

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی معماری

ارزیابی وضعیت آسایش حرارتی در ساختمان- های آموزشی (نمونه موردی: دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود)

نگارنده: پدram علی بیکی

اساتید راهنما

دکتر مسعود طاهری شهرآئینی

دکتر یونگچاو ژای

استاد مشاور

دکتر داوود شاهسونی

تیر ۱۳۹۸

شماره: ۳۷۷/۳

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 آقای پدرام علی بیکی با شماره دانشجویی ۹۵۱۰۵۳۴ رشته مهندسی معماری گرایش معماری تحت عنوان ارزیابی وضعیت آسایش حرارتی در ساختمان‌های آموزشی (نمونه موردی: دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود) که در تاریخ ۱۳۹۸/۰۴/۲۴ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

<input type="checkbox"/> قبول (با درجه:)			
<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 ژای	دانشیار	
۳- استاد مشاور	دکتر داوود شاهسونی	دانشیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	مهندس ساجده خراباتی	مربی	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر دانیال منصفی پراپری	استادیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر الهام سرکرده‌ای	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر وحیدرضا کلات جاری

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیلی) می‌تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).



تقدیم اثر

تقدیم به پدر و مادرم

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم

تشکر و قدردانی

در آغاز از اساتید بزرگ، جناب آقای دکتر مسعود طاهری شهرآئینی و دکتر یونگچا و ژای که راهنمایی این

پایان نامه را به عهده داشته اند کمال تشکر را دارم.

از جناب آقای دکتر داوود شاهسونی که استاد مشاور این پایان نامه بوده اند نیز قدردانی می نمایم.

تعمدنامه

اینجانب **پدرام علی‌بیکی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته معماری دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه ارزیابی وضعیت آسایش حرارتی در ساختمان‌های آموزشی (نمونه موردی: دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود) تحت راهنمایی جناب آقایان دکتر مسعود طاهری شهرآئینی و دکتر یونگچاو 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 افزار ها 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 انسان‌ها اکثر زمان خود را در داخل ساختمان‌ها می‌گذرانند و آنها باید مکانی برای اقامت، امنیت و آسایش کاربران را فراهم کنند، عدم تامین این شرایط سبب اختلال در وضعیت فیزیکی و روانی ساکنین آن می‌شود و باید توجه داشت، تامین این شرایط نیز نیازمند صرف هزینه و انرژی است. فضاهای آموزشی به عنوان نمونه‌ای از این ساختمان‌ها به شمار می‌روند که دانشجویان مدت زمانی را در آن می‌گذرانند، تامین درست شرایط آسایش حرارتی علاوه بر بهبود عملکرد دانشجویان باعث کاهش مصرف انرژی نیز می‌شود. در پژوهش حاضر، برای بررسی و ارزیابی شرایط آسایش حرارتی در این کلاس‌های شمالی (کلاس هیجده) و جنوبی (چهارده) دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود به عنوان نمونه موردی جهت پژوهش انتخاب گردید و برای ارزیابی شرایط آسایش حرارتی از دو مدل اشری و سازگاری استفاده شده است. نتایج حاصل از این برداشت به ترتیب؛ در فصل گرم، برای کلاس شمالی دمای خنثی، دمای ترجیحی و محدود دمای آسایش به ترتیب؛ $23/33$ ، $24/50$ و 27 - 17 درجه سانتی‌گراد است و برای کلاس جنوبی نیز به ترتیب؛ $23/85$ ، $22/50$ و $28/50$ - $18/50$ درجه سانتی‌گراد است. در فصل سرد، نیز برای کلاس شمالی دمای خنثی، دمای ترجیحی و محدوده دمای آسایش به ترتیب؛ $23/55$ ، $22/50$ و 30 - $23/50$ و برای کلاس جنوبی نیز به همین ترتیب؛ $24/07$ ، $22/50$ و 30 - $23/50$ درجه سانتی‌گراد است. بررسی همبستگی‌ها و روابط بین متغیرهای آسایش حرارتی در این پژوهش و در داخل کلاس‌های مورد بررسی نشان از این بود که می‌توان به ترتیب اهمیت؛ دمای عملکردی که حاصل دمای تشعشعی و دمای هوای داخل است به عنوان مهمترین عامل در نظر گرفت، سایر عوامل آسایش به ترتیب اهمیت؛ رطوبت نسبی، سرعت هوا و پوشش است تاثیر کمتری بر تامین شرایط آسایش حرارتی در داخل کلاس‌های آموزشی در اقلیم گرم و خشک شهرستان شاهرود را دارند و در انتها با مقایسه جامعه آماری خانم‌ها و آقایان و همچنین مقایسه دو کلاس شمالی و جنوبی باید ذکر کرد تفاوت معناداری بین دو جامعه دانشجویان خانم و آقا و همچنین بین دو کلاس مشاهده نگردید.

کلمات کلیدی : فضای آموزشی، آسایش حرارتی، مدل اشری، مدل سازگاری، دمای خنثی، دمای ترجیحی، محدوده آسایش.

پیش‌گفتار

پایان‌نامه حال حاضر در ابتدا مختصری از موضوع آسایش حرارتی و فضاهای آموزشی می‌پردازد، سپس به مطالعه و بررسی منابع کتابخانه‌ای، مقالات و استانداردهای رایج بین‌المللی در این زمینه پرداخته شده است و در ادامه با استفاده از شیوه‌های مختلف پیشنهادی در استانداردها در طول یکسال در فصول گرم و سرد به برداشت پرسشنامه‌ای و محیطی پرداخته‌ایم. در انتها با استفاده از آزمون‌های آماری مناسب به تعیین دمای خنثی، دمای ترجیحی، محدوده آسایش حرارتی، همبستگی بین متغیرهای روانی و محیطی و تفاوت جوامع آماری نتایج را مورد تحلیل و بررسی قرار داده‌ایم.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- بررسی وضعیت آسایش حرارتی در فضاهاى آموزشى (نمونه موردی :آتلیه معماری دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود).

فهرست مطالب

ن	فهرست جداول
ع	فهرست اشکال
۱	فصل ۱: کلیات تحقیق
۲	۱-۱ مقدمه
۳	۱-۲ تعریف مسئله
۵	۱-۳ ضرورت و اهمیت
۶	۱-۴ اهداف تحقیق
۹	فصل ۲: ادبیات و پیشینه تحقیق
۱۰	۲-۱ مقدمه
۱۰	۲-۲ تعادل انرژی بدن
۱۱	۲-۳ آسایش حرارتی
۱۲	۲-۳-۱ عوامل محیطی
۱۶	۲-۳-۲ عوامل روانی
۲۲	۲-۴ شاخص‌های آسایش حرارتی
۲۳	۲-۴-۱ شاخص‌های منطقی
۲۴	۲-۴-۲ شاخص‌های تحلیلی
۲۶	۲-۵ استانداردهای آسایش حرارتی
۲۷	۲-۶ نمودارهای آسایش حرارتی
۲۸	۲-۶-۱ نمودار زیست اقلیمی

۲۸.....	۲-۶-۲ نمودار سایکرومتریک
۲۹.....	۲-۷ ارزیابی شرایط آسایش حرارتی در کلاس‌های درس
۳۱.....	۲-۸ مطالعات پیشین
۳۱.....	۲-۸-۱ پژوهش‌های ایران
۳۳.....	۲-۸-۲ پژوهش‌های خارج

فصل ۳: روش تحقیق ۳۹

۴۰.....	۳-۱ مقدمه
۴۰.....	۳-۲ روش ارزیابی و تحقیق
۴۲.....	۳-۳ معرفی سایت
۴۲.....	۳-۳-۱ موقعیت شهرستان شاهرود
۴۲.....	۳-۳-۲ اقلیم شهرستان شاهرود
۴۵.....	۳-۳-۳ موقعیت دانشگاه صنعتی شاهرود
۴۶.....	۳-۳-۴ ویژگی ساختمان دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی
۴۷.....	۳-۳-۵ مصالح
۴۸.....	۳-۳-۶ معرفی کلاس‌ها
۵۰.....	۳-۴ ابزار و روش تحقیق
۵۱.....	۳-۵ برداشت اطلاعات
۵۲.....	۳-۵-۱ موقعیت قرارگیری دیتالاگرها
۵۲.....	۳-۵-۲ نرم‌افزارهای مورد نیاز
۵۳.....	۳-۶ برداشت
۵۳.....	۳-۶-۱ برداشت میدانی
۵۷.....	۳-۶-۲ برداشت پرسشنامه‌ای

۳-۷ تحلیل آماری اطلاعات ۶۰

فصل ۴: تجزیه و تحلیل یافته‌های تحقیق

۶۱

۴-۱ مقدمه ۶۲

۴-۲ بحث و تحلیل ۶۲

۴-۳ آمار توصیفی ۶۴

۴-۳-۱ زمان برداشت ۶۴

۴-۳-۲ جامعه آماری ۶۵

۴-۳-۳ اطلاعات محیطی ۶۶

۴-۴ همبستگی بین متغیرهای روانی و محیطی ۷۲

۴-۵ آسایش حرارتی ۷۷

۴-۵-۱ آسایش حرارتی در فصل گرم ۷۷

۴-۵-۲ آسایش حرارتی در فصل سرد ۱۰۶

۴-۶ مقایسه متغیرهای آماری ۱۲۹

۴-۶-۱ آزمون کای اسکوئر یا خی دو ۱۲۹

۴-۶-۲ آزمون تی استیودنت ۱۳۱

فصل ۵: نتیجه گیری

۱۳۳

۵-۱ مقدمه ۱۳۴

۵-۲ همبستگی و رابطه متغیرها ۱۳۴

۵-۳ وضعیت آسایش حرارتی ۱۳۵

۵-۳-۱ کلاس شمالی (هیجده) ۱۳۵

۵-۳-۲ کلاس جنوبی (چهارده) ۱۳۶

۵-۴ مقایسه جوامع آماری ۱۳۸

۵-۴-۱ مقایسه وضعیت آسایش بین خانم‌ها و آقایان ۱۳۸

۵-۴-۲ مقایسه وضعیت آسایش بین کلاس شمالی و جنوبی ۱۳۸

۵-۵ پیشنهادات ۱۳۹

پیوست ۱۴۰

مراجع ۱۴۱

فهرست جداول

جدول ۱-۲. مقیاس هفتگانه اشری، نگارنده.	۲۵
جدول ۱-۳. ضرایب هدایت حرارتی دیوار دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، نگارنده.	۴۸
جدول ۲-۳. معرفی کلاسهای دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، نگارنده.	۴۸
جدول ۳-۳. مشخصات تجهیزات برداشت میدانی، نگارنده.	۵۱
جدول ۴-۳. مشخصات دستگاه هوبو RX-۳۰۰۰، نگارنده.	۵۷
جدول ۵-۳. پرسشنامه، نگارنده.	۵۸
جدول ۱-۴. زمان برداشت، نگارنده.	۶۴
جدول ۲-۴. میزان فراوانی در کلاسها، نگارنده.	۶۵
جدول ۳-۴. میزان فراوانی بر مبنای جنسیت در کلاسها. نگارنده.	۶۵
جدول ۴-۴. میزان فراوانی در هر فصل، نگارنده.	۶۵
جدول ۵-۴. میزان پوشش در هر فصل، نگارنده.	۷۲
جدول ۶-۴. میزان پوشش در هر فصل، نگارنده.	۷۳
جدول ۷-۴. خلاصه اطلاعات آماری در فصل گرم، نگارنده.	۷۷
جدول ۸-۴. خلاصه اطلاعات آماری محیطی و ذهنی دانشجویان هر کلاس در فصل گرم، نگارنده. ..	۷۸
جدول ۹-۴. جدول متقاطع احساس حرارتی و ترجیح حرارتی هر کلاس در فصل گرم، نگارنده.	۸۱
جدول ۱۰-۴. جدول متقاطع رابطه بین میزان مقبولیت و جنسیت در هر کلاس در فصل گرم، نگارنده.	۸۳
جدول ۱۱-۴. جدول متقاطع میزان رضایت و ترجیح حرارتی خانمها و آقایان دو کلاس در فصل گرم، نگارنده.	۸۴
جدول ۱۲-۴. جدول متقاطع رضایت محیط و احساس حرارتی خانمها و آقایان دو کلاس در فصل گرم، نگارنده.	۸۵
جدول ۱۳-۴. دمای آسایش و دمای عملکردی بر حسب جنسیت در فصل گرم، نگارنده.	۸۹
جدول ۱۴-۴. خلاصه اطلاعات آماری در فصل سرد، نگارنده.	۱۰۶
جدول ۱۵-۴. خلاصه اطلاعات آماری محیطی و ذهنی دانشجویان هر کلاس در فصل سرد، نگارنده.	۱۰۷
جدول ۱۶-۴. جدول متقاطع احساس حرارتی و ترجیح حرارتی هر کلاس در فصل سرد، نگارنده. ..	۱۰۹
جدول ۱۷-۴. جدول متقاطع رابطه بین میزان مقبولیت و جنسیت در هر کلاس در فصل سرد، نگارنده.	۱۱۱
جدول ۱۸-۴. جدول متقاطع رضایت و ترجیح حرارتی خانمها و آقایان دو کلاس در فصل سرد، نگارنده.	۱۱۲

جدول ۴-۱۹. جدول متقاطع رضایت و احساس حرارتی خانم‌ها و آقایان دو کلاس در فصل سرد ،	
نگارنده.	۱۱۳
جدول ۴-۲۰. دمای آسایش و دمای عملکردی برحسب جنسیت در فصل سرد، نگارنده.	۱۱۶
جدول ۴-۲۱. آزمون کای اسکوئر متغیرهای احساس حرارتی، ترجیح حرارتی و مقبولیت با رضایت	
دانشجویان، نگارنده.	۱۳۰
جدول ۴-۲۲. آزمون کای اسکوئر متغیرهای احساس حرارتی، ترجیح حرارتی و مقبولیت با جنسیت	
دانشجویان، نگارنده.	۱۳۰

فهرست اشکال

شکل ۱-۲. رابطه دمای خشک، رطوبت نسبی و سرعت باد [۶].	۱۶
شکل ۲-۲. اختلاف نتایج آزمایشگاهی و میدانی [۶].	۱۸
شکل ۳-۲. جدول ضرایب پوشش [۶].	۲۰
شکل ۴-۲. جدول ضرایب پوشش [۶].	۲۵
شکل ۵-۲. نمونه‌ای از نمودار سایکرومتریک [۲۶].	۲۶
شکل ۶-۲. محدوده آسایش در مقایسه بین عوامل محیطی با یکدیگر [۲۶].	۲۷
شکل ۷-۲. نمودار زیست اقلیمی [۲۷].	۲۸
شکل ۸-۲. سایکرومتریک [۵].	۲۹
شکل ۹-۲. محدوده دمای عملکردی در فصل زمستان و تابستان براساس استاندارد [۹].	۳۰
شکل ۱۰-۲. دمای خنثی در مناطق مختلف اقلیمی کوپن گایگر [۹].	۳۰
شکل ۱-۳. مدل ارائه شده روش تحقیق، نگارنده.	۴۱
شکل ۲-۳. میانگین دمای حداقل و حداکثر شهرستان شاهرود [۵۹].	۴۳
شکل ۳-۳. میانگین دمای ساعتی شهرستان شاهرود [۵۹].	۴۳
شکل ۴-۳. درصد رطوبت نسبی و سطح آسایش شهرستان شاهرود [۵۹].	۴۴
شکل ۵-۳. میانگین سرعت باد شهرستان شاهرود [۵۹].	۴۴
شکل ۶-۳. جهت باد شهرستان شاهرود [۵۹].	۴۵
شکل ۷-۳. موقعیت دانشگاه صنعتی شاهرود، مأخذ: Google maps, 2019.	۴۵
شکل ۸-۳. تصویر هوایی دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، مأخذ: Google maps, 2019.	۴۶
شکل ۹-۳. تصویر هوایی دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، نگارنده.	۴۶
شکل ۱۰-۳. زیرزمین دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، نگارنده.	۴۷
شکل ۱۱-۳. جزئیات اجرایی دیوار دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، نگارنده.	۴۷
شکل ۱۲-۳. پلان زیرزمین دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، نگارنده.	۴۹
شکل ۱۳-۳. کلاس شماره هیجده، نگارنده.	۴۹
شکل ۱۴-۳. کلاس شماره چهارده، نگارنده.	۵۰
شکل ۱۵-۳. تجهیزات برداشت میدانی، نگارنده.	۵۱
شکل ۱۶-۳. نحوه نصب تجهیزات برداشت میدانی، نگارنده.	۵۴
شکل ۱۷-۳. محیط نرم‌افزار، نگارنده.	۵۵
شکل ۱۸-۳. پلان و محل قرارگیری دیتالاگرها در کلاس هیجده، نگارنده.	۵۵
شکل ۱۹-۳. تصویر سه‌بعدی و محل قرارگیری دیتالاگرها در کلاس هیجده، نگارنده.	۵۶
شکل ۲۰-۳. پلان و محل قرارگیری دیتالاگرها در کلاس چهارده، نگارنده.	۵۶

- شکل ۳-۲۱. تصویر سه بعدی و محل قرارگیری دیتالاگرها در کلاس چهارده، نگارنده. ۵۶
- شکل ۳-۲۲. ایستگاه هواشناسی دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، نگارنده. ۵۷
- شکل ۴-۱. دیاگرام روند پروژه ارزیابی وضعیت آسایش حرارتی در فضاهای آموزشی، نگارنده. ۶۳
- شکل ۴-۲. اطلاعات آب و هوایی ایستگاه هواشناسی شهرستان شاهرود، نگارنده. ۶۷
- شکل ۴-۳. اطلاعات آب و هوایی ایستگاه هواشناسی دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، نگارنده. ۶۷
- شکل ۴-۴. نمودار درصد فراوانی احساس حرارتی در هر کلاس در فصل گرم، نگارنده. ۷۹
- شکل ۴-۵. نمودار درصد فراوانی ترجیح حرارتی در هر کلاس در فصل گرم، نگارنده. ۸۰
- شکل ۴-۶. نمودار درصد فراوانی ترجیح حرارتی در هر کلاس در فصل گرم، نگارنده. ۸۳
- شکل ۴-۷. نمودار رابطه احساس حرارتی با دمای عملکردی کلاس شمالی در فصل گرم، نگارنده. ۸۷
- شکل ۴-۸. نمودار رابطه احساس حرارتی با دمای عملکردی کلاس جنوبی در فصل گرم، نگارنده. ۸۸
- شکل ۴-۹. نمودار رابطه احساس حرارتی با دمای عملکردی کلاس شمالی در فصل گرم، نگارنده. ۹۱
- شکل ۴-۱۰. نمودار لجستیک دمای خنثی کلاس شمالی در فصل گرما، نگارنده. ۹۲
- شکل ۴-۱۱. نمودار رابطه احساس حرارتی با دمای عملکردی کلاس جنوبی در فصل گرم، نگارنده. ۹۲
- شکل ۴-۱۲. نمودار لجستیک دمای خنثی کلاس جنوبی در فصل گرم، نگارنده. ۹۳
- شکل ۴-۱۳. مقایسه دمای آسایش با دمای هوا بیرون در فصل گرم در کلاس شمالی، نگارنده. ۹۳
- شکل ۴-۱۴. مقایسه دمای آسایش با دمای هوا بیرون در فصل گرم در کلاس جنوبی، نگارنده. ۹۴
- شکل ۴-۱۵. محدوده وضعیت آسایش حرارتی کلاس شمالی در فصل گرم، نگارنده. ۹۵
- شکل ۴-۱۶. محدوده وضعیت آسایش حرارتی کلاس جنوبی در فصل گرم، نگارنده. ۹۶
- شکل ۴-۱۷. نمودار پروبیت دمای ترجیحی در فصل گرم کلاس شمالی، نگارنده. ۹۸
- شکل ۴-۱۸. نمودار پروبیت دمای ترجیحی در فصل گرم کلاس جنوبی، نگارنده. ۹۹
- شکل ۴-۱۹. نمودار مقایسه شاخص رضایت با احساس حرارتی کلاس شمالی در فصل گرم، نگارنده. ۱۰۰
- شکل ۴-۲۰. نمودار مقایسه شاخص رضایت با احساس حرارتی کلاس جنوبی در فصل گرم، نگارنده. ۱۰۱
- شکل ۴-۲۱. نمودار درصد عدم رضایت کلاس شمالی در فصل گرم، نگارنده. ۱۰۳
- شکل ۴-۲۲. نمودار جعبه‌ای رضایت و عدم رضایت کلاس شمالی در فصل گرم، نگارنده. ۱۰۳
- شکل ۴-۲۳. نمودار درصد عدم رضایت در کلاس جنوبی در فصل گرم، نگارنده. ۱۰۴
- شکل ۴-۲۴. نمودار جعبه‌ای رضایت و عدم رضایت کلاس جنوبی در فصل گرم، نگارنده. ۱۰۴
- شکل ۴-۲۵. نمودار رابطه میزان پوشش با دمای عملکردی کلاس شمالی در فصل گرم، نگارنده. ۱۰۵
- شکل ۴-۲۶. نمودار رابطه میزان پوشش با دمای عملکردی کلاس جنوبی در فصل گرم، نگارنده. ۱۰۵

- شکل ۴-۲۷. نمودار درصد فراوانی احساس حرارتی در هر کلاس در فصل سرد ، نگارنده. ۱۰۸
- شکل ۴-۲۸. نمودار درصد فراوانی ترجیح حرارتی در هر کلاس در فصل سرد ، نگارنده. ۱۰۸
- شکل ۴-۲۹. میزان مقبولیت حرارتی در هر کلاس در فصل سرد ، نگارنده. ۱۱۱
- شکل ۴-۳۰. نمودار رابطه احساس حرارتی با دمای عملکردی کلاس شمالی در فصل سرد ، نگارنده. ۱۱۵
- شکل ۴-۳۱. نمودار رابطه احساس حرارتی با دمای عملکردی کلاس جنوبی در فصل سرد ، نگارنده. ۱۱۵
- شکل ۴-۳۲. نمودار پیش‌بینی احساس حرارتی براساس دما عملکردی کلاس شمالی در فصل سرد، نگارنده. ۱۱۷
- شکل ۴-۳۳. نمودار لجستیک دمای خنثی کلاس شمالی در فصل سرد، نگارنده. ۱۱۸
- شکل ۴-۳۴. نمودار پیش‌بینی احساس حرارتی براساس دما عملکردی کلاس جنوبی در فصل سرد، نگارنده. ۱۱۸
- شکل ۴-۳۵. نمودار لجستیک دمای خنثی کلاس جنوبی در فصل سرد، نگارنده. ۱۱۹
- شکل ۴-۳۶. محدوده وضعیت آسایش حرارتی کلاس شمالی در فصل سرد، نگارنده. ۱۲۰
- شکل ۴-۳۷. محدوده وضعیت آسایش حرارتی کلاس جنوبی در فصل سرد، نگارنده. ۱۲۱
- شکل ۴-۳۸. نمودار پروبیت دمای ترجیحی کلاس شمالی در فصل سرد، نگارنده. ۱۲۲
- شکل ۴-۳۹. نمودار پروبیت دمای ترجیحی کلاس جنوبی در فصل سرد، نگارنده. ۱۲۳
- شکل ۴-۴۰. نمودار مقایسه شاخص رضایت با احساس حرارتی کلاس شمالی در فصل سرد ، نگارنده. ۱۲۴
- شکل ۴-۴۱. نمودار مقایسه شاخص رضایت با احساس حرارتی کلاس جنوبی در فصل سرد ، نگارنده. ۱۲۵
- شکل ۴-۴۲. نمودار درصد عدم رضایت کلاس شمالی در فصل سرد ، نگارنده. ۱۲۶
- شکل ۴-۴۳. نمودار جعبه‌ای رضایت و عدم رضایت کلاس شمالی در فصل سرد، نگارنده. ۱۲۶
- شکل ۴-۴۴. نمودار درصد عدم رضایت کلاس جنوبی در فصل سرد ، نگارنده. ۱۲۷
- شکل ۴-۴۵. نمودار جعبه‌ای رضایت و عدم رضایت کلاس جنوبی در فصل سرد، نگارنده. ۱۲۷
- شکل ۴-۴۶. نمودار رابطه میزان پوشش با دما عملکردی کلاس شمالی در فصل سرد ، نگارنده. ۱۲۸
- شکل ۴-۴۷. نمودار رابطه میزان پوشش با دما عملکردی کلاس جنوبی در فصل سرد ، نگارنده. ۱۲۸

فصل ۱: کلیات تحقیق

۱-۱ مقدمه

بدن انسان نیاز به تعادل حرارتی دارد، ساختمان بدن انسان به گونه‌ای است که هم به عنوان پوسته‌ای در نقش یک محافظ عمل می‌کند هم جداکننده‌ای برای شرایط آب و هوایی بیرون از بدن است، ساختمان‌ها نیز باید این شرایط و تعادل را برای کاربران فراهم کنند و این تامین را با کمک سیستم های تهویه مطبوع و سیستم‌های مختلف حرارتی دیگری تامین می‌کنند، این موارد نشان‌دهنده عملکرد مناسب یک ساختمان است [۱]. پدیده شهرنشینی در حال حاضر رو به افزایش است و بر اساس آمار سازمان ملل تا سال ۲۰۵۰ میلادی بیش از ۷۰ درصد جمعیت جهان در شهرها ساکن می‌شوند، بر طبق آمار جهانی، ۸۵ درصد جمعیت جهان تا سال ۲۰۳۰ میلادی در کشورهای در حال توسعه هستند، در کشورهای توسعه‌یافته، ساختمان‌ها (تجاری، مسکونی، عمومی) ۲۰ تا ۴۰ درصد از انرژی را مصرف می‌کنند [۲]، مطالعات انجام داده حاکی از آن است که این موضوع رو به افزایش است [۳]، در ایران نیز دکتر نصراللهی با بررسی این موضوع به نتایجی دست‌یافتند که بیش از ۴۰ درصد مصرف انرژی در ساختمان‌ها است [۴]. در سال‌های اخیر، شاهد کمبود منابع انرژی هستیم و به همین منظور توجه به استفاده از منابع جایگزین جدید رو به افزایش است [۱]. در کل، ساختمان‌ها در حدود ۴۰ درصد انرژی را مصرف می‌کنند که بیش از ۳۰ درصد از آن به تولید دی‌اکسید کربن منجر می‌شود به همین دلیل مطالعاتی در این زمینه در سراسر جهان برای بهبود عملکرد انرژی انجام گرفته است که از قبیل آن می‌توان به مواردی همچون: طراحی و ساخت پوسته ساختمان‌ها، آسایش حرارتی، عایق‌های حرارتی و پوشش‌های بازتاب‌دهنده و بهینه‌سازی اشاره کرد [۲]. بررسی و ارزیابی آسایش حرارتی به عنوان یکی از موضوعات در زمینه انرژی ساختمان در این رساله مورد توجه قرار گرفته است. در این بخش توضیحات کلی و جامعی در مورد موضوع و اهمیت مسئله، پژوهش‌های صورت گرفته در این موضوع، اهداف و سوالاتی که باعث انجام این پژوهش شده است را بیان می‌کنیم.

۲-۱ تعریف مسئله

معماری و طراحی ساختمان‌ها در گذشته به شکلی بوده است هر فضایی کاربری‌ها و گوناگونی‌های مختلفی داشت و همچنین افراد از الگوهای رفتاری مناسبی استفاده می‌کردند. امروزه هیچکدام از این دو موضوع مورد توجه قرار نگرفته و تنها به مصرف انرژی تکیه زده ایم، به همین دلیل، ما شاهد مصرف بی‌رویه انرژی در ساختمان‌ها هستیم که به طبع آن مسائل و مشکلاتی دیگری را به همراه خواهد داشت، به همین دلیل ما به تعیین محدوده‌ای برای آسایش حرارتی مبادرت می‌کنیم، برطبق تعریف اشری آسایش به معنای ویژگی ذهنی میداند که بیان‌کننده میزان رضایت افراد از حرارت محیط است که این تعریف دلالت به ترکیب دو ویژگی روحی و فیزیولوژیکی دارد [۵]، اما هیچز^۱ مخالف این تعریف است، این مفهوم را مبهم میداند چون ویژگی‌های ذهنی قابل اندازه‌گیری نیستند و از آن روشی یا حالتی برداشت نمی‌شود [۶]. تعاریف دیگری که در مورد آسایش حرارتی ارائه شده است میتوان به تعریف بنزیگر^۲ در سال ۱۹۷۹ اشاره کرد که میگوید فرد برای تغییر ویژگی حرارتی محیط، هیچ اقدام رفتاری انجام ندهد و یا هنس^۳ که بیان میکند نتیجه آسایش حرارتی باعث دلپذیری حرارتی برای ساکنان میشود. لیمب^۴ این مقوله را احساسی میداند، مکینتایر^۵ هیچ معیاری را برای آن قابل ارائه نمیداند و برای هر فردی متفاوت است. اولگی^۶ محدوده‌ای را برای راحتی تعریف میکند که براساس آن کمترین انرژی برای تولید محیطی مطلوب مصرف شود، جیوونی^۷ نیز شکایت نکردن از گرما و سرما را معیار آسایش حرارتی میداند [۶]، شاهین حیدری تعریف کاملتری از آسایش حرارتی را بیان میکند: "آسایش حرارتی، رضایتمندی از حرارت محیط است، به نحوی که افراد احساس سردی و گرمی نکنند."

^۱ Heijs

^۲ Benzinger

^۳ Hensen

^۴ Limb

^۵ Mclntyre

^۶ Olgeys

^۷ Givonii

راحتی وقتی اتفاق می افتد که دمای بدن در دامنه ای محدود و پوست کم نم باشد تا تلاش های

فیزیولوژیکی انسانی برای غلبه بر گرما یا سرما به حداقل ممکن برسد."

آسایش حرارتی به عنوان یکی از موضوعات مهم در زمینه ساختمان، معماران و مهندسين را به این مسئله واداشت تا تلاشهایی را در این موضوع انجام دهند تا بتوانند به یکی از مهمترین نیازهای کاربران پاسخ دهند، این موضوع نه تنها برای پاسخ به کاربران بود بلکه به دنبال استفاده بیشتری از سیستم‌های غیرفعال و استفاده کمتر از سیستم های فعال باشد که در نتیجه آن در مصرف انرژی نیز بتوانند صرفه جویی کنند، ناگفته نماند که خود کاربران این محیط ها نیز به طور فعال در بهبود شرایط آسایش حرارتی اقداماتی انجام میدهند، باید به این موضوع توجه داشت که در بعضی موارد استفاده بیشتر از انرژی نه تنها باعث فراهم کردن شرایط آسایش در ساختمان‌ها نمیشود بلکه نتایج خلاف انتظار را به دنبال داشته است، به عنوان مثال در دانشگاه آکسفورد^۱ تحقیقاتی صورت گرفته بود که نشان میداد که ساختمانهایی با تهویه مطبوع وجود داشتند که ۳۰ درصد کاربران آنها ناراضی بودند زیرا در فصل سرد، گرمای بیش از حد و در فصل گرم، سرمای بیش از حد را تجربه میکردند. با توجه به این موضوعات، آسایش حرارتی در کنش و واکنش با محیط اطراف، نتایج مهمی از قبیل بهبود کیفیت هوای داخل ساختمان، کاهش خطر بیماری های ساختمانی، فراهم کردن سلامت افراد، ذخیره سازی انرژی و کاهش آسیب پذیری محیط زیست را به دنبال خواهد داشت [۶]. دیر و براگر^۲ ساختمان‌ها را از نظر نوع مصرف انرژی به دودسته تقسیم کرده‌اند: ساختمان‌های دارای تهویه طبیعی و ساختمان‌های دارای سیستم‌های گرمایش و سرمایش است [۷]. همانطوری که ذکر کردیم ساختمان‌ها باید از لحاظ حرارتی در شرایط آسایش باشند، عواملی که موثر است را می توان در دو گروه تقسیم بندی نمود؛ گروه اول مربوط به شرایط آب و هوایی که شامل دمای محیط، دمای تشعشعی محیط، رطوبت نسبی، موقعیت جغرافیایی و تاثیر ساختمان های مجاور و غیره، گروه دوم شامل مصالح ساختمانی بنا، ابعاد و اندازه، جهت گیری،

^۱ Oxford University

^۲ De dear & Brager

جرم حرارتی، پوشش گیاهی، عایق حرارتی، فرم ساختمان و غیره است. معماران با کنترل و طراحی درست فاکتورهای گروه دوم در دستیابی به شرایط آسایش حرارتی بهتر می توانند به این مهم دست پیدا کنند[۱]. با توجه به مطالب گفته شده، برای بررسی و ارزیابی شرایط آسایش حرارتی شاخص‌هایی از جمله میزان رضایت^۱ و عدم رضایت کاربران^۲ [۲] و استانداردهای بین المللی ایزو ۷۷۳۰^۳[۸] و اشری ۵۵^۴[۵] تدوین شده است که در فصل بعد به تفصیل در مورد این موارد صحبت خواهد شد.

۳-۱ ضرورت و اهمیت

دانش‌آموزان و دانشجویان بیشتر وقت خود را در مدارس و دانشگاه‌ها می‌گذرانند بنابراین مهم است که شرایط آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخلی مطلوبی را برای این گروه از افراد فراهم کنیم[۹]، عدم آسایش حرارتی در دانشگاه‌ها میتواند شرایط نارضایتی را برای دانشجویان، اساتید ایجاد کند. چالشی که در طراحی ساختمان‌ها باید به آن توجه می‌شود یادگیری آسان با حداقل مصرف انرژی است، دمای آسایش داخلی، با توجه به مطالعات انجام‌شده، یک شاخص اساسی برای طراحان محیطی است. ساختمان‌های آموزشی سهم بزرگی از مصرف انرژی را در کشورهای غیر صنعتی به حساب می‌آیند، حجم بسیاری از مصرف انرژی برای آسایش حرارتی استفاده می‌شود[۹]. به همین دلیل، باید یک معیار انرژی را برای وضعیت داخلی ساختمان‌های آموزشی در نظر گرفت به دلیل حضور بیشتر کاربران در کلاس‌های درسی و همچنین اثرات منفی که از نارضایتی محیطی ممکن است بر یادگیری و عملکرد دانش‌آموزان تأثیر داشته باشد[۱۰]، فراهم کردن وضعیت آسایش برای ساختمان‌های آموزشی همیشه مهم بوده است. مطالعات رشته آسایش حرارتی برای کلاس‌های آموزشی برای اولین بار توسط اولیسیم^۵ و وستلی^۶

PMV^۱

PPD^۲

ISO 7730^۳

ASHRAE 55^۴

Auliciems^۵

Vastly^۶

صورت گرفته است، مطالعات تجربی نشان می‌دهد که آسایش حرارتی به‌عنوان یکی از عوامل کیفیت درونی محیطی بر عملکرد دانشجویان و مصرف انرژی ساختمان تأثیر می‌گذارد، از سال ۱۹۷۰ با توسعه تئوری مدل فنکرا^۱، رشد قابل توجهی در مدل آسایش حرارتی در دهه‌های گذشته به‌ویژه در ساختمان‌های آموزشی صورت گرفته است [۹]. با توجه به پیامدهای حاصل از رشد روز افزون جمعیت و مصرف انرژی و توجه به نقشی که ساختمان‌های آموزشی بر مصرف انرژی در کشورهای غیر صنعتی مثل ایران دارند، نیاز به تأمین آسایش در محیط‌های آموزشی مخصوصاً کلاس‌های آموزشی در محیط‌های دانشگاهی و تأثیری که عدم تأمین این موضوع و مصرف بهینه انرژی دارد باید مورد بررسی قرار گیرد، دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود با توجه به قرارگیری در اقلیم گرم و خشک ایران و مشاهده مصرف بی‌رویه انرژی و پیامدهای حاصل از آن در این دانشگاه به نظر می‌رسد که تأمین آسایش حرارتی در این فضاها به‌خوبی صورت نگرفته است، در این خصوص آتلیه‌های دانشجویان معماری در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود را به عنوان یکی از همین فضاهایی است که شاید بعد از احداث آن دچار مسائل و مشکلاتی شده باشد، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

۴-۱ اهداف تحقیق

با توجه به مسائل و مشکلات ذکر شده در خصوص بحث رشد جمعیت و زیان‌های ناشی از آن که به طبیعت و زندگی ما انسان‌ها اثر می‌گذارد و بیان راه حل‌های که معماران و محققین در پی حل آن بودند به بحث آسایش حرارتی رسیدیم، که نگارنده این رساله سعی در پاسخ به این موضوع دارد، به همین ترتیب سؤالاتی در این زمینه توسط نگارنده مطرح شده است، که به دودسته کلی و جزئی تقسیم می‌شود:

کلی :

- آیا فضاهای آموزشی در دانشگاه صنعتی شاهرود در وضعیت آسایش هستند و اگر نیستند جهت رساندن به شرایط آسایش حرارتی چه مقدار در مصرف انرژی تأثیرگذار است؟

جزئی:

- آیا نحوه قرارگیری کلاس‌های درس از لحاظ شمالی و جنوبی بودن تأثیری در شرایط آسایش دارد؟

- آیا نتایج حاصل از برداشت‌های وضعیت آسایش حرارتی به صورت میدانی تا چه میزان با استانداردهای بین‌المللی مطابقت دارد؟

- پوشش‌های کاربران از لحاظ جنسیتی در ایران به چه میزان در تعیین شرایط آسایش حرارتی تأثیرگذار است؟

در این فصل با معرفی اهداف و تاریخچه در باب این عنوان اطلاعات کلی جهت فهم مختصری نسبت به این موضوع ارائه شد، در فصول بعدی جزئیات کامل‌تر و بیشتری در مورد موضوع آسایش حرارتی و عوامل موثر در این زمینه، روش و مصالح، تجزیه و تحلیل داده‌ها و نتیجه‌گیری داده خواهد شد.

فصل ۲: ادبیات و پیشینه تحقیق

۱-۲ مقدمه

پدیده شهرنشینی و افزایش جمعیت، آلودگی هوا و افزایش مصرف انرژی را بدنبال داشته است، از این رو طراحان و معماران به فکر موضوعات و راه حل‌هایی در پاسخ به این مسائل ارائه کرده‌اند یکی از این موضوعات بحث آسایش حرارتی در محیط‌های داخلی است، با توجه به اهمیت موضوع آسایش حرارتی در ساختمان‌های آموزشی، شناخت هر چه دقیق‌تر و بهتر این موضوع ارزیابی جامع و کامل‌تری را برای تعیین شرایط آسایش حرارتی داخلی و بهبود کیفیت محیطی به ما ارائه می‌نماید. در این فصل به توضیح جامعی در ارتباط موضوع آسایش حرارتی، عوامل موثر، شاخص‌ها و استانداردها، نمودارها و بررسی پژوهش‌های صورت گرفته در این موضوع می‌پردازیم.

۲-۲ تعادل انرژی بدن

بحث تعادل حرارتی و آسایش حرارتی در ارتباط با یکدیگر و وابسته به عوامل زیستی، روانی و محیطی هستند که در این مکانیسم انسان با محیط پیرامون خود در ارتباط است، دمای بدن انسان حدود ۳۷ درجه سانتی‌گراد و دمای سطح پوست در حدود ۳۴ درجه سانتی‌گراد است، عوامل تغییردهنده این تعادل باعث برهم زدن آسایش حرارتی نیز می‌گردند و برای اینکه بدن در تعادل حرارتی قرار گیرد، دمای ازدست‌رفته با دمای به‌دست‌آمده برابر است، مغز انسان وظیفه‌اش تعادل حرارتی در بدن است و این محدوده بین ۳۶/۵-۳۷/۵ درجه تعریف شده است [۶]. طبق مطالعات صورت گرفته اولسن^۱ و فنگر^۲ میانگین دمای پوست ۳۳/۵ درجه می‌دانند [۱۱]، کلارک^۳ دمای پوست و دمای داخلی را عوامل تابعی از دمای پوست می‌دانست [۱۲]. هنسل^۴ معتقد است دما در سراسر بدن متفاوت است. برای برقراری تعادل در بدن انسان سازوکارهای مختلفی وجود دارد از جمله این موارد می‌توان به تعریق، تشعشع، ورزش

^۱ Olsen

^۲ Fanger

^۳ Clark

^۴ Hansel

کردن و لباس اشاره کرد، فنگر برای محاسبه تعادل حرارتی بین محیط و بدن معادله‌ای را پیشنهاد می‌کند ولی معادله او فقط به محیط ثابت و پایدار و نه پویا اشاره دارد و از مشکلات دیگر این معادله عدم توجه به مسائل مختلف فرهنگی، اجتماعی، سن و زمان و غیره است، که این خود ناکارآمدی این معادله و سایر نمودارهای زیست‌اقلیمی را بیان می‌کند، علاوه بر فنگر^۱ پژوهشگران دیگری مانند گاج^۲ و هیمفریز^۳ نیز نظریاتی را بیان می‌کنند که این نظریات نیز به جنبه‌های مختلف تعادل حرارتی اشاره دارد و باید خاطرنشان کرد که نظریه گاج نیز مانند فنگر عدم توجه به محیط‌های پویا است [۶].

۳-۲ آسایش حرارتی^۴

آسایش حرارتی بر اساس تعاریف گفته‌شده وضعیتی است که فرد برای رسیدن به تعادل حرارتی خود با محیط سازگاری‌های نشان می‌دهد این وضعیت از دیدگاه اشری وضعیتی روانی است که فرد به محیط پیرامون خود پاسخ می‌دهد تا در شرایط مناسب محیطی قرار گیرد [۵]، در ابتدا محققین تصور داشتند که فقط عوامل محیطی مثل دما بر این وضعیت تأثیرگذار است ولی بعد از پژوهش‌های صورت گرفته به این درک رسیدند که نه تنها عوامل محیطی بلکه عوامل فیزیولوژیکی و روانی نیز بر این موضوع مؤثر هستند و حتی شاهد آن هستیم که موضوعات فرهنگی، اقتصادی، منطقه‌ای و بومی نیز در تعیین محدوده آسایش مؤثرند، در این بخش به توضیح و تشریح این عوامل پرداخته می‌شود [۶]. عوامل مؤثر بر شرایط آسایش حرارتی به شرح زیر است:

- عوامل محیطی^۵؛ دمای هوا، دمای تشعشعی، رطوبت نسبی، سرعت هوا.
- عوامل روانی^۶؛ لباس، میزان فعالیت، سازگاری.

^۱ Fanger

^۲ Gagge

^۳ Humphreys

^۴ Thermal Comfort

^۵ Environmental variables

^۶ Subjective variables

۱-۳-۲ عوامل محیطی^۱

برای شناخت آسایش حرارتی باید عوامل مؤثر بر آن را شناخت، این عوامل به دو بخش متغیرهای خارجی و داخلی تقسیم می‌شود. عوامل محیطی یا همان متغیرهای خارجی تأثیرگذار بر شرایط آسایش که در این بخش مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد؛ شامل:

- دمای هوا^۲
- دمای تشعشعی^۳
- رطوبت نسبی^۴
- سرعت هوا^۵

۱-۳-۱-۲ دمای هوا

دمای هوا از مهمترین عوامل مؤثر در شرایط آسایش است که میزان سردی یا گرمی را نشان می‌دهد، این عامل به سه بخش تقسیم می‌شود؛ دمای داخلی، دمای محیط که شامل دو بخش اطراف بدن و فضای اطراف است، ابزار اندازه‌گیری دمای محیطی دماسنج است، به دلیل اینکه ماده دماسنج در حباب کروی قرار دارد دمای هوای خشک کروی نیز گفته می‌شود، مکینتایر^۶ برای مطالعات آسایشی متوسط دمای تشعشعی و دمای هوا را با هم اندازه گرفت و رابطه ۱-۲ را پیشنهاد می‌کند [۶]:

$$T = (1 - g)T_a + gT_r \quad (1-2)$$

^۱ Environmental variables

^۲ Air temperature

^۳ Radiation temperature

^۴ Relative Humidity

^۵ Air velocity

^۶ McIntyre

T دمای موازنه شده بر حسب درجه سانتی گراد، T_a دمای هوا بر حسب درجه سانتی گراد، T_r متوسط دمای تشعشعی بر حسب درجه سانتی گراد، g نرخ انرژی تشعشعی که برای جریان هوای کمتر از ۰/۲ متر بر ثانیه برابر است ۰/۲۵ فرض می شود.

دما و رطوبت با یکدیگر در ارتباط هستند، دمای ثبت شده که کمتر از دمای هوای محیط است و دماسنج با پارچ خیس پوشانده شده است را دمای تر گفته می شود، هر چه اختلاف این دما با دمای هوا بیشتر باشد نشان از خشکی هوا است، یکی از عواملی که اندازه گیری دمای تر را دچار اشتباه می کند تشعشع حرارتی است، باید توجه کرد که اگر هوا اشباع از رطوبت نیز باشد رطوبت پارچه تبخیر نمی شود پس سرمایشی باعث خنکی کره دماسنج اندازه گیری نمی شود تا در نتیجه دمای تر کمتری نشان داده شود [۶].

۲-۱-۳-۲ دمای تشعشعی^۱

عامل دیگری که در تعادل حرارتی می توان به آن اشاره کرد، دمای تشعشعی است. منظور از دمای تشعشعی، جریان دمایی که از سطح گرم به سطح سرد منتقل می شود این مقدار با توان چهارم دمای مطلق وابسته است برای اندازه گیری این دما از کره ای سیاه رنگ^۲ به قطر مشخص که در محاسبات هیمفریز^۳ این اندازه حدود ۴ سانتی متر تعیین شده است در فضای مورد نظر قرار داده شده است، معمولاً دمایی که از مرکز این توپ که در مرکز آن دماسنج قرار گرفته است برابر با دمای تشعشعی در نظر می گیرند ولی این تعریف همواره مورد قبول نیست، اگر مشاهدات نشان داد که دمای کره از دمای هوا بیشتر است به معنای رسیدن تشعشعات به کره ولی اگر برعکس آن اتفاق بیافتد به معنای سرد بودن سطوح افراد نسبت به دمای هوا است [۶]. برای اندازه گیری این مقدار مکنتایر^۴ معادله ۲-۲ را پیشنهاد می کند؛ که به شرح زیر است [۱۳]:

^۱ Radiation temperature

^۲ Black globe

^۳ Humphreys

^۴ McIntyre

$$MRT = T_g + \frac{r}{4} \sqrt{V^* (T_g - T_a)} \quad (2-2)$$

T_g دمای کروی به درجه سانتی گراد، T_a دمای هوا به درجه سانتی گراد، V سرعت جریان هوا به متر بر ثانیه است. باید توجه داشت متوسط محاسبه شده از این فرمول ها با آن مقدار واقعی متفاوت است ولی در محاسبات به این اعداد نیازمندیم.

۳-۱-۲-۳-۲ رطوبت نسبی^۱

رطوبت نسبی از عوامل دیگر شرایط آسایش حرارتی است، به آب موجود در هوا رطوبت می گویند که سهم جزئی ولی مؤثری در فیزیک هوا دارد، رطوبت در ارتباط با دما و فشار دارد، اگر هوا خالی از رطوبت هوای خشک و هوایی که مقداری با رطوبت، هوای مرطوب است و حداکثر رطوبت در هوا، هوای اشباع است، مناطقی که دمای آن ها بیشتر است رطوبت بیشتری را جذب می کنند مانند مناطق استوایی و مناطقی که دمای کمتری دارند رطوبت کمتری هم جذب می کنند مانند مناطق قطبی که هوای خشک دارند، تحقیقات صورت گرفته در این زمینه که بازه های مناسب رطوبت را برای شرایط آسایش تعریف کرده اند؛ می توان به استاندارد انگلیس که بازه ۴۰ تا ۷۰ درصد، استاندارد اشری ۳۰ تا ۶۰ درصد برای مناطقی با دمای خشک ۲۰ تا ۲۷ درجه سانتی گراد در با فعالیت کم، استاندارد ایزو ۳۰ تا ۷۰ درصد اشاره کرد و دکتر حیدری [۶] برای اقلیم گرم ایران را ۲۰ تا ۷۰ درصد در نظر گرفته است، هنسل معتقد است که رطوبت تأثیر خیلی کمی بر آسایش دارد و یا گوانزالز^۲ و گاج^۳ [۱۴] یا دونینی^۴ [۱۵] معتقدند رطوبت بین ۲۰ تا ۶۰ درصد نیز تأثیری ندارد ولی دی دیر^۵ به این مسئله اشاره دارد که محققین به اثر رطوبت گذرا توجهی نکرده اند و تأثیر مهمی بر آسایش دارد.

