بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی نساجی

شبیه سازی تأثیر جریان هوا بر راحتی حرارتی و دمای ریزاقلیم

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی نساجی – تکنولوژی نساجی

زهرا ابراهیمی قهدریجانی

اساتید راهنما
دکتر محمد شیخ زاده

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی نساجی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته تکنولوژی نساجی خانم زهرا ابراهیمی قهدریجانی

تحت عنوان

شبیه سازی تأثیر جریان هوا بر راحتی حرارتی و دمای ریزاقلیم

در تاریخ ۱۳۹۲/۶/۳۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر محمد شیخ زاده
۲- استاد داور	دکتر حسین حسنی
۳- استاد داور	دکتر داریوش سمنانی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر صدیقه برهانی

سپاس خالقم را :

که همه اوست هر چه هست یقین

جان و جانان و دلبر ودل و دین

که جهان صورتست و معنی دوست

ور به معنی نظر کنی همه اوست

که یکی هست و هیچ نیست جز او

وحده لا اله الا هو

به رسم " من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق" تقدیر و سپاس صمیمانه خود را از زحمات بی‌دریغ استاد گرامی‌ام جناب آقای دکتر محمد شیخ‌زاده به عمل می‌آورم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

پدر و مادرم

که از نگاهشان صلابت؛

از رفتارشان محبت؛

و از صبرشان ایستادگی را آموختم؛

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب.....هشت

چکیده ۱

فصل اول: مطالعات و تحقیقات

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- راحتی ۳

۱-۳- راحتی حرارتی ۳

۱-۳-۱-پارامترهای تأثیر گذار بر راحتی حرارتی ۴

۱-۴- روش و مدلهای پیش بینی راحتی حرارتی ۹

۱-۴-۱- مدل راحتی حرارتی فانگر ۱۰

۱-۵- تنظیم دما بدن برای رسیدن به راحتی حرارتی ۱۵

۱-۵-۱- راه های تبادل حرارتی میان انسان ومحیط ۱۷

۱-۶- تهویه در داخل لباس.....۲۰

۱-۶-۱-تاثیر نفوذ جریان هوا به داخل لباس بر میزان مقاومت آن در برابر انتقال گرما.....۲۲

۱-۷- جریان هوا و راحتی گرمایی.....۲۲

۱-۷-۱-تأثیر سرعت جریان هوا بر راحتی گرمایی ۲۴

۱-۷-۲- تأثیر جهت جریان هوا بر راحتی گرمایی ۲۷

۱-۷-۳-تأثیر دما هوا بر راحتی حرارتی.....۳۰

۱-۸- مدلها و مطالعات انجام گرفته در مورد تأثیر جریان هوا بر راحتی گرمایی.....۳۱

فصل دوم : مواد و روشها

۲-۱- مقدمه ۳۳

۲-۲- مشخصات نمونه ها، وسایل و ابزارهای مورد استفاده ۳۳

۲-۲-۱- مروری بر ساخت دستگاه ۳۴

۲-۲-۲- مزایای دستگاه طراحی شده.....۳۵

۲-۲-۳- معایب دستگاه.....۳۵

۲-۲-۴- مواد مورد استفاده در ساخت دستگاه ۳۵

۲-۳- شرح ساخت دستگاه.....۳۶

۲-۴- دستگاهها،وسایل و نرم افزارهای مورد استفاده ۴۲
۲-۵- مشخصات منسوجات مورد استفاده ۴۲
۲-۶-شرایط آزمایش ۴۳
۲-۷-طریقه انجام آزمایش ۴۳
فصل سوم: نتایج و بحث
۳-۱- مقدمه ۴۵
۳-۲- آزمایش اول ۴۵
۳-۳- آزمایش دوم ۴۶
۳-۴- آزمایش سوم ۴۶
۳-۵- آزمایش چهارم ۴۷
۳-۶- آزمایش پنجم ۴۸
۳-۷- آزمایش ششم ۴۸
۳-۸- آزمایش هفتم ۴۹
۳-۹- آزمایش هشتم ۴۹
۳-۱۰- آزمایش نهم ۵۰
۳-۱۰- آزمایش دهم ۵۰
۳-۱۱- آزمایش یازدهم ۵۱
۳-۱۲- آزمایش دوازدهم ۵۱
۳-۱۲- اندازه گیری میزان تغییر دما هوا محبوس بین پارچه و صفحه داغ ۵۲
فصل چهارم: نتیجه گیری کلی و پیشنهادات
۴-۱- نتیجه گیری کلی ۵۷
۴-۳ - پیشنهادات ۶۰
مراجع ۶۱

