

اللهم اغفر للمسلمين
والمسلمات وجميع المسلمين
الذين ماتوا من غير
إيمان



دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی

پایان نامه کارشناسی ارشد معماری

بررسی و ارزیابی وضعیت آسایش حرارتی در ساختمان‌های اداری (نمونه موردی: ساختمان مرکز کامپیوتر دانشگاه صنعتی شاهرود)

نگارنده: شبنم میثمی پور

اساتید راهنما

دکتر مسعود طاهری شهرآئینی

دکتر یونگ چائو ژای

استاد مشاور

دکتر داوود شاهسونی

تیر ۹۸

شماره: ۷۷۷ / ۳
تاریخ: ۹۸,۶,۴

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم شبنم میثمی پور با شماره دانشجویی ۹۵۱۴۷۴۴ رشته مهندسی معماری گرایش معماری تحت عنوان بررسی و ارزیابی وضعیت آسایش حرارتی در ساختمان‌های اداری (نمونه موردی: ساختمان مرکز کامپیوتر دانشگاه صنعتی شاهرود) که در تاریخ ۱۳۹۸/۰۴/۲۵ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

<input type="checkbox"/> قبول (با درجه: عالی.....) <input type="checkbox"/> مردود			
<input type="checkbox"/> نظری <input type="checkbox"/> عملی			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر مسعود طاهری شهرآئینی	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر یونگچاو زای	دانشیار	-
۳- استاد مشاور	دکتر داوود شاهسونی	دانشیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	مهندس متین باستان فرد	مربی	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر الهام سرکرده‌ای	استادیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر دانیال منصفی پراپری	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر وحیدرضا کلات جاری

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تصوه: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می‌تواند برای خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).



تقدیم اثر

آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانیشان آرامبخش آلام زمینی‌ام است،
پدر و مادر عزیزم که تجربه حس زیبای دانستن، عطش خواستن و رسیدن به اهدافم،
مدیون وجود سبز آنهاست.

تشکر و قدردانی

اول از همه میخوایم از "او" تشکر کنیم، خدای خوبم که همه لحظه های زندگی ام، سخت و آسان، تلخ و شیرین، گرمای حضور پر مهرش را حس کرده ام و به کمک توکل به عظمتش، از سخت ترین لحظه ها به سلامت گذاشته ام.

فرصت را غنیمت می‌شمارم تا از این طریق از زحمات اساتید راهنمای بزرگوارم جناب آقایان دکتر مسعود طاهری شهرآئینی و دکتر یونگچا و ژای که در طی این سال ها افتخار یادگیری از ایشان و استفاده از تجربه های کران بهایشان را داشته ام و در ادامه جناب آقای دکتر داوود شاهسونی به عنوان استاد مشاور که با دلسوزی تمام مراد این مسیر همراهی نمودند، تشکر کنم.

تعمیرنامه

اینجانب شبلم میثمی پور دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته معماری دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه بررسی و ارزیابی وضعیت آسایش حرارتی در ساختمان‌های اداری (نمونه موردی: ساختمان مرکز کامپیوتر دانشگاه صنعتی شاهرود) تحت راهنمایی جناب آقایان دکتر مسعود طاهری شهرآئینی و یونگ چائو ژای متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

امروزه به دلیل تعریف نشدن بازه‌ی حرارتی مناسب برای فضاهاى مختلف در ایران شاهد سطوح مختلفی از نارضایتی در کاربران آن‌ها هستیم. افرادی که به دلیل نبودن در شرایط محیطی مطلوب، قادر به انجام فعالیت مناسب آن فضا نمی‌باشند، که این امر باعث کاهش بهره‌وری، عملکرد بهینه و در نتیجه کاهش کیفیت زندگی افراد می‌شود. این تحقیق باهدف ارزیابی و بررسی آسایش حرارتی کاربران ساختمان مرکز کامپیوتر دانشگاه صنعتی شاهرود، در پی یافتن دمای خنثی، محدوده آسایش، میزان رضایتمندی، ترجیحات و احساسات حرارتی افراد می‌باشد. از این رو با جمع‌آوری اطلاعات محیطی شامل: دمای هوا، دمای تابشی، رطوبت نسبی و سرعت هوا توسط تجهیزات موجود و همچنین ارائه پرسشنامه به کاربران به‌صورت هم‌زمان، به ارزیابی داده‌ها توسط فرآیندهای آماری متعدد، پرداخته شد. نتایج حاصله در ماه‌های خرداد و تیر تحت عنوان "فصول گرم" و ماه‌های مهر، بهمن تحت عنوان "فصول سرد" ارائه گردید. بر این اساس دمای خنثی برای سایت آقایان و خانم‌ها در فصول گرم به ترتیب، ۲۴/۳۹ و ۲۵/۲۸ درجه سانتی‌گراد بوده و دمای ترجیحی نیز به ترتیب ۲۴/۷۵ و ۲۶/۰۵ درجه سانتی‌گراد حاصل گردید. محدوده آسایش نیز بر طبق جداول سایکرومتریک برای کاربران آقا و خانم به ترتیب ۲۲ تا ۳۰ و ۱۵ تا ۲۳ پیشنهاد شده است. در فصول سرد نیز دمای خنثی برای سایت آقایان و خانم‌ها به ترتیب، ۲۴/۸۹ و ۲۳/۱۳ درجه سانتی‌گراد و دمای ترجیحی نیز به ترتیب ۲۳/۹۴ و ۲۲/۷۹ درجه سانتی‌گراد حاصل گردید. محدوده آسایش نیز بر طبق جداول سایکرومتریک برای کاربران آقا و خانم به ترتیب ۲۲ تا ۳۱ و ۱۷ تا ۲۶ پیش‌بینی شده است. بررسی همبستگی‌ها و روابط بین متغیرهای آسایش حرارتی نیز بیانگر این موضوع بود که عواملی همچون: دمای عملکردی، رطوبت نسبی، سرعت هوا و میزان عایق لباسی، بر تأمین شرایط آسایش مؤثر بوده و تفاوت‌های معنادار بین دو جنس ملاحظه گردید.

کلمات کلیدی : فضای اداری، آسایش حرارتی، دمای خنثی، دمای ترجیحی، محدوده آسایش، نمودار سایکرومتریک.

پیش‌گفتار

پژوهش حاضر، درباب بررسی و ارزیابی وضعیت آسایش حرارتی کاربران ساختمان مرکز کامپیوتر دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. به طوری که در قالب چهار بخش مختلف از قبیل: مطالعات کتابخانه‌ای، مبانی نظری، روش‌های ارزیابی و تحلیل آماری نتایج حاصل از برداشت، قصد در بررسی میزان همبستگی بین متغیرهای ذهنی و محیطی و همچنین تعیین دمای خنثی، ترجیحی و محدوده آسایش مناسب برای کاربران خانم و آقا در فصول سرد و گرم دارد.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- بررسی وضعیت آسایش حرارتی کاربران ساختمان مرکز کامپیوتر دانشگاه صنعتی
شاهرود

فهرست مطالب

ع	فهرست جداول
ص	فهرست اشکال
۱	فصل ۱: کلیات
۲	۱-۱ مقدمه
۳	۱-۲ تعریف مسئله
۳	۱-۲-۱ تعریف آسایش حرارتی
۷	۱-۳ ضرورت و اهمیت
۷	۱-۴ اهداف پژوهش
۹	فصل ۲: پیشینه تحقیق
۱۰	۲-۱ مقدمه
۱۰	۲-۲ تعاریف آسایش حرارتی
۱۲	۲-۳ پارامترهای آسایش حرارتی
۱۳	۲-۴ انواع پژوهش‌های آسایش حرارتی
۱۳	۲-۴-۱ پژوهش‌های مبتنی بر محفظه اقلیمی

۱۳	..... پژوهش‌های میدانی ۲-۴-۲
۱۴	..... مدل‌های آسایش حرارتی ۲-۵
۱۴	..... مدل تعادل حرارتی (منطقی) ۲-۵-۱
۲۲	..... مدل سازگاری ۲-۵-۲
۲۷	..... استانداردهای بین‌المللی آسایش حرارتی ۲-۶
۲۷	..... ایزو ۷۷۳۰ ۲-۶-۱
۲۸	..... اشاره ۵۵ ۲-۶-۲
۲۹	..... پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه آسایش حرارتی ۲-۷
۲۹	..... پژوهش‌های خارجی ۲-۷-۱
۳۱	..... پژوهش‌های داخلی ۲-۷-۲
۳۳	فصل ۳: روش تحقیق
۳۴	..... مقدمه ۳-۱
۳۴	..... روش‌های ارزیابی ۳-۲
۳۵	..... موقعیت جغرافیایی و اقلیمی شاهرود ۳-۳
۳۵	..... اقلیم شهرستان شاهرود ۳-۳-۱
۳۸	..... معرفی سایت ۳-۴
۳۹	..... مشخصات ساختمان ۳-۴-۱

۳-۵ تجهیزات و اندازه‌گیری پارامترهای محیطی ۴۰

۳-۵-۱ موقعیت قرارگیری تجهیزات ۴۱

۳-۵-۲ جمع‌آوری همزمان اطلاعات اقلیمی ۴۱

۳-۶ بررسی پرسشنامه آسایش حرارتی ۴۲

۳-۷ پردازش داده‌ها و روش‌های آنالیز آماری ۴۳

فصل ۴: تجزیه و تحلیل یافته‌های پژوهش ۴۷

۴-۱ مقدمه ۴۸

۴-۲ اطلاعات اقلیمی ۴۸

۴-۳ اندازه‌گیری‌های توصیفی ۴۹

۴-۳-۱ جامعه آماری ۵۰

۴-۴ شاخص‌های آسایش حرارتی در فصول گرم ۵۰

۴-۵ بررسی‌های ذهنی محیط حرارتی داخلی در فصول گرم ۵۳

۴-۵-۱ احساس و ترجیح حرارتی ۵۳

۴-۵-۲ مقبولیت حرارتی ۵۵

۴-۵-۳ همبستگی بین متغیرهای ذهنی و محیطی ۵۸

۴-۵-۴ دمای خنثی ۶۱

۶۶	..... ۴-۵-۵ دمای ترجیحی
۶۸	..... 4-5-6 پیش‌بینی‌های مدل آسایش PMV-PPD
۷۳	..... 4-5-7 محدوده قابل قبول دمای هوای داخلی براساس استاندارد اشره ۵۵
۷۵	..... ۴-۶ شاخص‌های آسایش حرارتی در فصول سرد
۷۷	..... ۴-۷ بررسی‌های ذهنی محیط حرارتی داخلی سایت‌ها در فصول سرد
۷۷	..... ۴-۷-۱ احساس و ترجیح حرارتی
۷۹	..... ۴-۷-۲ مقبولیت حرارتی
۸۲	..... ۴-۷-۳ همبستگی بین متغیرهای ذهنی و محیطی
۸۶	..... ۴-۷-۴ دمای خنثی
۹۰	..... ۴-۷-۵ دمای ترجیحی
۹۲	..... ۴-۷-۶ پیش‌بینی‌های مدل آسایش PMV-PPD
۹۶	..... ۴-۷-۷ محدوده قابل قبول دمای هوای داخلی براساس استاندارد اشره ۵۵
۹۸	..... ۴-۸ تنظیمات رفتاری کاربران در سایت
۹۹	..... ۴-۹ آزمون خی‌دو یا کای اسکوئر
۱۰۱	..... ۴-۱۰ آزمون تی

فصل ۵: نتیجه گیری

۱۰۳

۱-۵ مقدمه ۱۰۴

۲-۵ تعیین آسایش حرارتی در ساختمان ۱۰۴

۱-۲-۵ سایت آقایان ۱۰۴

۲-۲-۵ سایت خانمها ۱۰۵

۳-۵ مقایسه جامعه آماری آقایان و خانمها ۱۰۷

۴-۵ پیشنهاداتی در راستای بهبود شرایط آسایش ۱۰۷

۵-۵ پیشنهاداتی جهت پژوهش‌های آینده ۱۰۸

۱۱۰

پیوست

۱۱۱

مراجع

فهرست جداول

- جدول ۱-۲. مقیاس هفت سطحی ASHRAE، [۳۸] ۱۶
- جدول ۲-۲. مقادیر طراحی شده برای دمای عملکردی افراد در حالت نشسته، [۲۱] ۲۸
- جدول ۳-۲. محیط حرارتی قابل قبول برای راحتی عمومی براساس استاندارد اشره ۵۵، [۴] ۲۸
- جدول ۱-۳. اطلاعات برداشت، ماخذ: نگارنده. ۳۴
- جدول ۲-۳. ابعاد فضاهای مورد مطالعه، ماخذ: نگارنده. ۳۹
- جدول ۳-۳. مشخصات و میزان دقت تجهیزات، ماخذ: نگارنده. ۴۱
- جدول ۴-۳. مشخصات و میزان دقت ایستگاه هواشناسی هوو-RX-۳۰۰۰، ماخذ: نگارنده. ۴۲
- جدول ۵-۳. پرسشنامه، ماخذ: نگارنده. ۴۲
- جدول ۱-۴. تعداد جامعه آماری و جنسیت، ماخذ: نگارنده. ۵۰
- جدول ۲-۴. خلاصه‌ای از وضعیت آب و هوای داخل و خارج و پارامترهای فردی کاربران در فصول گرم، ۵۰
- جدول ۳-۴. درصد و مقادیر احساس حرارتی با ترجیح حرارتی، ماخذ: نگارنده. ۵۵
- جدول ۴-۴. درصد و مقادیر آرای ترجیح حرارتی با مقبولیت حرارتی، ماخذ: نگارنده. ۵۶
- جدول ۵-۴. جدول متقاطع مقبولیت حرارتی و آرای احساس حرارتی در فصول گرم، ماخذ: نگارنده. ۵۷
- جدول ۶-۴. همبستگی متغیرهای ذهنی و محیطی، ماخذ: نگارنده. ۶۰
- جدول ۷-۴. دمای خنثی براساس روش گریفیث در فصول گرم، ماخذ: نگارنده. ۶۶
- جدول ۸-۴. خلاصه‌ای از رگرسیون خطی احساس حرارتی با دمای عملکردی در محدوده قابل قبول کاربران در فصول گرم، ماخذ: نگارنده. ۷۳

- جدول ۴-۹. خلاصه‌ای از وضعیت آب و هوای داخل و خارج و پارامترهای فردی کاربران در فصول سرد، ماخذ: نگارنده. ۷۵
- جدول ۴-۱۰. درصد و مقادیر احساس حرارتی با ترجیح حرارتی، ماخذ: نگارنده. ۷۹
- جدول ۴-۱۱. درصد و مقادیر آرای ترجیح حرارتی با مقبولیت حرارتی، ماخذ: نگارنده. ۸۰
- جدول ۴-۱۲. جدول متقاطع مقبولیت حرارتی و آرای احساس حرارتی در فصول سرد، ماخذ: نگارنده. ۸۱
- جدول ۴-۱۳. همبستگی متغیرهای ذهنی و محیطی، ماخذ: نگارنده. ۸۵
- جدول ۴-۱۴. دمای خنثی براساس روش گریفیث در فصول سرد، ماخذ: نگارنده. ۹۰
- جدول ۴-۱۵. خلاصه‌ای از رگرسیون خطی احساس حرارتی با دمای عملکردی در محدوده قابل قبول کاربران در فصول سرد، ماخذ: نگارنده. ۹۶
- جدول ۴-۱۶. مقایسه متغیرهای احساس، ترجیح و مقبولیت حرارتی با جنسیت کاربران، ماخذ: نگارنده. ۱۰۰
- جدول ۴-۱۷. مقایسه متغیرهای احساس، ترجیح و مقبولیت حرارتی با رضایت کاربران، ماخذ: نگارنده. ۱۰۱

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲. رابطه میان PMV و PPD، [۳۷]..... ۱۸
- شکل ۲-۲. مقایسه پیش‌بینی شرایط آسایش بین مدل سازگاری و PMV - الف: ساختمان‌های تهویه طبیعی، ب: ساختمان‌های تهویه مطبوع-مأخذ [۳۰]..... ۱۹
- شکل ۳-۲. مدل سازگاری مأخذ: [۵۴]..... ۲۳
- شکل ۱-۳. به ترتیب از چپ به راست: موقعیت استان سمنان، شهرستان شاهرود و دانشگاه صنعتی شاهرود، مأخذ: نگارنده. ۳۵
- شکل ۲-۳. حداکثر میانگین دمای روزانه (خط قرمز) و حداقل میانگین دمای روزانه (خط آبی)، [۸۵]..... ۳۶
- شکل ۳-۳. میانگین ساعتی دمای شاهرود، [۸۵]..... ۳۶
- شکل ۴-۳. سطوح آسایش رطوبتی، [۸۵]..... ۳۷
- شکل ۵-۳. میانگین سرعت باد (رنگ خاکستری تیره: میانگین ساعتی)، [۸۵]..... ۳۸
- شکل ۶-۳. جهت وزش باد، [۸۵]..... ۳۸
- شکل ۷-۳. موقعیت ساختمان مرکز کامپیوتر نسبت به دانشگاه، مأخذ: نگارنده. ۳۸
- شکل ۸-۳. تصاویری از ساختمان مرکز کامپیوتر، مأخذ: نگارنده. ۳۹
- شکل ۹-۳. پلان سایت آقایان (سمت چپ) و سایت خانم‌ها (سمت راست)، مأخذ: نگارنده..... ۴۰
- شکل ۱۰-۳. محیط تحقیق (بالا: سایت آقایان، پایین: سایت خانم‌ها)، مأخذ: نگارنده. ۴۰
- شکل ۱۱-۳. تاسیسات گرمایشی و سرمایشی ساختمان مرکز کامپیوتر، مأخذ: نگارنده. ۴۰
- شکل ۱۲-۳. نحوه قرارگیری تجهیزات در هر سایت، مأخذ: نگارنده. ۴۱
- شکل ۱۳-۳. نمایی از ایستگاه هواشناسی هوبو-RX-۳۰۰۰، مأخذ: نگارنده. ۴۲

- شکل ۳-۱۴. دیاگرام روش تحلیل پژوهش، ماخذ: نگارنده. ۴۵.....
- شکل ۴-۱. نمودار اطلاعات اقلیمی ایستگاه هواشناسی دانشکده معماری و شهرسازی، ماخذ:
- نگارنده. ۴۹.....
- شکل ۴-۲. نمودار اطلاعات اقلیمی ایستگاه هواشناسی شهرستان شاهرود، ماخذ: نگارنده. ۴۹.....
- شکل ۴-۳. الف) آرای احساس حرارتی، ب) آرای ترجیح حرارتی کاربران در فصول گرم، ماخذ:
- نگارنده. ۵۴.....
- شکل ۴-۴. درصد پاسخ‌های مستقیم میزان رضایت کاربران در فصول گرم، ماخذ: نگارنده. ۵۶.....
- شکل ۴-۵. نمودار رابطه احساس حرارتی با دمای عملکردی در فصول گرم- الف: آقایان، ب: خانمها،
- ماخذ: نگارنده. ۶۳.....
- شکل ۴-۶. پیش‌بینی آرای احساس حرارتی نسبت به دمای عملکردی در فصول گرم- الف: آقایان،
- ب: خانمها، ماخذ: نگارنده. ۶۵.....
- شکل ۴-۷. مدل رگرسیون پروبیت براساس درصد آرای ترجیح حرارتی نسبت به دمای عملکردی در
- فصول گرم- الف: آقایان، ب: خانمها، ماخذ: نگارنده. ۶۸.....
- شکل ۴-۸. مقایسه بین آرای احساس حرارتی واقعی و پیش‌بینی شده نسبت به دمای عملکردی در
- فصول گرم- الف: آقایان، ب: خانمها، ماخذ: نگارنده. ۷۰.....
- شکل ۴-۹. الف: درصد ناراضایتی پیش‌بینی شده براساس مدل PPD، ب: نمودار جعبه‌ای میزان آرای
- رضایت برحسب دما در فصول گرم - سایت آقایان، ماخذ: نگارنده. ۷۲.....
- شکل ۴-۱۰. الف: درصد ناراضایتی پیش‌بینی شده براساس مدل PPD، ب: نمودار جعبه‌ای میزان آرای
- رضایت برحسب دما در فصول گرم- سایت خانمها، ماخذ: نگارنده. ۷۲.....
- شکل ۴-۱۱. نمودار سایکرومتریک تعیین محدوده آسایش در فصول گرم، ماخذ: نگارنده. ۷۴.....
- شکل ۴-۱۲. الف) آرای احساس حرارتی، ب) آرای ترجیح حرارتی کاربران در فصول سرد، ماخذ:
- نگارنده. ۷۸.....

- شکل ۴-۱۳. درصد پاسخ‌های مستقیم میزان رضایت کاربران در فصول سرد، ماخذ: نگارنده. ۸۰
- شکل ۴-۱۴. نمودار رابطه احساس حرارتی با دمای عملکردی در فصول سرد- الف: آقایان، ب: خانم‌ها،
ماخذ: نگارنده. ۸۷
- شکل ۴-۱۵. پیش‌بینی آرای احساس حرارتی نسبت به دمای عملکردی سایت آقایان در فصول سرد،
ماخذ: نگارنده. ۸۹
- شکل ۴-۱۶. پیش‌بینی آرای احساس حرارتی نسبت به دمای عملکردی سایت خانمها در فصول سرد،
ماخذ: نگارنده. ۸۹
- شکل ۴-۱۷. مدل رگرسیون پروبیت براساس درصد آرای ترجیح حرارتی نسبت به دمای عملکردی در
فصول سرد- الف: آقایان، ب: خانم‌ها، ماخذ: نگارنده. ۹۱
- شکل ۴-۱۸. مقایسه بین آرای احساس حرارتی واقعی و پیش‌بینی شده نسبت به دمای عملکردی در
فصول سرد- الف: آقایان، ب: خانم‌ها، ماخذ: نگارنده. ۹۳
- شکل ۴-۱۹. درصد ناراضی‌تی پیش‌بینی شده براساس مدل PPD، ب: نمودار جعبه‌ای میزان آرای
رضایت برحسب دما در فصول سرد - سایت آقایان، ماخذ: نگارنده. ۹۵
- شکل ۴-۲۰. الف: درصد ناراضی‌تی پیش‌بینی شده براساس مدل PPD، ب: نمودار جعبه‌ای میزان آرای
رضایت برحسب دما در فصول سرد- سایت آقایان، ماخذ: نگارنده. ۹۵
- شکل ۴-۲۱. نمودار سایکرومتریک تعیین محدوده آسایش در فصول سرد، ماخذ: نگارنده. ۹۷
- شکل ۴-۲۲. رابطه عایق لباسی و دمای عملکردی؛ الف: سایت آقایان، ب: سایت خانم‌ها، ماخذ:
نگارنده. ۹۹

فصل ۱: کلیات

۱-۱ مقدمه

امروزه با توجه به رشد روزافزون جمعیت، پیامدهای حاصل از آن و همچنین توجه به نقشی که این عوامل بر روی ساختمان‌های مختلف از جمله ساختمان‌های اداری دارند، کیفیت محیط داخلی این‌گونه از فضاها به یکی از دغدغه‌های اساسی طراحان مبدل شده است. در این بین فاکتورهای مختلفی در ایجاد فضایی مناسب به لحاظ کیفیت محیط داخلی مؤثرند که، آسایش حرارتی یکی از مهم‌ترین آنهاست. چراکه علاوه بر توجه به انسان، باعث استفاده بیشتر از روش‌های غیرفعال شده و در ارتقاء کیفیت زندگی و فیزیک حرکت مؤثر می‌باشد و بستر ذهنی را برای بهتر اندیشیدن مهیا می‌نماید. به طوری که اغلب شکایات و نارضایتی‌های ساکنان از محیط داخل به علت عدم تأمین آسایش حرارتی است. مطالعات انجام‌گرفته نشان داده است که نارضایتی حرارتی (از گرما یا سرما) شایع‌ترین نوع شکایت در ساختمان‌های اداری است [۱]. طراحان نیز، استانداردهایی را برای فراهم نمودن آسایش حرارتی در محیط داخلی ساختمان نیاز دارند تا با بهره‌گیری از آن محیطی مناسب را برای کاربران فراهم آورند، که نه تنها از لحاظ حرارتی در شرایط آسایش را تأمین کنند، بلکه باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی، سلامت، بالا رفتن میزان بهره‌وری و نیز بهبود روحیه کارکنان شود [۲].

از آنجایی که افراد در محیط خود حالتی منفعل ندارند، فضاهای معماری باید به گونه‌ای طراحی شوند که در آن امکانات لازم جهت استفاده از راهکارهای شخصی، در زمان‌های مختلف نسبت به محرک‌های حرارتی داخلی و خارجی فراهم گردد و ارتباط وی را با محیط اطرافش حفظ نماید. [۳]

۲-۱ تعریف مسئله

۱-۲-۱ تعریف آسایش حرارتی

آسایش حرارتی دارای تعاریف متعددی است که در اینجا به برخی از آنان می‌پردازیم. یکی از جامع‌ترین و معروف‌ترین آن‌ها، تعریفی است که در استاندارد اشره^۱ آمده است که در آن آسایش حرارتی را ویژگی ذهنی می‌داند که بیان‌کننده میزان رضایت افراد از حرارت محیط است [۴]. عبارت ویژگی ذهنی در این تعریف دلالت بر آمیختگی جنبه روحی و فیزیولوژی در قالب احساسی تحت عنوان آسایش حرارتی دارد. هیچز [۵] این تعریف را ناقص می‌داند زیرا که از نظر وی آنچه ذهنی است، قابل اندازه‌گیری نیست و عوامل زیادی باعث تولید و تغییر آن می‌گردند. بنزیگر [۶] در سال ۱۹۷۹ آسایش حرارتی را حالتی در نظر گرفت که در آن فرد برای تغییر ویژگی حرارتی محیط، هیچ اقدام رفتاری انجام ندهد که هنسن [۷] معتقد است این تعریف عینی‌تر از تعریف اشری است. لیمب [۸] آسایش حرارتی را ویژگی می‌داند که ساکنان آن به لحاظ حرارتی در حالتی خوشایند و مطبوع به سر می‌برند. تعریف لیمب نشان از آن دارد که آسایش حرارتی مقوله‌ای احساسی است. اما چه معیاری برای دلدپذیری حرارتی محیط می‌توان بیان کرد؟ بنابراین گفته مکین تایر [۹] مطبوعیت را، فاقد معیاری جهت ارائه دانسته و معتقد است که با توجه به تفاوت ویژگی‌های روحی و روانی، احساس خوشایندی در افراد مختلف متفاوت است. از طرفی دیگر اولگی [۱۰] با ارائه تعریفی جدید برای آسایش حرارتی، محدوده‌ای را تعریف می‌کند که در آن، محیط مطلوب با کمترین میزان مصرف انرژی میسر شود. تفاوت اساسی این دو دیدگاه در این است که لیمب وجود رفتارهای انسانی و عوامل اختصاصی را معیار قرار می‌دهد، اما اولگی به مصرف انرژی به عنوان معیار نگاه می‌کند و در آخر جیونی [۱۱] معیار آسایش حرارتی را شکایت نکردن از گرما و سرمای محیط می‌داند که در فصل بعد به بسط برخی از این تعاریف می‌پردازیم.

^۱ ASHRAE standard

همان‌طور که اشاره شد، آسایش حرارتی جنبه‌های مختلف علمی چون فیزیولوژی، بیولوژیکی، روان‌شناسی و ... را دربرمی‌گیرد که این خود سبب پیچیدگی بیشتر موضوع و ارائه تعاریف گوناگون برای این مقوله می‌گردد [۱]. از آنجا که دیدگاه‌های مختلفی در این زمینه وجود دارد بهتر است مطالعه آسایش حرارتی را به سه دیدگاه کلی: سایکولوژیکی (روان‌شناختی)، ترموفیزیولوژیکی و دیدگاهی که بر مبنای تعادل حرارتی بدن انسان است، تقسیم‌بندی کنیم.

۱-۲-۱-۱ دیدگاه سایکولوژیکی

این دیدگاه آسایش حرارتی را شرایط ذهنی در نظر می‌گیرد که انسان از حرارت محیط اطراف خود راضی باشد، درست مطابق تعریف اشاره از شرایط آسایش، که در بالا ذکر شد. شرایط ذهنی که تابعی از عوامل متعدد فیزیکی، فیزیولوژیکی، روانی و ... است و به دلیل سلیقه‌ای بودن احساس رضایتمندی حرارتی، تفاوت‌های فردی و محدود نشدن آسایش حرارتی به پارامترهای فیزیکی، بسیار سخت و پیچیده است [۱۲]. به‌طور کلی این دیدگاه، آسایش را فرایندی ادراکی قلمداد می‌کند که به‌وسیله عوامل متعدد تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

۱-۲-۱-۲ دیدگاه ترموفیزیولوژیکی

این تعریف بر اساس تحریک گیرنده‌های گرمایی در پوست و هیپوتالاموس است و در آن آسایش حرارتی یعنی میزان حداقل سیگنال‌های عصبی که از این گیرنده‌ها دریافت می‌شود [۱]. که تأکید آن فقط بر عوامل فیزیولوژیکی است، درحالی‌که محیط حرارتی (عوامل فیزیکی) هم علاوه بر عوامل فیزیولوژیکی بر تحریک این گیرنده‌ها مؤثر می‌باشد.

۱-۲-۱-۳ دیدگاه تعادل حرارتی

بدن انسان گرما تولید می‌کند و آن را با محیط مبادله می‌کند و یا اینکه گرما را با پخش و تبخیر سیالات بدن از دست می‌دهد. سیستم کنترل طبیعی دمای بدن سعی می‌کند که حتی وقتی اختلالی پیش

می‌آید دمای مرکز بدن را در محدوده ۳۷ درجه سانتی‌گراد نگه دارد [۱۳] بر این مبنا، آسایش حرارتی یعنی وقتی دمای سطح پوست و میزان رطوبت آن با محیط پیرامون تعادل داشته و در یک محدوده باشد که این امر فقط به متابولیسم بستگی دارد. همان‌طور که دیده می‌شود دمای پوست نقش مهمی در دو تعریف اخیر دارد [۱۲]. علاوه بر این در اینجا نیز محور توجه عوامل فیزیولوژیکی است در حالی که تعادل بین گرمای تولیدشده توسط بدن انسان و گرمای ازدست‌رفته تحت تأثیر محیط نیز می‌باشد. به‌طور کلی در تعریف نخست ذهن انسان محور توجه است و تأکید بر جنبه‌های روانی می‌باشد. ولی در دو تعریف بعد آسایش حرارتی نتیجه ترکیب و سازگاری پارامترهای محیطی و بدن انسان است.

از طرفی فانگر که اولین مدل آسایش حرارتی تعادل گرمایی را توسعه داده است، بیان می‌دارد که در شرایط آسایش حرارتی، دمای پوست و میزان رطوبت آن در محدوده کوچکی قرار می‌گیرد. از آنجاکه رطوبت و دمای پوست تابعی از میزان فعالیت هستند، لذا می‌توان گفت که آسایش حرارتی از میزان فعالیت، عایق‌های لباسی و پارامترهای محیطی منتج می‌شود [۱۴]

به‌طور کلی آسایش زمانی فراهم می‌گردد که تعادلی منطقی بین انرژی تولیدشده در بدن و گرمای ازدست‌رفته ناشی از تبدلات دمایی با محیط اطراف برقرار شود و تلاش‌های فیزیولوژیکی بدن برای تنظیم و متعادل کردن آن به حداقل برسد [۱۵]. این تعادل به ۴ متغیر فیزیکی دمای هوا، سرعت هوا، دمای متوسط تشعشعی و رطوبت و ۲ متغیر انسانی عایق لباس، کار مکانیکی و میزان فعالیت بستگی دارد. البته کار مکانیکی انجام‌شده در ادارات با فعالیت نشسته و کم قابل چشم‌پوشی است [۱۶]. با توجه به تعاریف بالا می‌توان گفت آسایش حرارتی حالت و شرایط حرارتی بدن انسان را از طریق پارامترهای محیطی (دما، رطوبت، حرکت هوا) پارامترهای فردی (میزان فعالیت و لباس) و نیز جنبه‌های روان‌شناسانه تشریح می‌کند.

لازم به ذکر است که آسایش حرارتی فقط محدود به پارامترهای محیطی، فردی و روان‌شناسانه نیست بلکه فاکتورهای ساختمانی از قبیل: نوع سیستم‌ها و تأسیسات مکانیکی به‌کاررفته در ساختمان، جهت‌گیری و کشیدگی ساختمان، تعداد طبقات، محل قرارگیری فضاها در جبهه‌های مختلف ساختمان،

جهت و ابعاد بازسوها و... و همچنین گزینه‌های کنترل فردی نیز در آن موثر هستند. از طرفی دیگر، مطالعات انجام گرفته به‌عنوان مثال بر روی کارمندان ادارات هلند نشان داد که، درک آسایش حرارتی به دلایل دیگری همچون استرس کارمندان، تعهد آن‌ها به کار و حریم شخصی درک شده توسط کارمندان نیز بستگی دارد [۱] با توجه به پیچیدگی‌های تعریف آسایش حرارتی، مدل‌های مختلفی برای آن ارائه شده است که هم به پارامترهای فیزیکی و روان‌شناختی و هم پارامترهای فیزیولوژیکی وابسته‌اند در ارزیابی آسایش حرارتی دو دیدگاه وجود دارد:

۱. دیدگاه منطقی ۲. دیدگاه سازگارانه.

اشره و ایزو ۷۷۳۰ به‌عنوان استانداردهایی برای تعریف شرایط آسایش در امریکا و کشورهای اروپایی تعریف شده‌اند. این استانداردها با ارائه محدوده‌های خاصی با توجه به متغیرهای فیزیکی و شخصی، آسایش حرارتی را در فضاهای داخلی تعریف می‌نمایند. هرچند این استانداردها در بسیاری کشورها استفاده می‌شود، اما مطالعات انجام گرفته در کشورهای مختلف حاکی از آن است که در مناطق مختلف شرایط آسایش حرارتی با توجه به اقلیم، شرایط اجتماعی و فرهنگی، عادات مردم و... متفاوت است. بدین ترتیب کشورهای بسیاری همچون: استرالیا، چین، ژاپن، کشورهای عربی و... واقع در بخش‌های مختلف جهان با انجام مطالعات گسترده میدانی در پی معرفی شرایط آسایش بهینه و ارائه مدل‌های محلی و انحصاری برای خود می‌باشند.

نبود استانداردهای لازم به‌منظور تعیین محدوده‌های آسایشی در ساختمان‌های ایران به‌خصوص در فضاهای اداری، باعث افزایش میزان مصرف انرژی، نارضایتی حرارتی کارکنان و در کل پایین آمدن میزان بهره‌وری در آنان شده است. تحقیق حاضر بر آن است تا با معرفی استانداردهای بین‌المللی آسایش حرارتی و مدل‌های ارائه شده در آن‌ها به تبیین مدلی بهینه جهت ارزیابی آسایش حرارتی در ساختمان‌های اداری ایران به‌خصوص شاهرود بپردازد.

۳-۱ ضرورت و اهمیت

بحران انرژی، پایان‌پذیری منابع فسیلی و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از آن، کشورهای مختلف را بر این داشت تا با ارائه راهکارهای نوین در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی، خصوصاً در بخش ساختمان، که بخش قابل‌توجهی از انرژی مصرفی در هر کشوریست، گام بردارد. با خوانش پژوهش‌های صورت گرفته در سراسر جهان، مشاهده می‌شود که نوع کیفیت فضاهای داخلی، اغلب باعث بروز برخی از نارضایتی‌ها در ساکنین شده است. وجود این اختلالات بر میزان آسایش و احساس راحتی افراد بسیار مؤثر بوده و پیامدهای مهمی را به دنبال خواهد داشت.

ساختمان‌های اداری موجود در ایران نیز فاقد الگوی حرارتی مناسب، جهت تأمین شرایط آسایش می‌باشند، به طوری که این امر اغلب سبب بروز نارضایتی و عدم کارایی افراد می‌شود. علاوه بر آن، این شرایط نامناسب (گرمایش و سرمایش بیش‌ازحد لازم) خود عامل مصرف بیش‌ازحد از منابع و انرژی فسیلی است. بنابراین با پیش‌بینی و تعیین محدوده آسایش حرارتی مناسب در ساختمان‌های اداری، می‌توان ضمن ایجاد رضایت‌مندی حرارتی افراد، تا حدود زیادی مصرف انرژی را کاهش داد و از هدر رفت آن جلوگیری کرد.

۴-۱ اهداف پژوهش

این تحقیق بر آن است تا با داده‌های میدانی برداشت‌شده از قبیل: دمای هوا، دمای تابشی، رطوبت و جریان هوا، توسط تجهیزات موجود، در فصول گرم (ماه‌های خرداد، و تیر) و فصول سرد (ماه‌های مهر و بهمن) و همچنین ارائه پرسش‌نامه به‌طور هم‌زمان به کاربران، الگویی مناسب برای محدوده آسایش حرارتی در ساختمان‌های اداری شاهرود، به‌طور خاص ساختمان مرکز کامپیوتر واقع در دانشگاه صنعتی شاهرود، بررسی و محاسبه نماید. از اهداف عمده این پژوهش می‌توان به نکات زیر اشاره کرد:

- بررسی وضعیت آسایش حرارتی کاربران خانم و آقا، از طریق ارزیابی آرای احساس، ترجیح و

مقبولیت حرارتی

- تعیین و تخمین دمای خنثی و محدوده آسایش در هر سایت
 - مقایسه دما و بازه آسایشی تعیین شده با مقادیر پیش‌بینی شده در استانداردهای بین‌المللی
- رابطه و میزان همبستگی میان متغیرهای محیطی و ذهنی در هر سایت

فصل ۲: پیشینه تحقیق

۱-۲ مقدمه

هدف این فصل توسعه چارچوب مفهومی و ایجاد مبانی نظری برای تبیین رویکرد آسایش حرارتی در قالب ادبیات موضوعی می‌باشد که در آن، اصول اساسی در تحقیقات آسایش حرارتی بررسی شد و زمینه تجزیه و تحلیل تجربی جهت ارزیابی رابطه بین محیط داخلی و آسایش حرارتی کاربران در فضا، ارائه گردید. برای رسیدن به هدف کلی این فصل در بخش اول، به تعاریف آسایش حرارتی و نظریه‌های آن پرداخته شد و در ادامه رویکردهای موجود، بر اساس مدل‌های "سازگار" و "PMV-PPD"، که به‌طور گسترده‌ای در تحقیقات علمی مورد استفاده قرار می‌گیرند، بررسی شده است. بخش دوم نیز، تعاریف این رویکردها در قالب استانداردهای بین‌المللی بیان می‌کند. در بخش سوم این فصل، مرور کوتاهی از مطالعات میدانی پیشین مربوط به مسئله آسایش حرارتی در محیط‌های مختلف و در نهایت خلاصه‌ای از فصل ارائه شده است.

۲-۲ تعاریف آسایش حرارتی

آسایش حرارتی مربوط به نیاز بدن انسان به حفظ دمای مرکز بدن در حدود ۳۷ درجه سانتی‌گراد است که برای سلامتی و عملکرد مناسب اعضای بدن، به‌ویژه مغز حائز اهمیت می‌باشد [۱۷]. تعامل بین بدن انسان و محیط در حفظ این ثبات، تحت فرایندی پیچیده به نام "تنظیم حرارتی" صورت می‌گیرد که برای آن به اطلاعات مقدماتی مبتنی بر کاربرد تعادل حرارتی، فیزیولوژیکی و روانشناسی نیاز است [۱۷] در این راستا فیزیکی‌دانان، به بررسی چگونگی حرارت همرفتی بدن، فیزیولوژیست‌های حرارتی، به نحوه تولید و کاربرد حرارت بدن و روانشناسان حرارتی، به احساسات آگاهانه در مورد محیط می‌پردازند. مهندسان ساختمان و طراحان نیز با بهره‌مندی از این عوامل مؤثر، جهت نیل به رضایت افراد در مبحث آسایش حرارتی برمی‌آیند.

آسایش حرارتی دربرگیرنده تعدادی از رشته‌های تحقیقاتی از قبیل: فیزیولوژی، پزشکی، جغرافیا و هواشناسی می‌باشد [۱۸]. آسایش حرارتی، هدفی کلیدی در طراحی ساختمان به‌عنوان بخشی از محیط

حرارتی داخلیست که برای ساکنان خود قابل قبول می‌باشد. درک آسایش حرارتی به منظور ایجاد شرایط رضایت‌بخش، ارائه دمای مطلوب، محافظت از سلامتی افراد و ایجاد لذت، کنترل مصرف انرژی جهت پیشنهاد و تنظیم استانداردها برای دمای داخلی حائز اهمیت می‌باشد [۱۷].

