Iranian Journal of Biomedical Engineering
8 (2014) 151-158, www.ijbme.org
DOI: 10.22041/ijbme.2014.13046

Magnetic resonance simulation of nanoparticles on homogeneous tissue in the presence of external magnetic field

S. Rezaei, N. Riahi Alem*

Medical Physics Department, Faculty of Medicine, Tehran University, Tehran, Lran

Abstract

Detection of tumors at an early stage is important for the diagnosis of cancer. Therefore, to detect cancer cells it is necessary to distinguish between metastases from normal cells at an early stage. Due to the large size and coverage necessary to prevent chemical reactions of the current contrast agents in the body, they are just applicable to the extracellular space. Due to the small size of nanoparticles in comparison to cells, it is possible for them to enter the cells. Therefore, these materials are used for molecular imaging. In this paper, variations in the external magnetic field (Tesla) due to magnetic nanoparticles in homogeneous tissue were studied by the finite element method. For this purpose, a simulation was performed in the presence of magnetic nanoparticles and without it. By the finite element method, conversion of differential and integral governing equations to simple and solvable equations that are numerically stable was made possible. The results obtained indicate that the external magnetic field is intensified by the presence of magnetic nanoparticles.

Keywords*: simulation, magnetic nanoparticles, magnetic field, FEM method*

* **Corresponding author**

Address: *Nader Riahi Alem, Medical Physics Department, Faculty of Medicine, Tehran University, Tehran, Lran*
Tel: *+98 9121909646*
Fax: *+98 21 66482654*
E-mail: *riahinad@sina.tums.ac.ir*

© Copyright 2015 ISBME, http://www.ijbme.org

مجله مهندسی پزشکی زیستی
دوره ۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳، ۱۵۸-۱۵۱
شناسه دیجیتال: *10.22041/ijbme.2014.13046*

شبیه‌سازی تشدید میدان مغناطیسی ناشی‌از نانوذرّات بر بافت همگن واقع در میدان مغناطیسی خارجی

سحر رضائی، نادر ریاحی عالم*

دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده پزشکی، گروه فیزیک و مهندسی پزشکی

چکیده

آشکارسازی تومورها در مراحل اولیه برای تشخیص سرطان از اهمّیّت بالایی برخوردار است. لذا برای تشخیص سلول‌های سرطانی لازم است در شروع متاستازها از سلول‌های نرمال متمایز شوند. مواد کنتراست فعلی به علّت اندازه‌ی بزرگ و پوشش‌های ضروری برای جلوگیری از فعّالیّت شیمیایی در بدن، تنها در فضای خارج از سلول قابل استفاده هستند. نانوذرات به سبب اندازه‌ی کوچک و قابل مقایسه با سلول‌ها، امکان ورود به سلول را دارد. بدین جهت، برای تصویربرداری مولکولی ازین مواد استفاده می‌شود. درین مقاله، تغییرات میدان مغناطیسی خارجی (تسلا) در اثر اعمال میدان مغناطیسی ناشی‌از نانوذرات مغناطیسی بر بافت همگن با استفاده از روش اجزای المان محدود مورد مطالعه و بررسی قرارگرفت. بدین منظور، شبیه‌سازی در حضور نانوذرات مغناطیسی و بدون آن انجام شد. با اعمال روش اجزای المان محدود، تبدیل معادلات دیفرانسیلی و انتگرالی حاکم بر سیستم فیزیکی به معادلات ساده و قابل حل که ازلحاظ عددی پایدار هستند، امکان پذیر شد. نتایج به دست آمده حاکی‌از آن است که میدان مغناطیسی خارجی در اثر حضور نانوذرات مغناطیسی تشدید می‌شود.

