

روش های تخمین محدوده آسایش حرارتی

دکتر زهرا قیابکلو*

چکیده

ترکیب مطلوبی از دمای هوا، مقدار رطوبت نسبی، حرکت هوا و دمای متوسط تشعشعی، محدوده مشخصی را ارائه می کند که اکثریت افراد در آن محدوده احساس آسایش می کنند که این محدوده را زون یا منطقه آسایش می نامند. تعیین و تخمین محدوده آسایش یکی از مهم ترین کارهایی است که باید قبل از ساخت یک بنا انجام شود تا قابلیت بنای طراحی شده برای تأمین شرایط آسایش حرارتی استفاده کنندگان ارزیابی شده و در صورت نیاز تغییرات لازم صورت پذیرد. در این مقاله سعی بر آن بوده تا عوامل مهم تأثیرگذار بر آسایش فیزیکی انسان در رابطه با محیط پیرامون مورد بحث قرار گرفته و چهار روش مختلف جهت تخمین و تعیین محدوده آسایش ارائه شود.

واژه های کلیدی: آسایش حرارتی، تخمین محدوده آسایش، تعادل حرارتی.

* استادیار گروه آموزشی معماری، دانشکده هنرهای زیبا، دانشگاه تهران

مقدمه

آسایش حرارتی شرایطی از ادراک است که در آن، محیط پیرامون از لحاظ حرارتی رضایت بخش باشد. تاکنون راجع به مسئله آسایش و برقراری تعادل حرارتی انسان در رابطه با محیط پیرامونش مطالب بسیار وسیعی ارائه شده است. در این مقاله سعی بر آن است که مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر شرایط آسایش حرارتی و همچنین روش‌های تعیین و تخمین محدوده آسایش به صورت مختصر و کاربردی ارائه شود.

مکانیزم حرارتی بدن یک انسان بی‌شبهت به یک اتومبیل نیست. در اتومبیل به ازای سوختی که وارد سیستم شده و مصرف می‌شود، مقداری حرارت تولید شده که از طرق مختلف به محیط پیرامون منتقل می‌شود. در بدن انسان و سایر جانداران خونگرم نیز به وسیله غذایی که مصرف می‌کنند و به نسبت فعالیتی که دارند، به میزان مختلف انرژی تولید می‌کنند.

دمای طبیعی درون بدن ۳۷ درجه سانتیگراد و دمای سطح پوست ۳۲ درجه سانتیگراد است. بنابراین طبق اصل ترمودینامیک، چنانچه بدن در محیطی گرم‌تر از دمای پوست قرارگیرد شروع به جذب گرما کرده و در غیر این صورت به تدریج گرمای خود را از دست خواهد داد. در شرایط گرم، بدن با افزایش گشادگی رگ‌ها جریان خون را در سطح پوست بیشتر کرده و بر مقدار انتقال حرارت از بدن به محیط از طریق همرفتی و تشعشعی می‌افزاید. بالا رفتن حرارت محیط، عمل تعریق صورت گرفته و تبخیر رطوبت حاصل در سطح پوست موجب افزایش افت حرارتی از طریق تبخیر جلدی شده و حرارت اضافی به محیط منتقل می‌شود.

در شرایطی که محیط سردتر از دمای پوست باشد، بدن به وسیله تقلیل جریان خون به پوست، از افزایش انتقال حرارت از بدن به محیط جلوگیری می‌کند. اگر سرمای محیط بیش از این حد شود، کشش‌های عضلانی و لرز باعث تشدید متابولیزم و تولید حرارت در بدن می‌شود.

طبق تعریف وات وقتی اغلب مردم احساس آسایش حرارتی می‌کنند که بدن آنها در شرایطی باشد که نه نیاز به دفع حرارت داشته و نه نیاز به جذب آن داشته باشد. به طور کلی بدن انسان از سه طریق زیر حرارت را جذب و یا دفع می‌نماید (Watt, 1963):

- ۱- همرفت ۳۰ درصد،
- ۲- تشعشع ۴۵ درصد،
- ۳- تبخیر ۲۵ درصد.

تنها جزء بسیار اندکی از حرارت به وسیله هدایت منتقل می‌شود. دفع حرارت از طریق همرفت و تشعشع زمانی صورت می‌گیرد که دمای محیط کمتر از دمای بدن انسان باشد. از دست دادن حرارت بدن به وسیله تبخیر نیز به میزان رطوبت نسبی و جریان هوا بستگی دارد. جریان طبیعی هوا وقتی باعث خنکی بهتر

بدن می‌شود که دمای آن کمتر از دمای سطح پوست بوده و رطوبت نسبی هوا خیلی زیاد نباشد.

مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر احساس آسایش

دمای هوا	جریان هوا
دمای متوسط تشعشعی	میزان فعالیت
رطوبت هوا	نوع پوشش

دمای هوا

دمای هوای درون فضای مورد نظر که در حقیقت همان دمای خشک می‌باشد به سادگی به وسیله دماسنج خوانده می‌شود. جذب و یا دفع حرارت از بدن ارتباط مستقیم با دمای محیط دارد.

دمای متوسط تشعشعی

دمای متوسط تشعشعی عبارتست از: متوسط دمای سطوح مختلف در یک فضا نسبت به فاصله نقطه مورد نظر و یا زاویه نفوذ از آن فضا. حتی اگر بدن تماس با اشیا و عناصر سرد یا گرم نداشته باشد، انتقال انرژی به واسطه پدیده تشعشع صورت می‌پذیرد میزان انتقال انرژی بستگی مستقیم به اختلاف دمای دو عنصر دارد. طبیعی است که اگر دمای اشیا و به ویژه سطوح داخلی یک بنا سردتر از دمای بدن باشد، طبق قوانین ترمودینامیک، انتقال حرارت از بدن به سمت سطوح داخلی بنا بوده و هنگامی که دمای سطوح داخلی گرم‌تر از دمای سطح بدن باشد، انتقال حرارت به عکس خواهد بود.

مقدار دمای متوسط تشعشعی از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

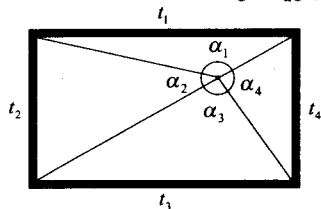
$$t_{mrt} = \frac{t_1\alpha_1 + t_2\alpha_2 + t_3\alpha_3 + \dots}{360} \quad (1)$$

در رابطه مزبور:

t_{mrt} = دمای متوسط تشعشعی بر حسب درجه سانتیگراد؛

t_1, t_2, \dots = دمای داخلی سطوح بر حسب درجه سانتیگراد؛

$\alpha_1, \alpha_2, \dots$ = زاویه نفوذ.



تصویر ۱- زوایای نفوذ برای محاسبه دمای متوسط تشعشعی.

رطوبت هوا

رطوبت نسبی هوای محیط، مقدار رطوبت موجود در هواست

هنگام انجام کار به وسیله بدن، نسبت شدت کار به شدت متابولیزم را کارایی مکانیکی بدن می‌نامند که با علامت η نشان داده می‌شود که معمولاً این مقدار در کارهای ساده به حساب نمی‌آید.

میزان فعالیت بدن با واحد دیگری به نام met نیز سنجیده می‌شود. شدت متابولیزم هنگام نشستن $(58W/m^2)$ به عنوان واحد پایه met یعنی I met تعیین شده است. بنا براین هر فعالیت با شدت متابولیزم X در واحد W/m^2 برابر است با $X/58$ در واحد met یعنی:

$$X(W/m^2) = X/58 (met) \quad (2)$$

نوع پوشش

نوع پوشش و لباس یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر آسایش حرارتی به شمار می‌آید. ضریب نارسانایی یا مقاومت لباس I_{cl} بوده و با واحد clo سنجیده می‌شود و عبارت است از مقدار لباسی که شخص در یک محیط با دمای $21^{\circ}C$ و جریان هوایی معادل $0.1m/s$ پوشیده و احساس آسایش به‌نماید (Gagge, et al, 1942). جدول ۲ ارزش نارسانایی پوشاک مختلف را نشان می‌دهد.

نوع پوشش	ضریب نارسانایی لباس I_{cl} (clo)	نسبت قسمت‌های پوشیده بدن به کل سطح پوست f_{cl}
برهنه	۰	۱
شلوار کوتاه	۰.۱	۱
پوشش سبک	۰.۴-۰.۶	۱/۱
بلوز و شلوار	۱	۱/۱۵
بلوز و شلوار + کت کتانی	۱/۵	۱/۱۵
لباس پشمی	۳-۴	۱/۳-۱/۵

جدول ۲. مقادیر ضریب نارسانایی لباس نسبت به نوع پوشش (ASHRAE, 1985).

تأثیر عوامل خاص بر احساس آسایش حرارتی

تأثیر عوامل متعدد دیگری بر احساس آسایش حرارتی، به وسیله محققان این رشته مورد مطالعه قرار گرفته که برخی از این موارد عبارتند از:

سن: اغلب این گونه عنوان می‌شود که با بالا رفتن سن، شدت متابولیزم در بدن کاهش یافته و به همین دلیل معمولاً این افراد دمای بالاتری را ترجیح می‌دهند. بنا بر مطالعاتی که بر روی گروهی از افراد مسن و جوان انجام شده، این نتیجه حاصل شده که عامل سن تأثیر چندانی در محدود آسایش ندارد. این بدان دلیل است که در افراد مسن، شدت متابولیزم پایین، موجب تعرق کمتر شده و در نتیجه حرارت کمتری از بدن دفع می‌شود (McIntyre, 1973).