چکیده

یکی از مواردی که انسان در محیط‌های گرم به آن نیاز دارد، راحتی حرارتی است. این راحتی زمانی میسر می‌شود که بدن به اندازه‌ای که گرما تولید می‌کند به همان اندازه هم گرما از دست بدهد و در تعادل گرمایی با محیط باشد. بدن انسان از طرق مختلف در تبادل گرمایی با محیط است که از مهمترین آن می‌توان به تبخیر اشاره کرد. بدن انسان در محیط‌های گرم برای رساندن دما خود به محدودهٔ ($۳۷\pm۰/۵^{\circ}C$) شروع به از دست دادن گرما می‌کند وبه این منظورتعریق صورت می‌گیرد. در محیط‌هایی که گرما بیش از حد معمول باشد، بدن به تنهایی و از طریق تعریق نمی‌تواند به تعادل گرمایی و در نهایت به راحتی حرارتی دست یابد و برای رسیدن به آن باید از دستگاه‌های سرمایشی استفاده-کرد. اما امروزه با توجه به بحران انرژی که در جهان مطرح است، بهتر است بجای استفاده از سیستم‌های سرمایشی در ابعاد بزرگ به فکر سیستم‌های سرمایشی شخصی بود تا علاوه بر رسیدن به راحتی حرارتی به صرفه جویی در انرژی هم دست یافت. نقش لباس برای ایجاد راحتی حرارتی شخصی بسیار قابل توجه است. لباس با ایجاد فضای ریزاقلیم در اطراف سطح بدن نقش بسیار اساسی در ایجاد راحتی حرارتی بر عهده دارد. بنابراین هدف این پروژه بررسی تأثیر جریان هوا بر راحتی حرارتی از طریق کاهش دما ریزاقلیم است.

جهت رسیدن به هدف فوق باید محیطی شبیه بدن را ایجاد کرد، به این منظور دستگاهی تحت عنوان صفحه داغ طراحی و ساخت گردید. این دستگاه دارای دو حالت است، به این صورت که در یک حالت می‌تواند دما ثابت و انرژی متغیر و در حالت دوم دما متغیر و انرژی ثابت را ایجاد کند. در این تحقیق از حالت دوم که انرژی ثابت و دما متغیر را ایجاد می‌کند استفاده شد. به این وسیله شرایطی مانند بدن شخص در حین کار متوسط تا سنگین که دارای انرژی مشخص است ایجاد گردید. نمونه استفاده شده در این آزمایش از جنس پلی‌استر است و برای داشتن رطوبت به منظور شبیه‌سازی تعریق بدن از منسوج بی‌بافت که میزان آب مشخصی در سطح آن بطور یکنواخت پخش شده‌است و برای ایجاد جریان هوا از یک فن ساده با سرعت مشخص استفاده‌شد. نتایج به دست آمده، کاهش دما هوا در ریزاقلیم بین پوست شبیه‌سازی شده و لباس را نشان داد. این نتایج نشان داد که با وجود جریان هوا و گرمایی که توسط رطوبت منسوج برای تبخیر گرفته می‌شود، دما مورد نظر کاهش یافته‌است. از طرفی نیز با استفاده از روابط حاکم بر انتقال حرارت و موازنه انرژی این کاهش دما محاسبه گردید.

کلمات کلیدی: راحتی حرارتی، ریزاقلیم، جریان هوا، شبیه سازی، صفحه داغ.

فصل اول
مطالعات و تحقیقات

۱-۱- مقدمه

همانطور که می‌دانید بدن انسان دائماً در حال تولید گرماست. بصورتی که در حالت خواب حدود ۷۵ وات و در حال ورزش کردن حدود ۱۰۰۰ وات گرما تولید می‌کند. دما ارگانهای داخلی بدن باید در شرایط خنثی نگه داشته‌شوند، این دما حدود ۳۷±۰/۵ درجه سلسیوس است. ماکزیمم انحراف دما عمقی بدن تقریباً دو درجه سلسیوس از سطح نرمال است. وظیفه سیستم تنظیم حرارت بدن، نگه داشتن دما عمقی بدن در بازه گفته‌شده است.

حالت تعادل حرارتی زمانی برای شخص به وجود می‌آید که میزان تولید گرما برابر با میزان دفع انرژی حرارتی از بدن باشد. اگر محیطی که انسان در آن قرار دارد از حالت تعادل گرمایی خارج شود باعث کند شدن زمان واکنش، کاهش توان و انرژی، بروز مشکل در هماهنگی وتمرکز، ضعف عضلانی، کاهش قدرت در هنگام انجام حرکت فیزیکی سنگین و حتی فعالیت‌های عادی روزانه شده و باعث گرمازدگی می‌شود. برای پیشگیری از این حالت باید محیطی که شخص در آن فعالیت می‌کند از نظر گرمایی در حالت تعادل باشد که فرد دچارمشکلات ناشی از افزایش گرما وبیماری‌های مربوط به آن نشود. برای این منظور باید از دستگاه‌های سرمایشی استفاده کرد و با توجه به آن که محیط کار بسیار بزرگ بوده و انرژی زیادی برای سرمایش محیط نیاز است وبا توجه به بحران‌های انرژی در قرن اخیر این مهم قابل دستیابی نیست و باید به فکر دستگاه‌های سرمایش انفرادی بود تا بتوان یک ریزاقلیم[1] در اطراف بدن شخص به وجود آورد و به این طریق مشکلات ناشی از افزایش گرما و دما محیط را برطرف کرد و شخص بتواند در تعادل حرارتی با محیط قرار گیرد. از طرفی در ارزشیابی مشکلات حرارتی محیط کار و نیز در کنترل وکاهش آن، لباس نقش قابل توجهی دارد. لباس چون معبری برای دفع یا انرژی گرمایی با محیط محسوب می‌گردد پس بر تعادل حرارتی شخص با محیط تأثیرگذار است. البته آنچه که دراین باره بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد تهویه در اطراف سطح بدن و داخل لباس است که نقش بسیار مهمی را در تأمین راحتی حرارتی و به تعادل رسیدن شخص از نظر گرمایی بر عهده دارد. دلیل این امر شاید وظیفه لباس برای کمک به انتقال گرما از طریق جابجایی و همچنین با افزایش تبخیر عرق از سطح بدن باید عبور دهی حرارتی و رطوبتی مناسب داشته‌باشد تا راحتی حرارتی مدنظر را در محیط‌های گرم فراهم می-کند.