کلیدواژه‌ها: ***شبیه‌سازی، نانوذرات مغناطیسی، میدان مغناطیسی، روش اجزای محدود***

*عهده‌دار مکاتبات

نشانی: تهران، دانشگاه تهران، دانشکده علوم پزشکی، دانشکده فیزیک‌پزشکی

تلفن: ۰۹۱۲۱۹۰۹٦٤٦، **دورنگار:** ٦٦٤٨٢٦٥٤-۰۲۱، **پیام‌نگار:** *riahinad@sina.tums.ac.ir*

© Copyright 2015 ISBME, http://www.ijbme.org

۱- مقدمه

هدف از تصویربرداری مولکولی با توانایی مطالعه‌ی اتّفاقات بیولوژیکی در سطح مافوق سلولی، برای آشکارسازی سریع‌تر روند بیماری‌ها در مراحل پایین‌تر است. فراهم آوردن یک روش تشخیصی ایمن و غیرتهاجمی با دقّت زیاد، از اهمّیّت ویژای برخوردار است. هرچند تصویربرداری تشدید مغناطیسی می‌تواند به طور گسترده برای تصویربرداری نواحی مورد نظر بدن استفاده شود، ولی یکی‌از پیشرفت‌های قابل توجه و دارای قابلیت بسیار مفید در تصویربرداری تشدید مغناطیسی با ماده کنتراست، کاربرد MRI در تصویربرداری مولکولی، تحت عنوان تصویربرداری مولکولی تشدید مغناطیسی (MRMI) است.

اکنون با استفاده از نانوذرات مغناطیسی تحقیقات زیادی جهت آشکارسازی سلول‌های سرطانی انجام می‌گیرد. هدف از آن، انتخاب روش مناسب نفوذ ذرات نانو به داخل سلول است. با وجود اینکه که نتایج امیدوار کننده بوده و گزارشات بسیاری درین مورد انتشار یافته‌است، ولی هنوز چگونگی تعامل میدان افزایشی این نانوذرات بر میدان معناطیسی خارجی و نیز اثر آن‌ها بر بافت به شکل کمی و میدانی مشخص نشده‌است.

روش اجزای المان محدود یکی از روش‌های حل عددی است که برای حل تقریبی معادلات دیفرانسیلی جزئی و معادلات انتگرالی حاکم بر سیستم‌های فیزیکی استفاده می‌شود. اساس این روش، ساده‌سازی و یا حذف کامل معادلات دیفرانسیلی پیچیده و تبدیل آن‌ها به معادلات ساده و قابل حل است که ازلحاظ عددی پایدار باشد. مزیت این روش نسبت به روش تحلیلی این است که از روش تحلیلی فقط برای معادلاتی که هندسه سیستم در آن ساده است می‌توان استفاده کرد، ولی براساس این روش می‌توان معادلات دیفرانسیلی حاکم بر سیستم‌هایی که هندسه پیچیده دارند را حل نمود [۱].

در سال ۲۰۱۲ میلادی، حسین اباما و هم‌کارانش با استفاده از روش المان محدود، میزان نانوذرات جذب شده در یک منطقه مشخص (برای ارزیابی تحویل دارو یا مواد حاجب به بافت هدف) را با میدان مغناطیسی خارجی شبیه‌سازی کرده و نشان دادند میدان مغناطیسی خارجی باعث افزایش جذب نانوذرات مغناطیسی می‌شود [۲].

در سال ۲۰۰۸، کریستینا اسیروز و هم‌کارانش با استفاده‌از شبیه‌سازی میدان‌های مغناطیسی با فرکانس بالا به وسیله‌ی نرم‌افزار متلب، به چگونگی از بین بردن سلول‌های سرطانی با به کارگیری نانوذرات مغناطیسی و افزایش درجه حرارت آن‌ها با اعمال میدان مغناطیسی با فرکانس بالا پرداختند [۳].

در سال ۲۰۰۷، اندرز باراچنسکی و هم‌کارانش با استفاده‌از روش انتگرال‌گیری محدود تعامل میدان‌های الکترومغناطیسی فرکانس پایین (۳۰۰-۰ KHZ) را با بدن انسان، شبیه‌سازی کرده و به تجزیه و تحلیل آن پرداختند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس پایین، میدان‌های داخلی را تحت تأثیر قرار داده و میدان جدیدی ایجاد می‌کنند که باعث اختلال در عملکرد ارگان‌های حیاتی بدن می‌شود [٤].

در سال ۲۰۰۸، پاوان تیواری و هم‌کارانش تشدید میدان الکتریکی ناشی‌از نانوذرات طلا را با استفاده از روش المان محدود، شبیه‌سازی کرده و با نشان دادن تغییرات میدان الکتریکی بر سلول‌های بیولوژیکی در حضور و عدم حضور نانوذرات ثابت کردند که نانوذرات مغناطیسی باعث افزایش قدرت میدان الکتریکی می‌شود [۵].

