

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه گیلان  
دانشکده مهندسی  
گروه مکانیک

## پایان نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مکانیک (تبدیل انرژی)

عنوان:

بررسی اثر گرمایش لیزری بر روی بافت‌های بیولوژیکی با  
استفاده از معادلات هذلولوی انتقال حرارت

استاد راهنما:

دکتر حسین احمدی کیا

پژوهشگر:

رضا فضلعلی

زمستان 1388

همه امتیازهای این پایان نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب پایان نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا (یا استاد یا اساتید راهنمای پایان نامه) و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

## تشکر و قدردانی

در پایان مرحله دیگری از تحصیل علم، پروردگار را به سبب عطای نعمت هستی شکر گزارم. تشکر و سپاس ویژه خود را به استاد فرهیخته و ارجمندم جناب آقای دکتر حسین احمدی کیا تقدیم می‌کنم که راهنمایی این پایان نامه را تقبل فرمودند و هیچگاه از راهنمایی‌های ارزنده ایشان بی‌نصیب نبودم. بر خود لازم می‌دانم که از زحمات و الطاف جناب آقایان دکتر محمد مهدی رشیدی و دکتر محسن گودرزی و سایر اساتید محترم گروه مهندسی مکانیک دانشگاه بوعلی سینا قدردانی نمایم. همچنین از آقایان وحید آذری‌فر، امیر بصیری‌پارسا، ساسان ظهیرنیا و کلیه دوستانم که در دوران تحصیل یاریگر من بودند، تشکر و قدردانی می‌نمایم و موفقیت هر چه بیشترشان را از خداوند منان خواستارم.

رضا فضلعلی

زمستان 1388

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

و خواهر و برادر مهربانم

نام و نام خانوادگی: رضا فضلعلی

عنوان پایان نامه:

" بررسی اثر گرمایش لیزری بر روی بافت‌های بیولوژیکی با استفاده از معادلات هذلولوی انتقال حرارت "

استاد راهنما: دکتر حسین احمدی کیا

استاد مشاور:

درجه: کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک

زمینه مطالعه: انتقال حرارت

دانشکده: فنی مهندسی - دانشگاه بوعلی سینا

تاریخ فارغ التحصیلی: زمستان 1388

واژه‌های کلیدی: پوست، لیزر، انجماد مواد بیولوژیکی، سوختگی، نرخ گردش خون، تبدیل لاپلاس

چکیده:

درک فرآیند انتقال حرارت در بافت‌های بیولوژیکی اهمیت بسیار بالایی دارد و دارای کاربردهای متنوعی در پزشکی می‌باشد. به دلیل زمان آسایش حرارتی بزرگ در بافت‌های بیولوژیکی، رفتار حرارتی غیرفوری به صورت تجربی در بافت مشاهده شده است. ولی اکثر تحقیقات صورت گرفته تاکنون، بر مبنای نامحدود بودن سرعت انتشار گرما بوده‌اند. هدف این تحقیق بررسی فرآیند انتقال حرارت غیرفوری در بافت پوست می‌باشد.

در فرآیند انجماد، تغییرات فاز، دما و تنش حرارتی بافت پوستی که در معرض یخ زدگی است با استفاده از دو مدل انتقال حرارت هذلولوی و سهموی به روش عددی و تحلیلی بررسی گردیده است. حل‌های تحلیلی و عددی به ترتیب با جداسازی متغیرها و روش تفاضل محدود بدست آمده‌اند. این تحقیق نشان می‌دهد که نتایج حل معادله سهموی و هذلولوی در برخی موارد کاملاً متفاوت می‌باشند و اثرات غیرفوری هنگامی که زمان آسایش حرارتی بزرگ است، مهم می‌باشد و بدون در نظر گرفتن این تاثیر ممکن است تعبیر اشتباهی از دمای پیش‌بینی شده رخ دهد.

در فرآیندهای گرمایش دمای سطح ثابت، شار سطحی ثابت و شار سطحی پریودیک، حل دقیق معادلات انتقال حرارت بیولوژیکی هذلولوی و سهموی با روش تبدیل لاپلاس بدست آمده است. سپس درجه سوختگی و آسیب حرارتی با انتگرال سوختگی آرنیوس محاسبه شده است. در نتایج مدل هذلولوی یک جهش آبی دیده می‌شود که به شکل جلوی یک موج می‌باشد که در نتیجه تغییر پله‌ای دما در سطح پوست است. به طور آشکار این رفتارها به دلیل نفوذ موج حرارتی با سرعت محدود می‌باشد.

