نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی ● دوره ۲۱ ● شماره ۴ ● زمستان ۱۳۹۵

ارزیابی آسایش حرارتی در کلاس درس در اقلیم گرم و خشک*

مطالعات میدانی: دبستان دخترانه در شهر کاشان

زهراسادات زمردیان[۱**]، **سعید امینیان**[۲]، **منصوره طاهباز**[۳]
[۱] دانشجوی دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
[۲] کارشناس ارشد معماری، عضو هیئت علمی جهاد دانشگاهی تهران، تهران، ایران.
[۳] دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
(تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۹/۱۰، تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۷/۲۴)

چکیده

در حالی که دانش‌آموزان بیش از یک سوم زمان خود را در مدارس می‌گذرانند، آسایش حرارتی در کلاس‌های درس بدلیل تأثیر مستقیم بر بهره‌وری و سلامت دانش‌آموزان از اهمیت زیادی برخوردار است. تحلیل آسایش حرارتی در فضاهای داخلی می‌تواند اطلاعات مهمی برای طراحی فراهم کند؛ هرچند فاکتورهای متعدد تأثیرگذار، تحلیل آسایش حرارتی را معمولاً پیچیده کرده‌اند. آسایش حرارتی در مدارس به دلیل سن، جنسیت، نوع فعالیت، پوشش و زمان استفاده دیکته شده، موضوعی چالش‌برانگیز بوده که نیازمند مطالعات میدانی است. در این پژوهش، آسایش حرارتی دانش‌آموزان دختر پایه ابتدایی (۱۰-۱۱سال) در دو کلاس درس در مدرسه‌ای در شهر کاشان ارزیابی شده‌است. ارزیابی شامل دو بخش کمّی و کیفی، شامل استفاده همزمان از پرسشنامه و اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی بوده‌است. نتایج حاصل تحلیل و با استانداردهای آسایش حرارتی از جمله اشری۵۵ و ایزو۷۷۳۰ مقایسه شده‌است. بنابر نتایج، احساس حرارتی دانش‌آموزان متفاوت از بزرگسالان بوده و با استانداردهای متداول قابل ارزیابی نیست. شرایط حرارتی کلاس‌های درس در تمامی ساعت‌های مورد مطالعه قابل قبول نبوده و با هیچکدام از استانداردها مطابقت ندارد. همچنین در مدارس با توجه به محدودیت‌های رفتاری دانش‌آموزان در تطبیق خود با شرایط محیطی لازم است بر روی تمهیدات معماری و تأسیساتی برای تأمین شرایط آسایش در کلاس تمرکز کرد.

واژه‌های کلیدی
آسایش حرارتی، کلاس درس، مصرف انرژی، پی ام وی، آسایش تطبیقی.

* مقاله حاضر برگرفته از طرح پژوهشی تحت عنوان: "تدوین راهنمای طراحی مدارس با تراز مصرف انرژی صفر در اقلیم‌های سرد و خشک وگرم و خشک" به سفارش سازمان نوسازی و تجهیز مدارس کشور در سال ۱۳۹۴ است.
**نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۷۳۰۷۲۴۰۱، نمابر: ۰۲۱-۲۲۴۳۱۶۳۰، E-mail: z_zomorodian@sbu.ac.ir.

مقدمه

یکی از جنبه‌های مهم کیفیت محیط داخلی و منبع اصلی مصرف انرژی در ساختمان‌ها و بخصوص مدارس، تأمین آسایش حرارتی است (Zhang et al., 2007). افزایش بیش از حد دما بواسطه تراکم بالا در کلاس‌ها و محدودیت‌هایی از جمله عدم امکان تغییر پوشش و موقعیت برای کنترل محیط، منجر به نارضایتی حرارتی و افت کارآیی دانش‌آموزان می‌شود. ارزیابی آسایش حرارتی در فضاهای داخلی اقدامی ضروری بوده و می‌تواند اطلاعات مهمی برای طراحی ساختمان‌ها و در نتیجه سطح مناسبی از آسایش حرارتی را برای کاربران هم‌زمان با مصرف انرژی کمتر فراهم کند. مرور تحقیقات نشان می‌دهد که ارزیابی آسایش حرارتی در مدارس بویژه پایه ابتدایی نسبت به ساختمان‌های اداری و مسکونی بسیار کمتر صورت گرفته‌است. یکی از دلایل تحقیقات معدود ممکن است ناشی از تصور عمومی بر عدم توانایی دانش‌آموزان بر بیان احساس و ترجیح حرارتی خویش بر اساس مقیاس‌های متداول باشد. در صورتی که توانایی دانش‌آموزان در این رابطه در تحقیقات مختلفی از جمله (Humphrey, 1977) تأیید شده‌است. نتایج تحقیقات حاکی از این است که دانش‌آموزان، ادراک حرارتی متفاوتی نسبت به بزرگسالان داشته و لذا اعلام می‌کنند که استانداردهای متداول آسایش حرارتی برای ارزیابی آسایش حرارتی کودکان مناسب نیست و مطالعات بیشتری در این حوزه لازم است (Teli et al., 2013; Mors et al., 2011; Liang et al., 2011). در ایران نیز دو مورد تحقیقات منتشر شده در مدارس صورت گرفته‌است. زهیری و همکاران[1] (۲۰۱۴) در مدارس راهنمایی تهران وضعیت آسایش حرارتی دانش‌آموزان دختر را ارزیابی کرده و با دمای آسایش پیشنهادی حیدری (۱۳۸۸) مقایسه کرده و راهکارهای طراحی برای بهبود وضعیت را ارائه نموده‌اند. همچنین حداد و همکاران (۲۰۱۴)[2]، مطالعات گسترده‌ای در کلاس‌های درس پایه ابتدایی شهر شیراز انجام داده‌اند. از جمله نتایج انتشار یافته آن مطالعه بر روی سطح فعالیت دانش‌آموزان به عنوان یکی از پارامترهای اصلی در ارزیابی آسایش حرارتی بوده‌است. مطالعات نشان داده است که ارتباط مستقیم پارامترهای اقلیمی، فیزیولوژیکی و فرهنگی کاربران با آسایش حرارتی، استفاده از نتایج تحقیقات پیشین برای نتیجه‌گیری در ارتباط با احساس حرارتی کاربران از دقت کافی برخوردار نیست و انجام تحقیقات میدانی را در ساختمان‌ها با کاربری و گروه‌های سنی و اقلیم‌های مختلف ضروری می‌سازد. تحقیق حاضر با استفاده از مطالعات میدانی، شرایط حرارتی را در دو کلاس درس در شهر کاشان ارزیابی می‌کند. در این میان دو پرسش مطرح است که اولاً آیا آسایش حرارتی دانش‌آموزان در فصل گرم در کاشان مطابق با استانداردهای متداول قابل ارزیابی است؟ و ثانیاً اینکه آیا دانش‌آموزان با رفتارهای تطبیقی در کلاس‌های درس می‌توانند شرایط آسایش خود را بهبود دهند؟ در راستای پاسخگویی به سؤالات، ابتدا در بخش اول بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و مرور تحقیقات پیشین، پارامترهای مهم در آسایش حرارتی شناسایی و در مرحله بعد با مطالعات میدانی شرایط حرارتی کلاس‌های درس ارزیابی شده‌است. لازم به ذکر است این مطالعه صرفاً جهت ارزیابی وضعیت موجود در کلاس‌های درس صورت پذیرفته‌است و هدف آن، بیان ضرورت و روش ارزیابی آسایش حرارتی در مدارس است. برای نتیجه‌گیری در رابطه با محدوده آسایش قابل قبول دانش‌آموزان در این اقلیم لازم است مطالعات وسیعی در طول کل سال تحصیلی و در نمونه‌های متعددی هم دختران و هم پسران در رده‌های سنی مختلف در مقاطع مختلف صورت گیرد.