[1] Micro climate

۱-۲- راحتی

راحتی یک موضوع بسیار پیچیده است و به سادگی قابل تعریف نیست. راحتی یا ناراحتی به حالت عمومی سیستم تنظیم دما بدن با محیط اطلاق می‌گردد، این حالت بصورت واکنش بین شرایط گرمایی، لباس، سطح فعالیت و شرایط فیزیکی افراد رخ می‌دهد. فونت[۱] و هولیز[۲] راحتی را متشکل از خصوصیات و اجزاء گرمایی و غیرگرمایی وابسته به موقعیت پوششی فرد و شرایط بحرانی و غیر بحرانی محیط برشمردند. اسمیت [۳]راحتی را به صورت آسایش و رهایی از درد توصیف کرد[۱, ۲].

اسلاتر[۴] راحتی را بصورت"یک حالت فیزیولوژیکی و روانی موزون فیزیکی بین انسان و محیط اطرافش " تعریف کرد. وی همچنین راحتی را به سه دسته تقسیم کرد. راحتی فیزیولوژیکی که به توانایی بدن شخص برای حفظ خصوصیات آن وابسته‌است. راحتی روانی مربوط به توانایی ذهنی برای نگه‌داشتن عملکرد رضایت بخش با محیط بیرونی است. راحتی فیزیکی هم مربوط به تأثیر محیط بیرونی بر بدن شخص تعریف می‌گردد.

بنابراین تعریف راحتی بصورت" رهایی از درد و ناراحتی به صورت طبیعی" است. این تعریف می‌تواند یک تعریف قابل قبول وگسترده‌ای برای راحتی باشد. حالت‌های فیزیولوژیکی و روانی راحتی شامل موارد زیر است:

- راحتی ترموفیزیولوژیکی: دستیابی به حالتی با راحتی گرمایی و رطوبتی که این شرایط به ویژگی انتقال رطوبت و گرما لباس وابسته‌است.
- احساس راحتی: احساس‌های عصبی در تماس لباس با پوست بدن است.
- راحتی حرکتی بدن: توانایی یک منسوج برای آزادی حرکت شخص است.
- زیبایی پوشاک: احساس ذهنی پوشاک به محض رؤیت شدن است[۱].

۱-۳- راحتی حرارتی

بیان راحتی حرارتی نتیجه یک فرآیند روان شناسی است. برطبق استاندارد ASHRAE55 در سال ۲۰۰۴ راحتی حرارتی به صورت یک حالت ذهنی تعریف شده‌است، جایی که یک شخص بیان رضایت را با شرایط گرمایی محیط دارد. این تعریف حالت روانی رضایت بخشی را توصیف می‌کند. احساس سردی و گرمی بر اساس سیگنالهای گیرنده گرما در بدن تعریف می‌شود. مرکز تنظیم گرمایی در هیپوتالاموس قرار دارد و داده‌ها را از گیرنده‌های گرمایی پوست از ارگان‌های داخلی دریافت می‌کند و توسط جریان خون تنظیم گرمایی بدن صورت می‌گیرد. احساس راحتی حرارتی پس از ارزیابی حالت گرمایی از طریق فرآیندهای روان شناسی رخ می‌دهد. در سال ۱۹۶۷ گیج [۵]همچنین مطرح کرد که درک میزان گرما وسرما هم از طریق پوست وهمچنین از طریق عمق بدن است. در سال ۲۰۰۳ پارسونز[۶] احساس

---

[1] Fount
[2] Hollies
[3] Smith
[4] Slater
[5] Gagge
[6] Parsons

گرمایی را تنها یک پدیده روان شناسی می‌داند. با توجه به بحث‌هایی که در این رابطه صورت گرفته است، یک حس قطعی برای بیان راحتی حرارتی موجود نیست[۳].

توصیف راحتی حرارتی، چگونگی احساس گرمایی بدن در ارتباط با محیط بیرون است. درسال ۱۹۹۱ هنسن[۱] راحتی حرارتی را بصورت" یک حالتی که هیچ انگیزه‌ای برای اصلاح محیط به واسطه رفتار شخص وجود ندارد " تعریف کرد. راحتی حرارتی توسط استاندارد ASHRAE بصورت "شرایط ذهنی که رضایت نسبی به گرمای محیط ابراز می‌شود" تعریف شد[۴].

راحتی حرارتی یک موضوع نگران کننده در قرن گذشته بوده‌است. در سال ۱۸۸۳، هرمنز[۲] تئوری خود را بر روی ناراحتی حرارتی مطرح کرد. تئوری وی در مورد تهویه ضعیف برای کاهش گرما بدن انسان است. این تئوری به دقت در قرن ۲۰ مطرح شد و از جمله اشکالات اساسی آن، نادیده گرفتن نیازهای راحتی موجود در رابطه با شرایط گرمایی و تهویه استانداردهای راحتی است. در استانداردها این شرایط به صورت " شرایط ذهنی که احساس رضایت شخص از گرمای محیط به دنبال دارد" بیان شده‌است[۲]. آسایش یا راحتی براساس استاندارد ANSI/ASHRAE-SS-1981 به شرایطی اطلاق می شودکه درآن فرد از وضعیت حرارتی محیط به لحاظ روانی راضی است. احساس ناراحتی ممکن است درکل بدن یا در بخش خاصی از بدن احساس شود [۵و۶].