آسایش حرارتی را می‌توان حالتی در نظر گرفت که در آن فرد برای تغییر ویژگی حرارتی محیط، هیچ اقدام رفتاری انجام ندهد [۶]. در این راستا، جیونی آسایش را دامنه‌ای از شرایط آب‌وهوایی در ساختمان می‌داند که راحت و قابل قبول است [۱۱]. تعریف جامع‌تر از آسایش حرارتی توسط انجمن صنایع گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع آمریکا (اشره) پیشنهاد شده است که آن آسایش را به‌عنوان شرایط ذهنی می‌داند که بیان‌کننده میزان رضایت افراد از حرارت محیط است [۱۹].

عبارت ویژگی ذهنی در این تعریف دلالت بر آمیختگی جنبه روحی و فیزیولوژی در قالب احساسی تحت عنوان آسایش حرارتی دارد [۲۰]. راحتی درجایی رخ می‌دهد که محدوده دمایی پوست و مرکز بدن بسیار ناچیز، رطوبت پوست و تلاش فیزیولوژیکی برای تنظیم دمای حداقل باشد.

از آنجایی که راحتی به‌عنوان یک حالت ذهنی در نظر گرفته می‌شود، تعریف آن بین افراد، به‌طور عمده به دلیل اثرات مختلف عوامل روان‌شناختی، فیزیولوژیکی و بیولوژیکی، متفاوت است. علاوه بر این، راحتی ممکن است تحت تأثیر تفاوت‌های فرهنگی و دیگر عوامل اجتماعی نیز قرار گیرد. به دلیل همین تفاوت‌های فردیست که بودن در شرایط آسایش برای همه افراد حاضر در محیط به‌طور هم‌زمان، امری غیرممکن تلقی می‌شود [۲۱]. فانگر معتقد است که برای دستیابی به آسایش حرارتی مطلوب، لازم است شرایط حرارتی قابل قبول برای بیشترین درصد ممکن از ساکنان فراهم شود [۲۲]. با توجه به اشره، آسایش حرارتی زمانی حاصل می‌شود که محیط داخلی برای بیش از ۸۰٪ از ساکنین خود در شرایط قابل قبول باشد.

۳-۲ پارامترهای آسایش حرارتی

فراهم کردن شرایط مطلوب بستگی به عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی افراد دارد که تحت تأثیر شش پارامتر اساسی قرار می‌گیرد: چهار متغیر محیطی از قبیل: درجه حرارت هوا، متوسط دمای تابشی، میزان رطوبت و جریان هوا همراه با دو عامل شخصی، سطح فعالیت و پوشش افراد می‌باشد [۱۸، ۲۳، ۲۴]

دمای هوا دمایست که هوای محیط را برحسب درجه سانتی‌گراد ($^{\circ}\text{C}$) بیان می‌کند. این عامل، اصلی‌ترین فاکتور محیطی است که تلفات گرمای همرفتی بدن را تعیین می‌کند [۱۸، ۲۴]. متوسط دمای تابش اثر مهمی بر بدن انسان دارد و به گرفتن و از دست دادن گرما به وسیله تابش با محیط، مرتبط است [۲۴]. سرعت هوا که با ms^{-1} نشان داده می‌شود می‌تواند باعث افزایش تلفات گرمایی توسط جریان همرفتی شده و در نتیجه اثر خنک‌کننده‌ای ایجاد کند [۱۸]. رطوبت نسبی نیز بر میزان تبخیر از سطوح بدن تأثیر می‌گذارد، به گونه‌ای که در دمای عادی (کمتر از 26°C درجه سانتی‌گراد) محدوده متوسط رطوبت بین (۳۰-۷۰٪) تأثیر کمی روی احساس گرمایی یک فرد در حالت نشسته دارد [۲۱]. متابولیسم به میزان انرژی تولیدشده در بدن اشاره دارد [۲۵] که به سطح فعالیت فرد وابسته است و اغلب با وات در هر مترمربع سطح بدن (Wm^{-2}) بیان می‌شود. مقدار مقاومت لباس نسبت به انتقال گرما هم با واحد clo نشان داده شده است (Gagge, Burton, & Bazett, ۱۹۴۱) و از 0.1 clo برای یک بدن برهنه تا تقریباً 0.5 clo برای سنگین‌ترین نوع پوشش (Auliciems & Szokolay, ۱۹۹۷) متغیر می‌باشد. عوامل متعددی از قبیل سلامتی و خو گرفتن، شکل بدن، جنس و سن وجود دارند که می‌توانند بر روی ترجیح حرارتی توسط فیزیولوژی حرارتی و مکانیزم تبادل حرارتی بدن تأثیر بگذارد [۱۸، ۲۴]. دمای هوای خارجی و عوامل روان‌شناختی، مانند تصورات افراد از محیط حرارتی، انتظارات و تجارب گذشته نیز بایستی در تعریف آسایش حرارتی انسان مورد توجه قرار گیرند [۱۷، ۱۸، ۲۶].

۴-۲ انواع پژوهش‌های آسایش حرارتی

دو روش پژوهشی به صورت مجزا جهت تعیین آسایش حرارتی داخلی و ارزیابی تعامل بین بدن انسان و محیط اطراف بر اساس نظرسنجی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند: (۱) پژوهش‌های تجربی در محفظه‌های اقلیمی (۲) پژوهش‌های میدانی انجام‌شده در دنیای واقعی.

۴-۲-۱ پژوهش‌های مبتنی بر محفظه اقلیمی

این پژوهش بر اساس نظریه تعادل حرارتی بدن انسان می‌باشد و در یک محفظه تحت کنترل که امکان تنظیم پارامترهای زیست‌محیطی را فراهم می‌کند، صورت می‌گیرد. متغیرهای شخصی، میزان متابولیسم، و عایق لباس بر اساس کار انجام‌شده توسط افراد تعیین و معمولاً ثابت فرض می‌شوند. این افراد تجربیات حرارتی خود را در قالب "روی" بیان می‌کنند. پژوهش‌های آسایش حرارتی برای سال‌های متمادی در محفظه‌های اقلیمی به دو دلیل صورت گرفته است. اولاً برای تولید شرایط محیطی موردنظر دوماً برای کنترل عوامل ناخواسته که ممکن است نتایج را تحت تأثیر قرار دهد [۲۷].

۴-۲-۲ پژوهش‌های میدانی

پژوهش‌های میدانی به منظور دستیابی به آسایش حرارتی در دنیای واقعی می‌باشد که در آن مردم لباس‌های عادی و کار روزمره خود را بدون هیچ‌گونه تلاش برای کنترل شرایط آب‌وهوایی انجام می‌دهند. این نوع تحقیق بر اساس نظرسنجی درزمینهٔ راحتی انجام می‌شود و اساس رویکرد آسایش سازگار است [۲۸]. مطالعات میدانی آسایش حرارتی نوعی نظرسنجی از جمعیت است که در آن شرایط محیطی نیز به طور هم‌زمان اندازه‌گیری می‌شود [۱۷]. میزان پوشش و متابولیسم نیز در بسیاری از مطالعات میدانی ثبت می‌شوند. علاوه بر عوامل مرتبط با آزمایش، یک مطالعه میدانی ممکن است به طور غیرمستقیم تحت تأثیر عوامل فرهنگی و روان‌شناختی قرار بگیرد [۲۹]. حیدری همچنین بیان می‌کند که هدف اول بررسی‌های مزبور، دستیابی به ترکیبی از متغیرهای محیطی است که بهترین پاسخ‌های

حرارتی ذهنی افراد را توصیف می‌کند. اصل اساسی مطالعات میدانی افراد را وامی‌دارد تا با واکنش دادن و ایجاد تغییر در محیط اطرافشان، احساسات ناخوشایند ناشی از گرما و سرما را کنترل نمایند [۱۷].

۵-۲ مدل‌های آسایش حرارتی

پژوهشگران حوزه آسایش، از دیرباز، سعی در حل چگونگی برهم‌کنش متغیرهایی محیطی (دمای هوا، دمای تابشی، رطوبت، جریان هوا) و متغیرهای فردی (میزان لباس و فعالیت) داشتند، تا بدین‌وسیله نتایج حاصله را در قالب اعداد یا نمودارهایی به مهندسیین مربوطه ارائه داده، فرصت‌ها و محدودیت‌ها را یادآور شوند و آنان را در طراحی فضا و سیستم‌های تهویه‌ای، گرمایشی و سرمایشی، بدون درگیری با مسائل پشتوانه‌ای، یاری دهند.

در میان انواع مختلف رویکردهای توصیفی آسایش حرارتی انسان، دو مدل پایه و قابل‌اطمینان وجود دارد، که به پارامترهای فیزیکی، روان‌شناسی و فیزیولوژیکی وابسته بوده و در اکثر تحقیقات علمی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۳۰، ۳۱]:

۱. مدل تعادل حرارتی یا منطقی^۱
۲. مدل سازگارانه^۲.

۱-۵-۲ مدل تعادل حرارتی (منطقی)

رویکرد "منطقی" برای تعریف آسایش حرارتی بر اساس فیزیک و فیزیولوژی انتقال حرارت برای پیش‌بینی احساس گرما و پاسخ فیزیولوژیکی افراد به محیط حرارتی اطراف ایجاد شد [۲]. بر اساس مدل‌های آسایش حرارتی فیزیولوژیکی، بدن انسان از طریق متابولیسم، حرارت دریافت کرده و با تنفس و تبخیر آن را از دست می‌دهد. درحالی‌که این تبادلات حرارتی، توسط هدایت، انتقال و تابش رخ می‌دهد [۳۲]. بسیاری از مدل‌های ریاضی تنظیم حرارتی بدن، جهت ارزیابی آسایش حرارتی در ساختمان‌ها ایجاد شده است [۳۳، ۳۴].

^۱ Rational approach

^۲ Adaptive approach

بیشتر تحقیقاتی که در زمینه آسایش حرارتی مطرح شده، توسط کار کلاسیک فانگر در سال ۱۹۷۰ می‌باشد [۳۴]. مدل PMV فانگر از اهمیت ویژه‌ای در میان مدل‌های مبتنی بر محاسبه تعادل گرما در بدن انسان، برخوردار است چراکه پایه‌ای برای بسیاری از استانداردهای بین‌المللی برای ارزیابی آسایش حرارتی می‌باشد، به‌عنوان مثال استانداردهای: ASHRAE ۵۵، ISO ۷۷۳۰ و EN ۱۵۲۵۱. مدل (PMV-PPD) فانگر قادر به پیش‌بینی تمامی احساسات گرماییست [۳۵]. به‌موازات کار فانگر، مدل دو گره گاک نیز در آزمایشگاه‌های جان بی پیرس^۱ به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی احساس حرارتی مورد استفاده قرار گرفت [۳۶].

۱-۱-۵-۲ مدل PMV فانگر

مدل PMV توسط Fanger در نیمه دوم دهه ۱۹۶۰ از کار تحقیقاتی و تجربی در محفظه اقلیمی با دانشجویان آمریکایی و دانمارکی انجام گرفت (Fanger, ۱۹۶۷؛ Fanger, ۱۹۷۰). در این تحقیق که بر روی ۱۲۸ نفر در دانشگاه فنی دانمارک صورت گرفت، از افراد خواسته شد که بعد از اندازه‌گیری‌های اولیه قد و وزن، با مقدار پوششی که ضریب آن تا $clo(0.6)$ بود و انجام فعالیت‌هایی چون مطالعه و یا مکالمه آرام در حالت نشسته وارد محفظه‌ای شوند که در آن دمای هوا، رطوبت، دمای تابشی و سرعت هوا کنترل می‌شد و دارای سیستم تهویه مطبوع اختصاصی بود. وی پرسش‌نامه‌هایی را بعد از گذشت نیم ساعت از ورود به محفظه به افراد ارائه کرد و از آنان خواست که احساسشان را از شرایط آب‌وهوایی محیط، در قالب خیلی سرد، سرد، کمی سرد، خنثی، کمی گرم، گرم و خیلی گرم، بیان کنند. بعد از گرفتن برآیند آرای افراد، او می‌توانست به این سؤال، که آیا افراد در آزمایش احساس راحتی می‌کنند، پاسخ دهد. در پژوهش فانگر هدف شناسایی و از بین بردن هرگونه عاملی است که ممکن است در قضاوت مقیاس ارزیابی و یا اثرات آن اختلال ایجاد کند.

^۱ John B. Pierce

بنا به نظریه فانگر، در شرایطی بدن انسان حالتی ثابت به لحاظ آسایشی را تجربه می‌کند که در تعادل حرارتی باشد، به طوری که، میانگین دمای پوست و میزان تعرق در محدوده‌های مشخصی قرار گیرد و هیچ چیز ناراحت‌کننده‌ای در محیط وجود نداشته باشد. مدل فانگر بر پایه تعادل حرارتی و نظریه‌های حرارتی ساخته شده است که فرض می‌کند بدن در تلاش جهت حفظ تعادل حرارتی در حین مواجهه طولانی با شرایط محیطی ثابت (متوسط) و میزان متابولیسم ثابت است [۲۳]. این نشان‌دهنده برابری میان، میزان تولید و اتلاف گرمای بدن با ذخیره گرمائی ناچیز، در این شرایط است. بر طبق این نظریه، بدن سعی در حفظ تعادل، بین گرمای تولیدشده توسط متابولیسم و گرمای ازدست‌رفته از طریق فرایندهای فیزیولوژیکی همچون: تعریق و تنظیم جریان خون در پوست، دارد [۳۷].

۱،۱،۱،۱،۱ شاخص‌های *PMV-PPD*

معادله گسترده *PMV*، شرایط حرارتی را به مقیاس هفتگانه احساس حرارتی اشره مرتبط می‌کند. در این مدل فانگر، شش متغیر اصلی را معرفی می‌کند که بر آسایش حرارتی تأثیر می‌گذارد. شاخص *PMV*، میانگین آرای آسایش حرارتی گروه بزرگی از ساکنان ساختمان را بر اساس مقیاس هفتگانه استاندارد اشره، مطابق جدول ۱-۲ در هر ترکیب از چهار متغیر محیطی و میزان فعالیت و پوشش اشخاص پیش‌بینی و ارزیابی می‌نماید [۲۳].

جدول ۱-۲. مقیاس هفت سطحی *ASHRAE*، [۳۸]

خیلی سرد	سرد	کمی سرد	خنثی	کمی گرم	گرم	خیلی گرم
-۳	-۲	-۱	۰	+۱	+۲	+۳

علاوه بر *PMV*، فانگر شاخصی دیگری را این بار برای ارزیابی شرایط عدم آسایش (یا ناراحتی) نسبت به محیط ارائه می‌کند، که به‌عنوان درصد پیش‌بینی عدم رضایت (*PPD*) بیان می‌شود. در واقع درصد افرادی که به دلیل شرایط حرارتی، احساس عدم آسایش خود را در مقیاس هفتگانه اشره با اعداد +۳ و -۳ و +۲ و -۲ (گرم، خیلی گرم و سرد، خیلی سرد) بیان کرده‌اند. شاخص *PPD* درصد مردم را در شرایط متابولیسم، پوشش و پارامترهای فیزیکی محیط بیان می‌کند، اما بیانگر قضاوت منفی و شکایات است،

حتی زمانی که اکثریت افراد محیط را خنثی ارزیابی می کنند و PMV محیط برابر با صفر باشد [۳۷].
اعتقاد بر این است که ۵ درصد از افراد وجود دارند که این شرایط را نامطلوب می دانند. این درصد عدم رضایت، طبق استاندارد ISO ۷۷۳۰، باید کمتر از ۱۰٪ باشد.

شاخص PMV-PPD را می توان با استفاده از معادلات زیر (۱-۲)، (۲-۲)، (۳-۲)، (۴-۲) و (۵-۲) بر اساس استاندارد ISO ۷۷۳۰ از عملکرد ریاضی زیر از هشت مقدار محاسبه کرد:

$$PMV = [0.303 \cdot \exp(-0.36 \cdot M) + 0.28] \cdot (M - W) - 3/0.5x10^{-7} \cdot [5733 - 6/99 \cdot (M - W) - p_a] - 0.42 \cdot [(M - W) - 58/15] - 1/7x10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0.0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3/96x10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \quad (1-2)$$

که در آن M میزان فعالیت با واحد، وات در هر مترمربع Wm^{-1} ، f_{cl} مساحت سطح لباس، T_a درجه حرارت هوا با واحد $(^{\circ}C)$ ، T_r میانگین دمای تابشی با واحد $(^{\circ}C)$ ، p_a فشار بخار با واحد پاسکال (Pa)، h_c ضریب انتقال حرارت همرفتی با واحد وات در هر مترمربع کلونین $(KW^{-1} \cdot m^{-2})$ ، t_{cl} دمای سطح لباس با واحد $(^{\circ}C)$ می باشد.

دمای سطح لباس T_{cl} ، به صورت معادله (۲-۲) زیر محاسبه می شود:

$$T_{cl} = 35/7 - 0.028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \{3/96x10^{-7} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\} \quad (2-2)$$

که در آن I_{cl} عایق لباس با واحد، مترمربع کلونین در وات $(KW^{-1} \cdot m^{-2})$ می باشد. ضریب انتقال گرمای همرفتی h_{cl} نیز از رابطه زیر (۳-۲) به دست می آید:

$$H_r = 2.0/38/t_{cl} \cdot t_a/25/0 \quad \text{for } 2.0/38/t_{cl} \cdot t_a/25 > 12/1 \cdot \sqrt{var} \quad (3-2)$$

$$12/1 \cdot \sqrt{var} \quad \text{for } 2.0/38/t_{cl} \cdot t_a/25 < 12/1 \cdot \sqrt{var}$$

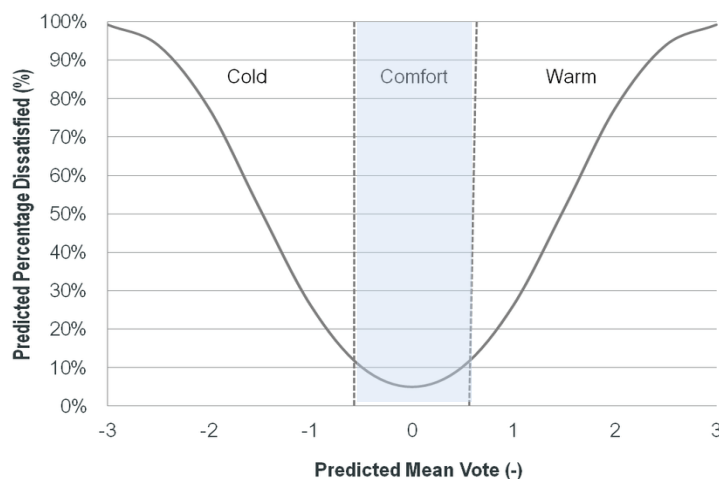
جایی که var برابر سرعت نسبی هوا با واحد متر بر ثانیه (ms^{-1}) . فاکتور مساحت سطح پوشش f_{cl} می تواند محاسبه شود از طریق معادله ۴-۲:

$$F_{cl} = 1/100 + 290/1 \cdot I_{cl} \quad \text{for} \quad |I_{cl}| < 0.1078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (4-2)$$

$$1/50 + 645/0 \cdot I_{cl} \quad \text{for} \quad |I_{cl}| > 0.1078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

به طور کل طبق استاندارد‌ها، مطابق شکل ۱-۲، شرایط آسایش حرارتی زمانی میسر می‌شود که $PMV > +0.5$ و $PPD > 10$ باشد. محاسبه مقدار PPD را با استفاده از مقدار PMV، می‌توان از معادله (۲-۵) زیر محاسبه کرد:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \text{Exp}(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2) \quad (5-2)$$

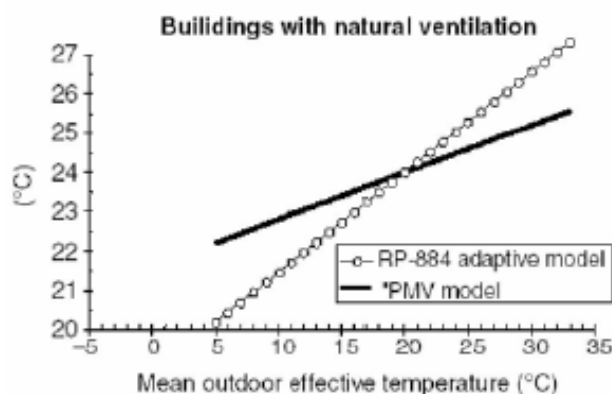


شکل ۱-۲. رابطه میان PMV و PPD. [۳۷].

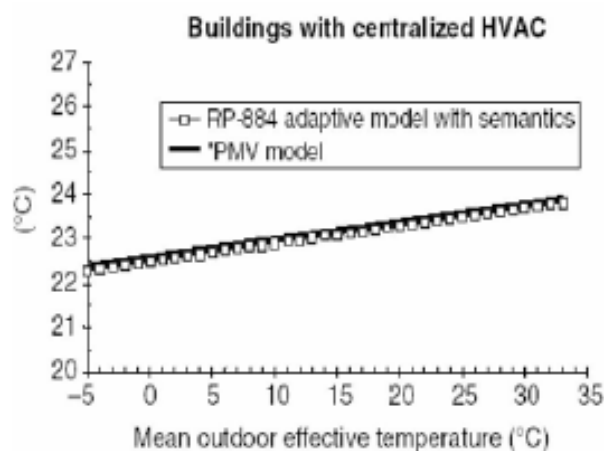
۱،۱،۱،۱،۱،۱ محدودیت و اعتبار مدل PMV

از آنجاکه مدل PMV در نتیجه پژوهش‌های انجام‌گرفته در محفظه‌های اقلیمی تحت شرایط خاص آب‌وهوایی (معتدل) صورت گرفته است و در آن ساکنین صرفاً به‌عنوان گیرنده‌های منفعل محرک‌های حرارتی در فضا حضور داشتند [۲۶]، تأثیر عواملی چون: روان‌شناسی محیطی و نوع ساختمان در آن نادیده گرفته شده است. در تحقیقات مختلف صورت گرفته بروی ساختمان‌های تهویه طبیعی و مطبوع مشاهده می‌شود که دمای خنثی با همتای پیش‌بینی‌شده آن توسط این مدل متفاوت بوده که این به دلیل دو عامل مهم: خطاهای موجود در اندازه‌گیری و مفروضات زمینه‌ای مانند تفاوت‌های فردی (سن، جنس، نژاد و...) و انواع ساختمان (تهویه مطبوع و طبیعی) است که حاصل توجه کم این مدل به مسئله

سازگاری، خصوصاً در ساختمان‌های تهویه طبیعی، می‌باشد [۱] هرچند که مدل PMV به‌عنوان مدلی ایستا مورد ارجاع قرار می‌گیرد اما اگر آن را به تنظیمات رفتاری و سازگاری که در ساختمان‌های تهویه مطبوع اتفاق می‌افتد، مجهز کنیم به مدلی سازگار و منطبق تبدیل می‌شود. با این شرط که حین استفاده از آن به مواردی همچون: تفاوت‌های موجود در دمای خنثی پذیرفته‌شده توسط مردم هر اقلیم و انواع مختلف ساختمان‌ها به لحاظ تهویه‌ای (تهویه مطبوع و طبیعی) در اقلیم‌های یکسان، توجه گردد [۱۳].



(الف)



(ب)

شکل ۲-۲. مقایسه پیش‌بینی شرایط آسایش بین مدل سازگاری و PMV - الف: ساختمان‌های تهویه طبیعی، ب: ساختمان‌های تهویه مطبوع-مأخذ [۳۰].

بروز اختلاف و انحراف در پیش‌بینی PMV شکل ۲-۲ در ساختمان‌های تهویه طبیعی به دلیل تأثیر دمای خارج و همچنین فرصت‌های سازگاری در این‌گونه از ساختمان‌هاست. از طرفی اما در شکل بالا

شاهد آن هستیم که مدل PMV برای پیش‌بینی فضا‌هایی با سیستم تهویه مطبوع بسیار مناسب می‌باشد و اعتبار این مدل در ساختمان‌های اداری با سیستم تهویه مطبوع ایران نشان داده شده است [۳۹]. پس از بررسی‌های فراوان محققان دریافتند که مدل PMV در محدوده‌های زیر، پیش‌بینی دقیق‌تری از احساس حرارتی ساکنان ارائه می‌دهد، که شامل ساختمان‌های دارای تهویه مطبوع با دمای زیر ۲۷ درجه سانتی‌گراد، سرعت هوای کمتر از ۰/۲ متر بر ثانیه، رطوبت نسبی کمتر از ۶۰ درصد، میزان فعالیت کمتر از ۱/۴ (met)، میزان پوشش در بازه ۰/۳ تا ۱/۲ (clo) [۴۰].

۲-۱-۵-۲ مدل دو گره گگ

در سال ۱۹۳۶ فارو گگ^۱ در مقاله‌ای بانام "معیار خطی اعمال شده به‌عنوان کالری‌سنجی تفکیکی"^۲ در امریکا مطالعه اساسی و تحلیلی را انجام داد [۴۱]. او اولین کسی بود که از اصول ترمودینامیک برای تبادلات انرژی بین بدن انسان و محیط استفاده کرد. مدل پیشنهادی وی شامل دو گره است: هسته یا داخل بدن انسان که از طریق فعالیت متابولیک و کار مکانیکی (عضلات) تولید می‌شود و "پوست" که به‌عنوان فصل مشترک بدن انسان با محیط پیرامونش، انرژی و ماده را به خارج منتقل می‌کند. مدل "دو گره" گگ نشان می‌دهد که برآیند تبادلات حرارتی به علت فعالیت‌های متابولیکی، انرژی بدن، تبخیر، تابش و هدایت، برابر با صفر می‌باشد. وی تعادل حرارتی بدن را، مجموع گرمای ذخیره شده در انسان بیان می‌کند که باعث می‌شود بدن، دمای خود را در ۳۷ درجه سانتی‌گراد حفظ کند. این گرما، حاصل برخی از انرژی‌های متابولیکی می‌باشد و مقدار مازاد آن به شکل تبخیر، تعرق و یا جریان انرژی از طریق هدایت، کنوانسیون و تابش از بدن به محیط اطراف انتشار می‌یابد. [۴۲]

این مدل از شاخص‌های دمای مؤثر (ET^*) و دمای مؤثر استاندارد (SET) که به‌طور گسترده‌ای در محیط حرارتی کاربرد دارند، پشتیبانی می‌کند [۳۶، ۴۳]. ET^* دمای محیطی فرضیست با رطوبت نسبی

^۱ Pharo Gagge

^۲ calorimetry The linearity criterion as applied to partitional

۵۰٪، سرعت متوسط هوای کمتر از ۰/۱ متر بر ثانیه و میانگین دمای تابشی برابر با دمای هوا، که در آن میزان تلفات حرارت از پوست فرد فرضی با سطح فعالیت ۱/۰ met و سطح لباس ۰/۶ CLO همان میزان است که یک فرد در محیط واقعی، بالباس واقعی و سطح فعالیت دارد [۲۵]. SET نیز نسخه تعمیم یافته شاخص ET^* می باشد با این تفاوت که شامل طیف وسیعی از سطوح فعالیت و پوشش است [۲۵]، ET^* را به شرایط واقعی مرتبط کرده و پاسخ فیزیولوژیکی مشابهی را در افراد با میزان پوشش و متابولیسم استاندارد، درحالی که رطوبت نسبی برابر با ۵۰٪ است، می دهد.

شاخص حرارتی SET^* در استاندارد اشره ۵۵ برای محدوده آسایش تعریف شده به عنوان محیطی فرضی با دمای یکسان و میزان رطوبت ۵۰٪، متوسط سرعت هوا $> 0.1 \text{ ms}^{-1}$ ، که در آن کل تلفات حرارتی از پوست یک فرد فرضی در حالت نشسته با سطح لباس ۰/۶ clo و سطح فعالیت ۱/۰ MET، همانند یک فرد در محیط با میزان پوشش و فعالیت واقعی است [۴]. SET^* امکان مقایسه محیط حرارتی را در هر ترکیبی از متغیرهای ورودی فیزیکی فراهم می کند [۴۴].

۱,۱,۱,۱,۲ محدودیت مدل های تعادل حرارتی در حالت ثابت

بر اساس مدل های تعادل حرارتی، ناراحتی های حاصل از سرما و گرما به ترتیب با میانگین دما و رطوبت پوست مرتبط هستند. دمای مرکز بدن و خواص فیزیکی سطح پوست، عواملی تأثیرگذار در احساس حرارتی و ناراحتی های ناشی از آن می باشند [۴۵]. نارضایتی حرارتی ممکن است به دلیل سرد یا گرم بودن بیش از حد قسمتی از بدن به طور ناخواسته باشد [۴۶] مدل های تعادل حرارتی تنها برای شرایط پایدار قابل اعتماد است و به نظر می رسد که استفاده از آن ها در شرایط ناپایدار به طور قابل توجهی باعث بروز اختلاف در پیش بینی های به عمل آمده می شود [۴۷] از این رو برای پیش بینی احساس حرارتی به ارائه مدل حرارتی پویایی نیاز است. [۴۸]. محدودیت دیگر رویکردهای تعادل حرارتی، مدل کردن پاسخ های راحتی است. مدل ها باعث این فرضیه می شوند که " پاسخ راحتی قابل پیش بینی برای هر حالت

فیزیولوژیکی بدن وجود دارد" [۴۷]. درحالی که، درک آسایش یک پاسخ روان‌شناختی است و عوامل غیر فیزیکی دیگری همچون انتظارات، ممکن است بر آن تأثیر بگذارد [۴۷].

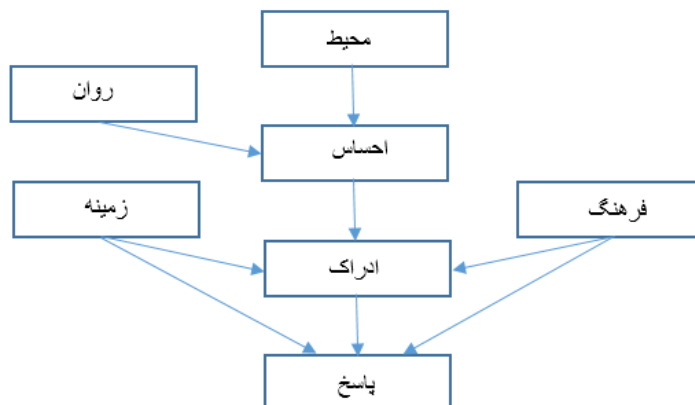
۲-۵-۲ مدل سازگاری

مدل سازگار آسایش حرارتی مبتنی بر مطالعات میدانی می‌باشد [۴۹] و در حالی صورت می‌گیرد که افراد در محیط‌های واقعی افعال روزمره خود را به‌طور عادی انجام می‌دهند [۵۰] رویکرد سازگارانه، روابط سیال ساکنان را با محیط‌های واقعی بررسی می‌کند [۴۹]. تغییرات ایجادشده در دمای راحتی، به‌واسطه انطباق ساکنان با محیط حرارتی آن‌هاست و این در حالیست که باوجود مکانیزم‌های مشترک سیستم فیزیولوژیکی بدن انسان‌ها، در برخورد با شرایط محیط، رفتار یکسانی از خود بروز نمی‌دهند. به نقل از هیمفریز و نیکل [۵۱] اگر در محیطی تغییری در جهت عدم آسایش حرارتی ایجاد شود، افراد با استفاده از راه‌حلهایی، تلاش می‌کنند تا به محدوده راحتی خود بازگردند و حالتی منفعل نخواهند داشت. به این رویکرد "سازگاری" گفته می‌شود. چراکه اعتقاد بر این است، مردم گیرنده‌های منفعل محرک‌های حرارتی نیستند بلکه جزء فعال سیستم سیال محیط‌های اجتماعی و فیزیکی‌شان می‌باشند [۵۱]

آسایش حرارتی به‌عنوان یک سیستم تطبیقی خودتنظیم شونده می‌باشد که شامل تنظیم حرارت فیزیولوژیکی و رفتاری است [۵۲]. بر اساس رویکرد سازگاری، احساسات حرارتی در افراد، باید به‌عنوان یک پیوند فعال در سیستم کنترل دیده شود نه به‌عنوان یک پاسخ منفعلانه به محیط حرارتی [۵۲]. علاوه بر پاسخ فیزیولوژیکی ناخودآگاه بدن انسان، فعالیت‌های رفتاری آگاهانه، رابطه بین افراد و محیط را تغییر می‌دهد و به حفظ دمای بدن کمک می‌کند [۱۷].

اقلیم و مسائل فرهنگی نیز نقش قابل‌توجهی در مدل سازگار و ادراک مردم از آسایش حرارتی دارند به‌طوری‌که مردم در اقصی نقاط جهان دارای دامنه‌های متفاوتی به لحاظ محدوده‌های دمایی می‌باشند

[۵۱]. به این معنی که تجارب و انتظارات فرهنگی و اقلیمی گذشته در احساس حرارتی واقعی و راحتی ساکنان تأثیرگذار بوده است، شکل (۲-۳) [۵۳].



شکل ۲-۳. مدل سازگاری مأخذ: [۵۴].

۲-۵-۲-۱ ساز و کارهای سازگاری

با توجه به اینکه رضایت ساکنین از طریق سازگاری مناسب با محیط حرارتی داخل ساختمان رخ می‌دهد. اصطلاح سازگاری را می‌توان به‌عنوان کاهش تدریجی پاسخ ارگانیسمی به تحریک مکرر محیطی تفسیر کرد [۵۵] اساس مفهومی مدل سازگار، به پارامترهای زمینه‌ای و ادراکی و همچنین فرآیندهای روان‌شناختی و رفتاری وابسته است. مکانیزم‌های سازگاری شامل سه طبقه‌بندی: سازگاری فیزیولوژیکی، روان‌شناختی و رفتاری می‌باشد [۲۶] که در ادامه به توضیح آن‌ها می‌پردازیم:

سازگاری فیزیولوژیکی: سازگاری فیزیولوژیکی شامل تغییراتی در پاسخ‌های فیزیولوژیکی که نتیجه قرار گرفتن در معرض محیط حرارتی می‌باشد و منجر به کاهش تدریجی فشار ایجادشده توسط چنین مواجهه‌ای می‌شود. این رویکرد، توسط سیستم عصبی اتونومیک تأمین می‌شود و شامل دو زیرشاخه سازگاری ژنتیکی و خو گرفتن می‌شود. سازگاری ژنتیکی بین نسلی است، به این معنی که در طی مدت طولانی تکامل یافته است. خو گرفتن نیز به تغییرات در طول زندگی فرد اطلاق می‌شود که برای تنظیم سیستم حرارت فیزیولوژیکی بدن، در طی چندین روز یا هفته، جهت پاسخ به شرایط محیطی حرارتی می‌باشد. [۲۶]

سازگاری روانی: سازگاری روان‌شناختی، ادراک حرارتی تغییر یافته ایست که انتظارات حرارتی بر پایه تجارب گذشته را توصیف می‌کند [۲۶]. انتظارات حرارتی کمتر از شرایط محیط نتیجه کاهش حساسیت افراد آن محیط به تغییرات دماییست که آن‌ها را در معرض شرایط حرارتی خاص در طی یک دوره مشخص قرار داده است. مکینتایر^۱ یکی از پیشگامان بود که نقش تجربیات و انتظارات دمای داخلی را در مطالعاتش، تأیید کرده است. وی اشاره کرد که واکنش فرد نسبت به دمای کمتر از آنچه که او به‌عنوان دمای ایده آل انتظار دارد، وابستگی زیادی به انتظارات او، شخصیت و آنچه در آن زمان انجام می‌دهد، خواهد داشت [۵۶]. باوجود اینکه سازگاری روان‌شناختی نوعی از مکانیزم‌های سازگاریست که کمترین میزان تحقیقات در آن صورت گرفته، ولی می‌توان از آن به‌عنوان واضح‌ترین توضیح برای تفاوت‌های بین پیش‌بینی و مشاهدات احساس حرارتی در نظر گرفت [۵۵].

سازگاری رفتاری: تعدیل رفتاری اشاره به اقداماتی دارد که فرد می‌تواند با اعمال تغییر تعادل حرارتی بدن خود، به‌طور آگاهانه یا ناخودآگاه جهت دستیابی به آسایش حرارتی انجام دهد. این رویکرد را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد: اصلاحات شخصی (به‌عنوان مثال، تغییر فعالیت و وضعیت، حرکت به مکان‌های مختلف)، اصلاحات فنی (به‌عنوان مثال، تغییرات در محیط، توسط باز و بسته کردن پنجره‌ها یا سایه‌بان‌ها، کنترل فن‌ها و یا روشن/ خاموش کردن سیستم‌های تهویه مطبوع) و اصلاحات فرهنگی (به‌عنوان مثال، کار نکردن در گرمای روز، تنظیم برنامه، تطبیق پوشش) [۲۶]. سازگاری رفتاری به‌احتمال زیاد بیشترین فرصت را برای مردم، جهت انجام اقدامات اصلاحی برای حفظ آسایش حرارتی در هنگام ناراحتی، ارائه می‌دهد.

۳-۲-۵ کنترل و رضایت اشخاص

توانایی اشخاص در جهت کنترل محیط برای رسیدن به راحتی و رضایت آن‌ها بسیار حائز اهمیت است [۵۷، ۵۸]، به‌طوری‌که کنترل درک شده به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر رضایت ساکنین از محیط حرارتی تأثیر می‌گذارد و مردم بیشتر از ساختمان‌هایی که در آن‌ها قادر به اعمال اصلاحاتی جهت کنترل هرچه بیشتر

^۱ McIntyre

محیط هستند، استقبال می کنند [۵۹-۶۱]. تأثیر این نوع از کنترل حتی در مقایسه با متغیرهای حرارتی در تعیین ارزیابی آسایش حرارتی از اهمیت مشابهی برخوردار است [۶۲] وی تحقیق می کند که چگونه کنترل های کاربردی، درک و اعمال شده بر احساس حرارتی و آسایش افراد در ساختمان های اداری در زمستان اسرائیل تأثیر می گذارد. با توجه به [۶۲]، کنترل ناشی از درک تأثیر چشمگیری در شکل دادن آسایش حرارتی و نتایج رضایتمندی دارد.

مطالعه [۶۳] نشان می دهد که اشخاصی که در سطوح مختلف کنترل شخصی پاسخ های حرارتی متفاوتی دارند و در ادامه، اختلاف دمای ۱/۵ درجه سانتی گراد بین افرادی که دارای درجه بالا و پایین کنترل پنجره ها در محل کارشان هستند را گزارش می کنند. [۶۴] نیز به بررسی آسایش حرارتی و استفاده از ترموستات در خانه ها و اتاق های اداری می پردازد. او دریافت که در خانه ها، سطح کنترل، راحتی و رضایت نسبت به دفاتر بالاتر است، جایی که افراد برای کنترل محیط حرارتی خود محدودیت بیشتری دارند. در مطالعه دیگری که توسط [۶۵] انجام شد، تأثیر دسترسی به کنترل محیط به صورت فردی بر میزان رضایت از فضای کاری بررسی شده است. این محققان نشان می دهند که رتبه های رضایتمندی حرارتی هر یک از چهار سطح کنترلی تفاوت قابل ملاحظه ای نداشته و نزدیک به خنثی بوده اند. با توجه به نتایج حاصله می توان دریافت که بیشترین و کمترین میزان رضایت از محیط اطراف را به ترتیب: افرادی که به طور هم زمان به بازشوها و سیستم های مکانیکی دسترسی داشتند و کسانی که اساساً قادر به کنترل محیط خود نبودند، اعلام کردند و در این بین افرادی که فقط به بازشوها یا فقط به سیستم های مکانیکی دسترسی داشتند، قرار می گیرند. علاوه بر این، [۱۷] خاطر نشان کردند که کنترل فردی بسیار مؤثرتر از کنترل گروهی می باشد.