با توجه به اهمیت و کاربرد روزافزون مواد کنتراست مغناطیسی در تصویربردای MRI، هدف این پروژه بررسی چگونگی تعامل میدان‌های مغناطیسی ناشی‌از نانوذرات مغناطیسی بر بافت قرار گرفته در میدان مغناطیسی خارجی و نحوه تشدید تصویر است.

نتایج این تحقیق برای تصویربرداری مولکولی مورد استفاده خواهد بود؛ زیرا آشکارسازی تومورها در مراحل اولیه در تشخیص سرطان اهمیت به سزایی دارد. لذا لازم است سلول‌های سرطانی در شروع متاستازها از سلول‌های نرمال تشخیص داده شود.

© Copyright 2015 ISBME, http://www.ijbme.org

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- حل معادله میدان مغناطیسی با استفاده از تقریب گالرکین (Galerkin)

برای نشان دادن اثر تشدید میدان مغناطیسی ناشی‌از نانوذرات مغناطیسی واقع در میدان مغناطیسی خارجی از روش المان محدود استفاده می‌شود. گام‌های اساسی برای حل مسأله با استفاده از روش اجزای محدود به صورت ذیل است:

مرحله اول: در آغاز ناحیه‌ی مورد نظر به بخش‌های کوچک‌تری بدون هم‌پوشانی به نام المان تقسیم می‌شود. این المان‌ها در نقاطی به هم متصل می‌شوند که گره نام دارد. به مجموعه المان‌ها و گره‌هایشان مش می‌گویند. معمولاً المان‌ها شکل‌های ساده‌ای مانند مثلث چند ضلعی یا هرم دارند.

مرحله دوم: شامل انتخاب یک مدل درون‌یابی یا توابع پایه‌ای است. ساده‌ترین تقریب برای یک راه حل درست توابع تکه تکه‌ای خطی است. درین مرحله براساس معادله حاکم بر سیستم خواص هر المان فرمول‌بندی می‌شود و یک تابع تقریبی برای هر المان به دست می‌آید.

مرحله سوم: ماتریس‌های سختی و بردارهای نیرو برای هر المان به دست می‌آید. در هر المان می‌توان با نوشتن معادلات حاکم رابطه بین مقادیر متغیّر در هر گره و عمل‌های خارجی را به دست آورد. این معادلات به صورت ماتریسی قابل بیان هستند $(Ku = f)$.

مرحله چهارم: شامل جمع کردن معادلات هر المان و به دست آوردن معادله کلی تعادل است. با جمع کردن معادلات در هر المان یک معادله ماتریسی کلی برای کلیه متغیّرهای گره‌ای نوشته می‌شود.

مرحله پنجم: شرایط مرزی را روی معادله حاکم بر سیستم به کار گرفته و با توجه به این شرایط معادله کلی حل می‌شود و مقادیر متغیّر در گره‌ها به دست می‌آید.

مرحله ششم: در مرحله‌ی آخر پردازش داده‌هاست.

درین مقاله، برای حل معادلات دیفرانسیلی جزئی و به دست آوردن ماتریس سختی از روش باقی مانده وزنی، تقریب گالرکین استفاده شد. درین روش ابتدا معادله‌ی حاکم بر سیستم و شرایط مرزی تعریف می‌شود. لازم به ذکر است شرط مرزی اعمال شده دیریکلت (Dirichlet) است:

$$\frac{1}{\mu}\nabla^2 A = J + \nabla \times M \qquad \text{(معادله حاکم)} \qquad (۱)$$

$$\frac{\partial u}{\partial n} = 0 \qquad \text{(شرط مرزی)} \qquad (۲)$$

درین معادلات، μ ضریب تراوایی مغناطیسی، A پتانسیل برداری مغناطیسی، J چگالی جریان و M مغناطیس، است. برای حل معادله حاکم ابتدا معادله‌ی (۱)، مساوی صفر در نظر گرفته می‌شود. سپس کل این عبارت در یک تابع آزمون w ضرب می‌شود و از این عبارت نسبت به کل فضای مورد بررسی انتگرال گرفته می‌شود.

