

«مقاله پژوهشی»

شبیه‌سازی نانوذرات اکسید کبالت به منظور ارزیابی قیاسی کاربرد آن در فوتوترمال تراپی با

استفاده از تابش لیزر

محمد رضا آرمان مهر^{1*}، محمدرضا جلالی²، علی اصغر شکری³، علی حیدری چالشتوری⁴

1. گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

2. گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

3. گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

4. گروه مهندسی پزشکی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: 1400/08/06 تاریخ پذیرش: 1400/09/30

Simulation of Cobalt Oxide Nanoparticles in Order to Estimate its Use in Photothermal Therapy with Use of Laser

M.R. Armanmehr^{*1}, M.R. Jalali², A.A. Shokri³, A. Heydari Chaleshtori⁴

1. Department of Physics, Payame Noor University, Tehran, Iran

2. Department of Physics, Payame Noor University, Tehran, Iran

3. Department of Physics, Payame Noor University, Tehran, Iran

4. Department of Biomedical Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran

Received: 2021/10/28 Accepted: 2021/12/21

Abstract

One of the non-invasive methods of cancer treatment is photothermal laser therapy. Adding metal nanospheres and nanorods to tissue improves the healing process. On the other hand, temperature control is also essential to maintain healthy tissue. This article investigates the process of cancer treatment using laser and cobalt oxide nanoparticles as well as iron and copper metals. For this, we consider cobalt oxide nanospheres in a spherical cancer cell; Then, a number of cylindrical cobalt oxide nanorods are regarded in an aqueous hemisphere (as a cancer cell) and simulated with the help of COMSOL finite element approximation software. Appropriate boundary conditions are important for heat transfer on internal and external surfaces and temperature distribution should be obtained in different parts of the cell and nanoparticles. In addition, we investigated the magnetic and non-magnetic effects of iron and copper metals with the same laser intensity and similar boundary conditions. The calculation results show that the average temperature of the cell water volume during the first 0.8 microseconds of irradiation in the presence of cobalt oxide nanospheres is 43 degrees Celsius; also, in the presence of cobalt oxide nanorods, it reaches a temperature of 53 degrees Celsius. The average temperature of the water volume of the cell reaches 100 degrees Celsius in the presence of iron nanospheres and 100 degrees Celsius in the presence of copper nanorods with a steeper slope.

Keywords

Photothermal Therapy-Nanoparticles-Comsol-Cancer Cell

چکیده

یکی از روش‌های غیرتهاجمی درمان سرطان فوتوترمال تراپی با لیزر است. افزودن نانوکره‌ها و نانومیله‌های فلزی به بافت باعث بهبود فرآیند درمان می‌شود. از طرفی دیگر، کنترل دما به منظور حفظ بافت سالم نیز دارای اهمیت است. در این مقاله فرآیند درمان سرطان با استفاده از لیزر و نانوذرات اکسید کبالت و همچنین فلزات آهن و مس مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این کار، نانوکره‌های اکسید کبالت را در یک سلول سرطانی کروی شکل در نظر می‌گیریم. سپس تعدادی نانو میله اکسید کبالت را به شکل استوانه در یک نیم‌کره آبگون (به عنوان سلول سرطانی) در نظر می‌گیریم و به کمک نرم‌افزار کامسول تقریب‌المان متناهی شبیه‌سازی می‌کنیم. شرایط مرزی مناسب برای انتقال حرارت در سطوح داخلی و خارجی مهم است و باید توزیع دمایی را در قسمت‌های مختلف سلول و نانوذرات به دست آورد. علاوه بر آن اثرات مغناطیسی و غیرمغناطیسی فلزات آهن و مس را با همین شدت لیزر و شرایط مرزی مشابه بررسی کردیم. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که دمای میانگین حجم آب سلول در مدت زمان 0/8 میکروثانیه اول پرتودهی در حضور نانوکره‌های اکسید کبالت به 43 درجه سلسیوس و در حضور نانو میله‌های اکسید کبالت به دمای 53 درجه سلسیوس می‌رسد. دمای میانگین حجم آب سلول در همین مدت زمان در حضور نانوکره‌های آهن به 100 درجه سلسیوس و در حضور نانو میله‌های مس با شیبی تندتر نیز به محدوده دمای 100 درجه سلسیوس می‌رسد.

