مقاله

مقدمه‌ای بر آسایش حرارتی

نگین معلمی خیاوی*
دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک
دانشگاه تربیت مدرس
negin.moallemi@modares.ac.ir

مهدی معرفت
دانشیار بخش مهندسی مکانیک
دانشگاه تربیت مدرس
maerefat@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۳۱

چکیده

از جمله نیازهای مهم محیطی، نگه‌داری شرایط آسایش حرارتی برای ساکنان است. این عامل اثر مستقیمی بر سلامت، میزان بهره‌وری و روحیهٔ افراد دارد. از سوی دیگر، ارزیابی آسایش حرارتی، فرایندی آگاهانه و دشوار است و مستلزم آگاهی از عوامل بسیاری چون شاخص‌های فیزیکی، فیزیولوژیکی، ذهنی، روانشناختی و عوامل دیگر می‌باشد. برای برآورد شرایط آسایش حرارتی دو روش تطبیقی و توازن حرارتی وجود دارد. در این مقاله توضیحاتی کلی دربارهٔ مفاهیم آسایش حرارتی، پایه و اساس فیزیولوژیکی تنظیم دمای بدن انسان، روش تطبیقی و روش توازن حرارتی آسایش حرارتی مطرح شده و دیاگرام‌های آسایش حرارتی استاندارد انجمن مهندسی گرما، سرما و تهویه مطبوع امریکا[1] معرفی شده است.

واژگان کلیدی: آسایش حرارتی، روش تطبیقی، روش توازن حرارتی، شاخص PMV-PPD

۱. مقدمه

آسایش حرارتی مطابق با استاندارد انجمن مهندسی گرما، سرما و تهویه مطبوع امریکا[2] [۱] و استاندارد ملی ایران[3] [۲]، حالتی ذهنی است که میزان رضایت فرد از محیط را بیان می‌کند. قضاوت دربارهٔ آسایش حرارتی فرایند پیچیده‌ای است که تحت تأثیر عوامل فیزیکی، فیزیولوژیکی، روانشناختی و دیگر شاخص‌ها قرار دارد. معمولاً احساس حرارتی در افراد مستقر در محیط‌های یکسان ممکن است متفاوت باشد. به‌عبارت دیگر، ممکن است افراد ساکن در یک محیط حرارتی و اقلیم یکسان و متعلق به یک فرهنگ واحد، عقیده‌های متفاوتی نسبت به آسایش حرارتی داشته باشند؛ زیرا شاخص‌های زیادی وجود دارد که بر درک حرارتی افراد اثرگذارند. در حالت کلی، معیار کاملی برای برآورد شرایط آسایش حرارتی وجود ندارد و می‌توان گفت که آسایش حرارتی زمانی رخ می‌دهد که دمای بدن در بازهٔ محدودی واقع شود، رطوبت پوست کم باشد و تلاش فیزیولوژیکی بدن برای تنظیم دمای بدن به‌حداقل برسد. آسایش حرارتی همچنین به میزان لباس، میزان فعالیت افراد، حالت قرارگیری افراد و جز این‌ها

بستگی دارد. در سال ۱۹۶۲ م، مک‌فرسن[۴] شش شاخص اساسی که آسایش حرارتی را تحت تأثیر قرار می‌دهند بدین صورت تعریف نمود: چهار فاکتور فیزیکی شامل دما و سرعت هوا، متوسط دمای تابش و رطوبت نسبی؛ و دو فاکتور شخصی شامل میزان عایق لباس و میزان فعالیت شخص [۳]. کنش متقابل و پیچیده‌ای که بین این عوامل وجود دارد، اثر مستقیم و چشمگیری بر سلامتی، آسایش و بازدهی و عملکرد افراد و ساکنان محیط می‌گذارد. به‌منظور دست‌یابی به شرایط حرارتی قابل قبول و رضایت‌بخش لازم است میزان تأثیر هر یک از شاخص‌های مذکور بر رفتار حرارتی ساکنان ساختمان بررسی شود. امروزه با توجه به نیاز شدید به کاهش مصرف انرژی و کاهش آلاینده‌ها، طی سال‌های اخیر بحث و تحقیق دربارهٔ آسایش حرارتی نظر بسیاری از پژوهشگران را به‌خود جلب نموده است. این تحقیقات شامل ارائهٔ مدل‌های آسایش حرارتی، مطالعات آزمایشگاهی، مطالعات میدانی و تدوین استانداردها می‌باشد. پژوهشگران برای تعیین شرایط حرارتی مناسب، به استانداردهای آسایش حرارتی مراجعه می‌کنند. در واقع استانداردها محدودهٔ دمایی که منجر به رضایت حرارتی برای حداقل ۸۰ درصد از ساکنان مستقر در یک فضا می‌شود را تعیین می‌کنند. استانداردهای بین‌المللی همچون اشری و ایزو براساس تحلیل تئوریکی تبادل حرارتی انسان در مناطق شمالی امریکا و اروپا تدوین شده است [۴]. این استانداردها براساس مدل‌های ریاضی پایه‌گذاری شده‌اند؛ مدل‌هایی که توسط فنگر[۵] بر پایهٔ مطالعات و آزمایش‌های محفظهٔ آب‌وهوایی[۶] توسعه داده شده‌اند. در حالی‌که شرایط آب‌وهوایی متفاوت همچون مناطق گرمسیری ممکن است شاخص‌های متفاوتی نسبت به پارامترهای آسایش ذکرشده در استانداردها را نیاز داشته باشند [۵].