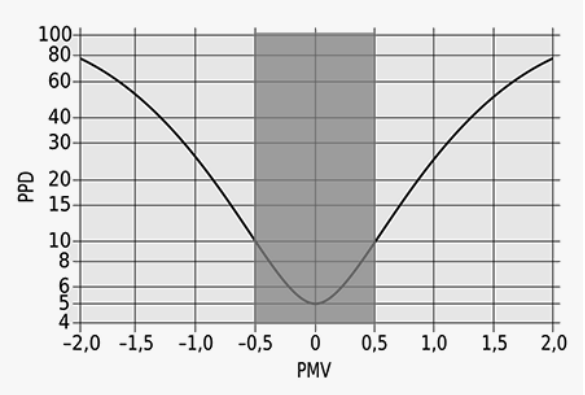
۱. مبانی نظری آسایش حرارتی

اشری، آسایش حرارتی را شرایطی ذهنی می‌داند که رضایت‌مندی شخص را از شرایط حرارتی محیط خویش بیان می‌کند (ASHRAE 55, 2010, 3). دو رویکرد اصلی برای ارزیابی آسایش حرارتی ارائه شده‌است. ۱. رویکرد تعادل حرارتی که بر اساس نتایج تحقیقات فنگر (۱۹۷۰) در شرایط آزمایشگاهی بوجود آمده و ۲. رویکرد تطبیقی. مبنای نظری رویکرد تعادل حرارتی، ارتباط نزدیک احساس حرارتی با سیستم تنظیم حرارت بدن است (Van Hoof, 2008). رویکرد اول آسایش حرارتی را براساس شاخص PMV - PPD[3] می‌سنجد. شاخص پی ام وی، بیانگر متوسط آرای پیش‌بینی شده و شاخص پی پی دی، بیانگر درصد پیش‌بینی شده نارضایتی است. این شاخص بر اساس چهار پارامتر محیطی شامل ۱. دمای هوا، ۲. دمای متوسط تابشی، ۳. رطوبت نسبی و ۴. جریان هوا و دو پارامتر فردی شامل: متابولیک و پوشش افراد، متوسط آرای پیش‌بینی شده را محاسبه می‌کند. همچنین با توجه به میزان رضایت‌مندی پیش‌بینی شده، درصد نارضایتی (PPD) پیش‌بینی می‌شود (تصویر۱). محدوده خاکستری رنگ در تصویر، محدوده آسایش حرارتی را مشخص می‌کند.

رویکرد دوم (تطبیقی)، در سال ۱۹۷۳ توسط هامفری اکثراً براساس نتایج تحقیقات میدانی در اداره‌ها و کلاس‌های دانشگاهی تدوین شده‌است. آنها از طریق پرسشنامه، احساس حرارتی کاربران را در نمونه‌های متعددی در سراسر دنیا در ساختمان‌هایی که از تهویه طبیعی بهره می‌برده‌اند، مورد مطالعه

قرار داده و با فراتحلیل، رابطه‌ای خطی برای تعیین دمای آسایش در فضای داخلی بر اساس متوسط دمای خارجی[۴] ارائه کرده‌اند. این رابطه در استاندارد اشری ۵۵، برای ارزیابی آسایش حرارتی در ساختمان‌ها با تهویه طبیعی معرفی شده است (جدول ۲). هر دو رویکرد تعادل حرارتی و تطبیقی، نقاط قوت و محدودیت‌هایی در تعیین دمای آسایش دارند(Van Hoof, 2008; Van Hoof, 2010; Halawaa & Hoof, 2012) که در جدول ۱ ارائه شده است.

اساس رویکرد تطبیقی بر این است که در صورت بروز تغییر در آسایش، افراد به گونه‌ای رفتار می‌کنند که آسایش حرارتی خود را بازیابند. بستر[۵]، پیشینه حرارتی[۶] و انتظارات فرد، ترجیهات حرارتی او را مشخص می‌کنند. تئوری آسایش تطبیقی، سه نوع تطبیق را برای کاربر در نظر می‌گیرد. ۱. تطبیق فیزیولوژیکی، ۲. تطبیق روانی و ۳. تطبیق رفتاری. محققان این سه نوع تطبیق را به عنوان علت اختلاف بین درصد میانگین آرای پیش‌بینی‌شده (PMV[۷]) و میانگین آرای واقعی (AMV[۸]) حاصل از پرسشنامه‌ها در مطالعات میدانی می‌دانند. اما در رابطه با میزان تأثیر انواع تطبیق‌ها بر دمای آسایش، کمتر مطالعه شده‌است. رویکرد تطبیقی، آسایش حرارتی را برخلاف رویکرد تعادل حرارتی، تنها وابسته به پارامتر دمای هوای بیرون[۹] می‌داند. این روش فقط در ساختمان‌هایی که کاربران بر روی محیط کنترل دارند (منظور کنترل بر روی پوشش خود، حرکت خود و همچنین باز و بسته



تصویر ۱- ارتباط متوسط آرای پیش‌بینی شده (PMV) و درصد نارضایتی پیش‌بینی شده (PPD).
ماخذ: (Parson, 2002, 269)

کردن پنجره‌ها است)، با داشتن شرایطی قابل بکارگیری است: الف: هیچ سیستم سرمایش مکانیکی استفاده نشود، هیچ سیستم گرمایشی بکارگرفته نشود، ب: نرخ متابولیسم کاربران بین ۱-۱٫۳ (Met[۱۰]) باشد و ج: کاربران امکان تغییر آزادانه ضریب پوشش خود را بین ۰٫۵- ۱ (Clo[۱۱]) داشته باشند (ASHRAE 55, 2010, 4). پایه‌گذاران این تئوری (نیکل و هامفری)، ارتباط نسبی بین پوشش و سطح فعالیت با دمای هوای بیرون را، علت کنار گذاشتن این پارامترها در تحلیل آسایش می‌دانند (Nicol& Humphreys, 2002). گرچه به علت در نظر نگرفتن متوسط دمای تابشی و جریان هوا در تحلیل‌ها هیچ اشاره‌ای نمی‌شود (Halawa & Hoof, 2012). بطورکلی رویکرد تطبیقی به آسایش حرارتی، بدلیل اینکه کاربر را به عنوان عنصری فعال که خود برای بازیابی آسایش حرارتی خود با محیط تعامل می‌کند، می‌بیند، برای ارزیابی آسایش حرارتی مناسب‌تر از رویکرد تعادل حرارتی که شرایط آسایش فرد را عمدتاً وابسته به پارامترهای فیزیکی می‌داند، است. اما با محدودیت‌هایی مواجه است. دِ دیر(۲۰۱۳) از محققان برجسته آسایش حرارتی، جامع‌ترین رویکرد به آسایش حرارتی را رویکردی می‌داند که ترکیب دو رویکرد تطبیقی و تعادل حرارتی باشد. یعنی هم به فاکتورهای محیطی از جمله دمای هوا، رطوبت، جریان هوا، دمای متوسط تابشی و هم به پارامترهای تطبیقی (فرهنگ و بستر و رفتار کاربران) توجه کند (Yao et al, 2010; Mors, 2011; Hussein & Rahman, 2009).

۱.۱. شاخص‌های ارزیابی آسایش حرارتی

در مطالعات میدانی، احساس حرارتی کاربران باید به شاخصی که معرفی‌کننده آب و هوای محیط باشد، ارتباط داده‌شود. این شاخص در طول زمان در مطالعات مختلف متفاوت بوده‌است. از جمله این شاخص‌ها AMV، PMV، دمای هوای داخلی، دمای معادل(t_{eq})[۱۲]، دمای (ET*)مؤثر[۱۳] یا دمای عامل(t_o)[۱۴] و دمای خارجی است. برخی از شاخص‌ها مانند دمای مؤثر یا دمای عامل، پیچیده‌تر بوده و پارامترهای محیطی مختلفی را شامل می‌شوند. جزییات مربوط به محاسبه این پارامترها و شرایط بکارگیری آنها در راهنمای مرجع اشری(ASHRAE Handbook, Fundamentals, 2013, 179) بیان شده است.

جدول ۱- نقاط قوت و ضعف رویکرد تعادل حرارتی آسایش و رویکرد تطبیقی.

رویکرد	نقاط قوت	نقاط ضعف
تعادل حرارتی	تطابق بیشتر در ساختمان‌ها با تهویه مکانیکی	متفاوت بودن پارامترهای محیطی در شرایط آزمایشگاهی و واقعی
	اعتبار بیشتر نسبت به سایر رویکردها	در نظر نگرفتن رفتارهای تطبیقی افراد
	اهمیت به پارامترهای فیزیولوژیکی انسان	در نظر نگرفتن فرهنگ و اقلیم و کاربری ساختمان
	در نظر گرفتن پارامترهای محیطی از جمله جریان هوا و رطوبت	عدم کارایی در ساختمان‌ها با تهویه طبیعی
تطبیقی	در نظر گرفتن رفتارهای تطبیقی کاربران	در نظر نگرفتن پارامتر محیطی جریان هوا و رطوبت نسبی
	نزدیک به شرایط واقعی	عدم اعتبار در ساختمان‌ها با تهویه مکانیکی
	تطابق بیشتر در ساختمان‌ها با تهویه طبیعی	عدم اعتبار در فضاهایی که محدودیت‌های کنترلی در فضا دارند

دِدیر و برگر(۱۹۹۸) دریافتند که بهترین ارتباط بین احساس حرارتی کاربران و دمای عامل برقرار می‌شود. دمای عامل حاصل میانگین دمای متوسط تابشی(t_r) و دمای هوا(t_a) در فضاهایی که جریان هوا کمتر یا مساوی ۰٫۲ متر بر ثانیه است، می‌باشد (رابطه ۱). در صورتی که متوسط جریان هوا(Var) بین ۰٫۲-۰٫۶ باشد ضریب A برابر ۰٫۶ و در صورتی که متوسط جریان هوا بین ۰٫۶-۱٫۰ باشد ضریب A ۰٫۷ در نظر گرفته می‌شود(ASHRAE Hand-book, Fundamentals, 2013). اعتبار این شاخص در بسیاری از تحقیقات آسایش حرارتی از جمله: بوراتی و ریکاردی(۲۰۰۹)، هوانگ و همکاران(۲۰۰۶)، ژنگ و همکاران(۲۰۰۷) و تلی و همکاران(۲۰۱۲)، برای ارزیابی آسایش حرارتی کاربران با فعالیت‌های نشسته تأیید شده‌است.