۲-۲-۵-۲ قوت و ضعف مطالعات میدانی و مدل سازگاری

مدل آسایش سازگار، در مقایسه با عملکرد مدل تعادل حرارتی ثابت، ، طیف گسترده تری از شرایط قابل قبول برای افراد در ساختمان های تهویه طبیعی ارائه می دهد [۲۶]. دلیل اصلی این است که عمدتاً

سطوح کنترل شخصی توسط پنجره‌ها در ساختمان‌های تهویه طبیعی نسبت به ساختمان‌های تهویه مطبوع بیشتر صورت می‌گیرد [۴۸] مدل سازگار بنا به دلیل ایجاد فضای راحت و صرفه‌جویی در انرژی قابل توجه است. [۴۹] اشاره می‌کنند به طوری که اگر رویکرد سازگاری بر اساس فرمول‌بندی استانداردهای آسایش حرارتی در ساختمان‌ها به کار رود، قادر است میزان مصرف انرژی جهت گرمایش و سرمایش را بدون ایجاد خدشه‌ای بر راحتی یا سلامت اشخاص، کاهش یابد. بر اساس این رویکرد، با داشتن تمایل طبیعی ساکنان جهت اجتناب از شرایط نامطلوب، ساختمان‌هایی که توانایی فراهم کردن شرایط آسایش برای ساکنان فعال خود را دارند، می‌توانند با استفاده از تهویه طبیعی در طول مدت قابل توجهی از سال، وابستگی‌شان را به سیستم‌های مکانیکی از بین ببرند [۶۶].

علیرغم نقاط قوت این مدل، ماهیت تحلیل‌های آماری ضعف این رویکرد می‌باشد، چراکه تعمیم دادن نتیجه تجزیه و تحلیل آماری دشوار است و معادلات حاصل از یک نظرسنجی اغلب نباید در داده‌های نظرسنجی دیگر حتی زمانی که شرایط مشابه هستند اعمال شوند [۲].

انتقاد دیگر از مدل سازگاری این است که تنها بر دمای عملکردی برای محاسبه دمای آسایش حاصل از دمای هوای خارجی تمرکز می‌کند و از تأثیر چهار فاکتور مرسوم حرارت داخلی، میزان پوشش و فعالیت، که به خوبی تأثیرشان بر تعادل حرارتی انسان و احساس گرما شناخته شده است، چشم‌پوشی می‌کند [۶۷]. با این حال، [۲] استدلال می‌کنند که گنجاندن این متغیرها می‌تواند منجر به سوگیری‌های سیستماتیک در ارزیابی محیط حرارتی شود. بر این اساس، [۴۹] درجه حرارت هوا و یا دمای عملکردی را شاخصی کافی جهت ارزیابی احساس گرمایی می‌دانند.

همان‌طور که توسط استاندارد اشره ۵۵ تأیید شده، جریان هوا بر دمای آسایش تأثیرگذار می‌باشد، به طوری که با افزایش جریان هوا، محدوده دمای عملکردی قابل قبول برای آسایش، خصوصاً در فضاهایی با تهویه طبیعی، توسعه می‌یابد. متغیرهای جریان هوا و میزان رطوبت نسبی نیز در تعیین آسایش در اقلیم‌های گرم، جایکه اتلاف گرمای تبخیری غالب است، بسیار قابل توجه هستند و به طور کلی افزایش رطوبت، بر پهنای محدوده راحتی تأثیر می‌گذارد [۶۸].

۶-۲ استانداردهای بین‌المللی آسایش حرارتی

استانداردهای بین‌المللی شناخته‌شده‌ای در بحث آسایش حرارتی وجود دارند که جهت ارزیابی این مهم در محیط‌های داخلی استفاده می‌گردند. از جمله آن‌ها می‌توان به دو مورد زیر اشاره کرد:

- استاندارد ایزو ۷۷۳۰: ارگونومی محیط حرارتی - تعیین و تفسیر تحلیلی آسایش حرارتی با استفاده از محاسبه شاخص‌های PMV و PPD و معیارهای راحتی منطقه‌ای [۲۱]
- استاندارد اشره ۵۵: شرایط محیط حرارتی برای سکونت انسانی [۴]

۱-۶-۲ ایزو ۷۷۳۰

استاندارد بین‌المللی ISO ۷۷۳۰ در اروپا و بر اساس اصول تعادل حرارتی بدن و سری معادلات فانگر در سطح جهانی مطرح شد [۶۹]. این استاندارد به ارائه روش‌های اندازه‌گیری متغیرهای فردی (میزان عایق لباسی و فعالیت‌های مختلف)، محیطی و محدوده آسایش حرارتی افراد، می‌پردازد. در این استاندارد همچنین پیشنهادهایی در جهت آسایش در فصول سرد و گرم بیان شده است.

اصول اساسی این استاندارد که توسط فانگر ارائه گردید شامل معادلات PMV-PPD برای پیش‌بینی احساس حرارتی و رضایت افراد در یک محیط با دمای متوسط می‌باشد. خاستگاه این استاندارد، امریکا و اروپا است اما به گفته پارسون [۲۵] استفاده از آن در نقاط دیگر جهان نیز امکان‌پذیر می‌باشد. ایزو همچنین در ساختمان‌های ساخته‌شده یا در حال ساخت، که قصد ممیزی کردن آن‌ها وجود دارد، استفاده می‌شود.

استاندارد ISO ۷۷۳۰، معیارهای طراحی و دمای قابل‌قبول برای انواع مختلف ساختمان‌ها را در قالب فرضیه‌های خاص، با استفاده از سطح فعالیت‌های معمول و عایق لباس $clo = 0.5$ در تابستان و $clo = 1$ در طول زمستان، فراهم می‌کند. جدول ۲-۲ برخی از مقادیر دمای عملکردی را در قالب سه نوع طبقه‌بندی ساختمانی بر اساس پیش‌بینی‌های میزان رضایت افراد، پیشنهاد می‌کند.

جدول ۲-۲. مقادیر طراحی شده برای دمای عملکردی افراد در حالت نشسته، [۲۱]

محدوده دمای عملکردی (°C)		طبقه‌بندی	میزان فعالیت	عایق لباسی		استاندارد
زمستان	تابستان			زمستان	تابستان	
۱ ± ۲۲	۱ ± ۲۴/۵	الف: PPD < ۶	MET ۱/۲	۱ (CLO)	۰/۵ (CLO)	ایزو ۷۷۳۰ (۲۰۰۵)
۱/۵ ± ۲۲	۱/۵ ± ۲۴/۵	ب: PPD < ۱۰	۷۰ Wm ^{-۱}			
۳ ± ۲۲	۳ ± ۲۴/۵	ج: PPD < ۱۵				

۲-۶-۲ اشاره ۵۵

استاندارد اشاره ۵۵، توسط انجمن بین‌المللی مهندسان گرمایشی، سرمایشی و تهویه مطبوع امریکا تهیه شده است [۴] و به‌طور پیش‌فرض بر پایه قابل قبول بودن شرایط آسایشی برای دست کم ۸۰ درصد افراد مورد مطالعه می‌باشد. پس از نظریه همفریز در باب سازگاری، این استاندارد نیز دستخوش تغییراتی شد به‌گونه‌ای که امروزه در حال استفاده از مدل سازگاری همفریز و نیکل در قالب پروژه‌های موسوم به اشاره-۸۸۴ می‌باشد [۲۶]. استاندارد اشاره ۵۵ عمدتاً برای دفاتر با میزان فعالیت‌های کمتر از ۱/۳ MET و عایق لباسی در محدوده ۰/۵ تا ۱ پیشنهاد می‌شود. این استاندارد شبیه به ISO ۷۷۳۰ بر اساس محاسبات شاخص PMV-PPD برای تعریف دمای عملکردی قابل قبول برای ساکنان ساختمان‌هایی است که به سیستم‌های سرمایش، گرمایش و تهویه مطبوع متکی می‌باشند [۱۷]. در این استاندارد مطابق جدول ۲-۳، شرایط آسایش حرارتی ساکنان هنگامی برقرار می‌شود که مقادیر PMV بین ۰/۵ ± بوده و درصد افراد ناراضی کمتر از ۱۰ باشد. استاندارد اشاره ۵۵ همچنین حاوی اطلاعاتی درباره ناراحتی‌های موضعیست که شبیه به ISO ۷۷۳۰ می‌باشد. با این تفاوت که به‌جای طبقه‌بندی کردن سطوح مختلف مقبولیت حرارتی، میزان ۱۰٪ به نارضایتی‌های پیش‌بینی شده توسط PMV اضافه می‌کند [۴].

جدول ۲-۳. محیط حرارتی قابل قبول برای راحتی عمومی براساس استاندارد اشاره ۵۵، [۴].

PPD	محدوده PMV
< ۱۰	-۰/۵ > PMV > +۰/۵

۲-۷ پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه آسایش حرارتی

در این بخش، به بررسی برخی از مطالعات انجام شده در حوزه آسایش حرارتی فضاهای اداری داخل و خارج از ایران، پرداخته شد.

۲-۷-۱ پژوهش‌های خارجی

در طی قرن اخیر شرایط آسایش حرارتی در فضاهای داخلی توسط روندی سازگار مرتبط با نوع پوشش، رفتار ساکنین و کنترل دما توسعه یافت. از جمله مقالاتی در این باب می‌توان، به تحقیق [۷۰] درباره آسایش حرارتی و رفتار سازگار کارکنان بخش اداری دانشگاهی در ژاپن در دو حالت تهویه طبیعی و استفاده از سیستم سرمایش در فصل گرم می‌باشد نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آنست که باوجود احساس گرمای بیشتر افراد در بخش تهویه مطبوع، رفتارهای سازگاران و تعاملات بیشتری در جهت رسیدن به آسایش در این نوع سیستم مشاهده می‌گردد که باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژیست، مقاله [۷۱] مربوط به بررسی رفتارهای سازگار افراد در فضاهای داخلی در فصول غیر بحرانی همچون بهار و پاییز در بخش‌هایی از چین که دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم می‌باشد و در آن تفاوت بین رفتارهای سازگاران افراد در فصول بحرانی با فصول غیر بحرانی بررسی و ارائه می‌گردد. مقاله [۷۲] نیز پیرامون آسایش حرارتی سازگار در فضای اداری شمال شرق هند در فصل پاییز می‌باشد که در آن بیشترین انطباق رفتاری کارکنان در بالاترین و پایین‌ترین دماها اتفاق افتاده است. دمای ترجیحی به‌دست‌آمده از رگرسیون‌های غیرخطی بیانگر تمایل کارکنان به پایین‌تر بودن دمای آسایش، نسبت به نتایج حاصل از رگرسیون خطی می‌باشد. همچنین تحقیقی که [۷۳] باهدف تعیین محدوده آسایش حرارتی و تحلیل موقعیت‌های سازگار در ساختمان‌های اداری ژاپن در حالت‌های مختلف همچون: تهویه طبیعی، تهویه مطبوع و مخلوطی از این دو، تمرکز دارد. در این پژوهش نیز از رگرسیون غیرخطی برای آنالیز بهینه‌ترین محدوده آسایش استفاده شد. محدوده آسایشی حاصله در بالاترین و پایین‌ترین دمای هوای خارجی قرار گرفت که این نشان از وابستگی دمای خنثی به دمای خارجی و رویکرد سازگاریست. مقاله [۷۴] نیز با بررسی نتایج حاصل از برداشت‌های بلندمدت ادارات چین در فصول سرد و گرم که

دارای سیستم تهویه‌ای مخلوط (طبیعی و مطبوع) به صورت هم‌زمان بودند، صورت گرفت و در آن همانند دیگر مقالات آسایش سازگار به تعاملات و فعالیت‌های فردی در جهت رسیدن به راحتی پرداخته شد. پژوهش [۷۵] نیز با جمع‌آوری مقالاتی پیرامون مقایسه بین آسایش حرارتی و مسئله کنترل در ساختمان و اینکه تعادل میان این دو فاکتور چه کمکی به بحث پایداری و احساس آسایش در ساکنین می‌شود، اشاره کرد. مقاله [۷۶] هم مروری ادبی بر دو رویکرد منطقی و سازگاری آسایش حرارتی داشته و به بررسی کلی سیستم تعادل گرمایی بدن انسان و مدل‌سازی ریاضی تبادلات حرارتی بین بدن انسان و محیط در شرایط خواب و بیدار می‌پردازد. مقاله [۷۷] که در آن دو اداره یکی با تهویه مطبوع و دیگری با تهویه طبیعی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. نتایج حاصله حاکی از آن است که در این تحقیقات تعداد نارضایتی هنگامی که PMV برابر با صفر است، بسیار بالاتر از منحنی استاندارد PMV / PPD می‌باشد. در ارزیابی مشخص شد که این خطا، حاصل تفسیرهای متفاوت افراد از رتبه دهی احساس حرارتیشان، مبالغه کاری آنان و یا کم بودن جامعه آماری برداشت نسبت به منحنی استاندارد حاصل از میانگین هزاران نفر، می‌باشد. در مقاله [۷۸] بررسی شد که آیا با بالا بردن دما نسبت به میزان تعریف‌شده آن در ادارات استرالیا، کارمندان بازهم در شرایط آسایش قرار می‌گیرند یا نه. که بر طبق آن هیچ تفاوت معناداری در کارکرد ارگان‌های مهم بدن مشاهده نشد و نتایج حاصله افزایش ۳ درجه‌ای دما را بدون ایجاد اختلالی در راحتی افراد، تأیید نمود. در مقاله [۷۹] رگرسیون دومرحله‌ای از مدل PMV اشاره ارائه می‌شود که به ترکیب پارامترهای معماری و متغیرهای کنترل، به‌عنوان پیش‌بینی کننده می‌پردازد. مدل حاصل می‌تواند PMV را در اتاق‌های مختلف به‌طور دقیق در هر دو دوره کوتاه‌مدت و بلند پیش‌بینی کند. مقاله [۸۰] و [۸۱] که به بررسی جایگاه مدل‌های آسایش، روش‌های اعمال‌شده در دهه گذشته جهت تعیین و ارزیابی آن و همچنین اهمیت پیشینه‌های فردی ساکنین، می‌پردازد. مقاله [۸۲] به بررسی و طبقه‌بندی سیستم‌های سرمایش ادارات در طول ۲۵ سال از (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴) می‌پردازد و هدف آن حمایت از طراحی‌های پایدار دفاتر واقع در اقلیم‌های گرم با توجه به تجربیات گذشته می‌باشد.

۲-۷-۲ پژوهش‌های داخلی

در ایران نیز پژوهش‌های نسبتاً محدودی در مبحث آسایش صورت گرفته است که از مهم‌ترین آنان می‌توان به مطالعات میدانی [۸۳] در زمینه آسایش حرارتی در ساختمان‌های اداری و ساختمان‌های تهویه شده به صورت طبیعی اشاره کرد. که در آن بیش از ۵۰۰۰ مجموعه داده‌ها و بیش از ۱۰ سال مطالعه را در پانزده شهر با سه شرایط مختلف آب‌وهوایی ایران، جمع‌آوری شده است. یافته‌های او نشان می‌دهد که اقدامات سازگاری با دمای هوای بیرون مرتبط است و منجر به تغییرات دمای خنثی داخلی در فصول مختلف می‌شود. دمای خنثی و ترجیح داده شده ساکنان گرم و خشک در طول تابستان، به ترتیب ۲۷/۷ و ۲۶/۵ درجه سانتی‌گراد است. مطالعات وی همچنین نشان‌دهنده سازگاری بالای افراد در محدوده وسیعی از دمای داخلی و پوشش می‌باشد. به طوری که حداقل و حداکثر محدوده دمای قابل قبول در تابستان با اقلیم گرم و خشک، به ترتیب ۲۰/۹ تا ۳۴/۳ درجه سانتی‌گراد ارائه شد. بنا به مشاهدات، حیدری دریافت که ایرانیان در دماهای بالاتری نسبت به مقادیر توصیه شده در استانداردهای بین‌المللی نیز قادر هستند به آسایش دست یابند.

تحقیق [۳۹] درباره میزان رضایت و آسایش حرارتی در فضاهای کار با سیستم تهویه مطبوع در فصل تابستان می‌باشد و در آن از ۶ ساختمان اداری واقع در تهران استفاده گردید. وی با اندازه‌گیری متغیرهای فیزیکی و مقایسه آن با مقادیر استاندارد، دریافت که PMV محاسبه شده و میانگین آرای احساس حرارتی ساکنان در ۴ ساختمان با سیستم تهویه مطبوع، بر هم منطبق بوده و یکدیگر را تأیید می‌کنند. این در حالیست که ۲ ساختمان دیگر عکس آن گزارش شده‌اند.

[۴۰] نیز به مطالعه بروی ده ساختمان اداری در کرمانشاه می‌پردازند، هدف آنان تعیین محدوده آسایش حرارتی کارکنان و همچنین بهینه‌سازی کیفیت محیط داخلی آن‌ها می‌باشد. موارد منتخب ذکر شده، تنها گوشه‌ای از فعالیت‌های گسترده بشر در جهت نیل به شرایط مطلوب آسایشی می‌باشند، که این امر، اهمیت این مسئله را از سالیان گذشته تا به امروز در جوامع مختلف بیان می‌دارد.

فصل ۳: روش تحقیق

۱-۳ مقدمه

این پژوهش، باهدف دستیابی به دیدگاه جامعی نسبت به وضعیت موجود آسایش حرارتی ساختمان مرکز کامپیوتر دانشگاه صنعتی شاهرود صورت گرفته است. با توجه به مطالعات فصل قبل، درمی‌یابیم که در نظر گرفتن همزمان رویکرد تعادل حرارتی و سازگاری برای رسیدن به این مهم، امری ضروریست و خطای ناشی از ارزیابی را به حداقل می‌رساند. ازاین‌رو هر دودسته از پارامترهای محیطی -دما، رطوبت، جریان هوا و متوسط دمای تابشی- و پارامترهای سازگاری -میزان فعالیت و پوشش- برای تبیین شرایط آسایشی کاربران در نظر گرفته شد.

در این فصل، ابتدا به توصیف کلی از اقلیم منطقه، موقعیت و ویژگی‌های ساختاری بنای موردنظر پرداخته شد، سپس مشخصات تجهیزات استفاده‌شده، روش‌های اندازه‌گیری محیط و طراحی پرسش‌نامه ارائه گردید. در آخر نیز، نحوه پردازش داده‌های اولیه و روش‌های مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل تجربی مورد بحث قرار گرفت.

۲-۳ روش‌های ارزیابی

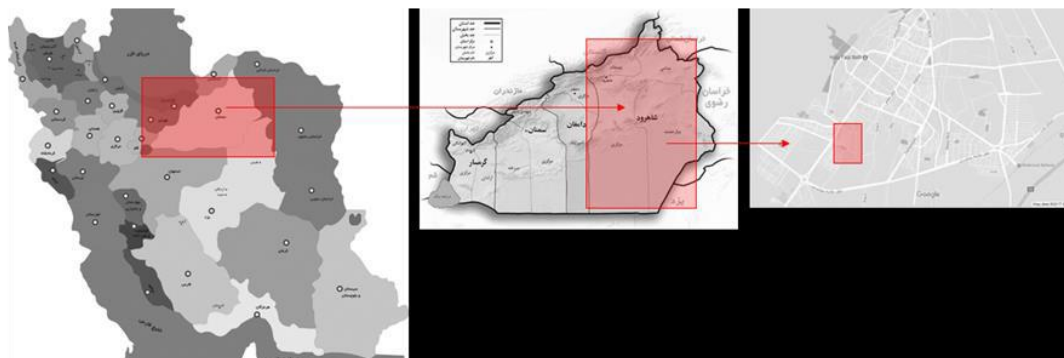
برداشت‌های میدانی در این پژوهش، به مدت یک سال و در ماه‌های خرداد، تیر، مهر و بهمن مطابق جدول ۱-۳ انجام شد، که در مجموع ۶۱۶ نفر در بازه‌های سنی بین ۱۸ تا ۳۷ سال در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفتند و تعداد ۱۴۷۹ داده جمع‌آوری گردید.

جدول ۱-۳.۱-۳ اطلاعات برداشت، ماخذ: نگارنده.

تعداد داده‌های برداشت شده	تعداد روزهای برداشت	ماه	فصل	سال	ساختمان
۳۴۲	۹	خرداد	گرم	۱۳۹۷	مرکز کامپیوتر دانشگاه صنعتی شاهرود
۴۱۴	۸	تیر			
۳۸۱	۸	مهر	سرد		
۳۴۲	۸	بهمن			
=۱۴۷۹	=۳۳				مجموع

۳-۳ موقعیت جغرافیایی و اقلیمی شاهرود

شهرستان شاهرود به عنوان بزرگ‌ترین شهرستان ایران به لحاظ مساحت بعد از طبس می‌باشد که در شمال شرقی کشور قرار دارد. جمعیت این شهرستان بر طبق سرشماری سال ۱۳۹۰ بر اساس نتایج مرکز آمار ایران، برابر با ۲۳۸۸۳۰ نفر پرجمعیت‌ترین شهرستان استان سمنان می‌باشد، شکل ۳-۱ [۸۴].



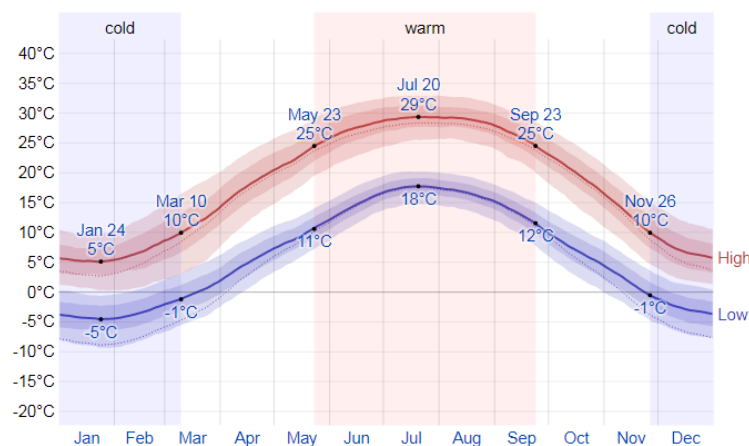
شکل ۳-۱. به ترتیب از چپ به راست: موقعیت استان سمنان، شهرستان شاهرود و دانشگاه صنعتی شاهرود، ماخذ: نگارنده.

۳-۳-۱ اقلیم شهرستان شاهرود

شهرستان شاهرود دارای تابستان‌ها طولانی، گرم، خشک و صاف می‌باشد و زمستان‌ها بسیار سرد، خشک و تا حدی ابری دارد. در طول سال، درجه حرارت به‌طور معمول از ۵- تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند و به ندرت به کمتر از ۹- یا بیش از ۳۳ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. [۸۵]

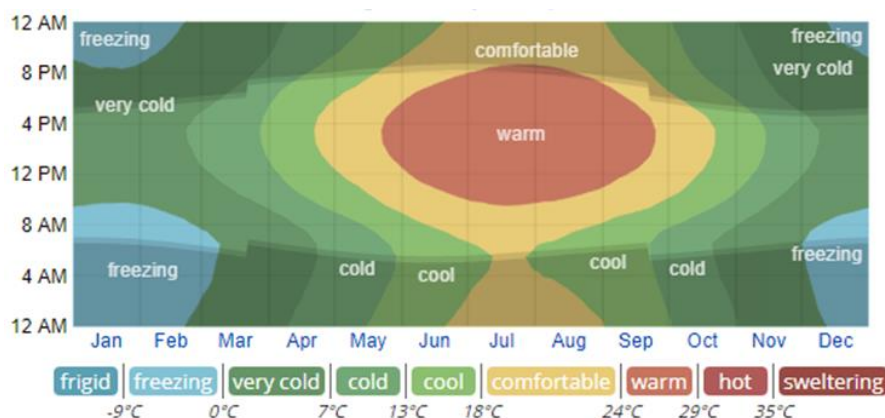
۳-۳-۱-۱ دمای هوا

فصل گرم برای مدت ۴ ماه، از حدوداً ۲ خرداد تا ۲ مهر، با متوسط دمای روزانه بالای ۲۵ درجه سانتی‌گراد ادامه دارد. گرم‌ترین روز سال ۲۹ تیر-با حداکثر و حداقل میانگین دمای ۲۹ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد- می‌باشد. فصل سرد نیز به مدت ۳/۵ ماه، از ۵ آذر تا ۱۹ اسفند با متوسط دمای روزانه زیر ۱۰ درجه سانتی‌گراد ادامه دارد. سردترین روز سال ۴ بهمن- با حداکثر و حداقل میانگین دمای ۵- و ۵ درجه سانتی‌گراد- می‌باشد، شکل ۳-۲. [۸۵]



شکل ۳-۲. حداکثر میانگین دمای روزانه (خط قرمز) و حداقل میانگین دمای روزانه (خط آبی)، [۸۵].

شکل ۳-۳ مشخصه کاملی از متوسط دمای ساعتی کل سال را نشان می‌دهد، که دران محور افقی و عمودی به ترتیب نشان‌دهنده ماه‌های سال و ساعات روز می‌باشند. رنگ‌های به‌کاررفته در این شکل، بیانگر شرایط و دمای متوسط حاکم بر هرروز و ساعت است.



شکل ۳-۳. میانگین ساعتی دمای شاهرود، [۸۵].

۳-۳-۱-۲ رطوبت هوا

اگر سطح آسایش رطوبتی را بر روی نقطه شبنم در نظر بگیریم، نقاط پایین‌تر از نقطه شبنم، احساس خشک شدن و نقاط بالاتر از آن، احساس مرطوب‌تری را مشخص می‌کنند. برخلاف دما که به‌طور معمول بین شب و روز به‌طور قابل‌توجهی تغییر می‌کند، نقطه شبنم تمایل دارد که به‌آرامی تغییر کند، به‌طوری‌که در طول شب ممکن است دمای آن کاهش یابد، روز گرم و مرطوب به‌طور معمول شب گرم و مرطوب را دنبال دارد.

همان طور که در شکل ۳-۴ پیداست، سطح رطوبت در نظر گرفته شده در شاهرود، با وجود زمان‌هایی که سطح آسایش رطوبتی به‌طور ناراحت‌کننده‌ای در شرایط گرم و مرطوب قرار دارد اما در طول سال به میزان قابل توجهی تغییر نمی‌کند و تقریباً در میزان ۰٪ ثابت باقی می‌ماند.

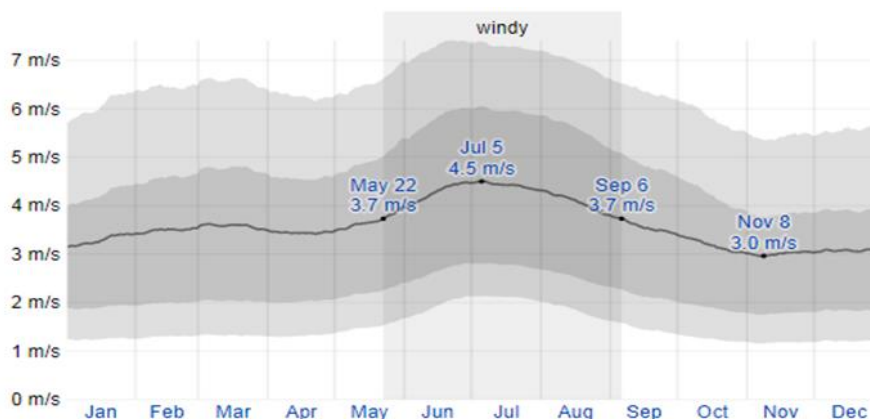


شکل ۳-۴. سطوح آسایش رطوبتی، [۱۸۵].

۳-۳-۱-۳ سرعت جریان باد

میانگین سرعت ساعتی باد در شاهرود در طول سال، تغییرات فصلی قابل توجهی را تجربه می‌کند. در این بین ۳/۵ ماه به‌عنوان بادخیزترین زمان آن به‌شمار می‌آید که ۱ خرداد تا ۱۵ شهریور با متوسط سرعت بیش از ۳/۷ متر در ثانیه است. طوفانی‌ترین روز سال ۱۴ تیر می‌باشد که در آن باد با سرعت متوسط ۴/۵ متر در ثانیه می‌وزد. در باقی اوقات یعنی از ۱۵ شهریور تا ۱ خرداد شاهرود، وزش ملایم باد را تجربه می‌کند. آرام‌ترین روز سال نیز ۱۷ آبان با سرعت متوسط باد ۳/۰ متر در ثانیه می‌باشد، شکل

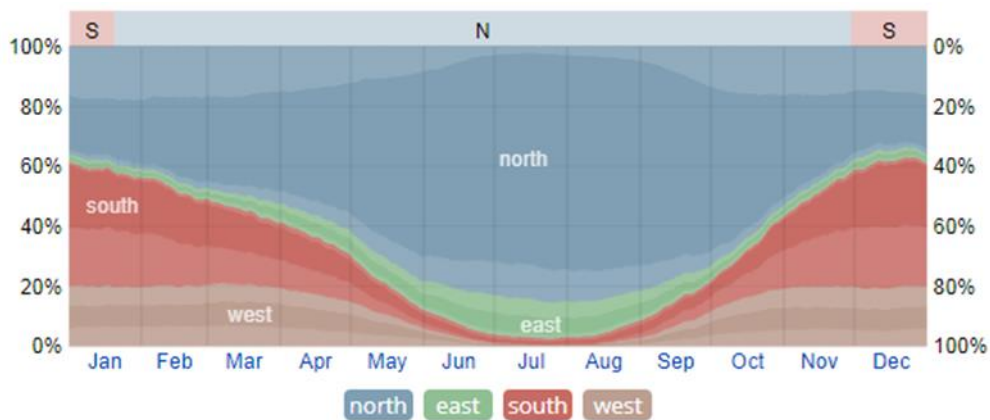
۳-۵.



شکل ۳-۵. میانگین سرعت باد (رنگ خاکستری تیره: میانگین ساعتی)، [۸۵].

۳-۳-۱-۴ جهت باد

جهت‌گیری میانگین ساعتی باد شاهرود در طول سال متفاوت است. باد غالب از سمت شمال به مدت ۱۰ ماه، از ۳۰ دی تا ۸ آذر می‌وزد که با ۸۵٪ بالاترین درصد در تاریخ ۴ مرداد است. باد غالب دیگر از سمت جنوب به مدت ۱/۷ ماه، از ۸ آذر تا ۳۰ دی می‌وزد که با ۴۱٪ بالاترین درصد در تاریخ ۱۱ دی می‌باشد، شکل ۳-۶.



شکل ۳-۶. جهت وزش باد، [۸۵].

۳-۴ معرفی سایت

مکان مورد مطالعه در این پژوهش، ساختمان مرکز کامپیوتر واقع در دانشگاه صنعتی شاهرود، می‌باشد که در غرب این شهرستان قرار دارد. شکل ۳-۷ موقعیت این ساختمان را نسبت به دانشگاه نشان می‌دهد.



شکل ۳-۷. موقعیت ساختمان مرکز کامپیوتر نسبت به دانشگاه، ماخذ: نگارنده.

۳-۴-۱ مشخصات ساختمان

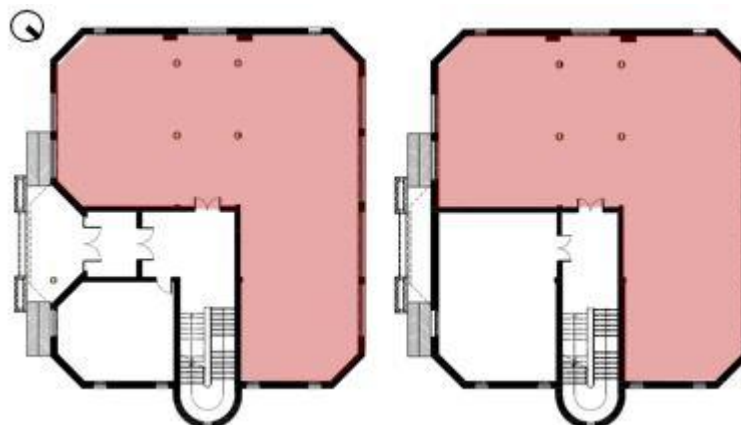
ساختمان مرکز کامپیوتر در قسمت شرقی سایت دانشگاه واقع شده است و شامل دوطبقه می باشد که در آن کاربران آقا و خانم به ترتیب در طبقات همکف و دوم به طور مجزا مشغول به فعالیت می باشند، اشکال ۳-۸، ۳-۹، ۳-۱۰. از خصوصیات مهم ساختاری آن می توان به سازه فلزی، دیوارهای ۳۵ سانتی متری آجر سفال به همراه ملات گچ و خاک به ضخامت ۲/۵ و ۰/۵ سانتی متر گچ و رنگ، سقف تیرچه بلوک و پنجره های پروفیل آلومینیومی با ارتفاع و O.K.B ۱/۵ متری در ابعاد مختلف، اشاره کرد. مساحت هر یک از سایت ها در جدول ۳-۲ نشان داده شده است.



شکل ۳-۸. تصاویری از ساختمان مرکز کامپیوتر، ماخذ: نگارنده.

جدول ۳-۲. ابعاد فضاهای مورد مطالعه، ماخذ: نگارنده.

ساختمان	نام فضا	مساحت (م ^۲)	ارتفاع داخلی طبقات (m)	O.K.B و ارتفاع پنجره (m)
مرکز کامپیوتر	سایت آقایان	۲۳۸/۱۳۵	۳/۱۰	۱/۵۰
	سایت خانمها	۲۳۹/۳۲۳		



شکل ۳-۹. پلان سایت آقایان (سمت چپ) و سایت خانمها (سمت راست)، ماخذ: نگارنده.



شکل ۳-۱۰. محیط تحقیق (بالا: سایت آقایان، پایین: سایت خانمها)، ماخذ: نگارنده.

سیستم گرمایش استفاده شده در فضا، از نوع فن کوئل سقفی می باشد، به گونه ای که موتورخانه آن به صورت مرکزی و خارج از ساختمان، آب گرم را به طبقات منتقل کرده و درانجا گرمای حاصل از آن توسط فن های موجود در سقف، به فضا فرستاده می شود. سرمایه ساختمان نیز به وسیله کولرهای آبی واقع در سقف، صورت می گیرد، شکل ۳-۱۱.



شکل ۳-۱۱. تاسیسات گرمایشی و سرمایشی ساختمان مرکز کامپیوتر، ماخذ: نگارنده.

۳-۵ تجهیزات و اندازه گیری پارامترهای محیطی

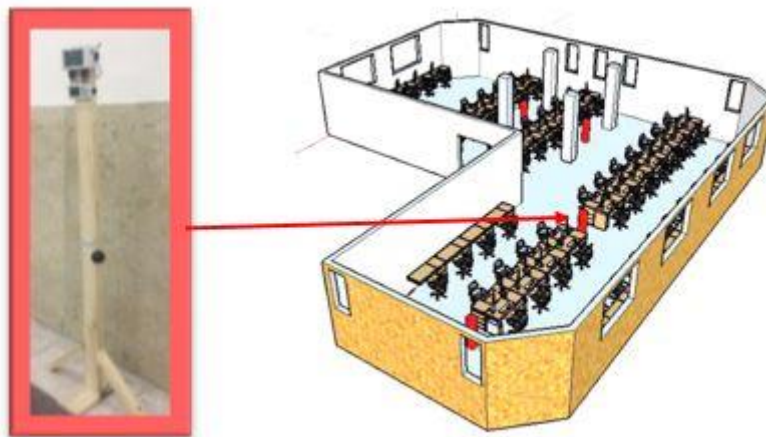
پارامترهای فیزیکی داخلی شامل دما، رطوبت، متوسط دمای تابشی و جریان هوا در بازه های زمانی نیم ساعته در هر سایت، توسط ابزارهای اندازه گیری، ثبت شده است. دقت هر یک از دستگاهها بر اساس استاندارد ایزو ۷۷۳۰ کنترل گردید و مشخصات آنها در جدول ۳-۳ نشان داده شده است.

جدول ۳-۳. مشخصات و میزان دقت تجهیزات، ماخذ: نگارنده.

پارامتر	دستگاه اندازه گیری	تعداد	دقت دستگاه
دمای خشک	۴ HOBO thermocouple Channels. UX۱۲۰-۰۱۴M	۸	Thermocouple °C۰/۶accuracy±
رطوبت نسبی	HOBO TEMP-RH UX۱۰۰-۰۰۳	۴	°C۵۰° to ۰°C from ۰/۲۱±
دمای کروی	۴ HOBO thermocouple Channels. UX۱۲۰-۰۱۴M	۸	Thermocouple °C۰/۶accuracy±
جریان هوا	CEM- ۳۸۸۰ST-۳۸۸۰	۲	±(۵%+۱d) reading or d) full scale ۱%+۱±(

۳-۵-۱ موقعیت قرارگیری تجهیزات

تجهیزات اندازه گیری هر یک از سایتها، در چهار زون مختلف و با ارتفاعهای ۰/۶ و ۱/۱ متر از سطح زمین در موقعیت‌های نمایش داده شده در شکل ۳-۱۲ جانمایی شده‌اند.



شکل ۳-۱۲. نحوه قرارگیری تجهیزات در هر سایت، ماخذ: نگارنده.

۳-۵-۲ جمع آوری همزمان اطلاعات اقلیمی

درجه حرارت در فضای باز به عنوان پارامتر ورودی در مدل‌های آسایش سازگار مورد نیاز است. از این رو و به جهت دستیابی به داده‌های فضای باز به صورت همزمان با برداشت داخلی، از ایستگاه هواشناسی خود شهرستان و همچنین ایستگاه واقع در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود که در نزدیکی سایت مورد پژوهش بود، توامان استفاده گردید. در ایستگاه دانشکده معماری و شهرسازی،

متغیرهای محیطی شامل دما، رطوبت و سرعت باد در مدت برداشت با استفاده از دستگاه هوبو ۳۰۰۰ RX- مطابق شکل ۳-۱۳ ثبت شد. مشخصات این دستگاه نیز در جدول ۳-۴ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۳-۱۳. نمایی از ایستگاه هواشناسی هوبو ۳۰۰۰ RX-، ماخذ: نگارنده.

جدول ۳-۴. مشخصات و میزان دقت ایستگاه هواشناسی هوبو-RX-۳۰۰۰، ماخذ: نگارنده.

متغیر اندازه‌گیری	بازه اندازه‌گیری	دقت اندازه‌گیری
دما	-۴۰°C to ۷۵°C	+/- ۰/۲۱°C from ۰° to ۵۰°C
رطوبت	۰-۱۰۰% RH	+/- ۲/۵% from ۱۰% to ۹۰% RH
سرعت باد	۰ to ۷۶ m/s	±۱/۱m/s

۳-۶ بررسی پرسشنامه آسایش حرارتی

پرسشنامه‌ها دو نوبت در روز در بازه زمانی (۱۰-۱۲ و ۱۴-۱۶)، به کاربران آقا و خانم بعد از حضور نیم‌ساعته آن‌ها در فضا، ارائه گردید، که حاصل آن به‌طور کلی ۶۱۶ بازخورد قابل قبول می‌باشد. تمامی سؤالات پرسشنامه بر اساس استانداردهای اشره (ASHRAE ۵۵) و ایزو (ISO ۷۷۳۰) طراحی شدند. منتخب برخی از سؤالات پرسشنامه‌ها به شرح زیر است:

جدول ۳-۵. پرسشنامه، ماخذ: نگارنده.