جنس: مطالعاتی که در دانشگاه ایالتی کانزاس و دانشگاه فنی دانمارک انجام گرفته نشان می‌دهد که تفاوت چندانی بین دو جنس مؤنث و مذکر در احساس آسایش حرارتی وجود ندارد. گرچه

که با حداکثر رطوبتی که ممکن است در هوا موجود باشد مقایسه شده و به صورت عددی که درصد نسبت را تعیین می‌کند نشان داده می‌شود.

جریان هوا

در یک محیط گرم جریان هوا با سرعت $1m/s$ خوشایند بوده و تا $1/5m/s$ ممکن است قابل قبول باشد و در شرایط سرد جریان هوا نباید بیشتر از $0.25m/s$ و جریان کمتر از $0.1m/s$ نیز خوشایند نمی‌باشد. (Szokolay, 1987)

میزان فعالیت

میزان حرارت تولید شده به وسیله بدن انسان با واحد وات بر مترمربع پوست انسان (w/m^2) سنجیده می‌شود. میزان حرارت تولید شده بستگی به سطح پوست و فعالیت هر شخص دارد. به ازای یک مترمربع سطح پوست بدن یک انسان که خوابیده باشد، در حدود ۴۱ وات انرژی تولید می‌شود یعنی $0.41w/m^2$. اندازه سطح پوست یک انسان را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود (Dubois and Dubois, 1916):

$$A_{du} = 0.202 W^{0.725} \times h^{0.725}$$

در رابطه مزبور:

$$A_{du} = \text{سطح پوست بدن بر حسب متر مربع}$$

$$W = \text{وزن بدن بر حسب کیلوگرم}$$

$$H = \text{اندازه قد بر حسب متر}$$

به عنوان مثال، سطح پوست بدن یک انسان به وزن ۷۵ کیلوگرم

و قد ۱۸۰ سانتیمتر به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$A_{du} = 0.202 \times 75^{0.725} \times 1.8^{0.725} = 1.94m^2$$

بنابراین شخص مزبور در حالت خواب معادل $41 \times 1.94 = 79.54w$ انرژی تولید می‌کند.

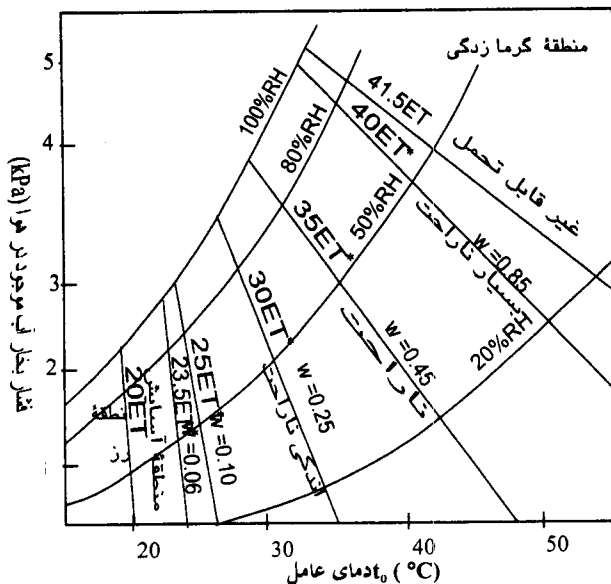
جدول ۱، شدت متابولیزم بدن انسان را در حالات گوناگون

نشان می‌دهد.

فعالیت	شدت متابولیزم (W/m^2)	میزان حرارت تولید شده (W)	کارایی مکانیکی η
خوابیدن	۴۱	۷۹/۵۴	۰
نشستن	۵۸	۱۱۲/۵۲	۰
ایستادن	۷۰	۱۳۵/۸	۰
قدم زدن با سرعت $4/8 Km/h$	۱۵۱	۲۹۲/۸۴	۰
کار منزل	۱۱۶-۱۹۸	۲۲۵-۲۸۴/۱۲	۰-۰/۱
تایپ کردن	۷۰-۸۱	۱۳۵/۸-۱۵۷/۱۴	۰
ژیمناستیک	۱۷۵-۲۲۳	۳۳۹/۵-۴۵۲	۰-۰/۱
کار سنگین	۲۰۴-۲۶۲	۳۹۵/۷۶-۵۰۸/۲۸	۰-۰/۱

جدول ۱- شدت متابولیزم، میزان حرارت تولید شده و کارایی مکانیکی به وسیله فعالیت‌های مختلف برای انسانی با قد ۱۸۰ سانتیمتر و وزن ۷۵ کیلوگرم (ASHRAE, 1985).

