علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره یک، فروردین ماه ۹۹

بررسی دمای خنثی در ساختمان‌های مسکونی چند طبقه در شیراز با استفاده از شاخص‌های PMV و AMV

حامد عیالی[۱]

دکتر هادی کشمیری[۲*]

keshmirihadi@yahoo.com

دکتر خسرو موحد[۳]

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۲۳ **تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۲۰**

چکیده:

زمینه و هدف: از آن‌جا که سطح توقعات افراد و نیاز آن‌ها به ایجاد شرایط آسایش در محیط‌های مختلف روزبه‌روز محسوس‌تر می‌شود، بنابراین اقلیم و شرایط محیطی، تاثیر روانی و فیزیکی اجتناب ناپذیری بر شرایط آسایش انسان دارند. لذا تعیین محدوده‌ی آسایش حرارتی برای هر منطقه‌ی اقلیمی در انحای مختلف ساخت، ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این پژوهش، شناسایی محدوده‌ی آسایش حرارتی فضاهای داخلی ساختمان‌های مسکونی چند طبقه با استفاده از شاخص‌های پیش‌بینی متوسط نظرات و متوسط نظرات واقعی است.

در این راستا پژوهش پیش رو به این سوال پاسخ خواهد داد که: دمای خنثی در ساختمان‌های مسکونی چند طبقه در شیراز در فصل گرم به چه میزان است؟

روش بررسی: در این پژوهش، از روش‌های تحقیق مختلف با توجه به جنبه‌های گوناگون آن استفاده شده است لیکن مراحل اجرایی پژوهش در دو بخش "گردآوری داده و اطلاعات" و "تجزیه و تحلیل" جداسازی شد. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز این پژوهش حال‌نگر، براساس روش تجربی و میدانی به دو روش اصلی پرسش‌نامه و اندازه‌گیری متغیرها با استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری محیطی(Lutron

---

۱- دکتری معماری، گروه معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

۲- دانشیار معماری، گروه معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران *(مسوول مکاتبات)

۳ - دانشیار معماری، گروه معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

این مقاله برگرفته از پایان نامه دکتری نگارنده اول تحت عنوان " تبیین مولفه‌های آسایش حرارتی ساختمان‌های مسکونی چند طبقه بر اساس رفتار حرارتی ساکنان در شهر شیراز" به راهنمایی نگارنده دوم (عهده‌دار مکاتبات و نویسنده مسوول) و مشاوره نگارنده‌ی سوم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز است.

LM-8000A و Extech T30)، از نمونه‌های واحدهای مسکونی جمع‌آوری گردید و سپس با توصیف‌های تحلیلی، استنتاجی و طبقه-بندی آن‌ها احکام لازم صادر گردید.

یافته‌ها: اغلب افراد در کلیه فضاهای مورد مطالعه احساس گرم بودن در مقیاس اشری را داشته‌اند. دمای هوای فضاهای داخلی و میزان پیش‌بینی متوسط نظرات و هم‌چنین متوسط نظرات واقعی ضریب همبستگی افزایشی و مثبت وجود دارد.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج تحقیق نشان می‌دهد که رابطه‌ی بین دمای هوای بیرون و دمای خنثی در ماه‌های گرم دارای رابطه‌ای خاص است که اختلاف جزیی با دیگر مطالعات جهانی دارد.

واژه‌های کلیدی: دمای خنثی، آسایش حرارتی، ساختمان‌های مسکونی چند طبقه، شیراز

Study the Neutral Temperature in Multi Story Residential Buildings in Shiraz by Using PMV & AMV Indexes

Hamed Ayali[1]
Hadi Keshmiri[2*]
keshmirihadi@yahoo.com
Khosro Movahed[3]

Accepted: 2017.08.16 Received: 2017.05.13

Abstract:

Background and Objective: As the level of people's expectations and their need to create comfort conditions in different environments becomes more and more noticeable, so the climate and environmental conditions, the inevitable psychological and physical impact on human comfort conditions have. Therefore, determining the range of thermal comfort for each climatic zone in different forms of construction seems necessary. The purpose of this study is to identify the range of thermal comfort of the interior of multi-story residential buildings using predictive indicators of average views and average real views.

In this regard, the forthcoming research will answer the question: What is the neutral temperature in multi-story residential buildings in Shiraz in the hot season?

Method: In this research, different research methods have been used according to its various aspects, but the implementation stages of the research were divided into two parts: "data collection and information" and "analysis". Data and information required for this present study, based on experimental and field methods, the two main methods of questionnaire and measurement of variables using environmental measuring devices (Lutron LM-8000A and Extech T30) , Samples were collected from residential units and then the necessary rulings were issued with their analytical, inferential and classification descriptions.

Findings: Most people in all studied spaces were feeling warm at ASHRAE scale. The air temperature of the interior spaces and predicted mean vote (PMV) of the comments as well as the actual mean vote (AMV) of the correlation coefficient are incremental and positive.

Discussion and Conclusion: The results show that outside temperature and neutral temperature have a special relationship in warm months and these results are minor differences with other global studies.

Keywords: Neutral Temperature, Thermal Comfort, Multi-story Residential Buildings, Shiraz.

1-PhD., Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
2- Associated Professor in architecture, Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran * (Corresponding Author)
3-Associated Professor, Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

مقدمه

ایجاد محیطی سالم و مطبوع برای زندگی در فصول مختلف سال از دیر زمان برای بشر مساله‌ای حیاتی بوده است. امروزه با پیشرفت‌های چشم‌گیر علوم و تکنولوژی، عرصه‌های فعالیت افراد در جامعه گسترده‌تر شده است و از طرفی نیز سطح توقعات افراد و نیاز آن‌ها به ایجاد شرایط آسایش در محیط‌های مختلف روزبه‌روز محسوس‌تر می‌گردد. آسایش را می‌توان شرایطی از ادراک نامید که در آن، محیط پیرامون رضایت بخش باشد. به طور کلی می‌توان شرایط آسایش را به چند شاخه‌ی اصلی تقسیم‌بندی نمود: آسایش کیفی، آسایش آکوستیکی، آسایش بصری و آسایش حرارتی (۱). اقلیم و شرایط محیطی، تاثیر روانی و فیزیکی اجتناب ناپذیری بر شرایط آسایش انسان دارند (۲). تعیین محدوده‌ی آسایش حرارتی بر محاسبات حرارتی ساختمان، اندازه‌ی دستگاه‌های حرارتی و برودتی، ضخامت عایق، جنس مصالح و به‌طورکلی بر میزان مصرف و اتلاف انرژی تأثیر مستقیم دارد. با این‌که فیشمن و پیمبرت[1] معتقدند که افراد در شرایط اقلیمی یکسان، احساس آسایش دمایی مشابهی دارند (۳)، با این حال، لازم است که برای هر منطقه‌ی اقلیمی، محدوده‌ی آسایش حرارتی به طور دقیق مشخص شود. پنج عامل اقلیمی دما، رطوبت، فشار بخار آب، سرعت جریان هوا (باد) و تابش از جداره‌های داخلی، در تعیین محدوده‌ی آسایش حرارتی مورد توجه هستند و سایر عوامل از جمله نوع فعالیت، پوشش، سن و جنس افراد به دلیل این‌که قابل کنترل نیستند، ثابت فرض می‌شوند (۴). در بین این عناصر، دما و رطوبت تاثیر بیش‌تری در سلامت و راحتی انسان دارند و به این دلیل، بیش‌تر مدل‌های سنجش آسایش انسان بر این دو عنصر استوار شده است (۵).

