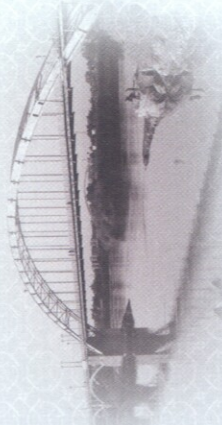


گواهینامه

بیست و دومین کنفرانس سالانه بین المللی
مهندسی مکانیک

دانشگاه شهید چمران اهواز، گروه مهندسی مکانیک، ۲۲ تا ۲۴ اردیبهشت ۱۳۹۳



بدینوسیله گواهی می شود که مقاله با عنوان:

مدلسازی انتقال حرارت بافت زنده و تاثیر انتقال حرارت همرفت در درجه سوختگی

نویسندگان:

محمد سیاحی، مجتبی ماموریان

در بیست و دومین کنفرانس سالانه بین المللی مهندسی مکانیک در دانشگاه شهید چمران اهواز ارائه شده است.

دکتر محمد شیشه ساز

دکتر ابراهیم حاجی دولو

دکتر کنفرانس
تدبیرا

دکتر کوروش میدری شیرازی



CERTIFICATE
The 22nd Annual
International Conference
on Mechanical Engineering
Shahid Chamran University of Ahwaz
Department of Mechanical
Engineering, 22-24 April 2014

- دانشگاه شهید چمران اهواز
- گروه ملی صنعتی فولاد ایران
- شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب
- سازمان آب و برق خوزستان
- انجمن مهندسان مکانیک ایران

مدلسازی انتقال حرارت بافت زنده و تاثیر انتقال حرارت همرفت در درجه سوختگی

محمد سیاحی^۱، مجتبی ماموریان^۲

^۱ کارشناسی ارشد تبدیل انرژی، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد؛ mohammad.sayyahi77@yahoo.com
^۲ استادیار، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد؛ mamourian@um.ac.ir

چکیده

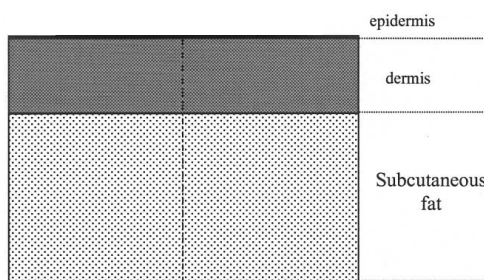
آسیب حرارتی مورد بررسی قرار دادند. آنها آزمایشات مختلفی برای محاسبه رابطه بین دما و زمان در شرایط مرزی متفاوت دما ثابت و شار ثابت انجام دادند. هم چنین میزان آسیب سوختگی را با استفاده از معادله مرتبه اول استاندارد آرنیوس محاسبه کردند. جیانگ و همکاران [2] با حل عددی مدل یک بعدی تغییرات دما را در سطح پوست بررسی نمودند. ان جی و همکاران [3] با استفاده از روش تاگوجی چگونگی توزیع دما در پوست را بررسی نمود. در این مطالعه یک مدل یک بعدی چند لایه با خواص متفاوت برای هر لایه در نظر گرفته شده است که به کمک نرم افزار کامسول مدل سازی شده و نتایجی ارائه شده که میزان آسیب سوختگی و رابطه بین دما و زمان و هم چنین اثر خاصیت حرارت همرفت را نشان می دهند.

مدل ریاضی

یک مدل یک بعدی چند لایه بافت در شکل ۱ نشان داده شده است. پوست به سه قسمت اپی درم، درم و ناحیه زیر پوستی تقسیم شده است. خواص فیزیکی هر لایه در جدول ۱ درج شده است [1].

