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

# اثر انحنای دیسک نازک روی تلفات پراش در رزوناتورهای بر پایه اکسیکون

**رضا آقبلاغی (r.aghbolaghi@gmail.com)، حبیب صاحب قران چره‌جلو(h.sahebghoran@ymail.com) ،**
**مصطفی آقازاده (m24.aghazadeh@gmail.com)**

**گروه فوتونیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بناب، بزرگراه بناب، بناب**

**چکیده – در این مقاله، پروفایل دامنه روی آینه‌ی خروجی، روی ماده فعال، اندازه لکه‌ی مرکزی و تلفات پراش با در نظر گرفتن شعاع‌های انحناهای مختلف برای محیط فعال و آینه خروجی در یک رزوناتور بر پایه اکسیکون برای لیزرهای دیسکی نازک بررسی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که با انتخاب شعاع انحنای مناسب برای دیسک نازک می‌توان تلفات پراش، اندازه لکه مرکزی، پروفایل دامنه را کنترل نمود و موجب بهبود کیفیت باریکه‌ی خروجی شد.**

کلید واژه- لیزر دیسکی نازک، اکسیکون، تلفات پراش رزوناتور، اثر تغیر شکل ماده فعال

# Thin Disk's Radius of Curvature Effects on Diffraction Loss in Axicon- Based Resonators

**Reza Aghbolaghi, r.aghbolaghi@gmail.com, Habib Sahebghoran Charehjaloo, h.sahebghoran@ymail.com, Mostafa Aghazadeh, m24.aghazadeh@gmail.com.**

**Photonics group, Basic science department, Bonab University, Bonab highway, Bonab**

Abstract- In this paper, The amplitude profile at the output coupler mirror and at the active medium, the spot size and the loss diffraction have been investigated in an axicon-based thin disk resonator by considering some radius of curvature for the thin disk and the output coupler. The results show the diffraction loss, the spot size and the amplitude profile can be controlled by selecting of the appropriate radius of curvature for the thin disk and causing improvement of output beam.

Keywords: thin disk laser, diffraction loss, radius curvature.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01 ]



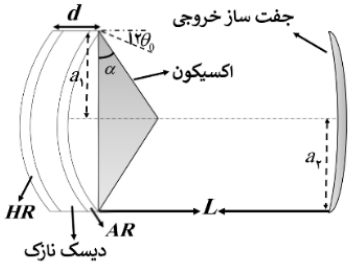
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

## مقدمه

در سال ۱۹۸۷ دسته‌ای از باریکه‌های غیرپراشی به نام بسل معرفی شدند که ناوردایی پروفایل عرضی در طول انتشار، یکی از ویژگی‌های برجسته آنها می‌باشد [1]. روش‌های متنوعی برای تولید آنها وجود دارد که می‌توان به روش استفاده از مدهای متمرکز شده [2]، استفاده از المان‌های فازی انکساری [3]، هولوگرام [4] و همچنین اکسیکون اشاره کرد [5]. می توان هر یک از این روش ها در بیرون یا داخل کاواک انجام داد. رزوناتور بر پایه اکسیکون برای اولین بار توسط روگل سالازارو و همکارانش و همزمان بطور مستقل توسط خیلوو و همکارانش پیشنهاد شد [6,7]. پایین بودن اثرات مخرب گرمایی ناشی از گرادیان، یکی از ویژگی‌های برجسته پیکربندی لیزرهای دیسکی می‌باشد که برای اولین بار توسط آدولف گیزن در سال ۱۹۹۴ معرفی شد [8]. کم بودن اختلاف انرژی بین تراز پایین لیزری با تراز پایه، رسانایی حرارتی مناسب میزبان و بالا بودن طول عمر از جمله ویژگی‌های مهم Yb:YAG است و باعث می‌شود تا از آن به عنوان محیط فعال در لیزرهای دیسکی نازک برای داشتن خروجی با توان بالا استفاده شود [9]. از مزایای این نوع لیزرها می‌توان به خروجی آن با توان بالا همراه با کیفیت خوب اشاره کرد. به همین دلیل برای تولید باریکه‌های خاص پیشنهاد می‌شوند برای مثال در [10] باریکه‌های با قطبش شعاعی و مماسی در یک پیکربندی رزوناتور دیسکی نازک تولید شده است. ما این پیکربندی را برای دیسک نازک گزارش کردیم [11]. وجود بار گرمایی در محیط فعال باعث تغییر شکل دیسک می‌شود و انتخاب انحنای اولیه در این فرآیند نقش اساسی بازی می‌کند. اثرات انحنای دیسک نازک روی پرفایل مد غالب رزوناتور قبلا توسط نویسندگان همین مقاله بررسی شده است [13,12]. قابل ذکر است که در [14] میزان تغییر شکل دیسک نازک توسط ضریب $M^2$ بررسی شده است. بررسی اثر انحنای دیسک نازک روی تلفات پراش و اندازه لکه مد غالب می‌تواند دید جامعی در مورد رفتار رزوناتور بدهد. بنابراین در طراحی رزوناتور، اگر دیسک نازک بصورت انحنادار انتخاب شود در برخی نواحی تلفات کاواک در اثر تغییر شکل دیسک تغییر نمی‌کند و بازده و کیفیت باریکه حفظ می‌شود و در نتیجه توان خروجی افزایش می‌یابد. در این مقاله، ابتدا چیدمان رزوناتور برپایه اکسیکون در لیزر دیسک نازک مرور شده است. سپس با استفاده از روش تکرار فکس- لی پروفایل دامنه باریکه بسل-گاوسی استخراج شده است و در نهایت تلفات پراش کاواک برحسب تغییرات شعاع انحنای دیسک نازک و جفت‌ساز خروجی تحلیل شده‌اند.

