بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

سنگ شکنی لیزری HO:YAG

مینا قاسمی مجد، پرویز پروین و محمد کراجی

دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده –سنگ‌شکنی لیزری به معنای شکستن سنگ کلیه با نور لیزر است. در این روش نور لیزر به کمک فیبر و ابزار آندوسکوپیک به سطح سنگ در بدن تابانده می‌شود. لیزر پالس بلند ***HO:YAG*** یکی از لیزرهای مورد استفاده در این زمینه است. در این مقاله تاثیر پارامترهای مختلف لیزر از قبیل انرژی پالس، نرخ تکرار، عرض پالس و مساحت لکه لیزر در سنگ‌شکنی با لیزر ***HO:YAG*** مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با افزایش انرژی پالس و عرض پالس و کاهش مساحت لکه لیزر سنگ‌شکنی موثرتر است. و زمان تخریب سنگ در نرخ تکرار ۵ هرتز کمتر است.

کلید واژه- سنگ شکنی لیزری، تخریب سنگ ، عرض پالس ،انرژی پالس و نرخ تکرار پالس

HO: YAG LASER LITHOTRIPSY

M.Ghasemi.Majd, P.Parvin, and M.Keraji

Department of energy engineering and physics, Amir kabir University of technology

Corresponding author: parvin@aut.ac.ir

Abstract- laser lithotripsy is a way for the kidney stone fragmentation. In this method, laser light is delivered to the stone surface in human body by the optical fiber and the endoscopic instrument. The HO: YAG laser has used for lithotripsy from 1990s. In this work, different parameters of HO: YAG laser are studied in lithotripsy efficiency .The results declare increasing laser pulse energy and laser pulse duration and reducing laser spot size on the stone surface cause better lithotripsy. In addition laser repetition rate at 5HZ is more efficient.

Keywords: Laser lithotripsy, fragmentation, pulse energy, pulse duration, pulse repetition rate

