بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

اثر انرژی لیزر پالسی بر مشخصات نانوذرات آلومینیوم تولید شده به روش کندوسوز لیزری در محیط آب مقطر

مژگان عباسی و داود درانیان

آزمایشگاه لیزر، مرکز تحقیقات فیزیک پلاسما، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده – خواص وابسته به اندازه نانوذرات کاربردهای گسترده‌ای دارد. کندگی لیزری یکی از روش‌های بسیار تمیز و مؤثر در سنتز نانوذرات است. در این تحقیق روش کندگی لیزری با لیزر *Nd:YAG* پالسی مطرح شده و سنتز نانوذرات رسانای آلومینیوم در آب مقطر تشریح شده است و تغییر مشخصه‌های نانوذرات در قبال تغییر انرژی پالس لیزر را به‌صورت تجربی مطالعه کرده‌ایم. نانوبلورهای آلومینیوم در اثر کندگی هدف، درون آب به‌صورت محلول معلق تولید می‌شوند. تشکیل نانوبلورها به‌وسیله تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی مورد تأیید قرار گرفته است. طیف جذب اپتیکی محلول کلوئیدی حاوی نانوذرات گرفته شده است و نیز نرخ تولید نانوذرات در آب مقطر اندازه‌گیری شده است.

کلید واژه- کندوسوز لیزری، نانوذرات آلومینیوم، شدت لیزر

Effect of laser pulse energy on the characteristics of Al nanoparticles generated with laser ablation method in liquid medium

Mozhgan Abbasi, Davoud Dorranian

Laser Laboratory, Plasma Physics Research Center, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract-In this research nanoparticles were prepared by pulse laser ablation (PLA) of a high purity aluminum bulk in distilled water. The pulse of a Q-switched Nd:YAG laser of 1064nm wavelength has been used with pulse width of 7 ns and 10 Hz repetition rate. Aluminum bulk was placed on the bottom of water contain that hieght of water on the aluminum target was 1.2 cm. Aluminum target was ablated with 500 laser pulses at different fluencies. Samples 1-5 were prepared with laser pulse fluencies of, 1, 1.5, 2, 2.5, and 3 J/cm^2 respectively. Formation of nanocrystals has been confirmed by electron microscopy imaging. Optical absorption spectra of colloidal nanoparticles have been and the production rate of nanoparticles in water has been measured.

Keywords: Laser ablation, Aluminum nanoparticles, Laser intensity

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

۱- مقدمه

فناوری نانو توانایی به دست گرفتن کنترل ماده در ابعاد نانو و بهره‌برداری از خواص آن در ابزارها و سیستم‌های نوین است. یکی از تمیزترین روش‌های سنتز نانوذرات، استفاده از لیزر است. در سنتز نانوذرات به روش‌های شیمیایی معمولا پسماندهای مضری ایجاد میشود و محصول نیز ناخالص است. در این تحقیق به نتایج آزمایش کندوسوز لیزری و آنالیزهای مربوطه پرداخته می‌شود و نتایج حاصل از سنتز نانوذرات آلومینیوم به روش کندوسوز لیزری در محیط آب مقطر و نیز مشخصه‌یابی آن مورد بررسی قرار خواهد گرفت [۱،۲].

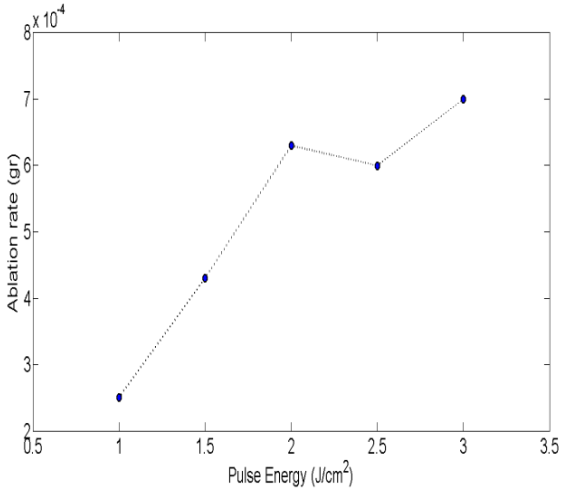
۲- چیدمان تجربی برپایی آزمایش

به‌منظور سنتز نانوذرات آلومینیوم یک قطعه آلومینیوم با خلوص ۹۹٪ در انتهای بشری حاوی ۲۰ml آب مقطر به‌عنوان هدف در نظر گرفته شده است و تحت تابش لیزر Nd:YAG با طول موج ۱۰۶۴nm و با زمان پالس کمتر از ۱۰ns ، بسامد ۱۰Hz و شدت‌های ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، و ۳ (J/cm^2) قرار گرفته است. نمونه‌های تولید شده را در دستگاه سنجش طیف‌های جذبی (UV-Visible) قرار دادیم تا مشخصات اپتیکی مانند بیشینه جذب پلاسمونی را بررسی کنیم. همچنین در این پژوهش از آنالیزهای میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) برای مشخص کردن اندازه و مورفولوژی نانوذرات استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱ اندازه‌گیری نرخ تولید نانوذرات