$$\int_{\Omega} w\left[\frac{1}{\mu}\nabla^2 A - J - \nabla \times M\right] d\Omega \qquad (۳)$$

در معادله Ω نشان دهنده‌ی حوزه مورد بررسی و w تابع آزمون است. گام بعدی گرفتن انتگرال جز به جز از معادله‌ی (۳) است.

$$\frac{1}{\mu}\int_{\Omega} \nabla A \nabla w d\Omega - \int_{\Gamma} \frac{\partial A}{\partial n} w ds = \int_{\Omega} J w d\Omega + \int_{\Omega} (\nabla \times M) w d\Omega \qquad (٤)$$

معادله‌ی (٤) فرمول ضعیف (Weak formulation) نام دارد. لازم است برای تابع A، w یک تابع تقریب چند جمله-ای در نظر گرفته‌شود. این چند جمله‌ای باید مشتق پذیر از مرتبه بالا بوده و در شرایط مرزی صدق کند.

$$\nabla A(x,y) = \sum_{j=1}^{Ne} U_j \nabla N_j(x,y)$$
$$\omega(x,y) = N_i(x,y) \qquad (۵)$$

© Copyright 2015 ISBME, http://www.ijbme.org

در معادله‌ی $N(x,y)$ تابع درون‌یابی (interpolation) نام دارد. پس می‌توان معادله‌ی (٤) را به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$\sum_{j=1}^{Ne} U_j \int_{\Omega} \frac{1}{\mu} \nabla N_j(x,y) \nabla N_l(x,y) d\Omega = \int_{\Omega} J N_i(x,y) d\Omega + \int_{\Omega} (\nabla \times M) N_i(x \times y) d\Omega \quad (٦)$$

معادله‌ی (٦) را می‌توان به یک معادله ماتریسی خطی تبدیل کرد.

$$[k(A)]U = F \quad (٧)$$

در معادله (٧) پارامتر K(A) ماتریس ضرایب و F بردار چگالی جریان تشدید شده با نانوذرات است.

در سیستم ماتریسی F, K(A) به صورت زیر بیان می‌شود

$$K_{ij}^{e} = \int_{\Omega} \frac{1}{\mu} \nabla N_j(x,y) \nabla N_i(x,y) d\Omega$$

$$F_i = \int_{\Omega} J N_i(x,y) d\Omega + \int_{\Omega} (\nabla \times M) N_i(x,y) d\Omega$$

در رابطه فوق، $\int_{\Omega} d\Omega$ درفضای دو بعدی انتگرال روی سطح هر المان است. $N_j(x, y), N_i(x, y)$ توابعی پایه‌ای خطی برای j^{th}, i^{th} گره هر المان است. از حل معادله‌ی (٧) ابتدا مقادیر F_i^e به طور جداگانه برای هر المان محاسبه شد، سپس ماتریس‌های K_{ij}^e برای به دست آوردن ماتریس کلی اسمبل شدند. درنهایت، با استفاده از تقسیم مقادیر U به دست می‌آید که یک ماتریس از مرتبه‌ی۱ در تعداد کل گره‌ها است. مقادیر این ماتریس میدان تشدید بردار مغناطیسی را می‌دهد [٦].

۲-۲- شبیه‌سازی

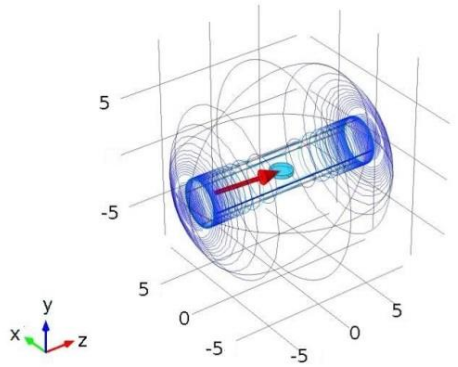
از نرم‌افزار کامسول برای شبیه‌سازی تشدید میدان مغناطیسی ناشی‌از نانوذرات استفاده شد. نرم‌افزار کامسول که پیش‌تر با نام FEMLAB شناخته می‌شد، مجموعه‌ی نرم‌افزار تحلیل و شبیه‌سازی است که می‌تواند سیستم‌های خطی و غیرخطی را با معادلات مشتق‌ها حل کرد.