## پیکربندی رزوناتور پیشنهادی و انتگرال پراش

شکل ۱ پیکربندی رزوناتور پیشنهادی را نشان می‌دهد که شامل سه قسمت اصلی دیسک نازک، اکسیکون و جفت-ساز خروجی است. روی دیسک یک لایه‌ی بازتابنده‌ی کامل در سطح پشتی و یک لایه‌ی عبوردهنده‌ی کامل (ضد بازتاب) در سطح جلویی برای هر دو طول موج لیزر و پمپاژ وجود دارد.




شکل۱ : پیکربندی رزوناتور متشکل از اکسیکون و لیزر دیسک نازک انحنا دار با ضخامت ۲۰۰ میکرومتر و جفت‌ساز خروجی. ضریب شکست دیسک و اکسیکون برابر با ۱/۸ است. زاویه رأس اکسیکون α برابر ۰/۵ درجه است.

جهت شبیه‌سازی رزوناتور از روش کلاسیکی فکس- لی استفاده کرده‌ایم. جهت محاسبه انتشار از انتگرال پراش هویگنس-فرنل استفاده شده است [15]. تابع عبور اکسیکون، جفت‌سازخروجی یا دیسک نازک است و بصورت زیر تعریف می‌شوند:



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

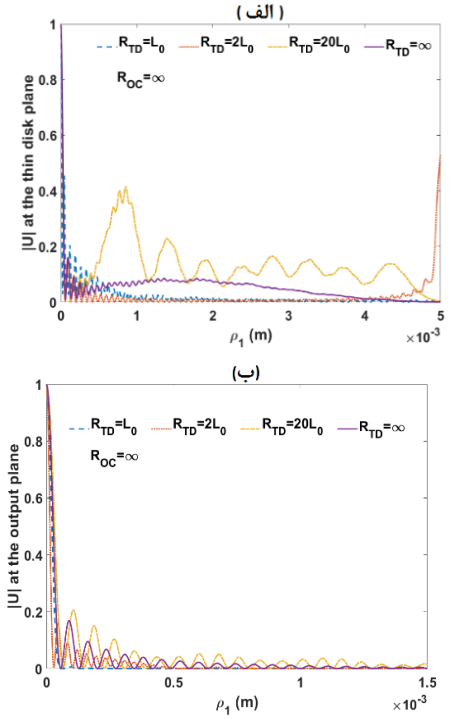
[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01 ]

$$T_{axicon}(\rho_1) = \exp\left(-i\,2k\,\theta_0\,\rho_1\right)$$
$$T_{OC}(\rho_2) = exp\left(-ik\,\rho_2^2/R_{OC}\right)$$
$$T_{TD}(\rho_1) = exp\left(-ik\,\rho_1^2/R_{TD}\right) \qquad (۱)$$