در این قسمت با توزین دقیق هدف آلومینیمی قبل و بعد از کند و سوز به اندازه گیری جرم کنده شده از آن پرداختیم. جزئیات پارامترهای انتخابی لیزر و نتایج توزین کاهش جرم هدف در شکل۱ آورده شده است. دقت ترازو در این توزین 10^{-4} گرم بود. در این تحقیق انتظار داشتیم از نمونه ۱ به ۵ جرم کاهش یافته هدف افزایش یابد، این موضوع در اندازه‌گیری‌های ما مشاهده می شود. به‌طور متوسط می‌توان گفت به ازای هر ۵۰۰ پالس لیزر در محیط کندوسوز حدود 10^{-4} گرم از جرم هدف کاسته شده است. با توجه به شکل ۱ با افزایش شدت لیزر از $1J/cm^2$ تا $2J/cm^2$ شاهد افزایش چشمگیری در مقدار جرم کنده شده از هدف هستیم، ولی در نمونه‌های ۴ و ۵ این افزایش به نرمی صورت می‌گیرد. کاهش ناچیز جرم کندوسوز شده در نمونه ۴ نسبت به نمونه ۳ احتمالا ناشی از خطای آزمایش می‌باشد.



شکل ۱- منحنی تغییر نرخ کندوسوز برحسب تغییر انرژی پالس لیزر

۳-۲ نتایج حاصل از طیف‌سنجی جذبی

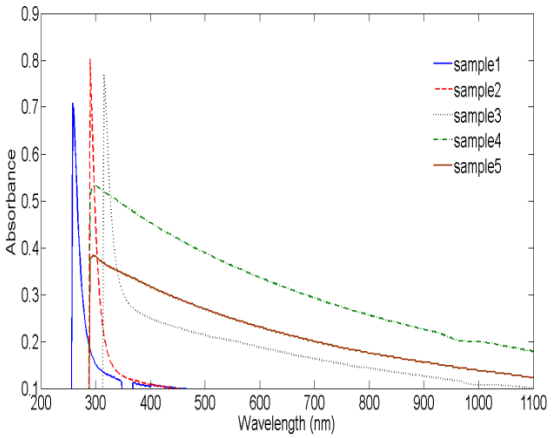
در این تحقیق طیف‌سنجی جذبی در ناحیه UV-Vis-IR مورد استفاده قرار گرفت. دستگاه طیف‌سنج جذبی مورد استفاده قادر است جذب محلول‌های کلوئیدی در ناحیه ۲۰۰-۱۱۰۰nm را بررسی نماید. برای گرفتن طیف، نمونه در یک کوت از جنس کوارتز به ضخامت ۱cm قرار داده شد. برای تهیه طیف‌ها آب خالص به‌عنوان مبنا مورد استفاده قرار گرفت. پیک جذب پلاسمونی نانوذره آلومینیوم در گزارش‌ها هم در حوالی ۲۰۰nm و هم در حوالی ۳۰۰nm گزارش شده است[۳]، ولی همچنان که در طیف مشاهده می‌شود پیک‌های جذبی به‌دست آمده نمونه‌های ما با گزارش‌های دوم مطابقت دارند، این محدوده طول موجی پیک پلاسمونی مربوط به جذب تشدید پلاسمونی نانوذرات آلومینیوم می‌باشد. دلیل این تفاوت مطابق تئوری پراکندگی مای- درود شیفت قرمز پیک جذب پلاسمونی نانوذرات به‌دلیل افزایش اندازه آن‌ها و شیفت آبی آن‌ها به‌دلیل کاهش اندازه است. مطابق مدل‌های موجود از جمله نظریه مای- درود مکان پیک جذبی تشدید پلاسمونی نانوذرات تابع دقیقی از اندازه آنهاست. مکان این قله برای نمونه‌های ما در جدول ۱ درج شده است. پیک جذب پلاسمونی نانوذرات آلومینیوم تولید شده در محدوده ۲۵۸-۳۰۹nm ایجاد شده است. آنچنان

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

جدول ۱- مکان پیک جذب پلاسمونی نانوذرات آلومینیوم

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵
انرژی پالس(J/cm^2)	۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳
طول موج پیک پلاسمونی(nm)	۲۵۸	۲۹۰	۳۰۹	۲۹۸	۲۹۶

