بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده نساجی

بررسی فرآیند خنک کنندگی پارچه های مجهز به لوله انتقال دهنده سیال خنک کننده

پایان‌نامه کارشناسی ارشد تکنولوژی نساجی

مجید جغتایی

استاد راهنما

دکتر داریوش سمنانی

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده نساجی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی نساجی - تکنولوژی نساجی آقای مجید جغتایی

تحت عنوان

بررسی فرآیند خنک کنندگی پارچه های مجهز به لوله انتقال دهنده سیال خنک کننده

در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۸ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱ - استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر داریوش سمنانی
۲ - استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر محمدرضا سلیم‌پور
۳ - استاد داور پایان‌نامه	دکتر محمد قانع
۴ - استاد داور پایان‌نامه	دکتر حسین حسنی
سرپرست تحصیلات تکمیلی	دکتر صدیقه برهانی

تشکر و قدردانی

اکنون که در سایه‌ی الطاف پروردگار به پایان این مرحله از مسیر بی انتهای دانش‌آموزی رسیده‌ام، بر خود لازم می‌دانم که از همه کسانی که مرا در انجام این مهم یاری رسانده‌اند تشکر و قدردانی نمایم.

از استاد راهنمای بزرگوار و ارجمندم جناب آقای دکتر داریوش سمنانی که بدون زحمات و راهنمایی‌های بی‌دریغشان انجام و پیشبرد این تحقیق میسّر نمی‌شد سپاسگذاری می‌نمایم. از استاد مشاور گرامی جناب آقای دکتر محمدرضاسلیم‌پور که در مراحل مختلف این تحقیق از نظرات و توصیه‌های ارزنده شان بهره بردم سپاسگذارم.

در ضمن از زحمات اساتید گرانقدر دکتر قانع و دکتر حسنی که داوری این پایان‌نامه را بر عهده داشتند و دکتر صدیقه برهانی سرپرست محترم تحصیلات تکمیلی دانشکده نساجی کمال تشکر را دارم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات

و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه

متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به :

وجود همیشه سبز **پدر** و **مادر** عزیزم

و یاران با محبت روزهای زندگیم، برادران مهربانم

و تمامی کسانی که دوستشان دارم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول : مطالعات وتحقیقات

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- خنک سازی طبیعی در بدن انسان ۵

۱-۳- روشهای کلی برای کاهش فشارهای ناشی از حرارت ۶

۱-۴- انتقال حرارت ۷

۱-۴-۱- انتقال حرارت یک فازی ۸

۱-۴-۲- انتقال حرارت دو فازی ۸

۱-۴-۳- انواع روشهای انتقال حرارت ۹

۱-۴-۳-الف- هدایت ۹

۱-۴-۳-ب - تشعشع ۹

۱-۴-۳-ج- جابجایی ۱۰

۱-۵- دسته بندی کلی برای لباسهای خنک کننده شخصی ۱۱

۱-۵-۱- لباسهای خنک کننده غیر فعال ۱۱

۱-۵-۲- لباسهای خنک کننده فعال ۱۱

۱-۶- انتخاب پارچه مناسب برای لباسهای خنک کننده ۱۲

۱-۶-۱- ضخامت پارچه ها ۱۴

۱-۶-۲- محاسبه مقاومت تبخیری و حرارتی ۱۴

۱-۶-۳- آزمون موئینگی ۱۴

۱-۶-۴- محاسبه توزیع آب ۱۵

۱-۶-۵- همبستگی میان مقاومت تبخیری، موئینگی و توزیع آب ۱۶

۱-۶-۶-تاثیر فلز قرارگرفته شده در پارچه و ضخامت پارچه بر روی مقاومت حرارتی ۱۷
۱-۶-۷- تاثیر فلزات و ضخامت پارچه بر روی مقاومت تبخیری ۱۸
۱-۶-۸-مقدار مقاومت تبخیری و مقاومت حرارتی در پارچه های مورد آزمایش ۱۸
۱-۶-۹- موئینگی و مقدار توزیع آب در پارچه های مورد آزمایش ۲۲
۱-۷- لباس های خنک کننده ۲۴
۱-۷-۱- مقدمه ای بر کارهای انجام شده ۲۴
۱-۸- انواع لباسهای خنک کننده موجود ۲۷
۱-۸-۱- مواد تغییر فاز دهنده ۲۸
۱-۸-۲- سیستم جذب سطحی ۲۹
۱-۸-۳- سیکل جذبی ۳۱
۱-۸-۴- سیکل برایتون ۳۲
۱-۸-۵- سیکل تراکمی تبخیر ۳۳