همچنین برای خون [3]: $\rho_b = 1060 \text{ kgm}^{-3}$

$\omega_b = 0.024 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ، $C_b = 3770 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$



شکل ۱: بافت یک بعدی چند لایه

رایج ترین مدل برای شبیه سازی رفتار حرارتی بافت معادله انتقال حرارت پنس است. معادله انتقال حرارت پنس با ترم پرفیوژن خون برای تعیین توزیع دمای گذرا در بافت آسیب دیده به صورت زیر است که حالتی از قانون بقای انرژی است [5]:

برای پیش بینی و درک آسیب سوختگی، در این پژوهش مدل ریاضی انتقال حرارت پوست مورد بررسی قرار گرفت. در مدل ریاضی با حل معادله مشهور پنس درجه حرارت گذرا محاسبه شد و پس از آن با استفاده از مدل استاندارد آرنیوس میزان توزیع آسیب سوختگی محاسبه گردید. یک مدل یک بعدی چند لایه با خواص مختلف برای هر لایه در نظر گرفته شد. رابطه بین دما و زمان و هم چنین آسیب سوختگی مربوط به شرایط مرزی متفاوت نیز با استفاده از نرم افزار کامسول بررسی گردید. ابتدا شرایط مرزی دما ثابت، سپس شار ثابت در سطح پوست اعمال شد. اثر انتقال حرارت همرفت در سطح پوست که یک فاکتور مهم در پخش انرژی حرارتی وارده به پوست می باشد مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش ضریب انتقال حرارت همرفت مقدار دما در سطح پوست کاهش یافته و این عمل درجه سوختگی را کاهش می دهد.

واژه های کلیدی

سوختگی، انتقال حرارت، معادله پنس، آسیب سوختگی

مقدمه

در اثر افزایش دمای سطح پوست از یک میزان معین در مدت زمان مشخص سوختگی ایجاد می شود. مقدار دما و دوره زمانی قرار گرفتن در سطح پوست تعیین کننده نوع سوختگی می باشد. در سوختگی تمام ضخامت ترمیم خود به خودی صورت نمی گیرد، در حالی که در سوختگی نسبی با ضخامت عمیق زنده ماندن عناصر ترمیم کننده بستگی به درمان دارد. لذا هدف اصلی تیم درمانی سوختگی مربوط به سوختگی نسبی با ضخامت عمیق است. بنابراین تشخیص سوختگی پوست مرحله اول کار تیم درمانی می باشد که با ارزیابی دقیق سوختگی حاصل می شود. ارزیابی با دقت سوختگی پوست پس از مطالعه معادله انتقال حرارت در پوست حاصل می شود. تجزیه و تحلیل معادله انتقال حرارت پوست موضوع جالب و مفیدی است که علاوه بر ارزیابی با دقت سوختگی پوست، در طراحی و طرزکار تجهیزات حرارتی مربوط به درمان سوختگی و ساخت حفاظ های حرارتی بدن نیز مورد استفاده قرار می گیرد. محققان بسیاری از جمله هنریکز و موریتز [1] به این موضوع پرداخته اند. هنریکز و موریتز از پیشگامان مطالعه خاصیت حرارتی و آسیب حرارتی بودند که رابطه بین دما و زمان را برای تولید درجه خاصی از

$$T(0,t)=T_b \quad \text{at } x=0 \quad (6)$$

$$T(x,t)=T_s \quad \text{at } x=L \quad (7)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = h(T_{(L,t)} - T) \quad \text{at } x=L \quad (8)$$

جدول ۱: خواص فیزیکی حرارتی در پوست

	Epidermis	Dermis	Subcutaneous
Thickness (m)	80×10^{-6}	0.002	0.006
Specific heat ($J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	3590	3300	2500
Blood perfusion rate ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-3}$)	0	0.00125	0.00125
Thermal conductivity ($\text{Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	0.24	0.45	0.19
Density (kgm^{-3})	1200	1200	1000

نتایج:

در حالت اول فرض شده منبع گرمایی با دمای 90°C بر روی سطح پوست به مدت 15 s قرار گرفته است. از جدول ۱ و هم چنین استفاده از مقادیر و فرمول های داده شده در بالا و با استفاده از نرم افزار کامسول نتایج زیر حاصل شده است.