رابطه ۱: $A*t_a+(1-A)*t_r$

استانداردهای کنونی آسایش حرارتی مانند اشری۵۵ [۱۵]، ایزو ۷۷۳۰ [۱۶] و ای ان ۱۵۲۵۱ [۱۷]، دمای آسایش را برای فضاهای داخلی بر اساس رویکرد تعادل حرارتی و تطبیقی ارائه می‌کنند. براساس استاندارد اشری ۵۵ و ایزو ۷۷۳۰، شاخص پی ام وی در کلاس درس که در سطح دو آسایش طبقه‌بندی می‌شود، باید بین ۰٫۵- و ۰٫۵+ باشد و میزان نارضایتی حرارتی پیش‌بینی شده (PPD) نیز کمتر از ۱۰٪ باشد. الزامات استانداردهای مختلف در تصویر۱ و جدول۲ ارائه شده است.

استانداردهای آسایش حرارتی بر اساس مطالعات بر روی کاربران بزرگسال تدوین شده است و الزامات ارائه شده برای همه گروه‌های سنی و هر دو جنسیت یکسان در نظر گرفته شده است. در حالی که احساس حرارتی گروه‌های سنی مختلف(کودکان، بزرگسالان و کهنسالان) در شرایط واقعی همانطور که تحقیقات مختلف تأیید کرده‌اند، غالباً متفاوت بوده و مطابق با این استانداردها نیست. در حالی که محدودیت و پراکندگی داده‌ها از مطالعات میدانی در این گروه‌های سنی، امکان نتیجه‌گیری جامعی از احساس حرارتی کودکان و کهنسالان در مقابل بزرگسالان را نمی‌دهد. در برخی تحقیقات کودکان در دماهای پایین‌تر از بزرگسالان احساس آسایش(De dear et al., 2015) و در برخی تحقیقات در دماهای بالاتر از استانداردها رضایت‌مندی حرارتی دارند. محققان دلایل متعددی را برای اختلاف بین احساس واقعی دانش‌آموزان و احساس حرارتی پیش‌بینی‌شده در استانداردها ارائه کرده‌اند. از جمله اینکه کودکان در مقایسه با بزرگسالان، نسبت به تغییرات دمایی حساسیت کمتری دارند (Humphrey,1977) و بدنشان با سرعت بیشتری حرارت از دست می‌دهد (McCullough et al., 2009). همچنین تفاوت در سطح فعالیت آنها نیز می‌تواند منجر به احساس حرارتی متفاوت شود (Havenith, 2007; Haddad et al, 2014).

۲. مطالعات میدانی

برای بدست آوردن فهم جامعی نسبت به شرایط موجود از نظر آسایش حرارتی و تدوین استراتژی‌های طراحی مدارس در کاشان، مطالعات میدانی در یک مدرسه ابتدایی دخترانه در روز شانزده اردیبهشت ۱۳۹۳(۶ می ۲۰۱۴) در شهر کاشان انجام گرفت. از آنجایی که بر اساس تحقیقات ارائه شده در بخش قبل، هم پارامترهای فیزیکی شامل دما، رطوبت، جریان هوا و متوسط دمای تابشی و هم تطبیقی شامل رفتار کاربران در تبیین شرایط آسایش حرارتی انسان نقش ایفا می‌کنند و جامع‌ترین رویکرد ارزیابی آسایش حرارتی، در نظرگرفتن همزمان رویکرد تعادل حرارتی و تطبیقی است، هر دو دسته از این پارامترها همزمان بوسیله مشاهده، اندازه‌گیری و پرسشنامه در دو کلاس درس در این دبستان بررسی شده‌است. هدف اصلی این مطالعه، بدست آوردن دیدگاهی کلی نسبت به شرایط آسایش حرارتی دانش آموزان دختر در مدارس در کاشان و آگاهی از اهیت موضوع آسایش دانش آموزان در کلاس‌های درس است. از نتیجه این مطالعه برای اولویت‌بندی استراتژی‌های طراحی مدارس در این اقلیم بهره گرفته شده است. لازم به ذکر است تعیین محدوده دمای آسایش دانش‌آموزان، احتیاج به بررسی دقیق نمونه‌های متعددی تحت شرایط یکسان در بازه زمانی حداقل یک سال تحصیلی دارد که خارج از محدوده این تحقیق است. در این تحقیق، مطالعات میدانی با هدف بررسی اهمیت موضوع از نظر دانش‌آموزان و معلمان، توانایی در درک و پاسخگویی به

جدول ۲- الزامات استانداردهای آسایش حرارتی در کلاس‌های درس.

استاندارد	رویکرد آسایش حرارتی	دمای عامل در زمستان °C	دمای عامل در تابستان °C
ISO 7730 (2005)	تعادل حرارتی $-0.5 < PMV < +0.5$ $PPD < 10\%$	20–24	23–26
ASHRAE 55 (2004)	تعادل حرارتی $-0.5 < PMV < +0.5$ $PPD < 10\%$	20.5 - 25.5	24.5 – 28.0
ASHRAE 55 (2010)	تطبیقی	$T_n = 0.31T_O + 17.8$	

T_O= دمای بیرون

T_n= دمای آسایش

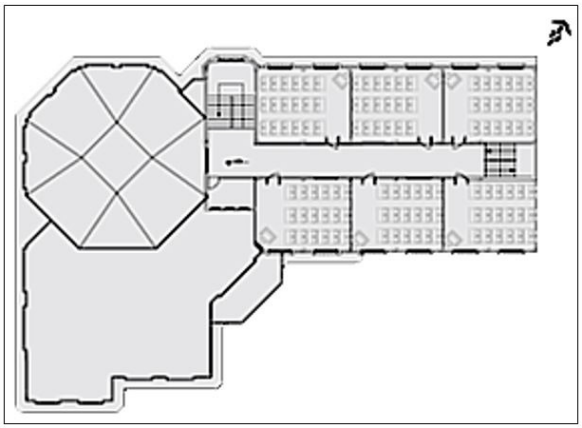
پرسشنامه‌ها و مشاهده رفتارهای آنها در مدرسه بصورت آزمایشی در دو کلاس درس صورت گرفته است. مطالعات میدانی بسیار هزینه و زمان‌بر بوده و با توجه به اختلالی که در برنامه کلاسی صورت می‌گیرد، امکان تکرار آن در زمان‌های مختلف فراهم نبود. اکثر تحقیقات انجام شده در ایران، صرفاً به شبیه‌سازی برای بررسی وضعیت آسایش حرارتی در فضاهای داخلی ساختمان بسنده کرده در حالی که رفتار کاربران در اکثر اوقات متفاوت از پیش فرض‌های درنظر گرفته در شبیه‌سازی است و لازم است تحقیقات میدانی برای شناسایی این رفتارها و نیازهای اصلی کاربران صورت گیرد.

۱.۲. معرفی نمونه مورد بررسی

دبستان دخترانه مورد مطالعه در منطقه ناجی‌آباد شهرکاشان در سال ۱۳۸۹ تأسیس شده‌است. فرم و پلان فشرده و از جملهٔ فرم‌های رایج مدارس در کشور است. ساختمان مدرسه دوره اول و دوم ابتدایی را در ۳ طبقه پوشش داده‌است. کلاس‌های درس جهت‌گیری شمال‌غربی و جنوب شرقی داشته و از خصوصیات مهم ساختار آن می‌توان به دیوارهای ۲۰ سانتی‌متری آجر سفال، سقف تیرچه بلوک همراه با عایق حرارتی و پنجره با شیشه دوجداره و پروفیل آلومینیومی اشاره نمود. متوسط سطح پنجره در تمام جهات ۲۱٪ می‌باشد و ۱۰ سانتیمتر پیشامدگی در بالا و طرفین پنجره‌ها وجود دارد (تصویر۲). تعداد ۵۳۰ دانش‌آموز بین ۷ تا ۱۲ سال در این یک نوبت از ساعت ۷:۴۵ تا ۱۲:۴۵ در مدرسه حضور دارند. گرمایش فضاها با رادیاتور و سرمایش با کولر آبی صورت می‌گیرد. برای بررسی تأثیر سیستم سرمایش بر شرایط حرارتی کلاس اندازه‌گیری‌ها و پرسشنامه‌ها تماماً در شرایط بدون کولر و در یکی از بازه‌های زمانی برای بررسی تأثیر کولر بر شرایط حرارتی با روشن بودن کولر انجام گرفته‌است.

۲.۲. پرسشنامه

پر کردن پرسشنامه‌ها و اندازه‌گیری‌های فیزیکی بصورت همزمان با فاصله زمانی یک ساعت در روز ۱۶ اردیبهشت ماه در دو کلاس درس شمالی و جنوبی مدرسه انجام شد. دو پرسشنامه بصورت جداگانه برای معلم و دانش‌آموزان بر اساس استاندارد



تصویر۲- پلان طبقه دوم مدرسه.