پارامترهای عددی مورد استفاده شده در جدول (۱) به صورت خلاصه بیان شده‌است.

جدول (۱)- پارامترهای عددی مورد استفاده در شبیه‌سازی

پارامتر	نماد علمی	مقدار عددی
طول سولنوئید	L	۱٦۰ میلی‌متر
شعاع سولنوئید	R	۲۰ میلی‌متر
شعاع ویال	r_v	۱۰ میلی‌متر
شعاع نانوذره	r_p	۱۲٫۵ نانومتر
القای مغناطیسی	B	۱٫۰۱۸۳ تسلا
ضریب تراوایی نسبی Gd_2O_3-DEG	μ	۱٫۰۰۰٤٦۳
ضریب تراوایی نسبی آب	μ_w	۰٫۹۹۹۹۹۲
ضریب تراوایی نسبی هوا	μ_0	۱٫۰۰۰۰۰۰۳۷

بدین منظور، ویالی با شعاع ۱۰ میلی‌متر و ضخامت ۳ میلی‌متر پر از جزئی روش المان محدود در فضاهای یک، دو و سه بعدی حل کرد. آب در درون سولنوئیدی با شعاع ۲۰ میلی‌متر و طول ۱٦۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد (شکل۱).

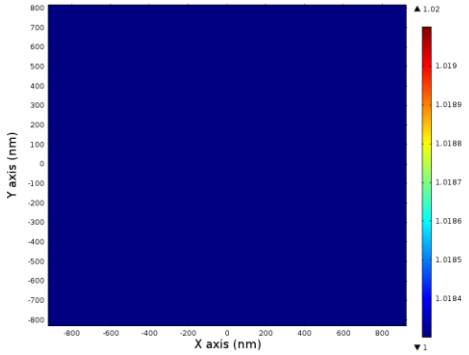


شکل (۱)- سولنوئیدی با شعاع ۲۰ میلی‌متر و طول ۱٦۰ میلی‌متر که ویالی با شعاع ۱۰میلی متر روضخامت ۳ میلی متر پر از آب در درون آن قرار گرفته‌است.

۳- یافته‌ها و بحث

شبیه‌سازی یک بار بدون نانوذره و بار دیگر با نانوذره انجام گرفت. شکل (۲) اثر میدان مغناطیسی ۱٫۰۱۸۳ تسلا بر بافت همگن بدون نانوذره را نشان می‌دهند.

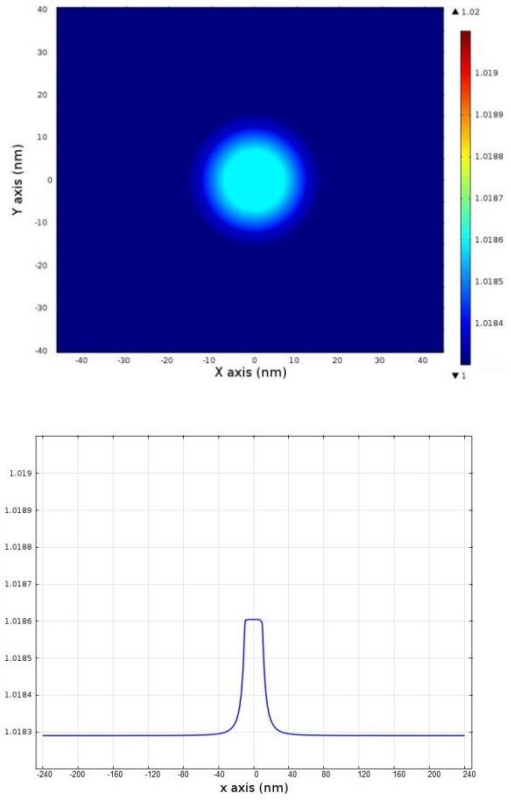
© Copyright 2015 ISBME, http://www.ijbme.org



الف)

ب)

شکل (۲)– اثر متقابل شدت میدان مغناطیسی ۱٫۰۱۸۳ تسلا بر بافت همگن بدون نانوذره؛ الف) نمای دوبعدی؛ ب) نمای خطی