هدف از نگارش این مقاله، ارائهٔ یک مرور کلی دربارهٔ روش‌های ارزیابی آسایش حرارتی، پایه و اساس فیزیولوژیکی آسایش حرارتی و سازوکارهای تبادل حرارتی بدن انسان با محیط اطراف می‌باشد.

۲. روش‌های بررسی آسایش حرارتی

در این مقاله دو روش بررسی آسایش حرارتی ارائه می‌شوند؛ روش‌هایی که هر یک محدودیت‌ها و توانایی‌هایی دارند. این دو روش عبارت‌اند از:

۱. روش توازن حرارتی

۲. روش تطبیقی[۷]

روش نخست از اطلاعات حاصل از مطالعات محفظهٔ آب‌وهوایی برای بسط تئوری خود استفاده می‌نماید که از آن جمله می‌توان به مدل فنگر اشاره کرد. روش دوم اما براساس مدل‌سازی اطلاعات حاصل از مطالعات میدانی پایه‌گذاری شده است.

۲-۱. روش توازن حرارتی

نتایج تجربی در حالت پایدار نشان می‌دهند که نارضایتی حرارتی در محیط سرد مربوط به متوسط دمای پوست و در محیط گرم مربوط به رطوبت پوست است. نارضایتی زمانی حاصل می‌شود که بدن خیلی گرم یا خیلی سرد شود و یا قسمتی از آن در معرض گرمایش و یا سرمایش ناخواسته قرار بگیرد. این مفاهیم پایه و اساس مدل‌هایی همچون مدل فنگر هستند که شش شاخص نام برده‌شده توسط مکفرسن را در نظر می‌گیرند. روش توازن حرارتی برمبنای آزمایشات فنگر در یک محفظهٔ آب‌وهوایی کنترل‌شده روی ۱۲۹۶ دانشجوی جوان دانمارکی و با استفاده از مدل انتقال حرارت حالت پایا می‌باشد. در این مطالعات شرکت‌کنندگان در آزمایش دارای پوشش و میزان فعالیت استاندارد بودند و در معرض محیط‌های حرارتی متفاوت قرار گرفتند. در برخی از مطالعات، شرایط حرارتی معینی انتخاب شده، سپس از شرکت‌کنندگان خواسته شد تا احساس گرما یا سرمای خود را براساس شاخص احساس حرارتی استاندارد اشری، که بین دوعدد ۳- و ۳+ است، بیان نمایند. بنابر دستورالعمل تأسیساتی اشری، هر عدد صحیح بین این دو مقدار به این‌صورت به احساس حرارتی ساکنان مربوط شده است:

+۳	خیلی گرم
+۲	گرم
+۱	کمی گرم
صفر	خنثی
−۱	کمی سرد
−۲	سرد
−۳	خیلی سرد

مدل فنگر تئوری توازن حرارتی را با تنظیم دمای فیزیولوژیکی بدن تلفیق می‌کند تا یک محدودهٔ دمای آسایش - که در آن ساکنان ساختمان‌ها احساس خنثی دارند - تعریف نماید. فرایندهای فیزیولوژیکی برای تنظیم دمای بدن عبارت‌اند از: تعریق، لرز و اتساع و انقباض عروق برای تنظیم جریان خون.

