



## بررسی تجربی اثر آمیزه‌های گازی بر شکل تپ لیزرهای CO<sub>2</sub>

سعید جلوانی<sup>۱\*</sup>، کاوه سیلاخوری<sup>۱</sup>، سهند زارع<sup>۲</sup>، محمود ملاباشی<sup>۲</sup>، مریم ایلچی<sup>۱</sup>، زهرا پورحسن‌نژاد<sup>۱</sup>، داود احدپور<sup>۱</sup>  
۱. پژوهشکده فوتونیک و فن‌آوری‌های کوانتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۱۴۳۹۵-۸۳۶، تهران - ایران  
۲. دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، کدپستی: ۱۶۸۴۶۱۳۱۱۴، تهران - ایران

\*Email: sjelvani@aeoi.org.ir

### مقاله‌ی فنی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۴/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۶/۱۴

### چکیده

در این مقاله، به بررسی اثر پارامترهای کاری گوناگون بر شکل تپ‌های خروجی یک لیزر CO<sub>2</sub> تپی فشار اتمسفری پرتکرار دست‌ساز (با آهنگ تکرار تا ۱ kHz) پرداخته شده است. در این راستا، عوامل گوناگونی هم‌چون: نسبت گاز N<sub>2</sub>، نسبت گاز He و بازتابندگی آینه جلویی تغییر داده شدند و انرژی و شکل تپ‌های گسیلی لیزر در هر یک از این حالت‌ها ثبت و مشخصه‌یابی شدند. نشان داده شد که با تغییر نسبت گازهای N<sub>2</sub> و He، می‌توان دیرش زمانی میخه و دنباله‌ی تپ‌ها را در بازه‌ی ۹۵-۱۴۰ ns و ۱.۵-۳.۵ μs تنظیم نمود. هم‌چنین، دریافته شد که با افزایش بازتابندگی آینه‌ی جلوی لیزر از ۵۰٪ به ۸۰٪، دیرش زمانی میخه‌ی تپ‌ها از ۵۰ ns به ۹۰ ns و دیرش زمانی دنباله‌ی آن‌ها نیز از ۴.۸ μs به ۲.۵ μs می‌رسد.

**کلیدواژه‌ها:** لیزر گاز کربنیک تپی، پهنای زمانی تپ، دنباله‌ی تپ

## Experimental investigation of the effects of the gas mixture on the CO<sub>2</sub> lasers Pulse shape

S. Jelvani<sup>\*1</sup>, K. Silakhori<sup>1</sup>, S. Zare<sup>2</sup>, M. Mollabashi<sup>2</sup>, M. Ilchi<sup>1</sup>, Z. Pourhasannejad<sup>1</sup>, D. Ahadpour<sup>1</sup>

1. Photonic and Quantum Technologies Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O.Box: 14395-836, Tehran - Iran
2. Physics Department, Iran University of Science and Technology, Postal Code: 1684613114, Tehran - Iran

### Technical Paper

Received 3.7.2021, Accepted 5.9.2021

### Abstract

This work investigates the effects of different operational parameters on the pulse shape of a homemade high repetition rate (1 kHz) pulsed CO<sub>2</sub> laser. Various parameters such as the ratio of N<sub>2</sub> and He in the laser gas mixture and the reflectivity of the laser front mirror have changed. Then, the energy and shape of the laser pulses were recorded and analyzed. It showed that by varying the ratios of N<sub>2</sub> and He in the laser gas mixture, the time duration of the spike and tail parts of the laser pulses can be changed in 95-140 ns and 1.5-3.5 μs range, respectively. In addition, we found that when the reflectivity of the cavity front mirror increases from 50% up to 80%, the spike duration increases from 50 ns up to 90 ns, and the tail duration decreases from 4.8 μs to 2.5 μs.

**Keywords:** Pulsed CO<sub>2</sub> laser, Pulse width, Pulse tail



## ۱. مقدمه

اگر چه نزدیک به شش دهه از ساخت لیزرهای گاز کربنیک می‌گذرد، هنوز هم باید آن‌ها را یکی از پرکاربردترین لیزرها در زمینه‌های گوناگون صنعتی، پزشکی، نظامی و پژوهشی به‌شمار آورد. در طی این سال‌ها، ویژگی‌های فیزیکی و کارکردی این لیزرها، چه از روش‌های تجربی [۱-۸] و چه از راه‌های نظری و شبیه‌سازی [۹-۱۳]، با جزئیات بسیار بررسی شده‌اند. با همه‌ی این‌ها، به‌دلیل پیچیدگی‌های بسیار نهفته در فیزیک عملکرد این دسته از لیزرها و هم‌چنین، تنوع فنی و ساختاری فراوان در نمونه‌های تپی و پیوسته‌ی آن‌ها، هنوز هم موارد مبهم و نکات ناشناخته‌ی بسیاری باقی مانده است. بخش بزرگی از پژوهش‌هایی که هنوز هم در این زمینه در دست پیگیری هستند، در راستای روشن ساختن همین ابهامات هستند. دشواری دست‌یابی به یک دانش فراگیر و داده‌های قابل استناد در زمینه‌ی لیزرهای گاز کربنیک، ریشه در فراوانی عوامل دست‌اندرکار در فرایند لیزری و وابستگی پیچیده و درهم‌تنیده‌ی آن‌ها با یک‌دیگر دارد. از میان این عوامل می‌توان مواردی هم‌چون: نسبت گازهای CO<sub>2</sub>، N<sub>2</sub> و He، و فشار کل آمیزه‌ی گازی، ولتاژ تخلیه، مدار الکتریکی، ظرفیت خازن‌های تخلیه، نوع پیش‌یونش، هندسه و جنس الکترودها، اپتیک تشدیدگر و مانند آن‌ها را نام برد.