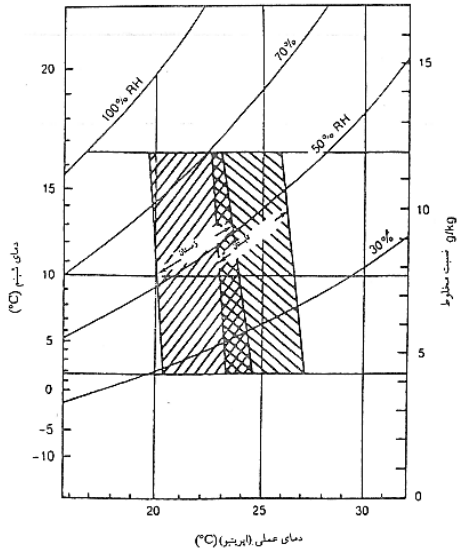
شکل(۱-۱) بر اساس استاندارد ASHRAE حوزه‌های راحتی حرارتی را به تفکیک برای فصول تابستان و زمستان نشان می‌دهد. حوزه تابستان برای لباسی با مقاومت حرارتی ۰/۵کلو[۳] و سرعت جریان هوا کمتر از۰/۲۵متر بر ثانیه و حوزه زمستان برای لباسی با مقاومت حرارتی ۰/۹کلو وسرعت جریان هوا کمتر از ۰/۱۵ متر برثانیه طرح شده‌است. در محدوده راحتی تابستان در صورتی که سرعت جریان هوا به ازای ازدیاد هر درجه کلوین در دما به میزان ۰/۲۷۵ متر بر ثانیه زیاد شود، اجازه افزایش محدوده راحتی بیش از ۲۶ درجه سلسیوس و حداکثر تا ۲۸ درجه سلسیوس در سرعت جریان هوا ۰/۸متر بر ثانیه وجود دارد.

۱-۳-۱-پارامترهای تأثیر گذار بر راحتی حرارتی

بر اساس مطالعات اولسن[۴] و براگر[۵] در سال ۲۰۰۴ نشان داده‌شد که چندین فاکتور ترکیبی و فاکتورهای فرهنگی بر احساس راحتی تأثیرگذار است. راحتی حرارتی وابسته به تغییرات گرمایی بدن شخص با محیط اطراف است. روش متداول برای درک راحتی حرارتی براساس شش متغیرمحیطی(دما محیط، رطوبت نسبی، سرعت هوا و میانگین دما تابشی) و دو متغیرفردی(عایق بودن لباس، سرعت متابولیسم) است. لین[۶] در سال ۲۰۰۵، دما لایه هوا، دما تشعشعی نامتقارن و شدت آشفتگی را به عنوان پارامترهایی که تغییرات گرمایی بین بدن انسان ومحیط تنظیم می‌کند را اضافه نمود. پارسونز در سال ۲۰۰۳، فاکتورهای تأثیرگذار بر راحتی حرارتی را شامل : سطح، موقعیت و مدت تأثیر محرک گرمایی روی بدن شخص، حالت گرمایی پیشین شخص، شدت گرما و سرعت تغییرات دما را برشمرد[۳].

---

[1] Hensen
[2] Hermans
[3] Clo
[4] Olesen
[5] Brager
[6] Lin



شکل ۱-۱- حوزه راحتی در فصول تابستان و زمستان[۱]

هنسن در سال ۱۹۹۱ نشان داد، راحتی حرارتی رابطه تنگاتنگی با تعادل حرارتی بدن با محیط دارد و این تعادل به پارامترهای محیطی و پارامترهای فردی زیر بستگی دارد:

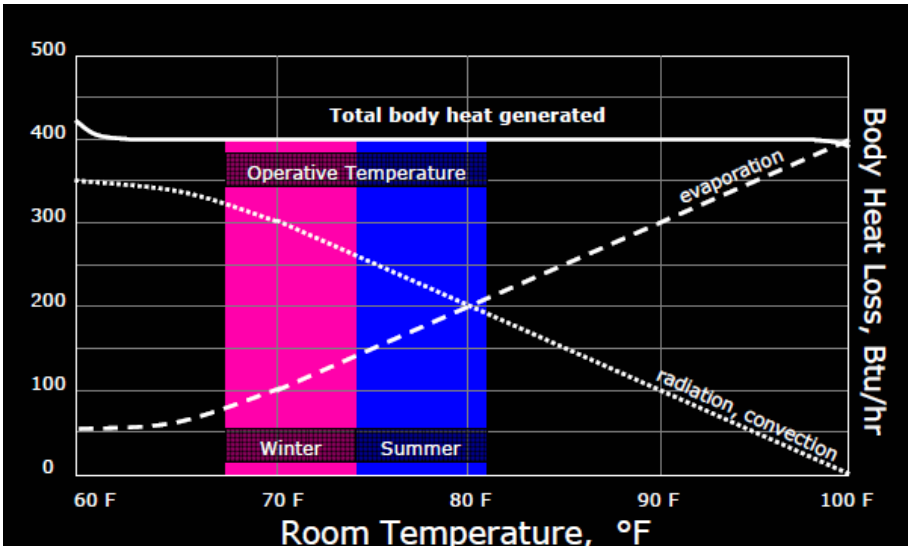
- پارامترهای محیطی : دما هوا، میانگین دما تابشی، سرعت نسبی هوا، رطوبت نسبی
- پارامترهای فردی: سطح فعالیت یا سرعت متابولیسم، مقاومت گرمایی لباس

وی همچنین دریافت که حساسیت گرمایی پوست در نقاط مختلف بدن متفاوت است. بنابراین اندازه‌گیری حس گرمایی و راحتی گرمایی باید برای هر قسمت از بدن بصورت جداگانه انجام گیرد[۴].

