اولویت‌بندی و میزان اثربخشی روشهای بهینه‌سازی همزمان شرایط آسایش حرارتی و مصرف انرژی در ساختمان

مهدی معرفت[1*]، امیر امیدوار[2]، سیدعلیرضا ذوالفقاری[3]

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی ومهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۳- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

چکیده

ایجاد شرایطی مطبوع و دلپذیر، یکی از موضوعات مورد توجه مهندسان معمار و طراحان ساختمان است. یکی از عوامل مؤثر بر آسایش ساکنان ساختمان، شرایط آسایش حرارتی است. شرایط آسایش حرارتی و مصرف انرژی دو مقوله انفکاک‌ناپذیرند؛ به‌طوری‌که، بهبود شرایط آسایش حرارتی، در ساختمان، اغلب با افزایش مصرف انرژی همراه است. در این تحقیق روشهای بهبود شرایط آسایش حرارتی که با صرفه‌جویی در مصرف انرژی همراه می‌باشند، شناسایی و تدابیر لازم برای اجرای موارد یاد شده ارائه شده است. یکی از این روشها، کنترل کوران هوا در محیطهای بسته است. با استفاده از سیستمهای گرمایشی که سرعت و شدت اغتشاش جریان هوای کمی در اتاق ایجاد می‌کنند مانند سیستمهای گرمایش از کف، می‌توان از سرمایش موضعی بدن در زمستان جلوگیری کرد. تهویه طبیعی ساختمان نیز به‌دلیل امکان سازگاری افراد با توجه به توانایی ذاتی خود، با شرایط محیطی، باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌گردد. فرش کردن کف ساختمان با مصالح و مواد مناسب، علاوه بر بهبود شرایط آسایش حرارتی، باعث کاهش مصرف انرژی در ساختمان می‌شود. محدود کردن دامنه نوسانات کنترل‌کننده‌های دما در ساختمانهایی که به‌طور دایم استفاده نمی‌شوند، تا حد زیادی مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. با به‌کارگیری تدابیر فوق، حسب مورد کاهش بین ۱۰ تا ۳۰ درصد مصرف انرژی در ساختمان برآورد می‌شود.

کلیدواژگان: آسایش حرارتی، مصرف انرژی، آسایش تطبیقی، تهویه طبیعی.

۱- مقدمه

محدودیت منابع انرژی و تخریبهای زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌حد و مرز منابع انرژی، دو مشکل عمده‌ای است که جامعه علمی و صنعتی امروز با آن روبروست. تغییرات وضعیت آب و هوایی، گرم شدن کره‌زمین، پارگی لایه ازون و نزول بارانهای اسیدی، همگی از عدم صرفه‌جویی و استفاده بهینه از منابع تجدیدناپذیر انرژی حکایت دارد، به همین دلیل، جامعه جهانی برآن شد تا با تشکیل کنوانسیونهای مختلف زیست محیطی و تشکیل کنفرانسهای متعدد در جستجوی راه‌چاره‌ای برای این فاجعه جهانی باشد. پروتکل مونترال، اولین نشانه یک اجماع جهانی در این مورد بود. در این پروتکل ۲۴ کشور متعهد شدند که از تولیدات CFCS خود بکاهند. سازمان ملل متحد در سال ۱۹۹۲ کنوانسیونی در مورد تغییرات شرایط آب و هوایی تصویب کرد که

* نویسنده مسؤول مقاله: maerefat@modares.ac.ir

ایران در سال ۱۹۹۶ به این کنوانسیون پیوست. در سال ۱۹۹۷ میلادی، کیوتو ژاپن میزبان بسیاری از کشورهای توسعه یافته و یا در حال توسعه در سمینار بین المللی تغییرات آب و هوا بود. در پایان این نشست کشورهای شرکت‌کننده نسبت به رعایت تمامی اصول زیست محیطی متعهد شدند که البته کشورهایی چون ایران و امریکا از قبول آن سرباز زدند.

آگاهی از محدودیت منابع انرژی و مسائل زیست محیطی در دنیا امروزه باعث توجه بیشتر به موضوع مصرف بهینه انرژی شده است؛ از آنجا که بخش اعظمی از مصرف انرژی سالیانه هر کشور مربوط به بخش ساختمان است، بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان، از اهمیت خاصی برخوردار است.

ایران با داشتن حدود یک درصد از جمعیت جهان، حدود نه درصد از فراورده‌های نفتی دنیا را مصرف می‌کند. در سالهای اخیر رشد مصرف انرژی در جهان سالیانه یک تا دو درصد و در ایران پنج تا هشت درصد بوده است. به عبارت دیگر رشد مصرف انرژی در ایران بیش از پنج برابر متوسط رشد مصرف جهانی است و سالیانه معادل ۱ تا ۱۳ میلیارد دلار نیز یارانه انرژی پرداخت می‌شود [۱، ص۲].