فصل دوم : روشها و تجربیات

۲-۱- مقدمه ۳۶
۲-۲- مواد و دستگاه های مورد استفاده ۳۷
۲-۲-۱- کمپرسور ۳۷
۲-۲-۲- لوله ی موئین ۳۷
۲-۲-۳- جمع کننده ی مایع ۳۸
۲-۲-۴- مبرد ۳۸
۲-۲-۵- اواپراتور ۳۸
۲-۲-۶- کندانسور ۳۸
۲-۲-۷- فیلتر- درایر ۴۰
۲-۲-۸- فن و پروانه ۴۰
۲-۲-۹- دبی سنج مایع ۴۰

۲-۲-۱۰- ترموکوپل ۴۱
۲-۲-۱۱- دستگاه اندازهگیری دما ۴۱
۲-۲-۱۲- فشار سنج ۴۱
۲-۲-۱۳- گرمکن ۴۱
۲-۲-۱۴- پارچه ها ۴۱
۲-۳- سیکل تراکمی تبرید و ساخت دستگاه آزمایش ۴۲
۲-۳-۱- نحوهی قرار گیری لوله در پارچه ۴۴
۲-۳-۲- انتخاب مبرد درسیستم ۴۵
۲-۴- دستورالعمل آزمایش و جمع آوری دادهها ۴۷
۲-۴-۱- عملکرد ۴۷
۲-۴-۲- تعیین نشتی و شارژ سیستم ۴۸
۲-۴-۳- کالیبراسیون وسایل اندازهگیری ۴۹
۲-۴-۴- دستورالعمل آزمایش ۵۰
۲-۴-۵- جمع آوری دادهها ۵۰
۲-۵- روابط نظری حاکم بر مسئله ۵۱
۲-۵-۱- محاسبه دبی R-134a در دبی سنج مورد استفاده ۵۱
۲-۵-۲- محاسبه ضریب انتقال حرارت ۵۱

فصل سوم : بحث و نتایج

۳-۱-مقدمه ۵۵
۳-۲- اثر تغییرات دبی و دمای محیط بر روی نمونه پارچه ها ۵۹
۳-۳- مقایسه ی نمونه پارچه های مختلف در دبی ثابت ۶۴

فصل چهارم :نتیجه گیری و پیشنهادات

۴-۱- دلیل طرح مسئله ۷۲

۴-۲- نتایج آزمایشات ۶۵
۴-۳- پیشنهادات ۶۵
منابع ۶۷
پیوست ۱: شرایط آزمایشگاهی ۶۹
پیوست ۲: نمونه محاسبات ۷۵
پیوست ۳: آنالیز خطا ۷۷
پیوست ۴: مشخصات ترمودینامیکی مبرد R-134a ۸۳

