بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵- ۱۶ بهمن ۱۳۹۸

بررسی اثر پارامتر های لیزری بر روی گرمای ایجاد شده در برهمکنش پالس های نانوثانیه با نانوذرات طلا

سیده هاجر حسینی‌کیا- محمدرضایی پندری- آتوسا سادات عربانیان- رضا مسعودی*

پژوهشکده‌ی لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، اوین، تهران(*R-Massudi@sbu.ac.ir)

چکیده – گرمای تولید شده در اثر برهمکنش پالس‌های نانوثانیه با نانوذرات طلا کاربردهای و سیعی در حوزه‌ی پز شکی نظیر از بین بردن سلول های سرطانی و دارور سانی سلولی دارد که بسته به کاربرد، میزان گرمای مورد نیاز، متفاوت می‌با شد. پارامترهای پالس لیزری و م شخ صات هند سی نانوذرات طلا از عوامل موثر بر مقدار گرمای تولید شده می‌با شد. در این مقاله به شبیه سازی میزان گرمای ایجاد شـــده در اثر برهمکنش نانوذرات طلا درون محیط کشـــت ســـلول با لیزر نانوثانیه به ازای پارامترهای مختلف لیزری پرداخته و اثر افزایش فاصله از سطح نانوذره بر میزان حرارت تولید شده بررسی می‌شود.

کلید واژه- لیزر پالسی نانوثانیه، نانوذرات طلا، برهمکنش گرمایی

Investigation of the effect of laser parameters on the heat produced in the interaction of nanosecond pulse with gold nanoparticles

Seyyede Hajar Hosseinikia- Mohammad Rezaei Pandari- Atoosa Sadat Arabanian- Reza Massudi*

Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Evin, Tehran(R-Massudi@sbu.ac.ir*)

Abstract- the produced heat in the interaction of nanosecond pulses with gold nanoparticles has many applications in medical field like cancer cell killing and cell drug delivery. Depending on the applications, the amount of heat needed would be different. Laser parameters and geometrical characteristic of gold nanoparticles are efficient factors on the produced heat. In this article, simulation of the amount of produced heat in the interaction of gold nanoparticles in cell culture medium with nanosecond laser for different laser parameters is performed and the effect of distance from nanoparticle surface on the produced heat is investigated.

Keywords: nanosecond laser pulse- gold nanoparticle- thermal interaction

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

مقدمه

برهمکنش پالس‌های نانوثانیه با نانوذرات طلا موجب ایجاد گرمای شدیدی در اطراف نانوذرات می‌شود[۱]. امروزه کاربردهای این برهمکنش حوزه‌ی وسیعی از تحقیقات در زمینه‌ی پزشکی را به خود اختصاص می‌دهد. از میان مهم‌ترین کاربردهای این برهمکنش می‌توان به از بین بردن سلول های سرطانی و دارورسانی سلولی اشاره کرد. میزان گرمای مورد نیاز با توجه به کاربردهای متنوع پزشکی متفاوت می‌باشد[۲]. در سال ۲۰۰۸ لتفولین[۱] و همکارانش اثر گرمایی برهمکنش پالس کوتاه با نانوذرات طلا را بدون درنظر گرفتن محیط اطراف نانوذره شبیه سازی کردند[۲]. در سال ۲۰۱۱ نیز، گنزالز[۲] و همکارانش گرمای حاصل از این برهمکنش را با در نظر گرفتن غوطه وری نانوذره درون محیط کشت سلول مورد بررسی قرار دادند[۳]. در کاربردهای پزشکی و تحقیقات زیستی متفاوت، کنترل مقدار گرمای تولید شده در اثر برهمکنش لیزر و نانوذره، نقش اساسی جهت حصول نتیجه‌ی بهینه را دارد. اما در تمام مطالعات صورت گرفته، بررسی نقش عوامل موثر برکنترل مقدار گرمای تولید شده طی این برهمکنش به صورت مجهول باقی ماند.

به دلیل اهمیت نقش پارامترهای لیزر در میزان گرمای تولید شده در این برهمکنش، در این مقاله به شبیه سازی و مقایسه‌ی حرارت حاصل از برهمکنش نانوذرات طلا درون محیط کشت سلول با لیزر نانوثانیه به ازای شدت، طول زمانی پالس و طول موج های متفاوت می‌پردازیم و اثر افزایش فاصله از سطح نانوذره را بر این گرمای تولید شده بررسی می‌کنیم.