واژه‌های کلیدی

فوتوترمال تراپی، نانوذرات، کامسول، سلول سرطانی

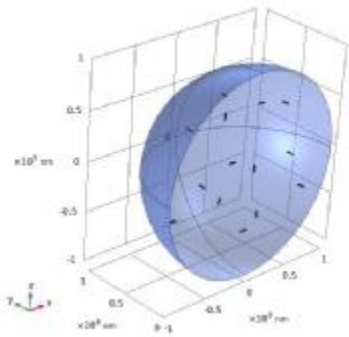
مقدمه

در سال‌های اخیر، از تابش امواج الکترومغناطیسی در محدوده مرئی و مادون قرمز برای درمان انواع مختلف سرطان‌ها استفاده می‌شود. بر مبنای همین ایده، تحقیقات گسترده‌ای تا به امروز در این زمینه انجام شده است [1 و 2]. تمام سلول‌های بدن چه طبیعی چه سرطانی به گرما حساس هستند. یکی از روش‌هایی که برای درمان سلول‌های سرطانی استفاده می‌شود، به کارگیری لیزر با شدت‌های مختلف است [3]. سلول‌های سرطانی در اثر افزایش دما تخریب می‌شوند. میزان pH سلول‌های سرطانی نسبت به سلول‌های سالم پایین‌تر است، محیط تومور محیطی اسیدی است و در معرض هیپوکسی قرار دارد. بنابراین در اثر افزایش دما، زودتر تخریب می‌شوند. معمولاً از لیزرهای با توان بالا برای درمان تومورهای سرطانی استفاده می‌شود. استفاده از لیزر دارای عوارض کمتر و دوره نقاهت کمتر است. فوتوترمال‌تراپی یکی از همین روش‌های درمان سرطان با استفاده از عامل خارجی است. در واقع از نانوذرات به عنوان عامل جذب خارجی در فوتوترمال‌تراپی می‌توان استفاده کرد. در سال‌های اخیر از نانوذرات مختلفی در این زمینه استفاده شده است [2]. مدل‌سازی‌های مختلفی راجع به نانوذرات در سال‌های اخیر گزارش شده است از جمله میله‌ای، کره‌ای و مکعبی و در این راستا نانوذرات با ابعاد و ویژگی‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. از جمله نانو پوسته‌های طلا [4 و 5]، نانو میله‌های طلا [6 و 7]، نانولوله‌های کربنی [8 و 9] نتایج درمان با استفاده از لیزر و نانو لوله‌های کربنی نشان داد که تومور کاملاً از بین رفته و موش بهبود یافت بیشتر تحقیقات در این حوزه بر روی نانوذرات طلا متمرکز شده است و دلیل این امر سازگاری خوب این ماده با بافت بدن است. کلاً جنس و ابعاد نانوذرات طوری انتخاب می‌شوند که بیشترین جذب را در ناحیه طول موج 2500-700 نانومتر داشته باشند. به این ناحیه نوار درمانی گفته می‌شود ناحیه میانی نوار درمانی برای کار با لیزر بسیار مناسب است زیرا در این ناحیه جذب بافت سالم بسیار ناچیز است. در حالی که جذب نانولوله‌ها و نانوپوسته‌ها در این ناحیه بسیار بالا است [10] عوامل مؤثر در فوتوترمال‌تراپی با نورلیزر عبارت است از جنس و نوع غلظت و ابعاد نانو، طول موج و شدت نور لیزر و مدت زمان قرار گرفتن بافت در معرض تابش. اما انتخاب نادرست

