بـــــــخش چهارم

تبادلات حرارتی انسان با محیط

مطالب این بخش شامل :

- راههای تبادل حرارتی انسان با محیط
- محاسبه میزان انتقال حرارت از طریق مجاری تنفسی به روش جابجایی
- محاسبه میزان انتقال حرارت از طریق مجاری تنفسی به روش تبخیر
- محاسبه میزان انتقال حرارت از طریق جابجایی
- محاسبه میزان انتقال حرارت از طریق تابش
- محاسبه میزان انتقال حرارت از طریق تبخیر عرق
- محاسبه میزان انتقال حرارت از طریق هدایت
- انباشتگی گرما در بدن

تبادل حرارتی انسان با محیط

مقدمه :

انسان موجودی خونگرم است که دمای بدنش در دامنهٔ باریکی از دما (۰/۵°C ± ۳۷) قرار دارد. در چنین دمایی است که واکنش‌های سلولی و بیوشیمیایی بدن انسان به‌طور صحیح و کامل صورت می‌پذیرد. این حالت زمانی رخ می‌دهد که انسان در محیطی خارج از هرگونه تنش حرارتی باشد که اصطلاحاً به آن محیط «خنثی[1]» می‌گویند. در چنین محیطی بدن انسان را در شرایط «هموستاز گرمایی[2]» در نظر می‌گیرند. اگر محیطی که انسان در آن قرار دارد، دارای شرایطی باشد که سبب گردد بدن انسان از حالت هموستاز گرمایی خارج شود (سرد یا گرم)، اصطلاحاً به آن «تنش[3]» گویند. در چنین شرایطی بدن انسان پاسخ‌های فیزیولوژیکی نشان می‌دهد که به آن «استرین[4]» گویند. از جمله استرین‌های ایجاد شده در بدن انسان می‌توان به بالا رفتن ضربان قلب و دمای بدن در اثر مواجهه با گرما اشاره نمود (۱).

۱- راههای تبادل حرارتی میان انسان و محیط

زمانی که انسان در محیطی با تنش‌های حرارتی قرار می‌گیرد، سعی می‌کند به منظور دفع تنش وارد شده، خود را از نظر فیزیولوژیکی، سازگار نماید. به‌طوری که در محیط‌هایی که دارای تنش حرارتی است، به منظور برقراری سازش حداکثر ۲ ± درجه سلسیوس تغییر در دمای بدن را تحمل می‌نماید (۱).

چنانچه محیط سبب تغییرات بیشتری در دمای بدن گردد، ممکن است موجب بروز عوارض فیزیولوژیکی شود به‌طوری که اگر دمای بدن به پایین‌تر از ۳۱°c برسد، عوارض جبران ناپذیری رخ می‌دهد و در صورتیکه ادامه یابد، سبب مرگ می‌شود. همچنین اگر دمای بدن به بالاتر از ۴۳°c برسد، مکانیسم تنظیم دمای بدن ازکار افتاده و سبب مرگ فرد می‌شود(۱).

در بدن انسان به دلیل واکنش‌های مختلف و فعالیت‌های عضلانی، به‌طور دائم گرما

2 - Heat homeostasis

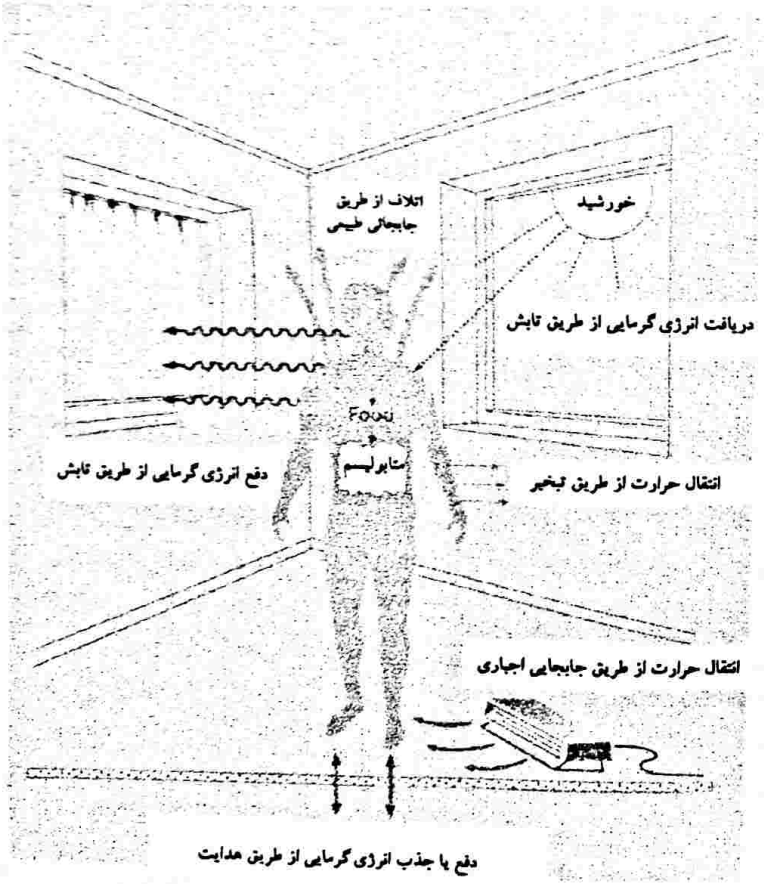
1 - Natural zone

4 - Strain

3 - Stress

تولید می‌شود . همان‌طوری که در بخش دوم توضیح داده شد اصطلاحاً بدن متابولیسم می‌گویند. از طرفی اگر بین محیط و بدن انسان از لحاظ دمایی، تفاوتی وجود داشته باشد و یا به‌عبارتی محیط خنثی نباشد، بدن انسان هم مانند هر جسم دیگری شروع به تبادلات حرارتی با محیط می‌نماید تا تنش وارد شده را به حداقل کاهش دهد. همان طوری که درشکل (۱-۴) نشان داده شده است راههایی که بدن انسان می‌تواند با محیط اطراف خود انرژی حرارتی مبادله نماید عبارتند از (۶و ۱) :

- هدایت [1]



شکل ۱-۴- طرح شماتیک راههای تبادل حرارتی بدن انسان با محیط (اقتباس از رفرانس ۱)

1 - Conduction

- جابجایی [1]
- تابش [2]
- تبخیر [3]

مکانیسم تبادلات حرارتی بدن با محیط اطراف به‌طور ممتد صورت می‌پذیرد تا بتواند گرمای تولید شده و دریافت شده را به‌خارج از بدن هدایت نماید. در صورتی که بدن در محیط خنثی و بدون تنش قرار داشته باشد، کل گرمای تولیدشده در بدن را می‌توان با مجموع انرژی‌های گرمایی اتلاف یافته از بدن یا دریافت شده توسط بدن ، برابر فرض نمود. در چنین شرایطی می توان معادله تبادلات حرارتی بدن انسان را به‌صورت زیر نوشت(۱) :

$$M = \pm k \pm C \pm R - E \qquad (۴-۱)$$

که در آن :

M : متابولیسم

K : انتقال حرارت از طریق هدایت

C : انتقال حرارت از طریق جابجایی

R : انتقال حرارت از طریق تابش

E : انتقال حرارت از طریق تبخیر

همان‌طوری که در معادله فوق مشخص شده است سه راه هدایت، جابجایی و تابش علامت‌های مثبت و منفی دارند. این موضوع نشان دهندهٔ آن است که بدن انسان از سه طریق مذکور، هم قادر به دریافت و هم اتلاف انرژی حرارتی‌است. اما راه تبخیر به دلیل انتقال حرارت از بدن به محیط ، صرفاً دارای علامت منفی می‌باشد یا به‌عبارتی تنها راهی است که طی آن بدن انرژی حرارتی از دست می‌دهد. گرمااز راه متابولیسم در بدن تولید می‌شود بنابراین همیشه مقدار آن مثبت است. به جز راههای یاد شده در معادله فوق راه‌های دیگری هم در تبادلات حرارتی بدن انسان با محیط وجود دارد که در معادلهٔ زیر نشان داده شده است:

$$M - W = \pm C_{res} \pm E_{res} - E \pm C \pm R \pm K \pm S \qquad (۴-۲)$$

که در آن:

W : کار خارجی یا توان مکانیکی موثر [4] که مقدار آن در صنایع ناچیز و قابل اغماض است .

1 - Convection
2 - Radiation
3 - Evaporation
4 - Effective mechanical power

C_{res} : میزان انرژی حرارتی انتقال‌یافته از مجاری تنفسی به روش جابجایی

E_{res} : میزان انرژی حرارتی انتقال‌یافته از مجاری تنفسی به روش تبخیر

دفع حرارت و یا جذب آن ممکن است از طرق دیگر هم انجام شود. به عنوان نمونه می‌توان به ادرار، مدفوع، خوردن، آشامیدن و امثال آن اشاره نمود. مقدار انرژی حرارتی منتقل‌شده از راههای فوق ناچیز بوده و حائز اهمیت نمی‌باشد، بنابراین از بحث در این زمینه خودداری می‌گردد.

S : میزان انباشتگی گرما در بدن

۱-۱- محاسبه میزان C_{res} :

میزان انرژی حرارتی انتقال یافته از مجاری تنفسی به روش جابجایی را می‌توان به‌صورت عبارت کلی زیر تعریف نمود:

$$C_{res} = Cp\ V^{\cdot}\ (tex - ta) / ADU \qquad (۴-۳)$$

که در آن:

C_{res} : میزان انرژی حرارتی منتقله از مجاری تنفسی به روش جابجایی (w/m^2)

Cp : گرمای مخصوص هوای خشک در فشار ثابت (j/kg)

$V^{\cdot}$: میزان تهویه تنفسی (kg_{air}/S)

tex : دمای هوای بازدم (°C) (در محیط گرم مقدار آن معادل ۳۵°C می‌باشد)

ta : دمای هوای دم (°C)

ADU : سطح بدن (m^2)

میزان C_{res} بر اساس متابولیسم از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C_{res} = ۰/۰۰۱۴\ M\ (tex - ta) \qquad (۴-۴)$$

معمولاً در محیط‌های گرم، دمای هوای بازدم اختلاف ناچیزی با دمای هوای دم دارد، از این رو میزان گرمای انتقال یافته از این طریق ،نسبت به دیگر راه‌های تبادلات حرارتی بدن انسان، ناچیز می‌باشد به همین دلیل در محاسبات می‌توان از آن صرف‌نظر کرد، مگر در محیط‌های سرد و در کارهای تحقیقاتی که دقت بالایی مد نظر باشد.

۱-۲- محاسبه میزان E_{res}

میزان انرژی حرارتی انتقال‌یافته از مجاری تنفسی به روش تبخیر را می‌توان به‌صورت عبارت کلی زیر تعریف نمود:

$$E_{res} = Ce\ V\cdot\ (W_{ex} - Wa)\ /\ ADU \qquad (۴-۵)$$

که در آن :

Ce : گرمای نهان تبخیر آب (j/kg)

Wex : نسبت مخلوط هوای بازدم (kgw/kg_{air})

Wa : نسبت مخلوط هوای دم (kgw/kg_{air})

میزان E_{res} را می‌توان از معادله زیر نیز به‌دست آورد :

$$E_{res} = ۰/۰۱۷\ M\ (P_{ex} - Pa) \qquad (۴-۶)$$

که در آن:

M : متابولیسم (w/m^2)

P_{ex} : فشار بخار اشباع در دمای هوای بازدم می‌باشد. در صورتی که دمای هوای بازدم ۳۵°C باشد، میزان آن برابر با ۵/۶۲۴ کیلوپاسکال می‌شود (KPa).

Pa : فشار بخار در دمای هوای محیط (KPa)

۳-۱- محاسبه میزان انتقال حرارت از طریق جابجایی (C)

در انتقال حرارت از طریق جابجایی، فاکتور کاهش انتقال حرارت محسوس لباس و اختلاف دمای پوست و محیط دو عامل موثر می‌باشد. بنابراین در محاسبه آن می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$C = h_c \times F_{cl}\ (\ \bar{t}_{sk} - t_a\ ) \qquad (۴-۷)$$

که در آن:

h_c : ضریب انتقال حرارت از طریق جابجایی ($W/m^{2}.°k$)

F_{cl} : فاکتور کاهش انتقال حرارت محسوس لباس (بدون بعد)

$\bar{t}_{sk}$: متوسط دمای پوست (°C)

t_a : دمای هوا (°C)

مقدار h_c در معادله (۷ - ۴) در دو حالت بررسی می‌شود. اولین حالت، زمانی است که انتقال به روش جابجایی طبیعی صورت می‌پذیرد. در چنین شرایطی میزان این ضریب برای یک فرد ایستاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$h_c = ۲/۳۷\ [\ \bar{t}_{sk} - t_a\ ]^{۰/۲۵} \qquad (۴-۸)$$

توان ۰/۲۵ در رابطه (۸ - ۴) نشان دهندهٔ مثبت بودن h_c در کلیه شرایط است .

اگر جابجایی به صورت طبیعی نبوده و جریان اجباری هوا برقرار باشد. مقدار hc با

توجه به سرعت نسبی هوا از روابط زیر محاسبه می‌گردد :

$$h_c = ۳/۵ + ۵/۲\ V_{ar} \qquad (\ V_{ar} < 1\ m/s\ ) \qquad (۴-۹)$$

$$h_c = ۸/۷\ V_{ar}^{۰/۶} \qquad (\ V_{ar} > 1\ m/s\ ) \qquad (۴-۱۰)$$

که در آن:

Var: سرعت نسبی هوا[1] برحسب m/s می‌باشد. میزان سرعت نسبی هوا برابر با مجموع سرعت جریان هوا و سرعت هوای ایجادشده در سطح بدن در اثر حرکت می‌باشد. میزان سرعت نسبی هوا را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$V_{ar} = V_a + ۰/۰۰۵۲\ (M - ۵۸) \qquad (۴-۱۱)$$

که در آن:

Va : سرعت جریان هوا بر حسب (m/s)

M : میزان متابولیسم (w/m^2)

در رابطه با سرعت نسبی هوا توصیه می‌شود حداکثر سرعت هوای ایجاد شده در سطح بدن بر اثر حرکت، ۰/۷ m/s باشد(۱) یعنی :

$$۰/۰۰۵۲\ (M - ۵۸) < ۰/۷$$

در صورتی که مقدار متابولیسم فرد آنقدر بالا باشد که عبارت ریاضی فوق بیشتر از ۰/۷ شود، مقدار آن برابر با ۰/۷ در نظر گرفته می‌شود(۱).

در خصوص محاسبه h_c توصیه شده است میزان h_c از هر دو طریق طبیعی و مصنوعی محاسبه شود و مقدار عددی h_c بزرگتر، به‌عنوان ضریب انتقال حرارت از طریق جابجایی[2] درنظر گرفته شود.

فاکتور کاهش انتقال حرارت محسوس مربوط به لباس از رابطه زیر محاسبه می‌گردد(۲):

$$F_{cl} = \frac{1}{(\ h_c + h_r\ )\ I_{cl} + (\ 1 / f_{cl}\ )} \qquad (۴-۱۲)$$

که در آن :

h_c : ضریب انتقال حرارتی از طریق جابجایی ($W/m^{2}°k$)

h_r : ضریب انتقال حرارت از طریق تابش ($W/m^{2}°k$)که در قسمت ۴-۱ همین فصل توضیح داده شده است

I_{cl} : مقاومت حرارتی لباس ($m^{2}°C/W$)

f_{cl} : نسبت سطح پوشیده شده به سطح بدون پوشش بدن فرد می‌باشد که از لحاظ عددی مقدار آن از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید (۱۳)، (جهت اطلاعات بیشتر به بخش اول رجوع گردد):

1 - Relative air velocity

۲- Convective heat transfer Coefficient

$$f_{cl} = 1 + 1.97\ I_{cl} \qquad (۴-۱۳)$$

در شرایطی که فرد استاندارد[1] بوده و لباس کار به تن داشته باشد، میزان انرژی حرارتی منتقل شده از طریق جابجایی با استفاده از رابطه (۱۴ - ۴) محاسبه می‌شود (۳و۴):

$$C = 7\ V^{0.6}\ (t_a - \bar{t}_{sk}) \qquad (۴-۱۴)$$

که در آن:

V : سرعت جریان هوا (m/s)

t_a : دمای هوا (°C)

$\bar{t}_{sk}$: متوسط دمای پوست (°C) (میزان عددی آن در شرایط طبیعی ۳۵°C در نظر گرفته می‌شود)

C : میزان حرارت انتقال‌یافته از طریق جابجایی (kcal/h)

با توجه به رابطه (۱۴-۴) می‌توان چنین نتیجه گرفت که اگر $t_a > 35°C$ باشد، فرد از محیط، انرژی حرارتی دریافت می‌نماید و در صورتی که $t_a < 35°C$ باشد، انرژی حرارتی از فرد به محیط داده می‌شود. اگر فرد مورد بررسی از نظر ابعادی استاندارد نباشد، لازم است مقدار C توسط رابطه زیر تصحیح گردد:

$$\text{ضریب تصحیح} = \frac{\text{سطح حقیقی بدن}}{1.8} \qquad (۴-۱۵)$$

$$\text{ضریب تصحیح} \times \text{مقدار محاسبه شده} = \text{مقدار انتقال حرارتی} \qquad (۴-۱۶)$$

۴-۱- محاسبه میزان انتقال حرارت از طریق تابش (R)

انتشار انرژی حرارتی به‌صورت تابشی از یک جسم، رابطه مستقیم با توان چهارم دمای مطلق (°k) سطح آن جسم دارد، به‌طوری که میزان انتقال حرارت تابشی بین دو جسم مشابه را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود(۱و۲و۵) :

$$R = \sigma\varepsilon\ (T_1^4 - T_2^4) \qquad (۴-۱۷)$$

۱- فرد استاندارد، فردی است که دارای سطح بدنی حدود ۱/۸ مترمربع باشد (۲).

که در آن:

σ: ثابت استفان بولتزمن[1] که برابر است با $۵/۶۷ \times ۱۰^{-۸}\ W/m^2 °k^4$

ε : ضریب انتشار سطح جسم

میزان انتقال انرژی حرارتی از طریق تابش (R) بین فرد و محیط اطراف آن تابعی از پارامترهای زیر است :

- لباس
- حالت یا وضعیت بدن در حین اندازه‌گیری (خم شده، نشسته، ایستاده)
- متوسط دمای پوست
- میانگین دمای تابشی محیط (MRT)

انتقال حرارت از طریق تابش بین فرد و محیط اطراف آن با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$R = h_r\ F_{cl}\ (\bar{t}_{sk} - \bar{t}_r) \qquad (۴-۱۸)$$

که در آن :

h_r: ضریب انتقال حرارت از طریق تابش که از طریق رابطه (۱۹ - ۴) بدست می‌آید.

F_{cl}: فاکتور کاهش انتقال حرارت محسوس لباس

$\bar{t}_r$: میانگین دمای تابشی محیط (°C)

$\bar{t}_{sk}$: متوسط دمای پوست (°C)

R: میزان حرارت منتقل شده از طریق تابش (W/m^2)

$$h_r = \sigma\ \xi_{sk}\ \frac{A_r}{A_{DU}}\ [(\bar{t}_{sk} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] / [(\bar{t}_{sk} - \bar{t}_r)] \qquad (۴-۱۹)$$

که در آن:

ξ_{sk} : ضریب نشر حرارتی پوست[2] که معمولاً برابر با ۰/۹۷ می‌باشد

$\frac{A_r}{A_{DU}}$: نسبت سطح پوست که در انتقال حرارت از طریق تابش دخالت دارد و مقدار آن برابر با :

- برای فرد خم‌شده : ۰/۶۷
- برای فرد نشسته : ۰/۷
- برای فرد ایستاده : ۰/۷۷

σ : ثابت استفان بولتزمن که از لحاظ عددی برابر است با $۵/۶۷ \times ۱۰^{-۸}\ W/m^2 °k^4$

1 - Stefan- Boltzman

2 - Skin emissivity

$\bar{T}_{sk}$: متوسط دمای پوست (°C)

$\bar{T}_r$: میانگین دمای تابشی محیط (°C)

h_r : ضریب انتقال حرارت از طریق تابش $W/m^{2\circ}k$

میزان R را می‌توان برای فرد ملبس به لباس کار و در حالت ایستاده از رابطه زیر محاسبه نمود (۳و۴) :

$$R = ۶/۶ (MRT - \bar{T}_{sk}) \qquad (۴-۲۰)$$

که در آن:

R: میزان انرژی گرمایی منتقله از طریق تابش (kcal/h)

MRT: میانگین دمای تابشی (°C)

$\bar{T}_{sk}$: متوسط دمای پوست (°C)

با توجه به رابطه (۲۰ - ۴) می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود در محل‌هایی که میانگین دمای تابشی محیط بیشتر از دمای پوست باشد، انرژی حرارتی از طریق تابش از محیط به بدن فرد وارد می‌شود و در صورتی که میزان MRT کوچکتر از دمای پوست باشد، جهت انتقال انرژی تابشی عکس می‌گردد.

مسئله فوق در تمام محیط‌ها صادق نبوده و بستگی قابل ملاحظه‌ای به شرایط محیطی دارد. به‌طوری که در محیط‌های گرم و خشک در صورتی‌که میانگین دمای تابشی بالاتر از دمای پوست باشد، گرمای تابشی ممکن است سبب بالا رفتن ظرفیت مکانیسم تعریق گردیده وبدن جهت دفع حرارت وارده به میزان کافی از مکانیسم تعریق استفاده نماید. برعکس چنانچه فرد در محیط‌های گرم و مرطوب قرارگیرد، بارگرمایی از طریق تابشی افزایش پیدا نکرده و رطوبت هوا سبب محدود شدن چشمگیر مکانسیم تبخیر عرق از سطح بدن، بالا رفتن دمای بدن و ایجاد تنش حرارتی در فرد می‌گردد.

۵-۱- محاسبه میزان انتقال حرارت از طریق تبخیر عرق (E)

در صورتی‌که بین فشار بخار آب اشباع در دمای پوست و فشار بخار آب در دمای محیط اختلافی وجود داشته باشد به‌نحوی که فشار بخار آب در هوا کمتر از فشار بخار اشباع در دمای پوست باشد بدن انسان از طریق تبخیر قطرات آب یا عرق موجود روی پوست شروع به انتقال حرارت به محیط می‌نماید.

شاید بتوان گفت تبخیر یکی از مهمترین راههای دفع انرژی گرمایی از بدن انسان به

محیط اطراف بوده و به سه فاکتور: دمای پوست، دمای محیط و مقاومت کلی تبخیر در لایه هوای محبوس شدهٔ بین پوست و لباس بستگی دارد. بنابراین با توجه به این مسئله می‌توان حداکثر انرژی حرارتی منتقل‌شده از طریق تبخیر آب یا عرق از سطح پوست را از رابطه زیر بدست آورد:

$$E_{max} = \frac{P_{sks} - P_a}{RT} \qquad (۴-۲۱)$$

که در آن:

P_{sks} : فشار بخار اشباع در دمای پوست (KPa)

P_a : فشار بخار آب در دمای محیط (KPa)

E_{max} : حداکثر انرژی منتقل‌شده از طریق تبخیر (W/m^2)

RT : مقاومت کلی تبخیر در لایه هوای بین فضای لباس و پوست (KPa/W)

میزان RT بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود (۱):

$$RT = \frac{1}{h_e \times F_{pcl}} \qquad (۴-۲۲)$$

که در آن:

h_e : ضریب انتقال حرارت از طریق تبخیر [1] $(W/m^2\ KPa)$

F_{pcl} : فاکتور کاهش تبادلات گرمای نهان [2]

میزان h_e از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$h_e = ۱۶/۷\ h_c \qquad (۴-۲۳)$$

میزان F_{pcl} فاکتوری است که به لباس و ضرایب انتقال حرارت از طریق جابجایی و تابش بستگی دارد. میزان فاکتور F_{pcl} را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود(۱):

$$F_{pcl} = \frac{1}{1 + 2.22\ h_c [I_{cl} - (1 - (1 / F_{cl}) / (h_c + h_r)]} \qquad (۴-۲۴)$$

F_{cl}: نسبت سطح پوشیده شده به سطح بدون پوشش

h_r: ضریب انتقال حرارت از طریق تابش

I_{cl}: مقاومت حرارتی لباس $(m^{2\circ}C/W)$

h_c: ضریب انتقال حرارت از طریق جابجایی

1 - Evaporative heat transfer coefficient

2 - Reduction factor for latent heat exchanges

حداکثر انرژی حرارتی منتقل‌شده از طریق تبخیر عرق یا آب از سطح پوست برای فرد استاندارد که به لباس کار ملبس بوده و در حالت ایستاده کار می‌کند از رابطه زیر محاسبه می‌گردد(۳):

$$E_{max} = 14\ V^{0.6}\ (P_{sk} - P_a) \qquad (۴-۲۵)$$

که در آن :

V : سرعت جریان هوا (m/s)

P_{sk} : فشار بخار آب در دمای پوست. در شرایط طبیعی برای حالتی که دمای پوست ۳۵°C می‌باشد میزان آن برابر ۴۲ میلی‌متر جیوه است (mmHg)

P_a: فشار بخار آب در دمای هوا (mmHg)

E_{max}: حداکثر انرژی حرارتی منتقل‌شده از طریق تبخیر عرق یا آب از سطح پوست (Kcal/h)

۶-۱- محاسبه میزان انتقال حرارت از راه هدایت (K)

در صورتی که بدن انسان با مواد جامد یا مایع که دارای دمایی متفاوت از دمای بدن انسان است تماس یابد، شروع به انتقال حرارت می‌نماید.این تبادلات آنقدر ادامه می‌یابد تا دمای دو جسم یکسان گردد. این راه انتقال حرارت را اصطلاحا" "هدایت[1] "گویند. انتقال حرارت از طریق هدایت به اختلاف دمای بین بدن و قسمتی از جسم که بدن در تماس با آن می‌باشد و همچنین ضریب انتقال حرارتی و سطح تماس بستگی دارد. میزان انرژی حرارتی منتقل‌شده در هدایت از رابطه کلی زیر محاسبه می‌گردد :

$$K = k\ (t_1 - t_2)\ /\ d \qquad (۴-۲۶)$$

K: میزان انتقال حرارت از طریق هدایت بر حسب W/m^2

t_1: دمای بدن انسان °C

t_2: دمای جسم °C

k: ضریب انتقال حرارت از طریق هدایت $W/m^{2\circ}C$

d: ضخامت مواد واسطه‌ای که از طریق آن انتقال حرارت صورت می‌پذیرد

انتقال حرارت به روش هدایت معمولا" در مدت زمان کوتاه (تا زمانی که اختلاف دما وجود دارد)، در مقدار محدود و بصورت موردی صورت می‌پذیرد. معمولاً در محاسبات میزان تبادلات حرارت بدن انسان با محیط، میزان حرارت منتقل‌شده از طریق هدایت در نظر گرفته

1 - Conduction

نمی‌شود. تبادل حرارت از طریق هدایت، زمانی که فرد درون آب سرد قرار گیرد، اهمیت ویژه‌ای دارد. در چنین حالتی دمای بدن انسان نسبت به حالت عادی سریع‌تر کاهش می‌یابد (۴).