متأسفانه، داده‌های تجربی فراوانی که در این زمینه به‌دست آمده‌اند، به‌گونه‌ای بسیار پراکنده، در شرایط کاملاً ناهمسان و با دستگاه‌های متفاوت به‌دست آمده‌اند. از همین رو، به‌سختی می‌توان به بینشی بهنجار شده از اثر نسبی هر یک از این عوامل در یک دستگاه مشخص دست یافت. در این پژوهش، کوشش گردیده است تا اثر برخی از عوامل کاری اصلی بر شکل و به‌ویژه پهنای زمانی تپ‌های لیزرهای CO<sub>2</sub>، به‌شیوه‌ای یک‌جا و منسجم بررسی و مشخصه‌یابی شوند، به‌گونه‌ای که بتوان به یک درک کیفی و کمی مناسب از نقش هر یک از آن‌ها در یک دستگاه لیزر دست یافت.

## ۲. مبانی نظری

لیزرهای گاز کربنیک با آمیزه‌ی گازی CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-He کار می‌کنند و توانایی گسیل در هر دو حالت پیوسته و تپی را دارند. از یک دیدگاه فراگیر، مولکول‌های N<sub>2</sub> با انبوه‌سازی تراز بالایی لیزری و اتم‌های He نیز با تخلیه‌ی تراز پایینی لیزری در مولکول CO<sub>2</sub>، وارونی انبوهی بیش‌تر در محیط فعال این لیزرها را فراهم می‌سازند. نمونه‌ای از شکل تپ‌های لیزر CO<sub>2</sub> تپی با فشار اتمسفر در شکل ۱ نشان داده شده. دیده می‌شود که این تپ‌ها دربرگیرنده‌ی یک میخه‌ی<sup>۱</sup> بزرگ و تیز پیش‌رو با دیرش<sup>۲</sup>

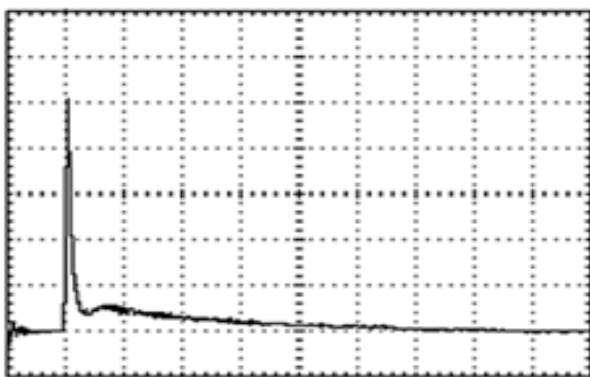
پیرامون ۱۰۰ ns و یک دنباله‌ی<sup>۳</sup> کوچک‌تر با درازای پیرامون ۵ μs است.

میخه‌ی بزرگ و تیز دیده شده، مربوط به وارونی انبوهی اولیه در پی دمش الکتریکی گاز است، که با بهره‌ی تقویت بسیار بالا انجام می‌شود. دنباله‌ی تپ، پیامد دمش برخوردی مولکول‌های CO<sub>2</sub> در تراز پایه با مولکول‌های برانگیخته‌ی N<sub>2</sub> است. ترازهای ارتعاشی مولکول‌های N<sub>2</sub> شبه‌پایدار<sup>۴</sup> و از دیدگاه انرژی با تراز بالایی لیزری مولکول‌های CO<sub>2</sub> در تشدید فرمی هستند. این ترازها با سطح‌مقطع بسیار بالایی در برخورد با الکترون‌های تخلیه‌ی الکتریکی برانگیخته می‌شوند و سپس، در برخورد با مولکول‌های CO<sub>2</sub> در تراز پایه، انرژی خود را به شیوه‌ای تشدید می‌دهند تا به تراز بالای لیزری گذار نمایند. این فرایند، که تا چند μs پس از پایان یافتن میخه‌ی تپ نیز ادامه می‌یابد، دنباله‌ی دراز و کم‌شدت دیده شده را پدید می‌آورد [۱، ۲، ۸].

## ۳. روش آزمایش

در این رشته آزمایش‌ها، از یک لیزر CO<sub>2</sub> فشار اتمسفری دست‌ساز بهره گرفته شد [۱۴] که تصویری از آن در شکل ۲ دیده می‌شود.