تئوری

هنگامی که نانوذرات فلزی تحت تابش امواج الکترومغناطیسی با طول موج‌هایی بزرگتر از ابعاد نانوذره قرار می‌گیرد، الکترون‌های آزاد آن‌ها شروع به نوسان می‌کنند[۴]. افزایش نوسان این الکترون ها موجب افزایش جذب گرما توسط نانوذره می‌شود و آن را به یک منبع گرمایی تبدیل می‌کند.

در اثر برهمکنش پالس‌های کوتاه لیزری با نانوذرات طلا گرمایی درون نانوذره تولید می‌شود که از معادله‌ی زیر پیروی می‌کند[۲]:

$$Q=\frac{3K_{abs}(\lambda.r_0)\, I_0 f(t)}{4r_0} \qquad (۱)$$

در این رابطه I_0، شدت اولیه‌ی پالس، f(t)، پروفایل زمانی پالس و r_0، شعاع نانوذره می‌باشد. K_{abs} (λ,r_0)، نیز ضریب جذب نام دارد که تابعی از طول موج نور فرودی و شعاع نانوذره می‌باشد. برای نانوذرات طلا در طول موج‌های نور مرئی، بیشترین تعداد نوسان الکترون و در نتیجه بیشترین مقدار جذب گرما توسط نانوذره وجود دارد.

برای پالس‌هایی با پروفایل زمانی گاوسی، f(t) به شکل زیر بیان می‌شود[۲]

$$f(t)= \exp(-2(1.77\frac{t}{t_p})^2) \qquad (۲)$$

در این رابطه t زمان و t_p طول زمانی پالس می‌باشد. بنابر این گرمای تولید شده درون نانوذره وابسته به طول پالس نیز می‌باشد.

انتشار گرما از نانوذره به محیط پیرامون توسط معادله دیفرانسیل زیر بیان می‌شود[۲]:

$$Q= \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}+\rho c_p u\nabla T+\nabla.(k\nabla T) \qquad (۳)$$

۱- Letfullin

۲- Gonzalez

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

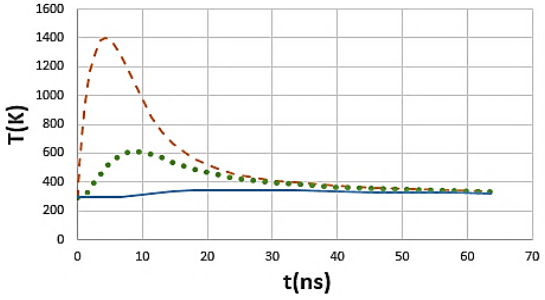
در این رابطه u، سرعت انتقال گرما در محیط، ρ، چگالی حجمی، c_p، گرمای ویژه، T،دما و k، ضریب هدایت گرمایی محیط پیرامون نانوذره می‌باشد.

در اثر برهمکنش پالس‌های نانوثانیه با نانوذرات طلا درون محیط‌های مایع همچون محیط کشت سلول، امکان تولید حباب‌هایی در ابعاد نانومتری وجود دارد که می‌توان از آن‌ها جهت از بین بردن سلول‌های سرطانی و دارورسانی سلولی استفاده کرد. دمای آستانه‌ی لازم جهت تولید نانوحباب‌ها نیز ۵۲۰K-۶۴۷K می‌باشد[۱].

نتایج شبیه سازی

در این بخش به حل معادله‌ی دیفرانسیل انتشار گرما از نانوذره به محیط پیرامون پرداخته و توزیع حرارتی حاصل از برهمکنش نانوذرات کروی طلا به شعاع ۵۰nm درون محیط کشت سلول با پالس لیزری نانوثانیه با پروفایل زمانی گاوسی شبیه سازی و اثر فاصله از سطح نانوذره، طول پالس، طول موج و شدت اولیه روی گرمای ایجاد شده بررسی می‌شود. محیط کشت سلول نیز با تقریب خوبی آب در نظر گرفته می‌شود.

