بررسی عوامل مؤثردر بهره وری انرژی در فضاهای آموزشی در اقلیم شهرتهران

عبدالحمید قنبران [۱]، محمد امین حسین پور [۲]

چکیده

امروزه توجه به بحث انرژی و آسایش در طراحی ساختمان، می تواند تاثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی و بهبود کیفیت فضا داشته باشد. با توجه به اهمیت روزافزون مصرف انرژی و کمبود مطالعات در این زمینه خصوصاً در فضاهای آموزشی و توجه به گوناگونی اقلیمی کشورمان و سهم قابل توجه این فضاها در مصرف انرژی، نیاز به تعیین معیارهای طراحی بیش از گذشته احساس می شود. هدف این تحقیق بررسی نقش عوامل مختلف در تامین شرایط آسایش و تاثیر هر کدام بر میزان مصرف انرژی فضای آموزشی در اقلیم گرم و خشک شهرتهران می باشد. بدین منظور بوسیله روش شبیه سازی کامپیوتری، فضای کلاس درس در نرم افزار eQUEST شبیه سازی شده و تاثیر متغیرهای مختلف بر میزان مصرف انرژی ارزیابی گردید. نمونه پایه این تحقیق ، یک کلاس درس متداول است که متغیرهای مستقل تحقیق شامل عایق حرارتی بام، عایق حرارتی دیوار، نفوذ ناخواسته هوا، ابعاد پنجره، نوع شیشه و سیستم کنترل روشنایی می باشند. در مرحله اول تأثیر هر یک از متغیرها به صورت مستقل بر میزان مصرف انرژی کلاس درس تخمین زده می شود و در مرحله بعدی تأثیر نسبی هر یک از متغیرها بر میزان مصرف انرژی موردنیاز ساختمان و بهترین ترکیب متغیرها بر مصرف انرژی کلاس درس شناسایی گردید. براساس نتایج بدست آمده، تاثیر مستقل هر متغیر و همچنین تاثیر همزمان بکارگیری متغیرهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و بهترین حالت هر متغیر که در آن بهره وری انرژی بالاتری حاصل شده بود، شناسایی گردید . بر اساس نتایج بدست آمده در این مرحله می توان ادعا کرد که در صورت طراحی مناسب فضاهای آموزشی می توان ضمن تامین شرایط آسایش حرارتی و بصری، در مصرف انرژی فضاهای آموزشی تا ۵۵٪ صرفه جویی نمود.

واژه‌های کلیدی: ساحت عقلانی، هنر شیعی، تفکر تعقلی، هندسه، معماری منظر دوره صفوی.

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۵/۲۴

۱.استادیار . دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران (نویسنده مسؤول).
۲.دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

Ghanbaran@srttu.edu
aminhpr@gmail.com

۱. مقدمه

امروزه بحث انرژی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در گونه‌های مختلف ساختمانی در میان جوامع گوناگون، از اهمیت بالایی برخوردار است[۱]. کمبود مطالعات اقلیمی در خصوص ساختمان‌های آموزشی و همچنین اهمیت بحث آسایش در کنار لزوم بهره‌گیری از الگوهای بهینه مصرفی در ساختمان‌های آموزشی ، لزوم انجام تحقیقات گسترد هدر این زمینه ضروری به نظر می‌رسد. علاوه بر این نقش مدارس در فرهنگ‌سازی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد[۲].

افزایش فزاینده مصرف انرژی جهان در حال حاضر نگرانی‌ها در مورد مشکلات تأمین، اتلاف منابع انرژی و اثرات زیست‌محیطی سنگین (تحلیل رفتن لایه اوزون، گرم شدن کره زمین، تغییرات آب‌وهوا، و غیره) مطرح شده است[۳]. میزان مصرف انرژی در حوزه‌های مختلف ازجمله فضاهای آموزشی در کشورهای جهان طی یک دهه اخیر، به‌طور مداوم افزایش یافته و رشدی بین ۲۰٪ تا ۴۰٪ را رقم زده است. در کشورهای درحال توسعه نیز با توجه به رشد نسبی جمعیت وهمچنین رشد بی سابقه صنعتی و ارتقا سطح کمی و کیفی آسایش، روند فزاینده تقاضای انرژی در آینده نیز ادامه خواهد یافت. ازاین‌رو ضرورت افزایش بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های امروز می‌بایست هدف نخست سیاست انرژی در سطوح منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی قرار بگیرد[۴].

کارشناسان انرژی ادعا می‌کنند که در طراحی فضاهای آموزشی می‌بایست بیشترین بهره‌گیری از منابع طبیعی انرژی انجام پذیرد[۵]. این موضوع با توجه به میزان مصرف انرژی مدارس است همچنین تأثیر مثبت آسایش حرارتی و بصری بر کیفیت تحصیلی

دانش آموزان در تحقیقات متعددی اثبات گردیده است[۹-۶]. کلاس‌های درس اساسی‌ترین و مهم‌ترین واحدهای ساختمان‌های آموزشی در خصوص مصرف انرژی و آسایش حرارتی می‌باشند[۱۰]. دانش آموزان بیشتر اوقات خود را در کلاس‌های درس می‌گذرانند. کلاس‌های درس با توجه به ازدحام نسبی در مقایسه با سایر فضاهای آموزشی دارای اهمیت دوچندان می‌باشند. با توجه به این نکته نیاز به تهویه مناسب امری ضروری تلقی خواهد شد. همچنین وجود دانش آموزان به‌عنوان منابع انرژی نهفته حرارتی نیازمند توجه ویژه در فصل گرما می‌باشد و از سوی دیگر همین منبع حرارتی می‌تواند در فصل سرما نقش مؤثری در ایجاد شرایط آسایش ایفا کند[۱۱]. بنابراین با توجه به متفاوت بودن الگوی بهره‌برداری از این اماکن و بالاتر بودن کسب حرارت داخلی آن‌ها، الگوهای صرفه‌جویی در طراحی ساختمان‌های اداری و مسکونی نمی‌تواند پاسخگوی نیازهای طراحی این‌گونه ساختمان‌ها باشد[۱۰].

با توجه به فقدان مطالعات مشابه درزمینه عوامل مؤثر بر میزان مصرف انرژی در فضاهای آموزشی در مناطق مختلف کشور، در این تحقیق به‌منظور فراهم کردن راهنمایی جهت طراحی مناسب فضای آموزشی در یک اقلیم مشخص (در این تحقیق اقلیم شهر تهران)، سعی شده است به‌وسیله شبیه‌سازی انرژی یک کلاس درس ، شرایط ناشی از تغییر متغیرهای مختلف تأثیرگذار بر مصرف انرژی ، بر عملکرد انرژی فضای کلاس درس مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گیرد. در این راستا ، مدل‌های مختلفی به کمک نرم‌افزار eQUEST شبیه‌سازی شده که در هر یک از آن‌ها، انرژی موردنیاز جهت سرمایش، گرمایش، تهویه و روشنایی تخمین زده‌شده است تا با بررسی تأثیر هر یک از متغیرهای مستقل ، عملکرد بهینه انرژی فضای کلاس درس شناسایی گردد.

ساختمان‌های آموزشی عموماً شامل فضاهایی با کاربری‌های متنوعی می‌باشند. بااین‌حال کلاس‌های درس علاوه بر نقش و جایگاه محوری خود، بیشترین سطح مدارس را نیز تشکیل می‌دهند.

این فضاها میزبان بخش عمده‌ای از فعالیت‌های روزانه درمدارس می‌باشند. یکی از عوامل مؤثر در طراحی کلاس‌های درس ، توجه به تراکم جمعیتی آن‌هاست که منجر به وجود کسب حرارت داخلی بالاتر آن‌ها می‌شود. (در حدود ۵ کیلووات) [۱۲]. همچنین تعرق بدن ، رطوبت و دی‌اکسید کربن موجود در فضای کلاس باعث می‌شود که تأمین هوای باکیفیت مناسب در این فضاها اهمیت دوچندانی پیدا کند[۱۳].