الکترودهای تخلیه با ابعاد ۹mm×۱۷cm و فاصله‌ی ۹ mm از هم، حجم فعال ۱۴ cm<sup>۳</sup> را فراهم می‌سازند، که با خازن‌های اصلی با ظرفیت ۱۳٫۵ nF دمیده می‌شود. سامانه‌ی پیش‌یونش از نوع ردیف جرقه و دربرگیرنده‌ی دو ردیف ۱۶ تایی از گاف‌های جرقه با فاصله‌ی ۱ cm از هم در دو کناره‌ی الکترودهای اصلی است. هر یک از این بین‌های پیش‌یونش به یک خازن ۱۰۰ pF متصل هستند. آینه‌های این لیزر، با نگه‌دارنده‌های مناسب و قابل تنظیم در دو سوی بدنه‌ی لیزر و در فاصله‌ی ۳۵ cm از هم جای داده شده‌اند.



شکل ۱. نمونه‌ای از شکل تپ‌های لیزر CO<sub>2</sub> تپی به کار رفته.

3. Tail

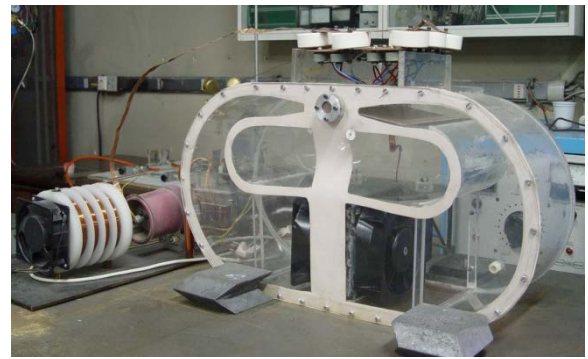
4. Metastable

1. Spike

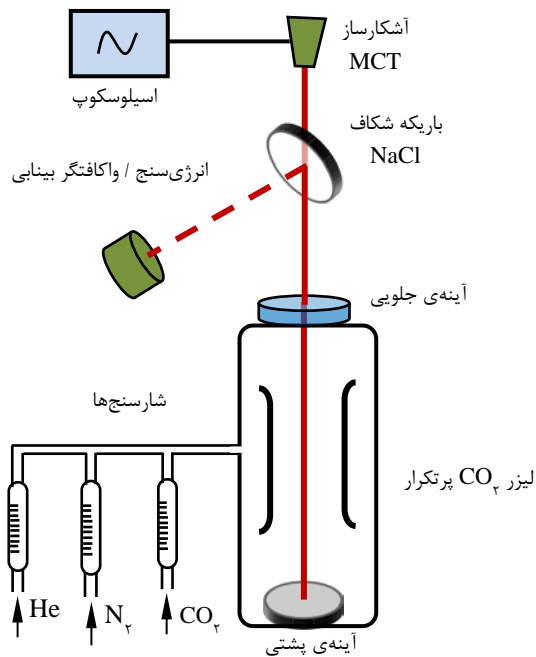
2. Duration



آشکارسازی تپ‌های خروجی ناشدنی می‌گردد. به همین دلیل، کم‌ترین نسبت  $\text{CO}_2:\text{N}_2$  برابر  $1:0.2$  گرفته شد. از سوی دیگر، با بالا رفتن نسبت گاز  $\text{N}_2$ ، ناپایداری‌های تخلیه نیز بیشتر می‌شوند و کارکرد لیزر با جرعه‌های فراوانی همراه می‌گردد. از همین‌رو، نسبت  $\text{CO}_2:\text{N}_2$  بالاتر از  $1:1.4$  برده نشد. شکل ۴ برخی از شکل تپ‌های گسیلی دریافتی در این حالت را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها، انرژی رسیده به آشکارساز به گونه‌ای تنظیم شده که دامنه‌ی کلی تپ‌ها تقریباً یکسان باشد.



شکل ۲. تصویری از لیزر  $\text{CO}_2$  تپی پرتکرار به کار رفته.



شکل ۳. طرح‌واره‌ی چیدمان به کار رفته در آزمایش‌ها.

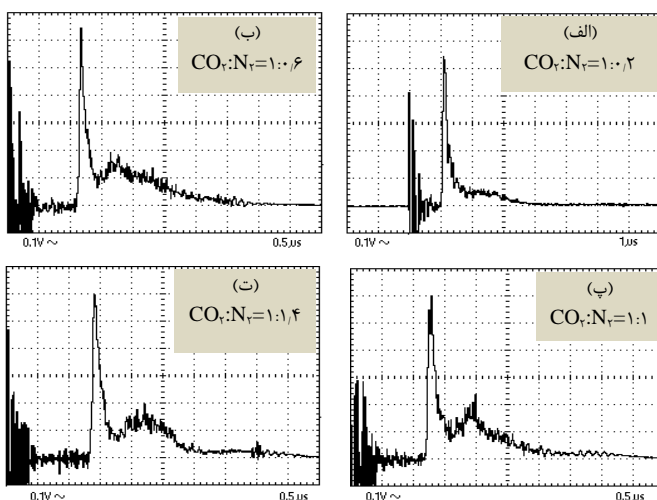
آینه‌ی پشتی یک آینه‌ی Au تمام بازتاب با فاصله کانونی ۷۵ cm و آینه‌های جلویی نیز، آینه‌های تخت Ge با لایه‌نشانی پادبازتاب و بازتابندگی‌های گوناگون بوده‌اند. در پایین حجم تخلیه، یک رادیاتور کار گذاشته شده که با جریان آب سرد کار خنک‌سازی گاز درون لیزر را انجام می‌دهد. همچنین، دو دم‌نده در دو سوی این رادیاتور هستند تا گاز را درون محفظه به گردش درآورند. طرح‌واره‌ی چیدمان به کار رفته برای انجام این آزمایش‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است.