چکیده

درجه حرارت و رطوبت بالا در محل کار نگرانی بزرگی در حوزه صنایع مختلف می‌باشد. در شرایط سخت کاری با درجه حرارت و رطوبت بالا چون دمای سوخت و ساز بدن انسان بالا می‌رود بازده کاری شخص کاهش می‌یابد و همچنین می‌تواند عوارض جانبی شدیدی را برای انسان به وجود آورد. در این شرایط نیاز است که سیستم‌های خنک‌کننده شخصی به وجود آید تا این سیستم‌ها بتوانند دمای بدن انسان را در شرایط مناسبی قرار دهند. این سیستم‌ها بایستی به گونه‌ای باشند که در مکان‌های مختلف بتوان به سادگی از آنها استفاده کرد. امروزه انواع مختلفی از لباس‌های خنک‌کننده شخصی تولید شده است که یکی از این لباس‌ها، لباس خنک‌کننده با سیستم تبرید تراکمی می‌باشد. تحقیقات اولیه بر روی این لباس‌ها بیشتر بر روی مواردی از قبیل اینکه خنک سازی در کدام نقاط از بدن انجام گیرد، خنک سازی متناوب ویا مرحله‌ای باشد، انواع لوله‌ها، نرخ جریان سیال در لوله، دمای سیال در لوله، راندمان لباس و موارد دیگر بوده است و جنس پارچه به کار رفته در این لباس زیاد مورد توجه نبوده و اغلب در این لباس‌ها از پارچه پنبه‌ای استفاده می‌شده است. همچنین در مدل‌های اولیه برای این لباس‌ها، لباس به صورت تک لایه تولید می‌شد و لوله‌های به کار رفته به طور مستقیم بر روی سطح پوست قرار می‌گرفت. در این تحقیق به بررسی ضریب انتقال حرارت پارچه‌های پر کاربرد در این نوع سیستم پرداخته شده است. ابتدا یک سیستم تبرید تراکمی با کمپرسوری با قدرت $\frac{1}{8}$ اسب بخار ساخته شده و از مبرد R-134a به عنوان سیال خنک‌کننده استفاده شده است. سپس پارچه‌های با جنس‌های مختلف و با بافت حلقوی پودی و از ترکیب بافت‌های میلانو و کیسه‌ای بافته شد و لوله‌ی مسی با قطر خارجی ۶ و قطر داخلی ۴ میلی‌متر درون این پارچه‌ها قرار داده شده است. در نهایت این پارچه‌ها در محیطی که دمای آن بین ۲۰ تا ۵۵ درجه‌ی سانتی‌گراد قابل تنظیم بود قرار داده شده تا به بررسی این پارچه‌ها از نظر ضریب انتقال حرارت پرداخته شود و بهترین نوع پارچه از این نظر انتخاب شود. همچنین در این کار دبی جریان مبرد نیز قابلیت تنظیم داشته و آزمایشات در سه دبی مختلف انجام شده است. در نهایت با انجام این‌آزمایشات مشخص شد که پارچه نایلونی دارای بیشترین و پارچه اکریلیک دارای کمترین ضریب انتقال حرارت در بین پارچه‌های آزمایش شده می‌باشد و همچنین هرچه دبی جرمی مبرد بیشتر شود، ضریب انتقال حرارت نیز افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی : لباس خنک‌کننده شخصی، سیستم تبرید تراکمی، ضریب انتقال حرارت، پارچه حلقوی پودی

فصل اول

مطالعات و تحقیقات

۱-۱- مقدمه

درجه حرارت و رطوبت بالا در محل کار نگرانی بزرگی در حوزه صنایع مختلف می‌باشد. در این شرایط چون دمای سوخت و ساز بدن انسان در حین کار بالا می‌رود و بازده کاهش می‌یابد، در این صورت بهتر است تا شخص را به هر طریقی که می‌توان خنک کرد تا هم از زیان‌های جسمی جلوگیری شود و هم اینکه بتوان بازده کاری را بالا برد [۱].

دمای بدن یکی از مهمترین عوامل فیزیولوژیکی[۱] در بدن انسان می‌باشد. وضعیت سلامتی انسان وتمام محدوده فیزیولوژیکی بدن انسان نیازمند تنظیم دما می‌باشد. محدوده دمای بالا تأثیر زیادی بر روی حرارت بدن و رفتار و احساسات انسان دارد زیرا با بالا رفتن دما چندین تأثیر زیان آور اتفاق می‌افتد که از جمله آنها می‌توان به کم شدن آب بدن، فشارهای ناشی از گرما، بالا رفتن ضربان قلب و مهمتر از همه از کار افتادن سیستم‌های عصبی و بسیاری موارد دیگر اشاره کرد. حداکثر دمای مناسب برای بدن انسان ۴۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد [۲].