۲- انباشتگی گرما در بدن [1]

با توجه به معادلهٔ تبادل حرارتی بدن انسان با محیط ، می‌توان دریافت که بدن انسان از طرق مختلفی به محیط انرژی حرارتی داده و به طرق مختلفی از محیط انرژی حرارتی دریافت می‌نماید. نکته‌ای که در این خصوص حائز اهمیت است میزان انرژی حرارتی انباشته شده در بدن انسان در محیط‌های حرارتی است و می‌توان چنین عنوان نمود که ظرفیت گرمایی ویژهٔ بدن انسان در حدود ۳۵۰۰ J/kg°C می‌باشد (ظرفیت گرمایی ویژه آب ۴۲۰۰ J/kg°C است) بنابراین برای فردی با وزن حدود ۶۵ کیلوگرم که در هر ساعت دمای بدن او ۱°C تغییر می‌نماید. میزان انباشتگی حرارت حدود ۲۳۰ kj/h خواهد شد. به‌دست آوردن میزان انباشتگی حرارت و تشخیص میزان تغییرات دمای بدن مشکل است و نمی‌توان تنها با اندازه‌گیری تغییرات دمای داخلی بدن ، در این مورد قضاوت نمود . در ارتباط با تغییرات دمای عمقی بدن می‌توان از روابط زیر استفاده و در ارزیابی انباشتگی حرارت مورد استفاده قرار داد :

$$\Delta t_{cor} = ۰/۹ tcor + ۰/۱ tsk \qquad \text{در محیط گرم} \qquad (۴-۲۷)$$

$$\Delta t_{cor} = ۰/۶۷ tcor + ۰/۳۳ tsk \qquad \text{در محیط سرد} \qquad (۴-۲۸)$$

در بحث تبادلات حرارتی متذکر می‌شود سهم هر یک از راه‌های تبادل حرارتی بدن انسان با محیط تابع شرایط محیطی ، نوع فعالیت و لباس می‌باشد. به‌طوری که در محیط‌های معمولی بدون هرگونه تنش حرارتی، شرایطی که فرد لباس سبک تا متوسط به تن داشته و کاری در حدود ۱۲۰-۱۰۰ وات انجام می‌دهد درصد هر کدام از راه‌های یادشده در معادله تعادل حرارتی بدن انسان به‌صورت زیر است :

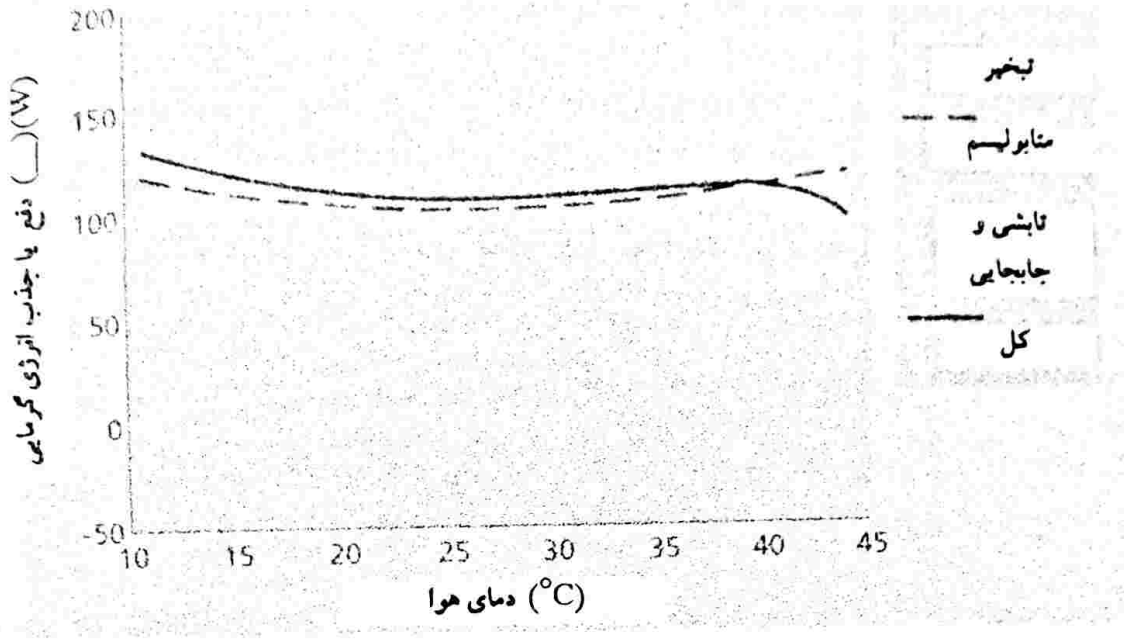
هدایت ..... ٪۰ جابجایی ..... ٪۲۵

تابش ..... ٪۴۵ تبخیر ..... ٪۳۰

اگر دمای محیط افزایش یابد، میزان انتقال از راه جابجایی و تابش از بدن به محیط کاهش پیدا نموده ، اما میزان انتقال حرارت در اثر تبخیر افزایش می‌یابد. حال چنانچه دمای محیط

1 - Heat Storage

پایین‌تر از دمای طبیعی بدن قرار گیرد، میزان انتقال از راه جابجایی و تابش به محیط افزایش می‌یابد. تأثیر شرایط جوی محیط بر میزان گرمای از دست رفته یا کسب شده در شکل (۲-۴) نشان داده شده است.



شکل ۲-۴- تأثیر شرایط محیط بر تبادلات حرارتی بدن انسان با محیط .

بـــــــخش پنجم

شاخص‌های گرمایی

مطالب این بخش شامل :

- شاخص‌های تحلیلی
- ITS
- SWreq
- HSI
- AET
- شاخص‌های تجربی
- ET
- CET
- WD
- P4SR
- WBGT
- WGT

شاخص‌های گرمایی

مقدمه :

تنش‌های (استرس‌های) حرارتی محیط‌های کار را می‌توان به لحاظ ذهنی یا فیزیکی مورد ارزشیابی قرار داد. نظر به اینکه پارامترهای محیطی نظیر دمای هوا، دمای تابشی، رطوبت و سرعت جریان هوا همراه با فعالیت فرد و نوع لباس وی در ایجاد تنش و میزان آن مؤثرند، سعی گردیده است شرایط حاکم خلاصه شده و به صورت یک عدد ارائه شود، این عدد همان شاخص یا نمایانگر حرارتی است. شاخص، معیاری برای نشان دادن میزان وخامت حرارتی محیط کار است. هدف از ارائه یک شاخص، خلاصه کردن ارتباطات داخلی میان پارامترهای محیطی، لباس و فعالیت در قالب یک عدد است. این عدد در ارتباط با عملکرد حرارتی یا تعادل حرارتی بدن انسان است (۱).

از آنجا که در بر آورد شاخص‌ها الزاماً کلیه پارامترهای محیطی و فردی وارد نشده و یا برخی از پارامترها ثابت در نظر گرفته می‌شوند (نظیر فعالیت و لباس)، باید توجه داشت هنگام استفاده از یک شاخص اطمینان حاصل شود که هیچگاه خارج از محدودهٔ عملکرد آن، استفاده نشود. به‌طورکلی شاخص‌های حرارتی به دو گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند(۲):

الف) شاخص‌های گرما

ب) شاخص‌های سرما

در این بخش به چگونگی ارزشیابی شاخص‌های گرمایی پرداخته می‌شود و در بخش هفتم شاخص‌های سرما بررسی خواهد شد.

- شاخص‌های گرما

شاخص‌های مورد استفاده برای سنجش وضعیت تنش‌های گرمایی در قالب دو طبقهٔ کلی زیر مورد بحث قرار می‌گیرند(۲):

۱- شاخص‌های تحلیلی (منطقی)

۲- شاخص‌های تجربی

۱ - شاخص‌های تحلیلی یا منطقی [1]

شاخص‌های تحلیلی بر اساس اصول تبادلات حرارتی ،تعادل حرارتی افراد و پاسخ انسان در محیط‌های گرم، خنثی و سرد پایه‌ریزی شده است. معادله تعادل حرارتی بدن انسان همان طوری که قبلاً ذکر گردید عبارت است از (۲و۳):

$$M \pm K \pm C \pm R - E = S \qquad (۵-۱)$$

اگر میزان S صفر باشد نشان‌دهندهٔ آن است که بدن انسان در حالت تعادل حرارتی قرار دارد و یا به‌عبارتی محیط نسبت به بدن انسان در حالت خنثی قرار داشته و مقدار دریافت و اتلاف گرما با هم برابرند. اگر S مثبت باشد نشان دهندهٔ آن است که دریافت گرما بیش از اتلاف آن بوده ، بنابراین دمای داخلی بدن افزایش خواهد یافت . مقدار افزایش دمای بدن به میزان S و مدت زمان مواجهه بستگی دارد. در صورتی که S منفی باشد نشان دهندهٔ کاهش دمای داخلی بدن است. در این حالت اتلاف گرما بیش از دریافت گرماست. با توجه به معادلهٔ فوق می‌توان نتیجه گرفت که شاخص‌های تحلیلی به وضعیت جوی محیط، لباس و فعالیت فرد وابسته‌اند. به‌عبارت دیگر محاسبه شاخص بر اساس معادله تبادل حرارتی انسان با محیط صورت می‌گیرد (۳).

از شاخص‌های تحلیلی، برعکس شاخص‌های تجربی می‌توان در محیط‌های مختلف و شرایط متفاوت استفاده نمود. علت گسترده بودن کاربرد این شاخص‌ها آن است که بر مبنای معادلات تبادل حرارتی بنا شده‌اند، از این رو محدودیتی در به‌کارگیری فاکتورهای مؤثر وجود ندارد. مهمترین شاخص‌های تحلیلی که کاربرد زیادی در محیط‌های صنعتی دارند عبارتند از:

- ITS شاخص تنش حرارتی [2]
- HSI شاخص تنش گرمایی [3]
- SWreq شاخص میزان عرق لازم [4]
- AET شاخص زمان مجاز مواجهه [5]

1 - Analytical Indices or Rational Indices

2 - Index of Thermal Stress

3 - Heat Stress Index

4 - Sweat rate required

5 - Allowable Exposure Time

۱-۱- شاخص تنش حرارتی (ITS)

شاخص تنش حرارتی که به شاخص "گی ونی"[1] نیز معروف است در اصل یک مدل ریاضی است که مکانیسم بیوفیزیکی بدن انسان را در مقابله با حرارت محیط جهت رسیدن به تعادل حرارتی بیان می‌دارد(۱). این شاخص، مقدار عرق لازم که از طریق تبخیر آن، بدن خنک و تعادل حرارتی تامین می‌شود را محاسبه می‌نماید و در مواقعی که میزان عرق می‌تواند منعکس‌کنندهٔ بارگرمایی محیط باشد به‌عنوان شاخص استرین فیزیولوژیکی عمل می‌کند. این شاخص مانند شاخص‌های P_4SR و HSI می‌تواند برای تعیین میزان عرق لازم استفاده گردد. از محدودیت‌های این شاخص می‌توان به عدم امکان استفاده از آن در ارزیابی استرین حرارتی مانند ضربان قلب و دمای داخلی اشاره نمود. این شاخص عمدتاً بر پایهٔ میزان عرق پایه‌گذاری شده و همبستگی زیادی با دیگر پارامترهای فیزیولوژیکی ندارد. برای محاسبه این شاخص از رابطهٔ زیر استفاده می‌گردد(۱) :

$$S = (M \pm C \pm R) \times \frac{1}{F} = E_{req} \left(\frac{1}{F}\right) \qquad (۵-۲)$$

S: میزان انرژی تبادل‌یافته از راه تبخیر عرق (Kcal/h)

M: متابولیسم (Kcal/h)

C: انرژی تبادل‌یافته از راه جابجایی (Kcal/h) که از طریق رابطهٔ زیر محاسبه می‌گردد:

$$C = \alpha V^{0.3} (t_a - 35) \qquad (۵-۳)$$

E_{req}: انرژی لازم تبادل‌یافته از طریق تبخیر تا بدن به حالت تعادل حرارتی برسد (Kcal/h).

R: انرژی تبادل‌یافته از راه تابش (Kcal/h) که از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است :

$$R = K_{cl} (K_e . K_p) I_n [1 - a (V^{0.2} - 0.88) \qquad (۵-۴)$$

F: کارایی خنک‌کنندگی عرق که از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود :

$$\frac{1}{F} = e^{0.6} \left(\frac{E}{E_{max}} - 0.12\right) \qquad (۵-۵)$$

E_{max}: حداکثر انرژی تبادل‌یافته از طریق تبخیر عرق که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$E_{max} = \beta V^{0.3} (42 - P_a) \qquad (۵-۶)$$

1 - Givoni

K_{cl} ، α ، β ، a ضرایبی هستند که به لباس ، ke به شرایط محیطی و kp به وضعیت بدن بستگی دارد.

I_n: شدت تابش‌های اندازه‌گیری شده با خورشیدسنج است (Kcal/h)

t_a: دمای هوا (°C)

V : سرعت جریان هوا (m/s)

P_a: فشار بخار آب (mmHg)

ضریب (K_e.K_p) به‌صورت ترکیبی در جدول (۱-۵) خلاصه و ارائه گردیده است(۱).

جدول ۱-۵- ضرایب تابش بر اساس محیط و وضعیت قرارگیری بدن نسبت به آفتاب

محیط	ضریب تابشی	
	ایستاده، پشت به آفتاب	نشسته، پشت به آفتاب
صحرا	۰/۳۲۴	۰/۳۹۶
جنگل	۰/۲۶۶	۰/۳۷۷

مقادیر β ، Kcl ، α ، a به لباس بستگی داشته و در جدول (۲-۵) خلاصه گردیده است.

جدول ۲-۵- ضرایب وابسته به لباس با توجه به پوشش بدن و نوع آن

ضرایب‌وابسته‌به‌لباس	لباس کامل با بالا پوش	لباس تابستانی	یقه باز
α	۱۱/۶	۱۳/۰	۱۵/۸
β	۱۳/۰	۲۰/۵	۳۱/۶
K_{cl}	۰/۴	۰/۵	۱/۰
a	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۳۵

۱-۲- شاخص میزان عرق لازم (Swreq)

این شاخص بر اساس معادله تعادل حرارتی بدن انسان شکل گرفته و فرض شده است که انسان در محیطی قرار گرفته که تنها راه دفع گرما از بدن او تبخیر عرق از سطح پوست است. بنابراین معادلات حرارتی را می‌توان در این شرایط به‌صورت زیر نوشت (۴):

$$E + S = M - W - Cres - Eres - C - R \qquad (۵-۷)$$

با توجه به معادله فوق می‌توان چنین بیان نمود، میزان حرارتی که لازم است فرد از بدن خود دفع نماید تا به حالت تعادل برسد (به‌عبارتی میزان گرمای ذخیره شده در بدن برابر صفر

گردد)، معادل میزان انرژی حرارتی است که بدن از طریق تبخیر عرق از دست می‌دهد. این مقدار را میزان تبخیر لازم[1] می‌نامند (Ereq)(۵و۴) که براساس معادله (۸-۵) محاسبه می‌شود:

$$Ereq = M - W - Cres - Eres - C - R \qquad (۵-۸)$$

یکی دیگر از فاکتورهای موثر ،میزان خیسی لازم پوست[2] (Wreq) است که به صورت نسبت تبخیر لازم به حداکثر تبخیر تعریف می‌گردد(۴):

$$Wreq = \frac{Ereq}{Emax} \qquad (۵-۹)$$

شاخص میزان عرق لازم بر اساس رابطه فوق پایه‌ریزی و توسط رابطهٔ (۱۰-۵) محاسبه می‌شود(۴و۳):

$$Swreq = \frac{Ereq}{r_{req}} \qquad (۵-۱۰)$$

که در آن r_{req} کارایی تبخیر عرق[3] (بدون واحد) معادل با Wreq است. باید توجه داشت که SWreq بر اساس میزان حرارتی است (W) که به‌ازای هر گرم عرق در هر ساعت از واحد سطح پوست تبخیر می‌گردد. هر واحد آن ($1\ w/m^2$) با $1/47\ g/m^2.h$ عرق برای یک فرد استاندارد (با سطح بدن برابر ۱/۸ مترمربع) و ۲/۶ g/h عرق، معادل می‌باشد.

شاخص مذکور از جمله شاخص‌هایی است که بر اساس معادله تعادل حرارتی بدن ،یک استرین حرارتی (عرق)را اندازه‌گیری می‌نماید .

این شاخص بر اساس دو محدوده استرسی (۴) :

- حداکثر تری پوست[4] (Wmax)
- حداکثر میزان عرق[5] (SWmax)

و دو محدوده استرینی به شرح زیر:

- حداکثر گرمای ذخیره شده Qmax[6] ($W.h/m^2$)
- حداکثر آب از دست رفته Dmax[7] (g)

تفسیر می‌گردد.

1 - Required Evaporation rate
2 - Required skin wettedness
3 - Evaporative effeiciency of Sweating
4 - Maximum Skin Wettedness
5 - Maximum Sweat rate
6 - Maximum heat storage
7 - Maximum water loss

لازم به ذکر است که میزان Swreq از میزان SWmax و میزان Wreq از Wmax نمی‌تواند بیشتر باشد. مقادیر SWmax و Wmax برای افراد سازش یافته و سازش نیافته در جدول (۳-۵) به‌طور جداگانه ارائه شده است. در مواردی که بدن انسان از نظر حرارتی در حالت تعادل قرار ندارد، میزان S نمی‌تواند از میزان حرارت ذخیره شده بالاتر باشد. در چنین حالتی دمای داخلی بدن افزایش یافته و ممکن است برای فرد وضعیت خطرناک پیش آید. به‌طورکلی در حالت تعادل حرارتی، میزان آب از دست‌رفته از بدن باید در حد Dmax محدود گردد.

به منظور کاربرد این شاخص برای ارزشیابی وضعیت حرارتی محیط کار، لازم است مقادیرتری پوست (Wp)، میزان تبخیر (Ep) و میزان عرق SWp براساس مقادیر Wreq، Ereq، Swreq ، Wmax و Swmax محاسبه گردد. با توجه به شرایط متفاوتی که ممکن است در محیط پیش آید ، شرایط محیط کار می‌تواند در یکی از وضعیت‌های زیر قرار گیرد:

- زمانی که Wreq کمتر از Wmax و SWreq کمتر از SWmax باشد، بدن در حالت تعادل حرارتی قرار داشته و مقادیر Swp, Ep , Wp , به صورت زیر پیش بینی می‌گردد:

$$Wp = Wreq$$
$$Ep = Ereq$$
$$Swp = Swreq$$

زمانی که Wreq برابر با Wmax باشد، مقادیر عوامل فوق به صورت زیر خواهد بود :

$$Wp = Wmax$$
$$Ep = wp \times Emax$$
$$SWp = \frac{Ep}{rp}$$

که در آن rp کارایی تبخیر عرق می‌باشد و برابر با wp است.

- زمانی که SWreq بزرگتر از SWmax باشد، لازم است مقادیر wp و rp محاسبه گردد. در چنین وضعیتی ،مقادیر قید شده در بالا به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$Wp \times Emax = SWmax \times rp$$
$$Ep = Ereq$$
$$SWp = SWreq$$

که در آن rp را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود(۴):

$$rp = ۱ - \frac{w^2}{2} \qquad (۵-۱۱)$$

در رابطه بالا ، w میزان رطوبت‌پذیری پوست است. مقادیر توصیه شده توسط سازمان

ISO برای عوامل مطرح در این شاخص در جدول (۳-۵) ارائه شده است.

محاسبهٔ مدت زمان قابل قبول مواجهه[1] (DLE) یکی از مهمترین کاربردهای شاخص فوق در محیط‌های صنعتی است. میزان DLE را می‌توان براساس مقادیر حداکثر گرمای ذخیره شده در بدن (Qmax) و آب از دست‌رفته (Dmax) برآورد نمود. زمانی که مقدار Ep برابر با Ereq و Swp < (Dmax/۸) باشد، محدودیتی در کار وجود نداشته و فرد می‌تواند ۸ ساعت به‌کار خود ادامه دهد. در چنین مواردی از Swp به‌عنوان شاخص مقایسه استفاده گردیده و مقدار تنش گرمایی محیط ، ارزیابی می‌شود. در صورتی که میزان تبخیر در دسترس نباشد ، اختلاف (Ereq-Ep)، به‌عنوان میزان گرمای ذخیره شده، برای به‌دست آوردن افزایش دمای داخلی معتبر خواهد بود. در این موارد می‌توان میزان DLE را براساس رابطهٔ زیر محاسبه نمود(۴و۳):

$$DLE_1 = \frac{60\ Qmax}{(Ereq - Ep)} \qquad (۵-۱۲)$$

اگر میزان عرق پیش‌بینی شده اختلاف زیادی با آب از دست‌رفته داشته باشد، DLE را می‌توان از رابطهٔ زیر محاسبه کرد:

جدول۳-۵- مقادیر توصیه شده برای فاکتورهای به‌کاررفته درمحاسبات شاخص SWreq(اقتباس از منبع ۴)

پارامترهای لازم	افراد سازش نیافته		افراد سازش یافته	
	هشدار	خطرناک	هشدار	خطرناک
حداکثر رطوبت پذیری پوست (Wmax)	۰/۸۵	۰/۸۵	۱	۱
حداکثر میزان عرق Swmax				
حالت استراحت:				
m<65w/m²	۱۰۰ w/m²	۱۵۰ w/m²	۲۰۰ w/m²	۳۰۰ w/m²
	۲۶۰ g/h	۳۹۰ g/h	۵۲۰ g/h	۷۸۰ g/h
حالت کار:				
M>65 w/m²	۲۰۰ w/m²	۲۵۰ w/m²	۳۰۰ w/m²	۴۰۰ w/m²
	۵۲۰ g/h	۶۵۰ g/h	۷۸۰ g/h	۱۰۴۰ g/h
حداکثر گرمای ذخیره شده (Qmax W.h/m²)	۵۰	۶۰	۵۰	۶۰
حداکثر آب از دست داده				
Dmax(W.h/m²)	۱۰۰۰	۱۲۵۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰
(g)	۲۶۰۰	۳۲۵۰	۳۹۰۰	۵۲۰۰

1 - Duration of limited Exposure

$$DLE_2 = \frac{60\ Dmax}{Swp} \qquad (۵-۱۳)$$

با توجه به موارد قید شده ، حداقل DLE به‌دست آمده به‌عنوان محدودکنندهٔ زمان کار در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که DLE_2 کاهش یا افزایش آب از دست‌رفته از بدن را نشان دهد، به کارگر نباید اجازه تماس داده شود و اگر DLE_1 افزایش دمای داخلی بدن را نشان دهد باید به وی اجازه استراحت در حین کار داده شود.

۳-۱- شاخص تنش گرمایی (HSI[1])

این شاخص در سال ۱۹۵۰ در پیتسبورگ امریکا توسط بلدینگ[2] و هچ[3] ارائه گردید(۲،۱و۳). شاخص مذکور بر اساس مدلی طرح گردیده است که در آن دمای پوست، معادل مقدار ثابت ۳۵°C فرض شده است.

شاخص هچ بلدینگ بر اساس تبادلات حرارتی میان بدن انسان با محیط بنا گذاشته شده و آن را به‌عنوان شاخصی جهت کنترل مهندسی تنش حرارتی از طریق اصلاح معادلات حرارتی فرد و محیط نام می‌برند. محاسبهٔ این شاخص به دو روش امکان‌پذیر می‌باشد(۳):

۱- روابط ریاضی

۲- نموگرام

۱-۳-۱- محاسبهٔ شاخص HSI از طریق روابط ریاضی

شاخص HSI عبارت است از نسبت انرژی حرارتی که لازم است از راه تبخیر از بدن دفع گردد تا بدن در حالت تعادل قرار گیرد به حداکثر انرژی حرارتی که در شرایط محیط کار می‌تواند از طریق تبخیر از بدن خارج گردد. این شاخص بر اساس رابطه زیر محاسبه و مقدار آن ارزیابی می‌گردد(۳):

$$HSI = \frac{Ereq}{Emax} \times 100 \qquad (۵-۱۴)$$

در رابطه فوق:

$Ereq$[4] : میزان انرژی حرارتی که لازم است از طریق تبخیر برای رسیدن به تعادل حرارتی از بدن

1 - HSI: Heat Stress Index

2 - Belding.H.S.