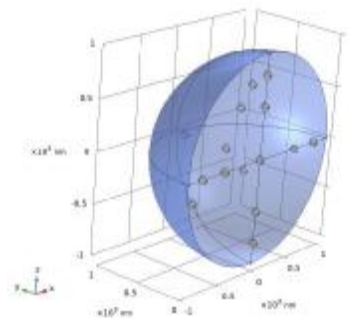
شدت و مدت زمان تابش اثر معکوس روی درمان دارد. بنابراین تخمین مقادیر مناسب و بررسی نتایج درمان از طریق شبیه‌سازی الزامی است. نانوذرات اکسید فلز برای دهه‌ها کانون تحقیقات در زمینه‌های مختلف از جمله پزشکی بوده است. براساس نقش‌های بیولوژیکی نوظهور کبالت، نانوذرات اکسید کبالت به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی خاص خود در زمینه‌های مختلف کاربرد دارند [12-14]. اکسید کبالت به دلیل فراوانی در طبیعت، سنتز امکان‌پذیر و خواص شیمیایی خوب به طور گسترده‌ای برای کاربردهای الکتروشیمیایی مورد استفاده قرار گرفته است [15-16]. کاربردهای زیست پزشکی در برخی از بیماری‌های عفونی، باعث شده نانوذرات اکسید کبالت را با پتانسیل بالا جهت یک ضدعفونی کننده ضد باکتری و ضد قارچ معرفی کند [17-18]. در سال‌های اخیر فعالیت ضد توموری نانوذرات اکسید کبالت به دلیل حساسیت آنها در مقابل تومور توجه زیادی را به خود جلب کرده است. اخیراً نشان داده شده است که نانوذرات اکسید کبالت سمیت بالایی در برابر سلول‌های سرطانی از خود نشان می‌دهد. در حالی که در همان غلظت‌ها باعث ایجاد سمیت در سلول‌های طبیعی نمی‌شود. علاوه بر این نانوذرات اکسید کبالت با القای آپوپتوز و تخریب DNA اثرات ضد سرطانی دارد [19] کبالت یک عنصر کمیاب ضروری است که سمیت کمتری نسبت به سایر فلزات غیرضروری نشان می‌دهد که این ممکن است پتانسیل زیادی برای مطالعات ضد سرطانی نشان دهد. ثابت شده است که کمپلکس‌های کبالت می‌توانند به DNA متصل شوند. براساس نقش‌های بیولوژیکی نوظهور کبالت نانوذرات اکسید کبالت به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی خاص خود در زمینه‌های مختلف کاربرد دارند. اثربخشی بالا و عوارض جانبی کم باعث شد از دهه 1980 نانومواد به عنوان حامل‌های دارویی و به عنوان اثر هدف‌گیری مورد استفاده قرار گیرد [20]. در این مقاله ما فرآیند تجزیه سلول سرطانی را با استفاده از لیزر و نانوذرات اکسید کبالت و همچنین فلزات آهن و مس مورد بررسی قرار می‌دهیم. برای این کار، نانوکوره‌های اکسید کبالت را در یک سلول آبگون سرطانی کروی شکل در نظر می‌گیریم. سپس تعدادی نانو میله و نانوکوره اکسید کبالت را در یک نیم کره آبگون (به عنوان سلول سرطانی) در نظر می‌گیریم

حجم کره که در آن 15 نانوکره اکسید کبالت به طور تصادفی در قسمت‌های مختلف این نیم‌کره جاسازی شده‌اند، انجام می‌دهیم. در مرحله دوم تعداد 15 نانو میله اکسید کبالت که به شکل استوانه‌هایی به شعاع مقطع 8 و طول 16 نانومتر در یک نیم‌کره آنگون به شعاع 1000 نانومتر که به عنوان سلول سرطانی تعریف شده است، شبیه‌سازی می‌شود.

الف



ب



شکل 1. نحوه توزیع نانو ذرات اکسید کبالت در سلول سرطانی الف) نانومیله‌ها ب) نانوکره‌ها

از یک چشمه لیزر با شدت $I(x, y, z)$ که محور اپتیکی آن z است و x و y فاصله نقاط مختلف سلول از این محور است، به عنوان منبع تابش استفاده می‌کنیم [1].

$$I(x, y, z) = I_0 \exp\left(-\frac{2(x^2 + y^2)}{W^2} - \alpha z\right) \quad (4)$$

در این رابطه I_0 شدت پرتو فرودی، W کمترین شعاع باریکه لیزر و α ضریب جذب هستند

با این تابش پیوسته لیزر به مدت 3 دقیقه سلول حاوی نانوکره‌های اکسید کبالت و نانو میله‌های اکسید کبالت را پرتو دهی می‌کنیم. انتقال حرارت در نانو ذرات و محیط سلول مطابق با رابطه انتقال گرمای (1) است. با اعمال شرایط

و به کمک نرم‌افزار کامسول در تقریب المان منتهای شبیه‌سازی انجام می‌دهیم.