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

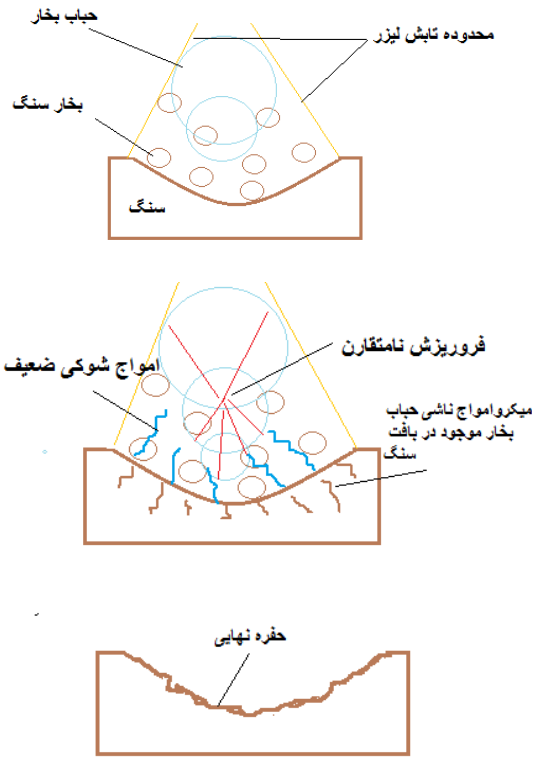
۱- مقدمه

Holmium: yttrium aluminum garnet لیزر حالت جامدی است که در حالت آزاد طول موج $2100nm$ را در عرض پالس $250-350\mu s$ و یا بزرگتر گسیل می‌کند. در سال ۱۹۹۴ این لیزر به استفاده کلینیکی رسید و به طور گسترده‌ای برای تخریب انواع سنگ‌ها، حتی سخت‌ترین آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت[۱]. بر همکنش لیزر HO:YAG با سنگ از نوع گرمایی است[۲]. به علت جذب بالای طول موج لیزر HO:YAG در آب با ضریب جذب $10\ cm^{-1}$ و عمق نفوذ $400\mu m$ ، نور لیزر به خوبی توسط آب نوک فیبر و یا آب سطح سنگ جذب می‌شود. امواج فشاری ناشی از تابادن لیزر به آب در استفاده کلینیکی و خروجی فیبری تا $2bar$ گزارش شده است[۳]. از این رو فرآیند تخریب سنگ با لیزر HO:YAG بیشتر از این که مکانیکی باشد، گرمایی است. اگر عرض پالس لیزر کوچکتر از زمان پخش گرمایی باشد، در این صورت رسانش گرما در حین تابش لیزر کم است. گرما در طول تابش لیزر متراکم[1] می‌شود. این امر موجب آسیب رساندن به بافت قبل از پخش گرما می‌شود. این شرایط «حبس گرمایی[2]» نامیده می‌شود. لیزر HO:YAG در این ناحیه عمل می‌کند. زمان پخش گرمایی در سنگ برای این لیزر $5m\sec$ است که از عرض پالس این لیزر بزرگتر است. بنابراین این لیزر توانایی ایجاد آسیب گرمایی در بافت را دارد[۴]. در ناحیه حبس گرمایی آثار گرمایی مختلف مانند تبخیر و ذوب اتفاق می‌افتد. در حین تابش لیزر HO:YAG به سطح سنگ، با تبخیر و ذوب سنگ از بین می‌رود. در داخل بدن انسان سنگ‌های کلیه و مجاری ادراری درون محیط آبی قرار دارند. حباب‌های بخار ناشی از تابش نور لیزر در آب، موجب انتقال انرژی لیزر به سطح سنگ می‌شوند. علاوه بر تبخیر مستقیم سنگ، فشار ضعیف ناشی از فروریزش نامتقارن حباب‌های بخار نیز ترک‌های کوچکی را در ناحیه تخریب ایجاد می‌کنند[۴]. از این رو در محیط آبی نسبت به محیط خشک تخریب سنگ موثرتر است [۵]. سنگ تحت تابش قرار گرفته تبخیر شده و همزمان نور لیزر در آب، حباب‌هایی را ایجاد می‌کند. فروریزش این حباب‌های بخار ترک های کوچکی را در سنگ ایجاد می‌کند شکل (۱). درسنگ‌شکنی با لیزر HO:YAG فرآیند گرمایی تخریب سنگ تابعی از انرژی پالس ، نرخ تکرار پالس و عرض پالس روی سطح سنگ است. در این مقاله تاثیر این عوامل در سنگ‌شکنی بررسی شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه نمونه‌های سنگ کلیه

نمونه‌های سنگ کلیه در ابعاد و ترکیبات مختلف از بیمارستان‌های سینا و امام خمینی تهران تهیه شدند. سنگ‌های کلیه در ابعاد تقریبا یکسان و به ضخامت یکسان برش داده شدند. سپس به وسیله کولیس دیجیتال



شکل (۱): ایجاد حفره در سنگ به وسیله لیزر HO:YAG

ضخامت تمامی آن‌ها به منظور یکسان‌سازی اندازه‌گیری شد. نمونه‌های برش داده شده به منظور ایجاد شرایط مشابه داخل بدن به مدت یک هفته در آب خالص قرار گرفتند.