با توجه به طیف مطالعات انجام شده در حوزه‌ی زیست اقلیم ساختمان که اغلب جهت بناهای ویلایی و یا کوتاه مرتبه و یا در فضای باز صورت پذیرفته، محدوده‌ی آسایش حرارتی در اقلیم‌های مختلف ایران مشخص گردیده است. لیکن با توجه به سیاست‌گذاری صورت گرفته توسط متولیان امر، به منظور برآورده کردن رشد سریع تقاضای مسکن، نیاز به مطالعات در رابطه با آسایش حرارتی در فضاهای مسکونی چند طبقه احساس می‌گردد. با عنایت به شناخت اقلیمی به عنوان بستر فعالیت‌های انسانی که پایه و اساس غالب برنامه‌ریزی‌های محیطی و آمایش سرزمین را انجام می‌دهد، تضمین توفیق کامل غالب برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ی شهری، معماری و ... هنگامی به‌دست می‌آید که علاوه بر شناخت اقلیم، به شناسایی و بررسی محدوده‌ی آسایش حرارتی در فضاهای مسکونی چند طبقه نیز پرداخته شود. به‌طور کلی هدف این پژوهش، شناسایی محدوده‌ی آسایش حرارتی فضای داخلی ساختمان-های مسکونی چند طبقه در شهر شیراز با استفاده از شاخص-های پیش‌بینی متوسط نظرات و متوسط نظرات واقعی است.

پیشینه‌ی تحقیق

به منظور محاسبه‌ی محدوده‌های آسایش حرارتی، کوشش‌های زیادی صورت گرفته است؛ یکی از اولین روش‌های مشهور، استفاده از خطوط آسایش معادل است که نشان‌دهنده‌ی دمای موثر[2] بود. سپس با انجام اصلاحاتی، دمای موثر نوین[3] توسط گاج[4] مطرح شد که پس از آن بدفورد[5] آن‌را توسعه داد. فنگر[6] محدوده‌ی آسایش را براساس محاسبه‌ی میزان تبادل حرارت بین بدن انسان و محیط ارایه کرد. از آن‌جایی که این روش، بسیاری از معیارهای آسایش را دربر دارد، روش کاملی به حساب می‌آید. این روش تحت عنوان پیش‌بینی متوسط نظرات[7] عنوان شد. بعدها ایـن روش توسعه یافت و تحت عنوان پیش‌بینی درصد نارضایتی[8] مطرح شد. اولگی[9] روشی را مطرح کرد که نه‌تنها همانند روش فنگر، معیارهای آسایش متعددی را مد نظر قرار داده بـود بلکه پیشنهادی را برای کاربرد این روش

1- Fishman and Pimbert

2- ET, Effective Temperature
3- ET*, New Effective Temperature
4- Gagge
5- Bedford
6- Fanger
7- PMV, Predicted Mean Vote
8- PPD, Prediction in Percentage of Dissatisfy
9- Olgyay

برای عرض‌های جغرافیایی دیگر (عرض‌های زیر ۴۰ درجه) ارایه داد. سازمان استاندارد ایالات متحده امریکا[1] در سال ۱۹۸۵، میزان رطوبت سطح پوست که به واسطه‌ی تعرق به وجود می‌آید را بهترین روش برآورد نارضایتی حرارتی برشمرد و بر این اساس دمای سطح پوست و میزان رطوبت آن‌را به عنوان دو عامل مهم در محاسبه‌ی حدود آسایش حرارتی ارایه کرد. در ادامه زوکلای[2] در سال ۱۹۸۷ محدوده‌ی دمای آسایش را بر اساس میانگین دمای محیط تعریف کرد. در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای در زمینه‌ی آسایش حرارتی به انجام رسیده است که عمدتاً رابطه‌ی این موضوع را با عوامل دیگر از جمله اتلاف انرژی، شرایط اقلیمی، سابقه‌ی دمایی (به عنوان مثال، مدت زمان در معرض حرارت روزانه قرار گرفتن و ...)، شرایط کاری متفاوت و جنس کارگران، میزان رطوبت و غیره، بیان می‌کند. در این مطالعات به منظور تعیین وضعیت و محدوده‌ی آسایش حرارتی معمولاً از مدل‌های اشاره شده، استفاده گردیده است (۶). در سپتامبر ۱۹۷۵، هیمفریز[3] برای نخستین بار در سمپوزیوم "نیازمندی‌های فیزیولوژیکی خرد اقلیم" در کشور پرو و پس از آن در شماره‌ی ۴۴ مجله‌ی علوم انسانی آوریل ۱۹۷۶، با اطلاعات به دست آمده حاصل از نتایج سی پژوهش میدانی درباره‌ی آسایش حرارتی در طی دوره‌ی چهل ساله که از اقلیم‌ها و فرهنگ‌های مختلف بدست آمده بودند، نتایج شگرفی را ارایه داد که جهت‌گیری استانداردهای آسایش حرارتی را به خود معطوف کرد. این مطالعات دو هدف هم‌زمان را دنبال می‌کردند؛ یکی توصیف شرایط حرارتی محیط که در همبستگی با پاسخ‌های انسانی بود و دوم پیدا کردن دامنه‌ای از شرایط که در آن مردم مفرح بوده و یا آن شرایط برایشان به خوبی قابل تحمل بود (۷). تحقیقات انجام شده در ایران در زمینه‌ی آسایش حرارتی و تعیین معیارها و شاخص‌های مربوط به آن چندان زیاد نیست. از جمله مهم‌ترین بررسی‌های انجام شده به شیوه‌ی پیمایش میدانی در ایران بتوان به تحقیقات دکتر شاهین حیدری اشاره نمود. وی در دو تحقیق جداگانه به بررسی میدانی شرایط آسایش حرارتی در دو منطقه‌ی مختلف از ایران (در استان ایلام و در برخی از نواحی شهر تهران) پرداخته است. علاوه بر این تحقیقات، می‌توان به تعیین محدوده‌ی آسایش حرارتی در فضای بسته‌ی آموزشگاهی یزد که در سال ۱۳۸۵ توسط قاسم‌زاده و نوری ارایه شد، اشاره نمود (۸).