3 - Hatch.T.F.

۴- معادله اصلی Ereq در قسمت شاخص ITS آورده شده و معادله فوق بیان خلاصه‌شده‌ای است که دربرآوردهای اولیه از محیط، کاربرد بیشتری دارد.

دفع شود و مقدار آن از رابطهٔ زیر محاسبه می‌گردد(۵):

$$Ereq = M - R - C \qquad (۵-۱۵)$$

که در آن:

M : متابولیسم بر حسب w/m^2

R : انرژی تبادل‌یافته از راه تابش و مقدار آن برابر است با :

$$R = 4.4\,(35 - MRT) \qquad \text{برای افراد ملبس } (w/m^2) \qquad (۵-۱۶)$$

$$R = 7.3\,(35 - MRT) \qquad \text{برای افراد غیر ملبس } (w/m^2) \qquad (۵-۱۷)$$

C : انرژی تبادل‌یافته از راه جابجایی و مقدار آن برابر است با:

$$C = V^{0.6}\,(35 - ta) \qquad \text{برای افراد ملبس } (w/m^2) \qquad (۵-۱۸)$$

$$C = 7.6\,V^{0.6}\,(35 - ta) \qquad \text{برای افراد غیرملبس } (w/m^2) \qquad (۵-۱۹)$$

Emax : حداکثر انرژی دفع‌شده از بدن از طریق تبخیر در شرایط محیط کار

روش محاسبات Emax در بخش شاخص ITS اشاره گردیده است.

۲-۳-۱- تعیین شاخص HSI از طریق نموگرام

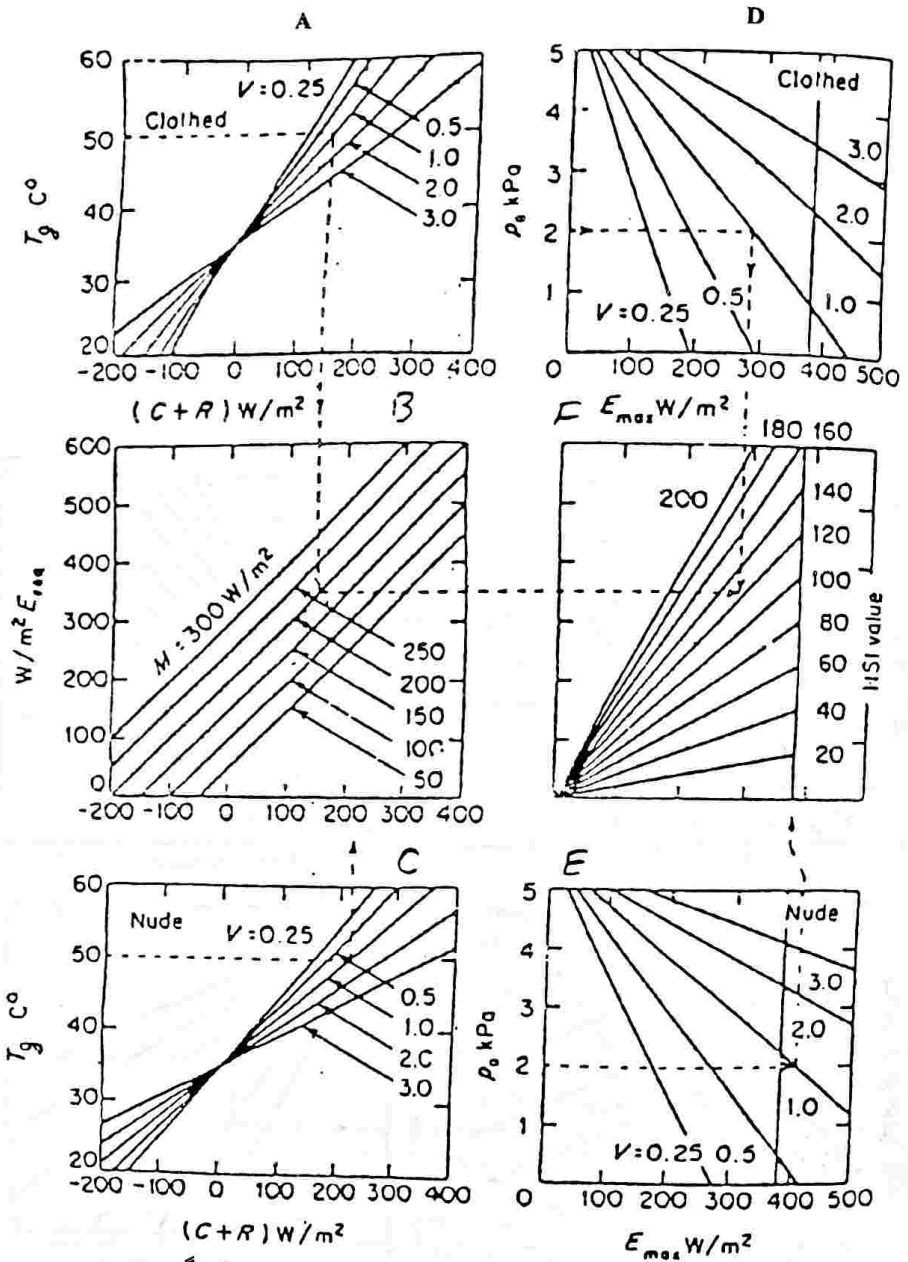
برای محاسبه شاخص HSI نمودار و نموگرام‌هایی توسط بریف[1] و مک‌کارنس[2] ارائه شده است که نمونه‌ای از آنها در شکل (۱-۵) و (۲-۵) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است نمودارهای ABDF مربوط به افراد ملبس و نمودارهای CEBF مربوط به افراد برهنه یا بدون لباس می‌باشد .جهت آشنایی با چگونگی استفاده از این نمودار ذیلاً به‌عنوان نمونه، روش استفاده از نمودار برای برآورد شاخص هیج بلدینگ برای افراد ملبس ارائه گردیده است:

- دمای دماسنج گوی‌سان را روی محور y ها از نمودار A منتقل نموده و از آن عمودی بر خط متناظر با سرعت جریان هوا وارد نمائید.

- از محل تقاطع دمای گوی سان و سرعت جریان هوا، عمودی را روی محور xها رسم نمائید. محل تقاطع خط عمود با محور Xها، مقدار تبادل انرژی از راههای جابجایی و تابش (C+R) را می‌دهد.

1 - Brief

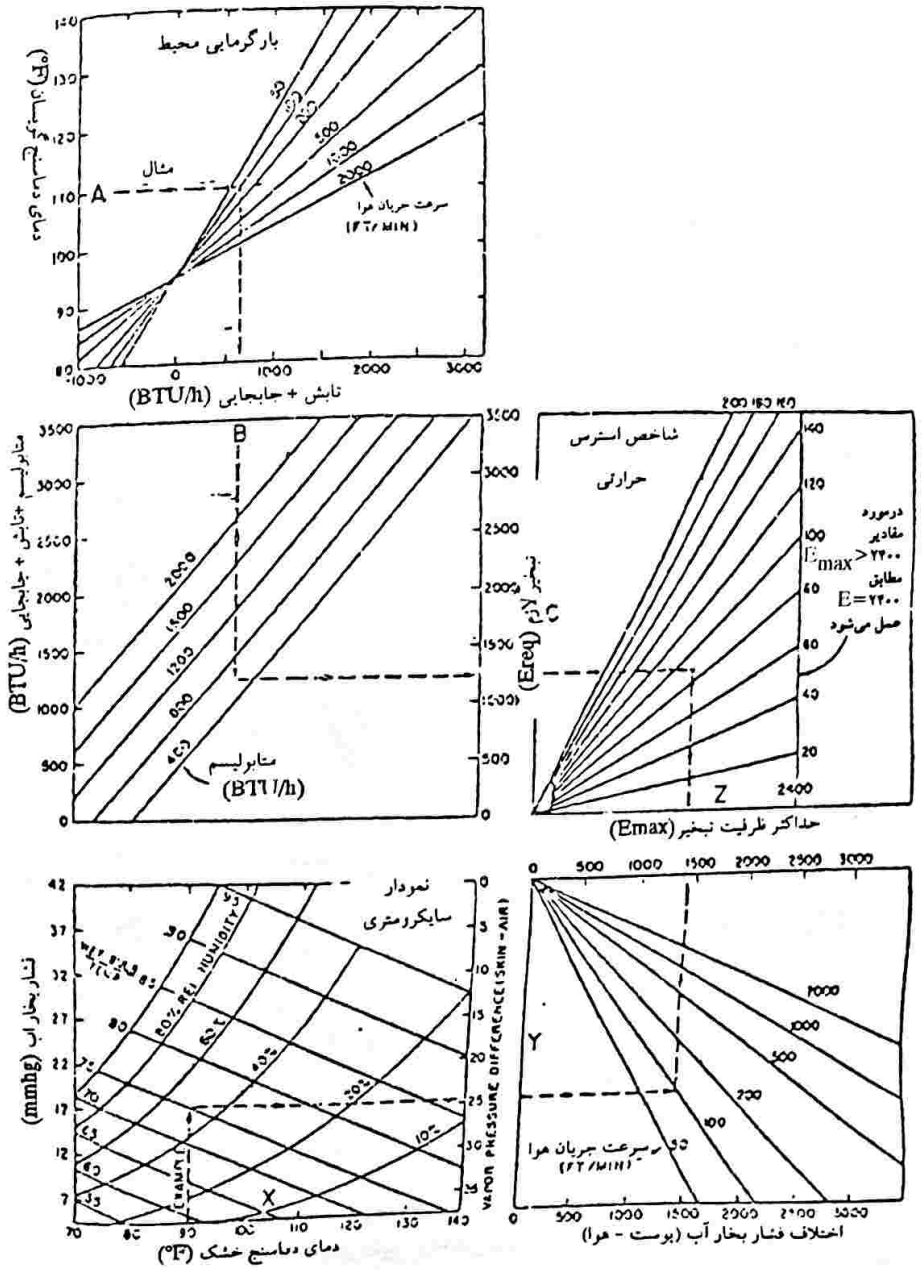
2 - Mckarns



شکل ۱-۵- نمودار تعیین شاخص استرس گرمایی هیج و بلدینگ

ADBF ملبس

CEBF برهنه یا بدون لباس



شکل ۲-۵- نمودار تعیین شاخص استرس گرمایی هج و بلدینگ

- عمود مذکور را ادامه دهید تا خط متناظر با میزان متابولیسم در نمودار B را قطع نماید. پس از آن عمودی بر نمودار F اعمال نمائید. محل تقاطع این عمود با محود Yها در نمودار B مقدار Ereq را مشخص می‌سازد.

- فشار بخار آب را روی محور yها از نمودار D منتقل نمایید و از آن عمودی بر خط متناظر با سرعت جریان هوا اخراج نمائید. از محل تقاطع عمود فوق با خط سرعت ،عمودی بر محور Xها از نمودار D وارد نمایید. در محل تقاطع مقدار Emax مشخص می‌شود و سپس آن را در نمودار F ادامه دهید.

- دو عمود اخراج شده از نمودارهای B و D بر نمودار F ، یکدیگر را در نقطه‌ای قطع خواهند نمود. از این نقطه، خطی به موازات‌خطوط رسم‌شده در نمودار F رسم کرده و مقدار شاخص HSI را در مقیاس مندرج در نمودار F تعیین نمایید. برای افراد برهنه، مراحل فوق، عیناً بر روی نمودارهای E ,B ,C و F انجام می‌شود.

پس از محاسبهٔ شاخص HSI بر اساس روابط ریاضی انتقال حرارت یا برآورد آن از نمودار (۱-۵) یا (۲-۵) ،مقدار شاخص به جدول (۳-۵) منتقل گردیده و وضعیت تنش گرمایی محیط کار ارزشیابی می‌شود.

۴-۱- زمان مجاز مواجهه AET [1]

مدت زمان مجاز مواجهه ، به‌منظور کنترل مدیریتی تنش‌های حرارتی محیط کار ارائه شده است. در صورتی که میزان شاخص HSI حدود ۱۰۰ و بالاتر از آن قرارگیرد باکاهش مدت زمان مواجهه فرد، اقدام به کنترل و کاهش مواجهه با تنش‌های حرارتی محیط می‌شود. مدت زمان مجاز مواجهه بر اساس پارامترهای فیزیولوژیکی و معادلهٔ تعادل حرارتی بدن انسان تعیین می‌شود و رابطه آن به صورت زیر می‌باشد(۵):

$$AET = \frac{2440}{Ercq - Emax} \quad \text{(بر حسب دقیقه)} \qquad (۵-۲۰)$$

مدت زمان مواجهه برای افراد بالغ که حداکثر افزایش دمای بدن آنها ۱/۸°C به‌ازای یک

1 - Allowable Exposure Time

جدول ۴-۵ - جدول ارزشیابی مقادیر مختلف شاخص هج بلدینگ HSI

شاخص HSI	نتایج فیزیولوژیکی و بهداشتی حاصل از ۸ ساعت کار
-۲۰	تغییرات خفیف پاتولوژیکی یا فیزیولوژیکی ناشی از سرما.
-۱۰	این حالت اغلب در شرایطی پدید می‌آید که کارگر از محل کار گرم دور می‌شود
۰	بدون هیچ‌گونه ناراحتی، تغییرات فیزیولوژیکی یا پاتولوژیکی ناشی از گرما بوجود نمی‌آید
۱۰ ۲۰ ۳۰	فشار گرما کم تا متوسط است، قدرت تفکر در کارهائی که نیاز به مهارت و حواس جمعی دارد کم می‌شود و قدرت تفکر در انجام کار کاهش می‌یابد. اما در انجام کارهای سنگین بدنی اشکال محسوسی ایجاد نمی‌شود یا به‌عبارتی استرس گرما اثر سوء ندارد.
۴۰ ۵۰ ۶۰	فشار یا استرس گرما شدید و سلامتی در مخاطره است. ولی اگر کارگر کاملا به این محیط عادت کرده باشد، خطر کم است .از نظر پزشکی افراد مناسب و قوی برای کار در اینگونه محیط‌ها باید انتخاب شوند. برای افرادی که دارای بیماری قلبی، تنفسی و پوستی مزمن باشند این محیط نامناسب است . این شرایط برای کارهای توام فیزیکی و فکری نیز نامناسب می‌باشد.
۷۰ ۸۰ ۹۰	فشار گرما زیاد است، درصد پایینی از افراد در چنین شرایطی می‌توانند به کار ادامه دهند، این افراد هم باید از طریق معاینات پزشکی تحت نظر باشند، همچنین لازم است به سازگاری این افراد در این محیط‌ها توجه گردد. مقدار مصرف آب و نمک باید به اندازه کافی باشد. شرایط کار باید مساعد گردد. بیزاری و عدم تمایل باعث عدم تناسب کارگر با کارش می‌شود.
۱۰۰	حداکثر فشار گرما وجود دارد. این شرایط فقط برای کارگرانی که با کارکردن در شرایط آب و هوای گرم سازش یافته‌اند، قابل تحمل است .
بالاتر از ۱۰۰	باید محیط تحت کنترل قرار گیرد و به مدت زمان مواجهه کارگر دقت شود.

دوره زمانی یک ساعته است، کاربرد دارد. بدین ترتیب مدت زمان کار و با کسر آن از ۸ ساعت، مدت زمان استراحت مشخص می‌شود. مدت زمان استراحت بدست آمده باید به‌صورت نسبت‌های مساوی در طول ۸ ساعت تقسیم گردد و مجاز به در نظر گرفتن زمان استراحت در یک مرحله در اول یا انتهای شیفت نمی‌باشیم.

در رابطهٔ فوق عدد به‌دست آمده بر حسب دقیقه بوده و مقادیر Ereq و Emax برحسب w/m^2 است، در سیستم انگلیسی که مقادیر Ereq و Emax بر حسب Btu/h در نظر گرفته می‌شود، رابطهٔ فوق به صورت زیر در می‌آید(۳):

$$AET=\frac{۲۵۰\times۶۰}{Ereq - Emax} \qquad (۵-۲۱)$$

همان طوری‌که ذکر گردید رابطه فوق زمانی کاربرد دارد که مقدار HSI بالاتر از ۱۰۰ برآورد گردد، یا به‌عبارتی میزان Ereq < Emax باشد. در غیر این صورت مقدار AET منفی می‌باشد که نشان‌دهندهٔ امکان انجام ۸ ساعت کار ممتد است.

برای محاسبهٔ مدت زمان مجاز مواجهه نموگرام‌هایی نیز ارائه شده است که نمونه‌ای از آنها در شکل (۳-۵) نشان داده شده است.در تکمیل و استفاده از نموگرام مذکور معادلات زیر استفاده می‌شوند. این معادلات براساس پوشش لباس سبک تابستانی طراحی شده‌اند (۳) :

$$Ereq = M \pm R \pm C \qquad (۵-۲۲)$$

$$R = ۱۷/۵\ (MRT - ۹۵) \qquad (۵-۲۳)$$

$$C = ۰/۷۵۶\ V^{۰/۶}\ (Ta - ۹۵) \qquad (۵-۲۴)$$

$$Emax = ۲/۸\ V^{۰/۶}\ (۴۲ - Pa) \qquad (۵-۲۵)$$

در روابط فوق :

Pa = فشار بخار آب در هوا (mmHg)

MRT = میانگین دمای تابشی (F°)

R = گرمای مبادله شده از طریق تابش (Btu/hr)

C = گرمای مبادله شده از طریق جابجایی (Btu/hr)

Emax = حداکثر اتلاف حرارتی از طریق تبخیر عرق (Btu/hr)

Ta = دمای محیط (F°)

V = سرعت جریان هوا (ft/min)

روابط کاربردی در خصوص پارامترهای موثر در محاسبه شاخص AET در سیستم SI به شرح زیر است :

$$R = K_1 (35 - t_r) \quad (W/m^2) \qquad (۵-۲۶)$$

$$C = k_2 V^{0.6}(35 - t_a) \quad (W/m^2) \qquad (۵-۲۷)$$

$$E_{max} = k_3 V^{0.6}(35 - P_a) \quad (W/m^2) \qquad (۵-۲۸)$$

در روابط فوق :

K_1,K_2,K_3 : ضرایبی که براساس جدول (۵-۵) تعیین می‌شوند.

t_a : دمای هوا (°C)

$\bar{t}_r$: میانگین دمای تابشی (°C)

P_a : فشار بخار آب در هوا (mb)

V : سرعت جریان هوا (m/s)

جدول ۵-۵- میزان ضرایب K_1,K_2,K_3 در روابط فوق

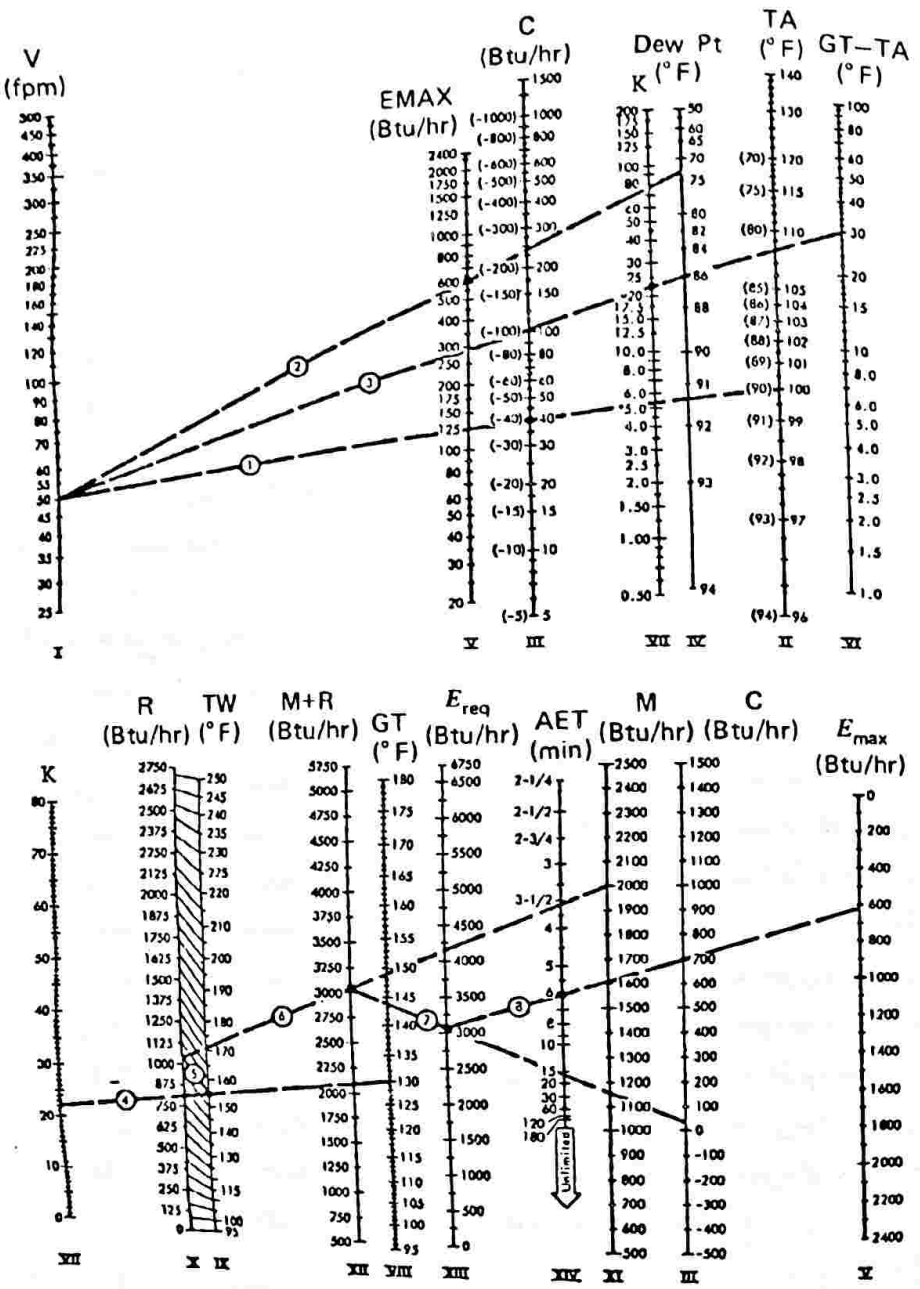
ضرایب	پوشیده	برهنه
K_1	۴/۴	۷/۳
K_2	۴/۶	۷/۶
K_3	۷/۰	۱۱/۷

همان‌طور که ملاحظه شد یکی از روش‌های محاسبهٔ شاخص AET ، استفاده از نموگرام مربوط است (شکل ۳-۵) که مراحل استفاده از آن به‌شرح زیر می‌باشد :

۱- به‌وسیلهٔ خطی، سرعت جریان هوا (ستون ۱) را به دمای محیط (ستون ۲) وصل کنید. تقاطع این خط با ستون (۲) مقدار گرمای مبادله شده از طریق جابجایی را نشان می‌دهد. در صورتی که دمای محیط بیش از ۹۵ درجه فارنهایت باشد مقدار گرمای جابجایی مثبت و در غیر این صورت مقدار منفی آن منظور می‌گردد.

۲- به‌وسیله خطی، سرعت جریان هوا (ستون ۱) را به نقطه شبنم (ستون ۴) وصل کنید و مقدار Emax را از روی ستون ۵ قرائت کنید.

۳- سرعت جریان هوا (ستون ۱) را به اختلاف دمای گوی سان و دمای محیط (ستون ۶) وصل کنید و مقدار K را از روی (ستون ۷) قرائت کرده و به مقیاس K در پایین صفحه منتقل نمائید.



شکل ۳-۵- نموگرام تعیین مدت زمان مجاز مواجهه (AET)

۴- مقدار k را به دمای گوی سان ستون (۸) وصل کرده و دمای تابشی دیوار (جداره‌ها)را از روی (ستون ۹) قرائت کنید.

۵- مقدار فوق را به‌وسیلهٔ خطی به‌موازات خطوط مورب رسم‌شده به ستون (۱۰) وصل کنید و مقدار گرمای مبادله‌شده از طریق تابش را قرائت نمایید.

۶- مقدار متابولیسم (M) را تعیین کرده و روی ستون (۱۱) مشخص نمایید. مقادیر ستون (۱۰) و (۱۱) را به‌هم وصل کنید و از روی ستون (۱۲)، M+R را قرائت کنید.

۷- مقدار گرمای جابجایی را که در مرحله یک به‌دست آمده بود به ستون (۳) در پایین صفحه منتقل کنید. این مقدار (مثبت یا منفی) را به ستون (۱۲) وصل کنید و مقدار Ereq را از روی ستون (۱۳) به‌دست آورید.

۸- مقدار Emax را روی ستون (۵) در پایین صفحه منتقل کرده و آن را به مقدار Ereq بر روی ستون (۱۳) وصل کنید. محل تقاطع این خط با ستون (۱۴)، مدت زمان مجاز مواجهه مداوم را برحسب دقیقه نشان می‌دهد.