---

[۱] Physiological

در این شرایط است که نیازمندی به سیستم‌های خنک‌کننده به وجود می‌آید تا بتوانند دمای بدن را در شرایط مناسبی قرار دهند. ولیکن در تمام حوزه‌های صنعت و کشاورزی نمی‌توان از سیستم‌های خنک کننده استفاده کرد زیرا یا امکان‌پذیر نیست و یا در برخی موارد به صرفه نمی‌باشد. لذا نیاز به لباس‌های خنک کننده در حوزه صنایع مختلف به وجود آمد، که از جمله آنها می‌توان به کارخانجات ذوب فلزات، تولید شیشه و بلور، کشف و استخراج از معادن و یا مشاغل خدماتی مانند آتش‌نشانها و یا حتی ورزشکاران را نام برد [۳].

با این حال برای اولین بار مطالعه بر روی این لباس‌ها در حوزه صنایع نظامی انجام گرفت و می‌توان گفت که کاربرد بسیار مهم و اصلی در این گونه لباسها با توجه به فشارها و مشکلات ناشی از حرارت بر روی سربازانی می‌باشد که در محیط‌های گرم و مرطوب در حال نبرد می‌باشند. در این شرایط فرماندهان از تأثیرات حرارت بر روی سربازان مخصوصاً هنگامی که سربازان در وسایل نقلیه نظامی مانند تانک، نفربر و غیره قرار داشتند و یا خلبانان هواپیما و بالگرد و یا سربازانی که از لباس‌های محافظ هسته‌ای[۱]، بیولوژیکی[۲] و شیمیایی[۳] (N-B-C) استفاده کرده بودند، آگاه شدند. هنگامی که سربازان در این محیط‌ها قرار می‌گیرند به علت دمای بالا، حرارت سوخت وساز در بدن آنها بالا می‌رود که این امر موجب افزایش دمای بدن می‌شود که در این صورت برای جلوگیری از مشکلات مختلف نیاز به کاهش این حرارت در انسان وجود دارد.

شکل ۱-۱- شخصی با لباس خنک‌کننده درداخل لباس محافظ (N-B-C)

[۱] Nuclear
[۲] Biological
[۳] Chemical

قابل توجه است که مطالعات اولیه در این بخش در سال ۱۹۵۰ و توسط پنتاگون[۱] (وزارت دفاع آمریکا) انجام گرفته است. این مطالعات درباره حرارت تحمیل شده به نیروهای نظامی در هنگامی که از لباسهای محافظ (N-B-C) استفاده می‌کردند، توسط جوی[۲] و گلدمن[۳] درسال ۱۹۶۸ ادامه پیدا کرد. در این مطالعات مردانی در مدت زمان ۵۰ دقیقه در محیط بدون سقف و زیر تابش مستقیم آفتاب با دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت بالا به طور مداوم در حال حرکت بودند. این افراد فقط در مدت زمان کوتاهی توانستند این شرایط را تحمل کنند. در راستای این مطالعات جوی و گلدمن به این نتیجه رسیدند که با شرایط مساوی و در حالی که از لباس‌های محافظ استفاده شود، این مدت زمان به ۳۰ دقیقه کاهش می‌یابد.

دراین لباس‌ها نفوذ پذیری هوا بسیار پایین است زیرا اغلب این لباس‌ها از لایه‌های سنگین و موادی که فاقد خلل و فرج است تولید می‌شود. نفوذ هوا در داخل این لباس‌ها غیر ممکن می‌باشد به طوری که مانند یک عایق حرارتی عمل کرده و داخل لباس مانند یک گلخانه گرم می‌شود که هوای گرم مابین بدن و لباس قرار می‌گیرد. معمولاً لایه‌ای از هوا به طور غیر عمد مابین بدن و لباس قرار می‌گیرد که به این لایه، ریزاقلیم[۴] می‌گویند که تمام گرمای ذکر شده در این لایه تجمع می‌کند. در ادامه‌ی این تحقیقات کارهای مختلفی انجام شده است که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

در سال ۱۹۶۹ هنگامی که تفنگداران دریایی ارتش آمریکا در کناره‌ی دریای کارائیب[۵] از لباس‌های محافظ استفاده کرده بودند، هیچکدام از این سربازان نتوانستند مأموریت خود را بطور کامل انجام دهند زیرا این پوشش حتی در زمان استراحت باعث بالا رفتن حرارت بدن آنها شده بود.