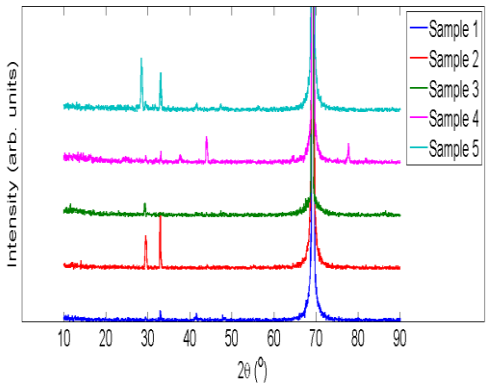
که در شکل ۲ مشاهده می‌کنیم از نمونه ۱ تا ۳ پیک جذبی نانوذرات شیفت رو به قرمز دارند، و در نمونه ۴ و ۵ قله جذب پلاسمونی به سمت طول موج‌های کوچکتر رفته است. مطابق نظریه مای- درود از نمونه ۱ تا ۳ با افزایش انرژی (پالس) لیزر اندازه نانوذرات بزرگتر شده است و پس از آن ذرات کوچکتری تولید شده‌اند. این موضوع در تغییر شکل پیک پلاسمونی نیز به چشم می‌خورد. پیک جذب پلاسمونی نمونه‌های ۴ و ۵ پهن‌شدگی قابل توجهی نسبت به ۳ پیک دیگر دارند، که این موضوع نیز طبق نظریه مای- درود دلیلی بر کاهش اندازه نانوذرات است.



شکل ۲- طیف جذب محلول کلوئیدی نانوذرات آلومینیوم حاصل از کندوسوز لیزری در آب مقطر

۳-۳ مطالعات پراش اشعه X

مطالعات پراش اشعه X برای شناسایی جنس و ساختار کریستالی مواد سنتز شده انجام می‌شود. به همین‌منظور حجم مشخصی از محلول کلوئیدی نانوذرات آلومینیوم را به روش کندگی لیزر داخل محیط آب، تهیه کرده و پس از قرار دادن در فضای باز روی زیر لایه سیلیکون خشک کردیم. در شکل ۳ طیف پراش اشعه X حاصل از پودر نتیجه کندوسوز لیزری در محیط آب نشان داده شده است. بیشترین چیزی که در XRD شاهد آن هستیم تشکیل صفحات کریستالی اکسید آلومینیوم است. پیک مشاهده شده در ۶۹۰ مربوط به زیر لایه سیلیکون میباشد. متفاوت بودن مکان پیکهای آلومینیم در نمونه ها بیانگر این مطلب است که برای شکل گیری نانوذرات ابتدا اتمهای آلومینیم از هدف کنده شده اند و سپس تحت فشار هیدرودینامیکی ایجاد شده در پلاسمای شکل گرفته روی سطح هدف اتمها پیوند خورده و نانوذرات شکل گرفته اند.



شکل ۳- نتیجه آزمایش پراش اشعه X آلومینیوم حاصل از کندگی لیزری با انرژی‌های مختلف در آب

۳-۴ تصویربرداری SEM

جهت تصویربرداری SEM چند قطره از محلول‌های حاوی نانوذرات سنتز شده به روش کندگی لیزری را به‌طور جداگانه روی فویل‌های آلومینیومی ریخته و خشک می‌کنیم. شکل ۴ تصاویر حاصل از تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی SEM از سطح نانوذرات آلومینیوم سنتز شده در آب مقطر را نشان می‌دهد. به‌طور کلی در تصویربرداری SEM ذرات کمتر از ۲۰nm به‌سختی قابل رؤیت هستند. به‌عبارتی هدف از این عکسبرداری عمدتا بررسی کلوخه‌ای شدن نمونه‌ها، چسبندگی، و ایجاد کلوئیدها و شکل کلی ذرات می‌باشد. همان‌گونه که در شکل‌های ۴ مشاهده می‌شود غلظت ذرات در نمونه‌ها کم است، که البته می‌توانستیم با افزایش زمان کندوسوز تعداد آنها را افزایش دهیم. مطابق آنچه در شکل‌ها دیده می‌شود نانوذرات ایجاد شده در نمونه‌های ۱ و ۲ به‌وضوح دیده نمی‌شوند، و آنچه در این دو شکل مشخص است کلوخه‌های نانوذرات است، ولی در نمونه‌های ۳، ۴ و ۵ نانوذرات در کنار کلوخه‌ها قابل مشاهده هستند. در این شکل‌ها نیز روند اندازه تکرار شده، به‌طوری که از نمونه ۱ تا ۳ سایز نانوذرات و یا کلوخه‌ها افزایش یافته است و در نمونه‌های