اشری طراحی، و در سه زنگ متوالی پر شده‌است. پرسشنامه دانش‌آموزان بصورت ساده و با بهره‌گیری از تصاویر برای تفهیم بهتر تهیه شده‌است. پرسشنامه در تصویر ۳ نمایش داده شده است. سؤالات بصورت خلاصه و محدود به احساس حرارتی و ترجیح حرارتی و وضعیت خستگی در سه زنگ متوالی پرسیده شده‌است. از مقیاس سه‌تایی بدفورد(۱ - سرد،۰ مناسب و ۱ +گرم) برای احساس حرارتی و مقیاس هفت‌تایی آسایش اشری (۳ -خیلی سرد تا ۳+ خیلی گرم) برای ارزیابی ترجیح حرارتی در پرسشنامه‌ها استفاده شده‌است. تعداد ۵۹ دانش‌آموز دختر پایه ۵ دبستان در دو کلاس شمالی و جنوبی این دبستان به سؤالات پاسخ دادند. مجموعاً ۱۷۷ پرسشنامه جمع‌آوری شد و پرسشنامه‌ها در هر دوره، ۴۵ دقیقه پس از شروع کلاس بین دانش‌آموزان توزیع شده‌است. با توجه به اهمیت رفتارهای کنترلی کاربران در تبیین شرایط آسایش، این رفتارها در طول روز ثبت شده‌است. این رفتارها شامل جابجایی دانش‌آموزان درکلاس، باز و بسته‌کردن پنجره‌ها و درب کلاس، کشیدن و جمع‌کردن پرده‌ها و روشن و خاموش‌کردن چراغ‌ها در بازه‌های زمانی یک ساعته ثبت شده‌است.

۳.۲. اندازه‌گیری پارامترهای محیطی

پارامترهای فیزیکی شرایط داخلی شامل دما، رطوبت، متوسط دمای تابشی و جریان هوا در بازه‌های زمانی نیم ساعته و یک ساعته در هر کلاس با استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری ثبت شده‌است. دقت دستگاه‌ها بر اساس استاندارد ایزو ۷۷۳۰ کنترل شده‌است. ابزار و بازه‌های زمانی اندازه‌گیری در جدول ۳ نشان داده شده‌است.

دستگاه بکارگرفته‌شده برای اندازه‌گیری جریان هوا، توانایی اندازه‌گیری جریان‌های بسیار کم (کمتر از ۰٫۱) را نداشته و با توجه

تصویر۳- پرسشنامه ارزیابی آسایش حرارتی دانش‌آموزان در کلاس‌های درس.

به سرعت بسیار کم جریان هوا در بیرون و بسته بودن پنجره‌ها در اکثر اوقات و خاموش بودن کولرها، جریان هوای داخلی بسیار ناچیز بوده و ۰٫۱ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده‌است. همچنین متوسط دمای تابشی به عنوان یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی آسایش حرارتی، بصورت غیرمستقیم بدست آمده‌است. دمای کروی با دستگاه WBGT اندازه‌گیری شده سپس با استفاده از محاسبات بوسیله ابزار آنلاین آسایش سی‌بی‌ای[۱۸]، متوسط دمای تابشی محاسبه شده‌است. اندازه‌گیری همه پارامترها در نقطه مرکزی کلاس درس در ارتفاع سر دانش‌آموزان (متر۰٫۸) انجام شده‌است. اطلاعات آب و هوای بیرونی در روز مورد نظر شامل دما، رطوبت، سرعت و جهت باد نیز از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی واقع در شهر کاشان دریافت شده‌است. علاوه بر پارامترهای فیزیکی، دو پارامتر پوشش و سطح فعالیت نیز برای ارزیابی شرایط آسایش حرارتی باید اندازه‌گیری شود. پوشش دانش‌آموزان مدرسه بر اساس چک لیست پوشش اشری استاندارد ۵۵ برای دانش‌آموزان دختر در شهر کاشان ۰٫۸ در فصل گرم محاسبه شده‌است. همچنین سطح فعالیت دانش‌آموزان باتوجه به برنامه درسی آنها محاسبه می‌شود که بطور معمول ۱٫۲ (MET) در نظر گرفته شده‌است (Haddad et al., 2014).

۳. نتایج و تحلیل

داده‌های جمع‌آوری شده در دو بخش داده‌های حاصل از پرسشنامه‌ها و مشاهدات و داده‌های حاصل از اندازه‌گیری، ارائه و تحلیل شده‌است.

۱.۳. رفتارهای تطبیقی دانش‌آموزان

مشاهدات حاکی از تعامل کاربران با محیط برای بازیابی شرایط آسایش خود بوده‌است. گرچه در بسیاری از مواقع محدودیت‌های فضا امکان تأمین شرایط آسایش را فراهم نمی‌کرد. همچنین برخی از رفتارهای ناآگاهانه نیز سبب بدترشدن وضعیت شده‌است. ازجمله رفتارهای مشاهده‌شده، کشیدن پرده‌ها در بیش از ۵۰٪ زمان کلاس و استفاده از نور مصنوعی در بیش از ۹۰٪ زمان کلاس برای جلوگیری از انعکاس نور روی تخته سیاه در کلاس جنوبی با وجود روشنایی طبیعی کافی بوده‌است. بنابراین در راستای کنترل تابش مزاحم و تامین روشنایی طبیعی، توجه به موقعیت، تناسبات و اندازه پنجره و تعبیه سایبان مناسب ضروری می باشد (تصویر۴).

همچنین کاربران برای بازکردن پنجره‌ها بدلیل تمهیدات امنیتی با محدودیت‌هایی مواجه بوده و برای تأمین هوای تازه با مشکلات جدی روبرو بوده‌اند. به‌علاوه پنجره‌های سمت راهرو که در ارتفاع تعبیه شده و در راستای بهره گیری از تهویه دو طرفه کارآمد می‌باشند، بدلیل تبادل صدا (به گفته دانش‌آموزان) همیشه بسته نگاه داشته می‌شوند. از جمله موضوعات مورد توجه در این مشاهدات، قدرت معلم در کنترل رفتارها است. مشاهدات نشان‌داد که معلم تصمیم‌گیرنده اصلی در انجام رفتارهای تطبیقی برای بازیابی شرایط آسایش است. بنابراین نقش آموزش و فرهنگ استفاده بسیار اهمیت دارد.

۲.۳. تحلیل پرسشنامه‌ها

- فهم دانش‌آموزان نسبت به پرسشنامه

بطورکلی دانش‌آموزان به‌راحتی به سوالات پرسشنامه پاسخ دادند. گرچه در برخی موارد تناقضاتی در پاسخ‌ها دیده شد؛ برای مثال در حالی که کاربر احساس گرما می‌کرده است، ترجیح می‌داده که گرم‌تر باشد. البته تعداد این پاسخ‌های متناقض بسیار کم بوده و در تحلیل داده‌ها حذف شده‌است. بنابراین نتایج حاصل قابل اعتماد بوده‌است.

جدول ۳- پارامترها و ابزارهای اندازه‌گیری.

حوزه	پارامتر	ابزار اندازه‌گیری	بازه زمانی
آسایش حرارتی	دما خشک (سانتی‌گراد)	Testo data logger 175-H2 20025127	۳۰ دقیقه
	رطوبت نسبی٪	Testo data logger 175-H2 20025127	۳۰ دقیقه
	دمای کروی (سانتی‌گراد)	WBGT8778	۶۰ دقیقه
	جریان هوا (متر بر ثانیه)	Testo flow meter	۶۰ دقیقه

تصویر۴- وضعیت کلاس جنوبی (راست) و شمالی (چپ) در ساعت ۸:۳۰ صبح.

-نتایج حاصل از ارزیابی رضایت حرارتی دانش‌آموزان

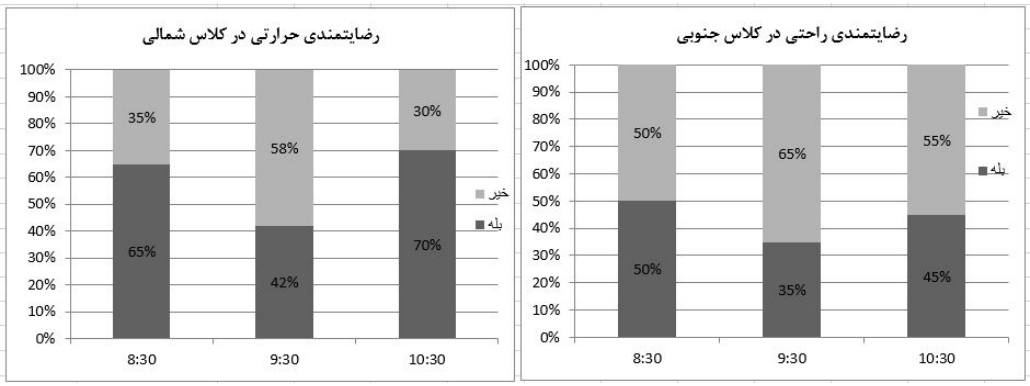
بنابرنتایج در ساعت اول(۸:۳۰)، ۵۰٪ از افراد در کلاس جنوبی و ۶۵٪ از افراد کلاس شمالی از وضعیت حرارتی کلاس احساس رضایت داشتند. در ساعت دوم تنها ۳۵٪ کاربران در کلاس جنوبی و ۴۲٪ در کلاس شمالی احساس رضایت حرارتی داشته‌اند. همچنین در ساعت سوم تنها ۴۵٪ در کلاس جنوبی و۷۰٪ از کاربران در کلاس شمالی احساس رضایت داشتند. بر اساس پرسشنامه‌ها، میزان رضایت حرارتی در کلاس شمالی در هر سه ساعت مورد بررسی بیشتر از کلاس جنوبی بوده است. همچنین با وجود روشن بودن کولر در ساعت سوم در کلاس شمالی، میزان نارضایتی افزایش قابل توجهی داشته ولی از میزان نارضایتی حرارتی دانش‌آموزان در کلاس جنوبی به صورت قابل توجهی کاسته نشده است (تصویر۵).

