

# اثر گرمایی برهم کنش لیزر الکساندریت بر بافت پوست

امیر کرود<sup>۱</sup>، سید جلیل الدین فاطمی<sup>۱</sup> و علیرضا آقا جمالی<sup>۲</sup>

## چکیده

در این مقاله، با حل معادله گرما، میزان جذب نور لیزر در دولایه اول بافت پوست به صورت تحلیلی بررسی می‌شود. سپس با رسم نمودار دما برحسب ضخامت، لیزر الکساندریت برای پرتودهی بافت تعیین می‌گردد. کاربرد لیزر در پزشکی به سرعت در حال پیشرفت بوده و لیزر می‌تواند به عنوان یک چاقوی بسیار خوب جراحی عمل کند و بر خلاف تیغ جراحی معمولی اجازه دهد نور به درون سلول‌ها، بدون ایجاد خللی در سطح خارجی بافت نفوذ نماید. در برهم کنش لیزر الکساندریت با بافت، خواص اپتیکی لیزر و مشخصه‌های فیزیکی بافت نقش مهمی را ایفا می‌کند. انواع متنوعی از لیزر با طول موج و مد های متفاوت برای پوست استفاده می‌شود از جمله لیزر الکساندریت که از جنبه‌های کاربردی منابع نور لیزری در درمان برخی از بیماری‌ها محسوب می‌شود.

**کلمات کلیدی:** کاربرد لیزر در پزشکی، لیزر الکساندریت، بافت پوست.

## مقدمه

یکی از خصوصیات منحصر بفرد این لیزر قابل تنظیم بودن طول موج Pulse Duration و میزان انرژی برای از بین بردن هر نوع مو و بیماری پوستی می باشد. لیزر الکساندریت در یک زمان بسیار کوتاه ( در حد هزارم ثانیه ) نور لیزر با شدت بالا به پوست برخورد می کند و قابلیت تنظیم برای پوست روشن یا تیره را دارد. و لایه پوست به دو دسته اپیدرم و درم تقسیم شده است. [۱]

## حل معادله گرما در مدل دولایه ای پوست:

حل معادله گرما توسط جوان برای بررسی برهمکنش لیزر با بافت پوست قبلاً اشاره شده است [۲]:  
در یک سامانه دولایه ای، لایه اول با ضخامت  $d$  بر روی لایه دوم در حال تماس قرار گرفته است [۳ و ۴].  $q_0$  با مقداری ثابت و به عنوان پرتو لیزر برخوردی بر روی سطح سامانه دولایه ای که دارای مقادیر جذب و بازتاب می باشد در نظر گرفته شده است. مقدار انرژی جذب

همانطور که می دانیم نقش لیزر الکساندریت در درمان پوست مورد توجه است. در این پژوهش با در نظر گرفتن میزان پرتو جذب شده لیزر و افزایش دمای بافت پوست را مورد بررسی قرار می دهیم. از آنجایی که پوست در هر قسمت از بدن دارای ضخامتی متفاوت می باشد در این مقاله پس از محاسبه معادله گرما و در نظر گرفتن ضخامتی ثابت برای پوست اثر لیزر الکساندریت با طول موج ۷۵۵ نانومتر بررسی می کنیم. در سال ۱۹۷۹ لیزر الکساندریت توسط دکتر جین والینگ اختراع شد. که این لیزر کم خطر ترین لیزر برای پوست شناخته شده است. در حال حاضر لیزر الکساندریت سریعترین و موثرترین لیزر موجود در دنیا برای درمان موهای زائد و بیماری های پوستی به شمار می رود .

۱. دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲. گروه فیزیک ، واحد مروتدشت، دانشگاه آزاد اسلامی، فارس، ایران

شرط مرزی برای لایه دوم:

$$T_p(\infty, t) = 0 \quad (۹)$$

با استفاده از شرایط مرزی و اولیه و تبدیلات لاپلاس دو رابطه بوجود می آید که نشان دهنده دمای لایه اول  $T_F(x, t)$  و لایه دوم  $T_p(z, t)$  در مکان و زمان مشخص است.