بخش کوچکی ( $1/8$ ) از تپ‌های گسیلی لیزر، پس از برخورد با باریکه‌شکاف NaCl به یک انرژی‌سنج فرستاده می‌شود. با جایگزین کردن یک واکافتگر بینایی به جای انرژی‌سنج برای پایش خط گسیلی لیزر، نشان داده شد که لیزر همواره بر روی خط  $10P(20)$  با طول موج  $10.6 \mu\text{m}$  نوسان می‌کند. بخش تراگسیلی باریکه نیز به یک آشکارساز سریع MCT می‌رسد که به کمک یک اسیلوسکوپ دیجیتال ۲۵۰ MHz شکل زمانی آن‌ها را به دست می‌دهد. آمیزه‌ی گازی دربرگیرنده‌ی  $\text{He}$ ،  $\text{N}_2$  و  $\text{CO}_2$  با نسبت دلخواه و به کمک شارسنج‌های مناسب آماده و از راه دریچه‌ای که در بدنه وجود دارد وارد می‌شود و هم‌زمان، مقداری برابر با آن به گونه‌ای خودکار از راه دریچه‌ای که در آن سوی رادیاتور قرار دارد، بیرون داده می‌شود.

#### ۴. نتایج و بحث

##### ۱۰۴ بررسی اثر گاز ازت

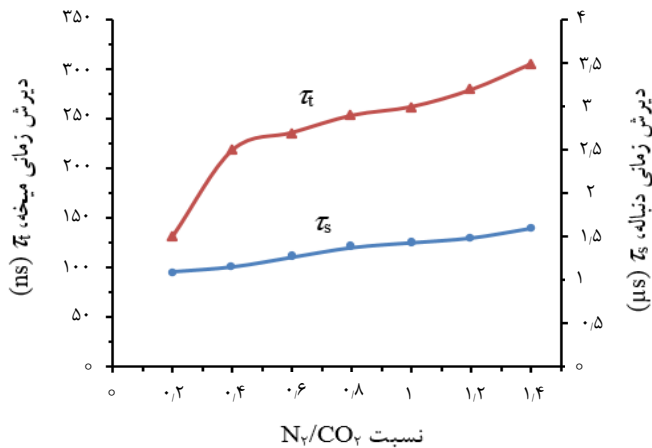
در این رشته آزمایش‌ها، نسبت  $\text{CO}_2:\text{He}$  برابر با  $1:5$  گرفته شد که در آن، پایداری تخلیه و انرژی خروجی لیزر از وضعیت کلی خوبی برخوردار بوده‌اند. سپس، نسبت  $\text{CO}_2:\text{N}_2$  از  $1:0.2$  تا  $1:1.4$  تغییر داده شد و هم‌زمان شکل تپ‌های لیزری مربوطه ثبت گردیدند. با کم شدن نسبت گاز  $\text{N}_2$ ، انرژی خروجی لیزر به شدت کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که اندازه‌گیری انرژی و



شکل ۴. برخی از شکل تپ‌های دریافتی برای نسبت‌های گوناگون  $\text{CO}_2:\text{N}_2$  در نسبت  $\text{CO}_2:\text{He}$  ثابت.

##### 1. Mercury-Cadmium-Telluride





شکل ۶. نمودار تغییرات دیرش زمانی میخه و دنباله‌ی تپ‌ها در نسبت‌های گوناگون CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> برای نسبت CO<sub>2</sub>:He ثابت.