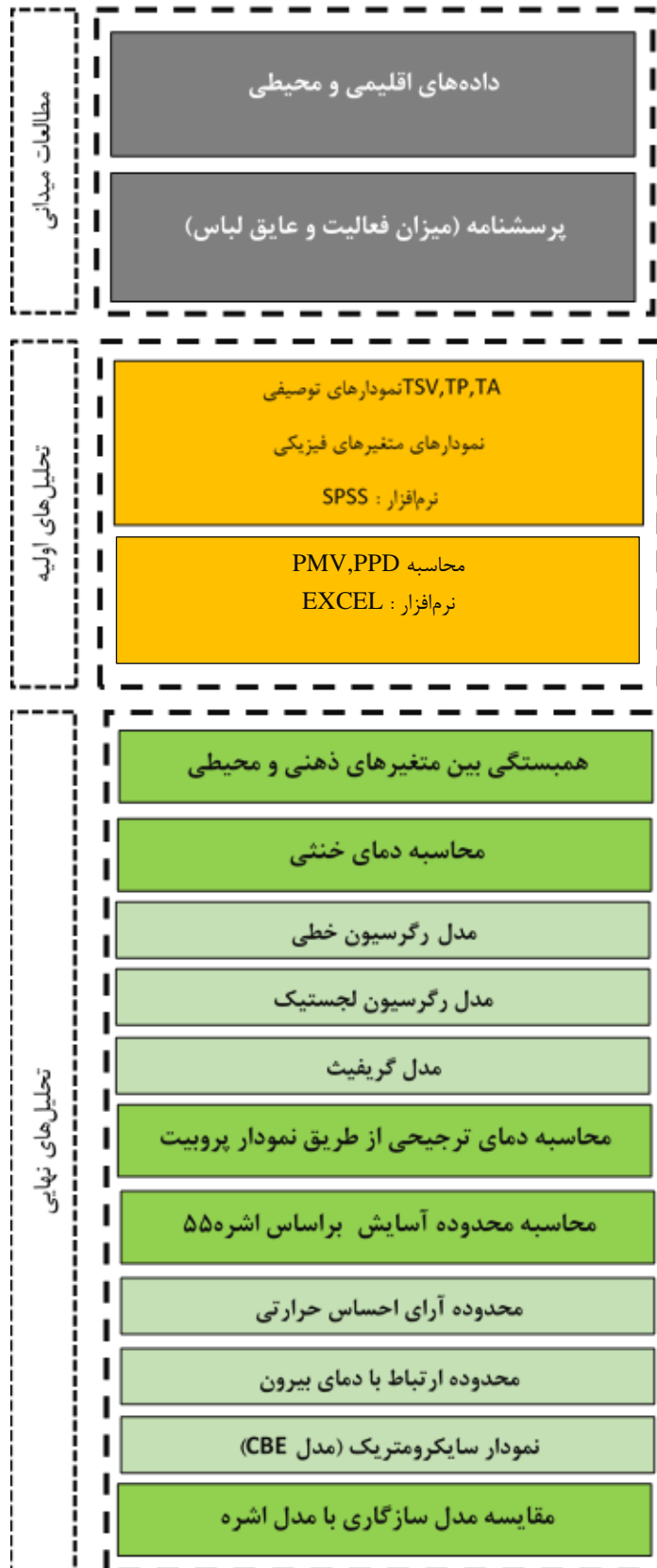
جنسیت	آقا <input type="checkbox"/> خانم <input type="checkbox"/>	زمان برداشت:
۱ فصل	بهار <input type="checkbox"/> تابستان <input type="checkbox"/> پاییز <input type="checkbox"/> زمستان <input type="checkbox"/>	
۲ نوع پوشش در حال حاضر	پیراهن آستین‌بلند <input type="checkbox"/> پیراهن آستین کوتاه <input type="checkbox"/> شلوار <input type="checkbox"/> کفش <input type="checkbox"/> صندل <input type="checkbox"/> جوراب <input type="checkbox"/> تی شرت <input type="checkbox"/> زیرپوش/تاپ <input type="checkbox"/> مانتو <input type="checkbox"/> مقنعه <input type="checkbox"/> چادر <input type="checkbox"/> پولیور <input type="checkbox"/> ژاکت <input type="checkbox"/> کاپشن <input type="checkbox"/> بارانی <input type="checkbox"/>	

۳	نوع فعالیت در حال حاضر	ایستاده <input type="checkbox"/> نشسته <input type="checkbox"/> نشسته با فعالیت کم <input type="checkbox"/> نشسته با فعالیت زیاد <input type="checkbox"/>
۴	احساس حرارتی حال حاضر	خیلی گرم <input type="checkbox"/> گرم <input type="checkbox"/> کمی گرم <input type="checkbox"/> خنثی <input type="checkbox"/> کمی خنک <input type="checkbox"/> سرد <input type="checkbox"/> خیلی سرد <input type="checkbox"/>
۵	ترجیح حرارتی	سردتر <input type="checkbox"/> بدون تغییر <input type="checkbox"/> گرمتر <input type="checkbox"/>
۶	رضایت از وضعیت حرارتی	بله <input type="checkbox"/> خیر <input type="checkbox"/>

۳-۷ پردازش داده‌ها و روش‌های آنالیز آماری

داده‌های اندازه‌گیری شده و ذهنی از طریق رویکردهای مختلفی که قبلاً شرح داده شد جمع‌آوری گردید. اطلاعات مربوط به آب‌وهوای داخل و خارج که در زمان بررسی موردسنجش قرار گرفت به ترتیب با استفاده از نرم‌افزار HOBO به کامپیوتر منتقل سپس به Microsoft Excel ۲۰۱۰ وارد گشت، تا امکان ذخیره‌سازی آنان فراهم شود. مجموعه داده‌ها بر اساس جنسیت (سایت)، تاریخ و زمان بررسی و فصل برداشت طبقه‌بندی شدند و پس‌از آن به محاسبه ورودی‌های حاصل از شرایط محیطی داخل و خارج، پاسخ‌های ذهنی، میزان عایق لباسی و فعالیت کاربران و همچنین شاخص‌های حرارتی در اکسل پرداخته شد. در این بین پرسشنامه‌های فاقد اعتبار به دلایل مختلف، از روند ارزیابی حذف شدند، داده‌های حاصل، با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی استاندارد و روش‌های تحلیل آماری رایج در مطالعات آسایش حرارتی در نرم‌افزار Microsoft Excel ۲۰۱۰، IBM SPSS® مورد ارزیابی قرار گرفتند که در فصل ۴ به تفصیل بیان شده است، در شکل ۳-۱۴ روش تحلیلی پژوهش به صورت دیاگرام بیان شده است.

شکل ۳-۱۴. دیاگرام روش تحلیل پژوهش، ماخذ: نگارنده.



فصل ۴: تجزیه و تحلیل یافته‌های پژوهش

۱-۴ مقدمه

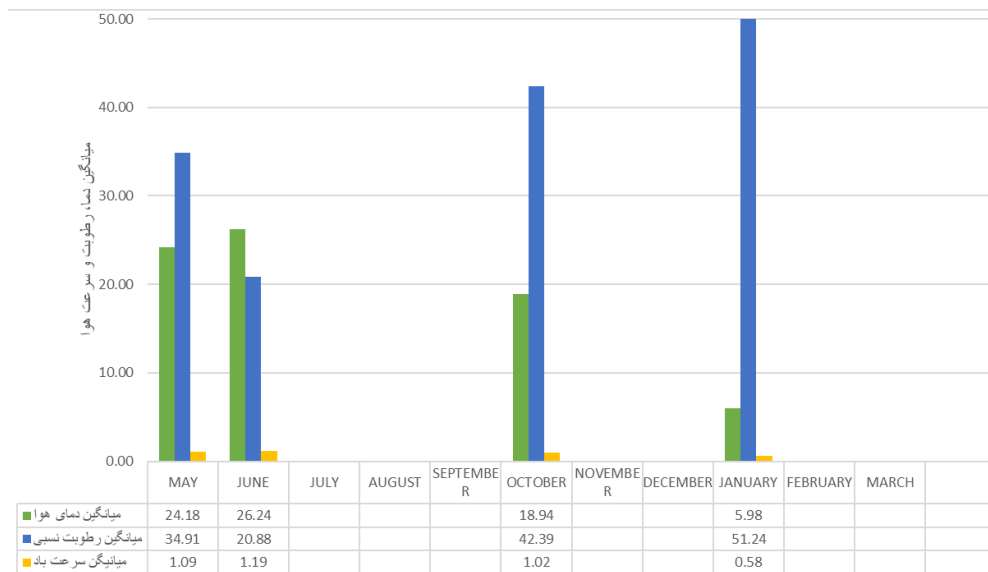
با پیشبرد فرآیندهای اندازه‌گیری و پرسشنامه‌ای و همچنین تعیین متغیرهای فردی با استفاده از رویکردهای توصیف‌شده در فصل ۳، به ارزیابی راحتی با به‌کارگیری روش‌های تحلیلی آماری معمول در مطالعات آسایش حرارتی، پرداختیم.

این فصل به دو بخش اصلی، ارزیابی مقدماتی فصل‌های گرم و سرد، به‌طور مجزا تقسیم شده است. به طوری که بخش اول به توصیف جامعه آماری و نتایج رویکردهای ذهنی و محیطی بررسی‌های میدانی برای هر یک از زیرمجموعه‌های فصلی در قالب ارزیابی محیط سایت و ادراکات حرارتی کاربران، می‌پردازد.

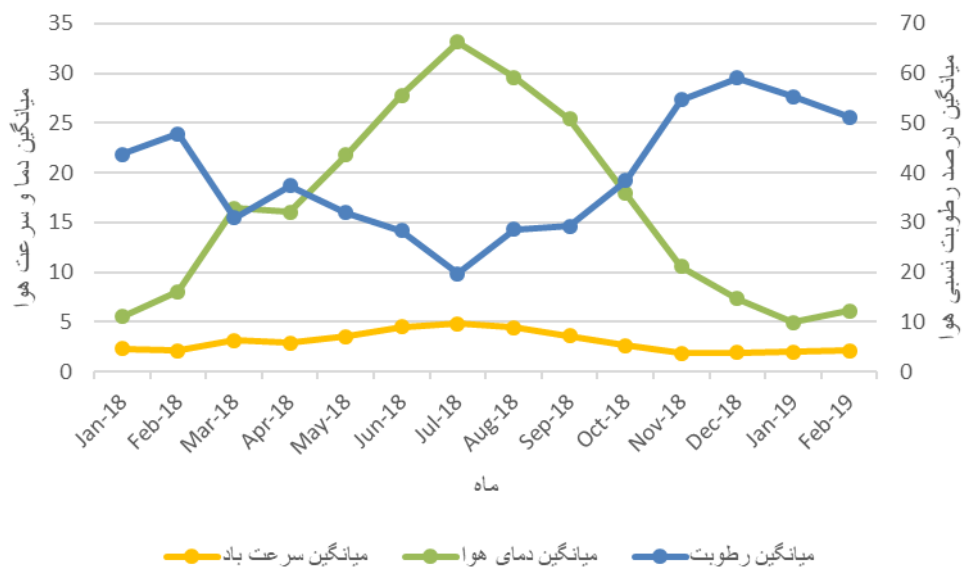
نتایج تحلیل‌ها در دو بخش ارائه شده است: ابتدا، خلاصه‌ای از وضعیت و شاخص‌های حرارتی محیط داخلی و در ادامه، ارزیابی ذهنی هر یک از سایت‌ها که شامل: احساس، ترجیح و مقبولیت حرارتی و همچنین همبستگی بین متغیرهای ذهنی و محیطی در کاربران آقا و خانم می‌باشد. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی و لجستیک جهت تعیین دمای خنثی و رگرسیون پروبیت برای تعیین دمای ترجیحی در هر دو سایت صورت گرفت.

۲-۴ اطلاعات اقلیمی

اطلاعات به‌دست‌آمده در این بخش، توسط ایستگاه‌های هواشناسی شاهرود (شکل ۴-۲) و دانشکده معماری و شهرسازی (شکل ۴-۱) هم‌زمان با زمان‌های برداشت محیط داخلی، گزارش شده است. مطابق اشکال ارائه شده میزان حداقل و حداکثر دمای هوا، در زمان‌های ذکر شده به ترتیب برابر با حدود ۶ درجه سانتی‌گراد در ماه بهمن و ۲۶/۲۳ درجه سانتی‌گراد در ماه تیر است. حداقل و حداکثر رطوبت نسبی به ترتیب برابر با ۲۰/۸۸ درصد در ماه تیر و ۵۱/۲۳ درصد در ماه بهمن می‌باشد. سرعت هوا همچنین در بهمن‌ماه به کمترین میزان خود یعنی ۰/۵۸ متر بر ثانیه و در تیرماه به بیشترین حد خود یعنی ۱/۲ متر بر ثانیه رسید.



شکل ۴-۱. نمودار اطلاعات اقلیمی ایستگاه هواشناسی دانشکده معماری و شهرسازی، ماخذ: نگارنده.



شکل ۴-۲. نمودار اطلاعات اقلیمی ایستگاه هواشناسی شهرستان شاهرود، ماخذ: نگارنده.

۳-۴ اندازه‌گیری‌های توصیفی

این بخش ملاحظات توصیفی داده‌های میدانی برداشت‌شده، شامل توزیع جامعه آماری و جنسیت را

موردبررسی ارائه می‌دهد.

۱-۳-۴ جامعه آماری

نمونه ارزیابی شده به طور کلی شامل ۶۱۶ پاسخ می باشد که از کاربران سالم بین ۱۸ تا ۳۴ ساله در دو سایت واقع در مرکز کامپیوتر دانشگاه صنعتی شاهرود، به عمل آمده است. مجموعه ای از ۲۴۲ پاسخ از کاربران در طی فصول گرم و ۳۷۴ پاسخ در طی فصول سرد می باشد و در این بین تعداد ۳۳۸ پاسخ از کاربران مرد و ۲۷۸ پاسخ از کاربران زن دریافت شده است. شکل ۴-۱ تعداد و جنسیت کاربران مورد نظر را در فصول گرم و سرد نشان می دهد.

جدول ۴-۱. تعداد جامعه آماری و جنسیت، ماخذ: نگارنده.

مجموع	فصول سرد		فصول گرم		
	زمستان	پاییز	تابستان	بهار	
۶۱۶	۱۳۹	۲۳۵	۱۱۵	۱۲۷	جامعه آماری
					جنسیت
۳۳۸	۱۲۲	۶۸	۸۲	۶۶	آقایان
۲۷۸	۱۱۳	۷۱	۴۵	۴۹	خانمها

قبل از ارزیابی، نظارتی کلی بر تمامی پرسشنامه های ارائه شده، انجام شد. در این بین مجموعه پرسشنامه هایی که دارای پاسخ های ناقص یا متناقض بودند از مابقی جدا شده و در فرآیند پژوهش مورد استفاده قرار نگرفتند تا اعتبار پاسخ ها تضمین شود.

۴-۴ شاخص های آسایش حرارتی در فصول گرم

جدول ۴-۲، آمار توصیفی از متغیرهای فیزیکی داخلی، خارجی و همچنین شاخص های آسایش حرارتی حین برداشت را در قالب حداقل حداکثر، میانگین و انحراف معیار هر یک از سایت ها را ارائه می دهد. جدول ۴-۲. خلاصه ای از وضعیت آب و هوای داخل و خارج و پارامترهای فردی کاربران در فصول گرم، ماخذ: نگارنده.

انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	تعداد		
۰/۵۰	۲۵/۵۰	۲۶/۸۴	۲۴/۷۵	۱۴۸	دمای عملکردی	سایت آقایان
۰/۴۷	۲۵/۵۸	۲۶/۸۶	۲۴/۸۱	۱۴۸	دمای تابشی	
۰/۵۶	۲۵/۴۳	۲۶/۸۲	۲۴/۵۴	۱۴۸	دمای هوای داخل	
۲/۱۷	۲۹/۴۹	۳۲/۴۰	۲۵/۶۷	۱۴۸	دمای هوای خارج	

۴/۱۶	۳۸/۹۷	۴۶/۹۱	۳۰/۶۱	۱۴۸	رطوبت نسبی	
۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۰۰	۱۴۸	جریان هوا	
۰/۱۲	۰/۵۵	۱/۱۶	۰/۳۴	۱۴۸	میزان پوشش	
۰/۰۰	۱/۲۰	۱/۲۰	۱/۲۰	۱۴۸	میزان فعالیت	
۱/۱۲	۰/۵۰	+۳	-۳	۱۴۸	TSV	
۰/۲۶	-۰/۰۸	۰/۷۸	-۰/۶۷	۱۴۸	PMV	
۲/۳۴	۶/۶۱	۱۷/۹۰	۵/۰۰	۱۴۸	PPD	
۰/۹۴	۲۷/۵۰	۲۹/۰۵	۲۶/۰۵	۹۴	دمای عملکردی	سایت خانمها
۰/۹۵	۲۷/۵۴	۲۹/۱۰	۲۶/۱۳	۹۴	دمای تابشی	
۰/۹۴	۲۷/۴۵	۲۸/۹۹	۲۵/۹۱	۹۴	دمای هوای داخل	
۲/۲۰	۲۹/۴۹	۳۲/۴۰	۲۵/۶۷	۹۴	دمای هوای خارج	
۲/۳۸	۳۵/۴۸	۳۸/۹۶	۳۲/۱۹	۹۴	رطوبت نسبی	
۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۲۸	۰/۰۰	۹۴	جریان هوا	
۰/۱۹	۰/۹۹	۱/۶۱	۰/۷۶	۹۴	میزان پوشش	
۰/۰۰	۱/۲۰	۱/۲۰	۱/۲۰	۹۴	میزان فعالیت	
۱/۰۵	۰/۷۴	+۱	-۳	۹۴	TSV	
۰/۲۶	۱/۰۸	۱/۷۳	۰/۶۵	۹۴	PMV	
۱۱/۸۷	۳۰/۹۷	۶۳/۴۰	۱۳/۹۰	۹۴	PPD	

PMV، PPD و TSV برای هر فرد به‌طور مجزا محاسبه شده است.

همان‌طور که در جدول دیده می‌شود، دمای عملکردی (Top) در سایت آقایان و خانمها به ترتیب در محدوده‌های (۲۴/۷۵ تا ۲۶/۸۴) و (۲۶/۰۵ تا ۲۹/۰۵) درجه سانتی‌گراد با میانگین‌های ۲۵/۵ و ۲۷/۵ درجه سانتی‌گراد با انحراف معیارهای ۰/۵ و ۰/۹ می‌باشند. بین دمای هوای داخل ساختمان و دمای عملکردی اختلاف بسیار کمی وجود دارد که این بیانگر اثر ناچیز دمای تابشی در سایت‌هاست. سرعت هوا در محدوده سایت‌های آقایان و خانمها به ترتیب از (۰/۰۰ تا ۰/۲) و (۰/۰۰ تا ۰/۲۸) ms^{-1} و متوسط ۰/۱۴ و ۰/۱۲ ms^{-1} است. رطوبت نسبی نیز به ترتیب در بازه‌های (۳/۶۱ تا ۴۶/۹۱)٪ و (۳۸/۹۶ تا ۳۲/۱۹)٪ و میانگین‌های (۳۸/۹۷ تا ۳۵/۴۸)٪ می‌باشد و دمای متوسط خارجی نیز در هنگام برداشت برابر با ۲۹/۵ درجه سانتی‌گراد با حداکثر دمای ۳۲/۴ درجه سانتی‌گراد و حداقل دمای ۲۵/۶۷ درجه سانتی‌گراد گزارش شد.

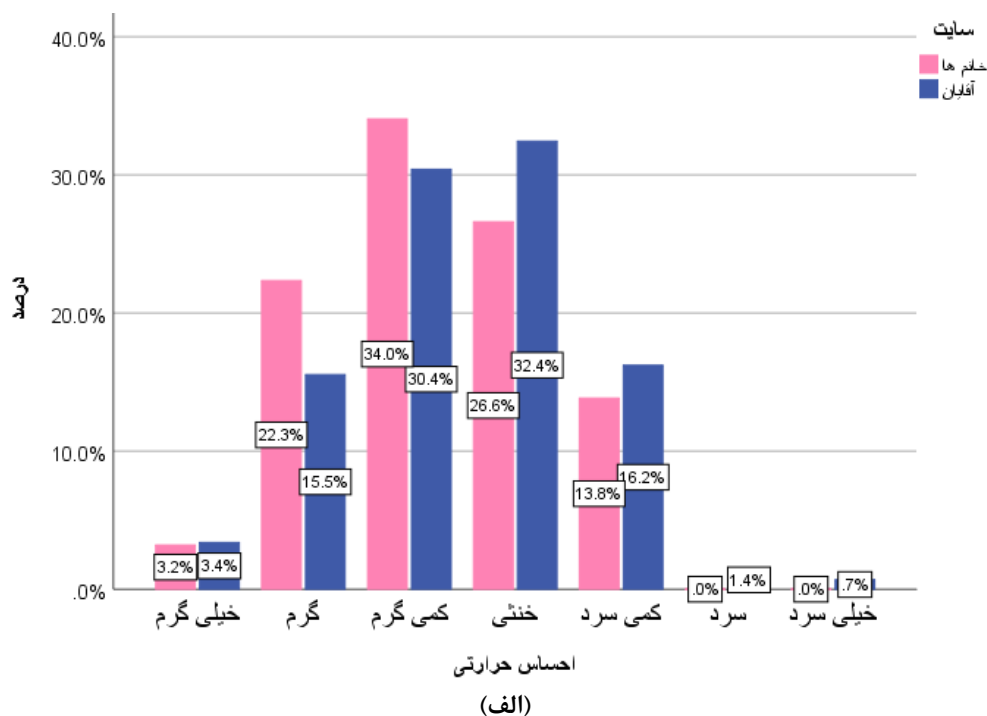
متوسط ضریب لباس کاربران مرد و زن به ترتیب ۰/۵۵ و ۱۰/۹۹ است که با میانگین تخمینی ارائه شده توسط [۳۹] در ادارات ایران با میزان ۰/۷۰ و ۱۰/۷۵ به ترتیب برای آقایان و خانمها متفاوت می باشد. باین حال، با مقایسه عایق لباس تخمین زده شده در استانداردها برای پوشش مرسوم اداری در تابستان، با تحقیق حاضر، درمی یابیم که باوجود انطباق پوشش آقایان، خانمها حدود ۱۰/۵ بالاتر گزارش شده اند [۴، ۲۱]. میزان متابولیسم کاربران نیز همان طور که در استانداردهای معمول برای فعالیت های نشسته اداری پیشنهاد می شود $1/2 \text{ MET}$ در نظر گرفته شد [۴، ۲۱].

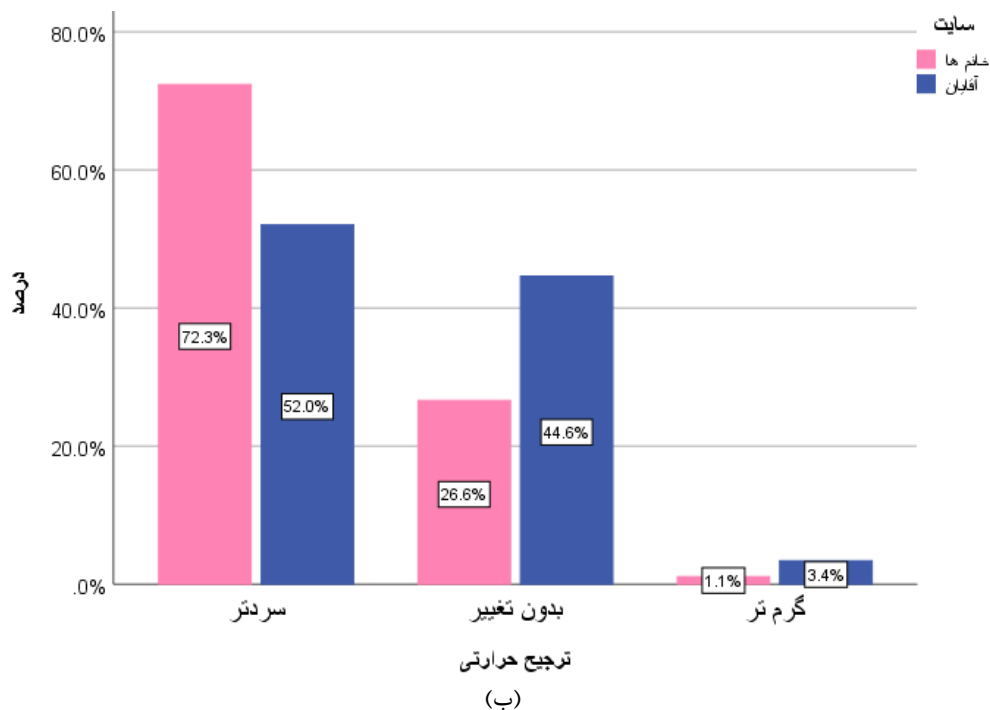
خلاصه آماری از شاخص های آسایش حرارتی (جدول ۴-۲) نشان می دهد که آرای احساس حرارتی (TSV) کاربران آقا و خانم به ترتیب بین (-۳ تا +۳) و (-۱ تا +۳) و میانگین های ۰/۵ و ۰/۷۵ با انحراف معیارهای ۱/۱ و ۱ می باشد که در محدوده کمی خنک قرار دارد. میانگین PMV محاسبه شده برای هر یک از سایتها در بخش آقایان -۰/۰۸ و بین (-۰/۶۷ تا ۰/۷۸) با انحراف معیار ۰/۲۶ متغیر بوده است، در بخش خانمها نیز میانگین PMV برابر با ۱/۰۸ در بازه بین (۰/۶۵ تا ۱/۷۳) با انحراف معیار ۰/۲۶ بود که در مقایسه PMV با، میانگین TSV شاهد اختلافی در حدود ۰/۵۸ واحد در کاربران مرد و ۰/۳۳ واحد در کاربران زن می باشیم، به این معنی که مقادیر TSV و PMV در سایت آقایان، بودن در شرایط خنثی را گزارش می دهند ولی کاربران خانم، مقدار TSV خود را تقریباً کمی گرم اعلام کردند در حالی که PMV پیش بینی شده برای آنها شرایط گرم را پیش بینی می کند. شاخص PPD نیز پیش بینی کرد که (۶/۶۱ و ۳۰/۹٪) از کاربران مرد و زن به طور متوسط از محیط حرارتی خود ناراضی هستند؛ این در حالیست که PPD محاسبه شده برای آنان به ترتیب بین (۵ تا ۱۷/۹٪) و (۱۳/۹ تا ۶۳/۴٪) متغیر می باشد.

۴-۵ بررسی‌های ذهنی محیط حرارتی داخلی در فصول گرم

۴-۵-۱ احساس و ترجیح حرارتی

شکل ۳-۴ توزیع آماری احساس و ترجیح حرارتی کاربران را نشان می‌دهد. TSV احساس گرما یا سرما را بر اساس رتبه‌بندی هفتگانه اشهره، از خیلی سرد (۳-) تا خیلی گرم (۳+) و خنثی (۰)، بیان می‌کند [۲۶]. در این پژوهش، آرای احساس حرارتی برای کاربران مرد و زن به ترتیب برابر با ۳۲/۴٪ و ۲۶/۶٪ در حالت خنثی بود. این در حالیست که سهم آرا در مقیاس‌های "کمی گرم، گرم، بسیار گرم" در سایت آقایان و خانم‌ها به ترتیب: (۳۰/۴، ۱۵/۵، ۳/۴)٪ و (۳۴، ۲۲/۳، ۳/۲)٪ بوده است. در این بین سهم آرای مقیاس‌های "کمی سرد، سرد، بسیار سرد" نیز در سایت آقایان و خانم‌ها به ترتیب: (۱۶/۲، ۱/۴، ۰/۷)٪ و (۱۳/۸، ۰، ۰)٪ گزارش شده است.





شکل ۳-۴. الف) آرای احساس حرارتی، ب) آرای ترجیح حرارتی کاربران در فصول گرم، ماخذ: نگارنده.

توزیع TSV ها نشان می‌دهد که کاربران هر دو سایت وضعیت خود را اغلب گرم‌تر از حالت خنثی ارزیابی کرده‌اند، و با توزیع نمودار ترجیح حرارتی که در آن کاربران شرایطی سردتر را خواستار بودند، منطبق می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۲-۴ (ب) نشان داده شده است، تعداد قابل توجهی از کاربران مرد و زن به ترتیب (۵۲ و ۷۲/۳)٪ خواستار محیطی سردتر، (۴۴/۶ و ۲۶/۶)٪ خواستار محیط بدون تغییرات دمایی بوده و درصد ناچیزی هم میل به گرم‌تر شدن محیط داشتند. تمایل عمومی کاربران به سردتر بودن محیط نسبت به حالت خنثی، به فصل برداشت یعنی مدت‌زمان بین بهار تا تابستان مربوط می‌شود [۲۶].

جدول ۳-۴ بیانگر رابطه میان آرای حاصل از مقیاس احساس حرارتی با ترجیحات حرارتی کاربران مرد و زن در فصول گرم می‌باشد. این جدول نشان می‌دهد که درصد آراء افراد در سه دسته مرکزی رتبه‌بندی احساس حرارتی (+۱ و ۰ و -۱) بالاتر از درصد آرای آنان در حالت "بدون تغییر" است. از نظر کاربران مقیاس کمی سرد، خنثی یا کمی گرم احساس حرارتی در بخش آقایان و خانم‌ها به ترتیب ۷۹/۱ و ۷۴/۵٪ است و ۴۴/۶٪ و ۲۶/۶٪ افراد شرایط "بدون تغییر" را ترجیح دادند و این در حالیست که

۵۲٪ و ۷۲/۳٪ افراد تمایل به سردتر شدن محیط داشتند. این موضوع نشان‌دهنده آنست که در سه دسته مرکزی احساس حرارتی، شرایط مطلوب برای تمامی افراد در فصول گرم ایجاد نمی‌شود. مطابق با جدول ۳-۴، روند آرای ترجیح حرارتی در برابر احساس حرارتی بیانگر تمایل اکثریت کاربران به محیط سردتر می‌باشد.

جدول ۳-۴. درصد و مقادیر احساس حرارتی با ترجیح حرارتی، ماخذ: نگارنده.

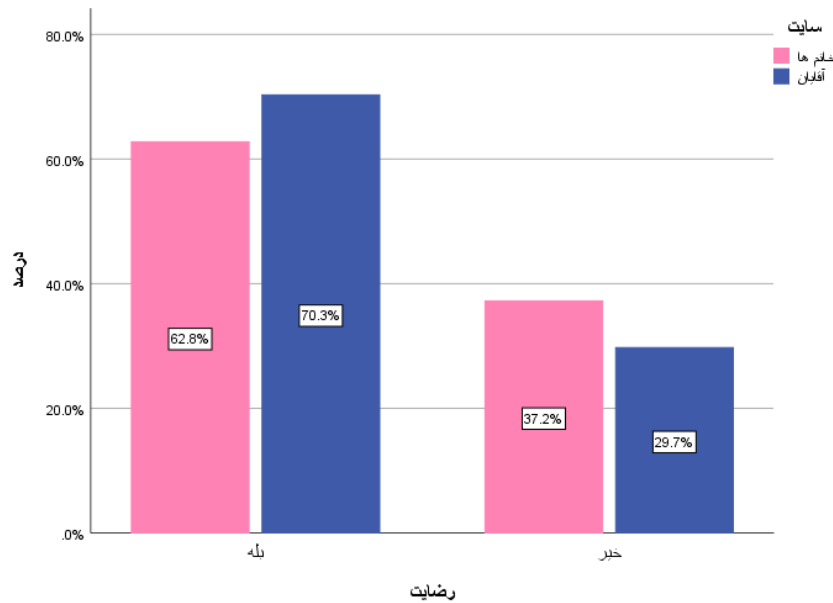
مجموع	TSV آرای احساس حرارتی* ()			ترجیح حرارتی	آقایان
	(+۲ و +۳)	(+۱ و ۰ و -۱)	(-۲ و -۳)		
۵(۳٪/۴)	۲(۱٪/۴)	۳(۲٪)	۰(۰٪)	گرم‌تر	ترجیح حرارتی
۶۶(۴۴٪/۱۶)	۱(۰٪/۷)	۶۵(۴۳٪/۱۹)	۰(۰٪)	بدون تغییر	
۷۷(۵۲٪)	۰(۰٪)	۴۹(۳۳٪/۱۱)	۲۸(۱۸٪/۹)	سردتر	
۱۴۸(۱۰۰٪)	۳(۲٪)	۱۱۷(۷۹٪/۱۱)	۲۸(۱۸٪/۹)	مجموع	
(۱٪/۱)۱	(۰٪)۰	(۱٪/۱)۱	(۰٪)۰	گرم‌تر	ترجیح حرارتی
(۲۶٪/۱۶)۲۵	(۰٪)۰	(۲۶٪/۱۶)۲۵	(۰٪)۰	بدون تغییر	
(۷۲٪/۳)۶۸	(۰٪)۰	(۴۶٪/۱۸)۴۴	(۲۵٪/۵)۲۴	سردتر	
(۱۰۰٪)۹۴	(۰٪)۰	(۷۴٪/۱۵)۷۰	(۲۵٪/۵)۲۴	مجموع	

توجه: * کدهای مورداستفاده در TSV عبارت‌اند از: خیلی سرد (-۳)، سرد (-۲)، کمی سرد (-۱)، خنثی (۰)، کمی گرم (+۱)، گرم (+۲)، بسیار گرم (+۳)

۲-۵-۴ مقبولیت حرارتی

جهت تعیین میزان رضایت و مقبولیت کاربران از محیط حرارتی در هنگام برداشت، از سه روش متفاوت استفاده گردید.

رویکرد اول: در این رویکرد از کاربران خواسته شد تا پاسخی مستقیم در قالب بله/خیر به این پرسش که آیا از دمای فعلی خود رضایت دارند، بدهند. پاسخ‌های جمع‌آوری شده در سایت آقایان و خانم‌ها به ترتیب نشان‌دهنده ۷۰/۳٪، ۶۲/۸٪ رضایت و ۲۹/۷٪، ۳۷/۲٪ عدم رضایت کاربران بوده است (شکل ۴-۴).



شکل ۴-۴. درصد پاسخ‌های مستقیم میزان رضایت کاربران در فصول گرم، ماخذ: نگارنده.

رویکرد دوم: در این رویکرد افرادی که به "بدون تغییر" در پرسش ترجیح حرارتی رأی مثبت دادند در نظر گرفته می‌شوند، به این معنی که از شرایط حرارتی خود رضایت دارند. جدول متقاطع ۴-۵ مقبولیت حرارتی و مقیاس ترجیح حرارتی را نشان می‌دهد که بر اساس این روش، ۴۴/۶ و ۲۶/۶٪ از کاربران مرد و زن به ترتیب، وضعیت بدون تغییر، ۵۵/۴ و ۷۳/۴٪ نیز به دنبال تغییر دما با رأی دادن به سردتر (۵۲ و ۷۲/۳) و یا گرم‌تر شدن محیط (۳/۴ و ۱/۱٪) ابراز نارضایتی کردند. این جدول همچنین نشان می‌دهد که از تمام کاربران حاضر در نظرسنجی ۲۷/۷٪ از آقایان و ۳۶/۲٪ از خانم‌ها، با وجود اعلام رضایت از شرایط حرارتی، به سردتر یا گرم‌تر شدن محیط رأی دادند.

جدول ۴-۴. درصد و مقادیر آرای ترجیح حرارتی با مقبولیت حرارتی، ماخذ: نگارنده.

مجموع	آرای ترجیح حرارتی			رضایت	
	سردتر	بدون تغییر	گرم‌تر		
(۷۰٪/۳)۱۰۴	(۲۵٪/۷)۳۸	(۴۲٪/۶)۶۳	(۲٪)۳	رضایت	آقایان
(۲۹٪/۷)۴۴	(۲۶٪/۴)۳۹	(۲٪)۳	(۱٪/۴)۲	عدم رضایت	
(۱۰۰٪)۱۴۸	(۵۲٪)۷۷	(۴۴٪/۶)۶۶	(۳٪/۴)۵	مجموع	
(۶۲٪/۱۸)۵۹	(۳۵٪/۱)۳۳	(۲۶٪/۶)۲۵	(۱٪/۱)۱	رضایت	خانم‌ها
(۳۷٪/۱۲)۳۵	(۳۷٪/۱۲)۳۵	(۰٪)۰	(۰٪)۰	عدم رضایت	
(۱۰۰٪)۹۴	(۷۲٪/۳)۶۸	(۲۶٪/۶)۲۵	(۱٪/۱)۱	مجموع	

همان‌طور که در جدول ۴-۴ پیداست، اکثر کاربرانی که به "بدون تغییر" رأی دادند، از شرایط راضی بودند، این در حالیست که، افرادی نیز وجود داشتند که با وجود اعلام نارضایتی از محیط، قصد اعمال تغییر نیز در آن نداشتند. با نگاهی دقیق‌تر می‌توان دید که درصد افرادی که تمایل به سردتر یا گرم‌تر شدن محیط داشتند بیشتر از کسانی بود که به‌طور مستقیم حالت عدم رضایت خود را نشان دادند. درصد مقبولیت حاصل از آرای "بدون تغییر" در سایت آقایان و خانم‌ها به ترتیب ۴۴/۶ و ۲۶/۶٪ می‌باشد که کمتر از درصد افرادیست که از طریق رویکرد پاسخ مستقیم ۷۰/۳ و ۶۲/۸٪ رضایت خود را اعلام نمودند.

رویکرد سوم: این رویکرد بر اساس درصد پذیرش حرارتی افرادیست که برای سه دسته مرکزی مقیاس اشره تحت عنوان: کمی سرد، خنثی یا کمی گرم رأی داده‌اند. بنابراین، کاربرانی که به خیلی سرد (۳-)، سرد (۲-)، گرم (۲+) و خیلی گرم (۳+) رأی مثبت دادند، از لحاظ حرارتی، نارضی محسوب شدند [۴]، [۲۱] بر این اساس، ۷۷/۳ درصد از کاربران به سه دسته مرکزی مقیاس اشره رأی دادند، در حالی که ۲۲/۷ درصد که به (۲+ و ۳+) و (۳- و ۲-) رأی عدم رضایت به شرایط حرارتی سایت داده‌اند (جدول ۵-۴).

در رابطه با این جدول اگرچه بخش بزرگی از کاربران (۷۷/۳٪) به سه دسته مرکزی مقیاس اشره رأی دادند، با این وجود، هنوز هم ۱۵/۳٪ آن‌ها در همین بازه، به‌صراحت ابراز نارضایتی خود را در قالب پاسخ مستقیم به مقبولیت ارائه کردند. از طرفی دیگر نیز افرادی نیز بوده‌اند که با وجود قرار گرفتن در بازه‌های سرد و خیلی سرد و همچنین گرم و خیلی گرم بازهم در پاسخ مستقیم مقبولیت رضایت خود را از شرایط اعلام نمودند.

جدول ۴-۵. جدول متقاطع مقبولیت حرارتی و آرای احساس حرارتی در فصول گرم، ماخذ: نگارنده.

مجموع	(آرای احساس حرارتی TSV*)				
	(-۲ و -۳)	(+۱ و ۰ و -۱)	(-۲ و -۳)		
(۷۰٪/۳)۱۰۴	(۱٪/۴)۲	(۶۵٪/۵)۹۷	(۳٪/۴)۵	رضایت	آقایان
(۲۹٪/۷)۴۴	(۰٪/۷)۱	(۱۳٪/۵)۲۰	(۱۵٪/۵)۲۳	عدم رضایت	
(۱۰۰٪)۱۴۸	(۲٪)۳	(۷۹٪/۱)۱۱۷	(۱۸٪/۹)۲۸	مجموع	
(۶۲٪/۸)۵۹	(۰٪)۰	(۵۶٪/۴)۵۳	(۶٪/۴)۶	رضایت	خانمها
(۳۷٪/۲)۳۵	(۰٪)۰	(۱۸٪/۱)۱۷	(۱۹٪/۱)۱۸	عدم رضایت	
(۱۰۰٪)۹۴	(۰٪)۰	(۷۴٪/۵)۷۰	(۲۵٪/۵)۲۴	مجموع	

توجه: * کدهای مورد استفاده در TSV عبارتند از: خیلی سرد (-۳)، سرد (-۲)، کمی سرد (-۱)، خنثی (۰)، کمی گرم (+۱)، گرم (+۲)، بسیار گرم (+۳)

۳-۵-۴ همبستگی بین متغیرهای ذهنی و محیطی

در جدول ۴-۶ به بیان میزان رابطه و همبستگی بین متغیرهای فیزیکی اندازه‌گیری شده محیط و متغیرهای ذهنی آسایش پرداختیم. در این جدول میزان و شدت همبستگی‌ها در قالب طیف رنگی مشخص ارائه شده است، به گونه‌ای که هرچه شدت رابطه بین متغیرها قوی‌تر باشد، بارنگ‌های تیره‌تری در هر طیف نشان داده شده‌اند.

همبستگی پیرسون^۱ برای ارزیابی میزان شدت رابطه در بازه -۱ تا +۱، بین متغیرهای کمی (فاصله‌ای^۲) محیطی همچون: دمای داخلی، دمای خارجی، رطوبت، سرعت هوا، اجرا شد. نتایج هر همبستگی در جدول ۴-۶ خلاصه شده است که شامل ضریب همبستگی، معناداری و تعداد مشاهدات می‌باشد.

بر اساس نتایج جدول پایین، رابطه بین دمای عملکردی با دمای هوای خارج مثبت، شدت رابطه ضعیف و معنادار است ($p < 0/00$, $r = 0/222$)، رابطه بین دمای عملکردی با رطوبت نسبی منفی، شدت رابطه متوسط و معنادار است ($p < 0/00$, $r = -0/569$)، رابطه بین دمای عملکردی با سرعت هوا منفی، شدت رابطه ضعیف و معنادار نیست ($p > 0/00$, $r = -0/057$)، رابطه دمای هوای خارج با رطوبت نسبی منفی، شدت رابطه ضعیف و معنادار نیست ($p > 0/00$, $r = -0/166$)، رابطه دمای هوای خارج با سرعت هوا

^۱ Pearson correlation
^۲ interval

مثبت، شدت رابطه متوسط و معنادار است ($p < 0/00, r = 0/412$)، رابطه رطوبت نسبی با سرعت هوا مثبت، شدت رابطه متوسط و معنادار است ($p < 0/00, r = 0/324$).