۲- شاخص‌های تجربی

شاخص‌های تجربی[1]، شاخص‌هایی را گویند که در بر آورد آنها تبادلات حرارتی بدن انسان با محیط اطراف مورد تحلیل قرار نگرفته، بلکه براساس پاسخ انسان به عوامل مختلف محیطی پایه‌ریزی می‌گردد، به‌طوری که ارزیابی این شاخص‌ها براساس تجربیاتی است که روی انسان صورت گرفته است. از عمده‌ترین خصوصیات این شاخص‌ها آن است که اغلب برای همان شرایطی که تعریف شده‌اند، کاربرد دارند، بنابراین شاید عمده‌ترین ضعف آنها، عدم امکان تعمیم به شرایط جوی مختلف، باشد. البته در مواردی با تحقیقات بیشتر و در نظر گرفتن جامعهٔ مورد آزمایش بزرگتر و شرایط جوی مختلف میتوان این شاخص‌ها را به شرایط جوی وسیع‌تری تعمیم داد. گروهی از شاخص‌های تجربی بعنوان شاخص‌های مستقیم[2] معروف می‌باشند. به‌طوری که معمولاً یک وسیلهٔ خاص ساخته شده است که می‌تواند به‌طور مستقیم شاخص یا میزان تنش حرارتی محیط را اندازه‌گیری کرده و نمایش دهد. از این شاخص‌ها می‌توان به دمای گوی‌تر (WGT) و دمای خشک منتجه[3] (DRT) اشاره نمود. از مهمترین شاخص‌های تجربی که کاربرد زیادی در محیط‌های صنعتی دارند، می‌توان موارد زیر را نام برد(۱و۲):

1 - Empirical indices
2 - Direct indices
3 - Dry Resultant Temperature

- شاخص دمای موثر[1] (ET)
- شاخص دمای موثر تصحیح شده[2] (CET)
- شاخص دمای گوی‌تر[3] (WGT)
- شاخص میزان عرق پیش‌بینی شده ۴ ساعته[4] (P4SR)
- شاخص اکسفورد[5] (WD)
- شاخص دمای‌تر گویسان[6] (WBGT)

۱-۲- شاخص دمای مؤثر (ET)

در سال ۱۹۲۳ این شاخص در آزمایشگاه تحقیقات انجمن مهندسان گرمایش، تبرید و تهویه مطبوع امریکا ASHRAE[7] توسط هوگتون[8] و یاگلو[9] طرح و تدوین گردید. این شاخص را بعضی از مراجع در گروه شاخص‌های راحتی طبقه‌بندی کرده‌اند(۶).

دمای مؤثر از ترکیب سه پارامتر: دمای خشک، دمای تر و سرعت جریان هوا به‌دست می‌آید. این شاخص احساس گرمایی را بیان می‌کند که با احساس حاصله در محیط آرام و اشباع از رطوبت با دمایی برابر با دمای مؤثر، یکسان باشد. معیار ارزشیابی این شاخص احساس گرمایی است که فرد هنگام وارد شدن به محیطی با فاکتورهای حرارتی مشخص دارد. مبنای محاسباتی این شاخص دمای هوایی اشباع از رطوبت با سرعت جریان متوسط ۰/۱۲ متر بر ثانیه می‌باشد(۷). این شاخص در بدو ارائه برای افراد نشسته تنظیم شده بود، ولی بعدها نمودارهای آن تعدیل گشته و طوری طرح‌ریزی شد که بتوان آن را در شرایط محیطی مختلف برای اندازه‌گیری استرس گرمایی افراد در حال کار در صنعت به‌کار برد. از شاخص ET معمولاً برای برآورد وضعیت تنش‌های گرمایی محیط استفاده نمی‌شود، هر چند کاربرد آن در بسیاری از صنایع زیاد بوده و نسبت به دیگر شاخص‌ها محاسبات ساده‌تری دارد (۳).

جهت محاسبهٔ شاخص ET از نمودارهای خاصی استفاده می‌گردد که نمونه‌هایی از آنها در شکل‌های (۴-۵)، (۵-۵)و(۶-۵) ارائه شده است . برای تعیین مقدار ET، دمای خشک و

1 - Effective Temperature
2 - Corrected Effective Temperature
3 - Wet Globe Temperature
4 - Predicted 4 hours Sweat Rate
5 - Oxford
6 - Wet Bulb Globe Temperature
7 - American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers
8 - Houghton
9 - yaglou

دمای تر اندازه‌گیری شده در محیط ، روی نمودار مشخص شده و توسط پاره‌خطی به هم وصل می‌گردند. با مشخص کردن منحنی نظیر سرعت جریان هوا ، محل تلاقی پاره خط فوق با منحنی سرعت جریان هوا را مشخص نموده و از مقیاس ET مقدار شاخص قرائت می‌شود.

از مهمترین نقاط ضعف شاخص ET، عدم تداخل پارامترهایی مانند لباس در محاسبات آن می‌باشد. متابولیسم از دیگر پارامترهایی است که در بدو طرح و ارائه شاخص فوق در محاسبات وارد نمی‌گردید، ولی بعدها با اصلاحات انجام‌شده این پارامتر هم در برآورد شاخص ET مدنظر قرار گرفت. نمونه‌ای از روش تعیین شاخص (ET) در نمودار (۵-۵) آورده شده است. با استفاده از نمودار اخیر می‌توان میزان عرق را هم تا حدودی بر آورد نمود (۲). جهت آشنایی با استفاده از نمودار، مثالی به‌صورت خط‌چین ارائه شده است.

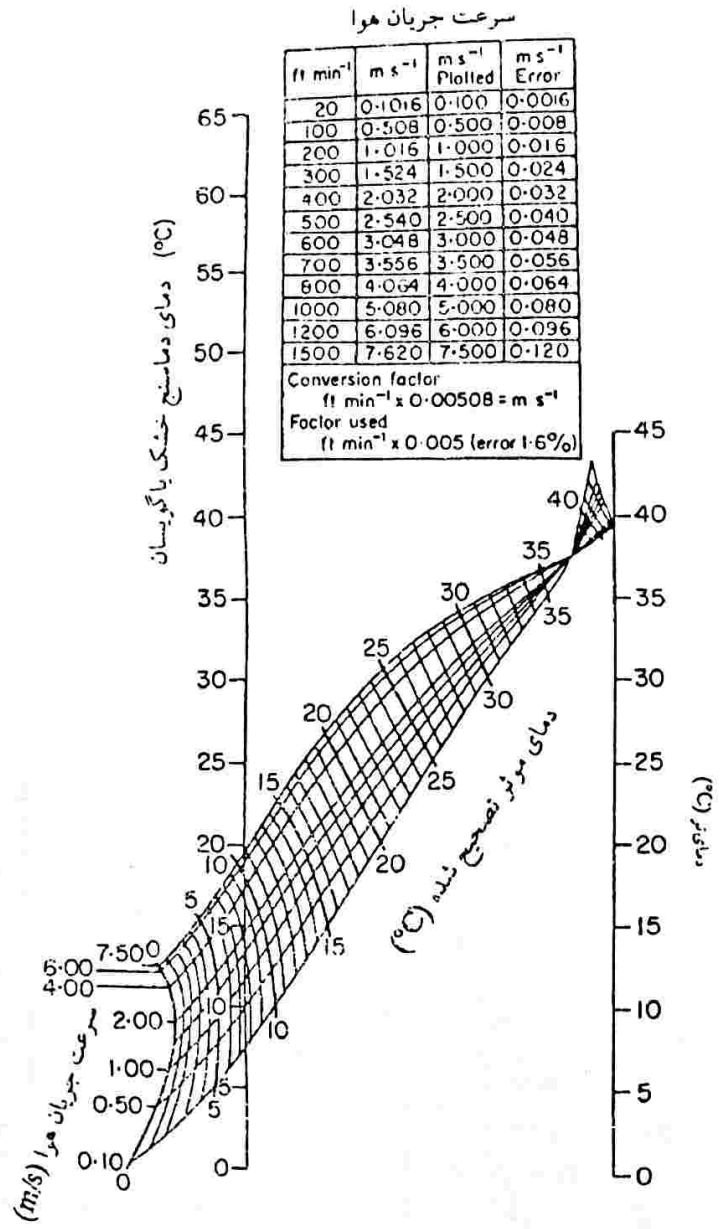
یکی از محدودیت‌های کاربردی شاخص ET، عدم دخالت انرژی تابشی محیط در برآورد میزان تنش حرارتی است. این مسئله کاربرد شاخص ET را در محیط هایی با انرژی تابشی ،محدود می‌نماید.

مقادیر مجازی که جهت این شاخص ذکر گردیده است به شرح زیر است (۳) :

مقادیر شاخص ET	ارزیابی محیط
ET < ۲۰°C	منطقه سرد
۲۰ < ET < ۲۳/۵°C	حدود استاندارد و منطقه خنثی
۲۳/۵ < ET < ۲۵°C	منطقه دمایی راحت
۲۵ < ET < ۳۰°C	منطقه‌ای با راحتی دمایی کم
۳۰ < ET < ۳۵°C	منطقه‌ای با عدم راحتی دمایی
۳۵ < ET < ۴۰°C	ناراحت
۴۰< ET < ۴۱/۵°C	خیلی ناراحت

در محیط‌هایی با ET معادل ۴۰°C به بالا معمولاً دمای بدن افزایش یافته و مکانیسم تبخیر قطع می‌گردد. همان‌طور که بیان شد این شاخص در بعضی از مراجع به‌عنوان شاخص راحتی هم نام برده شده است که در بخش شاخص‌های راحتی به آن اشاره خواهد شد.

مقادیر مجاز این شاخص برای افراد سازش‌یافته که فعالیتی در حدود 300 Cal/h دارند، در حدود ۳۲-۳۱ °C ذکر گردیده و برای افراد سازش‌نیافته در همان حدود فعالیت، ۲۷/۵ درجه سلسیوس قید شده است (۲).

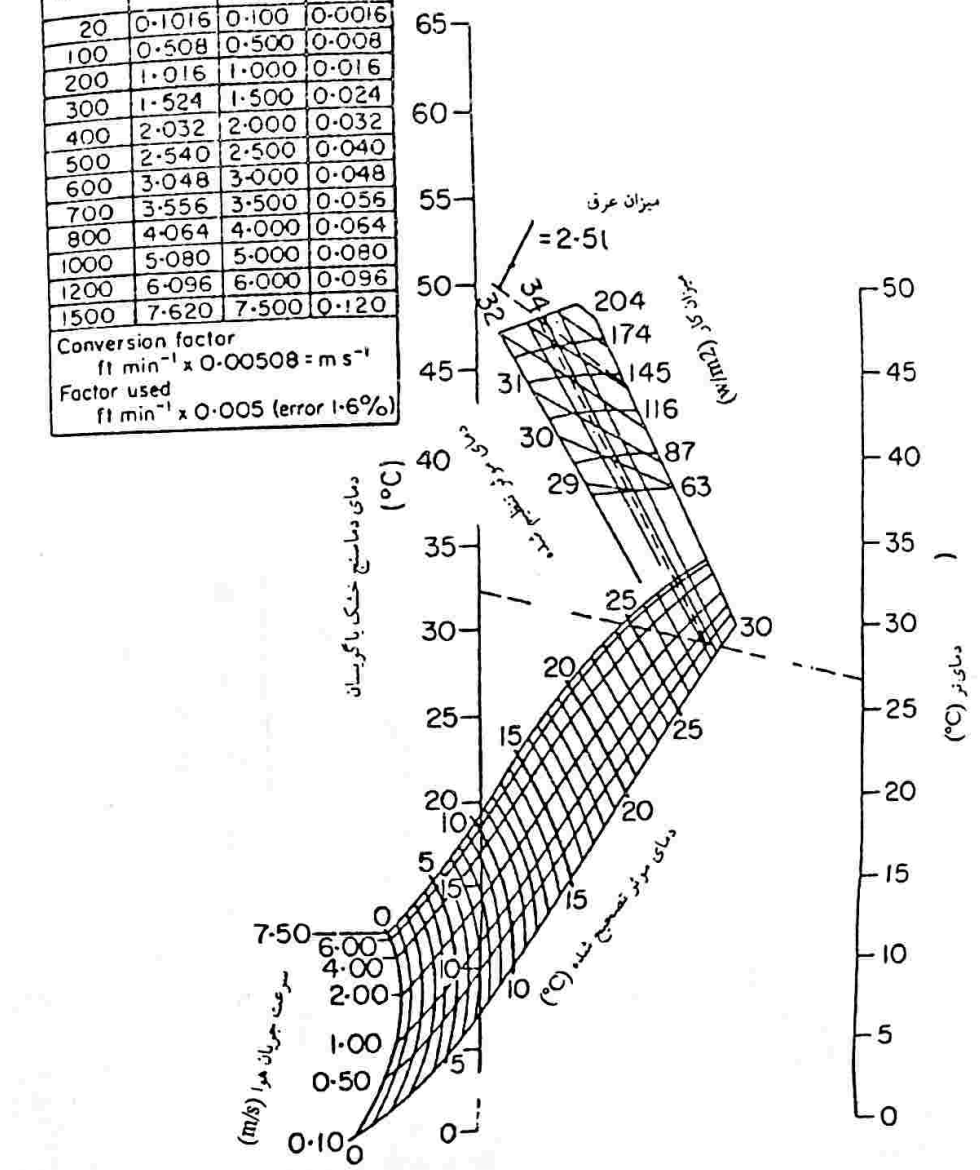


شکل ۴-۵- نموگرام پایه ET (دمای خشک ۶۵ °C - ۰)(دمای‌تر ۵۰°C - ۰) (سرعت جریان هوا ۷/۵-۰/۱)(۱)

سرعت جریان هوا

ft min^{-1}	m s^{-1}	m s^{-1} Plotted	m s^{-1} Error
20	0·1016	0·100	0·0016
100	0·508	0·500	0·008
200	1·016	1·000	0·016
300	1·524	1·500	0·024
400	2·032	2·000	0·032
500	2·540	2·500	0·040
600	3·048	3·000	0·048
700	3·556	3·500	0·056
800	4·064	4·000	0·064
1000	5·080	5·000	0·080
1200	6·096	6·000	0·096
1500	7·620	7·500	0·120

Conversion factor
ft min^{-1} x 0·00508 = m s^{-1}
Factor used
ft min^{-1} x 0·005 (error 1·6%)

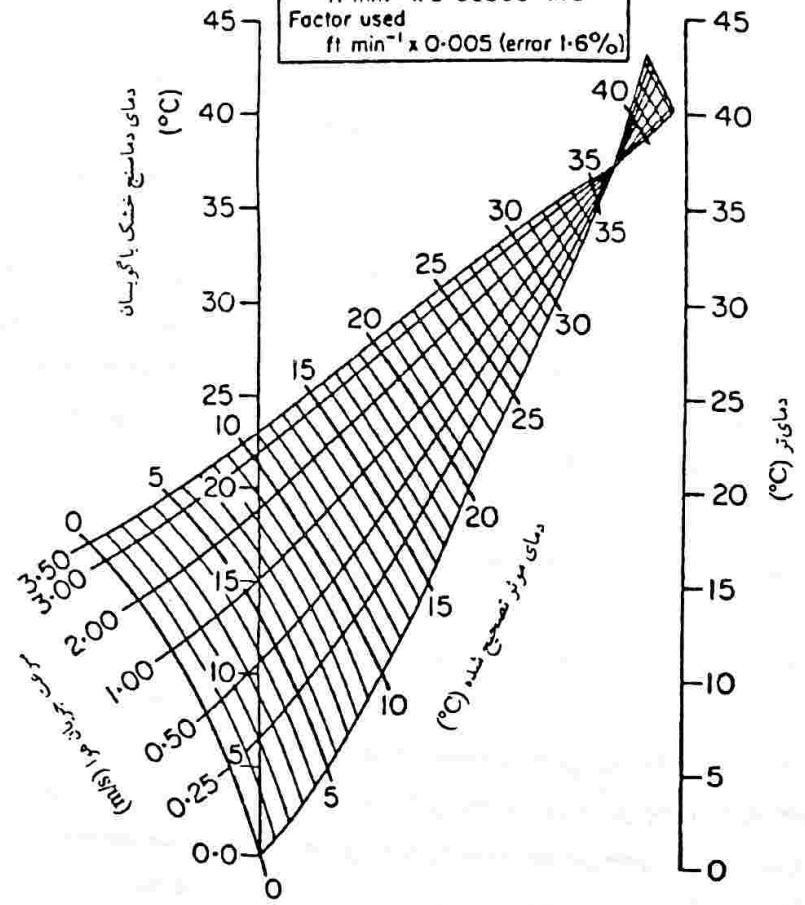


شکل ۵-۵- نمودار ET (دمای خشک ۶۵ °C - ۰)(دمای تر ۴۵°C - ۰)(سرعت جریان هوا ۷/۵-۰/۱ m/s) برای فرد، در حال کار

سرعت جریان هوا

ft min^{-1}	m s^{-1}	m s^{-1} Plotted	m s^{-1} Error
20	0·1016	0·100	0·0016
100	0·508	0·500	0·008
200	1·015	1·000	0·016
300	1·524	1·500	0·024
400	2·032	2·000	0·032
500	2·540	2·500	0·040
600	3·048	3·000	0·048
700	3·556	3·500	0·056

Conversion factor
ft min^{-1} x 0·00508 = m s^{-1}
Factor used
ft min^{-1} x 0·005 (error 1·6%)



شکل ۶-۵- نمودار پایه ET (دمای خشک ۴۵ °C - ۰)(دمای تر ۴۵ °C - ۰) (سرعت جریان ۳/۵m/s-۰)

۲-۲- شاخص دمای مؤثر تصحیح‌شده (CET)

یکی از محدودیت‌هایی که برای شاخص ET ذکر گردید، عدم توانایی آن در منظور نمودن اثرات انرژی تابشی محیط دربرآورد تنش‌های حرارتی می‌باشد. شاخص CET شاخصی است که این محدودیت را از بین برده و در محیط‌هایی که انرژی تابشی وجود داشته باشد با وارد کردن اثر انرژی تابشی، میزان تنش‌های حرارتی محیط را برآورد می‌نماید. این شاخص در سال ۱۹۳۰ توسط ورنن[1] و همکارانش به منظور تصحیح شاخص ET پیشنهاد گردید. در محاسبهٔ شاخص از نمودارهای ET (۵-۵)، (۶-۵) و (۷-۵) استفاده می‌شود و صرفاً به جای دمای خشک ، دمای دماسنج گویسان که نشان دهندهٔ انرژی‌های تابشی محیط است، وارد شده و مقدار CET برآورد می‌گردد(۲).

کلیه موارد ذکرشده در رابطه با شاخص ET برای شاخص CET نیز صادق است.

۲-۳- شاخص اکسفورد (WD[2])

این شاخص برای اولین بار توسط لیند[3] در سال ۱۹۵۷ پیشنهاد گردید(۳). شاخص اکسفورد زمان تحمل را در مورد افراد سازش‌یافته برای کار کوتاه‌مدت در شرایط خیلی گرم پیش‌بینی می‌نماید. این شاخص در افراد ناجی، خصوصاً در معادن که با لباس مجهز به سیستم هوادهی، فعالیت می‌نمایند، کاربرد زیادی دارد. شاخص اکسفورد در مواردی که در محیط تابش‌های حرارتی قابل ملاحظه‌ای وجود داشته باشد کاربرد ندارد. از دیگر خصوصیات این شاخص کاربرد آن در متابولیسم‌های کاری مختلف (بالاتر از ۱۸۰ W/m^2) است. برای محاسبه شاخص اکسفورد از رابطه زیر استفاده می‌گردد(۲و۳) :

$$WD = ۰/۱۵\ ta + ۰/۸۵\ tnw \qquad (۵-۲۲)$$

که در آن:

ta : دمای محیط (°C)

tnw : دمای تر طبیعی (°C)

WD : شاخص اکسفورد (زمان مجاز مواجهه در محیط‌های خیلی گرم) (min)

در استفاده از این شاخص باید دقت کافی به‌عمل آورد، زیرا بعضی افراد حتی در زمان‌های مجاز مواجهه با تنش‌های حرارتی، ممکن است در معرض خطر باشند.

2- Wet & Dry bulb temperature

1 - Vernon

3 - Lind.A.R

۲-۴- شاخص میزان عرق پیش‌بینی شده ۴ ساعته (P4SR)

این شاخص در جریان جنگ جهانی دوم (سال ۱۹۴۷) توسط مک‌آردل[1] پیشنهاد (۱) و طی یکسری آزمایش‌های تجربی در آزمایشگاه مرکز تحقیقات لندن بر روی گروه کثیری از افراد با پوشش‌های مختلف و میزان‌های مختلف متابولیسم در محیط‌های متفاوت به‌دست آمد. طی آزمایش‌ها، میزان عرق افراد در معرض مواجهه اندازه‌گیری شد و شاخص فوق شکل یافت(۵).مقدار این شاخص برابر با میزان عرقی است که توسط یک فرد جوان سالم و سازش یافته که در محیطی گرم قرارگرفته ، در طی مدت ۴ ساعت تولید می‌شود. در واقع این شاخص از جمله شاخص‌هایی است که از طریق استرین حاصل از شرایط جوی ، میزان تنش را برآورد می‌نماید.

در برآورد شاخص، در وهلهٔ اول فرض شده است که دمای تابشی وجود ندارد و فرد با لباس زیر در حالت استراحت است. در برآورد این شاخص فاکتورهایی از قبیل: دمای خشک، دمای تر، سرعت جریان هوا، دمای تابشی، نوع لباس و میزان متابولیسم کاری دخالت داشته و با استفاده از نمودار مربوط که نمونه‌ای از آن در شکل (۷-۵) آورده شده است، قابل برآورد می‌باشد. عدد به‌دست آمده از نمودار مربوطه، "میزان عرق ۴ ساعته پایه[2]" (B4SR) است که همان P4SR برای زمانی است که فرد در حالت استراحت با لباس زیر بوده و دمای تابشی در محیط وجود نداشته باشد. اگر شرایط محیط با شرایط فوق مغایرت داشته باشد، لازم است قبل از استفاده از نمودار، اصلاحاتی روی دمای تر اندازه‌گیری شده در محیط ، انجام شود که شامل موارد زیر می‌باشد(۲):

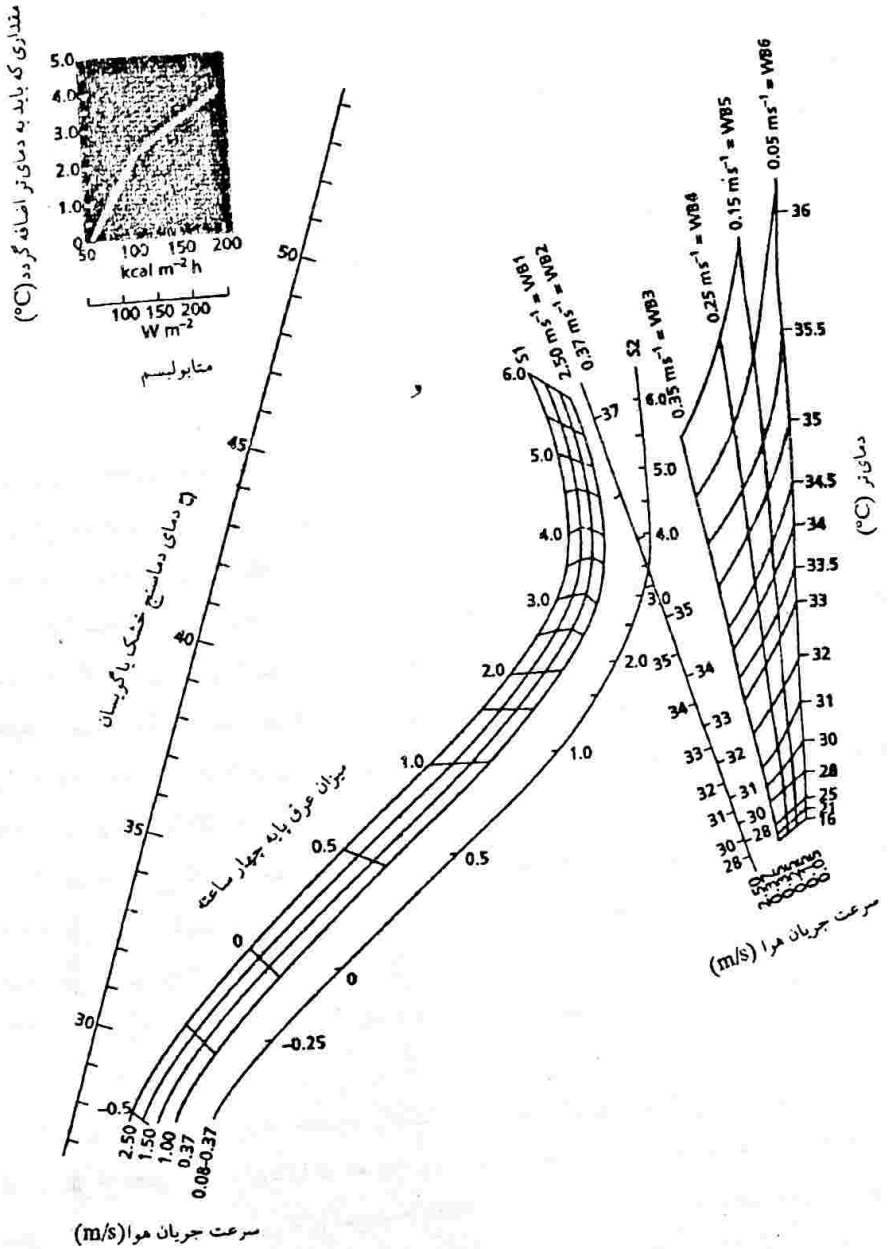
۱- در صورتی که بین دمای خشک و دمای گوی‌سان اختلافی وجود داشته باشد، به‌عبارتی در محیط، دمای تابشی وجود داشته باشد، مقدار عدد به‌دست آمده از رابطهٔ زیر به دمای تر اضافه می‌شود:

$$\text{مقدار تصحیحی} = 0.4\ (\ tg - ta\ ) \qquad (۵-۲۳)$$

۲- در صورتی که فرد در حال استراحت نبوده و به فعالیت مشغول باشد (میزان متابولیسم آن بیشتر از ۶۳ W/m^2 باشد)با توجه به میزان متابولیسم کاری او از طریق جدول (۶-۵) و یا نمودارکوچک رسم‌شده در بالای نمودار { P4SRشکل (۷-۵)} میزان عدد اصلاحی که باید به دمای تر اضافه گردد محاسبه شده و به دمای‌تر اندازه‌گیری شده اضافه می‌شود.