فنگر برای پیش بینی شرایط حرارتی خنثی، به بررسی فرایندهای فیزیولوژیکی در نزدیکی احساس حرارتی خنثی پرداخت. او دریافت که تنها فرایندهای فیزیولوژیکی در این محدوده، تعریق و متوسط دمای پوست بوده و این فرایندها تابعی از میزان فعالیت اشخاص هستند. وی از نتایج حاصل از ۱۸۶ دانشجوی شرکت‌کننده در آزمایش استفاده نمود. این شرکت‌کنندگان میزان لباس استانداردی به تن داشتند و در معرض شرایط محیطی مختلف قرار گرفتند. فنگر از نتایج مذکور برای یافتن ارتباطی خطی میان تعریق و میزان فعالیت استفاده کرد. او همچنین از ۲۰ دانشجو با میزان لباس استاندارد در یک محفظهٔ آب‌وهوایی با سطوح فعالیت متفاوت (سکون، کم، متوسط و زیاد) برای یافتن رابطهٔ خطی میان متوسط دمای پوست و میزان فعالیت استفاده کرد. پس از جایگذاری این دو رابطهٔ خطی در معادلهٔ توازن حرارتی، معادلهٔ آسایش به‌دست آمد. معادلهٔ حاصل عدم توازن بین شار حرارتی از بدن در شرایط حرارتی معین و شار حرارتی در شرایط خنثی را برای سطح فعالیت معین بیان می‌کند. این معادله شرایط حرارتی را به شاخص احساس حرارتی اشری ارتباط داده و به‌عنوان شاخص PMV شناخته می‌شود. بعداً شاخص PMV با شاخص نارضایتی حرارتی[8] ترکیب شد. امروزه مدل PMV-PPD فنگر به‌طور گسترده‌ای برای طراحی و ارزیابی میدانی آسایش حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵]. علاوه بر مدل PMV-PPD، مدل شناخته‌شده دو گره‌ای پیرس[9] وجود دارد که توسط گایج[10] براساس معادلهٔ توازن حرارتی توسعه یافته است. در این مدل بدن به دو استوانهٔ هم‌مرکز تقسیم شده است. استوانهٔ مرکزی هسته بدن است که دارای دمای ۳۷/۱ درجهٔ سانتی‌گراد می‌باشد و لایهٔ بیرونی پوست بدن است که ۳۳/۱ درجهٔ سانتی‌گراد دما دارد [۶]. مدل فنگر برای پیش‌بینی شرایط آسایش حرارتی در حالت پایا می‌باشد، در حالی‌که مدل دو نقطه‌ای معیاری برای بیان آسایش حرارتی در شرایط ناپایاست.

۲-۱-۱. شاخص PMV

مراد از این شاخص، پیش‌بینی و نسبت‌دادن اعدادی برای بیان میانگین احساس گرما در بیشتر ساکنان در محیط است. این شاخص چهار عامل محیطی و دو عامل شخصی مکفرسن را مدنظر قرار داده است. این شاخص برای حالت دائم استخراج شده است، اما اگر یک یا چند مورد از متغیرها دارای نوسانات کمی باشند، باز هم این شاخص قابل کاربرد است. در این‌گونه موارد باید از میزان متوسط متغیرها طی یک ساعت گذشته استفاده کرد.

معادلهٔ آسایش زمانی قابل کاربرد است که شخص در تعادل گرمایی با محیط باشد. اگر تعادل با محیط برقرار نباشد، بدن تحت تغییرات فیزیولوژیکی قرار می‌گیرد تا سازوکارهای مؤثر را فعال کند. فنگر فرض کرده است که احساس گرما و سرما در یک میزان فعالیت خاص، وابسته به این تغییرات فیزیولوژیکی است. او معادلهٔ تعادل را برای پیش‌بینی یک مقدار عددی برای احساس حرارتی ساکنان محیط به‌کار برد. شاخص احساس گرما - که توسط وی بیان شده - بر هفت مقیاس فیزیولوژیکی، که در جدول ۱ نشان داده شده است، استوار است [۷]. برای محاسبهٔ PMV از دو روش متداول استفاده می‌شود [۸]:

الف: استفاده از روابط ریاضی: این روابط معمولاً برای کدنویسی‌های کامپیوتری مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این روش، با استفاده از سعی و خطا مقدار PMV محاسبه می‌شود.