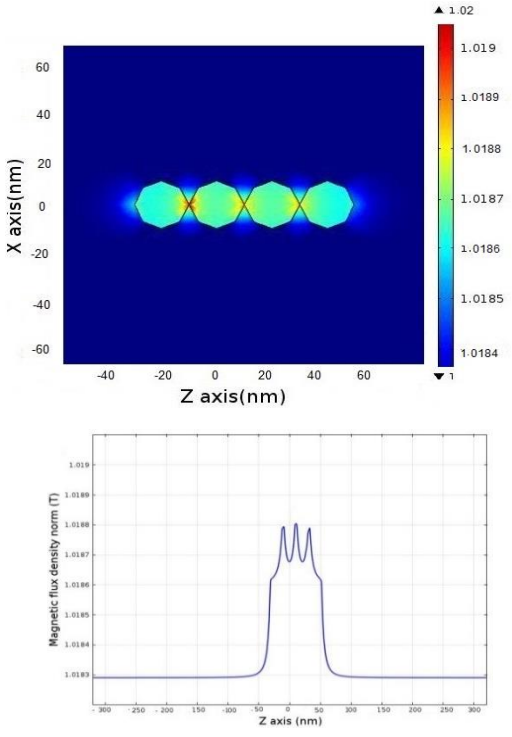
الف)

ب)

شکل (۳)– اثر متقابل شدت میدان مغناطیسی ۱٫۰۱۸۳ تسلا بر آب در حضور نانوذره‌ی منفرد اکسیدگادولینیوم به شعاع ۱۲٫۵ نانومتر؛ الف) نمای دوبعدی؛ ب) نمای خطی

شکل (۳) اثر متقابل شدت میدان مغناطیسی ۱٫۰۱۸۳ تسلا بر آب در حضور نانوذره‌ی منفرد Gd_2O_3-DEG با شعاع ۱۲٫۵ نانومتر را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل آمده نانوذره‌ی منفرد اکسید گادولینیوم باعث تشدید میدان مغناطیسی خارجی به اندازه ۰٫۰۰۰۳۰۲ تسلا در ناحیه‌ی ۱۲٫۵– و ۱۲٫۵ نانومتر می‌شود و مقدار آن به ۱٫۰۱۸۶ تسلا می‌رسد.

شکل (٤) اثر متقابل شدت میدان مغناطیسی ۱٫۰۱۸۳ تسلا بر آب در حضور ٤ نانوذره Gd_2O_3-DEG با شعاع ۱۲٫۵ نانومتر که به طورخطی کنار هم قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، در اثر این تشدید مقدار میدان مغناطیسی خارجی از ۱٫۰۱۸۳ تسلا به ۱٫۰۱۸۸ تسلا می‌رسد.



الف)

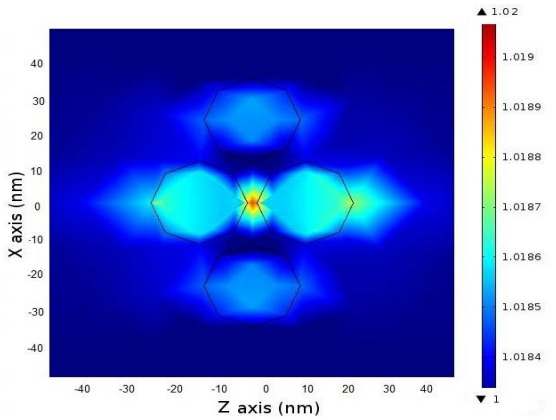
ب)

شکل (٤)– اثر متقابل شدت میدان مغناطیسی ۱٫۰۱۸۳ تسلا بر آب در حضور ٤ نانوذره‌ی اکسیدگادولینیوم به شعاع ۱۲٫۵ نانومتر که به طور خطی کنار هم قرار دارند؛ الف) نمای دوبعدی؛ ب) نمای خطی

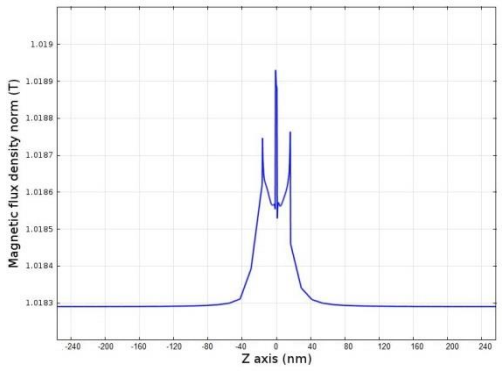
شکل (۵) اثر متقابل شدت میدان مغناطیسی ۱٫۰۱۸۳ تسلا بر آب در حضور ٤ نانوذره Gd_2O_3-DEG با شعاع ۱۲٫۵ نانومتر که به طور کروی کنار هم قرار گرفته‌اند را نشان

