



بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹



کد مقاله : ۲-۲۱۴۹-۱۰-A

مطالعه عددی ارتباط بین تغییر شعاع باریکه‌های لیزری و بازتاب پخشی آنها از سطح یک بافت زنده

زهرا مرادپور، محسن بهرامی

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم آباد

چکیده - در مطالعه حاضر، با استفاده از روش عددی مونت کارلو، بازتاب پخشی نور لیزر از سطح یک بافت و ارتباط آن با تغییر شعاع باریکه لیزری مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتداء، چگالی شار جزئی خروجی از سطح بافت برای دو باریکه گاوسی، یکی با پهنای بی‌نهایت کوچک و دیگری با شعاع 0.2 cm با هم مقایسه شده‌اند. سپس، اندازه چگالی‌های شار جزئی خروجی از سطح بافت در دو حالت برای باریکه‌هایی با شعاع‌های 0.1 ، 0.2 ، 0.4 ، 0.6 ، 0.8 ، 1 و 0.8 و 1 cm محاسبه می‌شود. در حالت اول فاصله شعاعی از راستای مرکز باریکه فرودی در مقدار $r = 0.4 \text{ cm}$ ثابت فرض شده است ولی زاویه خروج فوتون‌ها متغیر است و در حالت دوم زاویه ثابت و برابر 30° در نظر گرفته می‌شود ولی فاصله شعاعی تغییر می‌کند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که در حالت اول، باریکه‌ای که دارای شعاع 0.4 cm است بالاترین توزیع چگالی شار جزئی دارد ولی در حالت دوم تقریباً تا قبل از فاصله شعاعی $r = 0.2 \text{ cm}$ با افزایش پهنای باریکه چگالی شار جزئی خروجی کاهش می‌یابد ولی بعد از آن روند معکوس می‌شود.

کلید واژه- مونت کارلو، بازتاب پخشی، چگالی شار جزئی، بافت زنده.

Numerical study of the relationship between the radius change of laser beams and their diffuse reflections from the surface of a living tissue

Zahra Moradpour, Mohsen Bahrami

Department of Physics, Science Faculty, University of Lorestan, Khorramabad

Abstract- Using the Monte Carlo method, the present study deals with the diffuse reflectance of laser light from the surface of a tissue, and its relationship with the radius change of the laser beams. At first, there was a comparison, in terms of fractional flux densities output from the tissue surface, between two Gaussian beams, one with an extremely small width and the other with a radius of 0.2 cm . Then, there was a calculation, in terms of the magnitudes of the fractional flux densities output from the tissue surface, for beams with radii of 0.1 , 0.2 , 0.4 , 0.6 , 0.8 , and 1 cm in two states. In the first case, the radial distance from the center of the incident beam is assumed to be constant at $r = 0.4 \text{ cm}$, but the exit angle of the photons is variable. In the second case, however, the angle is considered to be constant (equal to 30°), although the radial distance changes. Findings show that in the first case, the beam with a radius of 0.4 cm has the highest fractional flux density distribution, but in the second case, the output fractional flux density decreases nearly before the radial distance $r = 0.2 \text{ cm}$, although after that, the trend is reversed.

Keywords: Monte Carlo, diffuse reflectance, fractional flux density, tissue.



شکل ۱: نمایشی از مراحل انجام شبیه‌سازی.

در محل پراکندگی، بخشی از وزن فوتون مطابق با رابطه

$$\Delta w = w \frac{\mu_a}{\mu_a + \mu_s}$$

وزن باقیمانده تحت زوایای پراکندگی کاملاً تصادفی زیر پراکنده شده، گام جدیدی را طی می‌کند.

$$u_x = \sin\theta \times \cos\varphi$$

$$u_y = \sin\theta \times \sin\varphi \quad (2)$$

$$u_z = \cos\theta$$

که θ و φ زوایای قطبی و سمتی در دستگاه مختصات کروی متصل به فوتون هستند و از طریق روابط زیر تعیین می‌شوند [۴-۲].

$$\cos\theta = \begin{cases} \left\{ \frac{1}{2g} \left(1 - g^2 - \left[\frac{1 - g^2}{1 - g + 2g \times RND} \right]^2 \right) \right\} & g > 0, \neq 1 \\ 2RND - 1 & g = 0 \\ 1 & g = 1 \end{cases} \quad (3)$$

g عامل ناهمسانگردی و عددی در بازه $[0,1]$ است.