1- United Stated Standard Organization
2- Szokolay
3- Humphreys

روش تحقیق

از میان عرصه‌های مختلفی که مبین تأثیر اقلیم بر معماری محسوب می‌شوند، پژوهش حاضر جهت تعیین مرزهای آسایش حرارتی که در مدیریت بهینه‌ی مصرف انرژی خصوصاً مصرف سوخت‌های فسیلی تأثیر به سزایی خواهد داشت، تمرکز کرده است. هدف از این پژوهش، شناسایی محدوده‌ی آسایش حرارتی فضای داخلی ساختمان‌های مسکونی چند طبقه با استفاده از شاخص‌های پیش‌بینی متوسط نظرات و متوسط نظرات واقعی[4] است. این تحقیق سعی در اثبات این فرضیه را دارد که رابطه‌ی بین دمای هوای بیرون و دمای خنثی دارای همبستگی مثبت و مشابه دیگر روابط در مطالعات جهانی است. در این پژوهش، از روش‌های تحقیق مختلف با توجه به جنبه‌های گوناگون آن استفاده شده است لیکن مراحل اجرایی پژوهش در دو بخش گردآوری داده و اطلاعات و تجزیه و تحلیل جداسازی شد. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز این پژوهش حال‌نگر، بر اساس روش تجربی و میدانی از نمونه‌های واحدهای مسکونی جمع‌آوری گردید که شامل دو روش اصلی پرسش‌نامه و اندازه‌گیری متغیرها است. متغیر مستقل در این تحقیق، دمای هوا (درون یا برون) و متغیر وابسته، دمای خنثی بوده است. پرسش‌نامه در این پژوهش به عنوان یک ابزار اصلی برای بررسی شرایط محیط داخل ساختمان با تمرکز بر آسایش حرارتی استفاده شد. هم‌چنین با استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری محیطی Lutron LM-8000A و Extech HT30، اطلاعات مورد نیاز ثبت گردید. سپس با توصیف‌های تحلیلی، استنتاجی و طبقه‌بندی آن‌ها احکام لازم صادر گردید. این تحقیق پاسخ‌گویی به پرسش زیر را هدف قرار داده است:

4- AMV, Actual Mean Vote

- دمای خنثی در ساختمان‌های مسکونی چند طبقه در شیراز در فصل گرم به چه میزان است؟

موادها و روش‌ها

با عنایت به شناخت اقلیمی به عنوان بستر فعالیت‌های انسانی که پایه و اساس غالب برنامه‌ریزی‌های محیطی و آمایش سرزمین را انجام می‌دهد، تضمین توفیق کامل غالب برنامه-ریزی‌های توسعه شهری، معماری و ... هنگامی به‌دست می‌آید که علاوه بر شناخت اقلیم به شناسایی و بررسی محدوده‌ی آسایش حرارتی در فضاهای مسکونی چند طبقه نیز پرداخته شود. برای تعیین حجم نمونه در این پژوهش از فرمول کوکران[1] استفاده شده است. با توجه به این‌که آماری مشخص و دقیق از تعداد آپارتمان‌های مسکون در محل اجرای مطالعه (شیراز) وجود ندارد، بنابراین با توجه میزان خطای اندازه‌گیری ۵ درصد، تعداد نمونه آماری ۳۸۴ خواهد بود. روش نمونه‌گیری، غیراحتمالی ترکیبی است به طوری‌که جامعه‌ی آماری به روش نمونه‌گیری مطبق به چند بخش تقسیم شده و سپس با توجه به محدودیت‌هایی که ذکر شد به صورت هدف‌مند نمونه‌گیری انجام گردید.

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

شرایط اقلیم آسایشی معمولا با شاخص‌هایی بیان می‌گردد که در آن مجموعه‌ای از عناصر هواشناختی، انسانی و محیطی دخالت داده می‌شود. این شاخص‌ها، داده‌های اقلیمی را به شکلی ارایه می‌کنند که نشان دهنده واکنش افراد به شرایط آب‌وهوایی است و در طبقه‌بندی عددی، درجه‌هایی را از بسیار مناسب تا بسیار نامناسب در بر می‌گیرند. این شاخص‌ها تفسیر تأثیرات پیچیده‌ی عناصر جوی را از آسایش انسان آسان‌تر می-کنند و امکان مقایسه‌ی مکان‌های مختلف را از دیدگاه اقلیم آسایشی فراهم می‌آورند. یک شاخص ایده‌آل می‌بایست از سه جنبه‌ی فیزیکی، فیزیولوژیکی و روان‌شناختی ترکیب شده باشد. به علاوه در آن تعادل انرژی بین بدن و جو نیز لحاظ شده باشد (۹). شاخص پیش‌بینی متوسط نظرات از جمله مهم‌ترین شاخص‌های فیزیولوژی- دما محسوب می‌شود که هر سه جنبه‌ی ذکر شده در آن لحاظ شده است. هم اکنون انجمن مهندسان تاسیسات حرارتی و برودتی امریکا[2]، آسایش حرارتی را با عنوان استاندارد ۵۵ اشری[3] و براساس روش فنگر نگاشته است. هم‌چنین موسسه‌ی استاندارد بین‌المللی[4]، استاندارد ایزو ۷۷۳۰[5] را به منظور تعیین وضعیت آسایش حرارتی بر پایه‌ی پژوهش‌های فنگر تصویب کرده است. موسسه‌ی رسمی مهندسان تاسیسات ساختمانی انگلستان[6] نیز شاخص حاصل از مطالعات فنگر را در حکم معیار تعیین آسایش در معماری در نظر گرفته است (۱۰).

مطالعات فنگر

فنگر یکی از پژوهشگرانی است که در پژوهش‌های میدانی‌اش، عوامل موثر در آسایش حرارتی اشخاص را به تفکیک به‌دست آورده و با ایجاد روابط ریاضی میان آن‌ها، به شاخصی دست یافته است که درباره‌ی وضعیت آسایشی بیش‌تر افراد تحت آزمایش صدق می‌کرد. این آزمایش‌ها بر روی افرادی در سنین دانشجویی در امریکا، که در محیط‌های همگن و کنترل شده قرار می‌گرفتند، انجام شده است. درنتیجه شاخصی با نام پیش‌بینی متوسط نظرات که به‌طور مختصر پی‌ام‌وی نامیده می‌شود، پیشنهاد گردید. این شاخص در آزمون‌های مکرر، عکس‌العمل گروه بزرگی از مردم را بر اساس مقیاس حرارتی اشری[7] به دقت تعیین کرده است (۱۰). این استاندارد احساس آسایش حرارتی را در انسان به ۷ دسته تقسیم کرده است. نیکل[8] معتقد است دسته‌بندی هفت‌گانه نسبت به دسته‌بندی پنج‌گانه و نه‌گانه مناسب‌تر است؛ تقسیم‌بندی پنج‌گانه، اغلب قدرت انتخاب مناسبی را از فرد می‌گیرد و دسته‌بندی نه‌گانه ممکن است فرد را تا حدودی مردد کند (۷).

1- Cochran formula

2- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer
3- ASHRAE Standard 55
4- International Organization for Standardization
5- ISO 7730
6- Chartered Institution of Building Services Engineers
7- ASHRAE thermal sensation scale
8- Nicol

جدول ۱- مقیاس‌های مختلف احساس گرمایی در انسان

Table 1- Various scales of thermal sensation in humans

	اشری	بدفورد	مک‌اینتایر	نیکل
+۳	داغ	خیلی بیش از حد گرم	ترجیح خنک‌تر	ترجیح بسیار خنک
+۲	گرم	خیلی گرم		
+۱	کمی گرم	گرم		ترجیح کمی خنک
۰	خنثی	راحت	بدون تغییر	بدون تغییر
-۱	کمی خنک	خنک	ترجیح گرم‌تر	ترجیح کمی گرم
-۲	خنک	خیلی خنک		ترجیح بسیار گرم
-۳	سرد	خیلی بیش از حد خنک		

شاخص پیش‌بینی متوسط نظرات بر مبنای تعادل حرارتی بدن انسان استوار است. تعادل حرارتی زمانی برقرار می‌شود که تولید حرارت بدن با حرارت تلف شده از آن برابر شود. در یک محیط معتدل، سامانه‌ی تنظیم حرارت بدن به طور خودکار با تغییر دمای پوست و ترشح عرق، سعی در برقراری تعادل حرارتی دارد (۱۱). این شاخص را می‌توان از رابطه‌ی زیر محاسبه کرد:

$$PMV=[0.303.\exp(-0.036.M)+0.028].\{(M-W)-3.05\times10^{-3}.[5733-6.99.(M-W)-P_a]-0.42.[(M-W)-58.15]-1.7\times10^{-5}.M.(5867-Pa)-0.0014.M.(34-t_a)-3.96\times10^{-8}.f_{cl}.[(t_{cl}+273)^4-(t_r+273)^4]-f_{cl}.h_c.(t_{cl}-t_a)\} \quad (۱)$$

که در آن:

$$t_{cl}=35.7-0.028.(M-W)-0.155.Icl.\{3.96\times10^{-8}.f_{cl}.[(t_{cl}+273)^4-(t_r+273)^4]+f_{cl}.h_c.(t_{cl}-t_a)\} \quad (۲)$$

$$h_c=\begin{cases}2.38.|t_{cl}-t_a|^{0.25} & \text{اگر } 2.38.|t_{cl}-t_a|^{0.25} > 12.1.\sqrt{v_{ar}}\\ 12.1.\sqrt{v_{ar}} & \text{اگر } 2.38.|t_{cl}-t_a|^{0.25} < 12.1.\sqrt{v_{ar}}\end{cases} \quad (۳)$$

$$f_{cl}=\begin{cases}1.0+1.29.I_{cl} & \text{اگر } I_{cl} \le 0.078\ (m^2.K/W)\\ 1.05+0.645\ I_{cl} & \text{اگر } I_{cl} > 0.078\ (m^2.K/W)\end{cases} \quad (۴)$$

که در این روابط، M نرخ سوخت و ساز بدن[1] (W/m^2)، W توان مکانیکی موثر (W/m^2)، I_{cl} میزان عایق لباس ($m^2.K/W$)، f_{cl} فاکتور مساحت سطح لباس، t_a دمای هوا (°C)، t_r میانگین دمای تابشی (°C)، v_{ar} سرعت نسب هوا (m/s)، P_a فشار جزیی هوا (Pa)، h_c ضریب انتقال گرمایش از طریق همرفت ($W/(m^2.K)$) و t_{cl} دمای سطح لباس (°C) خواهد بود (۱۲). شاخص پیش‌بینی متوسط نظرات می‌تواند برای شرایط مختلف نرخ سوخت و ساز بدن، دمای هوا، میانگین دمای تابشی، سرعت هوا و رطوبت هوا محاسبه شود. معادلات h_c و t_{cl} به روش تکرار قابل حل هستند (۱۱). فنگر فرض کرده است احساس گرما و سرما در یک میزان فعالیت خاص وابسته به این تغییرات فیزیولوژیکی است. او معادله‌ی تعادل گرما را برای پیش‌بینی یک مقدار عددی برای احساس افراد ساکن محیط به کار برد. این معیار در حالت فعالیت بدنی سبک و لباس کم، بسیار خوب پاسخ می‌دهد اما در فعالیت بدنی نسبتا سنگین، تجربیات و آزمایش‌های بیش‌تری لازم است تا معیار مورد نظر به‌دست آید (۱).

1- Metabolic rate

آسایش حرارتی تطبیقی

استانداردهای آسایش حرارتی، همواره دمای ثابتی را برای داخل ساختمان پیشنهاد می‌کنند؛ به عبارت دیگر از دیدگاه این استانداردها، تغییرات دمایی در خارج از ساختمان هیچ‌گونه تاثیری بر دمای طرح داخل ندارد. از سوی دیگر اغلب دیدگاهی کاملا دایم دارند و نمی‌توانند پدیده‌های گذرا را مورد بررسی قرار دهند(۱). در حالت ایستا، متغیرهای محیطی بدون هیچ تغییری درنظر گرفته می‌شوند اما به‌خودی خود مشخص است که در دنیای واقعی درست نیستند و افراد فعال بوده و همواره شرایط خود را تغییر می‌دهند (۷). لذا در کاربردهای روزانه تغییراتی را در دمای داخل پیشنهاد نمی‌کنند. به منظور دست-یابی به شرایط آسایش حرارتی تطبیقی، روش‌های متفاوتی وجود دارد. یکی از این روش‌ها پیدا کردن رابطه‌ای بین دمای آسایش حرارتی و دمای خارج بیان گردد تا بتوان تاثیر تغییرات دمای هوای طرح خارج را به داخل ساختمان اعمال نمود (۸).

در سال ۲۰۰۶ نشریه‌ی موسسه‌ی مهندسان تاسیسات ساختمانی انگلستان پیشنهاد کرد عنوان دمای عملکردی[1] جایگزین دمای منتج[2] گردد. بر اساس تعریف، دمای عملکردی در یک اتاق واقعی برابر است با دمای هوا در یک اتاق فرضی، آن گونه که فرد درون اتاق آن را به‌صورت جریان حرارت محیط همراه اجرای محیط پیرامون حس می‌کند(۱۰). در واقع دمای عملکردی، مقیاسی است برای پاسخ افراد به‌مبادلات انرژی با محیط اطرافشان از طریق تابش و جابه‌جایی. دمای عملکرد از نظر کمی، یک میانگین وزنی است از دمای هوا و دمای متوسط تابش (۱). نکته‌ی قابل اهمیت آن است که دمای عملکردی زمانی درست است که اختلاف متوسط دمای تابشی و دمای هوا از ۴ درجه‌ی سانتی‌گراد کم‌تر باشد. در این صورت اگر جریان هوا را داشته باشیم از رابطه‌ی ۵ دمای عملکردی به-دست می‌آید.

$$t_{op} = \alpha.t_a + (1-\alpha).t_{mr} \qquad (۵)$$

$\alpha = 0.5$ اگر $V \le 0.2$ (m/s)

$\alpha = 0.5$ اگر $0.2 < V < 0.2$ (m/s)

$\alpha = 0.5$ اگر $0.6 \le V$ (m/s)

که در آن t_{op} دمای عملکردی (°C)، t_a دمای هوا (°C)، t_{mr} متوسط دمای تابشی (°C) و V سرعت جریان هوا (m/s) است. اگر متوسط دمای تابشی و دمای هوا برابر باشند و جریان هوا نزدیک به صفر باشد، در این صورت دمای عملکردی و دمای هوا یکی است. برای راحتی در محاسبات، اشری حاصل جمع دمای تابشی و دمای هوا تقسیم بر دو را همان دمای عملکردی می‌خواند(۷). دمای آسایش[3] یا دمای خنثی[4]، دمای عملکردی است که هر فرد از لحاظ حرارتی، خنثی باشد و یا گروه بزرگی از افراد در محدوده‌ی آسایش قرار گیرند (در توزیع نرمال هر دو معادل یکدیگرند). یک فرد که در محدوده‌ی آسایش قرار گرفته است کسی است که بر اساس استانداردهای اشری ۵۵ و ایزو ۷۷۳۰ در محدوده‌ی کمی گرم، خنثی و یا کمی خنک قرار گرفته باشد(۱۳). به کمک تحلیل احتمالی و تحلیل رگرسیون می‌توان ارتباط بین دمای آسایش با متوسط دمای داخلی به‌دست آورد(۷). در صورتی که از رگرسیون عادی در بیان دمای آسایش استفاده شود، مقادیر به‌دست آمده مغلطه‌آمیز و اشتباه خواهند بود(۱۴). دمای خنثی با روش گریفیتس[5] قابل پیش‌بینی است به طوری که:

$$t_n = t_i + (0 - AMV) / a \qquad (۶)$$

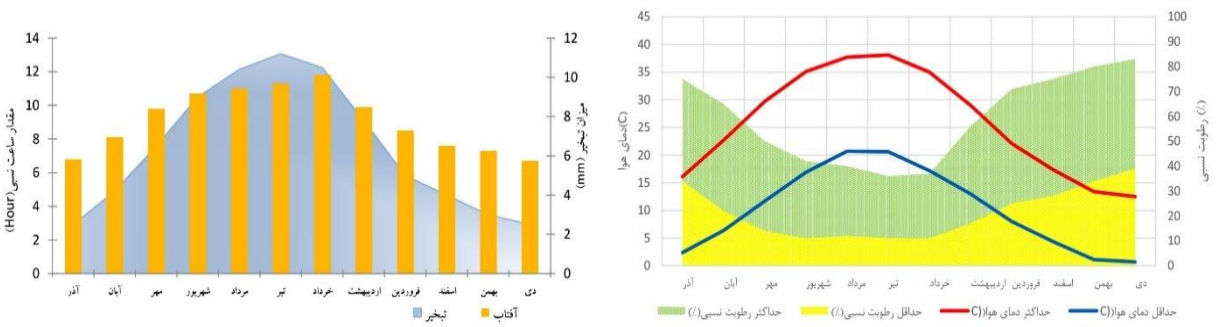
که در آن t_n دمای خنثی بر اساس روش گریفیتس (°C)، t_i دمای هوای داخل (°C)، AMV متوسط نظرات واقعی بر اساس مقیاس اشری (جدول۱) و a ضریب رگرسیون خواهد بود(۱۴). ضریب رگرسیون در روش گریفیتس برابر ۰/۵ فرض می‌گردد(۱۵). بهتر است به جای دمای هوای داخل از دمای عملکردی استفاده شود. هم‌چنین در این نظریه، متوسط دمای

1- Operative Temperature
2- Resultant Temperature
3- Comfort Temperature
4- Neutral Temperature
5- Griffiths Method

ماهیانه با دمای خنثی در ارتباط مستقیم است. هرچه متوسط دمای ماهیانه افزایش یابد، دمای خنثی نیز اضافه می‌شود. در واقع پیش‌بینی دمای خنثی از طریق دمای ماهیانه امکان پذیر خواهد بود(۷).

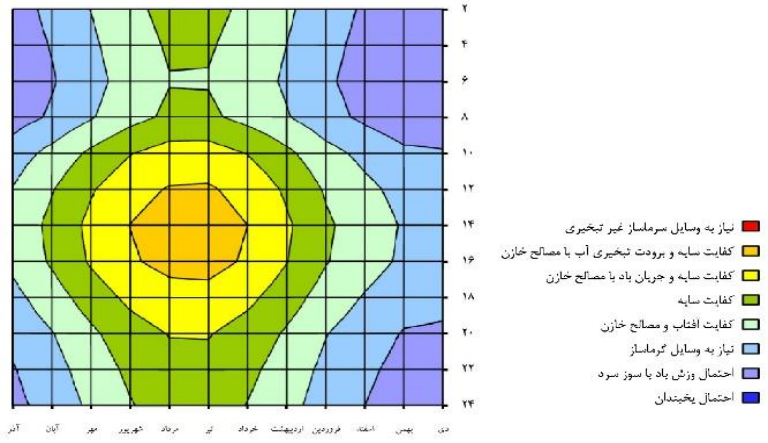
معرفی محدوده‌ی مورد مطالعه

شیراز با طول جغرافیایی ۵۲ و ۳۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۲ دقیقه در جنوب غربی ایران، در مرکز استان فارس واقع شده است و از سطح دریاهای آزاد ۱۴۹۱ متر ارتفاع دارد. با توجه به موقعیت جغرافیایی شیراز، نقاط هم اقلیم با این شهر بیش‌تر قسمت‌های جلگه‌ای که یا در نزدیکی کوهستان‌ها قرار دارند و یا مجاور با کویر هستند، واقع گشته است. میزان حداقل و حداکثر دمای متوسط هوا، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، تبخیر و باران در شکل ۱ نمایش داده شده است. تقویم نیاز اقلیمی شیراز بر اساس روش اولگی[1] محاسبه و در شکل ۲ ارایه شده است. هدف از تهیه‌ی این تقویم، نمایش پراکندگی نقاط گرمایی یکسان در عرض سال و یا تشخیص مواقعی است که از لحاظ گرمایی احساس مشابه در انسان ایجاد می‌شود. با تشخیص این مواقع، نیاز آب‌وهوایی انسان برای رسیدن به شرایط آسایش در منطقه‌ی مورد مطالعه نیز معلوم می‌گردد(۱۶). با بررسی نمودار اطلاعات آب‌وهوایی و تقویم نیاز اقلیمی شهر شیراز می‌توان محدوده‌ی زمانی دمای بالای هوا در طول سال را مشخص کرد.



شکل ۱- نمودار اطلاعات آب‌وهوایی شهر شیراز (۱۶)

Shape 1- Shiraz weather diagram



شکل ۲- نمودار تقویم نیاز اقلیمی شهر شیراز (۱۶)

Shape 2- Calendar of climate requirements in Shiraz

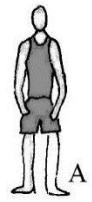
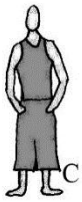
1- Olgie

یافته‌های تحقیق

تجزیه و تحلیل اطلاعات به‌دست آمده از مراحل مهم مطالعات آسایش حرارتی است. همان‌طور که گفته شد، اطلاعات مورد نیاز پژوهش از دو طریق اندازه‌گیری و پرسش‌نامه از نمونه‌های مورد مطالعه به‌دست آمد. در طراحی پرسش‌نامه، سعی بر آن شد که اطلاعات در سه بخش کلی تقسیم گردد؛ اطلاعات آپارتمان، اطلاعات فردی و بررسی محدوده‌ی آسایش از نظر پاسخ‌گو. نرخ نسبی لباس در پرسش‌نامه‌ها به صورت جدول ۲ بوده است. هم‌چنین در بررسی‌ها، سه بخش اصلی و مشترک بین واحدهای مسکونی مورد بررسی قرار گرفت؛ آشپزخانه، اتاق نشیمن و اتاق خواب. خلاصه‌ی اطلاعات بدست آمده از نمونه-های مورد پژوهش در جدول ۳ آمده است.

جدول ۲- نرخ نسبی لباس مورد استفاده در فضای داخل واحد مسکونی(برحسب clo)

Table 2- Clothing insulation value used in the interior of the residential unit spaces (clo)

 A	B	 C	D	E	F	G	H	I	J
۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۴۷	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۲۲	۰/۳۴	۰/۲۴

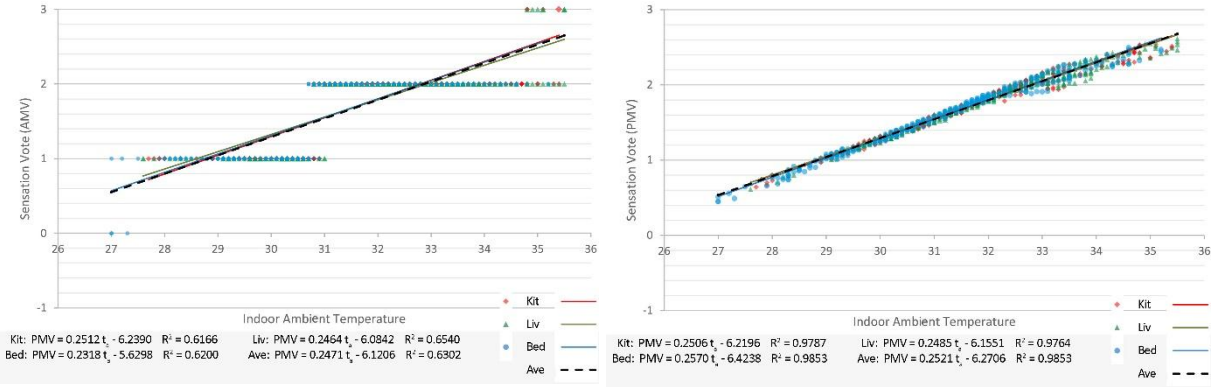
جدول ۳- اطلاعات ساختاری از نمونه‌های موردی

Table 3- Structural information of case studies

اطلاعات آپارتمان	مساحت مفید	کمتر از ۵۰ (m^2)		۵۱ تا ۱۰۰ (m^2)		۱۰۱ تا ۱۵۰ (m^2)		۱۵۱ تا ۲۰۰ (m^2)		بیشتر از ۲۰۰ (m^2)	
		۰/۰٪		۶۳/۴٪		۲۹/۲٪		۶/۶٪		۰/۸٪	
	تعداد اتاق خواب	یک		دو		سه		چهار		پنج و بیشتر	
		۱/۱٪		۶۵/۸٪		۳۰/۴٪		۲/۶٪		۰/۰٪	
	مکان واحد در طبقات	روی پارکینگ		روی واحد تجاری		روی فضای مشاع		طبقات میانی		طبقه‌ی آخر	
		۲۳/۷٪		۰/۰٪		۰/۰٪		۴۸/۲٪		۲۸/۲٪	
اطلاعات فردی	**جنسیت**			زن		۳۷/۴٪		مرد		۶۲/۶٪	
	محدوده‌ی سنی			کمتر از ۱۵		۱۶ تا ۲۵	۲۶ تا ۳۵	۳۶ تا ۴۵	۴۶ تا ۵۵	۵۶ تا ۶۵	بیشتر
				۰/۰٪		۲/۶٪	۳۶/۸٪	۳۲/۱٪	۱۴/۷٪	۱۱/۳٪	۲/۴٪
بررسی محدوده‌ی آسایش	پوشش لباس در ماه‌های گرم سال	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
		۲۶/۶٪	۲۲/۴٪	۱۰/۸٪	۱۶/۶٪	۰/۰٪	۰/۰٪	۰/۰٪	۱۱/۳٪	۲/۱٪	۱۰/۳٪
	ارزیابی حرارتی از فضاهای داخلی در ماه‌های گرم			**احساس گرمایی**	**+۳**	**+۲**	**+۱**	**۰**	**-۱**	**-۲**	**-۳**
				آشپزخانه	۱/۰٪	۶۶/۱٪	۲۹/۳٪	۳/۶٪	۰/۰٪	۰/۰٪	۰/۰٪
				نشیمن	۲/۱٪	۷۴/۲٪	۲۲/۷٪	۱/۰٪	۰/۰٪	۰/۰٪	۰/۰٪
				اتاق خواب	۰/۸٪	۵۷/۳٪	۳۶/۷٪	۵/۲٪	۰/۰٪	۰/۰٪	۰/۰٪

با توجه به نمودار اطلاعات آب‌وهوایی (شکل ۱) و تقویم نیاز اقلیمی شیراز (شکل ۲)، بالاترین دما در بین ساعات ۱۲ تا ۱۷ در تیر و مردادماه اتفاق می‌افتد، لذا از تاریخ ۲۸ تیرماه لغایت ۵ مردادماه در سه گروه مجزا اقدام به اندازه‌گیری دمای هوا، رطوبت نسبی، فشار هوا، سرعت باد و دمای کروی در فضای خارج و فضاهای داخلی مشترک هر واحد مسکونی (آشپزخانه، اتاق نشیمن و اتاق خواب) با استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری محیطی Lutron LM-8000A و Extech HT30 شد. بر اساس مطالعات فنگر و روش پیشنهادی او که مبنای محاسبه‌ی پیش‌بینی متوسط نظرات در استانداردهای بین‌المللی و کشورهای مختلف از جمله ایران نیز قرار گرفته است، برای هر سه بخش اصلی و مشترک آپارتمان (آشپزخانه، اتاق نشیمن

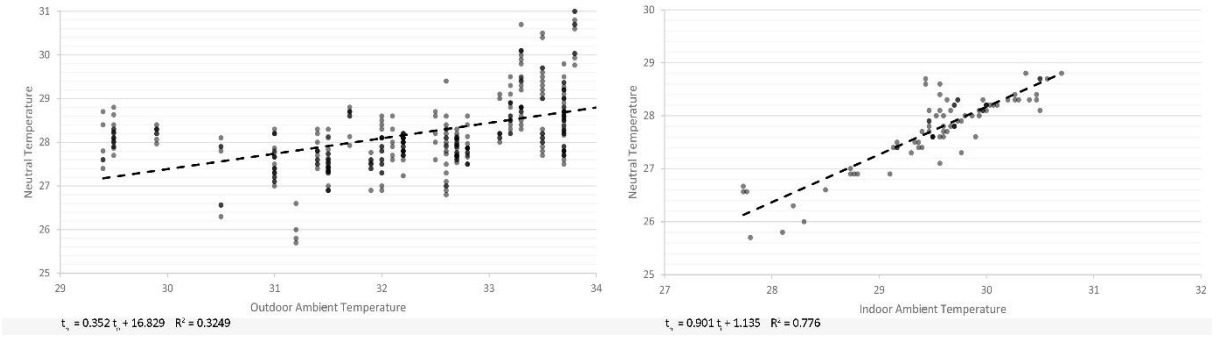
و اتاق خواب) بر طبق روابط ۱ تا ۴، میزان پیش‌بینی متوسط نظرات در هرکدام از نمونه‌های پژوهش محاسبه شد. هم‌چنین روابط بین دمای هوای فضاهای داخل و میزان پیش‌بینی متوسط نظرات و هم‌چنین براساس اطلاعات مستخرج از پرسش‌نامه و اندازه‌گیری‌های انجام شده، روابط بین دمای هوای فضاهای داخلی و متوسط نظرات واقعی به‌صورت شکل ۳ مشخص شد.



شکل ۳- نمودار رابطه‌ی بین دمای هوای فضاهای داخل و پیش‌بینی متوسط نظرات / متوسط نظرات واقعی

Shape 3- Relationship between air temperature of the interior spaces and predicted mean vote / actual mean vote

برای به‌دست آوردن دمای خنثی، ابتدا داده‌ها بر اساس متوسط نظرات واقعی که از افراد در پرسش‌نامه‌ها اخذ گردیده بود مرتب و سپس محدوده‌های کمی گرم، خنثی و کمی خنک مجزا و بر اساس نظریه‌ی آسایش حرارتی تطبیقی (سازگاری[1]) و رابطه‌ی ۶، میزان دمای خنثی با در نظر گرفتن ضریب رگرسیون پیشنهادی گریفیتس، برای هر کدام از نمونه‌های تحقیق که در محدوده‌ی کمی گرم، خنثی و کمی خنک قرار داشتند، محاسبه شد. روابط بین متغیرهای مستقل و وابسته به صورت رابطه‌ای خطی مورد بررسی قرار گرفت به‌طوری‌که رابطه‌ی بین دمای هوای فضاهای داخلی و دمای خنثی و هم‌چنین رابطه‌ی بین دمای هوای بیرون و دمای خنثی برای هر واحد به صورت شکل ۴ ارایه شده است.



شکل ۴- نمودار رابطه‌ی بین دمای هوای داخل / خارج و دمای خنثی

Shape 4- Relationship between indoor / outdoor ambient temperature and neutral temperature

1- Adaptation

نتیجه

در پژوهش حاضر، از تحلیل و بررسی نمونه‌های مطالعاتی، چنین حاصل شد که بیشترین مساحت نمونه‌ها بین ۵۱ تا ۱۰۰ متر مربع و به‌صورت واحدهای دو خوابه بوده است. هم‌چنین بیشترین محدوده‌ی سنی پاسخ‌دهندگان به پرسش‌نامه‌ها بین ۲۶ تا ۴۵ سال قرار داشته است. اغلب افراد در کلیه فضاهای مورد مطالعه احساس گرم بودن در مقیاس اشری را داشته‌اند. کمتر از نیمی از افراد مورد مطالعه، نرخ نسبی لباس مورد استفاده در فضای داخل واحد مسکونی کم‌تر از یا مساوی ۰/۱۵ کلو داشته است که دلالت بر کم کردن پوشش به منظور وفق دادن بدن با محیط بوده است. بر اساس یافته‌های تحقیق از نمونه‌های مورد مطالعه، ارتباط بین دمای هوای فضاهای داخلی و میزان پیش‌بینی متوسط نظرات و متوسط نظرات واقعی به صورت روابط خطی زیر است:

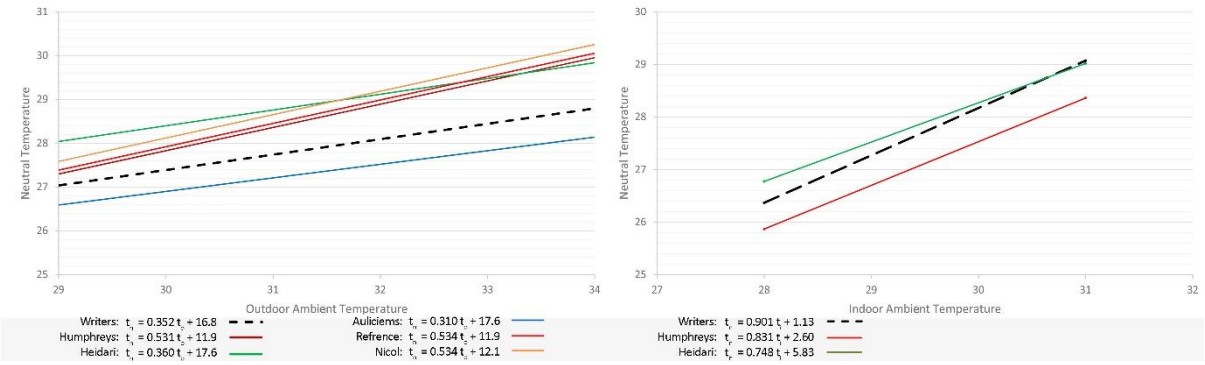
$$PMV = 0.2521\ t_i - 6.2706 \qquad R^2 = 0.9853 \qquad (۷)$$