اقتباس شده و با مقیاس قدیمی ET تعویض شد.



تصویر ۲. محدوده آسایش بر حسب دمای مؤثر نوین ET*.

مقیاس نوین ET* عبارت است از: دمای خشک هوایی با رطوبت نسبی ۵۰٪ که بتواند با وجود تشعشع، کوران و تبخیر با رطوبت های نسبی متغیر، تأثیر مشابهی از نظرتبادل و احساس آسایش حرارتی به وجود آورد. این مقیاس بر اساس مساوی فرض نمودن دمای هوا و دمای عامل بنا شده است. دمای عامل (to) عبارت است از: میانگین دمای متوسط تشعشعی هوا و دمای متوسط هوا. در این نمودار، مقدار پوشاک با ضریب نارسانایی ۰/۶ clo، جریان هوایی معادل ۰/۲ m/s و فعالیتی برابر با ۱ met در مدت زمانی حدود یک ساعت فرض شده است.

همان طور که در تصویر ۲ مشاهده می شود، دمای مؤثر آسایش در رطوبت نسبی ۵۰٪ عبارت است از: $ET^* = 23.5^\circ C$ با میزان رطوبت سطح پوست $w = 0.06$ که در واقع بدون تعرق و معتدل بوده که نه احساس سرما می کند و نه گرما.

۲. تعیین دمای آسایش بر اساس متوسط دمای محیط

رابطه ای که در آن دمای آسایش بر اساس متوسط دمای خارجی بوده و اکثریت افراد نه احساس گرما می کنند و نه سرما، عبارت است از:

$$t_e = 0.31 t_m + 17.6^\circ C \quad (4)$$

در رابطه مزبور:

t_e = دمای آسایش بر حسب درجه سانتیگراد،

t_m = متوسط دمای محیط بر حسب درجه سانتیگراد،

رابطه بالا به شرطی صحیح است که $18.5 < t_e < 28.5$ باشد.

درجه حرارت پوستی در خانم ها اندکی کمتر از آقایان است، اما این مسئله با کاهش تعرق در آنها جبران می شود. از آنجایی که در کشورهای غربی خانم ها پوشاک سبکتری نسبت به آقایان می پوشند، لذا نسبت به سرما اندکی حساس تر می باشند و این امر در مکان های عمومی کشور ما کاملاً به عکس می باشد.

رنگ فضا: باور عمومی بر آن است که انسان در اتاق با رنگ گرم احساس گرمای بیشتری کرده و به عکس در فضاهایی که با رنگ سرد رنگ آمیزی شده اند، احساس سرما می کند. مطالعات همچنین نشان می دهد که رنگ اتاق ابدأ تأثیر حرارتی ندارد.

شرایط اقلیمی: خلاصه نتایج با توجه به مطالعاتی که انجام گرفته حاکی از آن است که بدن انسان با قرار گرفتن در شرایط اقلیمی جدید پس از اندک زمانی می تواند خود را سازگار ساخته و معیارهای حرارتی خویش را تغییر دهد. بنا براین اگر فردی در یک منطقه سرد سیر زندگی کند با دمای ۱۸ درجه سانتیگراد احساس آسایش می کند، همین شخص در یک منطقه گرمسیر تا دمای ۲۵ درجه همین احساس را خواهد داشت. در نتیجه یک گروه از افراد در یک اقلیم معین احساس آسایش گرمایی مشابهی دارند (1979 McNaill, et al, 1968 Fishman Pimbert).

۱. استفاده از دمای مؤثر در تعیین محدوده آسایش

تا کنون آزمایشهای متعددی برای ارائه مقیاس صحیحی که بتواند اثرات عوامل اقلیمی را بر آسایش حرارتی یکجا به نمایش بگذارد انجام شده و مقیاس ها و نمودارهای متعددی پیشنهاد شده است. یکی از اولین روش های مشهور، استفاده از خطوط آسایش معادل است. این خطوط نشان دهنده دمای مؤثر بود که با علامت (ET) نشان داده می شد. دمای مؤثر عبارت است از دمای هوای ساکن و اشباع شده از بخار آبی که بتواند بدون وجود تشعشع، تأثیر مشابهی از نظر احساس آسایش حرارتی به وجود آورد که در یک محیط واقعی ممکن است به وجود آید.