-نتایج حاصل از ارزیابی احساس حرارتی دانش‌آموزان

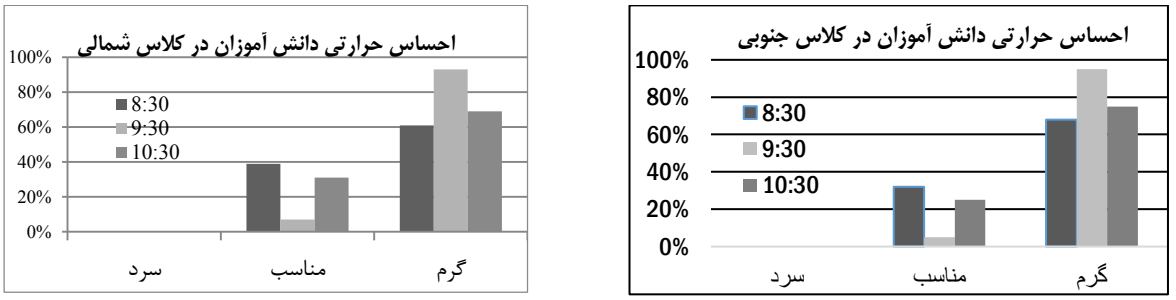
از میان پاسخ‌های داده شده، بیش از۶۰٪ از افراد هم در کلاس شمالی و هم جنوبی در تمامی ساعت‌ها احساس عدم رضایت داشته و محیط را گرم ارزیابی کرده‌اند. با توجه به نظر دانش‌آموزان، بطورکلی وضعیت آسایش حرارتی در کلاس شمالی بهتر از کلاس جنوبی می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان عدم دریافت تابش مستقیم در ساعت‌های کاربری دانست. با روشن شدن کولر در ساعت سوم، وضعیت حرارتی بهبود یافته، و افراد بیشتری نسبت به ساعت قبل وضعیت را مناسب ارزیابی کرده اند (تصویر۶).

-نتایج حاصل از ارزیابی ترجیح حرارتی دانش‌آموزان

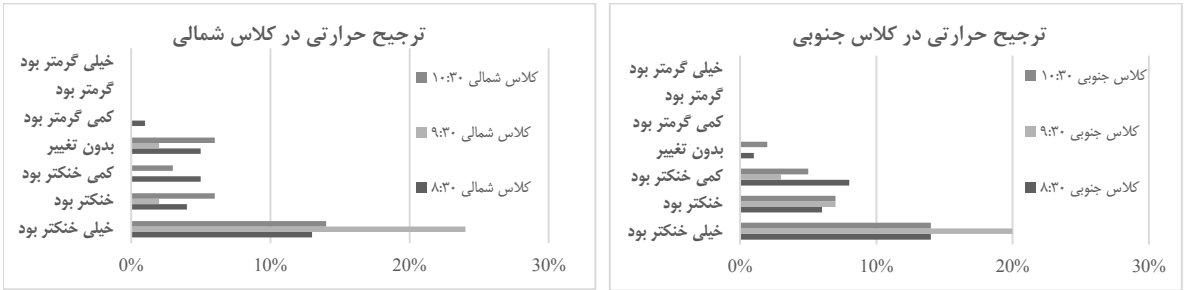
تقریباً در تمامی ساعت‌های مورد بررسی، دانش‌آموزان ترجیح می‌دادند محیط کلاس خنک‌تر باشد. بر اساس نتایج، دانش‌آموزان در هر دو کلاس، در ساعت دوم بیشترین احساس گرمایی را داشته‌اند. لیکن در مجموع، دانش‌آموزان بیشتری در کلاس شمالی نسبت به کلاس جنوبی از وضعیت حرارتی کلاس احساس رضایت داشتند. با توجه به روشن بودن کولر در ساعت سوم، گرچه نسبت به ساعت قبل دانش‌آموزان کمتری ترجیح به خنک‌تر بودن محیط داشتند، اما همچنان اکثریت افراد شرایط خیلی خنک‌تری را ترجیح می‌دادند (تصویر۷).



تصویر۵- رضایت حرارتی دانش‌آموزان در کلاس شمالی و جنوبی.



تصویر۶- احساس حرارتی دانش‌آموزان در کلاس شمالی و جنوبی در سه ساعت متوالی.



تصویر۷- آمار فراوانی بیان احساس حرارتی دانش‌آموزان در کلاس شمالی و جنوبی.

۳.۳. تحلیل نتایج اندازه‌گیری‌های فیزیکی

محدوده دماهای اندازه‌گیری شده در کلاس‌ها بین ۲۶٫۵ تا ۳۱ درجه بین ۸:۳۰ صبح الی ۱۲:۳۰و رطوبت نسبی بین ۱۹ تا ۴۴٪ بوده‌است. دمای هوای بیرون نیز بین ۱۹٫۷ الی ۲۷٫۶ متغیر بوده‌است. دما در ابتدای روز قبل از اشغال فضا توسط دانش‌آموزان ۲۶٫۵ و با شروع کلاس و حضور ۳۰ دانش آموز به حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. شاخص‌های آسایش حرارتی شامل PMV, PPD, AMV، DISS[۱۹] و دمای عامل براساس پارامترهای اندازه‌گیری شده محاسبه و درتصاویر ۸ تا ۱۱ نشان داده شده‌است.

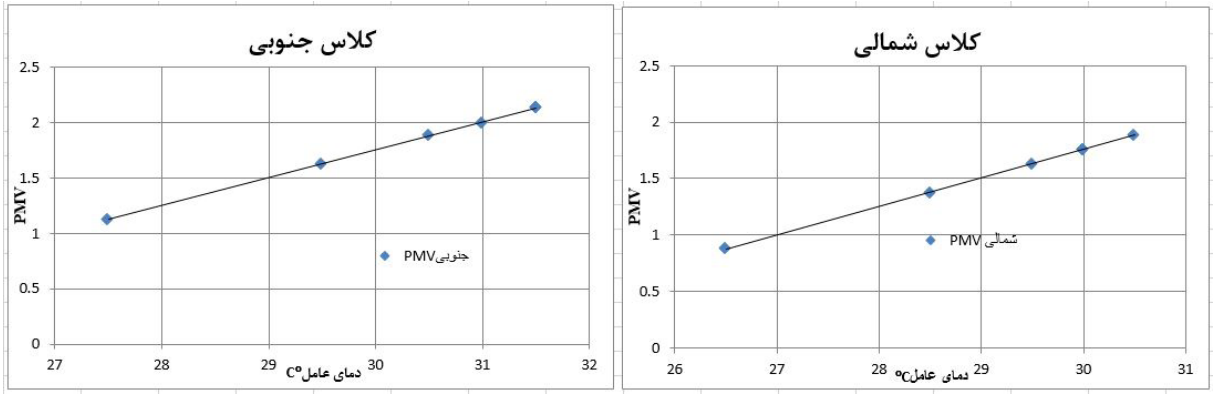
PMV-PPD- متوسط آرای پیش‌بینی شده و پیش بینی درصد آرای ناراضی

براساس استانداردهای آسایش حرارتی، کلاس‌های درس و فضاهای آموزشی، جزء سطح ۲ آسایش دسته‌بندی می‌شوند. دراین سطح، پی‌ام‌وی بین ۰٫۵- تا ۰٫۵ و میزان نارضایتی کمتر از ۱۰٪ به عنوان محدوده آسایش حرارتی در نظر گرفته شده‌است. بنابر استانداردها، کلاس‌های ارزیابی شده در هیچ‌یک از ساعات استفاده در روز مورد بررسی در محدوده آسایش حرارتی قرار نمی‌گیرند (تصویر۸).

