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

مقایسه ترکیب باریکه های همدوس و ناهمدوس لیزرهای پرتوان

سوگل تدینی، مهدی شایگان منش

دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران،تهران

چکیده- دراین مقاله، پرتو لیزر فیبری با طول موج یک میکرون در فاصله هدف یک کیلومتر در سطوح متفاوت تلاطم جو بررسی و مشاهده شد که با افزایش تلاطم ، شدت پرتو تحت تأثیر قرار گرفته و مقدار آن کاهش می‌یابد. با توجه به تأثیر پارامترهای جو بر باریکه در حین انتشار و نیز با توجه به کاربردهای لیزر در جو دو روش ترکیب همدوس و ناهمدوس باریکه مورد بررسی قرار گرفته است. با مقایسه پارامترهای قله شدت و انداز لکه در هدف درسطوح تلاطم متفاوت به دو روش مذکور، مشاهده شد که در بسیاری از کاربردها صرف نظر از طراحی ترکیب پرتو، می‌توان روش ناهمدوس را جایگزین روش همدوس نمود.

کلید واژه- تلاطم جو ، ترکیب ناهمدوس پرتو

Comparison of coherent and incoherent beam combining high-power lasers

Sogol Tadayyoni, Mahdi Shayganmanesh

Physics Department, Iran University of Science and Technology, Tehran

Abstract- In this paper propagation of fiber laser beam with $1\mu m$ wavelength was investigated in various atmospheric turbulence levels for 1km target range. It is found that intensity of laser beam decreases by increasing turbulence. During the propagation, other important beam parameters are also affected by atmospheric turbulence. Regarding laser applications in atmosphere, the coherent and incoherent beam combining methods are investigated. In various turbulence levels, by comparing peak intensity and spot size parameters on the target, it was observed that in many applications, we can use incoherent combining methods instead of coherent.

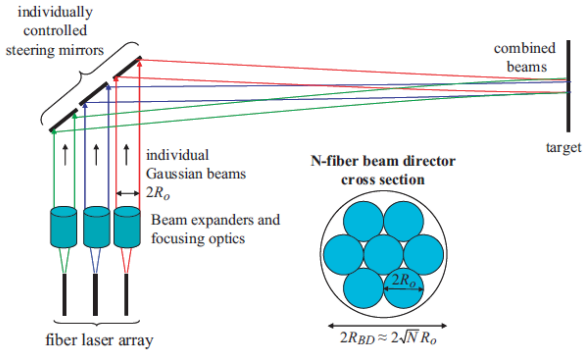
Keywords: Atmospheric turbulence, Incoherent beam combining.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-01]

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

۱- مقدمه

لیزرهایی با شدت و توان بالا طیف گسترده‌ای از کاربردها را در پردازش مواد و جراحی‌های پزشکی تا کنترل از راه دور، نظامی و دیگر زمینه‌ها ارائه می‌دهند. لیزرهای با شدت بالا با اثراتی مانند گرم شدن ماده، آسیب اپتیکی و اثرات غیرخطی همراه هستند. یک سیستم انرژی جهتمند باید توانایی ارسال توان‌های بالا از طریق جو به سمت هدف را داشته باشد.چنین سیستمی باید دارای پایداری مناسب و همچنین کم‌حجم باشد[۱] . لازم به ذکر است، پیشرفت‌های اخیر در لیزرهای حالت جامد، به ویژه لیزرهای فیبری سبب شده تا این نوع لیزرها به عنوان گزینه‌ای برای کاربردهای انرژی جهتمند انتخاب شوند. از جمله راه‌کارهای پیشنهادی به منظور افزایش توان و شدت سیستم‌های لیزری، ترکیب باریکه می‌باشد. به طور کلی دو نوع روش ترکیب باریکه وجود دارد : ترکیب همدوس و ترکیب ناهمدوس باریکه. روش ترکیب همدوس با وجود مزایای بسیاری از قبیل حفظ کیفیت باریکه پرهزینه بوده و پیچیدگی‌های فنی زیادی از قبیل قفل‌شدگی فاز و پهنای خطی باریک، $\frac{\delta\lambda}{\lambda} < 10^{-6}$ ، را دارد[۲]. در مقابل روش ناهمدوس هزینه پایین‌تری دارد و با روشهایی نظیر آرایه لنزی و طیفی قابل انجام است.در این مقاله به معرفی روش آرایه لنزی که از یک هندسه تلسکوپی برای کانونی کردن پرتوها استفاده می‌کند، می‌پردازیم. در این روش می‌توان با تنظیم فاصله بین دو آینه لکه کانونی را کنترل کرد. در این تحقیق محاسبات با استفاده از برنامه‌نویسی با نرم افزار MATLAB انجام شده و نشان داده شده است که برخی ویژگی‌های باریکه مانند شدت باریکه و اندازه لکه در تلاطم جوی متوسط تا قوی در روش همدوس و ناهمدوس تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. در شکل۱ طرحواره‌ای از روش ترکیب آرایه لنزی که یکی از روش‌های ترکیب ناهمدوس می‌باشد، نمایش داده شده است.