^۱ Relative humidity

^۲ Gonzalez

^۳ Gagge

^۴ Doninni

^۵ De dear

۴-۱-۳-۲ سرعت هوا^۱

تغییر سرعت و جریان هوای محیطی، جریان حرارتی بدن را دچار تغییر می‌کند، این جریان به عوامل زمان، مکان و جهت وابسته است، واحد اندازه‌گیری این پارامتر متربرثانیه است و استاندارد ایزو تأثیر ترکیبی از جریان هوا، دما و رطوبت را بر شرایط آسایش می‌داند و تأکید بر نقش سرعت و جریان هوا بر این عامل دارد [۶]. برحسب فضای مورد مطالعه و یا داخل و خارج بودن محیط دستگاه‌های اندازه‌گیری سرعت و جریان با دقت‌های مختلف استفاده می‌شوند، برای اندازه‌گیری فضاهای سربسته داخلی که جریان خیلی کم و جزئی هوا را شاهد هستیم از بادسنج‌های هات‌وایر^۲ که در حد چند دهم و یا صدم را اندازه‌گیری می‌کنند استفاده می‌شود و برای فضای باز بیرونی چون سرعت و جریان بیشتری را شاهد هستیم از بادسنج‌های معمولی و ارزان قیمت پره دار با دقت‌های کمتری استفاده می‌شوند. تافتوم^۳ با بررسی جریان هوا بر دو جامعه آماری که سرعت‌های هوایی متفاوتی را تجربه می‌کردند به این نتیجه رسید که افراد بدون توجه به گرم‌تر یا سردتر بودن محیط به جریان هوا نیاز دارند و این جریان برای آن‌ها سبب ناراضایتی نمی‌شود [۱۶]، اولیسیمز^۴ [۱۷] متوجه شد افراد در شرایط گرم و سرد جریان هوای تا یک متربرثانیه را می‌پذیرند، نیکل^۵ [۱۸] نیز اشاره کرد هر یک متربرثانیه باعث کاهش سه درجه دما می‌شود در انتها دکتر شاهین حیدری معتقد است که دمای محیط کاهش نمی‌یابد فقط دمایی که فرد آن را درک می‌کند رو به کاهش است [۶].

۵-۱-۳-۲ تاثیر عوامل محیطی بر شرایط آسایش حرارتی

با مطالعه و بررسی نقش هر کدام از عوامل دما، جریان و رطوبت هوا به تأثیری که در ایجاد شرایط آسایش حرارتی پرداختیم، باید توجه داشت که این سه عامل به‌طور هم‌زمان چه تأثیری دارند،

^۱ Air velocity

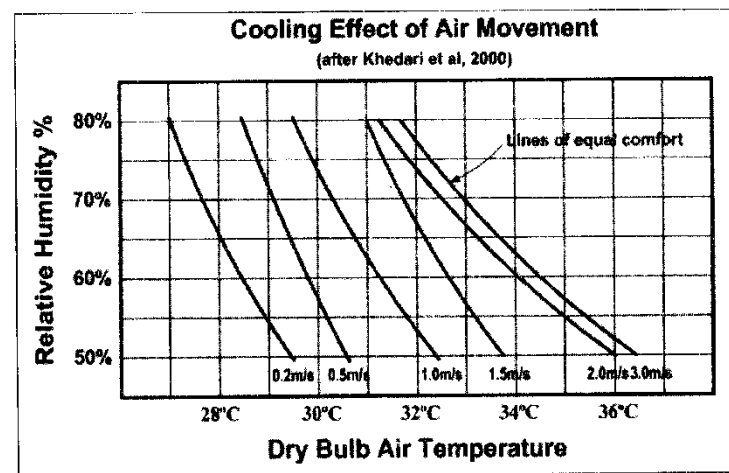
^۲ Hotwire anemometer

^۳ Taftum

^۴ Auliciems

^۵ Nicol

به عنوان مثال، افرادی که در دمای ۲۱ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد نسبت به افرادی که در فضایی با دمای ۲۵ درجه و رطوبت ۳۰ درصد هستند به چه میزانی احساس آسایش دارند. نمودار زیر به تأثیر این سه عامل در کاهش دما می پردازد [۱۹]، در شکل شماره ۱-۲، محور افقی دمای خشک کروی، خط عمود درصد رطوبت نسبی و خطوط منحنی وضعیت آسایش حرارتی را در سرعت های مختلف هوا نشان می دهند [۶].



شکل ۱-۲. رابطه دمای خشک، رطوبت نسبی و سرعت باد [۶].

۲-۳-۲ عوامل روانی

روش های ارزیابی وضعیت آسایش حرارتی در گذشته تنها توجه به عوامل محیطی و نقش آن ها در این زمینه بود که خود جای بحث و ابهام دارد زیرا به کالبد و ویژگی های فردی توجه خاصی نمی شده است به عنوان مثال فردی که در مناطق با اقلیم سرد نسبت به فردی که در مناطقی با اقلیم گرم است در دماهای کمتر خیلی بهتر سازگاری پیدا کند، به همین منظور توجه به عوامل فیزیولوژیکی و روانی و حتی توجه به فرهنگ، سن و جنسیت نیز بر آسایش حرارتی مؤثر است. هیمفریز^۱ با مطالعات خود استانداردها و نتایج حاصل از توجه به عوامل روانی را زیر سؤال برد و به این مسئله پی برد که عوامل روانی نقش خیلی مهمی در تعیین شرایط آسایش حرارتی دارند و حتی بدون اینکه برای کاربران مشکلی

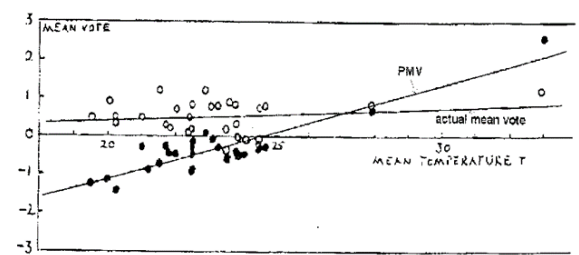
^۱ Humphreys

پیش بیاید مصرف انرژی ساختمان را تا حد زیادی کاهش داد و شرایط آسایش را برای آن‌ها فراهم کرد [۱۵]. در بحث توجه به عوامل روانی راهکاری که در نظر گرفته شده است ارائه پرسشنامه به کاربران حاضر در محیط است که این رویکرد را پژوهشگران در دو بخش مورد مطالعه قرار می‌دهند؛ مطالعات میدانی و مطالعات آزمایشگاهی، مطالعات آزمایشگاهی نیازمند فضایی با شرایط ثابت و پایدار است که فرد با میزان لباس موردنظر و فعالیت مشخص در اتاق موردنظر حضور داشته باشد و تحت شرایط مشخص آب و هوایی به پاسخ پرسشنامه بپردازد، از نمونه‌های این اتاق‌های ساخته شده در دنیا می‌توان به این موارد اشاره کرد: اتاق پترزبورگ که توسط انجمن مهندسين تهويه آمريكا ساخته شده است، اتاق‌های که در دانشگاه کانزاس توسط انجمن اشري احداث شده است یا اتاق‌های آب و هوایی کوچکی که نویس^۱ و فانگر برای پژوهش‌های خود از آن‌ها استفاده می‌کردند، بر مبنای نتایج حاصل از این فضاها معادلات و شاخص‌های حرارتی تهیه شده است. مطالعات میدانی دیگر تحت شرایط خاص و کنترل شده نیست و کاربران در این فضاها به پاسخ به پرسشنامه‌ها می‌پردازند و فعالیت موردنظر خود را انجام می‌دهند [۶]. محققین با بررسی این دو شیوه (میدانی و آزمایشگاهی) به دنبال این پرسش بوده‌اند که آیا نتایج حاصل با یکدیگر تفاوت دارد یا خیر. بحث‌هایی در ارتباط با این دو رویکرد و مفاهیم متفاوتی از این دو شیوه صورت گرفته است که بهتر از هر دو مدل برای نتایج بهره گرفت. نیکل^۲ [۲۰] اختلافاتی را در این دو رویکرد در سال ۱۹۷۶ گزارش کرد که این گزارش حاکی از آن بود که دمای خنثی افراد در شرایط آزمایشگاهی با میدانی متفاوت است و همچنین دامنه آسایش حرارتی وسیع‌تری مطالعات میدانی نسبت به مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد، هیمفریز^۳ و نیکل در سال ۱۹۹۴ شکل نمودار ۲-۲ ارائه می‌دهند که در آن اختلاف این نتایج را نشان می‌دهد [۶].

^۱ Navis

^۲ Nicol

^۳ Humphreys



شکل ۲-۲. اختلاف نتایج آزمایشگاهی و میدانی [۶].

هیمفریز در سال ۱۹۹۲ معادله ۳-۲ را ارائه می‌دهد که در آن اختلاف نتایج حاصل از این دو رویکرد را با توجه به دمای هوا نشان می‌دهد، به‌عنوان مثال دمای اتاق ۳۲ درجه‌ای اختلاف ۱/۳ درجه‌ای است که بیش‌تر از ۱۰ درصد اختلاف مصرف انرژی در فضا است [۶].

$$D = (0.22 \cdot T_a) - 6.5 \quad (3-2)$$

D اختلاف نتایج بین مطالعات میدانی و آزمایشگاهی و T_a دمای هوا به درجه سانتی‌گراد است. ایراداتی که نسبت به نتایج فنگر و مدل آزمایشگاهی می‌توان گرفت عدم توجه به پویایی فضا و متغیر بودن حالات افراد است و دمای خنثی‌ای که برای همه مردم دنیا یکسان پیشنهاد کرده بود و یا نوع پوشش و میزان فعالیت افراد در هر منطقه‌ای متفاوت است که در اتاق آزمایشگاه به این مسئله بی‌توجهی شده بود، مطالعات میدانی نیز خالی از مشکل نیست و این روش سختی‌هایی را نیز برای محقق فراهم کرده است زیرا محیط دائم در حال تغییر است و ثابت و یکسان همیشه نیست، به‌عنوان مثال او باید بررسی‌های رگرسیونی خود، عوامل محیطی را مستقل و عوامل انسانی و درونی را وابسته در نظر بگیرد درحالی‌که کاربران خلاف آن را نشان دادند [۶]. نیکل [۲۰] در تحقیقاتش نشان داد که اختلاف این دو روش باعث این می‌شود که ما دنبال عوامل دیگری نیز باشیم، این نواقص ناشی از نوع پوشش، نوع فعالیت، تنوع رفتاری، تجارب افراد و کنترل‌هایی فردی است [۶]. در سال ۱۹۷۵، هیمفریز برای اولین بار در اجلاس و مجله‌ای نظریه‌ای را مطرح کرد که به نظریه سازگاری نامیده شد، هیمفریز با بررسی میدانی اقلیم‌های مختلف دنیا و پیش‌بینی دامنه آسایشی که افراد در آن احساس رضایت دارند توانست به موضوعی که نقش انسان در تأمین شرایط آسایش محیط را دارد را بسط و گسترش دهد، درنهایت به این نتیجه دست‌یافت که انسان‌ها سیستم فیزیولوژیکی یکسان ولی در پاسخ به شرایط مختلف محیطی

عملکرد یکسانی ندارند، همین موضوع سبب ایجاد دو گروه از آرا گردید، دسته اول کاربران خود توانایی تغییر محیط خود را دارند و از این رو به آسایش برسند که به نظریه سازگاری معروف شد و دسته دوم کاربران نمی‌توانند محیط را تغییر داده و ما موظف هستیم با استفاده از تجهیزات و سیستم‌های مکانیکی و الکتریکی و یا طراحی معماری مناسب شرایط آسایش را برای آن‌ها فراهم کنیم [۶]. در این بخش سعی شده با معرفی مناسب از این عوامل و تحقیقات صورت گرفته به روشنی نقش هریک را در تأمین شرایط آسایش حرارتی بیان کنیم، این عوامل شامل: نوع لباس، میزان فعالیت، سازگاری و شرایط دیگری به‌غیر از شرایط محیطی است.

۱-۲-۳-۲ پوشش^۱

لباس و نوع پوشش در هر اقلیم و فرهنگی متفاوت است، انسان‌ها متناسب با نوع محیطی که در آن زندگی می‌کنند و متناسب با شرایطی از جمله جنسیت، سن و فرهنگ خاص خود نوعی لباس را انتخاب می‌کنند، با بررسی‌های صورت گرفته پژوهشگران به نقشی که لباس در بهبود شرایط آسایش حرارتی فرد دارد به این موضوع پی بردند، معیار اندازه‌گیری نوع پوشش در استانداردهای بین‌المللی برای ارزیابی آسایش حرارتی Clo است، در سال ۲۰۰۲ هونیز^۲ و همکاران [۲۱] در مقاله‌ای که به بررسی این عامل در شرایط آسایش حرارتی است به این نکات پی بردند که جابجایی هوا و حرکات بدن و مقاومت لباس در برابر نم و بخار آب تأثیر زیادی بر آسایش حرارتی دارد و باید در محاسبه به آن‌ها توجه شود، حیدری نیز در بررسی‌هایی که در ایران انجام داد به نقش جدی این موضوع پی برد و نیز به این مسئله اشاره دارد که نوع پوشش افراد نه تنها به فرهنگ مربوط است بلکه عامل اقلیمی نیز در این موضوع نقش داشته است [۶] استاندارد اشری ۵۵ [۵] در مورد لباس، جدولی را برای نرخ لباس‌های مختلف ارائه می‌کند، در این استاندارد تنها به پوشش کشورهای غربی و در وضعیت پایدار اشاره شده است، جورج هونیز و همکاران [۲۲] در سال ۲۰۱۴ گزارشی تحت عنوان اشری ۱۵۰۴ منتشر کردند، در این گزارش در

^۱ Clothing insulation

^۲ Havenith

هفت کشور مختلف حدود ۵۲ نوع پوشش متفاوت که در مناطقی از جمله خاورمیانه، مردم استفاده می‌کنند مورد بررسی قرار گرفته است، علاوه بر توجه به لباس‌های مناطق مختلف و تأثیر عامل جریان هوا و فعالیت‌های نشست و قدم زدن را نیز مورد ارزیابی قرار داده و در نتیجه نرخ لباس‌هایی از جمله روسری و چادر که در اشری ۵۵ به آن‌ها اشاره‌ای نشده است را بیان می‌کند برای پوشش زنان ایرانی تحقیقاتی صورت نگرفته است و از معادل مشابه استفاده شده است [۲۲]. در شکل ۲-۳، نرخ لباس‌های مورد استفاده در ایران ارائه شده است [۶].

نوع لباس	clo	نوع لباس	clo	نوع لباس	clo
جوراب کوتاه	0.01	جلیقه	0.07	مانتو	0.30
جوراب بلند	0.02	پیراهن	0.07	مانتو شلوار	0.43
کفش تابستانی	0.03	پلیور نازک	0.08	کاپشن کوتاه	0.27
کفش زمستانی	0.04	پلیور گرم	0.09	کت	0.29
پوتین	0.05	جاکت	0.16	کاپشن بلند	0.32
شورت	0.03	بلوز بلند	0.14	پالتو	0.42
شورت بلند	0.04	بلوز یقه بسته سبک	0.15	روسری	0.06
زیر پوش رکابی	0.04	بلوز یقه بسته سنگین	0.17	مقنعه	0.09
زیر پوش	0.05	شلوار تابستانی	0.19	کلاه	0.10
تی شرت	0.06	شلوار زمستانی	0.24	شال	0.08

شکل ۲-۳. جدول ضرایب پوشش [۶].

۲-۳-۲-۲ فعالیت^۱

انسان‌ها برای بقا و زندگی نیاز به انرژی دارند و این انرژی را با اکسیژن و خوردن غذا تأمین می‌کنند، اگر انرژی به حد کافی وجود نداشته باشد انسان‌ها در انجام فعالیت‌های خود با مشکل مواجه می‌شود، دمای داخلی مناسب برای بدن ۳۷ درجه سانتی‌گراد است که این میزان دما از طریق فعالیت به دست می‌آید اگر فعالیت کافی صورت نگیرد دمای بدن کاهش پیدا کرده و فرد احساس سرما و عدم رضایت می‌کند برای همین برای تأمین شرایط آسایش خود باید فعالیت بیشتری انجام داده تا حرارت کافی در بدن فراهم شود [۲۱]. فعالیت‌هایی که انسان‌ها در این زمینه انجام می‌دهند متفاوت است، میزان فعالیت‌های صورت گرفته در استانداردهای آسایش دارای مقداری است که در اشری ۵۵ اعداد فعالیت‌ها

^۱ Metabolic rate

اشاره شده است و واحد Met برای میزان فعالیت در نظر گرفته شده است [۵]. تعادل حرارتی بدن از طریق برابر دمای کسب شده و دمای ازدست رفته است تا انسان در وضعیت حرارتی مناسبی قرار گیرد [۲۱]. همان طور که در قبل اشاره شد یکی از عوامل مؤثر در تأمین شرایط آسایش حرارتی جریان هوا است، یکی از راهکارهایی که کاربران برای تعادل حرارتی خود انجام می دهند باز و بسته کردن پنجره است، نیکل [۲۳] با بررسی چند منطقه آب و هوایی به این موضوع پی برد که جریان هوا و دما هوا در ارتباط با یکدیگر هستند، هیمفریز نیز پس از بررسی های خود به رابطه دمای خارجی و باز و بسته کردن پنجره برای رسیدن به تعادل حرارتی دست پیدا کرد، در زمینه راهکارهایی که برای کسب تعادل حرارتی و اقدامات صورت گرفته برای تأمین شرایط آسایش حرارتی اشاره کرد، حرکت از فضایی به فضایی دیگر است که این امر در معماری ایرانی و خانه های سنتی به خوبی قابل مشاهده است، این فضاها در معماری به نام تابستان نشین و زمستان نشین است، این فضاها نمونه ای از توجه معماران گذشته به امر آسایش حرارتی است که در معماری امروز کمتر شاهد آن هستیم [۶].

۳-۲-۳-۲ سازش^۱

در مغز انسان بخشی به نام هیپوتالاموس قرار دارد که وظیفه اش کنترل دمای بدن است، این عامل به فرد کمک میکند تا با قرارگیری در شرایط اقلیمی متفاوت با محیط سازش داشته باشد، این موضوع در اقلیمی های خیلی سرد و خیلی گرم به خوبی قابل مشاهده است، سازش به عنوان یکی از موضوعات مهم در زمینه آسایش حرارتی و نظریه سازگاری مهم و تأثیرگذار است، به عنوان نمونه فردی که در منطقه سرد زندگی می کند تحمل بیشتری نسبت به فردی که در منطقه گرم زندگی می کند دارد و بدن سازگاری خوبی با محیط برقرار کرده است که این عامل در دمای خنثی انسان ها در مناطق مختلف مؤثر است، عبدالشکور^۲ [۲۴] در تحقیقی بر مردم مالزی و مهاجرین مالزیای در لندن انجام داد و متوجه شد اختلافی در حدود ۵ درجه سانتی گراد در دمای خنثی این مردم است، گاهی در اصطلاح سازش و

^۱ Adaption

^۲ Abdol shakoor

خو گرفتن معنای گذرا می‌دهد به‌عنوان مثال فردی که از محیط سرد بیرون وارد ساختمانی می‌شود تا مدتی احساس سرما می‌کند و به‌تدریج دمای بدن وی بالاتر رفته و احساس گرما میکند [۶].

۴-۲ شاخص‌های آسایش حرارتی

انسان هنگامی که در وضعیت عدم آسایش قرار می‌گیرد بدین معناست که فشار حرارتی بدن که ترکیبی از سه عامل دما، رطوبت و جریان هوا در تعادل نیست و یکی از این سه عامل کمتر یا بیشتر از بقیه است، برای همین محیط برای انسان مناسب نیست، در نتیجه پژوهشگران به دنبال حل این مشکل هستند، نتیجه این تحقیقات استانداردها، اعداد و ارقامی است که طراحان و سازندگان تأسیسات مکانیکی و الکتریکی از آن‌ها استفاده می‌کنند. برای ارزیابی شرایط آسایش حرارتی پژوهشگران شاخص-ها یا معادلاتی مطرح کردند که از دیدگاه استاندارد اشری به دو بخش تحلیلی^۱ و منطقی^۲ تقسیم می‌کند علاوه بر این دسته‌بندی، تقسیم‌بندی‌های دیگری نیز صورت گرفته، مثل شاخص‌های گرمایی^۳ و سرمایی^۴، بعضی از معماران نسبت به این موضوعات علاقه‌ای نشان نداده زیرا معتقدند این شاخص‌ها برای وضعیت‌های خاصی در نظر گرفته‌شده است ولی نباید مزایای چون تعیین محدوده آسایش، فشارهای گرمایی و سرمایی، مسائل قبل از طراحی و الزام استفاده از تجهیزات سرمایشی و گرمایشی را که این شاخص‌ها ارائه کرده‌اند را نادیده گرفت [۶]. در این بخش از میان تعداد زیادی شاخص‌های معرفی‌شده فقط به تعداد مهم‌تری از آن‌ها پرداخته‌شده و مهم‌ترین شاخص مطرح حال حاضر PMV و PPD برای فانگر است که در استاندارد ایزو^۵ ۷۷۳۰ مطرح‌شده با جزئیات بیشتری در ادامه توضیح داده می‌شود.

^۱ Analytical index

^۲ Rational index

^۳ Warmth index

^۴ Coolness index

^۵ ISO 7730

۱-۴-۲ شاخص‌های منطقی

۱-۴-۱-۱ دمای مؤثر^۱

یوگل^۲ با انجام آزمایش‌هایی در اتاق آب و هوایی پترزبورگ، توانست رابطه‌ای بین دما و رطوبت پیدا کند که به نام دمای مؤثر است، در این رابطه فرد نشسته و میزان لباس معمولی در نظر گرفته شده است، این شاخص برای دماهای پایین بهتر بوده ولی به دمای تشعشعی، فعالیت و لباس توجهی نشده است به همین منظور این شاخص اصلاح و تشعشع را در معادلات در نظر گرفتند که این شاخص جدید به نام دمای مؤثر تصحیح شده^۳ است [۶].

۱-۴-۱-۲ دمای عملکردی

شاخص دمای عملکردی حاصل توجه به دو متغیر دما و تشعشع در مناطق سرد است، باید توجه داشت که اختلاف متوسط دمای تشعشعی و دمای هوا باید کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد است، اگر این دو دمای مذکور برابر و جریان هوا صفر، در این صورت دمای عملکردی و دمای هوا یکی است، اشری برای راحتی در معادلات دمای عملکردی پیشنهاد می‌کند که دمای هوا و تشعشعی را جمع کرده و تقسیم بر دو شود که این مقدار برابر با دمای عملکردی است [۶]. برای محاسبه دمای عملکردی طبق استاندارد اشری [۵۵] از معادله ۴-۲ استفاده می‌کنیم:

$$T_o = A \cdot T_a + (1-A) \cdot T_r \quad (4-2)$$

T_o دمای عملکردی برحسب درجه سانتی‌گراد، T_a متوسط دمای هوا برحسب درجه سانتی‌گراد، A ضریب برمبنای متوسط سرعت هوا و T_r متوسط دمای تابشی برحسب درجه سانتی‌گراد است.

^۱ Effective Temperature (ET)

^۲ Yugel

^۳ Corrected Effective Temperature (CET)

۲-۴-۲ شاخص‌های تحلیلی

۲-۴-۲-۱ دمای مؤثر جدید^۱

شاخص دمای مؤثر جدید کاربرد بیشتری نسبت به شاخصه قبلی دارد در این شاخص از نموداری استفاده می‌شود که در آن به دمای تشعشعی و مقدار بخار آب توجه شده است، استاندارد شده این شاخص دمای مؤثر استاندارد^۲ نام دارد، در این شاخص به میزان فعالیت و نوع پوشش توجه شده است، این دما وابسته به دمای بدن است [۶].

۲-۴-۲-۲ فشار حرارتی^۳

شاخص برای حداکثر سرمایش تبخیری است، این شاخص در ارتباط با دمای هوا، جداره‌های جانبی، جریان هوا و فشار بخار آب است، این شاخص برای جریان هوای کم معتبر است، این شاخص در سه وضعیت است کمتر از ۱۰- درجه فشار سرمایشی، صفر حالت خنثی و بیشتر از این مقدار فشار گرمایشی در محیط است، جیونی مشکل رابطه را در خاصیت سرمایشی هوا و گرمایشی رطوبت میداند [۶].

۲-۴-۲-۳ متوسط آرای پیش‌بینی شده^۴

فانگر در کتاب خود شاخصی را ارائه کرد که بر اساس شرایط پایدار و ایستا است، این شاخص یکی از مهم‌ترین شاخص‌های حال حاضر است و در آن شرایط آسایش از با اعدادی از کمی گرم تا کمی سرد مشخص شده است، فانگر به جز این شاخص، شاخصه‌ای به نام پیش‌بینی درصد عدم رضایت^۵ را مطرح می‌کند که از معادله ۲-۵ زیر به دست می‌آید [۶]:

$$PPD = 100 - 95 * e^{-(0.3353 * PMV^4 + 0.2179 * PMV^2)} \quad (2-5)$$

^۱ New Effective Temperature (ET*)

^۲ Standard Effective Temperature (SET)

^۳ Heat Stress Index (HSI)

^۴ Predicted Mean Vote (PMV)

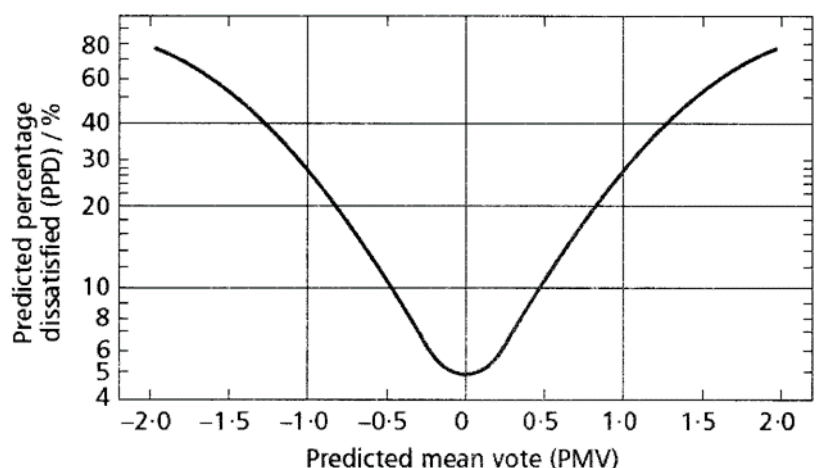
^۵ PPD, Prediction in Percentage of Dissatisfied

سیق^۱ و مارافیا^۲ در مقاله خود برای محاسبه آرای افراد و میزان احساس آنها که به شاخص متوسط آرای پیش‌بینی افراد معروف است از معادله پیچیده ریاضی را ارائه کردند [۲۵]، اما در استاندارد اشری برای محاسبه این شاخص کدهای برنامه‌نویسی ارائه شده است که از طریق نرم‌افزارهای مرتبط بتوان این شاخص را تخمین زد [۵]. شاخص آرای احساس افراد در استاندارد اشری به مقیاس هفتگانه‌ای تقسیم می‌شود که به ترتیب جدول ۱-۲ است [۵]:

جدول ۱-۲. مقیاس هفتگانه اشری، نگارنده.

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

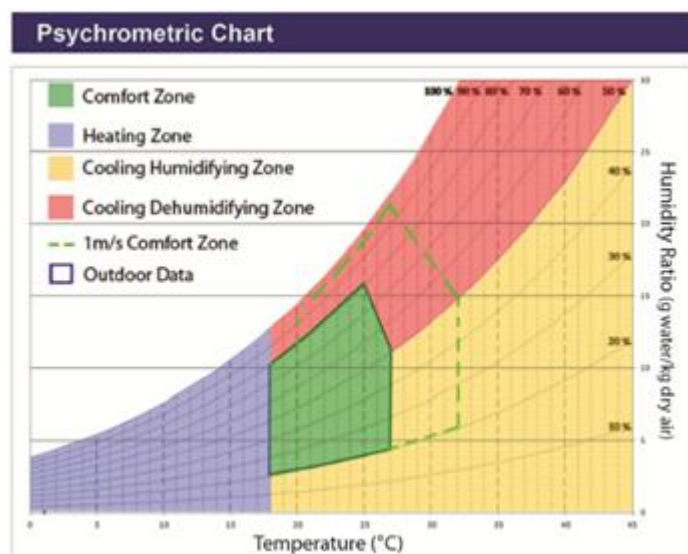
در کنار رابطه‌ای که فانگر برای درصد عدم رضایت مطرح می‌کند [۶]، نمودار شکل ۲-۴ را نیز برای رابطه بین درصد عدم رضایت که در خط عمودی و میزان رضایت در خط افقی ارائه می‌کند که در آن به این نکته پی می‌بریم که ۱۰۰ درصد افراد همیشه از محیط رضایت نداشته و حدود ۵ درصد در شرایط کاملاً ایده آل عدم رضایت مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۴. جدول ضرایب پوشش [۶].

۵-۲ استانداردهای آسایش حرارتی

بحث آسایش حرارتی از سال ۱۹۷۲ و بعد از بحران نفت مهم تلقی شد علت این داستان ساخت سیستم-های تهویه مطبوع است برای این منظور و تعیین محدوده آسایش حرارتی استانداردهایی تدوین و تهیه گردید که مورد استفاده معماران و طراحان قرار گیرد، دو استاندارد مطرح و معتبر در این شاخه استاندارد اشری^۱ ۵۵ و استاندارد ایزو ۷۷۳۰ است، استاندارد ایزو [۸] که بر پایه معادلات فانگر است و در این استاندارد به روابط و روش اندازه‌گیری متغیرهای درونی و بیرونی می‌پردازد و در آن پیش‌بینی‌هایی ارائه شده است، استاندارد اشری [۵] توسط انجمن مهندسان آمریکا و مانند استاندارد ایزو است، بعد از نظرات همفریز تغییراتی پیدا می‌کند و گزارشی در قالب اشری ۸۸۴ [۱۸] ارائه می‌گردد، باید توجه داشت این استاندارد برای افراد نشسته، پوشش معمولی و سلامت کامل تعریف شده است [۶]، شکل شماره ۵-۲ نمونه‌ای از نمودار سایکرومتریک است.



شکل ۵-۲. نمونه‌ای از نمودار سایکرومتریک [۲۶].

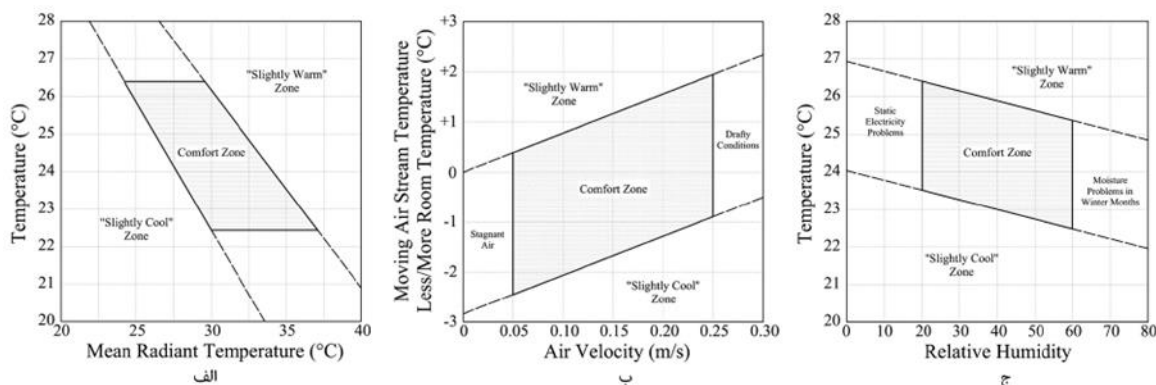
در بعضی از نمودارها، متغیرهای محیطی دوه‌دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند و از این طریق محدوده آسایش را تعیین می‌کنند، به‌عنوان نمونه در تصویر شماره ۵-۲ متغیرهای دمای هوا، دمای تشعشعی، سرعت هوا، جریان هوا و رطوبت نسبی با یکدیگر مقایسه می‌شوند. در نمودار الف رابطه بین دمای هوا

^۱ASHRAE-۵۵ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

و متوسط دمای تشعشعی را نشان می‌دهد، در نمودار ب رابطه سرعت هوا و دمای جریان هوا در حالت نشست و رطوبت نسبی ۵۰ درصد و سرعت بین ۰/۰۸ الی ۰/۳ متر بر ثانیه را نشان می‌دهد و در نمودار ج این تصویر رابطه دمای هوا و درصد رطوبت نسبی است که از این طریق محدوده آسایش مشخص می‌شود [۲۶].

۲-۶ نمودارهای آسایش حرارتی

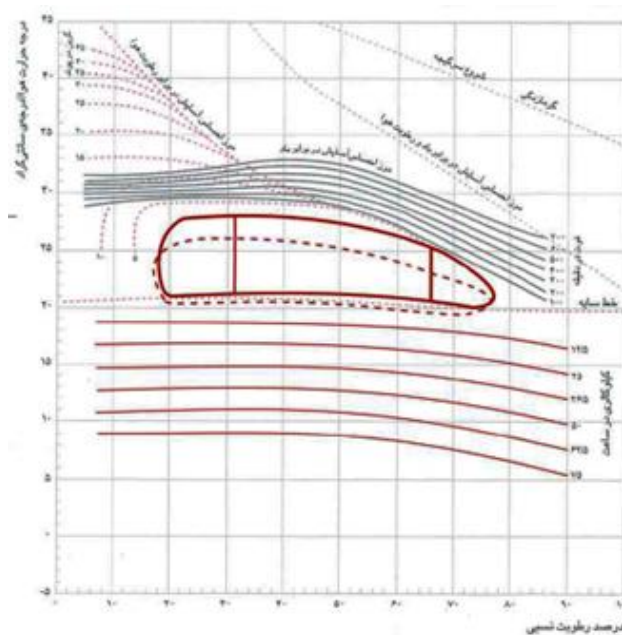
بعد از شناخت کامل عوامل مؤثر در آسایش حرارتی باید در مقاطع زمانی مشخص و متناسب با شرایط پروژه، شروع به برداشت اطلاعات اقلیمی و انسانی کرده، در نتیجه این کار داده‌هایی است که باید مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته، برای همین پژوهشگران نمودارهایی را برای این موضوع در نظر گرفته‌اند. این نمودارها اطلاعاتی از جمله شناخت و تعیین محدوده آسایش، حداکثر و حداقل دما و رطوبت مناسب، میزان جریان هوا و عوامل دیگر را برای معماران و طراحان ارائه می‌نمایند، از مهم‌ترین نمودارهای آسایش حرارتی نمودار اولگی، سایکرومتریک و زیست‌اقلیمی است که در ادامه در مورد هر کدام صحبت خواهد شد، شکل ۲-۶ نمونه‌ای از این نمودارهاست.



شکل ۲-۶. محدوده آسایش در مقایسه بین عوامل محیطی با یکدیگر [۲۶].

۱-۶-۲ نمودار زیست اقلیمی^۱

اولگی جدولی ارائه کرد که با استفاده از اطلاعات اقلیمی می‌توان به شرایط آسایش انسانی را تعیین کرد، به این نمودار جدول زیست‌اقلیمی اولگی می‌گویند با استفاده از این جدول می‌توان محدوده حرارتی، شرایط بحرانی هوا و یا دوام سالانه گرما و سرما منطقه را به دست آورد، شکل شماره ۲-۷ نمونه‌ای نمودار زیست اقلیمی است [۲۷].



شکل ۲-۷. نمودار زیست اقلیمی [۲۷].

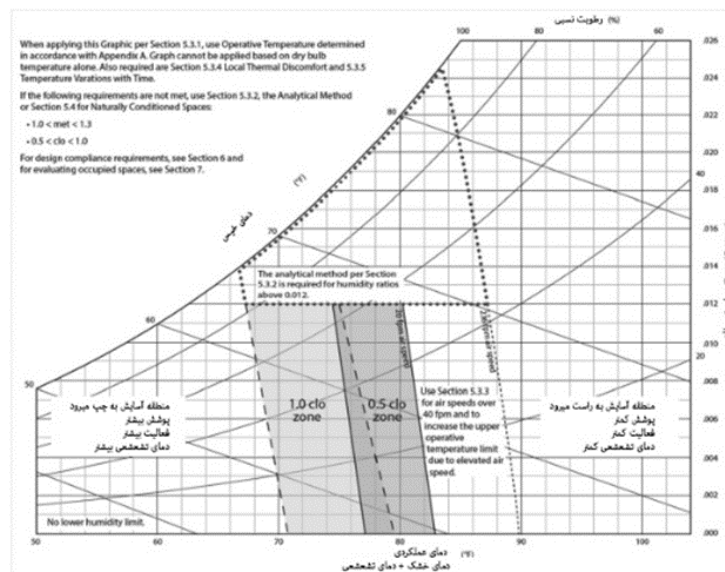
۲-۶-۲ نمودار سایکرومتریک^۲

هوا متشکل از تعدادی از عناصر و گازهای مختلف و در خود مقداری آب دارد، در هر دما این مقدار متفاوت است و اگر به حداکثر خود برسد به حالت اشباع درمی‌آید، نموداری برای تعیین میزان رطوبت و تحلیل شرایط آسایش حرارتی شکل گرفته است به این نمودار، نمودار سایکرومتریک می‌گویند، شامل چند محور است که محور افقی دمای خشک برحسب درجه سانتی‌گراد، محور عمودی رطوبت مطلق برحسب گرم بر کیلوگرم و خطوط منحنی درصد رطوبت نسبی است کتاب سازگاری. در استاندارد اشری

^۱ Bioclimatic chart

^۲ Psychrometric chart

۵۵ در مثالی که مطرح کرده است به جای استفاده از دمای خشک از دمای عملکردی استفاده کرده است و دمای تشعشعی را نیز همراه با دمای خشک همراه کرده است [۵]. در انتها بعد از تعیین محدوده آسایش حرارتی در نمودارهای معرفی شده، جیوونی^۱ در نمودار خود راهکارهای فعال و غیرفعال را برای رسیدن به محدوده آسایش تعریف می کند [۲۷]، شکل ۲-۸ زیر نمودار سایکرومتریک و محدوده پیشنهادی آسایش را براساس دمای عملکردی نشان می دهد.



شکل ۲-۸. سایکرومتریک [۵].

۷-۲ ارزیابی شرایط آسایش حرارتی در کلاس های درس

شاخصه های موردنظر برای شرایط آسایش را می توان با مطالعه استانداردهای بین المللی اشری ۵۵ [۵]، ایزو ۷۷۳۰ [۸] و ای ان ۱۵۲۵۱ [۲۸] دریافت، در این استانداردها مطالب جامع و کاملی در رابطه نرخ لباس، میزان فعالیت، محدوده دمایی و آسایش حرارتی به تفصیل گفته شده است [۲۹]. مطالعات صورت گرفته در این استانداردها معیارها و معادلاتی را برای محدوده آسایش طبق روش های میدانی^۳ و سازگاری^۴ ارائه داده اند این مقادیر بر مبنای دمای عملکردی است، در شکل ۲-۹، زیر محدوده های

^۱ Givonni

^۲ EN 15251

^۳ Field measurement

^۴ Adaptive model

تعریف شده در هر استاندارد مناسب برای کلاس‌های درس بر اساس استانداردهای بین‌المللی ایزو ۷۷۳۰،

اشری ۵۵ و ای‌ان ۱۵۲۵۱ آمده است [۹]:

Standard	Thermal comfort approach	Operative temperature winter (°C)	Operative temperature summer (°C)
ISO 7730 (2005)	Rational $-0.5 < PMV < +0.5$ PPD < 10%	20-24	23-26
ASHRAE 55 (2004)	Rational $-0.5 < PMV < +0.5$ PPD < 10%	20.5-25.5	24.5-28.0
EN- 15521 (2007)	Adaptive	$T_n = 0.302TRMT + 19.39$; $TRMT > 10$ $T_n = 22.88$; $TRMT \leq 10$	
ASHRAE 55 (2010)	Adaptive	$T_n = 0.31T_o + 17.8$	

TRMT: Running Mean Temperature.

T_o : Outdoor Temperature.

T_n : Neutral Temperature.

PMV: Predicted Mean Vote.

شکل ۲-۹. محدوده دمای عملکردی در فصل زمستان و تابستان براساس استاندارد [۹].

در دسته‌بندی اقلیمی که توسط کوپن گایگر^۱ صورت گرفته، اقلیم‌های مناطق مختلف در چهار دسته

قرار گرفته است و ایران در دسته نیمه‌خشک و خشک و گروه سوم قرار دارد، در شکل ۲-۱۰ دمای خنثی

برای هر دسته مشخص شده است [۹].

Neutral/comfort temperature in each climate zone.

Climate vs. neutral/comfort temperature			
Climate	Lower limit (°C)	Neutral (°C)	Higher limit (°C)
A	22	27.21	30.70
B	19	23.08	26.60
C	16	21.66	30.70
D	19.9	23.58	28.30

شکل ۲-۱۰. دمای خنثی در مناطق مختلف اقلیمی کوپن گایگر [۹].

با توجه به این جدول حداقل دما برای ایران ۱۶، دمای خنثی ۲۱/۶۶ و حد بالای دمای آسایش ۳۰/۷۰

درجه سانتی‌گراد تعریف شده است. در مقاله‌ای که به بررسی مطالعات انجام شده در بخش آموزشی

^۱ Coppen gaiger

صورت گرفته است دمای خنثی ۲۵/۱، دمای حداکثر ۳۱/۵ و حداقل ۱۶ درجه سانتی گراد را برای دانشگاه-ها مناسب دانستند، دکتر حیدری [۶] در مطالعات خود که در ایران صورت گرفته است، معادله ۲-۶ را برای دمای خنثی بدست آورده است:

$$T_n = 17/1 + 0/36 T_o \quad (2-6)$$

در این معادله T_n دمای خنثی و T_o دمای عملکردی داخلی است که از طریق دمای هوا داخلی و دمای تشعشعی بدست می آید. با توجه به این مطالب و مطالعاتی که صورت گرفته برای ارزیابی شرایط آسایش حرارتی در ساختمان‌های آموزشی از هر دو شیوه برداشت میدانی و سازگاری استفاده می شود، این ساختمان‌ها از نظر تهویه به دو بخش تهویه طبیعی و مطبوع تقسیم می شوند، زمان برداشت اطلاعات بهتر است در زمانی صورت گیرد که دانشجویان حضور دارند تا از هر دو روش بتوان به محدوده مناسبی برای شرایط آسایش تخمین زد، در مرور مقالات در چند بازه مختلف زمانی پژوهش‌ها صورت گرفته، این زمان‌ها شامل نیمه هر فصل، تابستان، زمستان و کل سال است که مقالات کمتری در کل سال برداشت اطلاعات داشته‌اند و بیشترین مربوط به فصل گرم یا سرد سال است [۹].

۲-۸ مطالعات پیشین

بخش حال حاضر به بررسی مطالعات پژوهش‌های صورت گرفته آسایش حرارتی علی الخصوص ساختمان‌های آموزشی در ایران و خارج از ایران می پردازد.

۲-۸-۱ پژوهش‌های ایران

پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه آسایش حرارتی در ایران تا سال ۱۳۸۰، تعیین حدود آسایش از طریق نمودارهای جیوونی و زیست اقلیمی است و پژوهش مدون خوبی صورت نگرفته است، اولین پژوهش‌ها توسط شرکت ملی نفت است، رازجویان، پور دیهیمی و طاهباز [۳۰] بررسی‌های درزمینه آسایش حرارتی انجام داده‌اند ولی محدوده‌ای تعیین نکرده‌اند، دکتر حیدری در رساله خود و همچنین در وزارت نیرو به بحث آسایش حرارتی در ایران پرداخته است و محدوده‌ای برای چندین منطقه تعریف

کرده است [۶]. کتاب‌های اندکی در ایران در سال‌های اخیر با این موضوع به چاپ رسیده است که از جمله آن‌ها می‌توان به کتاب سازگاری حرارتی در معماری نوشته دکتر شاهین حیدری [۶] و یا کتاب آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخل نوشته دکتر سلطان دوست [۳۱] اشاره کرد. متأسفانه در ایران به دلیل کمبود ابزار و تجهیزات سنجش رسالات کمی به بحث ارزیابی شرایط آسایش حرارتی در فضاهای داخل پرداخته‌اند و بیشتر پژوهش‌ها معطوف به فضای خارج و از طریق شبیه‌سازی صورت گرفته است. شقایق محمد [۳۲] در مقاله‌ای که در نشریه هنرهای زیبا چاپ کرده است با بررسی انواع مصالح ساختمانی و شبیه‌سازی رفتارهای حرارتی آن‌ها و تأثیری که بر شرایط آسایش دارد، دو بلوک لیکا به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر با لایه‌ای عایق در بین آن را مناسب برای ساختمان‌های مسکونی می‌داند و خاطرنشان می‌کند که باید محاسبات برای وضعیت‌های ناپایدار صورت گیرد. زمریدیان، طاهباز و امینیان [۳۳] طی بررسی بر روی دانش‌آموزان یک کلاس در اقلیم شهر کاشان از طریق برداشت میدانی، به این نکته رسیدند که شرایط آسایش مطابق با استاندارد نیست و شیوه‌های ارزیابی برای سنین پایین متفاوت با بزرگسالان است. جلیل شاعری و همکاران [۳۴] در مقاله‌ای به بررسی عوامل محیطی خانه‌های سنتی شهر بوشهر در فصل گرم پرداختند و بعد از اندازه‌گیری به این نتیجه رسیدند که خانه‌های سنتی این شهر در محدوده آسایش قرار دارند و شرایط محیطی داخلی این خانه‌های سنتی نسبت به بیرون مطلوب‌تر است علت این موضوع را استفاده از روش‌های غیرفعال و تهویه طبیعی دانستند و در انتها راهکارهای غیرفعال برای ساختمان‌های مدرن و نوساز بوشهر پیشنهاد می‌کنند. دکتر حیدری [۳۵] در مقاله *دمای آسایش حرارتی مردم شهر تهران* که در نتیجه رعایت این موضوع تا ۲۵ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌شود. در مقاله دیگری دکتر حیدری محدوده حرارتی مناطق سرد و خشک را در زمستان تا اواسط بهار تعیین می‌نمایند در نتیجه در اشاره دارد که در چه ماه‌هایی از سال نیاز به تجهیزات فعال یا غیرفعال است [۳۶]. دکتر عینی فر به همراه دکتر حیدری به بررسی شرایط آسایش در داخل سیاه‌چادرها می‌پردازند و در نتیجه پس از ارزیابی شرایط هوایی داخل این چادرها را مناسب می‌دانند [۳۷].