© Copyright 2015 ISBME, http://www.ijbme.org

می‌دهد. همان طور که در شکل آمده میدان مغناطیسی خارجی محدوده‌ی ۲۵- تا ۲۵ نانومتر تشدید شده و در مبدأ مختصات به حداکثر خود یعنی ۱٫۰۱۸۹۳ تسلا می‌رسد. در محل اتصال نانوذرات مغناطیسی اکسیدگادولینیوم میدان مغناطیسی خارجی تا ۰٫۰۰۰۶۳۰ تسلا تشدید می‌شود.



الف)



ب)

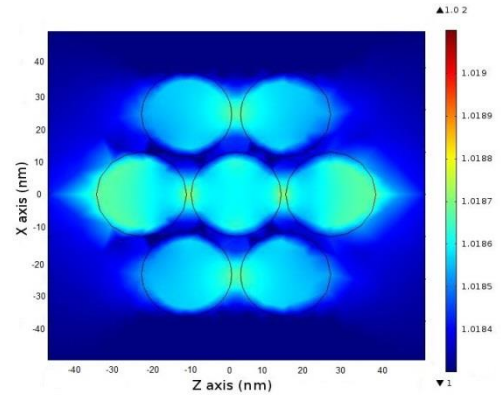
شکل (۵)- اثر متقابل شدت میدان مغناطیسی ۱٫۰۱۸۳ تسلا بر آب در حضور ٤ نانوذره‌ی اکسیدگادولینیوم به شعاع ۱۲٫۵ نانومتر که به صورت کروی دور هم قرار دارند؛ الف) نمای دوبعدی؛ ب) نمای خطی

شکل (٦) اثر متقابل شدت میدان مغناطیسی ۱٫۰۱۸۳ تسلا بر آب در حضور ٤ نانوذره‌ی Gd_2O_3-DEG با شعاع ۱۲٫۵ نانومتر که به طورکروی کنار هم قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد.

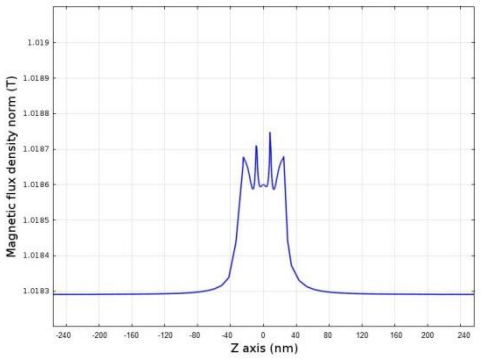
همان طور که در شکل آمده میدان مغناطیسی خارجی در محدوده‌ی ۳۷٫۵- تا ۳۷٫۵ نانومتر شروع به افزایش می‌کند و در مبدأ مختصات به حداکثر خود یعنی ۱٫۰۱۸۷۵ تسلا می‌رسد.

٤-نتیجه‌گیری

هدف این مقاله، شبیه‌سازی تغییرات میدان مغناطیسی خارجی در اثر اعمال میدان مغناطیسی ناشی‌از نانوذرات مغناطیسی بر بافت همگن است. بدین منظور، شبیه‌سازی یک‌بار در حضور نانوذرات مغناطیسی و بار دیگر بدون نانوذرات انجام شد. نتایج حاصل‌از شبیه‌سازی نانوذرات در آب حاکی از آن بود که میدان مغناطیسی خارجی ۱٫۰۱۸۳ تسلا در اثر حضور نانوذره‌ی منفرد اکسیدگادلینیوم با اندازه‌ی ۲۵ نانومتر به میزان ۰٫۳۰۲ میلی‌تسلا تشدید شد و مقدار آن به ۱٫۰۱۸٦ تسلا رسید.