فرمول‌بندی مسئله

هدف از این شبیه‌سازی بررسی گرمای تولید شده و توزیع دمایی حاصل در سلول سرطانی بر اثر جذب تابش لیزر توسط نانوکره‌ها و نانو میله‌های اکسید کبالت است که به طور تصادفی درون تومور انباشته شده‌اند. اگر گرمای تولید شده در نانو ذرات بتواند دمای میانگین سلول را به دماهای بالاتر از 50 درجه برساند، سلول را نابود می‌کند. به این منظور در مورد نانوکره‌ها و نانومیله‌های اکسید کبالت شبیه‌سازی‌های مجزا در سلول‌هایی با محیط آب انجام می‌شود. از آنجا که بخش بزرگی از حجم سلول‌ها از آب تشکیل می‌شود، محیط سلول سرطانی را به شکل کره‌ای از آب فرض می‌کنیم. در درون سلول سرطانی گرمای محیط سلول طبق معادله کلی انتقال حرارت که یک معادله دیفرانسیل جزئی است و به شکل رابطه (1) است حل می‌شود و دمای نقطه به نقطه سلول محاسبه می‌شود:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla(-kT) = Q \quad (1)$$

$$q = kT$$

که در اینجا ρ چگالی، c ظرفیت گرمایی ویژه سلول در فشار ثابت، $\frac{\partial T}{\partial t}$ تغییرات دمای بافت نسبت به زمان و k رسانش گرمایی سلول و T_0 دمای اولیه و q شار حرارتی است. با اعمال شرایط مرزی دیریکله و نویمان در برخی از مرزها (معادله 2، 3)، توزیع دما در قسمت‌های مختلف سلول و نانو ذرات، با کمک نرم‌افزار COMSOL 5.6 با تقریب المان منتهای انجام شد.

$$T = T_0 \quad (2)$$

$$nq = q_0 \quad (3)$$

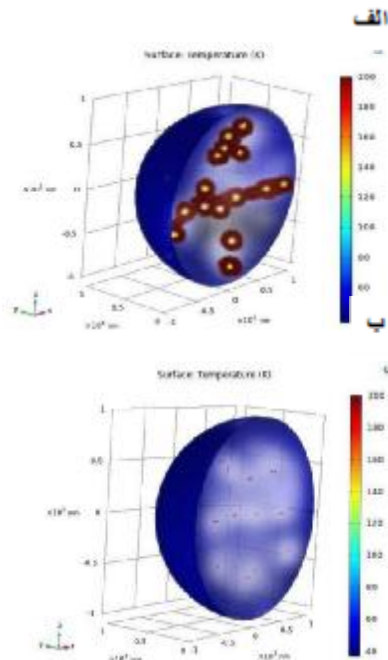
خواص ρ ، C_p و k ، وابستگی به دما دارند. منابع حرارتی از نظر دما خطی نیستند. از این رو شرایط مرزی نویمان از نظر دما خطی نیست. شرط دیریکله بیان می‌کند که مقدار تابع در برخی مرزها ثابت است. برای نمونه در مسئله انتقال حرارت اگر ابتدای میله را در مخلوط آب و یخ قرار دهیم، دما در آن نقطه همواره صفر است.

ابتدا نانوکره‌های اکسید کبالت با شعاع 30 نانومتر در یک سلول سرطانی کروی شکل با شعاع 1000 نانومتر در نظر می‌گیریم. به علت تقارن شکل، مدل‌سازی را در نصف

جدول 3. پارامترهای شبیه‌سازی مس

ماده	مقدار	واحد
ضریب هدایت حرارتی	398	متر کلون/وات
مقاومت	ناچیز در نظر گرفته می‌شود	اهم متر
انبساط حرارتی	خود نرم‌افزار کامسول در نظر گرفته	کلون/1
ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت	385	کلون کیلوگرم/ژول
چگالی	8940	متر مربع/کیلوگرم
ضریب جذب	410/0	متر/1
مدول یانگ	130	گیگا پاسکال

نتایج عددی محاسباتی و توصیف آنها



شکل 2. توزیع دمایی ایجاد شده در سلول حاوی نانوذرات بر اثر پرتودهی شکل الف) حضور 15 نانوکره اکسید کبالت
شکل ب) حضور 15 نانوميله اکسید کبالت

به مدت 3 دقیقه سلول حاوی نانوکره‌های اکسید کبالت با تابش لیزر دیود چند طول موجی با طول موج میانگین 550 نانومتر و توان 4 وات و قطر 9 میلی متر پرتودهی می‌شود.