شکل ۱: طرحواره‌ای از روش ترکیب آرایه‌ای با استفاده از لیزرهای فیبری[۱]

۲- فرمول‌بندی انتشار باریکه‌های لیزر در جو

سیستم‌های الکترواپتیکی با سه مولفه اصلی شامل منبع، آشکارساز و محیط انتشار مشخص می‌شوند، با توجه به اینکه اغلب دو مولفه منبع و آشکارساز دارای کیفیت خوبی هستند، مولفه محیط انتشار را می‌توان عامل محدودکننده در این سیستم‌ها دانست. با توجه به کاربردهای ارسال امواج در جو مانند تصویربرداری نجومی، ارتباطات اپتیکی فضای آزاد، سنجش از راه دور و رادار لیزر، متأسفانه پدیده‌های فیزیکی مانند جذب، پراکندگی و نوسانات ضریب شکست (تلاطم اپتیکی) اثرات زیان‌باری در عملکرد سیستم‌های الکترواپتیکی دارند. علاوه بر اتلاف به سبب پدیده‌های خوش‌رفتار جذب و پراکندگی، پدیده فیزیکی دیگری با عنوان شکوفه‌زنی حرارتی(thermal blooming) زمانی اتفاق می‌افتد که باریکه‌های لیزر با انرژی بالا از طریق جو منتشر و بخش کمی از انرژی توسط مولکول‌ها و ذرات موجود در هوا جذب می‌شود. در نتیجه هوا به صورت موضعی گرم و در نهایت منجر به کاهش چگالی هوا و واگرایی باریکه می‌شود. با توجه به انتشار باریکه‌های لیزر در شرایط متفاوت، یکی از پارامترهای مشخص‌کننده سطح تلاطم، ثابت ساختار ضریب شکست (C_n^2)

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-01]

می‌باشد. از مهم‌ترین پارامترهای باریکه لیزر در جو، میانگین زمانی اندازه لکه R(L) در فاصله انتشار L بوده، که به صورت رابطه (۱) داده می شود:[۳]

$$R^2(L) = \left(\frac{\lambda L}{\pi R_0}\right)^2 \left(M^4 + 2.9\left(\frac{R_0}{r_0}\right)^2\right) + \Theta_{jitter}{}^2 L^2 + R_0^2\left(1 - \frac{L}{L_{focal}}\right)^2 \quad (۱)$$

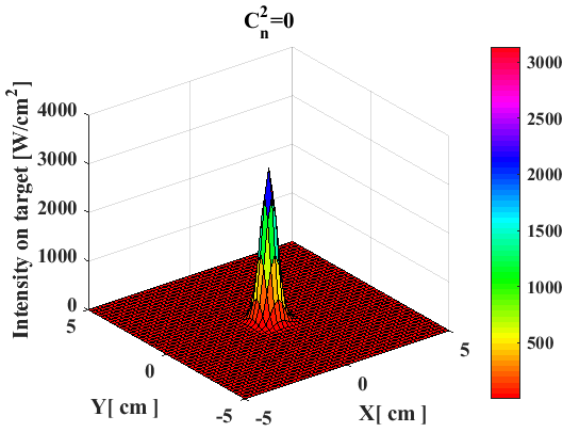
در رابطه (۱)، M^2 پارامتر کیفیت باریکه بوده، که مقدار آن برای باریکه لیزری دلخواه بزرگتر یا مساوی مقدار واحد $M^2 \geq 1$، است. هرچه مقدار این پارامتر کمتر باشد باریکه لیزری از کیفیت بهتر و در نتیجه واگرایی کمتر و قابلیت تمرکزپذیری بیشتری برخوردار خواهدبود. همچنین دررابطه (۱)، R_0 اندازه لکه اولیه، Θ_{jitter} زاویه واگرایی مرتبط به نوسانات مکانیکی محیط ارسال، L_{focal} فاصله کانونی، r_0 طول همدوسی عرضی (پارامتر فرید) که مربوط به تلاطم محیط بوده و با رابطه زیر تعریف می‌شود:[۱]