در شکل ۲-الف تغییرات دمای بافت از سطح پوست بر حسب عمق پوست در دمای سطح 90°C پس از گذشت 15 s رسم شده است. در شکل ۲-ب تغییرات دمای بافت از سطح پوست بر حسب عمق پوست در دمای سطح 90°C در سه زمان مختلف به دست آمده از حل عددی جیانگ و همکاران [2] آورده شده است. با مقایسه دو شکل با یکدیگر ملاحظه می شود برای زمان 15s نتایج این تحقیق با حدود ۳.۸۵ درصد خطا با حل عددی آنها تطابق نسبتاً خوبی دارد. لذا پیش بینی نرم افزار قابل اعتماد می باشد.

$$\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot K \nabla T + \omega_b \rho_b c_b (T_b - T) + q_m \quad (1)$$

ترم سمت چپ ذخیره انرژی در بافت است. ترم اول سمت راست مربوط به هدایت گرما در بافت ایجاد شده توسط گرادیان دما، ترم دوم سمت راست انتقال حرارت بین بافت و خون رسانی و ترم سوم سمت راست حرارت داخلی تولید شده توسط متابولیسم بدن می باشد.

برای این سیستم فیزیکی از حرارت تولید شده توسط متابولیسم بدن چشم پوشی شده است. همچنین ترم خون رسانی تنها برای لایه درم با فرض ثابت بودن روند فرایند سوختگی در نظر گرفته شده و دمای خون شریانی (T_b) 37°C و دمای اولیه بافت 33°C در نظر گرفته شده است.

پس از اعمال فرضیات فوق معادله زیر بدست می آید [6]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T + \frac{\omega_b \rho_b c_b}{\rho c} (T_a - T) \quad (2)$$

آسیب حرارتی که در اثر افزایش دما و عبور از حد سوختگی می باشد بوسیله مدل استاندارد آرنیوس تعریف شده است. نرخ آسیب بافت طبق فرمول زیر است [2]:

$$\frac{d\Omega}{dt} = P \exp\left(\frac{-\Delta E}{RT}\right) \quad (3)$$

بعد از یک پریود زمانی می توان آن را به صورت زیر نوشت:

$$\Omega = \int_0^t P \exp\left(\frac{-\Delta E}{RT}\right) dt \quad (4)$$

مقادیر ΔE و P توسط هنریکز و موریتز به شرح زیر داده شده است:

$$E = 627900 \text{ j/mol} \quad R = 8.314 \text{ j/mol.k}$$

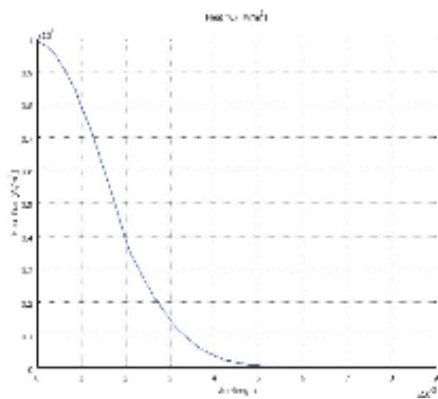
$$P = 3.1 * 10^{98} \text{ s}^{-1}$$

انها نشان دادند که برای سوختگی درجه اول $\Omega=0.53$ ، درجه دوم $\Omega=1$ و درجه سوم $\Omega=10^4$ می باشد.

در مطالعه حاضر برای مدل یک بعدی پوست شرایط مرزی و اولیه زیر استفاده می شود:

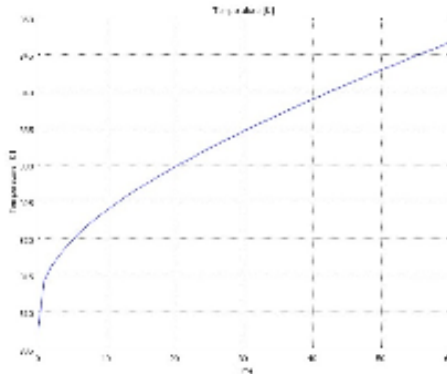
$$T(x,0)=T_i \quad \text{at } t=0 \quad (5)$$

عبوری به سطح پوست حدود $\frac{10000 \text{ W}}{\text{m}^2}$ بوده و با شیبی نسبتاً تند در 5.5mm از سطح پوست این مقدار به صفر می رسد.