(۱۰)

$$T_F(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{q_0 A_f B^{n+1}}{\lambda_f} \left( \sqrt{\frac{4\alpha_f t}{\pi}} \exp \left\{ -\frac{[2d(1+n)-x]^2}{4\alpha_f t} \right\} - [2d(1+n)-x] \right) \operatorname{erfc} \frac{2d(1+n)-x}{\sqrt{4\alpha_f t}} + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{q_0 A_f B^n}{\lambda_f} \left( \sqrt{\frac{4\alpha_f t}{\pi}} \exp \left\{ -\frac{[2nd+x]^2}{4\alpha_f t} \right\} - [2nd+x] \right) \operatorname{erfc} \frac{2nd+x}{\sqrt{4\alpha_f t}}$$

و

(۱۱)

$$T_p(z, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2q_0 A_f B^n}{\lambda_f (1+\varepsilon)} \left( \sqrt{\frac{4\alpha_f t}{\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left[ z \sqrt{\frac{\alpha_f}{\alpha_p}} + (1+2n)d \right]^2}{4\alpha_f t} \right\} - \left[ z \sqrt{\frac{\alpha_f}{\alpha_p}} + (1+2n)d \right] \operatorname{erfc} \left\{ \frac{\left[ z \sqrt{\frac{\alpha_f}{\alpha_p}} + (1+2n)d \right]}{\sqrt{4\alpha_f t}} \right\} \right)$$

معادلات دما در لایه اول  $T_F$  و دوم  $T_p$  بطور مستقیم از طول موج استفاده نمی شود، پس ضریب جذب اپیدرم را برای طول موج های مختلف از رابطه (۱۲) بدست می آوریم. [۴]

شده در روی سطح را  $q_0 A_f$  نامیده می شود که  $A_f$  ضریب جذب لایه اول و وابستگی به دما دارد. در حالت  $x=0$  روی سطح لایه اول و  $z=0$  خط اتصال دو لایه در  $x=d$  را نشان می دهد.  $\lambda$  رسانندگی گرمایی،  $C_p$  گرمای ویژه،  $\alpha$  انتشارگرما،  $\rho$  چگالی  $f$  و  $p$  اندیس لایه اول و دوم می باشد. معادله گرما به صورت:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) \quad (۱)$$

معادله انتشار گرما برای هر دو لایه به صورت زیر نشان داده می شود:  
لایه اول:

$$\frac{\partial T_f(x, t)}{\partial t} = \alpha_f \frac{\partial^2 T_f(x, t)}{\partial x^2} \quad t > 0 \quad 0 \leq x \leq d \quad (۲)$$

لایه دوم:

$$\frac{\partial T_p(z, t)}{\partial t} = \alpha_p \frac{\partial^2 T_p(z, t)}{\partial z^2} \quad 0 \leq z \leq \infty \quad z = (x-d) \quad (۳)$$

رابطه  $\alpha$  برابر  $\alpha = \frac{\lambda}{\rho c_p}$  می باشد که با معلوم بودن  $\lambda$  و  $\alpha$  می توان مقدار  $\rho c_p$  را برای هر لایه تعیین نمود. شرایط اولیه برای روابط (۲) و (۳) بصورت زیر که بیانگر هم دما بودن لایه اول و دوم در زمان اولیه می باشد. شرایط اولیه:

$$T_f(x, 0) = 0 \quad (۴)$$

$$T_p(z, 0) = 0 \quad (۵)$$

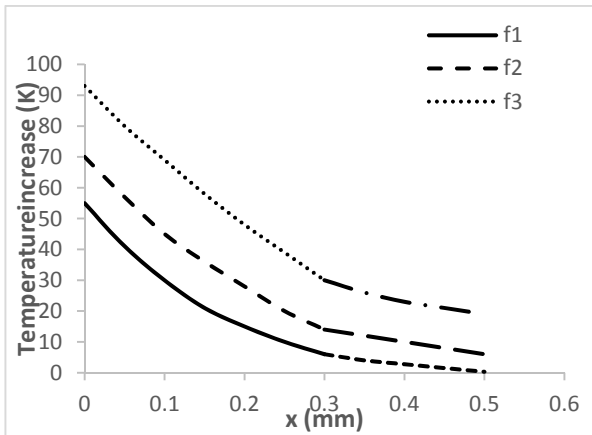
شرط مرزی  $x=0$ :