1 - MCardel

2 - Basic 4 hours Sweat rate



شکل ۷-۵- نمودار تعیین مقدار شاخص B_4SR (جهت تعیین شاخص P_4SR)

۳- در صورتی که فرد لباس به تن داشته باشد (با لباس زیر نباشد) مقدار ۱°C به دمای تر اضافه می‌نماییم(۳).

برای محاسبهٔ میزان B4SR بعد از تصحیحات لازم در خصوص دمای تر، دمای خشک یا گوی‌سان (بر حسب عدم وجود و یا وجود تابش‌های حرارتی) را روی مقیاس مربوط ، واقع در سمت چپ نمودار مشخص می‌نماییم . سپس موقعیت دمای تر را با توجه به سرعت جریان هوا در سمت راست نمودار مشخص کرده و در ادامه دمای خشک یا گویسان را به دمای تر وصل می‌نماییم. سپس با توجه به سرعت جریان هوا از دسته منحنی‌های واقع در قسمت وسط نمودار، مقدار B4SR قرائت می‌گردد. بعد از به‌دست آوردن میزان B4SR با توجه به لباس و فعالیت فرد، میزان P4SR از روابط زیر محاسبه می‌شود(۳):

جدول ۶-۵- جدول تصحیحات دمای تر با توجه به میزان‌های متابولیسم کاری فرد(اقتباس از منبع (۳))

نوع فعالیت	میزان متابولیسم w/m^2	میزان تصحیح °C
نشسته بدون حرکت	۷۶	۰/۶
سبک	۱۱۶	۲/۲
متوسط	۱۹۲	۳/۳
سنگین	۲۶۲	۴/۲

۱- حالتی که فرد با لباس زیر و در حال استراحت است :

$$P4SR = B4SR \qquad (۵-۲۴)$$

۲- حالتی که فرد با لباس زیر، ولی در حال کار است :

$$P4SR = B4SR + ۰/۰۱۲ (M - ۶۳) \qquad (۵-۲۵)$$

۳- حالتی که فرد در حالت استراحت با لباسی که مقاومت حرارتی 1.4 Clo دارد :

$$P4SR = B4SR + ۰/۲۵ \qquad (۵-۲۶)$$

۴- حالتی که فرد در حال کار کردن با لباسی با مقاومت حرارتی 1.4 Clo است :

$$P4SR = B4SR + ۰/۰۱۷ (M - ۶۳) + ۰/۲۵ \qquad (۵-۲۷)$$

- در روابط فوق ، M میزان متابولیسم کاری برحسب W/m^2 است.

حدود مجاز ذکرشده جهت شاخص P4SR برای یک فرد سازش یافتهٔ جوان در حالتی که لباس او حداکثر ۲/۷۱Clo باشد، 4.5 lit توصیه شده است (۲).

شاخص P4SR در محیط هایی با رطوبت پایین‌تر از ۴۰٪ دقت کافی را ندارد و استفاده

از آن توصیه نمی‌شود، زیرا انسان در اثر سازش با چنین محیط‌هایی حدود ۱۵-۱۰٪ بیشتر از حد طبیعی، عرق می‌نماید(۱)

به‌طورکلی این شاخص برای افرادی که یک شیفت ۸ ساعته در محیط‌های گرم کار می‌کنند و بعد از آن در محیط خنک می‌باشند و نیز برای محیط‌هایی با تنش حرارتی گرم و متوسط توصیه شده است (۱).

در صورتی که لباس فرد مورد اندازه‌گیری لباس کار با مقاومت Clo 1.4 نباشد، برای اصلاح دمای تر به‌جای اضافه کردن یک واحد، از کسر $\frac{1.4}{Clo}$ استفاده می‌گردد و در روابط تبدیل B4SR به P4SR از رابطه اصلی آن به شرح زیر استفاده می‌شود(۱):

$$P4SR = B4SR + \frac{0.37}{Clo}\left(0.012 + \frac{0.001}{Clo}\right)(M - 63) \qquad (۵-۲۸)$$

که در آن :

Clo : مقاومت حرارتی لباس (Clo)

M : متابولیسم (W/m^2)

۵-۲- شاخص دمای ترگویسان (WBGT)

این شاخص در سال ۱۹۵۷ برای قضاوت دربارهٔ وخیم بودن شرایط گرمایی محیط و احتمال خطرات ناشی از آن در حین تمرینات نیروی دریایی، توسط می‌نارد[1] و یاگلو[2] تدوین گردید(۶). در سال ۱۹۸۹ سازمان بین المللی استاندارد ISO این شاخص را به‌عنوان شاخص ارزشیابی تنش‌های گرمایی معرفی نمود. این شاخص متوسط آثار حاصل از مواجهه با گرما را در یک دوره زمانی از فعالیت خاص روی فرد ارزیابی می‌کند(۸و ۱۰).

به منظور محاسبه و تعیین مقدار شاخص ترگوی سان لازم است دمای تر طبیعی، دمای گویسان و متابولیسم کاری فرد اندازه‌گیری و برآورد شود. در مواردی لازم است دمای خشک هم اندازه‌گیری گردد. رابطه اصلی شاخص WBGT به شرح زیر است (۱۱):

$$WBGT = 0.7\,tnw + 0.3\,[(Tg - Ta)\,k + Ta] \qquad (۵-۲۹)$$

در رابطه بالا K ضریبی است که به لباس یا رنگ پوست فرد بستگی دارد، به‌طوری که اگر لباس سبز یا خاکستری باشد ۰/۷۵ و در صورتی که لباس نظامی خاکی به تن داشته باشد ۰/۶۵ و برای لباس سفید تمیز ۰/۴۵ است، همچنین برای رنگ پوست مقادیری را به‌صورت زیر ذکر نموده‌اند:

1 - Minard

2 - Yaglou

- سیاه پوست: ۰/۸۲
- سفید پوست: ۰/۶
- زرد پوست : ۰/۷۸

برای افراد با لباس معمولی و مقاومت حرارتی Clo ۰/۶، مقدار شاخص‌ترگوی سان برای دو وضعیت: محیط‌های کار روباز، محیط کار سرپوشیده به شرح زیر محاسبه می‌گردد:

محیط کار سرپوشیده $WBGT = 0.7\,tnw + 0.3tg$ (۵-۳۰)

اگر تابش‌های خورشیدی وجود داشته باشد:

محیط‌های کار روباز $WBGT = 0.7\,tnw + 0.2\,tg + 0.1\,ta$ (۵-۳۱)

در صورتی که محیط نامتجانس[1] بوده و بار حرارتی در ارتفاع‌های مختلف محیط ،مقادیر متفاوتی داشته باشد، لازم است شاخص WBGT در سه ارتفاع قوزک پا (۰/۱m)، ناحیه کمر (۱/۱m) و ناحیه سر (۱/۷m) اندازه‌گیری گردد (۷). اگر فرد به‌صورت نشسته‌کار نماید، پارامترها بترتیب در ارتفاع‌ها ۰/۱، ۰/۶، ۱/۱ متر از کف اندازه‌گیری می‌شوند و میزان متوسط WBGT از رابطهٔ زیر محاسبه می‌گردد:

$$WBGT = \frac{WBGT\ \text{قوزک} + (2 \times WBGT\ \text{کمر}) + WBGT\ \text{سر}}{4} \qquad (۵-۳۲)$$

درصورتی‌که محیط متجانس باشد، لازم‌است میزان شاخص WBGT تنها در ناحیهٔ سینه یا کمر اندازه‌گیری گردد(۱)

با توجه به اینکه شرایط جوی محیط کار ممکن است در ساعات مختلف شیفت کاری، متفاوت باشد. بنابراین باید مقدار شاخص WBGT در مقاطع مختلف زمانی در طی شیفت کار تعیین و سپس متوسط زمانی آن توسط رابطه زیر محاسبه شود:

$$WBGT_{(TWA)} = \frac{(WBGT1 \times T1) + (WBGT2 \times T2) + \ldots\ldots + (WBGTn \times Tn)}{T1 + T2 + T3 + \ldots\ldots + Tn} \qquad (۵-۳۳)$$

در صورتی که افراد طی شیفت کار، فعالیت‌های مختلفی را در مدت‌زمان‌های متفاوت انجام دهند، متوسط زمانی متابولیسم آنان را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$M_{TWA} = \frac{(M1 \times T1) + (M2 \times T2) + \ldots\ldots + (Mn \times Tn)}{T1 + T2 + \ldots\ldots + Tn} \qquad (۵-۳۴)$$

۱- محیطی متجانس در نظر گرفته شود که اختلاف پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در آن بیشتر از ۵٪ نباشد (۹)

مقادیر استانداردی که از طرف سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO) برای شاخص WBGT ارائه شده است، در جدول (۷-۵) آورده شده است.

از طرف انجمن ACGIH نیز مقادیر مجاز شاخص WBGT تعیین شده که در جدول (۸-۵) و نمودار (۸-۵) ارائه گردیده است. همان‌طوری که درجدول (۸-۵) ونمودار(۸-۵) مشخص شده است با توجه به میزان متابولیسم و مقدار WBGT می‌توان نسبت استراحت - کار را برای فرد در چهار طبقه (کار مداوم، ۷۵٪کار - ۲۵٪ استراحت، ۵۰٪کار- ۵۰٪ استراحت و ۲۵٪کار - ۷۵٪ استراحت) تعیین نمود.

همان‌گونه که در جدول (۷-۵) مشخص شده است سازش یا عدم سازش فرد[1] با گرما، محسوس بودن[2] یا نبودن حرکت هوا و میزان فعالیت، پارامترهایی هستند که در بکارگیری مقدار استاندارد شاخص WBGT موثر می‌باشند. به‌طوری که مقادیر استاندارد برای افراد سازش‌یافته و نیافته متفاوت بوده و هنگامی که افراد دارای فعالیت سنگین و خیلی سنگینی می‌باشند حرکت هوا از اهمیت خاصی برخوردار می‌گردد.

جدول ۷-۵- جدول مقادیر استاندارد ISO در مورد شاخص WBGT (اقتباس از منبع (۳))

طبقه میزان متابولیسم	میزان متابولیسم M		مقادیر استاندارد WBGT	
	براساس واحد سطح بدن فرد	برای فردی با سطح بدن ۱/۸ m^2	افراد سازش یافته	افراد سازش نیافته
	W/m^2	W	°C	°C
۰	M < ۶۵	M < ۱۱۷	۳۳	۳۲
۱	۶۵< M < ۱۳۰	۱۱۷ < M < ۲۳۴	۳۰	۲۹
۲	۱۳۰ < M < ۲۸۰	۲۳۴ < M < ۴۶۰	۲۸	۲۶
			حرکت هوا	حرکت هوا
			محسوس / نامحسوس	محسوس / نامحسوس
۳	۲۰۰ < M < ۲۶۰	۴۶۰ < M < ۴۶۸	۲۶ / ۲۵	۲۴ / ۲۲
۴	M > ۲۶۰	M > ۴۶۸	۲۵ / ۲۳	۲۰ / ۱۸

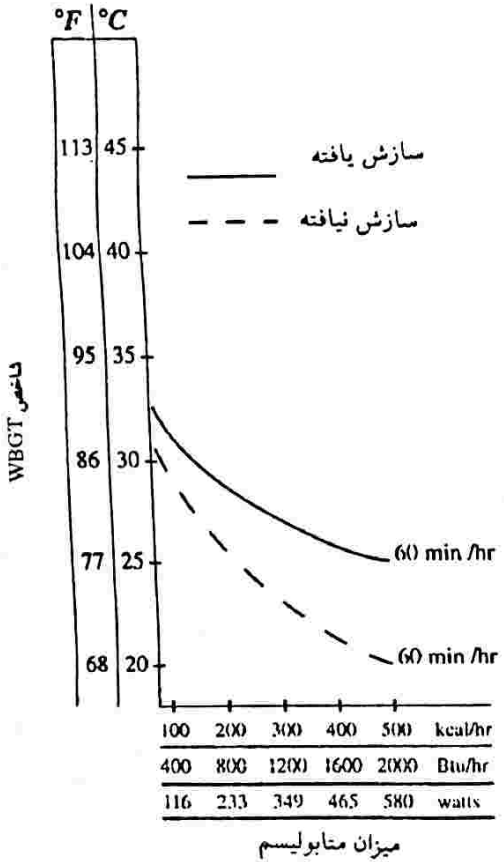
ردیف‌های میزان متابولیسم بصورت زیر تعریف می‌گردد :

۰ = استراحت ۱ = کار سبک ۲ = کار متوسط ۳ = کار سنگین ۴ = کارخیلی سنگین

۱- فرد سازش‌یافته فردی است که حداقل ۷ روز با محیط گرم در تماس باشد(۸).

۲- حرکت هوا را زمانی محسوس در نظر می‌گیرند که میزان آن از ۰/۵ m/s بیشتر باشد(۸).

همان‌طوری که قبلاً هم اشاره گردید. مقادیر استاندارد بر اساس پوشش معادل Clo ۰/۶ می‌باشد (۹). در صورتی که فرد لباسی با مقاومت حرارتی متفاوت از مقدار فوق پوشیده باشد مقادیر استاندارد تغییر می‌نماید بنابراین توصیه می‌شود در مواردی که فرد لباسی غیر از لباس سبک (Clo ۰/۶) به تن دارد با متخصص مربوطه به منظور مشاوره و تعیین ضرایب اصلاحی مشورت شود.



شکل ۸-۵- نمودار مقادیر مجاز WBGT براساس توصیه‌های ACGIH (اقتباس از منبع (۹))

جدول ۸-۵- جدول مقادیر مجاز WBGT براساس توصیه‌های ACGIH [اقتباس از منبع (۹)]

برنامه کار - استراحت	میزان کار		
	سبک	متوسط	سنگین
کار مداوم	۳۰	۲۶/۷	۲۵
۷۵٪ کار - ۲۵٪ استراحت	۳۰/۶	۲۸	۲۵/۹
۵۰٪ کار - ۵۰٪ استراحت	۳۱/۴	۲۹/۴	۲۷/۹
۲۵٪ کار - ۷۵٪ استراحت	۳۲/۲	۳۱/۱	۳۰

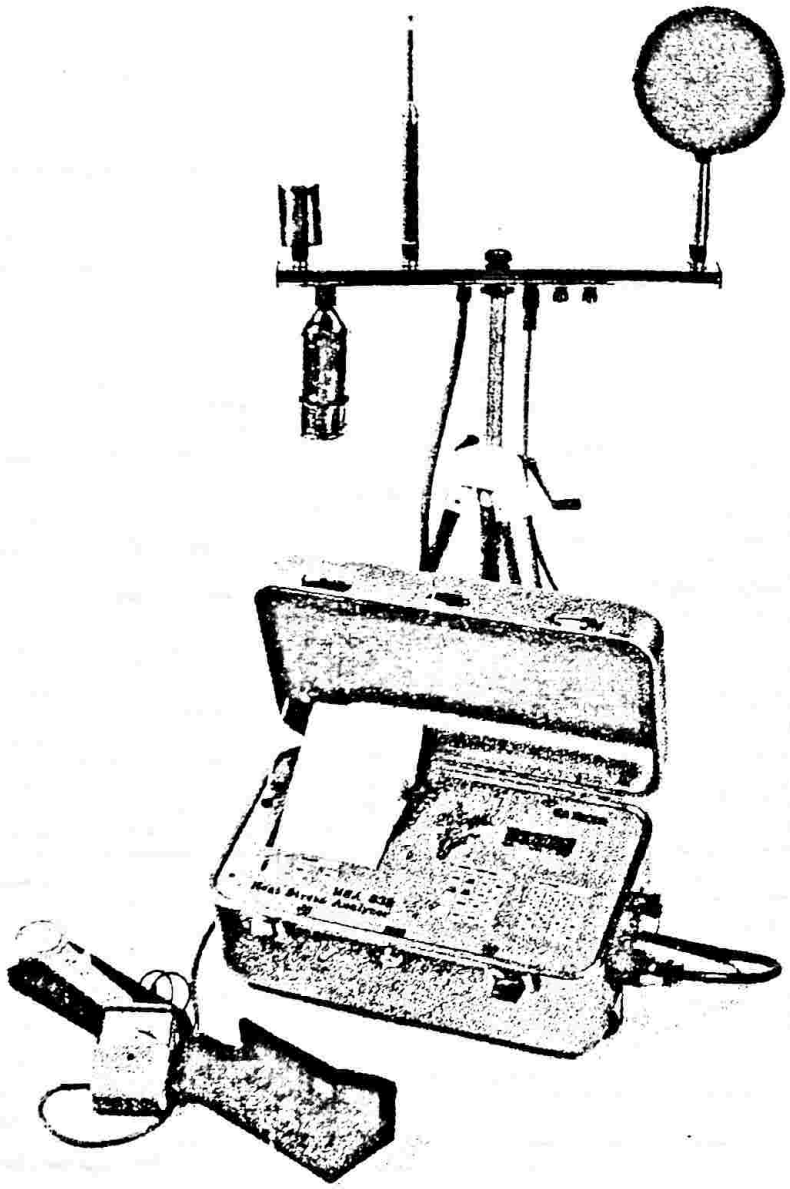
برای اندازه‌گیری شاخص WBGT از سوی کمپانی‌های مختلف، دستگاه‌هایی ساخته و به بازار ارائه شده است. این دستگاه‌ها برای اندازه‌گیری مستقیم شاخص WBGT در محیط‌های متجانس و نامتجانس طراحی و ساخته شده‌اند، نمونه‌ای از این وسایل در شکل (۹-۵) ارائه شده است.

شکل (۱۰-۵) نمونه‌ای از فرم‌های ارزیابی وضعیت تنش‌های حرارتی محیط کار بر اساس شاخص WBGT را که توسط سازمان ISO پیشنهاد شده است نشان می‌دهد. استفاده از چنین فرم‌هایی به محقق کمک می‌کند تا اطلاعات طبقه‌بندی شده و منظمی را از محیط به‌دست آورده و ارزیابی کند : NIOSH، مقادیر مجازی را برای شاخص WBGT پیشنهاد نموده که در جدول (۹-۵) ارائه شده است:

جدول ۹-۵- جدول مقادیر مجاز WBGT از سوی NIOSH (اقتباس از منبع (۳)).

میزان کار - استراحت	کار سبک ۲۰۰ Kcal/h	کار متوسط ۳۵۰ Kcal/h	کار سنگین ۵۰۰ Kcal/h
کار مداوم	۳۰ (۲۷/۵)*	۲۷ (۲۵)	۲۵ (۲۱)
کار ۷۵٪ استراحت ۲۵٪	۳۱ (۲۹)	۲۸ (۲۶)	۲۶ (۲۳)
کار ۵۰٪ استراحت ۵۰٪	۳۲ (۳۰)	۲۹ (۲۸)	۲۷/۵ (۲۶)
کار ۲۵٪ استراحت ۷۵٪	۳۳ (۳۱)	۳۱ (۲۹/۵)	۳۰ (۲۹)

* مقادیر ارائه شده در داخل پرانتز برای افراد سازش‌نیافته است.



شکل ۹-۵- نمونه‌ای از دستگاه WBGT متر

تاریخ:	فرم ارزیابی محیط‌های گرم توسط شاخص WBGT	نام تکمیل کننده فرم:
شماره:	مطابق با استاندارد ISO 7243	

توضیح محل کار و نقاط اندازه‌گیری: (در صورت لزوم از پشت صفحه استفاده گردد):

مدت زمان ارزیابی:	سال:	وضعیت هوای خارج
	ماه:	
	روز:	
	ساعت:	

وضعیت کارگران از نظر سازش حرارتی :	لباس یا تفاوت حرارتی لباس

نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری

پارامترها	اندازه‌گیری ممتد	اندازه‌گیری منقطع	تخمین	محیط متجانس	محیط نامتجانس			مدت مواجهه	مقدار متوسط
					سر	کمر	قوزک		
دمای گویسان									
دمای تر طبیعی									
دمای هوا									
WBGT									
متابولیسم									

توضیحات :

نتایج نهایی

میزان شاخص WBGT

میزان مقاومت لباس Clo	فرد سازش یافته با گرما
	فرد سازش نیافته با گرما

میزان مجاز WBGT

بحث و نتیجه‌گیری

شکل ۱۰-۵- نمونه‌ای از فرم ارزیابی استرس گرمایی بر اساس شاخص WBGT (اقتباس از منبع (۸)).

۶-۲- شاخص دمای گوی تر (WGT):

این شاخص در اصل دمای یک دماسنج است که در اثر قرار گرفتن دماسنج در محیط گرم، از طریق دریافت انرژی تابشی شروع به گرم شدن کرده و با توجه به سرعت جریان هوا و فشار بخار آب در اثر عمل تبخیر، شروع به سرد شدن می‌نماید. سپس با توجه به تبادلات گرمایی بین محیط و دماسنج به حالت تعادل دمایی می‌رسد. این دماسنج طوری طراحی شده است که از لحاظ تبادلات حرارتی با محیط ، همانند انسان عمل می‌کند و همان روابطی که بر تبادلات حرارتی بدن انسان حاکم است بر این دماسنج نیز حاکم می‌باشد(۱۳).

دمای این دماسنج که به شاخص بوتزبال[1] نیز معروف است نخستین بار توسط بوتزفورد[2] پیشنهاد و ارائه شده است(۱۳). این شاخص یک شاخص تجربی - مستقیم می‌باشد. از نظر ساختمانی همان‌طور که در شکل (۱۱-۵) مشاهده می‌شود دماسنج از یک گوی سیاه مسی که توسط پارچه‌ای سیاه‌رنگ پوشیده شده، تشکیل گردیده است. ساقه گوی دو جداره بوده و در قسمت مرکزی آن، دماسنج کالیبره شدهٔ خاصی قرار داده شده (یک نوع ترموکوپل) تا دمای مرکزی گوی را اندازه‌گیری نماید. قسمت جداره ساقه در اصل مخزن آب بوده و انتهای پارچه‌ای که دور گوی کشیده شده است در آن قرار گرفته و توسط مخزن آب خیس می‌گردد. در بعضی از طرح‌ها، دماسنج مجهز به سیفونی است که از طریق آن، آب بر روی پارچه هدایت شده و آن را خیس می‌نماید.

از مزایای مهم این شاخص می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (۱۴):

۱- سادگی اندازه‌گیری و ارزیابی تنش حرارتی محیط، بطوری که این شاخص احتیاج به هیچ محاسبه‌ای نداشته و عدد به‌دست آمده از اندازه‌گیری، بطور مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- این شاخص همبستگی معنی‌داری با دیگر شاخص‌های گرمایی دارد. به‌طوری که بین این شاخص و شاخص‌های WBGT و ET روابط زیر برقرار است (۱۵):

$$ET = ۱/۲۵ - ۱۷/۴\ WGT\ (°C) \qquad (۵-۳۵)$$

$$ET = ۱/۲۵ - ۵/۲\ WGT(°F) \qquad (۵-۳۶)$$

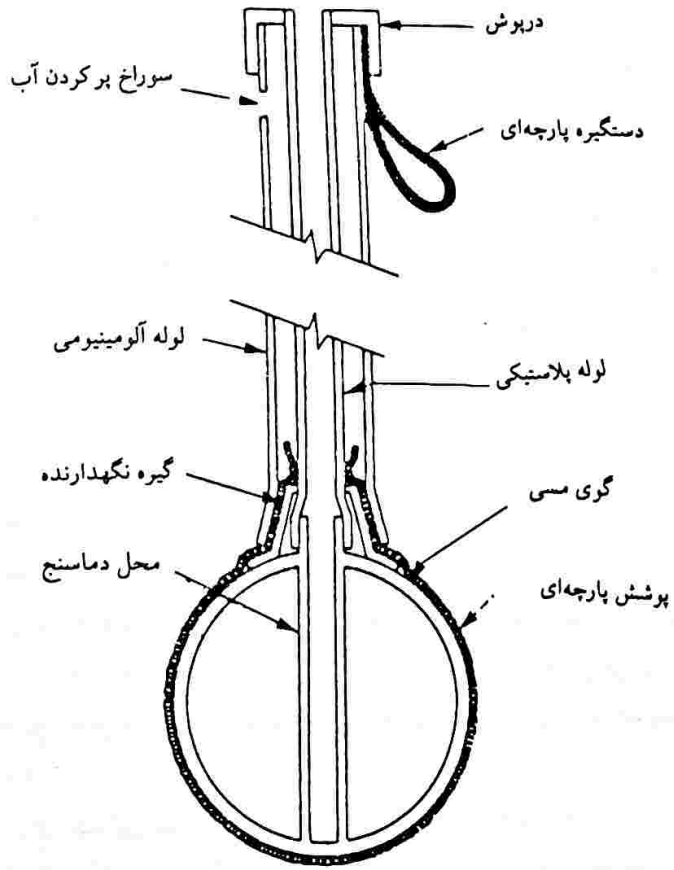
$$WBGT = ۱/۳۰۵۳\ WGT - ۳/۵۰۹۶ \qquad (۵-۳۷)$$

$$WBGT = ۰/۰۰۶۰۳۲\ WGT^2 + ۰/۹۳۰۵\ WGT + ۲/۰۱۴۲ \qquad (۵-۳۸)$$

$$WBGT = ۱/۱۶۶۳\ WGT + ۰/۳۲۲۴\ (Ta - tnw) - ۲/۹۶۱۸ \qquad (۵-۳۹)$$

1 - Botsball

2 - Botsford

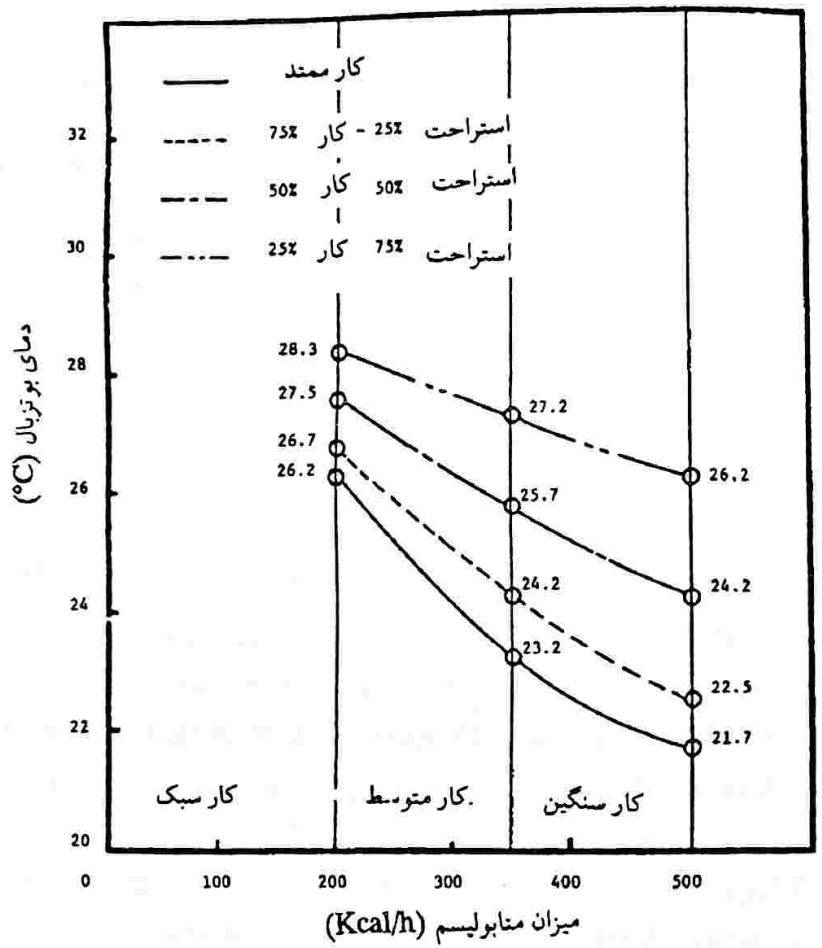


شکل ۱۱-۵- طرح شماتیک دماسنج گوی تر (بوتزبال)

حدود مجازی که برای این شاخص ذکر گردیده، مشابه شاخص WBGT می‌باشد و در جدول (۱۰-۵) و نمودار(۱۲-۵) ارائه شده است (۱۶).