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

۴ و ۵ اندازه‌ها کاهش یافته‌اند. مطابق تصاویر به‌دست آمده در شکل ۴ توسط میکروسکوپ الکترونی انعکاسی عکسبرداری با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر توسط الکترون-هایی با انرژی ۱۵ keV انجام شده است. همان‌طور که از شکل‌ها مشاهده می‌شود در کلیه نمونه‌ها نانوذرات کروی هستند.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق بر سنتز نانوذرات آلومینیوم با استفاده از فرایند کندوسوز لیزری در آب مقطر تمرکز شده است. مکان پیک جذب پلاسمونی نانوذرات تولید شده در طیف-سنجی جذبی از نانوذرات در محدوده ۲۵۸nm-۲۹۸nm می‌باشد. مکان این پیک از نمونه ۱ تا ۳ مکان انتقال به سمت قرمز و در نمونه ۴ و ۵ انتقال به سمت آبی را دارد. آنالیز SEM کلوخه‌ای شدن نمونه‌ها را نشان می‌دهد و نیز از این آنالیز می‌توان نانوذرات کروی شکل را مشاهده کرد.

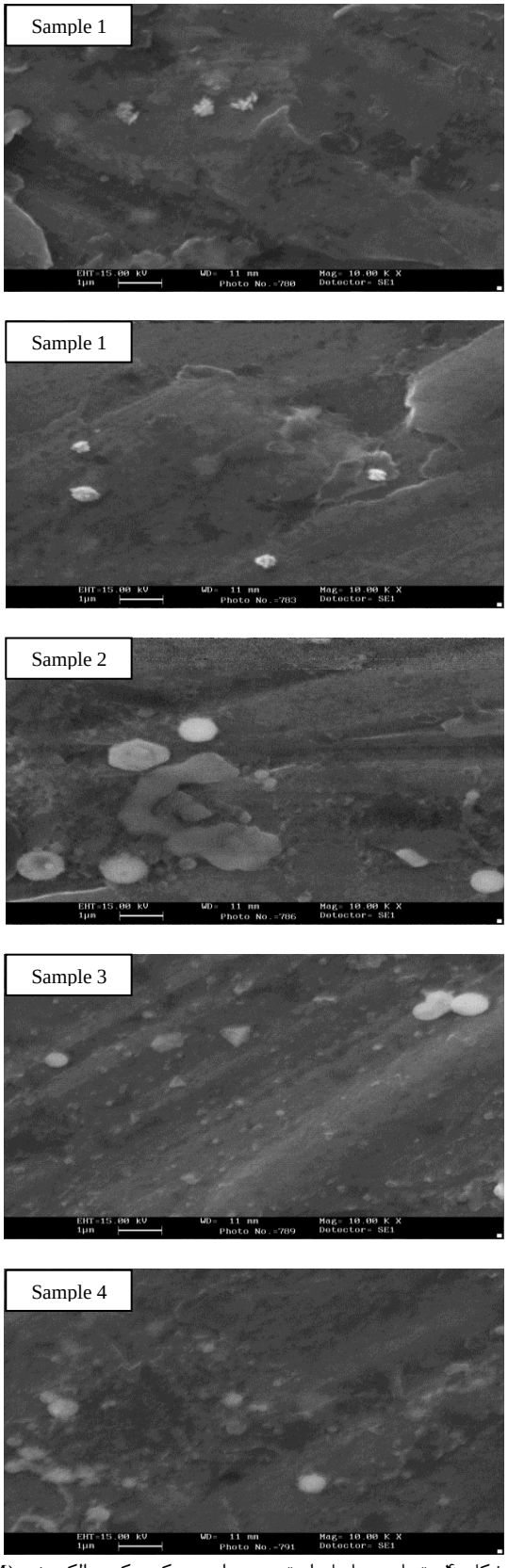
مراجع

[۱] علی شکوه فر، کسری مؤمنی، مقدمه‌ای بر نانوتکنولوژی، انتشارات نشر گستر، ۱۳۸۴

[2] C.L. Sajti, R. Sattari, B.N. Chichkov, S. Barcikowski, A 100, 203 (2010)

[3] S. Barcikowski, A. Hahn, A. V. Kabashin, B.N. Chichkov, **Appl. Phys.** A 87, 47 (2007)

[4] Syed Hamad, G Krishna Podagatlapalli, S. Sreedhar, Surya P. Tewari, S. Venugopal Rao, "Femtosecond and picosecond ablation of nanoparticles and nanostructures and their optical characterization", Vol 9



شکل ۴- تصاویر حاصل از تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی (SEM) از سطح نانوذرات آلومینیوم با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]