بخش عمده مطالعات انجام‌شده درزمینه عملکرد انرژی ساختمان‌های آموزشی، بر محور صرفه‌جویی با رویکردهای بخصوصی نظیر استفاده از انرژی خورشیدی، رویکردهای ساختمانی مانند عایق‌های حرارتی، جرم حرارتی و سایه‌اندازی، عملکرد سیستم HVAC و پمپ‌های حرارتی زمینی انجام پذیرفته است. بااین‌حال توجه توأماً به مسائل محوری نظیر آسایش حرارتی، کیفیت هوای داخلی، سازگاری اقلیمی، بارهای حرارتی داخلی و رویکردهای معماری در مطالعات انجام‌شده کمتر به چشم می‌خورد[۱۲]. ضمن اینکه الگوی متداول بهره‌گیری از انرژی در کشور ما تا حد زیادی متفاوت از

استانداردهای بین‌المللی می‌باشد. بنابراین لزوم تحقیق و بررسی عملکرد انرژی ساختمان‌های آموزشی با سه رویکرد بهره‌وری انرژی، کیفیت هوای داخلی و آسایش حرارتی می‌بایست مدنظر محققان و کارشناسان باشد. علیرغم نیاز مبرم به توجه همزمان به سه عامل فوق ،در بسیاری از تحقیقات نیاز به بهبود کیفیت هوای داخلی یا لزوم همسازی با اقلیم در جهت بهره‌گیری از تهویه طبیعی در بهبود کیفیت هوای داخلی یا تأمین شرایط آسایش موردبحث قرارگرفته اما نمونه‌های کمتری دیده‌شده است که توجه همزمان به ۳ رویکرد ابراز داشته باشد.

پوسته ساختمان به‌عنوان جداکننده فضای داخلی و محیط خارجی ساختمان نقش مهمی در رفتار حرارتی ساختمان دارد. این بخش از ساختمان به‌عنوان مهم‌ترین منبع دریافت نور و انرژی خورشیدی، تأثیر بر گرمایش و سرمایش، تهویه تعمدی و ناخواسته، کنترل نوفه‌های صوتی، کیفیت طراحی و اجرا و ابعاد زیبایی‌شناسی، تأثیر قابل‌توجهی در میان سایر اجزا ساختمان دارد[۱۴]. این پوسته به شکل سنتی به‌عنوان حائلی بین فضای داخلی و شرایط آب و هوایی متغیر خارجی ساختمان بوده است و ارزیابی عملکرد آن با توجه به توانایی تفکیک فضای داخلی و خارجی ساختمان صورت می‌گرفته است. درحالی‌که ایده‌های نوین طراحی، به پوسته ساختمان به‌عنوان حائلی که موجب ایجاد تعادل بین فضای داخلی و محیط خارجی ساختمان می‌گردد، نگاه می‌کند[۱۵].

در اقلیم‌های گرمی مانند بسیاری از شهرهای کشورمان، یکی از اهداف اصلی نما می‌بایست کاهش کسب حرارت خورشیدی در فصل گرما باشد. برای رسیدن به این هدف، راهکارهای متنوعی مانند استفاده از سایه‌بان‌های داخلی و خارجی، فناوری‌های پیشرفته نماهای شیشه‌ای ،سامانه‌های تهویه‌ای فعال و غیرفعال و نمای دوپوسته مطرح می‌باشد که هریک از این راهکارها به نحوی ما را دررسیدن به این هدف یاری می‌کنند[۱۶].

دورر و وبر در تحقیق خود مسئله کیفیت هوای داخلی و انرژی را در یک ساختمان آموزشی چندطبقه موردبررسی قرار داده‌اند و درنتیجه گیری از آن فقط به لزوم بهره‌گیری از تهویه شبانه و تهویه به کمک نماهای دوپوسته‌ای شفت دار اشاره‌کرده‌اند[۱۷]. والستروم و اریکسون نیز در تحقیق خود یک سیستم تهویه دوگانه با محوریت دودکش خورشیدی در مدارس سوئد را موضوع قرار داده که با استفاده از یک مدل انتقال هوای چند زونی، تأثیر شرایط باد و بازشوی درها و داکت تهویه در یک نمای دوپوسته را تحلیل نموده‌اند[۱۸]. در تحقیقی دیگر، بکرو پاتریک ،بار مصرف انرژی سیستم‌های تهویه‌ای مختلف با محوریت تضمین کیفیت هوای داخلی و برنامه تهویه شبانه را موردبررسی قرار داده‌اند که با بهره‌گیری از یک آتریوم مرکزی موجود در فضاهای کناری برقرار می‌شود. اما در آن اشاره‌ای به مصرف کل انرژی الکتریکی نشده است[۱۹]. در تحقیق دیگری پرز و کاپلوتو ،تأثیر عوامل مؤثر بر مصرف انرژی ساختمان از قبیل جهت‌گیری، ابعاد و موقعیت پنجره، رنگ و میزان قرارگیری سطوح خارجی ساختمان در معرض تابش آفتاب را در اقلیم گرم و مرطوب مورد مطالعه قرار داده و مصرف انرژی را در حالت‌های مختلف در فضای کلاس را بررسی کرده است[۱۰].

امروزه شبیه‌سازی به‌عنوان روشی متداول در بررسی رفتار عوامل گوناگون بر میزان مصرف انرژی ساختمان مورداستفاده محققان علوم ساختمانی قرارگرفته است. در این میان نرم‌افزارهای گوناگون باقابلیت‌های مختلف مورداستفاده قرار می‌گیرند که این نرم‌افزارها می‌بایست توسط تحقیقات میدانی و آزمایشگاهی اعتبارسنجی شوند. یکی از این نرم‌افزارها، نرم‌افزار eQUEST می‌باشد که به‌طور گسترده در کشورهای اروپایی و بخصوص در آمریکا مورداستفاده قرار می‌گیرد.این نرم‌افزار ابزاری حرفه‌ای با کاربری آسان است که با استفاده از قدرت تحلیل آن با اعمال هزینه های ناچیز و معقول در طراحی می توان به تغییرات بزرگ در مصرف انرژی در بنا دست یافت. این نرم افزار حاصل ترکیب ابزاری برای طراحی بنا،ابزار تعیین کارایی انرژی و یک ماژول نمایشگر گرافیکی نتایج می باشد. موتور محاسباتی اصلی این برنامه نسخه DOE_۲٫۲ می‌باشد[۲۰-۲۱]. سایت وزارت انرژی ایالات‌متحده آمریکا، این برنامه را با توجه به‌سرعت و دقت بالا،عملکرد ساده و خروجی‌های مناسب و صحت عملکرد،آن را مورد تائید استاندارد ۱۴۰ASHRAE قرار داده است.

مینگ سون و همکاران با استفاده از این نرم‌افزار،عوامل مؤثر بر مصرف انرژی در یک ساختمان اداری را موردبررسی قرار داده و نتایج آن را پس از کالیبره کردن نرم‌افزار ، با مقادیر مصرف واقعی ساختمان مقایسه کرده‌اند. بر اساس نتایج این تحقیق،با استفاده از نرم‌افزار eQUEST می‌توان مصرف انرژی ساختمان را با خطای ۰/۳۷ ٪ تخمین زد{۲۲}.