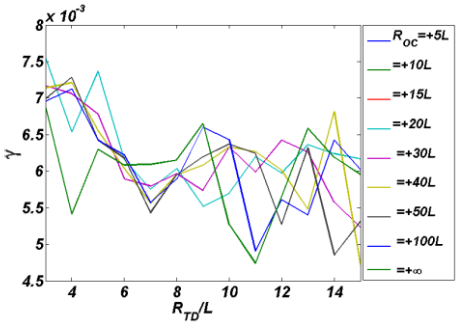
در این روابط $R_{TD}$ شعاع انحنای دیسک و $R_{OC}$ شعاع انحنای آینه‌ی جفت‌ساز خروجی می‌باشند. $\theta_0$ زاویه بردار موج نسبت به محور z می‌باشد. تلفات پراش در هر بار عبور از رابطهٔ $\gamma = ۱ - P_i/P_{i-۱}$ محاسبه می‌شود که در آن $P_i$ توان باریکه در دور $i$ام است و برابر است با $P_i = 2\pi\int I_i\,rdr$. همچنین $I_i$ شدت باریکه در دور $i$ام در روی صفحهٔ اکسیکون یا جفت‌ساز خروجی است.

## منحنی‌های پروفایل دامنه و تلفات پراش

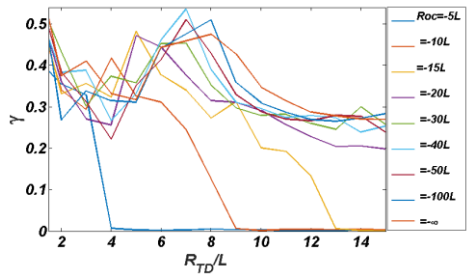
حل عددی انتگرال پراش فرنل-کریشهف با در نظر گرفتن ۴۰۰ بار رفت- برگشت و تقسیم‌بندی کردن $\rho_1$ و $\rho_2$ به ۱۵۰۰ قسمت مساوی از صفر تا $۰,۵mm$ انجام شده است. در شکل ۲ با در نظر گرفتن تغییرات شعاع انحنای دیسک نازک و با تخت فرض کردن آینه‌ی جفت‌ساز خروجی پروفایل دامنه بسل-گاوسی در روی صفحات دیسک نازک و خروجی رسم شده‌اند. حلقه‌های بسل در روی آینه خروجی در بازه‌ی $\rho_1 : 0 \to 1.5mm$ مشاهده می‌شوند و بعد از آن تقریبا ناپدید می‌شوند (۲-ب). روی صفحه‌ی آینه‌ی خروجی تغییرات اندازه لکه مرکزی باریکه با تغییر $R_{TD}$ بیشتر محسوس است (۲-ب). همچنین وقتی $R_{TD} = +20L$ پروفایل دامنه روی صفحه دیسک (۲-الف) نامنظم بوده و برای $R_{TD} = +2L$ دو پیک در ابتدا و انتهای بازه $\rho_1$ مشاهده می‌شوند. در ادامه، تلفات پراش با در نظر گرفتن شعاع انحناهای مختلف $R_{TD}$ و $R_{OC}$ بررسی شده‌اند. با توجه به شکل ۳، کمترین تلفات پراش در ناحیه $R_{TD} > 0$ و $R_{OC} > 0$ مشاهده شد. در شکل ۴، با فرض $R_{TD} > 0$ و $R_{OC} < 0$، کمترین تلفات پراش تنها برای شعاع انحنای کمتر از 15L- برای آینه‌ی خروجی و برای شعاع انحنای بزرگتر از 2L برای دیسک وجود دارد.




شکل۲ : تغییرات دامنه برحسب شعاع انحنای مثبت برای دیسک نازک در (الف) روی سطح دیسک نازک (ب) روی سطح آینه خروجی رسم شده است.




شکل۳ : تلفات پراش برای $R_{TD} > 0$ و $R_{OC} > 0$ را نشان می‌دهد.

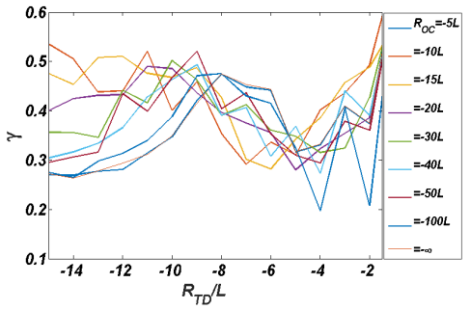



شکل۴ : تلفات پراش برای $R_{TD} > 0$ و $R_{OC} < 0$ را نشان می‌دهد.