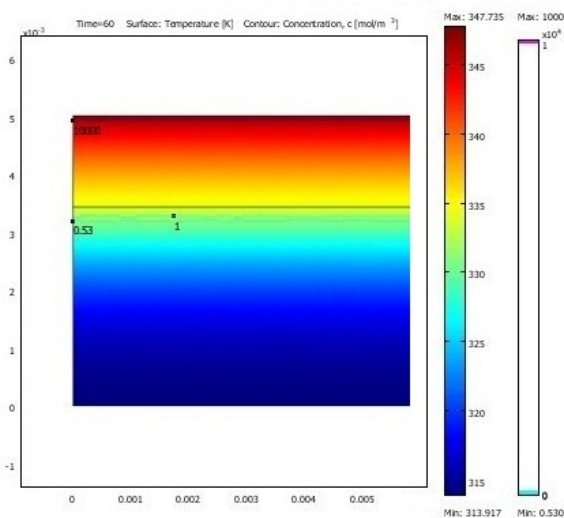
شکل ۴: شار گرمای ایجاد شده با دمای سطح 90°C

شکل ۵ تغییرات دمایی سطح پوست را زمانی که شار گرمای ثابت $\frac{5000 \text{ W}}{\text{m}^2}$ به مدت 60s در سطح قرار دارد نشان می دهد.

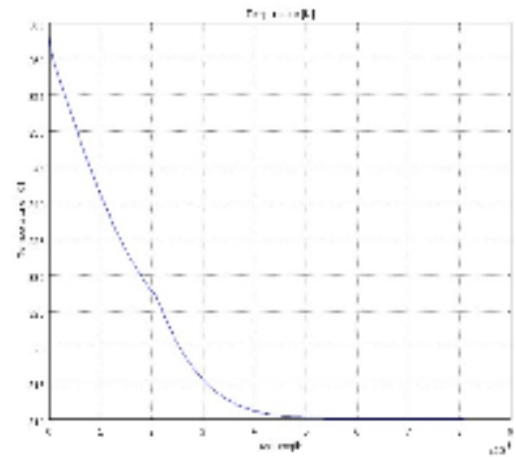


شکل ۵: تغییرات دمایی سطح پوست (شار ثابت $\frac{5000 \text{ W}}{\text{m}^2}$ در 60s)

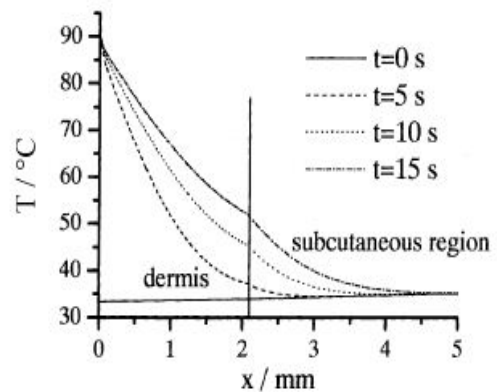
در شکل ۶ آسیب سوختگی در حالت شار ثابت $\frac{5000 \text{ W}}{\text{m}^2}$ نشان داده شده است. ملاحظه می شود سوختگی درجه سه ($\Omega=10000$) اتفاق افتاده است.