اکثر مدارس شهری ایران،ساختمان‌های ۲ یا ۳ طبقه‌ای می‌باشند که این ساختمان‌ها شامل بال‌هایی هستند که کلاس‌های درس به‌صورت خوشه‌ای در پیرامون راهروهایی قرار گرفتند. الویت جهت‌گیری کلاس‌ها در

نماهای شمالی و جنوبی می‌باشد و سعی می‌شود در جهات غربی و شرقی ساختمان کلاس‌های درس قرار نگیرند. اکثر کلاس‌ها دارای یک دیوار خارجی می‌باشند که پنجره‌ای در طول آن قرار خواهد گرفت. در ورودی کلاس‌ها معمولاً بر روی دیوار مقابل به پنجره تعبیه می‌گردد و تخته‌سیاه بر روی دیوار عمود بر پنجره به نحوی قرار می‌گیرد که نور روز از سمت چپ دانش آموزان وارد کلاس شود تا بتواند میزهای دانش آموزان را که اغلب راست‌دست می‌باشند روشن کند.

۲. روش تحقیق

به‌منظور بررسی عملکرد انرژی فضای کلاس درس، تصمیم گرفته شد که یک کلاس با ابعاد متعارف به‌عنوان نمونه پایه در فضای نرم‌افزار eQUEST شبیه‌سازی گردد که ضمن برقراری شرایط آسایش حرارتی و بصری در نمونه شبیه‌سازی، تأثیر متغیرهای مستقل تحقیق بر متغیر وابسته که میزان مصرف انرژی می‌باشد تخمین زده شود.

نمونه پایه ،یک کلاس درس متداول است که متغیرهای مستقل تحقیق در آن بررسی خواهند شد. شبیه‌سازی با دو هدف اصلی بر روی مدل کلاس درس انجام‌گرفته است. در مرحله اول تأثیر هریک از متغیرها به‌صورت مستقل بر میزان مصرف انرژی کلاس درس تخمین

زده می‌شود و در مرحله بعدی تأثیر نسبی هریک از متغیرها بر میزان مصرف انرژی موردنیاز ساختمان و بهترین ترکیب متغیرها بر مصرف انرژی کلاس درس شناسایی خواهد شد. نرم‌افزار شبیه‌سازی به کار گرفته‌شده در این تحقیق قابلیت استفاده از اطلاعات ورودی به این نرم‌افزار ،شامل اطلاعات آب و هوایی محل موردنظر و اطلاعات فیزیکی ساختمان را دارا می‌باشد. اطلاعات آب و هوایی شهر تهران به‌صورت یک فایل اطلاعاتی حاوی سوابق آب و هوایی شهر تهران طی سی سال گذشته به‌عنوان بانک اطلاعات آب و هوایی شبیه‌سازی مورداستفاده قرارگرفته است.

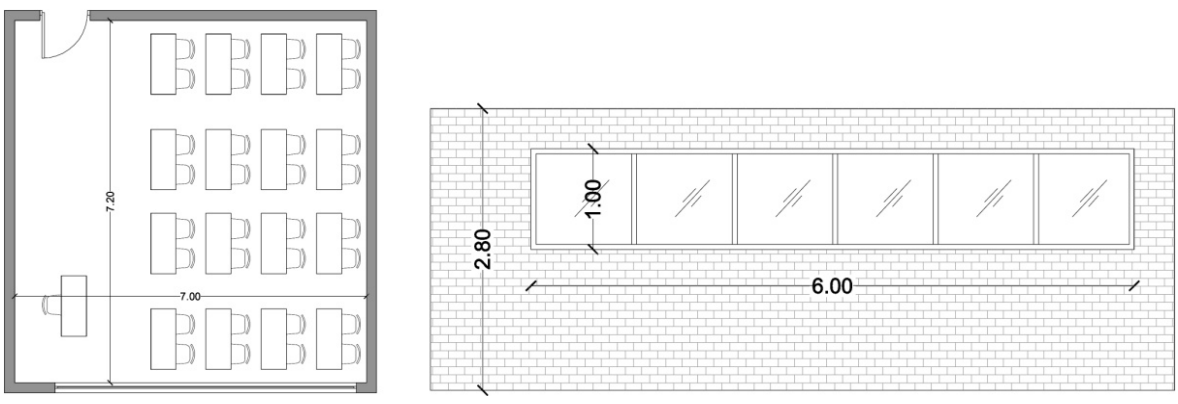
همچنین برنامه زمانی هفتگی و سالیانه استفاده از فضای کلاس درس به‌صورت جداولی در نرم‌افزار شبیه‌سازی اعمال گردیده است. جهت ارائه راهنمای طراحی کلاس‌های درس،عوامل مؤثر در طراحی آن به دو گروه تقسیم شدند. گروه اول مشخصاتی که با توجه به محدودیت‌های مختلف قابل‌تغییر نخواهند بود و گروه دوم عواملی که می‌توان با تغییر آن‌ها ، عملکرد انرژی ساختمان را بهبود بخشید. تمامی این عوامل به‌منظور یافتن راه‌حل بهینه مصرف انرژی کلاس‌های درس با محوریت بهره‌وری انرژی ،آسایش حرارتی و بهبود کیفیت هوای داخلی مورد بررسی قرار گیرند.

۱۲. معرفی نمونه پایه

متغیرهای ثابت کلاس درس شبیه‌سازی‌شده به شرحی که در ادامه مطرح خواهد شد تعیین گردیده‌اند. ابعاد کلاس درس شبیه‌سازی‌شده مطابق با ضوابط سازمان نوسازی و تجهیز مدارس کشور به ابعاد ۷٫۱ متر در ۷٫۲ متر و ارتفاع کف تا سقف ۲٫۸ متر در نظر گرفته‌شده است (شکل۱). با توجه به استانداردهای موجود و نوع پوشش دانش آموزان در کلاس حداقل دما جهت گرمایش ۲۱٫۱ درجه سلسیوس و حداکثر دما جهت سرمایش ۲۴ درجه سلسیوس در نظر گرفته‌شده است. به‌منظور تأمین هوا باکیفیت مطلوب میزان تهویه ۴/۵ بار تعویض هوا در ساعت استفاده از فضای کلاس در نظر گرفته‌شده است. میزان روشنایی موردنیاز در ساعات درس نیز ۳۰۰ لوکس در شبیه‌سازی لحاظ گردیده است[۲۳-۲۴].

به‌منظور جلوگیری از اثر نامطلوب درخشش در فضای داخلی سایه‌اندازهایی تعبیه گردیده است. تعداد دانش آموزان کلاس ۳۳ نفر و ساعات بهره‌گیری از کلاس از ساعت ۸ صبح تا ۱۵ بعدازظهر در نظر گرفته‌شده است.

میزان نفوذ ناخواسته هوا در حالت اولیه به میزان ۱ بار تعویض هوا در طی یک ساعت در نظر گرفته‌شده است.



شکل۱ پلان و نمای شماتیک کلاس درس شبیه‌سازی‌شده

دیوارهای خارجی و سقف کلاس به‌صورت جرم‌های سنگین حرارتی با لحاظ کردن عایق حرارتی پلی یورتان به ضخامت ۳ سانتی‌متر،دارای ضریب انتقال حرارتی ۰٫۸۱۸k.w /m۲ برای دیوار و ۰٫۵۹ k.w /m۲ برای سقف در نمونه پایه می‌باشند. سقف و دیوارهای خارجی در معرض تابش آفتاب قرار دارند و رنگ دیوارهای خارجی و سقف با ضریب جذب تابش ۶۰٪ می‌باشد. پنجره در نظر گرفته‌شده در نمونه پایه ۶ مترمربع مساحت دارد که معادل ۱۲٪ مساحت کلاس می‌باشد. شیشه این پنجره شیشه دوجداره شفاف با پروفیل آلومینیومی حرارت شکن می‌باشد که ضرایب انتقال حرارتی آن در جدول ۲ ذکر گردیده است.