همبستگی کندال تائو بی^۱، برای ارزیابی میزان شدت رابطه در بازه ۱- تا ۱+، بین متغیرهای رتبه‌ای^۲ همچون: ترجیح و مقبولیت حرارتی اجرا شد. استفاده از نوع "بی" آن نیز به دلیل برابر بودن تعداد سطوح رتبه‌بندی دو متغیر می‌باشد. مطابق جدول ۴-۶، نتایج حاصل بین متغیر ترجیح و مقبولیت حرارتی بیانگر، رابطه‌ای معکوس با شدت متوسط و معنادار ($p < 0/00, \text{kendall's tau B} = -0/404$) می‌باشد.

همبستگی کندال تائو سی^۲، نیز همانند همبستگی تائو بی بوده با این تفاوت که تعداد سطوح رتبه‌بندی دو متغیر برابر نمی‌باشد. مطابق جدول ۴-۶، نتایج حاصل بین متغیر احساس با ترجیح حرارتی، بیانگر، رابطه‌ای معکوس با شدت متوسط و معنادار ($p < 0/00, \text{kendall's tau B} = -0/577$) می‌باشد به این معنی که با افزایش رتبه حرارتی، افراد تمایل به سردتر شدن محیط خود دارند. همبستگی بین متغیر احساس با مقبولیت حرارتی اما، بیانگر، رابطه‌ای مستقیم با شدت متوسط و معنادار ($\text{kendall's tau} = 0/378, p < 0/00$) می‌باشد، به طوری که با افزایش رتبه احساس حرارتی کاربران رضایت افراد نیز، بیشتر می‌باشد.

همبستگی اتا^۴ برای ارزیابی میزان شدت رابطه در بازه ۰ تا ۱+، بین متغیرهای فاصله‌ای (وابسته) با رتبه‌ای (مستقل) اجرا شد، که در آن درصدی از تغییرات متغیرهای وابسته توسط متغیرهای مستقل به صورت غیرخطی، بیان می‌شوند. مطابق جدول ۴-۶، نتایج حاصل بین متغیر دمای عملکردی و احساس حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت متوسط ($\text{Eta} = 0/489$)، بین متغیر دمای عملکردی و ترجیح حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت متوسط ($\text{Eta} = 0/457$)، بین متغیر دمای عملکردی و مقبولیت حرارتی بیانگر،

Kendall's Tau b correlation^۱
ordinal^۲

Kendall's Tau c correlation^۳
Eta correlation^۴

رابطه‌ای با شدت متوسط ($\text{Eta}=0/394$)، بین متغیر دمای هوای خارج و احساس حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت ضعیف ($\text{Eta}=0/310$)، بین متغیر دمای هوای خارج و ترجیح حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت ضعیف ($\text{Eta}=0/244$)، بین متغیر دمای هوای خارج و مقبولیت حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت ضعیف ($\text{Eta}=0/249$)، بین متغیر سرعت هوا و احساس حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت متوسط ($\text{Eta}=0/366$)، بین متغیر سرعت هوا و ترجیح حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت ضعیف ($\text{Eta}=0/329$)، بین متغیر سرعت هوا و مقبولیت حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت ضعیف ($\text{Eta}=0/313$)، بین متغیر رطوبت نسبی و احساس حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت متوسط ($\text{Eta}=0/405$)، بین متغیر رطوبت نسبی و ترجیح حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت متوسط ($\text{Eta}=0/368$)، بین متغیر رطوبت نسبی و مقبولیت حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت متوسط ($\text{Eta}=0/333$)، است.

در مقایسه با دمای عملکردی، رطوبت نسبی هوا، تأثیر کم تری بر احساس حرارتی کاربران دارد. جریان هوا و دمای هوای بیرون نیز ارتباط نسبتاً ضعیفی را با TSV گزارش می‌کنند، که این به دلیل حضور منفعلانه کاربران در سایت‌ها به لحاظ محدودیت‌های پوششی و همچنین عدم دسترسی مناسب به بازشوها می‌باشد. از میان متغیرهای ذهنی، TSV ارتباط بیشتری با دمای عملکردی دارد. همان‌طور که [17] بیان می‌کنند، مؤثرترین شاخص آن است که همبستگی قوی‌تری نسبت به پاسخ‌های داده‌شده داشته باشد. که همبستگی بین آرای احساس حرارتی و دمای عملکردی بیشتر از سایر متغیرهای حرارتی بود. به جز دمای هوا داخلی که ضریب همبستگی مشابه با آرای احساس حرارت کاربران داشت. در این راستا با استفاده از مربع ضریب همبستگی (r^2) به برآورد میزان تأثیر متغیر توضیح داده شده توسط دیگران می‌پردازیم [17] بنابراین، همبستگی بین دمای عملکردی در سایت‌ها و آرای احساس حرارتی هر کاربر، نشان می‌دهد که حدود $r^2 = 24\%$ از تغییرات در احساس حرارتی، مربوط به تغییرات دمای عملکردی می‌باشد.

جدول ۴-۶. همبستگی متغیرهای ذهنی و محیطی، ماخذ: نگارنده.

		TSV	TP	TA	T _{op}	T _{out}	V _a	RH
TSV	Correlation coefficient	۱						
	Sig. (۲-tailed)					همبستگی	شدت	
	N	۲۴۲				Pearson		
TP	Correlation coefficient	- ۰/۵۷۷	۱			Kendall's tau-c		
	Sig. (۲-tailed)	۰۰۰.				Kendall's tau-b		
	N	۲۴۲	۲۴۲			Eta		
TA	Correlation coefficient	۰/۳۷۸	۰/۴۰۴-	۱				
	Sig. (۲-tailed)	۰۰۰.	۰۰۰.					
	N	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲				
T _{op}	Correlation coefficient	۰/۴۸۹	۰/۴۵۷	۰/۳۹۴	۱			
	Sig. (۲-tailed)	-	-	-				
	N	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲			
T _{out}	Correlation coefficient	۰/۳۱۰	۰/۲۴۴	۰/۲۴۹	۰/۲۲۲	۱		
	Sig. (۲-tailed)	-	-	-	۰۰۰.			
	N	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲		
V _a	Correlation coefficient	۰/۳۶۶	۰/۳۲۹	۰/۳۱۳	- ۰/۰۵۷	۰/۴۱۲	۱	
	Sig. (۲-tailed)	-	-	-	۳۷۵.	۰۰۰.		
	N	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲	
RH	Correlation coefficient	۰/۴۰۵	۰/۳۶۸	۰/۳۳۳	- ۰/۵۶۹	- ۰/۱۶۶	۰/۳۲۴	۱
	Sig. (۲-tailed)	-	-	-	۰۰۰.	۰۱۰.	۰۰۰.	
	N	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲

۴-۵-۴ دمای خنثی

در این بخش با استفاده از روش‌های تحلیل‌های رگرسیونی (خطی و غیرخطی) و گریفیت، به تعیین دمای خنثی (مطلوب) برای کاربران آقا و خانم موجود در دو سایت پرداختیم.

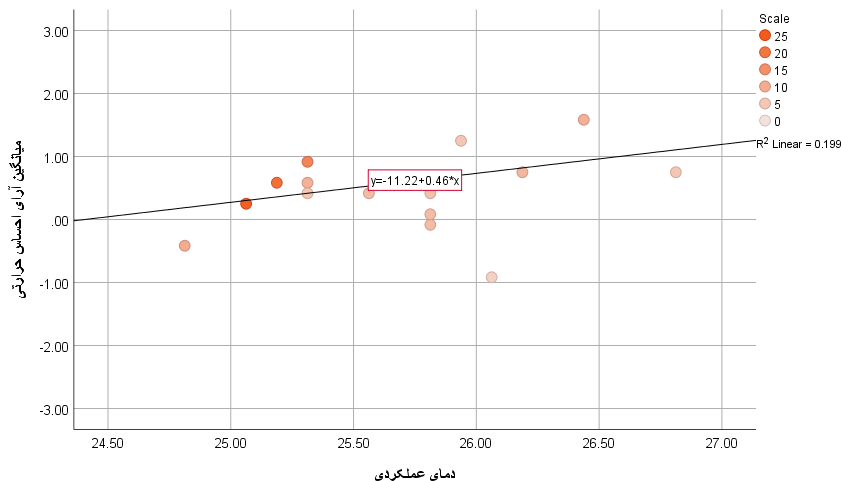
۱-۴-۵-۴ رابطه خطی میان احساس حرارتی با دمای عملکردی (رگرسیون خطی)

با در نظر گرفتن آرای آسایش و دما، به عنوان متغیرهای وابسته و مستقل، رگرسیون خطی روشی مرسوم برای تعیین متوسط بازخوردهای افراد، در محدوده دمایی است که با آن روبرو می‌شوند [۱۷]. از این نوع تحلیل، عموماً برای اندازه‌گیری شدت وابستگی و حساسیت آرای احساس حرارتی نسبت به تغییرات دما [۸۶]، جهت پیش‌بینی دمای خنثی [۸۷]، و همچنین تعیین دامنه قابل‌قبولی از دمای محیط داخلی برای ساکنان، استفاده می‌گردد.

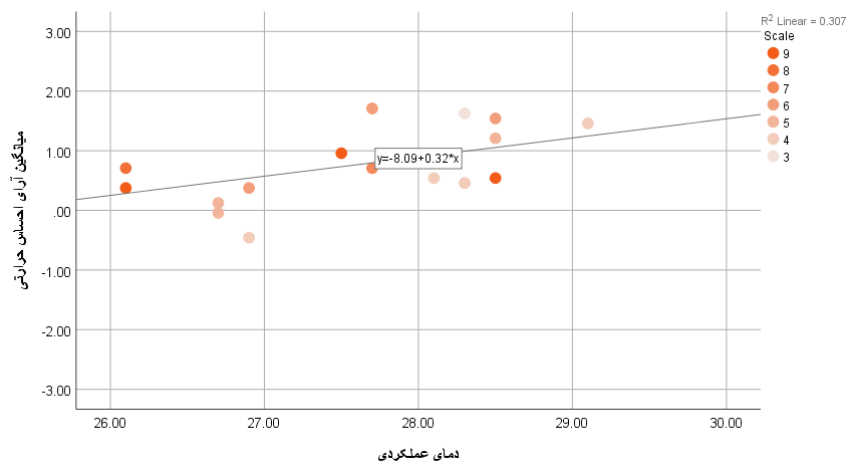
در این تحقیق، داده‌ها در واحدهای ۰/۵ درجه سانتی‌گراد دسته‌بندی شد، به این معنی که بجای آنالیز آرای دریافت شده از هر فرد، میانگین آرای احساس حرارتی گروهی از افراد در هر ۰/۵ درجه سانتی‌گراد از دمای عملکردی، وزن دهی و بررسی شد. شکل ۴-۵ رگرسیون‌های خطی وزن دهی شده میان میانگین پاسخ‌های احساس حرارتی کاربران مرد و زن نسبت به دمای عملکردی محیط با دسته‌بندی ۰/۵ درجه سانتی‌گراد نشان داده شده است. رنگ دایره‌ها نشان‌دهنده تعداد پاسخ‌های دسته‌بندی شده، مربوط به میانگین آرای احساس حرارتی افراد در هر نیم درجه دمای عملکردیست. رگرسیون‌های ارائه شده در سایت آقایان و خانم‌ها به ترتیب ($P < 0.001$, $r=0.199$) و ($P < 0.001$, $r=0.307$) می‌باشند و معادله‌های (۱-۴) و (۲-۴) هر یک از آن‌ها به شرح زیر است:

$$T_{SV(mean)} = -11.22 + 0.46 * T_{op} \quad (1-4) \quad \text{: کاربران آقا}$$

$$T_{SV(mean)} = -8.09 + 0.32 * T_{op} \quad (2-4) \quad \text{: کاربران خانم}$$



(الف)



(ب)

شکل ۴-۵. نمودار رابطه احساس حرارتی با دمای عملکردی در فصول گرم - الف: آقایان، ب: خانمها، ماخذ: نگارنده.

در این پژوهش، جهت درک بهتر پراکندگی‌ها از روش دسته‌بندی (bin) استفاده گردید. با وجود اینکه در این روش χ^2 مقادیر غیرواقعی و بالاتری را گزارش می‌کند طبق گفته [۱۷] اما شیب و عرض از مبدأ رگرسیون‌ها در هر دو روش (داده‌ها دسته‌بندی شده (bin) و داده‌ها به صورت کلی (un-bin)) بدون تغییر باقی می‌ماند. در اکثر مطالعات میدانی آسایش حرارتی زمانی که از همه آراء فردی استفاده می‌شود، به دلیل پراکندگی فراوان در هر توزیعی از پاسخ‌ها، میزان χ^2 به شکل معناداری ضعیف‌تر خواهند بود [۸۸، ۸۹].

[۸۷] معتقدند که χ^2 کوچک در مطالعات میدانی ساختمان‌های اداری به علت محدودیت‌های دمایی موجود، نسبت به بازه دماهاست که بدن انسان از لحاظ فیزیولوژیکی می‌تواند با آن منطبق شود. علاوه

بر این، کم بودن ضریب رگرسیون ممکن است ناشی از تغییر در احساسات حرارتی و آرای آسایشی مختلف هر یک از افراد، در مواجهه با دمای مشابه باشد. [۸۹] ۱

دمای خنثی (T_n) به دمای عملکردی گفته می‌شود که در آن اکثر افراد احساس حرارتی خود را خنثی و مطلوب اعلام می‌کنند و به تعبیری دیگر میانگین احساس حرارتیشان برابر با صفر است [۵۵] در این مطالعه، دمای خنثی از معادله رگرسیون معادله (۴-۱) و (۴-۲) با قرار دادن صفر ($TSV=0$) به دست آمد که در سایت آقایان و خانم‌ها به ترتیب برابر ۲۴/۳۹ و ۲۵/۲۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

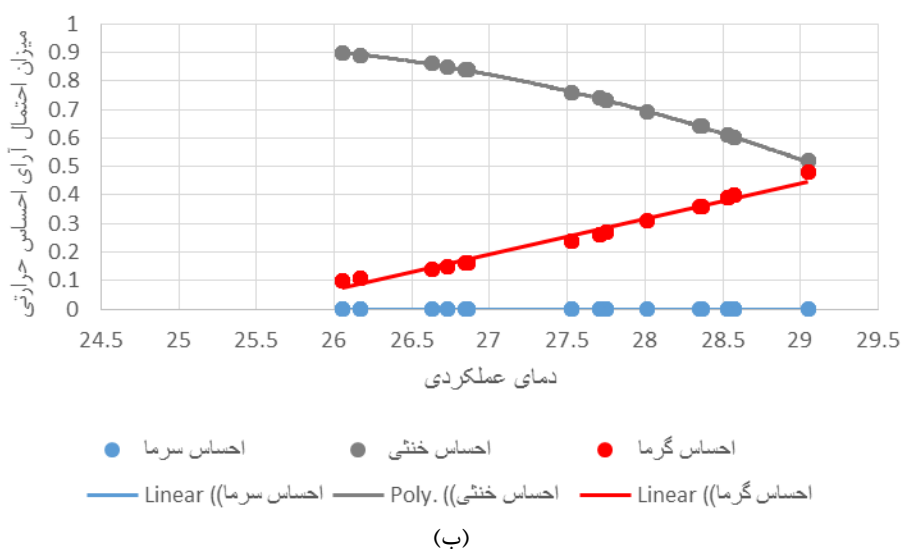
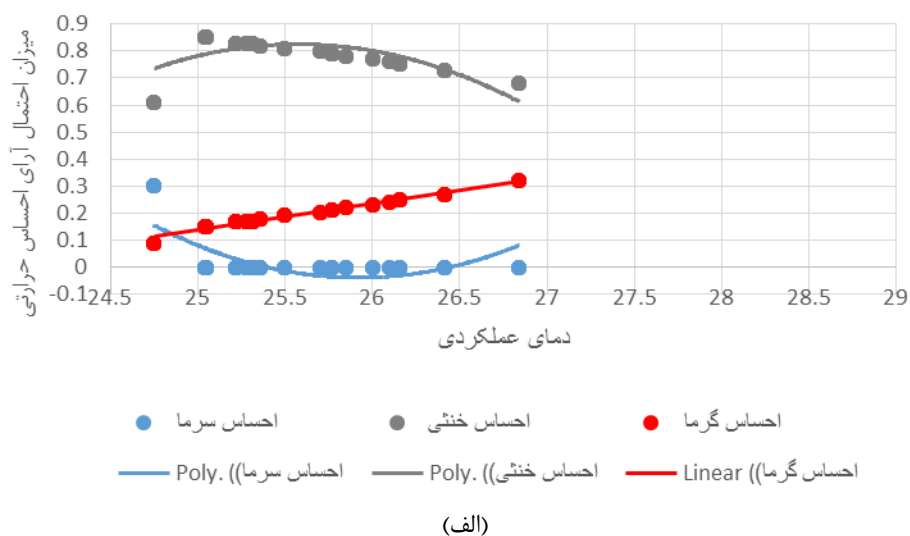
۴-۵-۴-۲ رابطه غیرخطی میان احساس حرارتی با دمای عملکردی (رگرسیون لجستیک)

از آن جاییکه میزان ضریب (T) حاصل از رگرسیون‌های خطی، همبستگی ضعیفی را میان دمای عملکردی و آرای احساس حرارتی نشان داد ما را بر آن داشت تا روشی دیگر را برای یافتن محدوده آسایش و پیش‌بینی دمای خنثی (رگرسیون لجستیک) به کاربریم. رگرسیون لجستیک مدلیست که جهت پیش‌بینی محتمل‌ترین دما به‌عنوان دمای خنثی، بر اساس آرای احساس حرارتی (متغیر کیفی) و دمای عملکردی (متغیر کمی) در سه دسته "احساس سرما، احساس خنثی و احساس گرما" به کار می‌رود. برای این منظور ابتدا، آرای سرد و خیلی سرد (۲- و ۳-) تحت عنوان "احساس سرما"، آرای کمی گرم، خنثی و کمی سرد (۱- و ۰ و ۱+) تحت عنوان "احساس خنثی" و آرای گرم و خیلی گرم (۲+ و ۳+) در قالب "احساس گرما" دسته‌بندی شدند سپس احتمال "احساس خنثی" از معادله (۴-۳) و (۴-۴) ارائه‌شده زیر محاسبه گردید:

$$\text{کاربران آقا: } \text{Logit}(N) = ۱۵/۱۹۵ - ۰/۵۳۸ * T_{op} \quad (۳-۴)$$

$$\text{کاربران خانم: } \text{Logit}(N) = ۲۰/۸۶۲ - ۰/۷۱۶ * T_{op} \quad (۴-۴)$$

مطابق تحلیل رگرسیون لجستیک شکل ۴-۶، در سایت آقایان و خانم‌ها، محتمل‌ترین دما برای آسایش به ترتیب ۲۴/۷۵ و ۲۶/۰۵ درجه سانتی‌گراد با معناداری ($P < ۰/۰۰۱$) پیش‌بینی شده است.



شکل ۴-۶. پیش‌بینی آرای احساس حرارتی نسبت به دمای عملکردی در فصول گرم- الف: آقایان، ب: خانم‌ها، ماخذ: نگارنده.

۳-۴-۵-۴ روش‌گریفیت

روش‌گریفیت نیز همانند تحلیل رگرسیون به تخمین دمای خنثی می‌پردازد با این تفاوت که در آن، نیازی به مقادیر زیادی داده و طیف گسترده‌ای از دما نیست [۹۰] در مقایسه با تحلیل رگرسیون که محاسبه میانگین دمای آسایش را برای چند روز یا هفته بررسی می‌کند، روش پیشنهادی گریفیت در استاندارد EN ۱۵۲۵۱ دمای راحتی " فردی خاص در ساختمانی خاص در یک ماه خاص را برآورد می‌کند" [۹۱]. هومفریز و همکارانش بیان می‌کنند که در استفاده از رگرسیون خطی، شناور بودن

میانگین دمای روزانه در طول دوره برداشت، می‌تواند باعث بروز برخی از سوگیری‌ها در برآورد ضریب رگرسیون و محاسبه دمای خنثی شود.

روش گریفیث در سال ۱۹۹۰ ارزشی ثابت $G (K^{-1})$ را برای رابطه خطی بین آرای احساس حرارتی و دمای عملکردی، معرفی کرد [۱۷] که معادل با ضریب [۱۷، ۹۰] رگرسیون (شیب گریفیث) بوده و با این فرض که هیچ سازگاری رخ نداده است، دمای راحتی را به دمای عملکردی و آرای احساس حرارتی افراد مرتبط می‌سازد: [۱۷، ۹۰].

دمای خنثی را می‌توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه کرد [۱۷، ۴۹] که در آن دمای عملکردی (T_{op})، آرای احساس حرارتی (TSV) و ثابت گریفیث ($k = 0.5$) می‌باشد:

بر اساس مطالعات و ارزیابی‌های همفریز و همکارانش در سال ۲۰۰۷، ثابت گریفیث ۰/۵، که حاصل برداشت روزانه برای به حداقل رسیدن اثرات احتمالی هرگونه اختلال در دمای عملکردی و سازگاری رفتاری پاسخ‌دهندگان بود، پیشنهاد می‌شود [۹۰]

جدول ۴-۷. دمای خنثی براساس روش گریفیث در فصول گرم، ماخذ: نگارنده.

انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	تعداد	سایت	دمای خنثی
۲/۱۹	۲۴/۴۹	۳۰/۷۵	۱۹/۳۱	۱۴۸	آقایان	با ثابت گریفیث
۲/۰۵	۲۶/۰۳	۳۱/۰۵	۲۰/۰۵	۹۴	خانم‌ها	$k(0.5)$

جدول ۴-۷ نشان می‌دهد که دمای خنثی حاصل از روش گریفیث برای سایت آقایان و خانم‌ها به ترتیب ۲۴/۴۹ و ۲۶/۰۳ با ضریب ثابت ۰/۵ [۹۰] می‌باشد.

۵-۴-۵ دمای ترجیحی

در پرسشنامه از کاربران خواسته شد که ترجیح حرارتی خود را در قالب مقیاس سه‌گانه (گرم‌تر، سردتر یا بدون تغییر) اعلام کنند [۲۷]. از این رو با استفاده از مدل رگرسیون پرابیت که سازوکاری همچون لجستیک دارد، محتمل‌ترین دمایی که کاربران به‌عنوان دمای خنثی ترجیح دادند، پیش‌بینی گردید. در این روش تحلیل بر اساس آرای ترجیحی "خواهان سرمای بیشتر" و "خواهان گرمای بیشتر" قابل

ارزیابی می‌باشد [۹۳، ۹۲]، جایکه در آن درصد مساوی از افراد شرایط "گرم‌تر یا سردتر" را خواستارند [۹۴، ۹۵]. در این پژوهش اما، به دلیل محدود بودن بازه دمایی در فصل گرم و همچنین پاسخ‌های مخاطبان، خطوط حاصل از دو آرا (سردتر و گرم‌تر) یکدیگر را قطع نکردند، به همین جهت از آرای "بدون تغییر" در ترسیم و محاسبه مدل پرابیت استفاده گردید. شکل ۴-۶ پیش‌بینی این مدل را بر اساس درصد آرای ترجیح حرارتی کاربران نسبت با دمای عملکردی نشان می‌دهد. معادله رگرسیون پروبیت برای ترجیح شرایط "بدون تغییر" در هر یک از سایت‌ها به شرح زیر است:

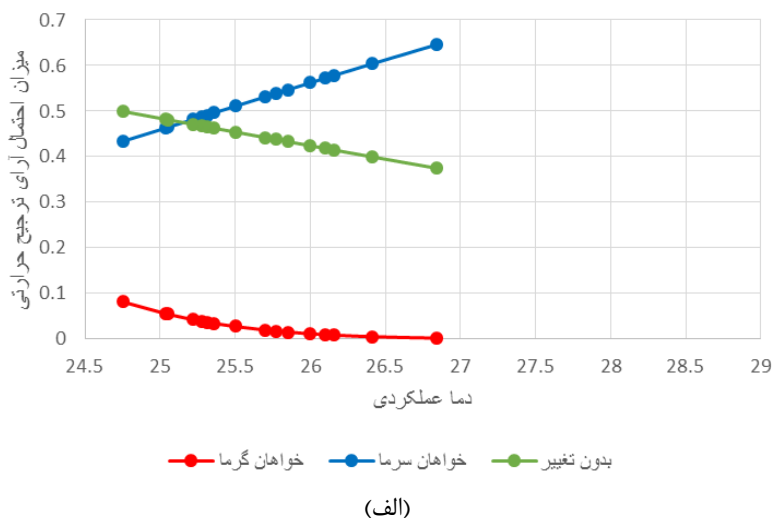
$$Probit(P_n) = 3/761 - 0/152 \times T_{op} \quad (5-4)$$

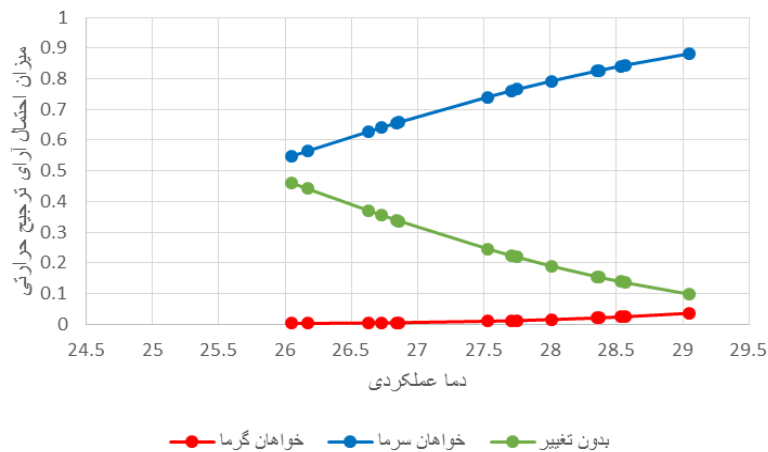
برای آقایان

$$Probit(P_n) = 10/268 - 0/398 \times T_{op} \quad (6-4)$$

برای خانم‌ها

مقدار ($P < 0/001$) نشان می‌دهد که مدل ارائه‌شده از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد. دمای مطلوب پاسخ‌دهندگان با معادله پرابیتی که در بالا به دست آمد (۵-۴) و (۶-۴)، برای کاربران آقا و خانم به ترتیب برابر با ۲۴/۷۵ و ۲۶/۰۵ درجه سانتی‌گراد تعیین شد.





(ب)

شکل ۴-۷. مدل رگرسیون پروبیت براساس درصد آرای ترجیح حرارتی نسبت به دمای عملکردی در فصول گرم- الف: آقایان، ب: خانمها، ماخذ: نگارنده.

۴-۵-۶ پیش‌بینی‌های مدل آسایش PMV-PPD

مدل PMV فانگر، به پیش‌بینی میانگین آرای آسایش و درصد نارضایتی (PPD) افراد با محیط داخلی بر اساس چهار عامل فیزیکی: درجه حرارت هوا، متوسط دمای تابشی، سرعت هوا و رطوبت، و همچنین دو متغیر شخصی: عایق لباس و سرعت سوخت‌وساز می‌پردازد [۲۳].

میزان عایق لباسی: کاربران واقع در سایت‌ها به دلیل الزامات اجتماعی و فرهنگی، دارای پوشش تعریف‌شده دانشگاهی بودند که به‌واسطه اطلاعاتی که هر فرد از میزان پوشش خود در پرسش‌نامه گزارش داده بود، مقادیر PMV به‌صورت جداگانه محاسبه شد. لازم به ذکر است که تمامی ضرایب پوششی موجود در این تحقیق از استانداردهای اشره ۵۵، ایزو ۷۷۳۰ و ۹۹۲۰ و علاوه بر آن [۹۶] استفاده‌شده است.

میزان فعالیت: کاربران بنا به فراخور فضا اساساً نشسته و در حالت صحبت یا تایپ کردن بودند. به همین دلیل میزان فعالیت آن‌ها ۱/۲ MET در نظر گرفته شد که معادل کار نشسته کارمندان فضاهای اداری در انواع مختلف استانداردهای آسایش حرارتی [۴، ۲۱] می‌باشد.

۱-۶-۵-۴ مقایسه آرای احساس حرارتی واقعی (TSV) با متوسط آرای پیش‌بینی شده (PMV)

برای مقایسه رابطه PMV و TSV از رگرسیون خطی استفاده شد. شکل ۴-۸ میانگین آرای احساس حرارتی واقعی کاربران و میزان آرای پیش‌بینی‌شده مدل فانگر را با دسته‌بندی ۰/۵ درجه سانتی‌گراد از دمای عملکردی نشان می‌دهد. پیش‌بینی‌های PMV حاصل از معادلات پیچیده ریاضی چهار متغیر محیطی، میزان فعالیت و عایق لباسی می‌باشد [۲۳] و معادله TSV هم توسط رگرسیون خطی در بخش‌های قبل با میزان معناداری $p < 0.001$ و مقدار $r^2 = 0.307$ و 0.199 به ترتیب در سایت آقایان و خانم‌ها ارائه شد. نتایج حاصله در قالب فرمول‌های (۴-۷) و (۴-۸) زیر مشخص شدند:

$$T_{SV(mean)} = -11/22 + 0.46 * T_{op} \quad (7-4) \quad \text{کاربران آقا}$$

$$T_{SV(mean)} = -8/09 + 0.32 * T_{op} \quad (8-4) \quad \text{کاربران خانم}$$

PMV نیز بر این اساس با فرمول‌های (۴-۹) و (۴-۱۰) زیر و میزان معناداری $p < 0.001$ و مقدار $r^2 = 0.32$ و 0.189 به ترتیب در سایت آقایان و خانم‌ها مشخص می‌شود:

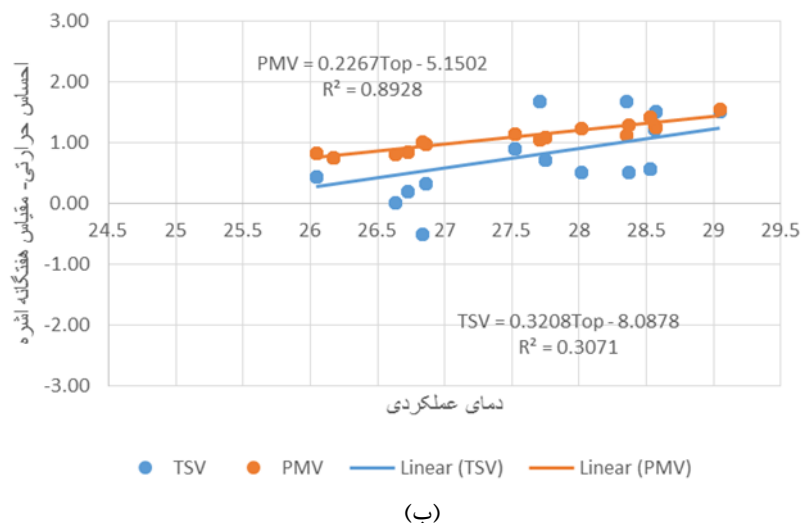
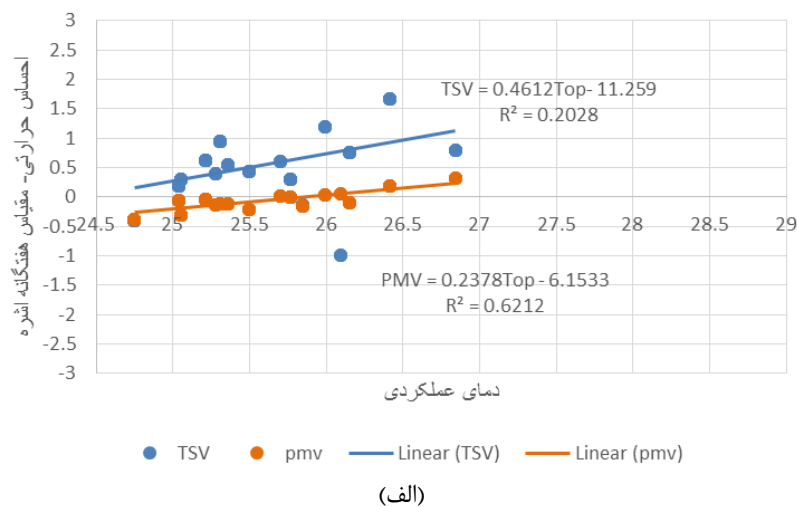
$$PMV_{(mean)} = -6/15 + 0.23 * T_{op} \quad (9-4) \quad \text{کاربران آقا}$$

$$PMV_{(mean)} = -5/15 + 0.22 * T_{op} \quad (10-4) \quad \text{کاربران خانم}$$

در اشکال ۴-۸ شاهد رابطه‌ای قوی و مثبت بین PMV و دمای عملکردی می‌باشیم. شیب رگرسیون میزانی برای حساسیت ناشی از تغییرات دما می‌باشد و بیانگر آنست که با بالا رفتن هر K_1 دمای عملکردی چه مقدار آرای آسایش حرارتی افزایش خواهد یافت [۴۹]. که به‌طور قابل‌توجهی متناسب با سازگاری افراد مورد مطالعه می‌باشد. [۹۷]. از این‌رو، شیب نرم رگرسیون، نماینده سازگاری مؤثر افراد و شیب تند نشان‌دهنده سازگاری کم آن‌ها در تغییرات حرارتی محیط می‌باشد.

به‌طوری‌که در بخش آقایان اکثر نقاط آرای احساس حرارتی بالاتر از PMV است. خط رگرسیون PMV با دمای داخل شیب کمتری نسبت به مشاهدات احساس حرارتی دارد، این بدان معناست که مقدار

PMV کمی کمتر از پاسخ‌های احساس حرارتی کاربران پیش‌بینی شده است. با توجه به شکل درمی‌یابیم که در دماهای پایین مقادیر PMV و TSV در محدوده دمای خنثی بوده و به یکدیگر نزدیک‌تر می‌باشند. در بخش خانم‌ها عکس آقایان اکثر نقاط آرای احساس حرارتی پایین‌تر از PMV است. خط رگرسیون PMV با دمای داخل، شیب بیشتری نسبت به مشاهدات احساس حرارتی دارد که در نتیجه مقدار PMV کمی بیشتر از پاسخ‌های احساس حرارتی کاربران پیش‌بینی شده است.



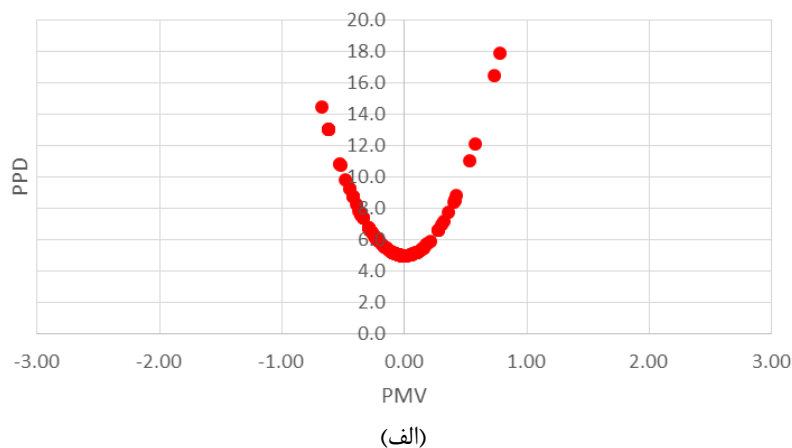
شکل ۴-۸. مقایسه بین آرای احساس حرارتی واقعی و پیش‌بینی شده نسبت به دمای عملکردی در فصول گرم- الف: آقایان، ب: خانم‌ها، ماخذ: نگارنده.

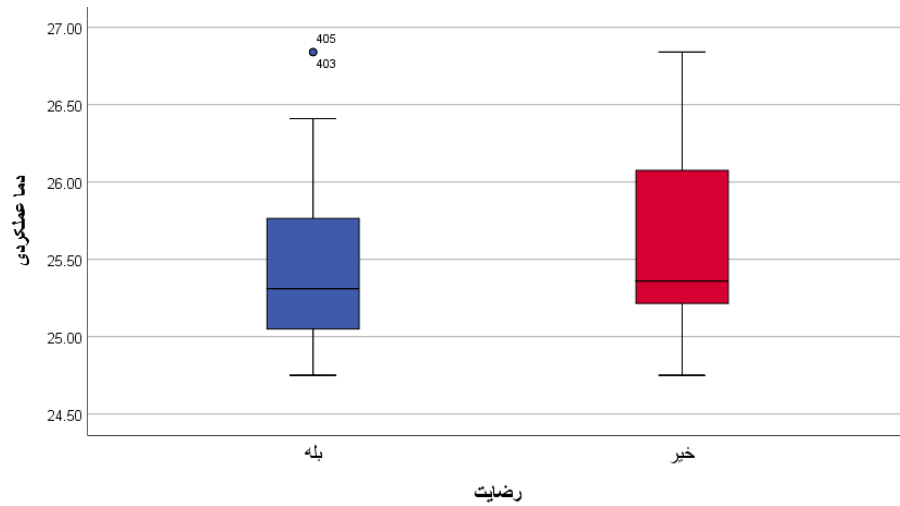
برای مقایسه دمای خنثی پیش‌بینی شده توسط مدل فانگر و آرای واقعی احساس حرارتی، مقادیر PMV برابر با صفر (حالت خنثی) قرار داده شد. دمای خنثی حاصل از پیش‌بینی PMV و TSV در سایت

آقایان به ترتیب برابر است با ۲۵/۸۷ و ۲۴/۴ درجه سانتی‌گراد، به این معنی که PMV دمایی در حدود ۱/۵ درجه گرم‌تر از آرای واقعی مردم را پیش‌بینی کرده است. در سایت خانم‌ها اما دمای خنثی حاصل از پیش‌بینی PMV و TSV به ترتیب برابر ۲۲/۷۱ و ۲۵/۲۱ درجه سانتی‌گراد، می‌باشد که در آن مدل فانگر با اختلاف ۲/۵ درجه نسبت به آرای واقعی مردم دما را سردتر پیش‌بینی می‌نماید.

۲-۶-۵-۴ درصد نارضایتی پیش‌بینی شده (PPD)

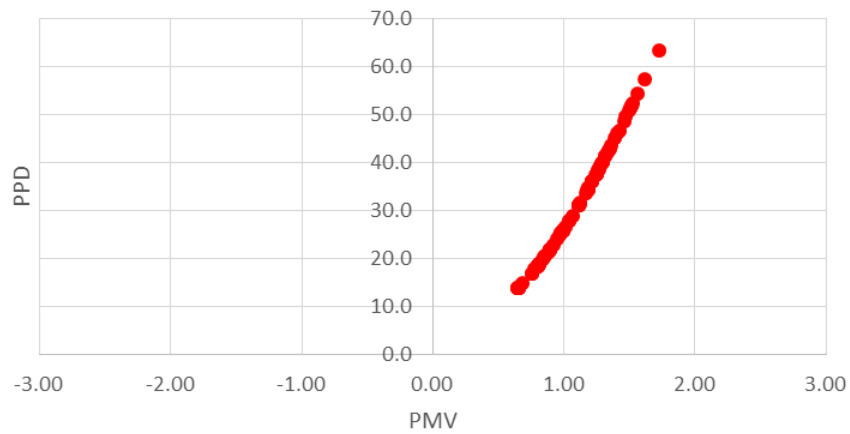
درصد پیش‌بینی نارضایتی (PPD) بر اساس مدل فانگر برای هر یک از سایت‌ها محاسبه و ترسیم گردید مطابق شکل الف ۴-۹ قابل مشاهده است که در سایت آقایان آرای افراد بین محدوده -۱ تا +۱ (کمی خنک و کمی گرم) متغیر بوده و در محدوده آسایش واقع شده است. میانگین نارضایتی ۶/۶ درصد بود به طوری که بیشترین و کمترین مقادیر PPD به ترتیب ۱۷/۹ و ۵ درصد گزارش شده‌اند. در این راستا نمودار جعبه‌ای ب ۴-۹ بیشترین میزان نارضایتی را در بازه ۲۴/۷ تا ۲۶/۸ درجه با میانه ۲۵/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در سایت خانم‌ها مطابق شکل الف ۴-۱۰، آرای افراد در محدوده ۰ تا +۲ (خنثی تا گرم) متغیر می‌باشد به گونه‌ای که میانگین نارضایتی آنان ۳۰/۹ درصد بوده، بیشترین و کمترین مقادیر PPD نیز به ترتیب ۶۳/۴ و ۱۳/۹ گزارش شده است. بیشترین میزان نارضایتی مربوط به احساس گرم در نمودار جعبه‌ای ب ۴-۱۰ بین ۲۶ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد، با میانه ۲۸ درجه سانتی‌گراد نشان داده شده است.