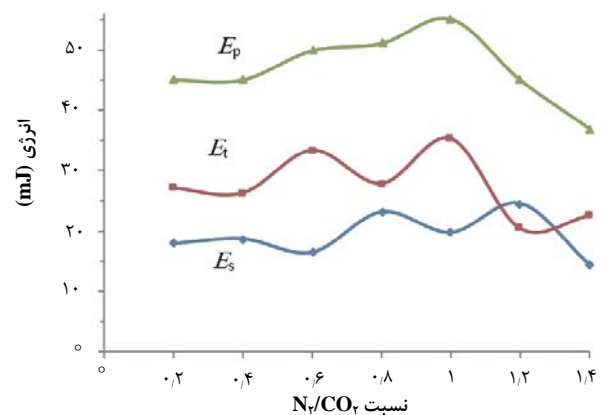
دیده می‌شود که دیرش میخه، از یک کمینه‌ی ۹۵ ns آغاز می‌شود و با بیش‌تر شدن نسبت گاز N<sub>2</sub>، به آرامی و با آهنگی نزدیک به خطی، تا ۱۴۰ ns افزایش می‌یابد. این که یک افزایش ۷ برابری در نسبت گاز N<sub>2</sub>، افزایشی کم‌تر از ۵۰٪ در دیرش میخه را به دنبال دارد، نشان از فرصت کوتاه واهلش‌های برخوردی در بازه‌ی زمانی کوتاه میخه‌ی تپ‌ها دارد. از سوی دیگر، دیرش دنباله که دارای کمینه‌ی ۱٫۵ μs است، نخست با رسیدن نسبت گاز N<sub>2</sub> از ۰٫۲ به ۰٫۴ جهشی ناگهانی به ۲٫۵ μs را پشت سر می‌گذارد، که نشان‌دهنده‌ی یک کارکرد گلوگاهی در نسبت گازها است. از آن پس، دیرش دنباله با یک افزایش نسبتاً یکنواخت و شیئی بسیار تندتر از میخه، تا ۳٫۵ μs افزایش می‌یابد.

#### ۲.۴ بررسی اثر گاز هلیوم

برای بررسی اثر تغییرات نسبت گاز He بر روی شکل تپ‌های لیزر، نسبت CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> بر روی ۱:۱ ثابت نگاه داشته شد، که برای آن، انرژی و پایداری کارکرد لیزر در وضعیت خوبی بوده‌اند. سپس، نسبت CO<sub>2</sub>:He تغییر داده شد و شکل تپ‌های خروجی لیزر در هر حالت ثبت شدند. برخی از این شکل‌های دریافتی در شکل ۷ آورده شده‌اند. دیده می‌شود که با بیش‌تر شدن نسبت گاز He، دنباله‌ی تپ‌ها از حالت گسسته بودن و قله‌ای دور می‌شود و حالتی کاملاً پیوسته با میخه به خود می‌گیرد. به‌گونه‌ای که دیگر نمی‌توان هم‌چون گذشته بخش‌های جداگانه‌ی میخه و دنباله را در آن‌ها از هم جدا نمود.

همان‌گونه که پیش‌بینی می‌شد، با بیش‌تر شدن سهم گاز N<sub>2</sub>، همراه با افزایش انرژی کلی تپ‌های گسیلی، طول دنباله‌ی تپ‌ها و به‌ویژه دامنه‌ی بیشینه‌ی آن‌ها نیز بیش‌تر می‌شود. برای تحلیل دقیق‌تر، نمودار تغییر انرژی تپ‌ها و هر یک از بخش‌های میخه و دنباله‌ی آن‌ها در شکل ۵ آورده شده است.

شایان یادآوری است که، سهم انرژی میخه و دنباله را می‌توان با اندازه‌گیری سطح زیر شکل تپ‌ها در هر بخش و دانستن این که این مساحت‌ها متناسب با انرژی مربوطه در تپ لیزری هستند، به‌دست آورد [۹]. پیش از هر چیز، دیده می‌شود که انرژی خروجی لیزر با افزایش نسبت گاز N<sub>2</sub> افزایش می‌یابد و پس از رسیدن به یک بیشینه در نسبت  $N_2 / CO_2 = 1$  به کاهش می‌گذارد. می‌دانیم که بیش‌تر شدن نسبت گاز N<sub>2</sub>، وارونی انبوهی و بهره‌ی نوسان لیزر را با بالاتر بردن آهنگ دمش برخوردی مولکول‌های CO<sub>2</sub> افزایش می‌دهد. با این حال، افزایش بیش از اندازه‌ی این گاز موجب به هم خوردن شرایط کاری لیزر، مانند میدان کاهیده ( $E/P$ ) می‌شود و افت انرژی لیزر را به دنبال می‌آورد. هم‌چنین، دیده می‌شود که سهم انرژی دنباله در شرایط معمولی بیش‌تر از سهم میخه‌ی تپ است. گذشته از برخی تغییرات نوسانی و کوچک که می‌توانند مربوط به خطاهای اندازه‌گیری باشند، با بیش‌تر شدن نسبت گاز N<sub>2</sub> اندازه‌ی سهم انرژی این دو بخش به هم نزدیک‌تر می‌شود. این رفتار گویای آن است که بالا بردن نسبت گاز N<sub>2</sub> در افزایش انرژی میخه‌ی تپ‌ها مؤثرتر از دنباله‌ی آن‌هاست؛ اگر چه، بزرگ‌تر شدن دنباله‌ی تپ‌ها به‌روشنی با چشم دیده می‌شود و در بیش‌تر گزارش‌ها نیز از آن سخن گفته می‌شود. نمودار تغییرات دیرش زمانی میخه و دنباله‌ی تپ‌ها در این شرایط در شکل ۶ آورده شده است.