در این راستا تونر[۶] در سال ۱۹۸۱ با شبیه سازی فشار حرارتی بر روی سربازانی که در تانک XM-1 که در صحرای خورشید قرار داشتند و با توجه به شرایط دمایی که در بیرون تانک در حدود ۲۵ تا ۳۱ درجه‌ی سانتیگراد و در داخل تانک ۲۷ تا ۳۵ درجه‌ی سانتیگراد بوده به این نتیجه رسیدند که سربازان فقط برای مدت ۸۰ تا ۱۲۴ دقیقه توانایی ماندن در تانک را داشتند قبل از آنکه توانایی خود را به علت بالا رفتن گرما از دست بدهند [۱]. در این شرایط و با این آزمایشات، هسته اولیه مطالعات برای تولید لباس‌های خنک کننده شکل گرفته شد.

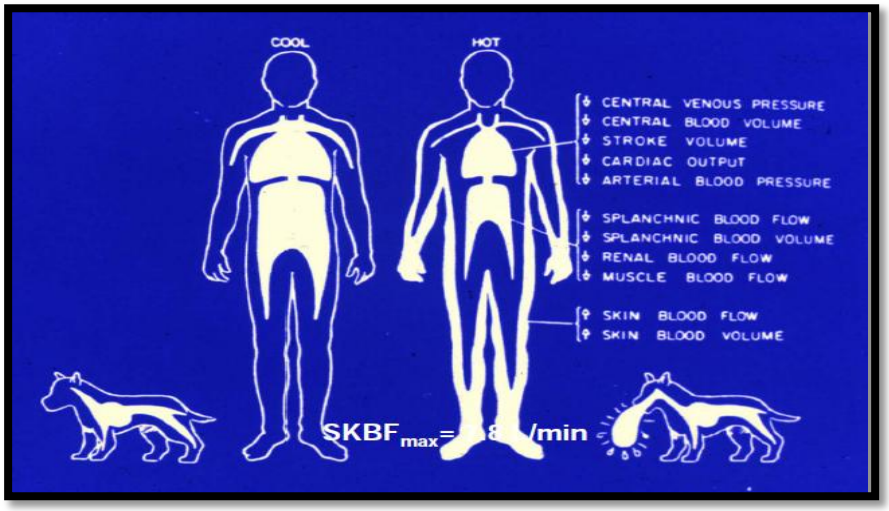
---

۱ Pentagon
۲ Joy
۳ Goldman
۴ Microclimate
۵ Caribbean Shore
۶ Toner

۱-۲- خنک سازی طبیعی در بدن انسان

طبیعت همواره بهترین الگو برای دانشمندان بوده است تا بتوانند اختراعات جدیدی را به ثبت برسانند. در زمینه‌ی لباس‌های خنک‌کننده نیز سیستم بدن انسان یک الگوی مناسب می‌باشد. این مطلب که بدانیم به چه طریق بدن انسان به طور طبیعی خنک می‌شود بسیار مهم است، زیرا در این صورت می‌توان فهمید که از چه روش‌های می‌توان برای خنک سازی بدن انسان استفاده کرد که بیشترین بازده و کاربرد را داشته باشد.

یک انسان ساکن دارای نرخ سوخت و سازی در حدود ۱۰۵ وات می‌باشد که این نرخ سوخت و ساز حتی با انجام حرکات سبک نیز افزایش یابد. در شرایط سکون دمای بدن انسان در حدود ۳۶ درجه سانتی گراد است که در این حالت دمای ناحیه‌ی مرکزی بدن بالاتر از این دما می‌باشد. همان طور که در شکل ۱-۲ می‌توان مشاهده کرد در این شرایط خون در حال گردش از مرکز بدن به سمت قسمت‌های سطحی بدن در جریان می‌باشد که به واسطه‌ی این امر دمای ناحیه‌ی مرکزی بدن را به واسطه هدایت و تماس مستقیم رگهای خونی با سطح پوست به سطح رویی بدن منتقل می‌کند.