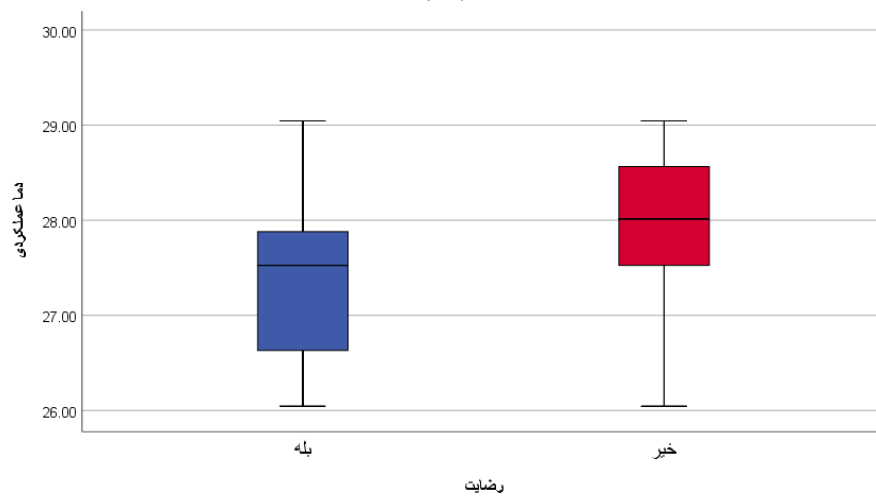


(ب)

شکل ۴-۹ الف: درصد نارضایتی پیش‌بینی شده براساس مدل PPD، ب: نمودار جعبه‌ای میزان آرای رضایت برحسب دما در فصول گرم - سایت آقایان، ماخذ: نگارنده.



(الف)



(ب)

شکل ۴-۱۰ الف: درصد نارضایتی پیش‌بینی شده براساس مدل PPD، ب: نمودار جعبه‌ای میزان آرای رضایت برحسب دما در فصول گرم - سایت خانمها، ماخذ: نگارنده.

۴-۵-۷-۲ محدوده قابل قبول دمای هوای داخلی براساس استاندارد اشره

۵۵

۴-۵-۷-۲-۱ پیش‌بینی‌های محدوده آسایش براساس مدل (PMV)

برای به دست آوردن محدوده آسایشی که در آن ۸۰٪ کاربران راضی باشند، می‌توان از میانگین احساس حرارتی نسبت به دمای عملکردی استفاده کرد. به طوری که طبق تعریف اشره ۵۵، محدوده راحتی به شرایطی اطلاق می‌شود که در $(-0.5 < PMV < +0.5)$ قرار داشته باشد، به طوری که انتظار می‌رود درصد نارضایتی افراد (PPD) ۲۰٪ باشد. که ۱۰٪ آن ناشی از نارضایتی حرارتی عمومی، هنگامی که $(-0.5 < PMV < +0.5)$ و ۱۰٪ باقیمانده، حاصل از: نارضایتی ناشی از محیط [۴]، عدم تقارن دمای تابشی، اختلاف دمای عمودی بین مچ پا و سطح سر و دمای سطوح کف پدید می‌آید. از این رو نرخ کلی نارضایتی (PPD) برابر با ۲۰ درصد مربوط به محدوده ایست که در آن PMV برابر است با ± 0.185 می‌باشد و ۸۰٪ آرا در دسته مرکزی از مقیاس سه‌گانه اشره و در آسایش قرار می‌گیرند.

برای پیدا کردن محدوده‌های تجربی از محیط‌های حرارتی قابل قبول برای رضایت ۸۰ درصدی بیان‌شده در اشره، بایستی TSV به دست‌آمده از رگرسیون خطی را برابر با ± 0.185 تا توسط آن حد بالا و پایین دما حاصل شود.

محدوده قابل قبول ۸۰ درصدی دمای عملکردی برای هر یک از سایت‌ها در جدول ۴-۸ بیان‌شده است. در بخش آقایان بین ۲۲/۵۴ تا ۲۶/۲۳ درجه سانتی‌گراد (۳/۷ درجه) و در سایت خانم‌ها بین ۲۲/۶۲ تا ۲۷/۹۳ درجه سانتی‌گراد (۵/۳۱ درجه) به دست آید. شیب رگرسیون به دست‌آمده در سایت آقایان تندتر از هم‌تای آن در سایت خانم‌هاست که این نشان‌دهنده سازگاری کمتر کاربران مرد در مواجهه با تغییرات دمایی است.

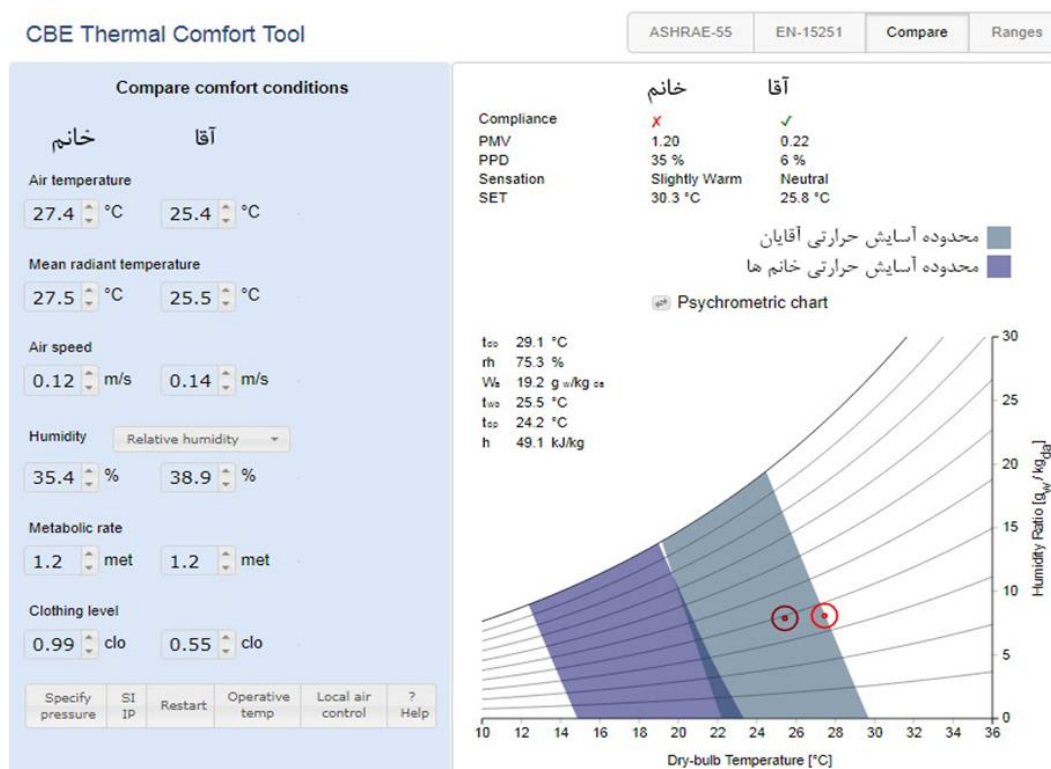
جدول ۴-۸. خلاصه‌ای از رگرسیون خطی احساس حرارتی با دمای عملکردی در محدوده قابل قبول کاربران در فصول گرم، ماخذ: نگارنده.

سایت	تعداد	t_r	P	ضریب رگرسیون	مقدار ثابت	دمای خنثی	۲۰LL	۲۰UL
آقایان	۱۴۸	۰/۱۹۹	۰/۰۰	۰/۴۶	-۱۱/۲۲	۲۴/۳۹	۲۶/۲۳	۲۲/۵۴

۲۲/۶۲	۲۷/۹۳	۲۵/۲۸	-۸/۰۹	۰/۳۲	۰/۰۰	۰/۳۰۷	۹۴	خانم‌ها
۲۲/۵۸	۲۷/۰۸							میانگین

۲-۵-۷-۴ پیش‌بینی محدوده آسایش براساس ابزار (CBE)

CBE ابزاریست که در دانشگاه برکلی کالیفرنیا بر پایه استاندارد اشره طراحی و تدوین شده است که با تحلیل داده‌های محیطی همچون: دمای هوا، دمای تابشی، سرعت هوا، رطوبت و همچنین داده‌های فردی از قبیل: میزان لباس و فعالیت، به ترسیم نمودارهای سایکرومتریک می‌پردازد. مطابق شکل ۴-۱۱



شکل ۴-۱۱. نمودار سایکرومتریک تعیین محدوده آسایش در فصول گرم، ماخذ: نگارنده.

در سایت آقایان مقدار PMV و PPD به ترتیب برابر با ۰/۲۲ و ۰/۶ در حالت خنثی گزارش شده و محدوده دمای پیش‌بینی شده توسط نمودار سایکرومتریک بین ۲۲ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. در سایت خانم‌ها هم مقدار PMV و PPD به ترتیب برابر با ۱/۲۰ و ۳۵٪ در حالت کمی گرم گزارش شده و محدوده دمای پیش‌بینی شده توسط نمودار سایکرومتریک بین ۱۵ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

۴-۶ شاخص‌های آسایش حرارتی در فصول سرد

جدول ۴-۱۰، آمار توصیفی از متغیرهای فیزیکی داخلی، خارجی و همچنین شاخص‌های آسایش حرارتی

حین برداشت را در قالب حداقل حداکثر، میانگین و انحراف معیار هر یک از سایت‌ها را ارائه می‌دهد.

جدول ۴-۹. خلاصه‌ای از وضعیت آب‌وهوای داخل و خارج و پارامترهای فردی کاربران در فصول سرد،

ماخذ: نگارنده.

انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	تعداد		
۲/۴۹	۲۱/۹۲	۲۶/۴۲	۱۷/۸۱	۱۹۰	دمای عملکردی	سایت آقایان
۲/۴۳	۲۱/۹۶	۲۶/۴۳	۱۷/۹۷	۱۹۰	دمای تابشی	
۲/۵۵	۲۱/۸۹	۲۶/۴۰	۱۷/۶۵	۱۹۰	دمای هوای داخل	
۶/۹۹	۱۶/۳۵	۲۵/۸۷	۴/۸۷	۱۹۰	دمای هوای خارج	
۹/۴۳	۳۰/۳۳	۴۳/۴۸	۱۵/۶۲	۱۹۰	رطوبت نسبی	
۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۱۸	۰/۰۰	۱۹۰	جریان هوا	
۰/۳۱	۰/۸۱	۱/۵۸	۰/۳۴	۱۹۰	میزان پوشش	
۰/۰۰	۱/۲۰	۱/۲۰	۱/۲۰	۱۹۰	میزان فعالیت	
۱/۱۰	-۰/۵	-۳	+۲	۱۹۰	TSV	
۰/۴۸	-۰/۵۸	۰/۵۸	-۲/۱۰	۱۹۰	PMV	
۱۲/۷۷	۱۶/۸۸	۸۱/۴۰	۵/۰۰	۱۹۰	PPD	
۱/۴۵	۲۳/۳۱	۲۵/۷۱	۲۰/۹۴	۱۸۴	دمای عملکردی	سایت خانم‌ها
۱/۴۲	۲۳/۳۳	۲۵/۷۲	۲۱/۰۸	۱۸۴	دمای تابشی	
۱/۴۹	۲۳/۳۰	۲۵/۶۹	۲۰/۷۹	۱۸۴	دمای هوای داخل	
۷/۴۹	۱۶/۰۴	۲۵/۸۷	۴/۸۷	۱۸۴	دمای هوای خارج	
۱۱/۷۱	۲۹/۵۴	۴۳/۸۶	۱۵/۰۰	۱۸۴	رطوبت نسبی	
۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۰۰	۱۸۴	جریان هوا	
۰/۲۶	۱/۰۹	۱/۸۶	۰/۷۶	۱۸۴	میزان پوشش	
۰/۰۰	۱/۲۰	۱/۲۰	۱/۲۰	۱۸۴	میزان فعالیت	
۰/۹۹	-۰/۰۴	-۳	+۲	۱۸۴	TSV	
۰/۳۸	۰/۱۹	۱/۰۴	-۰/۸۳	۱۸۴	PMV	
۴/۴۴	۸/۹۷	۲۷/۸۰	۵/۰۰	۱۸۴	PPD	

PMV، PPD و TSV برای هر فرد به‌طور مجزا محاسبه شده است.

همان‌طور که در جدول دیده می‌شود، دمای عملکردی (Top) در سایت آقایان و خانم‌ها به ترتیب در

محدوده‌های (۱۷/۸۱ تا ۲۶/۴۲) و (۲۰/۹۴ تا ۲۵/۷۱) درجه سانتی‌گراد با میانگین‌های ۲۱/۹۲ و ۲۳/۳۱ درجه

سانتی‌گراد با انحراف معیارهای ۲/۴۹ و ۱/۴۵ می‌باشند. بین دمای هوای داخل ساختمان و دمای عملکردی

اختلاف بسیار کمی وجود دارد که این بیانگر اثر ناچیز دمای تابشی در سایت‌هاست. سرعت هوا در محدوده سایت‌های آقایان و خانم‌ها به ترتیب از (۰/۰۰ تا ۰/۱۸) و (۰/۰۰ تا ۰/۱۵) ms^{-1} و متوسط ۰/۰۵ و ۰/۰۳ ms^{-1} است. رطوبت نسبی نیز به ترتیب در بازه‌های (۱۵/۶۲ تا ۴۳/۴۸)٪ و (۱۵ تا ۴۳/۸۶)٪ و میانگین‌های (۳۰/۳۳ تا ۲۹/۵۴)٪ می‌باشد و دمای متوسط خارجی نیز در هنگام برداشت برابر با ۱۶/۳۵ درجه سانتی‌گراد با حداکثر دمای ۲۵/۸۷ درجه سانتی‌گراد و حداقل دمای ۴/۸۷ درجه سانتی‌گراد گزارش شد.

متوسط ضریب لباس کاربران مرد و زن به ترتیب ۰/۸۱ و ۱/۰۹ clo می‌باشد. میزان متابولیسم کاربران نیز همان‌طور که در استانداردهای معمول برای فعالیت‌های نشسته اداری پیشنهاد می‌شود $1/2 \text{ MET}$ در نظر گرفته شد [۴، ۲۱].

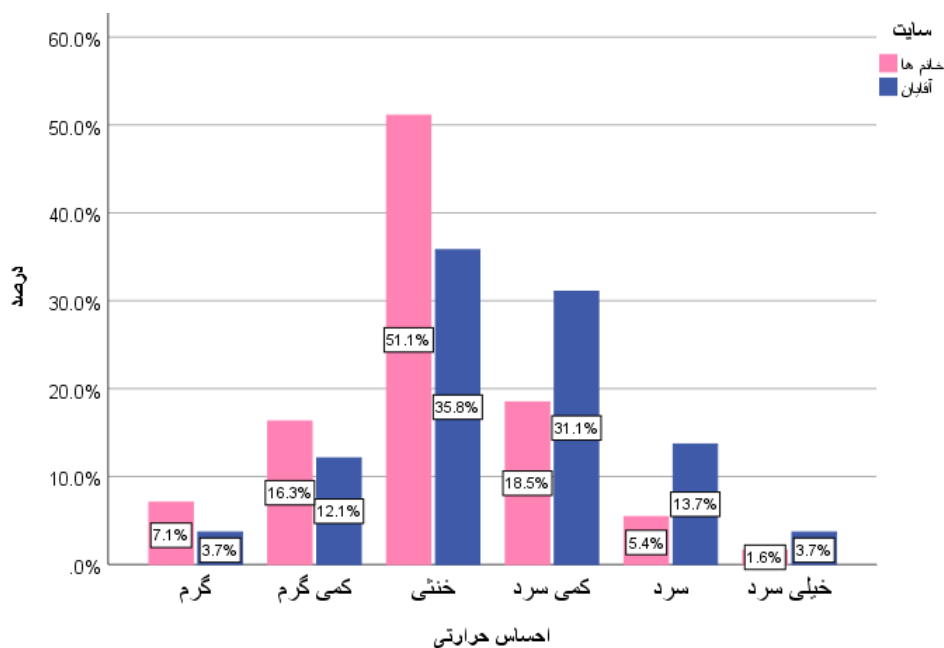
خلاصه آماری از شاخص‌های آسایش حرارتی (جدول ۴-۱۰) نشان می‌دهد که آرای احساس حرارتی (TSV) کاربران آقا و خانم بین (۳- تا ۲+) و میانگین‌هایی به ترتیب ۰/۰۴- و ۰/۰۵- با انحراف معیارهای ۰/۹۹ و ۱/۱ می‌باشد که هر دو در محدوده خنثی قرار دارند. میانگین PMV محاسبه‌شده برای هریک از سایت‌ها در بخش آقایان ۰/۵۸- و بین (۲/۱۰- تا ۰/۵۸) با انحراف معیار ۰/۴۸ متغیر بوده است، در بخش خانم‌ها نیز میانگین PMV برابر با ۰/۱۹ در بازه بین (۰/۸۳- تا ۱/۰۴) با انحراف معیار ۰/۳۸ بود که در مقایسه PMV با میانگین TSV شاهد اختلافی در حدود ۰/۰۸ واحد در کاربران مرد و ۰/۲۳ واحد در کاربران زن می‌باشیم، به این معنی که مقدار TSV و PMV بودن در شرایط خنثی را در هر دو سایت گزارش می‌دهند، شاخص PPD نیز پیش‌بینی کرد که (۱۶/۸۸ و ۸/۹۷)٪ از کاربران مرد و زن به‌طور متوسط از محیط حرارتی خود ناراضی هستند؛ این در حالیست که PPD محاسبه‌شده برای آنان به ترتیب بین (۵ تا ۸۱/۴)٪ و (۵ تا ۲۷/۸)٪ متغیر می‌باشد.

۴-۷ بررسی‌های ذهنی محیط حرارتی داخلی سایت‌ها در فصول

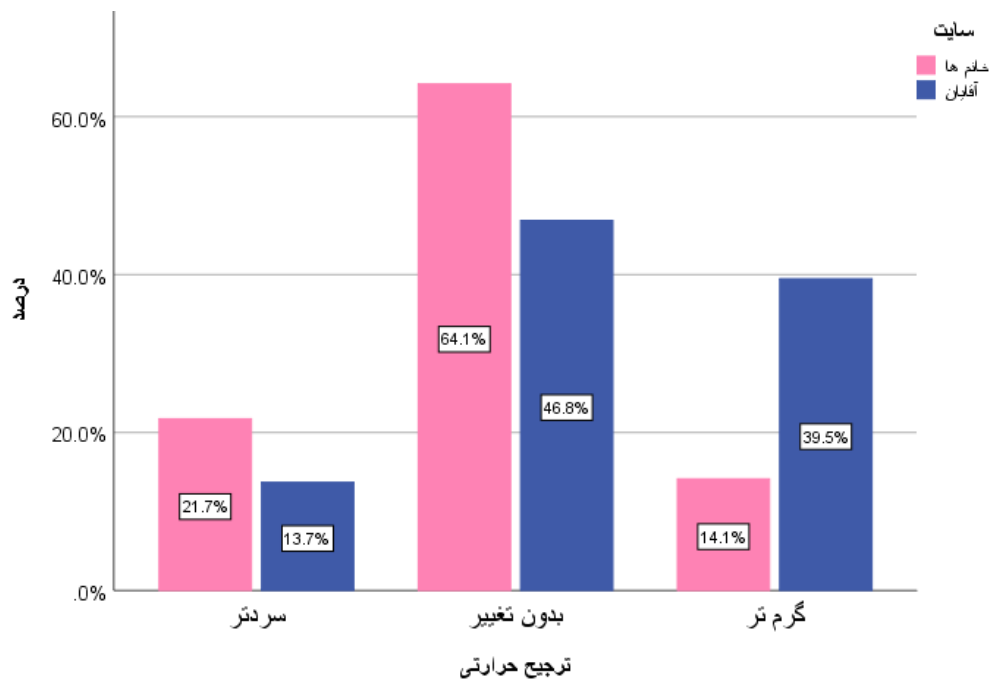
سرد

۴-۷-۱ احساس و ترجیح حرارتی

مطابق شکل ۴-۱۲ توزیع آماری احساس حرارتی برای کاربران مرد و زن به ترتیب برابر با ۳۵/۸٪ و ۵۱/۱٪ در حالت خنثی بود. این در حالیست که سهم آرا در مقیاس‌های "کمی گرم، گرم، بسیار گرم" در سایت آقایان و خانم‌ها به ترتیب: (۳/۷ و ۰٪) و (۱۶/۳، ۷/۱ و ۰٪) بوده است. در این بین سهم آرای مقیاس‌های "کمی سرد، سرد، بسیار سرد" نیز در سایت آقایان و خانم‌ها به ترتیب: (۳۱/۱، ۱۳/۷ و ۳/۷٪) و (۱۸/۵، ۵/۴ و ۱/۶٪) گزارش شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۴-۱۲. الف) آرای احساس حرارتی، ب) آرای ترجیح حرارتی کاربران در فصول سرد، ماخذ: نگارنده. توزیع TSV ها نشان می‌دهد که کاربران آقا وضعیت خود را اغلب سردتر از حالت خنثی و کاربران خانم وضعیت خود را اغلب گرم‌تر از حالت خنثی ارزیابی کرده‌اند که با توزیع نمودار ترجیح حرارتی برای هر جنس منطبق می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۴-۱۲ ب) نشان داده شده است، تعداد قابل توجهی از کاربران مرد و زن به ترتیب (۱۳/۷ و ۲۱/۷) خواستار محیطی سردتر، (۴۶/۸ و ۶۴/۱) خواستار محیط بدون تغییرات دمایی بوده و (۳۹/۵ و ۱۴/۱) هم میل به گرم‌تر شدن محیط داشتند. تمایل عمومی کاربران به بدون تغییر و بعدازآن در بخش آقایان گرم‌تر و در بخش خانم‌ها سردتر بودن محیط بوده است.

جدول متقاطع ۴-۱۱ نشان‌دهنده رابطه میان آرای حاصل از مقیاس احساس حرارتی با ترجیحات حرارتی کاربران مرد و زن در فصول سرد می‌باشد. درصد آراء افراد در سه دسته مرکزی رتبه‌بندی احساس حرارتی در بخش آقایان و خانم‌ها به ترتیب ۷۸/۹ و ۸۵/۹ است و ۴۶/۸ و ۶۴/۱ افراد شرایط "بدون تغییر" را ترجیح دادند و این در حالیست که ۱۳/۷ و ۲۱/۷ افراد تمایل به سردتر شدن و همچنین ۳۹/۵ و ۱۴/۱ تمایل به گرم‌تر شدن محیط داشتند. این موضوع نشان‌دهنده آنست که در سه دسته

مرکزی احساس حرارتی، شرایط مطلوب برای تمامی افراد در فصول سرد ایجاد نمی‌شود. مطابق با جدول ۴-۱۱ روند آرای ترجیح حرارتی در برابر احساس حرارتی بیانگر تمایل اکثریت کاربران به بدون تغییر بودن محیط می‌باشد.

جدول ۴-۱۰. درصد و مقادیر احساس حرارتی با ترجیح حرارتی، ماخذ: نگارنده.

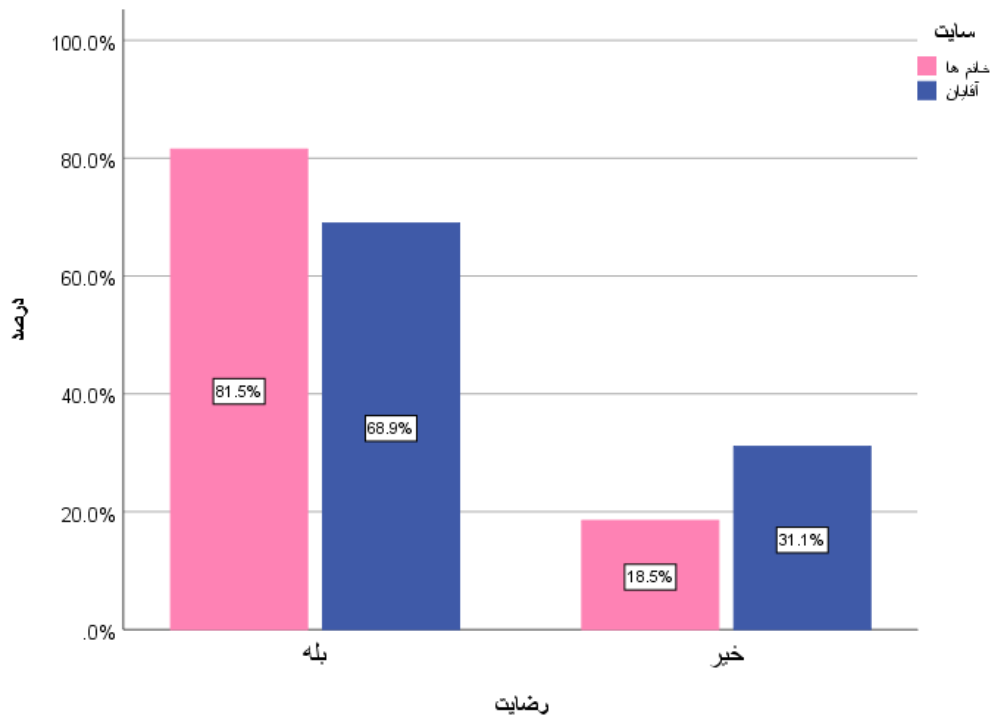
مجموع	TSV* آرای احساس حرارتی)			گرم‌تر	ترجیح حرارتی	آقایان
	(+۲ و +۳)	(+۱ و ۰ و -۱)	(-۲ و -۳)			
(۳۹٪/۵)۷۵	(۱۷٪/۴)۳۳	(۲۲٪/۱)۴۲	(۰٪/۰)۰	گرم‌تر	بدون تغییر	خانم‌ها
(۴۶٪/۸)۸۹	(۰٪/۰)۰	(۴۶٪/۸)۸۹	(۰٪/۰)۰	بدون تغییر		
(۱۳٪/۷)۲۶	(۰٪/۰)۰	(۱۰٪)۱۹	(۳٪/۷)۷	سردتر		
(۱۰۰٪)۱۹۰	(۱۷٪/۴)۳۳	(۷۸٪/۹)۱۵۰	(۳٪/۷)۷	مجموع		
(۱۴٪/۱)۲۶	(۷٪/۱)۱۳	(۷٪/۱)۱۳	(۰٪/۰)۰	گرم‌تر	بدون تغییر	خانم‌ها
(۶۴٪/۱)۱۱۸	(۰٪/۰)۰	(۶۴٪/۱)۱۱۸	(۰٪/۰)۰	بدون تغییر		
(۲۱٪/۷)۴۰	(۰٪/۰)۰	(۱۴٪/۷)۲۷	(۷٪/۱)۱۳	سردتر		
(۱۰۰٪)۱۸۴	(۷٪/۱)۱۳	(۸۵٪/۹)۱۵۸	(۷٪/۱)۱۳	مجموع		

توجه: * کدهای مورداستفاده در TSV عبارت‌اند از: خیلی سرد (-۳)، سرد (-۲)، کمی سرد (-۱)، خنثی (۰)، کمی گرم (+۱)، گرم (+۲)، بسیار گرم (+۳)

۴-۷-۲ مقبولیت حرارتی

جهت تعیین میزان رضایت و مقبولیت کاربران از محیط حرارتی در هنگام برداشت مانند فصول گرم، از سه روش متفاوت استفاده گردید.

رویکرد اول: در این رویکرد از کاربران خواسته شد تا پاسخی مستقیم در قالب بله/خیر به این پرسش که آیا از دمای فعلی خود رضایت دارند، بدهند. پاسخ‌های جمع‌آوری شده در سایت آقایان و خانم‌ها به ترتیب نشان‌دهنده ۶۸/۹، ۸۱/۵٪ رضایت و ۳۱/۱، ۱۸/۵٪ عدم رضایت کاربران بوده است (شکل ۴-۱۳).



شکل ۴-۱۳. درصد پاسخ‌های مستقیم میزان رضایت کاربران در فصول سرد، ماخذ: نگارنده.

رویکرد دوم: در این رویکرد افرادی که به "بدون تغییر" در پرسش ترجیح حرارتی رأی مثبت دادند در نظر گرفته می‌شوند، به این معنی که از شرایط حرارتی خود رضایت دارند. جدول متقاطع ۴-۱۲ مقبولیت حرارتی و مقیاس ترجیح حرارتی را نشان می‌دهد که بر اساس این روش، ۴۴/۶٪ و ۲۶/۶٪ از کاربران مرد و زن به ترتیب، وضعیت بدون تغییر، ۵۵/۴٪ و ۷۳/۴٪ نیز به دنبال تغییر دما با رأی دادن به سردتر (۵۲٪ و ۷۲/۱۳٪) و یا گرم‌تر شدن محیط (۳/۴٪ و ۱/۱۱٪) ابراز نارضایتی کردند. این جدول همچنین نشان می‌دهد که از تمام کاربران حاضر در نظرسنجی ۲۷/۷٪ از آقایان و ۳۶/۲٪ از خانم‌ها، با وجود اعلام رضایت از شرایط حرارتی، به سردتر یا گرم‌تر شدن محیط رأی دادند.

جدول ۴-۱۱. درصد و مقادیر آرای ترجیح حرارتی با مقبولیت حرارتی، ماخذ: نگارنده.

مجموع	آرای ترجیح حرارتی			رضایت	آقایان
	سردتر	بدون تغییر	گرم‌تر		
(۶۸٪/۹)۱۳۱	(۶٪/۳)۱۲	(۴۱٪/۶)۷۹	(۲۱٪/۱)۴۰	رضایت	آقایان
(۳۱٪/۱)۵۹	(۷٪/۴)۱۴	(۵٪/۳)۱۰	(۱۸٪/۴)۳۵	عدم رضایت	
(۱۰۰٪)۱۹۰	(۱۳٪/۷)۲۶	(۴۶٪/۸)۸۹	(۳۹٪/۵)۷۵	مجموع	
(۸۱٪/۵)۱۵۰	(۱۳٪/۶)۲۵	(۶۳٪)۱۱۴	(۶٪)۱۱	رضایت	خانم‌ها
(۱۸٪/۵)۳۴	(۸٪/۲)۱۵	(۲٪/۲)۴	(۸٪/۲)۱۵	عدم رضایت	

مجموع	۲۶ (۱۴٪/۱)	۱۱۸ (۶۴٪/۱)	۴۰ (۲۱٪/۷)	۱۸۴ (۱۰۰٪)
-------	------------	-------------	------------	------------

همان‌طور که در جدول ۴-۱۲ پیداست، اکثر کاربرانی که به "بدون تغییر" رأی دادند، از شرایط راضی بودند، این در حالیست که، افرادی نیز وجود داشتند که با وجود اعلام نارضایتی از محیط، قصد اعمال تغییر نیز در آن نداشتند. با نگاهی دقیق‌تر می‌توان دید که درصد افرادی که تمایل به سردتر یا گرم‌تر شدن محیط داشتند بیشتر از کسانی بود که به‌طور مستقیم حالت عدم رضایت خود را نشان دادند. درصد مقبولیت حاصل از آرای "بدون تغییر" در سایت آقایان و خانم‌ها به ترتیب ۴۱/۶ و ۶۲٪ می‌باشد که کمتر از درصد افرادیست که از طریق رویکرد پاسخ مستقیم ۶۸/۹ و ۸۱/۵٪ رضایت خود را اعلام نمودند.

رویکرد سوم: این رویکرد بر اساس درصد پذیرش حرارتی افرادیست که به سه دسته مرکزی مقیاس اشره تحت عنوان: کمی سرد، خنثی یا کمی گرم رأی داده‌اند. از این‌رو در سایت آقایان و خانم‌ها به ترتیب، ۷۸/۹ و ۸۵/۹ درصد از کاربران به سه دسته مرکزی مقیاس اشره، ۲۱/۱ و ۱۴/۲ درصد در مجموع به بازه‌های (۲+ و ۳+) و (۳- و ۲-) رأی داده و عدم رضایت خود را بیان نمودند. (جدول ۴-۱۳). در رابطه با این جدول اگرچه بخش بزرگی از کاربران در هر دو سایت، به سه دسته مرکزی مقیاس اشره رأی دادند، با این‌وجود، هنوز هم در بخش آقایان ۳۱/۱٪ و در بخش خانم‌ها ۱۸/۵٪ آن‌ها در همین بازه، به‌صراحت ابراز نارضایتی خود را در قالب پاسخ مستقیم به مقبولیت ارائه کردند. از طرفی دیگر افرادی نیز بوده‌اند که با وجود قرار گرفتن در بازه‌های سرد و خیلی سرد و همچنین گرم و خیلی گرم بازهم در پاسخ مستقیم مقبولیت رضایت خود را از شرایط اعلام نمودند.

جدول ۴-۱۲. جدول متقاطع مقبولیت حرارتی و آرای احساس حرارتی در فصول سرد، ماخذ: نگارنده.

مجموع	TSV * آرای احساس حرارتی			رضایت	آقایان
	(-۳ و -۲)	(-۱ و ۰ و +۱)	(-۳ و -۲)		
(۶۸٪/۹)۱۳۱	(۶٪/۸)۱۳	(۶۱٪/۱)۱۱۷	(۰٪/۵)۱	رضایت	
(۳۱٪/۱)۵۹	(۱۰٪/۵)۲۰	(۱۷٪/۴)۳۳	(۳٪/۲)۶	عدم رضایت	
(۱۰۰٪)۱۹۰	(۱۷٪/۴)۳۳	(۷۸٪/۹)۱۵۰	(۳٪/۷)۷	مجموع	
(۸۱٪/۵)۱۵۰	(۲٪/۷)۵	(۷۶٪/۱)۱۴۰	(۲٪/۷)۵	رضایت	خانم‌ها
(۱۸٪/۵)۳۴	(۴٪/۳)۸	(۹٪/۸)۱۸	(۴٪/۳)۸	عدم رضایت	

(۱۰۰٪)۱۸۴	(۷٪/۱)۱۳	(۸۵٪/۹)۱۵۸	(۷٪/۱)۱۳	مجموع
-----------	----------	------------	----------	-------

توجه: * کدهای مورد استفاده در TSV عبارت‌اند از: خیلی سرد (-۳)، سرد (-۲)، کمی سرد (-۱)، خنثی (۰)، کمی گرم (+۱)، گرم (+۲)، بسیار گرم (+۳)

۳-۷-۴ همبستگی بین متغیرهای ذهنی و محیطی

در جدول ۴-۱۴ به بیان میزان رابطه و همبستگی بین متغیرهای فیزیکی اندازه‌گیری شده محیط و متغیرهای ذهنی و روانی آسایش در فصول سرد، پرداختیم. در این جدول میزان و شدت همبستگی‌ها در قالب طیف رنگی مشخص ارائه شده است، به گونه‌ای که هرچه شدت رابطه بین متغیرها قوی‌تر باشد، بارنگ‌های تیره‌تری در هر طیف نشان داده شده‌اند.

همبستگی پیرسون برای ارزیابی میزان شدت رابطه در بازه -۱ تا +۱، بین متغیرهای کمی (فاصله‌ای) محیطی همچون: دمای داخلی، دمای خارجی، رطوبت، سرعت هوا، اجرا شد. نتایج هر همبستگی در جدول ۴-۱۴ خلاصه شده است که شامل ضریب همبستگی، معناداری و تعداد مشاهدات می‌باشد.

بر اساس نتایج جدول پایین، رابطه بین دمای عملکردی با دمای هوای خارج مثبت، شدت رابطه قوی و معنادار است ($r = 0.699$, $p < 0.00$)، رابطه بین دمای عملکردی با رطوبت نسبی مثبت، شدت رابطه متوسط و معنادار است ($r = 0.655$, $p < 0.00$)، رابطه بین دمای عملکردی با سرعت هوا مثبت، شدت رابطه متوسط و معنادار است ($r = 0.367$, $p < 0.00$)، رابطه دمای هوای خارج با رطوبت نسبی مثبت، شدت رابطه قوی و معنادار است ($r = -0.918$, $p < 0.00$)، رابطه دمای هوای خارج با سرعت هوا مثبت، شدت رابطه قوی و معنادار است ($r = 0.764$, $p < 0.00$)، رابطه رطوبت نسبی با سرعت هوا مثبت، شدت رابطه قوی و معنادار است ($r = 0.689$, $p < 0.00$).

همبستگی کندال تائو بی، برای ارزیابی میزان شدت رابطه در بازه -۱ تا +۱، بین متغیرهای رتبه‌ای همچون: ترجیح و مقبولیت حرارتی اجرا شد. استفاده از نوع "بی" آن نیز به دلیل برابر بودن تعداد سطوح رتبه‌بندی دو متغیر می‌باشد. مطابق جدول ۴-۱۴، نتایج حاصل بین متغیر ترجیح و مقبولیت

حرارتی بیانگر، رابطه‌ای مستقیم با شدت ضعیف و معنادار ($kendall's\ tau\ B = 0/231, p < 0/00$) می‌باشد.

همبستگی کندال تائو سی، نیز همانند همبستگی تائو بی بوده با این تفاوت که تعداد سطوح رتبه‌بندی دو متغیر برابر نمی‌باشد. مطابق جدول ۴-۱۴، نتایج حاصل بین متغیر احساس با ترجیح حرارتی، بیانگر، رابطه‌ای معکوس با شدت قوی و معنادار ($kendall's\ tau\ B = -0/815, p < 0/00$) می‌باشد به این معنی که تمایل افراد به سردتر یا گرم‌تر شدن محیط، بیشتر از حالت خنثی بوده و با افزایش رتبه حرارتی، خواستار محیطی سردتر می‌باشند و همبستگی بین متغیر احساس با مقبولیت حرارتی اما، بیانگر، رابطه‌ای معکوس با شدت ضعیف و معنادار ($kendall's\ tau\ B = -0/234, p < 0/00$) می‌باشد، به‌طوری‌که با افزایش رتبه احساس حرارتی کاربران رضایت افراد، کاهش می‌یابد.

همبستگی اتا برای ارزیابی میزان شدت رابطه در بازه ۰ تا +۱، بین متغیرهای فاصله‌ای (وابسته) با رتبه‌ای (مستقل) اجرا شد، که در آن درصدی از تغییرات متغیرهای وابسته توسط متغیرهای مستقل به‌صورت غیرخطی، بیان می‌شوند. مطابق جدول ۴-۱۴، نتایج حاصل بین متغیر دمای عملکردی و احساس حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت متوسط ($\text{Eta} = 0/588$)، بین متغیر دمای عملکردی و ترجیح حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت متوسط ($\text{Eta} = 0/630$)، بین متغیر دمای عملکردی و مقبولیت حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت متوسط ($\text{Eta} = 0/536$) بین متغیر دمای هوای خارج و احساس حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت متوسط ($\text{Eta} = 0/339$) بین متغیر دمای هوای خارج و ترجیح حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت متوسط ($\text{Eta} = 0/429$) بین متغیر دمای هوای خارج و مقبولیت حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت متوسط ($\text{Eta} = 0/360$) بین متغیر سرعت هوا و احساس حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت ضعیف ($\text{Eta} = 0/280$)،

بین متغیر سرعت هوا و ترجیح حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت متوسط ($\text{Eta} = 0/361$) بین متغیر سرعت هوا و مقبولیت حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت ضعیف ($\text{Eta} = 0/290$) بین متغیر رطوبت نسبی و احساس حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت متوسط ($\text{Eta} = 0/519$) بین متغیر رطوبت نسبی و ترجیح

حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت متوسط ($\text{Eta}=0/577$) بین متغیر رطوبت نسبی و مقبولیت حرارتی بیانگر، رابطه‌ای با شدت متوسط ($\text{Eta}=0/471$) است.

در انتها می‌توان نتیجه گرفت، در میان متغیرهای محیطی دمای عملکردی نسبت به بقیه رابطه قویتری با متغیرهای ذهنی دارد به طوری که بعد از آن رطوبت، دمای خارجی و سرعت باد به ترتیب تاثیر کمتری دارند. در این میان سه متغیر ذهنی ذکر شده همانند فصل گرم، مقبولیت حرارتی میزان همبستگی کمتری را با عوامل محیطی نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۳. همبستگی متغیرهای ذهنی و محیطی، ماخذ: نگارنده.