مرزی مناسب انتقال حرارت در سطوح داخلی و سطوح خارجی می‌توان شبیه‌سازی را از طریق نرم‌افزار کامسول با تقریب المان متناهی انجام داد و توزیع دمایی در قسمت‌های مختلف سلول و نانوذرات را به دست آورد. در این مدل‌سازی از متغیرها و ثابت‌های زیر استفاده

جدول 1. پارامترهای شبیه‌سازی اکسید کبالت

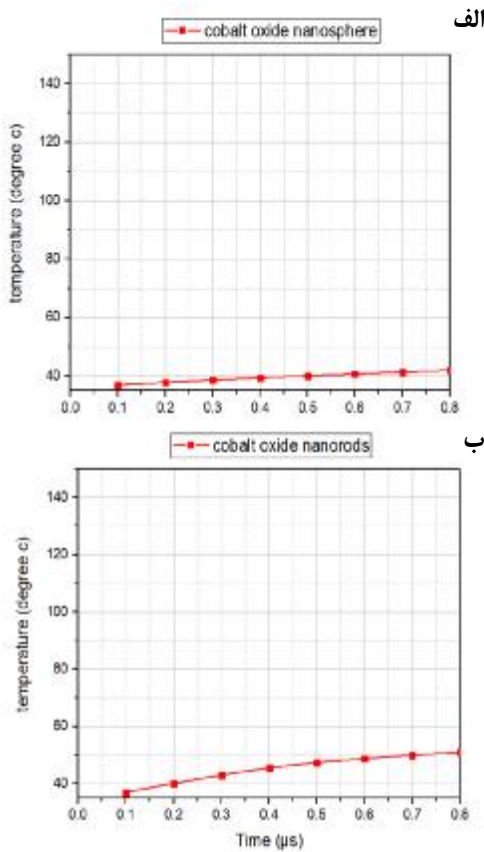
ماده	مقدار	واحد
ضریب هدایت حرارتی	38/1	متر کلون/وات
مقاومت	ناچیز در نظر گرفته می‌شود	اهم متر
انبساط حرارتی	خود نرم‌افزار کامسول در نظر گرفته	کلون/1
ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت	703	کلون کیلوگرم/ژول
چگالی	2203	متر مربع/کیلوگرم
ضریب جذب	1	متر/1
مدول یانگ	9e1/73	پاسکال

شده است:

به منظور بررسی اثر مغناطیسی فلزات و تأثیر آن در فرآیند شبیه‌سازی، شبیه‌سازی بالا با همین شدت لیزر و شرایط مرزی و شرایط کلی را با دو گروه فلز مغناطیسی و غیر مغناطیسی نیز انجام می‌دهیم که فلز آهن نماینده گروه فلزات مغناطیسی و فلز مس نماینده گروه فلزات غیر مغناطیسی است. در قسمت نتایج، شکل (3) توزیع نانوذرات آهن و مس را در سلول سرطانی نشان داده‌ایم. در جدول (2) و (3) مشخصات نانو فلزات آهن و مس شبیه‌سازی شده نیز آورده شده است.

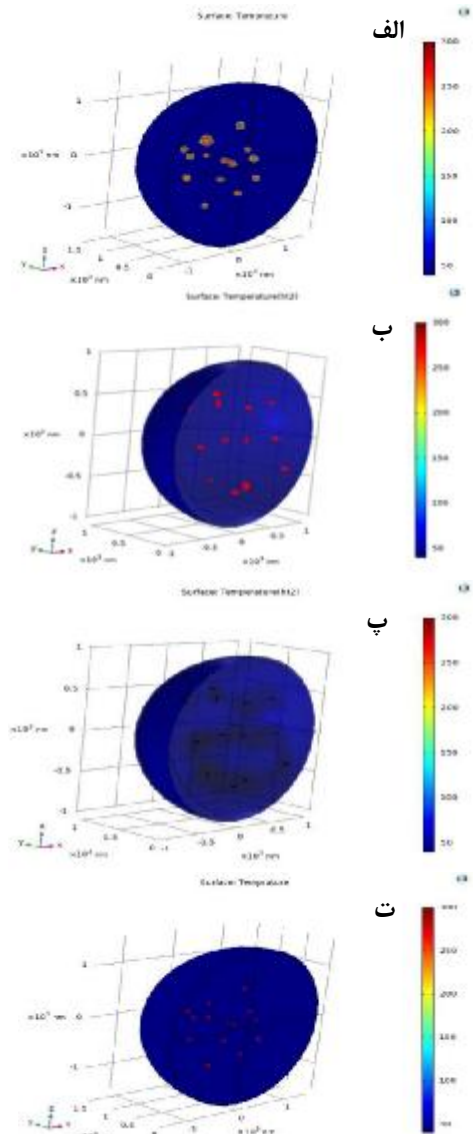
جدول 2. پارامترهای شبیه‌سازی آهن

ماده	مقدار	واحد
ضریب هدایت حرارتی	80	متر کلون/وات
مقاومت	ناچیز در نظر گرفته می‌شود	اهم متر
انبساط حرارتی	خود نرم‌افزار کامسول در نظر گرفته	کلون/1
ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت	470	کلون کیلوگرم/ژول
چگالی	7800	متر مربع/کیلوگرم
ضریب جذب	342/0	متر/1
مدول یانگ	170	گیگا پاسکال