در فرآیند گرمایش لیزر برای دو مورد توان بازتاب کوچک (طول موج‌های ماورا بنفش و دوراز مادون قرمز) و بزرگ (طول موج‌های مرئی و نزدیک مادون قرمز) با استفاده از روش تبدیل لاپلاس حل دقیق معادلات انتقال حرارت هذلولوی و سهموی با منبع حرارتی لیزر بدست آمده است. نتایج نشان می‌دهد زمانی که توان بازتاب بزرگ است به دلیل اینکه ضریب پراکندگی مقدار بزرگی دارد، عمق نفوذ نور نسبتاً زیاد است پس در زمان کوچک، توزیع دما در بافت ناشی از فرآیند تولید حرارت می‌باشد، لذا اختلاف بین نتایج هذلولوی و سهموی کوچک می‌باشد. ولی برای توان بازتاب بزرگ، به دلیل بزرگ بودن ضریب جذب، پرتو لیزر در لایه‌های اولیه پوست جذب شده و توزیع دما در بافت در نتیجه هدایت حرارت از لایه‌های اولیه به لایه‌های زیرین می‌باشد که این امر سبب به وجود آمدن اختلاف بزرگی در بین نتایج هذلولوی و سهموی می‌شود.

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### فصل اول: مقدمه

- |   |                   |
|---|-------------------|
| 3 | 1-1- ساختمان پوست |
| 5 | 2-1- سوختگی       |
| 7 | 3-1- آسیب حرارتی  |

### فصل دوم: مدل های بیولوژیکی انتقال حرارت

- |    |   |
|----|---|
| 12 | 1-2- مقدمه                                    |
| 13 | 2-2- معادله انتقال حرارت سهموی (فوریه)        |
| 13 | 1-2-2- معادله بیولوژیکی انتقال حرارت فوریه    |
| 14 | 2-2-2- معایب قانون فوریه                      |
| 14 | 3-2- معادله انتقال حرارت هذلولوی              |
| 16 | 1-3-2- مدل بیولوژیکی انتقال حرارت هذلولوی     |
| 16 | 2-3-2- برتری مدل هذلولوی در مواد بیولوژیکی    |
| 17 | 3-3-2- معایب مدل هذلولوی انتقال حرارت         |
| 18 | 4-2- مدل تاخیر فاز دوگانه                     |
| 19 | 1-4-2- مدل بیولوژیکی تاخیر فاز دوگانه نوع اول |
| 19 | 2-4-2- مدل بیولوژیکی تاخیر فاز دوگانه نوع دوم |
| 20 | 3-4-2- مدل بیولوژیکی تاخیر فاز دوگانه نوع سوم |

### فصل سوم: انجماد پوست

- |    |                             |
|----|-----------------------------|
| 22 | 1-3- مقدمه                  |
| 23 | 2-3- انجماد مواد بیولوژیکی  |
| 24 | 3-3- تشریح مسئله            |
| 25 | 1-3-3- معادلات و شرایط مرزی |
| 29 | 4-3- حل تحلیلی              |
| 38 | 5-3- حل عددی                |
| 40 | 6-3- نتایج                  |

## فصل چهارم: گرمایش سطحی با منبع حرارتی دما ثابت

- 48 1-4-1 مقدمه
- 49 2-4-1 تشریح مسئله
- 49 3-4-1 حل مسئله با مدل انتقال حرارت هذلولوی (غیرفوریه)
- 56 4-4-1 حل مسئله با مدل انتقال حرارت سهموی (فوریه)
- 59 5-4-1 نتایج

## فصل پنجم: گرمایش با شار حرارتی نوسانی

- 65 1-5-1 مقدمه
- 66 2-5-1 تشریح مسئله
- 67 3-5-1 حل مسئله با مدل انتقال حرارت هذلولوی (غیرفوریه)
- 71 4-5-1 حل مسئله با مدل انتقال حرارت سهموی (فوریه)
- 72 5-5-1 نتایج