در ابتدا تأثیر دمای متوسط تشعشعی در نظر گرفته نشده بود که بعدها پس از تکمیل دما سنج کروی و اصلاحات انجام شده، به نام دمای مؤثر نوین نامیده و با علامت (ET*)^۲ نشان داده شد. (Gagge, et al, 1971) مطالعات انجام شده برای اندازه گیری ET* نشان می دهد که میزان رطوبت سطح پوست که به واسطه تعرق به وجود می آید بهترین روش محاسبه میزان ناراضایتی افراد از یک محیط است. بنا براین دمای سطح پوست (ts) و میزان رطوبت آن (w) دو عامل بسیار مهم در تخمین آسایش حرارتی به شمار می رود. میزان رطوبت سطح پوست (w)، عبارت است از: نسبت مقدار رطوبت تبخیر شده از سطح پوست در دمای مفروض به حداکثر رطوبتی که ممکن است از یک بدن کاملاً مرطوب در دمای مشابه تبخیر شود. این مقیاس در سال ۱۹۸۵ به وسیله (ASHRAE)^۲

$$U = 22/2 + 2 = 25/2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

نقاط t_L و t_U را بر روی منحنی رطوبت نسبی ۵۰٪ مشخص می‌کنیم.

$$\alpha_L = 0.025 \times (21/2 - 14) = 0.118$$

$$\alpha_U = 0.025 \times (25/2 - 14) = 0.218$$

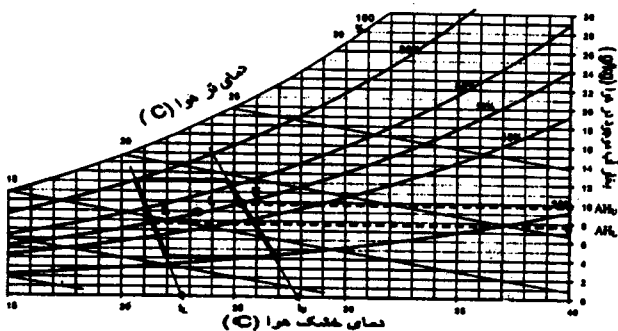
از روی جدول سایکرومتریک:

$$AH_U = 9/8 \text{ g/kg} \text{ و } AH_L = 7/7 \text{ g/kg}$$

$$t_L = 21/2 + (0.118 \times 7/7) = 22/6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_U = 25/2 + (0.218 \times 9/8) = 27/95 \text{ } ^\circ\text{C}$$

t_L را به L و t_U را به U وصل کرده و امتداد می‌دهیم. آنگاه تراز پایین و بالای محدوده آسایش به وسیله خطوط افقی رطوبت مخصوص 4 g/kg و 12 g/kg تعیین می‌شود. به این ترتیب چهار مرز محدوده آسایش به دست می‌آید. برای آنکه محدوده آسایش را برای تابستان و زمستان اقلیم مورد نظر بر روی یک نمودار به دست آورد، همین مراحل را با توجه به میانگین دمای تابستان و زمستان طی می‌کنیم. به این ترتیب دو سطح به دست می‌آید که یکدیگر را در قسمت میانی می‌پوشانند.



تصویر ۳- محدوده آسایش بر روی جدول سایکرومتریک

۴. تخمین محدوده آسایش (PMV)

از آنجایی که در این روش بسیاری از معیارهای آسایش از قبیل متغیرهای اقلیمی، نوع پوشاک و فعالیت با هم مورد استفاده قرار می‌گیرند، یکی از کامل‌ترین و دقیق‌ترین روش‌های تخمین محدوده آسایش شناخته شده است. این روش که به اختصار PMV خوانده می‌شود، به وسیله فانگر در سال ۱۹۷۰ پیشنهاد شده است که بر اساس محاسبه میزان تبادل حرارت بین بدن انسان و محیط پیرامونش استوار است.

متغیرهایی که در این محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از:

میزان حرارت تولید شده در اثر متابولیسم (W),

ضریب I_{cl} مقاومت یا نارسانایی لباس (clo),

دمای خشک ($^{\circ}\text{C}$),

۳. تعیین محدوده آسایش بر روی جدول سایکرومتریک

زوکلائی روش تعیین محدوده آسایش را بر روی جدول سایکرومتریک بر اساس فرمول شماره ۴ طبق مراحل زیر ارائه نموده است (Szokolay, 1987):

۱- تعیین متوسط دمای سالیانه، فصلی و یا ماهیانه منطقه مورد نظر.

۲- محاسبه دمای آسایش t_c بر اساس رابطه ۴.

۳- مشخص کردن دمای مزبور بر روی منحنی ۵۰٪ رطوبت نسبی.