تحقیقات حاکی از استفاده تقریباً ۳۸ درصد کل انرژی مصرف شده در ایران در بخش ساختمان است که تقریباً ۳۹ درصد این مقدار انرژی از فراورده‌های نفتی، ۵۰ درصد آن از گاز طبیعی و بقیه از الکتریسیته تأمین می‌شود. ارزش مالی و اعتباری انرژی مصرف شده در بخش ساختمان در ایران، در سال ۲۰۰۱ میلادی بالغ بر ۵/۵ میلیارد دلار بوده است که پیش‌بینی می‌شود تا پایان سال ۲۰۲۰ به ۱۵۷/۶ میلیارد دلار برسد[۲، ص ٤۱۸].

مقایسه میزان مصرف سرانه انرژی بین کشورهای توسعه یافته و ایران، نشان داده که در ایران میزان مصرف انرژی به ازای هر متر مربع در بخش ساختمان و مسکن، ۲/٦ تا ٤ برابر این مقدار در کشورهای صنعتی است [۳، ص۳]. آمار و ارقام ارائه شده، نشانگر فاصله چشمگیر مصرف انرژی در بخش ساختمان در کشور ما با استانداردهای جهانی است. شرایط نابسامان موجود به دلایل گوناگونی پدید آمده است که از آن جمله می‌توان به سیاستگزاریهای نادرست در زمینه انرژی و قوانین و تعرفه‌های نامناسب و همچنین ساخت و سازهای غیراستاندارد و نبودن نظارت کافی بر اجرای استانداردهای موجود در بخش ساختمان اشاره کرد.

در سالهای اخیر توجه همهٔ محققان و دست‌اندرکاران مصرف انرژی در بخش ساختمان، به بحث صرفه‌جویی در مصرف انرژی و یافتن راهکارهای مناسب و کارا برای حفظ منابع انرژی، جلب شده است. بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان از اهمیت خاصی برخوردار است. در فرایند بهینه‌سازی مصرف انرژی در سیستمهای گرمایش و سرمایش ساختمان، برخلاف سایر سیستمهای تبدیل انرژی، با عوامل محدودکننده‌ای نظیر شرایط آسایش حرارتی روبرو هستیم. در اغلب موارد کم‌کردن مصرف انرژی در ساختمان، باعث بدتر شدن شرایط آسایش حرارتی می‌گردد؛ بنابراین ما باید درپی راهکارهایی باشیم که بتوانیم علاوه برحفظ شرایط آسایش حرارتی در محدوده قابل قبول، مصرف انرژی را نیز کاهش دهیم. استانداردهای موجود برای آسایش حرارتی قابلیتها و محدودیتهایی دارند که باعث شده نتوانند با قاطعیت شرایط آسایش حرارتی را پیش‌بینی نمایند؛ از سوی دیگر، انسان می‌تواند تا حدی خود را با شرایط محیطی وفق دهد. بنابراین، به نظر می‌رسد استفاده از شرایط آسایش تطبیقی و تهویه طبیعی ساختمانها، گامی مهم اهداف فوق است. در این رهگذر، عواملی وجود دارند که موجب عدم آسایش حرارتی موضعی می‌گردند و به‌تبع آن مصرف انرژی نیز افزایش می‌یابد. شناخت و جلوگیری از بروز این عوامل، گامی دیگر در صرفه‌جویی در مصرف انرژی است؛ به‌طور کلی، باید درپی راهکارهایی باشیم تا بتوانیم دمای محیط داخل را متناسب با تغییرات شرایط خارج ساختمان تغییر دهیم؛ در مواردی‌که، مجبور به استفاده از سیستمهای تهویه مطبوع هستیم، انتخاب شیوه‌های مناسب برای کنترل این‌گونه سیستمها در پایین آوردن هزینه‌ها بسیار مؤثر است. نگارندگان این مقاله تاکنون تحقیقات نسبتاً وسیعی در ایران در زمینه آسایش حرارتی و مصرف انرژی با توجه به شرایط اقلیمی و آداب و رسوم منطقه‌ای انجام داده‌اند. امیدوار و معرفت در یک تحقیق ویژه، نحوهٔ عملکرد سیستمهای گرمایش تابشی سقفی و کفی را از نظر مصرف انرژی با هم مقایسه کرده‌اند[٤، ص۲]. نتایج نشان داده است که سیستمهای گرمایش کفی ۲ تا ۳ درصد مصرف انرژی کمتری دارند. همچنین این دو نفر ایجاد شرایط آسایش حرارتی تطبیقی و میزان تأثیر آن در مصرف انرژی را در ساختمانهایی که از سیستمهای گرمایش کفی استفاده می‌کنند مورد بررسی قرار داده‌اند[۵، ص۳]. یکی از نکات مهم دیگر در زمینه بهینه‌سازی انرژی و آسایش حرارتی، هماهنگی استانداردهای