شکل ۵. نمودار تغییرات انرژی تپ‌ها و بخش‌های میخه و دنباله‌ی آن‌ها در نسبت‌های گوناگون CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> برای نسبت CO<sub>2</sub>:He ثابت.

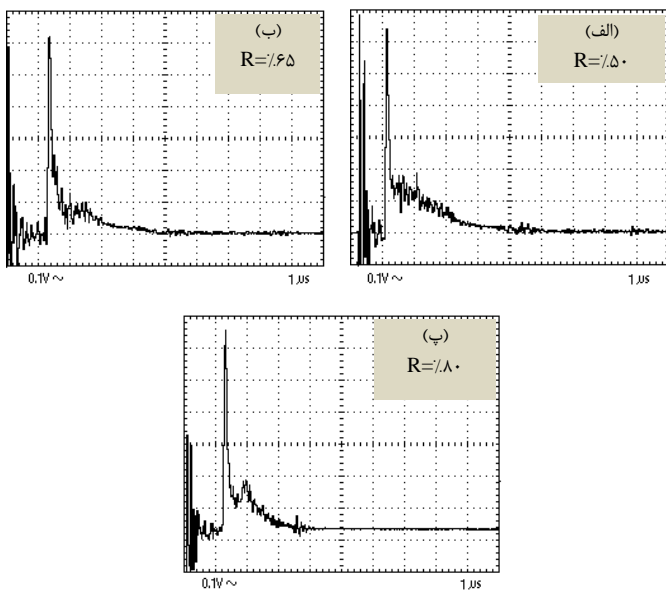


## ۳.۴ بررسی اثر بازتابندگی آینه‌ی جلویی

بازتابندگی آینه‌های کاواک لیزر نیز می‌تواند بر شکل تپ لیزر مؤثر باشد. برای بررسی این وابستگی، آینه‌هایی با بازتابندگی‌های ۸۰٪، ۶۵٪ و ۵۰٪ در کاواک لیزر کار گذاشته شدند و شکل تپ‌های گسیلی برای آمیزه‌ی گازی  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} \equiv 1:0.4:5$  ثبت شدند. نمونه‌هایی از شکل‌های دریافت شده در شکل ۸ نشان داده شده‌اند.

دیرش زمانی میخه و دنباله‌ی تپ‌ها در این شرایط نیز، در جدول ۱ آورده شده‌اند.

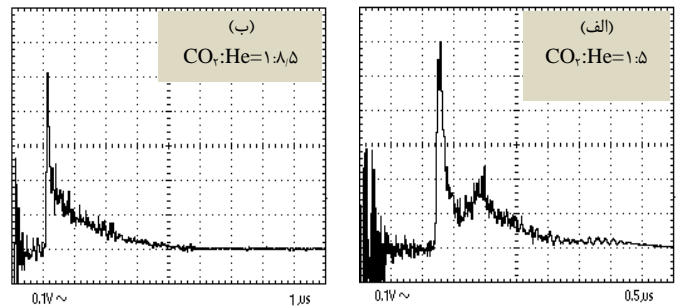
دیده می‌شود که برای بازتابندگی پایین ۵۰٪ آینه‌ی جلو، دنباله‌ی تپ‌ها حالتی پیوسته با میخه دارد و از حالت قله‌ای جداگانه در آن چیزی پیدا نیست. سپس، با بیش‌تر شدن بازتابندگی، دنباله‌ی تپ‌ها رفته‌رفته حالتی جدا شده از میخه پیدا می‌کنند و قله‌ی مربوط به آن‌ها نیز کم‌کم پدیدار می‌شود. تا جایی که برای بازتابندگی ۸۰٪، گودال میان دنباله و میخه‌ی تپ‌ها به‌خوبی شکل می‌گیرد و قله‌ی کاملاً جداگانه‌ای بر روی دنباله پدیدار می‌گردد. هم‌چنین، جدول ۱ آشکار می‌سازد که با افزایش بازتابندگی آینه، دیرش میخه‌ی تپ‌ها بیش‌تر و هم‌زمان دیرش دنباله‌ی تپ‌ها کوتاه‌تر می‌گردد.



شکل ۸. شکل تپ‌های دریافتی برای آینه‌های جلویی با بازتابندگی‌های گوناگون.

جدول ۱. اندازه‌ی دیرش زمانی میخه و دنباله‌ی تپ‌ها برای بازتابندگی‌های گوناگون آینه‌ی جلو

ردیف	بازتابندگی آینه‌ی جلوی	دیرش زمانی میخه (ns)	دیرش زمانی دنباله (μs)
۱	۵۰٪	۵۰	۴٫۸
۲	۶۵٪	۶۰	۳٫۵
۳	۸۰٪	۹۰	۲٫۵



شکل ۷. برخی از شکل تپ‌های دریافتی برای نسبت‌های گوناگون  $\text{CO}_2:\text{N}_2$  در نسبت  $\text{CO}_2:\text{He}$  ۱:۵.