شکل ۶: آسیب سوختگی در حالت شار ثابت ($\Omega=10000$)

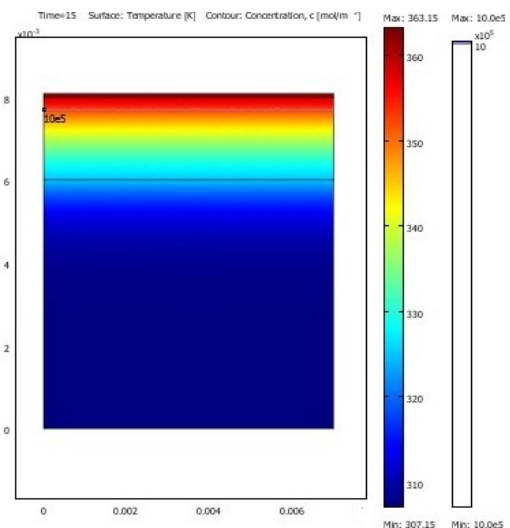


شکل ۲-الف: تغییرات دما بافت با دمای سطح 90°C



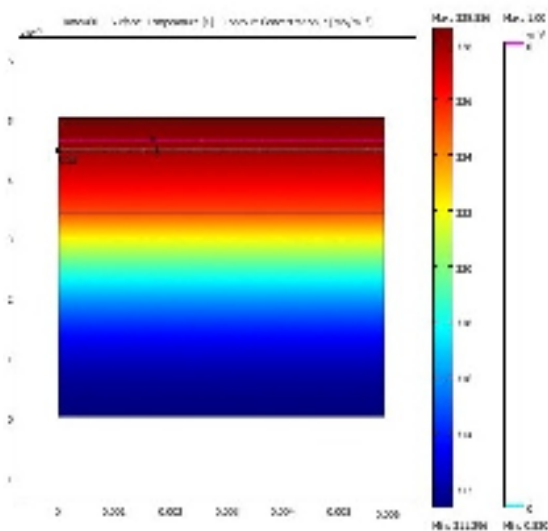
شکل ۲-ب: تغییرات دما بافت با دمای سطح 90°C

شکل ۳ تغییرات دما در عمق پوست را نشان می دهد. ملاحظه می شود آسیب دیدگی سوختگی درجه سوم ($\Omega=10^5$) در عمق ۸۰ میکرونی از سطح پوست و در مرز مشترک لایه درم و اپی درم اتفاق می افتد.



شکل ۳: آسیب سوختگی با دمای سطح 90°C

در شکل ۴ تغییرات شار عبوری در طول لایه های پوست در شرایط دمای سطح ثابت 90°C رسم شده است. ملاحظه می شود شار



شکل ۹: آسیب سوختگی با شار ثابت و $h=60$ ($\Omega=1$)

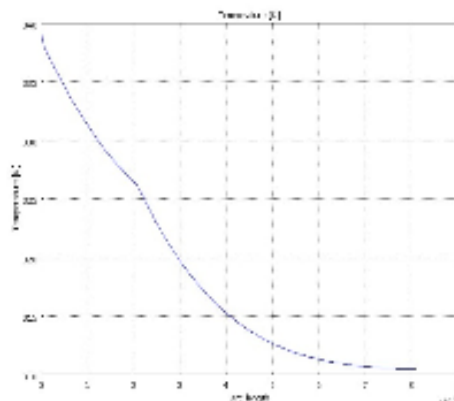
نتیجه گیری:

با استفاده از مدل یک بعدی چند لایه با خواص مختلف برای پوست بدن و در نظر گرفتن خواص لایه های مختلف پوست و خون این مدل با نرم افزار کامسول شبیه سازی شد. با اعمال شرایط مرزی دما ثابت، توزیع درجه حرارت و آسیب سوختگی بررسی گردید. در ادامه شرط مرزی شار حرارتی ثابت بدون همرفت و با همرفت اعمال شد و نتایج زیر حاصل گردید.

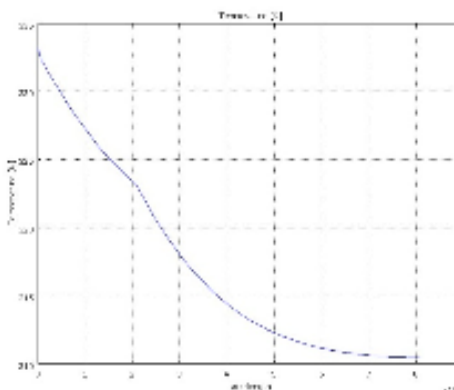
در حالت دما ثابت، آسیب دیدگی سوختگی درجه سوم ($\Omega=10^5$) در عمق ۸۰ میکرونی از سطح پوست و در مرز مشترک لایه درم و اپی درم اتفاق می افتد.