ب: استفاده از جدول‌ها و نمودارها: این جدول‌ها و نمودارها با توجه به فعالیت متابولیکی، میزان پوشش، دمای عملکردی و سرعت نسبی مقدار PMV را محاسبه می‌نمایند.

جدول ۱. هفت مقیاس فیزیولوژیکی شاخص PMV

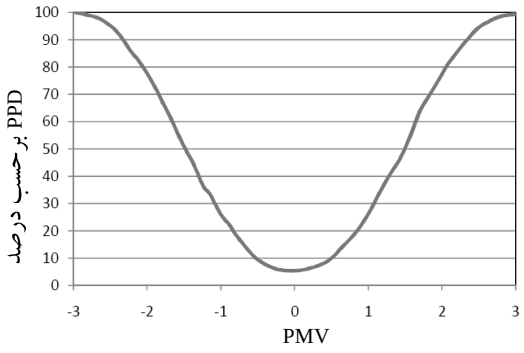
+۳	خیلی گرم
+۲	گرم
+۱	کمی گرم
صفر	خنثی
−۱	کمی سرد
−۲	سرد
−۳	خیلی سرد

۲-۱-۲. شاخص PPD

شاخص PMV، پاسخ گروه بزرگی از اشخاص را که تحت شرایط محیطی یکسان قرار گرفته‌اند، پیش‌بینی می‌کند. برای پیش‌بینی آرای انفرادی افراد، باید از شاخص PPD استفاده کرد. شاخص PPD برای کاربردهای داخلی معنادارتر از شاخص PMV است. این شاخص تعداد افرادی که احساس سرما یا گرما می‌کنند را محاسبه می‌نماید. در واقع این افراد احساس گرما و یا سرمای ناراحت‌کننده می‌کنند. لذا این شاخص، تعداد افرادی را که در بین گروه بزرگی از اشخاص احساس نارضایتی دارند، تعیین می‌کند. محاسبهٔ مقدار PPD با استفاده از مقدار PMV صورت می‌گیرد. برای این کار یا از شکل ۱ و یا از رابطهٔ ۱ استفاده می‌شود:

$$PPD = 100 - 95e^{(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)} \quad (۱)$$

همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، حتی زمانی‌که مقدار PMV صفر باشد، پنج درصد از افراد احساس نارضایتی دارند. هرچه مقدار PMV از صفر بزرگتر و یا کوچکتر شود، درصد نارضایتی اشخاص نیز بیشتر می‌شود. بازهٔ پیشنهادی در استاندارد ایزو ۷۷۳۰[۱۱] برای PMV بین ۰/۵− تا ۰/۵+ و برای PPD کمتر از ۱۰ درصد است [۹].



شکل ۱. مقدار PPD به‌صورت تابعی از PMV

شاخص‌های PMV و PPD تنها در مدل‌های دائم قابل استفاده‌اند. در مدل‌های آسایش حرارتی گذرا از شاخص‌های دیگری استفاده می‌شود. در مدل دو نقطه‌ای گایج دو پارامتر حرارتی (TSENS) و نارضایتی حرارتی (DISC) مورد توجه قرار می گیرند. مقادیر مختلف شاخص TSENS بیانگر احساس حرارتی افراد است؛ به‌طوری‌که مقادیر ۵+ و ۵− نشان‌دهندهٔ گرما یا سرمای غیرقابل تحمل، مقادیر ۴+ و ۴− نشان‌دهندهٔ حالت خیلی گرم یا خیلی سرد، مقادیر ۳+ و ۳− نشان‌دهندهٔ حالت داغ یا سرد، مقادیر ۲+ و ۲− گرم یا خنک، مقادیر ۱+ و ۱− کمی گرم یا کمی خنک و نهایتاً مقدار صفر نشان‌دهندهٔ حالت خنثی است. مقادیر مختلف برای شاخص DISC نیز بدین صورت دسته‌بندی می‌شوند که مقدار صفر بیانگر شرایط آسایش، مقادیر ۱+ و ۱− کمی ناراحت ولی قابل قبول، مقادیر ۲+ و ۲− ناخوشایند، مقادیر ۳+ و ۳− خیلی ناخوشایند، مقادیر ۴+ و ۴− به‌سختی قابل تحمل و نهایتاً ۵+ و ۵− نشانگر شرایط غیرقابل تحمل است.