۲-۲- دستگاه لیزر HO:YAG

دستگاه لیزر هولمیوم یاگ مورد استفاده در این آزمایشات توسط متخصصان مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران ساخته شده است. طول موج

[1] accumulate
[2] Thermal confinement

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

لیزر HO:YAG $2100nm$، محدوده انرژی پالس آن $0.1-5.5\,j$، محدوده عرض پالس آن $200-750\,\mu s$ است و نرخ تکرار دستگاه از $1HZ$ تا $10HZ$ قابل انتخاب است. توان خروجی دستگاه تا $40W$است. در این چیدمان یک میله لیزری با کریستال یاگ به طول $135mm$ و قطر $6mm$ که یون‌های Cr^{+3}، Tm^{+3} و HO^{+3} به ترتیب با غلظت‌های ٪۰/۸۵، ٪۵/۹۰ و ٪۰/۳۶ در آن قرار دارند، استفاده شده است. به کمک صفحه لمسی این دستگاه، پارامترهای مختلف قابل تنظیم است. تنظیمات دستگاه شامل نرخ تکرار، عرض پالس لیزر و ولتاژ لامپ درخشش است.

۲-۳- فیبر نوری:

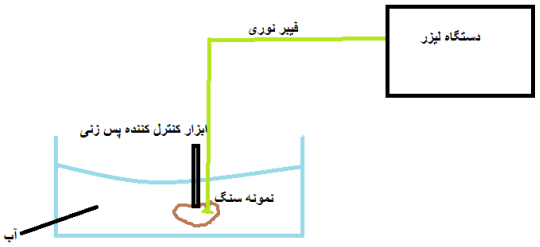
فیبر نوری در سه قطر $360\mu m$، $550\mu m$و $910\mu m$ دراین آزمایشات مورد استفاده قرار گرفته است.

۲-۴- پاورمتر:

ازآنجایی که تنظیم دستگاه لیزر بر اساس ولتاژ لامپ درخشش است، برای اندازه‌گیری توان متوسط از پاورمتر استفاده شد. برای محاسبه انرژی هر پالس توان متوسط تقسیم بر نرخ تکرا می‌شود.

۲-۵- چیدمان آزمایش:

نمونه‌های سنگ کلیه در زیر آب قرار گرفتند . به کمک فیبر نوری ، نور لیزر بر روی سطح سنگ تابانده شد. فاصله بین فیبر و سطح سنگ به اندازه ۱ میلی‌متر بوده است. به علت پایستگی تکانه با تخریب سنگ و جداشدن ذرات از آن، سنگ عقب زده می شود. برای جلوگیری از این امر، پس‌زنی با یک ابزار نگهدارنده کنترل شد. از آنجایی که ضخامت تمام نمونه‌ها یکسان سازی شده بود، معیار اندازه‌گیری تخریب سنگ ، زمان تخریب این عمق یکسان در هر سنگ است. شکل (۲) چیدمان آزمایش را نشان می‌دهد.

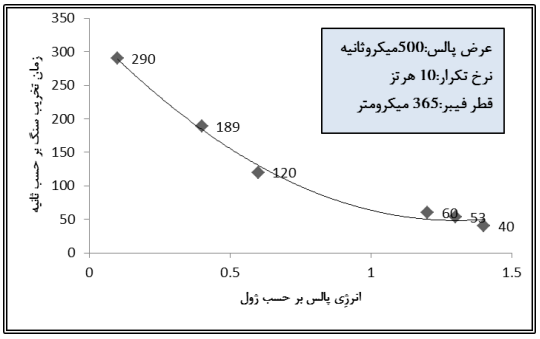


شکل (۲): چیدمان آزمایش

در نرخ تکرار انتخابی $10HZ$ ، عرض پالس $500\mu s$ و قطر فیبر $365\mu m$ نمونه‌های سنگ کلیه در انرژی‌های متفاوت پالس تحت تابش قرار گرفتند. دستگاه بر اساس ولتاژ قابل تنظیم است. از این رو ولتاژ از $360V$ تا $450V$ در آزمایشات تغییر کرد. در هر آزمایش انرژی پالس به کمک پاورمتر اندازه‌گیری شد. انرژی پالس اندازه‌گیری شده از $0.1j$ تا $1.4\,j$ متغیر بود. به منظور مطالعه تاثیر نرخ تکرار در فرآیند سنگ‌شکنی ، نرخ تکرار از $1HZ$ تا $9HZ$ تغییر داده شد. در این آزمایش عرض پالس $500\mu S$، قطر فیبر $365\mu m$ و ولتاژ لامپ درخشش $420V$انتخاب شدند. در نرخ تکرار $5HZ$، ولتاژ $420V$و قطر فیبر $365\mu m$نیزعرض پالس از $250\mu s$ تا $550\mu s$ در آزمایش دیگری تغییر داده شد.

