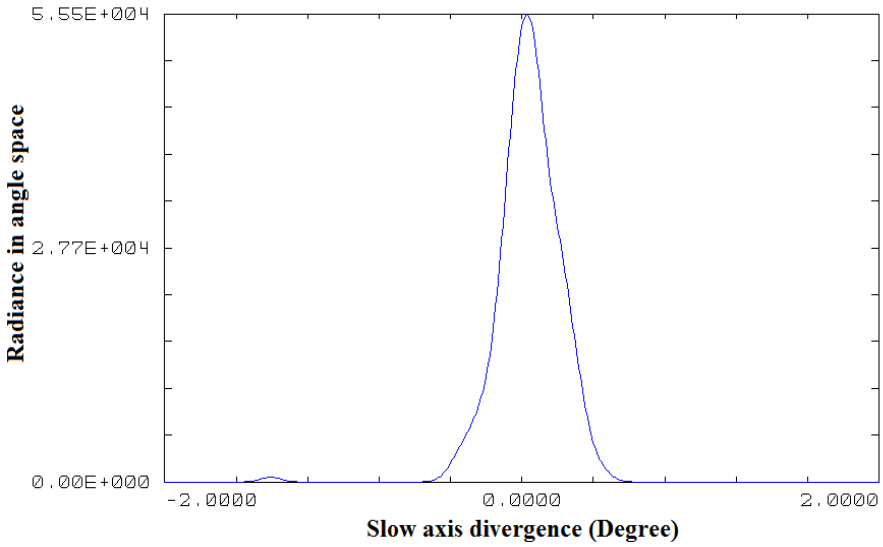


شکل۲ : واگرایی خروجی بعد از موازی ساز در راستای محور تند

بعد از کاهش واگرایی در راستای محور تند، از یک المان چرخاننده پرتو جهت چرخاندن هریک از تک گسیلنده‌های دیودی بار به اندازه ۹۰ درجه استفاده میکنیم. این عمل سبب افزایش کیفیت پرتو در راستای محور کند میشود. ساختار المان چرخاننده، شامل زوج لنزهای استوانه ای است که تحت زاویه ۴۵ درجه نسبت به پرتو هر گسیلنده قرار میگیرد. درشکل۳ ، نمایی از المان چرخاننده به همراه اثر آن بر روی نمایه شدت پرتو لیزر، نشان داده شده است.




شکل۳ : نمایی از المان چرخاننده پرتو و نمایه شدت پرتو خروجی از آن



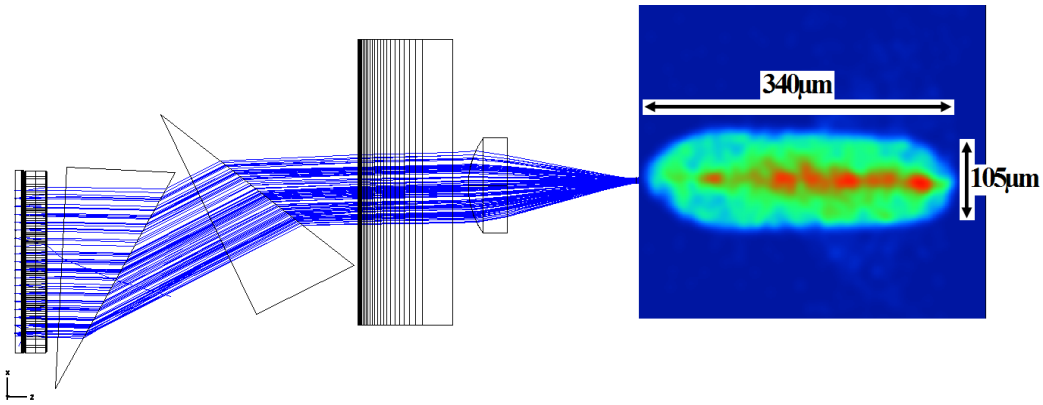

شکل ۴: واگرایی خروجی بعد از موازی ساز در راستای محور کند

لنز غیر استوانهای موازی کننده محور تند و المان چرخاننده پرتو به صورت یک تک قطعه ترکیبی ساخت شرکتfocuslight ، با مشخصه BTS(FAC365)-P0.5،در این شبیه سازی مورد استفاده واقع شده است.