۲-۲. روش تطبیقی

روش تطبیقی براساس مطالعات میدانی و به‌منظور تحلیل محیط‌های حرارتی واقعی می‌باشد. در حالت کلی، دیئر[۱۲] مطالعات تطبیقی را بر سه دسته تقسیم کرده است: تطبیق رفتاری[۱۳]، فیزیولوژیکی و روانشناختی. مطالعات میدانی امکان بررسی شاخص‌های بیشتری نسبت به محفظهٔ آب‌وهوایی فراهم می‌آورد. با این توضیح که بررسی اثر عادات روزانه، لباس‌های روزانه و رفتار افراد بدون هیچ‌گونه محدودیت در این روش ممکن می‌شود. تاکنون مطالعات تطبیقی زیادی در زمینهٔ آسایش حرارتی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به این موارد اشاره نمود [۵]:

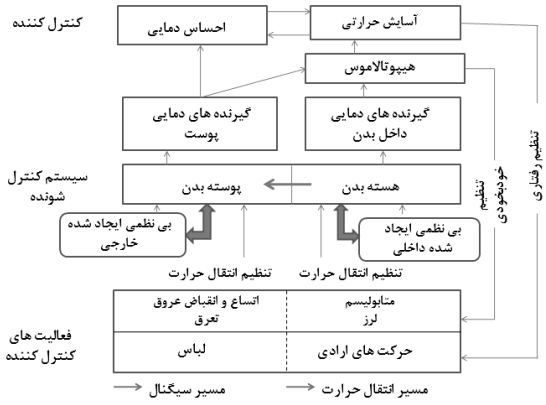
۱. تکنیک‌ها و مدل‌های آسایش حرارتی
۲. مطالعهٔ مقایسه‌ای بین فضاهای مدرن و سنتی
۳. روش‌های ارزیابی عملکرد ساختمان
۴. سیستم‌های با مصرف انرژی پایین
۵. مطالعهٔ مقایسه‌ای نسبت به جنسیت
۶. تأثیر شرایط هوای داخل بر درک حرارتی
۷. آسایش حرارتی در کلاس‌های درس
۸. آسایش حرارتی بیماران در بیمارستان
۹. آسایش حرارتی برای فضاهای بیرونی و جز این‌ها

۳. پایه و اساس فیزیولوژیکی آسایش حرارتی

انرژی تولیدشده از طریق سوخت‌وساز بدن باید به‌طور مداوم به‌صورت حرارت به محیط منتقل شود و یا کار انجام دهد، تا دمای بدن در شرایط طبیعی باقی بماند. به‌بیان دیگر، بدن انسان را می‌توان به‌منزلهٔ یک موتور حرارتی فرض کرد که انرژی ورودی آن از طریق غذا تأمین می‌شود و باید بخشی از حرارت تولیدی را به‌صورت حرارت غیرقابل مصرف به محیط دفع نماید. در نتیجه با فرض بدن انسان به‌عنوان یک ماشین ترمودینامیکی با بازدهی η داریم:

$$\eta = 1 - \frac{T_a}{T_b} \qquad (۲)$$

به‌طوری‌که در این رابطه T_a دمای محیط و T_b دمای بدن برحسب درجهٔ سانتی‌گراد است [۱۰]. بدن انسان اساساً به‌وسیلهٔ سوخت‌وساز تولید حرارت می‌کند و این حرارت عمدتاً به‌وسیلهٔ تشعشع و همرفت با محیط مبادله و به‌وسیلهٔ تبخیر تلف می‌شود. دمای بدن انسان در طول استراحت و فعالیت عادی حدود ۳۷ درجهٔ سانتی‌گراد است. سیستم کنترلی دمای بدن انسان تلاش می‌کند تا دمای بدن را در طی بی‌نظمی‌های حرارتی ایجادشده در محدودهٔ این دما نگاه دارد. سیستم تنظیم دمایی بدن انسان یک سیستم پیچیده است و شامل شاخص‌های کنترلی بیش از یک سیستم تکنیکی کنترلی واقعی است. این سیستم دارای یک رفتار ریاضی غیرخطی، حلقه‌های بازخورد و خروجی‌های گوناگون است. شکل ۲، برخی از تکنیک‌های سیستم تنظیم دمایی بدن انسان را نمایش می‌دهد.



