بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

# بررسی اثر آرایش الکترود آند بر پارامترهای عملکرد لیزر گازکربنیک پیوسته با جریان عرضی سریع گاز

الهه قاسمی[۲]، سعید جلوانی[۱]، محسن منتظرالقائم[۱]، مهدی شایگان‌منش[۲]، داوود اسماعیل‌پور[۱]

[۱]پژوهشکده لیزر و اپتیک، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران

[۲]دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، نارمک، تهران

**چکیده:** در این مقاله نتایج تجربی حاصل از اثر آرایش الکترود آند بر پارامترهای عملکرد لیزر گازکربنیک پیوسته با جریان عرضی سریع گاز مورد بررسی قرار گرفته است. از میان آرایش‌های مختلف، برای طرحی که شامل ۱۵ پین از جنس استیل ضدزنگ به عنوان الکترود آند و یک کاتد لوله‌ای از جنس مس و به طول ۱۵ cm بوده است، بیشترین توان خروجی ثبت گردیده است. در این حالت نسبت گازی $CO_2:N_2:He \equiv ۱ : ۲/۵ : ۱$ و فشار کل ۱۸۰ میلی بار و استفاده از گپ تخلیه ۱/۵ cm، توان خروجی۱۷/۲ وات را ایجاد نموده است. هم‌چنین، بیشترین بازده الکترواپتیکی لیزر، برابر ۵/۸۱٪ برآورد گردیده است.

کلید واژه: ترازهای انرژی لیزر $CO_2$، تخلیه الکتریکی در لیزرهای گازی، لیزر $CO_2$ عرضی.

# The effects of anode electrode configuration on the performance of fast transverse-flow CW $CO_2$ laser

Elaheh Ghasemi[2], Saeid Jelvani[1], Mohsen Montazerolghaem[1], Mahdi Shaygan manesh[2], Davood Esmaeil pour[1]

[1]Laser and optic research school, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Tehran

[2] Physics Department, Iran University of Science and Technology (IUST), Narmak, Tehran

**Abstract:** In this work, the effect of the anode electrode configuration on the performance of a fast transvers flow CW $CO_2$ laser is investigated. The optimum configuration consists of a 15 pins stainless steel as the anode electrode and a water-cooled copper tube of 10mm outer diameter, 15cm length as the cathode. For the gas ratio of $CO_2$: $N_2$: He ≡ 1: 2.5: 1, total pressure of 180 mbar and a discharge gap of 1.5cm, the output power of 17.2W is achieved. Also, the highest value of electro-optical efficiency for the laser is estimated about 5.81%.

Keywords: electrodes configuration, fast transvers flow CW $CO_2$ laser.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03 ]



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

## مقدمه

لیزر $CO_2$ یکی از پرکاربردترین لیزرهایی است که تا به امروز کشف شده و بیشترین مطالعات درباره آن انجام گرفته است[۱]. لیزرهای $CO_2$ به دو صورت پالسی و موج پیوسته(CW) کار می‌کنند. اگر جهت شارش گاز در این لیزرها بر راستای محور اپتیکی و تخلیه الکتریکی عمود باشد، آن‌ها را لیزر با شارش عرضی گاز می‌نامند و فرآیند غالب خنک‌سازی در این نوع لیزرها از راه همرفت می‌باشد، یعنی برای خنک‌ساختن محفظه تخلیه، گرمای ناشی از تخلیه الکتریکی با جابه‌جایی گاز به محیط بیرون تخلیه منتقل شود. در لیزرهای شارش سریع، معمولاً مقداری از آمیزه گازی به‌گونه‌ای پیوسته از مخزن گاز به محفظه تخلیه تزریق می‌شود و توسط یک پمپ چرخش گاز، در محیط تخلیه به چرخش درمی‌آید. این نوع لیزرها معمولاً با تخلیه الکتریکی DC دمش می‌شوند[۹]. پژوهشگران تا کنون موفقیت‌هایی در زمینه چیدمان الکترودها و توان خروجی لیزر پر توان $CO_2$ با جریان عرضی گاز کسب کرده‌اند[۶-۲]. در این پژوهش کوشش گردیده است تا با طراحی و ساخت دو نمونه الکترود آند، بازدهی و توان خروجی لیزر گاز کربنیک پیوسته با جریان عرضی سریع گاز، برای هر آرایش گزارش و تحلیل شود.