انتخاب متغیرهای مستقل این تحقیق براساس تحقیقات مشابه انجام‌شده در اقلیم‌های گوناگون بوده که با توجه به گستردگی موضوع و بررسی‌های اولیه انجام‌شده، شش متغیر به‌عنوان متغیرهای مستقل این تحقیق انتخاب و موردبررسی قرارگرفته است. در گام بعدی به‌منظور بررسی تأثیر متغیرهای مختلف بر تعیین میزان مصرف انرژی کلاس درس ،هریک از متغیرهای مستقل به‌صورت جداگانه شبیه‌سازی‌شده و نتایج حاصل از آن جمع‌آوری و موردمطالعه قرار می‌گیرد. این متغیرها همان‌گونه که در جدول ۱ نشان داده‌شده است عبارتند از: عایق‌بندی حرارتی دیوار و سقف، میزان نفوذ ناخواسته هوا، ابعاد و موقعیت قرارگیری پنجره‌ها، نوع شیشه بکار گرفته‌شده در پنجره‌ها و سیستم کنترل روشنایی کلاس درس، پس از شبیه‌سازی نمونه پایه ،حالت‌های مختلف هر متغیر مستقل به‌صورت جداگانه شبیه‌سازی شدند و نتایج آن‌ها با نتایج نمونه پایه مقایسه گردید. همچنین با توجه به اینکه جهت‌گیری ساختمان با توجه به مسائل مختلف تأثیرگذار در طراحی، ممکن است در حالت‌های مختلف به وقوع بپیوندد، در مواردی که تغییر یک متغیر بر میزان مصرف انرژی تأثیرگذار بوده، تأثیر آن به‌صورت مستقل در شبیه‌سازی منظور گردیده است. در ادامه تأثیر هریک از این متغیرها توضیح داده خواهد شد.

جدول۱ متغیرهای مستقل تحقیق و مقادیر مختلف آن (نمونه پایه با * مشخص‌شده است)

	متغیر طراحی	مقادیر
۱	عایق حرارتی بام	۶۵۴۳*۲۱۰ سانتی‌متر
۲	عایق حرارتی دیوار	۶۵۴۳*۲۱۰ سانتی‌متر
۳	نفوذ ناخواسته هوا	ACH ۴،۵۲۱،۵۱*۰،۷۵
۴	ابعاد پنجره	۲۵۲۰۱۶۱۳*۱۰٪ مساحت کلاس
۵	نوع شیشه	به جدول ۲ مراجعه نمایید.
۶	سیستم کنترل روشنایی	همیشه روشن / سیستم کنترل هوشمند

۳. شبیه‌سازی

پس از شبیه‌سازی نمونه پایه، به‌منظور بررسی تأثیر هر متغیر مستقل، ضمن ثابت نگه‌داشتن سایر متغیرها ،مقادیر پیش‌فرض متغیر مستقل مطابق با جدول ۱ در شبیه‌سازی اعمال گردید که نتایج هردسته در این بخش ارائه‌شده است.

۱۳. بررسی تأثیر عایق‌بندی حرارتی دیوارهای خارجی بر میزان مصرف انرژی

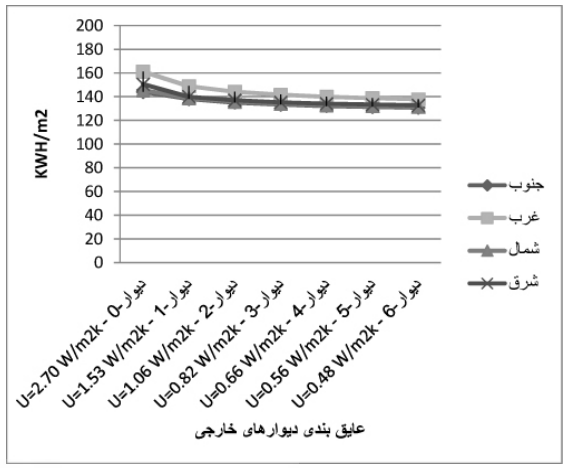
همان‌طور که در معرفی نمونه پایه اشاره گردید، ضریب انتقال حرارتی دیوار خارجی با در نظر گرفتن لایه عایق حرارتی پلی یورتان به ضخامت ۳ سانتی‌متر ۰٫۸۱۷۶ k.w /m۲ در نظر گرفته‌شده است. جهت بررسی میزان تأثیر عایق‌بندی حرارتی، دیوارهای خارجی در ۷ حالت مختلف شبیه‌سازی شده که در آن ضخامت عایق حرارتی پلی یورتان از ۰ تا ۶ سانتی‌متر تغییر کرده است (با ثابت ماندن سایر متغیرها). همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده‌شده است در این بخش با تغییر ضخامت لایه عایق حرارتی دیوارهای خارجی، میزان ضریب انتقال حرارتی تغییر میابد. با تغییر میزان ضریب انتقال حرارتی ،میزان مصرف انرژی موردنیاز کلاس درس نیز در چهار جهت اصلی مطابق شکل۲ تغییر خواهد یافت.

۲۳. بررسی تأثیر عایق‌بندی حرارتی سقف بر میزان مصرف انرژی

به طریق مشابه فوق، این بار تأثیر لایه عایق حرارتی در سقف کلاس موردبررسی قرار گرفت. برای بررسی این متغیر، ضخامت لایه پلی یورتان در حالت پایه ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که ضریب انتقال حرارتی سقف را معادل ۰٫۵۹ k.w /m۲ می‌سازد. در این بخش نیز جهت بررسی میزان تأثیر عایق‌بندی حرارتی، ضخامت لایه عایق حرارتی پلی یورتان در ۷ حالت مختلف از ۰ تا ۶ سانتی‌متر شبیه‌سازی شده است که در شکل ۳ تأثیر تغییر ضخامت لایه عایق بر میزان ضریب انتقال حرارتی و میزان انرژی مورد مصرف جهت سرمایش و گرمایش هریک از حالت ها ارائه گردیده است(با ثابت ماندن سایر متغییرها).

۳۳. بررسی تاثیر میزان نفوذ ناخواسته هوا بر میزان مصرف انرژی

سومین متغیری که در شبیه‌سازی‌ها موردبررسی قرارگرفته است (با فرض ثابت ماندن سایر متغیرها)،

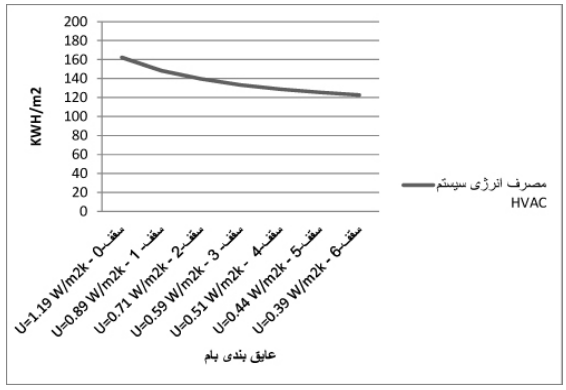


شکل ۲ تأثیر عایق بندی حرارتی دیوار بر مصرف انرژی

بررسی میزان مصرف انرژی بر اساس مقادیر مختلف میزان نفوذ هوای ناخواسته در فضای کلاس می‌باشد. همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد میزان نفوذ ناخواسته هوا در نمونه پایه ۱ ACH لحاظ شده که با توجه به تأثیر قابل توجه این متغیر بر میزان مصرف انرژی کلاس درس، مقادیر مختلف آن موردبررسی قرارگرفته شد. بر این اساس مقادیر در نظر گرفته شده برای این متغیر و تاثیر آن بر میزان مصرف انرژی در شکل ۴ نشان داده شده است.