۳- بحث و نتایج

همانطور که در شکل (۲) ترسیم شده است، با افزایش انرژی پالس زمان تخریب سنگ کاهش می‌یابد.با افزایش شدت تابیده شده نور لیزر میزان انباشت گرما در ناحیه تحت تابش قرار گرفته افزایش می‌یابد. با انباشت بیشتر گرما فوتون‌های بیشتری در سنگ جذب می‌شوند . مولکول‌های برانگیخته در اثر برخوردهای کشسان با مولکول‌های دیگر از محیط پیرامون، فروافت کرده و انرژی جنبشی مولکول‌های دیگر افزایش می‌یابد.



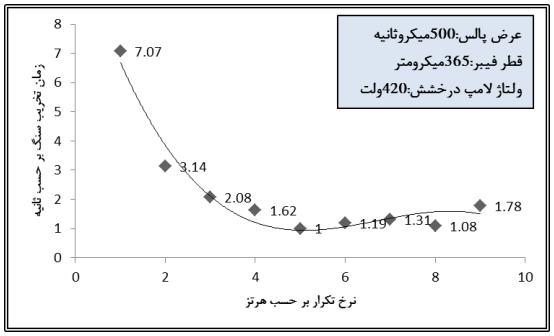
شکل (۳): نمودار زمان تخریب سنگ بر حسب انرژی پالس لیزر

دما و انرژی جنبشی افزایش می‌یابند. تاثیر افزایش انرژی پالس نهایتا منجر به افزایش سرعت تخریب سنگ خواهد شد.

در شکل (۴) زمان تخریب سنگ بر حسب نرخ تکرار ترسیم شده است. در نرخ تکرار $5HZ$ زمان تخریب سنگ کمترین مقدار است. در حین پرتودهی در یک فرآیند چند پالسی، دمای نمونه در طول هر پالس افزایش می‌یابد و در فاصله زمانی تا پالس بعدی خنک می‌شود. اما اگر فاصله زمانی بین پالس‌ها، از حد مشخصی کمتر باشد، فرصت کافی برای سرد شدن نمونه تا دمای اولیه وجود ندارد. بیشتر بودن دما در بافت میزان جذب را نیز افزایش می‌دهد. با افزایش نرخ تکرار، از ۵ هرتز به بالا، میزان توان خروجی پالس کاهش می‌یابد. این امر به علت اثری به نام «لنز گرمایی» است. سطح بیرونی میله لیزر در لیزر HO:YAG، توسط آب خنک می‌شود. این در حالی است که مرکز میله لیزر نسبت به سطح آن دمای بیشتری دارد. در نتیجه یک گرادیان دمایی به صورت شعاعی در

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

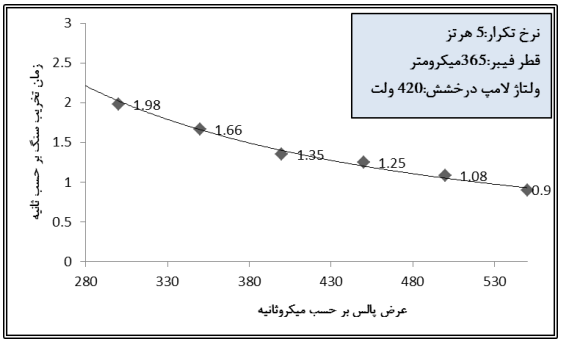
میله لیزر ایجاد می‌شود. گرادیان دمایی موجب القای ضریب شکست شعاعی در میله لیزر می‌شود. به طوریکه میله لیزر به صورت یک لنز عمل



شکل (۴): نمودار زمان تخریب سنگ بر حسب نرخ تکرار

می‌کند. این پدیده موجب انتقال رزوناتور لیزر از حالت پایدار به حالت ناپایدار می‌شود. با افزایش نرخ تکرار، میانگین توان انتقال یافته به میله لیزر افزایش می‌یابد.