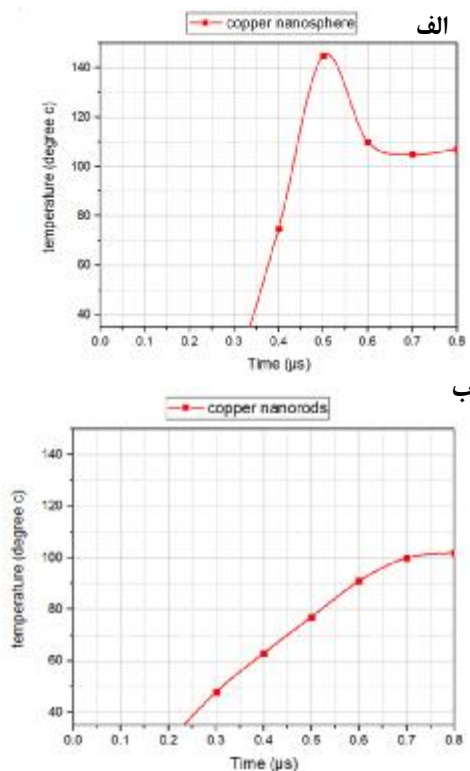


شکل 4. میانگین دمای حجم سلول در میکروثانیه اول (الف) برای نانوکره‌های اکسید کبالت (ب) برای نانومیله‌های اکسید کبالت

(شکل 4). دمای میانگین حجم آب سلول در میکروثانیه اول پرتودهی در حضور نانوکره‌های آهن به 100 درجه و برای نانومیله‌های آهن همین تغییر دما به بالای صد درجه است (شکل 5). همین مقایسه در همین مدت زمان برای نانوکره‌های مس یک روند ملایم تا صد و پنجاه درجه را شاهد هستیم ولی به محض ورود به میکروثانیه ششم روند نزولی داریم (شکل 6). نانومیله مس هم وضعیتی شبیه به نانوکره آهن دارد ولی با شیب تندتر. نکته قابل توجه این است که در اکثر برنامه‌های شبیه‌سازی مدت زمان شبیه‌سازی پایین آورده می‌شود تا سیستم، توان دادن خروجی را داشته باشد. در واقع خود سیستم این طور القا می‌کند که شبیه‌سازی انجام شده اگر در دنیای واقعی انجام گیرد، همین نتایج را، حتی اگر زمان کشش پیدا کند، به صورت مشابه خواهد داشت.



شکل 3. توزیع دمایی ایجاد شده در سلول حاوی نانوذرات آهن و مس بر اثر پرتودهی شکل (الف) حضور نانوکره‌های آهن و شکل (ب) حضور نانوکره‌های مس شکل (پ) حضور نانومیله‌های مس و شکل (ت) حضور نانومیله‌های آهن برای انجام آنالیز و مقایسه، نمودارهای تغییر دمای میانگین محیط سلول را در بازه‌های زمانی مختلف به دست می‌آوریم. افزایش دما در نانوذرات در زمان کوتاه چند صد نانوثانیه صورت می‌گیرد. نتایج حاکی از این است که دمای میانگین حجم آب سلول در میکروثانیه اول پرتودهی در حضور نانوکره‌های اکسید کبالت به 43 درجه و در حضور نانومیله‌های اکسید کبالت به دمای 53 درجه می‌رسد