در نسبت‌های کم He، میخه‌ی تپ پس از این که قله را پشت سر گذاشت، تا اندازه‌ای کامل و نزدیک به خاموشی فروکش می‌نماید. پس از آن، دنباله‌ی تپ از پایین رشد می‌کند و با رسیدن به یک بیشینه‌ی قله مانند، یک روند کاهشی کم‌شیب را در پیش می‌گیرد. این افت در میخه‌ی تپ به دلیل کاهش بهره‌ی تقویت یا کم شدن وارونی انبوهی است. چرا که با انجام گسیل القایی با آهنگ بسیار بالا در این بازه‌ی زمانی، تراز پایینی لیزری به‌تندی پر می‌شود و چون He موجود در آمیزه‌ی گازی نمی‌تواند با سرعت لازم آن را تخلیه نماید، وارونی انبوهی کاهش می‌یابد و در نتیجه، شدت تپ افت می‌نماید. پس از پایان یافتن این مرحله از گسیل القایی، اتم‌های He فرصت خواهند یافت تا تراز پایینی لیزری را خالی کنند و آن‌گاه، مولکول‌های  $\text{N}_2$  خواهند توانست با دمش مولکول‌های  $\text{CO}_2$  بار دیگر وارونی انبوهی را در محیط فعال برپا کنند و دنباله‌ی تپ را پدید آورند. به زبان بهتر، این گودال در میان میخه و دنباله‌ی تپ‌ها نشان‌دهنده‌ی بازه‌ی زمانی است که اتم‌های He نیاز دارند تا با خالی کردن ترازهای پایینی، که در پی گسیل القایی مربوط به میخه پر شده‌اند، به مولکول‌های  $\text{N}_2$  فرصت دهند تا با دمش مولکول‌های  $\text{CO}_2$ ، بار دیگر وارونی انبوهی را برپا نمایند. اکنون می‌توان دریافت که با بیش‌تر شدن نسبت گاز He، آهنگ تخلیه‌ی تراز پایینی لیزری نیز بیش‌تر می‌شود و بهره‌ی تقویت در زمان میخه و به‌ویژه در بخش‌های پایانی و کم‌شدت آن، دیرتر افت می‌نماید. در همین زمان، مولکول‌های  $\text{N}_2$  نیز مولکول‌های  $\text{CO}_2$  را به تراز بالایی دمش می‌کنند و از آهنگ افت شدت تپ گسیلی بیش‌تر می‌کاهند. پیامد روی هم رفته‌ی این فرایندها، ناپدید شدن گودال میان میخه و دنباله در شکل تپ‌های لیزری است، که در شکل‌های ثبت شده به‌خوبی دیده می‌شود.





به گونه‌ای جداگانه تغییر داد. مهم‌تر از همه این که، به این روش می‌توان سهم انرژی هر از بخش‌های میخه و دنباله‌ی تپ‌ها را تنظیم نمود. همچنین، نشان داده شد که شکل تپ‌های این لیزرها و ویژگی‌های زمانی هر یک از بخش‌های میخه یا دنباله‌ی آن‌ها به شدت وابسته به بازتابندگی آینه جلویی تشدیدگر لیزر است. به گونه‌ای که، با تغییر بازتابندگی این آینه، می‌توان به تپ‌هایی با شکل‌ها و ویژگی‌های زمانی گوناگون دست یافت.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان از کمک‌های فنی آقای محمدرضا صدرقاینی از پژوهشکده فوتونیک و فن‌آوری کوانتومی سپاسگزاری می‌نمایند.

### مراجع

1. J. Witteman, *The CO<sub>2</sub> Laser*, Springer Series in Optical Science, **53**, (1987).
2. Ed. By M. Endo, et al., *Gas Lasers*, Taylor and Francis Group, USA, (2007).
3. D.J. Biswas, et al., *Multiline CO<sub>2</sub> Lasers and Their Uses*, Prog. Quant. Electr., **14**, 1-61 (1990).
4. D.J. Biswas, J.P. Nilaya, *Repetitive Transversely Excited Gas Laser Pulsers*, Prog. Quant. Electr., **26**, 1-63 (2002).
5. I. Kitazima, *Effects of Foreign Gases on the Pulsed Operation of a CO<sub>2</sub> Laser*, J. Appl. Phys., **45**, 2997 (1974).
6. M.V. Ivashchenkov, et al., *Short Pulse Formation in a TEA CO<sub>2</sub> Laser Using CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> Gas Mixture*, Quant. Electron., **31**, 965 (2001).
7. M. Zand, et al., *A 490 W Transversely Excited Atmospheric CO<sub>2</sub> Spark Gap Laser with Added H<sub>2</sub>*, Laser. Phys., **28**, 025002 (2018).
8. S. Beheshtipour, et al., *The effects of Focusing power on TEA CO<sub>2</sub> Laser-Induced Breakdown and the Consequent Pulse Shaping effects*, Physics of Plasmas, **25**, 023105 (2018).
9. L.W. Casperson, *Analytic Modeling of Gain-Switched Lasers. I. Laser Oscillators*, J. App. Phys., **47**, 4555-4562 (1976).
10. K. Smith, R.M. Thomson, *Computer Modeling of Gas Lasers*, Springer Science+Business Media, New York, (1978).
11. A.M. Koushki, et al., *Kinetic modeling of a Pulsed CO<sub>2</sub> Lasers*, Lasers Engineer, **2**, 265-280 (2011).
12. R. Torabi, et al., *Simulation and Initial Experiments of a High Power Pulsed TEA CO<sub>2</sub> Lasers*, Physica Scripta., **91**, 015501 (2015).
13. R. Torabi, et al., *Theoretical and Experimental Analysis of the TEA CO<sub>2</sub> Laser Dynamics by six Temperature Vibrational-Rotational Model*, Optik, **135**, 238-243 (2017).
14. K. Silakhori, et al., *High Repetition rate Pin-array UV Pre-Ionized CO<sub>2</sub> Laser*, Proc. SPIE, **6263**, 26309 (2006).