پس از چرخاندن پرتو و برابر کردن کیفیت پرتو لیزر در دو راستای تند وکند و نیز رساندن واگرایی پرتو به حد مناسب در دو راستا، لازم است تا پرتو کوچکتر شود. به منظور کوچک نمودن پرتو جهت تزویج به فیبر نوری از، یک جفت منشور تغییر شکل دهنده(Anamorphic Prism Pair) در راستای محور کند استفاده می‌کنیم. استفاده از این منشورها سبب میشود تا پرتو بدون ایجاد واگرایی اضافی، کوچک شود. این منشورها دارای مشخصه 06 GPU 001 ساخت شرکت Mellesgriot می‌باشند. با زوایای داده شده به این منشورها، اندازه پرتو پس از خروج به کمتر از نصف کاهش می یابد.

با توجه به جابجا شدن محورهای تند و کند، اکنون می توان با یک تک لنز استوانه‌ای محور کند را موازی نمود. بدین منظور، از یک لنز استوانه‌ای با فاصله کانونی۱۹.۳ mm ساخت شـرکت Thorlabs با مشـــخصه LJ1095L1 استفاده می‌کنیم. واگرایی پرتو بعد از فرآیند موازی‌سازی در راستای محور کند، در شکل۴ نمایش داده شده است. همانـــطور که مشـاهده می‌شود واگرایی در راستای محور کند کمتر از ۱.۵ درجه است.

در مرحله آخر، جهت تزویج این پرتو به فیبر با مغزی 400µm از یک لنز کروی با فاصله کانونی ۱۰. ۱۰.۲۵mm با مشخصه LA1116 ساخت شرکت Tholabs استفاده می‌کنیم. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که اندازه لکه در کانون لنز در حدود µm ۳۴۰ است. لازم به ذکر است که زاویه ورودی پرتو به فیبر نوری ۰/۲ به دست میآید که این مقدار کمتر از گشودگی عددی فیبرهای معمول ( ۰/۲۲) می‌باشد. شکل چیدمان نهایی و نمایه شدت پرتو در ورود به مقطع فیبر در شکل 5 نمایش داده شده است.




شکل 5 :نمایی از چیدمان شبیه سازی و نمایه شدت پرتو در مقطع فیبر

## ۴. بحث ونتیجه گیری

در بسیاری از کاربردهای لیزرهای دیودی آرایه‌ای، نظیر تزویج لیزر دیودی به فیبر جهت پمپاژ لیزر فیبری، امکان برگشت پرتو لیزری از سر فیبر به ناحیه گسیلنده‌های دیودی وجود دارد. این امر سبب از بین رفتن گسیلنده‌ها و آسیب دیدن لیزر میشود. در روش بکار گرفته شده، انحراف بوجود آمده توسط جفت منشورهای تغییر شکل دهنده درصد پرتوهای بازگشتی به این گسیلندهها را کاهش داده و مانع از آسیبدیدگی گسیلنده‌ها می‌گردد.

در این روش، بازده تزویج پرتو لیزر به فیبر بیشتر از ٪۸۵ است که این بازده با لایه نشانی بر سر فیبر تا ٪۹۳قابل افزایش است. طول چیدمان تزویج نیز در این روش کمتر از mm ۴۰ است که در این نوع چیدمان فضای تزویج به حداقل مقدار ممکن کاهش یافته است.

## مراجع

[1] Wang P, Fan Z, Niu G, Shi Z, Cui J, Zhang J, Zhang Y, Pei B, P. Wang, "*High brightness laser output with single-fibercoupled laser diode array"*, **Chinese optics letters**, Vol. 5(2007).
[2] Göring R, Schreiber P, Poßner T, "*Microoptical beam transformation system for high-power laser diode bars with efficient brightness conversion*", **SPIE**, Vol. 3008 (1997).
[3] Clarkson W. A, Hanna D. C, "*Two-mirror beam-shaping technique for high-power diode bars"*, **Optics letters**, Vol.21 No.6, (1996).
[4] Treusch H. G, Du K, Baumann M, Sturm V, Ehlers B, Loosen P, "*Fiber-coupling technique for high-power diode laser arrays"*, **SPIE**, Vol. 3267 (1998).