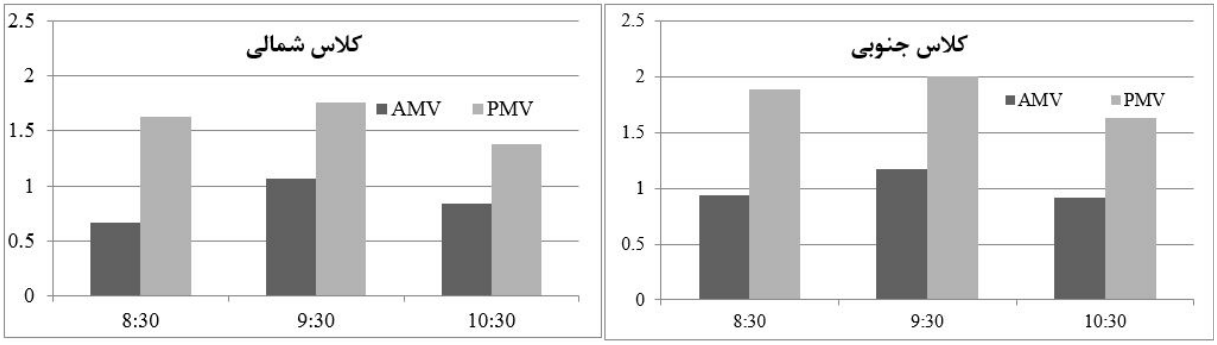
در بازه زمانی مورد بررسی، شاخص پی ام وی بین ۰٫۸۸ الی ۱٫۸۹ و پی پی دی بین ۲۱٪ الی ۶۵٪ در کلاس شمالی و پی ام وی بین ۱٫۱۳ الی ۲٫۱۴ و پی پی دی بین ۳۲٪ الی ۸۳٪ در کلاس جنوبی متغیر است. مقایسه نتایج با استاندارد، نشان‌دهنده فاصله زیاد بین استانداردها با شرایط موجود در کلاس‌های درس این مدرسه است. نکته قابل توجه این است که کلاس‌های درس هم بدون سرمایش کولرهم با کولر شرایط آسایش را فراهم نمی‌کنند. یکی از مشکلات اصلی کلاس‌های درس، نبود تهویه و عدم خروج هوای گرم است که به واسطه بسته‌بودن پنجره‌ها، امکان تأمین هوای تازه وجود ندارد و دمای کلاس بیش از حد بالا می‌رود. در صورتی که دمای هوای بیرون بین ۱۹٫۷ تا ۲۷٫۶ متغیر است و به نظر می‌رسد با اتخاذ استراتژی‌های مناسب، امکان بهره‌گیری از هوای بیرون برای تعدیل شرایط حرارتی کلاس وجود دارد.

AMV-DISS- متوسط آرای واقعی و درصد افراد ناراضی

تحقیقات مختلف نشان داده‌است که شاخص پی ام وی که براساس شرایط آزمایشگاهی کاربران بزرگسال تدوین شده‌است، شاخص مناسبی برای ارزیابی شرایط حرارتی در کلاس درس بدون سیستم تهویه مطبوع و کاربر خردسال نیست. مقایسه بین متوسط آرای پیش‌بینی شده و متوسط آرای واقعی، تأییدکننده این گفتار است. میزان رضایت پیش‌بینی شده، بسیار کمتر از رضایت واقعی دانش آموزان بوده و همچنین میزان نارضایتی پیش‌بینی شده نیز بسیار بیشتر از نارضایتی حاصل از آرای واقعی دانش آموزان است. این تفاوت ناشی از توانایی تطبیق‌پذیری نسبی کاربران با شرایط حرارتی کلاس می‌باشد. این میزان هم در کلاس شمالی و هم جنوبی، با توجه به ساختار فیزیولوژیکی و اقلیم منطقه نسبتاً زیاد است. با این حال هم براساس استانداردها و هم نظر خود دانش‌آموزان، شرایط حرارتی کلاس‌های درس قابل



تصویر۸- پراکندگی متوسط آرای پیش‌بینی‌شده نسبت به تغیرات دمای عامل در کلاس شمالی و کلاس جنوبی.



تصویر۹- مقایسه میانگین آرای پیش‌بینی‌شده و آرای واقعی در کلاس شمالی و کلاس جنوبی.

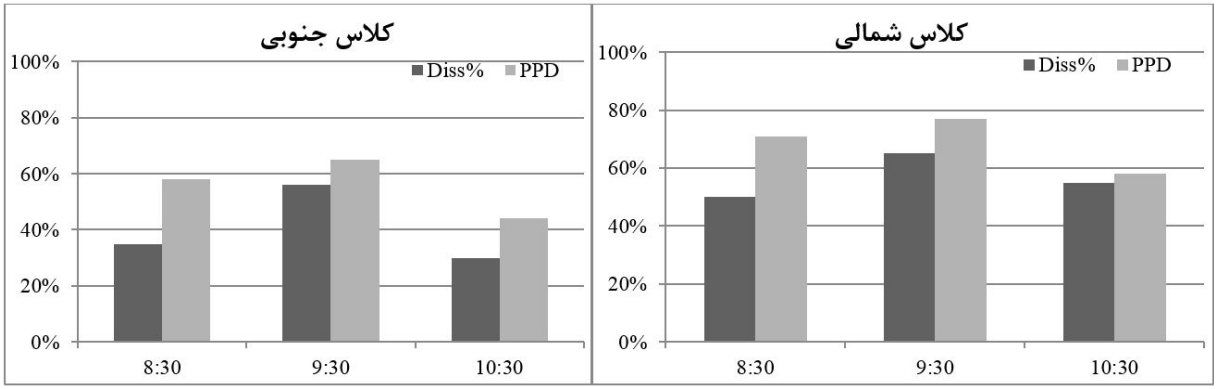
قبول نیست و در همه ساعات استفاده هم کلاس شمالی و هم جنوبی خارج از محدوده آسایش می‌باشد (تصاویر۹ و ۱۰).

- دمای عامل

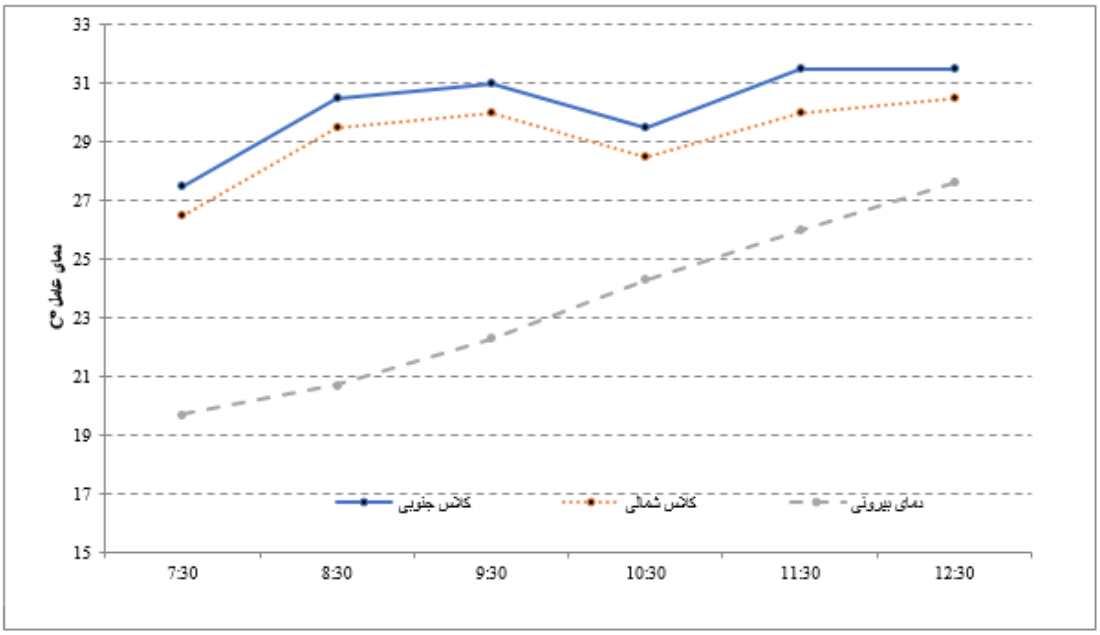
دمای عامل به عنوان میانگین دمای متوسط تابشی و دمای هوا، یکی دیگر از شاخص‌های آسایش حرارتی است که در استانداردها عنوان شده‌است. این پارامتر بصورت غیرمستقیم باتوجه به اندازه‌گیری دمای تابشی و دمای هوا با ثابت گرفتن جریان هوا (۰٫۱) بر اساس رابطه ۱محاسبه شده‌است. در بیشتر استانداردها (ایزو 7730 و EN15250)، دمای عامل برای کلاس‌های درس بین ۲۴ تا ۲۶ درجه در نظر گرفته شده‌است. بنابر استاندارد اشری ۵۵- ۲۰۱۰، با توجه به سطح پوشش(۰٫۸) و فعالیت کاربران(۱٫۲)، میزان رطوبت نسبی(۴۰٪) و جریان هوا (۰٫۱ متر بر ثانیه)، دمای عامل معادل ۲۵٫۱ درجه به‌عنوان دمای آسایش تعریف شده‌است. همچنین استانداردها، دمای عامل ۲۸ درجه سانتی‌گراد را در کمتر از یک درصد از زمان استفاده سالانه در کلاس درس مجاز می‌دانند. مبنای این استانداردها، میزان کارایی و بهره‌وری دانش‌آموزان بوده‌است. در کلاس‌های مورد ارزیابی در زمان اشغال (۸:۳۰-۱۲:۳۰)، دمای عامل در کلاس شمالی و جنوبی بین ۲۹٫۵ الی ۳۱٫۵ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده‌است. دمای عامل در کلاس شمالی و جنوبی در اکثر ساعات حداقل ۱ درجه سانتی‌گراد اختلاف دارد (تصویر۱۱).

- آسایش تطبیقی

همانطور که در قسمت اول بیان شد، یکی از رویکردهای رو به رشد در ارزیابی آسایش حرارتی، رویکرد آسایش تطبیقی است. در این رویکرد، دمای آسایش، تابعی از دمای هوای بیرون در نظر گرفته می‌شود و روابط تجربی مختلفی بر اساس مطالعات میدانی برای مناطق مختلف ارائه شده‌است. رایج‌ترین آن که در استاندارد اشری وارد شده‌است، در تصویر۱۲ ارائه شده‌است. البته باید در نظر داشت همانطور که در قسمت اول بیان شد، استفاده از این رویکرد مستلزم فراهم بودن شرایط آن است که در



تصویر۱۰- درصد نارضایتی واقعی و درصد نارضایتی پیش‌بینی‌شده در کلاس شمالی و کلاس جنوبی.

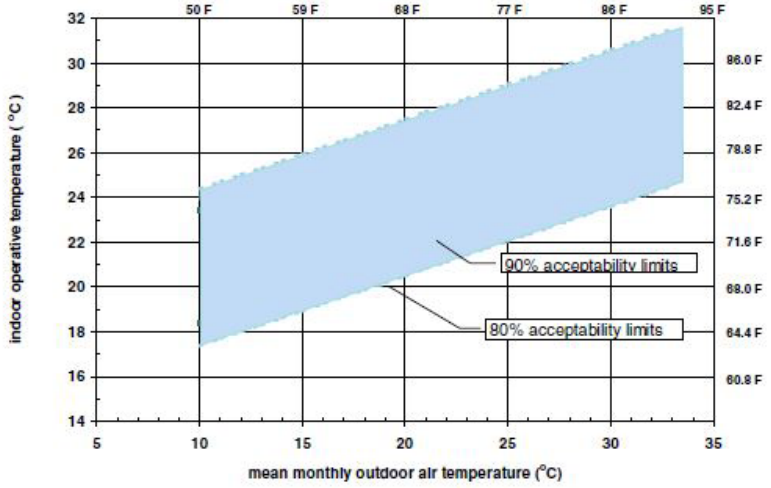


تصویر۱۱- مقایسه دمای عامل کلاس شمالی و جنوبی.

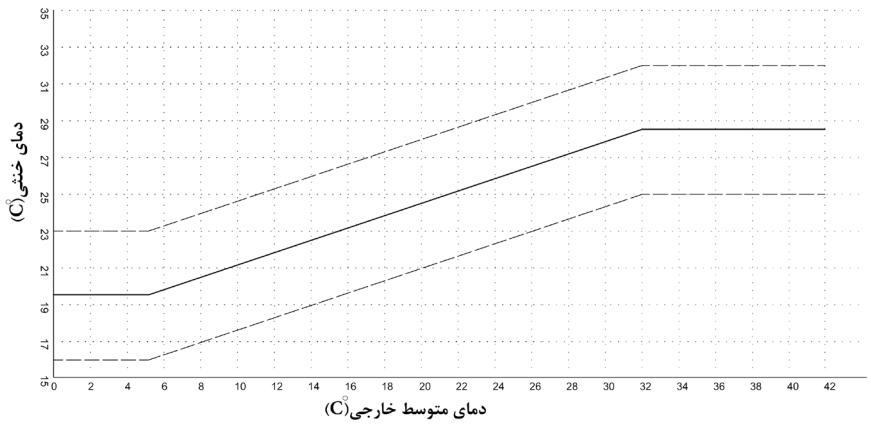
کلاس درس مورد بررسی، امکان بسیاری از رفتارهای تطبیقی از جمله تغییر پوشش فراهم نبوده‌است. نتایج نشان می‌دهد که بر اساس رویکرد تطبیقی، کلاس‌های درس مورد بررسی در محدوده آسایش قرار نمی‌گیرند. حیدری(۱۳۹۳، ۱۱۰)، بر اساس مطالعات میدانی وسیع انجام‌شده در شهرهای مختلف ایران، محدوده دمای آسایش در فضاهای داخلی را برای مردم ایران بر اساس متوسط دمای خارجی تعیین کرده است (تصویر ۱۳). با توجه به دامنه تغییرات دمایی و رطوبت کاشان، می‌توان از رابطه۲ برای محاسبه دمای خنثی استفاده کرد. براساس رابطه ۲، در تمامی ساعت‌های بهره‌برداری، دمای کلاس‌های درس بیش از دمای آسایش به‌دست آمده است. Tcomf برابر است با دمای آسایش و x Ta,out برابر است با دمای هوای بیرونی.

رابطه ۲: $Tcomf = 0.3289 \times Ta,out + 19.324$ (deg C)

بررسی‌ها نشان می‌دهد که بر اساس متوسط دمای ماهیانه در کاشان و با توجه به قدرت تطبیق‌پذیری فیزیولوژیکی بالای دانش‌آموزان در این اقلیم، در فصول گرم، دمای ۲۷ درجه در کلاس‌های درس همراه با تأمین هوای تازه و کنترل تابش ورودی مناسب بنظر می‌رسد. این دما تقریباً دو درجه بیش از دمای آسایش تطبیقی استاندارد اشری و ۱ درجه بیشتر از استاندارد ایزو ۷۷۳۰ می باشد. مقایسه دمای کلاس شمالی و جنوبی در طول روز، نشان‌دهنده اختلاف دمای حداقل ۱ درجه در ساعات مختلف است که شرایط آسایش بیشتری را در کلاس شمالی فراهم می‌کند. سیستم سرمایش کولر فقط در یک ساعت از روز روشن بوده‌است و شرایط دمایی در کلاس شمالی به محدوده آسایش نزدیک شده‌است؛ اما کلاس جنوبی همچنان در شرایط نامناسبی بوده‌است. دمای کلاس‌ها در ابتدای روز قبل از حضور دانش‌آموزان، بترتیب ۲۶٫۵ و ۲۷٫۵ در کلاس شمالی و جنوبی است. این دما با توجه به دمای ۱۹٫۷ درجه بیرون و عدم حضور افراد در فضا زیاد است. بنظر می‌رسد این دما ناشی از بسته‌بودن پنجره‌ها در طول شب و دریافت تابش در ساعات اولیه و حبس‌شدن حرارت ناشی از تابش در فضای داخلی بواسطه پنجره‌های دوجداره است. بنابراین، کلاس درس در ماه‌های گرم از ابتدای روز شرایط حرارتی مناسبی ندارد. در این راستا بکارگیری استراتژی تهویه شبانه می‌تواند ضمن تأمین شرایط آسایش، مصرف انرژی سرمایشی را در مدارس این اقلیم کاهش دهد. همچنین استفاده از سایبان بهینه با توجه به جهت گیری، تامین روشنایی طبیعی و زمان استفاده از کلاس ها می تواند برای کنترل دریافت گرما و خیرگی ناشی از بازتاب نور به تخته کلاس کارآمد باشد.



تصویر۱۲- آسایش حرارتی تطبیقی بر اساس استاندارد اشری ۵۵- ۲۰۱۰.
ماخذ: (Brager and Dear, 2001)



تصویر۱۳- آسایش حرارتی تطبیقی بر اساس مطالعات حیدری.
ماخذ: (حیدری، ۱۳۹۳، ۱۱۰)

نتیجه

آسایش حرارتی دانش‌آموزان دختر پایه دبستان در کاشان طی یک روز در فصل گرم در کلاس درس ارزیابی و با استانداردها مقایسه شده‌است. همانطور که تحقیقات پیشین عنوان کرده‌بودند، استانداردهای مرسوم آسایش حرارتی، چه رویکردهای تعادل حرارتی و چه رویکردهای تطبیقی، برای ارزیابی آسایش حرارتی دانش‌آموزان مناسب نیستند. این امر ناشی از تفاوت در ساختار فیزیولوژیک کودکان و محدودیت‌های رفتاری آنها در کلاس‌های درس می‌باشد. توانایی فیزیولوژیکی بالای دانش‌آموزان در تطبیق خود با شرایط محیط و تحمل دمای بالاتر از حد پیش‌بینی شده در کلاس‌های مورد بررسی، از نکات بارز این تحقیق می‌باشد؛ هرچند برای نتیجه‌گیری در این رابطه باید ارزیابی در فصول مختلف سال صورت گیرد. پرواضح است رویکرد تعادل حرارتی فنگر، برای ساختمان‌های با سرمایش، گرمایش و تهویه مکانیکی تعریف شده است و برای ساختمان‌های با تهویه طبیعی در اقلیم‌های گرم مناسب نیست. افراد در این گونه ساختمان‌ها به دلیل سطح انتظارات پایین‌تر، احساس رضایت حرارتی بیشتری نسبت به میزان پیش‌بینی‌شده توسط رویکرد فنگر داشته‌اند که منجر به اعمال فاکتوری به نام فاکتور انتظار[۲۰] در رویکرد آسایش حرارتی فنگر شده است. بنابراین برای بهره‌گیری از این رویکرد، بایستی مقدار متناسب فاکتور انتظار بر اساس مطالعات میدانی وسیع در اقلیم‌ها و کاربری‌های مختلف بدست آید. ارزیابی وضعیت موجود در کلاس‌های درس برای ارائه استراتژی‌های بهسازی یا نوسازی مدارس، از اقدامات مؤثر در تأمین کیفیت در محیط مدارس و صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌باشد. از جمله مواردی که در این ارزیابی مورد توجه قرار گرفت، اهمیت ساختار و خصوصیات پنجره‌ها بر شرایط نامناسب حرارتی کلاس‌ها بوده‌است. بنابراین تبیین جهت‌گیری، ابعاد، ارتفاع و موقعیت بهینه پنجره‌ها، سایبان‌ها، نوع شیشه‌ها و میزان بازشو پنجره‌ها با توجه به نقش کلیدی آن در تأمین آسایش بصری و حرارتی در کلاس‌های درس از اقدامات ضروری بنظر می‌رسد. گرچه پارامترهای طراحی، تأثیر قابل توجهی بر شرایط آسایش در کلاس‌های درس داشته، اما تأثیر پارامترهای رفتاری نیز قابل توجه است. ارزیابی‌ها نشان داد که دانش‌آموزان و معلمان، پیوسته برای بهبود وضعیت با محیط در تعامل بوده اما به علت محدودیت‌های اعمال شده از جمله عدم امکان تغییر پوشش خود و همچنین عدم امکان بازکردن پنجره‌ها به میزان کافی، امکان بازیابی شرایط آسایش خویش را نداشتند. بنابراین به‌نظر می‌رسد لازم است تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه صورت‌گیرد و دررابطه با محدودیت‌های اعمال شده در چارچوب قوانین، بازبینی‌هایی صورت گیرد. به‌نظر می‌رسد توجه همزمان به خصوصیات معماری ساختمان و احساس و ترجیح حرارتی دانش‌آموزان، از جمله مواردی است که توجه به آنها در ارزیابی آسایش حرارتی در کلاس‌های درس می‌تواند رویکردهای نوینی برای طراحی کلاس‌های درس برای طراحان فراهم کند. همچنین لازم است بررسی‌های وسیعی در مدارس این اقلیم که هم بصورت طبیعی و هم مکانیکی تهویه می‌گردند، صورت گیرد تا مناسب‌ترین رویکرد با توجه به تأمین شرایط آسایش و کاهش مصرف انرژی اتخاذ شود.

سپاسگزاری

نگارندگان از سازمان نوسازی مدارس کشور و استان اصفهان، مدیریت، معلمان و دانش‌آموزان مدارس فردوسی و کاشانی شهر کاشان، سرکار خانم مهندس ثریا سهرابی، سرکار خانم لیلا سلیانی (مشاور کودکان) برای همکاری در مطالعات میدانی و تدوین پرسشنامه‌ها و همچنین جهاددانشگاهی تهران برای تأمین هزینه انجام پروژه کمال تشکر را دارند.

پی‌نوشت‌ها

1 Zahiri et al. (2011).
2 Haddad et al. (2014).
3 Predicted Mean Vote -Predicted Percentage Dissatisfied.
4 Mean Outdoor Temperature.
5 Context.
6 Thermal History.
7 Predicted Mean Vote.
8 Actual Mean Vote.
۹ در مطالعات اولیه آسایش تطبیقی از شاخص دمای هوای خارجی استفاده می شد. اما امروزه در استاندارد یورو ۱۵۲۵۱ از شاخص متوسط دمای چند روز گذشته (*Running Mean Temperature*) استفاده می شود.
10 Met = 58.15 W /m 2.
11 1 Clo = 0.155 m 2 °C /W.
12 Equivalent Temperature.
13 Effective Temperature.
14 Operative Temperature.
15 ASHRAE 55 (2010).

16 ISO 7730 (2005).

17 EN 15251 (CEN 2007).

18 CBE Comfort Tool.

۱۹ DISS: درصد نارضایتی بر اساس نتایج پرسشنامه.

20 Expectance Factor.

فهرست منابع

حیدری، شاهین (۱۳۸۸)، دمای آسایش حرارتی مردم شهر تهران، نشریه *هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی*، شماره ۳۸، صص۴-۱۵.

حیدری، شاهین (۱۳۹۳)، *سازگاری حرارتی در معماری؛ نخستین گام در صرفه جویی مصرف انرژی*، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

سازمان نوسازی توسعه و تجهیز مدارس کشور (۱۳۹۳)، *طرح تدوین راهنمای طراحی مدارس با تراز مصرف انرژی سالانه صفر*، مجری: سعید امینیان- پژوهشکده مطالعات توسعه جهاد دانشگاهی تهران، تهران.

ASHRAE 55 (2010), *ANSI/ASHRAE Standard 55-2010, ASHRAE Environmental Conditions for Human Occupancy*, Atlanta, Ga, USA: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc.

ASHRAE (2013), *ASHRAE Handbook – Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc.

Brager, G. S and R. d. Dear (2001), Climate, Comfort & Natural Ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55 Thermal Comfort Standard, In Proccedings: *Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century* (pp.59-78), Windsor, UK.

de Dear, R; J. Kim; C, Candido and M. Deuble (2015), Adaptive thermal comfort in Australian school classrooms, *Building Research & Information*, 43 (3), pp. 383-398.

Haddad, S; Osmond, P & King, S (2013), Metabolic Rate Estimation in the Calculation of the PMV for Children, In *Cutting Edge: 47th International Conference of the Architectural Science Association* (pp. 241-250).

Haddad, S; King, S; Osmond, P & Heidari, S (2012), Questionnaire Design to Determine Children's Thermal Sensation, Preference and Acceptability in the Classroom; *PLEA*, Peru.

Halawaa, E and J. V. Hoof (2012), The Adaptive Approach to Thermal Comfort: A Critical Overview, *Energy and Buildings*, 51, pp. 01–110.

Havenith, G (2007), Metabolic rate and clothing insulation data of children and adolescents during various school activities, *Ergonomics*, 50 (10), pp. 1689-1701.

Humphreys, M.A (1977), A Study of the Thermal Comfort of Primary School Children in summer, *Building and Environment*, 12, pp. 231 239.

Hussein, I and M.H.A. Rahman (2009), Field Study on Thermal Comfort in Malaysia, *European Journal of Scientific Research*, 37 (1), pp. 127-145.

Liang, H.-H; T.-P. Lin, et al. (2012), Linking Occupants' Thermal Perception and Building Thermal Performance in Naturally Ventilated School Buildings, *Applied Energy*, 94, pp.355–363.

Mccullough, Elizabeth A; Eckels, Steve & Harms, Craig (2009), Determining Temperature Ratings For Children's Cold Weather Clothing, *Applied Ergonomics*, Volume 40, Issue 5, pp.870–877

Mors, S. T & J. L. M. Hensen et al. (2011), Adaptive Thermal Comfort in Primary School Classrooms: Creating and Validating PMV-Based Comfort Charts, *Building and Environment*, 46 (12), pp.2454-2461.

Nicol, J. F and M. A. Humphreys (2002), Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings, Energy and Buildings, 34 (6), pp.563–572

Parson, K (2002), *Human ThermalEnvironments*, by Taylor & Francis Group, LLC.

Teli, D; M. F. Jentsch et al. (2012), Naturally Ventilated Classrooms: An Assessment of Existing Comfort Models for Predicting the Thermal Sensation and Preference of Primary School Children, *Energy and Buildings*, 53, pp.166-182.

Van Hoof, J (2008), Forty Years of Fanger's Model of Thermal Comfort: Comfort for All?, *Indoor Air*, 18 (3), pp.182-201.

Yao, R; J. Liu et al. (2010), Occupants' Adaptive Responses and Perception of Thermal Environment in Naturally Conditioned University Classrooms, *Applied Energy*, 87 (3), pp.1015-1022.

Zahiri, S et al. (2011), Developing Sustainable School Design in Iran Thermal Comfort Survey of A Secondary School in Tehran, In *Proceedings of: Passive Low Energy Architecture*, (pp. 523-538) Belgium.

Zhang, G; C. Zhenga et al. (2007), Thermal Comfort Investigation of Naturally Ventilated Classrooms in a Subtropical Region, *Indoor and Built Environment*, 16 (2), pp.148–158.