الف)



ب)

شکل (٦)- اثر متقابل شدت میدان مغناطیسی ۱٫۰۱۸۳ تسلا بر آب در حضور ۷ نانوذره‌ی اکسیدگادولینیوم به شعاع ۱۲٫۵ نانومتر که به صورت کروی دور هم قرار دارند؛ الف) نمای دوبعدی؛ ب) نمای خطی

با افزایش تعداد نانوذرات، میزان تشدید میدان مغناطیسی به طور خطی با تعداد نانوذرات افزایش یافت. نتایج این تحقیق برای تصویربرداری مولکولی مورد استفاده خواهد بود. از آنجایی که شناسایی سلول‌های تومورال در مراحل اولیه پیش‌از شروع متاستاز در تشخیص و درمان زود هنگام سرطان

© Copyright 2015 ISBME, http://www.ijbme.org

اهمیت به سزایی دارد، پس باید این سلول‌های سرطانی از سلول‌های نرمال تشخیص داده شوند. مواد کنتراست فعلی به خاطر داشتن اندازه‌ی بزرگ و پوشش‌های ضروری برای جلوگیری از فعّالیّت شیمیایی در بدن، تنها در فضای خارج سلولی قابل استفاده است. بدین سبب سنتز مواد کنتراست مغناطیسی نانو جهت ردیابی و برداشت سلولی در تصویربرداری MRI تحقیقات وسیعی را به خود اختصاص داده‌است؛ به طوری که امکان کاربرد و استفاده ازین مواد در فضای داخل سلولی و درنتیجه ردیابی سلول‌های نرمال و سرطانی فراهم می‌شود. نانوذرات به خاطر اندازه‌ی کوچک و قابل مقایسه با سلول‌ها، امکان ورود به سلول را دارد. لذا برای تصویربرداری مولکولی ازین مواد استفاده می‌شود. کاربرد نانوذرات در MRI و در تصویربرداری مولکولی، تحت عنوان تصویربرداری مولکولی تشدید مغناطیسی است. با توجّه به کاربرد روزافزون نانوذرات مغناطیسی در MRI و در تصویربرداری مولکولی به منظور افزایش حساسیت و تصویربرداری در ابعاد سلولی، شبیه‌سازی و کمّی‌سازی نانوذرات مغناطیسی می‌تواند به پیش‌بینی نحوه‌ی رفتار این ذرات در سطح بافت کمک کند. چنین وسیله‌ای برای پژوهشگران این امکان را فراهم می‌کند تا توأم با کارهای تجربی، میزان تجمع نانوذرات را در بافت مورد نظر تعیین کنند. شبیه‌سازی تعداد یک یا چند نانوذره و اندازه‌گیری میدان حاصل‌از آن‌ها، کمک می‌کند که در حد سلولی و مولکولی، ناحیه‌ی ضایعه در تصویر تشخیص داده‌شود. این مسأله برای ردیابی و برداشت سلولی در تصویربرداری مولکولی تشدید مغناطیسی، به منظور تشخیص بهتر فرایند بیماری‌های مختلف، ازجمله تشخیص زودرس بدخیمی و هم‌چنین تعیین نقشه‌ی توزیع زیستی نانوذرّات کنتراست‌زا، نانوداروها و دارورسانی هدفمند مغناطیسی مفید خواهد بود.

۵- مرجع‌ها

[1] J. Jin, "The Finite Element Method in Electromagnetics" J*hon Wiley and Sons, second edition* pp.1-15, 2002.

[2] ABMA Hossain, M. Cho, S. Lee, "Magnetic nanoparticle density mapping from the magnetically induced displacement data" *BioMedical Engineering* 2012.

[3] C. Sprouse, "Equipment Design for Magnetic Nanoparticle Treatment".

[4] A. Barchanski, "Simulations of low-frequency electromagnetic fields in the human body" *TU Darmstadt* 2007.

[5] P. K. Tiwari, S. K. Kang, G. J. Kim, et al. "Modeling of Nanoparticle-Mediated Electric Field Enhancement Inside Biological Cells Exposed to AC Electric Fields" *Japanese Journal of Applied Physics* 48 (8): 087001, 2009.

[6] G. Wimmer, M. Clemens, J. Lang, "calculation of magnetic field with Finite Element"

© Copyright 2015 ISBME, http://www.ijbme.org