DOI: 10.30495/HOVIATSHAHR.2020.16777

صفحات ۷۲-۶۱

# ارزیابی محدوده آسایش حرارتی در اثر تهویه طبیعی در ساختمان‌های اداری بوشهر

دکتر رزا وکیلی نژاد*، مهندس جلیل شاعری**

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۶/۲۵

## چکیده

تأمین آسایش حرارتی از مهم‌ترین اهداف طراحی ساختمان‌هاست که مقادیر عمده مصرف انرژی را شامل می‌شود. در ساختمان‌های اداری آسایش حرارتی بر کیفیت محیط و کارایی کارکنان تأثیر بسزایی دارد. با توجه به تفاوت محدوده آسایش در ساختمان‌های تهویه مطبوع و تهویه طبیعی و نبود استانداردهای مناسب در این زمینه در ایران، ضرورت انجام پژوهش خاصه در ساختمان‌های برخوردار از تهویه طبیعی مشخص می‌شود. مقاله حاضر با هدف تعیین محدوده آسایش حرارتی در ساختمان‌های اداری تهویه طبیعی در بوشهر به‌صورت تجربی انجام‌شده است. با انجام مطالعات میدانی، عوامل محیطی (دما، رطوبت، سرعت باد) در بازه زمانی مناسب جهت کاربرد تهویه طبیعی، اندازه‌گیری شده و تعداد ۱۸۰ پرسشنامه توسط کاربران و مراجعه‌کنندگان فضا پاسخ‌داده‌شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد دمای بالای آسایش در این فضاها ۲۸/۶ درجه سانتی‌گراد و بالاتر از میزان پیش‌بینی‌شده طبق معادلات است. این مسئله لزوم انجام پژوهش‌های گسترده جهت تعیین محدوده دقیق را نشان می‌دهد.

## واژه‌های کلیدی

آسایش حرارتی، ساختمان اداری، تهویه طبیعی، بوشهر.

* استادیار، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. (مسئول مکاتبات).
Email:Arch.rv@shirazu.ac.ir

** دانشجوی دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
Email: jalil.shaeri@modares.ac.ir

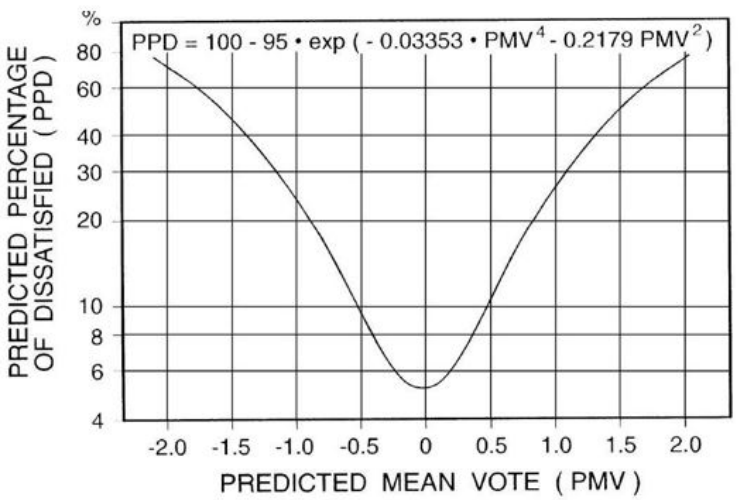

مقاله پژوهشی - مطالعه موردی
© 2021 IAU
ISSN 17359562

## مقدمه

تأمین آسایش حرارتی از اهداف اولیه طراحی ساختمان است که بسیار گران بوده و حدود یک‌چهارم از مصرف انرژی جهان را به خود اختصاص داده است (Auliciems & Szokolay, 1997). مفهوم آسایش حرارتی طبق استاندارد اشری[1] (Standard, 2010)، معادل «شرایط ذهنی است که رضایت از محیط حرارتی را بیان می‌کند.» با توجه به این تعریف دودسته عوامل محیطی و فردی بر آسایش حرارتی تأثیرگذارند. عوامل محیطی مؤثر بر آسایش حرارتی شامل دمای هوا، دمای متوسط تشعشعی[2]، رطوبت نسبی و سرعت جریان هوا است. عوامل فردی میزان فعالیت، میزان لباس و انتظارات شخصی را شامل می‌شود (Van Hoof et al., 2010). محققان بسیاری برای تهیه و تبیین معیاری برای تحلیل آسایش حرارتی و محدوده‌های دمایی قابل‌قبول پژوهش‌هایی انجام داده‌اند (Mishra et al., 2017; Rupp et al., 2015; Singh et al., 2017; Indraganti et al., 2014; Lu et al., 2015) این مطالعات بر اساس تبادل حرارتی بدن با محیط اطراف و فاکتورهای مؤثر بر آسایش حرارتی به‌صورت تجربی و یا در محیط آزمایشگاهی انجام‌شده است. از این میان دو مدل تعادل حرارتی فنگر[3] و مدل تطبیقی آسایش حرارتی جهت پیش‌بینی سطح آسایش حرارتی در فضا از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. مدل آسایش حرارتی تطبیقی در ساختمان‌های تهویه طبیعی کارایی بیشتری داشته و نزدیک‌تر به واقعیت است. تهیه این مدل در هر منطقه نیازمند انجام مطالعات میدانی است تا انعکاسی از اقلیم محلی و فرهنگ باشد (Nicol, 2004). به‌این‌ترتیب در سال‌های اخیر مدل‌های آسایشی تطبیقی بسیاری برای تعیین دمای خنثی در هر منطقه به‌عنوان عملکردی از دمای داخل و خارج یا هر دو تهیه‌شده است (Djongyang et al.,2010; ASHRAE, 2004; Mishra et al., 2015 ;Rupp et al., 2015).

## پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر پژوهش‌های بسیاری درزمینه آسایش حرارتی در فضاهای مختلف بسته و باز و نیمه‌باز با کاربری‌های مختلف و تحت شرایط متفاوت تهویه مطبوع، تهویه طبیعی و هیبریدی[4] انجام‌شده است. راپ[5] در مقاله‌ای مروری به دسته‌بندی ۴۶۶ مقاله مرتبط با این موضوعات پرداخته و دستاوردهای آن‌ها را مشخص نموده است (Rupp et al., 2015). دو مدل کلی سنجش آسایش حرارتی روش پیش‌بینی رای میانگین[6] و روش تطبیقی[7] است و در هر دو مورد تحقیقات بسیاری انجام‌شده است. مدل پیشنهادشده توسط فنگر، بر اساس نتایج آزمایشگاهی است که در سال ۱۹۷۰ بر تعداد زیادی از افراد صورت گرفته است (Djongyang et al.,2010; ASHRAE,2004; Mishra et al., 2015; Rupp et al., 2015). مدل تعادل حرارتی فنگر از معادلات تعادل حرارتی ایستا[8] برای حل معادلات آسایش استفاده می‌کند. این پژوهش در یک اتاق نمونه آب و هوایی و در مورد دو گروه افراد از دانمارک و مناطق گرم انجام‌شده و تفاوت معناداری بین دو گروه یافت نشد. فنگر روشی برای پیش‌بینی رای میانگین یک گروه افراد با استفاده از مشخصات هوا (دما، رطوبت و سرعت هوا) و مشخصات فردی (لباس و فعالیت) ابداع نمود که روش «پیش‌بینی رای میانگین» نامیده می‌شود. در مدل فنگر شاخص «درصد نارضایتی افراد»[9] با حداقل مقدار ٪۵ فرض شده و بر اساس رای افرادی که احساس حرارتی معادل ۳- تا ۳+ داشته‌اند محاسبه‌شده است. وی در محدوده احساس حرارتی قابل‌قبول ۱- تا ۱+، درصد نارضایتی را