در این قسمت به توضیح مختصری در مورد هریک از عوامل تأثیرگذاربرتعادل حرارتی فرد، پرداخته شده‌است.

دما هوا

در محیط‌های گرم، کاهش گرما از بدن بصورت جابجایی و هدایت و تابش صورت می‌گیرد. اگر دما محیط افزایش یابد، میزان انتقال از راه جابه جایی و تابش از بدن به محیط کاهش می‌یابد و میزان انتقال از طریق تبخیر افزایش می یابد. اما از طرفی اگر دما محیط ازدما طبیعی بدن کمتر شود، میزان انتقال از راه جابه جایی وتابش به محیط افزایش می‌یابد[۷]. درشکل ۱-۲ تأثیر شرایط محیطی بر تبادلات حرارتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲- تأثیر شرایط محیط بر تبادلات حرارتی بدن انسان با محیط [۷]

- رطوبت هوا

در این قسمت رطوبت مدنظر رطوبتی است که در محیط کار شخص موجود است. اگر تمرکز رطوبت در پوست بیشتر از محیط باشد، میزان رطوبت اشباع شده بر روی پوست تمایل به تبخیر دارد و از این طریق کاهش گرما از پوست از طریق تبخیر این رطوبت صورت می‌گیرد.

- سرعت نسبی هوا

در زمانی که دما هوا محیط افزایش می‌یابد، دما بدن شخص افزایش یافته و باعث می‌گردد سیستم کنترل کننده دما بدن فرمان تعریق را به غدد مربوطه دهد و این باعث می‌شود فرد عرق کرده و سطح پوست وی دارای رطوبت گردد. اگر دراین شرایط سرعت نسبی هوا به حدکافی باشد، تبخیر عرق از سطح پوست به خوبی انجام می‌گیرد اما اگر این سرعت از حدی فراتر رود سبب احساس سردی موضعی برای شخص به وجود آمده‌است و شخص دچار نارضایتی حرارتی می‌گردد.

- مقاومت حرارتی لباس

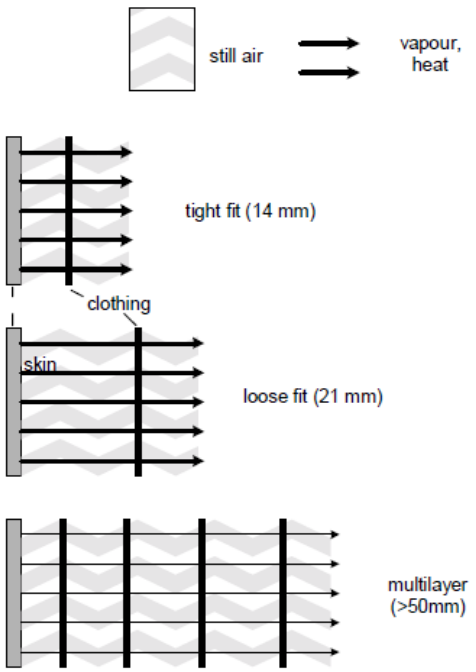
عملکرد لباس به عنوان یک مانع برای انتقال گرما و رطوبت بین پوست ومحیط است. دامنه عوامل محیطی برای راحتی حرارتی، محدود است. به عنوان مثال، برای لباس با سطح فعالیت پایین محدوده تغییرات حدود ۳/۵ درجه سلسیوس است. با افزایش میزان متابولیسم تغییرات دما برای راحتی به ۱ درجه سلسیوس تقلیل پیدا می‌کند. از طرفی اگر افزایشی در مقاومت لباس به اندازه ۰/۲کلو باشد، به سرعت هوا بیشتری برای راحتی نیاز است. بصورتی که برای افزایش دما به میزان یک درجه سلسیوس، افزایش ۰/۲ متربرثانیه در سرعت هوا نیاز است تا راحتی گرمایی تأمین گردد. در اغلب مقادیر فیزیولوژیکی راحتی به دما پوست و رطوبت آن وابسته‌است. در جدول(۱-۱) مقادیرمیانگین دما پوست برای حالت راحتی شخص آمده‌است[۸].

جدول۱-۱–ارتباط دما بدن ورطوبت پوست با راحتی حرارتی[۸]

شرایط	دمای محلی پوست(°c)	رطوبت پوست٪	احساس راحتی	میانگین دمای پوست(°c)	شرایط	دمای عمقی بدن(°c)
تاول پوست	>۴۵	۶۰	بسیار ناراحت		گرمازدگی،آسیب مغزی	۴۴
درد	۴۵	۴۰		۳۶	تب	۴۱
خنک	۲۵	۲۰	کمی ناراحت	۳۴	ورزش بسیار سنگین	۳۸
کاهش چابکی	۲۰	۶			ورزش	
درد	۱۵	–	راحت	۳۳	شرایط نرمال استراحت	۳۷
بی حسی	۷	–	کمی ناراحت	۳۲		۳۶
سرمازدگی	-۰/۵	–		۳۱	لرز	۳۵
			ناراحت	۳۰	کاهش هوشیاری	۳۳
					مرگ	۳۱
					کمترین دمای اندازه‌گیری شده با بهبودی کامل	۱۴