آسایش حرارتی با شرایط اقلیمی و منطقه‌ای است. معمولاً در کشور ما هنوز از استانداردهای اروپایی و امریکایی استفاده می‌شود. نگارندگان این مقاله در یک تحقیق کلی، لزوم بومی‌سازی استانداردهای آسایش حرارتی در ساختمان و تأثیرات اقتصادی ناشی از آن را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند[٦، ص٣٠]. همچنین تحقیقاتی در زمینه تأثیر برخط از پارامترهای معماری بر نحوه عملکرد سیستمهای تابشی انجام شده است [٧، ص٣]. تاکنون روشهای زیادی به‌منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان مطرح شده است؛ اما در اغلب این موارد کمتر به بحث آسایش حرارتی با توجه به شرایط اقلیمی و آداب و رسوم منطقه‌ای پرداخته شده است. در این مقاله برخی از روشهای بهینه‌سازی همزمان مصرف انرژی و شرایط آسایش حرارتی، اولویت و میزان اثربخشی هر یک بررسی خواهد شد.

٢- آسایش حرارتی و عوامل مؤثر بر آن

به‌طور کلی می‌توان شرایط آسایش را به چند شاخه اصلی تقسیم‌بندی کرد: آسایش کیفی، آسایش آکوستیکی، آسایش بصری و آسایش حرارتی. کیفیت هوا و شرایط محیط زندگی و کار از نظر میزان آلاینده‌های هوا، یکی از عوامل مهم و مؤثر در ایجاد شرایط آسایش است. این شاخه یعنی آسایش کیفی، امروزه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سر و صدای زیاد و همچنین نور نامناسب از جمله عواملی مؤثر بر آسایش آکوستیکی و بصری ساکنان ساختمانهاست. یکی دیگر از عواملی که آسایش ساکنان ساختمان را متأثر می‌سازد، شرایط آسایش حرارتی است. عوامل مؤثر بر شرایط آسایش حرارتی را می‌توان به دو دسته، یعنی عوامل محیطی و عوامل انسانی تقسیم‌بندی کرد. عوامل محیطی عبارتند از دمای هوای محیط، دمای سطوح داخلی ساختمان، سرعت جریان هوا و رطوبت نسبی هوای داخل ساختمان. عوامل انسانی نیز عبارتند از میزان فعالیت بدنی افراد و نرخ متابولیک آنها و همچنین نوع و میزان پوششی که بر تن دارند.

ممکن است پارامترهای مذکور، همگی در محدوده استاندارد باشند؛ اما باز هم ساکنان ساختمان نسبت‌به شرایط حرارتی شکایت داشته باشند. در بسیاری موارد به فضاهایی وارد می‌شویم که از نظر دما، رطوبت نسبی و سایر شاخصهای آسایش حرارتی در حد ایدئال و قابل قبولی هستند و حتی شاید کل بدن از نظر حرارتی احساس آسایش نماید؛ اما تنها در ناحیه مچ پا یا پشت گردن احساس سرمای موضعی وجود داشته باشد. به این احساس سرما یا گرمای موضعی و ناخواسته در اصطلاح *نارضایتی حرارتی موضعی*[1] گفته می‌شود.

به‌طورکلی، عوامل ایجاد کننده نارضایتی حرارتی می‌گردند را می‌توان در سه گروه عمده دسته بندی کرد[٨، ص٣٥]:

- سرمایش موضعی همرفتی به دلیل وزش (کوران)[2]، در بخشهای از بدن که لخت است و یا پوشش کمتری دارد.
- سرمایش و یا گرمایش بخشهایی از بدن به دلیل تابش (عدم تقارن تابشی[3]).
- احساس سرما و یا گرما در ناحیه کف پا به‌دلیل دمای غیر مجاز کف اتاق.

هر یک از رخدادهای مذکور باعث افزایش مصرف انرژی در ساختمان می‌شود. بنابراین، شناسایی و کنترل تمام عوامل نارضایتی حرارتی در محیط ضروری است.

٣- روشهای بهینه‌سازی آسایش حرارتی و مصرف انرژی در ساختمان

٣-١- کنترل کوران هوا

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، ممکن است تمامی شرایط آسایش حرارتی از جمله دمای هوا، دمای متوسط تابش، سرعت هوا و رطوبت نسبی در حد مطلوب و قابل قبول باشد؛ اما با این حال ساکنان ساختمان در زمستان، در برخی از بخشهای بدن خود به صورت موضعی احساس سرما نمایند. احساس سرمای موضعی، شرایط آسایش حرارتی را بر هم می‌زند.