می‌دانیم که شدت باریکه‌ی نوسانی درون کاواک لیزر، به بهره‌ی تقویت و اتلاف کاواک وابسته است و از آن‌جا که بازتابندگی آینه‌ی جلوی کاواک بزرگ‌ترین عامل تلفات کاواک به‌شمار می‌رود، کارکردی تعیین‌کننده در این زمینه از خود نشان خواهد داد. بر این پایه، در بازتابندگی‌های پایین (تراگسیلندگی و اتلاف بالا)، بهره‌ی نوسان زودتر به زیر آستانه افت می‌نماید و میخه‌ی تپ دیرش زمانی کوتاه‌تری خواهد داشت. هم‌زمان، چون آهنگ برداشت انرژی برانگیختگی از محیط فعال در این شرایط کم‌تر است، تراز پایینی لیزر هم با آهنگی کندتر پر می‌شود و در نتیجه، اثر دمش برخوردی مولکول‌های N<sub>2</sub> می‌تواند به‌زودی نمودار گردد و دنباله‌ی تپ را پیش از افت مشخص در دامنه‌ی میخه و پیدایش گودال در پایین آن، تشکیل دهد. از سوی دیگر، چون به‌دلیل شدت ناچیز باریکه‌ی نوسانی در زمان دنباله، برداشت انرژی برانگیختگی محیط فعال با کندی انجام می‌شود، مولکول‌های N<sub>2</sub> برانگیخته‌ی شبه‌پایدار می‌توانند تا زمان درازی فرایند دمش برخوردی مولکول‌های CO<sub>2</sub> را ادامه دهند و از همین‌رو، در بازتابندگی ۵۰٪، دنباله‌ی تپ‌ها تا نزدیک به ۵ μs گسترش می‌یابد.

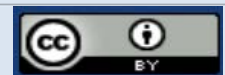
به همین شیوه، برای بازتابندگی‌های بالای آینه‌ی جلوی کاواک، اتلاف کاواک کم‌تر است و با گیر افتادن باریکه‌ی نوسانی در کاواک، زمان افت بهره‌ی نوسان آن به زیر آستانه طولانی‌تر و دیرش زمانی میخه‌ی تپ تیزتر خواهد گردید. چون در این شرایط برداشت انرژی برانگیختگی محیط فعال کارآتر و با آهنگی تندتر انجام می‌پذیرد، تراز پایینی لیزر بیشتر و زودتر پر می‌شود و از همین‌رو، کارکرد دمش برخوردی مولکول‌های N<sub>2</sub> هم دیرتر نمودار خواهد گردید و گودال دیده شده در میان میخه و دنباله‌ی تپ‌ها پدیدار می‌شود. این آهنگ برداشت انرژی برانگیختگی بالاتر، کوتاه‌تر شدن دنباله‌ی تپ‌ها را تا ۲/۵ μs برای بازتابندگی ۸۰٪ آینه‌ی جلو به همراه دارد.

### ۵. نتیجه‌گیری

وابستگی انرژی و رفتار زمانی تپ‌های گسیلی لیزرهای CO<sub>2</sub> به عوامل گوناگون به‌روش آزمایشگاهی بررسی شد. در این رشته آزمایش‌ها دریافته شد که با تغییر نسبت گازهای ازت و هلیم، نه تنها می‌توان انرژی تپ‌های گسیلی لیزر را دست‌کاری نمود، که می‌توان شکل و ویژگی‌های زمانی میخه و دنباله‌ی تپ‌ها را نیز

#### COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



استناد به این مقاله

سعید جلوانی، کاوه سیلاخوری، سهند زارع، محمود ملامباشی، مریم ایلچی، زهرا پورحسن‌نژاد، داود احدپور (۱۴۰۱)، بررسی تجربی اثر آمیزه‌های گازی بر شکل تپ لیزرهای CO<sub>2</sub>، ۱۰۱، ۱۶۲-۱۵۷

DOI: 10.24200/nst.2022.1457

Url: [https://jonsat.nstri.ir/article\\_1457.html](https://jonsat.nstri.ir/article_1457.html)