## فصل ششم: برخورد شعله به پوست

- 78 1-6-1 مقدمه
- 79 2-6-1 تشریح مسئله
- 80 3-6-1 حل مسئله با شرط مرزی آدیباتیک در انتهای هاپپودرم
- 80 1-3-6-1 حل مسئله با مدل انتقال حرارت هذلولوی (غیر فوریه)
- 83 2-3-6-2 حل مساله با مدل انتقال حرارت سهموی (فوریه)
- 85 4-6-1 پوست به صورت یک جسم نیمه بینهایت
- 85 1-4-6-1 حل مساله با مدل انتقال حرارت هذلولوی (غیر فوریه)
- 87 2-4-6-2 حل مساله با مدل انتقال حرارت سهموی (فوریه)
- 88 5-6-1 اعمال شار حرارتی پالسی بر سطح پوست
- 88 1-5-6-1 حل مسئله با مدل انتقال حرارت هذلولوی (غیر فوریه)
- 89 2-5-6-2 حل مساله با مدل انتقال حرارت سهموی (فوریه)
- 90 6-6-1 نتایج

## فصل هفتم: گرمایش لیزری

- 96 1-7-1 مقدمه
- 99 2-7-1 توزیع نور در بافت
- 101 3-7-1 تشریح مسئله



101	4-7- حل مسئله در توان بازتاب کوچک ( $a < 0.6$ )
102	1-4-7- حل معادله بیولوژیکی انتقال حرارت هذلولوی
105	2-4-7- حل معادله بیولوژیکی انتقال حرارت سهموی
107	3-4-7- موارد خاص شدت تابش
108	5-7- حل مسئله در توان بازتاب بزرگ ( $0.75 < a < 0.99$ )
109	1-5-7- حل معادله بیولوژیکی انتقال حرارت هذلولوی
112	2-5-7- حل معادله بیولوژیکی انتقال حرارت سهموی
115	3-5-7- موارد خاص شدت تابش
116	6-7- نتایج

### فصل هشتم: جمع بندی و پیشنهادات

124	1-8- جمع بندی
126	2-8- پیشنهادات

127	مراجع
-----	-------

## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
4	شکل (1-1). ساختمان پوست
6	شکل (1-2). سوختگی درجه یک
6	شکل (1-3). سوختگی درجه دو
7	شکل (1-4). سوختگی درجه سوم
9	شکل (1-5). مقایسه پارامترهای اندازه‌گیری شده آرنیوس با رابطه (1-4)
12	شکل (2-1). دیاگرام شماتیک یک حجم بافتی با در نظر گرفتن یک جفت سرخرگ و سیاهرگ
15	شکل (2-2). محاسبه زمان نفوذ موج حرارتی
16	شکل (2-3). آزمایش شماره 1 میترا
17	شکل (2-4). الف) تغییرات دمای بدون بعد نمونه گرمتر نسبت به زمان در محل ترموکوپل ب) تغییرات دمای بدون بعد نمونه سردتر نسبت به زمان در محل ترموکوپل
24	شکل (3-1). تشکیل کریستال‌های یخ با توجه به سرعت سرد کردن
25	شکل (3-2). شکل مسئله
40	شکل (3-3). شبکه بندی مسئله
41	شکل (3-4). موقعیت فصل مشترک تغییر فاز نسبت به پارامتر بدون بعد زمان به ازای $T_w = -80^\circ C$
42	شکل (3-5). موقعیت فصل مشترک تغییر فاز نسبت به پارامتر بدون بعد زمان به ازای $T_w = -196^\circ C$