یکی از عوامل مهم ایجادکننده احساس سرمای موضعی در بدن، کوران یا حرکت هواست. کوران آثار سرمایشی بر پوست بدن ایجاد می‌کند که این امر ناشی از جابه‌جایی حرارتی است. احساس سرمای موضعی در بدن تابع اختلاف دما بین هوا و پوست، سرعت هوا و اندازه تغییرات سرعت هوا یا به عبارتی میزان شدت اغتشاش است. ساکنانی که تحت کوران هوا در زمستان قرار می‌گیرند، برای مقابله با آثار سرمایش موضعی، نسبت به افزایش دمای اتاق تمایل دارند و این به معنای افزایش مصرف انرژی است[٨، ص٣٥]؛ از سوی دیگر، کوران باعث می‌شود تا

1. Local Thermal Discomfort
2. Draught
3. Asymmetric Radiation

سیستمهای تهویه، که بخشی از هوای مصرفی را از هوای محیط خارج تأمین می‌کنند، خاموش شوند؛ در نتیجه کیفیت هوای داخل کاهش می‌یابد. کوران غالباً در اثر سرعتهای بالای هوا و یا شدت اغتشاش جریان هوا ایجاد می‌شود. شدت اغتشاش را می‌توان به صورت نسبت انحراف استاندارد سرعت اغتشاش به میانگین زمانی سرعت تعریف کرد. نارضایتی حرارتی ناشی از کوران هوا حتی در میانگین سرعتهای کمتر از آنچه استانداردها پیشنهاد می‌کنند نیز، امکان‌پذیراست. این حالت در هنگام شدت اغتشاش جریان هوا رخ می‌دهد.

آزمایشهایی نیز به منظور بررسی آثار کوران هوا با اغتشاش کم بر ناحیه گردن ۵۰ نفر از افراد و با لباس کم انجام شد[۸، ص۴۵]. هوا به سمت سر افراد در حالت نشسته از جهات مختلف وزیده شد. دمای هوا در $23^{\circ}C$ ثابت نگه داشته شد. در این آزمایشها سرعت هوا ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/٤ و ۰/٤۵ متر بر ثانیه بود و درصد اغتشاش ۵٪، هر فرد به مدت ۱۰ دقیقه در معرض جریان هوا قرار گرفت. نتایج گزارش شده حاکی از این‌است که درحالتهایی که هوا از پشت سر و یا از پایین وزیده می‌شود نارضایتی بیشتر است؛ بنابراین، جهت نامناسب وزش هوا، می‌تواند باعث ایجاد نارضایتی حرارتی شود. توجه به این نکته در طراحی سیستمهای تهویه هوا و حتی در طراحی داخلی ساختمانها بسیار حایز اهمیت است.

۳-۲- ایجاد شرایط آسایش حرارتی تطبیقی

یکی از خصوصیت ذاتی انسان توانایی تقریبی تطبیق با شرایط محیطی است. این خصوصیت ذاتی رهیافتی به سوی آسایش حرارت تطبیقی است. استانداردهای آسایش حرارتی، دمای ثابتی را برای داخل ساختمان در طول سال پیشنهاد می‌کنند. به عبارت دیگر، علی‌رغم تغییرات دمای هوا در خارج از ساختمان در روزهای متفاوت سال، استانداردها همواره دمای ثابتی را برای داخل ساختمان پیشنهاد می‌کنند؛ از سوی دیگر، این‌گونه استانداردها دیدگاهی کاملاً دایم دارند و نمی‌توانند پدیده‌های گذرا را بررسی کنند. به‌منظور دستیابی به شرایط آسایش حرارتی تطبیقی، روشهای متفاوتی وجود دارد. اولین روش، ربط دادن دمای داخل به دمای خارج است. یعنی باید یک رابطه بین دمای آسایش حرارتی و دمای محیط خارج بیان گردد تا بتوان تأثیر تغییرات دمای هوای خارج را به داخل ساختمان اعمال کرد[۹، ص۶۵۵].

دستورالعمل شماره آ-۵۵ انجمن تأسیسات امریکا رابطه (۱) را ارائه کرده است[۹، ص۶۵۵].

$$T_{comf} = 0.31T_{out} + 17.8 \qquad (^{\circ}C) \qquad (1)$$

با توجه به گستردگی محدوده شرایط آسایش حرارتی، تنوع شرایط اقلیمی و همچنین به‌دلیل دقیق نبودن استانداردها، این انجمن برای فرمول فوق، رواداری $\pm 2^{\circ}C$ را پیشنهاد می‌کند [۹، ص۶۵۵]. T_{comf} دمای آسایش و T_{out} دمای محیط خارج است.

روش دیگر برای دستیابی به آسایش تطبیقی، تهویه طبیعی ساختمانهاست. تحقیقات نشان داده است که افراد هنگامی که دمای داخل بیشتر از $20^{\circ}C$ و دمای خارج بیشتر از $15^{\circ}C$ است نسبت به باز کردن پنجره‌ها تمایل دارند. بررسیهای انجام شده روی ساختمانهایی که به‌طور طبیعی تهویه می‌شوند و ساختمانهایی که تهویه مکانیکی دارند نشان داده است که در حالت تهویه طبیعی، افراد می‌توانند با محیط سازگار شده و خود را بهتر تطبیق دهند. تهویه طبیعی به خودی خود می‌تواند رابطه‌ای خطی بین دمای آسایش و دمای محیط خارج ایجاد نماید[۱۰، ص۶۱۰]. طبق تحقیقات حیدری در ایلام، رابطه بین دمای آسایش و دمای خارج ساختمان از طریق فرمول (۲) با هم مرتبط می‌شوند[٤،ص۲].

$$T_{comf} = 0.36T_{out} + 17.3 \qquad (^{\circ}C) \qquad (2)$$

این معادله بیانگر ارتباط خطی بین دمای آسایش حرارتی و دمای خارج، برای شرایط اقلیمی ایلام و در ساختمانهایی با تهویه طبیعی است.