۱- مقدمه

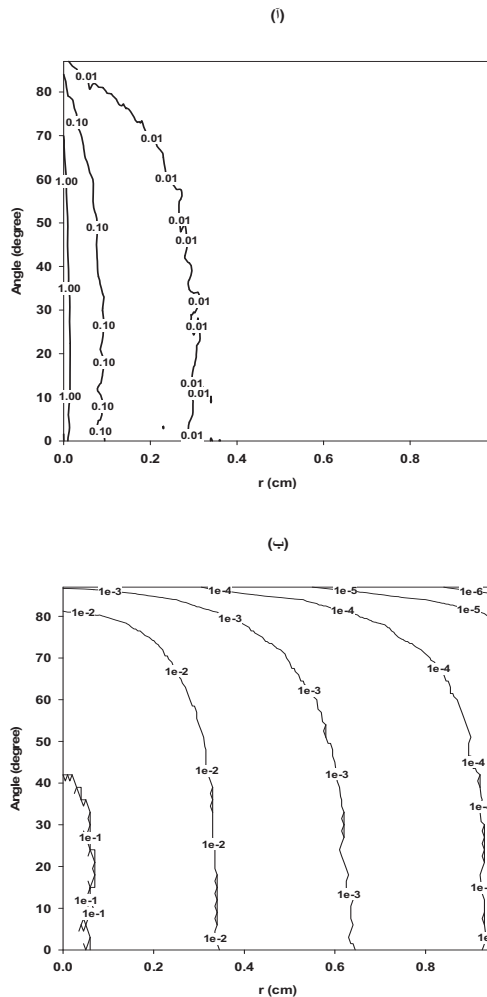
لیزریکی از ابزارهای مهم و پرکاربرد در امور درمانی، تشخیصی و ... در دنیای پزشکی است. روش‌های عددی مکمل روش‌های تجربی‌اند که می‌تواند درباره نحوه عملکرد و برهم کنش لیزر با بافت‌های زنده مختلف به ما دید بهتری بدهد بویژه در جاهایی که امکان اندازه‌گیری تجربی کمیت مورد نظر وجود ندارد [۱]. برای بررسی نحوه انتشار نور و انرژی در داخل بافت‌ها هم از روش‌های تحلیلی مانند نظریهٔ ترابرد فوتون و معادله پخش و هم روش‌های عددی استفاده می‌شود. با توجه به اینکه روش‌های تحلیلی عمدتاً برای حالت‌هایی با هندسه منظم دارای جواب تحلیلی‌اند در نتیجه در موارد زیادی که نزدیک‌تر به واقعیت هستند مجبور به استفاده از روش‌های عددی‌ای همانند روش مونت کارلو هستیم [۲]. روش مونت کارلو در خیلی از موارد به عنوان مرجع و استاندارد برای بررسی درستی و دقت روش‌های دیگر بکار می‌رود که این موضوع اهمیت و کارآمدی این روش را نشان می‌دهد [۲]. در مطالعه حاضر این روش برای بررسی ارتباط بین اندازه شعاع لکه نور لیزر و توزیع زاویه‌ای و پخش فوتون‌های خروجی از سطح یک بافت به کار گرفته می‌شود.

۲- مبانی نظری و روش

در داخل یک بافت، فوتون‌ها مسیره‌های نامنظمی را تحت زوایای پراکندگی کاملاً تصادفی می‌پیمایند به‌طوری‌که بخشی از فوتون‌ها به سمت سطح اولیه یا جلویی بافت برگشته، تحت زوایای مختلفی خارج شده، بازتاب پخشی از سطح بافت را تشکیل می‌دهند. برای شبیه‌سازی عددی رفتار این فوتون‌ها از روش مونت کارلو و مطابق با شکل (۱) استفاده می‌کنیم. هر فوتون از نقطه مرکزی فرود باریکه لیزری $x=0, y=0, z=0$ حرکت خود را شروع می‌کند و بعد از برداشتن یک گام تصادفی به اندازه s به محل پراکندگی جدیدی می‌رسد.

$$s = \frac{-\ln(RND)}{\mu_a + \mu_s} \quad (1)$$

که در این رابطه RND یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه $[0,1]$ است. μ_a و μ_s به ترتیب ضرایب جذب و پراکندگی بافت‌اند.



شکل ۲: نمودار پربندی چگالی شار جزئی خروجی ($\frac{1}{cm^2}$) از سطح بافت بر حسب فاصله شعاعی از نقطه مرکزی باریکه، $r(cm)$ ، و زاویه خروج فوتون‌ها از سطح بافت (درجه) برای باریکه‌ای: آ- با شعاع بی‌نهایت کوچک. ب- با شعاع ۲ cm.