$$AMV = 0.2417\ t_i - 6.1206 \qquad R^2 = 0.6302 \qquad (۸)$$

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد بین دمای هوای فضاهای داخلی و میزان پیش‌بینی متوسط نظرات و هم‌چنین متوسط نظرات واقعی ضریب همبستگی افزایشی و مثبت وجود دارد. هرچه دما بالاتر رود، احساس حرارتی نیز به همان اندازه بالا خواهد رفت. همبستگی مثبت اگرچه خیلی غیرقابل پیش‌بینی به نظر نمی‌رسد ولی نشان از موفقیت کار میدانی و درست بودن موضوع است. با این‌که روابط به‌دست آمده مشابه یکدیگرند که نشان از نزدیک بودن پیش‌بینی متوسط نظرات و متوسط نظرات واقعی دارد، با این حال میزان توان دوم همبستگی در آن‌ها با اختلاف چشمگیری همراه است که دلیل آن را می‌توان در ترتیبی بودن متوسط نظرات واقعی دانست. پس از محاسبه‌ی دمای خنثی در ماه‌های گرم سال در نمونه‌های مورد مطالعه، رابطه‌ی خطی بین آن و میانگین دمای هوای فضاهای داخل (t_i) و دمای هوای خارج (t_o) به شرح ذیل مشخص گردید:

$$t_n = 0.9012\ t_i + 1.1347 \qquad (۹)$$

$$t_n = 0.352\ t_o + 16.829 \qquad (۱۰)$$



شکل ۵- نمودار مقایسه‌ی رابطه‌ی بین دمای هوای داخل / خارج و دمای خنثی

Shape 5- Comparison of relationship between indoor / outdoor ambient temperature and neutral temperature

با مقایسه‌ی رابطه‌ی بین دمای هوای فضاهای داخل و دمای خنثی پژوهش حاضر در ماه‌های گرم با روابط به‌دست آمده توسط حیدری و هیمفریز بین هر دو رابطه قرار می‌گیرد و اختلاف آن می‌تواند ناشی از تفاوت‌های ساختاری، اقلیمی، فیزیولوژیکی و فرهنگی باشد. با مقایسه‌ی رابطه‌ی بین دمای هوای بیرون و دمای خنثی پژوهش حاضر با روابط به‌دست آمده توسط دیگران در ماه‌های گرم مشخص گردید. اطلاعات شکل ۵ نشان از مشابهت و اختلاف جزیی با دیگر مطالعات جهانی داشته و نشان از اثبات فرضیه‌ی تحقیق را دارد. با این‌که شیب رابطه‌ی این پژوهش با روابط به‌دست آمده توسط حیدری و اولیسیمز[1] نزدیک و بین این دو قرار گرفته است. با توجه به اختلاف اندک بین این روابط به‌خصوص رابطه‌ی هیمفریز حکایت از دامنه‌ی نفوذ نظریه‌ی سازگاری در سطح جهان دارد. با توجه به این‌که عوامل تعیین کننده‌ی شرایط آسایش حرارتی موارد دیگری نیز هستند و با عنایت به نظریه‌ی سازگاری، که عوامل اختصاصی (مثل سن، جنس، وزن، نوع لباس و رفتار)، عوامل زمینه‌ای (مثل طراحی بنا، عملکرد بنا، فصل، اقلیم، معناشناسی، شرایط اجتماعی) و عوامل ادراکی (مثل انتظارات و ترجیح حرارتی) بر آسایش حرارتی موثر می‌داند و تغییر در آن-ها به ترتیب موجب واکنش‌های رفتاری، فیزیولوژیکی و روان-تنی می‌شوند، نیاز به پژوهش در آن در هر منطقه احساس می-گردد.

منابع:

1. Marefat, M., Omidvar, A, 2008, Thermal comfort (an approach to optimizing energy consumption in buildings), Kelid Amouzesh Publishing, Tehran, Iran. (persian)
2. Taban, M., Pourjafar, M.R., Bemanian, M.R., Heydari, Sh., 2013, Determination of optimal pattern of central courtyard in Dezful column housing by relying on shadow analysis of different levels of yard, Bagh-e-Nazar Journal, Volume 10. No. 27. Tehran, pp 48-39. (persian)
3. Fishman, D., Pimbert, S., 1979, Survey of Subjective Responses to the Thermal Environment in Offices Indoor Climate, Danish Building Research Institute Copenhagen, Denmark.
4. Razjouyan, M, 2009, Comfort in a climate-friendly architecture, Tehran. Shahid Beheshti University Press, 2nd. Edition. (persian)
5. Safaeepour, M., Shabankari, M., Taqavi, S.T., 2013, Bioclimatic Indices Affecting Human Evaluation (Case Study: Shiraz City), Journal of Geography and Environmental Planning, Volume 50, Number 2, Tehran,. pp 193-210. (persian)
6. Sadeqi, M.H., Tabatabaee, S.M., 2009, Comfort conditions in dry weather conditions (Case Study: Yazd), the identity of the city, Volume 3, Number 4, Tehran, pp 39-46. (persian)
7. Heydari, Sh., 2014, Thermal Adaptation in Architecture - The First Step in Energy Saving, University of Tehran Press, Tehran, Iran. (persian)
8. Marefat, M., Omidvar, A, 2013, Thermal comfort: applied calculations and standard design considerations, Yazda Publishing, Tehran, Iran. (persian)
9. De freitas, C.R., 2002, Theory, concepts and Methods in Tourism climate Research. School of Geography and Environmental science, The University of Auckland, New Zealand.
10. Pourdeihimi, Sh., 2011, Climatic Language in Sustainable Environment Design, Volume 2, Shahid Beheshti

1-Auliciems

University Press, Tehran, Iran. (persian)

11. National Standard Organization of Iran, 2011, Determination of PMV and PPD Thermal Comfort Indicators and Local Comfort Criteria, National Iranian Standard Organization Publications, Tehran, Iran. (persian)
12. ISO 7730, 2005, Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, third edition, Switzerland.
13. Nicol, F., Humphreys, M., 2010, Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251, Building and Environment, January, USA, pp 11-17.
14. Rijal, Hom B; Humphreys, Michael; Nicol, Fergus, Study on adaptive model Part 3 Development of the adaptive model for thermal comfort in Japanese houses, Architectural Institute of Japan Summary Academic Lecture Collection Summary (Kinki), 9 September 2014, Japan. pp 403-406.
15. Humphreys, M., Nicol, F., Raja, I., 2007, Field Studies of Indoor Thermal Comfort and the Progress of the Adaptive Approach, Advances in Building Energy Research, January, USA. pp 55-88
16. Ayali, H., Movahed, Kh., 2016, Determination of Optimal Orientation of Central Yard of Shiraz in Qajar Periods Based on Solar Radiation Reception, Journal of Geography and Development, Volume 14, Number 42, Zahedan, Iran, pp 161-182. (persian)