نتایج گزارش شده در مرجع [۱۱، ص۳۴۰] نشان داده است که در ساختمانهایی که به‌طور طبیعی تهویه می‌شوند تقریباً نصف ساختمانهایی که تهویه مکانیکی دارند، انرژی مصرف می‌شود؛ بنابراین با به‌کارگیری تهویه طبیعی در ساختمان می‌توان مصرف انرژی را تا حد زیادی کاهش داد.

۳-۲-۱- تطبیق با محیط از طریق تغییر میزان پوشش لباس

ویلیامز در یک کار تحقیقاتی، رفتار کارکنان ادارات را مورد بررسی قرار داده است[۱۲، ص۶۹۷]. در این آزمایش ۸ مرد و ۸ زن، در دو مرحله سه ساعته مورد آزمایش قرار گرفتند. در ابتدا افراد یک

لباس معمولی به تن داشتند. دمای هوا $21^{\circ}C$ و دمای میانگین تابش با دمای هوا برابر بود. درحالت سرمایش، دما تا یک ساعت $21^{\circ}C$ ثابت نگه داشته شد. در یک ساعت بعدی دما $18^{\circ}C$ و سپس در یک ساعت سوم دما به $15^{\circ}C$ رسید. درحالت گرمایش نیز همین کار در سه مرحله و در هر مرحله سه درجه افزایش دما تا رسیدن به دمای $28^{\circ}C$ انجام شد. یک کمد لباس هم در اختیار افراد قرار گرفت تا بتوانند با تعویض لباس، پوشیدن و درآوردن آن شرایط آسایش حرارتی را حفظ کنند. در مرحله گرمایش افراد به‌راحتی با کم کردن لباس، توانستند شرایط آسایش حرارتی را حفظ کنند؛ تنها محدودیتی که در این حالت وجود داشت این بود که حجب و حیای افراد، مانع از این شد که بیش از حد لباسهای خود را کم کنند. لذا حداکثر دمایی که افراد حاضر بودند با کم کردن لباس، شرایط آسایش حرارتی را حفظ کنند $28^{\circ}C$ بود. در حالت سرمایش تا دمای $18^{\circ}C$ افراد توانستند با تغییر لباس خود را با محیط تطبیق دهند. اما در محدوده $15^{\circ}C$-18 ایجاد سازگاری با محیط امکان‌پذیر نشد. در این حالت خانمها بیشتر از آقایان دچار مشکل شدند؛ بنابراین، محدوده دمایی که افراد می‌توانند با تغییر میزان لباس خود را با محیط منطبق سازند تقریباً $18^{\circ}C$ تا $28^{\circ}C$ می‌باشد؛ از سوی دیگر، نتایج گزارش شده در مرجع[۱۳، ص۳۵۲]، بیانگر اینست که در فصل سرد افزایش اندک میزان لباس، می‌تواند موجب ٦ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی گردد.

۳-۳- انتخاب پوشش مناسب برای کف

اگر کف اتاق خیلی گرم یا خیلی سرد باشد به دلیل تماس مستقیم کف پا با سطح کف، احساس ناخوشایندی در ناحیه پا در افراد ایجاد می‌شود. توجه به این نکته حایز اهمیت است که شکایت افراد مبنی بر احساس سرما یا گرما در ناحیه پا، علاوه بر دمای کف، به جنس کف نیز بستگی دارد؛ بنابراین، در طراحی فضاهای مسکونی، توجه به نوع مصالح کف و محدوده دمای مجاز برای کف، الزامی است.

اگر شخصی احساس سرما کند، اغلب این احساس عدم آسایش در ناحیه پا در وی بروز می‌کند. این به خاطر این است که انقباض دیواره رگهای خونی در ناحیه پا کم است. شخصی که پاهای او سرد است فکر می‌کند که سطح کف، سرد است. احساس سرما در ناحیه پا به نوعی بیانگر احساس سرمای عمومی بدن نیز می‌باشد؛ از سوی دیگر، احساس گرما در ناحیه پا نیز، باعث عدم آسایش کلی در فرد می‌شود. ایجاد شرایط آسایش حرارتی در ناحیه پا می‌تواند موجب گردد که افراد به‌طورکلی نیز احساس آسایش نمایند [١٤، ص١١٢].

در بررسی اثر دمای کف بر احساس آسایش حرارتی، به این نکته باید توجه نمود که افراد، کفش یا هرگونه پوششی به پا دارند یا نه. در مواردی که پای افراد لخت است علاوه بر دمای کف، جنس کف نیز در احساس آسایش حرارتی افراد مؤثر است. استانداردها محدوده دمای کف را برای افرادی که کفش به پا دارند برای درصد نارضایتی ۱۰ درصد بین $20^{\circ}C$ تا $28^{\circ}C$ معرفی می‌نماید. در مواردی که پای افراد لخت است بنا به جنس کف، دمای مجاز کف متفاوت است. برای بعضی از مصالح کف، محدوده دمای مجاز و محدوده احساس درد در ناحیه پا در جدول (۱) آمده است[۱۵، ص۱۵۳].