تا ۶۰ درجه قرار دارند و هر چه از مرکز باریکه دور می‌شویم محدوده زوایای خروجی وسیعتر شده تا زاویه ۹۰ درجه کشیده می‌شوند. وقتی شعاع باریکه افزایش می‌یابد تقریباً همین روند ادامه پیدا می‌کند ولی محدوده ۹۰ درجه‌ای زوایای خروج فوتون‌ها در فواصل شعاعی بیشتری رخ می‌دهند. علت این موضوع اینست که در باریکه اول نسبت به باریکه دوم زاویه تابش فوتون‌های فرودی مقادیری کوچکتری دارند در نتیجه طبق رابطه اسنل-دکارت، $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ زاویه خروجی آنها نیز کوچکتر خواهد بود. در گام بعدی چگالی شار جزئی خروجی را در یک فاصله شعاعی $r = 0.3 \text{ cm}$ از مرکز باریکه‌ها، تحت زوایای مختلف برای باریکه‌هایی با شعاع ۰.۱، ۰.۲، ۰.۴، ۰.۶، ۰.۸ و ۱ cm محاسبه و رسم کرده ایم (شکل ۳).

$$\varphi = 2\pi \times RND \quad (4)$$

بعد از برداشتن هرگام، بررسی می‌کنیم که آیا فوتون به مرز مورد نظر رسیده است یا نه. اگر فوتون به مرز نرسیده باشد دوباره مطابق با مراحل بیان شده در بالا، به حرکت تصادفی خود ادامه می‌دهد. در صورت رسیدن فوتون به مرز میزان عبور با استفاده از روابط فرنل و علاوه بر این زاویه خروج از سطح محاسبه می‌شود [۲ و ۴]. اگر باریکه نور لیزر فرودی دارای پهنای غیر صفر باشد، می‌توانیم فرآیند شبیه‌سازی بیان شده فوق را برای آن نیز به کار ببریم ولی نقطه شروع حرکت فوتون‌ها همانند قبل $x=0, y=0, z=0$ نیست بلکه به صورت تصادفی در محل یک نقطه از سطح مقطع باریکه لیزری انتخاب می‌شود [۲]. البته در شیوه‌ای کم هزینه‌تر می‌توانیم از نتایج حاصل از یک باریکه لیزری با پهنای صفر استفاده کنیم و سپس با به‌کارگیری انتگرال پیچش تاثیر باریکه لیزری با سطح مقطع مورد نظر را بدست آوریم [۲ و ۳].

۳- نتایج و بحث

برای شبیه‌سازی حرکت فوتون‌ها در بافت از یک شبکه سه بعدی $100 \times 100 \times 100$ با ثابت شبکه 1 cm در دستگاه مختصات دکارتی استفاده می‌کنیم. از پارامترهای نوری ضریب جذب، $\mu_a = 213 \text{ /cm}$ ، ضریب پراکندگی $\mu_s = 3131 \text{ /cm}$ ، عامل ناهمسانگردی $g = 0.68$ و ضریب شکست $n = 1.385$ تحت طول موج 630 nm در فرآیند شبیه‌سازی برای بافت استفاده می‌شود [۵]. انرژی و توان باریکه‌های گاوسی به ترتیب برابر ۱ W و ۱ J است. شکل (۲) نمودارهای پربندی مربوط به چگالی شار جزئی خروجی از سطح بافت را برای یک باریکه لیزری با شعاع بی‌نهایت کوچک (شکل ۲-آ) و یک باریکه با شعاع ۲ cm (شکل ۲-ب) بر حسب فاصله شعاعی نسبت به راستای نقطه مرکزی فرود باریکه، $r(cm)$ ، و زاویه خروج فوتون‌ها از سطح بافترا نشان می‌دهد. مطابق با شکل، در وضعیتی که باریکه فرودی شعاع بی‌نهایت کوچکی دارد بیشتر فوتون‌های خارج شده از سطح بافت با چگالی شار جزئی ثابت $\frac{1}{cm^2}$ ، بسیار نزدیک به مرکز و در محدوده زوایای بین

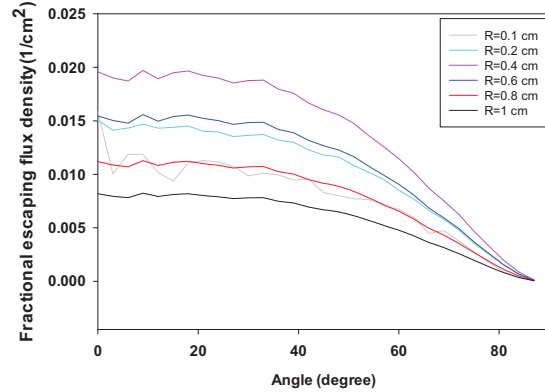
این انرژی به هنگام خروج از سطح بافت، به سمت نواحی نزدیک به مرکز باریکه متمایل شود کمتر است. در شکل (۴) چگالی شار جزئی خروجی از بافت بر حسب فاصله شعاعی مرکز باریکه‌ها تحت زاویه 30° برای باریکه‌های مختلف رسم شده است. بر طبق رابطه شکست اسنل-دکارت، زاویه حد بافت تقریباً 46° است و برای زاویه خروجی 30° ، بایستی زاویه تابش فرودی فوتون‌ها حدود 21° باشد. همانطوریکه در بالا نیز اشاره شد در باریکه‌های با شعاع کوچکتر بیشتر انرژی در نواحی نزدیک مرکز فرود باریکه متمرکز شده است در نتیجه در فاصله‌های شعاعی کوچکتر فوتون‌های بیشتری شرایط خروج تحت زاویه 30° دارند ولی برای فاصله‌های بزرگتر این شرایط برای باریکه‌های بزرگتر برقرار است.