۲-۸-۲ پژوهش‌های خارج

در سال ۱۹۷۲ و هم‌زمان با بحران نفت، آسایش حرارتی به‌عنوان موضوع مهمی در نظر گرفته‌شده است [۶]، مطالعات و پژوهش‌های زیادی در حوزه آسایش صورت گرفته و کمتر به ساختمان‌های آموزشی توجه شده است. مطالعات حوزه آسایش به دو بخش میدانی و آزمایشگاهی تقسیم‌بندی می‌شود و در این رساله به پژوهش‌هایی مربوط به بخش ساختمان‌های آموزشی پرداخته می‌شود. زمردیان، تحصیل دوست و حافظی [۹] در مقاله جامعی به گزارش پژوهش‌های صورت گرفته در بخش آموزشی می‌پردازند در این مقاله بعد از بررسی‌های که بر روی فراوانی مطالعات صورت گرفته نکات و پیشنهادها برای ساختمان‌های آموزشی می‌دهند، طبق گفته آن‌ها استانداردهای ایزو ۷۷۳۰، اشری ۵۵ و ای ان ۱۵۲۵۱ برای ارزیابی کلاس‌های درس مناسب نیستند، اختلافات گسترده‌ای در بین مطالعات صورت گرفته مشاهده‌شده و باید در سطح خرد مطالعه صورت گیرد، معمولاً مطالعات در فصل‌های مشخص و با تعداد کاربران محدود مشخص می‌شود و باید در مدت‌زمان و با کاربران بیشتری انجام گیرد، تهویه طبیعی کیفیت مناسبی برای کلاس‌های درس فراهم نمی‌کند، اقلیم بیرونی و درون کلاس هر دو بر شرایط آسایش تأثیر دارند و دانشجویان نسبت به محیط‌های سردتر تمایل بیشتری نشان داده‌اند، گرمای بیش‌ازحد به علت پنجره‌های بزرگ و مصالح نامناسب عملکرد دانشجویان را مختل می‌کند به همین دلیل تأمین شرایط حرارتی مطلوب مهم‌ترین عامل است و صرفه‌جویی انرژی در این ساختمان‌ها در مرتبه دوم قرار دارد [۹]. پایان‌نامه‌ای به ارزیابی شرایط آسایش حرارتی در کلاس‌های دانشکده‌ای در آنکارا ترکیه می‌پردازد در نتیجه عامل جرم حرارتی مصالح و جهت‌گیری را عامل‌های مهم فراهم‌کننده شرایط آسایش در این اقلیم ذکر می‌کند، جرم حرارتی بالای مصالح دمای مناسبی را ایجاد می‌کنند و زمانی که ابعاد پنجره‌ها کوچک هستند این عامل مؤثرتر است، جهت‌گیری شمالی و جنوبی تأثیر متفاوت‌تری نسبت به جهت قرارگیری در راستای غرب و شرق دارند [۱]. پارک^۱ و ناگی^۲ در مطالعه

Park^۱

Nagi^۲

گسترده‌ای که در رابطه با آسایش حرارتی و کنترل ساختمان، به این موضوع پی بردند که اکثر تحقیقات مربوط به ذخیره انرژی است و کلمات تهویه و کیفیت محیط داخلی بیشترین واژه مهم در بحث آسایش است، شیوه‌های ارزیابی رو به استفاده بیشتر از هوش مصنوعی در این موضوع دارد که این الگوریتم‌ها با استفاده از داده‌های گذشته به پاسخ شرایط آسایش می‌پردازند [۳۸]. برت^۱ و همکاران در مطالعه خود بر ویژگی‌های ساختمان و نقش آن در یادگیری دانش‌آموزان از تأثیر مثبت این موضوع خبر دادند. پارسون در بررسی که بر روی جنسیت، سازش، پوشش و عدم توانایی جسمی به نتایجی دست‌یافت که نشان داد مردان تمایل به محیط‌های کمی گرم و زنان به محیط‌های خنک‌تر علاقه دارند، سازش و خو گرفتن نسبت به محیط‌های گرم برای آسایش کمتر است، کاربران برای تأمین شرایط آسایش از طریق پوشش اقدام می‌کنند ولی با محدودیت مواجه هستند و در انتها از توجه ای که باید به افراد معلول و تفاوت آن‌ها در نظر گرفت اشاره دارد [۲۱]. زمردیان و همکاران با بررسی دو ساختمانی که گواهی نقره‌ای لید^۲ را دارند به ارزیابی کلاس‌های دانشگاه از لحاظ آسایش بصری و حرارتی پرداختند و با شبیه‌سازی در نرم‌افزار لید به این نکته پی بردند که استاندارد لید بیشتر از اینکه رضایت کاربران بپردازد بر مسائل مصرف انرژی نظارت داشته است، این ساختمان‌ها از لحاظ حرارتی مناسب ولی از لحاظ بصری ایراد داشتند [۳۹]. چاد هوری^۳ و همکاران بر مبنای مطالعه بر روی شرایط آسایش ساختمان‌هایی با سیستم تهویه مطبوع بیان کردند که دمای تشعشعی تأثیر مهمی بر میزان رضایت کاربران دارد و مقدار آن برابر با دمای هوا است [۴۰]. امیر^۴ در ارزیابی شرایط آسایش در مدرسه‌ای در اقلیم گرم و مرطوب برای این اقلیم‌ها استفاده از سیستم‌های تهویه هوا را مناسب می‌داند، برای دیوارها استفاده از عایق‌های حرارتی را پیشنهاد می‌کند [۴۱]. مطالعه‌ای در کلاس‌های درس مدرسه‌ای در سوئد بر روی کودکان از لحاظ کیفیت هوا و آسایش حرارتی در فصل زمستان نشان از تفاوت محدوده آسایش تخمین زده‌شده با

Bratt^۱

LEED^۲

Chaudhuri^۳

Emir^۴

استاندارد دارد زیرا مطالعات استاندارد قدیمی تر بوده است، دمای آسایش تعیین شده $22/1 \pm 2/4$ درجه سانتی گراد و کمتر از دمای تخمین زده در شاخص میزان رضایت است [۴۲]. مطالعات فانگ بر مبنای وضعیت دانشجویان آمریکایی و دانمارکی دانشگاه در اتاق‌های اقلیمی^۱ بود، اگرچه مطالعات میدانی گزارشی از اختلاف بین حسگرهای حرارتی پیش‌بینی شده و محیط واقعی در کلاس‌های دانشگاه گزارش داده‌اند، این اختلاف‌ها گزارش فعالیت‌های سازگاری دانشجویان با محیط کلاس را داده‌اند، نتایج مطالعات بر روی آسایش حرارتی کارمندان ادارات می‌تواند برای دانشجویان کلاس‌های دانشگاهی هم در نظر گرفت، اگرچه باید به دو مسئله در این زمینه در محیط‌های اداری توجه کرد: اول اینکه دانشجویان از محیط گرم بیرونی به محیط گرم داخلی می‌روند و برعکس کارمندان در تمام مدت در اتاق‌های خود هستند دوم اینکه پوشش دانشجویان کمتر از پوشش کارمندان ادارات است، با این حال نمی‌توان شرایط مشابهی را از نظر آسایش حرارتی برای دانشجویان دانشگاه و کارمندان ادارات در نظر گرفت [۴۳]. تئوری آسایش حرارتی، به‌طور گسترده‌ای مطالعات بر مبنای گروه‌های سنی مختلف و نوع جنسیت آن‌ها بوده است، نوع فعالیت و نوع پوشش دو عامل مهم شخصی و آزادی سازگاری بر غلبه بر شرایط نارضایتی متفاوت است با سن دانش آموزان که بر این اساس به سه گروه مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند: ۱. دبستان (دانش آموزان سن ۷ تا ۱۱ سال)، ۲. راهنمایی و دبیرستان (۱۲ تا ۱۷) و ۳. دانشگاه (۱۸ تا ۲۸ سال) [۹]. نیاز ما دستیابی به آسایش حرارتی است به این خاطر که دانش آموزان ۳۰ درصد از وقت خود را در مدارس می‌گذرانند [۱۰]. هوانگ^۲ مطالعاتی در زمینه تهویه طبیعی و تهویه مطبوع در کلاس‌های هفت دانشگاه تایوان انجام داده است، این مطالعات نشان داده است که رطوبت نسبی برای مسئله آسایش در داخل کلاس‌ها بر روی افراد تأثیری ندارد و به همین دلیل به مسائل دیگری توجه کرده‌اند، در مطالعات بعدی که بر روی دمای خنثی در خوابگاه و کلاس‌های دانشگاه‌های تایوان انجام شد متوجه شدند که در دو حالت آسایش شبیه هم هستند [۴۳]. در مطالعه‌ای که توسط یائو^۳ انجام شده

^۱ Climatic chamber

^۲ Hwang

^۳ Yao

است در کلاس‌های دانشگاه چین به این مسئله پی برده شد که شرایط آسایش بیش از حد انتظار استاندارد اشری ۵۵ بوده است در طول یک سال به‌غیر از گرم‌ترین و سردترین ماه سال بوده است [۴۴]. در اقلیم اقیانوسی کره که یک مطالعه میدانی که در کلاس‌های دانشگاه در طول بهار و پاییز انجام شد نشان داد که میزان قابل قبول حرارتی که از آن توصیه می‌شود، متفاوت است با استاندارد اشری ۵۵ است [۴۵]. در طول پاییز، زمستان و بهار بوراتی^۱ و ریکاردی^۲ مطالعاتی در کلاس‌های سه دانشگاه سه شهر ایتالیا انجام دادند که همبستگی پاسخ‌های پرسشنامه‌ای^۳ و پی‌ام‌وی^۴ اختلاف معناداری را بین آن‌ها نشان داده است [۴۶]. در بعضی موارد نتایج نشان داده است که دانشجویان به‌خوبی با شرایط اقلیم ناحیه وفق پیدا کرده‌اند، رفتارهای سازگاری همچون استفاده از فن‌ها، پوشش مناسب، استفاده از پنجره‌ها نشان داده است، علاوه بر این، بر مبنای با توجه به دمای بدن انسان به این مسئله می‌شود دست‌یافت که ۴ درجه سانتی‌گراد کمتر از روش پی‌ام‌وی/پی‌پی‌دی^۵ و ۲ درجه سانتی‌گراد کمتر از استاندارد ای‌ان ۱۵۲۵۱ و اشری ۵۵ در شرایط آسایش است، میان مطالعات صورت گرفته در زمینه روش سازگاری، ۳۳ درصد کمتر از حالت خنثی بر طبق استاندارد و آسایش ۴۳ درصد بیشتر از دمای خنثی در مقایسه با استاندارد گزارش شده است، اگرچه ۲۴ درصد تناسب با استانداردهای سازگاری به‌ویژه در دانشگاه‌ها داشته است، همچنین نتایج روش سازگاری را دقیق‌تر در نواحی اقلیمی برای شرایط آسایش منتشر کرده‌اند [۹]. از دیگر مطالعاتی که می‌توان در زمینه آسایش حرارتی در محیط‌های دانشگاهی به آن اشاره کرد می‌توان به بررسی در زمینه پاسخ‌هایی که کاربران برای سازگاری با کلاس‌هایی با تهویه طبیعی در دانشگاه‌ها کرده‌اند [۴۷]. بررسی مدل تطبیقی آسایش در دانشگاه‌های مرکز و شمال ایتالیا صورت گرفته است [۴۸]. پیش‌بینی حرارت محیطی در کلاس‌های دبیرستان‌ها و دانشگاه‌ها از طریق آسایش حرارتی

^۱ Buratti

^۲ Ricciardi

^۳ Questionnaire

^۴ PMV

^۵ PPD

و اولویت روانی توسط کورگناتی^۱ و همکاران است [۴۹]. نیکو^۲ و همکاران بررسی آسایش حرارتی در کلاس‌های دانشگاه‌ها با روش میدانی و تحلیلی روانی داشته‌اند [۵۰]. بررسی آسایش حرارتی در کلاس‌های دانشگاه کره توسط جونگ^۳ و همکاران [۵۱]، از دیگر پژوهش‌های آسایش حرارتی در فضاهای دانشگاهی می‌توان اشاره کرد. زکی و همکاران در بررسی آسایش و رفتارهای حرارتی کاربران در ساختمان‌های اداری دانشگاه‌های ژاپن در دو حالت آزاد و سرمایشی، کاربران در محیط سرمایشی احساس خنثی و در حالت دیگر کمی گرم بودند، دمای آسایش ۲۶/۶ درجه سانتی‌گراد است و تحقیقات نشان داد رفتارهای حرارتی در حالت آزاد بیشتر هستند و در وضعیت تهویه مطبوع کاربران علاقه‌ای به تغییر وضعیت نشان ندادند [۵۲]. در بررسی یک ساختمان آموزشی در انگلستان عدم شرایط کافی آسایش حرارتی را در فصل زمستان نشان می‌دهد [۵۳]. مقاله‌ای در خصوص بررسی مدل‌های آسایش حرارتی و میزان پذیرش کاربران در مدارس مناطق معتدل نشان می‌دهد که در شاخص میزان رضایت میزان فعالیت باید در نظر گرفته شود و در سنین پایین توجه به سطح پوست است [۵۴]. مسئله مهمی که باید گفته شود این است که چون آسایش حرارتی در بازه مختصری برداشت می‌شود باید نسبت به نقاطی از کلاس که دانش‌آموزان لذت می‌برند و یا مشکل دارند در آن بازه آگاهی داشت، به همین خاطر شبیه‌سازی محیطی ابزار سودمندی برای پیش‌بینی وضعیت آسایش در مدت‌های طولانی در نظر گرفته می‌شود [۱۰].

^۱ Corgnati

^۲ Nico

^۳ Jung

فصل ۳: روش تحقیق

۱-۳ مقدمه

در این فصل، بعد از شناخت و آشنایی کامل موضوع آسایش حرارتی و عوامل و منابع مؤثر در فصل قبل با انتخاب روش مناسب به ارزیابی و بررسی آسایش حرارتی می‌پردازیم، ساختمانی که در این ارزیابی در نظر گرفته شده کلاس‌های درس دانشجویان دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود واقع در استان سمنان است. با توجه به مسائل و مشکلاتی که در این دسته از ساختمان‌ها مشاهده گردید این ساختمان در اقلیم گرم و خشک ایران انتخاب گردید. این ساختمان بدین جهت انتخاب گردید زیرا از نظر تهویه از هر دو سیستم طبیعی که بوسیله پنجره‌ها و درب داخلی و خارجی و هم مصنوع که از طریق کولر آبی و شوفاژ برای فصول گرم و سرد سال مورد توجه قرار گرفت. در این فصل که به موضوع شیوه و روش تحقیق می‌پردازد، در ابتدا سعی به معرفی روش ارزیابی و تحقیق و مسیر طی شده در این پژوهش و سپس به معرفی هر بخش و توضیحات مربوط به آن پرداخت شده است که از این طریق به ارزیابی محدوده و دمای مناسب به جهت تامین آسایش حرارتی برای فضاهای آموزشی و مخصوصاً این دانشگاه ارائه گردد.

۲-۳ روش ارزیابی و تحقیق

روش تحقیق ارزیابی و بررسی مساله آسایش حرارتی در ابتدا به صورت مطالعات کتابخانه‌ای و منابع موجود در مقالات معتبر بین‌المللی در زمینه آسایش و سپس بررسی دقیق‌تر منابعی که تمرکز اصلی خود را بر بحث آسایش حرارتی در فضاهای آموزشی صورت گرفت، سپس با مطالعات استانداردهای ارائه شده در این زمینه رویکردهای مناسبی اتخاذ گردید. در این پژوهش سعی شده است تا از کامل‌ترین شیوه برای ارزیابی شرایط آسایش حرارتی استفاده شود، این روش به دو صورت و به صورت هم‌زمان صورت می‌گیرد، روش‌های مورد استفاده در این ارزیابی به دو دسته تقسیم می‌شوند؛ روش اول: روش میدانی، این روش بر اساس روش پیشنهادی استاندارد اشری ۵۵[۵] و ایزو ۷۷۳۰ [۸] است. روش دوم:

مدل سازگاری که بر مبنای مطالعات همفری و نیکل [۵۵] و گزارش اشری^۱ [۵۶] است. در روش اول که به مدل اشری معروف است بدین صورت که از طریق اندازه‌گیری متغیرهای محیطی و شاخص‌های مربوطه استفاده میکند. روش دوم به مدل سازگاری معروف است این روش به جهت آن اتخاذ گردید که ضعف‌هایی در مدل اشری مشاهده گردید زیرا اشری به تمام عوامل مخصوصاً عوامل فیزیولوژیکی و روانی کاربران توجه نکرده است در این روش با استفاده از پرسشنامه و تحلیل‌های صورت گرفته به ارزیابی آسایش حرارتی پرداخته می‌شود. شکل ۳-۱ روش تحقیق و مسیر ارزیابی را به طور کلی نشان میدهد و به شرح زیر است:



شکل ۳-۱. مدل ارائه شده روش تحقیق، نگارنده.

نیکل و همفری [۵۵] برای ارزیابی شرایط آسایش حرارتی بازه‌های زمانی کوتاه مدت را پیشنهاد میدهند زیرا در مدل آسایش حرارتی انطباق بیشتری با شرایط موجود پیدا کند و از دقت بیشتری برخوردار شود و [۵۷] علت این موضوع را اهمیت بحث میدانند و در ادامه برای بررسی شرایط بازه زمانی حداقل یک هفته و در نهایت ده روز مناسب میدانند.

با توجه به مطالعات صورت گرفته در این زمینه و بررسی شرایط تحصیلی و حضور دانشجویان در

دانشگاه‌های ایران انتخاب گردید، در این پژوهش به دلیل اینکه دقت مدل آسایش حرارتی پیشنهادی از اعتبار بالایی برخوردار باشد، کل سال و تمام فصول در یک سال انتخاب گردید اما در این زمان به دلیل محدودیت‌هایی از جمله زمان حضور دانشجویان در کلاس‌ها و تاریخ امتحانات و تعطیلات تابستانی و نوروز سبب این موضوع گردید که از هر فصل ماه خاص و در زمان خاصی انتخاب گردد. با توجه به مطالعات منابع موجود، زمان برداشت در بازه‌های یک الی دو هفته و در ساعات مشخص که دانشجویان در کلاس حضور دارند این پژوهش صورت گرفته است. زمان مورد نظر ساعات ۱۰ الی ۱۲ صبح و عصرها از ساعت ۱۴ الی ۱۶ است، در این برداشت روزهای تعطیل مورد بررسی قرار نگرفته است و در انتها باید خاطر نشان کرد با توجه تعطیلات ذکر شده و اوج گرما و سرما در سال، مجبور به انتخاب زمان دیگری برای در نظر گرفته شده است.

۳-۳ معرفی سایت

در این بخش به معرفی موقعیت شهرستان شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود و دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی شاهرود پرداخته می‌شود.

۳-۳-۱ موقعیت شهرستان شاهرود

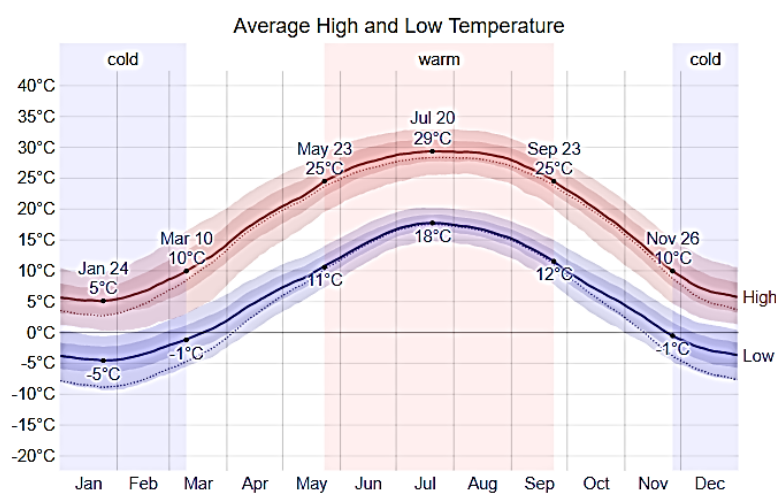
شهرستان شاهرود، یکی از شهرستان‌های واقع در استان سمنان است. موقعیت جغرافیایی این شهرستان ۲۵ دقیقه و ۳۶ درجه عرضی و ۵۸ دقیقه و ۵۴ درجه طولی با ارتفاعی معادل ۱۳۸۰ متر از سطح دریا در شمال خاوری واقع شده است [۵۸].

۳-۳-۲ اقلیم شهرستان شاهرود

شاهرود، تابستان‌های گرم، خشک، طولانی و صاف و زمستان‌های سرد، خشک و نیمه بیابانی است، در طول یک سال، دما به‌طور معمول بین دو بازه ۵- تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد و به‌ندرت زیر ۹- تا بالای ۳۳ درجه سانتی‌گراد می‌رسد [۵۹].

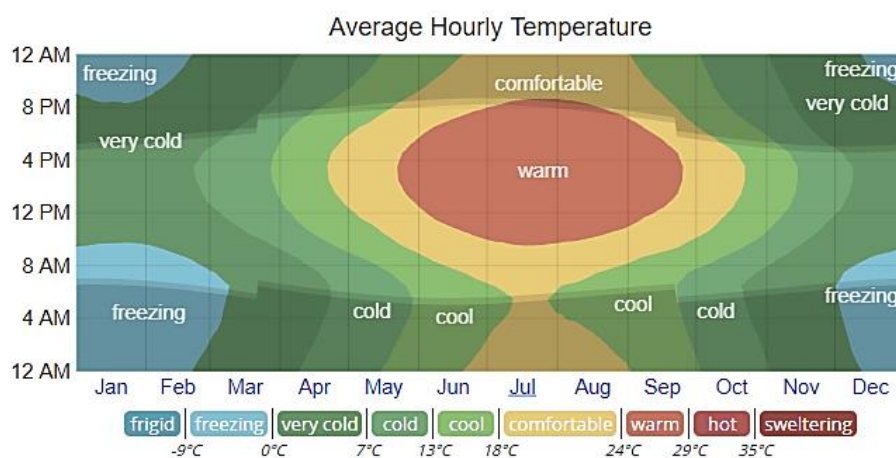
۱-۲-۳-۳ دمای هوا

طبق شکل ۲-۳ فصل گرم، در این شهرستان از ۲ خرداد تا ۱ مهر به مدت چهار ماه ادامه دارد، متوسط دمایی بالای ۲۵ درجه سانتی گراد است، گرم‌ترین روز ۲۹ تیرماه در سال و کمترین و بیشترین دمای ۱۸ و ۲۵ درجه سانتی گراد است. فصل سرد، شروع این فصل از ۵ آذر تا ۱۹ اسفند به مدت ۳/۵ ماه به طول می‌انجامد، به‌طور متوسط دمای بالای ۱۰ درجه سانتی گراد است، سردترین روز سال ۴ بهمن و میانگین دمایی از ۵- درجه تا بالای ۵ درجه سانتی گراد است [۵۹].



شکل ۲-۳. میانگین دمای حداقل و حداکثر شهرستان شاهرود [۵۹].

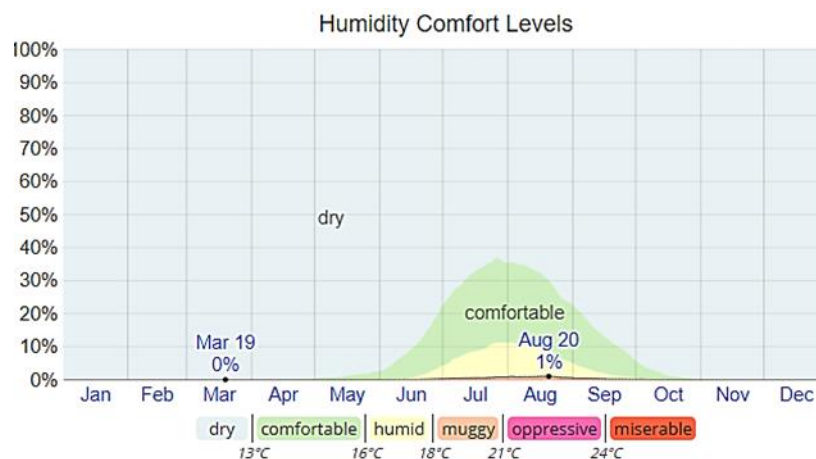
شکل ۳-۳ یک توصیف کلی از دمای متوسط ساعتی شهرستان شاهرود را نشان می‌دهد، خط افقی ماه‌های سال، خط عمود ساعت و رنگ‌ها توصیف کلی از وضعیت دمایی بیان می‌کنند [۵۹].



شکل ۳-۳. میانگین دمای ساعتی شهرستان شاهرود [۵۹].

۳-۳-۲-۲ رطوبت هوا

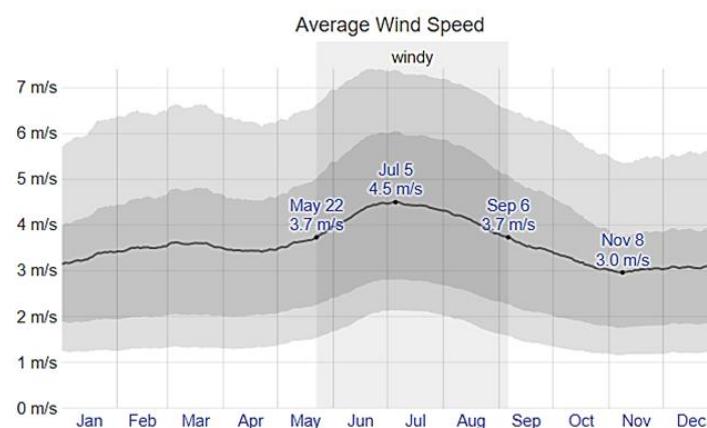
میزان رطوبت مشاهده شده در این شهرستان، خیلی کم و در اکثر سال مقدار ثابتی دارد، این میزان رطوبت نسبی شرایط بدی را ایجاد می کند و در اکثر ماه های سال خشک است، در شکل ۳-۴ میزان رطوبت نسبی در سال را نشان می دهد [۵۹].



شکل ۳-۴. درصد رطوبت نسبی و سطح آسایش شهرستان شاهرود [۵۹].

۳-۳-۲-۳ سرعت و جهت باد

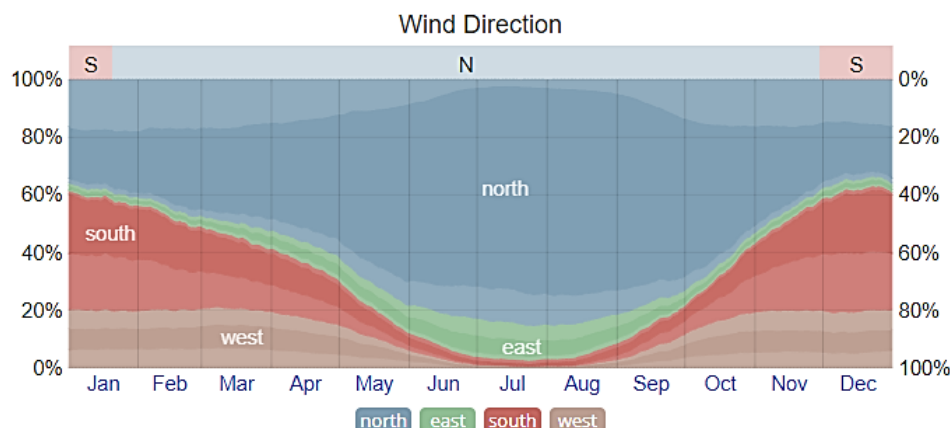
در شاهرود، مطابق شکل ۳-۵، سرعت باد در فصول مختلف سال تغییرات قابل توجهی دارد، مطابق نمودار زیر سرعت باد از ۱ خرداد تا ۱۵ شهریور بیش از ۳/۷ متر بر ثانیه است، بیشترین سرعت باد در روز ۱۵ تیر با میانگین سرعت ۴/۵ متر بر ثانیه است. مابقی فصول در بخش آرام سال هستند و کمترین سرعت باد در روز ۱۷ آبان در حدود ۳ متر بر ثانیه است [۵۹].



شکل ۳-۵. میانگین سرعت باد شهرستان شاهرود [۵۹].

مطابق شکل ۳-۶، جهت باد در شهرستان شاهرود متغیر است، غالب باد حدود ۱۰ ماه در روزهای ۳۰

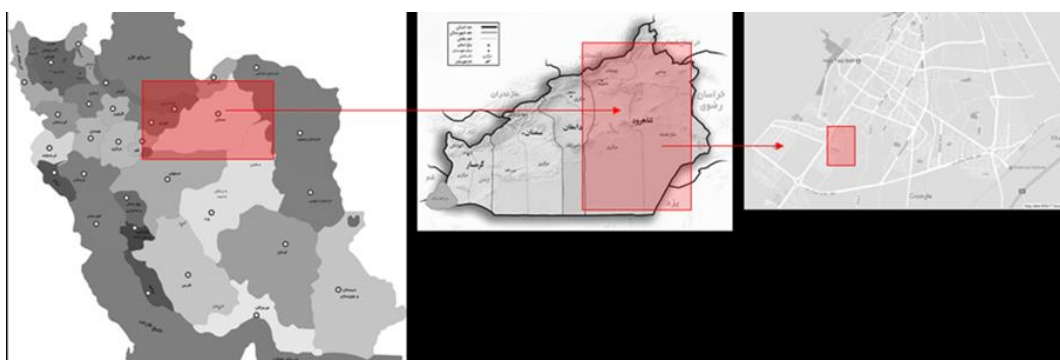
دی تا ۸ آذر از شمال می‌وزند و مابقی روزها باد غالباً از جنوب می‌وزند [۵۹].



شکل ۳-۶. جهت باد شهرستان شاهرود [۵۹].

۳-۳-۳ موقعیت دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشگاه صنعتی شاهرود در قسمت غربی این شهرستان واقع شده است، براساس شکل ۳-۷، این دانشگاه دارای دو مجموعه دانشگاهی است که مجموعه اول و قدیمی‌تر آن نزدیک به شهر و مجموعه دوم که در سال‌های اخیر مورد بهره‌برداری قرار گرفته است و در خارج از شهر و بافاصله بیشتری نسبت به بخش اول واقع شده است و همانطور که در تصویر هوایی شکل شماره ۳-۸ مشاهده می‌گردد، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی در مجموعه اول و در قسمت جنوب شرقی این سایت قرار گرفته است.



شکل ۳-۷. موقعیت دانشگاه صنعتی شاهرود، مأخذ: Google maps, 2019.



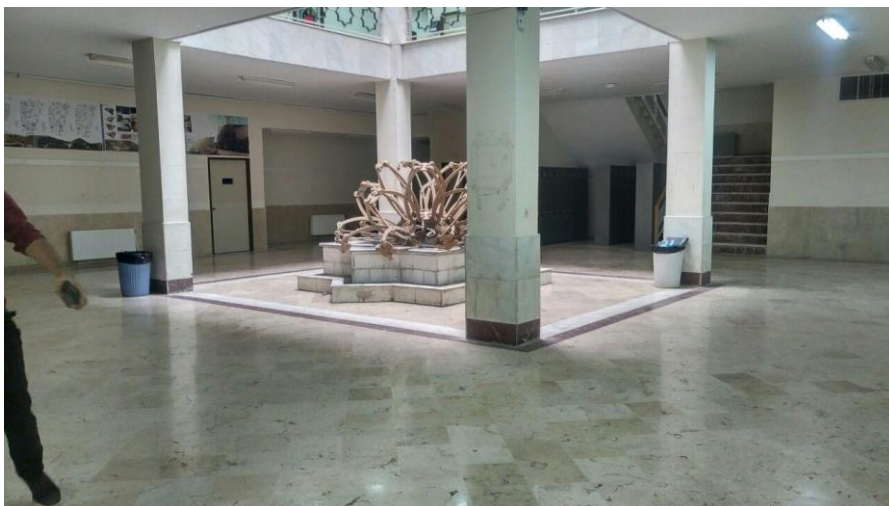
شکل ۳-۸. تصویر هوایی دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، مأخذ: Google maps, 2019.

۳-۳-۴ ویژگی ساختمان دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی

شکل ۳-۹، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی در قسمت جنوب شرقی سایت دانشگاه واقع شده است، این ساختمان دارای جهت گیری و چند درجه به سمت شرق متمایل شده است، آتلیه های معماری این دانشکده در زیرزمین این ساختمان قرار دارند شکل ۳-۱۰، نویسنده با توجه به جنوبی و شمالی بودن آتلیه ها، دو آتلیه شماره ۱۴ در قسمت جنوبی و آتلیه شماره ۱۸ در قسمت شمالی این دانشکده را انتخاب کرده است.



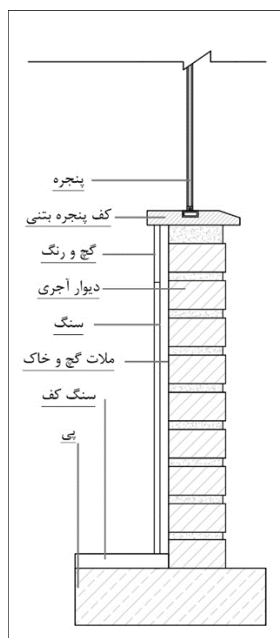
شکل ۳-۹. تصویر هوایی دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، نگارنده.



شکل ۳-۱۰. زیرزمین دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، نگارنده.

۵-۳-۳ مصالح

این ساختمان دارای سازه فلزی است، مصالح این ساختمان دیوار آجری به ضخامت ۲۲/۵ سانتی‌متر، ملات گچ‌و‌خاک به ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر و ۰/۵ سانتی‌متر گچ و رنگ است. شکل ۳-۱۱، جزئیات اجرایی این ساختمان را معرفی می‌کند.



شکل ۳-۱۱. جزئیات اجرایی دیوار دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، نگارنده.

جدول شماره ۳-۱، نشان‌دهنده ضریب هدایت حرارتی جزئیات دیوار دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی است. بیشترین ضریب مربوط به سنگ و کمترین ضریب مربوط به گچ و رنگ است.

جدول ۳-۱. ضرایب هدایت حرارتی دیوار دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، نگارنده.

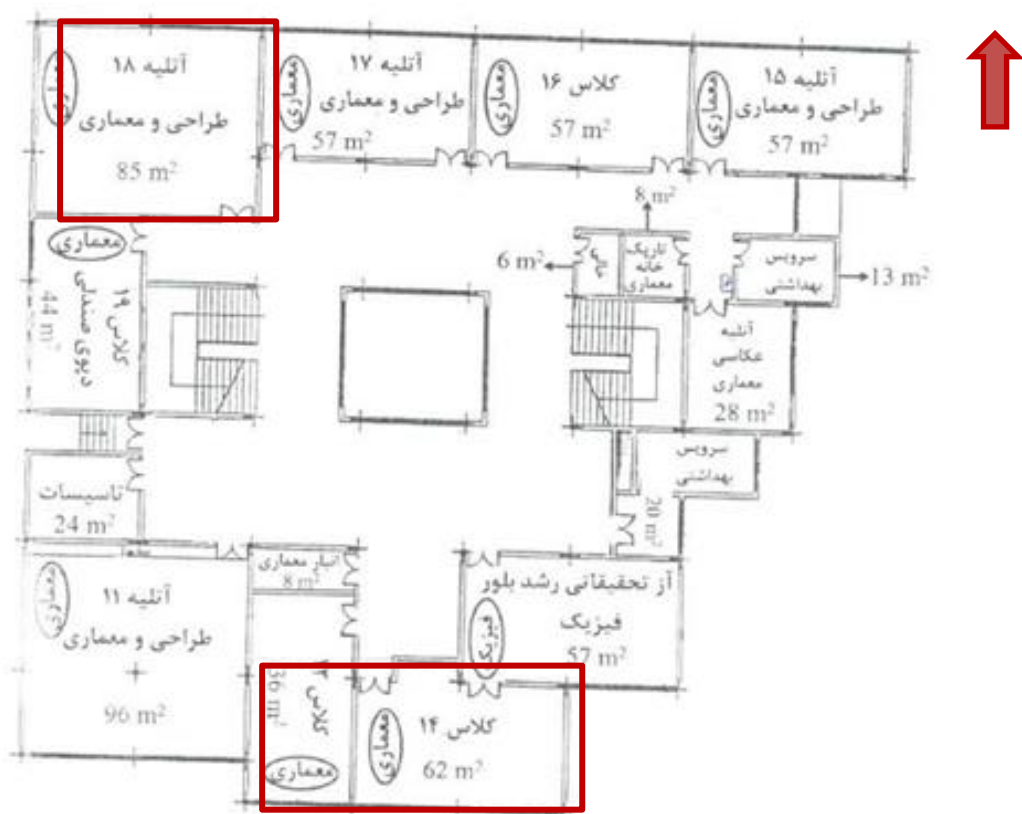
ردیف	نام لایه	ضخامت (cm)	ضریب هدایت حرارتی (w/mk)
۱	دیوار آجری	۲۵	۱
۲	ملات گچ و خاک	۳	۱/۱
۳	سنگ داخل	۲	۲/۸
۴	گچ و رنگ	۲	۰/۵
۵	پنجره	۰/۴	۵/۹

۳-۳-۶ معرفی کلاس‌ها

همانطور که در بخش قبل اشاره شد کلاس‌ها در زیرزمین دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی قرار دارند، کلاس‌ها علاوه بر پنجره‌هایی که قرار دارد و به صورت تهویه طبیعی، هوا را به جریان می‌اندازد دارای سیستم سرمایشی تبخیری از نوع کولر آبی و سیستم گرمایشی از نوع شوفاژ نیز هستند. ویژگی‌های این کلاس‌ها در جدول شماره ۳-۲ به شرح زیر است، این اطلاعات شامل ابعاد هر دو کلاس و پنجره، مساحت، ارتفاع و جهت قرارگیری کلاس‌ها از نظر شمالی و جنوبی است، کلاس جنوبی (چهارده) در سال‌های اخیر بازسازی شده و مساحت بزرگتری نسبت به کلاس شمالی (هیجده) دارد.

جدول ۳-۲. معرفی کلاس‌های دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، نگارنده.

ساختمان	نام کلاس	ابعاد کلاس (m)	ابعاد پنجره (m)	مساحت (m ^۲)	ارتفاع (m)
دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی	جنوبی (چهارده)	۱۶/۴*۵/۸	۲/۲*۲/۵	۹۵/۱۲	۳/۵۰
	شمالی (هیجده)	۹/۰۵*۹/۰۵	۰/۸*۲/۲	۸۱/۹۰	۳/۵۰



شکل ۳-۱۲. پلان زیرزمین دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، نگارنده.



شکل ۳-۱۳. کلاس شمالی (هیجده)، نگارنده.



شکل ۳-۱۴. کلاس جنوبی (چهارده)، نگارنده.

۴-۳ ابزار و روش تحقیق

در برداشت میدانی باید حتماً از دیتالاگرافی با دقت مناسب استفاده شود، در این پژوهش برای اندازه-گیری متغیرهای محیطی از دستگاه‌های شرکت HOBO ONSET و CEM استفاده گردید، برای اندازه-گیری دمای هوا از دیتالاگر مدل دو کانال UX1۰۰-۰۱۴، برای دمای تشعشعی نیز از همان دیتالاگر ولی با این تفاوت که ترموکوپل را در درون توپ سیاه قرار داده شده است، برای اندازه‌گیری درصد رطوبت نسبی از دیتالاگر UX1۰۰-۰۰۳ و برای اندازه‌گیری سرعت هوا از دستگاه سرعت سنج هات وایر مدل ۳۸۸۰ CEM استفاده شده است، خاطر نشان باید کرد که در اندازه‌گیری سرعت و جریان هوا در داخل ساختمان باید از دستگاه‌های سرعت سنج مدل هات وایر با دقت بالا استفاده گردد زیرا مدل پره‌ای این دستگاه مناسب فضای بیرون است و بازه سرعت هوا کمتر از یک دهم متر بر ثانیه را اندازه‌گیری نمیکند، در انتها برای اندازه‌گیری متغیرهای محیطی بیرون از جمله دما هوا، سرعت باد و درصد رطوبت نسبی از اطلاعات ایستگاه هواشناسی شهرستان شاهرود و ایستگاه هواشناسی این دانشگاه استفاده شده است، ایستگاهی که در دانشگاه مورد استفاده قرار گرفته است مدل HOBO RX۳۰۰۰ است. ابزار مورد استفاده در این پژوهش به شرح زیر، در جدول شماره ۳-۳ و تصاویر نیز در شکل ۳-۱۵ آمده است.

جدول ۳-۳. مشخصات تجهیزات برداشت میدانی، نگارنده.

ردیف	نام دستگاه	تعداد	عملکرد	دقت اندازه‌گیری
۱	HOBO UX 100-014	۱۰	دمای تشعشعی و دمای هوا	$\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1.08^{\circ}\text{F}$) \pm thermocouple probe accuracy
۲	HOBO UX100-003	۲	رطوبت نسبی	± 0.21 from 0 to 50 $^{\circ}\text{C}$
۳	CEM 3880	۱	سرعت هوا	$\pm(5\%+1\text{d})$ reading or $\pm(1\%+1\text{d})$ full scale



شکل ۳-۱۵. تجهیزات برداشت میدانی، نگارنده.

۳-۵ برداشت اطلاعات

در این قسمت به توضیح جامع شیوه برداشت هر دو روش میدانی و پرسشنامه‌ای پرداخته می‌شود، قبل از آن روش محاسبه و برداشت متغیرهای محیطی ذکر شده در قسمت قبل ارائه می‌شود:

- دما و رطوبت: برای اندازه‌گیری دما هوا و درصد رطوبت نسبی در داخل کلاس از دستگاه‌های ذکر شده در جدول بالا، استفاده می‌شود. دقت استفاده از این دستگاه‌ها نیز در جدول بالا ذکر شده است.
- دما تشعشعی: روش اندازه‌گیری دما تشعشعی متفاوت با دما هوا است و برای اندازه‌گیری باید از توپ کرومی سیاه رنگ استفاده شود به شکلی که ترموکوپل در مرکز این توپ و بدون تماس با جداره قرار گیرد. سپس با اندازه‌گیری دمای توپ سیاه و معادله مورد نظر، دما تشعشعی هوا نیز قابل محاسبه است.

- دما عملکردی: در محاسبات شرایط آسایش حرارتی و نمودارهای سایکرومتریک مورد نظر در استاندارد اشری ۵۵[۵] از دما عملکردی استفاده می‌شود. در این معادله برای سرعت هوا کمتر از ۰/۲ متر بر ثانیه، دما عملکردی از طریق جمع نصف دما هوا و نصف دما تشعشی بدست می‌آید.
- سرعت هوا: برای اندازه‌گیری سرعت و جریان هوا در داخل ساختمان دقت دستگاه اندازه‌گیری از اهمیت بالایی برخوردار است. دستگاه‌های مناسب برای فضاهای داخلی ساختمان از نوع هات-وایر^۱ است که دقت اندازه‌گیری در حد صدم ثانیه را دارند.

۱-۵-۳ موقعیت قرارگیری دیتالاگرها

موقعیت قرارگیری دستگاه‌ها و ارتفاع نصب آنها در دو کلاس با مطالعه استانداردهای مربوط و مطالعه مقالات مختلف انتخاب گردیده است، ارتفاع موردنظر برای افراد نشسته ۶۰ سانتی‌متر بالاتر از سطح زمین و برای افراد ایستاده ۱۱۰ سانتی‌متر بالاتر از سطح زمین در نظر گرفته‌اند، این دستگاه‌ها باید دور از دسترس قرار گیرند و تعداد آنها بستگی به ابعاد و اندازه فضا دارد[۵]، در پژوهش صورت گرفته در هر کلاس ۵ دیتالاگر برای اندازه‌گیری دما در چهار قسمت کلاس قرار گرفت و یک دیتالاگر نیز برای اندازه‌گیری درصد رطوبت نسبی در هر کلاس قرار داده شد.

۲-۵-۳ نرم‌افزارهای مورد نیاز

نرم‌افزار اکسل^۲ توسط شرکت مایکروسافت^۳ ایجاد گردیده است، وظیفه این نرم‌افزار انجام محاسبات ریاضی، آماری، متنی و ترسیم نمودارهای موردنظر است. نرم افزار SPSS نام یک خانواده نرم‌افزاری است، این عبارت مخفف بسته آماری برای علوم اجتماعی است، از این نرم‌افزار در علوم اجتماعی استفاده

^۱ Hotwire anemometer

^۲ Excel

^۳ Microsoft

می‌شود و کاربرد آن تحلیل‌های آماری است، علاوه بر این موضوعات مدیریت داده‌ها و مستندسازی داده‌ها است. آماری که شامل این نرم‌افزار است: آمار توصیفی، دومتغیره، پیش‌بینی برآمده‌ای عددی و پیش‌بینی تشخیص گروه‌ها است. نرم‌افزار HOBOWARE، نرم‌افزار رایگان که توسط شرکت سازنده دیتالاگرهای هوبو در اختیار کاربران قرار می‌گیرد، از این نرم‌افزار برای واردکردن اطلاعات ازجمله زمان برداشت است و درنهایت ترسیم نمودارهای اقلیمی از دیگر مشخصات این نرم‌افزار است. وبسایت دانشگاه برکلی^۱، برای ترسیم نمودارهای سایکرومتریک و ارزیابی وضعیت آسایش حرارتی مبتنی بر استانداردهای اشری ۵۵[۵] و ای‌ان ۱۵۲۵۱ وبسایتی طراحی شده است که زیر نظر دانشگاه برکلی است، این نرم‌افزار موردتایید استانداردهای نامبرده است [۶۰].

۳-۶ برداشت

در ادامه صحبت‌های گفته شده در مورد پژوهش مورد نظر، این بخش به تفصیل در مورد روش برداشت صورت گرفته صحبت خواهد شد.

۳-۶-۱ برداشت میدانی

برای ارزیابی آسایش حرارتی به شیوه میدانی باید چند عامل موردبررسی قرار گیرند، این عوامل شامل: دمای تشعشعی، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت هوا است، در این قسمت لازم به ذکر است که دمای تشعشعی از طریق توپ سیاه متصل به یکی از دیتالاگرهای دما اندازه‌گیری شده است. در فصول گرم، تمامی پنجره‌ها باز بودند و کولر در زمان حضور دانشجویان روشن بود و در فصل زمستان، بدلیل گرمای بیش از حدی که در کلاس مشاهده گردید شوفازها خاموش شدند و پنجره‌ها بسته بودند. سپس با توجه به این موضوع و مطابق استاندارد اشری ۵۵[۵]، ارتفاع قرارگیری دیتالاگرها تعیین می‌گردد به دلیل اینکه، اساتید دانشگاه هنگام آموزش ایستاده هستند ارتفاع در نظر گرفته‌شده ۱/۱۰ سانتی‌متر و برای دانشجویان در حالت نشسته ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته‌شده است. باید توجه داشت که محل

^۱ Berkley

قرارگیری این دستگاه‌ها دارای فاصله‌ای با محدوده اطراف است زیرا اختلالی در زمان برداشت برای داده‌ها پیش نیاید به همین دلیل با توجه به شرایط محل برداشت این دستگاه‌ها از جداره‌ها در فاصله ۱ متری قرار گرفته است، برای عدم تماس و معلق نگه داشتن آن‌ها نیز پایه‌های چوبی طراحی گردید و دستگاه‌های موردنظر در محل مناسب نصب گردیدند، شکل ۳-۱۶ نحوه نصب دیتالاگرها را نشان می‌دهد.

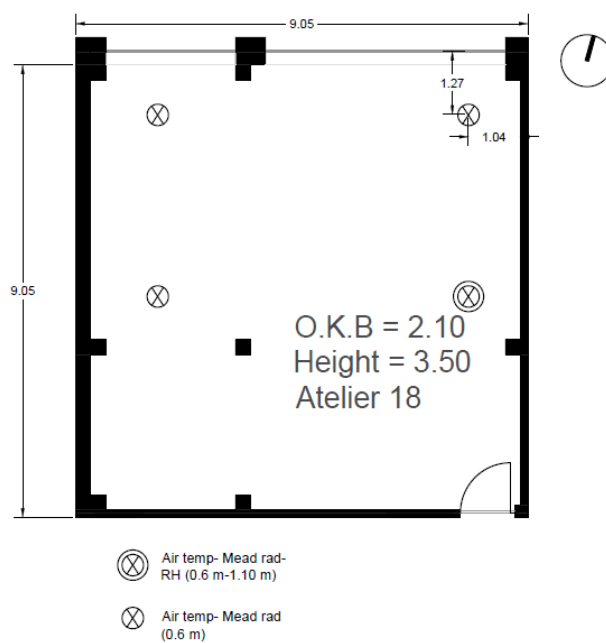


شکل ۳-۱۶. نحوه نصب تجهیزات برداشت میدانی، نگارنده.

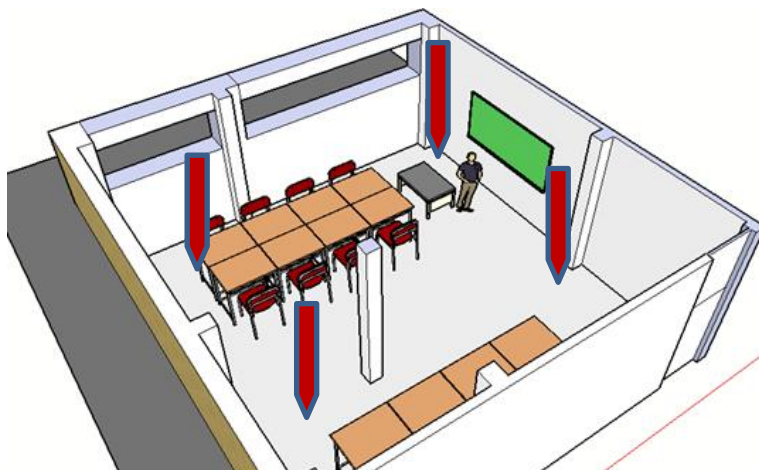
در این بررسی محل نصب دیتالاگرها در چهار نقطه هر آتلیه تعیین شد و سپس توسط نرم‌افزار هوبو ویر به آن‌ها اطلاعاتی از جمله تعیین زمان برداشت، بازه زمانی موردنظر و تاریخ شروع و پایان داده شده است. مدت زمان برداشت در فصول مختلف متفاوت است و در بازه‌های زمانی یک‌روزه، یک هفته و دو هفته برداشت صورت گرفته است. زمان موردنظر برای برداشت اطلاعات در دو بازه زمانی ۱۰ الی ۱۲ صبح و ۱۶ الی ۱۸ عصر است، برای تعیین سرعت هوای موردنظر نیز در هنگام حضور کاربران بادسنج موردنظر در نزدیکی کاربران در چهار نقطه قرار داده و سرعت را ثبت می‌کردیم. تصاویر زیر محل‌های قرارگیری دیتالاگرها، پلان و تصویر سه‌بعدی فضاهای موردنظر نشان داده شده است، ۳-۱۷ تصویری از محیط نرم‌افزار هوبو ویر است. ادامه نیز اشکال ۳-۱۸، ۳-۱۹، ۳-۲۰ و ۳-۲۱ که به ترتیب نشان‌دهنده پلان کلاس هیجده، تصویر سه‌بعدی کلاس هیجده، پلان کلاس چهارده و تصویر سه‌بعدی کلاس چهارده هستند، جهت فهم و درک بیشتر و محل قرارگیری هر یک از پایه‌ها آورده شده است.