شکل ۲. دیاگرام سیستم تنظیم دمای ارادی و رفتاری بدن انسان

متغیر کنترل‌شونده، مقدار ترکیبی دمای داخل بدن و دمای پوست است. سیستم کنترل‌شونده تحت تأثیر اغتشاشات حرارتی داخلی و خارجی است. اغتشاشات حرارتی خارجی به‌سرعت توسط گیرنده‌های حرارتی پوست دریافت می‌شوند. این گیرنده‌ها سبب فعال‌شدن سیستم تنظیم دمایی قبل از اینکه اغتشاشات به هستهٔ بدن برسد، می‌شوند. نکتهٔ مهم در این مقوله این است که گیرنده‌های دمایی به‌همان اندازه که به دما حساس‌اند، به تغییرات آن

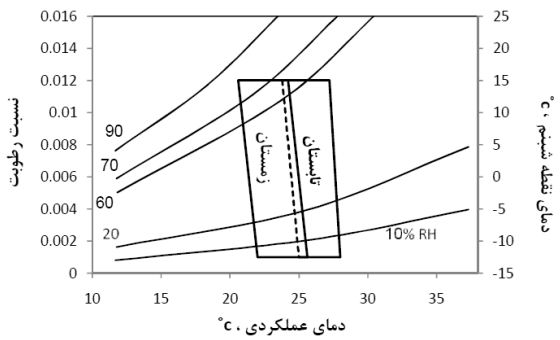
نیز پاسخ می‌دهند. تنظیم دمایی خودبه‌خودی توسط هیپوتالاموس کنترل می‌شود.

به‌طور کلی، فعالیت‌های کنترلی متنوعی وجود دارند که عبارت‌اند از: تنظیم حرارت تولیدشده (برای مثال به‌وسیلهٔ لرز)، مقاومت حرارتی داخلی (به‌وسیلهٔ اتساع و انقباض عروق؛ یعنی کنترل جریان خون پوست)، مقاومت حرارتی خارجی (برای مثال کنترل اتلاف حرارت تنفسی)، ترشح و تبخیر آب (برای مثال به‌وسیلهٔ تعریق و اتلاف حرارت تبخیری به‌واسطهٔ تنفس). علاوه بر سیستم تنظیم دمایی غیرارادی، سیستم تنظیم دمایی رفتاری همانند تغییر سطح فعالیت و میزان لباس وجود دارد [۵]. در سالهای گذشته، تعدادی مدل برای شبیه‌سازی رفتار دینامیکی سیستم تنظیم دمایی بدن انسان توسعه یافته است. مثال بارز آن نیز مدل استالویک [۱۱] می‌باشد که بعداً توسط گوردون توسعه پیدا کرده است [۱۲]. در این مدل، بدن به تعداد زیادی جزء که توسط جریان خون به‌هم متصل‌اند، تقسیم شده است. هر جزء دارای حجم، چگالی، ظرفیت گرمایی، هدایت حرارتی، متابولیسم و جریان خون منحصر به‌خود می‌باشد. دما و نرخ تغییرات آن برای هر جزء به‌عنوان ورودی برای سیستم کنترلی است و خروجی از سیستم کنترل‌کننده برای هر قسمت سیستم کنترل شونده اعمال می‌شود [۱۱].

۴. مناطق آسایش حرارتی و دیاگرام‌های آن در محاسبات تأسیساتی

از جمله روش‌های پیش‌بینی آسایش حرارتی، استفاده از مدل‌های آسایش حرارتی است. روش دیگر استفاده از مناطق آسایشی استاندارد اشری می‌باشد. مناطق آسایشی زمستانی و تابستانی در شکل ۳ نمایش داده شده است. این دیاگرام‌ها کمک می‌کنند تا پارامترهای داخلی به‌گونه‌ای انتخاب شوند که اشخاص در ناحیهٔ آسایشی قرار بگیرند. این دیاگرام‌ها برای نرخ متابولیک کمتر از ۱/۱ met می‌باشد. نرخ سوخت‌وساز بدن در واقع نرخ حرارت حاصل‌شده از اکسداسیون مواد غذایی در بدن است که به نوع رژیم غذایی و میزان فعالیت شخص بستگی دارد. معمولاً نرخ سوخت‌وساز با واحد met بیان می‌شود. بنا به تعریف ۱ met برابر میزان متابولیک یک شخص نشسته و در حال استراحت است [۷].[۱۴] برای تابستان، میزان عایق پوشش در نظر گرفته‌شده ۰/۵ clo و برای زمستان میزان عایق پوشش ۱ clo در نظر گرفته شده است و سرعت وزش هوا کمتر از ۰/۲ متر بر ثانیه است. اصولاً مقاومت حرارتی لباس برحسب clo بیان می‌شود. معمولاً میزان عایق پوشش از طریق اندازه‌گیری روی مانکن‌های گرم‌شده، که مدلی از بدن انسان می‌باشند، به‌دست می‌آید.[۱۵]