## طراحی و ساخت

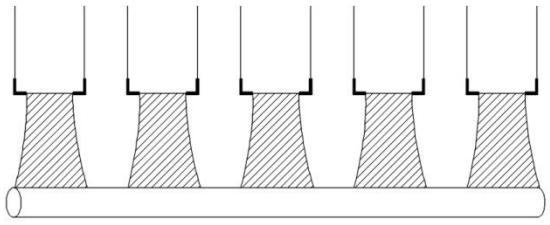
الکترودها(کاتد و آند)، از مواد گوناگون و در شکل و جنس‌های مختلف استفاده می‌گردند، هم‌چنین آرایش-های مختلفی برای ساخت الکترودهای لیزر $CO_2$، به‌ویژه برای آند، به‌کار گرفته می‌شوند که هر یک، از برتری‌ها و کاستی‌هایی برخوردارند. در لیزر مورد نظر، الکترود کاتد یک لوله مسی با قطر بیرونی ۱۰mm و ضخامت ۱mm، به طول ۱۵cm می‌باشد. دو آرایش برای الکترود آند طراحی و ساخته شد. اولین آرایش مورد نظر برای ساختار الکترود آند، طراحی آند سوزنی‌شکل(پینی) بود. دلایل استفاده از ساختار سوزنی یا پینی برای آند به قرار زیر است: اولاً، ساختار پینی الکترودها، از قابلیت بیشتری برای تنظیم موضعی جریان برخوردار بوده و انعطاف‌پذیری بیشتری برای ایجاد تغییرات جریان الکتریکی دارد. ثانیاً، گزارش-های متعددی استفاده از الکترودهای پینی در لیزرهای توان بالا را تایید می‌کنند[۸ و۷] .

برای استقرار الکترودهای آند از یک صفحه پلکسی‌گلاس به ضخامت ۱cm و ابعاد ۱۵cm×۲cm که در آن ۱۵عدد سوراخ با قطر ۲mm و فاصله ۹mm از یکدیگر تعبیه شده، استفاده شده است. سپس پین‌ها، به‌گونه‌ای که ۵cm آن‌ها از سوراخ‌ها بیرون باشد، درون این سوراخ‌ها نصب شدند. شکل۱ تصویری از مجموعه پین‌های آند نصب شده بر روی صفحه پلکسی گلاس را نشان می‌دهد.



شکل۱: مجموعه پین‌های آند نصب شده بر روی پلکسی گلاس

در آرایش دوم، آند از ۵ قطعه سیم مسی مقطع که طول مؤثر هر یک ۸mm و قطر آن‌ها ۲mm می‌باشد، تشکیل شده است. قسمت‌های نوک تیز و گوشه‌های هر قطعه با استفاده از وارنیش پوشانده شده است تا در هنگام اعمال ولتاژ به الکترودها، در این قسمت‌ها جرقه شدید ایجاد نشود. طرحواره این آرایش هم‌چنین نواحی دشارژ الکتریکی در شکل۲ نشان داده شده است.



شکل۲: طرحواره الکترودها، آند به‌صورت ۵ قطعه سیم مسی و نواحی دشارژ الکتریکی

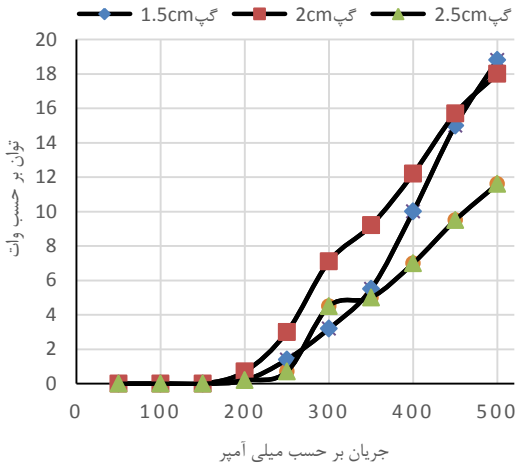
در هر یک از طرح‌های پیشنهادی برای الکترودهای لیزر، طی آزمایش‌هایی فشار و نسبت گازی بهینه که توان خروجی لیزر را بیشینه می‌کند، به‌دست آمد. نحوه یافتن فشار و نسبت گازی بهینه، بدین‌گونه بوده است که نخست چند نسبت گازی ویژه، که بر پایه داده‌های در دست، با کارکرد عمومی و خوب در این لیزرها همراه هستند برگزیده شوند و سپس، برای چند گام از پیش تعیین شده فشاری، توان خروجی لیزر در جریان‌های تخلیه گوناگون اندازه‌گیری و ثبت گردند.