$$-\lambda_f \frac{\partial T_f}{\partial x} = q_0 A_f \quad (۶)$$

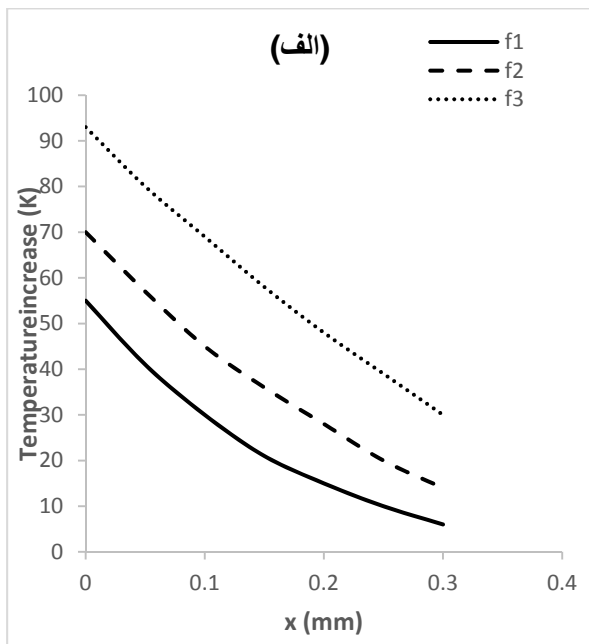
شرط مرزی  $x=d$ :

$$T_f(d, t) = T_p(0, t) \quad (۷)$$

$$-\lambda_f \frac{\partial T_f(d, t)}{\partial x} = -\lambda_p \frac{\partial T_p(0, t)}{\partial z} \quad (۸)$$



شکل ۱- نمودار افزایش دما برحسب ضخامت که در دو لایه مختلف پوست و در سه زمان مختلف در طول موج ۷۵۵ نانومتری لیزر الکساندریت نشان داده شده است. که در تمام لایه های اول دمای بیشتری مشاهده می شود ( F1, F2, F3 ) اما در لایه های دوم از انرژی پرتوی جذب شده کاسته می شود و میزان دما کاهش می یابد ( P1, P2, P3 ).



$$\mu_{a_{epiderm}} = (f_{mel})(\mu_{a_{mel}}) + (1 - f_{mel})(\mu_{a_{skinbaseline}}) \quad (12)$$

$$(13)$$

$$\mu_{a_{skinbaseline}}(\lambda) = (7.84 * 10^8)(\lambda^{-3.26}) \quad (14)$$

$$\mu_{a_{mel}}(\lambda) = (6.6 * 10^{11})(\lambda^{-3.33})$$

پس از به دست آمدن ضریب جذب اپیدرم آن را در رابطه زیر قرار می دهیم [۵].

$$\frac{\alpha \eta p}{w^2(1-e^{-\alpha l})} \frac{2}{\pi} = q_0 A_f \quad (15)$$

### محاسبات

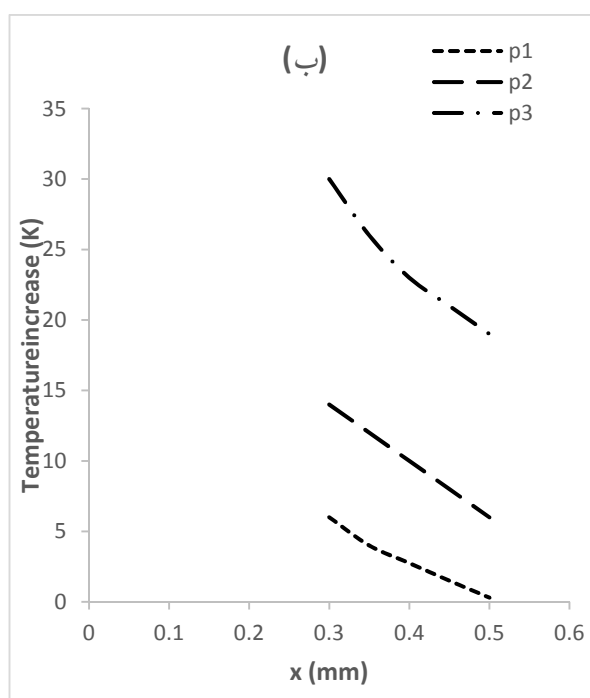
در این رابطه  $\alpha$  ضریب جذب اپیدرم،  $\eta$  میزان عبور نور،  $p$  توان لیزر،  $l$  ضخامت لایه و  $w$  قطر پرتو لیزر می باشد. که برای رسم نمودار  $\eta = 0.95$  و  $p = 1 \text{mw}$  و  $w = 5 \text{mm}$  جایگذاری می کنیم. سپس با جایگذاری رابطه بالا در روابط (۱۰) و (۱۱) افزایش دمای لایه اول و دوم برحسب طول موج به دست می آید که به شرح زیر است:

ضخامت پوست بطور میانگین  $0.3 \text{mm}$  در نظر گرفته شده است.  $T_{f1}$  و  $T_{p1}$  در زمان  $0.3$  ثانیه،  $T_{f2}$  و  $T_{p2}$  در زمان  $0.5$  ثانیه و  $T_{f3}$  و  $T_{p3}$  در زمان  $1$  ثانیه نشان می دهد. نمودار نشان دهنده افزایش دما برحسب ضخامت در دو لایه مختلف پوست در سه زمان و طول موج لیزر الکساندریت ۷۵۵ نانومتر می باشد. از آنجایی که ضریب جذب کلی اپیدرم وابسته به مقدار کمی جذب خطوط پایه پیوست  $(\mu_{a_{skinbaseline}})$  و مقدار جذب ملانین  $(\mu_{a_{mel}})$  است. این مقادیر از معادلات (۱۳) و (۱۴) بدست می آید [۶].

متفاوت به جراحی لیزری کمک کرد. لیزر الکساندریت در درمان برخی از بیماری‌ها مورد استفاده است که بهترین روش و کم‌خطرترین روش محسوب می‌شود.

#### منابع

- [1] Shand M. L. and Walling J. C., *Excited-state absorption in the lasing wavelength region of alexandrite*, IEEE J. Quantum Electron. 18, 1982, PP. 1152-1155.
- [2] Guan, Kui-wen, Jiang, Yan-Qi, Sun, Chang-Sen, Yu, Hong, *A two layer model of laser interaction with skin*, optics and laser technology, 2011, PP. 425-429.
- [3] Kim, A.D. , Moscoso, M, *Light transport in two-layer tissues*, J Biomed opt, 2005, PP. 1-10.
- [4] Das M., C. Xu, Q. Zhu, *Analytical solution for light propagation in a two-layer tissue structure with a titled interface for breast imaging*, Appl opt, 2006, PP. 5027-5036.
- [5] Torres, J. H., Motamedi M., *Experimental evaluation of mathematical Models for predicting the thermal response of tissue to laser irradiation*, Appl Opt., 1993, PP. 597-606.
- [6] Steven, L., *Skin optics*, Organ Medical laser center news, 1998.



شکل ۲- نمودار افزایش دما برحسب ضخامت برای الف) لایه اول (ب) لایه دوم پوست در سه زمان متفاوت به ترتیب 0.3s ، 0.5s و 1s رانشان می‌دهد. و نشان دهنده افزایش دما در لایه اول نسبت به لایه دوم پوست می‌باشد.

#### نتیجه‌گیری

در این مقاله با افزایش زمان عبور از پوست، در لایه اول افزایش دمای بیشتری مشاهده می‌شود زیرا میزان پرتو جذب شده توسط سطح، سبب بالارفتن دما می‌گردد. اما در لایه دوم به سبب زیاد شدن ضخامت و افزایش فاصله از سطح پوست، از میزان انرژی پرتو جذب شده کاسته می‌شود و میزان دما کاهش می‌یابد. و از مقایسه نمودار نتیجه می‌گیریم که با افزایش طول موج، ضریب جذب اپیدرم کاهش یافته در نتیجه گرمای کمتری جذب پوست شده و میزان افزایش دما، کاهش می‌یابد. میزان ملانین در اپیدرم به رنگ پوست بستگی دارد که در این مقاله رنگ پوست متوسط در نظر گرفته شده است که  $f_{mel} = 11 - 16\%$  می‌باشد. و همچنین با قرار دادن طول موج‌های متعدد می‌توان به وسیله لیزر های