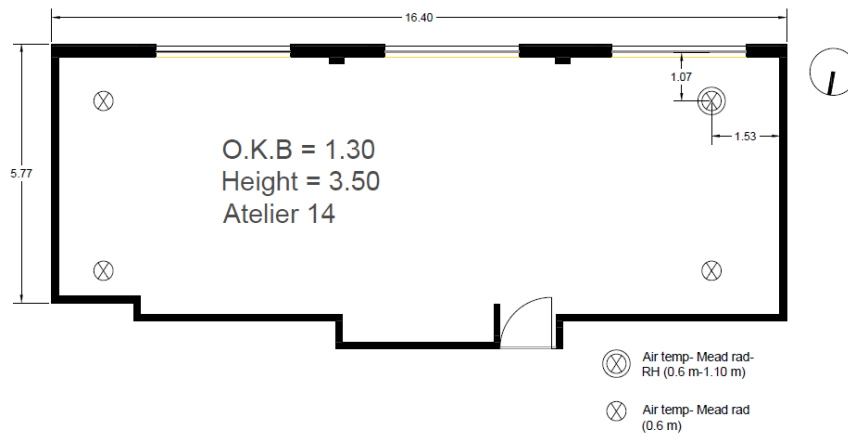
شکل ۳-۱۷. محیط نرم افزار ، نگارنده.



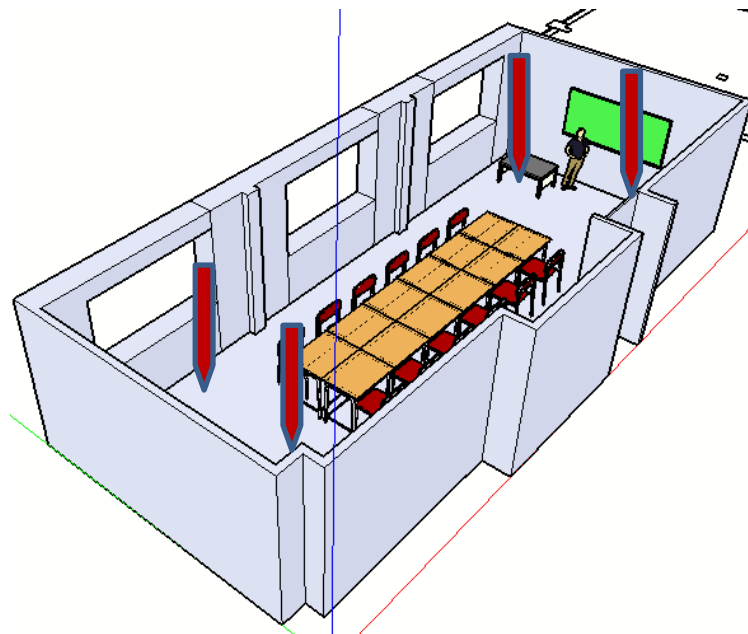
شکل ۳-۱۸. پلان و محل قرارگیری دیتالاگرها در کلاس هیجده. نگارنده.



شکل ۳-۱۹. تصویر سه بعدی و محل قرارگیری دیتالاگرها در کلاس هیجده، نگارنده.



شکل ۳-۲۰. پلان و محل قرارگیری دیتالاگرها در کلاس چهارده، نگارنده.



شکل ۳-۲۱. تصویر سه بعدی و محل قرارگیری دیتالاگرها در کلاس چهارده، نگارنده.

۱-۶-۳ اطلاعات اقلیمی

برای اندازه‌گیری اطلاعات آب و هوایی شهر شاهرود، از دو طریق این موضوع صورت گرفته است، ابتدا از طریق ایستگاه هواشناسی که در دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی نصب گردیده است و حالت دیگر استفاده از اطلاعات آب و هوایی ایستگاه هواشناسی شهرستان شاهرود است، جدول شماره ۳-۴ و شکل شماره ۳-۲۲ مشخصات ایستگاه دانشکده است. داده‌های مورد نیاز برای شرایط آسایش حرارتی؛

دما هوا، درصد رطوبت نسبی و سرعت هوا است.

جدول ۳-۴. مشخصات دستگاه هوبو -RX-۳۰۰۰، نگارنده.

متغیر اندازه گیری	بازه اندازه گیری	دقت اندازه گیری
دما	- 40 to 75 °C	+/- 0.21°C from 0° to 50°C
رطوبت	0 – 100 % RH	+/- 2.5% from 10% to 90% RH
سرعت باد	0 to 76 m/s	±1.1 m/s



شکل ۳-۲۲. ایستگاه هواشناسی دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، نگارنده.

۲-۶-۳ برداشت پرسشنامه‌ای

به دلیل اینکه شیوه برداشت میدانی و محاسبه میزان رضایت کاربران از طریق اطلاعات آب و هوایی کامل نیست و دارای کمبودهایی است، مقالات صورت گرفته هم نشان داده است که عوامل روانی و فیزیولوژیکی کاربران نیز اثرگذار بر این موضوع است [۵۵]، استانداردهایی برای پرسشنامه‌ها تدوین شده است. نگارنده با ترجمه و مطالعه دو استاندارد ایزو ۲۸۸۰۲ [۶۱] و اشری ۵۵ [۵] به زبان فارسی و ایجاد تغییراتی در بعضی از قسمت‌های پرسشنامه که متناسب با این منطقه است در ساعاتی که برداشت میدانی صورت می‌گرفت به دانشجویان و اساتید ارائه می‌گردید. این پرسشنامه بر مبنای استاندارد ایزو ۲۸۸۰۲ و استاندارد اشری ۵۵ تهیه شده است و سوالات این بخش شامل جنسیت، فصل برداشت، رضایت از محیط، احساس حرارتی، وضعیت ترجیحی، پوشش و میزان رضایت مورد پرسش قرار گرفته است، جدول ۳-۵ پرسشنامه ارائه شده به دانشجویان است.

جدول ۳-۵. پرسشنامه، نگارنده.

	کلاس: <input type="checkbox"/> هیجده <input type="checkbox"/> چهارده	زمان برداشت:	دمای ثبت شده:	فصل: <input type="checkbox"/> بهار <input type="checkbox"/> تابستان <input type="checkbox"/> پاییز <input type="checkbox"/> زمستان
۱	آیا از شرایط دمایی محیط راضی هستید		<input type="checkbox"/> بله <input type="checkbox"/> خیر	
۲	وضعیت دمایی شما در حال حاضر		<input type="checkbox"/> داغ <input type="checkbox"/> گرم <input type="checkbox"/> کمی گرم <input type="checkbox"/> گرم <input type="checkbox"/> خنثی <input type="checkbox"/> کمی خنک <input type="checkbox"/> خنک <input type="checkbox"/> سرد	
۳	وضعیت دمایی که در حال حاضر ترجیح می‌دهید		<input type="checkbox"/> گرمتر <input type="checkbox"/> بدون تغییر <input type="checkbox"/> سردتر	
۴	پوشش خود، در محل حاضر		<input type="checkbox"/> پیراهن آستین بلند <input type="checkbox"/> پیراهن آستین کوتاه <input type="checkbox"/> تی شرت <input type="checkbox"/> سویشرت <input type="checkbox"/> پولیور <input type="checkbox"/> جلیقه <input type="checkbox"/> ژاکت <input type="checkbox"/> روسری <input type="checkbox"/> مقنعه <input type="checkbox"/> چادر <input type="checkbox"/> مانتو <input type="checkbox"/> شلوار <input type="checkbox"/> شلوارک <input type="checkbox"/> زیرشلواری <input type="checkbox"/> عرفگیر <input type="checkbox"/> بارانی <input type="checkbox"/> لباسکار <input type="checkbox"/> جوراب <input type="checkbox"/> کفش <input type="checkbox"/> صندل	
۵	فعالیت حال حاضر شما		<input type="checkbox"/> دراز کشیدن <input type="checkbox"/> نشستن <input type="checkbox"/> ایستادن <input type="checkbox"/> ایستادن با فعالیت کم <input type="checkbox"/> ایستادن با فعالیت متوسط <input type="checkbox"/> ایستادن با فعالیت زیاد	
۶	میزان رضایت از محیط		<input type="checkbox"/> خیلی ناراضی <input type="checkbox"/> قابل قبول <input type="checkbox"/> خیلی راضی	

۱-۲-۶-۳ مقیاس اندازه‌گیری پرسشنامه

تهیه و تدوین پرسشنامه مربوطه با استفاده از مطالعه و ترجمه استانداردهای اشری ۵۵ [۵] و ایزو ۲۸۸۰۲ [۶۱] صورت گرفته، در این پرسشنامه احساس حرارتی یا وضعیت دمایی از مقیاس هفتگانه اشری تبعیت میکند که بازه‌ای بین سرد و داغ است، محدوده ترجیحی دمایی که کاربران انتخاب میکنند در مقیاس سه گانه گرمتر، بدون تغییر و سردتر قرار دارد. سوال چهار، مربوط به نوع پوشش دانشجویان و اساتید پرسیده می‌شود و سپس میزان پوشش هر فرد در انتها محاسبه می‌گردد. برای اندازه‌گیری عدد مربوط به میزان فعالیت در سوال پنج از کاربران پرسیده می‌شود و سپس توسط جدول ارائه شده در استاندارد عدد مربوطه محاسبه می‌شود، سوال شش، در مورد میزان رضایت از محیط، از کاربران پرسیده می‌شود و سپس توسط جدول ارائه شده در استاندارد عدد مربوطه محاسبه می‌شود.

۲-۲-۶-۳ اندازه‌گیری متغیرهای پرسشنامه

بررسی و ارزیابی نتایج حاصل از پرسشنامه‌ها از طریق آزمون‌های آماری مختلفی صورت گرفته است که از این جمله می‌توان به رگرسیون اشاره کرد، این آزمون‌های متعدد توسط نرم‌افزارهای ذکر شده در قسمت قبل قابل ارزیابی است، برخی از سوالات مطرح شده در پرسشنامه توسط استانداردها مقیاس و اعداد و ارقامی برایشان ذکر شده است که در پایین به آنها توضیح داده خواهد شد [۵، ۸، ۵۵، ۶۱].

- احساس حرارتی^۱: استاندارد برای این موضوع مقیاس هفتگانه را پیشنهاد می‌دهد این بازه بین ۳- الی ۳+ است و حالت خنثی صفر است، که این بیانگر احساس داغ، گرم، کمی گرم، خنثی، کمی خنک، خنک و سرد است.
- ترجیح حرارتی^۲: منظور از ترجیح حرارتی، دمایی که کاربران پیشنهاد می‌کنند که محیط در چه وضعیت قرار بگیرد، این مقیاس بین سه بازه گرمتر، بدون تغییر و سردتر و از نظر عددی بین ۱- الی ۱ است.
- میزان پوشش: استاندارد برای هر نوع پوشش و با هر جنسی از لباس اعدادی را تعیین کرده است، این اعداد طبق معادله که در استاندارد در نظر گرفته شده، میزان نرخ لباس تعیین می‌گردد.
- فعالیت: هر کاربری در هر فضا مشغول فعالیتی است، مقدار فعالیت کاربر بر آسایش آن در محیط تاثیرگذار است، استاندارد اشری برای هر فعالیت عددی را در نظر گرفته است که باید در محاسبات مورد توجه قرار گیرد.

Thermal Sensation Vote.^۱

Thermal Preferences.^۲

۷-۳ تحلیل آماری اطلاعات

بعد از اتمام برداشت پرسشنامه‌ای، خروجی‌های حاصل از پاسخ دانشجویان و اساتید مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و حاصل نتایج این خروجی‌ها آزمون‌های آماری متنوعی است که در نهایت نحوه رابطه، نوع همبستگی و محدوده دمای آسایش حرارتی در هر کلاس و دمای ترجیحی کاربران و دمای خنثی آنها را نمایش می‌دهند، نرم افزارهایی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است همانطور که ذکر شد نرم افزار SPSS، اکسل و وبسایت دانشگاه برکلی است. در فصل چهار، نتایج خروجی هریک از مدل‌های آسایش مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. فصل چهار به طور کلی به چند بخش تقسیم می‌گردد؛ به شرح زیر است:

- تحلیل داده‌های متغیرهای محیطی؛ از جمله دما و رطوبت.
- تحلیل داده‌های حاصل از پرسشنامه؛
- تعیین روابط بین متغیرهای محیطی، فردی؛
- تعیین همبستگی بین متغیرهای محیطی و فردی؛
- تحلیل رابطه بین مدل سازگاری و مدل اثری؛
- تعیین محدوده دمای ترجیحی در دو کلاس در هر فصل؛
- تعیین محدوده آسایش حرارتی و دمای خنثی؛
- تعیین تفاوت بین جنسیت‌ها و کلاس‌ها.

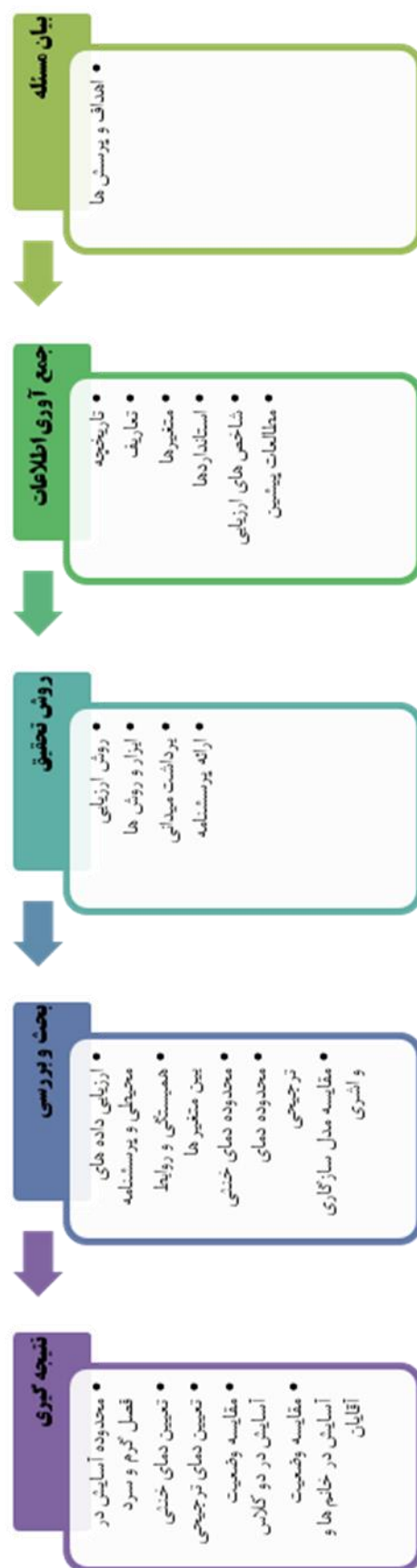
فصل ۲: تجزیه و تحلیل یافته‌های تحقیق

۴-۱ مقدمه

در این فصل بعد از برداشت‌های صورت گرفته در بازه‌های مختلف که قبلاً در مورد آن‌ها صحبت شد، به بررسی و ارزیابی داده‌های موجود می‌پردازیم تا در نتیجه وضعیت آسایش حرارتی در هر دو آتلیه را مورد سنجش قرار گرفته و به نتایج مطلوبی دست پیدا کنیم.

۴-۲ بحث و تحلیل

این بخش دارای سه قسمت است، در ابتدا به معرفی جامعه آماری و آنالیز و تحلیل داده‌های خروجی دیتالاگرها می‌پردازیم که خروجی این داده‌ها اطلاعات در مورد وضعیت آب و هوایی درون کلاسها است و در ادامه وضعیت آب و هوایی یکسال اخیر شاهرود که از تاریخ اسفند ۹۶ الی اسفند ۹۷ نیز که از طریق ایستگاه هواشناسی شاهرود بدست آمده است را مورد بحث و بررسی قرار خواهیم داد، سپس در قسمت دوم داده‌های حاصل از پاسخ کاربران در پرسشنامه نیز مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد و در نهایت در بخش آخر این فصل با استفاده از آزمون‌های آماری مختلف از جمله رگرسیون، آزمون‌های همبستگی و دیگر آزمون‌های مرتبط به بخش آسایش حرارتی، محدوده آسایش حرارتی مورد نظر، دمای خنثی، محدوده دمای ترجیحی و روابط بین متغیرها و نتایج تحلیل‌های آماری و همچنین مقایسه بین مدل سازگاری و مدل استاندارد اشری و در نهایت مقایسه متغیرهای روانی بین دو جنسیت صورت گرفته ارائه خواهد شد، در شکل شماره ۴-۱ دیاگرامی از نحوه ارائه موضوعات و نحوه فعالیت صورت گرفته ارائه می‌شود.



شکل ۴-۱. دیاگرام روند پروژه ارزیابی وضعیت آسایش حرارتی در فضاهای آموزشی، نگارنده.

۳-۴ آمار توصیفی

این بخش به معرفی اندازه نمونه مورد بررسی از جمله تعداد و جنسیت در هر کلاس و وضعیت محیطی هر دو کلاس در هر فصل میپردازد.

۱-۳-۴ زمان برداشت

این برداشت در مدت یکسال صورت گرفته، فصل‌های انتخاب شده به ترتیب بهار، تابستان، پاییز و زمستان است، به دلیل مسائلی از قبیل تعطیلات نوروزی، تابستان و ایام امتحانات ماه‌های مختلفی از سال را انتخاب کرده‌ایم که بعضی از این ماه‌ها ممکن است در اوج گرما یا سرمای شدید سال نیست. ماه‌های در نظر گرفته شده به ترتیب اردیبهشت، خرداد، تیر، مهر، بهمن و اسفند است، به دلیل جامعه آماری و دقت اعتبار پژوهش شش ماه اول سال در دسته فصول گرم سال و شش ماه دوم را در دسته فصول سرد در نظر گرفته شده است. زمان برداشت براساس زمان حضور دانشجویان در کلاس و با در نظر گرفتن مدتی که در کلاس حضور دارند و در این مدت به تعادل حرارتی برسند در نظر گرفته شده است این زمان صبح‌ها ۱۰ الی ۱۲ و عصر ۱۴ الی ۱۶ است. جدول شماره ۴-۱، مکان و زمان برداشت در هر دو کلاس را ارائه کرده است.

جدول ۴-۱. زمان برداشت، نگارنده.

ردیف	مکان برداشت	زمان برداشت	ماه برداشت	مدت برداشت	فصل
۱	کلاس شمالی	۱۰ الی ۱۲ صبح/ ۱۴ الی ۱۶ عصر	اسفند ۱۳۹۶	یک روز	فصل سرد
			اردیبهشت ۱۳۹۷	دو هفته	فصل گرم
			خرداد ۱۳۹۷	یک هفته	
۲	کلاس جنوبی		تیر ۱۳۹۷	یک هفته	فصل سرد
			مهر ۱۳۹۷	یک هفته	
			بهمن ۱۳۹۷	یک هفته	

۲-۳-۴ جامعه آماری

جامعه آماری هر دو کلاس در مجموع ۵۳۰ که ۲۲۹ نفر در کلاس شمالی و ۳۰۱ نفر در کلاس جنوبی است از ۱۰۰ درصد مجموع ۴۳/۲ درصد در کلاس شمالی و ۵۶/۸ درصد در کلاس جنوبی حضور دارند، در کلاس شمالی ۶۰/۷ درصد خانم‌ها و ۳۹/۳ درصد آقایان و در کلاس جنوبی ۵۹/۵ درصد خانم‌ها و ۴۰/۵ درصد آقایان را تشکیل می‌دهند. بازه سنی دانشجویان و اساتید در دو کلاس حداقل ۲۰ و حداکثر ۴۰ سال است، جامعه آماری در کلاس شمالی، فصل گرم حدود ۶۳ درصد خانم‌ها و حدود ۳۶ درصد آقایان و در فصل سرد به ترتیب ۵۹ و ۴۱ درصد است، در کلاس جنوبی در فصل گرم، حدود ۶۳ درصد خانم‌ها و ۳۷ درصد آقایان و در فصل سرد، این نسبت به ترتیب ۵۴ و ۴۵ درصد است، جداول شماره ۲-۴، ۳-۴ و ۴-۴ میزان فراوانی در هر بخش را ارائه کرده است.

جدول ۲-۴. میزان فراوانی در کلاس‌ها، نگارنده.

		فراوانی	درصد	درصد معتبر	درصد تجمعی
معتبر	کلاس شمالی	۲۲۹	۴۳/۲	۴۳/۲	۴۳/۲
	کلاس جنوبی	۳۰۱	۵۶/۸	۵۶/۸	۱۰۰/۰
	مجموع	۵۳۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	

جدول ۳-۴. میزان فراوانی بر مبنای جنسیت در کلاس‌ها. نگارنده.

کلاس			فراوانی	درصد	درصد معتبر	درصد تجمعی
کلاس شمالی	معتبر	خانم‌ها	۱۳۹	۶۰/۷	۶۰/۷	۶۰/۷
		آقایان	۹۰	۳۹/۳	۳۹/۳	۱۰۰/۰
		مجموع	۲۲۹	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	
کلاس جنوبی	معتبر	خانم‌ها	۱۷۹	۵۹/۵	۵۹/۵	۵۹/۵
		آقایان	۱۲۲	۴۰/۵	۴۰/۵	۱۰۰/۰
		مجموع	۳۰۱	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	

جدول ۴-۴. میزان فراوانی در هر فصل، نگارنده.

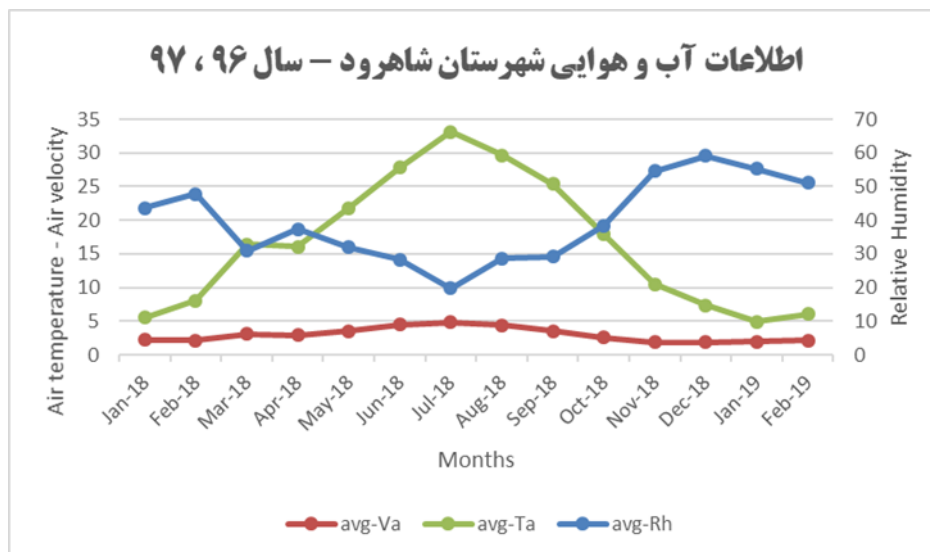
کلاس	فصل		خانم‌ها	آقایان
کلاس شمالی	گرم		٪ ۶۳/۳	٪ ۳۶/۷
	سرد		٪ ۵۹	٪ ۴۱
کلاس جنوبی	گرم		٪ ۶۲/۸	٪ ۳۷/۲
	سرد		٪ ۵۴/۵	٪ ۴۵/۵

۳-۳-۴ اطلاعات محیطی

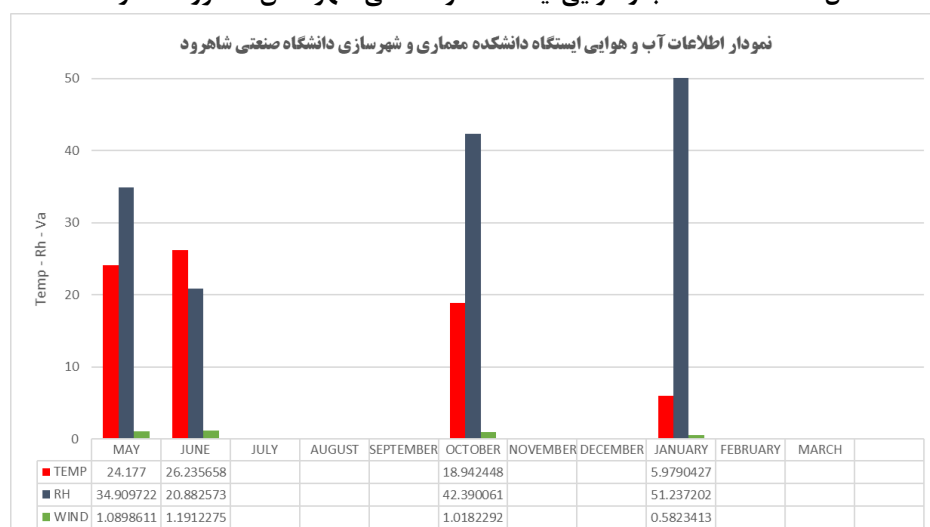
این بخش، اطلاعاتی در مورد آب و هوای شهرستان شاهرود در یک سال اخیر (۹۶-۹۷)، همچنین نتایج برداشت داده‌های محیطی داخل هر کلاس به تفصیل بیان خواهد شد، این اطلاعات شامل: دما هوا، دما تشعشعی، درصد رطوبت نسبی و سرعت هوا است.

۱-۳-۳-۴ اطلاعات اطلاعات اقلیمی شاهرود

اشکال ۲-۴ و ۳-۴، حاصل برداشت ایستگاه هواشناسی دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود و ایستگاه هواشناسی شهرستان شاهرود است. اطلاعات ارائه شده در زیر، در ساعات ۱۰ صبح الی ۱۸ عصر به صورت ساعتی انتخاب شده است و در شکل‌های شماره ۲-۴ و ۳-۴ میانگین روزانه و ماهانه رسم گردیده. بر طبق نمودارهای زیر، بیشترین دما در ماه مرداد تا شهریور، در حدود $34/5$ درجه سانتی‌گراد، بیشترین سرعت هوا نیز همین ماه، حدود ۵ متر بر ثانیه و بیشترین درصد رطوبت نسبی در ماه آذر تا دی، ۶۰ درصد ثبت شده است. کمترین مقدار دما در ماه دی و بهمن حدود ۵ درجه سانتی‌گراد، کمترین سرعت باد نیز $1/5$ متر بر ثانیه و کمترین درصد رطوبت نسبی در ماه مرداد تا شهریور در حدود ۱۰ درصد است. اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود، بیشترین دما در فصل تابستان و در تیر ماه حدود $26/23$ درجه سانتی‌گراد، کمترین دما حدود ۶ درجه سانتی‌گراد در فصل زمستان و ماه بهمن، بیشترین درصد رطوبت نسبی در فصل زمستان و بهمن ماه حدود $51/23$ درصد و کمترین در تابستان و تیر و مرداد $20/88$ درصد است، بیشترین سرعت باد حدود $1/20$ متر بر ثانیه و کمترین $0/58$ متر بر ثانیه است، با توجه بررسی صورت گرفته و مقایسه اطلاعات سال‌های گذشته این شهرستان و اطلاعات برداشت شده در سال ۹۷ تفاوت خاصی مشاهده نگردید به همین دلیل مبنای پژوهش اطلاعات سال ۹۷ را نماینده اطلاعات آب و هوایی شهرستان شاهرود در نظر گرفته شده است.



شکل ۲-۴. اطلاعات آب و هوایی ایستگاه هواشناسی شهرستان شاهرود، نگارنده.



شکل ۳-۴. اطلاعات آب و هوایی ایستگاه هواشناسی دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، نگارنده.

۲-۳-۳-۴ برداشت اطلاعات محیطی داخل کلاس

در این بخش اطلاعات جمع‌آوری شده توسط دیتالاگرها در نرم‌افزار HOBOWARE استخراج می‌شوند، سپس در نرم‌افزار اکسل این داده‌ها در زمان‌های موردنظر پالایه شده و موردبررسی قرار می‌گیرند. این اطلاعات شامل: دمای تشعشعی، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت هوا است.

۱، ۱، ۱، ۱، ۱ دمای هوا، دمای تشعشعی، درصد رطوبت نسبی و سرعت هوا

در این بخش دمای ثبت شده در هر چهار نقطه موردنظر در هر کلاس موردبررسی قرار گرفته و هر فصل به صورت جداگانه ترسیم گردیده است. جدول زیر نشان می‌دهد که تقریباً تمام فصول موردنظر، با

یکدیگر همپوشانی دارد، به جز در ماه مهر که در ارتفاع ۱/۱۰ سانتی متری شاهد اختلاف هستیم که این موضوع به دلیل تابش خورشید در زمان موردنظر و نزدیکی این دیتالاگر به پنجره بوده است ولی در کلاس شمالی (هیجده) که در جهت شمال نقشه قرار دارد و ارتفاع پنجره بالاتر از دیتالاگر موردنظر، فضای سبز بیرون و همچنین کلاس پایین تر از سطح زمین نور خورشید به حد کافی به دیتالاگر نمی رسد و اطلاعات این دستگاه مشابه دستگاه های دیگر است.

سرعت و جریان در داخل کلاس ها در هر روز برداشت شده است، روش برداشت به این صورت است که در حین پاسخ دهی کاربران به پرسشنامه سرعت هوا در محدود مورد نظر ثبت می گردید. سرعت ثبت شده کمتر از ۰/۲ متر بر ثانیه است، سرعت خروجی هوا از دهانه کانال کولر ۳/۵۶ متر بر ثانیه و سرعت خروجی از پنجره حدود ۰/۹ متر بر ثانیه است ولی این به معنای این موضوع نیست که در تمام کلاس و در تمام فصول این سرعت ثابت و مشخص است زیرا در بعضی از فصول پنجره ها و کولرها خاموش هستند و یا بعلت وجود پرده ها و یا خاموش بودن مقطعی سیستم سرمایش این میزان جریان کمتر از این مقدار ثبت شده است، سیستم سرمایشی و گرمایشی کلاس ها کولر آبی و شوفاژ است، در هر کلاس تعداد چهار شوفاژ و در هر کلاس یک کانال کولر قرار دارد، تعداد پنجره های کلاس شمالی دو عدد و در کلاس جنوبی سه عدد قرار گرفته است. همانطور که گفته شد، در فصول گرم پنجره ها باز و در فصول سرد بسته بودند. در اشکال زیر دو مورد از نمودارهای سرعت هوای ثبت شده در کلاسها ارائه شده و مابقی مشابه نتایج حاصل، که از ارائه آنها صرف نظر شده است ولی در دو نمودار دیگر مقایسه از میانگین سرعت هوای داخل با خارج در هر ماه گذاشته شده است.

۱,۱,۱,۱,۱,۱ کلاس شمالی (هیجده)

برداشت اسفند ماه ۹۶، مدت زمان برداشت یک روز است. حداکثر دمای هوا در این روز ۲۸/۱ درجه و حداقل دمای هوا ۲۴/۷ درجه سانتی گراد است، دمای تشعشعی نیز از ۲۴ الی ۲۷ درجه سانتی گراد است. رطوبت نسبی در این یک روز ۱۵ درصد گزارش شده است.

برداشت اردیبهشت ماه ۹۷، مدت زمان برداشت دو هفته است. حداکثر دمای هوا در این روز ۲۵/۷ درجه و حداقل دمای هوا ۱۸/۳ درجه سانتی گراد است که به نسبت ماه اسفند شاهد دمای کمتری هستیم و این موضوع دلیل گرم بودن سال گذشته بوده است، دمای تشعشعی نیز از ۱۸ الی ۲۷ درجه سانتی گراد است. رطوبت نسبی در این بازه دو هفته ای ۱۵ الی ۴۶ درصد گزارش شده است.

برداشت خرداد و تیر ماه ۹۷، مدت زمان برداشت یک هفته است. حداکثر دمای هوا در این روز ۲۴/۸ درجه و حداقل دمای هوا ۲۲/۹ درجه سانتی گراد است که به نسبت ماه گذشته شاهد افزایش دمای کمی هستیم، دمای تشعشعی نیز از ۲۲/۸ الی ۲۵ درجه سانتی گراد است. رطوبت نسبی در این بازه دو هفته ای ۲۴/۸ الی ۴۷ درصد گزارش شده است و تقریباً مشابه ماه قبل است.

برداشت مهر ماه ۹۷، مدت زمان برداشت یک هفته است. حداکثر دمای هوا در این روز ۲۴/۳ درجه و حداقل دمای هوا ۱۹/۶ درجه سانتی گراد است که به نسبت ماه گذشته شاهد کاهش دمای کمی هستیم، دمای تشعشعی نیز از ۱۹/۸ الی ۲۵ درجه سانتی گراد است. رطوبت نسبی در این بازه یک هفته ای ۲۴/۵ الی ۵۰/۲ درصد گزارش شده است و تقریباً مشابه خرداد و تیر ماه قبل است.

برداشت بهمن ماه ۹۷، مدت زمان برداشت یک هفته است. حداکثر دمای هوا در این روز ۲۹ درجه و حداقل دمای هوا ۲۵/۷ درجه سانتی گراد است که به نسبت ماه گذشته شاهد افزایش دمای کمی هستیم، دمای تشعشعی نیز از ۲۵/۴ الی ۲۹/۵ درجه سانتی گراد است. رطوبت نسبی در این بازه یک هفته ای ۱۵ درصد گزارش شده است.

در کلاس شمالی، بیشترین سرعت باد در ماه خرداد و تیر، ۰/۳۵ متر بر ثانیه و در ماه آذر و بهمن به کمترین میزان، ۰/۰۵ الی ۰/۱ متر بر ثانیه میرسد. بیشترین و کمترین مقدار سرعت باد در بیرون نیز مطابق توضیحات گذشته است و تفاوتی ندارد.

برداشت اسفند ماه ۹۶، مدت زمان برداشت یک روز است. حداکثر دمای هوا در این روز ۲۷/۵ درجه و حداقل دمای هوا ۲۴/۵ درجه سانتی‌گراد به همین ترتیب دمای تشعشعی نیز حداکثر ۲۸ و حداقل ۲۴ درجه است. رطوبت نسبی در این روز بین ۱۵ الی ۲۰ درصد گزارش شده است.

برداشت اردیبهشت ماه ۹۷، مدت زمان برداشت دو هفته است. حداکثر دمای هوا در این روز ۲۷ درجه و حداقل دمای هوا ۱۷ درجه سانتی‌گراد به همین ترتیب دمای تشعشعی نیز حداکثر ۲۷/۲۰ و حداقل ۱۸/۱ درجه است. رطوبت نسبی در این بازه دو هفته‌ای بین ۵۱/۷ الی ۱۵ درصد گزارش شده است که به نسبت ماه اسفند شاهد افزایش رطوبت هستیم.

برداشت خرداد و تیر ماه ۹۷، مدت زمان برداشت یک هفته است. حداکثر دمای هوا در این روز ۳۰ درجه و حداقل دمای هوا ۲۳ درجه سانتی‌گراد به همین ترتیب دمای تشعشعی نیز حداکثر ۳۰/۴۵ و حداقل ۲۴/۱ درجه است. رطوبت نسبی در این بازه دو هفته‌ای بین ۴۳/۷ الی ۱۹/۴ درصد گزارش شده است که به نسبت ماه گذشته شاهد افزایش دما و کاهش رطوبت هستیم.

برداشت مهر ماه ۹۷، مدت زمان برداشت یک هفته است. حداکثر دمای هوا در این روز ۳۳ درجه و حداقل دمای هوا ۱۸/۷ درجه سانتی‌گراد ولی در بعضی ساعات در ارتفاع ۱/۱۰ سانتی متری مانند ساعات حدود ۱۲ ظهر دما به ۳۳/۵ درجه نیز می‌رسد به همین ترتیب دمای تشعشعی نیز حداکثر ۳۴/۵ و حداقل ۱۸/۲۴ درجه است، دمای تشعشعی نیز مانند دمای هوا در حدود ساعات ۱۲ ظهر به ۴۴ درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسد. رطوبت نسبی در این بازه یک هفته‌ای بین ۴۴/۷ الی ۱۷/۷ درصد گزارش شده است که به نسبت ماه خرداد و تیر شاهد کاهش دما نیز هستیم و درصد رطوبت نسبی تغییر خاصی نکرده است.

برداشت بهمن ماه ۹۷، مدت زمان برداشت یک هفته است. حداکثر دمای هوا در این روز ۲۹ درجه و حداقل دمای هوا ۱۸ درجه سانتی‌گراد است، دمای تشعشعی نیز از ۱۹/۵ الی ۲۷/۵ درجه سانتی‌گراد است. رطوبت نسبی در این بازه یک هفته‌ای بین ۱۵ الی ۳۰ درصد گزارش شده است که به نسبت ماه

مهر شاهد کاهش دما و درصد رطوبت نسبی نیز هستیم.

طبق نمودار سرعت هوا، بیشترین سرعت باد در فصل تابستان و در ماه‌های خرداد الی تیر در داخل ۰/۳ متر بر ثانیه و در بیرون ۴/۴۸ متر بر ثانیه و کمترین این مقدار در بیرون ۱/۹۸ در ماه آذر الی بهمن و در داخل ۰/۱۵ متر بر ثانیه است.

۳-۳-۳-۴ برداشت اطلاعات پرسشنامه‌ای

پرسشنامه‌ها همزمان با برداشت اطلاعات محیطی به دانشجویان و اساتید ارائه می‌شده است و در پایان هر روز این پرسشنامه جمع‌آوری و در نرم‌افزارهای مورد نظر تحلیل صورت می‌گرفت. در این بخش، میزان پوشش در هر فصل، فعالیت و آرای کاربران نسبت به محیط و فراوانی هر پاسخ مطرح می‌شود.

۱, ۱, ۱, ۱, ۲ میزان فعالیت

مطابق با استاندارد اشری ۵۵ [۵]، برای هرگونه فعالیت کاربران در محیط عددی در نظر گرفته شده است، این عدد را با ضریب MET^1 که مخفف نرخ میزان فعالیت کاربر است. در کلاس‌های درس، نتایج نشان میداد که بیش از ۹۵ درصد دانشجویان در حالت نشسته و تعداد اندکی در حالت ایستاده و آرام مشغول بوده‌اند، عدد در نظر گرفته برای حالت نشسته و در حال مطالعه عدد ۱/۰ و برای ایستاده و آرام ۱/۲ در نظر گرفت شده است.

۱, ۱, ۱, ۱, ۳ میزان پوشش

میزان پوشش، یکی از سوالات مهم مطرح شده در بحث آسایش حرارتی است. این عامل بر شرایط آسایش تاثیر مهمی می‌گذارد به همین دلیل در استاندارد اشری ۵۵ و ایزو ۷۷۳۰ به آن اشاره شده است. برای محاسبه نرخ ضریب پوشش کاربران در پرسشنامه در مورد لباس‌هایی که پوشیده‌اند در آن روز پرسیده می‌شود و در نهایت از طریق استاندارد اشری ۵۵، ایزو ۹۹۲۰ هر دانشجو نرخ پوشش که برحسب

¹ Metabolic Rate

clo، مشخص می‌گردد [۵، ۶۲]. در ایران بدلیل پوشش خاص خانم‌ها و تفاوت با کشورهای دیگر از گزارش اشری [۲۲] و کتاب سازگاری حرارتی دکتر حیدری [۶] نیز کمک گرفته شده است. جدول ۴-۵ میزان پوشش کاربران خانم و آقا را در هر فصل نشان میدهد.

جدول ۴-۵. میزان پوشش در هر فصل، نگارنده.

جنسیت	فصل	فصل	تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف از معیار
خانم‌ها	گرم	بهار	Clo	۰/۴۰	۱/۴۲	۰/۹۱	۰/۱۶۳۲۸
			تعداد معتبر				
		تابستان	Clo	۰/۷۵	۱/۴۲	۰/۸۴۲۰	۰/۱۶۳۴۲
			تعداد معتبر				
	سرد	زمستان	Clo	۰/۷۰	۱/۷۱	۱/۲۲۲۹	۰/۳۰۹۸۵
			تعداد معتبر				
		پاییز	Clo	۰/۵۹	۱/۳۱	۰/۸۴۰۳	۰/۱۶۰۷۳
			تعداد معتبر				
آقایان	گرم	بهار	Clo	۰/۳۴	۱/۲۲	۰/۶۴۹۳	۰/۱۹۷۶۷
			تعداد معتبر				
		تابستان	Clo	۰/۴۴	۰/۶۹	۰/۵۴۴۳	۰/۰۸۶۷۱
			تعداد معتبر				
	سرد	زمستان	Clo	۰/۵۳	۱/۷۲	۱/۱۳۰۹	۰/۲۸۹۸۱
			تعداد معتبر				
		پاییز	Clo	۰/۳۴	۱/۲۲	۰/۶۰۸۰	۰/۱۵۹۹۳
			تعداد معتبر				

۴-۴ همبستگی^۱ بین متغیرهای روانی^۲ و محیطی^۳

این بخش به بررسی همبستگی بین متغیرهای کمی و کیفی می‌پردازیم. همبستگی ابزاری آماری است که در آن رابطه بین متغیرهای مختلف را بررسی می‌کند، در این بررسی شدت و نوع رابطه بین متغیرهای مختلف از طریق آزمون‌های آماری ارزیابی شده و نتایج بررسی می‌گردد، در بحث آسایش

^۱ Correlation Coefficient

^۲ Subjective variables

^۳ Environmental variables

حرارتی، برای شناخت بهتر رابطه بین متغیرها از این ابزار استفاده شده است. آزمون‌های مختلفی برای همبستگی وجود دارد که در این پژوهش با توجه به متغیرهای مورد نظر از پیرسون، کندال و اتا برای اندازه‌گیری استفاده می‌شوند در ادامه به توضیح مختصری هر آزمون در این پژوهش پرداخته می‌شود تا دانشجویان معماری فهم مناسبی نسبت به این دسته از آزمون‌های آماری داشته باشند، جدول ۴-۶، رابطه همبستگی بین متغیرهای کمی و قابل اندازه‌گیری و متغیرهای کیفی را از طریق ضریب همبستگی مورد نظر بررسی شده است و شدت و نوع رابطه را نشان می‌دهد، در این بررسی باید به این موضوع توجه داشت که بررسی همبستگی به صورت کلی صورت گرفته و مختص فضای داخل کلاسهای شمالی و جنوبی این دانشکده است و به صورت کلی نیست، به عنوان نمونه می‌توان به همبستگی بین متغیر دما و رطوبت اشاره کرد که در این بررسی مشخص شد دما و رطوبت با یکدیگر از نظر معنایی و رابطه همبستگی ندارند. متغیرهای موثر در آسایش حرارتی که در این بحث مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند شامل: احساس حرارتی، ترجیح حرارتی، مقبولیت حرارتی، دمای عملکردی، دمای هوای خارج، درصد رطوبت نسبی و سرعت هوا است. آزمون‌های همبستگی‌های مربوطه در نرم‌افزاری آماری SPSS برای رابطه بین متغیرهای روانی؛ احساس حرارتی، ترجیح حرارتی و مقبولیت حرارتی است و متغیرهای محیطی؛ دما هوا داخل و خارج، دما عملکردی، سرعت هوا و درصد رطوبت نسبی در کل سال استفاده شده است. نیکل معتقد است که اگرچه فشار بخار آب را پیشنهاد می‌دهند ولی استفاده از درصد رطوبت نسبی رایج‌تر است [۵۵].

جدول ۴-۶. میزان پوشش در هر فصل، نگارنده.

		TSV	TP	TA	T _{outdoor}	T _{op}	Va	Rh
TSV	Correlation Coefficient	۱						
	Sig. (۲-tailed)				همبستگی		قدرت	
	N	۵۳۰			Pearson			
TP	Correlation Coefficient	-۰/۷۹۶	۱		Kendall's tau-c			
	Sig. (۲-tailed)	.۰۰۰			Eta			
	N	۵۳۰	۵۳۰					

TA	Correlation Coefficient	۰/۲۲۱	- ۰/۱۴۷	۱				
	Sig. (۲-tailed)	.۰۰۰	.۰۰۲					
	N	۵۳۰	۵۳۰	۵۳۰				
T _{outdoor}	Correlation Coefficient	۰/۵۲۲	۰/۵۴۲	۰/۳۷۰	۱			
	Sig. (۲-tailed)							
	N	۵۳۰	۵۳۰	۵۳۰	۵۳۰			
T _{op}	Correlation Coefficient	۰/۶۶۵	۰/۶۷۲	۰/۵۴۴	۰/۲۱۶	۱		
	Sig. (۲-tailed)				۰/۰۰۰			
	N	۵۳۰	۵۳۰	۵۳۰	۵۳۰	۵۳۰		
Va	Correlation Coefficient	۰/۳۳۵	۰/۳۳۵	۰/۲۵۳	۰/۲۱۷	۰/۲۹۹	۱	
	Sig. (۲-tailed)				۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		
	N	۵۳۰	۵۳۰	۵۳۰	۵۳۰	۵۳۰	۵۳۰	
Rh	Correlation Coefficient	۰/۵۷۸	۰/۵۸۵	۰/۳۸۳	۰/۴۴۰	- ۰/۲۹۶	۰/۰۶۰	۱
	Sig. (۲-tailed)				۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۶۴	
	N	۵۳۰	۵۳۰	۵۳۰	۵۳۰	۵۳۰	۵۳۰	۵۳۰

جدول بالا، نشان دهنده نتیجه آزمون‌های همبستگی بین متغیرهای محیطی و روانی است، این متغیرها به دو دسته کمی و کیفی تقسیم‌بندی می‌شوند، در این تقسیم‌بندی متغیرهای ترجیح حرارتی، احساس حرارتی و مقبولیت حرارتی به عنوان متغیرهای کیفی و رتبه‌ای^۱ هستند و متغیرهای دمای هوا بیرون، دمای عملکردی، درصد رطوبت نسبی و سرعت هوا به عنوان متغیرهای کمی و فاصله‌ای^۲ هستند، برای پیدا کردن همبستگی بین این متغیرها آزمون‌های مختلف آماری پیشنهاد شده است که در این پژوهش برای همبستگی بین متغیرهای رتبه‌ای از آزمون کندال تائو^۳، متغیرهای فاصله‌ای پیرسون^۴ و برای مقایسه متغیرهای رتبه‌ای با فاصله‌ای با یکدیگر از آزمون اتا^۵ استفاده شده است این آزمون‌ها همگی در نرم‌افزار spss انجام گرفته‌است. آزمون‌های همبستگی مورد اشاره به بررسی شدت رابطه، نوع رابطه و

^۱ ordinal

^۲ scale

^۳ Kendall's tau c

^۴ Pearson

^۵ Eta

معناداری می‌پردازند، این آزمون‌ها در بازه ۱- الی ۱ قرار دارند و در این تحلیل برای درک درست‌تر این موضوع برای هر آزمون تنالیت رنگی برای فهم بهتر در نظر گرفته شده است. این آزمون‌های آماری برای بررسی معناداری در سطح ۰/۰۱ مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌اند که به تفصیل به بیان هر کدام می‌پردازیم. براساس جدول بالا، آزمون کندال تائو برای مقایسه متغیرهای روانی در نظر گرفته شده است، شدت رابطه در این آزمون در بازه منفی یک تا مثبت یک قرار دارد و مانند آزمون پیرسون تفسیر می‌شود این آزمون برای متغیرهای رتبه‌ای مناسب است [۶۳، ۶۴]. طبق این آزمون رابطه بین احساس حرارتی و ترجیح حرارتی منفی، شدت رابطه خیلی قوی و معنادار است به این معنا که هرچه احساس حرارتی به گرمی میل کند ترجیح حرارتی برعکس آن و به معنای سردتر است عکس این رابطه نیز وجود دارد (۰/۷۹۶-). رابطه بین احساس حرارتی و مقبولیت حرارتی مثبت، شدت رابطه ضعیف و معنادار است و به معنای افزایش گرمی باعث افزایش رضایت در میان دانشجویان است (۰/۲۲۱). رابطه بین ترجیح حرارتی و مقبولیت حرارتی منفی، شدت رابطه خیلی ضعیف و معنادار نیست به این معنا که ترجیح حرارتی دانشجویان تاثیری بر رضایت این افراد ندارد ولی نمیتوان به درستی این موضوع را معتبر دانست (۰/۱۴۷-). در رابطه با بررسی همبستگی بین متغیرهای روانی و محیطی که از آزمون اتا استفاده شده است، آزمون اتا برای بررسی متغیرهای کمی با کیفی استفاده می‌شود، رابطه بین دو متغیر به صورت غیر خطی است و متغیرهای به صورت‌های رتبه‌ای یا اسمی و فاصله‌ای / نسبی است این مقدار منفی نیست و بین بازه صفر و یک متغیر است [۶۵]. در این پژوهش متغیرهای روانی را به عنوان متغیرهای وابسته به متغیرهای محیطی در نظر گرفته‌ایم. بر این اساس رابطه بین دمای هوا بیرون با احساس حرارتی مثبت و شدت رابطه متوسط است (۰/۵۲۲)، دمای هوای بیرون با ترجیح حرارتی مثبت و شدت رابطه متوسط است (۰/۵۴۲) و رابطه دمای هوای بیرون با مقبولیت حرارتی مثبت و شدت رابطه ضعیف است (۰/۳۷۰)، شاید علت کم بودن شدت رابطه دمای هوا بیرون با متغیرهای روانی برای داخل کلاس بسته بودن پنجره در اکثر زمان‌ها است. رابطه بین دمای عملکردی با احساس حرارتی مثبت، شدت رابطه قوی است (۰/۶۶۵)، دمای عملکردی با ترجیح حرارتی مثبت، شدت رابطه قوی

است (۰/۶۷۲) و رابطه دمای عملکردی با مقبولیت حرارتی و شدت رابطه خیلی متوسط است (۰/۵۴۴). رابطه بین سرعت هوا با احساس حرارتی مثبت و شدت رابطه ضعیف است (۰/۳۳۵)، سرعت هوا با ترجیح حرارتی مثبت، شدت رابطه ضعیف است (۰/۳۳۵) و رابطه سرعت هوا با مقبولیت حرارتی مثبت و ضعیف است (۰/۲۵۳). رابطه بین رطوبت نسبی با احساس حرارتی مثبت، شدت رابطه متوسط است (۰/۵۷۸). رطوبت نسبی با ترجیح حرارتی مثبت، شدت رابطه متوسط است (۰/۵۸۵) و رابطه رطوبت نسبی با مقبولیت حرارتی مثبت و ضعیف است (۰/۳۸۳) و در نهایت به بررسی رابطه بین متغیرهای محیطی با یکدیگر میپردازیم، طبق جدول شماره ۴-۶، آزمون پیرسون از محبوبیت بیشتری در بررسی همبستگی متغیرهای آسایش حرارتی دارد و در پژوهش‌های زیادی از آن استفاده شده است ولی باید ذکر کرد این آزمون فقط برای متغیرهای کمی استفاده می‌شود با وجود اینکه می‌توان از نتایج حاصل از این آزمون برای متغیرهای دیگر استفاده کرد ولی دقت کافی را برای بیان رابطه متغیرهای کیفی ندارد و از لحاظ آماری صحیح نیست، این آزمون شدت و معناداری رابطه بین متغیرهای کمی که با یکدیگر رابطه خطی دارد را نشان می‌دهد، بازه عددی این آزمون بین منفی یک تا مثبت یک و به معنای معکوس یا مستقیم بودن روابط بین متغیرها است [۶۶]. رابطه بین دما هوا بیرون با دمای عملکردی مثبت، شدت رابطه ضعیف و معنادار است (۰/۲۱۶)، رابطه بین دما هوا بیرون با سرعت هوا مثبت، شدت رابطه ضعیف و معنادار است (۰/۲۱۷) و رابطه دما هوا بیرون با رطوبت نسبی مثبت، شدت رابطه متوسط و معنادار است (۰/۴۴۰). رابطه دما عملکردی با سرعت هوا مثبت، شدت رابطه ضعیف و معنادار است (۰/۲۹۹) و رطوبت نسبی منفی، شدت رابطه ضعیف و معنادار است (۰/۲۹۶-) و در آخر رابطه رطوبت نسبی با سرعت هوا رابطه‌ای ندارد و معنادار نیست (۰/۰۶)، در خصوص رابطه بین این دو باید ذکر کرد که در ارتباط هستند ولی در این پژوهش مربوط به داخل این کلاسها بوده و نتایج کلی و متفاوت است.