۴- نتیجه‌گیری

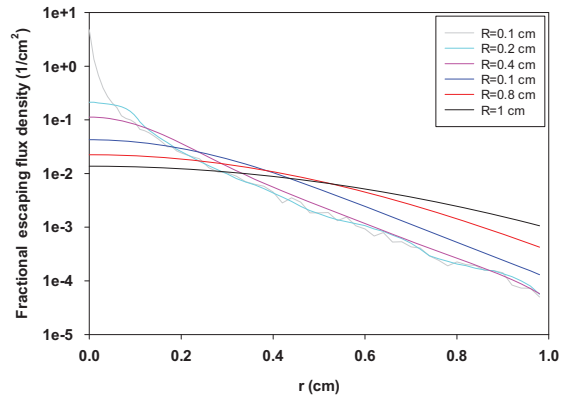
نتایج محاسبات نشان داد که در شرایطی که فاصله شعاعی ثابت است ولی زاویه خروجی فوتون‌ها تغییر می‌کند، باریکه‌ی با شعاع 4 cm ر 0 بیشترین توزیع چگالی شار جزئی را تقریباً در همه زوایا دارد. تحت شرایطی که زاویه خروجی فوتون‌ها از سطح ثابت‌تولی فاصله شعاعی متغیر باشد توزیع چگالی شار جزئی برای همه باریکه‌ها تا قبل از یک محدوده از فاصله‌های شعاعی، با افزایش پهنای باریکه کاهش می‌یابد ولی بعد از این محدوده تغییرات روندی متفاوت از قبل را طی می‌کند.

مرجع‌ها

- [1] M.H. Niemz. Laser-tissue interactions: Fundamentals and applications, 3th, Springer, 2004.
- [2] A. J. Welch, M. J. C. van Gemert, Optical thermal response of laser irradiated tissue, Springer, 1995.
- [3] L. H. Wang, S. L. Jacques and L.Q. Zheng, MCML-Monte Carlo modeling of photon transport in multi-layered tissues. Comput.methods Programs biomed, 47:131-146(1995).
- [4] Lu. Renfu, Light Scattering Technology for Food Property, Quality and Safety Assessment, crc, 2016.
- [5] T. Vo-Dinh, biomedical photonics handbook, 2th, crc, 2015.



شکل ۳: چگالی شار جزئی خروجی از سطح بافت بر حسب زاویه خروجی (درجه) در فاصله شعاعی 3 cm ر 0 از نقطه مرکزی باریکه فرودی.



شکل ۴: نمودار چگالی شار جزئی خروجی از سطح بافت $(\frac{1}{\text{cm}^2})$ بر حسب فاصله شعاعی (cm) از نقطه مرکزی باریکه لیزر فرودی، تحت زاویه خروجی $\theta = 30^\circ$.

مطابق با نتایج بدست آمده، با افزایش شعاع باریکه تا حد 4 cm ر 0 مقدار چگالی شار جزئی در بیشتر زاویه‌ها افزایش می‌یابد ولی بعد از آن با افزایش شعاع باریکه، اندازه چگالی شار جزئی روندی نزولی پیدا می‌کند به طوری که در شعاع 1 cm به کمترین مقدار افت پیدا می‌کند. در باریکه‌های با توزیع گاوسی، بیشتر انرژی در فاصله بین مرکز تا جایی که تابیدگی به $1/e$ مقدار ماکزیمم مرکزی برسد متمرکز می‌شود در نتیجه به نظر می‌رسد که برای فاصله شعاعی 3 cm ر 0 باریکه لیزری با شعاع 4 cm ر 0 مطلوبترین وضعیت توزیع انرژی را داشته باشد. در باریکه‌های پهن‌تر بخشی از انرژی در فواصل شعاعی بزرگتر از مقدار 3 cm ر 0 پخش می‌شود که طبیعتاً احتمال اینکه