مجموعه لباس

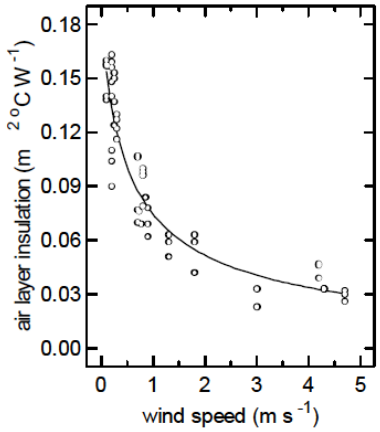
وقتی که لباس چند لایه باشد، مقاومت گرمایی هم به ویژگی‌های لباس و همچنین به میزان هوا موجود در بین لایه‌ها وابسته‌است[۱]. هر لایه از لباس یک لایه هوا مستقل دارد. این لایه هوا می‌تواند بیشتر از ۶ میلی‌متر ضخامت داشته‌باشد. در شکل (۱-۳) لباسی با چند لایه و هوا محبوس را نشان می‌دهد. در این شکل میزان مقاومت در برابر بخار و گرما رانشان داده‌است.



شکل۱-۳ - تصویر شماتیک ارتباط توزیع جریان هوا در پارچه با مقاومت گرمایی و بخار[۸]

کل مقاومت لباس به میزان هوا محبوس وابسته‌است. بصورتی که اگر لباس تنگ باشد هوا در بین لباس کمتر از زمانی که لباس گشاد است به دام می‌افتد و میزان عایق بودن به حداقل خودش خواهد رسید.

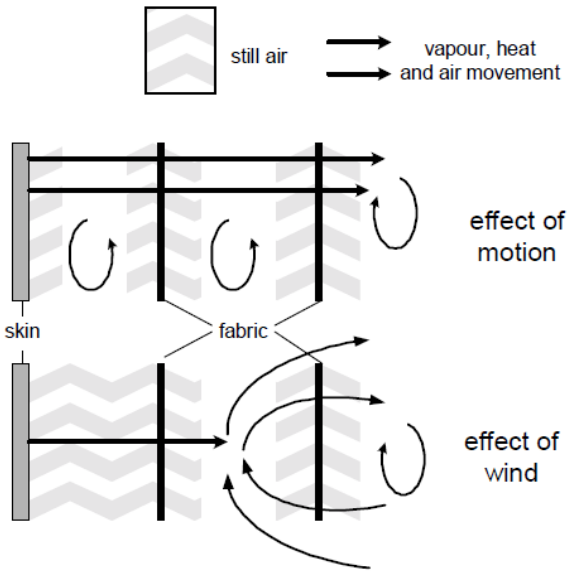
در محیطی بسته لایه های هوا ساکن است و اگر هوا حرکت داشته‌باشد، لایه‌های داخلی که دارای هوا ساکن است به هم جریان و حرکت درمی‌آید و بر روی میزان انتقال گرما تأثیر گذار است. شکل(۱-۴) اثر حرکت هوا بر لایه‌های بیرونی را نشان می‌دهد[۸].



شکل ۱-۴–اثر حرکت هوا بر عایق بودن لایه هوا در منسوج[۸]

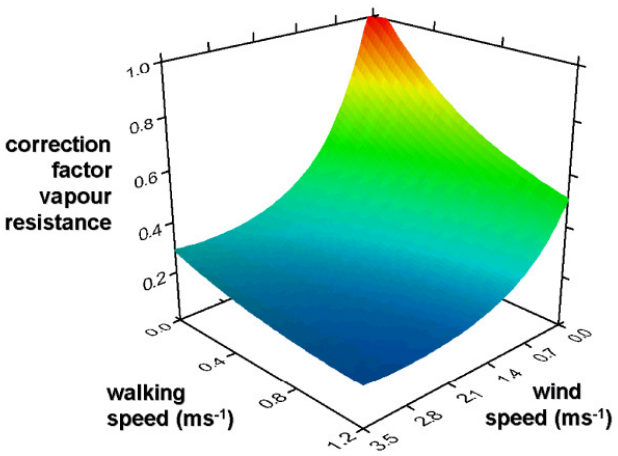
حرکت لباس

حرکت لباس می‌تواند با حرکت هوا صورت گیرد. وزش باد می‌تواند لباس را متراکم کند و از طریق کاهش ضخامت یا حرکت لایه‌های درونی بر مقاومت لباس تأثیرگذار باشد. حرکت بدن شخص پوشنده لباس نیز مشابه حرکت باد در سطح لباس است و می‌تواند هوا را در بین لایه‌ها هدایت کند(شکل ۱-۵)[۸].



شکل۱-۵–اثر حرکت و باد برسطح ولایه‌ی هوا محبوس[۸]

معمولاً حرکت لباس مانند چرخش لایه‌های هوا درخارج از لباس است. درهنگام پیاده روی با سرعت ۴ متر بر ثانیه کاهش شصت درصدی مقاومت لباس صورت می‌گیرد. از طرفی کاهش هشتاد درصدی در مقاومت تبخیری هم به وجود می‌آید(شکل ۱-۶)[۸].