۵-۴ آسایش حرارتی^۱

این بخش، به بررسی و ارزیابی شرایط آسایش حرارتی در دو کلاس شمالی و جنوبی میپردازیم. در ابتدا شرایط کلی و نتایج حاصل از پرسشنامه پرداخته شده و در ادامه محدوده دمای خنثی، محدوده دمای ترجیحی و مقایسه مدل اشری و سازگاری را در هر دو کلاس و همچنین در هر فصل گرم و سرد ارائه می‌گردد.

۵-۴-۱ آسایش حرارتی در فصل گرم

جدول ۴-۷، آمار توصیفی هر دو کلاس شمالی و جنوبی در فصل گرم ارائه شده است، این اطلاعات شامل بازه، میانگین و انحراف از معیار متغیرهای محیطی و ذهنی کاربران و کلاس‌هاست.

جدول ۴-۷. خلاصه اطلاعات آماری در فصل گرم، نگارنده.

تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف از معیار	
۲۷۰	۱۳/۶۰	۳۰/۸۰	۲۳/۶۸۱۷	۴/۹۸۴۵۳	دمای هوا خارجی
۲۷۰	۲۰/۷۰	۲۷/۸۳	۲۳/۸۹۹۵	۲/۰۸۵۹۸	دمای عملکردی
۲۷۰	۰/۰۰	۰/۳۰	۰/۱۱۴۳	۰/۰۶۶۸۶	سرعت هوای داخل
۲۷۰	۱۵/۱۳	۴۴/۳۷	۳۰/۰۶۰۸	۶/۶۲۶۲۶	درصد رطوبت نسبی
۲۷۰	۰/۴	۱/۴۲	۰/۹۱	۰/۲۰۰۳۲	نرخ پوشش
۲۶۹	۱/۰۰	۱/۲۰	۱/۰۱۷۸	۰/۰۵۷۱۲	فعالیت
۲۷۰	۱	۷	۳/۷۸	۱/۲۵۱	احساس حرارتی
۲۷۰	-۲۰/۳۱	۱/۳۳	-۰/۵۲۰۶	۱/۳۸۴۳۸	میزان رضایت
۲۷۰	۵/۰۰	۱۰۰/۰	۱۸/۳۱۸۵	۱۸/۶۶۵۱۷	درصد عدم رضایت

با توجه به جدول بالا، حداقل دمای هوا در خارج ساختمان ۱۳/۶۰ و حداکثر ۳۰/۸۰ درجه سانتی‌گراد با انحراف معیار ۴/۹۸، حداقل و حداکثر دمای عملکردی به ترتیب ۲۰/۷۰ و ۲۷/۸۳ درجه سانتی‌گراد با انحراف معیار ۲/۰۸ گزارش شده است. سرعت هوا در داخل حداکثر ۰/۳ متر بر ثانیه با انحراف معیار ۰/۰۶، درصد رطوبت نسبی در داخل بین ۱۵/۱۳ الی ۴۴/۳۷ درصد است و متوسط رطوبت در داخل ۳۰

درصد و با انحراف معیار ۶/۶۲ است. نرخ پوشش بین بازه ۰/۳ الی ۱/۴۲ کلو و انحراف معیار ۰/۲، اگرچه نرخ لباس بر طبق گفته استانداردها در بین دانشجویان فصل گرم، در حدود ۰/۲ بیشتر از پوشش در ادارات است [۵، ۸]. احساس حرارتی دانشجویان در بازه سرد و داغ گزارش شده است و انحراف معیار در حدود ۱/۲ است، میزان فعالیت به طور متوسط ۱ است و این بدان معناست که دانشجویان اکثراً در وضعیت نشسته بوده‌اند. میزان رضایت به طور متوسط در بازه احساس خنثی قرار دارند و میزان عدم رضایت دانشجویان از محیط حداقل ۵ و حداکثر ۱۰۰ درصد با انحراف از معیار ۱۸ گزارش شده است. جدول ۴-۸ گزارش کاملی از تفاوت دو کلاس در فصل گرم را ارائه داده است.

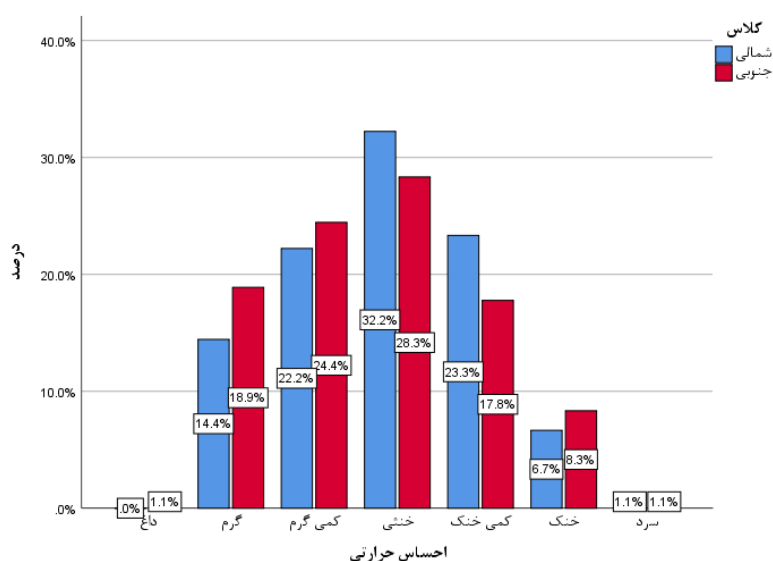
جدول ۴-۸. خلاصه اطلاعات آماری محیطی و ذهنی دانشجویان هر کلاس در فصل گرم، نگارنده.

کلاس	جنسیت	تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
کلاس شمالی	خانم	۵۷	۱۹/۱۰	۳۰/۸۰	۲۲/۹۴۶۵	۲/۷۷۹۶۴
		۵۷	۲۰/۷۰	۲۴/۳۴	۲۲/۰۸۴۸	۱/۲۵۲۱۵
		۵۷	۰/۰۰	۰/۲۰	۰/۰۶۹	۰/۰۵۲۴۰
		۵۷	۲۳/۷۷	۳۹/۲۱	۲۹/۳۵۷۲	۵/۰۱۸۶۶
		۵۷	۰/۶۷	۱/۴۲	۰/۸۷۴۶	۰/۱۷۴۱۷
		۵۷	۲	۷	۳/۸۴	۱/۱۹۲
	آقا	۳۳	۲۰/۱۵	۳۰/۸۰	۲۵/۵۸۹۴	۳/۵۷۹۶۲
		۳۳	۲۰/۷۰	۲۴/۶۰	۲۲/۹۲۶۶	۱/۴۱۵۹۸
		۳۳	۰/۰۰	۰/۳۰	۰/۹۷۰	۰/۷۱۷۴
		۳۳	۲۳/۷۷	۳۹/۲۱	۳۱/۹۴۷۰	۵/۲۸۴۳۵
		۳۳	۰/۴۴	۰/۸۹	۰/۵۸۸۵	۰/۱۱۶۸۱
		۳۳	۲	۶	۳/۹۷	۱/۱۸۵
کلاس جنوبی	خانم	۱۱۳	۱۳/۶۰	۳۰/۸۰	۲۳/۴۱۵۵	۵/۵۷۳۱۵
		۱۱۳	۲۱/۳۴	۲۷/۸۳	۲۴/۵۳۸۲	۱/۹۲۱۴۹
		۱۱۳	۰/۰۵	۰/۳۰	۰/۱۲۶۵	۰/۰۶۲۷۰
		۱۱۳	۱۵/۱۳	۴۴/۳۷	۲۹/۳۲۴۱	۷/۷۳۴۶۸
		۱۱۳	۰/۲۹	۱/۴۲	۰/۸۲۴۴	۰/۱۵۴۸۸
		۱۱۳	۱	۷	۳/۷۳	۱/۳۳۱
	آقا	۶۷	۱۳/۶۰	۳۰/۵۵	۲۳/۸۱۶۴	۵/۷۷۵۹۹
		۶۷	۲۱/۳۴	۲۷/۸۳	۲۴/۸۴۵۱	۲/۰۵۹۹۴
		۶۷	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۱۴۰۳	۰/۰۶۲۳۰
		۶۷	۱۵/۱۳	۴۴/۳۷	۳۰/۹۷۳۰	۶/۲۰۸۳۹

۰/۱۸۶۵۴	۰/۶۱۰۳	۱/۲۲	۰/۳۴	۶۷	پوشش		
۱/۲۰۴	۳/۷۲	۶	۱	۶۷	احساس حرارتی		

۱-۵-۴ ترجیح حرارتی^۱ و احساس حرارتی^۲

شکل ۴-۴، نمودار درصد فراوانی پاسخ کاربران به ترجیح حرارتی و احساس حرارتی در فصل گرم را نشان می‌دهد، نمودار احساس حرارتی از مقیاس هفتگانه اشری تبعیت میکند و در بازه داغ، گرم، کمی گرم، خنثی، کمی خنک، خنک و سرد قرار دارد. براساس این نمودار در کلاس شمالی ۳۲/۲ درصد و در کلاس جنوبی ۲۸/۳ درصد احساس خنثی، از حالت خنثی به سمت احساس سرد به ترتیب در کلاس شمالی ۲۳/۳، ۶/۷ و ۱/۱ درصد و در کلاس جنوبی به ترتیب ۱۷/۸، ۸/۳ و ۱/۱ درصد احساس سرما را حس می‌کنند و برعکس این وضعیت از خنثی به سمت چپ در کلاس شمالی ۲۲/۲، ۱۴/۴ درصد و در کلاس جنوبی ۲۴/۴، ۱۸/۹ و ۱/۱ درصد احساس گرما می‌کنند.



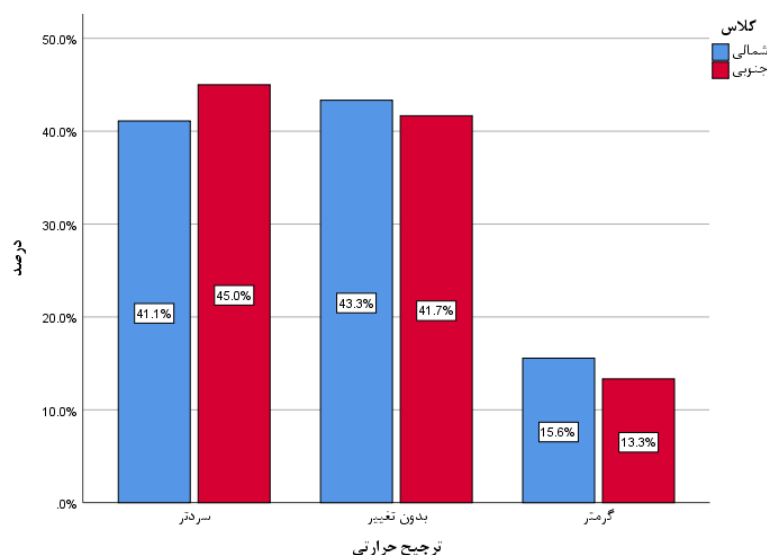
شکل ۴-۴. نمودار درصد فراوانی احساس حرارتی در هر کلاس در فصل گرم، نگارنده.

شکل ۴-۵، نیز بیانگر نمودار درصد ترجیح حرارتی کاربران به محیط است، طبق نمودار زیر در کلاس شمالی، ۴۳/۳ درصد وضعیت بدون تغییر، ۴۱/۱ درصد وضعیت سردتر و ۱۵/۶ درصد وضعیت گرمتر را

^۱ Thermal Preferences (TP)

^۲ Thermal Sensation Vote (TSV)

ترجیح می‌دهند. در کلاس جنوبی، نیز ۴۱/۷ درصد وضعیت بدون تغییر، ۴۵ درصد وضعیت سردتر و ۱۳/۳ درصد وضعیت گرمتر را ترجیح می‌دهند، همانطور که مشخص است تفاوتی چشمگیری بین دو کلاس مشاهده نشده است.



شکل ۴-۵. نمودار درصد فراوانی ترجیح حرارتی در هر کلاس در فصل گرم، نگارنده.

جدول متقاطع ۴-۹، بیانگر رابطه بین احساس حرارتی و ترجیح حرارتی در هر دو کلاس و برای خانم و آقا در فصل گرم است، در ابتدا مقیاس حرارتی در این جدول تغییر یافته است و بازه بین احساس کمی گرم الی کمی خنک در دسته خنثی و مابقی در دسته خیلی گرم و خیلی سرد قرار گرفته‌اند. طبق این جدول رابطه این دو متغیر نشان می‌دهد که در کلاس شمالی، خانم‌ها ۱۰۰ درصد در حالت خنثی و آقایان ۹۴/۷ درصد در وضعیت خنثی و بدون تغییر را ترجیح داده‌اند، در حالت خیلی سرد خانم‌ها صفر درصد و آقایان ۵/۳ درصد وضعیت بدون تغییر را ترجیح می‌دهند، در حالت خیلی گرم خانم‌ها صفر درصد و آقایان صفر درصد وضعیت بدون تغییر را ترجیح داده‌اند. به طور کلی در این کلاس خانم‌ها و آقایان در وضعیت خنثی هستند و وضعیت بدون تغییر را ترجیح می‌دهند و مقدار کمی از آقایان وضعیت خیلی گرم را ترجیح داده‌اند که بدون تغییر است. در کلاس جنوبی، خانم‌ها ۹۷/۶ درصد در حالت خنثی و آقایان ۹۰/۹ درصد در وضعیت خنثی و بدون تغییر را ترجیح داده‌اند، در حالت خیلی سرد خانم‌ها ۲/۴

درصد و آقایان ۹/۱ درصد وضعیت بدون تغییر را ترجیح می‌دهند، در حالت خیلی گرم خانم‌ها صفر درصد و آقایان صفر درصد وضعیت بدون تغییر را ترجیح داده‌اند. به طور کلی در این کلاس خانم‌ها و آقایان در وضعیت خنثی هستند و وضعیت بدون تغییر را ترجیح می‌دهند و مقدار کمی از آقایان وضعیت خیلی سرد را ترجیح داده‌اند که بدون تغییر است.

جدول ۴-۹. جدول متقاطع احساس حرارتی و ترجیح حرارتی هر فصل گرم، نگارنده.

کلاس	احساس حرارتی			جنسیت			
	خیلی گرم	خنثی	خیلی سرد				
شمالی	خانم	گرمتر	تعداد	۴	۷	۰	۱۱
			درصد	۳۶/۴	۶۳/۶	۰/۰	۱۰۰/۰
		بدون تغییر	تعداد	۰	۲۰	۰	۲۰
			درصد	۰/۰	۱۰۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰
		سردتر	تعداد	۰	۱۸	۸	۲۶
			درصد	۰/۰	۶۹/۲	۳۰/۸	۱۰۰/۰
	کل	تعداد		۴	۴۵	۸	۵۷
		درصد		۷/۰	۷۸/۹	۱۴/۰	۱۰۰/۰
	آقا	گرمتر	تعداد	۲	۱	۰	۳
			درصد	۶۶/۷	۳۳/۳	۰/۰	۱۰۰/۰
		بدون تغییر	تعداد	۱	۱۸	۰	۱۹
			درصد	۵/۳	۹۴/۷	۰/۰	۱۰۰/۰
		سردتر	تعداد	۰	۶	۵	۱۱
			درصد	۰/۰	۵۴/۵	۴۵/۵	۱۰۰/۰
	کل	تعداد		۳	۲۵	۵	۳۳
		درصد		۹/۱	۷۵/۸	۱۵/۲	۱۰۰/۰
جنوبی	خانم	گرمتر	تعداد	۱۱	۸	۰	۱۹
			درصد	۵۷/۹	۴۲/۱	۰/۰	۱۰۰/۰
		بدون تغییر	تعداد	۱	۴۱	۰	۴۲
			درصد	۲/۴	۹۷/۶	۰/۰	۱۰۰/۰
		سردتر	تعداد	۰	۲۸	۲۴	۵۲
			درصد	۰/۰	۵۳/۸	۴۶/۲	۱۰۰/۰
	کل	تعداد		۱۲	۷۷	۲۴	۱۱۳
		درصد		۱۰/۶	۶۸/۱	۲۱/۲	۱۰۰/۰
	آقا	گرمتر	تعداد	۲	۳	۰	۵
			درصد	۴۰/۰	۶۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰

۳۳	۰	۳۰	۳	تعداد	بدون تغییر			
۱۰۰/۰	۰/۰	۹۰/۹	۹/۱	درصد				
۲۹	۱۲	۱۷	۰	تعداد	سردتر			
۱۰۰/۰	۴۱/۴	۵۸/۶	۰/۰	درصد				
۶۷	۱۲	۵۰	۵	تعداد	کل			
۱۰۰/۰	۱۷/۹	۷۴/۶	۷/۵	درصد				

۴-۵-۱-۲ میزان رضایت^۱ و مقبولیت حرارتی^۲

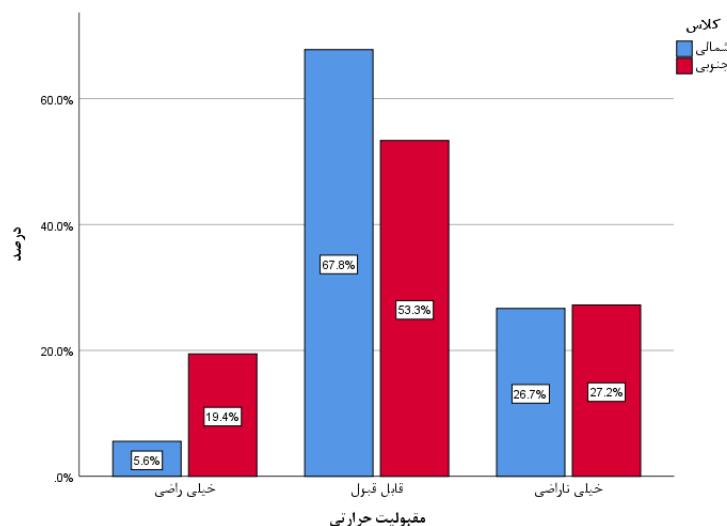
در بحث مقبولیت حرارتی، سه رویکرد متفاوت برای ارزیابی محیط در نظر گرفته شده است، بخش اول میزان مقبولیت حرارتی، بخش دوم میزان رابطه رضایت از محیط و ترجیح حرارتی و بخش سوم رویکرد مربوط به رابطه بین مقبولیت حرارتی و احساس حرارتی است.

۱,۱,۱,۱,۴ مقبولیت حرارتی

در شکل ۴-۶، میزان مقبولیت حرارتی در بازه خیلی راضی، قابل قبول و خیلی ناراضی مورد بررسی قرار گرفت، بازه قابل قبول در محدوده کمی گرم الی کمی خنک، خیلی راضی در وضعیت خنثی و خیلی گرم و خیلی سرد در محدوده خیلی ناراضی قرار دارند. به صورت کلی در کلاس شمالی، ۶۷/۸ درصد کلاس از نظر حرارتی قابل قبول و ۵/۶ درصد خیلی راضی و ۲۶/۷ درصد خیلی ناراضی بودند. در کلاس جنوبی، ۵۳/۳ درصد قابل قبول، ۲۷/۲ درصد خیلی ناراضی و ۱۹/۴ درصد خیلی راضی هستند. طبق این بررسی میزان رضایت از کلاس جنوبی به طور کلی نسبت به کلی شمالی بیشتر است.

^۱ Satisfied Rate

^۲ Thermal Acceptability (TA)



شکل ۴-۶. نمودار درصد فراوانی ترجیح حرارتی در هر کلاس در فصل گرم، نگارنده.

جدول ۴-۱۰ به رابطه بین میزان مقبولیت بر هر دوجنسیت میپردازد، بر طبق این جدول در کلاس شمالی میزان مقبولیت در بین خانمها ۷۱/۹ درصد و در بین آقایان ۶۰/۶ درصد است. در کلاس جنوبی نیز، ۵۶/۶ درصد خانمها و ۴۷/۸ درصد آقایان به وضعیت قابل قبول رای داده‌اند.

جدول ۴-۱۰. جدول متقاطع رابطه بین میزان مقبولیت و جنسیت در هر کلاس در فصل گرم، نگارنده.

کل	مقبولیت حرارتی			کلاس			
	خیلی راضی	قابل قبول	خیلی ناراضی	تعداد	خانم	جنسیت	شمالی
۵۷	۱	۴۱	۱۵				
۶۳/۳	۱/۱	۴۵/۶	۱۶/۷	درصد			
۳۳	۴	۲۰	۹	تعداد	آقا		
۳۶/۷	۴/۴	۲۲/۲	۱۰/۰	درصد			
۹۰	۵	۶۱	۲۴	تعداد	کل		
۱۰۰/۰	۵/۶	۶۷/۸	۲۶/۷	درصد			
۱۱۳	۱۶	۶۴	۳۳	تعداد	خانم	جنسیت	جنوبی
۶۲/۸	۸/۹	۳۵/۶	۱۸/۳	درصد			
۶۷	۱۹	۳۲	۱۶	تعداد	آقا		
۳۷/۲	۱۰/۶	۱۷/۸	۸/۹	درصد			
۱۸۰	۳۵	۹۶	۴۹	تعداد	کل		
۱۰۰/۰	۱۹/۴	۵۳/۳	۲۷/۲	درصد			

۵, ۱, ۱, ۱, ۱ میزان رضایت و ترجیح حرارتی

جدول ۴-۱۱، به رابطه بین میزان رضایت و ترجیح حرارتی دانشجویان در کلاسهای شمالی و جنوبی

در فصل گرم میپردازد. طبق این رابطه، در کلاس شمالی خانم‌ها ۲۶/۳ درصد بدون تغییر، ۱۲/۳ درصد سردتر و ۵/۳ درصد گرمتر رضایت دارند و آقایان ۳۹/۴ درصد بدون تغییر، ۱۵/۲ درصد سردتر و ۳ درصد گرمتر رضایت دارند، در نتیجه خانم‌ها و آقایان تمایل به تغییر وضعیت و تغییر شرایط را ترجیح نداده‌اند و هر دو گروه نسبت وضعیت خنثی رضایت دارند. در کلاس جنوبی، خانم‌ها ۲۴/۸ درصد بدون تغییر، ۱۵ درصد سردتر و ۸ درصد گرمتر رضایت دارند و آقایان ۳۸/۸ درصد بدون تغییر، ۱۹/۴ درصد سردتر و ۴/۵ درصد گرمتر رضایت دارند، در نتیجه خانم‌ها و آقایان تمایل به تغییر وضعیت و تغییر شرایط را ترجیح داده‌اند و هر دو گروه نسبت به تغییر وضعیت حرارتی رضایت دارند.

جدول ۴-۱۱. جدول متقاطع میزان رضایت و ترجیح حرارتی خانم‌ها و آقایان دو کلاس در فصل گرم،

نگارنده.

کلاس	ترجیح حرارتی			جنسیت			
	سردتر	بدون تغییر	گرمتر				
شمالی	۲۵	۷	۱۵	۳	تعداد	بله	رضایت خانم
	۴۳/۹	۱۲/۳	۲۶/۳	۵/۳	درصد		
	۳۲	۱۹	۵	۸	تعداد	خیر	
	۵۶/۱	۳۳/۳	۸/۸	۱۴/۰	درصد		
	۵۷	۲۶	۲۰	۱۱	تعداد	کل	
	۱۰۰/۰	۴۵/۶	۳۵/۱	۱۹/۳	درصد		
	۱۹	۵	۱۳	۱	تعداد	بله	رضایت آقا
	۵۷/۶	۱۵/۲	۳۹/۴	۳/۰	درصد		
	۱۴	۶	۶	۲	تعداد	خیر	
	۴۲/۴	۱۸/۲	۱۸/۲	۶/۱	درصد		
جنوبی	۳۳	۱۱	۱۹	۳	تعداد	کل	
	۱۰۰/۰	۳۳/۳	۵۷/۶	۹/۱	درصد		
	۵۴	۱۷	۲۸	۹	تعداد	بله	رضایت خانم
	۴۷/۸	۱۵/۰	۲۴/۸	۸/۰	کل		
	۵۹	۳۵	۱۴	۱۰	تعداد	خیر	
	۵۲/۲	۳۱/۰	۱۲/۴	۸/۸	درصد		
	۱۱۳	۵۲	۴۲	۱۹	تعداد	کل	
	۱۰۰/۰	۴۶/۰	۳۷/۲	۱۶/۸	درصد		
	۴۲	۱۳	۲۶	۳	تعداد	بله	رضایت آقا

۴۲/۴	۹/۱	۲۷/۳	۶/۱	درصد				
۳۳	۵	۲۵	۳	تعداد	کل			
۱۰۰/۰	۱۵/۲	۷۵/۸	۹/۱	درصد				
۵۴	۶	۴۰	۸	تعداد	بله	رضایت	خانم	جنوبی
۴۷/۸	۵/۳	۳۵/۴	۷/۱	درصد				
۵۹	۱۸	۳۷	۴	تعداد	خیر			
۵۲/۲	۱۵/۹	۳۲/۷	۳/۵	درصد				
۱۱۳	۲۴	۷۷	۱۲	تعداد	کل			
۱۰۰/۰	۲۱/۲	۶۸/۱	۱۰/۶	درصد				
۴۲	۵	۳۴	۳	تعداد	بله	رضایت	آقا	
۶۲/۷	۷/۵	۵۰/۷	۴/۵	درصد				
۲۵	۷	۱۶	۲	تعداد	خیر			
۳۷/۳	۱۰/۴	۲۳/۹	۳/۰	درصد				
۶۷	۱۲	۵۰	۵	تعداد	کل			
۱۰۰/۰	۱۷/۹	۷۴/۶	۷/۵	درصد				

۳-۱-۵-۴ دمای خنثی

دمای خنثی، وضعیتی است که کاربران در محیط احساس آسایش دارند، برای یافتن این دما در این پژوهش از دو رویکرد متفاوت استفاده شده است؛ رویکرد اول، رگرسیون خطی^۱، رویکرد دوم، مدل گریفیث^۲ و رویکرد سوم، رابطه دمای هوا بیرون با دمای آسایش و رویکرد چهارم، رگرسیون غیرخطی از نوع لجستیک^۳ است.

۱،۱،۱،۱،۷ رابطه خطی^۴ احساس حرارتی با دمای عملکردی

در بحث آسایش حرارتی تعیین دمای خنثی از مهمترین قسمت‌های پژوهش است که در آن دمایی را برای رسیدن به وضعیت خنثی از نظر احساس حرارتی تعیین می‌شود، وضعیت خنثی حالتی است که در آن فرد نه در وضعیت سرد و نه در وضعیت گرم است برای تعیین دمای خنثی باید از دو متغیر

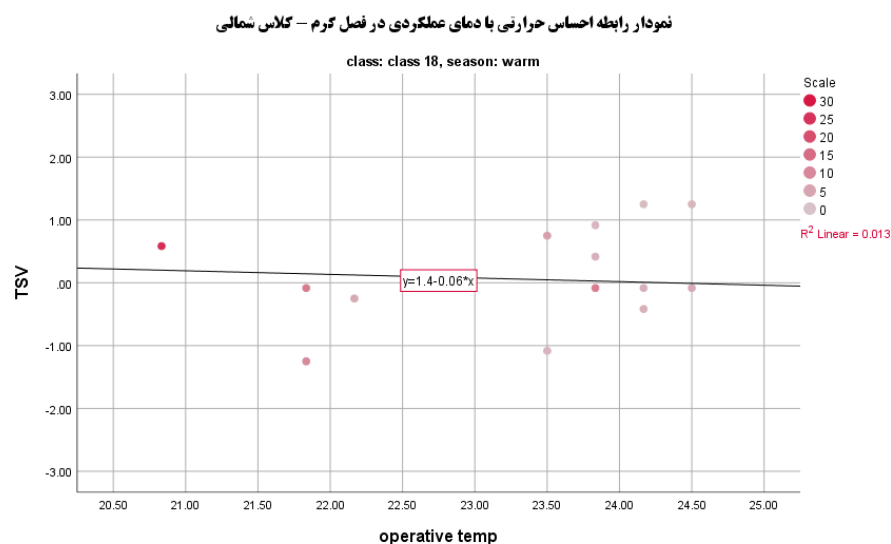
^۱ Linear regression

^۲ Griffith method

^۳ Logistic regression

^۴ Linear regression

احساس حرارتی و دمای عملکردی کمک گرفت. در این بخش، با استفاده از رابطه خطی بین احساس حرارتی دانشجویان و دما عملکردی دمای خنثی برای هر کلاس در فصل گرم را پیدا می‌کنیم. وظیفه رگرسیون خطی، رابطه بین دو متغیر را پیدا میکند و به شکل گسترده‌ای از این شیوه برای پیدا کردن بازه دمای خنثی استفاده می‌شود [۵۵]، رایج‌ترین شیوه برای نشان دادن قدرت مشارکت بین دما و آرای احساس حرارتی است [۶۷] و روشی برای پیش‌بینی دمای خنثی است [۶۸]. در شکل ۴-۷، رابطه خطی بین احساس حرارتی و دمای عملکردی در دو کلاس شمالی و جنوبی در فصل گرم آورده شده است، ولی قبل از آن باید به این نکته اشاره کرد که در این رگرسیون اطلاعات کاربران طبق نظر همفریز دسته بندی شده‌اند که در نتیجه شدت رابطه بین این دو متغیر تقویت گردد [۵۵].



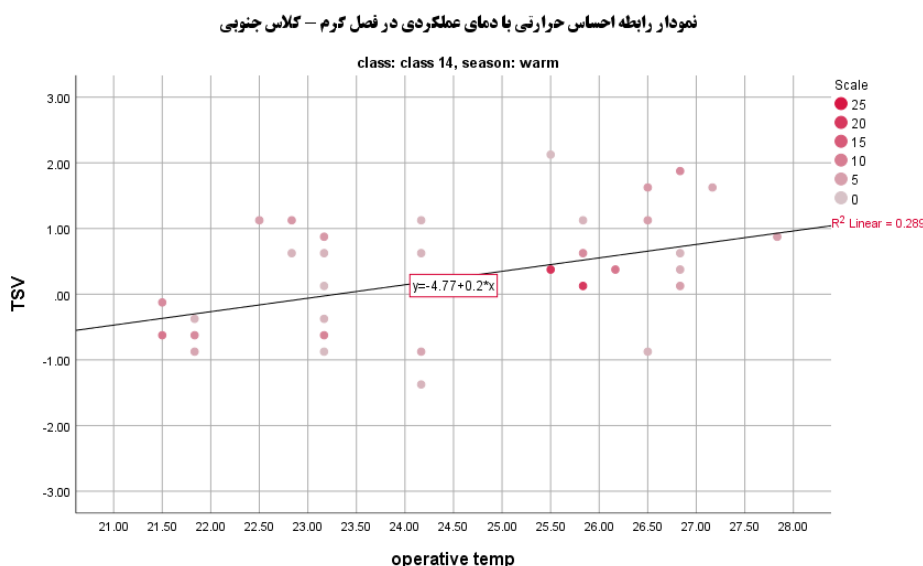
شکل ۴-۷. نمودار رابطه احساس حرارتی با دمای عملکردی کلاس شمالی در فصل گرم، نگارنده.

طبق نمودار بالا، رابطه بین احساس حرارتی و دما عملکردی منفی است و شدت این رابطه ۰/۰۱۳ است، این بدین معناست که با افزایش دما احساس افراد رو به سردی می‌رود ولی چون شدت این رابطه خیلی کم است و قابل استناد نیست. معادله خط رگرسیون معادل دمای خنثی در این کلاس است. معادله خط ۴-۱ این رابطه به صورت زیر ارائه شده است.

$$TSV = 1.4 - 0.06 * OT \quad (۴-۱)$$

طبق معادله ۴-۱، TSV معادل احساس حرارتی و OT معادل دمای عملکردی است. در نتیجه، دمای

خنثی برای کلاس شمالی در فصل گرم معادل ۲۳/۳۳ درجه سانتی گراد است.



شکل ۴-۸. نمودار رابطه احساس حرارتی با دمای عملکردی کلاس جنوبی در فصل گرم، نگارنده.

طبق نمودار بالا، رابطه بین احساس حرارتی و دما عملکردی مثبت است و شدت این رابطه ۰/۲۸۹ است، این بدین معناست که با افزایش دما احساس افراد رو به گرمی میرود و شدت این رابطه قابل قبول و قابل استناد است. معادله خط رگرسیون معادل دمای خنثی در این کلاس است. معادله خط این رابطه به صورت زیر ارائه شده است.

$$TSV = -4.77 + 0.2 * OT \quad (۴-۲)$$

طبق معادله ۴-۲، TSV معادل احساس حرارتی و OT معادل دمای عملکردی است. در نتیجه، دمای خنثی برای کلاس جنوبی در فصل گرم معادل ۲۳/۸۵ درجه سانتی گراد است.

۱,۱,۱,۱,۱ مدل گریفیث^۱

گریفیث در سال ۱۹۹۰، معادله‌ای را برای رابطه بین آرای احساس حرارتی افراد و دمای عملکردی ارائه میکند، این معادله مناسب برای یافتن بازه دمای خنثی است زیرا مدل رگرسیون خطی برای جامعه آماری کم و محدود به درستی پاسخگو نمی‌باشد و از شدت کافی برخوردار نیست، در معادله ۴-۳ ضریبی

به عنوان ضریب گریفیت در نظر گرفته شده است، براساس مشاهدات صورت گرفته در پروژه‌های مختلف

ضریب پیشنهادی ۰/۵ است، معادله زیر به مدل گریفیت معروف است [۵۵]:

$$T_{comf} = OT^*(C - C_N)/G \quad (3-4)$$

در معادله ۲-۴، T_{comf} منظور دمای آسایش است، ضریب G ضریب گریفیت و OT دمای عملکردی

است و منظور از C در این رابطه آرای احساس حرارتی است. جدول ۴-۱۳ محاسبه دمای آسایش براساس

دمای گریفیت در هر دو کلاس در فصل گرم است.

جدول ۴-۱۳. دمای آسایش و دمای عملکردی برحسب جنسیت در فصل گرم، نگارنده.

کلاس	جنسیت	تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
شمالی	خانم	۵۷	۲۰/۷۰	۲۴/۳۴	۲۲/۰۸۴۸	۱/۲۵۲۱۵
		۵۷	۱۶/۷۰	۲۷/۸۷	۲۱/۷۶۹۰	۲/۷۱۴۱۷
	آقا	۳۳	۲۰/۷۰	۲۴/۶۰	۲۲/۹۲۶۶	۱/۴۱۵۹۸
		۳۳	۱۶/۷۰	۲۷/۶۸	۲۲/۸۶۶۰	۲/۸۸۸۳۳
جنوبی	خانم	۱۱۳	۲۱/۳۴	۲۷/۸۳	۲۴/۵۳۸۲	۱/۹۲۱۴۹
		۱۱۳	۱۸/۷۰	۲۹/۸۹	۲۳/۹۸۹۶	۲/۴۹۶۸۰
	آقا	۶۷	۲۱/۳۴	۲۷/۸۳	۲۴/۸۴۵۱	۲/۰۵۹۹۴
		۶۷	۱۷/۳۴	۳۰/۵۱	۲۴/۲۷۸۰	۳/۰۱۸۲۸

مطابق با جدول ۴-۱۳، حداکثر و حداقل دمای عملکردی در کلاس شمالی برای خانم‌ها به ترتیب ۲۴/۳۴

و ۲۰/۷۰ درجه سانتی‌گراد است و دمای آسایش حداقل ۱۶/۷۰ و حداکثر ۲۷/۸۷ درجه سانتی‌گراد و برای

آقایان به ترتیب دمای عملکردی ۲۰/۷۰ و ۲۴/۶۰ و دمای آسایش ۱۶/۷۰ و ۲۷/۶۸ بدست آمده است،

میانگین دمای آسایش کلاس شمالی در فصل گرم برای خانم‌ها ۲۱/۷۶ و برای آقایان ۲۲/۸۶ درجه سانتی

گراد است. حداکثر و حداقل دمای عملکردی در کلاس جنوبی برای خانم‌ها به ترتیب ۲۷/۸۳ و ۲۱/۳۴

درجه سانتی‌گراد است و دمای آسایش حداقل ۱۸/۷۰ و حداکثر ۲۹/۸۹ درجه سانتی‌گراد و برای آقایان

به ترتیب دمای عملکردی ۲۱/۳۴ و ۲۷/۸۳ و دمای آسایش ۱۷/۳۴ و ۳۰/۵۱ بدست آمده است، میانگین

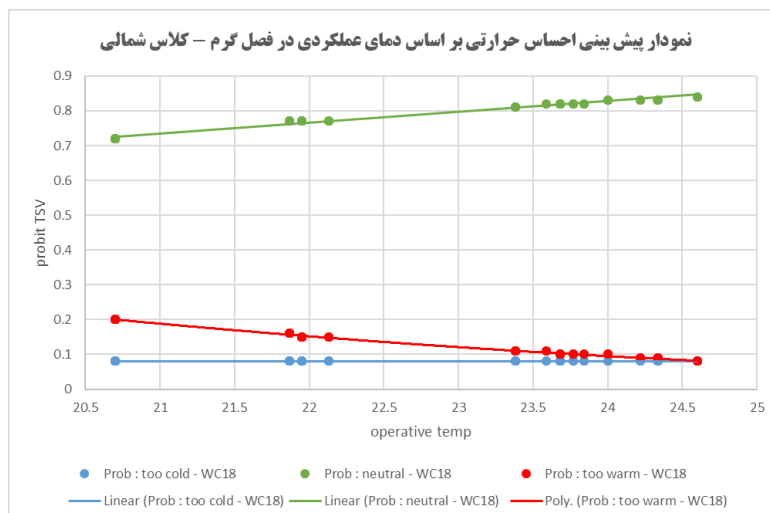
دمای آسایش کلاس شمالی در فصل گرم برای خانم‌ها ۲۳/۹۸ و برای آقایان ۲۴/۲۷ درجه سانتی‌گراد

است. نتیجه کلی بدست آمده بدین شرح است که در هر دو کلاس دمای آسایش یک درجه در آقایان بالاتر از خانم‌هاست.

۱,۱,۱,۱,۹ رابطه غیرخطی احساس حرارتی با دمای عملکردی

در بحث تعیین دمای خنثی برای تعیین دقیق این محدوده از روش لجستیک استفاده شده است. رگرسیون لجستیک، آزمونی برای پیدا کردن پیش بینی متغیرهایی که با یکدیگر به صورت غیرخطی در ارتباط هستند و رابطه بین متغیرهای کمی و کیفی مناسب است انجام این آزمون به صورت دستی خیلی سخت و پیچیده است زیرا باید در معادلات پیچیده ریاضی این محاسبه صورت گیرد به همین دلیل برای صرف نظر از صرف کردن این زمان داده‌های مورد نظر که شامل پاسخ احساس حرارتی کاربران و دماهای مربوط را در نرم‌افزار آماری مربوط تحلیل لجستیک انجام دادیم و با استفاده از خروجی معادلاتی ایجاد شد و در نهایت با استفاده از نرم افزار اکسل نمودارها ترسیم شد برای بخش محدوده دمای خنثی نیز اطلاعات نرمال شدند و سپس ترسیم گردیدند، به همین علت برای پیدا کردن مناسب-ترین دمای خنثی و همچنین شدت کم رابطه رگرسیون خطی در این فصل و همچنین محدودیت‌های فیزیولوژیکی و پوشش [۶۹]، از روش رگرسیون غیرخطی لجستیک^۱ استفاده شده است. برای هر کلاس در این رویکرد دو نمودار ترسیم شده است، نمودار اول، براساس پاسخ کاربران به احساس حرارتی و رابطه آن با دمای عملکردی و دومین نمودار براساس معادله دمای خنثی حاصل از روش لجستیک و احتمال آن ترسیم شده است.

^۱ Logistic regression

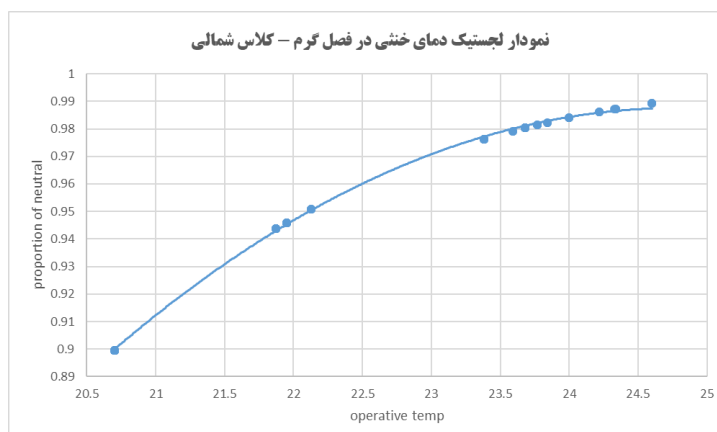


شکل ۴-۹. نمودار رابطه احساس حرارتی با دمای عملکردی کلاس شمالی در فصل گرم، نگارنده.

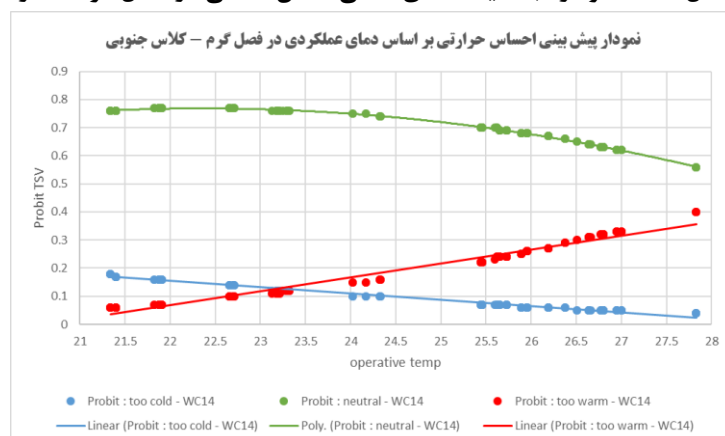
نمودار شکل ۴-۹، پیش‌بینی پاسخ‌های دانشجویان به احساس حرارتی در بازه‌های مختلف دما است، رنگ قرمز مقدار آرای خیلی گرم، رنگ آبی محدوده خیلی سرد و رنگ سبز وضعیت خنثی را نشان می‌دهد، معادله لجستیک فصل گرم برای کلاس شمالی به صورت زیر است و محدوده دمای خنثی بین ۲۰/۷ الی ۲۴/۶ درجه قرار دارد، طبق این معادله پیش‌بینی بهترین احتمال دمای خنثی مشخص می‌گردد.

$$\text{Logit}(p) = -4/144 + 0/262 * OT \quad (4-4)$$

طبق این نمودار شکل ۴-۱۰ که مربوط به محاسبه پیش‌بینی احتمال دمای خنثی است، نمودار زیر برای کلاس شمالی ترسیم گردید. طبق این نمودار بیشترین احتمال مربوط به دمای ۲۴/۶ و در بازه ۲۰/۷ الی ۲۴/۶ درجه سانتی‌گراد قرار دارد.



شکل ۴-۱۰. نمودار لجستیک دمای خنثی کلاس شمالی در فصل گرم، نگارنده.

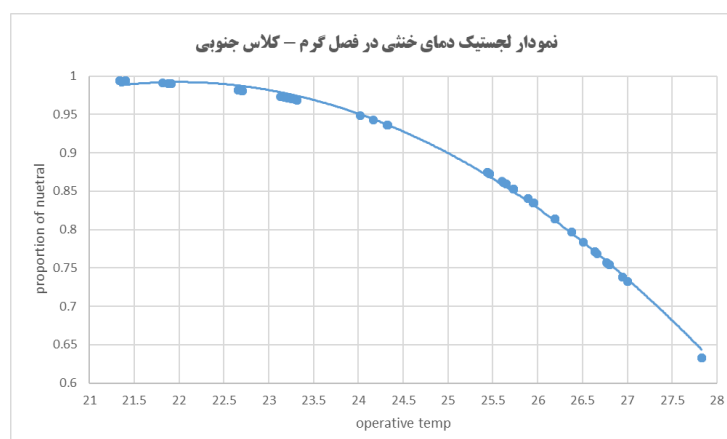


شکل ۴-۱۱. نمودار رابطه احساس حرارتی با دمای عملکردی کلاس جنوبی در فصل گرم، نگارنده.

نمودار شکل ۴-۱۱ بالا، پیش بینی پاسخ‌های دانشجویان به احساس حرارتی در بازه‌های مختلف دما است، رنگ قرمز مقدار آرای خیلی گرم، رنگ آبی محدوده خیلی سرد و رنگ سبز وضعیت خنثی را نشان می‌دهد، معادله لجستیک فصل گرم برای کلاس جنوبی به صورت زیر است و محدوده دمای خنثی بین ۲۱/۴ الی ۲۷/۹ درجه قرار دارد، طبق این معادله ۴-۵ پیش‌بینی بهترین احتمال دمای خنثی مشخص می‌گردد.

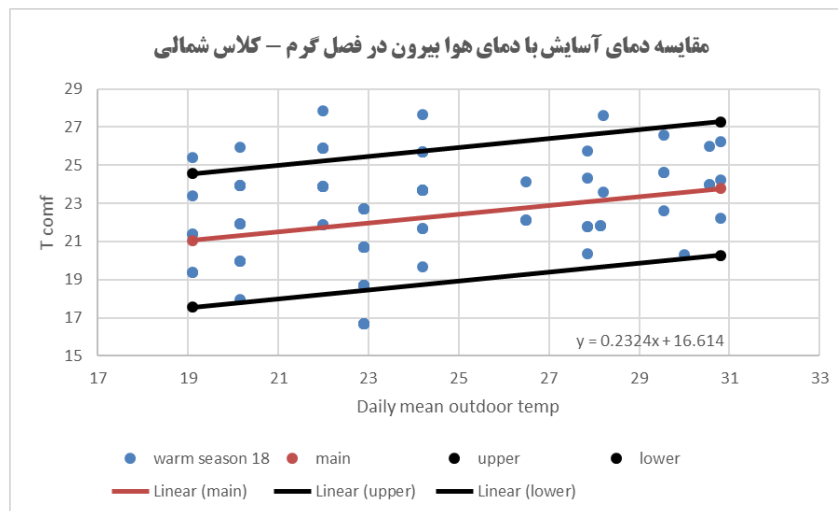
$$\text{Logit}(p) = 9.746 - 0.338 * OT \quad (4-5)$$

طبق این نمودار که مربوط به محاسبه پیش‌بینی احتمال دمای خنثی است، نمودار زیر برای کلاس جنوبی ترسیم گردید. طبق این نمودار بیشترین احتمال مربوط به دمای ۲۱/۵ و در بازه ۲۱/۴ الی ۲۷/۹ درجه سانتی‌گراد قرار دارد.