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

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01 ]




شکل۵ : تلفات پراش $R_{TD}<0$ و $R_{OC}<0$، را نشان می‌دهد.

در شکل ۵ برای ناحیه $R_{TD}<0$ و $R_{OC}<0$ تلفات پراش رسم شده است. مشاهده می‌شود که تلفات پراش بسیار بالا بوده و در حد یک دهم می‌باشد. در نتیجه می‌توان از منحنی‌های شکل‌های ۳ و ۴ نواحی کاری مناسب برای رزوناتور انتخاب نمود.

## نتیجه‌گیری

در این مقاله پروفایل دامنه و تلفات مدهای غالب رزوناتور بر پایه اکسیکون مناسب برای لیزر دیسکی بررسی گردید. مشاهده شد با انتخاب شعاع انحنای مناسب برای دیسک نازک پروفایل دامنه، شعاع لکه مرکزی و تلفات پراش را می‌توان کنترل کرد. همچنین مشاهده شد وقتی دیسک و آینه خروجی مقعر باشند تلفات پراش کمترین مقدار خود را دارند (از مرتبه یک هزارم) و موجب افزایش بازدهی و کیفیت باریکه می‌شوند.

## مرجع‌ها

[1] J. Durnin, “Exact solutions for nondiffracting beams. I. the Scalar theory,” J. Opt. Soc. Am. A 4, 651–654, 1987.

[2] W.X. Cong, N.X. Chen, and B.Y. Gu, “Generation of no diffracting beams by diffractive phase elements,” J. Opt. Soc. Am. A 15.2362–2364, 1998.

[3] J. Turunen, A. Vasara, and A. T. Friberg, “Holographic generation of diffraction-free beams,” Appl. Opt. 27. (1988) 3959–3962, 1988.

[4] Vasara,J.Turunen, and A. T. Friberg, “Realization of general nondiffracting beams with computer-generated holograms,” J. Opt. Soc. Am. A 6. 1748–1754, 1989.

[5] G. Scott and N. McArdle, ‘‘Efficient generation of nearly diffraction-free beams using an axicon,’’ Opt. Eng. 3, 2640–2643, 1992.

[6] J. Rogel-Salazar, G. H. C. New, and S. Chávez-Cerda,“Bessel–Gauss beam optical resonator,” Opt. Commun.190. 117–122, 2001.

[7] A. N. Khilo, E. G. Katranji, and A. A. Ryzhevich, “Axiconbased Bessel resonator: analytical description and experiment,” J. Opt. Soc. Am. A 18. (2001) 1986–1992, 2001.

[8] Giesen and J. Speiser, “Fifteen years of work on thin-disk lasers: results and scaling laws”, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 13 (3). 598, 2007.

[9] Hagop Injeyan, Gregory Goodno ,“High Power Laser Handbook,” McGraw-Hill Professiona, 2001.

[10] R. Aghbolaghi and H. Sahebghoran, "Radially and azimuthally polarized laser beams by thin-disk laser," Appl. Opt. 55. 3510-3517, 2016.

[11] R. Aghbolaghi, S. Batebi, and J. Sabaghzadeh, "Thin-disk laser with Bessel-like output beam: theory and simulations," Appl. Opt. 52. 683-689. 2013.

[۱۲] رضا آقبلاغی، حبیب صاحب قران چره‌جلو، رباب زادجمال سیفی، " اثر تغییر شکل باریکه روی باریکه خروجی"، ۲۳ کنفرانس اپتیک و فوتونیک و ۹ کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۹۵.

[۱۳] رضا آقبلاغی، حبیب صاحب قران چره‌جلو، رباب زادجمال سیفی، " اثر انحنای عدسی مخروطی روی پروفایل خروجی تشدیدگر بر پایه عدسی مخروطی"، پنجمین همایش ملی مهندسی اپتیک و لیزر ایران، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۹۶.

[14] T. Miura, T. Suganuma and Akira Endo, "Basic Characteristics of High Power Yb: YAG Thin-Disk Laser toward Short Pulse Operation," *2005* Pacific Rim Conference on Lasers & Electro-Optics, Tokyo, Japan, pp. 50-51, 2005.

[15] Raúl I. Hernández-Aranda, Sabino Chávez-Cerda, and Julio C. Gutiérrez-Vega, "Theory of the unstable Bessel resonator," J. Opt. Soc. Am. A 2. 1909-1917, 2005.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01 ]



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