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

طراحی و ساخت چیدمان طیف‌سنجی فروشکست القایی لیزری از راه دور به منظور شناسایی مواد

عبدی سعید ، توسلی سیّدحسن

پژوهشکده‌ی لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

چکیده- در این مقاله طراحی و ساخت سیستم طیف‌سنجی فروشکست القایی لیزری از راه دور در فضای باز مورد مطالعه قرار گرفته است. در چینش تجربی این آزمایش از سیستم فرستنده و سیستم گیرنده به شکل غیر هم محور استفاده شده و سعی شده است تا جای ممکن تمام ابیراهی‌های موجود اصلاح شوند. پالس لیزر توسط یک سیستم فرستنده که یک تلسکوپ کپلری می‌باشد به سطح نمونه ارسال می‌شود و نور پلاسمای تولید شده نیز توسط یک سیستم گیرنده به شکل تلسکوپ نیوتنی جمع‌آوری شده و مورد آنالیز قرار می‌گیرد. به منظور آنالیز عنصری مواد با استفاده از این روش از فاصله‌ی ۲۰ تا ۳۵ متری ، از پالس های لیزر با طول زمانی ۱۰ نانوثانیه و با انرژی بین ۸۰ و ۱۸۰ میلی‌ژول استفاده شده است. طیف‌های بدست آمده از نمونه های مختلف با استفاده از سیستم از راه دور طراحی شده، دارای سیگنال به نوفه قابل قبولی می‌باشند که کارائی این سیستم برای شناسائی مواد از راه دور را به‌خوبی نشان می‌دهند.

کلید واژه: تلسکوپ کپلری، تلسکوپ نیوتنی، شناسایی از راه دور، طیف‌سنجی فروشکست القایی لیزری.

Design and fabrication of stand-off laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) set-up for remote detection of materials

Saeed Abdee, Seyed Hassan Tavassoli

Laser & Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran

Abstract- In this study the design and fabrication of stand-off laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) system in open-path configuration is discussed. The transmitter and the receiver systems in experimental setup are in non-collinear form and so, all optical aberrations are tried to be optimized as much as possible. Laser pulse is focused on the target by an adjustable Keplerian telescope and plasma light of the target is collected by a Newtonian telescope. Laser pulses with temporal length of 10 ns and energies of 80 to 180 mJ are applied for elemental analysis of materials from 20 to 35m distances. The acquired spectra of different samples by our designed system have acceptable signal to noise ratios and show the performance of this system for remote detection of materials.

Keywords: Keplerian telescope, Laser induced breakdown spectroscopy, Newtonian telescope, Remote detection.

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

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

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر گرایش به استفاده از سیستم‌های طیف-سنجی لیزری برای آنالیز و شناسایی انواع مواد گسترش یافته است [۱]. در این میان طیف‌سنجی فروشکست القایی لیزری به دلیل عدم نیاز به آماده‌سازی نمونه، آنالیز غیر تخریبی و سریع و امکان آنالیز در هر سه فاز ماده و مزیت‌های دیگر، یکی از روش‌های بسیار قدرتمند در بین سایر روش‌های طیف سنجی می‌باشد [۲]. علاوه بر این، استفاده از این فناوری به شکل دوربرد یک تکنیک بسیار مفید و کارساز در صنایع و کاربردهای اکتشافی به دست خواهد داد [۳]. به طور کلی در مکانهایی که امکان حضور کاربر به دلایل امنیتی یا فیزیکی وجود نداشته باشد، میتوان از این سیستم برای شناسایی و کاوش استفاده نمود. از دیگر کاربردهای طیف‌سنجی فروشکست القایی لیزری از راه دور میتوان به شناسایی عناصر در اکتشافات فضایی [۴]، محیطهای آلوده شیمیایی یا رادیواکتیو [۵]، کنترل میله‌های سوختی راکتورهای هسته‌ای، کنترل آنی میزان آلیاژها در صنایع تولیدی فلزات، تهیه‌ی نقشه‌ی ساختارشناسی، و شناسایی بدون تخریب آثار باستانی میتوان اشاره کرد [۶].