جدول ۱۰-۵- حدود مجاز شاخص WGT [اقتباس از منبع (۳)]

متابولیسم Kcal/h	کار ٪۲۵ استراحت ٪۷۵	کار ٪۵۰ استراحت ٪۵۰	کار ٪۷۵ استراحت ٪۲۵	کار ٪۱۰۰ استراحت ٪۰
۲۰۰	۲۸/۳ °C	۲۷/۵°C	۲۶/۷°C	۲۶/۲ °C
۳۵۰	۲۷/۲ °C	۲۵/۷°C	۲۴/۳°C	۲۳/۲ °C
۵۰۰	۲۶/۲ °C	۲۴/۳°C	۲۲/۵°C	۲۱/۷ °C



شکل ۱۲-۵- نمودار حدود مجاز شاخص WGT [اقتباس از منبع (۳)]

بـــــــخش نهم

اصول کنترل شرایط جوی محیط کار

مطالب این بخش شامل :

- کنترل تنش‌های گرما
  - کنترل مهندسی تنش گرما
  - کنترل مدیریتی
- کنترل تنش‌های سرما
  - لباس
  - فعالیت کاری
  - نسبت‌های کار - استراحت
- کنترل و راحتی

۹- اصول کنترل شرایط جوی محیط کار

مقدمه

در بسیاری از محیط‌های کار، شرایط نامناسب جوی حاکم می‌باشد. نمونه‌ای از فعالیت‌های شغلی که شاغلین آن ممکن است در معرض تنش گرما باشند، در جدول (۱-۹) ارائه شده است. سهم نسبی عوامل محیطی، فعالیت (میزان متابولیکی) و لباس (مواردی که لباس حفاظتی، رسپیراتورها و غیره می‌توانند سبب افزایش بار حرارتی شوند) در جدول نشان داده شده است.

ذیلاً اصول کنترل برای محیط‌هایی با تنش گرما و سرما بحث شده است. در ارتباط با آسایش حرارتی، کنترل شامل تنظیم‌های ظریفی است که به‌طور جداگانه بحث گردیده‌اند.

۱- کنترل تنش‌های گرما

در ارتباط با کنترل تنش‌های گرمایی در قدم اول، لازم است با برنامه‌ریزی صحیح از مواجهه با شرایطی که می‌تواند منجر به تنش گرمائی شود،اجتناب نموده و یا اینکه آن را به حداقل رساند. این موضوع خصوصاً در مورد مشاغلی نظیر تعمیر و نگهداری تجهیزات داغ، تعویض مواد عایق بر روی لوله‌های بخار و دیگر مشاغلی که کوتاه مدت انجام شده و می‌توان از پیش در مورد آنها برنامه ریزی کرد، کاربرد دارد.

اگر امکان عدم مواجهه با گرما وجود نداشته باشد، لازم است که میزان خطر، ترجیحاً از طریق کنترل‌های محیطی، به حد قابل قبول کاهش یافته و کنترل گردد. شکل (۲-۹) نکاتی راکه باید در برنامه‌ریزی مشاغل داغ مورد توجه قرار گیرد، نشان می‌دهد. در مواردی که علی‌رغم کنترل‌های محیطی، احتمال تنش‌های گرما وجود داشته باشد، باید احتیاطات اضافی دیگری به‌کار گرفته شود (مثلاً از طریق به‌کارگیری معیارهای پزشکی در انتخاب و سازش افراد، آموزش، محدود کردن دوره‌های کار و لباس‌های حفاظتی حرارتی) تا میزان مخاطرات کاهش یابد.

قبل از انتخاب شیوه کنترل، لازم است اجزای تشکیل دهنده تنش گرما که کارگر با آن مواجه بوده و یا پیش‌بینی می‌شود که درموقعیت جدید شغلی با آن مواجه گردد، تعیین شوند. سپس با مقایسه راههای مختلف ممکن، می‌توان مؤثرترین شیوه را برای کنترل انتخاب نمود. مرور معادله تعادل حرارتی که در بخش ۴ شرح داده شده است، نشان می‌دهد که تنش گرما را

جدول ۱-۹ - نمونه‌هائی از مشاغل در معرض مخاطرات تنش گرما - اقتباس از رفرانس (۲)

فعالیت‌های شغلی	دما			سرعت	میزان	*PPE
	تابشی	هوا	تر	جریان هوا	متابولیکی	
تولید:						
- جابجایی مواد مذاب، آهنگری	H	m	m	m	h	+
- تصفیه فلزات	h	m	m	m	h	
- جوشکاری و لحیم کاری	h	m	m	m	m	+
- شیشه سازی	H	h	m	l	h	+
- تعمیر کوره	h	h	m	l	h	+
پرداخت فلزات، چربی‌گیری ،گالوانیزه کردن	m	m	h	m	m	
معدن کاری و تونل کاری:						
سینه کار - معدن زیرزمینی	m	h	m	l-m	h	+
سینه کار - معادن و تونل‌های کاملا مکانیزه	m	h	h	l-m	h	
کلیه فعالیتها در معادن خیلی عمیق	h	h	m	m	m	
عملیات نجات در معادن - اطفاء حریق	m	h	h	l-m	h	+
متفرقه:						
رخت شوی‌خانه	m	m	h	l	m	
آشپزخانه	h	h	h	l	m	
اطفاء حریق	h	h	h	l-m	h	+
اتاق بویلر - کمپرسورخانه، تولید برق	h	h	m	m	m	
نقل و انتقال و خدمات نظامی:						
اتاق بویلر - کشتی‌ها	h	h	h	l	m	
تانک	h	h	m	l	m	+
هواپیمای جنگی	m	h	m	!	!	
کار در محیطهای روباز و اماکن داغ:						
کشاورزی، خرید و فروش در محیطهای باز	H	h	m	m	h	
معدن سنگ						

H : بالا همراه یا انرژی تابشی مادون قرمز

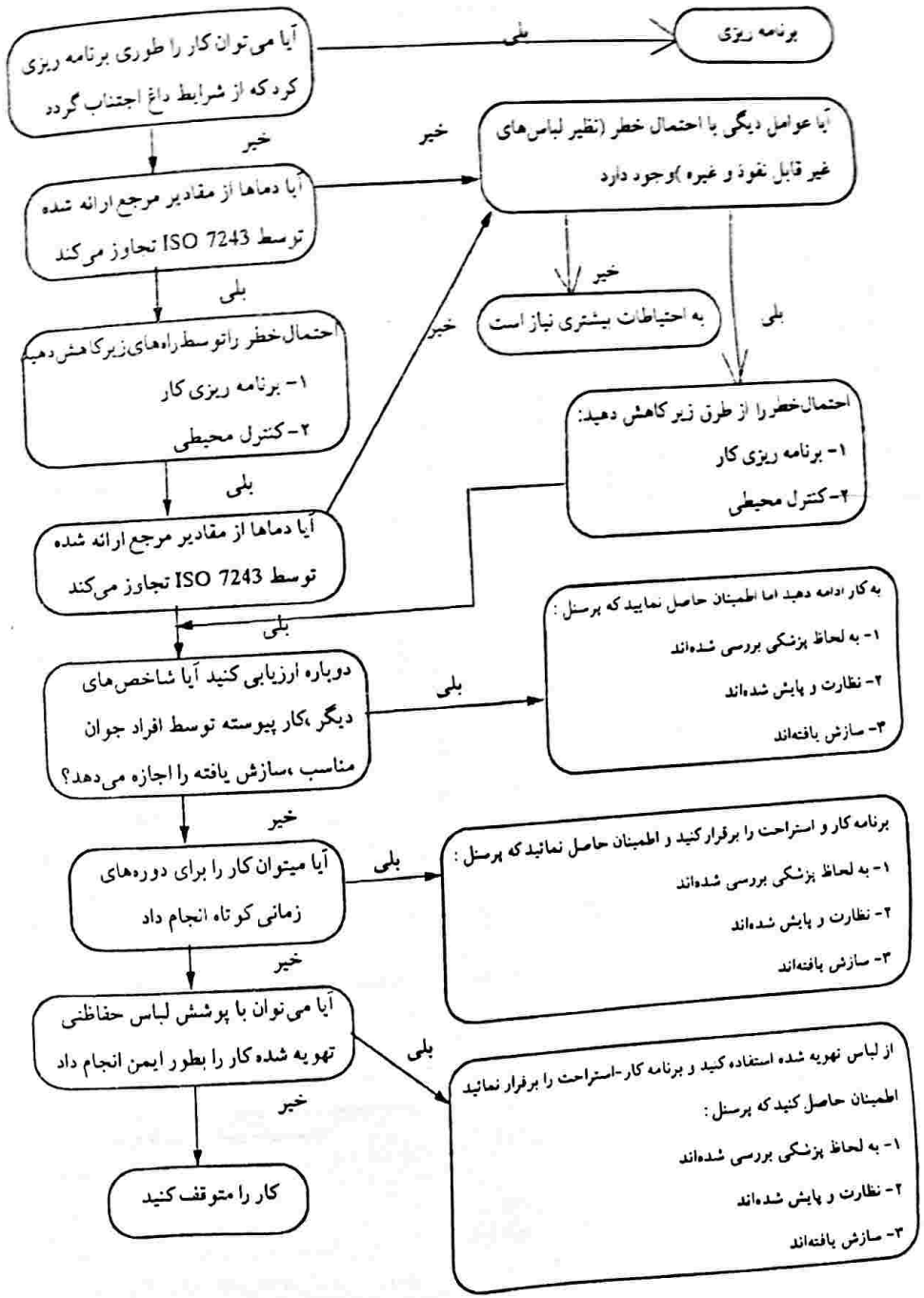
h : زیاد

m : متوسط

l : کم

+ : مواردی که پوشیدن لباس حفاظتی ممکن است به‌طور جدی سبب استرین گرمایی شود

* - Personal Protective Equipment



شکل ۲-۹ - فلوچارت مورد استفاده در برنامه ریزی کار در محیط‌های داغ - اقتباس از رفرانس (۲)

می‌توان با اصلاح یک یا چند عامل کاهش داد. این عوامل عبارتند از: میزان گرمای متابولیکی تولیدشده در بدن، تبادل حرارتی از راه جابجایی، تبادل حرارتی از راه تابش و تبخیر عرق. بار گرمای محیطی (E,R,C) را می‌توان با استفاده از شیوه‌های مهندسی کنترل (نظیر تهویه، تهویه مطبوع، عایق‌بندی، اصلاح فرایند یا عملیات تولید) کاهش داد. گرمای متابولیکی تولیدشده در بدن را می‌توان از طریق تمرینات عملی کار و کاهش میزان فعالیت کارگر (نظیر استفاده از وسایلی که به انجام کار کمک کرده و از میزان فعالیت جسمانی کارگر بکاهد) اصلاح نمود.

۱-۱- کنترل مهندسی تنش گرما

به منظور کنترل تنش‌های گرما در محیط کار و اطمینان از برقراری شرایطی که در آن مواجهه کارگران با گرما در ردیف قابل قبول باشد، لازم است روش‌های مهندسی به‌کار گرفته شود. نقش کنترل‌های مهندسی عبارت است از کمک به برقراری اتلاف گرما از بدن مساوی با گرمایی که از سوی محیط به بدن تحمیل شده است. کنترل‌های مهندسی را می‌توان به طرق مختلف به شرح زیر انجام داد (۱):

- کنترل در چشمه
- سرمایش موضعی در ایستگاه کار
- تهویه عمومی
- کنترل رطوبت

۱-۱-۱- کنترل در چشمه

اولین و اصلی‌ترین اقدام در کنترل مهندسی گرما در محیط کار آن است که چشمه تولید گرما حذف گردد. گاهی اوقات امکان تغییر عملیات یا جایگزین کردن اجزائی از فرآیند با اجزائی که دمای کمتری دارند وجود دارد. به عنوان مثال استفاده از کوره‌های القایی در عملیات خاصی در آهنگری به جای کوره‌هایی که با شعله مستقیم کار می‌کنند. اما از آنجا که در اکثر موارد امکان حذف چشمه تولید گرما وجود ندارد، چشمه تولید به روشهای مختلف کنترل می‌شود.

به‌طورکلی کنترل گرما در چشمه شامل جدا سازی، کاهش نشر، عایق نمودن، سپرگذاری در مقابل تابش، تهویه موضعی یا ترکیبی از موارد فوق می‌باشد.

۱-۱-۱-۱- جداسازی[1]

مهمترین روش عملی جهت محدود کردن مواجهه با گرمای ناشی از فرایندهای داغ یا عملیاتی که بی‌نهایت داغ هستند، جداسازی چشمهٔ گرماست. چنین منابعی را می‌توان با استفاده از وسایل تفکیک‌کننده از سایر قسمت‌های محیط کار مجزا کرد و یا در ساختمان جداگانه‌ای قرار داد. همچنین می‌توان این گونه منابع گرمایی را در محیط بیرون با حداقل حفاظت قرار داد. به عنوان نمونه می‌توان به بویلرهای صنعتی اشاره نمود که از سایر قسمت‌های کارگاه به کمک دیواره‌های ثابت، جدا می‌شوند.

۲-۱-۱- کاهش میزان نشر از سطوح داغ

میزان تابش‌های حرارتی از سطوح یک چشمه داغ را می‌توان از طریق اصلاح سطوح در جهت کاهش میزان نشر، تقلیل داد. هنگامی که یک اجاق، بویلر یا دیگر سطوح داغ با رنگ آلومینیمی پوشش داده شوند، میزان نشر گرما تقلیل می‌یابد. این اصلاح دو مزیت به همراه دارد:

الف - گرمای تابشی کمتری به کارگرانی که در نزدیکی چشمه فعالیت دارند، منتقل می‌شود.

ب - گرما در داخل چشمه حفظ شده و بدین ترتیب در مصرف انرژی و هزینه ناشی از آن صرفه‌جویی می‌گردد.

نشر یک چشمه داغ را همچنین می‌توان با پوشش منبع توسط ورق آلومینیم کاهش داد. سایر فلزات نظیر استیل گالوانیزه دارای نشر نسبتاً پایینی هستند اما نسبت به آلومینیم، قیمت بیشتری دارند. از طرف دیگر با گذشت زمان، نشر ورق استیل گالوانیزه نسبت به ورق آلومینیم سریع‌تر افزایش می‌یابد(۱).

به‌منظور دستیابی به نشر کمتر، تیرهای فولاد ساختمانی با رنگ آلومینیمی، رنگ می‌شوند. هر چند سطوحی که با رنگ آلومینیمی، رنگ شده‌اند نسبت به ورق آلومینیمی میزان نشر بیشتری دارند، اما در دمای معین نسبت به ورق‌های فولادی که با رنگ‌هایی با پایه روغنی رنگ شده‌اند گرمای کمتری منتشر می‌کنند. در جدول (۱-۹) میزان نشر و بازتاب مواد مختلف نشان داده شده است.

1 - Isolation

۳-۱-۱- عایق

عایق از فرار گرمای محسوس و تابشی به محیط پیشگیری می‌نماید. مثال معروفی از عایق که در حفظ انرژی نیز کاربرد دارد. عایق‌پیچی لوله‌های بخار است. با کاهش میزان انتشار گرما به محیط، عایق به حفظ انرژی و منابع سوخت نیز کمک می‌نماید.

علاوه بر کاهش تبادل تابشی، عایق میزان انتقال گرما به طریق جابجایی از وسایل داغ به محیط را نیز تقلیل می‌دهد. این عمل از طریق به حداقل رسانیدن جریان‌های جابجایی محلی (که در نتیجه گرم شدن هوا به هنگام تماس با سطوح خیلی داغ حاصل می‌شود) صورت می‌گیرد.

۴-۱-۱- سپرگذاری در مقابل تابش

سپرگذاری در مقابل گرمای تابشی یکی از اقدامات مهم کنترلی است. مشخصات گرمای تابشی کاملاً با ویژگی‌های هوایی با دمای بالا متفاوت است . برای آنکه کنترل مهندسی مؤثر باشد، لازم است این تفاوت کاملاً درک شود. گرمای تابشی از هوا عبور می‌کند، بدون آنکه آن را گرم کند و تنها اشیایی را که در مسیر عبور گرمای تابشی قرار داشته و توانایی جذب آن را دارند، گرم می‌نماید. سپرگذاری منابع تابش‌های حرارتی، به معنای قرار دادن یک مانع میان کارگر و چشمه انرژی است (منظور چشمه‌ای است که حفاظت کارگر در مقابل تابشهای حرارتی آن هدف می‌باشد). انواع سپرهای مورد استفاده عبارتند از :

الف - سپرهای بازتاب‌دهنده [1]

ب - سپرهای جاذب [2]

ج - سپرهای شفاف [3]

د - سپرهای قابل انعطاف [4]

۱-۴-۱-۱- سپرهای بازتاب‌دهنده

سپرهای بازتاب‌دهنده از ورق‌های آلومینیم، فولاد زنگ‌نزن یا دیگر مواد فلزی با سطوح براق ساخته شده‌اند. آلومینیم به‌طور متوسط دارای بازتابی معادل ۸۵ تا ۹۵ درصد است. همچنین از فویل آلومینیم (در عایق پیچی کردن) و رنگ آلومینیمی استفاده می‌شود.

1 - Reflecting
2 - Absorbing
3 - Transparent
4 - Flexible

درصد بازتاب سپرهای محافظ که از دیگر مواد ساخته شده‌اند در جدول (۱-۹) ارائه شده است.

جدول ۱-۹- راندمان نسبی مواد مختلفی که برای سپرگذاری بکار می‌روند -اقتباس از رفرانس(۱)

چشمه	بازتاب تابش گرما در سطح (٪)	نشر تابش گرما از سطح (٪)
آلومینیم براق	۹۵	۵
آلومینیم پولیش شده	۹۲	۸
قلع پولیش شده	۹۲	۸
روی براق	۹۰	۱۰
آلومینیم، اکسیده شده	۸۴	۱۶
آلومینیم جلا داده شده	۸۰	۲۰
قلع جلا داده شده	۸۰	۲۰
روی اکسید شده	۷۳	۲۷
رنگ آلومینیم، تازه، تمیز	۶۵	۳۵
آهن، استیل (صیقلی)	۴۵	۵۵
رنگ آلومینیمی، (تیره، کثیف)	۴۰	۶۰
ورق آهن ، اکسیده شده	۳۵	۶۵
استیل و آهن	۱۰-۲۰	۸۰-۹۰
آجر	۲۰-۴۰	۸۰-۹۶
لاک و الکل سیاه	۱۰	۹۰
چوب	۴-۸	۹۲-۹۶
ورق آسبست	۴-۸	۹۲-۹۶
رنگهای اکسیدی، تمام رنگها	۶	۹۴

شرط کاربرد موفق سپرهای آلومینیمی، درک اصول زیر است :

- سطح آلومینیمی باید مستقیما در معرض هوا باشد و به هیچ وجه نباید توسط مواد دیگر محاط گردد؛
- سپر آلومینیومی نباید رنگ، شده یا لعاب داده شود.

- سپر آلومینیمی باید عاری از روغن، چربی و کثافت باشد تا از حداکثر توانایی بازتاب آن استفاده شود؛
- هنگامی که از ورق آلومینیم برای محصور نمودن یک چشمه داغ استفاده می‌شود، سپر آلومینیمی باید از منبع، چند اینچ فاصله داشته باشد،
- سپرهای موجدار باید طوری نصب شوند که ترجیحاً چین‌هایا موج‌ها به‌صورت عمودی قرار گیرند.بدین ترتیب به پاک ماندن سطح از مواد خارجی کمک می‌شود.

۲-۴-۱-۱- سپرهای جاذب

سپرهای جاذب، تابش‌های فروسرخ را براحتی جذب می‌نمایند. این نوع سپرها ترجیحاً صفحات مسطح سیاهرنگ بوده و معمولاً" شامل دو یا سه ورق است که توسط سیالی (معمولاً آب) از یکدیگر جدا شده‌اند. گرما توسط آبی که میان دو صفحهٔ فلزی در سپر جریان دارد، گرفته می‌شود. انتقال گرما از سپر از طریق هدایت صورت می‌پذیرد. سطح (یا سطوح) سپرهای جاذب که در معرض محیط کار هستند باید از آلومینیم یا سطوح آبکاری شده با آلومینیم ساخته شوند تا میزان نشر کاهش یابد.

۳-۴-۱-۱- سپرهای شفاف

سپرهای شفاف دارای دو نوع کلی هستند: شیشه مخصوص و شبکه‌های فلزی. شیشه مخصوص میزان عبور تابش فروسرخ را کاهش می‌دهد زیرا این شیشه‌ها یا جاذب گرما بوده یا بازتاب‌دهنده تابش فرو سرخ هستند. شیشه‌های بازتاب‌دهنده تابش‌های فروسرخ به‌طور معمول در پنجره‌های اتاق‌های کنترل به‌کار می‌روند. شبکه‌های فلزی که از زنجیرها و شبکه‌های سیمی ساخته می‌شوند با بازتاب نسبی تابش این امکان را فراهم می‌کنند که رسیدن گرمای تابشی به کارگر کاهش یابد.

در مواردی که عملیات دستی امکان استفاده از موانع توپر (یک پارچه) را نمی‌دهد استفاده از این شبکه‌ها کاربرد می‌یابد.

۴-۴-۱-۱- سپرهای قابل انعطاف

سپرهای قابل انعطاف، منسوجاتی هستند که با آلومینیم عمل آمده‌اند. از آنها به‌عنوان پیش‌بند یا سایر لباسها استفاده می‌شود و با بازتاب تابش به میزانی تا ۹۰٪، کارگر در مقابل تابش حفاظت می‌گردد.

۵-۱-۱- تهویه مکشی موضعی

از آنجایی که هوای گرم به‌طور طبیعی میل به بالا رفتن دارد، استفاده از هودهای کانوپی یا مکش طبیعی یا مکانیکی در بالای کوره‌ها و تجهیزات داغ معمول می‌باشد. اما باید به‌خاطر داشت که تهویه موضعی بتنهایی مؤثر نبوده و لازم است از سپرهای تابشی نیز استفاده گردد.

۶-۱-۱- سرمایش موضعی در ایستگاه کار

هنگامی که به‌دلیل محدودیت‌های موجود، امکان کنترل گرما در چشمه یا کل محیط کار وجود نداشته باشد، می‌توان مشکل را به‌طور موضعی بر طرف نمود. در چنین مواردی، مقدار کافی از هوای خنک به‌نحوی وارد می‌شود که کارگر توسط اتمسفری مستقل از اتمسفر محیط کار محاط گردد. چنین عملی سرمایش محلی نامیده می‌شود. برحسب اینکه جزء اصلی گرما به شکل تابشی یا جابجایی باشد، دو گونه عمل می‌گردد:

اگر قسمت عمدهٔ بار گرمایی را گرمای جابجائی تشکیل دهد، سیستم سرمایش موضعی، بلافاصله هوای خنک‌تر با سرعت بالاتر را جایگزین هوای گرم می‌نماید. اگر هوای ورودی دارای دمای مناسب باشد و با هوای گرم محیط مخلوط نشود، به سرمایش بیشتری نیاز نیست.