با توجه به شکل ۳، در میانهٔ ناحیهٔ آسایش، شخص احساسی نزدیک به حالت خنثی دارد. در مرز گرم‌تر ناحیه، احساس حرارتی شخص تقریباً معادل با ۰/۵+ شاخص PMV و در مرز سردتر ناحیهٔ آسایش، احساس حرارتی شخص تقریباً معادل ۰/۵− شاخص PMV خواهد بود.



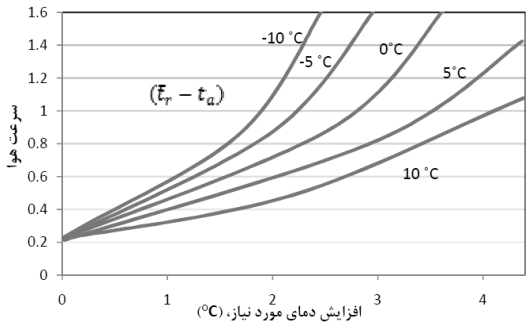
شکل ۳. مناطق آسایش تابستانی و زمستانی [۱]

در حالت کلی، محدودهٔ دمایی ناحیهٔ آسایش می‌تواند به ازای هر ۰/۱ clo افزایش در میزان عایق پوشش، به اندازهٔ ۰/۶ درجهٔ کلوین کاهش یابد و برعکس. به‌طور مشابه، محدودهٔ دمایی می‌تواند به اندازهٔ ۱/۴ کلوین به ازای ۱ met افزایش در سطح فعالیت، کاهش یابد [۱]. برای جلوگیری از نارضایتی حرارتی، نـوینز[۱۶] در سال ۱۹۷۵ م پیشنهاد کرد که در مرز گرم منطقهٔ آسایش رطوبت نسبی از ۶۰ درصد

تجاوز نکند و با توجه به شکل ۳، حد بالای نسبت رطوبت ۰/۰۱۲ می‌باشد که معادل با نقطهٔ شبنم ۱۶/۸ درجهٔ سانتی‌گراد در فشار استاندارد است. مناطق آسایشی اشری تنها دمای مؤثر بهینه و مرزی را برای تعیین پارامترهای داخلی بهینه در زمستان و تابستان توصیه می‌کنند. برای میزان پوشش، سطح فعالیت و سرعت هوای داخلی نزدیک به مقادیر توصیه‌شده، بازهٔ وسیعی از شرایط طرح داخلی قابل کاربرد می‌باشد [۸].

۴-۱. تأثیر سرعت هوا

مناطق آسایش (شکل ۳)، برای سرعت هوای کمتر ۰/۲ متر بر ثانیه می‌باشد. البته برای سرعت‌های بیشتر این دیاگرام قابل استفاده است. سرعت هوای مورد نیاز برای جبران افزایش دما در شکل ۴ نمایش داده شده است.



شکل ۴. سرعت هوای مورد نیاز

برای جبران تغییر دما در مرزهای منطقهٔ آسایش [۱]

افزایش سرعت هوا به متوسط دمای تابش بستگی دارد. زمانی‌که متوسط دمای تابش از دمای محیط کمتر است، افزایش سرعت هوا اثر کمتری بر اتلاف حرارتی دارد و لذا برای یک افزایش دمای معین به افزایش سرعت هوای بیشتری نیاز است. برعکس، وقتی متوسط دمای تابش از دمای محیط بیشتر است، افزایش سرعت هوا اثر بیشتری بر اتلاف حرارتی داشته، لذا برای یک افزایش دمای معین به افزایش سرعت هوای کمتری نیاز است [۱].