[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03 ]

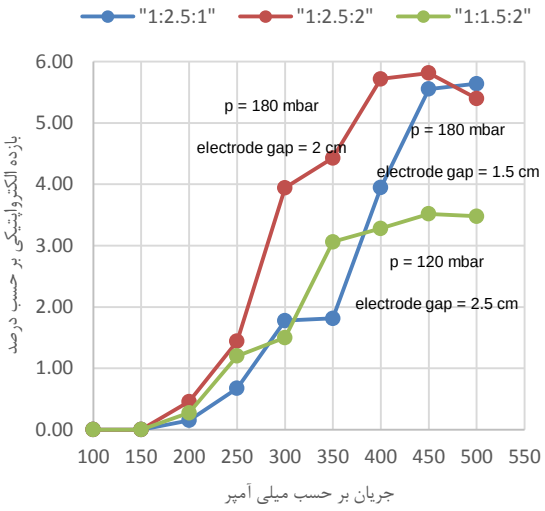
## نتایج آزمایش‌ها

ابتدا نتایج حاصل از آند سوزنی‌شکل گزارش می‌شود. با انجام آزمایشات گوناگون روشن شد که فشار بهینه مخلوط گازی لیزر برابر با ۱۸۰ میلی‌بار می‌باشد. در فشار بهینه، اثر جریان اعمال شده، بر توان خروجی لیزر برای نسبت‌های بهینه مخلوط گازی بررسی می‌شوند. نخست اثر شدت جریان الکتریکی بر توان خروجی لیزر در نسبت بهینه $CO_2:N_2:He \equiv ۱ : ۲/۵ : ۱$ بررسی می‌گردد. این تغییرات برای سه اندازه گپ متفاوت در نمودار شکل۳ نشان داده شده است.



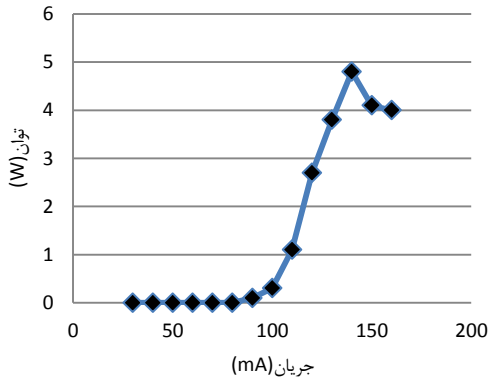

شکل۳: اثر شدت جریان الکتریکی بر توان خروجی لیزر برای سه اندازه گپ متفاوت

همان‌طور که در شکل۳ دیده می‌شود، افزایش شدت جریان الکتریکی سبب افزایش توان خروجی لیزر می‌گردد. این روند در تمامی گپ‌های تخلیه الکتریکی دیده می‌شود. این روند صعودی تا رسیدن به یک جریان الکتریکی مشخص ادامه پیدا کرده و پس از آن کاهش می‌یابد ولی با توجه به این‌که، با منبع تغذیه موجود در آزمایشگاه صنعتی گاز کربنیک، دسترسی به جریان‌های بالاتر از ۵۰۰ میلی‌آمپر مقدور نبوده است، لذا نمودارهای فوق در بازه ۰ تا ۵۰۰ میلی‌آمپر ترسیم گردید. شکل۴ نمودار بازدهی بهینه لیزر بر حسب جریان الکتریکی را به ازای نسبت‌های گازی متفاوت، اندازه گپ‌های مختلف و هم‌چنین مقادیر فشار کاری متفاوت نشان می‌دهد.




همان‌طور که در شکل۴ دیده می‌شود، با افزایش جریان تخلیه، بازدهی الکترواپتیکی در هر مورد افزایش می‌یابد و پس از رسیدن به یک نقطه بهینه، رو به کاهش می‌گذارد. بیشینه بازدهی‌های به‌دست آمده، برابر ۶/۳٪ و ۶/۲٪ و برای دو شرایط گوناگون برای گپ‌های ۲/۵ cm و ۴ cm با توان‌های خروجی بسیار نابرابر ۵W و ۲/۹۴ W هستند.

در این مرحله نتایج حاصل از آرایش دوم، آند به شکل ۵ قطعه سیم مسی ارائه می‌شود. گپ تخلیه روی ۲cm تنظیم شد. بازه فشار گاز ۱۷۰mbar-۳۰ و آینه‌های لیزر به طور دقیق و در فشار خلاء تنظیم اپتیکی شدند. بهترین و بیشترین توان خروجی برابر ۴/۸ وات در فشار ۱۴۰ میلی‌بار و گپ ۲cm با نسبت گازی $CO_2:N_2:He \equiv ۱ : ۲ : ۳$ در ولتاژ ۴KV و جریان ۱۴۰mA به‌دست آمد. در شکل۵ نمودار توان بر حسب جریان الکتریکی در شرایط مذکور آورده شده است.