در صورتی که بخش عمده بار گرمایی را گرمای تابشی تشکیل دهد لازم است برای خنثی کردن انرژی تابشی اقداماتی صورت گیرد. در این مورد باید دمای هوای واردشده آنقدر کم باشد که مقدار تبادل از راه جابجایی (C) در مدل تبادل حرارتی منفی شده و جبران مقدار تبادل تابشی (R) را بنماید.

همچنین لازم است سرعت جریان هوا کافی باشد تا فرد از طریق تبخیر عرق خنک شود. معذالک استفاده از سرعت جریان‌های بالا (افزایش سرمایش تبخیری) ممکن است موجب تبخیری بیش از مقدار مورد نیاز گردد. این امر بیانگر این اصل است که برخلاف آنچه اغلب در صنایع متداول است نباید از هواکش برای خنک کردن استفاده شود.

مشکل عمده در طراحی سیستم سرمایش موضعی وارد نمودن هوا با حداقل اختلاط با هوای گرم محیط است. استفاده از جت‌های با سرعت زیاد[1] اختلاط را تشدید می‌نماید، لازم است هوا از طریق یک کانال به حوزهٔ کار وارد شود. در شرایط بسیار گرم، کارگران باید در داخل یک اتاقک عایق‌بندی شده که به‌طور محلی خنک می‌شود قرار گیرند یا پس از دوره‌های کوتاه کار و مواجهه با گرمای زیاد به اتاق مذکور برگردند. کاربرد چنین اتاقک‌هایی از صنعتی به صنعت

1 - High - Velocity jets

دیگر متفاوت است. اتاق‌های تهویه شده جرثقیل‌ها یکی از کاربردهای معمول است.

۷-۱-۱-تهویه عمومی

روش معمول برای حذف گرما در صنایع داغ، تهویهٔ عمومی است، بدین منظور از دهانه‌های باز (سوراخ‌ها) دردیوارها برای ورود هوای خنک بیرون و دهانه‌های باز در سقف‌ها برای تخلیهٔ هوای گرم (معمولاً از نوع ثقلی) استفاده می‌شود.

بخش عمده اتلاف گرما از منابع داغ از طریق تابش صورت می‌گیرد و توسط دیوارها و دیگر بناهای توپر (جامد) جذب می‌گردد. سطوح گرم‌شده به‌عنوان منابع ثانویه گرمای جابجائی و نیز تابشی عمل می‌نمایند. نهایتاًبخش اعظم گرما باید از فضای بسته توسط تهویه گرفته شود. بدین جهت تهویه عمومی اقدامی اساسی در میان استراتژی کلی کنترل گرماست. هر چند که با استفاده از تهویه عمومی نمی‌توان مواجهه با تابش‌های حرارتی مستقیم را خنثی نمود .ناکافی بودن مساحت دهانه‌های باز (در دیوارها و سقف) و محل نامناسب ورودی‌ها غالباً به توزیع غیرصحیح هوا در ساختمان منجر می‌گردد.

۱-۷-۱-۱- تأمین هوای تازه

گاهی اوقات استفاده از هوای بیرون بدون آنکه خنک شده باشد ،در کنترل گرما مؤثر است، اما برای صنایع جدید لازم است سیستم تهویه عمومی طراحی شود. به‌نحوی که هوای بیرون قبل از توزیع در کارگاه خنک گردد.

۱-۷-۱-۱- خنک شدن در اثر تبخیر

خنک نمودن هوا از طریق تبخیر ،روشی معتبر در کاهش دمای دماسنج خشک (هوا) است. در یک کولر تبخیری با استفاده از اسپری‌ها یا فیلترهای تر میان هوای ورودی و آب تماس برقرار شده و هوا به‌طور آدیاباتیک (بی‌دررو) خنک می‌شود. این بدان معناست که گرمای قابل ملاحظه‌ای به هوا داده نشده یا از آن منتقل نمی‌شود. در نتیجه با تبدیل گرمای محسوس به گرمای نهان، دمای دماسنج خشک کاهش و رطوبت نسبی افزایش می‌یابد. افزایش رطوبت به هوای ورودی ضرورتاً نتیجه‌ای منفی را در پی ندارد، زیرا در وضعیت جدید، دمای دماسنج خشک ممکن است کمتر از دمای پوست بوده و کارگر از طریق جابجایی خنک شود.

۲-۱-۷-۱-۱- سیستم‌های کویل سرمایش[1]

در سیستم کویل تبریدی، هوا از روی کویل‌ها عبور می‌کند. کویل‌ها حاوی موادی هستند که دمای آن به اندازه کافی کمتر از دمای هواست. در نتیجه باعث خنک شدن هوا می‌شوند. این سیستم‌ها معمولاً به یکی از انواع زیر یافت می‌شوند:

-کویل‌های سرمایش حاوی آب سرد[2]: در این سیستم (ساده‌ترین نوع است) آب سرد مستقیماً در کویل جریان داشته و هوا از روی کویل عبور می‌کند، بدین ترتیب گرمای آن گرفته می‌شود. به عنوان یک قاعده کلی می‌توان گفت آبی که وارد کویل می‌شود نباید دمایی بیش از ۱۱°C داشته باشد. آبی که از کویل خارج می‌شود قابل استفاده مجدد نیست، مگر آنکه برای فرآیند کار مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

- سیستم مجهز به سردکننده‌های آب[3]: هنگامی که منبع کافی جهت تأمین آب موجود نبوده و یا تأمین آب با دمای مطلوب میسر نباشد، می‌توان به‌طور مصنوعی آب را خنک کرده و دوباره به جریان انداخت. این سیستم غالباً در مواردی به‌کار گرفته می‌شود که ماده خنک‌کننده باید مسیر طولانی را طی کرده و بر بارهای حرارتی مختلفی غلبه نماید. معمولاً گرما از طریق تبرید از آب گرفته می‌شود، اما در برخی عملیات این امر از طریق ذوب یخ صورت می‌پذیرد.

-کویل‌های تبریدی[4]: همان‌گونه که از نام آن پیداست کویل‌ها از طریق تبخیر مستقیم و انبساط مایع مبرد خنک می‌شوند. این روش در واحدهای کوچک و نیز سیستم‌های مرکزی بزرگ کاربرد دارد.

۲-۷-۱-۱- توزیع هوای جبرانی

جهت جریان جابجایی در اطراف اجسام داغ به‌طور طبیعی به سمت بالاست. در سیستم ایده‌ال تهویهٔ عمومی که با استفاده از سپرهای مناسب در مقابل تابش همراه است، ورودی هوا باید در نزدیکی کف بوده و جریان هوا ابتدا به سمت کارگران و سپس به‌طرف تجهیزات داغ هدایت شود، بدین ترتیب هوای خنک قبل از آنکه با هوای گرم ساختمان مخلوط شود و یا در بالای فرایندهای داغ جریان یافته و دمای آن افزایش یابد، به کارگر می‌رسد. هوا سپس به سمت تجهیزات داغ جریان یافته ودمای آن بالا می‌رود و بعداز طریق دهانه‌هایی که در سقف وجود

1 - Chilled Coil System
2 - Water - Cooled Coil
3 - Cooled - Water System
4 - Refrigerated Coil

دارند به بیرون تخلیه می‌شود. سرعت هوا و دمای پایین آن (هوای خنک) سبب می‌شود که حداکثر راحتی برای کارگر فراهم شود، بدون آنکه هوا به‌طور مصنوعی خنک گردد. علاوه بر آنکه سرعت جریان هوا و دمای آن باید مدنظر قرار گیرد، توجه به توزیع صحیح هوا نیز حائز اهمیت بسیار است.

۳-۷-۱-۱- تخلیه هوای گرم

امروزه ساختمان‌ها طوری ساخته می‌شوند که هوای گرم به‌طور طبیعی خارج شود. برای مثال در صنایع شیشه‌سازی معمولاً برای تخلیه هوا از ونتیلاتورهای سقفی استفاده می‌شود. متأسفانه بسیاری از صنایع داغ از نظر ساختمانی دارای ساختمان یک طبقه بزرگ هستند. در چنین شرایطی ،فن‌های مکشی یا ونتیلاتورهای سقفی (بدون در نظرگرفتن ورودی‌های اجباری هوا) ممکن است تهویه رضایت‌بخشی را در چنین ساختمان‌هایی برقرار نکند. استراتژی کار به‌هنگام استفاده از تهویه عمومی آن است که دهانه‌های خروجی (اعم از طبیعی یا مکانیکی) در بالای منابع گرما و تا حد امکان نزدیک به آنها نصب گردد.

۸-۱-۱-کنترل رطوبت

اهمیت کنترل رطوبت در صنایع گرم - مرطوب که دما و رطوبت نسبی بالا دارند، حائز اهمیت است. در برخی صنایع ، رطوبت نسبی به منظور کیفیت محصول یا پیشگیری از الکتریسیته ساکن در حد بالایی نگه داشته می‌شود. به‌عنوان مثال می‌توان به صنایع نساجی، صنایع مهمات سازی، معادن ذغال و صنایع آرد اشاره کرد. رطوبت‌زدائی از هوا (در صورت امکان) به خنثی کردن تنش گرما کمک می‌نماید. زیرا با کاهش رطوبت نسبی، فشار جزئی بخار آب در هوا کاهش یافته و ظرفیت تبخیر افزایش می‌یابد.

به‌طور کلی کنترل رطوبت شامل پیشگیری از افزایش آن و استفاده از روش‌های رطوبت‌زدایی است. پیشگیری از افزایش رطوبت با استفاده از روش‌های ساده نظیر محصور کردن مخازن آب گرم، پوشاندن مجاری آب داغ و تعمیر اتصالات و شیرها به منظور پیشگیری از نشتی صورت می‌گیرد.

رطوبت‌زدایی به منظور کاهش میزان رطوبت هوای محل کار انجام می‌شود. انجام این امر به روش‌های تبرید، جذب یا جذب سطحی امکان‌پذیر است. در بحث مواجهه‌های شغلی با گرما، تبرید روشی است که به‌طور گسترده‌ای در اتاق‌های استراحت، محفظه‌ها یا مواضع کاری خاص به‌کار می‌رود هر چند در برخی موارد ،نظیر نورد داغ در صنایع فولاد، کاربرد ندارد.

۲-۱- کنترل‌های مدیریتی

در بسیاری از موارد، کنترل کامل تنش گرما با استفاده از روش‌های مهندسی غیرممکن بوده و یا عملی نمی‌باشد. در مواردی که ممکن است میزان تنش گرما متغیر بوده و قابل پیش بینی نباشد، یا مواردی که مدت زمان مواجهه با توجه به نوع فعالیت متغیر باشد و یا هنگامی که کنترل‌های مهندسی تنش گرما عملی نبوده یا به‌طور کامل قابل اجرا نباشد، لازم است از راههای دیگری برای کنترل گرما و مخاطرات ناشی از آن بهره جست.

مدیریت تنش گرما در صنعت شامل موارد زیر بوده و می‌تواند بتنهایی یا همراه با کنترل‌های مهندسی برای کاهش تنش‌های گرما به‌کار گرفته شود :

۱- آموزش کارگران و سرپرستان
۲- مراقبت‌های پزشکی
۳- سازش
۴- برنامه کار - استراحت مناسب
۵- تأمین آب و الکترولیت‌های بدن
۶- پایش‌های محیطی
۷- اقدامات کمکی برای خنک کردن بدن و حفاظت آن
۸- پیش بینی حوادث و برنامه‌های اعلام خطر گرما

۲-۱-۱- آموزش کارگران و سرپرستان

مواجهه با شرایط محیطی بسیار گرم می‌تواند سبب بیماریهای ناشی از گرما، افزایش حساسیت نسبت به عوامل فیزیکی و شیمیایی سمی و یا اعمال ناایمن گردد. کارگران و سرپرستان می‌توانند با به‌کارگیری اصول ایمنی و بهداشت، احتمال بروز آثار سوء ناشی از کار در محیط‌های گرم را کاهش دهند. کارگران و سرپرستانی که در محیط کار خود با گرما مواجهه دارند باید دوره آموزش ایمنی را طی کنند تا نسبت به نکات زیر آگاهی پیدا نمایند :

- دستورالعمل‌های شناخت نشانه‌های اختلالات ناشی از گرماو آگاهی از علل ایجاد آنها
- اطلاعاتی درباره سازش با گرما
- اطلاعاتی در ارتباط با جایگزین کردن آب و نمک
- دستورالعمل‌هایی در مورد اثرات توأم گرما و :

(الف) نوشیدنی‌های الکلی،

(ب) تجویز یا عدم تجویز داروها شامل داروهای فشار خون و مدر،

(ج) عوامل سمی،

(د) سایر عوامل فیزیکی

- اطلاعاتی در مورد استفاده از لباس و تجهیزات حفاظتی مناسب

۲-۱-۲- مراقبت‌های پزشکی

در بحث مدیریت مواجهه با گرما، مراقبت پزشکی شامل انجام معاینات به منظور انتخاب کارگران مناسب و واجد شرایط و نیز معاینات دوره‌ای است.

در معاینات قبل از استخدام لازم است کارگران از نظر پزشکی ارزیابی گردند تا صلاحیت آنان برای کار در محیط‌های گرم مشخص شود. در این مورد توجه ویژه به سیستم قلبی عروقی ضروری است. همچنین باید تاریخچه پزشکی فرد با توجه به سابقه اختلالات ناشی از گرما بررسی شده و سیستم‌های فیزیولوژیک مرتبط نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. معاینات پزشکی دوره‌ای برای کلیه کارگرانی که در شرایط گرم کار می‌کنند توصیه شده است. همچنین پیشنهاد شده است در مورد کارگرانی که با گرمایی بیش از حدود توصیه شده توسط NIOSH مواجه هستند، حداقل سالی یک بار معاینات دوره‌ای انجام پذیرد.

۲-۱-۲-۱- معاینات پزشکی

معاینات قبل از استخدام افرادی که متقاضی کار در مشاغل گرم و داغ هستند شامل بررسی وضعیت جسمانی، روانی و احساسی فرد است. به‌نحوی که اطمینان حاصل شود فرد می‌تواند با راندمان قابل قبول و بدون احتمال ایجاد خطرات بهداشتی و ایمنی برای خود و دیگران فعالیت نماید.

براساس معیارهای NIOSH پیشنهاد شده است که پزشک باید نشانه‌های احتمالی مبنی بر عدم تحمل نسبت به گرما اعم از شغلی یا غیرشغلی را جستجو نماید. داشتن سابقه‌ای از فرد دال بر اینکه در مشاغل قبلی با گرما کاملاً سازش داشته است می‌تواند برای پیش‌بینی راندمان کاری فرد در شرایط تنش گرمائی مورد استفاده قرار گیرد.

پس از ۴۵ سالگی یا سنی که توسط پزشک تعیین می‌شود. لازم است بررسی‌های کلینیکی و پاراکلینیکی انجام شود تا نسبت به آسیب‌های مزمن سیستم‌های قلبی عروقی و قلبی تنفسی، بیماریهای تنفسی، بیماریهای متابولیک،بیماری‌های پوستی و کلیوی کارگران مشاغل گرم اطلاع حاصل شود. البته بینابین معاینات دوره‌ای، هرگونه بیماری حاد یا آسیب (اعم از شغلی یا غیرشغلی) باید مورد ارزیابی دقیق قرار گیرد.

تکرار آسیب‌های تصادفی به هنگام کار یا تکرار غیبت باید توسط پزشک مورد توجه قرار گیرد، زیرا احتمال عدم تحمل نسبت به گرما یا وجود تنش دیگری نظیر مونواکسیدکربن همراه با مواجهه با گرما وجود دارد. همچنین لازم است به وضعیت تغذیه‌ای افراد توجه گردد و در مورد پیشگیری از چاقی و اضافه وزن به آنها راهنمایی شود.

۲-۲-۲-۱- مراقبت‌های پزشکی اورژانس

بنابر توصیه‌های NIOSH لازم است در طول ساعات کار امکان دسترسی به فردی که آموزش کمک‌های اولیه را گذرانده و قادر به شناسایی علائم و نشانه‌های اختلالات ناشی از گرماست وجود داشته باشد.

سرپرستان و تعدادی از پرسنل باید دورهٔ آموزش‌های لازم را در ارتباط با شناسایی علائم و نشانه‌های اختلالات ناشی از گرما و ارائه خدمات کمک‌های اولیه بگذرانند. شوک گرمائی[1] از جدی‌ترین آسیب‌هائی است که نشانه‌های آن خشکی، داغ شدن، قرمزی یا بی‌رنگی پوست، اغتشاش ذهنی، هذیان، تشنج یا اغما می‌باشد. همچنین دمای رکتال (مقعد) بالا بوده و معمولاً ۴۰-۴۱ °C می‌باشد.

۳-۲-۱- سازش

سازش عبارت است از فرآیند تطابق با شرایط گرم محیط کار، به‌نحوی که سبب گردد پاسخ‌های فیزیولوژیک نسبت به تنش محیط کاهش یابد. در نخستین مواجهه با محیط گرم، توانایی انجام کار کاهش یافته و همراه با آن استرین فیزیولوژیکی حاصل می‌شود. در صورتی که مواجهه چندین روز متوالی ادامه یابد ،بهبود تدریجی در توانایی انجام کار و نیز کاهش در استرین‌های فیزیولوژیکی صورت می‌گیرد. ۵ تا ۷ روز پس از فرایند سازش، ناراحتی ذهنی تقریباً از بین می‌رود، دمای بدن و ضربان قلب کمتر می‌شود و میزان عرق افزایش یافته و رقیق می‌شود. همچنین اصلاح قابل ملاحظه‌ای در توانایی انجام کارهای سنگین صورت می‌گیرد.

تناسب جسمانی فرد با کار سبب می‌گردد که تحمل گرمایی وی (سازش یافته و سازش نیافته) بیشتر شود. مدت زمان لازم به‌منظور کسب سازش برای افرادی که به لحاظ جسمانی با شغل مورد نظر تناسب ندارند ۵۰٪ بیش از مدت زمانی است که افراد با تناسب جسمانی نیاز دارند . NIOSH توصیه می‌کند برای کارگرانی که تجربه قبلی کار در مشاغل گرم را دارند، برنامه

1 - Heat Stroke

سازش باید به صورت زیر باشد :

روز اول	مواجهه به میزان ۵۰٪
روز دوم	مواجهه به میزان ۶۰٪
روز سوم	مواجهه به میزان ۸۰٪
روز چهارم	مواجهه به میزان ۱۰۰٪

کارگرانی که سابقه مواجهه با گرما را ندارند باید روز اول به میزان ۲۰٪ مواجهه داشته باشند و در هر یک از روزهای متوالی بعدی میزان مواجهه آنان ۲۰٪ افزایش یابد

۴-۲-۱- نسبت کار - استراحت

یکی از موارد کنترل مدیریتی تنش‌های گرما ،برنامه‌ریزی کار و استراحت (طول مدت استراحت و دفعات استراحت) است. دوره‌های استراحت باید قبل از آنکه خستگی شدید رخ دهد شروع شود .طول مدت استراحت باید آنقدر باشد که ضربان نبض به کمتر از ۱۰۰ ضربه در دقیقه کاهش یابد(۱).

بروها[1] نشان داد ضربان قلب افرادی که در اتاق‌های مجهز به سیستم تهویه مطبوع استراحت می‌کنند نسبت به افرادی که در محیط‌های گرم استراحت می‌نمایند، سریع‌تر کاهش یافته و به میزان کمتری می‌رسد.

NIOSH اظهار می‌دارد به منظور کاهش پیک استرین فیزیولوژیکی و برگشت به حالت طبیعی، باید برنامه کار - استراحت در محیط‌های کار اجرا گردد.

راههای زیر برای کنترل مواجهه با تنش گرما پیشنهاد شده است :

- در صورت امکان کارهای گرم در ساعاتی از روز که سردتر است انجام گیرد(صبح زود، بعداز ظهر -دیروقت یا عصر).
- کارهای تعمیر و نگهداری در سالن‌های داغ در فصول سردتر سال انجام پذیرد.
- برنامه‌ریزی کار - استراحت به‌نحوی باشد که طول مدت استراحت بیشتری پیش بینی شود.
- برای استراحت و برگشت به‌حالت طبیعی، محل‌های سرد فراهم شود.
- از پرسنل بیشتری برای انجام فرایندهای گرم استفاده شود تا مدت زمان مواجهه هر یک از

1 - Brouha

افراد با گرما کاهش یابد.

- اجازه داده شود تا در صورت احساس ناراحتی گرمایی شدید، فرد کار را قطع نماید.

۵-۲-۱- تأمین آب و الکترولیت

با توجه به اینکه مایعات بدن به‌علت تعریق و ادرار از دست می‌رود ،لازم است به منظور حفظ تحمل حرارتی و پیشگیری از بیماریهای ناشی از گرما، مایعات از دست‌رفته جبران گردد.

کار در محیط‌های گرم می‌تواند باعث ترشح عرق به میزان ۱ تا ۳گالن در شیفت شود. اگر اتلاف آب جبران نشود، کم‌آبی شدید رخ خواهد داد. متأسفانه احساس تشنگی و رفع آن نمی‌تواند جوابگوی مایعات از دست‌رفته باشد، بنابراین باید منبع آب خنک در دسترس باشد و کارگران تشویق شوند که هر ۱۵ تا ۲۰ دقیقه آب بنوشند.

اگر از نوشیدنی‌های حاوی سدیم (الکترولیت مهم موجود در عرق) استفاده شود، جبران آب از دست‌رفته سریع‌تر صورت می‌پذیرد. استفاده از نوشیدنی‌های حاوی سدیم این امکان را فراهم می‌سازد که سدیم پلاسما در طول مدتی که فرد مایعات را دریافت می‌کند بالا مانده، احساس تشنگی باقی بماند و تولید ادرار به تأخیر افتد. همچنین نوشیدنی‌ها می‌توانند حاوی گلوکز یا ساکاروز باشند، زیرا این کربوهیدرات‌ها منبعی از انرژی را برای ماهیچه‌های در حال فعالیت تأمین نموده، باعث جذب مایعات در روده کوچک شده و طعم نوشیدنی را بهبود می‌بخشند.

لازم است جهت به حداقل رساندن احتمال خطر بیماریهای ناشی از گرما، تعادل الکترولیت در مایعات بدن حفظ شود.

در مورد کارگرانی که با گرما سازش نیافته‌اند و ممکن است رژیم کم‌نمک داشته باشند، لازم است با مشورت پزشک در چند روز اول مواجهه با گرما، به غذای آنها نمک اضافه شود تا نمک از دست‌رفته از راه تعریق جبران شود. کارگران سازش‌یافته از راه عرق میزان نمک کمتری را از دست می‌دهند از این رو معمولاً لازم نیست به رژیم غذایی آنها، نمک اضافه شود.

۶-۲-۱- پایش محیطی

به منظور کنترل تنش حرارتی، دانستن میزان آن در صنعت ، ضروری است. در یک صنعت گرم، مدیریت باید اطلاعاتی در مورد مقدار شاخص WBGT در مشاغل گرم و نیز کل محیط گرم کارگاه داشته باشد. همچنین ارزشیابی مهندسی تنش گرما، شامل اندازه‌گیری پارامترهای مختلف محیطی مؤثر بر مقدار شاخص تنش گرما (HSI) موردنیاز است.

براساس توصیه‌های NIOSH باید مقدار شاخص WBGT برای هر کارگاه در فصول تابستان و زمستان سنجش شود تا بتوان در مورد وضعیت جوی محیط قضاوت نمود. علاوه بر سنجش‌های مذکور، ضروری است که در گرم‌ترین روزهای سال نیز اندازه‌گیری انجام شود.

همچنین توصیه شده است میزان مواجهه کارگران در گرم‌ترین موقعیت شیفت کار (که کار پیوسته انجام می‌شود) به‌مدت دو ساعت (گرم‌ترین دو ساعت شیفت کار) اندازه‌گیری شود و حداکثر مقدار WBGT در طی دو ساعت برای مشخص کردن سطح حرارتی محیط مورد استفاده قرار گیرد.

اگر در هیچ موقعیتی کارگر بیش از یک ساعت (نصف دو ساعت مذکور)با گرما مواجهه ندارد، مقدار WBGT به‌صورت متوسط زمانی و از طریق رابطه زیر به‌دست می‌آید :

$$WBGT = \frac{۱}{۱۲۰} \sum (WBGT)_i \times T_i$$

در رابطه بالا:

WBGT = مقدار متوسط زمانی شاخص دمای ترگوی سان در ساعت

$(WBGT)_i$ = مقدار WBGT در فاصله زمانی i

i = مقاطع زمانی معین

T_i = مدت زمان مواجهه در مقاطع زمانی i (بر حسب دقیقه)

کمیته راهبری استاندارد پیشنهاد می‌نماید که میزان بار کار (فعالیت)، در دو ساعت مذکور (گرم‌ترین دو ساعت شیفت کار) تخمین زده شده و نوع کار (سبک، متوسط و سنگین) تعیین شود. سپس میزان متوسط زمانی بار کار (متابولیسم) همانند WBGT، محاسبه گردد.

از آنجا که بر اساس توصیه‌های کمیته مذکور حدود آستانهٔ مجاز WBGT بر اساس سرعت جریان هوا (در سرعت ۳۰۰ft/min) ارائه شده ، ضروری است سرعت جریان هوا نیز اندازه‌گیری شود.