در حالت شار ثابت بدون همرفت، سوختگی درجه سه در زمان 60s اتفاق افتاد. با اضافه کردن همرفت همراه شار ثابت، به علت انتقال حرارت همرفت به محیط اطراف درجه حرارت پوست کاهش پیدا نموده و لذا درجه سوختگی از درجه سه به درجه دو تنزل پیدا کرد.

شکل ۷ تغییرات دمایی در داخل پوست با شرایط شار ثابت و همراه با انتقال حرارت همرفت با $h=30 \text{ w/m}^2\text{c}$ و شکل ۸ تغییرات دمایی با ضریب هدایت همرفت $h=60$ را نشان میدهد. در این حالت دمایی محیط 25°C فرض شده است.



شکل ۷: تغییرات دما در داخل پوست با شرایط شار 5000 w/m^2 و ضریب انتقال حرارت همرفت $h=30 \text{ w/m}^2\text{c}$



شکل ۸: تغییرات دما در داخل پوست با شرایط شار 5000 w/m^2 و ضریب انتقال حرارت همرفت $h=60 \text{ w/m}^2\text{c}$

در شکل ۵ ماکزیمم دما حدود 73°C است. در شکل ۷ که ضریب انتقال حرارت همرفت $h=30$ می باشد، ماکزیمم دما حدود 66°C و در شکل ۸ با $h=60$ ماکزیمم دما حدود 60°C است. ملاحظه می شود که انتقال حرارت همرفت نقش موثری بر کاهش درجه سوختگی دارد. با توجه به نتایج فوق کاهش ۱۳ درجه ای دما که ناشی از انتقال حرارت همرفت است، سوختگی درجه سه به درجه دو تبدیل می شود. شکل ۹ بیانگر این موضوع می باشد.

Nomenclature

c	specific heat ($J\ kg^{-1}\ K^{-1}$)
h	distance from skin surface to body core
k	thermal conductivity ($Wm^{-1}\ K^{-1}$)
P	pre-exponential factor (s^{-1})
R	universal gas constant ($8.314\ J\ kmol^{-1}\ K^{-1}$)
t	time (s)
T	temperature ($^{\circ}C$ or K)
x	space co-ordinate (m)
ΔE	activation energy ($J\ kmol^{-1}$)
<i>Greek letters</i>	
ρ	density (kgm^{-3})
ω_b	blood perfusion ($m^3\ s^{-1}\ m^{-3}$ tissue)
Ω	damage function
<i>Subscripts and superscripts</i>	
a	ambient
b	blood
c	core
e	east
f	final
i	initial; node number
k	time step
w	west; wall
s	surface

- [1] Henriques Jr FC., Moritz AR.,1947. "Studies of thermal injury. I.The conduction of heat to and through skin and the temperature attained therein. A theoretical and an experimental investigation". Am J Pathol, 23,531-549.
- [2]S.C. Jiang, N. Ma, H.J. Li, X.X. Zhang.,2002." Effects of thermal properties and geometrical dimensions on skin burn injuries". Burns, 28,713–717.
- [3] E.Y.K. Ng*,H.M. Tan,E.H.Oi.,2009." Boundary element method with bioheat equation for skin burn injury".burns, 35,987-997.
- [4] D. A. Torvi , J. D. Dale., 1994."A finite element model of skin subjected to a flash fire". J Biomech Eng,116,250-255.
- [5] Pennes HH.,1948." Analysis of tissue and arterial blood temperatures in resting human forearm". J appl physical ,1,93-122.
- [6] E.Y.K. Ng, L.T. Chua.,2002." Comparison of one- and two-dimensional programmes for predicting the state of skin burns". Burns, 28 ,27–34