در این مطالعه یک چیدمان طیف‌سنجی فروشکست القایی لیزری از راه دور طراحی و ساخته شده است. به‌همین منظور سعی شده با حفظ مزیت‌های دیگر این روش، قابلیت بکارگیری در فواصل دوربرد نیز به آن اضافه شود. در این راستا شبیه‌سازی و ساخت قطعات اپتیکی موردنظر انجام پذیرفته است. توانایی این سیستم در شناسایی از راه دور مواد با استفاده از نمونه‌های مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- تئوری آزمایش

چالش‌هایی اساسی در طراحی و ساخت سیستم طیف‌سنجی فروشکست القایی لیزری از راه دور وجود دارند. چالش اول اینست که چون از یک سیستم غیر هم‌محور برای فرستادن پرتو نور و جمع‌آوری آن استفاده می‌شود، ابیرهی سیستم افزایش خواهد یافت که باید با تدابیر مناسب آن‌ها را کاهش داده و بهینه کرد. چالش دوم کانونی کردن نور لیزر در یک فاصله‌ی طولانی می‌باشد که باید بتوان برای ایجاد پلاسما روی سطح هدف، شدت پرتو لیزر را در یک سطح کوچک متمرکز کرد. چالش نهایی جمع‌آوری نور پلاسمایی با ابعاد کمتر از ۵ میلی‌متر از فاصله‌ی چند ده متری می‌باشد.

اگر روابط اپتیکی را برای ابیراهی‌ها موجود در سیستم بیابیم مطابق با روابط (۱) تا (۵) مشاهده می‌کنیم در صورتی که امتداد محور اپتیکی تلسکوپ نیوتنی و تلسکوپ کپلری روی محل تشکیل پلاسما همدیگر را قطع کنند در این صورت به جز ابیراهی کروی، سایر ابیراهی‌ها تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابند. این ابیراهی‌ها متناسب هستند با:

$$\propto r^4 \qquad \text{ابیراهی کروی}[7] \qquad (۱)$$

$$\propto h' r^3 \cos\theta \qquad \text{ابیراهی کوما}[7] \qquad (۲)$$

$$\propto h'^2 r^2 \cos\theta^2 \qquad \text{ابیراهی آستیگماتیسم}[7] \qquad (۳)$$

$$\propto h'^2 r^2 \qquad \text{ابیراهی انحنای میدان}[7] \qquad (۴)$$

$$\propto h'^3 r \cos\theta \qquad \text{ابیراهی واپیچش}[7] \qquad (۵)$$

در این معادلات، h' ارتفاع تصویر از محور اپتیکی، r فاصله‌ی شعاعی از مرکز عدسی یا آینه تا محل برخورد پرتو به عدسی یا آینه و θ زاویه سمتی در صفحه عدسی یا آینه می‌باشد. اگر پلاسما روی محل برخورد امتداد محور اپتیکی دو تلسکوپ قرار بگیرد، تصویر نیز با تقریب خوبی روی محور تشکیل خواهد شد. بنابراین h' صفر شده و به جز ابیراهی کروی سایر ابیراهی‌ها تا حد قابل قبولی کاهش خواهند یافت.

برای کانونی کردن پرتو نور لیزر که در اینجا یک پرتو گاوسی با مد TEM_{00} می‌باشد، اگر معادلات عبور پرتو را از تلسکوپ بدست آوریم قطر پرتو پس از عبور از المان‌ها به شکل زیر در خواهد آمد:

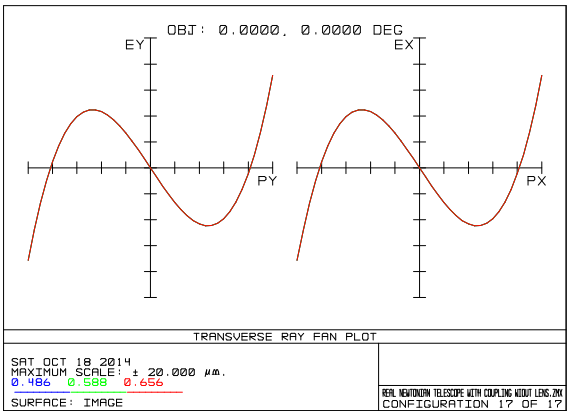
$$w_0' = \frac{\lambda f}{\pi w_0'} \qquad (۶)$$

معادله‌ی (۶) بیان می‌کند برای اینکه سطح کانونی بعد از عبور از المان‌ها کوچکتر شود؛ قطر پرتو اولیه باید بزرگ‌تر باشد تا بتوان سطح کانونی کوچکتر و در نتیجه شدت بالاتری را فراهم ساخت.

۳- شبیه‌سازی

طراحی و شبیه‌سازی‌های تلسکوپ کپلری فرستنده پالس

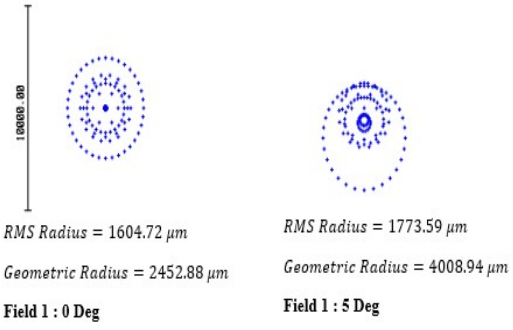
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-03]



شکل ۱: ابیراهی سیستم در راستای x و y که توسط نرم افزار zemax برای سیستم فرستنده محاسبه شده است. با ابیراهی حداکثر ۲۰میکرومتر.