۴- برای متوسط دمای سالیانه و فصلی، عرض محدوده با $\pm 2^{\circ}\text{C}$ تعیین شده و برای متوسط دمای ماهیانه این عرض با $\pm 1/75^{\circ}\text{C}$ مشخص می‌شود. بنا بر فرض اول، نقطه پایینی $t_c - 2$ و نقطه بالایی $t_c + 2$ بر روی منحنی ۵۰٪ رطوبت نسبی قرار می‌گیرد.

۵- تعیین تراز پایین و بالای محدوده آسایش به وسیله خطوط افقی رطوبت مخصوص 4 g/kg و 12 g/kg .

۶- جهت تعیین شیب محدوده‌های چپ و راست، از رابطه‌های زیر استفاده می‌کنیم:

$$t_L = L + (\alpha_L \times AH_L) \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5)$$

$$t_U = U + (\alpha_U \times AH_U) \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6)$$

در روابط مزبور:

AH_U و AH_L مقادیر رطوبت مخصوص نقاط L و U می‌باشند. t_L و t_U بر حسب درجه سانتیگراد، محل تلاقی خطوط شیب‌های عرضی با محور دمای خشک است.

برای به دست آوردن مقادیر α_L و α_U به ازای هر 1 g/kg رطوبت مخصوص نقاط L و U از رابطه‌های زیر استفاده می‌کنیم:

$$\alpha_L = 0.025 \times (L - 14) \text{ } ^\circ\text{Cg} / \text{kg} \quad (7)$$

$$\alpha_U = 0.025 \times (U - 14) \text{ } ^\circ\text{Cg} / \text{kg} \quad (8)$$

نقاط t_L و t_U را روی محور دمای خشک معین کرده و به نقاط L و U وصل می‌کنیم. بدین ترتیب شیب و عرض محدوده آسایش مشخص می‌شود.

لازم به توضیح است که محدوده مزبور برای یک کار نشسته با پوشش سبک تعریف شده و برای کارهای سنگین تر، t_c به صورت زیر باید تعدیل شود:

کار سبک در حدود 210 W : -2°C

کار متوسط در حدود 300 W : $-4/5^{\circ}\text{C}$

کار سنگین در حدود 400 W : -7°C

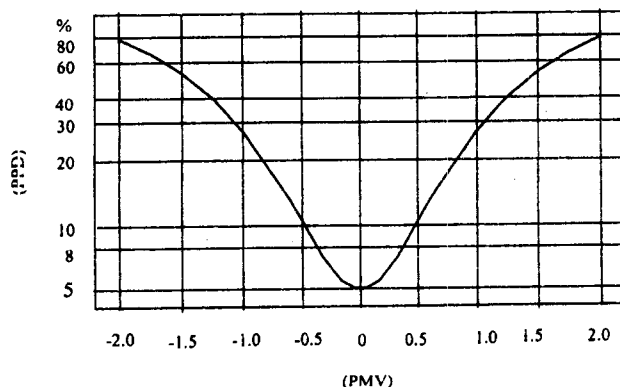
به عنوان مثال، محدوده آسایش برای منطقه ای که متوسط دمای سالیانه آن 18°C باشد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$t_{\text{mid}} = 18^{\circ}\text{C} \Rightarrow t_c = 0.31 \times 18 + 17/6 = 22/2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$L = 22/2 - 2 = 21/2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

۱۰ ضریب نارسانایی لباس بر حسب clo و سرعت جریان هوا بر حسب m/s است.

تخمین درصد نارضایتی (PPD)^۴ همان طور که قبلاً اشاره شده است، محدوده آسایش به محدوده‌ای گفته می‌شود که در آن حداقل ۸۰٪ افراد احساس آسایش حرارتی بنمایند. بنا بر اطلاعات متکی بر آزمایشات تجربی، هیچگاه تحت شرایط یکسان نمی‌توان ۱۰۰٪ رضایت افراد را جلب نمود. بنابراین همواره درصدی از افراد ابراز نارضایتی می‌کنند. برای تخمین درصد PPD از منحنی تصویر ۴ که یک منحنی متقارن نسبت به نقطه صفر است، استفاده می‌شود. در این منحنی، محور افقی به PMV و محور عمودی به اعداد PPD تعلق دارد. همان طور که مشاهده می‌شود، در بهترین حالت که PMV=0 است، PPD=۵٪ می‌باشد. یعنی در بهترین شرایط آسایش از نظر ۹۵٪ افراد، هنوز ۵٪ احساس نارضایتی می‌نمایند. هنگامی که مقدار PMV به +۱ یا -۱ می‌رسد، مقدار PPD برابر ۲۷٪ بوده و برای اعداد ± 2 ، مقدار PPD به ۷۷٪ می‌رسد.