- 43 شکل (6-3). توزیع دمای بدون بعد در عمق پوست در زمان بدون بعد  $\eta = 0.3$  به روش حل تحلیلی و به ازای  $T_w = -80^\circ C$
- 44 شکل (7-3). توزیع دمای بدون بعد در عمق پوست در زمان بدون بعد  $\eta = 0.3$  به روش حل تحلیلی و عددی به ازای  $T_w = -196^\circ C$
- 45 شکل (8-3). توزیع تنش حرارتی در عمق پوست در زمان بدون بعد  $\eta = 0.3$  به روش حل عددی
- 49 شکل (4-1). ساختار مسئله
- 60 شکل (4-2). مقایسه تغییرات دما در عمق پوست در دو مدل سهموی و هذلولوی در دو زمان مختلف
- 61 شکل (4-3). مقایسه تغییرات دما نسبت به زمان در لایه بین اپیدرم و درم در دو مدل سهموی و هذلولوی
- 62 شکل (4-4). مقایسه تغییرات دما نسبت به زمان در لایه بین درم و هایپودرم در دو مدل سهموی و هذلولوی
- 63 شکل (4-5). مقدار آسیب حرارتی نسبت به زمان در لایه بین اپیدرم و درم
- 63 شکل (4-6). مقدار آسیب حرارتی نسبت به زمان در لایه بین درم و هایپودرم
- 66 شکل (5-1). ساختار مسئله
- 73 شکل (5-2). پاسخ حرارتی سطح پوست نسبت به زمان در فرکانس‌های مختلف شار حرارتی با استفاده از مدل هذلولوی انتقال حرارت
- 73 شکل (5-3). مقایسه تغییرات دما نسبت به زمان در دو مدل سهموی و هذلولوی
- 74 شکل (5-4). پاسخ حرارتی مدل‌های هذلولوی و سهموی نسبت به زمان در دو فصل مشترک بین لایه-های اصلی پوست
- 75 شکل (5-5). مقادیر بدون بعد پاسخ دمایی سهموی و هذلولوی و شار حرارتی در مقابل زمان بی بعد در روی سطح و با فرکانس حرارتی 0,05
- 76 شکل (5-6). مقادیر بدون بعد دما در مقابل زمان بی بعد برای مقادیر مختلف نرخ جریان خون بدون بعد  $c_1$  در فرکانس شار حرارتی 0,05
- 80 شکل (6-1). ساختار مسئله

- شکل (6-2). مقایسه پاسخ حرارتی در لایه بسل (لایه بین اپیدرم - درم) با فرض پوست محدود و نیمه بینهایت
- 91
- شکل (6-3). مقایسه پاسخ حرارتی در لایه بین درم و هایپودرم با فرض پوست محدود و نیمه بینهایت
- 91
- شکل (6-4). تفاوت میان پاسخ‌های دمایی هذلولوی و سهموی با توجه به تغییرات شدت و مدت زمان تابش شعله حرارتی در لایه بین اپیدرم و درم
- 92
- شکل (6-5). تغییرات دما نسبت به زمان در لایه‌های بین اپیدرم - درم و درم - هایپودرم در برابر تابش 3 ثانیه‌ای شعله گاز پروپان به پوست
- 93
- شکل (6-6). آسیب حرارتی نسبت به زمان در لایه بین اپیدرم و درم در برابر تماس 3 ثانیه‌ای با شعله گاز پروپان
- 93
- شکل (6-7). تاثیر افزایش نرخ گردش خون بر توزیع دما بدست آمده از مدل هذلولوی در لایه‌های بین اپیدرم - درم و درم - هایپودرم تحت اثر شار حرارتی پیوسته با شدت  $q_0 = 2000(W/m^2)$
- 94
- شکل (7-1). طیف‌های الکترومغناطیسی
- 96
- شکل (7-2). توزیع دمای بدست آمده از مدل‌های سهموی و هذلولوی در عمق پوست در مقابل تابش پیوسته لیزر دی اکسید کربن با شدت  $20(kW/m^2)$
- 117
- شکل (7-3). توزیع دمای بدست آمده از مدل‌های سهموی و هذلولوی نسبت به زمان در 3 موقعیت مکانی مختلف پوست در مقابل تابش پیوسته لیزر دی اکسید کربن با شدت  $20(kW/m^2)$
- 117
- شکل (7-4). اختلاف حل‌های سهموی و هذلولوی نسبت به زمان در 3 موقعیت مکانی مختلف پوست در مقابل تابش پیوسته لیزر دی اکسید کربن با شدت  $20(kW/m^2)$
- 118
- شکل (7-5). توزیع دمای مدل سهموی و هذلولوی در عمق پوست در 3 زمان مختلف در مقابل تابش لیزر دی اکسید کربن با شدت  $40000(kW/m^2)$  در پالس زمانی  $\tau_i = 1.5ms$
- 119
- شکل (7-6). توزیع دمای بدست آمده از مدل‌های سهموی و هذلولوی در عمق پوست در مقابل تابش پیوسته لیزر با طول موج 1460 نانومتر و شدت  $50(kW/m^2)$
- 120
- شکل (7-7). اختلاف حل‌های سهموی و هذلولوی نسبت به زمان در 3 موقعیت مکانی مختلف پوست در مقابل تابش پیوسته لیزر با طول موج 1460 نانومتر و شدت  $50(kW/m^2)$
- 121
- شکل (7-8). توزیع دمای مدل سهموی و هذلولوی در عمق پوست در 3 زمان مختلف در مقابل تابش لیزر با طول موج 1460 نانومتر و شدت  $400000(kW/m^2)$  در پالس زمانی  $\tau_i = 1.5ms$
- 122