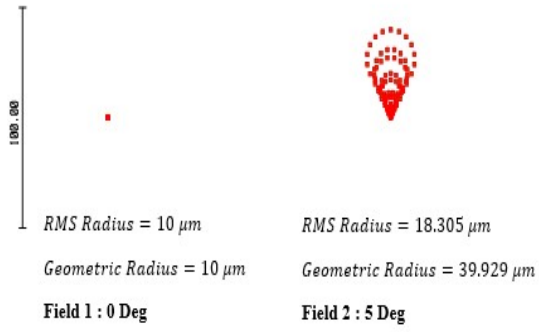
لیزر و تلسکوپ نیوتنی جمع کننده‌ی نور پلاسما و بهینه کردن ابیراهی‌های آن‌ها توسط نرم‌افزار Zemax انجام گرفته است . در چینش اپتیکی بکار رفته در سیستم فرستنده، دو عدسی با ابیراهی‌های کروی قرینه با فاصله‌های کانونی ۲۶/۷- و ۳۰۰ میلی‌متر طراحی و تراش داده شدند تا با کم کردن میزان ابیراهی کروی، بازده سیستم برای فرستادن پالس لیزر روی سطح هدف را به میزان قابل توجه‌ی افزایش دهند. در شکل ۱ نمودار ابیراهی‌های سیستم را پس از بهینه سازی مشاهده می‌شود که برای هر دو محور عدسی تا ۲۰ میکرومتر کاهش یافته است.

کاهش میزان ابیراهی‌ها به ایجاد یک سطح کانونی کوچک‌تر منجر می‌شود و در نتیجه در حضور عوامل مخربی چون



شکل ۲: اندازه‌ی لکه پرتو لیزر روی هدف برای پرتوهای محوری و غیر محوری

پراکندگی در اتمسفر و جذب، شدت بالاتری از لیزر به نمونه تابیده خواهد شد. در شکل۲ و شکل۳ قطر لکه پرتو لیزر و نور پلاسما در فاصله ۲۰ متری نشان داده شده است. که برای



شکل ۳: اندازه‌ی لکه نور پلاسمای جمع آوری شده توسط سیستم تلسکوپ نیوتنی

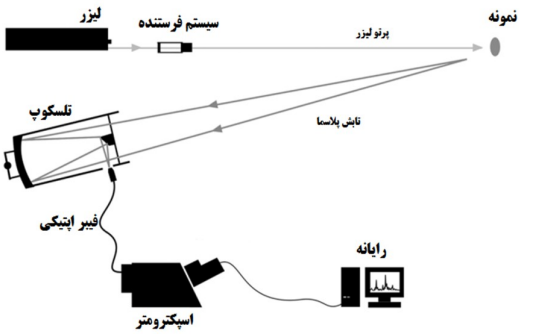
ایجاد شدت لازم برای کند و سوز، و همچنین فرستادن نور درون اسپکتروگراف بسیار مناسب می‌باشد.

۴- چیدمان تجربی

چیدمان به‌کار گرفته شده به طور شماتیک در شکل ۴ نشان داده شده است. با این چینش فواصل ۵ تا ۳۵ متری برای نمونه‌های مختلف مورد آزمایش قرار گرفت. لیزر مورد استفاده یک لیزر ND:YAG پالسی با حداکثر انرژی ۱۸۰ میلی‌ژول و طول زمانی پالس ۱۰ نانوثانیه می‌باشد. فرستنده‌ی پالس یک تلسکوپ کپلری با دوعدسی با فواصل کانونی ۲۶/۷- و ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد. جمع کننده نور نیز یک تلسکوپ نیوتنی با یک آینه سهموی به قطر ۱۰ اینچ می باشد.

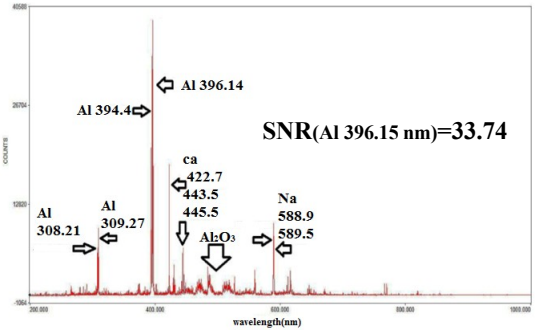
۵- نتایج

نمونه‌های تست شده آلومینیوم خالص، اکسید آلومینیوم به همراه سدیم و کلسیم، آهن و مس می‌باشد. که در شکل‌های