۱-۲- نحوه‌ی توزیع خون در بدن انسان در گرما[۴]

حال پوست این گرما را به واسطه عملیات جابجایی و به دلیل حرکت هوا بر روی سطح پوست به محیط خارج منتقل می‌کند که این امر موجب خنک شدن بدن انسان به صورت طبیعی می‌گردد. حال اگر دمای محیط بیش از دمای بدن انسان باشد و یا فعالیت شخص بسیار زیاد باشد، بدن تمایل به تولید عرق دارد که در این صورت به واسطه‌ی عمل

تبخیر، دمای بدن کاهش می‌یابد. تمام این فعالیت‌ها در بدن انسان به صورت کاملاً دقیق و خودکار انجام می‌شود. حال با استفاده از سیستم‌های طبیعی می‌توان به تولید انواع لباس‌های خنک‌کننده پرداخت تا بتوان از این لباس‌ها برای راحتی بیشتر انسان‌ها در محیط‌های بسیار گرم استفاده کرد [۴].

۱-۳- روشهای کلی برای کاهش فشارهای ناشی از حرارت

به صورت کلی دو روش برای کاهش فشارهای ناشی از حرارت بر روی انسان توسعه پیدا کردند که عبارت بودند از سیستم‌های خنک سازی محیطی (ماکروکلیمیت[۱]) و شخصی (میکروکلیمیت[۲]) [۵].

در اوایل قرن بیستم، ارتش آمریکا برای حفظ سربازانش در برابر بیهوشی ناشی از گرما و همچنین کاهش مصرف آب و بسیاری از موارد دیگر از خنک‌سازی محیطی استفاده می‌کرد به‌طوری که با قرار دادن فن و با استفاده از تهویه‌ی مطبوع که درون وسایل نقلیه نظامی مانند تانک و ایرکرافت و غیره قرار می‌داد، محیطی خنک و مطبوع را برای سربازان خود ایجاد می‌کرد. با این حال، این روش بسیار ناقص و ابتدایی بود زیرا فقط برای سربازانی مناسب بود که درون وسایل نقلیه نظامی قرار داشتند، در حالی که سربازانی بودند که با پوشیدن لباس‌های محافظ (N-B-C) به مأموریت نظامی فرستاده می‌شدند و در این صورت نمی‌توانستند از خنک سازی محیطی استفاده‌ای ببرند.

درموارد دیگر، کارگرانی که در محیط‌های باز کار می‌کردند مانند کارگران مزارع و یا کارگران معدن و همچنین فضا نوردان (در آن زمان که سفرهای فضایی به تازگی انجام می‌شد) نمی‌توانستند از روش خنک سازی محیطی استفاده کنند و همین امر موجب شد تا این روش به یک روش غیر عملی و بی‌اثر برای خنک سازی تک تک اشخاص در محیط‌های مختلف تبدیل شود[۶].

بعد از بی اثر شدن سیستم‌های خنک سازی محیطی در این شرایط بود که دانشمندان به فکر ابداع سیستم خنک‌کننده شخصی افتادند. راه حل نهایی برای خنک کردن یک انسان در محیط‌های باز ایجاد یک سیستم بود که به طور مستقیم با سطح بدن انسان در تماس باشد تا بتواند گرما را از سطح بدن به محیط خارج منتقل کند، مخصوصاً هنگامی که از لباس‌های محافظ استفاده می‌شود.

سیستم خنک‌سازی شخصی علاوه بر کاهش حرارت سطح بدن این قابلیت را دارد تا دمای ناحیه‌ی مرکزی بدن را تعدیل ببخشد و افت دمای ناحیه‌ی مرکزی بدن یک مفهوم بسیار مهم است که قبل از کاربرد سیستم‌های خنک‌کننده‌ی شخصی بایستی مورد توجه قرار گیرد. مقدار انتقال حرارت در سیستم‌های خنک‌کننده شخصی به فاکتورهای مختلفی

---

[۱] MacroclimateVentilation System
[۲] Microclimate Ventilation System

وابسته است که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به مقدار و مکان سطح پوشیده شده‌ی بدن بوسیله‌ی لباس اشاره کرد و همچنین به ایزوله بودن سیستم که می‌تواند در این شرایط کارایی بالایی را از خود نشان دهد. موارد دیگری نیز وجود دارد که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به انواع لوله‌های مورد مصرف و همچنین طول آنها و عایق‌بندی لوله‌ها و نیروی محرک در سیستم‌هایی که از سیالات استفاده می‌شود اشاره کرد [۱].

با این حال هرکدام از سیستم‌های خنک‌سازی شخصی دارای معایب و مزایایی می‌باشد که مربوط به تجهیزات و مکان مورد استفاده از آن سیستم می‌شود. علاوه بر موارد ذکر شده دانستن این نکته مهم است که تمام لباس‌های خنک‌کننده بایستی دارای یک سری شرایط ویژه و مشترک باشند که این شرایط عبارتند از[۷]:

۱- قابلیت حمل بالا؛

۲- پایدارای و مقاومت بالا؛

۳- وزن پایین؛

۴- کیفیت بالا؛

۵- نداشتن زیان برای بدن انسان.

۱-٤- انتقال حرارت

پایه‌ای ترین قانون انتقال حرارت این است که گرما همواره از محیط گرم به محیط سرد جریان می‌یابد. مبدل‌های حرارتی وسیله‌ای برای تسهیل این انتقال حرارت با بازدهی مناسب می‌باشند. یک مبدل حرارتی خوب توانایی انتقال حرارت از طرف گرم به طرف سرد با کمترین اتلاف گرمایی و بالاترین بازدهی را دارد.

انتقال حرارت از یک واسط به واسط دیگر معمولاً با چند اصل ساده و بنیادی کنترل می‌گردد:

۱- برای انتقال انرژی باید اختلاف دما وجود داشته باشد؛

۲- گرما همواره از واسط گرم به واسط سرد منتقل می‌گردد؛

۳- انرژی خارج شده از محیط گرم برابر با گرمای جذب شده توسط محیط سرد به اضافه اتلاف گرما به محیط می‌باشد.

۱-٤-۱- انتقال حرارت یک فازی

در فرایند انتقال حرارت یک فازی، هیچ تغییر فازی در واسط رخ نمی‌دهد. مثالی برای این گونه فرآیندها یک مبدل حرارتی آب به آب است که دمای آب در سمت اول آن بدون تغییر فاز از ۳۰ به ۵۰ درجه‌ی سلسیوس و در سمت دوم از ۶۵ به ۴۵ درجه‌ی سلسیوس می‌رسد. معمول‌ترین کاربردهای انتقال حرارت یک فازی برای مبدل‌های(CBE)[۱] که برای خنک کردن روغن موتور ، روغن هیدرولیک و موارد مشابه به وسیله‌ی آب می‌باشد. در لباس‌های خنک‌کننده نیز از این نوع انتقال حرارت استفاده می‌شود که در قسمت‌های بعد شرح داده می‌شود.

۱-٤-۲- انتقال حرارت دو فازی

در فرآیند انتقال حرارت دو فازی، شاهد تغییر فاز واسط در سطح گرم، سرد ویا در هر دو سطح خواهیم بود. چنانچه به مایعی گرما بدهیم دمای آن تا نقطه‌ی جوش بالا خواهد رفت. اضافه کردن گرما پس از رسیدن مایع به نقطه‌ی جوش دیگر باعث بالا رفتن دمای مایع نخواهد شد، بلکه باعث افزایش محتوای گاز خواهد شدکه به تشکیل یک مخلوط دو فازی گاز و مایع منجر می‌شود. این فرایند ادامه می‌یابد تا زمانی که مایع تماماً به گاز تبدیل شود، چنانچه دمای گاز فوق از دمای جوش بالاتر رود، آن گاز به عنوان فوق گرم[۲] نامیده می‌شود. این فرآیند نمونه‌ای از آن چیزی است که در اواپراتور یک سیستم تبرید رخ می‌دهد. مبرد به صورت مایع وارد اواپراتور شده و به صورت گاز فوق گرم از آن خارج می‌شود.

عکس این فرآیند در کندانسور رخ می‌دهد. در ابتدا، گاز فوق گرم، سرد می‌شود تا به نقطه اشباع[۳] برسد. در این دما قطرات مایع تشکیل می‌شوند. وقتی تمام گاز به مایع تبدیل شد شرایط نقطه‌ی حباب[۴]حاصل می‌شود. با ثابت نگه داشتن فشار در مخزن حین سرد کردن مجدد که باعث کاهش دمای مایع می‌شود مایع زیر سرد[۵] ایجاد می‌شود.

---

۱ Compact Brazed Exchanger
۲ Superheated
۳ Saturation point
٤ Bubble point
٥ Sub-cooled

۱-٤-۳- انواع روش‌های انتقال حرارت

انرژی از سیال گرم به سیال سرد، به سه طریق منتقل می‌گردد که شامل هدایت، تشعشع و جابجایی است.

۱-٤-۳-الف- هدایت[۱]

در محیط‌های ساکن که می تواند جامد و یا سیال باشد برای انتقال گرمایی که در محیط روی می‌دهد از واژه‌ی هدایت استفاده می‌شود. هنگامی که بحث در مورد هدایت است باید مفاهیمی چون فعالیت اتمی و مولکولی را مورد توجه قرار داد زیرا فرآیندها در این سطوح است که انتقال گرما راتداوم می‌بخشند. هدایت را به عنوان انتقال انرژی از ذرات پر انرژی به ذرات کم انرژی ماده بر اثر بر هم کنش‌های بین آن‌ها می توان دانست.

در این حالت انتقال حرارت از طریق محیطی است که شامل حرکت خود آن محیط نمی‌باشد. این عمل هنگامی اتفاق می‌افتد که گرما بواسطه‌ی تماس فیزیکی جسم با یک ماده‌ی خنک کاهش می‌یابد. مثال عمومی برای این روش استفاده از قرار دادن یک بسته‌ی یخ بر روی بدن و یا غوطه‌ور شدن جسم در آب خنک و بسیاری از موارد دیگر می‌باشد.

رابطه‌ی انتقال حرارت برای هدایت در لباس‌های خنک کننده بصورت رابطه‌ی ۱-۱ می‌باشد.

$$G = \frac{Q}{t} = \frac{KA(T_H - T_C)}{d} \qquad (۱-۱)$$

که در این رابطه A مساحت بدن که بطور تقریبی برابر با ۲ مترمربع، K ضریب هدایت هوا در اطراف بدن و برابر با $۵/۷\times۱۰^{-۵}\ \frac{w}{cm.c^{\circ}}$، d فاصله‌ی میان پوست و سطح محاصره شده و T_H و T_C بترتیب دمای قسمت گرم و سرد می‌باشد.

۱-٤-۳-ب - تشعشع[۲]

تمام سطوح با دمای معین انرژی را به شکل امواج الکترومغناطیس گسیل می دارند. از این رو در نبود محیط واسط میان دو سطح با دماهای مختلف انتقال گرمای خالص تشعشعی را داریم. به عبارتی دیگر تشعشع گرمایی، انرژی گسیل شده توسط ماده‌ای است که در دمای معینی قرار دارد. تشعشع می تواند از سطح جامدات، مایعات و حتی گاز ها نیز صورت بگیرد. به طور کلی ماده به هر شکلی که باشد، گسیل انرژی را می توان به تغییرات وضعیت الکترون‌های اتم‌ها یا مولکول‌های تشکیل دهنده‌ی آن ارتباط داد. انتقال حرارت به شیوه‌ی تشعشع بر خلاف دو شیوه‌ی دیگر نیازمند فضای مادی نیست.

---

[۱] Conduction
[۲] Radiation