شکل ۱. رابطه میان درصد نارضایتی افراد و پیش‌بینی رای میانگین (Source: ASHRAE, 2004)

جدول ۱. میزان شاخص آسایش حرارتی فنگر PMV و ارتباط آن با درجه تنش فیزیولوژیک و حساسیت حرارتی (Source: Olesen & Brager, 2004)

| درجه تنش فیزیولوژیک | حساسیت حرارتی | PMV |
|---|---|---|
| تنش سرمایی شدید | سرد | -۳/۵ |
| تنش سرمایی متوسط | خنک | -۲/۵ |
| تنش سرمایی اندک | کمی خنک | -۱/۵ |
| بدون تنش سرما | راحت | -۰/۵ |
| تنش گرمایی اندک | کمی گرم | ۰/۵ |
| تنش گرمایی متوسط | گرم | ۱/۵ |
| تنش گرمایی شدید | خیلی گرم | ۲/۵ |
| تنش گرمایی بسیار شدید | داغ | ۳/۵ |

تا حداکثر ۲۰٪ قابل‌قبول دانست و شرایط آسایش را شرایطی در نظر گرفت که ۸۰٪ افراد در آن احساس آسایش می‌کنند. شکل ۱ رابطه میان دو مفهوم پیش‌بینی رای میانگین و درصد نارضایتی افراد را نشان می‌دهد (ASHRAE, 2004).

در محاسبه‌ی آسایش حرارتی ارزش نارسایی پوشاک مشخص می‌گردد که در تبادل حرارتی بدن انسان با محیط اطراف مؤثر است. همچنین سرعت جریان باد که میزان مناسب آن متغیر است و بایستی میزان کار افراد که آهنگ سوخت‌وساز را مشخص می‌کند؛ تعیین گردد (De Dear & Brager, 2002).

در محاسبه‌ی آسایش حرارتی متوسط دمای تابشی نیز محاسبه می‌شود که رابطه‌ی بین تشعشع و سطوح اطراف است (همان) و همچنین برای داشتن هوای باکیفیت نرخ تغییر هوا به میزان ۰/۳۵ ($m^3/HM_2$) و غلظت دی‌اکسیدکربن داخل کمتر از ۰/۵٪ باشد (De Dear, 1998). دو فاکتور رطوبت نسبی و دمای هوا بر آسایش حرارتی افراد بسیار تأثیرگذار است که رطوبت نسبی کمتر از ۳۰٪ ممکن است باعث خشکی پوست، سوزش چشم و مشکلات تنفسی گردد و رطوبت نسبی (RH) بالای ۶۰٪ ممکن است به ایجاد محیطی مناسب برای رشد کپک گردد و مشکلات حساسیت ایجاد کند (De Dear, 1998). در روش پیش‌بینی رای میانگین و درصد نارضایتی افراد هر محدوده نشان‌دهنده حساسیت حرارتی و درجه تنش فیزیولوژیک متفاوتی است که در جدول ۱ نشان داده‌شده است.

در این شاخص محیط را از لحاظ حساسیت حرارتی از سرد تا داغ تقسیم‌بندی شده است (Olesen & Brager, 2004). میزان پیش‌بینی رای میانگین با رابطه ۱ به دست می‌آید.

$$PMV= (0.303e^{-0.036M}+0.028).\ \{(M-W)-3.05E^{-3}\ 5733 - 6.99(M-W) - P_W -0.42[(M-W)-5815] - 1.7E^{-5}\ (5867-P_a) - 0.0014M\ (34-T_a) -3.96E^{-8}.\ f_{cl}\ [(T_{cl}+273)^4 - (T_r+273)^4] - f_{cl}h_c\ (T_{cl}-T_a)\}$$

رابطه (۱)

در رابطه ۱:

M : میزان سوخت‌وساز ($W/m^2$)،

W کار خارج از ناحیه بدن ($w/m^2$)

$P_W$ فشار جزئی آب (Pa)

$f_{cl}$ نسبت سطح لباس پوشیده شده به سطح برهنه

$T_{cl}$ دمای لباس $^oC$

TRمیانگین دمای تابشی محیط ($^oC$)

و $h_{cl}$ ضریب انتقال حرارت جابجایی ($W/m^2k$) است.

همچنین میزان درصد نارضایتی افراد با توجه به میزان پیش‌بینی رای میانگین به دست می‌آید که در رابطه ۲ مشخص گردیده است (ASHRAE, 2004).

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

رابطه (۲)

مطالعات میدانی پس از فنگر در مورد صحت یافته‌های وی تردید ایجاد نمود. بسیاری از تحقیقات مشخص کرده‌اند که محدوده آسایش حرارتی پیش‌بینی رای میانگین، در ساختمان‌های با تهویه طبیعی معتبر نیست و ساکنان این فضاها، در دوره‌های گرم تابستان، در مقایسه با ساختمان‌های با تهویه مطبوع همواره انتظارات دمایی بالاتری دارند (Busch, 1992). مدل تعادل حرارتی پیش‌بینی رای میانگین از ابعاد روانی تطابق که در بناهای با تهویه طبیعی اهمیت بسیار دارد، چشم‌پوشی می‌کند. افرادی که سال‌ها در بناهایی با تهویه مطبوع زندگی کرده‌اند انتظارات دمایی بالاتری از دماهای همگن و سرد دارند و تغییرات دمایی خارج از مرکز منطقه آسایش برای آن‌ها بسیار غیرقابل‌تحمل خواهد بود (De Dear & Brager, 2002; Luo et al., 2007). در راستای حل مشکلات و نواقص موجود در مدل حرارتی فنگر، روش تطبیقی آسایش حرارتی پیشنهاد گردید. روش

فنگر بر اســاس تحقیقات میدانی در مورد شــرایط آسایش و واکنش کاربــران به تغییرات دمایی محیط در زندگی روزمره و نه در شــرایط آزمایشــگاهی استوار اســت. در این مدل فرض بر این است که افراد با محیط حرارتی از طریق تأثیــرات فیزیولوژیکی خودآگاه یا ناخودآگاه منطبق می‌شوند. پژوهش‌های مدل آسایش حرارتی تطبیقی در قالب دو تحقیق مهم توســط نیکل و هامفریز[10] و نیز اشری انجام‌شده است (Nicol & Humphreys, 1973). در این مدل‌ها برخلاف مدل فنگر، دمای آسایش با توجه به دمای خارج تعیین‌شده و پارامتری مستقل از شرایط بیرونی نیست (De Dear & Brager, 2002).

## چهارچوب نظری پژوهش

### استانداردهای آسایش حرارتی

استاندارد اشری ۵۵ [11]شــرایط حرارتی محیطی برای سکونت انسان، رابطــه را در رابطه میان دمای آســایش و متوســط دمای خارج برای بناهای با تهویه طبیعی بیان می‌کند (ASHRAE, 2004).