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله مروری کلی دربارهٔ مفاهیم آسایش حرارتی، پایه و اساس تنظیم دمای فیزیولوژیکی بدن، روش‌های بررسی آسایش حرارتی؛ یعنی روش توازن حرارتی و تطبیقی ارائه شد. این دو روش، هر کدام دارای محدودیت‌ها و توانایی‌هایی در پیش‌بینی شرایط آسایش می‌باشند. در شرایط پایدار و برای افراد با سطح فعالیت کم، روش توازن حرارتی پیش‌بینی دقیقی از احساس حرارتی افراد ارائه می‌دهد، اما این روش همیشه یک برآوردکنندهٔ خوب نیست. روش تطبیقی امکان بررسی شاخص‌های بیشتری نسبت به محفظهٔ آب‌وهوایی فراهم می‌آورد. در این روش می‌توان احساس حرارتی افراد را با در نظر گرفتن پوشش روزانه و فعالیت روزانه بدون هیچ‌گونه محدودیتی به‌دست آورد. بنابراین معمولاً مطالعات میدانی در کنار مطالعات آزمایشگاهی توصیه می‌شود.

در این مقاله، همچنین مفاهیم سیستم تنظیم دمای فیزیولوژیکی بدن و دیاگرام‌های آسایش حرارتی استاندارد اشری بیان شد. مطابق مطالعات فنگر، سیستم تنظیم دمای بدن انسان سیستمی کاملاً مؤثر بوده و قادر است توازن حرارتی بدن را در محدودهٔ وسیعی از متغیرهای محیطی برقرار کند. اگرچه ممکن است آسایش برقرار نباشد.

باید توجه داشت که استانداردهای آسایش حرارتی براساس مطالعات آزمایشگاهی برای مناطق شمال امریکا و اروپا به‌دست آمده‌اند و بنابراین آسایش حرارتی در اقلیم‌های متفاوت ممکن است به شاخص‌های متفاوت و بیشتری نسبت به آنچه در استانداردها آمده است، نیاز داشته باشند.

۶. مآخذ

[1] ANSI/ASHRAE Standard 55. *Thermal Environment Conditions for Human Occupancy*, 2004.

[۲] استاندارد ملی ایران ۱۴۳۸۳: *تعیین شاخص‌های آسایش حرارتی PMV و PPD و معیارهای آسایش حرارتی موضعی*، چاپ اول، تهران، ۱۳۹۰.

[3] Lin, Z, S. Deng. "A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics-developing a thermal comfort model for sleeping environments." *Journal of Building and Environment*, 43, (2008):70–80,

[4] Ogbonna A.C., D.J. Harris. "Thermal comfort in sub-Saharan Africa: field study report in Jos–Nigeria." *Applied Energy*, 85, (2008):1–11.

[5] Noe, D., T. Rene, N. Donatien. "Thermal Comfort: A Review Paper." *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2010):2626-2640.

[6] Gagge A.P., A.P. Fobelets, L.G. Berglund. "A standard predictive index of human response to the thermal environment." *ASHRAE Transactions*; 92(2B) (1986): 709-31.

[۷] معرفت، مهدی، امیر امیدوار. *آسایش حرارتی: محاسبات و ملاحظات طراحی*. تهران: یزدا، ۱۳۹۱.

[۸] حیدری‌نژاد، قاسم. *آسایش حرارتی*. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۸.

[۹] معرفت، مهدی، امیر امیدوار. *آسایش حرارتی (رهیافتی در بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان)*. تهران: کلید آموزش، ۱۳۸۷.

[10] Zingano B.W. "A discussion on thermal comfort with reference to bath water temperature to deduce a midpoint of the thermal comfort temperature zone". *Journal of Renewable Energy*, 23 (2001):41-7.

[11] Stolwijk JAJ. "A mathematical model of physiological temperature regulation in man." NASA contractor report, NASA CR-1855. Washington D.C., National aeronautics and space administrations, 1971.

[12] Gordon R.G., "The response of a human temperature regulatory system model in the cold." PhD Thesis, University of California, Santa Barbara, CA; 1974.

پی‌نوشت

1. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), https://www.ashrae.org (accessed October 5, 2014)
2. ASHRAE Standard 55
3. ISIRI 14384
4. Macpherson
5. Fangar
6. Climate chamber
7. Adaptive approach
8. PPD
9. Pierce
10. Gagge
11. IS0 7730
12. De Dear
13. behavior adaption
14. 1 met=58.15 w/m^2
15. 1clo=0.155 m^2.k/w
16. Nevines