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در مواردی که پای افراد لخت است، نوع پوشش کف، نقش مؤثری در آسایش حرارتی افراد بازی می‌کند؛ به طور کلی، اگر در انتخاب جنس کف دقت نشود در فصل سرد حتی در مواردی که دمای داخل اتاق در محدوده دمای آسایش قرار دارد شخص به‌دلیل احساس سرمای موضعی در ناحیه پا و به‌تبع آن احساس سرمای عمومی در کل بدن، مجبور به افزایش دماست که این امر به معنی افزایش مصرف انرژی است. این پدیده در مکانهایی از ساختمان که افراد با پای برهنه رفت و آمد می‌کنند باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد [۱۳، ص٤١٢].

جدول۱ آثار جنس کف بر محدوده دمای آسایش حرارتی و محدوده احساس درد در ناحیه پا

جنس مواد	محدوده دمای آسایش برای کف $(^{\circ}C)$	محدوده دمای احساس درد در ناحیه پا	
		حد پایین $(^{\circ}C)$	حد بالا $(^{\circ}C)$
فولاد	۲۹-۳۲	١٤	٤٥
بتن	۲۷-۳٤	٤	٥٤
لاستیک	۲٤-۳٥	-۱۲	٦٧
چوب	۱۷-۳۹	-٥۳	٨٤

فرش کردن کف با قالی یکی از آداب و رسوم زندگی ایرانی است. این امر می‌تواند تا حد زیادی در بهبود شرایط آسایش حرارتی در ساختمان مؤثر باشد.

۳-٤- محدود کردن دامنه نوسانات نقطه کنترل دما

آزمایشها نشان داده است که دمای آسایشی که با افزایش دما در یک محیط سرد به‌دست می‌آید با دمای آسایشی که با کاهش دما در یک محیط گرم ایجاد می‌گردد یکسان نیستند [۱۲، ص٥٩٤]. در حالت دوم، دمای آسایش، بیشتر از حالت اول است؛ اگر چنانچه در فصل سرد، دمای هوای اتاق در ابتدا بیش از حد گرم شود و سپس با کم کردن نقطه تنظیم دمای دستگاه تهویه مطبوع بخواهیم به شرایط آسایش دست یابیم، به دمای آسایش بالاتر خواهیم رسید که این به معنی مصرف بیشتر انرژی است. عکس این عمل نیز می‌تواند در تابستان ، موجب مصرف بیش از حد انرژی گردد. این حالت برای ساختمانهایی که به‌طور غیر دایم مورد استفاده قرار می‌گیرند و همچنین در مواردی که افراد تحت شرایط گرمایی گذرا قرار می‌گیرد، از اهمیت بیشتری برخوردار است؛ از این رو نوسانات بیش از حد نقطه کنترل دمای دستگاه تهویه مطبوع می‌تواند موجب افزایش مصرف انرژی گردد.

٤- اولویت‌بندی و میزان اثربخشی روشهای بهینه‌سازی آسایش حرارتی و مصرف انرژی

در این تحقیق، یک ساختمان ٥ طبقه ۱۰ واحدی به‌عنوان یک ساختمان نمونه در شهر تهران در نظر گرفته شد. جهت ساختمان شمالی- جنوبی، ضخامت دیوارهای داخلی ۲۰ سانتی‌متر و ضخامت دیوارهای خارجی ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد؛ سپس با اعمال تدابیر ویژه‌ای سعی شد تا میزان اثربخشی هر یک از روشهای بهینه‌سازی بیان شده در بخش قبل، مورد بررسی قرار گیرد. این بررسی برای هفت منطقه مختلف تهران یعنی؛ تجریش، پارک شهر، دوشان تپه، سعدآباد، مهرآباد، نارمک و نمایشگاه انجام شد. محاسبات بر مبنای داده‌های هواشناسی پنج سال اخیر در مناطق هفتگانه مذکور و به‌صورت ماهیانه انجام پذیرفت. تمامی محاسبات و مدلسازیها با نرم افزار Energy Plus انجام شد. نتایج به‌دست آمده از مدلسازی حرارتی بنا با کد محاسباتی نوشته شده بر مبنای استاندارد آسایش حرارتی ایزو ۷۷۳۰ تجزیه و تحلیل شد؛ در نهایت با در نظر گرفتن شرایط آسایش حرارتی استاندارد و انتگرال‌گیری از منحنی بار بر حسب زمان، مقدار انرژی مصرفی ساختمان موردنظر در طول یکسال شمسی به‌دست آمد. در این بررسی روشهای زیر مورد بررسی قرار گرفت:

۱- کنترل کوران هوا در داخل محیط از طریق جایابی مناسب تغذیه‌کننده‌های هوای داخل ساختمان؛

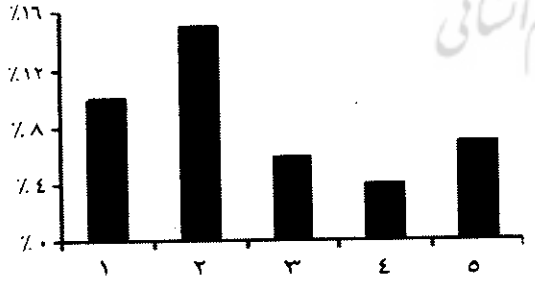
۲- ایجاد شرایط آسایش حرارتی تطبیقی از طریق تهویه طبیعی ساختمان؛

۳- ایجاد شرایط آسایش تطبیقی با پیشنهاد نوع پوشش مناسب برای افراد با توجه به شرایط محیطی و نوع کاربری ساختمان؛

٤- کنترل سرمایش موضعی در ناحیه کف پای افراد با انتخاب پوشش مناسب برای کف ساختمان؛

٥- محدود کردن دامنه عملکرد ترموستاتهای تنظیم‌کننده دما به منظور تفکیک شرایط آسایش حرارتی فصلی.

شکل۱ نشانگر میزان اثربخشی هر یک از روشهای مذکور در بهینه‌سازی همزمان شرایط آسایش حرارتی و مصرف انرژی است. با اتخاذ تدابیر فوق، حسب مورد کاهش بین ۱۰ تا ۳۰ درصد مصرف انرژی در ساختمان برآورد می‌شود.



شکل۱ اولویت‌بندی و میزان اثربخشی روشهای مختلف بهینه‌سازی.

٥- رویکرد اقتصادی استفاده از روشهای مذکور

بررسیهای انجام شده در این تحقیق نشان داد که با اتخاذ تدابیر فوق، می‌توان با حفظ شرایط آسایش حرارتی ساکنان،

مصرف انرژی لازم برای سرمایش و گرمایش را ۱۰ تا ۳۰ درصد کاهش داد. این مقدار صرفه‌جویی در مصرف انرژی در بخش سرمایش و گرمایش ساختمان از نظر اقتصادی بسیار چشمگیر است. بر طبق آمارهای منتشر شده سازمان بهره‌وری انرژی(سابا) تقریباً ۳۹ درصد کل انرژی کشور در بخش ساختمان استفاده می‌شود که هزینه‌ای معادل ۳۰ درصد درآمد حاصل از فروش نفت را به خود اختصاص می‌دهد[٦، ص٧]؛ تقریباً ۷۰ درصد کل انرژی مصرف شده در ساختمان، صرف سرمایش و گرمایش می‌شود. بررسیها نشان داده است که تقریباً ۱۰ میلیارد دلار در سال صرف سرمایش و گرمایش ساختمانها می‌شود[٦، ص٧]. بنابر نتایج به‌دست آمده در این تحقیق با بومی‌سازی استانداردهای آسایش حرارتی، می‌توان در حدود ۷ درصد این مبلغ را صرفه‌جویی کرد که چیزی حدود ۷۰۰ میلیون دلار است. این در حالی است که هزینه نهایی برج میلاد در تهران تقریباً ۹۸ میلیارد تومان[٦، ص٧] و هزینه بازسازی شهر بم ٦ تریلیون ریال بود[٦، ص٧]؛ بنابراین، مبلغ صرفه‌جویی شده ناشی از بومی‌سازی استانداردها، ٦ برابر هزینه برج میلاد است. این مبلغ تقریباً با هزینه بازسازی شهر بم برابری می‌کند.

٦- نتیجه‌گیری و ارائه توصیه‌های اجرایی

در تحقیق حاضر عوامل مؤثر در بهینه‌سازی شرایط آسایش حرارتی در ساختمان، همراه با صرفه‌جویی در مصرف انرژی بررسی شد. با ملحوظ کردن قوانین و مقرارت ملی و استانداردهای آسایش حرارتی و امکانات عملی برای بهینه‌سازی، شرایط آسایش حرارتی و مصرف انرژی، می‌توان توصیه‌های اجرایی ذیل را به عمل آورد:

۱- در فصل زمستان، به منظور جلوگیری از احساس سرمای موضعی در بدن به دلیل کوران هوا، لازم است از سیستمهایی استفاده شود که سرعت و شدت اغتشاش کمی را در جریان هوای داخل ساختمان ایجاد می‌کنند. سیستمهای گرمایش کفی و سیستمهای گرمایش دیواری دارای این خصوصیت می‌باشند. استفاده از این‌گونه سیستمها علاوه بر جلوگیری از کوران هوا در فضای داخل ، به معماران و طراحان ساختمان نیز اجازه می‌دهد تا از فضای داخل اتاق، حداکثر استفاده را بنمایند؛