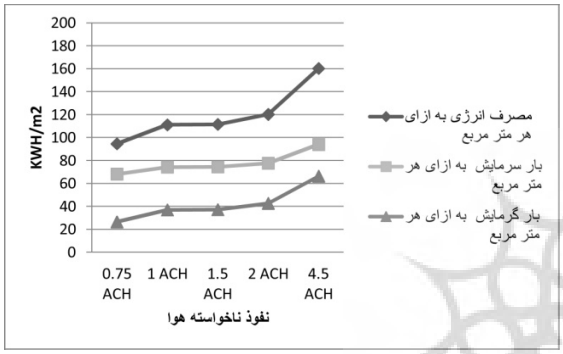
۴۳. ابعاد و موقعیت قرارگیری پنجره‌ها

با توجه به اهمیت بسیار زیاد پنجره‌ها در کنترل میزان مصرف انرژی ساختمان، بررسی‌های مفصلی بر اساس مشخصات مختلف پنجره انجام‌گرفته است. در این گام از تحقیق، پنجره‌هایی با ابعاد گوناگون که مساحتی معادل



شکل ۳ تاثیر عایق بندی حرارتی بام بر مصرف انرژی

۱۰ الی ۲۵٪ مساحت کلاس درس را تشکیل می‌دهند (نمونه پایه ۱۲٪)، موردبررسی قرارگرفته است (با فرض ثابت ماندن سایر متغیرها) بر این اساس و با توجه به شکل ۵ می‌توان مشاهده کرد که با افزایش مساحت پنجره، نیاز به نور مصنوعی کاهش می‌یابد اما از طرف دیگر، انرژی متوسط سالیانه موردنیاز جهت گرمایش و سرمایش (با فرض فعال بودن کلاس در تابستان) افزایش خواهد یافت. با توجه به اهمیت جهت‌گیری پنجره می‌توان گفت که ابعاد بهینه پنجره در نماهای مختلف ساختمان می‌تواند متفاوت باشد. همان‌طور که در شکل ۵ در نماهای شرقی و غربی که در بسیاری از ساعات روز در معرض تابش مستقیم خورشید می‌باشند بهتر است این



شکل ۴ تاثیر نرخ نفوذ ناخواسته هوا بر مصرف انرژی

سطح به کمتر از ۱۰٪ کاهش یابد. علاوه بر این با توجه به زاویه کمتر تابش و ایجاد پدیده درخشندگی در ساعات اولیه صبح، توصیه می‌گردد حتماً از سایه اندازهای داخلی یا خارجی استفاده گردد.

۵۳. نوع شیشه‌های مصرفی در پنجره‌ها

یکی از عوامل مؤثر بر میزان مصرف انرژی ساختمان، نوع شیشه‌های بکار رفته در پنجره‌ها می‌باشد. امروزه با توسعه و پیشرفت صنعت شیشه‌های ساختمانی و تنوع محصولات این صنعت، شناخت صحیح از مشخصات این

محصولات و تأثیر آن بر میزان مصرف انرژی امری ضروری تلقی می‌گردد. در این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر گونه‌های مختلف شیشه، ۱۲ گونه شیشه که در صنعت ساختمان کشورمان متداول می‌باشند موردبررسی قرارگرفته‌اند. مشخصات فیزیکی این شیشه‌ها و نحوه رفتار آن‌ها در برابر تابش نور خورشید در جدول ۲ بیان شده است. بر این اساس در شکل ۶ تأثیر استفاده از گونه‌های مختلف شیشه بر میزان مصرف انرژی کلاس درس در جهت

شمال و جنوب ساختمان نشان داده شده است (نمونه پایه شیشه شفاف دوجداره ،ردیف دوم جدول۲).

۶۳. سیستم کنترل روشنایی

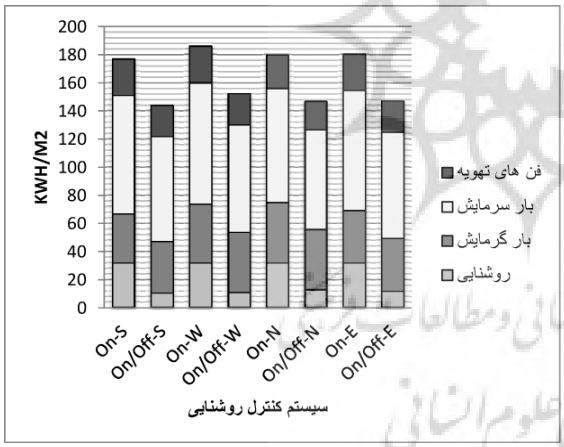
در اکثر کلاس‌های درس در کشورمان، استفاده از نور مصنوعی بدون توجه به نور روز، در تمام ساعات استفاده از کلاس اتفاق می‌افتد. درحالی‌که در صورت استفاده از سیستم هوشمند کنترل روشنایی می‌توان با بهره‌گیری از نور روز، صرفه‌جویی قابل توجهی در میزان مصرف انرژی روشنایی کلاس به عمل آید. در این تحقیق کلاس درس به ۲ زون روشنایی تقسیم شده که میزان روشنایی هر زون با یک سنسور کنترل می‌گردد، سعی شده است تا ضمن تأمین آسایش بصری دانش آموزان و تأمین روشنایی به میزان ۳۰۰ لوکس ، با بهره‌گیری حداکثری از نور روز، در مصرف انرژی روشنایی کلاس صرفه‌جویی نمود. شکل ۷ تأثیر استفاده یا عدم استفاده از این سیستم در چهار جهت اصلی بر میزان انرژی موردنیاز فضای کلاس درس نشان داده شده است.

۴. نتایج و بحث

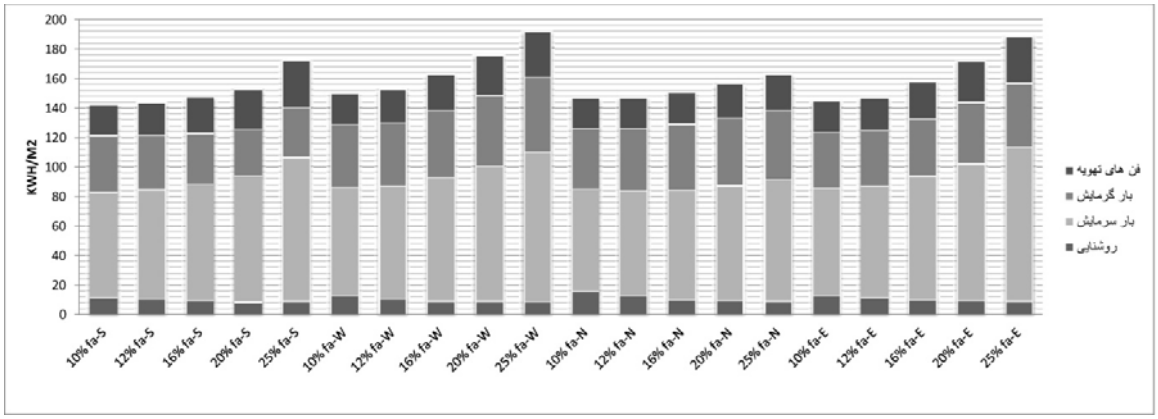
همان‌طور که در این تحقیق مشاهده شد، با طراحی مناسب یک کلاس درس می‌توان در بسیاری از ساعات استفاده از کلاس درس از نور روز جهت تأمین روشنایی فضای کلاس بهره گرفت که این امر علاوه بر کاهش مصرف انرژی ، باعث افزایش سطح آسایش بصری دانش آموزان نیز خواهد شد. همچنین کاهش استفاده از نور مصنوعی، باعث کاهش بار گرمایی حاصل از آن نیز خواهد گردید. علاوه بر این در اقلیم‌های گرمی مانند اقلیم شهر تهران، در صورت فعال بودن کلاس در تابستان (پیش‌فرض این تحقیق) انرژی موردنیاز جهت سرمایش، بخش عمده‌ای از نیاز انرژی ساختمان را تشکیل می‌دهد که با به‌کارگیری روش‌های مناسب، می‌توان این میزان را نیز تا حد زیادی کاهش داد. بااین‌حال حتی با به‌کارگیری روش‌های کاهش مصرف انرژی ، هنوز بار سرمایش بیشترین بخش انرژی مصرفی ساختمان را تشکیل می‌دهد. این مسئله ناشی از اقلیم گرم و خشک می‌باشد که باعث افزایش گرمای نهان و گرمای محسوس در ساختمان می‌گردد.