۷-۲-۱- اقدامات کمکی برای خنک کردن بدن و حفاظت آن

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد برای حل مشکل تنش گرما چهار اقدام اساسی صورت می‌گیرد:

الف) - بهبود وضعیت کارگران از طریق برقراری سازش با گرما

ب) - اصلاح لباس یا تجهیزات

ج) - اصلاح کار

د) - اصلاح محیط کار

اگر کارگران کاملاً با گرما سازش یافته، آموزش کافی در خصوص استفاده از لباس‌های حفاظتی را گذرانیده، وضعیت جسمانی خوبی داشته و به منظور جبران آب و الکترولیت از دست‌رفته از بدن، نوشیدنی‌های لازم را مصرف نمایند، تحمل آنان نسبت به گرما افزایش خواهد یافت.

در محیط گرم، لباس بویژه لباس‌های حفاظتی (شامل رسپیراتورها) بدلیل آنکه بدن را عایق نموده و اتلاف گرما از راه تبخیر راکاهش می‌دهند، تعادل حرارتی بدن را بر هم زده و اثرات زیان‌آوری را سبب می‌گردند. آثار مذکور بویژه در مورد لباس‌های غیرقابل نفوذ که مانع از اتلاف حرارتی می‌شوند صادق‌تر است. برای افراد سازش نایافته، حساس و آسیب‌پذیر که در محیط‌هائی با دمای کمتر از ۲۱° C کار می‌کنند، پوشیدن این گونه لباس‌ها می‌تواند مخاطراتی را به‌بار آورد(۲). گاهی لازم است به‌منظور حفاظت در برابر گرمای عمومی، گرمای تابشی و سوختگی موضعی (برای مثال به علت پرش فلزات مذاب) از لباس‌های حفاظتی استفاده شود. لباس‌های حفاظتی مقاوم در برابر گرما برای مدت محدودی حفاظت را تأمین می‌نمایند و در استفاده‌های طولانی مدت ممکن است آثار زیان آوری را به همراه داشته باشند. در صورتی که لازم باشد از این گونه لباس‌ها به مدت طولانی استفاده شود ضروری است از لباس‌های حفاظتی خنک شده یا تهویه شده استفاده کرد.

افرادی که در وضعیت نشسته به انجام کار مشغولند بندرت به سرمایش کمکی بیش از ۸۵ Kcal/h یا ۳۴۵BTU/h نیاز دارند. افرادی که فعالیت بیشتری دارند به سرمایش بیش از ۳۴۵Kcal/h یا ۱۳۸۰BTU/h نیاز دارند.

سیستم‌های کمکی ایجاد سرما در لباس‌ها شامل طیف وسیعی از جلیقه‌های یخ (که در زیر لباس پوشیده می‌شود) تا سیستم‌های پیچیده‌تر می‌باشد .تنوع سیستم کمکی ایجاد سرما در لباس را می‌توان حداقل به چهار نوع طبقه‌بندی نمود :

الف - لباس‌های مجهز به آب سرد

ب - جلیقه‌های حاوی هوای خنک

ج - جلیقه‌های پرشده از یخ

د - پوشش‌های مرطوب‌شده

۱-۷-۲-۱- لباس‌های مجهز به آب سرد

لباس‌هائی که حاوی آب سرد هستند شامل:

- هودهای مجهز به جریان آب سرد که خنک شدن سر را سبب می‌شوند،
- جلیقه‌های مجهز به جریان آب سرد که باعث خنک شدن سر و تنه می‌شوند،
- لباس‌های زیر کوتاه مجهز به جریان آب سرد که سبب خنک شدن تنه، بازوها و ساق پا می‌شوند،
- لباس‌های زیر بلند مجهز به جریان آب سرد که سبب خنک شدن سر، تنه، بازوهاو ساق پا می‌شوند،

قابل ذکر است که هیچ یک از لباس‌های مذکور سبب خنک شدن دست‌ها و پاها نمی‌شوند.

لباس‌های مذکور به پمپ (جهت به جریان انداختن آب سرد) و نیز محفظه‌ای که درآن جریان آب در گردش توسط یخ خنک می‌شود، مجهز است. پمپ با بطری کار می‌کند. وزن باطری‌ها، محفظه مذکور و پمپ سبب می‌شود مقدار یخی که می‌تواند حمل شود محدود گردد. مقدار یخ موجود، زمان مفید استفاده از لباس‌های فوق را تعیین می‌نماید.

۲-۷-۲-۱- لباس‌های مجهز به هوای سرد

در این لباس‌ها یا هودها، هوای خنک در مجاورت پوست توزیع شده و تبادلات حرارتی صورت می‌گیرد. مقدارکل تبادل حرارتی از پوست کاملاً خیس (مرطوب شده با عرق) به لباس تابعی از دبی جریان هوای خنک و دمای آن است. مقدار کل تبادلات حرارتی و توان خنک کنندگی با ازدیاد دبی جریان هوای سرد افزایش یافته و با افزایش دمای هوای ورودی، کاهش می‌یابد.

در بسیاری از صنایع گرم از لباس‌های مجهز به لوله ورتکس استفاده می‌شود . لولهٔ ورتکس[1] به عنوان منبع هوای خنک جهت سرمایش بدن به‌کار می‌رود. در این گونه موارد لازم است منبع ثابتی از هوای فشرده موجود باشد تا هوای لازم از طریق یک لوله خرطومی[2] به لولهٔ ورتکس برسد (لوله خرطومی، لوله ورتکس را به منبع هوای فشرده وصل می‌کند). وجود لوله خرطومی موجب می‌شود حوزهٔ عمل کارگر محدود گردد. هر چند استفاده از لوله ورتکس محدودیت‌هایی به‌همراه دارد، اما منبع ساده‌ای برای تأمین هوای خنک است.

۳-۷-۲-۱- جلیقه‌های پرشده از یخ

جلیقه‌های حاوی یخ[3] تا ۷۲ بسته یخ را در خود جای می‌دهند. هر بسته دارای مساحت

1 - Vortex tube
2 - Hose
3 - Ice Packed Vest

رویه‌ای تقریباً معادل $64cm^2$ و محتوی حدود ۴۶gr آب است. بسته‌های یخ معمولاً توسط نوار چسب به جلیقه وصل شده است، سرمایش ایجادشده توسط هر بسته با توجه به مدت زمان و میزان تماس آن با سطح بدن، نوع لباس و محیط گرم تغییر می‌نماید. بدین ترتیب شرایط محیطی بر روی سرمایش حاصله و مدت زمان برقراری سرمایش تأثیرگذار است. در برخی مدل‌ها به جای بسته‌های یخ از بسته‌های پلاستیکی حاوی دی اکسید کربن جامد استفاده می‌شود.

در محیط‌هائی که به‌ترتیب دارای دما و رطوبت نسبی (۸۴/۹°f) ۲۹/۴°C و ۸۵٪ ، (۹۵°f) ۳۵/۰°C و ۶۲٪ هستند، جلیقه‌های مذکور می‌توانند سرمایشی را برای مدت ۴ ساعت (معمولاً سرمایش مفید و مؤثر برای مدت ۲ تا ۳ ساعت تأمین می‌شود) ایجاد نماید. در محیط‌هایی که دارای دمای (۱۲۵/۱°f) ۵۱/۷°C و رطوبت نسبی ۲۵٪ هستند، سرمایش برای مدتی تا ۳ ساعت تامین شده و پس از آن مقدار سرمایش قابل اغماض می‌باشد. لذا توصیه شده است هر ۳ تا ۴ ساعت نسبت به تعویض جلیقه اقدام شود. از مزایای این جلیقه‌ها آن است که نیازی به هیچ‌گونه منبع انرژی نداشته، آلودگی صوتی ایجاد نکرده و تحرک کارگر را محدود نمی‌نماید. همچنین در مقایسه با سایر اقدامات، ارزان‌تر است.

۴-۷-۲-۱- پوشش‌های مرطوب شده[1]

روپوش‌ها یا لباس‌های کتانی سراسری یا دو تکه مرطوب‌شده که به همراه لباس‌های حفاظتی غیرقابل نفوذ نسبت به آب استفاده می‌شوند، می‌توانند در خنک شدن بدن به‌عنوان یک اقدام تکمیلی استفاده شوند.

مقادیر پیش‌بینی شده سرمایش و حداقل آب مورد نیاز برای خیس نگه داشتن لباس با توجه به دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت جریان باد قابل محاسبه است. در صورتی که میزان رطوبت کم و دمای هوا بالا باشد، تبخیر رطوبت از لباس خیس‌شده محدود نمی‌شود. این روش یک روش مکمل مؤثر و نسبتاً ساده و ارزان است.

۵-۷-۲-۱- برنامه اعلام اخطار و مراقبت‌های گرمایی

برنامه اعلام اخطار گرمایی (هپ[2]) به منظور پیشگیری از بیماریها و اختلالات ناشی از مواجهه با گرما بنیان‌گذاری می‌گردد. هر چند جزئیات چنین برنامه‌ای از صنعتی به صنعت دیگر

1 - Wetted overgarments

2 - Heat Alert Program: HAP

متفاوت است، اما مفاهیم اصلی مشترک می‌باشد. ذیلاً اصول یکی از برنامه‌های پیشنهادی هپ شرح داده شده است (۱):

۱) کمیته مراقبت‌های گرمایی، مرکب از پزشک یا پرستار طب کار، متخصص بهداشت صنعتی، مهندس ایمنی، مهندس تولید و یک مدیر است. این کمیته طرح عملیاتی زیر را اجرا می‌نماید:

الف - پایه‌گذاری معیارهای لازم برای اعلام اخطار و مراقبت‌های گرمایی.

ب - برگزاری برنامه‌های آموزشی برای کلیه افراد کمیته مذکور. آموزش باید شامل اصول پیشگیری و تشخیص زودرس بیماریهای ناشی از گرما و کمک‌های اولیه در مورد بیماریهای ناشی از گرما باشد

پ - آموزش سرپرستان در راستای :

- برقراری حداکثر راندمان تهویه در محل‌هایی که به‌سرعت جریان زیاد نیازمند هستند، باز کردن درها و پنجره‌ها بر اساس دستورالعمل‌ها به‌منظور تخلیه هوا.
- بررسی منابع آب‌آشامیدنی و هواکش‌ها و اطمینان از عملکرد سیستم‌های تهویه مطبوع و تعمیر و نگهداری آن.
- اطمینان از وجود لوازم و تسهیلات کمک‌های اولیه و سرویس‌دهی‌های لازم در واحد خدمات پزشکی و محل‌های کار.

۲) - در طول ارائه برنامه‌های اخطار و مراقبت‌های گرمایی موارد زیر در نظر گرفته شود:

الف - انجام کارهای غیرضروری به تأخیر انداخته شود تا مشکل حاد گرمایی از بین رود.

ب - به تعداد کارگران شاغل در بخش گرم اضافه شود تا مدت مواجهه هریک از آنان کاهش یابد. کارگران جدید را بتدریج در کارگاه‌های گرم وارد نمائید تا به مرور با گرما سازش یابند.

پ - مدت زمان استراحت اضافه شود. کارگران لازم است در اتاق‌های تهویه شده استراحت نمایند.

ت - آن دسته از منابع گرمازا راکه واقعاً مورد نیاز نیستند، خاموش نمائید.

ث - به کارگران در مورد مصرف آب و مایعات مناسب یادآوری نمائید تا از ابتلا به کم‌آبی پیشگیری شود.

کارگران قبل و بعد از شیفت کار وزن شوند تا اطمینان حاصل شود که مایعات از دست‌رفته از بدن کارگران جبران شده و وزن آنها حفظ گردیده است .

ج - محیط‌های کار و نیز اتاق‌های استراحت از نظر وجود گرما پایش شوند

چ - دمای دهانی کارگران در پیک‌های گرمائی اندازه‌گیری شود

ح - در صورت تغییر شیفت، در اولین روز کاری توجه بیشتری صورت گیرد تا اطمینان حاصل شود که کارگران با گرمای بیش از حد مجاز مواجه نیستند، زیرا ممکن است کارگران طی تعطیلات آخر هفته، قدری از سازش خود با محیط گرم را از دست بدهند.

خ - کارگرانی که نشانه‌های اختلالات گرما (حتی نشانه‌های مختصر) دارند برای ارزیابی پزشکی به واحد خدمات پزشکی ارجاع داده شوند و برگشت کارگر به محیط کار باید با مجوز کتبی پزشک باشد.

د - اضافه‌کاری محدود گردد

۲- کنترل تنش سرما

اصول کنتر ل به منظور حفاظت در برابر سرما ایجاب می‌نماید تا از راحتی و آسایش افراد اطمینان حاصل شود. آسایش و راحتی در سرما توسط دو عامل زیر تعیین می‌شود :

۱- عوامل فردی

۲- عوامل محیطی

عوامل فردی شامل فعالیت جسمانی (میزان متابولیکی)، میزان عایق لباس و مدت زمان مواجهه است. عوامل محیطی عمدتاً شامل دمای محیط و سرعت باد است، اما شرایط تابشی و بارندگی نیز مطرح می‌باشند.

۱-۲- لباس

در صورتی که پناهگاه و محل ایمن موجود نباشد. برای افرادی که در محیط سرد زندگی یا کار می‌کنند مهمترین راه حفاظت، استفاده از لباس است. ویژگی لباس از نظر عایق بودن حاصل ساختار لیفی لباس و به‌دام افتادن هوا در میان لایه‌های آن است. همچنین لازم است لباسها در مقابل باد حفاظت شوند زیرا باد می‌تواند نفوذ کرده و عایق ایجاد شده توسط هوای بدام افتاده را خنثی نماید.

بنابراین لازم است به منظور بهره‌گیری ازکارآیی مؤثر لباس، لایه خارجی آن از مواد ریز بافت یا غیر قابل نفوذ تهیه شود تا در مقابل باد غیر قابل نفوذ گردد.

لباس‌هایی که در برابر آب غیر قابل نفوذ هستند، در محیط‌های سرد و مرطوب جایگاه ویژه‌ای دارند. زیرا به‌علت اثرات توأم تبخیر و خنک‌کنندگی باد، سرمایش سریعی حاصل می‌گردد. هر چند جدی‌ترین عیب لباس‌هایی که در مقابل آب غیر قابل نفوذ هستند آن است که در مقابل بخار آبی که از سطح پوست تبخیر می‌شود، نیز غیرقابل نفوذ بوده و در محیط سرد، در

نزدیکی لایه غیر قابل نفوذ لباس، متراکم شده و اثرات عایق بودن هوای بدام افتاده را کاهش داده باعث ناراحتی و عدم آسایش می‌شود. این مسئله خصوصاً اگر فرد دارای فعالیت جسمانی بوده و تعریق نیز نماید، شدت می‌گیرد. در محیط هایی که دمای آنها کمتر از ۰°C است، آبی که در لایه‌های لباس بدام افتاده ممکن است یخ بزند. لباسهای غیرقابل نفوذ بطورکلی برای افرادی که خیلی فعال نیستند، مناسب است.

برای افرادی که فعالیت جسمانی دارند توصیه می‌شود لباس‌هایی استفاده شود که منسوج لایه خارجی آن در برابر آب و باد غیر قابل نفوذ بوده اما اجازه دهد انتقال بخار آب انجام پذیرد.

نکته مهم دیگری که در مورد لباس باید در نظر گرفت آن است که از اندامهای انتهایی و سر حفاظت بعمل آورد. هنگامی‌که لازم است حرکات ظریف دست صورت گیرد، دستکش‌های ضخیم استفاده کمی دارند و بعلاوه عایق نمودن اطراف انگشتان مشکل است، دستکش‌هایی که دارای یک جا برای چهار انگشت و یک جا برای انگشت شست هستند، عایق مؤثرتری را تامین می‌کنند. در شرایطی که حفظ بقا ایجاب نماید می‌توان با بیرون آوردن دست‌ها از آستین و با قرار دادن دست‌ها و بازوها در داخل تنه ژاکت (مطمئن شوید که آستین‌های گشاد در برابر هوا غیر قابل نفوذ هستند) بر ضعف‌های عایق بودن لباس غلبه نمود. همچنین احتمال آسیب‌های موضعی سرما بر دست‌ها و صورت وجود دارد زیرا نواحی مذکور بیشترین مواجهه را دارند و بدین جهت لازم است مراقبت‌های ویژه‌ای بکار گرفته شود. به عنوان نمونه می‌توان به تأمین گرمایش موضعی در نواحی فوق اشاره نمود.

۲-۲- فعالیت کاری

میزان عایق لباس باید با توجه به‌کار و فعالیت انتخاب شود. هر چند که این امر در مورد کارهای متناوب (موارد معمول) می‌تواند مشکلاتی را به‌همراه داشته باشد به عنوان مثال اگر لباس فرد بر اساس مقاطع زمانی که فرد فعالیتی ندارد انتخاب شود، این پوشش برای مقاطعی که وی فعالیت سنگین انجام می‌دهد، زیاد بوده و می‌تواند مشکلاتی ببار آورد.

۳-۲- نسبت‌های کار - استراحت

برای افرادی که به‌طور مداوم در محیط‌های سرد به‌کار اشتغال دارند، لازم است اتاق‌های

گرم به منظور استراحت و برگشت علائم حیاتی به حالت طبیعی[1] در نظر گرفته شود. دمای خنک‌کنندگی معادل[2] این اتاق‌ها کمتر از $-7^{\circ}C$ پیشنهاد شده است. توصیه شده است که در طول استراحت، لباس خشک برای افراد تأمین شود و مایعات بدن جبران گردد(ترجیحاً نوشیدنی‌های شیرین، گرم و سوپ) تا با کم‌آبی بدن[3] مبارزه شود. الکل و نوشیدنی‌های حاوی کافئین توصیه نمی‌شود، زیرا دارای اثرات زیان‌آور دیورتیک[4] و گردش خون هستند.

در محیط‌هایی نظیر انبارهای سرد که دارای دمای کمتر از $-12^{\circ}C$ هستند، لازم است کارگران به‌طور مداوم تحت مراقبت باشند. میزان فعالیت در چنین محیط‌هایی نباید آنقدر باشد که موجب تعریق زیاد شود. در صورتی که این امر اجتناب‌ناپذیر باشد، باید دفعات استراحت فرد در محیط‌های گرم و تعویض و پوشیدن لباس خشک افزایش یابد، باید از نشستن یا ایستادن فرد به مدت طولانی در محیط‌های سرد خودداری شود و سرعت جریان هوا از سیستم‌های سرمایش به‌حداقل رسانده شود. این کار را می‌توان با طراحی صحیح سیستم‌های توزیع هوا انجام داد. سرعت جریان هوا در پست‌های کار نباید بیش از $1 m/s$ باشد. در محیط‌های روباز که زمین از برف یا یخ پوشیده شده، لازم است با استفاده از عینک‌های ایمنی، چشم‌ها را درمقابل خیرگی‌های حاصل از کریستال‌های یخ حفاظت نمود. همچنین لازم است قسمت‌های در معرض پوست را در مقابل تابش‌های فرابنفش و درخشندگی‌های زیاد محافظت کرد.

۳- کنترل و راحتی

در سال‌های اخیر، توجه زیادی به کیفیت محیط‌های کاری داخل[5] بویژه ادارات شده است. راحتی یا آسایش حرارتی[6] معرف محیطی است که دارای کیفیت مورد نظر بوده و فاقد ویژگی‌های حرارتی نامطلوب باشد. بدین منظور استانداردهایی نیز ارائه شده است (برای مثال ISO7730، سازمان بین‌المللی استاندارد ۱۹۸۴). مواردی که بر شرایط حرارتی داخل فضاها یا ساختمان‌ها مؤثرند عبارتند از:

- محل ساختمان
- جهت (خصوصاً با توجه به مسیرهای تابش خورشیدی)

1 - Recovery
2 - Equivalent Chill Temperature
3 - Dehydration
4 - Diuretic
5 - Quality of Internal Working Environment
6 - Thermal Comfort

- مواد مورد استفاده در ساختمان
- سیستم‌های فعال گرمایش - سرمایش (برای بهبود دمای داخل ساختمان) یا کنترل‌کننده‌های مربوطه
- افراد
- روشنایی و تجهیزات

در شرایط ایدآل، مواد بکاررفته در ساختمان برای فراهم نمودن شرایط داخلی راحت‌تر مؤثرند. اگرچه این مواد ممکن است شرایط را بدتر نیز نمایند. برای مثال ممکن است به‌علت تابش‌های خورشیدی حاصل از سطوح بزرگ (مانند اثر گلخانه‌ای)، گرمای داخل ساختمان افزایش یابد. کنترل توسط مواد مذکور (به کنترل غیرفعال[1] معروف است) تحت تأثیر چند عامل است. این عوامل عبارتند از:

- مساحت و جهت سطوح درخشنده
- نوع سطوح درخشنده (مقدار عایق بودن و ویژگی‌های انتقال تابش)
- میزان عایق حرارتی مواد به‌کار رفته در ساختمان (دیوارها، کف و سقف)
- سرعت پاسخ‌دهی مواد به کسب یا اتلاف گرما. سرعت مذکور تابع جرم حرارتی مواد و ساختمان (که باجرم واقعی مرتبط است) بوده، اما متأثر از وضعیت عایق حرارتی مواد نیز می‌باشد.

کنترل‌های حرارتی غیرفعال صرفاً در شرایطی که محیط بیرون نسبتاً متعدل است، کاربرد دارد. در سایر مواقع برای گرمایش ساختمان به کنترل‌های فعال نیاز است.

درگرمایش‌های ساده، کنترل شرایط با اصلاح دمای هوا، دمای تابشی یا تلفیقی از هر دو صورت می‌پذیرد برای مثال توسط دمنده‌های هوای گرم یا بخاری تابشی.

طی فرایند گرمایش، به‌منظور پیشگیری از خشک شدن زیاد هوا (رطوبت نسبی کمتر از ۴۰٪)ممکن است لازم باشد رطوبت نسبی به‌طور جداگانه کنترل شود. اصلاح رطوبت در درجه اول برای راحتی کلی (در ارتباط با خشک شدن پوست، چشم‌ها و غیره) و نه برای آسایش حرارتی انجام می‌گیرد. به منظور پیشگیری از احساس کوران هوا، لازم است سرعت جریان هوا معتدل شده و تحت کنترل در آید.

توجه به سرعت جریان هوا بویژه هنگامی که دما پایین باشد مهم‌تر است. برای تامین آسایش و راحتی، زمانی که ساختمان در وضعیت گرمایش است توصیه شده است حد بالای

1 - Passive Control

سرعت جریان هوای اعمال شده بر بدن برابر ۰/۱۵m/s باشد.

در شرایطی که محیط بیرون داغ است، بسادگی با تأمین جریان هوای مناسب زیاد (از طریق پنجره‌ها/ یا هواکش‌ها) به‌منظور افزایش اتلاف از راه جابجایی و تبخیر از بدن، شرایط مناسب فراهم می‌شود. همچنین بهره‌گیری از جرم حرارتی ساختمان برای برقراری چند درجه سرمایش طبیعی مفید می‌باشد. هر چند سرمایش مصنوعی (برای مثال مکانیکی) ممکن است مورد نیاز باشد بویژه اگر ساختمان گود بوده و در آنجا دریافت گرمای داخلی یا گرمای حاصل از فرایندها زیاد باشد . در چنین مواردی عمدتاً هوایی با دمای کم ،معمولا ۱۴°C،به داخل ساختمان دمیده می‌شود(از طریق تهویه مطبوع) و در صورت لزوم رطوبت نسبی آن کنترل می‌گردد. در این گونه کاربردها، سرعت جریان هواکه بر روی افراد اعمال می‌گردد باید کنترل شده و حداکثر ۰/۲۵m/s باشد. سرمایش از طریق تابش کمتر مصطلح است، برای مثال از طریق سقف‌های خنک شده ، که گردش آب سرد، سطوح در معرض را خنک کرده و ناحیه تابش را فراهم می‌سازد. در چنین مواردی باید احتیاط شود تا از متراکم شدن بخار آب در روی سطوح سرد پیشگیری شود. باید توجه داشت که کاربرد سیستم‌های تهویه مطبوع در ساختمان‌ها از نظر مالی مستلزم صرف هزینهٔ قابل ملاحظه‌ای در ارتباط با هزینه‌های اولیه و به‌کاراندازی سیستم است. بعلاوه در ارتباط با مسائل زیست‌محیطی نظیر مصرف انرژی و انتشار گازها به اتمسفر نیز هزینه‌هایی را در بر دارد.

فعالیت‌هایی که در داخل یک ساختمان صورت می‌گیرد می‌تواند بر شرایط داخلی تأثیر گذاشته و نیاز به استفاده از کنترل‌های فعال حرارتی را ایجاب نماید، افراد، روشنایی مصنوعی و تجهیزات (برای مثال کامپیوترهاو ترمینال‌ها) گرمای چشمگیری را تولید و وارد فضای ساختمان می‌کنند. این مقدار گرما در فصول سرد مفید است، اما در سایر فصول سال ممکن است به افزایش بار حرارتی ساختمان منجر شود. بنابراین لازم است ارزشیابی سیستم‌های فعال و غیرفعال به موازت یکدیگر صورت گیرد.

بدین ترتیب راحتی حرارتی در ساختمان‌ها مسئله پیچیده‌ای است خصوصاً اگر لازم باشد عوامل مختلف یا ترکیبی از عوامل مورد توجه قرار گیرد تا محیط از نظر نارضایتی حرارتی اصلاح گردد. خلاصه‌ای از عملیاتی که برای ارزشیابی شرایط صورت می‌گیرد در راهنمای فنی شماره ۸ BOSH (انجمن بهداشت حرفه‌ای انگلیس ۱۹۹۰) قابل دسترسی است. احتمال دارد لازم باشد تعدادی از پرسنل از نظر راحتی مورد بررسی قرار گیرند. خصوصاً افرادی که در طراحی، عملیات تعمیر و سرویس‌های مکانیکی (مهندسین سرویس و خدمات ساختمان) ساختمان مسئولیتی دارند.