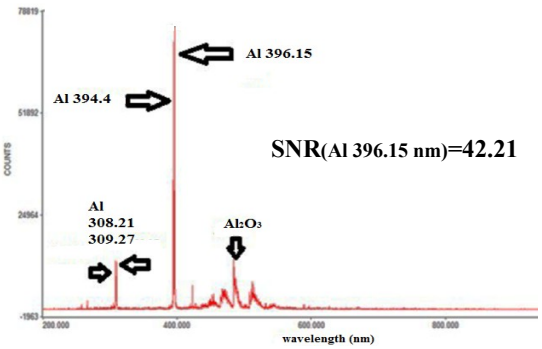


شکل ۴: چیدمان تجربی غیر هم‌محور برای ارسال و دریافت نور

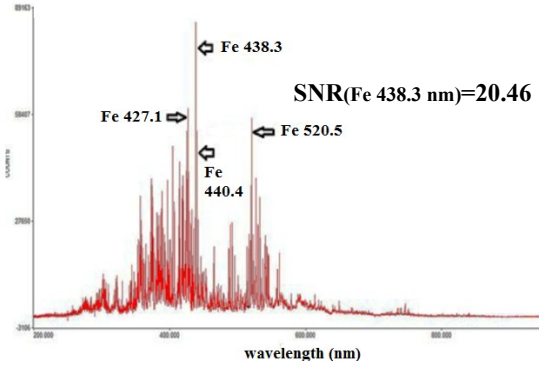
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-03]



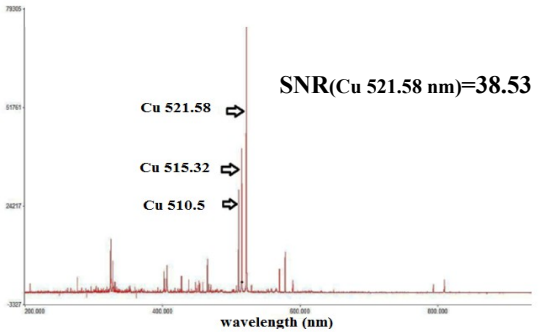
شکل ۵: طیف نمونه‌ی آلومینوم به همراه قطرات باران



شکل ۶: طیف نمونه‌ی آلومینیوم



شکل ۷: طیف نمونه‌ی فولاد صنعتی



شکل ۸: طیف نمونه‌ی مس

۵، ۶، ۷ و ۸ طیف حاصل از آنها نشان داده شده است و همانطور که مشاهده می‌شود خطوط گسیلی دارای سیگنال به نوفه مناسب هستند و به‌راحتی میتوان از خطوط مشخصه آنها برای شناسایی استفاده کرد.

میزان سدیم و کلسیم روی نمونه‌ی آلومینیوم در شکل ۵ بسیار اندک بوده و ناشی از باران روی نمونه می‌باشد. اما همانطور که مشاهده می‌شود سیستم به‌خوبی آنها را شناسایی نموده است. علاوه بر این پس از چند پالس، لیزر قادر خواهد بود این لایه را پاکسازی نموده و از خود ماده طیف‌گیری نماید.

مراجع

[1] A. Cousin, S. Maurice, O. Forni, O. Gasnault, J. Dalmau, M. Saccoccio, R. Wiens, E. Spatiale, and C. National, *"Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) Library under Martian Conditions,"* no. 2005, p. 2011, 2011.

[2] H. L. Xu, J. Bernhardt, P. Mathieu, G. Roy, and S. L. Chin, *"Understanding the advantage of remote femtosecond laser-induced breakdown spectroscopy of metallic targets," J. Appl. Phys.*, vol. 101, no. 3, p. 033124, 2007.

[3] H. L. Xu, W. Liu, and S. L. Chin, *"Remote time-resolved filament-induced breakdown spectroscopy of biological materials.," Opt. Lett.*, vol. 31, no. 10, pp. 1540–2, May 2006.

[4] J.-B. Sirven, B. Sallé, P. Mauchien, J.-L. Lacour, S. Maurice, and G. Manhès, *"Feasibility study of rock identification at the surface of Mars by remote laser-induced breakdown spectroscopy and three chemometric methods," J. Anal. At. Spectrom.*, vol. 22, no. 12, p. 1471, 2007.

[5] S. Palanco and J. Laserna, *"Remote sensing instrument for solid samples based on open-path atomic emission spectrometry," Rev. Sci. Instrum.*, vol. 75, no. 6, p. 2068, 2004.

[6] R. Grönlund, M. Lundqvist, and S. Svanberg, "*Remote imaging laser-induced breakdown spectroscopy and remote cultural,"* vol. 30, no. 21, pp. 2882–2884, 2005.

[7] Pedrotti, Frank L. and Pedrotti, Leno S., Introduction to Optics, Prentice-Hall, 1987

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