در شکل (۵) زمان تخریب سنگ بر حسب عرض پالس نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش عرض پالس زمان تخریب سنگ کاهش می‌یابد.



شکل (۵): نمودار زمان تخریب سنگ بر حسب عرض پالس

پس‌زنی با عرض پالس بلندتر کمتر است، زیرا قله توان کمتر می‌شود. مطالعات انجام شده در زمینه بررسی تاثیر عرض پالس در سنگ‌شکنی لیزری ، نیز بیان می‌کندکه عرض پالس‌های کوتاهتر تولید پس‌زنی بیشتری در سنگ‌شکنی با لیزرHO:YAG می‌کنند[۶]در آزمایشات انجام شده در اینجا پس‌زنی تحت کنترل قرار گرفت. عرض پالس بلندتر در فرآیند گرمایی به معنای این است که تابش هر پالس در مدت زمان بیشتری انجام شده است. بنابراین انرژی در مدت زمان بیشتری دریافت شده است. به عبارت دیگر فاصله زمانی بین پالس‌ها نیز کمتر بوده است.

۴- نتیجه گیری

. عرض پالس بیشتر و انرژی پالس بیشتر فرآیند سنگ‌شکنی را تسریع می‌بخشد. در نرخ تکرار بالاتر از $5HZ$ نیز به علت اثر لنز گرمایی توان خروجی کاهش می‌یابد. لیزرHO:YAG همه‌انواع سنگ‌ها را تخریب می‌کند. به علت تولید قطعات بسیار ریزدر سنگ‌شکنی سرعت تخریب آن نسبت به لیزرهایی مانند Nd:YAG کمتر است. لیزرEr:YAG عملکرد بهتری نسبت به لیزرHO:YAG در سنگ شکنی دارد،اما فیبر مناسب آن در دسترس نیست. در حال حاضر لیزرHO:YAG به علت تخریب همه انواع سنگ‌ها و تولید تکه‌های بسیار کوچک بیش از سایر لیزرها مورد استفاده کلینیکی قرار می‌گیرد.

مراجع

[۱] Amir Zarrabi, "The evolution of lasers in urology", Department of Urology, University of Stellenboschand Tygerberg Hospital, Cape Town, South Africa, 2011.

[۲] Stephen P. Dretler, MD"Laser Lithotripsy: A Review of 20 Years of Research and Clinical Applications", Lasers in Surgery and Medicine, 8341-356 (1988).

[۳]Michael e. mayo, "interaction of laser radiation with urinary calculi", PhD thesis April 2009 .

[۴] Kin foong chan,. T. Joshua pfeferjoel m.h. Teichman m.d, Ashley j. Welch, Invited A "*Perspective on Laser Lithotripsy TheFragmentation Processes*", *journal of endourology*,Volume 15, Number 3, April 2001.

[۵] Tao Lü, Qing Xiao, Danqing Xia,Kai Ruan,Zhengjia Li, "Cavitation effect of holmium laser pulse applied to ablation of hard tissue underwater", Journal of Biomedical Optics, July/August 2010

[۶] David.S.Finley, Jesen Petersen, Carllos Abdelshehid, Michael Ahlering, David Chu, James Borin,Lousis Eichel, Elspeth Mcdoghuall and RAlph .V.Clayman. "**effect of holmium laser pulse width on lithotripsy retpulsation** ",journal of *endourology*,volume 19.octobr 2005

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]