شکل ۱-۶- تأثیر همزمان سرعت باد و حرکت لباس بر مقاومت بخار[۸]

۱-۴- روش و مدل‌های پیش بینی راحتی حرارتی

همانگونه که بیان شد آسایش حرارتی به شرایطی اطلاق می‌شود که در آن فرد از وضعیت حرارتی محیط به لحاظ روانی راضی باشد. احساس ناراحتی ممکن است در کل بدن و یا در بخش خاصی از بدن احساس شود. به علت اختلاف قابل ملاحظه در احساس افراد، بعید است بتوان محیطی را فراهم نمود که کلیه افراد از آن راضی باشند. اما می‌توان به شرایطی دست یافت که درصد قابل قبولی از افراد احساس رضایت نمایند. مقادیر ارائه شده در جداول برای تأمین رضایت ۸۰ درصد افراد می‌باشد، در صورتی که به دلایلی از جمله مسائل اقتصادی، حفظ ونگهداری انرژی، امکان دارد رضایت برای درصد کمتری از افراد فراهم گردد. استفاده از استاندارد ISO 7730 امکان برقراری شرایط موردنظر را فراهم می‌سازد.

راحتی حرارتی به وسیله استانداردهایی در این باره که بر اساس آنالیزهای تئوری تبادل گرمایی بدن با محیط است، توصیف می‌گردد. نیکل[۱] در سال ۲۰۰۴ آنالیزهای تئوری که با داده‌های موجود با توجه به نمودارهای آب و هوای کالیبره می‌شود را بیان کرد. از طرفی نیز بودن[۲] و گراب[۳] در سال ۲۰۰۵، توازن انرژی انسان با محیط را در حالت پایا فرض کردند.

استانداردهای ASHRAE 55و ISO 7730 که درسالهای ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ انتشار یافتند، دو استاندارد کامل و جامع در رابطه با بحث راحتی حرارتی است. استاندارد ASHRAE 55 توسط انجمن حرارتی- برودتی ومهندسین تهویه مطبوع آمریکا [۴] و استاندارد ISO 7730 توسط سازمان بین المللی استاندارد منتشر شده‌است. این دو استاندارد از

[1] Nicol
[2] Bouden
[3] Ghrab
[4] American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE)

شاخص‌های فانگر برای پیش بینی راحتی حرارتی بهره گرفته‌اند[۳]. استاندارد ASHRAE 55، ۸۰ درصد رضایت از گرما یا به تعبیری راحتی حرارتی، ۱۰درصد نارضایتی از شرایط راحتی عمومی و ۱۰درصد نارضایتی برای شرایط موضعی در یک فضا را نشان داده‌است. به طور مشابه در استاندارد ISO 7730 سطح رضایت ۸۰ درصدی افراد را از شرایط محیطی نشان می‌دهد. در جدول(۱-۲) شرایط راحتی حرارتی طبق استاندارد ASHRAE 55 آمده‌است[۳].

جدول ۱-۲- شرایط راحتی حرارتی- استاندارد ASHRAE 55(1992)[۳]

Season	Optimum Temperature[a]	Acceptable Temperature Range[a]	Assumptions for other PMV inputs[b]
winter	22°C	20-23°C	relative humidity: 50% mean relative velocity: < 0.15 m/s mean radiant temperature: equal to air temperature metabolic rate: 1.2 met clothing insulation: 0.9 clo
summer	24.5°C	23-26°C	relative humidity: 50% mean relative velocity: < 0.15 m/s mean radiant temperature: equal to air temperature metabolic rate: 1.2 met clothing insulation: 0.5 clo

پیش بینی راحتی حراتی باعث پیشرفت مدل‌های بسیاری در این رابطه شده‌است. این مدل‌ها ارتباطی بین گرما محیط ، فیزیولوژی و روان شخص را نشان می‌دهد. این مدل‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند :

۱) روش تعادل گرما : یک روش برای محاسبهٔ حالت ثابت راحتی حرارتی که از نمودار آب وهوای به دست می-آید.
۲) روش اقتباسی : به دست آوردن ارتباط بین حالت ثابت راحتی حرارتی که از مطالعات پیشین استفاده می‌شود.

تمرکز این مطالعه بر دسته‌ی اول است. زیرا در روش اول تغییرات راحتی حرارتی با متغیرهای محیطی است. در این قسمت به بررسی مدل راحتی فانگر پرداخته شده‌است[۲].

۱-۴-۱- مدل راحتی حرارتی فانگر

فانگر[1] (۱۹۷۰) شرایط هموژنی را در اطراف سطح بدن فرض کرد و یک معادله تعادل گرمایی در شرایط حرارتی ثابت و پایدار برای توازن گرمایی و رسیدن شخص به راحتی حرارتی ارائه کرد. این معادله به صورت زیر بدست آمده-است:

$$K = R + C \qquad (۱-۱)$$

[1] Fanger

در این رابطه:

K= انتقال گرما از طریق پوست به محیط خارج بخاطر تماس با لباس

R = اتلاف گرما به وسیله تابش از سطح بیرونی لباس

C = اتلاف گرما به وسیله هدایت از سطح بیرونی بدن لباس دار

این معادله در سطح خاصی از فعالیت انسان کاربرد دارد[۲].