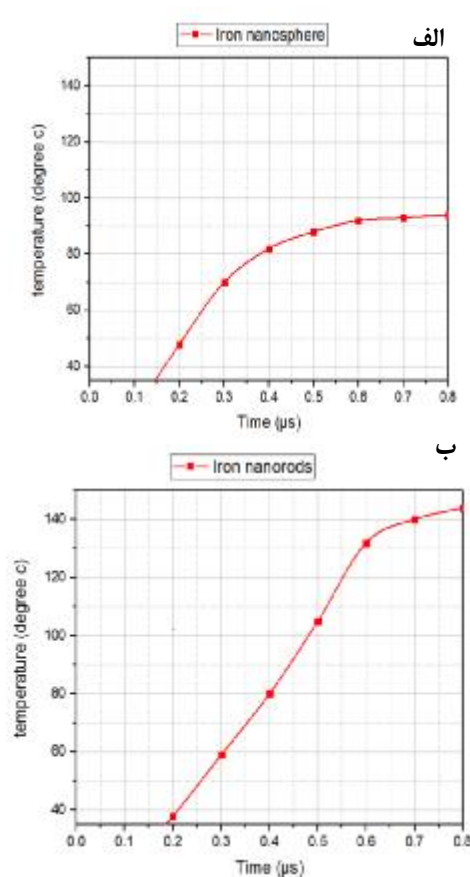


شکل 6. میانگین دمای حجم سلول در میکرو ثانیه اول (الف) برای نانوکره‌های مس (ب) برای نانومیله‌های مس

نبودن گروه‌های فلزی را در نظر بگیریم و اکسید کبالت و آهن را در گروه فلزات مغناطیسی و مس را در گروه فلز غیرمغناطیسی در نظر بگیریم، خاصیت مغناطیسی نانوذره تأثیری در هدایت حرارتی آن نخواهد داشت. اما اگر بخواهیم براساس شکل نانوذره، میله‌ای یا کره‌ای بودن مقایسه حرارتی انجام دهیم، برای هر سه نانوذره اکسید کبالت، آهن و مس با توجه به نمودارهای شکل (4) و (5) و (6) برای شکل میله‌ای افزایش دمای سریع‌تر و یکنواخت‌تر را شاهد خواهیم بود. برای نانوذرات طلا در سال 1391 [2] به صورت مشابه شبیه‌سازی فوتوترمال تراپی با استفاده از نرم‌افزار کامسول انجام شد. دمای میانگین حجم آب سلول برای این شبیه‌سازی در 100 نانو ثانیه اول پرتودهی در حضور نانوکره‌های طلا به 43 درجه و در حضور نانومیله‌های طلا به 53 درجه رسید.

References

- [1] Markov, N., Laser-Tissue Interaction, (translated by Dr Parviz Parvin), (2008),



شکل 5. میانگین دمای حجم سلول در میکرو ثانیه اول (الف) برای نانوکره‌های آهن (ب) برای نانومیله‌های آهن

بحث و نتیجه‌گیری

به نظر می‌رسد اگر بخواهیم اثرات دمایی را با توجه به شکل (4)، (5) و (6) در یک بازه زمانی بررسی کنیم، به این نتیجه می‌رسیم که در بازه 0/6 میکروثانیه اول پرتودهی نمودار دمایی نانو کره مس نسبت به پنج نوع نانوذره دیگر شیب تندتری یعنی واکنش‌پذیری سریع‌تر نشان می‌دهد. ولی این بدین معنا نیست که برای این نوع نانوذره در این بازه افزایش دمای سریع‌تری را نسبت به نانوذرات دیگر شاهد هستیم، افزایش دمای سریع‌تر در بازه 0/6 میکروثانیه مربوط به نانومیله آهن است که به نزدیک 130 درجه سانتی‌گراد می‌رسد. به نظر می‌رسد اگر مغناطیسی بودن یا

Amir Kabir University of Technology Press.

- [2] Moradi, F., Sadeghi, M., Use of gold nanoparticles as radiation absorbers in