شکل ۴-۱۲. نمودار لجستیک دمای خنثی کلاس جنوبی در فصل گرم، نگارنده.

۱,۱,۱,۱,۱,۱۰ رابطه دمای آسایش با دمای هوای بیرون
 رابطه دیگری برای یافتن دمای خنثی طبق مدل ارائه شده در اشری وجود دارد، این مدل براساس رابطه بین دمای آسایش در داخل و دمای هوا بیرون است، این نمودار محدوده آسایش را برای ۸۰ درصد رضایت کاربران در محیط نشان می‌دهد طبق این مدل بازه مثبت و منفی ۳/۵ درجه را به عنوان محدوده آسایش در نظر می‌گیریم، این روش برای فضاهایی با تهویه طبیعی مناسب است. در این پژوهش این رابطه فقط در فصل گرم استفاده شده است [۵]، شکل شماره ۴-۱۳ نمودار رابطه خطی دمای آسایش داخلی با دمای هوای بیرون را نشان می‌دهد و در محیط اکسل این نمودار ترسیم گردید.

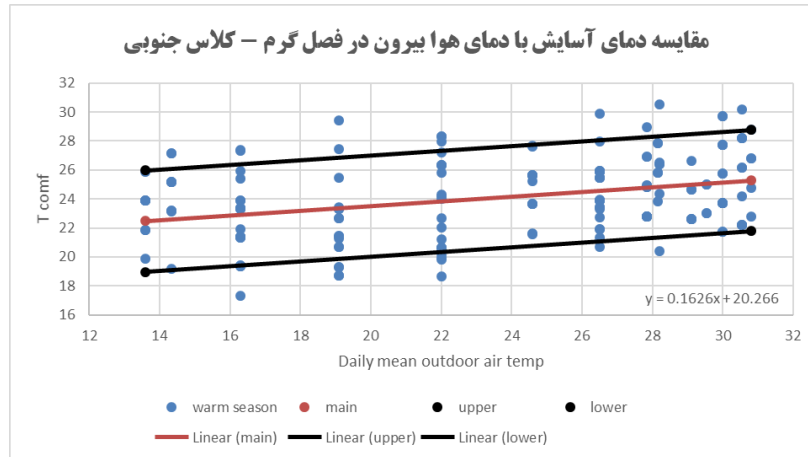


شکل ۴-۱۳. مقایسه دمای آسایش با دمای هوا بیرون در فصل گرم در کلاس شمالی، نگارنده.

در نمودار بالا، در فصل گرم کلاس شمالی محدوده دمای آسایش در بازه بین ۱۷/۵ الی ۲۷/۲ درجه سانتی‌گراد است و دمای بیرون در بازه ۱۹ الی ۳۱ درجه سانتی‌گراد قرار دارد. متوسط دمای آسایش طبق رابطه معادله خط رگرسیون در فصل گرم برای کلاس شمالی در محدوده ۲۱/۰۵ الی ۲۳/۷۷ درجه قرار دارد.

در نمودار شکل شماره ۴-۱۴، در فصل گرم کلاس جنوبی محدوده دمای آسایش در بازه بین ۱۸/۵ الی ۲۸/۵ درجه سانتی‌گراد است و دمای بیرون در بازه ۱۳ الی ۳۱ درجه سانتی‌گراد قرار دارد. متوسط دمای

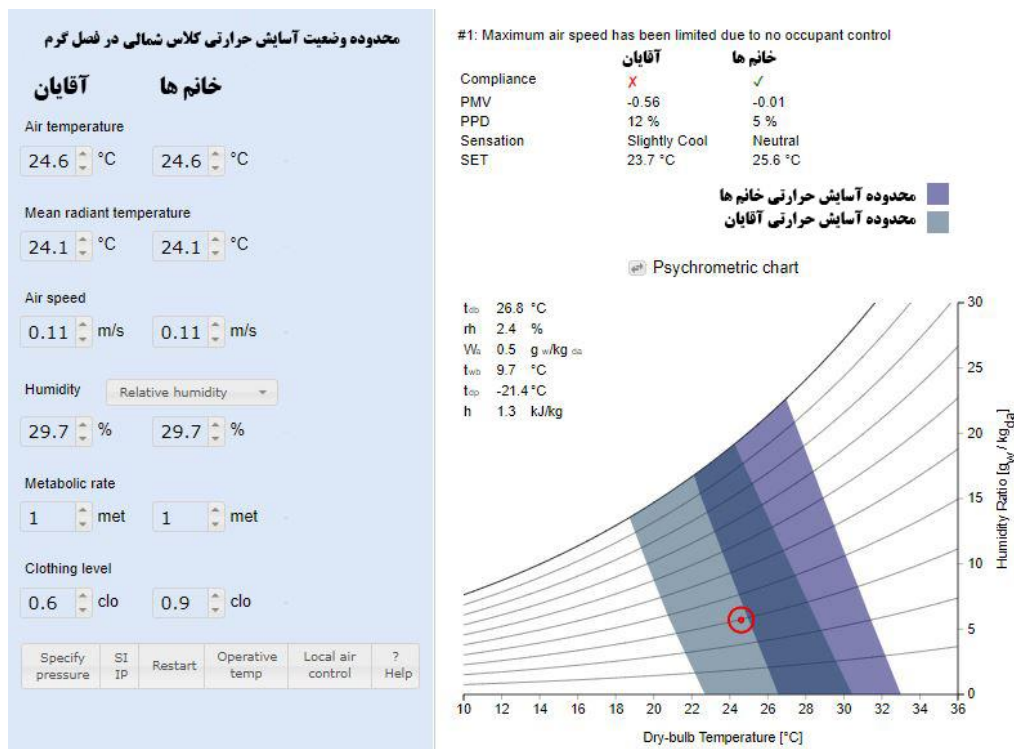
آسایش طبق رابطه معادله خط رگرسیون در فصل گرم برای کلاس جنوبی در محدوده ۲۲/۴۷ الی ۲۵/۲۷ درجه قرار دارد، در نتیجه شاهد اختلاف حدود دو درجه بین هر دو کلاس شمالی و جنوبی هستیم.



شکل ۴-۱۴. مقایسه دمای آسایش با دمای هوا بیرون در فصل گرم در کلاس جنوبی ، نگارنده.

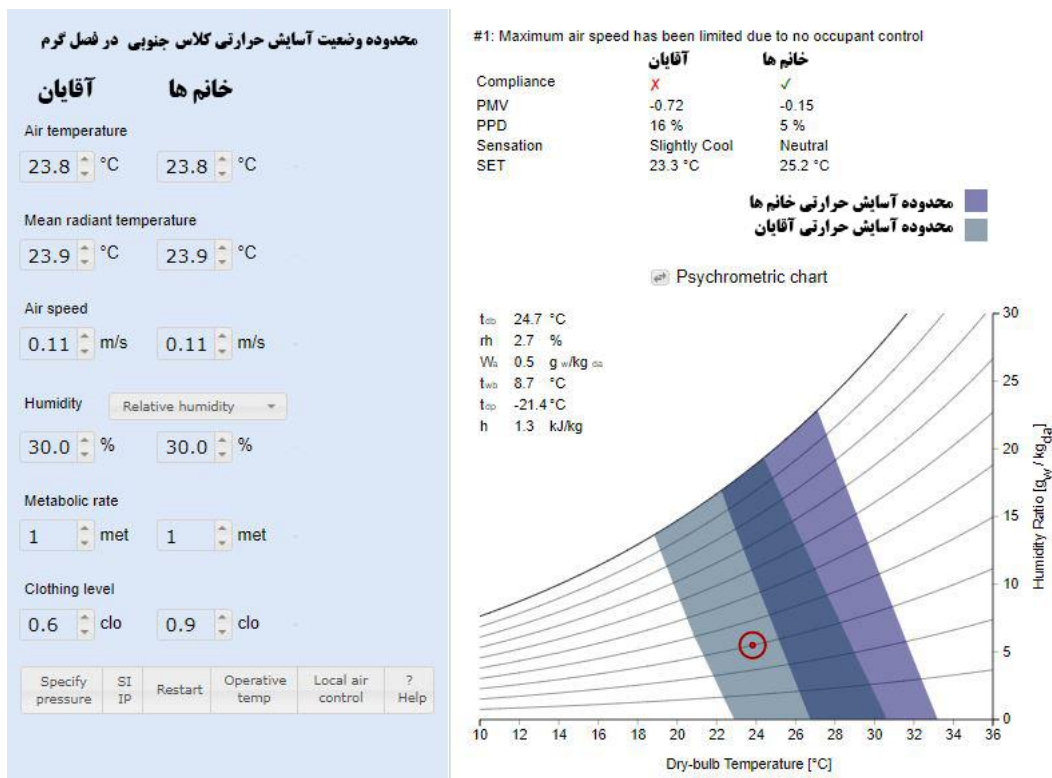
۱,۱,۱,۱,۱,۱ محدوده دمای آسایش

استاندارد بین‌المللی اشری، برای تعیین محدوده دمای آسایش نمودار سایکرومتریک را مناسب این موضوع میدانند و ترسیم این نمودار نیز وبسایت دانشگاه برکلی را برای تعیین محدوده آسایش حرارتی پیشنهاد کرده است، در این بخش داده‌های مورد نظر را در سایت قرار داده و ترسیم نمودار صورت می‌گیرد.



شکل ۴-۱۵. محدوده وضعیت آسایش حرارتی کلاس شمالی در فصل گرم، نگارنده.

براساس شکل ۴-۱۵ در کلاس شمالی، خانم‌ها در وضعیت خنثی، متوسط آرای پیش‌بینی شده برابر ۰/۰۱- و ۵ درصد عدم رضایت نشان می‌دهد، دمای موثر استاندارد برای خانم‌ها ۲۵/۶ درجه سانتی‌گراد است و محدوده پیشنهادی دمای آسایش حرارتی ۲۶/۵ الی ۳۳ درجه سانتی‌گراد است. آقایان در وضعیت کمی خنک، متوسط آرای پیش‌بینی شده برابر ۰/۵۶- و ۱۲ درصد عدم رضایت نشان می‌دهد، دمای موثر استاندارد برای آقایان ۲۳/۷ درجه سانتی‌گراد است و محدوده پیشنهادی دمای آسایش حرارتی ۲۳ الی ۳۰/۵ درجه سانتی‌گراد است. همپوشانی محدوده خانم‌ها و آقایان را به عنوان محدوده مناسب برای هر دو جنسیت در نظر گرفته‌ایم در این کلاس این محدوده بین ۲۶/۵ الی ۳۰/۵ درجه پیشنهاد شده است.



شکل ۴-۱۶. محدوده وضعیت آسایش حرارتی کلاس جنوبی در فصل گرم، نگارنده.

بر اساس شکل ۴-۱۶ در کلاس جنوبی، خانم ها در وضعیت خنثی، متوسط آرای پیش بینی شده برابر ۰/۱۵- و ۵ درصد عدم رضایت نشان می دهد، دمای موثر استاندارد برای خانم ها ۲۵/۲ درجه سانتی گراد است و محدوده پیشنهادی دمای آسایش حرارتی ۲۶/۵ الی ۳۳ درجه سانتی گراد است. آقایان در وضعیت کمی خنک، متوسط آرای پیش بینی شده برابر ۰/۷۲- و ۱۶ درصد عدم رضایت نشان می دهد، دمای موثر استاندارد برای آقایان ۲۳/۳ درجه سانتی گراد است و محدوده پیشنهادی دمای آسایش حرارتی ۲۳ الی ۳۰/۵ درجه سانتی گراد است. همپوشانی محدوده خانم ها و آقایان را به عنوان محدوده مناسب برای هر دو جنسیت در نظر گرفته ایم در این کلاس این محدوده بین ۲۶/۵ الی ۳۰/۵ درجه پیشنهاد شده است.

۴-۵-۱-۴ دمای ترجیحی^۱

دمای ترجیحی، دمایی است که کاربران ترجیح می‌دهند محیط از نظر حرارتی به چه صورتی تبدیل شود مکلنتایر برای اندازه‌گیری دمای ترجیحی سه مقیاس؛ گرمتر، بدون تغییر و سردتر را در نظر می‌گیرد [۷۰]، بالانتین^۲ و همکاران و فینی^۳ روش پیش‌بینی این دما را از طریق مدل پروبیت^۴ پیشنهاد می‌دهد و برای هر پاسخ گرمتر و سردتر این رگرسیون صورت گیرد [۷۱، ۷۲]، محل تلاقی این دو احتمال، دمای ترجیحی کاربران است [۷۳]. نمودار پروبیت وضعیتی است که در آن در ابتدا با استفاده از داده‌های مورد نظر محاسبات پیچیده ریاضی در نرم‌افزارهای آماری صورت می‌گیرد در نهایت با استفاده از نتایج معادله‌ای برای آن ایجاد کرده و در نهایت از طریق نرمال کردن داده‌ها نمودارهای مورد نظر ترسیم می‌گردد. در فصل گرم برای هر دو کلاس این مدل استفاده شده است و محل تلاقی دو خط بیانگر دمای ترجیحی در فصل گرم است. در کلاس هیجده برای فصل گرم، معادله خط ۴-۶ برای پاسخ به سوال گرمتر، معادله زیر بدست آمده است:

$$P(w) = -0.249 - 0.32 * OT \quad (6-4)$$

بر طبق این مدل؛ P پیش‌بینی ترجیح حرارتی کاربران به هر دمای عملکردی است و OT نیز دمای عملکردی مورد نظر است. در پاسخ به وضعیت سردتر نیز معادله ۴-۷ زیر بدست آمد:

$$P(C) = 3.985 - 0.19 * OT \quad (7-4)$$

سپس با استفاده از این دو معادله، نمودار دمای ترجیحی ترسیم گردید و پاسخ به زیر در آمده است، نتایج نشان می‌دهد که دو نمودار همدیگر را قطع نکرده است و این نشان از این است که نمیتوانیم پاسخ مناسبی را در نظر بگیریم، دلایل این موضوع کم بودن جامعه آماری و فاصله نزدیک دمایی است. به همین دلیل برای تعیین دمای ترجیحی، معادله‌ای نیز برای پاسخ کاربران به وضعیت بدون تغییر

^۱ Preferred temperature

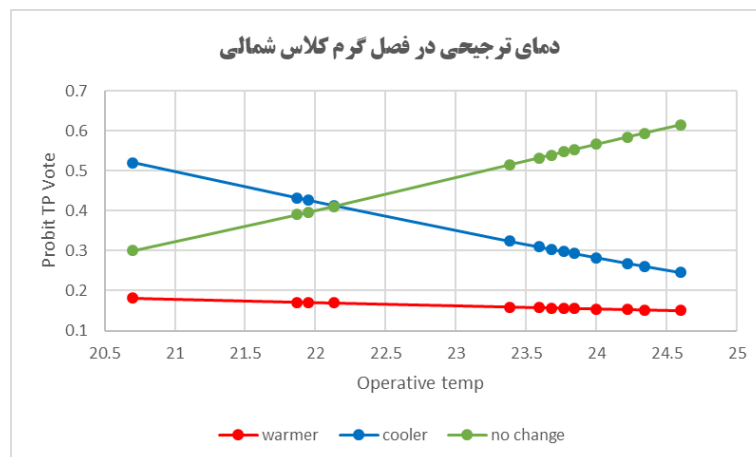
^۲ Ballantyne

^۳ Finney

^۴ Probit model

در نظر گرفته شده است، طبق این معادله ۴-۸ بیشترین احتمال برای دمای ۲۴/۵ درجه در فصل گرم برای این کلاس است، شکل شماره ۴-۱۷.

$$P(O) = -۴/۸۴۹ + ۰/۲۰۹ * OT \quad (۴-۸)$$



شکل ۴-۱۷. نمودار پروبیت دمای ترجیحی در فصل گرم کلاس شمالی، نگارنده.

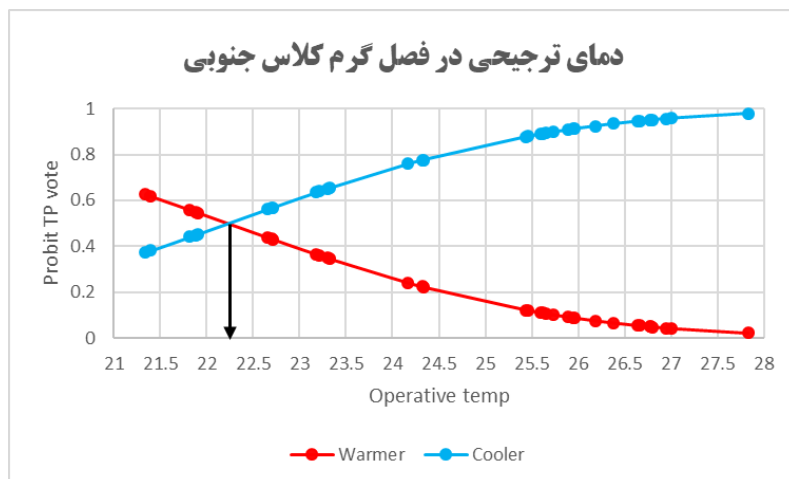
در کلاس جنوبی برای فصل گرم، معادله خط برای پاسخ به سوال گرمتر، معادله ۴-۹ زیر بدست آمده است:

$$P(w) = -۰/۳۶۳ * OT + ۸/۰۶۹ \quad (۴-۹)$$

بر طبق این مدل؛ P پیش‌بینی ترجیح حرارتی کاربران به هر دمای عملکردی است و OT نیز دمای عملکردی مورد نظر است. در پاسخ به وضعیت سردتر نیز معادله ۴-۱۰ زیر بدست آمد:

$$P(C) = ۰/۳۶۳ * OT - ۸/۰۶۹ \quad (۴-۱۰)$$

سپس با استفاده از این دو معادله، نمودار دمای ترجیحی ترسیم گردید و پاسخ به شکل شماره ۴-۱۸ در آمده است، نتایج نشان می‌دهد که دو نمودار همدیگر را قطع کرده است و این نشان از این است که می‌توانیم پاسخ مناسبی را در نظر بگیریم، دمای ترجیحی در فصل گرم برای این کلاس بین ۲۲ الی ۲۲/۵ است.



شکل ۴-۱۸. نمودار پروبیت دمای ترجیحی در فصل گرم کلاس جنوبی، نگارنده.

۵-۱-۵-۴ مقایسه مدل سازگاری^۱ با مدل اشری

در بخش گذشته مطابق با مطالعات صورت گرفته، محدوده دمای آسایش، دمای خنثی و دمای ترجیحی برای خانم‌ها و آقایان مشخص گردید. این بخش به بررسی مدل اشری منطبق بر استاندارد اشری ۵۵ می‌پردازد و همچنین مقایسه همزمان نتایج استاندارد اشری با مدل سازگاری پرداخته می‌شود.

۱، ۱، ۱، ۱، ۱۲ مقایسه احساس حرارتی با متوسط آرای پیش‌بینی شده
مقایسه احساس حرارتی و شاخص پیش‌بینی آرای کاربران یا PMV از طریق رگرسیون خطی صورت گرفته است علت این موضوع فقط نمایش تفاوت بین دو شاخص است و آیا شاهد همپوشانی هستیم یا خیر. نیز در این مقایسه شاخص PMV در نرم‌افزار اکسل محاسبه گردید و سپس با آرای احساس حرارتی مقایسه شده است. متغیر مستقل در این مقایسه دمای عملکردی است و متغیر وابسته شاخص PMV و آرای احساس حرارتی دانشجویان TSV است. متغیرهای تاثیرگذار در محاسبه شاخص آرای پیش‌بینی شده یا PMV؛ دما هوا، دما تشعشعی، درصد رطوبت نسبی، میزان پوشش و سرعت هوا است.

^۱ Adaptive model

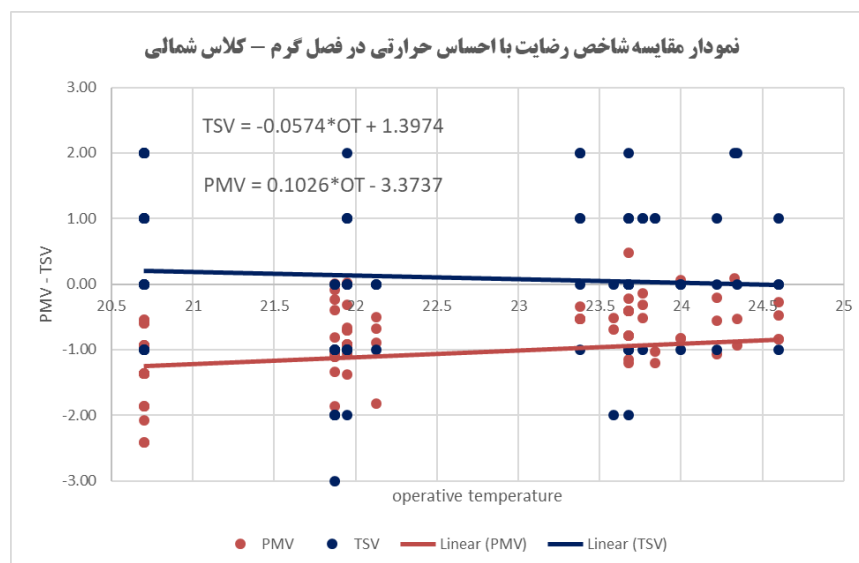
شکل ۴-۱۹، نمودار مقایسه آرای پیش‌بینی شده و آرای احساس حرارتی کاربران در فصل گرم برای

کلاس شمالی است. با بررسی این نمودار، معادله ۴-۱۱ احساس حرارتی به صورت زیر است:

$$TSV = -0.0574 * OT + 1.3974 \quad (4-11)$$

معادله ۴-۱۲ شاخص آرای پیش‌بینی شده نیز در این رابطه به صورت زیر است:

$$PMV = 0.1026 * OT - 3.3737 \quad (4-12)$$



شکل ۴-۱۹. نمودار مقایسه شاخص رضایت با احساس حرارتی کلاس شمالی در فصل گرم، نگارنده.

طبق مشاهدات شکل ۴-۱۹، معادله خط دو شاخص با یکدیگر متفاوت است و خط احساس حرارتی

بالاتر از شاخص رضایت است، از نظر دمای خنثی نیز خط رگرسیون احساس حرارتی دمای ۲۳/۵ الی

۲۴/۵ درجه را نشان می‌دهد ولی شدت رابطه آرای پیش‌بینی شده خیلی ضعیف است و شیب درستی

را نشان نمی‌دهد و نمیتوان نتیجه درستی را در نظر گرفت، به صورت کلی دو شاخص در این فصل با

یکدیگر متفاوت هستند و دمای خنثی قابل استنادی را به درستی نشان نمی‌دهند. در انتها، میتوان با

استفاده از معادله احساس حرارتی و متوسط آرای پیش‌بینی شده محدوده دمای پیشنهادی حداقل و

حداکثری هر دو شاخص را تعیین کرده، برای هر دو معادله محدوده عددی بین ۰/۸۵- الی ۰/۸۵ را در

معادله در نظر می‌گیریم. محدوده آسایش پیشنهادی برای احساس حرارتی در بازه ۹/۵ الی ۳۹/۱ درجه

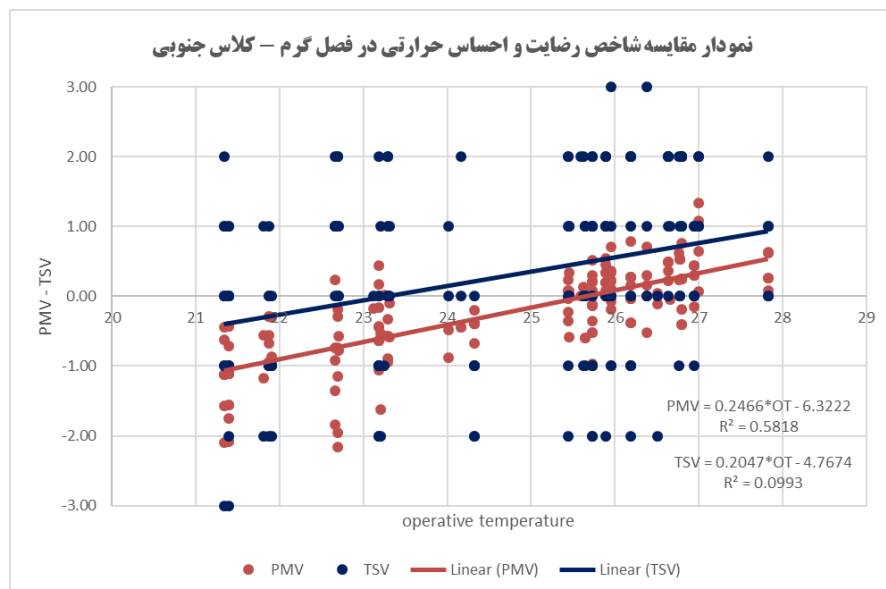
سانتی گراد و برای متوسط آرای پیش‌بینی شده محدوده ۲۴/۶۰ الی ۴۱/۱۷ درجه سانتی گراد را پیشنهاد می‌شود.

شکل ۴-۲۰، نمودار مقایسه آرای پیش‌بینی شده و آرای احساس حرارتی کاربران در فصل گرم برای کلاس جنوبی است. با بررسی این نمودار، معادله ۴-۱۳ احساس حرارتی به صورت زیر است:

$$TSV = 0.2047 * OT - 4.7674 \quad (4-13)$$

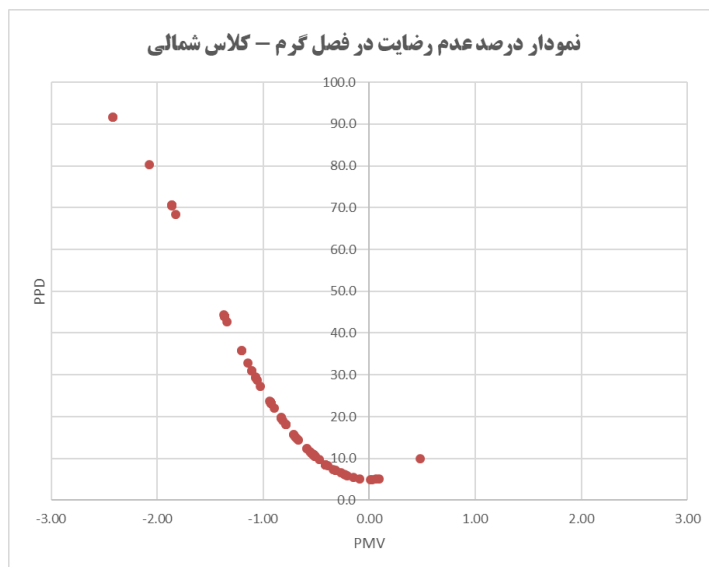
معادله ۴-۱۴ شاخص آرای پیش‌بینی شده نیز در این رابطه به صورت زیر است:

$$PMV = 0.2466 * OT - 6.3222 \quad (4-14)$$

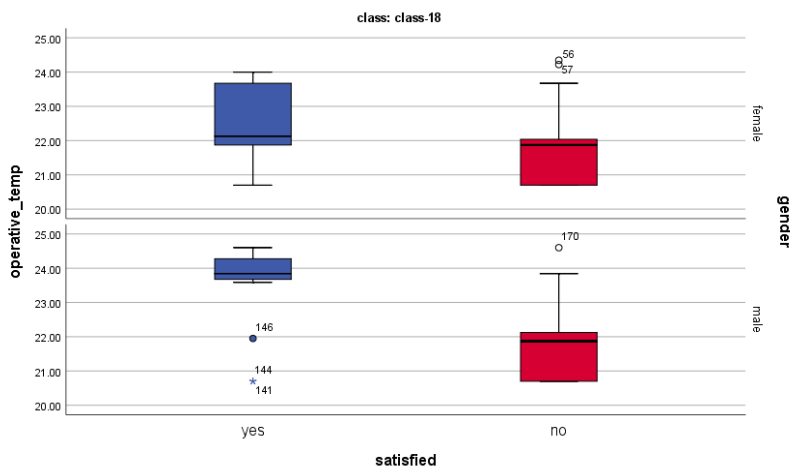


شکل ۴-۲۰. نمودار مقایسه شاخص رضایت با احساس حرارتی کلاس جنوبی در فصل گرم، نگارنده.

طبق مشاهدات نمودار بالا، معادله خط دو شاخص با یکدیگر متفاوت است و خط احساس حرارتی بالاتر از شاخص رضایت است، از نظر دمای خنثی نیز خط رگرسیون احساس حرارتی دمای ۲۳ درجه را نشان می‌دهد ولی شدت رابطه خیلی ضعیف است و نمیتوان نتیجه درستی را در نظر گرفت ولی نتیجه آرای پیش‌بینی شده قوی‌تر و دارای اعتبار بیشتری است و دمای ۲۵/۸ را نشان میدهد، به صورت کلی دو شاخص در این فصل با یکدیگر متفاوت هستند و دمای خنثی بین دو شاخص اختلاف ۲/۵ درجه‌ای را نشان میدهد. در انتها، میتوان با استفاده از معادله احساس حرارتی و متوسط آرای پیش‌بینی شده



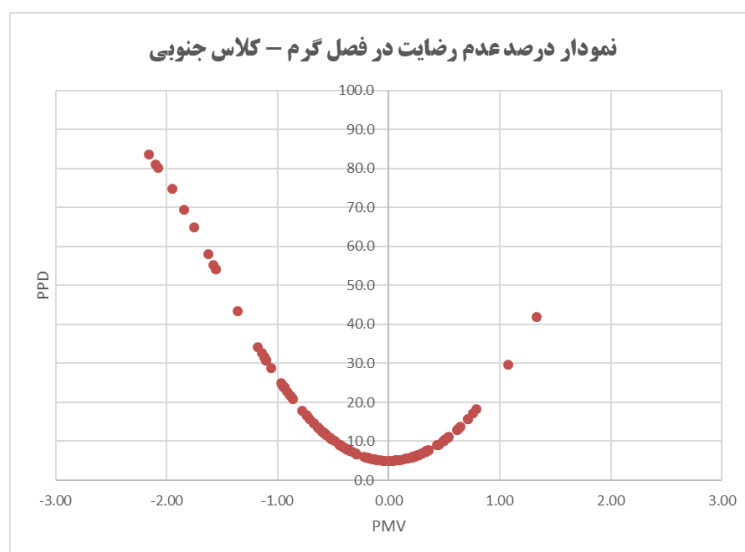
شکل ۴-۲۱. نمودار درصد عدم رضایت کلاس شمالی در فصل گرم ، نگارنده.



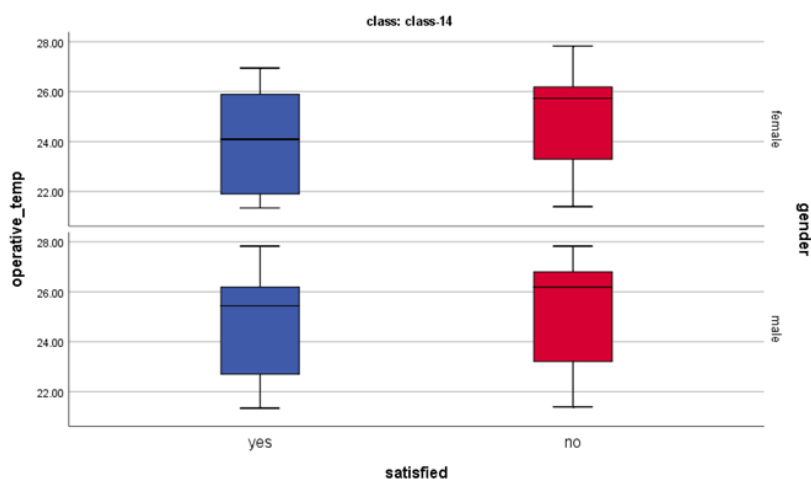
شکل ۴-۲۲. نمودار جعبه‌ای رضایت و عدم رضایت کلاس شمالی در فصل گرم ، نگارنده.

براساس شکل ۴-۲۲، نیز، محدوده رضایت را در آقایان و خانم‌ها میتوان حدس زد، این محدوده برای آقایان حدود ۲۳/۵ الی ۲۴/۵ درجه با میانه ۲۳/۷ درجه است و در خانم‌ها این محدوده حدود ۲۰/۵ الی ۲۴ درجه سانتی‌گراد و میانه ۲۲ درجه است. در کلاس جنوبی نیز میزان عدم رضایت از شاخص PPD بین ۵ الی ۸۵ درصد در محدوده کمی گرم تا خنک است، بیشترین درصد عدم رضایت محدوده کمی خنک تا خنک است و محدوده این عدم رضایت بر طبق نمودار جعبه‌ای در خانم‌ها ۲۱/۵ الی ۲۸ درجه سانتی‌گراد و میانه ۲۵/۵ درجه است و برای آقایان نیز همین محدوده با میانه ۲۶ درجه سانتی‌گراد است. شکل شماره ۴-۲۳ و ۴-۲۴ به ترتیب نمودارهای درصد عدم رضایت و نمودار جعبه‌ای میزان رضایت در

کلاس جنوبی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۳. نمودار درصد عدم رضایت در کلاس جنوبی در فصل گرم ، نگارنده.

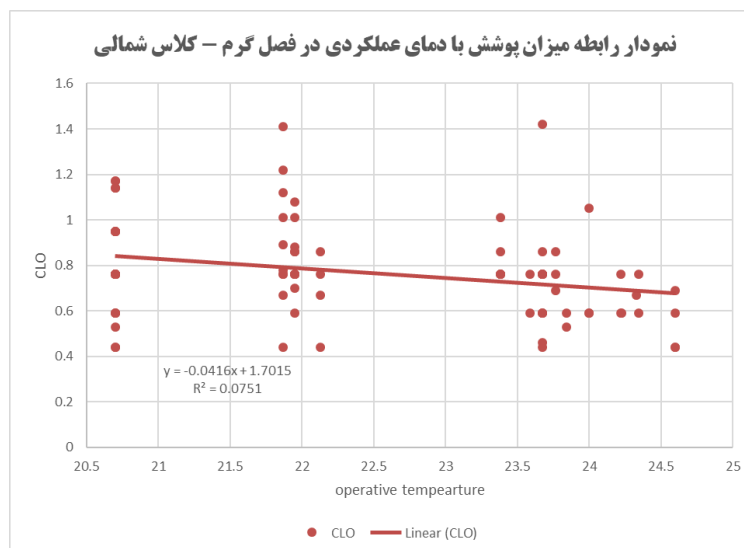


شکل ۴-۲۴. نمودار جعبه‌ای رضایت و عدم رضایت کلاس جنوبی در فصل گرم ، نگارنده.

براساس شکل ۴-۲۴ نیز، محدوده رضایت را در آقایان و خانم‌ها میتوان حدس زد، این محدوده برای آقایان حدود ۲۲/۵ الی ۲۷ درجه و میانه ۲۵/۵ درجه است و در خانم‌ها این محدوده حدود ۲۲ الی ۲۸ درجه سانتی‌گراد و میانه ۲۵/۵ درجه است، البته در کلاس جنوبی محدوده عدم رضایت تقریباً مشابه محدوده رضایت دانشجویان است و باید به میانه آن توجه کرد.

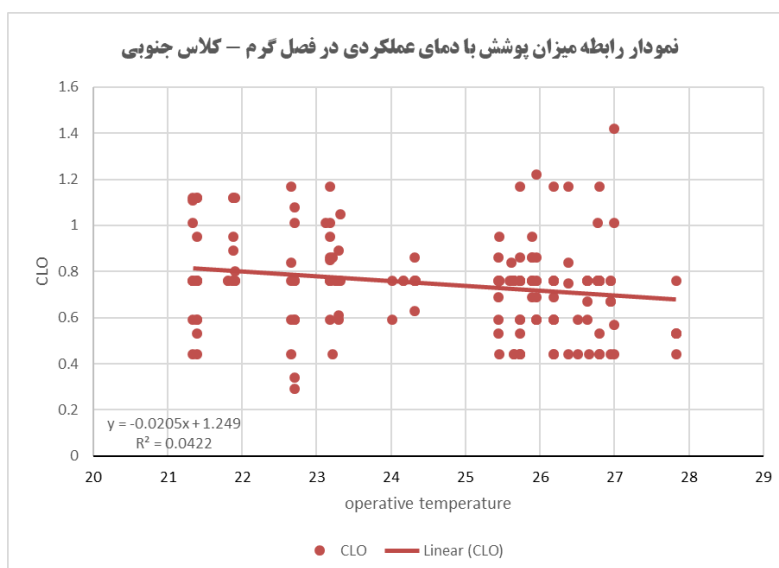
۱,۱,۱,۱,۱۴ مقایسه میزان پوشش با دمای عملکردی

بخش آخر، در مورد رابطه میزان پوشش و دما عملکردی است، با توجه کمی بودن هر دو متغیر در این رابطه از طریق رگرسیون خطی و با توجه استاندارد اشری ۵۵ صورت گرفته است، که در نتیجه رابطه و محدوده پوشش در هر کلاس در فصل گرم مشخص گردد.



شکل ۴-۲۵. نمودار رابطه میزان پوشش با دما عملکردی کلاس شمالی در فصل گرم، نگارنده.

در شکل ۴-۲۵، کلاس شمالی محدوده دمایی بین ۲۰/۶ الی ۲۴/۵ درجه و محدوده پوشش، ۰/۴ الی ۱/۴ است، رابطه این دو متغیر عکس یکدیگر و شدت رابطه کم است.



شکل ۴-۲۶. نمودار رابطه میزان پوشش با دما عملکردی کلاس جنوبی در فصل گرم، نگارنده.

این در شکل ۴-۲۶، کلاس جنوبی محدوده دمایی بین ۲۱/۵ الی ۲۸ درجه و محدوده پوشش، ۰/۴ الی

۱/۴ است، رابطه این دو متغیر عکس یکدیگر و شدت رابطه کم است.

۲-۵-۴ آسایش حرارتی در فصل سرد

جدول ۴-۱۴ زیر، آمار توصیفی هر دو کلاس شمالی و جنوبی در فصل سرد ارائه شده است، این اطلاعات شامل بازه، میانگین و انحراف از معیار متغیرهای محیطی و ذهنی کاربران و کلاس‌هاست.

جدول ۴-۱۴. خلاصه اطلاعات آماری در فصل سرد، نگارنده.

تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف از معیار	
۲۶۰	۳/۷۵	۲۴/۹۰	۱۴/۳۷۲۱	۶/۸۹۱۱۰	دمای هوا خارجی
۲۶۰	۱۹/۵۷	۲۸/۶۵	۲۳/۸۵۰۷	۲/۷۵۲۹۸	دمای عملکردی
۲۶۰	۰/۰۰	۱۸.	۰/۰۶۱۲	۰/۰۴۷۰۷	سرعت هوای داخل
۲۶۰	۱۵/۰۰	۴۰/۹۹	۲۶/۱۰۹۱	۱۰/۰۰۸۱۷	درصد رطوبت نسبی
۲۶۰	۰/۳۴	۱/۷۲	۹۶۲۸.	۳۳۶۶۱.	نرخ پوشش
۲۶۰	۱/۰۰	۱/۲۰	۱/۰۱۳۱	۰/۰۴۹۵۴	میزان فعالیت
۲۶۰	۲	۷	۳/۸۴	۱/۴۰۱	احساس حرارتی
۲۶۰	۳/۱۰-	۱/۵۳	۰/۱۴۶۷-	۸۸۸۷۵.	میزان رضایت
۲۶۰	۵/۰۰	۹۹/۵۰	۲۰/۵۳۷۳	۲۰/۳۳۳۷۱	درصد عدم رضایت

با توجه به جدول بالا، حداقل دمای هوا در خارج ساختمان ۳/۷۵ و حداکثر ۲۴/۹ درجه سانتی‌گراد با انحراف معیار ۶/۸۹ است، حداقل و حداکثر دمای عملکردی به ترتیب ۱۹/۵۷ و ۲۸/۶۵ درجه سانتی‌گراد با انحراف معیار ۲/۷۵ گزارش شده است. سرعت هوا در داخل حداکثر ۰/۱۸ متر بر ثانیه با انحراف معیار ۰/۰۴۷، درصد رطوبت نسبی در داخل بین ۱۵ الی ۴۰/۹۹ درصد است و متوسط رطوبت در داخل ۲۶/۱۰ درصد و با انحراف معیار ۱۰ است. نرخ پوشش بین بازه ۰/۳۴ الی ۱/۷۲ کلو و انحراف معیار ۰/۳۳ است. احساس حرارتی دانشجویان در بازه سرد و داغ گزارش شده است و انحراف معیار در حدود ۱/۴ است، میزان فعالیت به طور متوسط ۱/۰۱ است و این بدان معناست که دانشجویان اکثراً در وضعیت نشسته بوده‌اند. میزان رضایت به طور متوسط در بازه احساس کمی خنک قرار دارند و میزان عدم رضایت دانشجویان از محیط حداقل ۵ و حداکثر ۹۹/۵ درصد با انحراف از معیار ۲۰/۳۳ گزارش شده است. جدول ارائه شده ۴-۱۵ در زیر گزارش کاملی از تفاوت دو کلاس در فصل سرد را ارائه داده است.

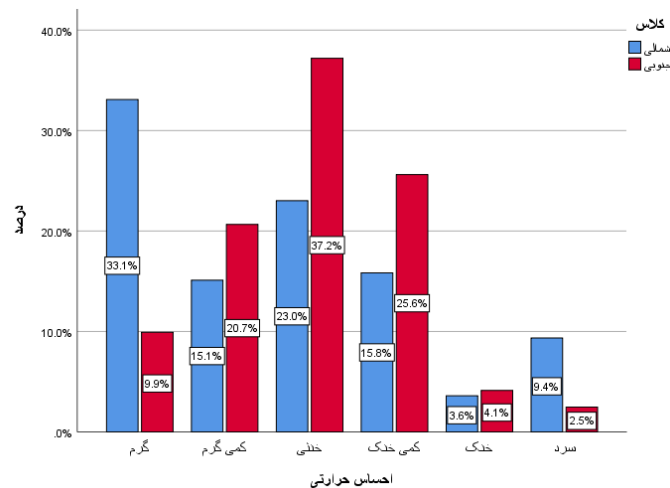
جدول ۴-۱۵. خلاصه اطلاعات آماری محیطی و ذهنی دانشجویان هر کلاس در فصل سرد، نگارنده.

کلاس	جنسیت		تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
کلاس شمالی	خانم	دما هوا خارج	۸۲	۳/۷۵	۲۴/۹۰	۱۴/۷۰۹۸	۶/۶۲۱۲۵
		دما عملکردی	۸۲	۲۰/۰۰	۲۸/۶۵	۲۴/۷۲۱۴	۲/۶۹۶۲۶
		سرعت هوا	۸۲	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۰۵۸	۰/۰۴۶۲۱
		رطوبت نسبی	۸۲	۱۵/۰۰	۴۰/۹۹	۲۵/۶۳۰۹	۱۱/۰۲۲۰۰
		پوشش	۸۲	۰/۵۹	۱/۷۱	۱/۰۱۸۰	۰/۳۱۶۷۹
		احساس حرارتی	۸۲	۲	۷	۳/۶۱	۱/۵۳۰
	آقا	دما هوا خارج	۵۷	۳/۷۵	۲۴/۹۰	۱۳/۳۷۱۹	۶/۲۰۴۳۳
		دما عملکردی	۵۷	۲۰/۰۰	۲۸/۶۵	۲۳/۷۸۴۲	۳/۲۲۴۸۶
		سرعت هوا	۵۷	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۰۶۴	۰/۰۵۱۳۷
		رطوبت نسبی	۵۷	۱۵/۰۰	۴۰/۹۹	۲۷/۳۹۹۱	۱۱/۱۴۴۷۲
		پوشش	۵۷	۰/۳۴	۱/۷۲	۰/۸۴۸	۰/۳۴۵۸۹
		احساس حرارتی	۵۷	۲	۷	۳/۸۲	۱/۶۹۲
کلاس جنوبی	خانم	دما هوا خارج	۶۶	۳/۷۵	۲۴/۹۰	۱۶/۰۹۳۲	۷/۲۳۹۹۸
		دما عملکردی	۶۶	۱۹/۵۷	۲۶/۶۵	۲۳/۶۳۵۶	۲/۴۲۰۸۹
		سرعت هوا	۶۶	۰/۰۰	۰/۱۵	۰/۰۵۸	۰/۰۴۱۹۵
		رطوبت نسبی	۶۶	۱۵/۰۰	۳۶/۷۳	۲۶/۴۵۵۰	۸/۷۴۸۲۹
		پوشش	۶۶	۰/۶۸	۱/۷۱	۱/۰۳۶۸	۰/۳۰۴۴۸
		احساس حرارتی	۶۶	۲	۶	۳/۹۴	۰/۹۹۰
	آقا	دما هوا خارج	۵۵	۳/۷۵	۲۴/۹۰	۱۲/۸۴۰۰	۷/۱۹۳۵۲
		دما عملکردی	۵۵	۱۹/۶۰	۲۶/۵۷	۲۲/۸۷۹۵	۲/۳۳۰۹۶
		سرعت هوا	۵۵	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۰۶۵	۰/۰۵۰۱۸
		رطوبت نسبی	۵۵	۱۵/۰۰	۳۶/۷۳	۲۵/۰۷۰۲	۸/۵۹۷۰۸
		پوشش	۵۵	۰/۴۴	۱/۷۱	۰/۹۰۹۶	۰/۳۵۹۶۸
		احساس حرارتی	۵۵	۲	۷	۴/۰۹	۱/۲۶۶

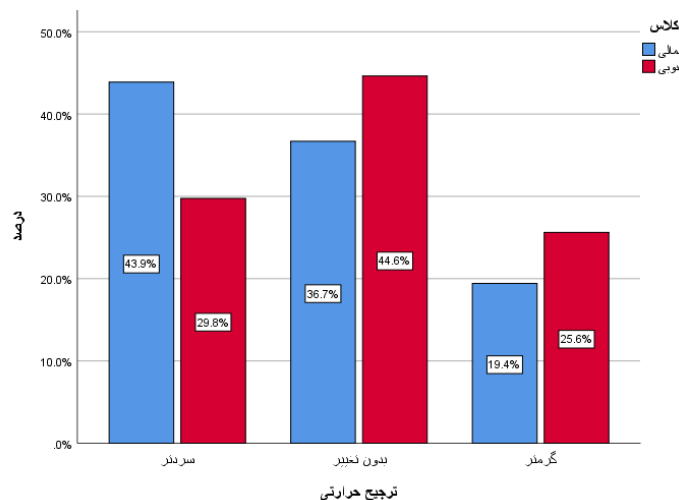
۴-۵-۲-۱ ترجیح حرارتی و احساس حرارتی

شکل ۴-۲۷، نمودار درصد فراوانی پاسخ کاربران به ترجیح حرارتی و احساس حرارتی در فصل سرد را نشان میدهد، نمودار احساس حرارتی از مقیاس هفتگانه اشری تبعیت میکند و در بازه داغ، گرم، کمی گرم، خنثی، کمی خنک و سرد قرار دارد. براساس این نمودار در کلاس شمالی ۲۳ درصد و در کلاس جنوبی ۳۷/۲ درصد احساس خنثی، از حالت خنثی به سمت احساس سرد به ترتیب در کلاس

شمالی ۱۵/۸، ۳/۶ و ۹/۴ درصد و در کلاس جنوبی به ترتیب ۲۵/۶، ۴/۱ و ۲/۵ درصد احساس سرما را حس می کنند و برعکس این وضعیت از خنثی به سمت چپ در کلاس شمالی ۱۵/۱، ۳۳/۱ درصد و در کلاس جنوبی ۲۰/۷ و ۹/۹ درصد احساس گرما می کنند.



شکل ۴-۲۷. نمودار درصد فراوانی احساس حرارتی در هر کلاس در فصل سرد، نگارنده. شکل ۴-۲۸، نیز بیانگر نمودار درصد ترجیح حرارتی کاربران به محیط است، طبق نمودار زیر در کلاس شمالی، ۳۶/۷ درصد وضعیت بدون تغییر، ۴۳/۹ درصد وضعیت سردتر و ۱۹/۴ درصد وضعیت گرمتر را ترجیح می دهند. در کلاس جنوبی، نیز ۴۴/۶ درصد وضعیت بدون تغییر، ۲۹/۸ درصد وضعیت سردتر و ۲۵/۶ درصد وضعیت گرمتر را ترجیح می دهند، همانطور که مشخص است تفاوتی چشمگیری بین دو کلاس مشاهده نشده است.



شکل ۴-۲۸. نمودار درصد فراوانی ترجیح حرارتی در هر کلاس در فصل سرد، نگارنده. طبق جدول ۴-۱۶ رابطه این دو متغیر نشان می دهد که در کلاس شمالی، خانم ها ۳۴/۱ درصد در حالت

خنثی و آقایان ۳۳/۳ درصد در وضعیت خنثی و بدون تغییر را ترجیح داده‌اند، در حالت خیلی سرد خانم‌ها صفر درصد و آقایان صفر درصد وضعیت بدون تغییر را ترجیح می‌دهند، در حالت خیلی گرم خانم‌ها ۱/۲ درصد و آقایان ۵/۳ درصد وضعیت بدون تغییر را ترجیح داده‌اند. به طور کلی در این کلاس نیمی از خانم‌ها و آقایان در وضعیت خنثی هستند و وضعیت بدون تغییر را ترجیح می‌دهند و مقدار کمی از آقایان و خانم‌ها وضعیت خیلی گرم را ترجیح داده‌اند که بدون تغییر است. در کلاس جنوبی، خانم‌ها ۴۵/۵ درصد در حالت خنثی و آقایان ۴۳/۶ درصد در وضعیت خنثی و بدون تغییر را ترجیح داده‌اند، در حالت خیلی سرد خانم‌ها صفر درصد و آقایان صفر درصد وضعیت بدون تغییر را ترجیح می‌دهند، در حالت خیلی گرم خانم‌ها صفر درصد و آقایان صفر درصد وضعیت بدون تغییر را ترجیح داده‌اند. به طور کلی در این کلاس خانم‌ها و آقایان در وضعیت خنثی هستند و وضعیت بدون تغییر را ترجیح می‌دهند.

جدول ۴-۱۶. جدول متقاطع احساس حرارتی و ترجیح حرارتی هر کلاس در فصل سرد، نگارنده.

کلاس	جنسیت				احساس حرارتی			کل
	گرمتر		بدون تغییر	سردتر	خیلی سرد	خنثی	خیلی گرم	
شمالی	خانم	۲۹	تعداد	۹	۳	۰	۱۲	
			درصد	۱۱/۰	۳/۷	۰/۰	۱۴/۶	
			تعداد	۰	۲۸	۱	۲۹	
			درصد	۰/۰	۳۴/۱	۱/۲	۳۵/۴	
	آقا	۲۹	تعداد	۰	۱۶	۲۵	۴۱	
			درصد	۰/۰	۱۹/۵	۳۰/۵	۵۰/۰	
			تعداد	۹	۴۷	۲۶	۸۲	
			درصد	۱۱/۰	۵۷/۳	۳۱/۷	۱۰۰/۰	
جنوبی	خانم	۲۹	تعداد	۹	۶	۰	۱۵	
			درصد	۱۵/۸	۱۰/۵	۰/۰	۲۶/۳	
			تعداد	۰	۱۹	۳	۲۲	
			درصد	۰/۰	۳۳/۳	۵/۳	۳۸/۶	
	آقا	۲۹	تعداد	۰	۳	۱۷	۲۰	
			درصد	۰/۰	۵/۳	۲۹/۸	۳۵/۱	
			تعداد	۹	۲۸	۲۰	۵۷	
			درصد	۱۱/۰	۳۴/۱	۲۶/۳	۵۰/۰	

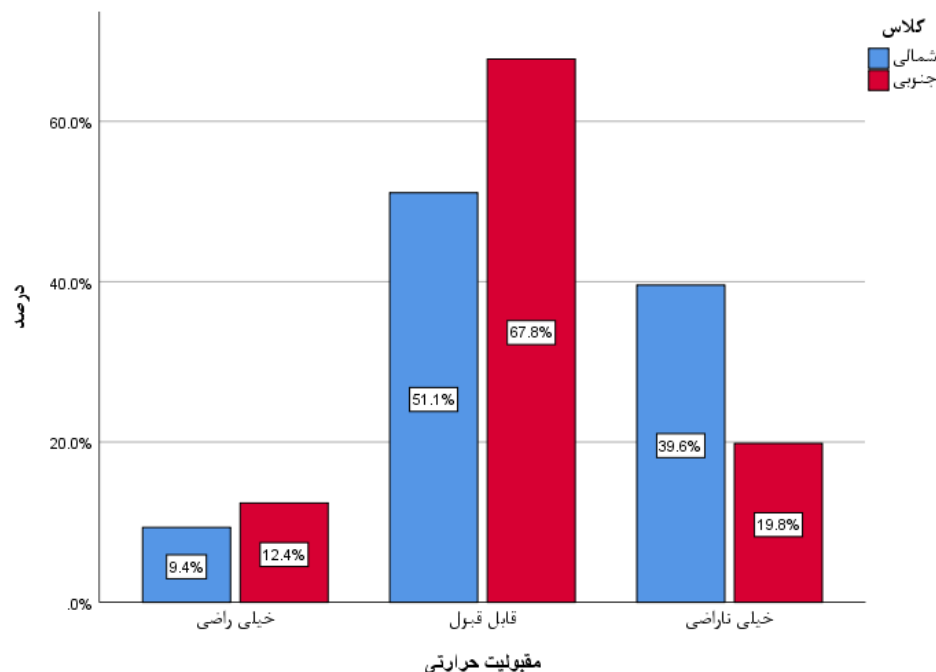
۱۰۰/۰	۳۵/۱	۴۹/۱	۱۵/۸	درصد				
۱۶	۰	۱۳	۳	تعداد	گرمتر	بدون تغییر	خانم	جنوبی
۲۴/۲	۰/۰	۱۹/۷	۴/۵	درصد				
۳۰	۰	۳۰	۰	تعداد	بدون تغییر			
۴۵/۵	۰/۰	۴۵/۵	۰/۰	درصد				
۲۰	۵	۱۵	۰	تعداد	سردتر			
۳۰/۳	۷/۶	۲۲/۷	۰/۰	درصد				
۶۶	۵	۵۸	۳	تعداد	کل			
۱۰۰/۰	۷/۶	۸۷/۹	۴/۵	درصد				
۱۵	۰	۱۰	۵	تعداد	گرمتر	بدون تغییر	آقا	
۲۷/۳	۰/۰	۱۸/۲	۹/۱	درصد				
۲۴	۰	۲۴	۰	تعداد	بدون تغییر			
۴۳/۶	۰/۰	۴۳/۶	۰/۰	درصد				
۱۶	۷	۹	۰	تعداد	سردتر			
۲۹/۱	۱۲/۷	۱۶/۴	۰/۰	درصد				
۵۵	۷	۴۳	۵	تعداد	کل			
۱۰۰/۰	۱۲/۷	۷۸/۲	۹/۱	درصد				

۴-۵-۲-۲ میزان رضایت و مقبولیت حرارتی

در بحث مقبولیت حرارتی، سه رویکرد متفاوت برای ارزیابی محیط در نظر گرفته شده است، بخش اول میزان مقبولیت حرارتی، بخش دوم میزان رابطه رضایت از محیط و ترجیح حرارتی و بخش سوم رویکرد مربوط به رابطه بین مقبولیت حرارتی و احساس حرارتی است.

۱، ۱، ۱، ۱، ۱، ۱۵ مقبولیت حرارتی

طبق شکل شماره ۴-۲۹ به صورت کلی در کلاس شمالی، ۵۱/۱ درصد کلاس از نظر حرارتی قابل قبول و ۹/۴ درصد خیلی راضی و ۳۹/۶ درصد خیلی ناراضی بودند. در کلاس جنوبی، ۶۷/۸ درصد قابل قبول، ۱۲/۴ درصد خیلی راضی و ۱۹/۸ درصد خیلی ناراضی هستند. طبق این بررسی میزان رضایت از کلاس جنوبی به طور کلی نسبت به کلی شمالی بیشتر است.



شکل ۴-۲۹. میزان مقبولیت حرارتی در هر کلاس در فصل سرد، نگارنده.

جدول شماره ۴-۱۷ به رابطه بین میزان مقبولیت بر هر دوجنسیت میپردازد، بر طبق این جدول در کلاس شمالی میزان مقبولیت در بین خانمها ۳۱/۷ درصد و در بین آقایان ۱۹/۴ درصد است. در کلاس جنوبی نیز، ۴۲/۱ درصد خانمها و ۲۵/۶ درصد آقایان به وضعیت قابل قبول رای داده‌اند.

جدول ۴-۱۷. جدول متقاطع رابطه بین میزان مقبولیت و جنسیت در هر کلاس در فصل سرد، نگارنده.

کل	مقبولیت حرارتی			کلاس			
	خیلی راضی	قابل قبول	خیلی ناراضی				
۸۲	۷	۴۴	۳۱	تعداد	خانم	جنسیت	شمالی
۵۹/۰	۵/۰	۳۱/۷	۲۲/۳	درصد			
۵۷	۶	۲۷	۲۴	تعداد	آقا		
۴۱/۰	۴/۳	۱۹/۴	۱۷/۳	درصد			
۱۳۹	۱۳	۷۱	۵۵	تعداد	کل		
۱۰۰/۰	۹/۴	۵۱/۱	۳۹/۶	درصد			
۶۶	۶	۵۱	۹	تعداد	خانم	جنسیت	جنوبی
۵۴/۵	۵/۰	۴۲/۱	۷/۴	درصد			
۵۵	۹	۳۱	۱۵	تعداد	آقا		
۴۵/۵	۷/۴	۲۵/۶	۱۲/۴	درصد			
۱۲۱	۱۵	۸۲	۲۴	تعداد	کل		
۱۰۰/۰	۱۲/۴	۶۷/۸	۱۹/۸	درصد			

۱,۱,۱,۱,۱۶ میزان رضایت و ترجیح حرارتی

جدول شماره ۴-۱۸ به رابطه بین میزان رضایت و ترجیح حرارتی دانشجویان در کلاس‌های شمالی و جنوبی در فصل سرد می‌پردازد. طبق این رابطه، در کلاس شمالی خانم‌ها ۲۶/۸ درصد بدون تغییر، ۱۷/۱ درصد سردتر و ۸/۵ درصد گرمتر رضایت دارند و آقایان ۲۴/۶ درصد بدون تغییر، ۱۴ درصد سردتر و ۱۴ درصد گرمتر رضایت دارند، در نتیجه خانم‌ها و آقایان تمایل به تغییر وضعیت و تغییر شرایط را ترجیح داده‌اند و هر دو گروه نسبت به تغییر وضعیت حرارتی رضایت دارند. در کلاس جنوبی، خانم‌ها ۳۱/۸ درصد بدون تغییر، ۱۹/۷ درصد سردتر و ۱۵/۲ درصد گرمتر رضایت دارند و آقایان ۳۲/۷ درصد بدون تغییر، ۱۶/۴ درصد سردتر و ۱۰/۹ درصد گرمتر رضایت دارند، در نتیجه خانم‌ها و آقایان تمایل به تغییر وضعیت و تغییر شرایط را ترجیح داده‌اند و هر دو گروه نسبت به تغییر وضعیت حرارتی رضایت دارند.

جدول ۴-۱۸. جدول متقاطع رضایت و ترجیح حرارتی خانم‌ها و آقایان دو کلاس در فصل سرد، نگارنده.

کلاس	جنسیت			ترجیح حرارتی			کل	
	خانم	رضاییه	بله	تعداد	گرمتر	بدون تغییر		سردتر
خانم				رضاییه	بله	تعداد	۷	۲۲
	درصد	۸/۵	۲۶/۸			۱۷/۱	۵۲/۴	
	تعداد	۵	۷			۲۷	۳۹	
	درصد	۶/۱	۸/۵			۳۲/۹	۴۷/۶	
شمالی	آقا	رضاییه	بله	تعداد	۱۲	۲۹	۴۱	۸۲
				درصد	۱۴/۶	۳۵/۴	۵۰/۰	۱۰۰
				تعداد	۸	۱۴	۸	۳۰
				درصد	۱۴/۰	۲۴/۶	۱۴/۰	۵۲/۶
	آقا	رضاییه	خیر	تعداد	۷	۸	۱۲	۲۷
				درصد	۱۲/۳	۱۴/۰	۲۱/۱	۴۷/۴
				تعداد	۱۵	۲۲	۲۰	۵۷
				درصد	۲۶/۳	۳۸/۶	۳۵/۱	۱۰۰
	خانم	رضاییه	بله	تعداد	۱۰	۲۱	۱۳	۴۴
				درصد	۱۵/۲	۳۱/۸	۱۹/۷	۶۶/۷
تعداد				۶	۹	۷	۲۲	
درصد				۹/۱	۱۳/۶	۱۰/۶	۳۳/۳	

۶۶	۲۰	۳۰	۱۶	تعداد	کل		آقا
۱۰۰	۳۰/۳	۴۵/۵	۲۴/۲	درصد			
۳۳	۹	۱۸	۶	تعداد	بله	خیر	
۶۰/۰	۱۶/۴	۳۲/۷	۱۰/۹	درصد			
۲۲	۷	۶	۹	تعداد	خیر		
۴۰/۰	۱۲/۷	۱۰/۹	۱۶/۴	درصد			
۵۵	۱۶	۲۴	۱۵	تعداد	کل		
۱۰۰	۲۹/۱	۴۳/۶	۲۷/۳	درصد			

۱,۱,۱,۱,۱۷ میزان رضایت و احساس حرارتی

جدول شماره ۴-۱۹، رابطه بین احساس حرارتی در مقیاس جدید و میزان رضایت دانشجویان در دو کلاس بررسی شده است و نتایج بدین شرح است که در کلاس شمالی، خانمها ۳۷/۸ درصد از وضعیت خنثی رضایت دارند و در آقایان بیشترین میزان رضایت ۳۱/۶ درصد در وضعیت خنثی است، در نتیجه خانمها از آقایان بیشتر از کلاس شمالی در فصل گرم رضایت دارند. در کلاس جنوبی، ۵۶/۱ درصد از خانمها و ۴۷/۳ درصد از آقایان از وضعیت کلاس راضی هستند و این میزان تقریباً برای هر دو جنسیت در کلاس مشابه است، ولی در نتیجه نهایی باید گفت نیمی از جمعیت هر دو کلاس در وضعیت خنثی و از محیط رضایت دارند و بقیه نیز از وضعیت خیلی گرم ناراضی هستند.

جدول ۴-۱۹. جدول متقاطع رضایت و احساس حرارتی خانمها و آقایان دو کلاس در فصل سرد، نگارنده.

کلاس	جنسیت				احساس حرارتی			کل
	خانم	رضایت	بله	تعداد	خیلی سرد	خنثی	خیلی گرم	
شمالی		رضایت	بله	تعداد	۵	۳۱	۷	۴۳
				درصد	۶/۱	۳۷/۸	۸/۵	۵۲/۴
		خیر	تعداد	۴	۱۶	۱۹	۳۹	
			درصد	۴/۹	۱۹/۵	۲۳/۲	۴۷/۶	
	کل	تعداد	۹	۴۷	۲۶	۸۲		
		درصد	۱۱/۰	۵۷/۳	۳۱/۷	۱۰۰/۰		
آقا	رضایت	بله	تعداد	۴	۱۸	۸	۳۰	
			درصد	۷/۰	۳۱/۶	۱۴/۰	۵۲/۶	
	خیر	تعداد	۵	۱۰	۱۲	۲۷		
		درصد	۸/۸	۱۷/۵	۲۱/۱	۴۷/۴		

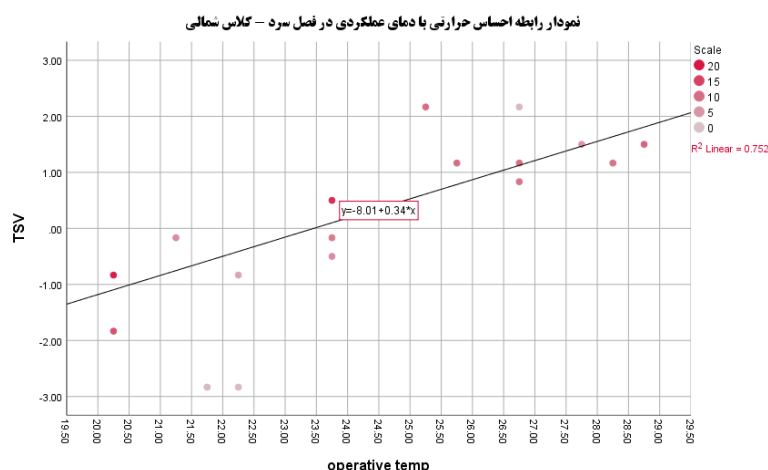
۵۷	۲۰	۲۸	۹	تعداد	کل		خانم	جنوبی	
۱۰۰/۰	۳۵/۱	۴۹/۱	۱۵/۸	درصد					
۴۴	۴	۳۷	۳	تعداد	بله	رضایت			
۶۶/۷	۶/۱	۵۶/۱	۴/۵	درصد					
۲۲	۱	۲۱	۰	تعداد	خیر				
۳۳/۳	۱/۵	۳۱/۸	۰/۰	درصد					
۶۶	۵	۵۸	۳	تعداد	کل				
۱۰۰/۰	۷/۶	۸۷/۹	۴/۵	درصد					
۳۳	۵	۲۶	۲	تعداد	بله	رضایت			آقا
۶۰/۰	۹/۱	۴۷/۳	۳/۶	درصد					
۲۲	۲	۱۷	۳	تعداد	خیر				
۴۰/۰	۳/۶	۳۰/۹	۵/۵	درصد					
۵۵	۷	۴۳	۵	تعداد	کل				
۱۰۰/۰	۱۲/۷	۷۸/۲	۹/۱	درصد					

۳-۲-۵-۴ دمای خنثی

دمای خنثی، وضعیتی است که کاربران در محیط احساس آسایش دارند، برای یافتن این دما در این پژوهش از دو رویکرد متفاوت استفاده شده است؛ رویکرد اول، رگرسیون خطی، رویکرد دوم، مدل گریفیث و رویکرد سوم، رابطه دمای هوا بیرون با دمای آسایش و رویکرد چهارم، رگرسیون غیرخطی از نوع لجستیک است.

۱,۱,۱,۱,۱۱ رابطه خطی احساس حرارتی با دمای عملکردی

طبق نمودار شکل ۴-۳۰ پایین، رابطه بین احساس حرارتی و دما عملکردی مثبت است و شدت این رابطه ۰/۷۵ است، این بدین معناست که با افزایش دما احساس افراد رو به گرمی میرود و شدت این رابطه خیلی زیاد است و قابل اعتبار است.

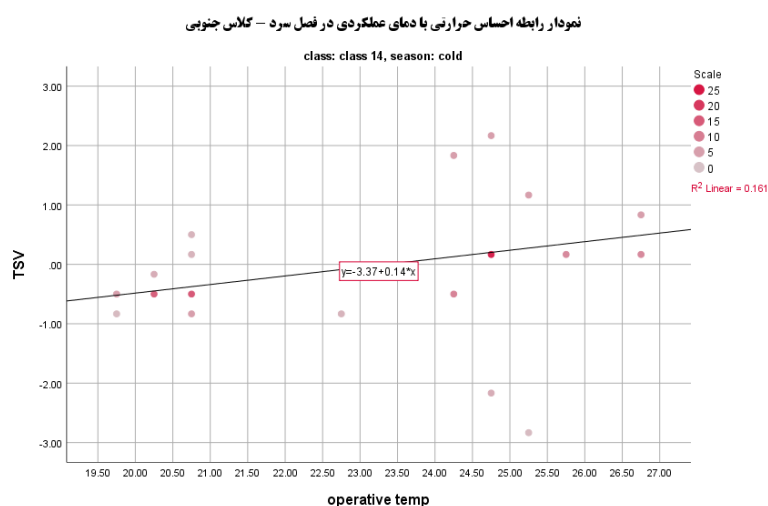


شکل ۴-۳. نمودار رابطه احساس حرارتی با دمای عملکردی کلاس شمالی در فصل سرد، نگارنده.

معادله ۴-۱۵ خط رگرسیون معادل دمای خنثی در این کلاس است. معادله خط این رابطه به صورت زیر ارائه شده است:

$$TSV = -8.01 + 0.34 * OT \quad (4-15)$$

طبق معادله بالا، TSV معادل احساس حرارتی و OT معادل دمای عملکردی است. در نتیجه، دمای خنثی برای کلاس شمالی در فصل سرد معادل ۲۳/۵۵ درجه سانتی گراد است.



شکل ۴-۳۱. نمودار رابطه احساس حرارتی با دمای عملکردی کلاس جنوبی در فصل سرد، نگارنده.

طبق شکل ۴-۳۱، رابطه بین احساس حرارتی و دمای عملکردی مثبت است و شدت این رابطه ۰/۱۶۱ است، این بدین معناست که با افزایش دمای احساس افراد رو به گرمی می‌رود و شدت این رابطه کم و قابل

استناد نیست. معادله خط رگرسیون معادل دمای خنثی در این کلاس است. معادله خط این رابطه به صورت زیر ارائه شده است:

$$TSV = -3/37 + 0/14 * OT \quad (16-4)$$

طبق معادله بالا، TSV معادل احساس حرارتی و OT معادل دمای عملکردی است. در نتیجه، دمای خنثی برای کلاس جنوبی در فصل گرم معادل ۲۴/۰۷ درجه سانتی گراد است.

مدل گریفیث ۱,۱,۱,۱,۱۹

جدول ۴-۲۰ زیر محاسبه دمای آسایش براساس دمای گریفیث در هر دو کلاس در فصل سرد است:

جدول ۴-۲۰. دمای آسایش و دمای عملکردی برحسب جنسیت در فصل سرد، نگارنده.

کلاس	جنسیت	تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
شمالی	دما عملکردی	۸۲	۲۰/۰	۲۸/۶۵	۲۴/۷۲۱۴	۲/۶۹۶۲۶
	دما آسایش	۸۲	۱۶/۴۹	۲۸/۶۵	۲۳/۹۴۰۹	۲/۷۱۴۳۵
	دما عملکردی	۵۷	۲۰/۰	۲۸/۶۵	۲۳/۷۸۴۲	۳/۲۲۴۸۶
	دما آسایش	۵۷	۱۸/۴	۲۸/۳۴	۲۳/۴۳۳۳	۲/۵۳۵۴۵
جنوبی	دما عملکردی	۶۶	۱۹/۵	۲۶/۶۵	۲۳/۶۳۵۶	۲/۴۲۰۸۹
	دما آسایش	۶۶	۱۹/۶۰	۳۰/۵۷	۲۳/۳۶۲۹	۲/۶۵۵۲۱
	دما عملکردی	۵۵	۱۹/۶۰	۲۶/۵۷	۲۲/۸۷۹۵	۲/۳۳۰۹۶
	دما آسایش	۵۵	۱۸/۸	۳۰/۹۷	۲۳/۱۲۵۷	۲/۸۸۵۸۷

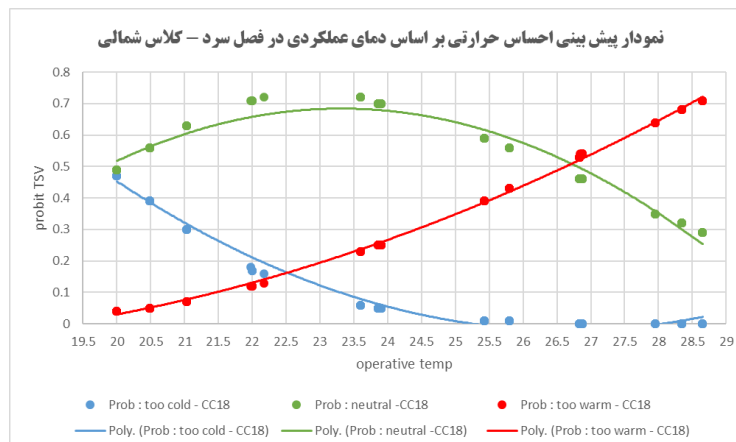
مطابق با جدول بالا، حداکثر و حداقل دمای عملکردی در کلاس شمالی برای خانم‌ها به ترتیب ۲۸/۶۵ و ۲۰ درجه سانتی گراد است و دمای آسایش حداقل ۱۶/۴۹ و حداکثر ۲۸/۶۵ درجه سانتی گراد و برای آقایان به ترتیب دمای عملکردی ۲۰ و ۲۸/۶۵ و دمای آسایش ۱۸/۴۹ و ۲۸/۳۴ بدست آمده است، میانگین دمای آسایش کلاس شمالی در فصل سرد برای خانم‌ها ۲۳/۹۴ و برای آقایان ۲۳/۴۳ درجه سانتی گراد است. حداکثر و حداقل دمای عملکردی در کلاس جنوبی برای خانم‌ها به ترتیب ۲۶/۶۵ و ۱۹/۵۷ درجه سانتی گراد است و دمای آسایش حداقل ۱۹/۶۰ و حداکثر ۳۰/۵۷ درجه سانتی گراد و برای آقایان به ترتیب دمای عملکردی ۱۸/۸۴ و ۲۶/۵۷ و دمای آسایش ۱۸/۸۴ و ۳۰/۹۷ بدست آمده است، میانگین دمای

آسایش کلاس هیجده در فصل سرد برای خانم‌ها ۲۳/۳۶ و برای آقایان ۲۳/۱۲ درجه سانتی گراد است. نتیجه کلی بدست آمده بدین شرح است که در هر دو کلاس دمای آسایش برای خانم‌ها و آقایان برابر است.

۱, ۱, ۱, ۱, ۲۰ رابطه غیرخطی احساس حرارتی با دمای عملکردی
 شکل شماره ۴-۳۲، پیش بینی پاسخ‌های دانشجویان به احساس حرارتی در بازه‌های مختلف دما است، رنگ قرمز مقدار آرای خیلی گرم، رنگ آبی محدوده خیلی سرد و رنگ سبز وضعیت خنثی را نشان می‌دهد، معادله لجستیک فصل سرد برای کلاس شمالی به صورت زیر است و محدوده دمای خنثی بین ۲۰ الی ۲۸/۵ درجه قرار دارد، طبق این معادله ۴-۱۷ پیش‌بینی بهترین احتمال دمای خنثی مشخص می‌گردد.

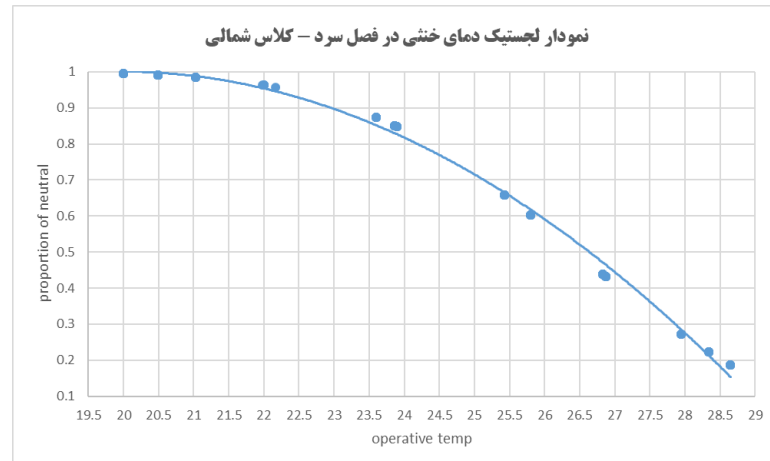
$$\text{Logit}(p) = 10.656 - 0.403 \cdot OT$$

(۱۷-۴)



شکل ۴-۳۲. نمودار پیش‌بینی احساس حرارتی بر اساس دمای عملکردی کلاس شمالی در فصل سرد، نگارنده.

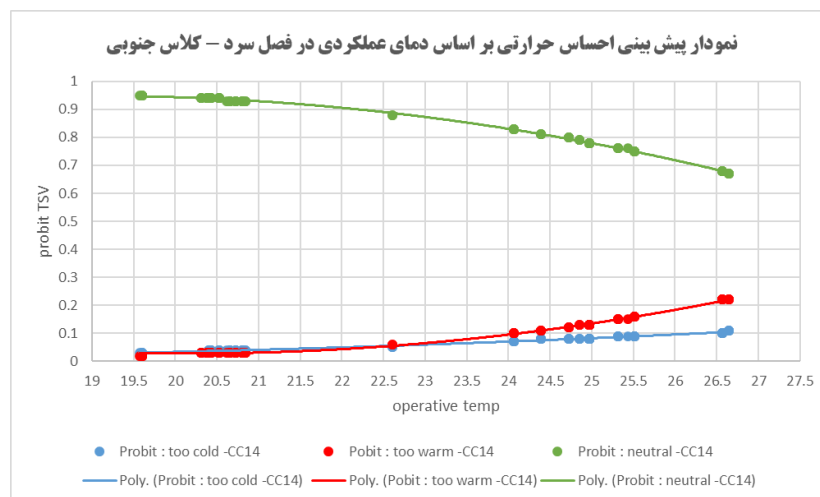
طبق این نمودار که مربوط به محاسبه پیش‌بینی احتمال دمای خنثی است، نمودار ۴-۳۳ زیر برای کلاس شمالی ترسیم گردید. طبق این نمودار بیشترین احتمال مربوط به دمای ۲۰ و در بازه ۲۰ الی ۲۸/۵ درجه سانتی گراد قرار دارد.



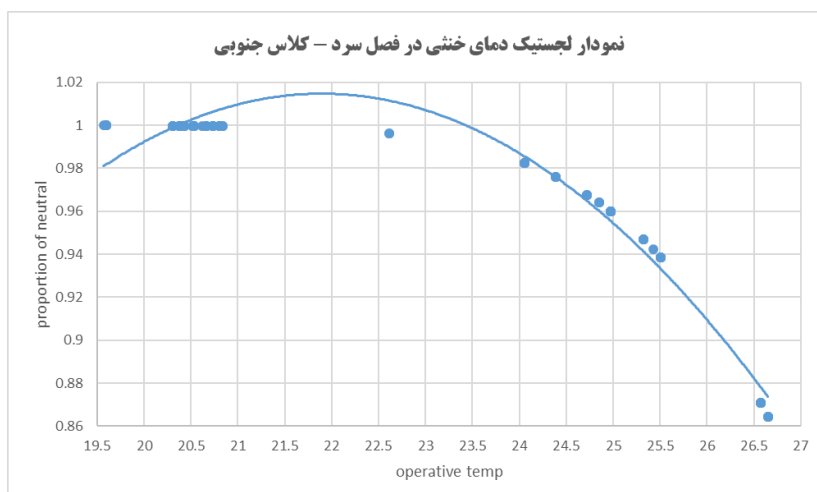
شکل ۴-۳۳. نمودار لجستیک دمای خنثی کلاس شمالی در فصل سرد، نگارنده.

نمودار پایین، پیش بینی پاسخ‌های دانشجویان به احساس حرارتی در بازه‌های مختلف دما است، رنگ قرمز مقدار آرای خیلی گرم، رنگ آبی محدوده خیلی سرد و رنگ سبز وضعیت خنثی را نشان می‌دهد، معادله لجستیک فصل سرد برای کلاس جنوبی به صورت زیر است و محدوده دمای خنثی بین ۱۹/۵ الی ۲۶/۵ درجه قرار دارد، طبق این معادله ۴-۱۸ پیش‌بینی بهترین احتمال دمای خنثی مشخص می‌گردد.

$$\text{Logit}(p) = 9/746 - 0/338 * OT \quad (4-18)$$



شکل ۴-۳۴. نمودار پیش‌بینی احساس حرارتی براساس دما عملکردی کلاس جنوبی در فصل سرد، نگارنده.

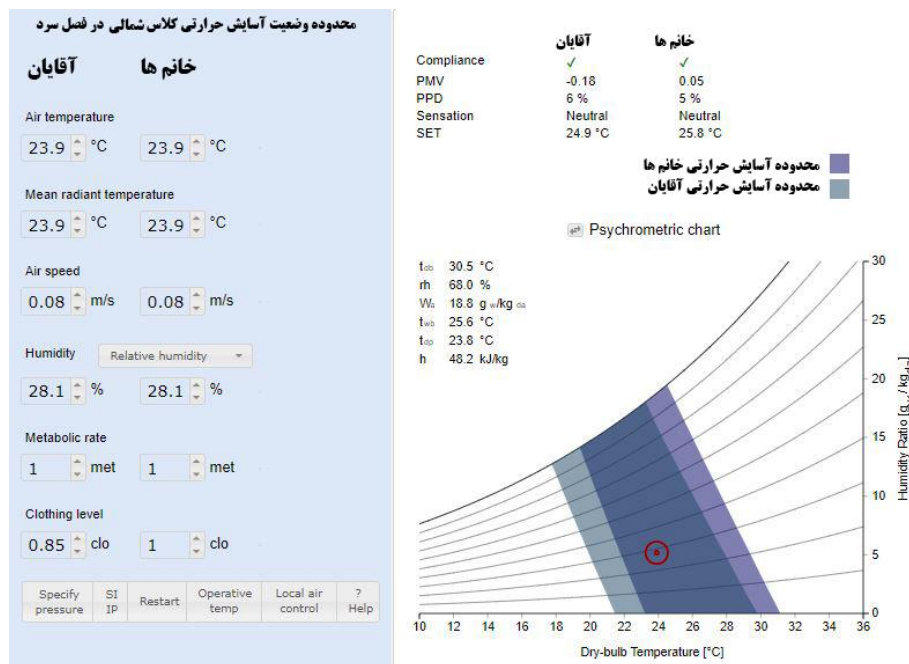


شکل ۴-۳۵. نمودار لجستیک دمای خنثی کلاس جنوبی در فصل سرد، نگارنده.

طبق این نمودار که مربوط به محاسبه پیش‌بینی احتمال دمای خنثی است، نمودار زیر برای کلاس جنوبی ترسیم گردید. طبق این نمودار بیشترین احتمال مربوط به دمای ۲۲ و در بازه ۱۹/۵ الی ۲۶/۵ درجه سانتی‌گراد قرار دارد.

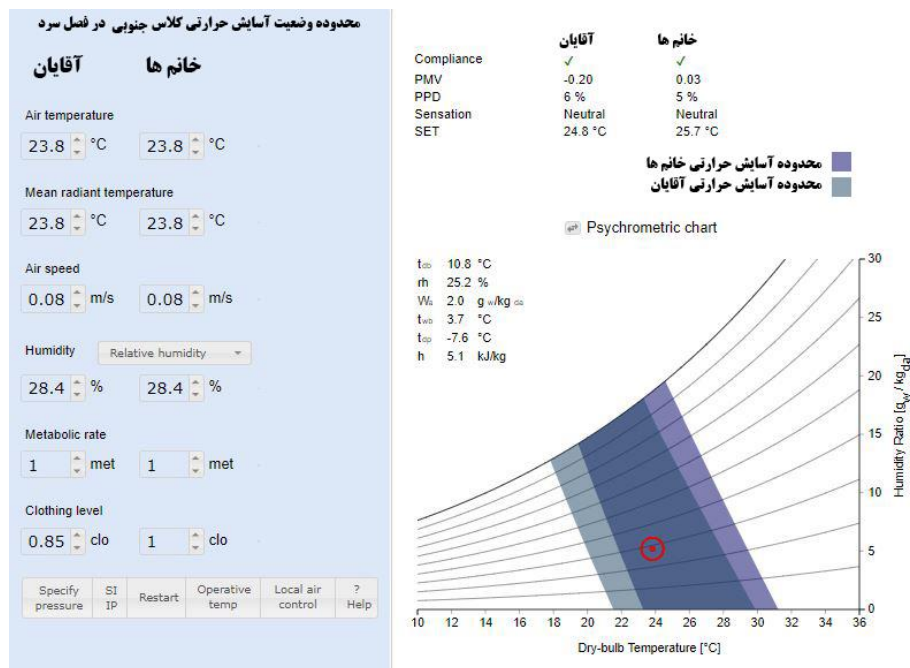
۱, ۱, ۱, ۱, ۲۱ محدود دمای آسایش

براساس شکل شماره ۴-۳۶ در کلاس شمالی، خانم‌ها در وضعیت خنثی، متوسط آرای پیش‌بینی شده برابر ۰/۰۵ و ۵ درصد عدم رضایت نشان می‌دهد، دمای موثر استاندارد برای خانم‌ها ۲۵/۸ درجه سانتی‌گراد است و محدوده پیشنهادی دمای آسایش حرارتی ۲۳/۵ الی ۳۱ درجه سانتی‌گراد است. آقایان در وضعیت خنثی، متوسط آرای پیش‌بینی شده برابر ۰/۱۸- و ۶ درصد عدم رضایت نشان می‌دهد، دمای موثر استاندارد برای آقایان ۲۴/۹ درجه سانتی‌گراد است و محدوده پیشنهادی دمای آسایش حرارتی ۲۱/۸ الی ۳۰ درجه سانتی‌گراد است. همپوشانی محدوده خانم‌ها و آقایان را به عنوان محدوده مناسب برای هر دو جنسیت در نظر گرفته‌ایم در این کلاس این محدوده بین ۲۳/۵ الی ۳۰ درجه پیشنهاد شده است.



شکل ۴-۳۶. محدوده وضعیت آسایش حرارتی کلاس شمالی در فصل سرد، نگارنده.

براساس شکل ۴-۳۷ در کلاس جنوبی، خانم‌ها در وضعیت خنثی، متوسط آرای پیش‌بینی شده برابر ۰/۰۳ و ۵ درصد عدم رضایت نشان می‌دهد، دمای موثر استاندارد برای خانم‌ها ۲۵/۷ درجه سانتی‌گراد است و محدوده پیشنهادی دمای آسایش حرارتی ۲۳/۵ الی ۳۱/۵ درجه سانتی‌گراد است. آقایان در وضعیت خنثی، متوسط آرای پیش‌بینی شده برابر ۰/۲- و ۶ درصد عدم رضایت نشان می‌دهد، دمای موثر استاندارد برای آقایان ۲۴/۸ درجه سانتی‌گراد است و محدوده پیشنهادی دمای آسایش حرارتی ۲۳ الی ۳۰/۵ درجه سانتی‌گراد است. همپوشانی محدوده خانم‌ها و آقایان را به عنوان محدوده مناسب برای هر دو جنسیت در نظر گرفته‌ایم در این کلاس این محدوده بین ۲۳/۵ الی ۳۰ درجه پیشنهاد شده است.



شکل ۴-۳۷. محدوده وضعیت آسایش حرارتی کلاس جنوبی در فصل سرد، نگارنده.

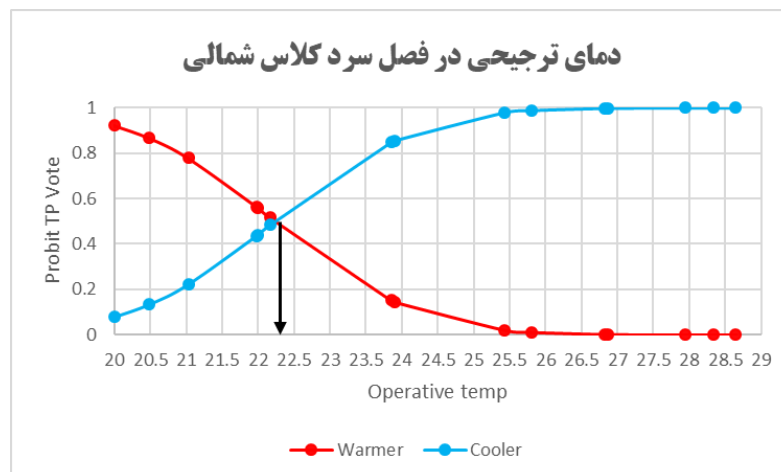
۴-۵-۲-۴ دمای ترجیحی

در فصل سرد برای هر دو کلاس این مدل استفاده شده است و محل تلاقی دو خط بیانگر دمای ترجیحی در فصل سرد است. در شکل شماره ۴-۳۸ کلاس شمالی برای فصل سرد، معادله ۴-۱۹ خط برای پاسخ به سوال گرمتر، معادله زیر بدست آمده است:

$$P(w) = 14/164 - 0.1637 * OT \quad (4-19)$$

بر طبق این مدل؛ P پیش‌بینی ترجیح حرارتی کاربران به هر دمای عملکردی است و OT نیز دمای عملکردی مورد نظر است. در پاسخ به وضعیت سردتر نیز معادله ۴-۲۰ زیر بدست آمد:

$$P(C) = 0.1637 * OT - 14/164 \quad (4-20)$$



شکل ۴-۳۸. نمودار پروبیت دمای ترجیحی کلاس شمالی در فصل سرد، نگارنده.

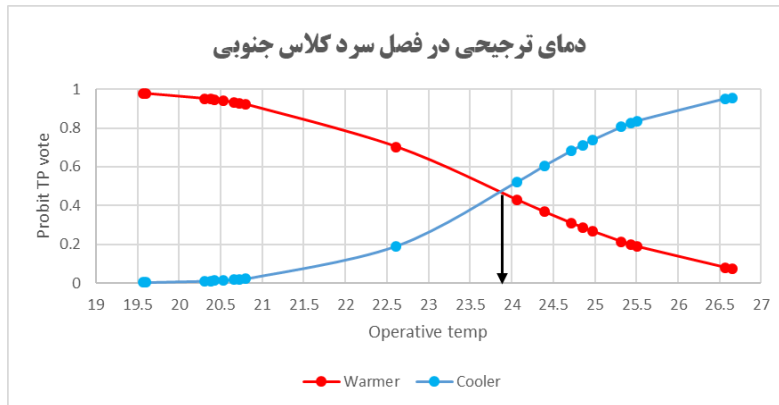
سپس با استفاده از این دو معادله، نمودار دمای ترجیحی ترسیم گردید و پاسخ به این صورت در آمده است، نتایج نشان میدهد که دو نمودار همدیگر را قطع کرده است و این نشان از این است که میتوانیم پاسخ مناسبی را در نظر بگیریم، دمای ترجیحی برای فصل سرد در این کلاس حدود ۲۲/۵ درجه است. در کلاس جنوبی برای فصل سردتر، معادله ۴-۲۱ خط برای پاسخ به سوال گرمتر، معادله زیر بدست آمده است:

$$P(w) = -0.489 * OT + 11.589 \quad (21-4)$$

بر طبق این مدل؛ P پیش‌بینی ترجیح حرارتی کاربران به هر دمای عملکردی است و OT نیز دمای عملکردی مورد نظر است. در پاسخ به وضعیت سردتر نیز معادله ۴-۲۲ زیر بدست آمد:

$$P(C) = 0.641 * OT - 15.371 \quad (22-4)$$

سپس با استفاده از این دو معادله، نمودار دمای ترجیحی ترسیم گردید، شکل ۴-۳۹ و پاسخ به این صورت در آمده است، نتایج نشان میدهد که دو نمودار همدیگر را قطع کرده است و این نشان از این است که میتوانیم پاسخ مناسبی را در نظر بگیریم، دمای ترجیحی در فصل سرد برای این کلاس بین ۲۳/۵ الی ۲۴ است.



شکل ۴-۳۹. نمودار پروبیت دمای ترجیحی کلاس جنوبی در فصل سرد، نگارنده.

۵-۲-۵ مقایسه مدل سازگاری با مدل اشری

در بخش گذشته مطابق با مطالعات صورت گرفته، محدوده دمای آسایش، دمای خنثی و دمای ترجیحی برای خانم‌ها و آقایان مشخص گردید. این بخش به بررسی مدل اشری منطبق بر استاندارد اشری ۵۵ می‌پردازد و همچنین مقایسه همزمان نتایج استاندارد اشری با مدل سازگاری پرداخته می‌شود.

۱، ۱، ۱، ۱، ۲۲ مقایسه احساس حرارتی با متوسط آرای پیش‌بینی شده

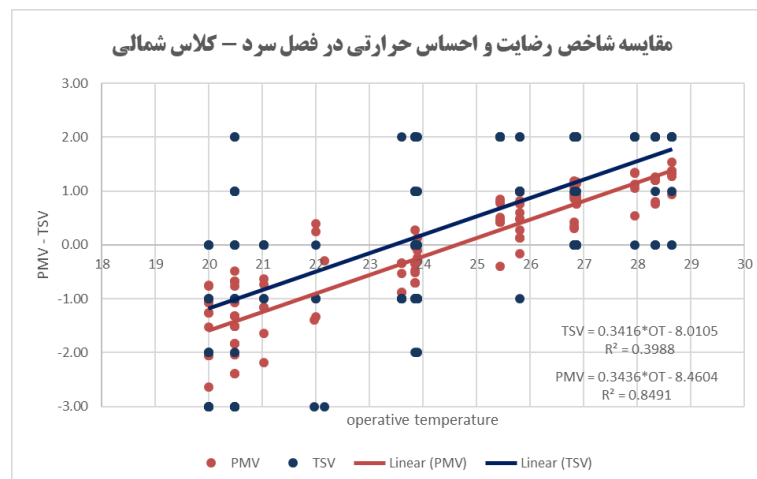
شکل شماره ۴-۴۰، نمودار مقایسه آرای پیش‌بینی شده و آرای احساس حرارتی کاربران در فصل سرد

برای کلاس شمالی است. با بررسی این نمودار، معادله ۴-۲۳ احساس حرارتی به صورت زیر است:

$$TSV = 0.3416 * OT - 8.0105 \quad (4-23)$$

معادله ۴-۲۴ شاخص آرای پیش‌بینی شده نیز در این رابطه به صورت زیر است:

$$PMV = 0.3436 * OT - 8.4604 \quad (4-24)$$



شکل ۴-۴۰. نمودار مقایسه شاخص رضایت با احساس حرارتی کلاس شمالی در فصل سرد، نگارنده.

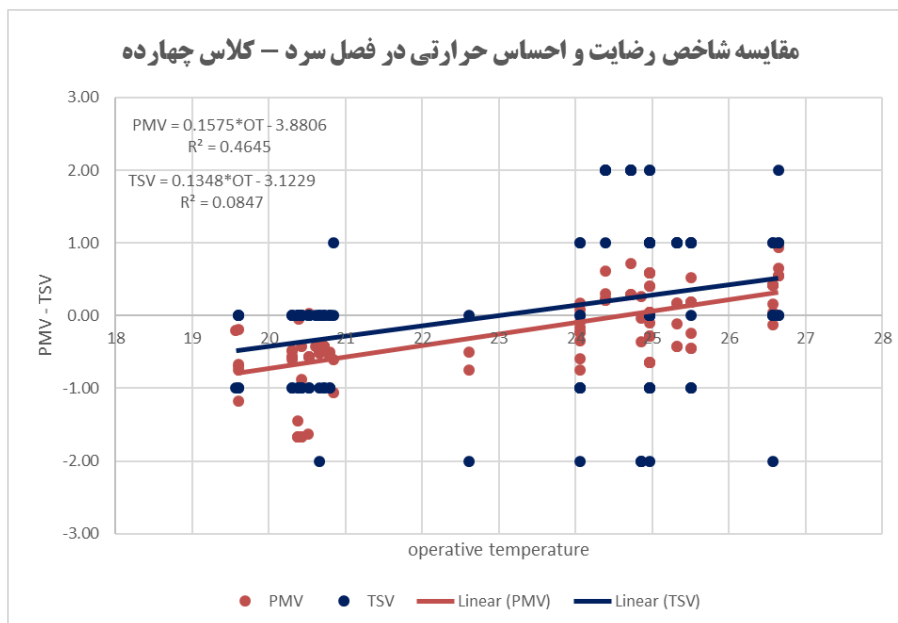
طبق مشاهدات شکل شماره ۴-۴۰، معادله خط دو شاخص با یکدیگر متفاوت است و خط احساس حرارتی بالاتر از شاخص رضایت است، از نظر دمای خنثی نیز خط رگرسیون احساس حرارتی دمای ۲۳/۵ درجه را نشان می‌دهد و شدت رابطه آرای پیش بینی شده قوی است و شیب درستی را نشان می‌دهد و میتوان نتیجه درستی را در نظر گرفت و دمای ۲۴/۵ درجه را نشان می‌دهد، به صورت کلی دو شاخص در این فصل با یکدیگر متفاوت هستند و دمای خنثی قابل استنادی را به درستی نشان می‌دهند. در انتها، میتوان با استفاده از معادله احساس حرارتی و متوسط آرای پیش‌بینی شده محدوده دمای پیشنهادی حداقل و حداکثری هر دو شاخص را تعیین کرده، برای هر دو معادله محدوده عددی بین ۰/۸۵- الی ۰/۸۵ را در معادله در نظر می‌گیریم. محدوده آسایش پیشنهادی برای احساس حرارتی در بازه ۲۱ الی ۲۶ درجه سانتی‌گراد و برای متوسط آرای پیش‌بینی شده محدوده ۲۲/۱۴ الی ۲۷/۰۹ درجه سانتی‌گراد را پیشنهاد می‌شود.

شکل ۴-۴۱، نمودار مقایسه آرای پیش‌بینی شده و آرای احساس حرارتی کاربران در فصل سرد برای کلاس جنوبی است. با بررسی این نمودار، معادله ۴-۲۵ احساس حرارتی به صورت زیر است:

$$TSV = 0.1348 \cdot OT - 3.1229 \quad (25-4)$$

معادله ۴-۲۶ شاخص آرای پیش‌بینی شده نیز در این رابطه به صورت زیر است:

$$PMV = 0.1575 \cdot OT - 3.8806 \quad (26-4)$$

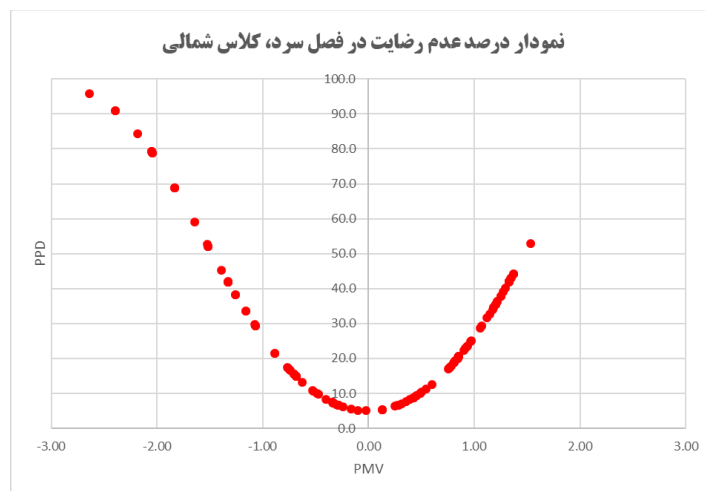


شکل ۴-۴۱. نمودار مقایسه شاخص رضایت با احساس حرارتی کلاس جنوبی در فصل سرد، نگارنده.

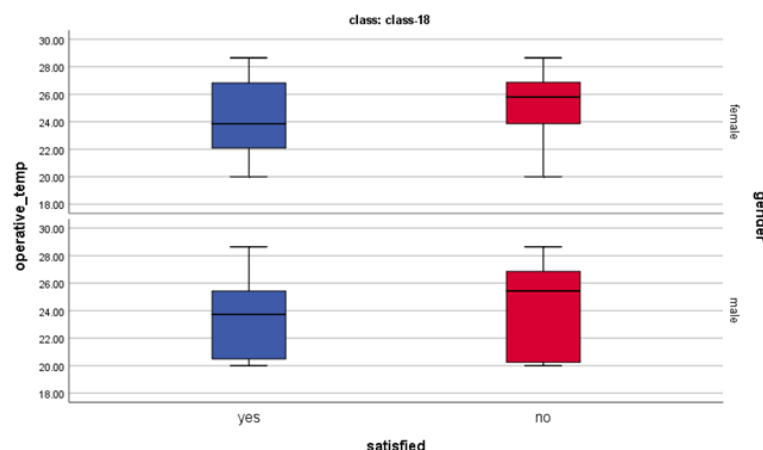
طبق مشاهدات شکل ۴-۴۱، معادله خط دو شاخص با یکدیگر متفاوت است و خط احساس حرارتی بالاتر از شاخص رضایت است، از نظر دمای خنثی نیز خط رگرسیون احساس حرارتی دمای ۲۳ درجه را نشان می‌دهد ولی شدت رابطه خیلی ضعیف است و نمیتوان نتیجه درستی را در نظر گرفت ولی نتیجه آرای پیش‌بینی شده قوی‌تر و دارای اعتبار بیشتری است و دمای ۲۵ را نشان می‌دهد، به صورت کلی دو شاخص در این فصل با یکدیگر متفاوت هستند و دمای خنثی بین دو شاخص اختلاف ۲ درجه‌ای را نشان می‌دهد. در انتها، میتوان با استفاده از معادله احساس حرارتی و متوسط آرای پیش‌بینی شده محدوده دمای پیشنهادی حداقل و حداکثری هر دو شاخص را تعیین کرده، برای هر دو معادله محدوده عددی بین ۰/۸۵- الی ۰/۸۵ را در معادله در نظر می‌گیریم. محدوده آسایش پیشنهادی برای احساس حرارتی در بازه ۱۷ الی ۲۹/۵ درجه سانتی‌گراد و برای متوسط آرای پیش‌بینی شده محدوده ۱۹/۲۵ الی ۳۰ درجه سانتی‌گراد را پیشنهاد می‌شود.

۱،۱،۱،۱،۲۳ مقایسه پیش‌بینی درصد عدم رضایت با محدوده عدم رضایت
نمودارهای پایین میزان درصد عدم رضایت و محدوده عدم رضایت را بر طبق دو مدل سازگاری و اثری نشان می‌دهند، در کلاس شمالی میزان عدم رضایت، شکل ۴-۴۲ از شاخص PPD بین ۵ الی ۹۵ درصد

در محدوده گرم تا سرد است، بیشترین درصد عدم رضایت محدوده خنک تا سرد است و محدوده این عدم رضایت بر طبق نمودار جعبه‌ای، شکل ۴-۴۳ در خانم‌ها ۲۰ الی ۲۸/۵ درجه سانتی‌گراد و میانه ۲۶ است و برای آقایان این محدوده نیز ۲۰ الی ۲۸/۵ درجه سانتی‌گراد و میانه ۲۵/۵ درجه است.



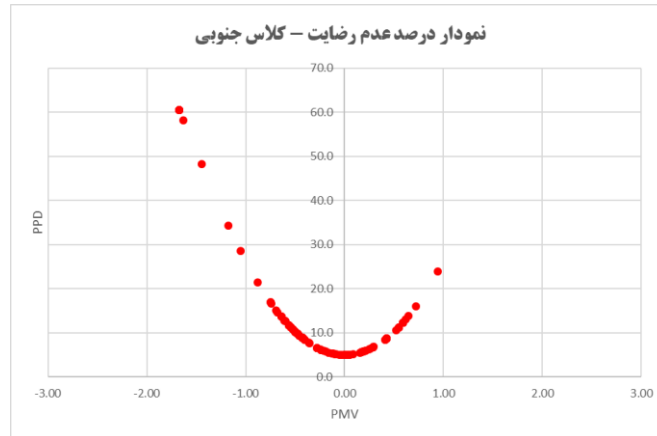
شکل ۴-۴۲. نمودار درصد عدم رضایت کلاس شمالی در فصل سرد، نگارنده.



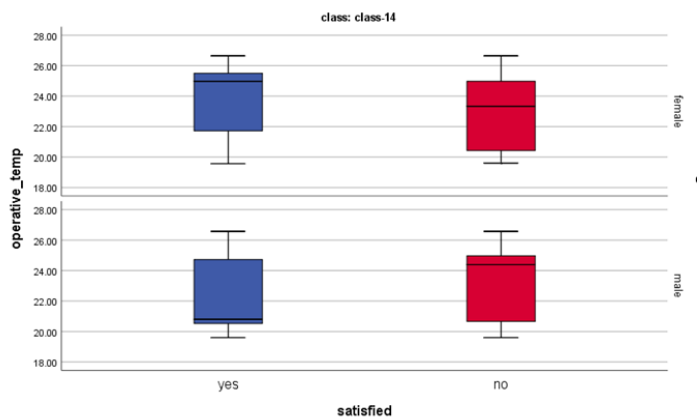
شکل ۴-۴۳. نمودار جعبه‌ای رضایت و عدم رضایت کلاس شمالی در فصل سرد، نگارنده.

براساس شکل ۴-۴۳ نیز، محدوده رضایت را در آقایان و خانم‌ها میتوان حدس زد، این محدوده برای آقایان حدود ۲۰ الی ۲۸/۵ درجه و میانه آن ۲۴ درجه و در خانم‌ها این محدوده حدود ۲۰ الی ۲۸/۵ درجه سانتی‌گراد و میانه آنها نیز ۲۴ درجه است. در کلاس جنوبی نیز میزان عدم رضایت، شکل شماره ۴-۴۴ از شاخص PPD بین ۵ الی ۶۰ درصد در محدوده کمی گرم تا خنک است، بیشترین درصد عدم رضایت محدوده کمی خنک تا خنک است و محدوده این عدم رضایت بر طبق نمودار جعبه‌ای، شکل ۴-۴۵ در

خانم‌ها ۲۰ الی ۲۶/۵ درجه سانتی‌گراد و میانه ۲۳/۵ درجه است و برای آقایان این محدوده همین ولی میانه ۲۴/۵ درجه است.



شکل ۴-۴۴. نمودار درصد عدم رضایت کلاس جنوبی در فصل سرد، نگارنده.

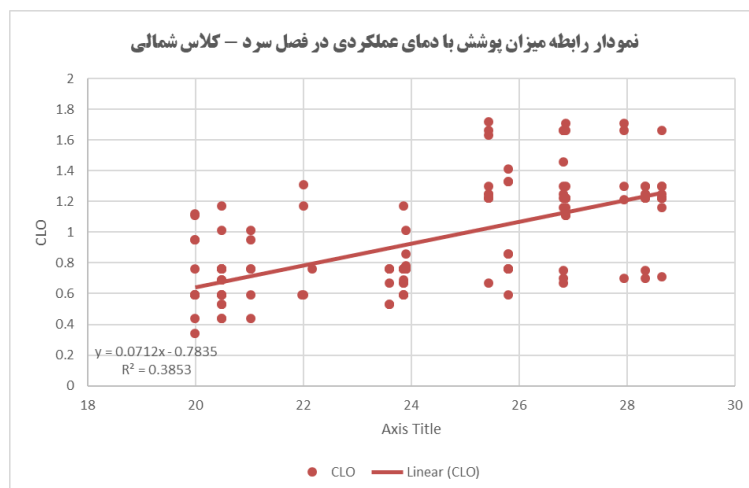


شکل ۴-۴۵. نمودار جعبه‌ای رضایت و عدم رضایت کلاس جنوبی در فصل سرد، نگارنده.

براساس شکل ۴-۴۵ نیز، محدوده رضایت را در آقایان و خانم‌ها میتوان حدس زد، این محدوده برای آقایان حدود ۱۹/۵ الی ۲۶/۵ درجه و میانه ۲۰/۵ درجه و در خانم‌ها این محدوده حدود ۱۹/۵ الی ۲۶/۵ درجه سانتی‌گراد و میانه ۲۵ درجه است، البته در کلاس جنوبی محدوده عدم رضایت تقریباً مشابه محدوده رضایت دانشجویان است و باید به میانه آن توجه کرد.

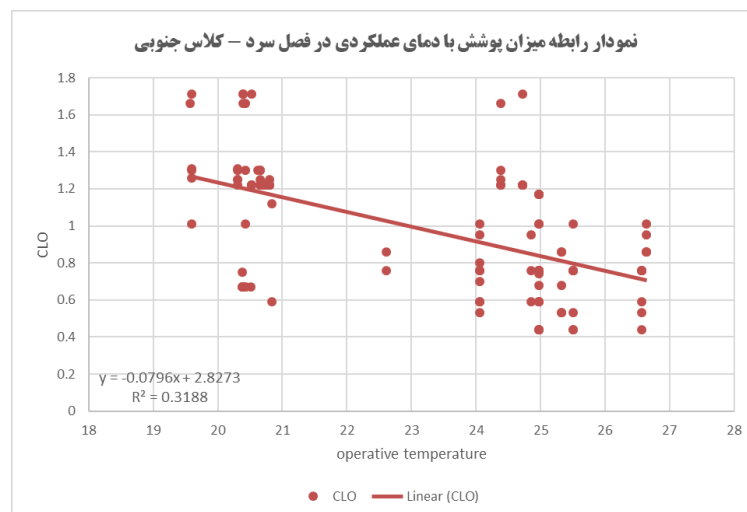
۱,۱,۱,۱,۲۴ مقایسه میزان پوشش با دمای عملکردی

بخش آخر، در مورد رابطه میزان پوشش و دما عملکردی است، این رابطه از طریق رگرسیون خطی و با توجه استاندارد اشری ۵۵ صورت گرفته است، که در نتیجه رابطه و محدوده پوشش در هر کلاس در فصل سرد مشخص گردد.



شکل ۴-۴۶. نمودار رابطه میزان پوشش با دما عملکردی کلاس شمالی در فصل سرد، نگارنده.

در شکل ۴-۴۶، کلاس شمالی محدوده دمایی بین ۲۰ الی ۲۹ درجه و محدوده پوشش، ۰/۶۵ الی ۱/۸ است، رابطه این دو متغیر مستقیم و شدت رابطه متوسط است.



شکل ۴-۴۷. نمودار رابطه میزان پوشش با دما عملکردی کلاس جنوبی در فصل سرد، نگارنده.

این در شکل ۴-۴۷، کلاس جنوبی محدوده دمایی بین ۱۹/۵ الی ۲۶/۵ درجه و محدوده پوشش، ۰/۷ الی ۱/۴ است، رابطه این دو متغیر عکس یکدیگر و شدت رابطه متوسط است.

۴-۶ مقایسه متغیرهای آماری

این بخش به بررسی معناداری و مقایسه دو جامعه و معناداری بین آنها در کل سال هم فصل گرم و سرد میپردازد در طول مدت پژوهش و در انتها به این سوال پاسخ میدهد که بین دو گروه جنسیتی یا متغیرهای دیگر تفاوت معناداری مشاهده می‌شود یا خیر.

۴-۶-۱ آزمون کای اسکوئر یا خی دو^۱

جداول زیر، نتایج آزمون کای اسکوئر را برای متغیرهای مختلف نشان میدهد، هدف این آزمون بررسی رابطه بین دو متغیر است و مقایسه مشاهدات نمونه با نمونه مورد انتظار براساس فرضیه‌ای که مطرح می‌شود، برای این منظور فرض صفر باید در نظر گرفته شود و در مقابل فرض خلافی نیز باید برای این موضوع در نظر گرفت، سپس با توجه به مقایسه‌ها فرض صفر را تایید یا رد می‌شود، معناداری این آزمون در سطح ۰/۰۵ معنادار است [۶۶].

فرض صفر: رابطه‌ای بین متغیرهای احساس حرارتی، ترجیح حرارتی و مقبولیت حرارتی با رضایت افراد به طور کلی وجود ندارد.

بر طبق جدول ۴-۲۱، میزان خی دو برای احساس حرارتی برابر با ۳۳/۳۳۱ است که این میزان بر مبنای آزمون آماری معنادار است ($P=0/000$)، بنابراین بین احساس حرارتی دانشجویان با رضایت آنها از محیط رابطه وجود دارد، میزان خی دو برای ترجیح حرارتی برابر با ۴۵/۵۴۰ است که این میزان بر مبنای آزمون آماری معنادار است ($P=0/000$)، بنابراین بین ترجیح حرارتی دانشجویان نیز با رضایت آنها از محیط رابطه وجود دارد، در آخر میزان خی دو برای مقبولیت حرارتی برابر با ۲۷/۷۴۵ است که این میزان بر مبنای آزمون آماری معنادار است ($P=0/000$)، بنابراین بین مقبولیت حرارتی دانشجویان با رضایت آنها از محیط رابطه وجود دارد و خلاف فرض صفر تایید می‌شود.

^۱ Chi square goodness of fit test

جدول ۴-۲۱. آزمون کای اسکوئر متغیرهای احساس حرارتی، ترجیح حرارتی و مقبولیت با رضایت دانشجویان، نگارنده.

	Pearson Chi-Square	df	Asymptotic -2Significance (sided)
TSV * Satisfied	۳۳/۳۳۱	۶	۰۰۰.
TP * Satisfied	۴۵/۵۴۰	۲	۰۰۰.
TA * Satisfied	۲۷/۷۴۵	۲	۰۰۰.
N of Valid Cases	۵۳۰		

فرض صفر: رابطه‌ای بین متغیرهای احساس حرارتی، ترجیح حرارتی و مقبولیت حرارتی با جنسیت افراد وجود ندارد.

بر طبق جدول ۴-۲۲، میزان خی دو برای احساس حرارتی برابر با ۴/۳۰۷ است که این میزان بر مبنای آزمون آماری معنادار نیست ($P=۰/۶۳۵$)، بنابراین بین احساس حرارتی دانشجویان دختر و پسر تفاوتی وجود ندارد، میزان خی دو برای ترجیح حرارتی برابر با ۴/۰۰۳ است که این میزان بر مبنای آزمون آماری معنادار نیست ($P=۰/۱۳۵$)، بنابراین بین ترجیح حرارتی دانشجویان دختر و پسر نیز رابطه وجود ندارد، در آخر میزان خی دو برای مقبولیت حرارتی برابر با ۱۰/۰۶۲ است که این میزان بر مبنای آزمون آماری معنادار نیست ($P=۰/۰۰۷$)، بنابراین بین مقبولیت حرارتی دانشجویان دختر و پسر رابطه وجود ندارد و خلاف فرض صفر تایید نمی‌شود، به عنوان نتیجه‌گیری کلی دانشجویان دختر و پسر از نظر تجربه حرارتی می‌توان گفت مشابه یکدیگر هستند.

جدول ۴-۲۲. آزمون کای اسکوئر متغیرهای احساس حرارتی، ترجیح حرارتی و مقبولیت با جنسیت دانشجویان،

نگارنده.

	Pearson Chi-Square	df	Asymptotic -2Significance (sided)
TSV * Gender	۴/۳۰۷	۶	۰/۶۳۵
TP * Gender	۴/۰۰۳	۲	۰/۱۳۵
TA * Gender	۱۰/۰۶۲	۲	۰/۰۰۷
N of Valid Cases	۵۳۰		

۲-۶-۴ آزمون تی استیودنت^۱

وظیفه آزمون تی تست، بیانگر تفاوت معناداری بین میانگین دو جامعه از لحاظ آماری است و آیا بین این دو جامعه تفاوت آماری مشاهده می‌شود یا خیر، در این مقایسه این دو نمونه از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند [۶۶]، در این پژوهش برای بررسی تفاوت بین دو گروه خانم‌ها و آقایان و دو کلاس شمالی و جنوبی به طور کلی نه در هر فصل از این آزمون استفاده شده است که در نتیجه شاهد تفاوت و یا عدم تفاوت بین دو گروه از لحاظ آماری قرار گیریم.

فرض صفر: تفاوت آماری بین میانگین احساس حرارتی، ترجیح حرارتی و مقبولیت حرارتی بین خانم‌ها و آقایان وجود ندارد.

آزمون تی برای متغیرهای احساس حرارتی، ترجیح حرارتی و مقبولیت حرارتی بین دانشجویان خانم و آقا در کل سال و برای هر دو کلاس صورت گرفت، براساس نتایج حاصله رابطه معناداری بین متغیر احساس حرارتی و دانشجوی خانم ($SD=1/30, M=3/76$) و دانشجوی آقا ($SD=1/36, M=3/88$) وجود ندارد ($T=-1/030, P=0/303$). رابطه معناداری بین متغیر ترجیح حرارتی و دانشجوی خانم ($SD=0/71, M=2/18$) و دانشجوی آقا ($SD=0/74, M=2/25$) وجود ندارد ($T=1/172, P=0/242$). رابطه معناداری بین متغیر مقبولیت حرارتی و دانشجوی خانم ($SD=0/58, M=0/82$) و دانشجوی آقا ($SD=0/68, M=0/88$) وجود ندارد ($T=-1/044, P=0/303$). فرض صفر: تفاوت آماری بین میانگین احساس حرارتی، ترجیح حرارتی و مقبولیت حرارتی بین کلاس شمالی و کلاس جنوبی وجود ندارد.

^۱ Student's T test

آزمون تی برای متغیرهای احساس حرارتی، ترجیح حرارتی و مقبولیت حرارتی بین کلاس شمالی و کلاس جنوبی صورت گرفت، براساس نتایج حاصله رابطه معناداری بین متغیر احساس حرارتی و کلاس شمالی ($SD=1/22, M=3/84$) و کلاس جنوبی ($SD=1/44, M=3/77$) وجود ندارد ($T=-0/540, P=0/589$). رابطه معناداری بین متغیر ترجیح حرارتی و کلاس شمالی ($SD=0/74, M=2/25$) و کلاس جنوبی ($SD=0/72, M=2/21$) وجود ندارد ($T=0/667, P=0/505$). رابطه معناداری بین متغیر مقبولیت حرارتی و کلاس شمالی ($SD=0/59, M=0/73$) و کلاس جنوبی ($SD=0/63, M=0/92$) وجود دارد ($T=3/503, P=0/000$).

فصل ۵: نتیجه گیری

۱-۵ مقدمه

بحث آسایش حرارتی در فضاهای آموزشی در سال‌های اخیر، مورد توجه زیادی قرار گرفته است علت این موضوع را می‌توان توجه به بحث عملکرد و یادگیری دانشجویان و همچنین میزان مصرف انرژی و کیفیت محیط داخلی در این ساختمان‌ها دانست. پژوهش حاضر در مورد بررسی و ارزیابی شرایط آسایش حرارتی دانشجویان در فضاهای آموزشی است در این مطالعه ساختمان مورد نظر دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود انتخاب شده است، جامعه آماری مورد پژوهش شامل خانم‌ها و آقایان در بازه سنی ۱۸ الی ۳۵ سال است و مدت برداشت اطلاعات در طول یک سال تحصیلی و در دو بازه فصل گرم و سرد تقسیم‌بندی شده است. سیستم تهویه کلاس‌ها در تابستان هم به صورت طبیعی و هم به صورت مصنوعی از طریق کولرهای آبی است و در زمستان فقط از طریق شوفاژ می‌باشد، هدف از این پژوهش تعیین محدوده دمای آسایش حرارتی، تعیین دمای ترجیحی و تعیین شرایط مقبولیت حرارتی در بین دانشجویان خانم و آقا و همچنین مقایسه این دو جامعه آماری و کلاس‌های شمالی و جنوبی که به ترتیب هیجده و چهارده این دانشکده می‌باشند، در این بخش، نتایج بررسی شرایط آسایش حرارتی، مدل سازگاری و اشری در هر فصل به صورت جداگانه و همچنین مقایسه بین جوامع آماری دانشجویان و کلاس‌ها صحبت خواهد شد. در انتهای این بحث پیشنهادات برای پژوهش‌های آینده در این زمینه و همچنین موارد قابل ذکر در زمینه آسایش حرارتی در طراحی ساختمان‌های آموزشی در این نوع از مناطق به عنوان پیشنهاد ارائه می‌شود.

۲-۵ همبستگی و رابطه متغیرها

رابطه دمای عملکردی با میزان پوشش در هر فصل تقریباً به صورت غیرمستقیم و به این معنا که با افزایش دما از میزان پوشش کاربران کاسته می‌شود اما شدت این رابطه ضعیف است، در ارتباط با همبستگی متغیرها محیطی و روانی که به عنوان عوامل موثر در زمینه آسایش حرارتی شناخته می‌شوند، موثرترین روابط در بین احساس حرارتی و ترجیح حرارتی دیده می‌شود، همچنین دمای عملکردی با

احساس حرارتی و ترجیح حرارتی نیز به همین شکل است و رطوبت به میزان کمتری تاثیر بر دو عامل احساس و ترجیح حرارتی دارد. در انتها می‌توان گفت دمای عملکردی که متشکل از دمای هوا و دمای تشعشعی است و رطوبت نسبی جزو مهمترین عوامل در شرایط آسایش حرارتی هستند و در انتها به میزان کمتری پوشش و سرعت هوا موثر بر این موضوع هستند.

۳-۵ وضعیت آسایش حرارتی

بعد از بررسی‌های صورت گرفته و نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری در این قسمت نتایج بحث و بررسی‌های فصل گذشته به تفکیک هر کلاس ارائه شده است.

۳-۵-۱ کلاس شمالی (هیجده)

در فصل گرم؛ از نظر احساس حرارتی ۳۲/۲ درصد دانشجویان در وضعیت خنثی و اکثریت باقیمانده در محدوده کمی گرم تا گرم قرار دارند، ۴۳/۳ درصد وضعیت بدون تغییر را ترجیح می‌دهند و میزان رضایت خانم‌ها از آقایان کمتر است، ۶۷/۸ درصد دانشجویان وضعیت حرارتی کلاس برای آنها قابل قبول است که از این میزان ۴۵/۶ درصد خانم‌ها و ۲۲/۲ درصد آقایان می‌باشند. براساس رگرسیون خطی، دمای خنثی برای کلاس شمالی در فصل گرم، ۲۳/۳۳ درجه است و بر مبنای رگرسیون لجستیک پیش‌بینی دمای خنثی حداقل ۲۰/۷ درجه و حداکثر ۲۴/۶ درجه سانتی‌گراد است، میانگین دمای خنثی با توجه به مدل گریفیث برای خانم‌ها ۲۱/۷۶ و برای آقایان ۲۲/۸۶ درجه در نظر گرفته شده است، محدوده آسایش حرارتی با توجه به سیستم تهویه طبیعی هوا و ارتباط با دمای هوا بیرون در محدوده ۱۷ الی ۲۹ درجه پیشنهاد می‌شود، محدوده آسایش حرارتی براساس نمودار سایکرومتریک مدل برگلی برای خانم‌ها و آقایان در بازه ۲۶/۲ الی ۳۰/۲ درجه سانتی‌گراد پیشنهاد شده است که این مدل با متوسط احساس حرارتی کاربران هماهنگی ندارد. دمای ترجیحی دانشجویان نیز بعلاوه عدم پاسخ صحیح نمودار پروبیت، محتمل‌ترین دما را ۲۴/۵ درجه نظر گرفته‌ایم. مقایسه مدل سازگاری با مدل اشرفی اختلاف چند درجه‌ای

بین این دو مدل را نشان می‌دهد، ۵ الی ۹۰ درصد از دانشجویان در بازه کمی گرم تا سرد از محیط ناراضی هستند و این محدوده برای خانم‌ها و آقایان بین ۲۰/۵ الی ۲۴ درجه قرار دارد.

در فصل سرد؛ از نظر احساس حرارتی ۲۳ درصد دانشجویان در وضعیت خنثی و اکثریت باقیمانده در محدوده کمی گرم تا گرم قرار دارند، ۴۳/۹ درصد وضعیت سردتر را ترجیح می‌دهند و میزان رضایت خانم‌ها از آقایان بیشتر است، ۵۱/۱ درصد دانشجویان وضعیت حرارتی کلاس برای آنها قابل قبول است که از این میزان ۳۱/۷ درصد خانم‌ها و ۱۹/۴ درصد آقایان می‌باشند. بر مبنای رگرسیون خطی دمای خنثی برای کلاس شمالی در فصل سرد، ۲۳/۵۵ درجه که براساس رگرسیون لجستیک پیش‌بینی دمای خنثی حداقل ۲۸/۵ درجه و حداکثر ۲۰ درجه سانتی‌گراد است، میانگین دمای خنثی با توجه به مدل گریفیث برای خانم‌ها ۲۳/۹۴ و برای آقایان ۲۳/۴۳ درجه در نظر گرفته شده است، محدوده آسایش حرارتی براساس نمودار سایکرومتریک برای خانم‌ها و آقایان در بازه ۲۳/۵ الی ۳۰ درجه سانتی‌گراد پیشنهاد شده است که هماهنگی خوبی با احساس حرارتی کاربران در این فصل شاهد هستیم. دمای ترجیحی دانشجویان در این فصل در بازه ۲۲ الی ۲۲/۵ درجه سانتی‌گراد قرار دارد که ۱ الی ۱/۵ درجه کمتر از دمای خنثی است. مقایسه مدل سازگاری با مدل اثری اختلاف یک درجه‌ای بین این دو مدل را نشان می‌دهد، ۵ الی ۹۵ درصد از دانشجویان در بازه گرم تا سرد از محیط ناراضی هستند و این محدوده برای خانم‌ها در میانه ۲۶ درجه و آقایان ۲۵/۵ درجه قرار دارد.

۲-۳-۵ کلاس جنوبی (چهارده)

در فصل گرم؛ از نظر احساس حرارتی ۲۸/۳ درصد دانشجویان در وضعیت خنثی و اکثریت باقیمانده در محدوده کمی گرم تا گرم قرار دارند، ۴۳/۳ درصد وضعیت سردتر را ترجیح می‌دهند و میزان رضایت خانم‌ها از آقایان بیشتر است، ۵۳/۳ درصد دانشجویان وضعیت حرارتی کلاس برای آنها قابل قبول است که از این میزان ۳۵/۶ درصد خانم‌ها و ۱۷/۸ درصد آقایان می‌باشند. بر مبنای رگرسیون خطی دمای خنثی برای کلاس جنوبی در فصل گرم، ۲۳/۸۵ درجه که براساس پیش‌بینی رگرسیون لجستیک، حداقل

۲۱/۵ درجه و حداکثر ۲۷/۹ درجه سانتی‌گراد است، میانگین دمای خنثی با توجه به مدل گریفیث برای خانم‌ها ۲۳/۹۸ و برای آقایان ۲۴/۲۷ درجه در نظر گرفته شده است، محدوده آسایش حرارتی با توجه به سیستم تهویه طبیعی هوا در محدوده ۱۸ الی ۳۰ درجه پیشنهاد می‌شود، محدوده آسایش حرارتی براساس نمودار سایکرومتریک مدل برکلی برای خانم‌ها و آقایان در بازه ۲۷ الی ۳۰/۵ درجه سانتی‌گراد پیشنهاد شده است ولی شاهد تفاوتی با احساس حرارتی کاربران دیده می‌شود. دمای ترجیحی دانشجویان در این فصل در بازه ۲۲ الی ۲۲/۵ درجه سانتی‌گراد قرار دارد که ۱/۵ الی ۲ درجه کمتر از دمای خنثی است. مقایسه مدل سازگاری با مدل اشری اختلاف در حدود ۲/۵ الی ۳ درجه‌ای بین این دو مدل را نشان می‌دهد، ۵ الی ۹۰ درصد از دانشجویان در بازه کمی گرم تا سرد از محیط ناراضی هستند و این محدوده برای خانم‌ها و آقایان بین ۲۲ الی ۲۸ درجه قرار دارد.

در فصل سرد؛ از نظر احساس حرارتی ۳۷/۲ درصد دانشجویان در وضعیت خنثی و اکثریت باقیمانده در محدوده کمی خنک تا سرد قرار دارند، ۴۳/۹ درصد وضعیت بدون تغییر را ترجیح می‌دهند و میزان رضایت خانم‌ها و آقایان تقریباً برابر است، ۶۷/۸ درصد دانشجویان وضعیت حرارتی کلاس برای آنها قابل قبول است که از این میزان ۴۲/۱ درصد خانم‌ها و ۲۵/۶ درصد آقایان می‌باشند. بر مبنای رگرسیون خطی، دمای خنثی برای کلاس جنوبی در فصل گرم، ۲۴/۰۷ درجه که طبق رگرسیون لجستیک پیش‌بینی حداقل ۲۶/۵ درجه و حداکثر ۲۲ درجه سانتی‌گراد است، میانگین دمای خنثی با توجه به مدل گریفیث برای خانم‌ها ۲۳/۳۶ و برای آقایان ۲۳/۱۲ درجه در نظر گرفته شده است، محدوده آسایش حرارتی براساس نمودار سایکرومتریک برای خانم‌ها و آقایان در بازه ۲۳/۵ الی ۳۰ درجه سانتی‌گراد پیشنهاد شده است و مانند کلاس شمالی در این فصل این مدل هماهنگی خوبی با محدوده احساس حرارتی کاربران دارد. دمای ترجیحی دانشجویان در این فصل در بازه ۲۳/۵ الی ۲۴ درجه سانتی‌گراد قرار دارد که ۱ درجه کمتر از دمای خنثی است. مقایسه مدل سازگاری با مدل اشری اختلاف دو درجه‌ای بین این دو مدل را نشان می‌دهد، ۵ الی ۹۵ درصد از دانشجویان در بازه کمی گرم تا خنک از محیط ناراضی هستند و این محدوده برای خانم‌ها در میانه ۲۳ درجه و آقایان ۲۴/۵ درجه قرار دارد.

۴-۵ مقایسه جوامع آماری

در این بخش نتایج مقایسات صورت گرفته بین جوامع آماری مختلف از لحاظ جنسیتی و کلاس‌های شمالی و جنوبی بررسی می‌گردد.

۱-۴-۵ مقایسه وضعیت آسایش بین خانم‌ها و آقایان

وضعیت آسایش هم به صورت کلی و هم به صورت جداگانه برای دانشجویان خانم و آقا در کلاس‌ها در هر فصل در طول یکسال مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفت، بر طبق نتایج آزمون‌های آماری کای اسکوئر و تی تست حاکی از آن است که رابطه معناداری بین احساس، ترجیح و مقبولیت بین دانشجویان خانم و آقا وجود ندارد، از نظر آماری نیز این تفاوت مشاهده نگردید پس بنابراین می‌توان دمای خنثی ثابتی را برای هر دو گروه خانم‌ها و آقا مشخص کرد.

۲-۴-۵ مقایسه وضعیت آسایش بین کلاس شمالی و جنوبی

در مقایسه کلاس‌ها نیز تفاوت خاصی از نظر آماری مشاهده نشده و فقط از نظر مقبولیت حرارتی بین این دو کلاس تفاوت مشاهده می‌شود پس می‌توان میانگین دمایی مناسبی را برای هر دو کلاس در نظر گرفت.

در انتهای صحبت‌های گفته شده، باید خاطر نشان کرد که کلاس شمالی که در بخش شمالی ساختمان قرار دارد به دلایل وجود عواملی مانند ابعاد کوچک پنجره‌ها، نورگیری نامناسب، عدم عایقکاری مناسب تاسیسات گرمایشی و سرمایشی و قرارگرفتن بخشی از ساختمان در زمین شرایط آسایش را برای کاربران تغییر داده است ولی کلاس جنوبی این ساختمان قرار دارد به دلیل نورگیری مناسب، ارتباط جداره‌ها با محیط بیرون و ابعاد و اندازه مناسب پنجره‌ها شاهد وضعیت مناسبتری هستیم، در مناطقی همچون شاهرود که در اقلیم گرم و خشک قرار دارند مساله دمای هوا از اهمیت بالاتری نسبت رطوبت قرار دارد و باید توجه ویژه داشت، معادله پیشنهادی آسایش برای فصل گرم و سرد در این مناطق به صورت زیر است.

۵-۵ پیشنهادات

بدلیل اهمیت بالایی شرایط آسایش حرارتی و تهویه مناسب در داخل ساختمان‌های آموزشی، تعیین بازه دمایی مناسب در کلاس‌ها در فصول مختلف گرم و سرد مهم است و کاهش یا افزایش چند درجه‌ای دما علاوه بر تامین شرایط آسایش باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌گردد، ساختمان دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود با بررسی‌هایی که صورت گرفت، پیشنهاداتی را برای بهبود کیفیت حرارتی این کلاس‌ها در زیر ذکر می‌کنیم:

- افزایش دما تا حد قابل قبول برای کلاس شمالی در فصول گرم زیرا به لحاظ روانی دانشجویان کمی احساس سرما میکنند و علت آن عدم نورگیری کافی، احساس نم و سردی در بین دانشجویان مشاهده گردید.

- کاهش یا خاموش کردن تعدادی از شوفاژهای کلاس شمالی به دلیل گرمای بیش از حد در داخل کلاس.

- عایق کردن لوله‌های تاسیساتی در دو کلاس شمالی و جنوبی زیرا به تنهایی خود به عنوان سیستم گرمایشی عمل می‌کنند و استفاده از شیرهای ترموستات‌دار برای کلاس‌ها. در انتها برای علاقمندان به مساله آسایش حرارتی و پژوهش در این زمینه در آینده پیشنهاد می‌گردد به مسائلی همچون مصالح، پوشش کاربران، مبلمان، توجه به جداره‌ها، عایق حرارتی، ابعاد و اندازه تجهیزات و موقعیت قرارگیری ساختمان و فضاهای داخلی توجه کنند.

پوست

مراجع

۱. ÇAKIR, Ç., 2006. *Assessing Thermal Comfort Conditions; A Case Study On The Metu Faculty Of Architecture Building*, in *The Graduate School Of Natural And Applied Sciences*. Middle east technical university. p. 119.
۲. Rupp, R.F., et al., 2015, *A review of human thermal comfort in the built environment*. **105**: p. 178-205.
۳. Yang, L., H. Yan, and J.C.J.A.e. Lam, 2014, *Thermal comfort and building energy consumption implications—a review*. **115**: p. 164-173.
۴. نصراللهی، ف.، ۱۳۹۰، مقررات ملی ساختمان و کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان و مسکونی، دومین کنفرانس مدیریت و بهینه سازی مصرف انرژی.
۵. ANSI/ASHRAE Standard 55, 2017, *Thermal Enviromental Conditions For Human Occupancy*. ASHRAE.
۶. حیدری، د.ش.، ۱۳۹۳، سازگاری حرارتی در معماری؛ نخستین قدم در صرفه جویی مصرف انرژی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۷. Croitoru, C., et al., 2015, *Thermal comfort models for indoor spaces and vehicles—Current capabilities and future perspectives*. **44**: p. 304-318.
۸. BS EN, 2013, *ISO 7730 Ergonomics of the thermal enviroment (Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria)*.
۹. Zomorodian, Z.S., et al., 2016, *Thermal comfort in educational buildings: A review article*. **59**: p. 895-906.
۱۰. Pistore ,L., et al., 2015, *Assessment of the IEQ in two high schools by means of monitoring, surveys and dynamic simulation*. **82**: p. 519-525.
۱۱. Sharples, S. and A. Malama, 1997, *A thermal comfort field survey in the cool season of Zambia*. *Building and environment* : (۳) **۳۲**. p. 237-243.
۱۲. Fanger, P.O., 1970, *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.
۱۳. Heijs, W. 1994, *The dependent variable in thermal comfort researchsome psychological considerations*. in *Thermal comfortpast present and future: Proceedings of the conference of june 1993*. Watford Building Research Establishment.
۱۴. Parsons, K., 2014, *Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance*. CRC press.
۱۵. Gagge, A.P., 1971, *An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response*. *Ashrae Trans*. **77**: p. 247-262.

۱۶. Gonzalez, R.R., 1973, *Magnitude Estimate of Thermal Discomfort during Transients of Humidity and Operative Temperature and their Relation to the New ASHRAE Effective Temperature (ET^{*})*. ASHRAE Transactions. **79**: p. 88-96.
۱۷. Donnini, G., et al., *Field study of occupant comfort and office thermal environments in a cold climate*. 1997, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers....
۱۸. De Dear, R. and G.S. Brager, 1998, *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*.
۱۹. Auliciems, A. and S.V. Szokolay. 1997, *Thermal comfort*. PLEA.
۲۰. Limb, M., 1992, *Air infiltration and ventilation Glossary*. Air Infiltration and Ventilation Centre.
۲۱. Havenith, G., I. Holmér, and K. Parsons, 2002, *Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production*. Energy and buildings. **34**(6): p. 581-591.
۲۲. Havenith, G., et al., 2013, *Report on manikin measurements for ASHRAE 1504-TRP: 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*.
۲۳. Nicol, J.F. and M. Humphreys, 1998, *Understanding the adaptive approach to thermal comfort*. ASHRAE transactions. **104**: p. 991-1004.
۲۴. Nicol, J., 1974, *An analysis of some observations of thermal comfort in Roorkee, India and Baghdad, Iraq*. Annals of human biology. **1**(4): p. 411-426.
۲۵. Sayigh, A. and A.H. Marafia, 1998, *Thermal comfort and the development of bioclimatic concept in building design*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. **2**(1-2): p. 3-24.
۲۶. Roshan, G.R., M. Farrokhzad, and S. Attia, 2017, *Defining thermal comfort boundaries for heating and cooling demand estimation in Iran's urban settlements*. Building and Environment. **121**: p. 168-189.
۲۷. کسمایی, م., ۱۳۹۲, اقلیم و معماری. اصفهان: نشر خاک.
۲۸. CEN, 2007, *DIN EN 15251*.
۲۹. Haddad, S., *Thermal Comfort in Naturally Ventilated Schools; A field study of thermal comfort in Iranian primary school classrooms.*, in *Faculty of Built Environment*. 2016., The University of New South Wales.
۳۰. رازجویان, م., پوردیهیمی, ش., و طاهباز, م., ۱۳۸۳, قاب هرم/شیدی پنجره تاثیر همزمان نور و گرمای خورشید در طراحی پنجره, وزارت علوم, تحقیقات و فناوری - دانشگاه شهید بهشتی - دانشکده معماری و شهرسازی.
۳۱. سلطاندوست, م., ۱۳۹۷, آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخل. ناشر: یزدا.
۳۲. محمد, ش., ۱۳۹۲, مطالعه رفتار حرارتی مصالح رایج در ساخت دیوار* مطالعه موردی: ساختمانهای مسکونی شهر تهران. نشریه هنرهای زیبا.

۳۳. زمردیان، ز.، امینیان، س.، و طاهباز، م.، ۱۳۹۵، ارزیابی آسایش حرارتی در کلاس درس در اقلیم گرم و خشک مطالعات میدانی: دبستان دخترانه در شهر کاشان. هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی: صفحه ۱۷-۲۸.
۳۴. شاعری، ج. و همکاران، ۱۳۹۶، بررسی دما، رطوبت نسبی و سرعت جریان باد در ساختمان های سنتی مسکونی بوشهر در فصل گرما (نمونه موردی عمارت گلشن و عمارت دهدشتی). هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی: صفحه ۹۳-۱۰۵.
۳۵. حیدری، ش.، ۱۳۸۸، دمای آسایش حرارتی مردم شهر تهران نشریه هنرهای زیبا.
۳۶. حیدری، ش. و غفاری جباری. ش.، ۱۳۸۹، منطقه راحتی حرارتی در اقلیم سردوخشک ایران. نشریه هنرهای زیبا.
۳۷. حیدری، ش. و عینی فر. م.، ۱۳۹۰، جریان هوا، واکنش حرارتی و آسایش در سیاه چادر (مطالعه موردی کوچروان ایلام). نشریه هنرهای زیبا.
۳۸. Park, J.Y. and Z. Nagy, 2018, *Comprehensive analysis of the relationship between thermal comfort and building control research-a data-driven literature review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. **82**: p. 2664-2679.
۳۹. Zomorodian, Z., M. Azizkhani, and L. Beltran, 2017, " *Evaluation of Thermal and Visual Comfort in University Classrooms: The Cases of Two LEED Silver Certified Buildings on the Campus of Texas A&M University*.
۴۰. Chaudhuri, T., et al., 2016, *On assuming Mean Radiant Temperature equal to air temperature during PMV-based thermal comfort study in air-conditioned buildings*.
۴۱. Emir, S., 2016, *The evaluation of thermal comfort on primary schools in hot-humid climates: a case study for antalya*. European Journal of Sustainable Development. **5**(1): p. 53-62.
۴۲. Teli, D., J.-O. Dalenbäck, and L. Ekberg, 2016, *Winter thermal comfort and indoor air quality in Swedish grade school classrooms, as assessed by the children*.
۴۳. Hwang, R.-L., T.-P. Lin, and N.-J. Kuo, 2006, *Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan*. Energy and buildings. **38**(1): p. 53-62.
۴۴. Yao, R., B. Li, and J. Liu, 2009, *A theoretical adaptive model of thermal comfort- Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV)*. Building and environment. **44**(10): p. 2089-2096.
۴۵. Rospi, G., et al., 2017, *Analysis of the energy performance strategies of school buildings site in the Mediterranean climate: A case study the schools of Matera city*. Energy and buildings. **152**: p. 52-60.
۴۶. Ricciardi, P. and C. Buratti, 2018, *Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions*. Building Environment. **127**: p. 23-36.
۴۷. Yao, R., J. Liu, and B.J.A.E. Li, ۲۰۱۰, *Occupants' adaptive responses and perception of thermal environment in naturally conditioned university classrooms*. **87**(3): p. 1015-1022.

- .۴۸ Buratti, C. and P. Ricciardi. 2006, *Thermal-hygro-metry comfort in university classrooms: Experimental results in north and central Italy universities conducted with new methodologies based on the adaptive model*. in *3rd International Building Physics Conference, Montreal*.
- .۴۹ Corgnati, S.P., et al.,2007, *Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort*. **42**(2): p. 951-959.
- .۵۰ Nico, M.A., S. Liuzzi, and P.J.A.e. Stefanizzi,2015, *Evaluation of thermal comfort in university classrooms through objective approach and subjective preference analysis*. **48**: p. 111-120.
- .۵۱ Jung, G.J., et al.,2011, *Experimental research on thermal comfort in the university classroom of regular semesters in Korea*. **25**(2): p. 503-512.
- .۵۲ Mustapa, M.S., et al.,2016, *Thermal comfort and occupant adaptive behaviour in Japanese university buildings with free running and cooling mode offices during summer*. *Building and Environment*. **105**: p. 332-342.
- .۵۳ Barbhuiya, S. and S. Barbhuiya,2013, *Thermal comfort and energy consumption in a UK educational building*. *Building and Environment*. **68**: p. 1-11.
- .۵۴ Almeida, R.M., N.M. Ramos, and V.P. de Freitas,2016, *Thermal comfort models and pupils' perception in free-running school buildings of a mild climate country*. *Energy and Buildings*. **111**: p. 64-75.
- .۵۵ Nicol, F., M. Humphreys, and S. Roaf,2012, *Adaptive thermal comfort: principles and practice*. Routledge.
- .۵۶ DeDear, R., G. Brager, and D. Cooper,1997, *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference: final report [on] ASHRAE RP-884*. Macquarie Research Limited.
- .۵۷ Nicol, J.F. 2000, *Time and thermal comfort: evidence from the field*. in *World Renewable Energy Congress VI*. Elsevier.
- .۵۸ Wikipedia.Shahroud.; Available from: <https://fa.wikipedia.org/>
- .۵۹ Diebel, J., J. Norda, and O. Kretchmer.Average Weather in Shahrud.
- .۶۰ Hoyt, T., et al.2017 *CBE Thermal Comfort Tool*.; Available from: <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>
- .۶۱ ISO 28802, .2012, *Ergonomics Of The Physical Environment-Assessment Of Environments By Means Of An Environmental Survey Involving Physical Measurments Of The Environment Subjective Responses Of People*.
- .۶۲ CEN, I.,2007, *Ergonomics of the thermal environment — Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*.
- .۶۳ Abdi, H.,2007, *The Kendall rank correlation coefficient* .Encyclopedia of Measurement and Statistics. Sage, Thousand Oaks, CA: p. 508-510.
- .۶۴ solutions., s.2019 *Kendall's Tau and Spearman's Rank Correlation Coefficient*. Available from: <https://www.statisticssolutions.com/kendalls-tau-and-spearman-rank-correlation-coefficient/>

- .۶۵ Shaldehi, A.H.,2013, *Using Eta (η) correlation ratio in analyzing strongly nonlinear relationship between two Variables in Practical researches*. Journal of mathematics and computer science. **7**(3): p. 213-220.
- .۶۶ Mcdonald, J.H.2019 *Correlation and linear regression.*; Available from: <http://www.biostathandbook.com>.
- .۶۷ de Dear, R. and M. Fountain,1994, *Field experiments on occupant comfort and office thermal environments in a hot-humid climate*.
- .۶۸ Newsham, G.R., D.K. Tiller, and D. Phil,1997, *A field study of office thermal comfort using questionnaire software*. TRANSACTIONS-AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **103**: p. 3-17.
- .۶۹ Takasu, M., et al.,2017, *Study on adaptive thermal comfort in Japanese offices under various operation modes*. Building and Environment. **118**: p. 273-288.
- .۷۰ McIntyre, D.A.,1982, *Chamber studies—reductio ad absurdum?* Energy and Buildings. **5**(2): p. 89-96.
- .۷۱ Ballantyne, E., R. Hill, and J. Spencer,1977, *Probit analysis of thermal sensation assessments*. International Journal of Biometeorology. **21**(1): p. 29-43.
- .۷۲ Finney, D.,1971, *Probit analysis*, Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- .۷۳ de Dear, R., et al.,2015, *Adaptive thermal comfort in Australian school classrooms* .Building Research & Information. **43**(3): p. 383-398.

Abstract

Today, humans spend most of their time indoors and they need to provide a place of residence, security and comfort for the users, failing to meet these conditions can impair the physical and mental condition of its occupants, and attention must be paid. To meet these conditions, however, also requires cost and energy. Educational spaces are an example of these buildings that students spend time in. Providing proper thermal comfort in addition to improving student performance also reduces energy consumption. In the present study, for surveying and evaluation of thermal comfort conditions in the north (eighteenth class) and south (fourteen class) classes of faculty of architectural engineering and urbanism at Shahrood university of technology, as a case study, two types of thermal comfort conditions were selected for the study. The Ashrae model and Adaptive model are used. The results of this evaluation are, in the hot season, for northern class neutral temperature, preferred temperature & range of thermal comfort is; 23.33, 24.5 & 17-27 and in southern class is; 23.85, 22.5 & 18.5-28.5 degrees. In the cold season, for northern class neutral temperature, preferred temperature & range of thermal comfort is; 23.55, 22.5 & 23.5-30 and in southern class is; 24.07, 22.5 & 23.5-30 degrees. Investigating the correlations and relationships between the variables of thermal comfort in this study and within the studied classes showed that the importance of the operating temperature resulting from the radiation temperature and the indoor air temperature can be considered as the most important factors, respectively. The other factors of importance, respectively, are relative humidity, air velocity, and cover. They have less impact on thermal comfort conditions in the hot and dry climates of Shahrood city and, in the end, comparing the statistical population of females and males as well as comparing the two classes of the North and South, it should be noted that there is a significant difference between the two student societies, female and male and also it was not observed between the two classes.

Keywords : Educational spaces, Thermal comfort, Ashare model, Adaptive model, Neutral temperature, Preferred temperature, Range of comfort.



Shahrood University of
Technology

Faculty of Architectural engineering and Urbanism

M.Sc. Thesis in Architecture

Evaluation of Thermal Comfort in Educational buildings (case study : Faculty of Architectural and Urbanism in Shahrood University of Technology)

By: Pedram Alibeiki

Supervisors:

Dr. Masoud Taheri Shahraeini

Dr. Yongchao Zhai

Advisor:

Dr. Davood Shabsavani

June 2019