تصویر ۴. درصد نارضایتی PPD بر حسب PMV.

مقدار PPD علاوه بر منحنی مزبور از رابطه زیر نیز قابل محاسبه می‌باشد:

$$PPD = 5 + 20.97 |PMV|^{1.81} \quad (12)$$

برای $|PMV| \leq 2$

به این ترتیب با استفاده از روش‌های مزبور، در مرحله طراحی و قبل از آنکه بنایی ساخته شود می‌توان تخمین زد که آیا بنای طراحی شده از نظر تأمین شرایط آسایش استفاده‌کنندگان مورد قبول واقع است یا خیر. بنابراین قبل از صرف هزینه‌های گزاف، به راحتی می‌توان نقاط ضعف را اصلاح نمود.

جمع بندی

زون یا منطقه آسایش عبارت است از: ترکیب مطلوبی از دمای

متوسط دمای تشعشعی ($^{\circ}C$),
سرعت جریان هوا (m/s),
فشار بخار آب (mmHg).

به منظور سنجش احساس حرارتی، هفت درجه متفاوتی که سازمان A. S. H. R. A. E. ارائه کرده به وسیله فانگر مورد استفاده قرار گرفته است:

- ۱- بسیار گرم +۳
- ۲- گرم +۲
- ۳- کمی گرم +۱
- ۴- متعادل ۰
- ۵- کمی سرد -۱
- ۶- سرد -۲
- ۷- بسیار سرد -۳

با محاسبه عدد مورد نظر PMV از طریق معادله ۹ می‌توان دریافت که محیط مورد مطالعه در کدامیک از طبقه بندی‌های بالا قرار می‌گیرد. همان طور که مشاهده می‌شود، قدر مطلق اعداد مزبور نسبت به نقطه صفر قرینه بوده و اعداد مثبت نشان دهنده جهت گرم و اعداد منفی، سوی سرد این معیار سنجش آسایش را مشخص می‌کند. در این معیار عددی که کمی بالاتر از (+۱) و یا اندکی پایین تر از (-۱) باشد، موجبات بروز نارضایتی را فراهم می‌نماید. بنابراین محدوده آسایش شامل $-1 < PMV < +1$ خواهد بود.

مقدار PMV از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$PMV = (0.352 e^{-0.042(M/A_{DU})} + 0.032) [M/A_{DU} (1-\eta) - 0.35 (43 - 0.061 M/A_{DU} (1-\eta) - p_a) - 0.42 (M/A_{DU} (1-\eta) - 50) - 0.0023 M/A_{DU} (1-P_a) - 0.0014 M/A_{DU} (34 - t_a) - 3.410^8 f_{cl} ((t_{cl} + 273)^4 - (t_{mr} + 273)^4) - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)]^{-1}$$

در رابطه مزبور:

$$M/A_{DU} = \text{شدت متابولیسم (W/m}^2\text{)},$$

$$\eta = \text{کارایی مکانیکی},$$

$$p_a = \text{فشار بخار آب (mmHg)},$$

$$t_a = \text{دمای هوا (}^{\circ}C\text{)},$$

$$f_{cl} = \text{نسبت قسمت های پوشیده بدن به کل سطح پوست (}f_{cl}\text{)},$$

$$t_{cl} = \text{دمای سطح لباس (}^{\circ}C\text{)},$$

$$t_{mr} = \text{متوسط دمای تشعشعی (}^{\circ}C\text{)},$$

$$h_c = \text{ضریب تبادل},$$

t_{cl} و h_c از روابط زیر قابل محاسبه هستند:

$$t_{cl} = 35.7 - 0.032 M/A_{DU} (1-\eta) - 0.18 t_a [3.410^8 f_{cl} ((t_{cl} + 273)^4 - (t_{mr} + 273)^4) + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)]$$

$$h_c = \begin{cases} 2.05(t_{cl} - t_a)^{0.25} & \text{برای } 2.05(t_{cl} - t_a) > 10.4\sqrt{v} \\ 10.4\sqrt{v} & \text{برای } 2.05(t_{cl} - t_a) < 10.4\sqrt{v} \end{cases}$$



3. American Society of Heating, Refrigeration and Air conditioning Engineers
4. Operative Temperature
5. Szokolay
6. Predicted Mean Vote
7. Predicted Percentage of Dissatisfied