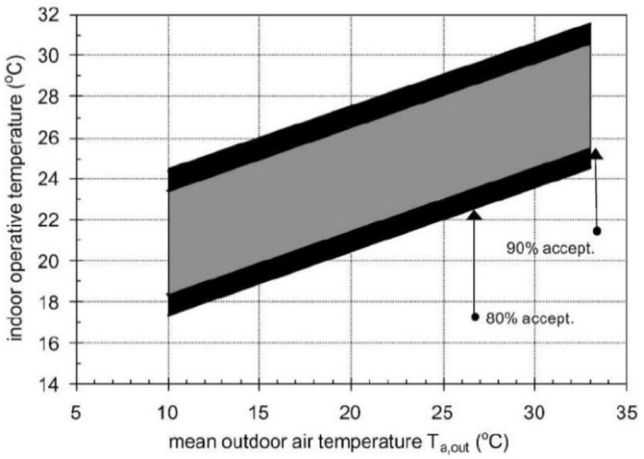
$T_{Com}$ دمای داخلی و $T_{a\ out}$ میانگین دمای هواست. این رابطه برای ساکنان با فعالیت‌های نشسته و میزان متابولیک مشخص است که در معــرض تابش آفتاب نبوده و جریان هوایی بزرگ‌تر از ۰/۲ متر بر ثانیه را تجربه نمی‌کنند (De Dear & Brager, 2002).

رابطه (۳)
$$T_{Com} = 0.31T_{a,out} + 17.8$$

نیکول[12] حدود آســایش را ۳ تا ۴ درجه اطراف دمای آسایش حاصل از فرمول پیشــنهادی خود تعریف کرده و محدوده ابتدا و انتهایی برای دمــای بیرون تعریف نمی‌نمایند (Nicol, 2004)؛ اما در اســتاندارد اشــری طیف دماهای اطراف دمای آسایش با ۸۰ و ۹۰ درصد رضایت افراد به‌دست‌آمده است. در شکل ۲ این محدوده‌ها را با قابلیت پذیرش ۸۰ و ۹۰ درصد نشان داده‌شده است که با طیف ۵ و ۷ درجه در اطراف محدود آسایش قرارگرفته‌اند. در این استاندارد، حد ابتدا و انتهای هوای خارج حدوداً بین ۱۰ و ۳۳ درجه بوده و کارکرد تهویه طبیعی محدود به بازه دمایی بین این مقادیر است (De Dear & Brager, 2002).

از مهم‌ترین اســتانداردهای بین‌المللی موجود برای کنترل آســایش حرارتی در فضاهای داخلی اســتانداردهای اشری (اشری ۵۵ آمریکا)، ایزو[13] (۷۷۳۰ اروپا) و ســن[14] هســتند که در مــواردی میان مقادیر پیشــنهادی آن‌ها تفاوت وجود دارد. به‌عنوان‌مثال اســتاندارد ۷۷۳۰، در مدل فنگر پنج ســطح احساس حرارتی و اســتاندارد اشری هفت احساس حرارتی را مشــخص کرده است (Nicol, 2004 ; Luo et al., 2018) اســتانداردهای بین‌المللی بر اساس معادلات فنگر، برای محیط داخلی با تهویه طبیعی، شــرایط آســایش را به‌درستی تعیین نمی‌کننــد (Nicol, 2004). در ســاختمان‌های تهویه طبیعی طیف بســیار وسیع‌تری از دما برای افراد قابل‌تحمل است که با ترکیب رفتار تطبیقی و تطابــق ذهنی توصیف می‌شــود (De Dear & Brager, 2002). در مقاله‌ای جدید به بررســی محدوده‌های آســایش حرارتی متفاوت ارائه‌شده در ساختمان‌های بدون تهویه مطبوع در اقلیم خاص تراپیک[15] پرداخته‌شده است (Luo et al., 2018).

در برخی مقالات، پیشــنهادهایی ارائه‌شده که می‌تواند سبب تکمیل استانداردهای آسایش تطبیقی مســتخرج از نتایج مطالعات زمینه‌ای تکمیل شــود. در این پیشنهادها، کاربرد جریان هوا و رطوبت به‌صورت

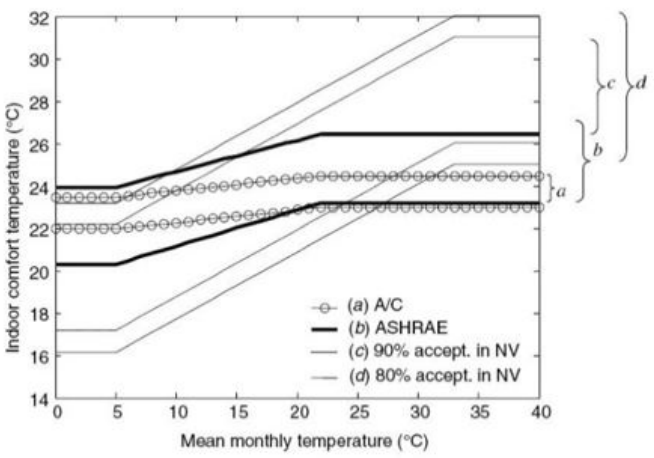



شکل ۲. استاندارد ASHRAE برای رابطه دمای آسایش داخلی با میانگین دمای هوای خارج (Source: De Dear & Brager, 2002)

خاص برای استانداردهای آسایش تطبیقی در نظر گرفته شده است (Nicol, 2004). اعمال یافته‌های علمی منطقه‌ای بر روی استانداردها مسئله‌ای مهم است (Olesen & Parsons, 2002). رابطه نسخه جدید آسایش اشری ۵۵، متداول‌ترین استانداردی است که به‌صورت بین‌المللی به کار می‌رود. در این رابطه منطقه آسایش ۳/۵-۲/۵ درجه دو طرف دمای بهینه قابل‌قبول است. در صورت استفاده از فن، دو درجه دیگر نیز به دمای آسایش پیش‌بینی‌شده در شرایط گرم افزوده می‌شود. در صورت امکان می‌توان این رابطه را با استفاده از مطالعات میدانی ارتقا داد تا انعکاس کاملی از اقلیم محلی و فرهنگ باشد (Nicol, 2004). شکل ۳ محدوده‌های مختلف آسایش حرارتی را در ساختمان‌های تهویه مطبوع و تهویه طبیعی مطابق با استاندارد اشری و محدوده‌های قابل‌قبول ۸۰ و ۹۰ درصد افراد نشان می‌دهد. مطابق با شکل محدوده آسایش حرارتی در ساختمان‌های تهویه طبیعی بسیار گسترده‌تر از محدوده تعیین‌شده در استاندارد اشری است.

در سال‌های اخیر مدل‌های آسایشی تطبیقی بسیاری برای تعیین دمای خنثی به‌عنوان عملکردی از دمای داخل و خارج یا هر دو تهیه‌شده که اعتبار برخی بیشتر است. جدول ۲، انواع مختلف معادلات آسایش حرارتی تطبیقی پیشنهادشده را نشان می‌دهد. در این معادلات، $T_c$، دمای آسایش، $T_o$، دمای هوای خارج، $T_i$، متوسط دمای هوای داخلی، $T_{n,i}$، دمای خنثی بر اساس متوسط دمای هوای داخلی، $T_{n,o}$، دمای خنثی بر اساس متوسط دمای خارجی است. در اقلیم‌های گرم، خاصه گرم و مرطوب، حرکت هوا و رطوبت در منطقه آسایش حرارتی تعیین‌شده با رابطه هامفریز[۱۶] انطباق بیشتری دارد (Nicol, 2004).

گرچه استفاده از استانداردها به درک شرایط واقعی آسایش کمک می‌کند اما نباید به‌عنوان مرجع مطلق در نظر گرفته شود. استاندارد اشری برای اقلیم‌های مختلف از گرم و مرطوب تا سرد قابل‌قبول است اما در هر اقلیم سطح متفاوتی از آسایش وجود دارد که باید در استاندارد اعمال شود (Djongyang et al., 2010). بر اساس نتایج پژوهش‌ها دمای متوسط داخلی می‌تواند ضریب مناسب‌تری برای تعیین شرایط آسایش حرارتی در مقایسه با دمای متوسط خارجی باشد (Mishra et al., 2013). وجود تفاوت-های بسیار در احساس حرارتی، پذیرش حرارتی و ترجیح حرکت هوا در اقلیم‌های مختلف، ضرورت گسترش استاندارد اشری ۵۵ را برای کاربرد به‌عنوان استاندارد جهانی، نشان می‌دهد(De Dear & Brager, 2002). این مدل‌ها در شرایط فعالیت نشسته (متابولیسم ۳-۱) با آزادی تغییر لباس هستند و هیچ سامانه گرمایشی و سرمایشی مکانیکی درحال کار نباید باشد، گرچه تهویه مکانیکی غیرمطبوع می‌تواند استفاده شود. پنجره‌ها باید مهم‌ترین روش کنترل شرایط حرارتی باشند (Orosa & Oliveira, 2011). در سال‌های اخیر برخی پژوهش‌ها به بررسی محدوده آسایش حرارتی در ساختمان‌های بهره‌مند از تهویه طبیعی در کشورها و مناطق مختلف پرداخته‌اند (Barbadilla-Martín, et al., 2017; Indraganti et al., 2014; Lu et al., 2015; Mishra et al., 2015 ; Singh et al., 2017). نتایج این پژوهش‌ها وجود تفاوت در محدوده آسایش حرارتی مناطق مختلف را در مقایسه با استانداردهای جهانی و نیز با یکدیگر نشان داده و لزوم انجام پژوهش‌های منطقه‌ای خاص را در هر محدوده نشان می‌دهد.




Comfort range for air conditioning and for natural ventilation: (a) air conditioning; (b) ASHRAE comfort range; (c) natural ventilation, 90% acceptability limits; (d) natural ventilation, 80% acceptability limits

شکل ۳. محدوده‌های مختلف آسایش حرارتی در ساختمان‌های تهویه مطبوع و تهویه طبیعی (Source: Ghiaus & Allard, 2006)

جدول ۲. معادلات مختلف آسایش حرارتی تطبیقی (مأخذ: وکیلی نژاد، ۱۳۹۲)

| سال ارائه | پژوهشگر | رابطه پیشنهادی |
|---|---|---|
| ۱۹۷۳ | Humphreys, Nicol | $T_{n,i}= 2/6+ 0/831Ti$ |
| ۱۹۷۳ | Humphreys, Nicol | $T_{n,o}= 11/9+ 0/534To$ |
| ۱۹۹۶ | Nicol, Roaf | $T_{n,o}= 17+ 0/38To$ |
| ۱۹۹۸ | Auliciems, de Dear | $T_{n,i}= 5/41+ 0/731Ti$ |
| ۱۹۹۸ | Auliciems, de Dear | $T_{n,o}= 17/6+ 0/31To$ |
| ۱۹۹۸ | Auliciems, de Dear | $T_{n,o,i}= 9/22+ 0/48Ti+ 0/14To$ |
| ۲۰۰۴ | ASHRAE | $T_{c}= 17/8+ 0/31To$ |

### مطالعات آسایش حرارتی در ایران

در مورد آسایش حرارتی در ایران مطالعات پراکنده‌ای انجام‌شده است که ازجمله آن‌ها می‌توان به پژوهش‌های حیدری، منعام، حسینی، بهزادفر و نجفی منش شاره کرد (انصاری منش و نصرالهی، ۱۳۹۳؛ بهزادفر و منعام، ۱۳۹۳؛ حسینی و دیگران، ۱۳۹۳؛ حیدری، ۱۳۹۳؛ نجفی و نجفی، ۱۳۹۳). در این پژوهش‌ها محدوده آسایش حرارتی در شهرهای تهران، تبریز، کرمانشاه و تعدادی دیگر از شهرهای کشور بررسی‌شده است. بر اساس نتایج این پژوهش‌ها قدرت تطبیق مردم با شرایط اقلیمی در شهرهای اهواز، بندرعباس و تبریز بالاتر است. دمای خنثی سالانه از ۲۱ درجه در تبریز تا ۲۷ درجه در یزد متغیر بوده و حدود آسایش بین ۹/۲ درجه در شیراز تا ۱۴/۲ درجه در اهواز نوسان دارد (حیدری، ۱۳۹۳). تنها استاندارد موجود در ایران در رابطه با آسایش حرارتی، بر اساس مدل فنگر (دمای خنثی ۲۴ درجه) بوده که در بسیاری موارد ازجمله در ساختمان‌های تهویه طبیعی کارایی ندارد. این مسئله لزوم انجام پژوهش‌ها جهت تعیین محدوده آسایش و تدوین استاندارد آسایش حرارتی مناطق مختلف ایران را نشان می‌دهد.

## روش پژوهش

پژوهش حاضر جهت تعیین محدوده آسایش حرارتی در ساختمان‌های اداری تهویه طبیعی شهر بوشهر انجام‌شده است. به این منظور دو ساختمان از بناهای اداری شهر بوشهر (سازمان نوسازی مدارس و بخش اداری دانشگاه فرهنگیان) با پلان اداری بسته به‌عنوان نمونه انتخاب شدند. این ساختمان‌ها مجهز سیستم سرمایش و گرمایش بوده ولی در زمان انجام پژوهش مورداستفاده قرار نگرفته و امکان باز کردن پنجره وجود داشته است. بازه زمانی انجام پژوهش ۱۹ الی ۲۱ اسفندماه بوده و در ساعات استفاده از فضای اداری (۸ صبح تا ۴ بعدازظهر) انجام‌شده است. دلیل انتخاب این بازه زمانی مطلوب بودن شرایط آب‌وهوای خارجی و امکان استفاده از تهویه طبیعی در ساختمان‌ها با توجه به شرایط آب و هوایی بسیار گرم و مرطوب بوشهر در بیشتر ماه‌های سال است زیرا در ماه‌های اردیبهشت تا دی امکان استفاده از تهویه طبیعی جهت سرمایش وجود ندارد. میانگین بازه سنی افراد ۲۰-۳۰ سال و ازنظر جنسیت، نسبت زن به مرد ۲۶ به ۷۴ درصد (شامل ۴۷ زن و ۱۳۳ مرد) بوده است. از تعداد ۱۸۰ نفر پاسخ‌دهنده، ۵۲ نفر کارمند ادارات مذکور و مابقی مراجعه‌کننده هستند. در جدول ۳، مشخصات شرکت‌کنندگان نشان داده‌شده است.

در بازه زمانی انجام پژوهش متغیرهای محیطی (دما و رطوبت نسبی و جریان هوا) به‌صورت میدانی اندازه‌گیری شده و همزمان پرسشنامه‌ها توسط افراد ساکن در فضا پاسخ‌داده‌شده‌اند. جهت انجام پژوهش تعداد ۱۸۰ پرسشنامه توزیع‌شده است. پرسشنامه‌ها با استفاده از پرسشنامه استاندارد اشری تدوین‌شده و در برخی قسمت‌ها با توجه

جدول ۳. جدول دموگرافیک شرکت‌کنندگان

| متغیر | جنس | | بازه سنی | | | کاربر فضا | | کل |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | زن | مرد | ۲۰-۳۰ | ۳۰-۴۰ | ۴۰ به بالا | ارباب‌رجوع | کارمند | |
| تعداد | ۴۷ | ۱۳۳ | ۱۱۳ | ۴۲ | ۲۵ | ۱۲۸ | ۵۲ | ۱۸۰ |
| درصد | ۲۶ | ۷۴ | ۶۲ | ۲۳ | ۱۵ | ۷۱ | ۲۹ | ۱۰۰ |

شکل ۴. ابزارهای اندازه‌گیری مورداستفاده

به پژوهش‌های مشابه معتبر تغییراتی در آن صورت گرفته است (ASHRAE, 2010). جهت انجام اندازه‌گیری‌های میدانی از دیتالاگر[۱۷] مدل MIC-98583، رطوبت‌سنج مدل TES-1361c و بادسنج مدل AVM-305 استفاده‌شده است. شکل ۴ وسایل اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

بر اساس استاندارد اشری میزان فعالیت افراد برای فعالیت‌های نشسته ۱/۱ متابولیسم و میزان عایق لباس ۱ کلو[۱۸](بلوز و شلوار) بر اساس استاندارد اشری در نظر گرفته‌شده است. جهت سنجش احساس حرارتی از مقیاس هفتگانه اشری با طیف ۳- تا ۳+ (خیلی گرم تا خیلی سرد) و برای ترجیح حرارتی از مقیاس پنج‌گانه استفاده‌شده است. لازم به ذکر است که در نظر گرفتن پیش‌فرض‌ها بر مبنای اعداد متداول در پژوهش‌های مشابه پیشین است (Lu et al., 2018; Mishra et al., 2017; Singh et al., 2017; Barbadilla-Martín et al., 2017; Indraganti et al., 2014). علاوه بر این از افراد پاسخ‌دهنده درباره انواع اقداماتی که در صورت احساس سرما یا گرما انجام می‌دهند پرسش شده است. جهت تحلیل نتایج پرسشنامه، در بخش احساس آسایش حرارتی پاسخ‌های معمولی و راحت، نسبتاً گرم و نسبتاً سرد به‌عنوان افراد راضی از شرایط و پاسخ‌های داغ، گرم، سرد و خیلی سرد به‌عنوان افراد ناراضی در نظر گرفته‌شده‌اند. در مورد رطوبت و جریان هوا نیز معیار سنجش جهت احساس آسایش و ترجیح حرارتی به ترتیب مطابق جدول ۴ و ۵ است.

## تحلیل نتایج

### آسایش حرارتی

مهم‌ترین پارامترهای حرارتی محیط خارجی شامل دما و رطوبت نسبی هوا با استفاده از دیتالاگرها در بازه‌ای سه‌روزه از ۱۹ الی ۲۱ اسفندماه اندازه‌گیری شده است. تعداد افراد در هر گروه و میزان رضایت از شرایط کلی حرارتی و آسایش ازنظر دما و رطوبت نسبی در جدول ۶ نشان داده‌شده است. بر اساس نتایج ۸۱/۱ درصد از افراد از شرایط کلی حرارتی احساس آسایش و رضایت دارند. میزان افراد

جدول ۴. مقیاس سنجش دما، رطوبت و جریان هوا

| گروه ناراضی | | گروه راضی | | | گروه ناراضی | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مقیاس سنجش | | | | | | |
| +۳ | +۲ | +۱ | ۰ | -۱ | -۲ | -۳ |
| احساس آسایش حرارتی | | | | | | |
| داغ | گرم | نسبتاً گرم | معمولی و راحت | نسبتاً سرد | سرد | خیلی سرد |
| رطوبت | | | | | | |
| خیلی مرطوب | مرطوب | نسبتاً مرطوب | متعادل | نسبتاً خشک | خشک | خیلی خشک |
| جریان هوا | | | | | | |
| خیلی شدید | شدید | نسبتاً شدید | متعادل | نسبتاً ضعیف | ضعیف | خیلی ضعیف |

جدول ۵. مقیاس سنجش ترجیح حرارتی

| مقیاس سنجش | | | | |
|---|---|---|---|---|
| +۲ | +۱ | ۰ | -۱ | -۲ |
| **ترجیح حرارتی** | | | | |
| خیلی گرم‌تر | کمی گرم‌تر | بدون تغییر | کمی سردتر | خیلی سردتر |
| **ترجیح رطوبت** | | | | |
| خیلی خشک‌تر | کمی خشک‌تر | بدون تغییر | کمی مرطوب‌تر | خیلی مرطوب‌تر |
| **ترجیح جریان هوا** | | | | |
| جریان هوای بیشتر | کمی جریان هوای بیشتر | بدون تغییر | کمی جریان هوای کمتر | جریان هوای کمتر |

راضی از شـرایط رطوبـت و جریان هوا به ترتیـب ۶۳ و ۷۹ درصد اسـت. با استفاده از نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس[۱۹] تحلیل آمار توصیفی میان داده‌های اندازه‌گیری شـده و پاسـخ‌های افراد انجام‌شده است. مطابق نتایج دمای بالای محدوده آسـایش در فضاهای اداری بوشـهر ۲۸/۶ درجه سلسـیوس است. علاوه بر این بیش از ۷۹ درصد افراد از جریان هوا راضی هستند درحالی‌که ۶۳ درصد از میزان رطوبت رضایت دارند. این مسئله اهمیت بیشتر جریان هوا در ایجاد احساس آسایش حرارتی را بر میزان رطوبت نشان می‌دهد.

همان‌گونه که اشـاره شـد گسـترده‌ترین مطالعه میدانی انجام‌شده جهت تعیین محدوده آسـایش حرارتی در ایـران، مطالعات حیدری است (حیدری، ۱۳۹۳). این مطالعات در ده شـهر ایران در اقلیم‌های مختلف (بندرعباس، تبریز، اصفهان، اهواز، کرمان، کرمانشـاه، مشهد، زاهدان، سـمنان، رشت) انجام‌شده و جدول ۷، روابط آسایش حرارتی مسـتخرج را برای شـهرهای مختلف ایـران، بر اسـاس دمای هوا و رطوبت نسـبی نشـان می‌دهد. در این روابط، $T_n$، دمای خنثی و $T_o$، میانگین ماهانـه دمای هوای خارجی اسـت. در ادامه این پژوهش با صرف‌نظر از رابطه فصل سـرد، رابطه ۴، جهت تعیین دمای خنثی در فصل گرم (دمای خنثی فصل سـرد ۱/۲ درجه کمتر) ارائه و محدوده آسـایش حرارتی در شهرهای ایران بر اسـاس متوسط دمای خارجی پیشنهادشده است (حیدری، ۱۳۹۳).

با توجه به آنکه پژوهش حاضر در اسفندماه انجام‌شده (متوسط دمای خارجی ۱۹ درجه و رطوبت نسـبی ۶۵ درصد) به محاسـبه محدوده آسـایش بر اساس دو رابطه فوق می‌پردازیم. بر اساس جدول ۷، دمای خنثی معادل ۲۳/۳۱ درجه و محدوده آسـایش ۲۶/۸۱-۱۹/۸۱ درجه خواهد بود. از طرف دیگر با اسـتفاده از رابطه ۲، دمای خنثی ۲۴/۴۴ درجه سانتی‌گراد و محدوده آسـایش حرارتی با احتساب ۷ درجه در اطراف دمای خنثـی میان ۲۷/۹۴ تا ۲۰/۹۴ خواهد بود. این در حالی است که بر اسـاس نتایج پرسشنامه‌ها، افراد در دمای ۲۸/۶ درجه نیز احسـاس آسایش دارند گرچه ترجیح حرارتی نیمی از آن‌ها قرارگیری در دماهای کمتر اسـت. میان دمای خنثی حاصل از دو روش، تفاوت ۱/۱۳ درجه وجود دارد. مقایسـه این محدوده‌ها با نتایج میدانی نشان می‌دهد که رابطه ۲، در پیش‌بینی شرایط آسایش به واقعیت نزدیک‌تر است. به‌این‌ترتیب محدوده آسـایش حرارتی در ساختمان‌های اداری برخوردار از تهویه طبیعی در بوشهر گسترده‌تر از میزان پیش‌بینی‌شده بر اساس معادلات فوق است. این مسئله لزوم انجام پژوهش‌های میدانی را در این ساختمان‌ها نشان می‌دهد. به‌این‌ترتیب نتایج پژوهش حاضر در هماهنگی با پژوهش‌های اخیر انجام‌شـده در ساختمان‌های تهویه طبیعی مناطق مختلـف بوده و همانند آن‌ها، تفـاوت میان محدوده

جدول ۶. میزان رضایت از شرایط حرارتی

| | رضایت از جریان هوا | | رضایت از رطوبت | | رضایت از دما | | آسایش حرارتی | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد |
| **کل افراد ۱۸۰** | | | | | | | | |
| **گروه راضی** | ۷۹/۶ | ۱۴۵ | ۶۳/۱ | ۱۱۵ | ۸۱/۱ | ۱۴۶ | ۸۱/۱ | ۱۴۶ |

جدول ۷. معادلات آسایش حرارتی در اقلیم‌های ایران (ماخذ: حیدری، ۱۳۹۳)

| دمای بیرون (°C) | رطوبت نسبی (RH) | رابطه |
|---|---|---|
| کمتر از ۱۰ | متفاوت | $T_n = 17/82 + 0/1985T_o$ |
| ۱۰-۱۵ | متفاوت | $T_n = 14/826 + 0/4521T_o$ |
| ۱۵-۳۰ | ٪۳۰-٪۷۰ | $T_n = 12/767 + 0/5552T_o$ |
| بیشتر از ۳۰ | بیشتر از ٪۳۰ | $T_n = 19/324 + 0/3289T_o$ |
| بیشتر از ۳۰ | کمتر از ٪۳۰ | $T_n = 19/309 + 0/3187T_o$ |
| ۱۵-۳۰ | بیشتر از ٪۷۰ | $T_n = 12/6 + 0/511T_o$ |
| ۱۵-۳۰ | کمتر از ٪۳۰ | $T_n = 12/1 + 0/54T_o$ |

آسایش حرارتی واقعی با مقادیر حاصل از معادلات پیشنهادی را نشان می‌دهد (Mishra et al., 2017; Barbadilla-Martín et al., 2017; Indraganti et al., 2014; Lu et al., 2015).

## ترجیح حرارتی

در مورد ترجیح حرارتی، ۴۰٪ از افراد خواستار تغییر در دما نبوده و ۵۱/۶٪ تغییرات کم را ترجیح می‌دهند. در مورد رطوبت ۶۳/۲٪ از شرایط رطوبتی راضی بوده و تمایل ۴۵٪ از آن‌ها به عدم ایجاد تغییر در شرایط رطوبتی است. درحالی‌که ۴۷/۸٪ از افراد ایجاد تغییرات کم در رطوبت (کمی خشک‌تر یا کمی مرطوب‌تر) را ترجیح داده‌اند. در مورد جریان هوا ۷۹/۶٪ از افراد در آسایش هستند. ۳۲/۴٪ محیط را بدون تغییر در جریان هوا و ۳۲/۴٪ با کمی تغییر در سرعت هوا (کمی بیشتر یا کمی کمتر) ترجیح می‌دهند. این در حالی است که در ۵۲ درصد افراد ارجحیت با سرعت هوای بیشتر یا خیلی بیشتر است. به‌این‌ترتیب بر اساس حداقل ۸۰ درصد رضایت در استاندارد اشری، اغلب افراد از دما و رطوبت محل کارشان راضی هستند اما ترجیح حرارتی برای بیش از ۳۶ درصد آن‌ها دمای اندکی کمتر و برای ۳۸ درصد رطوبت بیشتر و برای ۵۲ درصد آن‌ها جریان هوای بیشتر است. جدول ۸ ترجیح حرارتی افراد را در رابطه با دما، رطوبت و جریان هوا نشان می‌دهد.

## راهکارهای تطابق حرارتی

در پاسخ به این سؤال که «در صورت احساس سرما یا گرما چه کار می‌کنید»، حدود ۲۱/۲٪ از افراد ایستادن در مکان‌هایی که جریان هوا وجود دارد را انتخاب کرده‌اند. به‌این‌ترتیب، تهویه طبیعی مهم‌ترین راهکار تطابق با محیط است. رفتارهای بعد به ترتیب استراحت کردن، دوری از مکان‌های گرم، تغییر وضعیت، دوری از تابش خورشید و کم یا زیاد کردن لباس بوده است. جدول ۹ تعداد پاسخ‌دهندگان را نشان می‌دهد.

جدول ۸. ترجیح حرارتی افراد در دما، رطوبت و جریان هوا

| ترجیح جریان هوا | | ترجیح رطوبت | | ترجیح دما | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | کل افراد ۱۸۰ |
| ۷۶/۴ | ۵۹ | ۴۵ | ۸۲ | ۴۰/۵ | ۷۳ | بدون تغییر |
| جریان هوای بیشتر | | رطوبت بیشتر | | دمای بیشتر | | مقادیر بیشتر |
| ۵۲/۲ | ۹۵ | ۳۸ | ۶۹ | ۲۲/۷ | ۴۱ | |
| جریان هوای کمتر | | رطوبت کمتر | | دمای کمتر | | مقادیر کمتر |
| ۱۵/۴ | ۲۸ | ۱۷ | ۳۱ | ۳۶/۶ | ۶۶ | |

جدول ۹. میزان انتخاب راهکارهای تطبیق حرارتی توسط افراد

| فعالیت | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴ | ۱۵ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تعداد انتخاب | ۳۷ | ۱۷ | ۳۱ | ۳۸ | ۳۰ | ۳۳ | ۹ | ۲۷ | ۳ | ۱۹ | ۱۹ | ۹ | ۳ | ۹ | ۳ |
| درصد انتخاب | ۲۰/۶۷ | ۹/۴۹ | ۱۷/۳۱ | ۲۱/۲۲ | ۱۶/۷۵ | ۱۸/۴۳ | ۵/۰۲ | ۱۵/۰۸ | ۱/۶۷ | ۱۰/۶۱ | ۱۰/۶۱ | ۵/۰۲ | ۱/۶۷ | ۵/۰۲ | ۱/۶۷ |

شماره فعالیت‌ها: ۱. استراحت کردن ۲. انجام کارهایی با صرف انرژی کمتر ۳. تغییر حالت و وضعیت ۴. ایستادن در مکان‌هایی با جریان هوا ۵. دوری از تابش مستقیم خورشید ۶. دوری از مکان‌های گرم ۷. استفاده از بادبزن ۸. کم یا زیاد کردن تعداد لباس‌ها ۹. بستن موها ۱۰. خوردن نوشیدنی سرد یا گرم ۱۱. شستن دست و صورت ۱۲. ماندن در مکان‌های گرم ۱۳. قرار گرفتن در معرض تابش خورشید ۱۴. دوری از مکان‌هایی با جریان هوا ۱۵. موارد دیگر

## نتیجه‌گیری

هدف از انجام پژوهش حاضر ارزیابی محدوده آسایش حرارتی در ساختمان‌های اداری برخوردار از تهویه طبیعی در شهر بوشهر است. مهم‌ترین پارامترهای حرارتی محیط خارجی شامل دما و رطوبت نسبی هوا با استفاده از دیتالاگرها در بازه سه‌روزه از ۱۹ الی ۲۱ اسفندماه اندازه‌گیری شده است. بر اساس نتایج ۸۱/۱٪ از افراد از شرایط کلی حرارتی احساس آسایش و رضایت دارند. با استفاده از نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس تحلیل آمار توصیفی میان داده‌های اندازه‌گیری شده و پاسخ‌های افراد انجام‌شده است. مطابق نتایج دمای بالای محدوده آسایش در فضاهای اداری بوشهر ۲۸/۶ درجه سانتی‌گراد است.

با توجه به زمان انجام پژوهش در اسفندماه، متوسط دمای خارجی ۱۹ درجه و رطوبت نسبی ۶۵ درصد است. به‌این‌ترتیب محدوده آسایش بر اساس دو رابطه پیشنهادی جهت محدوده آسایش حرارتی در شهرهای مختلف ایران محاسبه و با اندازه‌گیری‌های میدانی مقایسه شده است. بر این اساس دمای خنثی معادل ۲۳/۳۱ و ۲۴/۴۴ درجه و محدوده آسایش به ترتیب در طیف ۲۶/۸۱-۱۹/۸۱ و ۲۷/۹۴-۲۰/۹۴ درجه خواهد بود. درحالی‌که بر اساس نتایج پرسشنامه‌ها، افراد در دمای ۲۸/۶ درجه نیز احساس آسایش دارند گرچه ترجیح حرارتی نیمی از آن‌ها قرارگیری در دماهای کمتر است. میان دمای خنثی حاصل از دو روش، تفاوت ۱/۱۳ درجه وجود دارد. مقایسه این محدوده‌ها با نتایج میدانی نشان می‌دهد که رابطه ۱، در پیش‌بینی شرایط آسایش به واقعیت نزدیک‌تر است. به‌این‌ترتیب محدوده آسایش حرارتی در ساختمان‌های اداری برخوردار از تهویه طبیعی در بوشهر گسترده‌تر از میزان پیش‌بینی‌شده بر اساس معادلات فوق است. بر اساس نتایج بیش از ۷۹٪ افراد از جریان هوا راضی هستند درحالی‌که ۶۳٪ از میزان رطوبت رضایت دارند. این مسئله اهمیت بیشتر جریان هوا در ایجاد احساس آسایش حرارتی را بر میزان رطوبت نشان می‌دهد.

در مورد ترجیح حرارتی، ۴۰٪ از افراد خواستار تغییر در دما نبوده و ۵۱/۶٪ تغییرات کم را ترجیح می‌دهند. در مورد رطوبت ۶۳/۲٪ از شرایط رطوبتی راضی بوده و تمایل ۴۵٪ از آن‌ها به عدم ایجاد تغییر در شرایط رطوبتی است. درحالی‌که ۴۷/۸٪ از افراد ایجاد تغییرات کم در رطوبت (کمی خشک‌تر یا کمی مرطوب‌تر) را ترجیح داده‌اند. ۳۲/۴٪ محیط را بدون تغییر در جریان هوا ترجیح می‌دهند و در ۵۲٪ افراد ارجحیت با سرعت هوای بیشتر یا خیلی بیشتر است. به‌این‌ترتیب باوجود برقراری شرایط آسایش، ترجیح حرارتی برای بیش از ۳۶٪ افراد دمای اندکی کمتر و برای ۱۷٪ رطوبت کمتر و برای ۵۲٪ آن‌ها جریان هوای بیشتر است. به‌این‌ترتیب جهت تعیین دقیق محدوده دقیق آسایش حرارتی شهر بوشهر در ساختمان‌های اداری برخوردار از تهویه طبیعی، ضروری است پژوهش‌های میدانی و ارزیابی گسترده‌تر در فصول مختلف سال انجام شود. با توجه به تفاوت نظرات درزمینه احساس حرارتی و ترجیح حرارتی، راهکارهای مناسب در طراحی انعطاف‌پذیر فضا می‌تواند انتخاب شود. نتایج پرسشنامه‌ها و ارزیابی پارامترهای رفتاری نشان داد که مهم‌ترین راهکار انتخابی افراد جهت تطابق با شرایط حرارتی قرارگیری در مکان‌هایی با امکان جریان باد است. این مسئله اهمیت کاربرد تهویه طبیعی و امکان‌سنجی آن را در طراحی فضا نشان می‌دهد.

## پی‌نوشت‌ها

1. ASHRAE
2. Mean Radiant Temperature (MRT)
3. Fanger
4. Hybrid
5. Rupp
6. Predicted Mean Vote
7. adaptive

8. Steady State Heat Balance
9. Percentage of People Dissatisfied
10. Nicol and Humphreys
11. ASHRAE-55 Standard
12. Nicol
13. International Standard Organization: ISO
14. European Standard Organization: CEN
15. tropic
16. Humphreys
17. Datalogger
18. clo
19. SPSS

## فهرست مراجع


۱. انصاری منش، مریم؛ و نصرالهی، نازنین. (۱۳۹۳). تعیین محدوده آسایش حرارتی ساکنان به‌منظور بهینه‌سازی کیفیت محیط داخل در ساختمان‌های اداری کرمانشاه. *نقش‌جهان*، ۲(۴)، ۱۱–۲۱.

۲. بهزاد فر، مصطفی؛ و منعام، علیرضا. (۱۳۹۳). تأثیر ضریب دید به آسمان در آسایش حرارتی کاربران فضای باز شهری، بررسی بوستان‌های منتخب شهر تهران. *معماری و شهرسازی آرمان‌شهر*، ۵(۳)، ۲۳–۳۴.

۳. حسینی، سید ابراهیم؛ شعبانی، سیده حمیده؛ عباسیان، غزاله؛ و بلانیان، ندا. (۱۳۹۳). بررسی تأثیر عوامل میکرواقلیم بر آسایش محیطی فضاهای پیاده شهری (نمونه موردی: بررسی آسایش حرارتی در خیابان شهرداری تهران، حدفاصل میدان تجریش تا میدان قدس)، *مطالعات مدیریت شهری*، ۱۹(۶)، ۱–۱۵.

۴. حیدری، شاهین. (۱۳۹۳). سازگاری حرارتی در معماری نخستین قدم در صرفه‌جویی مصرف انرژی. تهران: دانشگاه تهران.

۵. نجفی، سیدمحمدعلی؛ و نجفی، نجمه. (۱۳۹۱). بررسی آسایش حرارتی با استفاده از روش‌های PMV و PPD، *مطالعات محیطی هفت حصار*، ۱(۱)، ۶۱–۷۰.

۶. وکیلی‌نژاد، رزا. (۱۳۹۲). *تأثیر ترکیبی ویژگی‌های کالبدی پوسته بنا و الگوهای تهویه بر میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی (نمونه موردی ساختمان‌های تهویه یک‌طرفه در اقلیم گرم و خشک شیراز)*. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.

7.ASHRAE. (2004). *Standard 55-2004: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.* Atlanta: Author.

8. ASHRAE. (2010). *ASHRAE 55-Thermal environmental conditions for human occupancy.* Atlanta: Author.

9. Auliciems, A., & De Dear, R. (1998). Thermal adaptation and variable indoor climate control In A. Auliciems (Ed.), *Human Bioclimatology Advances in Bioclimatology* (Vol.5, pp. 61–86). Berlin: Springer.

10. Auliciems, A., & Szokolay, S.V. (1997). Thermal comfort In A. Auliciems (Ed.), *PLEA notes: Passive and Low Energy Architecture International Design tools and techniques thermal* (Vol.5, pp. 1–66). Brisbane: University of Queensland.

11. Barbadilla-Martín, E., Lissen, JMS., Guadix Martín, JG., Aparicio-Ruiz, P., & Brotas, L. (2017). Field study on adaptive thermal comfort in mixed mode office buildings in southwestern area of Spain. *Building and Environment,* 123, 163-175.

12. Busch, J.F. (1992). A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand. *Energy and Buildings,* 18 (3–4), 235–249.

13. De Dear, R.J. (1998). A global database of thermal comfort field experiments. *ASHRAE Transactions,* 104, 1141-1152.

14.De Dear, R.J., & Brager, G.S. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings,* 34(6), 549–561.

15. Djongyang, N., Tchinda, R., & Njomo, D. (2010). Thermal comfort: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 14(9), 2626–2640.

16. Ghiaus, C., & Allard, F. (2006). Potential for free-cooling by ventilation. *Solar Energy,* 80(4), 402–413.

17. Indraganti, M., Ooka, R., Rijal, H., & Brager, G. (2014). Adaptive model of thermal comfort for offices in hot and humid climates of India. *Building and Environment,* 74, 39-53.

18. Luo, Z., Zhao, J., Gao, J., & He, L. (2007). Estimating natural-ventilation potential considering both thermal comfort and IAQ issues. *Building and Environment,* 42(6), 2289–2298.

19. Luo, M., Cao, B., & Damiens, J. (2015). Evaluating thermal comfort in mixed-mode buildings: A field study in a subtropical climate. *Building and Environment*, 88, 46-54.

20. Lu, S., Pang, B., Qi, Y., & Fang, K. (2018). Field study of thermal comfort in non-air-conditioned buildings in a tropical

island climate. *Applied Ergonomics,* 66, 89-97.

21. Mishra, A.K., & Ramgopal, M. (2013). Field studies on human thermal comfort: An overview. *Building and Environment,* 64, 94-106.

22. Mishra, A.K., & Ramgopal, M. (2015). A thermal comfort field study of naturally ventilated classrooms in Kharagpur, India. *Building and Environment,* 92, 396-406.

23. Mishra. A.K., Derks, M.T.H., Kooi, L., Loomans, M.G.L.C., & Kort, H.S.M. (2017). Analysing thermal comfort perception of students through the class hour, during heating season, in a university classroom. *Building and Environment*, 125, 464-474.

24. Nicol, F. (2004). Adaptive thermal comfort standards in the hot–humid tropics. *Energy and Buildings,* 36(7), 628–637.

25. Nicol, F., & Roaf, S. (1996). Pioneering new indoor temperature standards: the Pakistan project. *Energy and Buildings,* 23(3), 169–174.

26. Nicol, J., & Humphreys, M. A. (1973). Thermal comfort as part of a self-regulating system. *Building Research and Practice*, 1(3), 174–179.

27. Olesen, B.W., & Brager, G.S. (2004). A better way to predict comfort: The new ASHRAE standard 55-2004. *ASHRAE Journal,* 46, 20–26.

28. Olesen, B.W., & Parsons, K.C. (2002). Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. *Energy and Buildings,* 34(6), 537–548.

29. Orosa, J.A., & Oliveira, A.C. (2011). Passive methods to address the sick building syndrome in public buildings. In S.A. Abdul-Wahab (Ed.), *Sick Building Syndrome* (pp. 481–492). Muscat: Springer.

30. Rupp, R.F., Vásquez, N.G., & Lamberts, R. (2015). A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy and Buildings,* 105, 178–205.

31. Singh, M.K., Ooka, R., Rijal, H., & Takasu, M., (2017). Adaptive thermal comfort in the offices of North-East India in autumn season. *Building and Environment,* 124, 14-30.

32. Van Hoof, J., Mazej, M., & Hensen, J.L.M. (2010). Thermal comfort: research and practice. *Frontiers in Bioscience*, 15(2), 765–788.

33. Yu, W., Li, B., & Yao, R. (2017). A study of thermal comfort in residential buildings on the Tibetan Plateau, China. *Building and Environment,* 119, 71-86.

ISSN 17359562 DOI: 10.30495/HOVIATSHAHR.2020.16777 © 2021 IAU

# Evaluation of Thermal Comfort Zone in Naturally Ventilated Offices in Bushehr

***Roza Vakilinezhad*,*** *Assistant Professor, School of Art And Architecture, Shiraz University, Shiraz, Iran.*
***Jalil Shaeri,*** *Ph.D. Candidate, Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.*

## Abstract

Providing thermal comfort is one of the most important goals in building design, which accounts for a large amount of energy consumption. In-office buildings, thermal comfort has a significant impact on indoor quality and staff productivity. In many countries, several methods and standards have been proposed to determine the thermal comfort zone for air conditioning and naturally ventilated buildings. In Iran, the lack of appropriate standards defining thermal comfort zones determines the necessity of research in this field. The present paper aims to determine the thermal comfort range in Bushehr office buildings with natural ventilation. Environmental indices (temperature, humidity, wind speed) were measured through field studies using data loggers in the three days from 19 to 21 March while 180 questionnaires were answered simultaneously by users. Based on the results, 81.1% of the subjects are comfortable with the overall thermal conditions. Using SPSS software, descriptive statistics analysis was performed between measured data and individual responses. During the research time in March, the average temperature is 19 ° C and the relative humidity is 65%. In this way, the comfort range is calculated based on two proposed equations for thermal comfort in different cities of Iran and compared with field measurements. According to the results of high temperature, the comfort zone in Bushehr office spaces is 28.6 degrees Celsius which is higher than the values from proposed equations for thermal comfort in Iran. There is a difference of 1.13 degrees between the neutral temperatures obtained by the two methods. More than 79% of the people are satisfied with the flow of air while 63% of the moisture content is satisfied. This shows the greater importance of the airflow in creating a feeling of comfort on the amount of moisture. In the case of thermal preference, 40% of people do not want a change in temperature, and 51.6% prefer small changes. In the case of humidity, 63.2% of the moisture conditions are satisfied and their 45% tendency to no change in moisture conditions. While 47.8% of people preferred modest changes in humidity (slightly damp or slightly moist), 32.4% prefer the environment without changing the airflow, and 52% prefer the air to more or more. Thus, despite the establishment of comfort conditions, the thermal preference for more than 36% of people is slightly lower and 17% less humidity and 52% more airflow. Regarding heat sensation and thermal preference, a suitable solution can be selected for flexible space design. The results of the questionnaires and the evaluation of behavioral parameters showed that the most important choice of the individuals to adapt to the thermal conditions is to stay in places with the possibility of wind flow. This issue shows the importance of the application of natural ventilation and its feasibility in space design. Therefore, to accurately determine the exact range of thermal comfort in Bushehr city, it is necessary to conduct extensive field study research in different seasons of the year in natural building ventilation buildings defining accurate thermal comfort zone.

**Keywords:** Thermal Comfort, Office Building, Natural Ventilation, Bushehr.

* Corresponding Author Email: Arch.rv@shirazu.ac.ir