		TSV	TP	TA	T _{op}	T _{out}	V _a	RH
TSV	Correlation coefficient	۱						
	Sig. (۲-tailed)						شدت	
	N	۳۷۴					Pearson	
TP	Correlation coefficient	- ۰/۸۱۵	۱				Kendall's tau-c	
	Sig. (۲-tailed)	۰۰۰.					Kendall's tau-b	
	N	۳۷۴	۳۷۴				Eta	
TA	Correlation coefficient	- ۰/۲۳۴	۰/۲۳۱	۱				
	Sig. (۲-tailed)	۰۰۰.	۰۰۰.					
	N	۳۷۴	۳۷۴	۳۷۴				
T _{op}	Correlation coefficient	۰/۵۸۸	۰/۶۳۰	۰/۵۳۶	۱			
	Sig. (۲-tailed)	-	-	-				
	N	۳۷۴	۳۷۴	۳۷۴	۳۷۴			
T _{out}	Correlation coefficient	۰/۳۳۹	۰/۴۲۹	۰/۳۶۰	۰/۶۹۹	۱		
	Sig. (۲-tailed)	-	-	-	۰۰۰.			
	N	۳۷۴	۳۷۴	۳۷۴	۳۷۴	۳۷۴		
V _a	Correlation coefficient	۰/۲۸۰	۰/۳۶۱	۰/۲۹۰	۰/۳۶۷	۰/۷۲۴	۱	
	Sig. (۲-tailed)	-	-	-	۰۰۰.	۰۰۰.		
	N	۳۷۴	۳۷۴	۳۷۴	۳۷۴	۳۷۴	۳۷۴	
RH	Correlation coefficient	۰/۵۱۹	۰/۵۷۷	۰/۴۷۱	۰/۶۵۵	۰/۹۱۸	۰/۶۸۹	۱
	Sig. (۲-tailed)	-	-	-	۰۰۰.	۰۰۰.	۰۰۰.	
	N	۳۷۴	۳۷۴	۳۷۴	۳۷۴	۳۷۴	۳۷۴	۳۷۴

۴-۷-۴ دمای خنثی

در این بخش با استفاده از روش‌های آنالیزهای رگرسیونی (خطی و غیرخطی) و گریفیت، دمای خنثی (مطلوب) برای کاربران دو سایت محاسبه گردید که در ادامه به بررسی هریک می‌پردازیم.

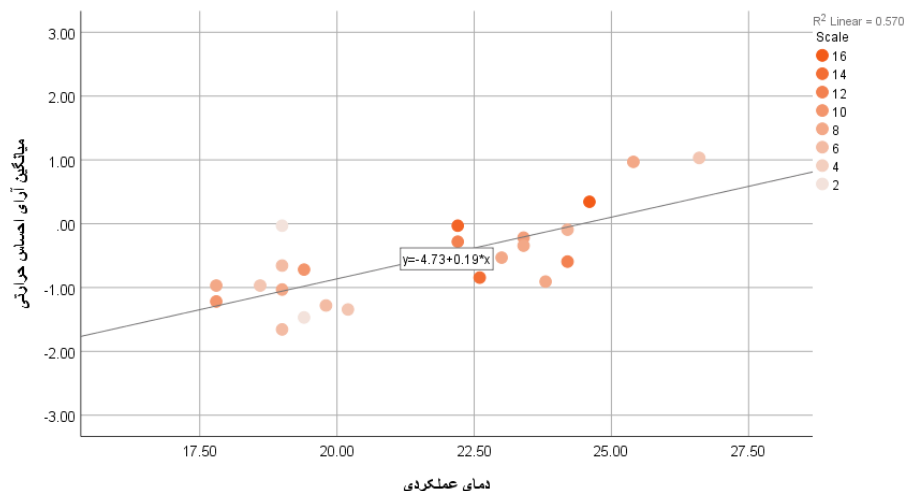
۴-۷-۴-۱ رابطه خطی میان احساس حرارتی با دمای عملکردی (رگرسیون خطی)
 مطابق شکل ۴-۱۴، رگرسیون‌های خطی وزن دهی شده میان میانگین پاسخ‌های احساس حرارتی کاربران مرد و زن نسبت به دمای عملکردی محیط، با دسته‌بندی ۰/۵ درجه سانتی‌گراد نشان داده شده است. رنگ دایره‌ها نشان‌دهنده تعداد پاسخ‌های دسته‌بندی شده، مربوط به میانگین آرای احساس حرارتی افراد در هر نیم درجه دمای عملکردیست. رگرسیون‌های ارائه شده در سایت آقایان و خانم‌ها به ترتیب $(P < 0.001, r^2 = 0.432)$ و $(P < 0.001, r^2 = 0.570)$ می‌باشند و معادله‌های (۴-۱۴) و (۴-۱۵) هریک از آن‌ها به شرح زیر است:

$$TSV_{(mean)} = -4/73 + 0/19 * T_{op} \quad (۴-۱۱)$$

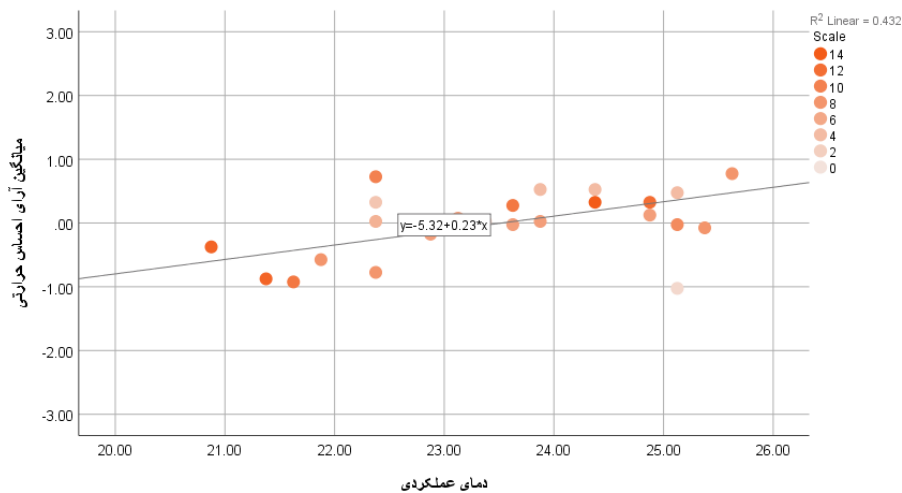
کاربران آقایان

$$TSV_{(mean)} = -5/32 + 0/23 * T_{op} \quad (۴-۱۲)$$

کاربران خانم



(الف)



(ب)

شکل ۴-۱۴. نمودار رابطه احساس حرارتی با دمای عملکردی در فصول سرد- الف: آقایان، ب: خانمها، ماخذ: نگارنده.

در این مطالعه، دمای خنثی از معادله رگرسیون معادله (۴-۱۴) و (۴-۱۵) با قرار دادن صفر به جای (TSV) به دست آمد که در سایت آقایان و خانمها به ترتیب برابر ۲۴/۸۹ و ۲۳/۱۳ درجه سانتی گراد می باشد.

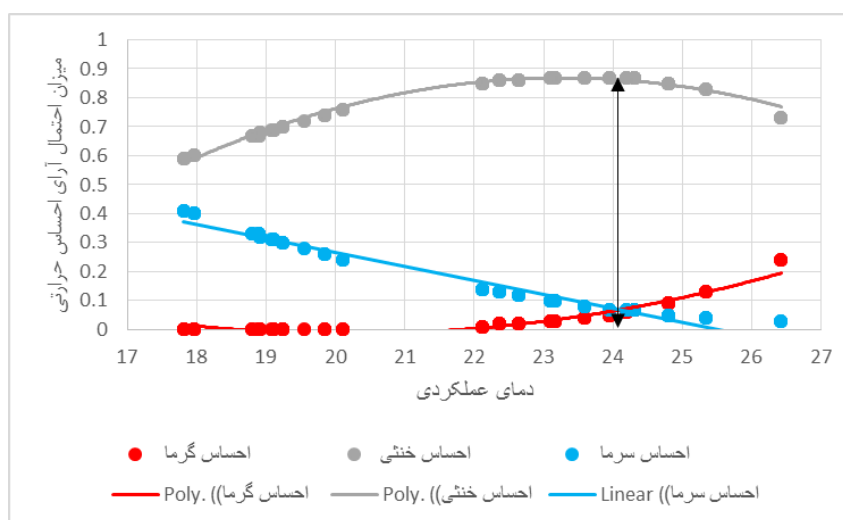
۲-۴-۷-۴ رابطه غیرخطی میان احساس حرارتی با دمای عملکردی (رگرسیون لجستیک)

رگرسیون لجستیک مدلیست که جهت پیش بینی محتمل ترین دما به عنوان دمای خنثی، بر اساس آرای احساس حرارتی (متغیر کیفی) و دمای عملکردی (متغیر کمی) در سه دسته "احساس سرما، احساس خنثی و احساس گرما" به کار می رود. برای این منظور ابتدا، آرای سرد و خیلی سرد (۲- و ۳-) تحت عنوان "احساس سرما"، آرای کمی گرم، خنثی و کمی سرد (۱- و ۰ و ۱+) تحت عنوان "احساس خنثی" و آرای گرم و خیلی گرم (۲+ و ۳+) در قالب "احساس گرما" دسته بندی شدند سپس احتمال "احساس خنثی" از معادله (۴-۱۶) و (۴-۱۷) ارائه شده زیر محاسبه گردید:

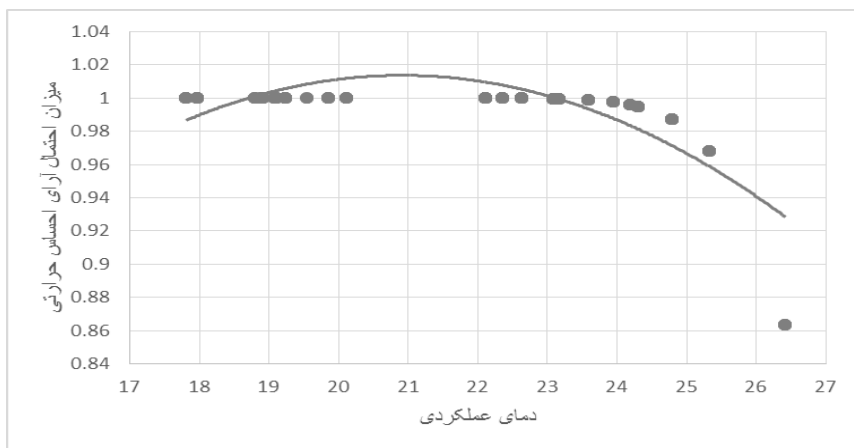
$$Logit(N) = ۱۹/۵۳۷ - ۰/۱۶۹۸ * T_{op} \quad (۴-۱۳)$$

$$Logit(N) = ۱۰/۵۵۹ - ۰/۱۳۴ * T_{op} \quad (۴-۱۴)$$

مطابق تحلیل رگرسیون لجستیک شکل ۴-۱۵ و ۴-۱۶، در سایت آقایان و خانمها، محتمل‌ترین دمای آسایش به ترتیب ۲۴/۲۰ و ۲۰/۹۴ درجه سانتی‌گراد با معناداری ($P < 0.001$) پیش‌بینی شده است. نمودار لجستیک فصل سرد آقایان احتمال دمای خنثی را در محدوده ۱۷٫۸۱ الی ۲۰/۱۱ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد دلیل این موضوع را می‌توان به پاسخ احساس حرارتی خنثی دانشجویان آقا در اکثر دماهای عملکردی دانست. براین اساس نمودار لجستیک فصل سرد آقایان، را در وضعیتی در نظر می‌گیریم که محل تلاقی احساس سرما و گرما یکدیگر را در نقطه‌ای قطع کنند و در این محل شاهد حداکثر پیش‌بینی دمای خنثی هستیم، در نتیجه دمای خنثی برای آقایان در فصل سرد را ۲۴/۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. برای فصل سرد خانمها نیز، محدوده دمای خنثی بر اساس نمودار پروبیت دمای خنثی در محدوده حدوداً ۲۱ الی ۲۵/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

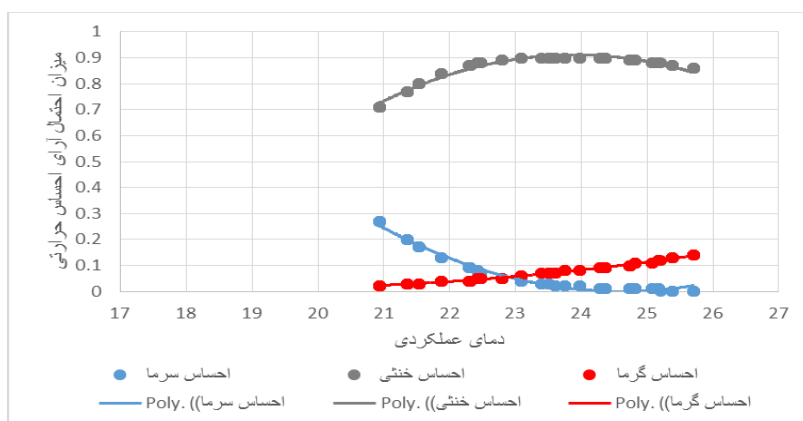


(الف)

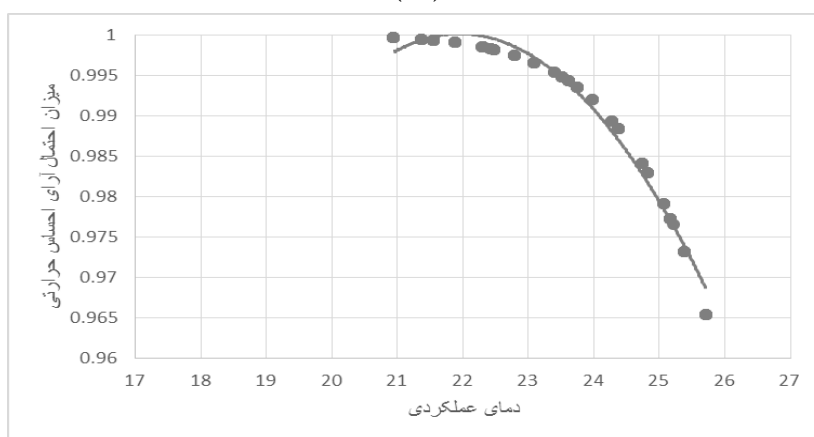


(ب)

شکل ۴-۱۵. پیش‌بینی آرای احساس حرارتی نسبت به دمای عملکردی سایت آقایان در فصول سرد، ماخذ: نگارنده.



(الف)



(ب)

شکل ۴-۱۶. پیش‌بینی آرای احساس حرارتی نسبت به دمای عملکردی سایت خانمها در فصول سرد، ماخذ: نگارنده.

۳-۴-۷-۴ روش گریفیث

با کمک از روش گریفیث، همانند تحلیل رگرسیون، به تخمین دمای خنثی در فصول سرد می‌پردازیم. دمای خنثی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد [۴۹, ۹۱] که در آن دمای عملکردی (T_{op})، آرای احساس حرارتی (TSV) و ثابت گریفیث ($k=0.5$) می‌باشد:

در فصول سرد نیز همچون فصول گرم ثابت گریفیث برابر با ۰/۵ به‌عنوان مناسب‌ترین مقدار استفاده گردید.

جدول ۴-۱۴. دمای خنثی براساس روش گریفیث در فصول سرد، ماخذ: نگارنده.

دمای خنثی با ثابت گریفیث (۰/۵k)	سایت	تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
آقایان	۱۹۰	۱۷/۸۱	۳۰/۳۰	۲۲/۹۰	۲/۴۷	
خانم‌ها	۱۸۴	۱۸/۴۳	۲۸/۳۷	۲۳/۳۹	۲/۰۵۱	

جدول ۵-۱۵ نشان می‌دهد که دمای خنثی حاصل از روش گریفیث برای سایت آقایان و خانم‌ها به ترتیب ۲۲/۹ و ۲۳/۳۹ با ضریب ثابت ۰/۵ [۹۰] می‌باشد.

۵-۷-۴ دمای ترجیحی

در پرسشنامه از کاربران خواسته شد که ترجیح حرارتی خود را در قالب مقیاس سه‌گانه (گرم‌تر، سردتر یا بدون تغییر) اعلام کنند [۲۷]. از این رو با استفاده از مدل رگرسیون پرابیت که سازوکاری همچون لجستیک دارد، محتمل‌ترین دمایی که کاربران به‌عنوان دمای خنثی ترجیح دادند، پیش‌بینی گردید. در این روش تحلیل بر اساس آرای ترجیحی "خواهان سرمای بیشتر" و "خواهان گرمای بیشتر" قابل ارزیابی می‌باشد [۹۲, ۹۳] جایکه در آن درصد مساوی از افراد شرایط "گرم‌تر یا سردتر" را خواستارند [۹۴, ۹۵] شکل ۴-۱۸ پیش‌بینی این مدل را بر اساس درصد آرای ترجیح حرارتی کاربران نسبت با دمای عملکردی نشان می‌دهد. معادله رگرسیون پروبیت برای ترجیح شرایط "گرم‌تر" در هر یک از سایت‌ها به شرح زیر است:

$$Probit(P_w) = 13/75 - 0.577 \times T_{op} \quad (4-15)$$

$$\text{Probit}(P_w) = 18/349 - 0/1802 \times T_{op} \quad (16-4)$$

معادله رگرسیون پروبیت برای ترجیح شرایط "سردتر" در هر یک از سایت‌ها به شرح زیر است:

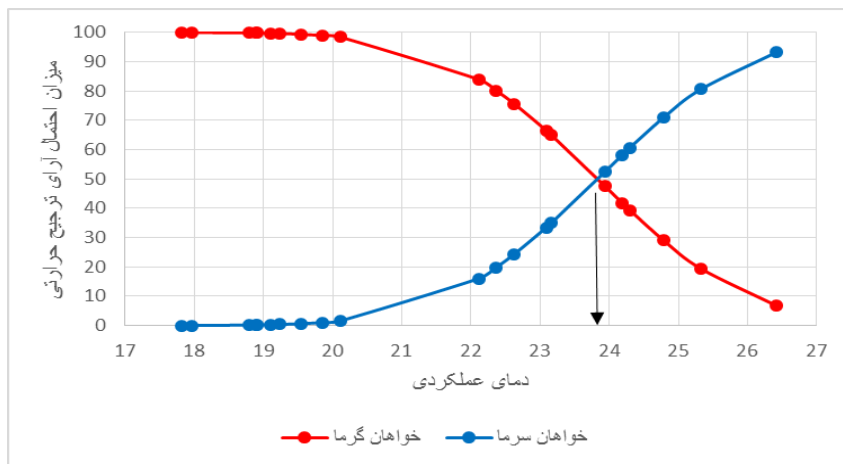
$$\text{Probit}(P_c) = -13/75 + 0/577 \times T_{op} \quad (17-4)$$

$$\text{Probit}(P_c) = -18/349 - 0/1802 \times T_{op} \quad (18-4)$$

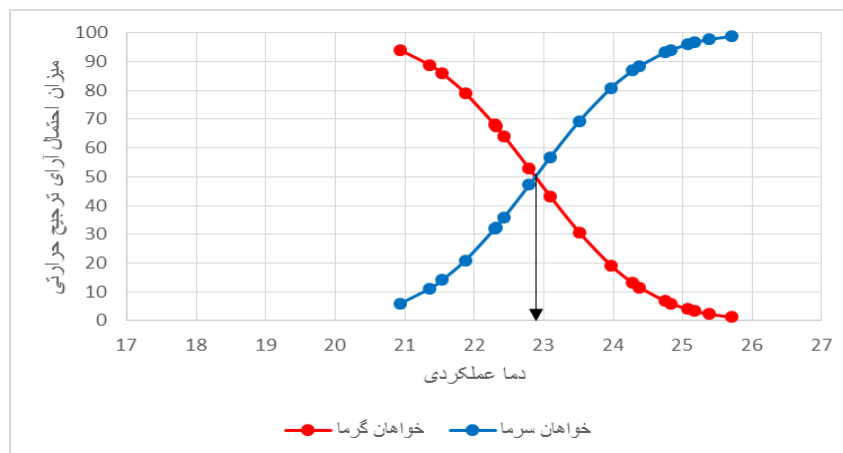
مقدار ($P < 0/001$) نشان می‌دهد که مدل ارائه‌شده از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد. دمای مطلوب

پاسخ‌دهندگان با معادله پرابیتی که در بالا به دست آمد، برای کاربران آقا و خانم به ترتیب برابر با ۲۳/۹۴

و ۲۲/۷۹ درجه سانتی‌گراد تعیین شد.



(الف)



(ب)

شکل ۴-۱۷. مدل رگرسیون پروبیت براساس درصد آرای ترجیح حرارتی نسبت به دمای عملکردی در فصول

۶-۷-۴ پیش‌بینی‌های مدل آسایش PMV-PPD

۶-۷-۴-۱ مقایسه آرای احساس حرارتی واقعی (TSV) با متوسط آرای پیش‌بینی شده (PMV)

برای مقایسه رابطه PMV و TSV از رگرسیون خطی استفاده شد. شکل ۴-۱۸ میانگین آرای احساس حرارتی واقعی کاربران و میزان آرای پیش‌بینی‌شده مدل فانگر را با دسته‌بندی ۰/۵ درجه سانتی‌گراد از دمای عملکردی نشان می‌دهد. پیش‌بینی‌های PMV حاصل از معادلات پیچیده ریاضی چهار متغیر محیطی، میزان فعالیت و عایق لباسی می‌باشد [۲۳] و معادله TSV هم توسط رگرسیون خطی در بخش‌های قبل با میزان معناداری $p < 0.001$ و مقدار $r^2 = 0.57$ و 0.43 به ترتیب در سایت آقایان و خانمها ارائه شد. نتایج حاصله در قالب فرمول‌های (۴-۲۲) و (۴-۲۳) زیر مشخص شدند:

$$T_{SV(mean)} = -4.73 + 0.19 * T_{op} \quad (19-4) \quad \text{کاربران آقا}$$

$$T_{SV(mean)} = -5.32 + 0.23 * T_{op} \quad (20-4) \quad \text{کاربران خانم}$$

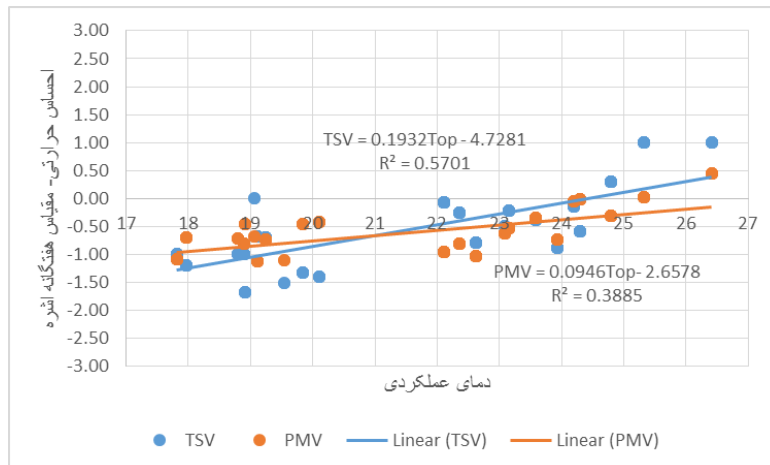
PMV نیز بر این اساس با فرمول‌های (۴-۲۴) و (۴-۲۵) زیر و میزان معناداری $p < 0.001$ و مقدار $r^2 = 0.38$ و 0.81 به ترتیب در سایت آقایان و خانمها مشخص می‌شود:

$$PMV_{(mean)} = -2.65 + 0.09 * T_{op} \quad (21-4) \quad \text{کاربران آقا}$$

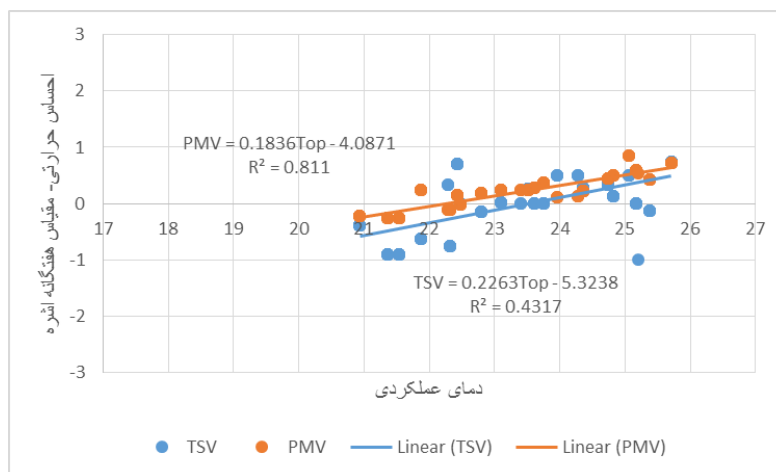
$$PMV_{(mean)} = -4.08 + 0.18 * T_{op} \quad (22-4) \quad \text{کاربران خانم}$$

در اشکال ۴-۱۸ شاهد رابطه‌ای قوی و مثبت بین PMV و دمای عملکردی می‌باشیم، به طوری که در بخش آقایان، خط رگرسیون PMV، شیب کمتری نسبت به مشاهدات احساس حرارتی دارد. این دو خط در دمای ۲۱ درجه با یکدیگر تلاقی کردند. با توجه به شکل درمی‌یابیم که در دماهای پایین‌تر از

۲۱ درجه مقادیر PMV از TSV بیشتر و در دماهای بالاتر از آن کمتر پیش‌بینی شده است. در بخش خانم‌ها نیز خط رگرسیون PMV و TSV با دمای داخل، شیب تقریباً یکسانی دارند اما اکثر نقاط آرای احساس حرارتی دمایی پایین‌تر از PMV را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

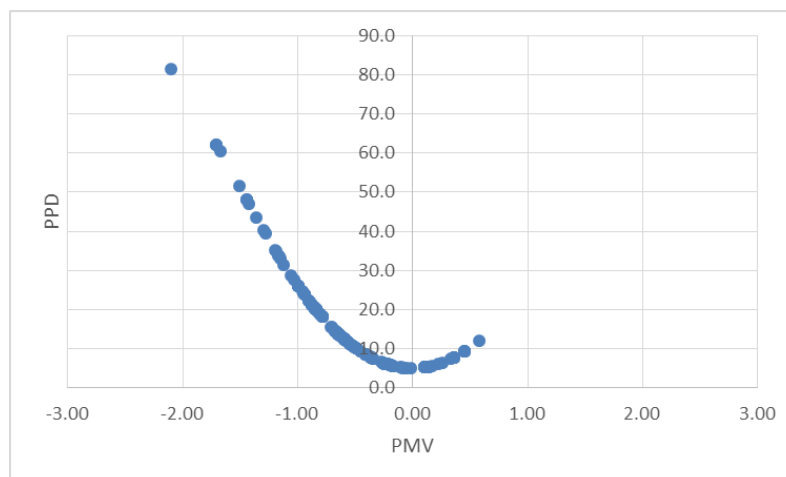
شکل ۴-۱۸. مقایسه بین آرای احساس حرارتی واقعی و پیش‌بینی شده نسبت به دمای عملکردی در فصول سرد- الف: آقایان، ب: خانم‌ها، ماخذ: نگارنده.

برای مقایسه دمای خنثی پیش‌بینی شده توسط مدل فانگر و آرای واقعی احساس حرارتی، مقادیر PMV و TSV برابر با صفر (حالت خنثی) قرار داده شد. دمای خنثی حاصل از پیش‌بینی PMV و TSV در سایت آقایان به ترتیب برابر است با ۲۹/۴۴ و ۲۴/۹ درجه سانتی‌گراد، به این معنی که PMV دمایی در حدود ۴/۵۴ درجه گرم‌تر از آرای واقعی مردم را پیش‌بینی کرده است. در سایت خانم‌ها اما دمای خنثی

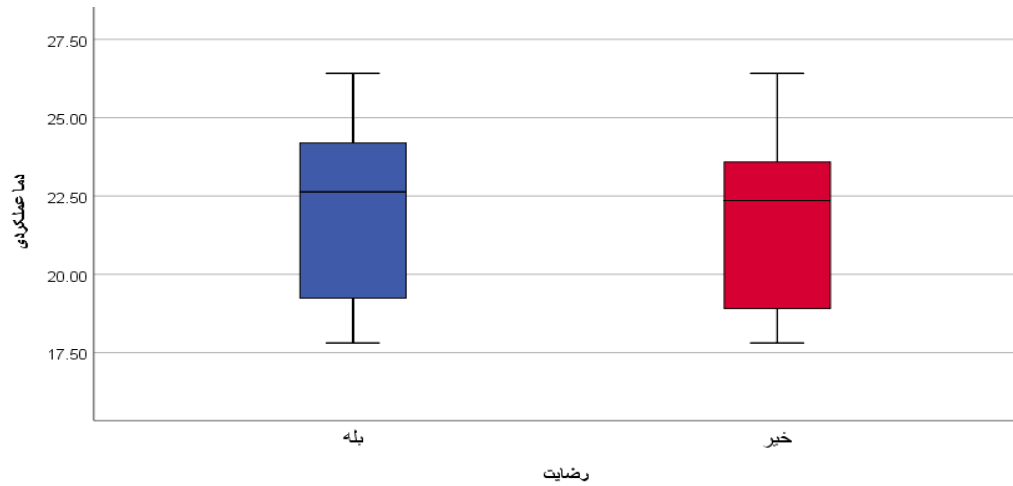
حاصل از پیش‌بینی PMV و TSV به ترتیب برابر ۲۲/۶۶ و ۲۳/۱۳ درجه سانتی‌گراد، می‌باشد که در آن مدل فانگر با اختلاف ۰/۴۷ درجه نسبت به آرای واقعی مردم دما را سردتر پیش‌بینی می‌نماید.

۲-۶-۷-۴ درصد نارضایتی پیش‌بینی شده (PPD)

درصد پیش‌بینی نارضایتی (PPD) بر اساس مدل فانگر برای هر یک از سایت‌ها محاسبه و ترسیم گردید مطابق شکل الف ۴-۱۹ قابل مشاهده است که در سایت آقایان آرای افراد بین محدوده ۲- تا ۱+ (سرد تا کمی گرم) متغیر بوده و پراکندگی نمودار در قسمت سرد بیشتر می‌باشد. میانگین نارضایتی ۱۶/۸۸ درصد بود به طوری که بیشترین و کمترین مقادیر PPD به ترتیب ۸۱/۴۰ و ۵ درصد گزارش شده‌اند. در این راستا نمودار جعبه‌ای ب ۴-۱۹ بیشترین میزان نارضایتی را در بازه ۱۸ تا ۲۶/۵ درجه با میانه ۲۲/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در سایت خانم‌ها اما، آرای افراد در محدوده ۱+ تا ۱- (کمی گرم تا کمی سرد) در محدوده خنثی متغیر می‌باشد به گونه‌ای که میانگین نارضایتی آنان ۸/۹۸ درصد بوده، بیشترین و کمترین مقادیر PPD نیز به ترتیب ۲۷/۸ و ۵ گزارش شده است. بیشترین میزان نارضایتی در نمودار جعبه‌ای ب ۴-۲۰ بین ۲۱ تا ۲۵/۷ درجه سانتی‌گراد، با میانه ۲۳ درجه سانتی‌گراد نشان داده شده است.

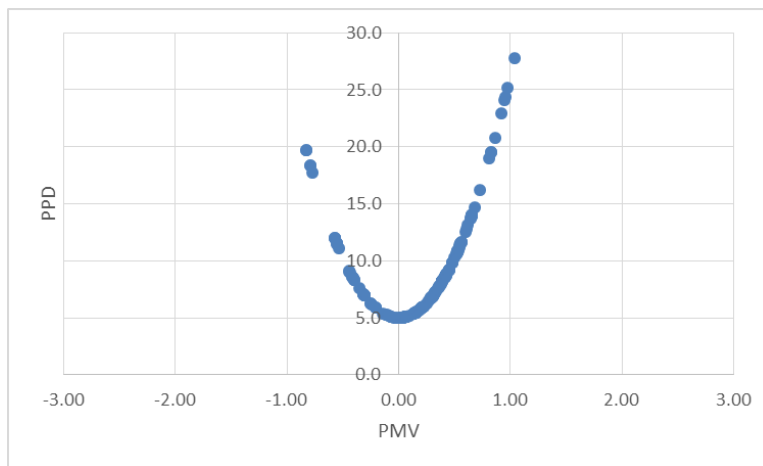


(الف)

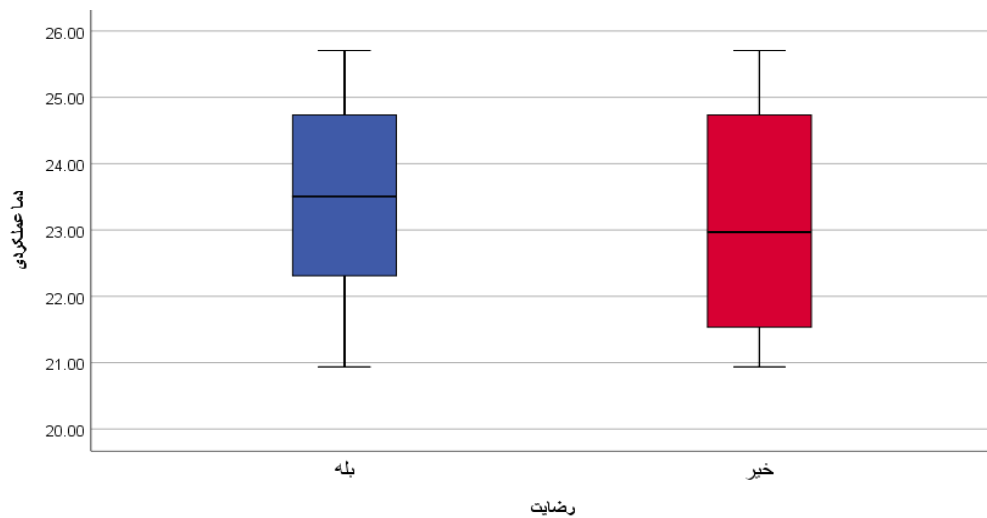


(ب)

شکل ۴-۱۹ الف: درصد نارضایتی پیش‌بینی شده براساس مدل PPD، ب: نمودار جعبه‌ای میزان آرای رضایت برحسب دما در فصول سرد - سایت آقایان، ماخذ: نگارنده.



(الف)



(ب)

شکل ۴-۲۰ الف: درصد نارضایتی پیش‌بینی شده براساس مدل PPD، ب: نمودار جعبه‌ای میزان آرای رضایت

۴-۷-۷ محدوده قابل قبول دمای هوای داخلی براساس استاندارد اشره

۵۵

۴-۷-۷-۱ پیش‌بینی‌های محدوده آسایش براساس مدل (PMV)

برای به دست آوردن محدوده آسایشی که در آن ۸۰٪ کاربران راضی باشند، می‌توان از میانگین احساس حرارتی نسبت به دمای عملکردی استفاده کرد. به طوری که طبق تعریف اشره ۵۵، محدوده راحتی به شرایطی اطلاق می‌شود که در $(-0.5 < PMV < +0.5)$ قرار داشته باشد، به طوری که انتظار می‌رود درصد نارضایتی افراد (PPD) ۲۰٪ باشد. که ۱۰٪ آن ناشی از نارضایتی حرارتی عمومی، هنگامی که (-) $(-0.5 < PMV < +0.5)$ و ۱۰٪ باقیمانده، حاصل از: نارضایتی ناشی از محیط [۴] عدم تقارن دمای تابشی، اختلاف دمای عمودی بین میچ پا و سطح سر و دمای سطوح کف پدید می‌آید. از این رو نرخ کلی نارضایتی (PPD= ۲۰٪) مربوط به محدوده ایست که در آن $PMV = \pm 0.185$ می‌باشد و ۸۰٪ آرا در دسته مرکزی از مقیاس سه‌گانه اشره و در آسایش قرار می‌گیرند.

برای پیدا کردن محدوده‌های تجربی از محیط‌های حرارتی قابل قبول برای رضایت ۸۰ درصدی بیان شده در اشره، بایستی TSV به دست آمده از رگرسیون خطی را برابر با ± 0.185 تا توسط آن حد بالا و پایین دما حاصل شود.

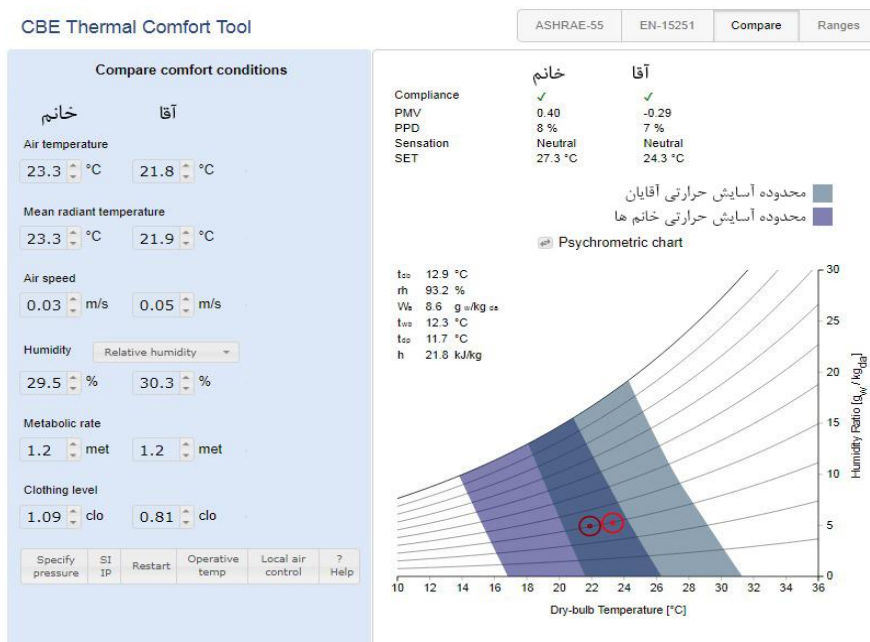
محدوده قابل قبول ۸۰ درصدی دمای عملکردی برای هر یک از سایت‌ها در جدول ۴-۱۶ بیان شده است. در بخش آقایان بین ۲۰/۴۲ تا ۲۹/۳۶ درجه سانتی‌گراد (۸/۹۴ درجه) و در سایت خانم‌ها بین ۱۹/۴۳ تا ۲۶/۸۲ درجه سانتی‌گراد (۷/۳۹ درجه) به دست آید. شیب رگرسیون به دست آمده در سایت آقایان تندتر از همتای آن در سایت خانم‌هاست که این نشان‌دهنده سازگاری کمتر کاربران مرد در مواجهه با تغییرات دمایی است.

جدول ۴-۱۵. خلاصه‌ای از رگرسیون خطی احساس حرارتی با دمای عملکردی در محدوده قابل قبول کاربران در فصول سرد، ماخذ: نگارنده.

سایت	تعداد	۲t	P	ضریب رگرسیون	مقدار ثابت	دمای خنثی	۲۰LL	۲۰UL
آقایان		۰/۵۷	۰/۰۰	۰/۱۹	-۴/۷۲	۲۴/۴۷	۲۰/۴۲	۲۹/۳۶
خانمها		۰/۴۳۱	۰/۰۰	۰/۲۲	-۵/۳۲	۲۳/۵۲	۱۹/۴۳	۲۶/۸۲
میانگین							۱۹/۹۲	۲۸/۰۹

۲-۷-۷-۴ پیش‌بینی محدوده آسایش براساس ابزار (CBE)

CBE ابزاریست که در دانشگاه برکلی کالیفرنیا بر پایه استاندارد اشره طراحی و تدوین شده است که با تحلیل داده‌های محیطی همچون: دمای هوا، دمای تابشی، سرعت هوا، رطوبت و همچنین داده‌های فردی از قبیل: میزان لباس و فعالیت، به ترسم نمودارهای سایکرومتریک می‌پردازد. مطابق شکل ۴-۲۱ در سایت آقایان مقدار PMV و PPD به ترتیب برابر با ۰/۲۹- و ۰/۷ در حالت خنثی گزارش شده و محدوده دمای پیش‌بینی شده توسط نمودار سایکرومتریک بین ۲۲ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. در سایت خانمها هم مقدار PMV و PPD به ترتیب برابر با ۰/۴ و ۰/۸ در حالت خنثی گزارش شده و محدوده دمای پیش‌بینی شده توسط نمودار سایکرومتریک بین ۱۷ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



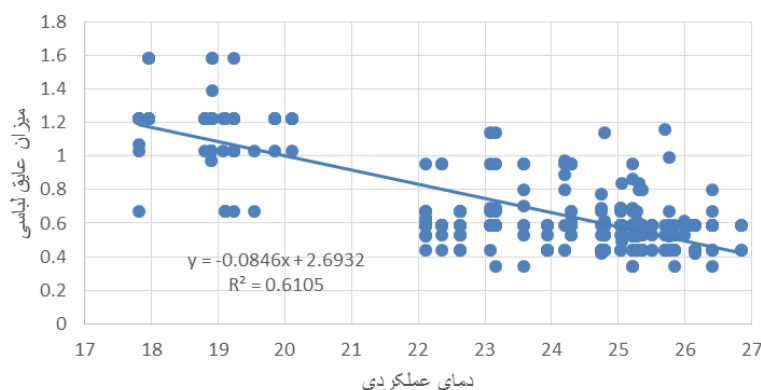
شکل ۴-۲۱. نمودار سایکرومتریک تعیین محدوده آسایش در فصول سرد، ماخذ: نگارنده.