جدول۲ مشخصات فیزیکی گونه‌های مختلف شیشه بکار رفته در روند شبیه‌سازی

	ضریب انتقال حرارت سطحی	ضریب سایه اندازی	ضریب انتقال نور مرئی	ضریب انتقال نور خورشید
شیشه شفاف تکجداره	۵.۶۲	۰.۸۷	۰.۸۸	۰.۷۷
شیشه شفاف دوجداره	۲.۶۷	۰.۷۶	۰.۷۹	۰.۶۱
شیشه برنزی تکجداره	۵.۶۲	۰.۶۹	۰.۵۴	۰.۴۹
شیشه برنزی دوجداره	۲.۷۰	۰.۵۸	۰.۴۸	۰.۴۱
شیشه دوجداره منعکس کننده	۲.۴۲	۰.۲۵	۰.۱۸	۰.۱۲
شیشه سبز تکجداره	۵.۶۲	۰.۶۶	۰.۷۶	۰.۴۴
شیشه سبز دوجداره	۲.۶۷	۰.۵۵	۰.۶۷	۰.۳۷
شیشه کم گسیل- نوع ۱	۱.۹۳	۰.۷۸	۰.۷۲	۰.۵۳
شیشه کم گسیل-نوع ۲	۱.۷۵	۰.۶۵	۰.۷۵	۰.۴۷
شیشه کم گسیل-نوع ۳	۱.۶۴	۰.۴۸	۰.۶۸	۰.۳۴
شیشه کم گسیل-نوع ۴	۱.۸۹	۰.۲۴	۰.۰۷	۰.۰۵
شیشه کم گسیل-نوع ۵	۲.۳۱	۰.۳۴	۰.۳۷	۰.۱۹



شکل۷ تأثیر سیستم کنترل روشنایی بر مصرف انرژی



شکل۵ مقایسه میزان مصرف متوسط سالیانه انرژی براساس ابعاد پنجره (برمبنای مساحت کلاس) در چهار جهت اصلی نما

۱۴. اهمیت نسبی هریک از عوامل طراحی

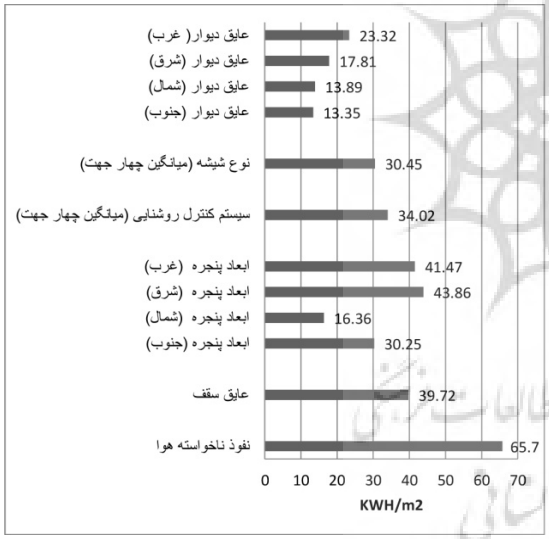
برای درک بهتر محدوده اثرگذاری هر یک از متغیرهای طراحی بر میزان بهره‌وری انرژی و آسایش حرارتی کلاس درس، اختلاف میان بیشترین و کمترین میزان مصرف انرژی که درنتیجه تغییر هر یک از متغیرها حاصل گردیده باهم مقایسه شده است. این مقادیر پتانسیل هر یک از متغیرها در کاهش مصرف انرژی را برای ما روشن می‌سازد. در این تحقیق جهت بررسی متغیرها، شرایط شبیه‌سازی کلاس درس در چهار جهت اصلی موردبررسی و مقایسه قرارگرفته است. براین اساس در شکل ۸ میزان تأثیرگذاری مستقل هر متغیر بر میزان مصرف انرژی نشان داده‌شده است. در مواردی که اختلاف مصرف انرژی در چهار جهت به هم نزدیک بوده مقدار میانگین آن در شکل نشان داده‌شده است. براین مبنا می‌توان الویت بندی در میزان تأثیرگذاری هر متغیر بر میزان مصرف انرژی متصور شد. این متغیرها به ترتیب اولویت میزان تأثیرگذاری عبارتند از:

الف) نفوذ ناخواسته هوا: استفاده از درها و پنجره‌ها با پروفیل‌های استاندارد که به‌خوبی هوابندی شده باشند، درصورتی‌که پس از ورود و خروج دانش آموزان از کلاس بسته بماند می‌تواند کمک بسیار زیادی به‌صرفه جویی انرژی کلاس درس نماید. در این زمینه توجه به انتخاب صحیح در و پنجره و کنترل کیفی ساختمان می‌تواند باعث کاهش قابل‌توجه میزان نفوذ ناخواسته هوا به فضای کلاس درس گردد. همان‌طور که در شکل ۸ نیز نشان داده‌شده است به کمک بهبود شرایط نفوذ هوا می‌توان تا حدود ۶۵y.KWH /m۲ نیاز انرژی فضای کلاس را کاهش دهد.

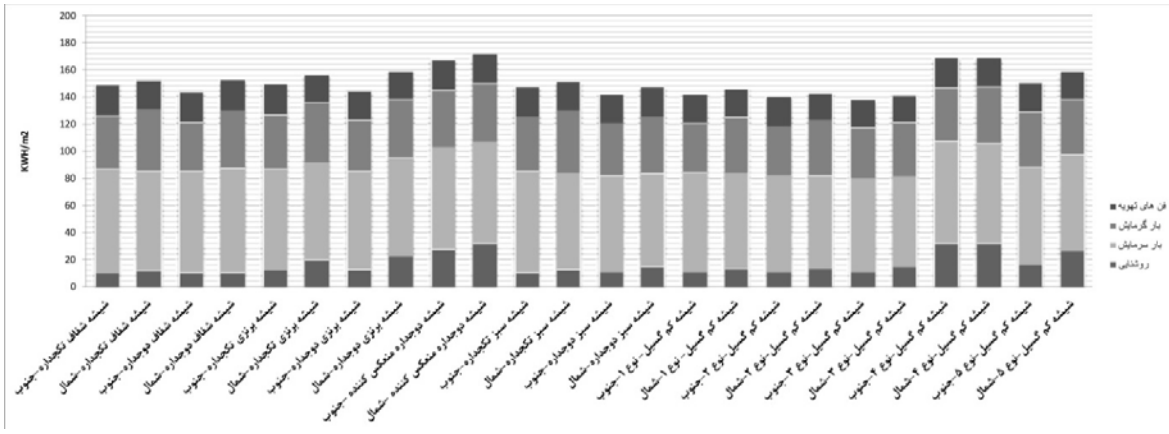
ب) عایق حرارتی بام: عایق کاری حرارتی مناسب بام می تواند تأثیر قابل‌توجهی در کاهش مصرف انرژی داشته باشد. در مقایسه یک سقف بدون عایق حرارتی، یک لایه عایق حرارتی به ضخامت ۶ سانتی‌متر می‌تواند تا KWH / ۴۰y.m۲ نیاز انرژی فضای کلاس را کاهش دهد (شکل ۸).