منابع و ماخذ

- Watt, J.R. 1963. "Evaporative Air Conditioning". New York, The Industrial Press.
- Szokolay, S. V. 1987. Thermal Design of Buildings. Canberra, Raia Education Division.
- Dubois, D. and E. F. Dubois, 1916. A Formula to Estimate Approximate Surface Area. Archives of International Medicine Vol. 17, pp. 863-71.
- ASHRAE Handbook, 1985. Fundamentals, Chapter 5, American Society of Heating, Atlanta, Refrigerating and AirConditioning Engineers.
- Gagge, A. P. , Burton, A. C. and Bazett, H. C. 1942. "A Practical System of Units for the Description of Heat Exchange of Man with his Environment". Science. Vol. 94, pp. 428-430.
- Fanger, P. O. 1970. Thermal Comfort. Copenhagen. Danish Technical Press.
- Rohles, F. H. Jr. and Johnson, M. A. 1972. "Thermal Comfort in the Elderly". ASHRAE Transactions, Vol. 78, part 1.
- Griffiths, I. D. and McIntyre, D. A. 1973. The Balance of Radiant and Air Temperature for Warmth in older Women. Environmental Research, Vol. 6, pp. 383-388.
- McNall, P. E. Jr., Ryan, P. W., and Jaax, J. 1968. "Seasonal Variation in Comfort Conditions for Colleg-Age Persons in the Middle West". ASHRAE Transactions" Vol. 74, part 1.
- Fishman, D. S. and Pimbert, S. L. 1979. Survey of Subjective Responses to the Thermal Environment in Offices Indoor Climate. P. O. Fanger and O. Valbjorn (ed.). Copenhagen, Danish Building Research Institute, pp. 677-692.
- Gagge, A. P., Stolwijk, J. A. J. and Nishi, Y. 1971. An Effective Temperature Scale Based on a Simple Model of Human Physiological Regulatory Response. ASHRAE Trans., Vol. 77, pp. 247-62.

هوا، مقدار رطوبت نسبی، حرکت هوا و دمای متوسط تشعشعی که اکثریت افراد در آن محدوده احساس آسایش بنمایند. توجه به این نکته حایز اهمیت است که محدوده تعیین شده محدود کاملاً ثابتی نبوده و با متغیرهایی از قبیل مقدار پوشاک و نوع فعالیت تغییر پذیر است.

شش عامل به عنوان مهم ترین عوامل تأثیرگذار بر احساس آسایش حرارتی انسان شناخته شده که چهار عامل: دمای هوا، دمای متوسط تشعشعی، جریان هوا و رطوبت جزو عوامل محیطی و دو عامل دیگر یعنی میزان فعالیت و نوع پوشش از ویژگی های فردی به شمار می روند.

مطالعات نشان داده اند که علیرغم باور عمومی، عوامل دیگر از قبیل سن، جنس، رنگ فضا و شرایط اقلیمی تأثیر چندانی در احساس آسایش گرمایی ندارند.

روش هایی که می توان از آنها برای تعیین محدوده آسایش استفاده کرد، عبارتند از:

استفاده از دمای مؤثر. بر اساس این روش، جدولی ارائه شده که نشان دهنده خطوط آسایش معادل است. این خطوط نشان - دهنده دمای مؤثر می باشد و بنا بر این روش، دمای مؤثر آسایش در رطوبت نسبی ۵۰٪ عبارت است از $ET^* = 23/5^{\circ}C$. با میزان رطوبت سطح پوست $w = 0/06$ که در واقع بدون تعرق و معتدل بوده که شخص نه احساس سرما می کند و نه گرما.

تعیین دمای آسایش بر اساس متوسط دمای محیطی. در این روش از رابطه ای که ارائه شده جهت تعیین دمای آسایش استفاده می شود.

تعیین محدوده آسایش بر روی جدول سایکرومتریک. با استفاده از رابطه دمای آسایش که بر اساس متوسط دمای ماهیانه، فصلی و سالیانه قابل محاسبه است، می توان محدوده آسایش را بر روی این جدول تعیین نمود.

تعیین محدوده آسایش بر اساس تخمین متوسط آرای (PMV). بر اساس این روش، احساس گرمایی انسان از ۳- تا ۳+ مدرج شده و اعداد بزرگ تر از ۱- و کوچکتر از ۱+ نشان دهنده شرایط آسایش نسبی است. درجات مفروض از طریق رابطه ای که در متن مقاله بدان اشاره شده قابل محاسبه می باشد.

از آنجایی که هیچگاه تحت شرایط یکسان نمی توان ۱۰۰ درصد رضایت افراد را جلب نمود. بنابراین همواره درصدی از افراد ابراز نارضایتی می کنند. برای تخمین درصد نارضایتی (PPD)، از منحنی ارائه شده در متن استفاده می شود.

پی نوشت ها

1. Effective Temperature
2. New Effective Temperature