$$r_0 = 0.184\left(\frac{\lambda^2}{C_n^2 L}\right)^{\frac{3}{5}} \quad (۲)$$

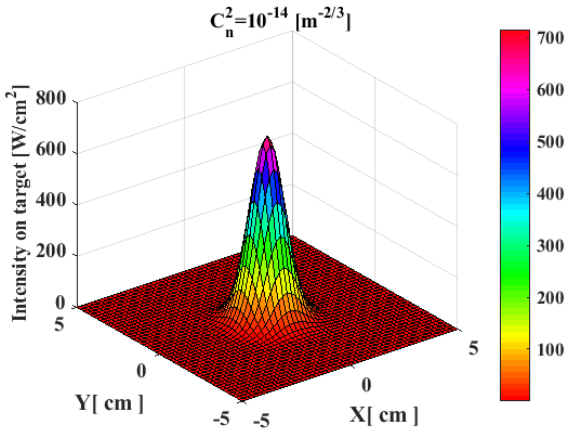
همانطور که بیان شد عبور باریکه لیزر از جو تابع طول موج مورد استفاده و پدیده‌های فیزیکی شامل جذب، پراکندگی و تلاطم اپتیکی است. همه این عوامل سبب می‌شود تا شدت لیزر به عنوان یک پارامتر مهم تحت تاثیر قرار گرفته و با تقریب شکل شبه گاوسی خود را حفظ نموده اما اندازه لکه آن بزرگتر شود.[۱]

$$\langle I(r, z = L)\rangle = I_0 \frac{R_0^2}{R^2(L)} \exp\left(\frac{-2r^2}{R^2(L)}\right) \quad (۳)$$

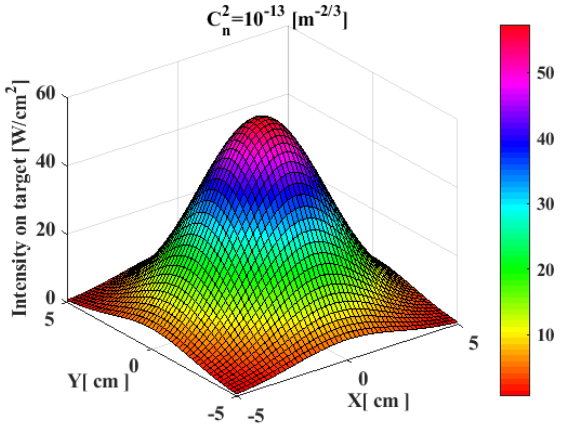
دررابطه (۳)، I_0 شدت اولیه لیزر و کمیت R(L) میانگین اندازه لکه لیزر معرفی شده در رابطه (۱) است. شکل(۲)، پروفایل شدت در فاصله هدف L =1Km، R_0 =5cm با توان اولیه لیزر 2Kw در سطوح تلاطم متفاوت را نمایش می دهد.



شکل ۲- الف- پروفایل شدت در ($C_n^2 = 0$).



شکل ۲: ب- پروفایل شدت در سطح تلاطم ($C_n^2 = 10^{-14}$).



شکل ۲:ج- پروفایل شدت در سطح تلاطم ($C_n^2 = 10^{-13}$).

۳- مقایسه ترکیب همدوس و ناهمدوس در جو

همانطور که پیش از این بیان شد، اجرای روش ناهمدوس در مقایسه با روش همدوس از پیچیدگی‌های فنی کمتری

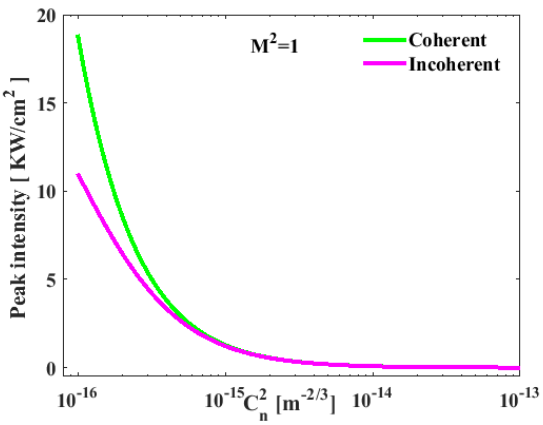
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-01]

برخوردار است. همین امر سبب شد در بسیاری از کاربردها روش ناهمدوس جایگزین روش همدوس شود. کمیت قله شدت باریکه به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود:[۱،۲،۳]

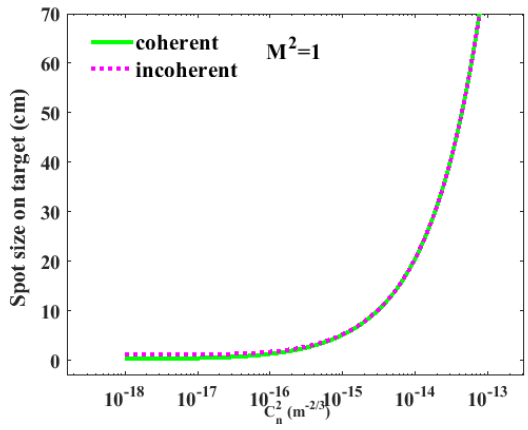
$$I_{Peak}= \left(\frac{6.28\,P_T}{M^4+2.9\left(\frac{R_0}{r_0}\right)^2+\left(\frac{\pi R_0\Theta_{jitter}}{\lambda}\right)^2}\right)\left(\frac{R_0}{\lambda L}\right)^2\exp(-\gamma L) \qquad (۴)$$

در رابطه (۴)، $\gamma=\alpha+\beta$ ضریب خاموشی بوده و این کمیت ناشی از مجموع اثرات جذب و پراکندگی ذرات موجود در محیط است. همچنین P_T توان ارسالی به سمت هدف می‌باشد. شکل(۳)، مثالی از روند تغییرات قله شدت برای هر دو پیکربندی همدوس و ناهمدوس را نشان می‌دهد. در این مثال طول موج یک میکرون، $P_T=100Kw$، L=6Km، $M^2=1$، همچنین ضرایب جذب و پراکندگی به ترتیب $\alpha=10^{-8}(cm^{-1})$ و $\beta=10^{-6}(cm^{-1})$ در نظر گرفته شده است. برای روش همدوس $R_{BD}=R_0=50\,cm$ و ناهمدوس $R_{BD}=\sqrt{N}\,R_0$ در نظر گرفته شده ، که در آن N تعداد باریکه‌هاست، در این مثال برای مورد ناهمدوس N=10 است.



شکل ۲:مقایسه قله شدت در روش همدوس و ناهمدوس.

همچنین می‌توانیم با استفاده از اطلاعات موجود در مسئله شکل(۳)، پارامتر اندازه لکه در هدف را برای دو روش همدوس و ناهمدوس با هدایتگر پرتو به شعاع R_{BD}) 50cm، با یکدیگر مقایسه کنیم.



شکل ۳:مقایسه اندازه لکه در هدف در سطوح تلاطم متفاوت برای دو روش همدوس و ناهمدوس.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به کاربردهای وسیع انتشار لیزر در جو و مقایسه میزان تغییرات پارامترهای مهم پرتو مانند شدت و اندازه لکه در هدف در تلاطم‌های متفاوت، می‌توان نتیجه گرفت در سطوح تلاطم متوسط تا قوی پارامترهای پرتو انتشاریافته با ترکیب ناهمدوس بسیار نزدیک به ترکیب همدوس است. بنابراین با توجه به مشکلات و پیچیدگی‌های فنی در روش ترکیب همدوس که در بخش مقدمه به آنها اشاره شد، در بسیاری از کاربردها می‌توان از روش ترکیب ناهمدوس به جای همدوس استفاده نمود.

مراجع

[1] P. Sprangle, A. Ting, J. Peñano, R. Fischer, and B. Hafizi, “incoherent combining and atmospheric propagation of high-power fiber lasers for directed-energy applications”, IEE J. Quantum Electronics, vol.45, No. 2, pp.138-148, 2009.

[2] P. Sprangle, A. Ting, B. Hafizi, R. Fischer, “High-power lasers for a directed-energy applications”, Journal of Applied physics, vol.54, No.31, 2015.

[3] P. Sprangle, J. Peñano, “ beam combining and atmospheric propagation of high power lasers”, Naval Research Laboratory reported, NRL/MR/6790-11-9371, 2011.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-01]