۲- در مواردی که برای سرمایش و گرمایش ساختمان از سیستمهای وزشی استفاده می‌گردد، طراحی و فضاسازی داخل به‌گونه‌ای که سر و گردن افراد از ناحیه پشت سر و از سمت پایین تحت وزش هوا قرار نگیرد ضروری است؛

۳- تنظیم و کنترل دمای داخل ساختمان باید برمبنای دمای محیط خارج صورت پذیرد. با استفاده از تهویه طبیعی در ساختمانها می‌توان تا زیادی در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد؛

٤- فرش کردن کف ساختمان با مصالح و مواد مناسب، علاوه بر بهبود شرایط آسایش حرارتی مصرف انرژی را نیز کاهش می‌دهد؛ بنابراین، دقت در انتخاب صحیح مصالح برای کف ساختمان لازم است؛

۵-کنترل‌کننده‌های دما باید دامنه نوسانی کمی داشته باشند. تا حد امکان از کنترل‌کننده‌های فازی استفاده شود؛

٦- در گرمایش ساختمان تا حد امکان از سیستمهای گرمایش تابشی استفاده شود. این‌گونه سیستمها، هم از نظر مصرف انرژی و هم از نظر آسایش حرارتی بر سیستمهای گرمایش همرفتی ارجحیت دارند؛ از سوی دیگر، این سیستمها به دلیل اینکه هیچگونه فضایی را در داخل ساختمان اشغال نمی‌نمایند، امکان استفاده بهینه از فضای داخل ساختمان را برای معماران و طراحان ساختمان فراهم می‌آورند.

چنانچه طراحی با توجه به نکات فوق صورت گیرد، ضمن حفظ شرایط آسایش حرارتی، حسب مورد کاهش بین ۱۰ تا ۳۰ درصد مصرف انرژی در ساختمان برآورد می‌شود.

۷- منابع

[۱] فتحیان پور، مژگان؛ «تجزیه و تحلیل انرژی مصرفی کشور»؛ چهارمین همایش ملی انرژی؛ تهران؛ بهار ۱۳۸٤.

[2] Farhanieh, B., Sattari, S.; "Simulation of energy saving in Iranian buildings using integrative modeling for insulation"; Renewable Energy 36, 2006, 417- 425.

[۳] قانع، محمد علی؛ «ممیزی انرژی در ساختمان اولین قدم در بهینه‌سازی انرژی»؛ پنجمین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان؛ تهران؛ بهار ۱۳۸۵.

[٤] امیدوار، امیر، معرفت، مهدی؛ «مقایسه سیستمهای گرمایش تابشی غیرمستقیم سقفی و کفی از نظر مصرف انرژی و آسایش حرارتی در ساختمان»؛ اولین کنفرانس اکوانرژی ایران؛ ارومیه؛ شهریور ۱۳۸۳.

[۵] امیدوار، امیر، معرفت، مهدی؛ *«بررسی شرایط آسایش حرارتی تطبیقی در سیستمهای گرمایش از کف هیدرونیک*

و تأثیر آن بر مصرف انرژی»، نشریه انرژی ایران؛ سال ۹؛ شماره ۲۰؛ ۱۳۸۳.

[٦] امیدوار، امیر، ذوالفقاری، سید علیرضا، معرفت، مهدی؛ «لزوم بومی‌سازی استانداردهای آسایش حرارتی در ساختمان و تأثیر آن بر اقتصاد انرژی»؛ ششمین همایش ملی انرژی؛ تهران؛ خرداد ۱۳۸٦.

[۷] معرفت، مهدی، ذوالفقاری، سیدعلیرضا، امیدوار، امیر؛ *«طراحی مناسب نما و پوسته خارجی ساختمان روشی مؤثر برای جلوگیری از رخداد میعان در سیستمهای سرمایش تابشی سقفی»*؛ نشریه انرژی ایران؛ سال ۱۰؛ شماره ۲٦؛ ۱۳۸۵.

[8] Awbi. H.B., "Ventilation of Buildings"; E&FN Spon, London (1998).

[9] Byron W. Jones; "*Capabilities and limitations of thermal models for use in thermal comfort standards*"; Energy and Buildings; v34; (2002); 653-659.

[10] Richard J .de Dear, Gail S. Brager; "*Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to AS HRAEStandard 55*"; Energy and Buildings، v34; (2002); 549-561.

[11] Shahin Heidari, Steve Sharples; "*A comparative analysis of short-term and long-term thermal comfort surveys in Iran*"; Energy and Buildings; v34; (2002); 607-614.

[12] Olesen. B.W, Parsons. K.C. "*Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730*"; Energy and Buildings; v34; (2002); 537-548.

[13] Parsons. K.C, "*The effects of gender، acclimation state، the opportunity to adjust clothing and physical disability on requirements for thermal comfort*"; Energy and Buildings; v34; (2002); 593-599.

[14] Banhidi L.J.;"Radiant heating systems design and applications"; Pergamon press; London; (1991).

[15] Fanger P.O."Thermal comfort analysis and applications in environmenta engineering"; McGraw Hill; New York; (1970).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی