



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 پارامترهای لیزری بر روی گرمای ایجاد شده در برهمکنش پالس های نانوثانیه با نانوذرات طلا

سیده هاجر حسینی کیا - محمدرضایی پندری - آتوسا سادات عربانیان - رضا مسعودی*

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

چکیده - گرمای تولید شده در اثر برهمکنش پالس های نانوثانیه با نانوذرات طلا کاربردهای وسیعی در حوزه ی پزشکی نظیر از بین بردن سلول های سرطانی و دارورسانی سلولی دارد که بسته به کاربرد، میزان گرمای مورد نیاز، متفاوت می باشد. پارامترهای پالس لیزری و مشخصات هندسی نانوذرات طلا از عوامل موثر بر مقدار گرمای تولید شده می باشد. در این مقاله به شبیه سازی میزان گرمای ایجاد شده در اثر برهمکنش نانوذرات طلا درون محیط کشت سلول با لیزر نانوثانیه به ازای پارامترهای مختلف لیزری پرداخته و اثر افزایش فاصله از سطح نانوذره بر میزان حرارت تولید شده بررسی می شود.

کلیدواژه- 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

مقدمه

برهمکنش پالس‌های نانوثناییه 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 سلول‌های 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، گزنالز^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 بر کنترل 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 نانوثناییه 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]:

$$Q = \frac{3K_{abs}(\lambda, r_0) I_0 f(t)}{4r_0} \quad (1)$$

در این رابطه I_0 ، شدت اولیه‌ی پالس، $f(t)$ ، پروفایل زمانی پالس و r_0 شعاع نانوذره می‌باشد. $K_{abs}(\lambda, r_0)$ 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]

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

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]:

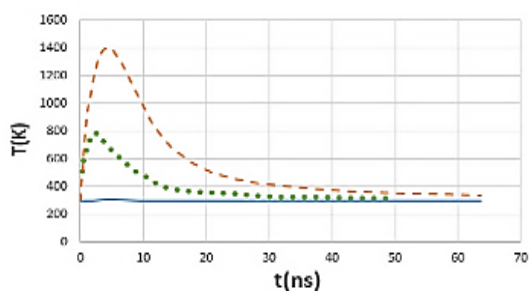
$$Q = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho c_p u \nabla T + \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (3)$$

^۱- Letfullin-
^۲- Gonzalez

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 می شود، بیشینه دمای ایجاد شده بر روی سطح نانوذره بیشترین مقدار را دارد. این بیشینه دمایی با افزایش فاصله از سطح نانوذره به شدت افت می کند. همچنین در فواصل نزدیک به سطح نانوذره، دمای بیشینه در اثر گذر زمان کمتری ایجاد می شود. علت این موضوع را میتوان بر اساس مفهوم سرعت انتقال حرارت توضیح داد. این سرعت تابعی از پارامترهای محیط می باشد و مقدار آن برای انتقال حرارت به تمام نقاط در یک محیط برابر می باشد. بنابر این با افزایش فاصله از سطح، مدت زمان بیشتری طول می کشد تا گرما از نانوذره به یک نقطه ی دلخواه برسد و بیشینه دمای، پس از گذشت مدت زمان طولانی تری حاصل می شود.

شکل ۲ تحول زمانی دمای حاصل از این برهمکنش را به ازای طول موج های متفاوت بر روی سطح نانوذره نشان می دهد. شدت اولیه ی پالس $60 \frac{J}{ns.m^2}$ و طول زمانی پالس ۱۰ ns می باشد.



شکل ۲: تحول زمانی دمای حاصل از برهمکنش لیزر نانوثانیه با شدت اولیه ی $60 \frac{J}{ns.m^2}$ و طول زمانی ۱۰ ns با نانوذرات طلا بر روی سطح نانوذره به ازای طول موج های ۵۳۲ nm (نمودار خط چین)، ۳۵۵ nm (نمودار نقطه چین) و ۱۰۶۴ nm (نمودار خط توپر)

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

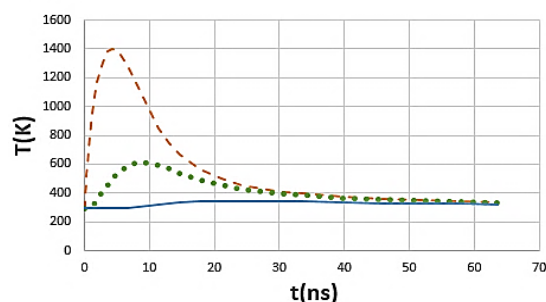
در این رابطه u ، سرعت انتقال گرما در محیط، ρ ، چگالی حجمی، c_p ، گرمای ویژه، T ، دما و k ، ضریب هدایت گرمایی محیط پیرامون نانوذره می باشد.

در اثر برهمکنش پالس های نانوثانیه با نانوذرات طلا درون محیط های مایع همچون محیط کشت سلول، امکان تولید حباب هایی در ابعاد نانومتری وجود دارد که می توان از آن ها جهت از بین بردن سلول های سرطانی و دارورسانی سلولی استفاده کرد. دمای آستانه ی لازم جهت تولید نانوحباب ها نیز ۶۴۷ K-۵۲۰ K می باشد [۱].

نتایج شبیه سازی

در این بخش به حل معادله ی دیفرانسیل انتشار گرما از نانوذره به محیط پیرامون پرداخته و توزیع حرارتی حاصل از برهمکنش نانوذرات کروی طلا به شعاع ۵۰ nm 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 می شود. محیط کشت سلول نیز با تقریب خوبی آب در نظر گرفته می شود.

شکل ۱ تحول زمانی دمای حاصل از برهمکنش لیزر با نانوذرات طلا در محیط کشت سلول را در فواصل متفاوت از سطح نانوذره نشان می دهد. شدت اولیه ی پالس $60 \frac{J}{ns.m^2}$ ، طول زمانی پالس ۱۰ ns، و طول موج لیزر ۵۳۲ nm می باشد.



شکل ۱: تحول زمانی دمای حاصل از برهمکنش لیزر نانوثانیه با شدت اولیه ی $60 \frac{J}{ns.m^2}$ ، طول زمانی ۱۰ ns، و طول موج ۵۳۲ nm با نانوذرات طلا بر روی سطح

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

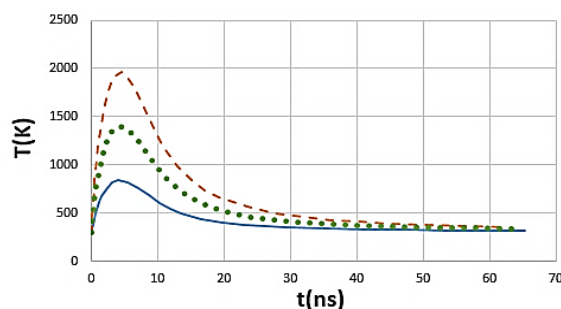
در این مقاله تاثیر طول پالس، طول موج و شدت لیزر و همچنین تاثیر فاصله از مرکز نانوذره بر روی میزان گرمای حاصل از برهمکنش پالس لیزری نانوذانه با نانوذرات طلا درون محیط کشت سلول شبیه سازی شد. نتایج نشان می‌دهد که با تغییر طول موج، طول زمانی پالس و شدت لیزر، می‌توان مقدار گرمای تولید شده را با توجه به کاربرد 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.

مرجع ها

- [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*

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

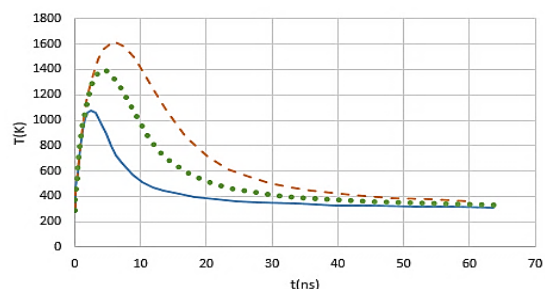
شکل ۳ تحول زمانی دمای حاصل از برهمکنش پالس لیزری با طول موج ۵۳۲ nm، طول پالس ۱۰ ns و شدت‌های متفاوت را در برهمکنش با نانوذرات طلا نشان می‌دهد.



شکل ۳: تحول زمانی دمای حاصل از برهمکنش لیزر نانوذانه با طول موج ۵۳۲ nm و طول پالس ۱۰ ns با نانوذرات طلا بر روی سطح نانوذره به ازای شدت های $90 \frac{J}{ns.m^2}$ (نمودار خط چین)، $60 \frac{J}{ns.m^2}$ (نمودار نقطه چین) و $30 \frac{J}{ns.m^2}$ (نمودار خط توپر)

طبق رابطه ی ۱، به ازای شدت‌های اولیه ی 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 $90 \frac{J}{ns.m^2}$ نسبت به شدت $60 \frac{J}{ns.m^2}$ و $30 \frac{J}{ns.m^2}$ بیشتر می‌باشد.

شکل ۴ نیز این تحول زمانی دما را بر روی سطح نانوذره برای لیزری با طول موج ۵۳۲ nm، شدت اولیه ی $60 \frac{J}{ns.m^2}$ و طول پالس‌های متفاوت نشان می‌دهد.



شکل ۴: تحول زمانی دمای حاصل از برهمکنش لیزر نانوذانه با طول موج ۵۳۲ nm و شدت اولیه ی $60 \frac{J}{ns.m^2}$ با نانوذرات طلا بر روی سطح نانوذره به ازای طول پالس های ۱۵ ns (نمودار خط چین)، ۱۰ ns (نمودار نقطه چین) و ۵ ns (نمودار خط توپر)