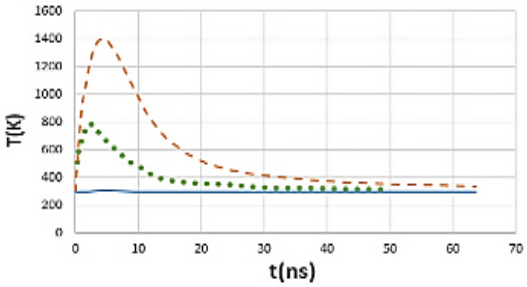
شکل ۱ تحول زمانی دمای حاصل از برهمکنش لیزر با نانوذرات طلا در محیط کشت سلول را در فواصل متفاوت از سطح نانوذره نشان می‌دهد. شدت اولیه‌ی پالس ۶۰ $\frac{J}{ns.m^2}$ ، طول زمانی پالس ۱۰ns، و طول موج لیزر ۵۳۲nm می‌باشد.



شکل ۱: تحول زمانی دمای حاصل از برهمکنش لیزر نانوثانیه با شدت اولیه‌ی $\frac{J}{ns.m^2}$ ۶۰ ، طول زمانی ۱۰ns، و طول موج ۵۳۲nm با نانوذرات طلا بر روی سطح نانوذره(نمودار خط چین) و به ازای فواصل ۸۰ نانومتری(نمودار نقطه چین) و ۱۵۰ نانومتری(نمودار خط توپر) از مرکز نانوذره

همانطور که مشاهده می‌شود، بیشینه‌ی دمای ایجاد شده بر روی سطح نانوذره بیشترین مقدار را دارد. این بیشینه‌ی دمایی با افزایش فاصله از سطح نانوذره به شدت افت می‌کند. همچنین در فواصل نزدیک به سطح نانوذره، دمای بیشینه در اثر گذر زمان کمتری ایجاد می‌شود. علت این موضوع را میتوان بر اساس مفهوم سرعت انتقال حرارت توضیح داد. این سرعت تابعی از پارامترهای محیط می‌باشد و مقدار آن برای انتقال حرارت به تمام نقاط در یک محیط برابر می‌باشد. بنابر این با افزایش فاصله از سطح، مدت زمان بیشتری طول می‌کشد تا گرما از نانوذره به یک نقطه‌ی دلخواه برسد و بیشینه‌ی دمایی، پس از گذشت مدت زمان طولانی‌تری حاصل می‌شود.

شکل ۲ تحول زمانی دمای حاصل از این برهمکنش را به ازای طول موج‌های متفاوت بر روی سطح نانوذره نشان می‌دهد. شدت اولیه‌ی پالس ۶۰ $\frac{J}{ns.m^2}$ و طول زمانی پالس ۱۰ns می‌باشد.



شکل۲: تحول زمانی دمای حاصل از برهمکنش لیزر نانوثانیه با شدت اولیه‌ی $\frac{J}{ns.m^2}$ ۶۰ و طول زمانی ۱۰ns با نانوذرات طلا بر روی سطح نانوذره به ازای طول موج های ۵۳۲nm (نمودار خط چین)، ۳۵۵nm (نمودار نقطه چین) و ۱۰۶۴nm (نمودار خط تو پر)

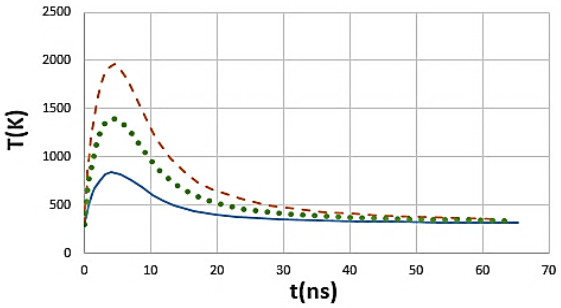
در اثر برهمکنش لیزر با طول موج ۵۳۲nm با نانوذرات طلا، الکترون های آزاد نانوذره بیشینه‌ی نوسان خود را دارند. در نتیجه جذب گرمایی در این طول موج نسبت به سایر طول موج ها بیشتر است. طبق شکل ۲ نیز بیشینه‌ی دمای ایجاد

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

شده برای این طول موج، نسبت به دو طول موج دیگر در محدوده ی فروسرخ و فرابنفش، بیشتر می‌باشد.