۸-۴ تنظیمات رفتاری کاربران در سایت

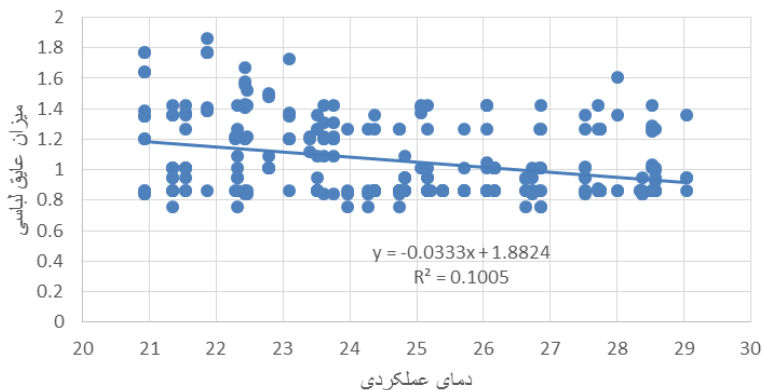
همان‌طور که [۲۵] بیان کرد، "قدرتمندترین شکل تنظیم حرارتی انسان، تنظیمات رفتاری است"، که شامل چندین اقدام تطبیقی می‌باشد. این اقدامات بر تعادل حرارتی بین بدن انسان و محیط حرارتی اطراف تأثیر می‌گذارد [۵۵]، که از جمله می‌توان به: تغییرات عایق لباسی میزان فعالیت و متابولیسم، حرکت به محیط‌های حرارتی مختلف و استفاده از تجهیزات برای کنترل شرایط حرارتی اشاره کرد [۱۷]. در این پژوهش کاربران با وجود برخورداری از فرصت‌های سازگاری رفتاری متعدد، اغلب به تنظیم میزان پوششان بسنده می‌کردند.

برای هر یک از افراد موجود در پژوهش به‌طور مجزا میزان عایق لباسی محاسبه گردید و از آن برای درک رابطه بین دمای محیط داخلی و خارجی استفاده شد. بین میزان عایق لباسی و دمای عملکردی در بخش آقایان ($P < 0.001$, $N = 338$, $r = -0.781$) رابطه قوی و معکوس وجود دارد. میزان عایق لباسی و میانگین دمای ماهیانه نیز ($P < 0.001$, $N = 338$, $r = -0.753$) و در بخش خانم‌ها رابطه دمای عملکردی با میزان پوشش ($P < 0.001$, $N = 338$, $r = -0.317$) می‌باشد. میزان عایق لباسی و میانگین دمای ماهیانه نیز ($P < 0.001$, $N = 338$, $r = -0.432$) است.

شکل ۴-۲۲ نمودار پراکندگی میزان پوشش را نسبت به دمای عملکردی داخلی سایت‌ها را نشان می‌دهد. مطابق شکل این دو متغیر رابطه عکس دارند به‌طوری‌که با کاهش دمای عملکردی میزان پوشش افزایش می‌یابد؛ شیب رگرسیون در بخش آقایان به میزان قوی $r = -0.61$ و در بخش خانم‌ها به میزان ضعیف‌تر $r = -0.1$ گزارش شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۴-۲۲. رابطه عایق لباسی و دمای عملکردی؛ الف: سایت آقایان، ب: سایت خانم‌ها، ماخذ: نگارنده.

این نتیجه بیانگر اختلاف ۰/۵۱ در میزان T^2 گزارش شده در دو سایت است که نشان‌دهنده تفاوت در میزان پوشش میان دو جنس می‌باشد. به طوری که سیاست‌گذاری کد لباس در این برداشت، مطابق با عوامل اجتماعی-فرهنگی به نوعی برای سطح لباس هر جنس تعیین شده است. در نتیجه، تنظیم لباس با توجه به تغییر دمای عملکردی سایت‌ها در محدوده معینی، خصوصاً برای کاربران خانم قادر به کاهش یافتن می‌باشد.

۹-۴ آزمون خی دو یا کای اسکوئر^۱

جداول زیر نتایج حاصل از آزمون کای اسکوئر را نشان می‌دهند. این آزمون اساساً جهت تعیین ارتباط بین دو متغیر مستقل می‌باشد و میزان معناداری آن را به لحاظ آماری ارزیابی می‌نماید (در همه آزمون‌ها سطح معناداری ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است). برای انجام آن به طرح یک سؤال و دو فرضیه (صفر و یک) نیازمندیم.

سؤال: آیا بین احساس، ترجیح و مقبولیت حرارتی افراد و جنسیت کاربران ارتباط معناداری وجود دارد؟

^۱ Chi square goodness of fit test

فرضیه صفر: بین احساس، ترجیح و مقبولیت حرارتی افراد و جنسیت کاربران ارتباط معناداری وجود ندارد.

فرضیه یک: بین احساس، ترجیح و مقبولیت حرارتی افراد و جنسیت کاربران ارتباط معناداری وجود دارد.

طبق جدول ۴-۱۷ عدد خی دو رابطه احساس حرارتی با جنسیت کاربران برابر با ۱۶/۱۴۲ است که این میزان بر مبنای آزمون آماری معنادار می‌باشد ($P=0/013$)، عدد خی دو رابطه ترجیح حرارتی با جنسیت کاربران برابر با ۲۱/۲۱۱ است که این میزان بر مبنای آزمون آماری معنادار می‌باشد ($P=0/000$)، عدد خی دو رابطه مقبولیت حرارتی با جنسیت کاربران برابر با ۴/۹۵۳ است که این میزان بر مبنای آزمون آماری معنادار نمی‌باشد ($P=0/084$).

جدول ۴-۱۶. مقایسه متغیرهای احساس، ترجیح و مقبولیت حرارتی با جنسیت کاربران، ماخذ: نگارنده.

	Pearson Chi-Square	df	Asymptotic Significance (۲-sided)
TSV * Gender	۱۶/۱۴۲	۶	۰/۰۱۳
TP * Gender	۲۱/۲۱۱	۲	۰/۰۰۰
TA * Gender	۴/۹۵۳	۲	۰/۰۸۴
N of Valid Cases	۶۱۶		

سؤال: آیا بین احساس، ترجیح و مقبولیت حرارتی افراد و رضایت کاربران ارتباط معناداری وجود دارد؟ فرضیه صفر: بین احساس، ترجیح و مقبولیت حرارتی افراد و رضایت کاربران ارتباط معناداری وجود ندارد.

فرضیه یک: بین احساس، ترجیح و مقبولیت حرارتی افراد و رضایت کاربران ارتباط معناداری وجود دارد. طبق جدول ۴-۱۸ عدد خی دو رابطه احساس حرارتی با رضایت کاربران برابر با ۱۸۱/۰۱ است که این میزان بر مبنای آزمون آماری معنادار می‌باشد ($P=0/000$)، عدد خی دو رابطه ترجیح حرارتی با رضایت کاربران برابر با ۱۴۱/۵۸۲ است که این میزان بر مبنای آزمون آماری معنادار می‌باشد ($P=0/000$)، عدد

خی دو رابطه مقبولیت حرارتی با رضایت کاربران برابر با ۸۰/۵۸۹ است که این میزان بر مبنای آزمون آماری معنادار می‌باشد ($P=۰/۰۰۰$).

جدول ۴-۱۷. مقایسه متغیرهای احساس، ترجیح و مقبولیت حرارتی با رضایت کاربران، ماخذ: نگارنده.

	Pearson Chi-Square	df	Asymptotic Significance (۲-sided)
TSV * Satisfied	۱۸۱/۰۱	۶	۰/۰۰۰
TP * Satisfied	۱۴۱/۵۸۲	۲	۰/۰۰۰
TA * Satisfied	۸۰/۵۸۹	۲	۰/۰۰۰
N of Valid Cases	۶۱۶		

۱۰-۴ آزمون تی^۱

آزمون تی نیز جهت بررسی تفاوت‌های قابل توجه و معنادار بین دو جامعه آماری (آقا و خانم) استفاده شد. این آزمون نیز همانند بخش قبلی متشکل از دو فرضیه‌های صفر و یک با میزان معناداری ۰/۰۰۱ است.

فرضیه صفر: تفاوت معناداری بین میانگین احساس، ترجیح و مقبولیت حرارتی با جنسیت کاربران وجود ندارد.

فرضیه یک: تفاوت معناداری بین میانگین احساس، ترجیح و مقبولیت حرارتی با جنسیت کاربران وجود دارد.

آزمون تی برای متغیرهای احساس، ترجیح و مقبولیت حرارتی بین کاربران مرد و زن صورت گرفت بر اساس نتایج، بین متغیر احساس حرارتی آقایان با ($M=۴/۰۶$, $SD=۱/۲۱$) و خانمها با ($M=۳/۷۷$, $SD=۱/۰۸$) رابطه معناداری وجود ندارد ($t=-۳/۰۴۸$, $df=۶۱۴$, $p=۰.۰۰۲$).

متغیر ترجیح حرارتی آقایان با ($M=۲/۰۷$, $SD=۰/۷۳$) و خانمها با ($M=۲/۲۹$, $SD=۰/۶۳$) رابطه معناداری وجود دارد ($t=۹۹۴/۳$, $df=۶۱۴$, $p=۰.۰۰۰$).

^۱ T student's test

متغیر مقبولیت حرارتی آقایان با ($SD=0/61, M=1/03$) و خانمها با ($SD=0/58, M=1/21$)
رابطه معناداری وجود ندارد ($t=962/1, df=614, p=0.050$).

در جدول زیر و با توجه به آزمون لوین، مقدار آزمون تی برابر با $-3/048$ و $P=0/002$ که به لحاظ آماری معنادار می‌باشد. بنابراین بر اساس نتیجه می‌توان ادعا کرد که میان میانگین احساس حرارتی بین دو جنس تفاوت وجود دارد.

فصل ۵: نتیجه گیری

۱-۵ مقدمه

پژوهش حاضر، باهدف دستیابی به دیدگاه جامعی نسبت به وضعیت موجود آسایش حرارتی کاربران در ساختمان مرکز کامپیوتر دانشگاه صنعتی شاهرود، صورت گرفته است. در این راستا ابتدا با اندازه گیری متغیرهای محیطی و داده‌های حاصل از پرسشنامه به‌طور همزمان، در ماه‌های خرداد، تیر، مهر و بهمن سال ۱۳۹۷، به جمع‌آوری اطلاعات محیطی و ذهنی کاربران پرداخته شد و پس از آن با استفاده از روش‌های تحلیل آماری مرسوم در این‌گونه از مطالعات، بررسی‌های نهایی جهت تعیین میزان همبستگی متغیرهای ذهنی و محیطی، دمای مطلوب و ترجیحی و در آخر محدوده آسایشی کاربران آقا و خانم ارائه گردید.

در ادامه به بیان خلاصه‌ای از نتایج این پژوهش در دو سایت (آقایان و خانم‌ها) در قالب فصول گرم و سرد می‌پردازیم:

۲-۵ تعیین آسایش حرارتی در ساختمان

۱-۲-۵ سایت آقایان

در فصول گرم: از نظر احساس حرارتی ۳۲/۴ درصد کاربران در وضعیت خنثی به سر می‌بردند، ۴۴/۶ درصد وضعیت حرارتی را بدون تغییر ترجیح دادند، ۷۰/۳ درصد کاربران نیز وضعیت حرارتی سایت را قابل قبول توصیف نمودند. دمای خنثی بر مبنای رگرسیون خطی در این فصول، ۲۴/۳۹ درجه است که بر اساس رگرسیون لجستیک، بین بازه دمایی ۲۴/۷ تا ۲۶/۷ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید و میانگین دمای خنثی با توجه به مدل گریفیث برای آقایان ۲۴/۴۹ درجه در نظر گرفته شده است. دمای ترجیحی کاربران نیز با توجه به نمودار پروبیت، دمای ۲۴/۷۵ درجه سانتی‌گراد را به عنوان محتمل‌ترین دما برای آسایش، ارائه می‌کند. محدوده دمای آسایش با توجه به مدل سازگاری استاندارد اشاره نسبت به نوسانات دمای هوای بیرون در محدوده ۲۲/۳۹ تا ۲۹/۳۹ درجه پیش بینی شده است، این در حالی است که

محدوده آسایش حرارتی براساس نمودار سایکرومتریک بازه ۲۲ الی ۳۰ درجه سانتی‌گراد را پیشنهاد می‌کند، محدوده آسایش ۸۰ درصدی تخمین زده شده اشاره بر اساس آرای احساس حرارتی نیز بازه ۲۲/۵۴ تا ۲۶/۲۳ را گزارش می‌کند. مقایسه دمای پیش‌بینی شده توسط مدل PMV با میانگین آرای احساس حرارتی واقعی افراد اختلاف ۱/۴۸ درجه‌ای بین این دو مدل را نشان می‌دهد. درصد کاربران ناراضی ۶/۶۱ می‌باشند که بین محدوده کمی گرم تا کمی سرد متغیر بوده و در بازه دمایی ۲۴/۷ تا ۲۶/۸ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند.

در فصول سرد: از نظر احساس حرارتی ۳۵/۸ درصد کاربران در وضعیت خنثی به سر می‌بردند، ۴۶/۸ درصد وضعیت حرارتی را بدون تغییر ترجیح دادند، ۶۸/۹ درصد کاربران نیز وضعیت حرارتی سایت را قابل قبول توصیف نمودند. دمای خنثی بر مبنای رگرسیون خطی در این فصول، ۲۴/۸۹ درجه است که براساس رگرسیون لجستیک، بین بازه دمایی ۱۸/۰ تا ۲۶/۵ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید و میانگین دمای خنثی با توجه به مدل گریفیث برای آقایان ۲۲/۹ درجه در نظر گرفته شده است. دمای ترجیحی کاربران نیز با توجه به نمودار پروبیت، دمای ۲۳/۹۴ درجه سانتی‌گراد را به عنوان محتمل‌ترین دما برای آسایش، ارائه می‌کند. محدوده آسایش حرارتی براساس نمودار سایکرومتریک بازه ۲۲ الی ۳۱ درجه سانتی‌گراد را پیشنهاد می‌کند، محدوده آسایش ۸۰ درصدی تخمین زده شده اشاره بر اساس آرای احساس حرارتی نیز بازه ۲۰/۴۲ تا ۲۹/۳۶ را گزارش می‌کند. مقایسه دمای پیش‌بینی شده توسط مدل PMV با میانگین آرای احساس حرارتی واقعی افراد اختلاف ۴/۵۴ درجه‌ای بین این دو مدل را نشان می‌دهد. درصد کاربران ناراضی ۱۶/۸۸ می‌باشند که بین محدوده کمی گرم تا سرد متغیر بوده و در بازه دمایی ۱۸ تا ۲۶/۵ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند.

۲-۲-۵ سایت خانم‌ها

در فصول گرم: از نظر احساس حرارتی ۲۶/۶ درصد کاربران در وضعیت خنثی به سر می‌بردند، ۲۶/۶ درصد وضعیت حرارتی را بدون تغییر ترجیح دادند، ۶۲/۸ درصد کاربران نیز وضعیت حرارتی سایت را

قابل قبول توصیف نمودند. دمای خنثی بر مبنای رگرسیون خطی در این فصول، ۲۵/۲۸ درجه است که براساس رگرسیون لجستیک، بین بازه دمایی ۲۶ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید و میانگین دمای خنثی با توجه به مدل گریفیث برای خانم‌ها ۲۶/۰۳ درجه در نظر گرفته شده است. دمای ترجیحی کاربران نیز با توجه به نمودار پروبیت، دمای ۲۶/۰۵ درجه سانتی‌گراد را به عنوان محتمل‌ترین دما برای آسایش، ارائه می‌کند. محدوده دمای آسایش با توجه به مدل سازگاری استاندارد اشره نسبت به نوسانات دمای هوای بیرون در محدوده ۲۲/۳۹ تا ۲۹/۳۹ درجه پیش‌بینی شده است، این در حالی است که محدوده آسایش حرارتی براساس نمودار سایکرومتریک بازه ۱۵ الی ۲۳ درجه سانتی‌گراد را پیشنهاد می‌کند، محدوده آسایش ۸۰ درصدی تخمین زده شده اشره بر اساس آرای احساس حرارتی نیز بازه ۲۲/۶۲ تا ۲۷/۹۳ را گزارش می‌کند. مقایسه دمای پیش‌بینی شده توسط مدل PMV با میانگین آرای احساس حرارتی واقعی افراد اختلاف ۲/۵۷ درجه‌ای بین این دو مدل را نشان می‌دهد. درصد کاربران ناراضی ۳۰/۹ می‌باشند که بین محدوده خنثی تا گرم متغیر بوده و در بازه دمایی ۲۶ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند.

در فصول سرد: از نظر احساس حرارتی ۵۱/۱ درصد کاربران در وضعیت خنثی به سر می‌بردند، ۶۴/۱ درصد وضعیت حرارتی را بدون تغییر ترجیح دادند، ۸۱/۵ درصد کاربران نیز وضعیت حرارتی سایت را قابل قبول توصیف نمودند. دمای خنثی بر مبنای رگرسیون خطی در این فصول، ۲۳/۱۳ درجه است که براساس رگرسیون لجستیک، بین بازه دمایی ۲۱ تا ۲۵/۵ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید و میانگین دمای خنثی با توجه به مدل گریفیث برای خانم‌ها ۲۳/۳۹ درجه در نظر گرفته شده است. دمای ترجیحی کاربران نیز با توجه به نمودار پروبیت، دمای ۲۲/۷۹ درجه سانتی‌گراد را به عنوان محتمل‌ترین دما برای آسایش، ارائه می‌کند. محدوده آسایش حرارتی براساس نمودار سایکرومتریک بازه ۱۷ الی ۲۶ درجه سانتی‌گراد را پیشنهاد می‌کند، محدوده آسایش ۸۰ درصدی تخمین زده شده اشره بر اساس آرای احساس حرارتی نیز بازه ۱۹/۴۳ تا ۲۶/۸۲ را گزارش می‌کند. مقایسه دمای پیش‌بینی شده توسط مدل PMV با میانگین آرای احساس حرارتی واقعی افراد اختلاف ۰/۴۷ درجه‌ای بین این دو مدل را نشان

می‌دهد. درصد کاربران ناراضی ۸/۹۸ می‌باشند که بین محدوده کمی گرم تا کمی سرد متغیر بوده و در بازه دمایی ۲۱ تا ۲۵/۷ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند.

رابطه و همبستگی بین متغیرهای آسایش حرارتی

رابطه دمای عملکردی با میزان پوشش به صورت کلی به صورت نزولی و معکوس گزارش شد، به این معنا که با افزایش دمای عملکردی، میزان پوشش کاربران کاسته می‌شود، با توجه به همبستگی میان متغیرها محیطی و ذهنی در هر دو فصل واضح است که دمای عملکردی دارای قوی‌ترین میزان همبستگی با احساس حرارتی افراد است و در این بین درصد رطوبت نسبی، سرعت هوا و دمای هوای بیرونی به ترتیب کمترین میزان رابطه را نسبت به دمای عملکردی گزارش می‌کنند.

۳-۵ مقایسه جامعه آماری آقایان و خانمها

انجام آزمون خی دو بروی متغیرهای ذهنی نسبت به پارامترهای جنسیت و رضایت نشان داد که بین احساس و ترجیح حرارتی با جنسیت ارتباط معناداری حاکم می‌باشد، در حالی که مقبولیت حرارتی چنین نبوده و رابطه‌ای بی معنی را با جنسیت نشان داد. پارامتر رضایت اما، رابطه معناداری بین تمامی متغیرهای ذهنی و رضایت را به نمایش می‌گذارد.

آزمون تی نیز در ادامه جهت بررسی معناداری، تفاوت بین متغیرهای ذهنی با جنسیت افراد نشان داد که بین احساس و مقبولیت حرارتی آقایان با خانمها تفاوت معناداری مشاهده نشد که در مورد آرای ترجیح حرارتی نتیجه به طور عکس گزارش شد.

۴-۵ پیشنهاداتی در راستای بهبود شرایط آسایش

با توجه به بررسی‌ها و مشاهدات به عمل آمده از محدوده برداشت و نمونه‌های موجود در سراسر دنیا، درمی‌یابیم که اساساً محیط‌های همچون ساختمان مرکز کامپیوتر به دلیل وجود تجهیزات الکترونیکی و شرایط خاص نگهداری آن‌ها، بهتر است که از سیستم‌های مناسب‌تری جهت خنک کردن فضا به جای

خنک‌کننده‌های تبخیری همچون کولرهای آبی استفاده کنند. از طرفی دیگر به دلیل وجود دریچه‌های خروجی کولرهای آبی در سقف، به صورت موضعی تنها محدوده‌های نزدیک به این دریچه‌ها با سرما و جریان‌های باد نسبتاً زیادی مواجه می‌شوند، این در حالی است که کاربران محدوده‌های دورتر از گرمای هوا ابراز نارضایتی می‌کنند. با این وجود شاید استفاده از سیستم کولر گازی جهت سرمایش و موتورخانه حرارت مرکزی با رادیاتور جهت گرمایش برای این قبیل فضاها مناسب‌تر باشد.

ارتفاع‌های پنجره‌ها و نحوه چینش مبلمان در دو سایت نیز به گونه‌ای بود که کاربران دسترسی مناسبی به بازشوها نداشته و از این رو اکثراً به میزان بالای رطوبت و عدم جابجایی هوای داخل معترض بودند. از سویی دیگر به دلیل شرایط و الزامات اجتماعی و فرهنگی موجود در زمینه پوشش، کاربران قادر به کم کردن البسه خود در هر سطحی نمی‌باشند، که این دو سبب محدود شدن میزان سازگاری افراد و رفتار منفعلانه آنان نسبت به محیط می‌شود. در این راستا می‌توان با ایجاد تغییراتی ساده در راستای چیدمان فضا جهت دسترسی بهتر به بازشوها تا حدودی تعاملات فعالانه کاربران را نسبت به محیط بهبود بخشید.

۵-۵ پیشنهاداتی جهت پژوهش‌های آینده

موضوع آسایش حرارتی به دلیل گستردگی زیاد خود شامل مباحث گسترده‌ای می‌باشد که پرداختن به تک‌تک آن‌ها از حوصله این پژوهش خارج بود، از این رو در ادامه به طرح برخی از پیشنهادات در راستای تداوم موضوع پرداخته شده است:

- در بحث پوشش می‌توان به عدم وجود برخی از کدهای لباسی مورد استفاده کاربران خانم در ایران بین ضرایب لباسی موجود در استانداردهای بین‌المللی آسایشی اشاره کرد، به طوری که برای پوشش‌های خاصی از قبیل: مقنعه، مانتو و چادر ضریب دقیقی وجود ندارد. موضوع دیگر می‌تواند این باشد که میزان پوشش مرسوم در بین کاربران آقا و خانم به طور خاص، چه تأثیری در حصول آنان به محدوده آسایشی خواهد داشت، اشاره کرد.

- در بحث طراحی نیز، می‌توان با نتایج حاصل از این پژوهش به استراتژی‌های مناسبی جهت طراحی فضاها دست‌یافت، به‌گونه‌ای که کاربران آن فضا، بهینه‌ترین شرایط را به لحاظ کیفیت محیطی و مصارف انرژی تجربه کنند.

پوست

مراجع

- Van Hoof, J., M. Mazej, and J.L. Hensen, *Thermal comfort: research and practice*. *Frontiers in Bioscience*, 2010. **15**(2): p. 765-788 .1
- Nicol, J.F. and M.A. Humphreys, *Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings*. *Energy and buildings*, 2002. **34**(6): p. 563-572 .2
- شاهین, ح., سازگاری حرارتی در معماری نخستین قدم در صرفجویی مصرف انرژی. Vol. 0. 1393 : دانشگاه تهران. .3
- ASHRAE, A., *Standard 55-2013: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2013*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.: Atlanta .4
- Heijs, W. *The dependent variable in thermal comfort research some psychological considerations*. in *Thermal comfort past present and future: Watford Building Research .Proceedings of the conference of june 1993*. 1994 .Establishment .5
- Benzinger, T., *The physiological basis for thermal comfort*. *Indoor climate*, 1979: p. 441-476 .6
- Hensen, J.L., *Literature review on thermal comfort in transient conditions*. p. 309-316 : (*Building and Environment*, 1990. **25**(4) .7
- Limb, M., *Air infiltration and ventilation Glossary*. 1992: Air Infiltration and Ventilation Centre .8
- McIntyre, D.A., *Indoor climate*. 1980: Elsevier .9
- Olgay, V. and A. Olgay, *Design with climate*. Bioclimatic Approach to Regionalism, New Jersey, 1963 Architectural .10
- Givoni, B., *Climate considerations in building and urban design*. 1998: John Wiley & Sons .11
- Höppe, P., *Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort*. *Energy and buildings*, 2002. **34**(6): p. 661-665 .12
- Van Hoof, J., *Abstract*. *Indoor air*, 2008. **18**(3): p. 182-201 .13
- Peeters, L., et al., *Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation*. *Applied energy*, 2009. **86**(5): p. 772-780 .14
- A study on the thermal comfort in sleeping environments in Lin, Z. and S. Deng the subtropics—Developing a thermal comfort model for sleeping environments. *Building and Environment*, 2008. **43**(1): p. 70-81 .15
- Rowe, D.M., *Activity rates and thermal comfort of office occupants in Sydney*. *Journal of Thermal Biology*, 2001. **26**(4-5): p. 415-418 .16
- Nicol, F., M. Humphreys, and S. Roaf, *Adaptive thermal comfort: principles and practice*. 2012: Routledge .17
- Auliciems, A. and S.V. Szokolay. *Thermal comfort*. 1997. PLEA .18
- Standard, A., *Standard 55-2013*. Thermal environmental conditions for human occupancy, 2013 .19
- Ashrae, A.H.F. and G. Atlanta, *American society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, 2009 .20

- Iso, E., 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, 2005 .۲۱
- .Fanger, P., *Thermal comfort. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970* .۲۲
- Fanger, P.O., *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering., 1970* .۲۳
- Szokolay, S., *Introduction to architectural science: the basis of sustainable design. 2014. Routledge* .۲۴
- Parsons, K., *Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance. 2014: CRC press* .۲۵
- De Dear, R. and G.S. Brager, *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference .۱۹۹۸* .۲۶
- McIntyre, D.A., *Chamber studies—reductio ad absurdum? Energy and Buildings, 1982. 5(2): p. 89-96* .۲۷
- Humphreys, M., *Thermal comfort temperatures and the habits of Hobbits. st ۲۱ Standards for thermal comfort: indoor air temperature standards for the .century, 1995: p. 3-13* .۲۸
- Heidari, S., *Thermal comfort in Iranian courtyard housing. 2000, University of Sheffield* .۲۹
- De Dear, R.J. and G.S. Brager, *Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. Energy and buildings, 2002. 34(6): p. 549-561* .۳۰
- Olesen, B.W. and K. Parsons, *Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. Energy and buildings, 2002. 34(6): p. 537-548* .۳۱
- Fountain, M. and C. Huizenga, *A thermal sensation prediction software tool for use by the profession. 1997* .۳۲
- Cheng, Y., J. Niu, and N. Gao, *Thermal comfort models: A review and numerical investigation. Building and Environment, 2012. 47: p. 13-22* .۳۳
- Rupp, R.F., N.G. Vásquez, and R. Lamberts, *A review of human thermal comfort in the built environment. Energy and Buildings, 2015. 105: p. 178-205* .۳۴
- Schellen, L., et al., *The use of a thermophysiological model in the built environment to predict thermal sensation: coupling with the indoor environment and thermal sensation. Building and Environment, 2013. 59: p. 10-22* .۳۵
- Gage, A., J. Stolwijk, and Y. Nishi, *An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. Memoirs of the Faculty of Engineering, Hokkaido University= 北海道大学工学部紀要, 1972. 13(Suppl): p. 21-36* .۳۶
- .Charles, K.E., *Fanger's thermal comfort and draught models. 2003* .۳۷
- Standard, A., *55 (2010). Thermal environmental conditions for human occupancy, 2010* .۳۸
- Jones, *Workplace satisfaction and thermal comfort in air conditioned office buildings: Findings from a summer survey and field experiments in Iran. Indoor and Built Environment, 2008. 17(1): p. 69-79* .۳۹
- نازنین, ن. and م. مریم انصاری, تجزیه تحلیل الگوهای پیش بینی آسایش حرارتی جهت استفاده در ساختمانهای اداری ایران, in اولین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی. ۱۳۹۰. .۴۰

- Nicol, F., *Thermal comfort: a handbook for field studies toward an adaptive model*. 1993: University of East London London .٤١
- Fabbri, K., *A brief history of thermal comfort: from effective temperature to adaptive thermal comfort*, in *Indoor Thermal Comfort Perception*. 2015, Springer. p. 7-23 .٤٢
- Gagge, A.P., *An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response*. *Ashrae Trans.*, 1971. **77**: p. 247-262 .٤٣
- Fountain, M. and C. Huizenga, *A thermal sensation model for use by the engineering profession*. 1995 .٤٤
- Doherty, T. and E.A. Arens, *Evaluation of the physiological bases of thermal comfort models*. 1988 .٤٥
- Hensen, J.L.M., *On the thermal interaction of building structure and heating and ventilating system*. 1991: Technische Universiteit Eindhoven .٤٦
- Jones, B.W., *Capabilities and limitations of thermal models for use in thermal comfort standards*. *Energy and Buildings*, 2002. **34**(6): p. 653-659 .٤٧
- de Dear, R.J., et al., *Progress in thermal comfort research over the last twenty years*. *Indoor air*, 2013. **23**(6): p. 442-461 .٤٨
- Humphreys, M.A., J.F. Nicol, and I.A. Raja, *Field studies of indoor thermal comfort and the progress of the adaptive approach*. *Advances in building energy research*, 2007. **1**(1): p. 55-88 .٤٩
- Roaf, S., et al., *Twentieth century standards for thermal comfort: promoting high energy buildings*, in *Transforming Markets in the Built Environment*. 2012, Routledge. p. 65-77 .٥٠
- Nicol, J.F. and M. Humphreys, *Understanding the adaptive approach to thermal comfort*. *ASHRAE transactions*, 1998. **104**: p. 991-1004 .٥١
- Nicol, J.F. and M.A. Humphreys, *Thermal comfort as part of a self-regulating system*. 1973 .٥٢
- Auliciems, A., *Towards a psycho-physiological model of thermal perception*. *International journal of biometeorology*, 1981. **25**(2): p. 109-122 .٥٣
- Butera, F.M., —*Principles of thermal comfort*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1998. **2**(1-2): p. 39-66 .٥٤
- DeDear, R., G. Brager, and D. Cooper, *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference: final report [on] ASHRAE RP-884*. 1997: Macquarie Research Limited .٥٥
- McIntyre, D., *Design requirements for a comfortable environment*, in *Studies in environmental science*. 1981, Elsevier. p. 195-220 .٥٦
- Fountain, M., G. Brager, and R. De Dear, *Expectations of indoor climate control*. *Energy and Buildings*, 1996. **24**(3): p. 179-182 .٥٧
- Mahdavi, A. and S. Kumar, *Implications of indoor climate control for comfort, energy and environment*. *Energy and Buildings*, 1996. **24**(3): p. 167-177 .٥٨
- Baker, N. and M. Standeven, *Thermal comfort for free-running buildings*. *Energy and Buildings*, 1996. **23**(3): p. 175-182 .٥٩
- and B. Bordass, *Productivity in buildings: the 'killer' variables*. *Building Research & Information*, 1999. **27**(1): p. 4-19 .٦٠
- Oseland, N.A., *Predicted and reported thermal sensation in climate chambers, offices and homes*. *Energy and Buildings*, 1995. **23** .٦١
- Paciuk, M., *The role of personal control of the environment in thermal comfort and satisfaction at the workplace*. 1990 .٦٢

- Brager, G., G. Paliaga, and R. De Dear, *Operable windows, personal control and occupant comfort*. 2004 .73
- Karjalainen, S., *Thermal comfort and use of thermostats in Finnish homes and offices*. Building and Environment, 2009. **44**(6): p. 1237-1245 .74
- Kim, J. and R. de Dear, *Impact of different building ventilation modes on occupant expectations of the main IEQ factors*. Building and Environment, 2012. **57**: p. 184-193 .75
- Nicol, J.F., et al., *Suggestion for new approach to overheating diagnostics*. Building Research & Information, 2009. **37**(4): p. 348-357 .76
- Fanger, P.O. and J. Toftum, *Extension of the PMV model to non air-conditioned buildings in warm climates*. Energy and buildings, 2002. **34**(6): p. 533-536 .77
- Nicol, F., *Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics*. Energy and buildings, 2004. **36**(7): p. 628-637 .78
- Parsons, K., *9 ISO Standards and Thermal Comfort: Recent Developments*, in *Standards for Thermal Comfort: Indoor Air Temperature Standards for the 21st Century*. 1995, Routledge London, UK. p. 264 .79
- Mustapa, M.S., et al., *Thermal comfort and occupant adaptive behaviour in Japanese university buildings with free running and cooling mode offices during summer*. Building and Environment, 2016. **105**: p. 332-342 .80
- Diao, C., Y. Gao, and H. Liu, *The analysis of indoor human thermal adaptive behaviors in hot-summer and cold-winter zone*. Singh M.K., et al., *Adaptive thermal comfort in the offices of North-East India in autumn season*. Building and Environment, 2017. **124**: p. 14-30 .81
- Takasu, M., et al., *Study on adaptive thermal comfort in Japanese offices under various operation modes*. Building and Environment, 2017. **118**: p. 273-288 .82
- Sun, C., et al., *A longitudinal study of summertime occupant behaviour and thermal comfort in office buildings in northern China*. Building and Environment, 2018. **143**: p. 404-420 .83
- Park, J.Y. and Z. Nagy, *Comprehensive analysis of the relationship between thermal comfort and building control research-A data-driven literature review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017 .84
- Djongyang, N., R. Tchinda, and D. Njomo, *Thermal comfort: A review paper*. Renewable and sustainable energy reviews, 2010. **14**(9): p. 2626-2640 .85
- Hens, H.S., *Thermal comfort in office buildings: two case studies commented*. Building and Environment, 2009. **44**(7): p. 1399-1408 .86
- Zhang, F., et al., *The effects of higher temperature setpoints during summer on office workers' cognitive load and thermal comfort*. Building and Environment, 2017. **123**: p. 176-188 .87
- Wu, S. and J.-Q. Sun, *Two-stage regression model of thermal comfort in office buildings*. Building and Environment, 2017. **123**: p. 88-96 .88
- Antoniadou, P. and A.M. Papadopoulos, *Occupants' thermal comfort: State of the art and the prospects of personalized assessment in office buildings*. Energy and Buildings, 2017. **153**: p. 136-149 .89
- Enescu, D., *A review of thermal comfort models and indicators for indoor environments*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017. **79**: p. 1353-1379 .90
- Prieto, A., et al., *25 Years of cooling research in office buildings: review for the integration of cooling strategies into the building façade (1990–2014)*. Renewable and sustainable energy reviews, 2017. **71**: p. 89-102 .91

- Heidari, S., *Coping with nature: Ten years thermal comfort studies in Iran*. .۸۳
 Proceedings of Conference on Adapting to Change: New Thinking on Comfort,
 2010.
- آمار, م.م. اطلاعات آماری شهرستان شاهرود. ۱۳۹۰; .۸۴
 Available from: [./https://www.amar.org.ir](https://www.amar.org.ir)
- Diebel, J., J. Norda, and O. Kretchmer, *WeatherSpark*. Cedar Lake Ventures, .۸۵
 Inc, 2013
- de Dear, R. and M. Fountain, *Field experiments on occupant comfort and office* .۸۶
thermal environments in a hot-humid climate. 1994
- Newsham, G.R., D.K. Tiller, and D. Phil, *A field study of office thermal comfort* .۸۷
using questionnaire software. TRANSACTIONS-AMERICAN SOCIETY OF
 ,HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS
 .p. 3-17 :۱۰۳ .۱۹۹۷
- Busch, J.F., *A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and* .۸۸
naturally ventilated offices in Thailand. Energy and buildings, 1992. **18**(3-4): p.
 235-249
- thermal comfort in* Djamila, H., C.-M. Chu, and S. Kumaresan, *Field study of* .۸۹
residential buildings in the equatorial hot-humid climate of Malaysia. Building
 and Environment, 2013. **62**: p. 133-142
- Humphreys, M., H. Rijal, and J. Nicol. *Examining and developing the adaptive* .۹۰
comfort indoors. in *Proceedings of relation between climate and thermal*
conference: Adapting to change: new thinking on comfort, Windsor, UK,
Network for Comfort and Energy Use in Buildings, London. 2010
- Humphreys, M., H. Rijal, and J. Nicol, *Updating the adaptive relation between* .۹۱
climate and comfort indoors; new insights and an extended database. Building
 and environment, 2013. **63**: p. 40-55
- Ballantyne, E., R. Hill, and J. Spencer, *Probit analysis of thermal sensation* .۹۲
 .p. 29-43 :()assessments. International Journal of Biometeorology, 1977. **21**
- Spector, L.C. and M. Mazzeo, *Probit analysis and economic education*. The .۹۳
 Journal of Economic Education, 1980. **11**(2): p. 37-44
- Hwang, R.-L., T.-P. Lin, and N.-J. Kuo, *Field experiments on thermal comfort* .۹۴
in campus classrooms in Taiwan. Energy and Buildings, 2006. **38**(1): p. 53-62
- Wong, N.H. and S.S. Khoo, *Thermal comfort in classrooms in the tropics*. .۹۵
 Energy and buildings, 2003. **35**(4): p. 337-351
- Havenith, G., et al., *Report on manikin measurements for ASHRAE 1504-TRP:* .۹۶
Extension of the Clothing Insulation Database for Standard 55 and ISO 7730 to
provide data for Non-Western Clothing Ensembles, including data on the effect
of posture and air movement on that insulation. Results of Cooperative Research
between the American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning
Engineers, Inc., and the Universities of Loughborough, Lund, Cornell and Hong
Kong. 2013
- de Dear, R., et al., *Adaptive thermal comfort in Australian school classrooms*. .۹۷
 .p. 383-398 :(۳)۴۳ .۲۰۱۵ ,Building Research & Information

Abstract

Today, due to the lack of suitable thermal interval for different spaces in Iran, we see different levels of dissatisfaction among their users. People who are unable to function properly in the environment due to lack of proper environmental conditions, which results in reduced productivity, optimum performance and consequently lower quality of life. The purpose of this study was to survey and evaluate the thermal comfort of the users of IT Center building of Shahrood University of Technology in order to find neutral temperature, comfort range, satisfaction, thermal preferences and thermal sensation. Therefore, by collecting environmental information such as: air temperature, radiant temperature, relative humidity and air velocity by existing equipment, as well as providing a questionnaire to users simultaneously, data were evaluated by multiple statistical processes. The results were presented in May and June as "warm seasons" and October, January as "cold seasons". Accordingly, the neutral temperatures for men and women in hot seasons were 24.39 and 25.28 ° C, respectively, while the preferred temperatures were 24.75 and 26.05 ° C, respectively. Comfort range according to psychometric charts is recommended for male and female users 22 to 30 and 15 to 23, respectively. In cold seasons, the neutral temperatures for males and females, respectively, were 24.89 and 23.13 ° C, and the preferred temperatures were 23.94 and 22.79 ° C, respectively.

Comfort range is also predicted for male and female users, according to psychometric charts, 22 to 31 and 17 to 26, respectively. Investigating the correlations and relationships between the variables of thermal comfort also indicated that factors such as: operating temperature, relative humidity, air velocity and clothing insulation rate were effective on providing comfort conditions and significant differences were observed between the two genders.

Keywords : Office building, Thermal comfort, Neutral temperature, Preferred temperature, Comfort rang, Psychrometric charts.



Shahrood University of
Technology

Faculty of Architectural and Urbanism

M.Sc. Thesis in Architecture

Survey and evaluation of thermal comfort in office buildings (case study: IT center building in Shahrood University of Technology)

By: Shabnam Meisami Pour

Supervisor:

Dr. Masoud Taheri Shahraeini

Dr. Yongchao Zhai

Advisor:

Dr. Davood Shamsavani

June ۲۰۱۹