فانگر همچنین در مطالعات خود بر روی راحتی حرارتی سعی بر آن دارد که راحتی را برای فعالیت‌ها و پارامترهای محیطی مختلف پیش‌بینی نماید. بدین منظور معادلات زیر را در مورد پارامترهای فیزیولوژیکی، مورد استفاده قرار داد. وی برای پیش بینی شرایط راحتی از نظر $\bar{t}_{sk}$ و E_{rsw} معادلات زیر را ارائه کرد:

$$\bar{t}_{sk} = 35.7 - 0.0372M \qquad (۲-۱)$$

$\bar{t}_{sk}$: دما پوست(°c)

M:میزان متابولیسم(w/m^2)

$$E_{rsw} = 0.42(M - 58.2) \qquad (۳-۱)$$

E_{rsw}: اتلاف گرما از طریق تعریق منظم

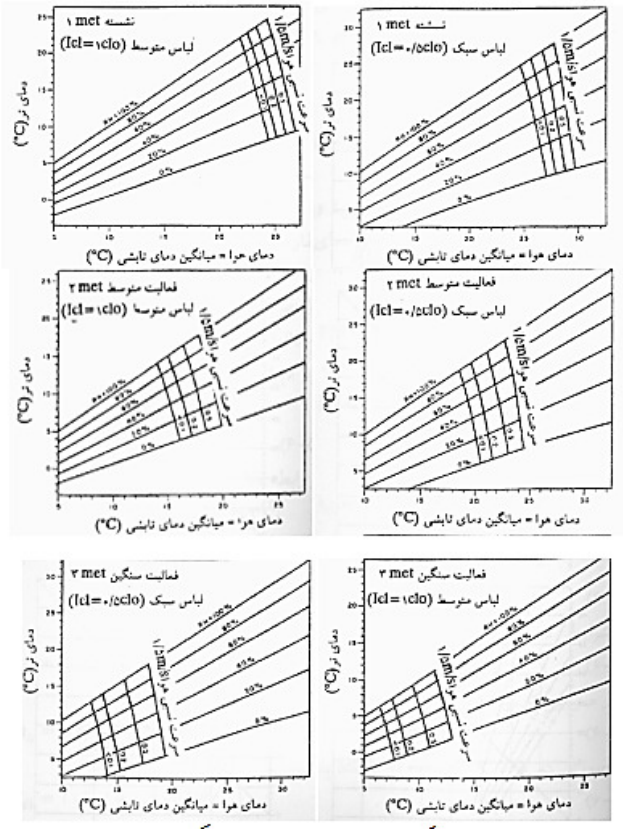
برای فعالیت نشسته، مقادیر راحتی برای $\bar{t}_{sk}$ و E_{rsw} به ترتیب برابر ۳۴ °c و صفر است. در طول فعالیت (M>1met)، $\bar{t}_{sk}$ کاهش وE_{rsw} بر حسب نوع فعالیت و لباس، افزایش می‌یابد.

از معادله مذکور می‌توان برای پیش بینی هر ترکیبی از فاکتورهای محیطی که محیطی راحت را برای افراد ملبس(I_{cl}) با فعالیت معین(M) تأمین می‌کند، استفاده نمود. نمودار راحتی فانگر که حل کامپیوتری معادله وی است نیز برای پیش بینی فاکتورهای راحتی محیطی استفاده می‌شود[۷].

- نمودار راحتی فانگر

حوزه‌های راحتی تعریف شده در شکل(۱-۷) نمودارهای راحتی فانگر است، این حوزه گستره وسیعی از پارامترهای محیطی، لباس و فعالیت را در بر می‌گیرد.

راحتی حرارتی قابل پیش بینی با مدل‌های فانگر در سال‌های ۱۹۷۰و ۱۹۸۸ استاندارد سازی شده‌است. به هرحال، راحتی حرارتی که توسط این مدل‌ها پیش بینی می‌شود کاملاً با راحتی حرارتی در عمل منطبق نیست. پیش بینی راحتی حرارتی با مدل‌های فانگر، ناممکن بودن رضایت تمامی اشخاص را نشان داده‌است. بنابراین این موضوع نگران کننده خواهد بود[۲].



شکل۱-۷ -نمودارهای راحتی فانگر[۷]

روش PMV[1] فانگر در سال ۱۹۷۰ به وجود آمد، این روش براساس مدل تعادل گرمایی است و همچنین به مدل" ایستایی" یا "ثابت" برمی‌گردد. در حالی که فرض شده اثرات محیط اطراف تنها به وسیله مبادله فیزیکی و جرمی گرمایی بین محیط و بدن باشد. روش PMV ترکیب متغیرهای محیطی(دما هوا، سرعت هوا، میانگین دما تابشی، رطوبت نسبی)، و دو متغیر فردی(مقاومت گرمایی لباس و سطح فعالیت) برای پیش بینی سطح میانگین حس گرمایی است. شاخص PMV پیش بینی میانگین واکنش گروه بزرگی از افراد است که برطبق مقیاس احساس گرمایی ASHRAE است. درجدول(۱-۳) مقیاس احساس گرمایی بر اساس استاندارد ASHRAE آمده‌است[۴].

همچنین می‌توان با برآورد میزان فعالیت و مقاومت حرارتی لباس و نیز اندازه‌گیری پارامترهای جوی نظیر دما هوا میانگین دما تابشی، سرعت جریان هوا و رطوبت نسبی هوا، احساس حرارتی انسان را از طریق محاسبه میانگین رأی پیش بینی شده(PMV) برآورد نمود.

استاندارد بین المللی ISO 7730 برای ارزیابی راحتی حرارتی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. استاندارد موجود یک روشی برای پیش بینی احساس گرما و درجه ناراحتی (ناراحتی حرارتی) افرادی که در محیطی با گرما معمولی و

[1] Predicted Mean Vote(PMV)