- photothermal therapy: Simulation of heat distribution. (2012). Mazandaran University Physics Conference.
- [3] Shan GS., Liu XM., Che HJ., Yu JS., Chen XD., Yao Y., Qi LM., Chen ZJ. Investigation of laser heating effect of metallic nanoparticles on cancer treatment. *IOP Conf Series: Materials Science and Engineering*. 2016; 137: 012013.
- [4] Hirsch LR., Stafford RJ., Bankson JA., Sershen SR., Rivera B., Price RE. Nanoshell-mediated near-infrared thermal therapy of tumors under magnetic resonance guidance. *Proc Natl Acad Sci USA* 2003; 100: 13549–54.
- [5] Chun-Wen Hsiao, Er-Yuan Chuang, Hsin-Lung Chen, Dehui Wan, Chiranjeevi Korupalli, Zi-Xian Liao, Ya-Ling Chiu, Wei-Tso Chia, Kun-Ju Lin e., Hsing-Wen Sung. Photothermal tumor ablation in mice with repeated therapy sessions using NIR-absorbing micellar hydrogels formed in situ. *Biomaterials*. 2015; 56: 26-35.
- [6] Huang X., El-Sayed IH., Qian W., El-Sayed MA. Cancer cell imaging and photothermal therapy in the near infrared region by using gold nanorods. *J Am Chem Soc*. 2006; 128: 2115–20.
- [7] Choi WI., Kim JY., Kang C., Byeon CC., Kim YH., Tae G. Tumor regression in vivo by photothermal therapy based on Gold-nanorod loaded functional nanocarriers. *ACS Nano*. 2011; 5: 1995–2003.
- [8] Zhou F., Xing D., Ou Z., Wu B., Resasco DE., Chen WR. Cancer photothermal therapy in the near-infrared region by using single-walled carbon nanotubes. *J Biomed Opt*. 2009; 14: 021009.
- [9] Kam NWS, O'Connell M., Wisdom JA., Dai H. Carbon nanotubes as multifunctional biological transporters and near infrared agents for selective cancer cell destruction. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2005; 102: 11600–5.
- [10] Mobley J., Vo-Dinh T. Optical properties of tissues In: VoDinh T., editor *Biomedical Photonics Handbook* Boca-Raton, FL: CRC Press. 2003; 2–38.
- [11] Nathan CS., Paul J., Abraham MM., Sasirekha M. Efficacy of Low Level Laser Therapy over Conventional Therapy on Diabetic Peripheral Neuropathy: A Pilot Study Call for Editorial Board Members. 2019; 12 (3): 226.
- [12] Moradpoor, H.; Safaei, M.; Rezaei, F.; Golshah, A.; Jamshidy, L.; Hatam, R.; Abdullah, R S. Optimisation of cobalt oxide nanoparticles synthesis as bactericidal agents. *Open Access Maced J Med Sci*. 2019, 7, 2757–2762.
- [13] Rabani, I.; Yoo, J.; Kim, H S.; Lam, D.V.; Hussain, S.; Karuppasamy, K.; Seo, Y S. Highly dispersive Co₃O₄ nanoparticles incorporated into a cellulose nanofiber for a high-performance flexible supercapacitor. *Nanoscale*. 2021, 13, 355–370.
- [14] Zhang, J.; Qian, B.; Sun, S.; Tao, S.; Chu, W.; Wu, D.; Song, L. Ultrafine Co₃O₄ nanoparticles within nitrogen-doped carbon matrix derived from metal-organic complex for boosting lithium storage and oxygen evolution reaction *Small*. 2019, 15, e1904260.
- [15] Iqbal, J.; Numan, A.; Omaish Ansari, M.; Jafer, R.; Jagadish, P R.; Bashir, S.; Hasan, P M Z.; Bilgrami, A L.; Mohamad, S.; Ramesh, K.; et al Cobalt Oxide nanograins and silver nanoparticles decorated fibrous polyaniline nanocomposite as battery-type electrode for high performance supercapattery. *Polymers*. 2020, 12, 2816.
- [16] Bhojane, P.; Sinha, L.; Devan, R S.; Shirage, P M. Mesoporous layered hexagonal platelets of Co₃O₄ nanoparticles with (111) facets for battery applications: High performance and ultra-high rate capability *Nanoscale*. 2018, 10, 1779–1787.
- [17] Dalkıran, B.; Erden, P E.; Kılıç, E. Graphene and tricobalt tetraoxide nanoparticles based biosensor for electrochemical glutamate sensing. *Artif Cells Nanomed Biotechnol*. 2017, 45, 340–348.

- [18] Abbasi, B A.; Iqbal, J.; Khan, Z.; Ahmad, R.; Uddin, S.; Shahbaz, A.; Zahra, S A.; Shaukat, M.; Kiran, F.; Kanwal, S.; et al Phytofabrication of cobalt oxide nanoparticles from *Rhamnus virgata* leaves extract and investigation of different bioactivities. *Microsc Res Tech* 2021, 84, 192–201.
- [19] Huang, X.; Cai, H.; Zhou, H.; Li, T.; Jin, H.; Evans, C E.; Cai, J.; Pi, J. Cobalt oxide nanoparticle-synergized protein degradation and phototherapy for enhanced anticancer therapeutics. *Acta Biomater.* (2021), 121, 605–620.
- [20] Huanshao Huang 1,†, Jiajun Wang 1,†, Junai Zhang 1, Jiye Cai 2, Jiang Pi 1,* and Jun-Fa Xu 1, Inspirations of Cobalt Oxide Nanoparticle Based Anticancer Therapeutics; *Pharmaceutics.* (2021), 13.

COPYRIGHTS



© 2022 by the authors Licensee PNU, Tehran, Iran This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4 0 International (CC BY4 0) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)