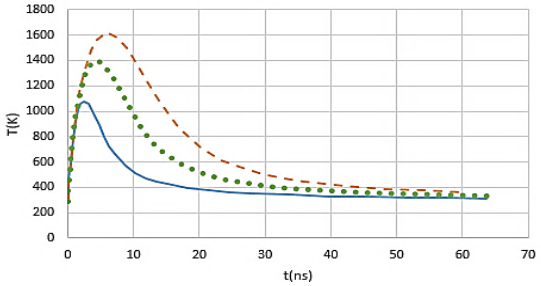
شکل ۳ تحول زمانی دمای حاصل از برهمکنش پالس لیزری با طول موج ۵۳۲ nm، طول پالس ۱۰ns و شدت‌های متفاوت را در برهمکنش با نانوذرات طلا نشان می‌دهد.



کل۳: تحول زمانی دمای حاصل از برهمکنش لیزر نانوثانیه با طول موج ۵۳۲ nm و طول پالس ۱۰ns با نانوذرات طلا بر روی سطح نانوذره به ازای شدت های $۹۰\frac{J}{ns.m^2}$ (نمودار خط چین)، $۶۰\frac{J}{ns.m^2}$ (نمودار نقطه چین) و $۳۰\frac{J}{ns.m^2}$ (نمودار خط توپر)

طبق رابطه‌ی ۱، به ازای شدت‌های اولیه‌ی بزرگ‌تر، نانوذره به یک منبع حرارتی با مقدار گرمای بیشتری تبدیل می‌شود و گرمای بیشتری را به محیط پیرامون انتقال می‌دهد. در شکل ۳ نیز بیشینه‌ی دمای ایجاد شده بر روی سطح نانوذره برای شدت $۹۰\frac{J}{ns.m^2}$ نسبت به شدت $۶۰\frac{J}{ns.m^2}$ و $۳۰\frac{J}{ns.m^2}$ بیشتر می‌باشد.

شکل ۴ نیز این تحول زمانی دما را بر روی سطح نانوذره برای لیزری با طول موج ۵۳۲nm، شدت اولیه ی $۶۰\frac{J}{ns.m^2}$ و طول پالس‌های متفاوت نشان می‌دهد.



شکل ۴: تحول زمانی دمای حاصل از برهمکنش لیزر نانوثانیه با طول موج ۵۳۲nm و شدت اولیه ی $۶۰\frac{J}{ns.m^2}$ با نانوذرات طلا بر روی سطح نانوذره به ازای طول پالس های ۱۵ ns (نمودار خط چین)، ۱۰ns (نمودار نقطه چین) و ۵ns (نمودار خط توپر)

برای طول پالس‌های کوتاه‌تر، مدت زمان برهمکنش لیزر با نانوذره کوتاه می‌باشد. بنابراین نوسان الکترون‌های آزاد درون نانوذره کمتر می‌باشد و در نتیجه گرمای کمتری بر روی سطح نانوذره تولید می‌شود و در نهایت بیشینه‌ی دمایی کمتری را به خود اختصاص می‌دهد.

نتیجه گیری

در این مقاله تاثیر طول پالس، طول موج و شدت لیزر و همچنین تاثیر فاصله از مرکز نانوذره بر روی میزان گرمای حاصل از برهمکنش پالس لیزری نانوثانیه با نانوذرات طلا درون محیط کشت سلول شبیه سازی شد. نتایج نشان می‌دهد که با تغییر طول موج، طول زمانی پالس و شدت لیزر، می‌توان مقدار گرمای تولید شده را با توجه به کاربرد مورد نظر کنترل نمود. همچنین با توجه به تاثیر فاصله از سطح نانوذره، میتوان در کاربرد های زیستی و پزشکی، نمونه را با توجه به مقدار گرمای مورد نیاز در فواصل متفاوت از نانوذره قرار داد.

مرجع‌ها

[1] Pustovalov VK, Smetannikov AS, Zharov VP. Photothermal and accompanied phenomena of selective nanophotothermolysis with gold nanoparticles and laser pulses. Laser Phys Lett 2008;5(11):775–92

[2] Letfullin RR, George TF, Duree GC, Jr, Bollinger B. Ultrashort laser pulse heating of nanoparticles: comparison of theoretical approaches, advances in optical technologies. Advances in Optical

[3] D. Gonzalez, J. Gardner, O. Tigli, "FEM Analysis of Laser-Induced Heating of Gold Nanoparticles", *COMSOL Conference Proceedings*, 2011

[4] Stefan A. Maier,Plasmonics:Fundamentals and applications

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]