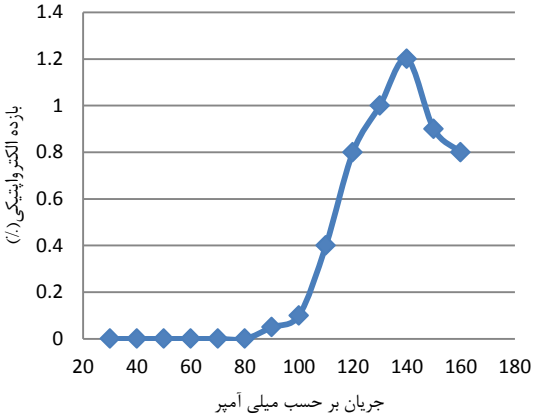



شکل ۵: نمودار توان بر حسب جریان الکتریکی با آرایش الکترودی آند ۵ قطعه سیم مسی و کاتد لوله مسی در گپ تخلیه ۲cm



[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03 ]

در این حالت نیز بازده الکترواپتیکی لیزر بر حسب جریان تخلیه محاسبه شده و به‌صورت نمودار شکل۶ می‌باشد.




شکل۶: نمودار بازده الکترواپتیکی بر حسب جریان تخلیه با آرایش الکترودی آند ۵ قطعه سیم مسی و کاتد لوله مسی در فشار ۱۴۰mbar و گپ تخلیه ۲cm با نسبت گازی۳: ۲: ۱≡ $CO_2$:$N_2$:He

همان‌گونه که در شکل۶ دیده می‌شود، با افـزایش جریـان تخلیه، بازدهی الکترواپتیکی نیز افزایش می‌یابـد و پـس از رسیدن به یـک نقطـه بهینـه، رو بـه کـاهش مـی‌گـذارد. بیشینه بازدهی به‌دست آمده، برابر ۱/۲٪ برای گپ تخلیه ۲cm معادل توان خروجی ۴/۸W می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

در این مقاله اثر آرایش الکترود آند بر پارامترهای عملکرد لیزر گازکربنیک پیوسته با جریان عرضی سریع گاز به طور تجربی بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که بهترین ساختار برای الکترود آند، آند سوزنی‌شکل می‌باشد که با بهینه-سازی در نسبت گاز و فشار کل مخلوط گاز فعال لیزر و نیز مقدار انرژی ورودی، توان خروجی بیشینه ۱۷/۲حاصل گردید که در این توان، نسبت مخلوط گازی ۱ : ۲/۵ : ۱ ≡ $CO_2$:$N_2$:He در فشار کل ۱۸۰mbar، گپ تخلیه الکتریکی ۱/۵ سانتی‌متر می‌باشد. در این آرایش در شرایط بهینه نسبت به آرایش دیگر، از هلیوم کمتری استفاده شده است. هم‌چنین جریان آستانه در آرایش دوم کمتر از آرایش اول می‌باشد.

## مراجع


[1] Joseph T.Verdeyen, "*Laser Electronics*", Third ed, Prentice-Hall, 1995.

[2] N Ben-Yosef, E Bin-Nun, "*Electrode configuration and power output for a transverse flow $CO_2$ laser*", notes on experimental technique apparatus, vol.4, 1971.

[3] A. D.Colley, H. J. Baker and D. R. Hall, "*Planar waveguide, 1kw CW, carbon dioxide laser excited by a single transverse rf discharge*", published by the American Institute of Physics, 1992.

[4] Ashish K. Nath, Lala Abhinandan, Praveen Choudhary, "*Operational characteristics of a pulse- sustained dc-excited transverse-flow cw $CO_2$ laser of 5kw output power*", optical engineering , vol.33 No. 6 , 1994.

[5] A. K. Nath and A. K. Biswas, "*Optical gain and saturation intensity in a transverse-flow cw $CO_2$ laser*", IEEE journal of quantum electronics, vol. 33, 1997.

[6] Martin G. Gonzalez, Ignacio J. Rios, Violeta D. Accurso, Guillermo D. Santiago, Carlos A. Rosito, "*An analytical approach to the design of electrodes in high-power fast transverse-flow $CO_2$ lasers*", optics & laser technology 37, 2004.

[7] A. D.Colley, H. J. Baker and D. R. Hall, "*Planar waveguide, 1kw CW, carbon dioxide laser excited by a single transverse rf discharge*", published by the American Institute of Physics, 1992.

[8] Ashish K. Nath, Lala Abhinandan, Praveen Choudhary, "*Operational characteristics of a pulse- sustained dc-excited transverse-flow cw $CO_2$ laser of 5kw output power*", optical engineering , vol.33 No. 6, 1994.

[۹] سعید جلوانی، محسن منتظرالقائم، "طراحی و ساخت لیزر گاز کربنیک پیوسته ۱۰ وات، با جریان عرضی سریع گاز"، گزارش علمی و فنی، پژوهشکده لیزر و اپتیک پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کد پروژه IS-LO-01-91-11 ، کد مدرک RP- IS-LO-01-91-11، اردیبهشت۱۳۹۳.




[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03 ]