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
8	جدول (1-1). نتایج آزمایشگاهی پارامترهای آرنیوس
9	جدول (1-2). پارامترهای آرنیوس مربوط به اپیدرم
9	جدول (1-3). پارامترهای آرنیوس مربوط به درم
41	جدول (3-1). خواص عمومی بافت بیولوژیکی
59	جدول (4-1). خواص خون
60	جدول (4-2). خواص پوست
98	جدول (7-1). اثرات حرارتی تابش لیزر

## فهرست علائم

---

توان بازتاب	$a$
فاکتور فرکانس	$A$
گرمای ویژه	$c$
نرخ گردش خون بدون بعد	$c_1$
سرعت انتشار موج حرارتی	$C_t$
مرکز لایه پوست	$d$
نرخ انبساط حجمی	$e$
انرژی فعال سازی	$E_a$
مدول برشی	$G$
ضریب ناهمگونی	$g$
گرمای نهان انجماد	$h_{sl}$
شدت لیزر	$I$
دامنه شدت لیزر	$I_0$
رسانندگی گرمایی	$k$
ضخامت پوست	$L$
شاخص شکست هوا	$n_1$
شاخص شکست بافت	$n_2$
دامنه شار حرارتی	$q_0$
بازتابش نور	$R$
فصل مشترک تغییر فاز	$s(t)$

فصل مشترک تغییر فاز بدون بعد	$S$
زمان	$t$
زمان نفوذ موج حرارتی	$t_p$
دما	$T$
جابجایی	$u$
جابجایی بدون بعد	$U$
سرعت فصل مشترک تغییر فاز	$v$
سرعت بدون بعد فصل مشترک تغییر فاز	$V$
نرخ گردش خون	$W_b$
مختصات مکان (راستای عمق پوست)	$x$
مسافت نفوذ موج حرارتی	$X_p$

### علائم یونانی

پخش حرارتی	$\alpha$
عمق نفوذ لیزر	$\delta$
کرنش	$\varepsilon$
زمان بی بعد	$\eta$
نسبت پواسان	$\mu$
ضریب جذب ماده	$\mu_a$
ضریب پراکندگی	$\mu_s$
ضریب پراکندگی کاهش یافته	$\mu_s'$
ضریب تضعیف	$\mu_t$
دمای بدون بعد	$\theta$
چگالی	$\rho$

تنش حرارتی	$\sigma$
آسیب حرارتی	$\Omega$
زمان آسایش حرارتی	$\tau$
زمان آسایش حرارتی بدون بعد	$\Lambda$
زمان پالس لیزر	$\tau_i$
زمان بدون بعد پالس لیزر	$\Lambda_i$
فرکانس شار حرارتی	$\omega$

### پایین نویسی ها

سرخرگ	$a$
خون	$b$
هایپر بولیک (هذلولوی)	$H$
قسمت منجمد نشده	$l$
متابولیک	$met$
پارابولیک (سه موی)	$P$
قسمت منجمد شده	$s$
بافت	$t$
سیاهرگ	$v$