ج) ابعاد و موقعیت پنجره‌ها: پنجره‌های شمالی و جنوبی با ابعاد تقریبی ۱۲٪ مساحت سطح کلاس بهترین عملکرد انرژی را خواهد داشت. درحالی‌که مساحت پنجره‌های شرقی و غربی به دلیل تابش مستقیم آفتاب بهتر است از ۱۰٪ سطح کلاس افزایش پیدا نکند. همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده‌شده است، پنجره‌هایی با ابعاد بیشتر از ۱۲٪ سطح کلاس باعث افزایش چشمگیر مصرف انرژی خواهد شد. همچنین قرارگیری پنجره در ارتفاع بالاتر دیوار ضمن امکان بهره‌گیری بهتر از نور روز در عمق کلاس، باعث ایجاد شرایط آسایش بصری دانش آموزان خواهد شد.

د) سیستم کنترل روشنایی: یکی از مهم‌ترین عوامل در صرفه‌جویی انرژی، بهره‌گیری از نور روز به‌منظور روشنایی کلاس می‌باشد. ازاین‌رو بهره‌گیری از سیستم کنترل هوشمند روشنایی در فضای کلاس درس می‌تواند تأثیر



شکل ۸ اهمیت نسبی هریک از متغیرها بر میزان مصرف انرژی



شکل ۶ تاثیر بکارگیری شیشه های مختلف در نمای شمالی و جنوبی بر میزان مصرف انرژی

بسیار زیادی بر صرفه‌جویی انرژی داشته باشد. در صورت استفاده از سیستم هوشمند کنترل روشنایی به‌طور متوسط می‌توان تا حدود ۳۴y .KWH /m۲ نیاز انرژی فضای کلاس را کاهش دهد.

ه) نوع شیشه : استفاده از شیشه‌های عایق و همچنین شیشه‌های کم گسیل، تأثیر قابل‌توجهی بر میزان بار سرمایش و گرمایش ساختمان خواهد داشت. از سوی دیگر بعضی از شیشه‌های کم گسیل ،نیاز به روشنایی مصنوعی فضای کلاس درس را افزایش می‌دهند. علاوه بر این توجه به جهت قرارگیری ساختمان یکی از برگ خریدهای مؤثر در انتخاب نوع شیشه خواهد بود. همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود با انتخاب مناسب نوع شیشه می‌توان تا حدود ۳۰y .KWH /m۲ نیاز انرژی فضای کلاس را کاهش دهد.

و) عایق حرارتی دیوارهای خارجی: وجود لایه عایق حرارتی در دیوارهای خارجی غربی باعث صرفه‌جویی ۲۳y .KWH /m۲ در مصرف انرژی خواهد شد. درحالی‌که تأثیر این لایه در دیوارهای جنوبی تا ۱۳y .KWH /m۲ کاهش می‌یابد. این در حالی است که اگر ضخامت عایق حرارتی به کمتر از ۲ سانتی‌متر کاهش یابد، صرفه‌جویی ناشی از آن چندان قابل‌توجه نخواهد بود.

تأثیر کلی بکارگیری روش‌های مؤثر بر کاهش مصرف انرژی در فضای کلاس :

پس از بررسی تأثیر نسبی هر یک از متغیرها بر کاهش مصرف انرژی کلاس درس، در این بخش تأثیر کلی به‌کارگیری این روش‌ها موردمطالعه قرار خواهد گرفت.

در صورت اعمال همزمان متغیرهای مستقل تحقیق، تأثیر هریک از متغیرها تحت تأثیر شرایط سایر متغیرها تغییراتی خواهد داشت. به‌طور مثال در صورت افزایش سطح پنجره‌ها ، تأثیر انتخاب نوع شیشه نیز اثری مضاعف خواهد داشت. همچنین این امر باعث تشدید اهمیت به‌کارگیری از سیستم کنترل هوشمند روشنایی خواهد گردید. بنابراین شاهد خواهیم بود که با افزایش سطح پنجره‌ها، میزان تبادل حرارتی و درنتیجه بار حرارتی به میزان قابل‌توجهی افزایش و در مقابل انرژی موردنیاز جهت تأمین روشنایی کاهش خواهد یافت. هدف اصلی این تحقیق یافتن شرایطی است که طی آن میزان مصرف انرژی کلاس درس تا حد ممکن کاهش یابد. در این راستا، ترکیب‌های گوناگون حاصل از مقادیر مختلف متغیرهای مستقل در نرم‌افزار، شبیه‌سازی گردید تا حالت‌هایی که در آن میزان مصرف انرژی فضای کلاس بیشینه و کمینه می‌باشد ، شناسایی گردد. همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، با بررسی ۶ متغیر مستقل تحقیق به‌علاوه جهت‌گیری ساختمان، حالت‌های الف و ب که در آن‌ها میزان مصرف انرژی کلاس درس به ترتیب بیشینه و کمینه می‌باشد مشخص گردیدند . میزان انرژی موردنیاز هریک از این دو حالت در شکل ۹ نشان داده شده است. بر این اساس با به‌کارگیری شرایط مناسب در طراحی فضای درس می‌توان مصرف انرژی این فضا را تا ۵۵٪ کاهش داد (از حالت الف تا حالت ب).

نتیجه‌گیری

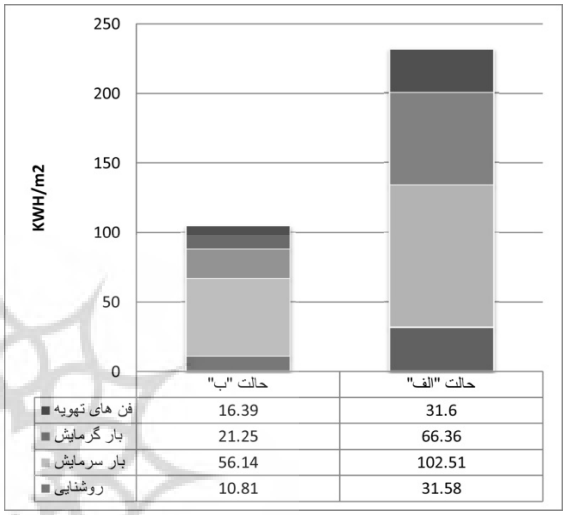
این تحقیق با روش شبیه‌سازی، به دنبال شناخت تأثیر متغیرهای فیزیکی مختلف بر میزان مصرف انرژی در فضاهای آموزشی در اقلیم شهر تهران، شرایط گوناگون

جدول ۳ حالت‌هایی که در آن میزان مصرف انرژی فضای کلاس بیشینه و کمینه خواهند بود

	حالت "الف" (بیشینه مصرف انرژی)	حالت "ب" (کمینه مصرف انرژی)
جهت‌گیری ساختمان	غرب	جنوب
عایق حرارتی بام	بدون عایق حرارتی Uvalue=۱,۱۹ W/m۲k	۶ سانتی‌متر عایق حرارتی Uvalue=۰,۳۹ W/m۲k
عایق حرارتی دیوار	بدون عایق حرارتی Uvalue=۲,۷۰ W/m۲k	۶ سانتی‌متر عایق حرارتی Uvalue=۰,۴۸ W/m۲k
نفوذ ناخواسته هوا	۴,۵ ACH	۰,۷۵ ACH
ابعاد پنجره	۲۰٪ مساحت کلاس	۱۲٪ مساحت کلاس
نوع شیشه	Lowe ۳	Lowe ۴
سیستم کنترل روشنایی	همیشه روشن	سیستم کنترل هوشمند

حاصل از تغییر متغیرها را مورد آزمون قرار داد. این فرآیند به کمک نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی eQUEST انجام پذیرفت و طی این فرآیند، در دو بخش مجزا، تأثیر مستقل هر یک از متغیرها و تأثیر همزمان به‌کارگیری متغیرهای مختلف بر میزان مصرف انرژی شبیه‌سازی گردید و نتایج آن در مراحل مختلف مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت.

