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

امکان‌سنجی استفاده از طیف‌سنجی فروشکست القایی لیزری و روش آنالیز تفکیکی حداقل مربعات جزئی به‌منظور تشخیص بافت سالم و پوسیده دندان

میثم گزمه، مریم بحرینی، سیدحسن توسلی و سیف‌الله صدریا

پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی تهران

دانشکده دندان‌پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران

چکیده –در این پژوهش، روش طیف‌سنجی فروشکست القایی لیزری برای بررسی امکان تشخیص بافت سالم و پوسیده دندان استفاده شده است. این امکان سنجی با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری چند متغیره به نام آنالیز تفکیکی حداقل مربعات جزئی انجام شده است، پایه و اساس آن استفاده از خطوط گسیلی اتمی و یونی طیف *LIBS* دندان می باشد که این خطوط متعلق به عناصر *P*، *Ca*، *Mg*، *Zn*، *K*، *Sr*، *C*، *Na*، *H*، *O* هستند. نتایج بدست آمده، امکان تشخیص نوع بافت و همچنین پیش‌بینی نمونه های ناشناس مورد تست را به خوبی نشان می‌دهد. بنابراین، روش *LIBS* با استفاده از روش *PLS-DA* توانایی تشخیص بافت سالم و پوسیده دندان و عملی کردن آن را در آینده به منظورکاربردهای کلینیکی دارا می‌باشد.

کلید واژه- آنالیز تفکیکی حداقل مربعات جزئی، تشخیص بافت، خطوط گسیلی، طیف‌سنجی فروشکست القایی لیزری.

"Feasibility study of laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) and partial least square discriminant analysis (PLS-DA) for diagnosis of healthy and carious tooth"

Meisam Gazmeh, Maryam Bahreini, Seyed Hassan Tavassoli and Seifollah Sadria

Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Iran

Dental School, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract- In this study, laser induced breakdown spectroscopy is used to investigate the possibility of discrimination of healthy and carious teeth. This feasibility is examined using multivariate statistical analysis called partial least square discriminant analysis (PLS-DA). It is based on atomic and ionic emission lines of LIBS spectra of teeth belonging to P, Ca, Mg, Zn, K, Sr, C, Na, H, O elements. Our results show well discrimination and also prediction of unknown tooth tissues. So, it shows the ability of LIBS in classification of healthy and carious teeth using PLS-DA method and its feasibility in future clinical applications.

Keywords: Emission line, Laser induced breakdown spectroscopy, Partial least square discriminant analysis, Tissue differentiation.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-19]

۱- مقدمه

کاربرد لیزر در دندانپزشکی شامل آماده‌سازی حفره، رفع پوسیدگی، حذف مرمت، سفیدکاری دندان و... می باشد. برای حذف بافت‌های سخت روش‌های سنتی با روش‌های لیزری جایگزین شده‌اند. لیزرها بدون تماس دست به عنوان ابزاری برای برش و سوراخ کاری استفاده می‌شوند. قابلیت کنترل توان و طول موج منبع نوری سبب شده است که به صورت بسیار مفید بتوان از آن برای انجام برش بافت استفاده کرد. روش‌های مرسوم برای آماده سازی حفره‌های دندان در دندانپزشکی با بکارگیری دست انجام می‌شوند که منجر به خطا و استرس و درد برای بیمار می‌شوند. در عمل به هنگام سوراخ کاری دندان برای حذف بافت پوسیده دندان، همواره مقداری بافت سالم نیز حذف می‌شود که بسیار مهم است که میزان حذف بافت در سوراخ کاری قابل کنترل باشد. به صورت معمولی پروسه‌ی سوراخ کاری دندان توسط چشم دندانپزشک مورد مشاهده قرار می‌گیرد، بنابراین نیازمند روشی هستیم که به صورت آنی بتواند تشخیص بافت سالم از ناسالم را در هنگام سوراخ‌کاری بافت دندان انجام دهد.

طیف سنجی فروشکست القایی لیزری[1] یک روش تحلیل عنصری بر اساس گسیل طیفی می باشد که مزیت آن بعنوان روش تحلیل عنصری آنی[2] و بدون نیاز به آماده سازی نمونه و یا آماده سازی کم برای نمونه‌های زیستی با سرعت بالا می‌باشد. در این مقاله روش طیف‌سنجی فروشکست القایی لیزری به عنوان روشی سریع، درجا و آنی [۲-۱] به‌منظور مشاهده‌ی پروسه‌ی کندگی لیزری در دنداپزشکی مانند سوراخ کاری میکروحفره‌ها و حذف پلاک‌های دندان مورد استفاده قرار گرفته است [۳]. به دلیل ساختار متفاوت بافت مینا و عاج دندان، به‌صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفته‌اند. امکان‌سنجی تفکیک و تشخیص بخش‌های سالم و پوسیده‌ی دندان با استفاده از روش آماری چند متغیره آنالیز تفکیکی حداقل مربعات جزئی[3] انجام گرفته است.

[1] laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS)
[2] Real-time
[3] Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA)

۲- مواد و روش‌ها

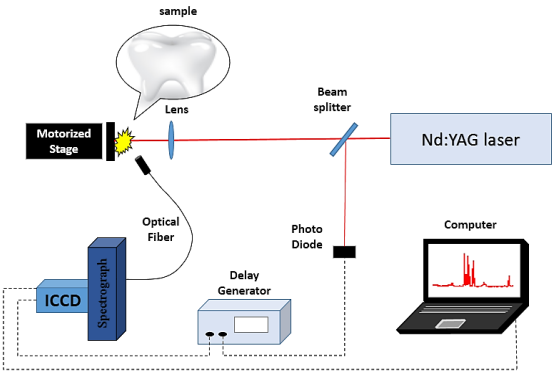
در این بخش چیدمان تجربی، نمونه‌های آنالیز شده و همچنین روش آماری استفاده شده در این پژوهش را تشریح می‌کنیم.

۲-۱- روش تجربی

چیدمان مورد استفاده در آزمایش LIBS برای آنالیز دندان در شکل ۱ نشان داده شده است. پالس‌های لیزر Nd:YAG با طول موج اصلی۱۰۶۴ نانومتر، پهنای زمانی پالس ۶ نانوثانیه، نرخ تکرار ۲ هرتز و انرژی ۹۰ میلی‌ژول برای ایجاد پلاسما روی نمونه های دندان به‌کار می‌روند. باریکه لیزر فرودی به‌ترتیب از یک چرخاننده‌ی $\lambda/2$ و منشورگلان تیلور به منظور کنترل انرژی لیزر عبور می‌کند. باریکه لیزر توسط یک عدسی با فاصله‌ی کانونی ۳/۵ سانتی‌متر روی نمونه دندان که بر روی یک پایه‌ی متحرک XYZ قرار دارد، کانونی می‌شود. پس از ایجاد پلاسما، تابش گسیلی روی یک فیبر از جنس فیوز سیلیکا کانونی می‌شود. گسیل پلاسما پس از عبور از فیبر، به طیف‌سنج اشل[4] منتقل و سپس توسط ICCD ثبت می‌شود. قدرت تفکیک‌پذیری طیف‌سنج در حدود ۰/۰۲ نانومتر می باشد.

۲-۲- نمونه‌ها

دندان انسان یک بافت سخت و کلسیت شده می‌باشد. پایه و اساس بافت‌های کلسیتی را هیدروکسی‌آپاتایت[5]



شکل ۱: چیدمان آزمایش

[4] Eschelle
[5] Hydroxyapatite

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-19]

را کریستال فسفات کلسیم با فرمول شیمیایی $Ca_{10}(PO4)_6(OH)_2$ تشکیل می‌دهد. نمونه‌های دندان، پس از جمع آوری درون محلول سدیم هیپوکلریت[6] ۵٪ برای باکتری زدایی قرار گرفته‌اند.

۲-۳- روش تحلیل آماری

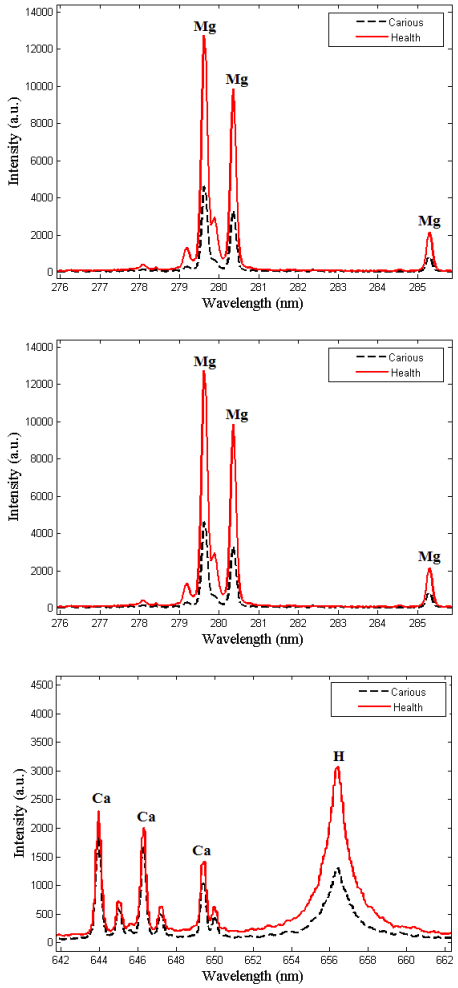
PLS-DA یک روش چند متغیره بازبینی شده[7] می‌باشد که اساس آن روش حداقل مربعات جزئی (PLS) است و برای دسته‌بندی نمونه‌ها به گروه‌های مختلف بکار می‌رود. PLS یک مجموعه‌ی گسترده برای مدل سازی رابطه‌ی بین مجموعه متغیرهای مشاهده شده با استفاده از بردارهای پنهان می‌باشد. در رگرسیون و دسته‌بندی به عنوان تکنیک کاهش ابعاد و مدل‌سازی اطلاعات استفاده می‌شود. این روش بر روی فاکتورها در فضای متغیرهای مشاهده شده و فضای پاسخ‌ها پایه‌گذاری شده است که فاکتورها با بیشینه کردن کوواریانس بین متغیرهای مشاهده شده و پاسخ بدست می‌آید. PLS-DA با استفاده از متغیرهای مستقل و پاسخ، یک ترکیب خطی تشکیل و سپس یک مدل می‌سازد. در اینجا این مدل برای تفکیک و تشخیص تمایز گروه‌ها استفاده می‌شود. طیف‌های بافت سالم دسته‌ی اول و طیف‌های بافت پوسیده دسته‌ی دوم را تشکیل داده اند، بنابراین ما دو گروه متمایز داریم. این روش برای پیشگویی و تشخیص دسته، طیف نامشخص از مجموعه متغیرها که شامل شدت همه‌ی خطوط گسیلی طیف می‌باشد را استفاده می‌کند [۴].

۳- نتایج و بحث

با توجه به طیف‌های بدست آمده، در مجموع ۳۲ خط طیف گسیلی اتمی و یونی مربوط به ۱۰ عنصر در نمونه دندان مشاهده شده که در جدول ۲ آمده است. خطوط طیفی قوی کلسیم و فسفر در طیف‌های مینا و عاج دندان، به دلیل اینکه عناصر اصلی ساختار ماتریسی هیدروکسی‌آپاتایت می باشند، وجود دارند. مقایسه طیف LIBS حاصل از میانگین‌گیری ۵۰ طیف از نقاط مختلف بافت سالم و پوسیده در شکل ۲ مشاهده می‌شود. تفاوت کیفی بین طیف بافت سالم و پوسیده مشاهده نمی‌شود. چرا که عناصر ساختاری یکسانی دارند. به‌همین دلیل ۳۲ خط طیفی مربوط به ۱۰ عنصر را به عنوان داده ورودی برای ساخت مدل آماری PLS-DA و دسته‌بندی طیف دندان به دو گروه سالم و پوسیده مورد استفاده قرار دادیم.

جدول۱: عناصر شناسایی شده در بافت دندان.

Element	Wavelength (nm)
Ca	315.8 - 317.9 - 370.6 - 373.2 - 393.3 - 396.8 - 422.6 - 428.3 - 429.8 - 430.7 - 442.5 - 443.5 - 445.4 - 457.8 - 458.1 - 458.5 - 487.9 - 426.6 - 558.1 - 558.8 - 559.4 - 585.7 - 612.2 - 645.0 - 647.2 - 649.3 - 714.8 - 720.2 - 732.6 - 849.8
Mg	279.5 - 279.7 - 285.2 - 383.2
P	213.5 - 214.9 - 253.5 - 255.3
Na	330.2 - 588.9 - 588.9
K	766.4 - 769.8
Sr	407.7 - 421.5 - 430.5
C	247.8
H	656.28
Zn	202.5 - 206.2
O	777.4 - 844.6



شکل ۲: مقایسه نواحی مختلف طیف LIBS دندان سالم و پوسیده. قرمز: سالم، آبی: پوسیده.

[6] Sodium hypochlorite

[7] Supervised

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-19]

تعداد ۴ نمونه برای ساخت مدل و ۲ نمونه برای تست و پیشگویی استفاده شده است. برای ساخت مدل ۱۹۲ آزمایش LIBS بر روی ۴ نمونه برای بخش سالم و بخش پوسیده عاج و همچنین ۶۰ آزمایش LIBS بر روی بخش سالم و بخش پوسیده مینا انجام شده است. نمودار مربوط به تفکیک دو گروه سالم و پوسیده هر دو بخش مینا و عاج در شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین در این نمودار می‌توان تفکیک کامل بین بخش‌های سالم و پوسیده‌ی دندان در هر دو بخش مینا و عاج را مشاهده کرد. نکته‌ی قابل توجه این است که مدل ساخته شده ۱۰۰٪ تفکیک را بدون هیچگونه برهم‌پوشانی بین اطلاعات طیفی LIBS بافت سالم و پوسیده نشان داده است.

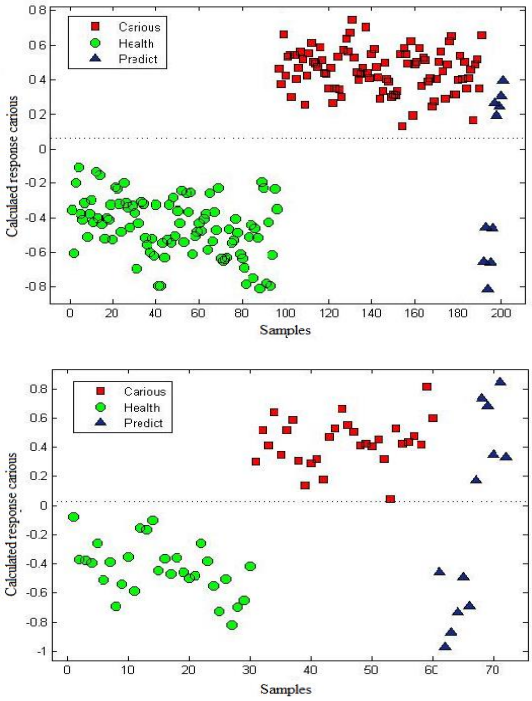
اطلاعات ۲ نمونه‌ی جدید تست بدون هیچگونه دسته-بندی اولیه به الگوریتم وارد شد. نتایج حاصل از تست نیز

در شکل ۳ آورده شده است و آشکار است که مدل ساخته شده ۱۰۰٪ قابلیت برای پیشگویی تشخیص سالم و یا پوسیده بودن را دارا می‌باشد.

دقت یک مدل را می‌توان با نتایج اعتبارسنجی آن مطرح کرد. در جدول ۲ اطلاعات مربوط به تفکیک آنالیز آماری به صورت خلاصه آورده شده است. در هر گروه طیفی این آنالیز در بافت سالم و پوسیده تفکیک ۱۰۰٪ را داشته است. با این وجود نتایج اعتبارسنجی مدل برای بافت عاج تفکیک ۱۰۰٪ و برای بافت مینا تفکیک ۸۲٪ را داریم. تغییرات در دقت نتایج مینای دندان ناشی از تغییرات در صافی سطح مینای دندان می‌باشد که سبب ایجاد اختلال در شرایط آزمایش می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

طیف‌سنجی فروشکست القایی لیزری برای تشخیص دندان سالم و پوسیده و امکان کاربرد و اجرای آن در طی درمان دندان به مانند ایجاد میکروپلاسما در هنگام سوراخ کاری لیزری و حذف پلاک‌های دندانی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که ۱۰۰٪ تفکیک بخش‌های سالم و پوسیده برای عاج و ۸۲٪ تفکیک برای مینای دندان با استفاده از این روش امکان‌پذیر است.



شکل ۳: نمودار PLS-DA تفکیک بافت سالم و پوسیده و همچنین تشخیص و پیشگویی نمونه های جدید. الف) عاج، ب) مینا.

جدول ۲: نتایج حاصل از دقت مدل ساخته شده با روش PLS-DA

		Fitting	Cross- Validation
	Class	Accuracy (%)	Accuracy (%)
Enamel	Healthy	100	0.82
	Carious		
Dentin	Healthy	100	100
	Carious		

مراجع

[1] D. A. Cremers, *Handbook of Laser Induced Breakdown Spectroscopy*. Chichester: wiley, 2006.
[2] S. N. T. J.P. Singh, *laser induced break down spectroscopy*. New York: Elsevier, 2007.
[3] O. Samek, D. C. S. Beddows, H. H. Telle, G. W. Morris, M. Liska, and J. Kaiser, *"Quantitative analysis of trace metal accumulation in teeth using laser-induced breakdown spectroscopy,"* vol. 182, pp. 179–182, 1999.
[4] R. Rosipal and N. Kr, *"Overview and Recent Advances in Partial Least Squares,"* pp. 34–51, 2006

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-19]