# فصل اول

## مقدمه

اکثر تحقیقات انجام شده تاکنون بر مبنای تئوری انتقال حرارت فوریه<sup>1</sup> بوده است که فرض می‌کند حرارت با سرعتی نامحدود منتشر می‌شود. هر چند این فرضیه به صورت فیزیکی درست نیست، اما برای اکثر کاربردهای مهندسی قابل قبول است. اما در برخی موارد خاص که تغییر حرارتی شدیدی در زمانی کوتاه به ماده‌ای که دارای زمان آسایش حرارتی بزرگی می‌باشد اعمال می‌گردد، تئوری سرعت انتشار گرمایی نامحدود به خطاهای بزرگی منتهی خواهد شد. برای اصلاح این موقعیت که از نظر فیزیکی غیرقابل قبول است، تئوری موج گرمایی پیشنهاد شده است. طبق تئوری موج گرمایی یک تاخیر زمانی بین بردار چگالی جریان حرارت و گرادیان دما وجود دارد. کاتانو<sup>2</sup> [1] و ورن<sup>3</sup> [2] رابطه زیر را به جای قانون کلاسیک فوریه ارائه کردند.

$$q(r, t + \tau_q) = q(r, t) + \tau_q \frac{\partial q(r, t)}{\partial t} = -k \nabla T(r, t) \quad (1-1)$$

در رابطه فوق  $\tau_q$  زمان آسایش حرارتی را نشان می‌دهد و با رابطه  $\tau_q = \alpha / C_i^2$  بیان می‌شود. که در آن  $\alpha$  ضریب پخش گرمایی است و  $C_i$  سرعت انتشار گرمایی را مشخص می‌کند.

رفتار حرارتی غیرفوریه به طور تجربی در مواد مهندسی<sup>4</sup> یا در مواردیکه فرآیند انتقال حرارت در دمای پایینی صورت گرفته است مشاهده شده است [3 و 4]. این در حالی است که با توجه به پیشرفت‌های اخیر در زمینه لیزر، رفتار حرارتی غیرفوریه در فرآیند لیزرکاری با پالس کوتاه در فیلم نازک مواد مهندسی نیز مشاهده گردیده است [5]. مشابه این فرآیند در موادی با ساختار داخلی غیرهمگن مثل ماسه با ساختار دانه‌ای نامرتب که از نظر ناهمگنی مشابه بافت‌های بیولوژیکی می‌باشند نیز دیده شده است [6].

بیشتر مواد بیولوژیکی ساختار نامتجانسی دارند و به همین علت در قیاس با مواد مهندسی زمان آسایش حرارتی بزرگی دارند. وداورز<sup>5</sup> [8] زمان آسایش حرارتی را برای برخی از مواد بیولوژیکی در

<sup>1</sup> Fourier heat equation

<sup>2</sup> Cattaneo

<sup>3</sup> Vernotte

<sup>4</sup> Engineering materials

<sup>5</sup> Vedavarz

محدوده 1 تا 100 ثانیه بدست آورد. کامینسکی<sup>1</sup> [9] برای محصولات گوشتی  $\tau_q$  را بین 20 تا 30 ثانیه محاسبه کرد. میترا<sup>2</sup> و همکارانش [7] آزمایشات خود را بر روی گوشت فرآوری شده انجام دادند و  $\tau_q$  را در حدود 16 ثانیه بدست آوردند. تا به امروز مقدار دقیقی برای زمان آسایش حرارتی پوست ارائه نشده است اما مسلم است که پوست زمان آسایش حرارتی بزرگی دارد و پاسخ حرارتی در موادی که دارای زمان آسایش حرارتی بزرگی هستند به خصوص در مواردیکه اختلال حرارتی شدیدی در زمانی کوتاه به وقوع می‌پیوندد، با استفاده از قانون کلاسیک فوریه قابل توجیه نمی‌باشد. که این امر به وضوح در نتایج آزمایش‌های میترا دیده می‌شود.

### 1-1- ساختمان پوست

پوست وسیع‌ترین عضو زنده بدن، درحقیقت یکی از پیچیده‌ترین، جالب‌ترین و پرکارترین اعضاء نیز به شمار می‌آید. دستاوردها و تحقیقات انجام شده در زمینه شناخت ساختار و عملکرد پوست در بدن طی دهه گذشته از مجموعه مطالعات دو قرن اخیر بیشتر و مؤثرتر بوده است. وظایف پوست در بدن به شرح زیر می‌باشد:

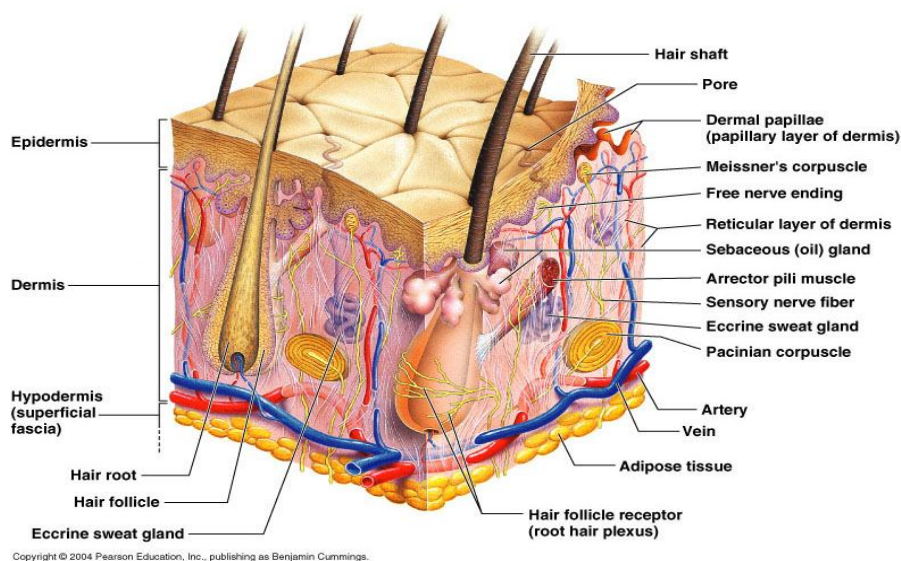
- 1- بدن را در مقابل آسیب‌های مکانیکی، حرارت و تابش شدید نور محافظت می‌کند.
  - 2- از نفوذ مواد شیمیایی و ورود میکروبها و میکرو ارگانیسم‌ها به بدن جلوگیری می‌نماید.
  - 3- برخی از مواد مضر حاصل از فعالیت‌های متابولیسمی در سیستم گوارشی را دفع می‌کند.
  - 4- هورمون‌ها و آنزیم‌ها را در داخل بدن حفظ می‌کند.
  - 5- پیام‌های حسی را از طریق اعصاب به مغز و مراکز عصبی منتقل می‌کند.
  - 6- نقش مهمی را در سیستم ایمنی بدن ایفا می‌نماید.
- در هر اینچ مربع از پوست، اجزاء متعددی را می‌توان مشاهده نمود که با تعداد شگفت آوری در کنار هم به ایفای نقش خود می‌پردازند. 650 غده مترشحه عرق، 65 فولیکول مو، 19 یارد مویرگ‌های

<sup>1</sup> Kaminski

<sup>2</sup> Mitra

خونی، هزاران سلول لامسه، پایانه عصبی و سلول‌های لانگرهانس<sup>1</sup> در هر اینچ مربع از پوست در کنار هم قرار دارند.

سطح پوست از تجمع سلول‌های مرده تشکیل شده است. زیر این سطح، سه لایه جداگانه بسیار نازک به نام‌های اپیدرم<sup>2</sup>، درم<sup>3</sup> و هایپودرم<sup>4</sup> وجود دارند. شکل (1-1) ساختمان پوست را نشان می‌دهد.



شکل (1-1): ساختمان پوست

اپیدرم که ضخامتش از 0,04 تا 1,6 میلیمتر متغییر است لایه مهمی می‌باشد. سلول‌های لانگرهانس<sup>1</sup> که ایمنی پوست را برعهده دارند، ملانوسیت‌ها<sup>5</sup> که عهده‌دار تولید رنگدانه‌های ملانین و تنظیم رنگ پوست است، در این لایه قرار دارند. لایه دوم یا درم 5 تا 7 برابر ضخیم‌تر از اپیدرم است و به وسیله یک غشاء پیوندی پایه به آن متصل شده است. درم از یک غشاء ضخیم ارتباطی تشکیل شده است که در حقیقت شبکه بهم بافته‌ای است از مویرگ‌های خونی و لنفی، رشته‌ها و پایانه‌های عصبی و حسی،

<sup>1</sup> Langerhans

<sup>2</sup> Epidermis

<sup>3</sup> Dermis

<sup>4</sup> Hypodermis (Subcutaneous Fat)

<sup>5</sup> Melanosit