از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در تعیین میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های آموزشی در اقلیم شهر تهران، می‌توان به میزان نفوذ ناخواسته هوا، عایق‌کاری حرارتی بام و



	حالت "ب"	حالت "الف"
فن های تهویه	16.39	31.6
بار گرمایش	21.25	66.36
بار سرمایش	56.14	102.51
روشنایی	10.81	31.58

شکل ۹ میزان مصرف بیشینه و کمینه انرژی در گزینه‌های شبیه‌سازی

ابعاد پنجره‌ها اشاره کرد. به‌منظور کاهش میزان نفوذ ناخواسته هوا می‌بایست ملاحظات اجرایی به‌صورت ویژه‌ای مدنظر طراحان و مجریان ساختمان قرار گیرد. ضمناً با توجه به بالا بودن میزان شدت تابش خورشید در طول سال، عایق‌کاری حرارتی بام تأثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی خواهد داشت. همچنین ابعاد پنجره‌ها می‌بایست به‌گونه‌ای طراحی گردند که ضمن تأمین نور طبیعی موردنیاز فضای کلاس درس، تأثیر منفی بر افزایش بار سرمایش و گرمایش ساختمان نداشته باشد. از طرف دیگر، درصورتی‌که پنجره در ارتفاع حدود ۱۴۰ سانتیمتر نصب گردد، عمق نفوذ نور روز بیشتر خواهد بود و میزان بهره‌گیری کلاس از نور روز مناسب‌تر خواهد شد. ضمن اینکه با قرارگیری پنجره در این ارتفاع، آرامش بصری بیشتری جهت ایجاد تمرکز حواس دانش آموزان در طول ساعات کلاس درس برقرار خواهد شد. و درعین حال تأثیر چندانی بر مصرف انرژی نخواهد گذاشت. علاوه بر موارد اشاره‌شده، جهت‌گیری مناسب کلاس‌های درس و اجتناب از پنجره‌های واقع در جهات غربی و شرقی می‌تواند نقش بسزایی در کاهش میزان مصرف انرژی ساختمان داشته باشد.

براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی، می‌توان ادعا کرد که طراحی مناسب فضای کلاس درس در اقلیم گرم و خشکی مانند اقلیم شهر تهران، می‌تواند میزان انرژی موردنیاز جهت گرمایش، سرمایش، تهویه و روشنایی آن را از KWH / m۲.y۲۳۲ به KWH /m۲.y۱۰۴ کاهش دهد. این امر به معنای کاهش ۵۵٪ در میزان مصرف انرژی فضای کلاس درس خواهد بود. این مقادیر با نتایج حاصل از تحقیقات به‌عمل‌آمده در مدارس سبز اروپایی مطابقت دارد که در آن‌ها با به‌کارگیری ترفندهای مختلف توانسته‌اند ۵۵ تا ۷۵٪ از مصرف انرژی گرمایش و ۳۰ تا ۴۰٪ از مصرف انرژی الکتریکی بکاهند[۲۵].

در پایان باید اشاره کرد که این تحقیق به بررسی مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار در میزان مصرف انرژی در فضاهای آموزشی و با در نظر گرفتن اقلیم شهر تهران و روش‌های ساختمانی متداول در آن به‌عمل‌آمده است. اعداد و ارقام به‌دست‌آمده بر مبنای متوسط سالیانه می‌باشد و با این پیش‌فرض که این فضاها (کلاس‌های آموزشی) در تابستان نیز جهت برگزاری کلاس‌های فوق‌برنامه و تقویتی، مورداستفاده دانش آموزان قرار می‌گیرند. لذا در صورت تغییر پیش‌فرض‌ها، تغییرات احتمالی در نتایج، محتمل می‌باشد و می‌بایست مورد ارزیابی تحلیلی مجدد قرار گیرد.

فهرست منابع

1. Mahdavinejad M. (2013) ; Optimum Energy Efficient Architecture Based on Thermal Behavior of Buildings' Roofs; Naqshejahan, 42 – 35 (2)3.
2. Lanniello E., Ambrosio Alfano FR. (2010); WS10: the REHVA guidebook on indoor environment and energy efficiency in schools e Part 1. Principles; The REHVA European HVAC Journal; pp.: 38-35
3. Pourjafar M.R., Bemanian M.R., Heidari S. , Taban M. (2012); Climate Impact on Architectural Ornament Analyzing Shadow of Khavoon in Dezful Historical Context Using Image Processing; Naqshejahan, – 79(3) 2 90.

4.Lombarda L.P. , Ortiz J. , Pout C. (2007); A review on buildings energy consumption information; Energy and Buildings , Volume 40, Issue 3, Pp: 398–394

5.Bingler S., Quinn L., Sullivan K. (2003); School as centers for community: a citizen's guide for planning and design; National clearinghouse for Educational facilities; Washington DC.
http://www.edfacilities.org/pubs/scc_publication.pdf

6.Mendell M. J., Heath G. A. (2005); Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature; Indoor Air 15)2005); Pp.: 52–27

7.Uline C., Tschannen-Moran M.(2008); The walls speak: the interplay of quality facilities, school climate, and student achievement; Journal of Educational Administration ;Vol. 46 Issue: 1, pp.73 – 55.

8.Lee M.C.,. Mui K.W , Wong L.T., Chan W.Y., Lee E.W.M., Cheung C.T.(2012); Student learning performance and indoor environmental quality (IEQ) in air-conditioned university teaching rooms; Building and environment , Volume 49; pp. 244-238

9.Smith R., Bradley G.(1994); The Influence of Thermal Conditions on Teachers' Work and Student Performance; Journal of Educational Administration, Vol. 1) 32); pp.34 42 –.

10. Perez Y., Capeluto I.(2009); Climatic consideration in school building design in the hot-humid climate for reducing energy consumption; Applied Energy 86; pp. 348–340.

11. Theodosiou T.G. , Ordoumpozanis K.T.(2008); Energy, comfort and indoor air quality in nursery and elementary school buildings in the cold climatic zone of Greece; Energy and Building 40; pp. –2207 2214.

12. Becker R., Goldberger I., Paciuk M.(2007);Improving energy performance of school building while ensuring indoor air quality ventilation; Building and Environment 42; pp. 3276–3261.

13. Besler GJ., Besler M. (2000);Toward healthy microclimate of closed space and habitats; Environmental Protection Engineering 3)26); pp. 38–23.

14. Yellamraju, Vijaya. (2004); Evaluation and design of double skin façade for office building in hot climates; Ms diss.; Texas A&M university.

15. McClintock, M., & Perry, J. (1997); The Challenge of 'Green' Buildings in Asia; In: International Conference of Building Envelope Systems and Technologies (ICBEST); Bath University, UK.

16. Hamza, N.(2008); Double versus single skin facades in hot ardi areas; Energy and buildings 40 ;pp.248-240.

17. Dorer V., Weber A.,(1999);Air contaminant and heat transport models: integration and application; Energy and Building 1)30) ; pp. 104–97.

18. Eriksson J., Wahlsrom A. (2002); Use of multi-zone exchange simulation to evaluate a hybrid ventilation system; ASHRAE Transactions; 2)108), pp. 817–811.

19. Becker R., Paciuk M.(2003);Upgrading energy efficiency, comfort and air quality in a school;2nd international conference on building physic ; Leuven, Belgium, Sep. 2003, pp. 935–929.

20. Elahibakhsh A. H., ShahMohammadi F., (2007); Building energy simulation software selection for Development in the Country; In: 22nd international Power system conference; Nov. 2007; Tehran; Iran.

21. Hirsch, James J.(2009). equest introductory tutorial.
http://www.doe2.com/download/equest/eQUESTv-3Overview.pdf

22. Ming Tsun Ke et al., 107-100 :2013

23. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers; (1999) ASHRAE Handbook;
24. Charted Institution of Building Services Engineers (1999); CIBSE Guide A , Environmental design
25. Barton R. (Editor) (2006); Retrofitting in educational buildings – energy concept advisor for technical retrofit measures, Technical synthesis report annex 36; International Energy Agency (IEA).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی