

# بررسی عوامل مؤثر در بهره‌وری انرژی در فضاهای آموزشی در اقلیم شهر تهران

عبدالحمید قنبران<sup>۱</sup>، محمد امین حسین پور<sup>۲</sup>

## چکیده

امروزه توجه به بحث انرژی و آسایش در طراحی ساختمان، می‌تواند 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 می‌شود. 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 شهر تهران می‌باشد. بدین منظور بوسیله روش شبیه‌سازی کامپیوتری، فضای کلاس درس در نرم افزار eQUEST شبیه‌سازی 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، عایق حرارتی دیوار، نفوذ ناخواسته هوا، ابعاد پنجره، نوع شیشه و سیستم کنترل روشنایی می‌باشند. در مرحله اول تأثیر هر یک از متغیرها به صورت مستقل بر میزان مصرف انرژی کلاس درس تخمین زده می‌شود و در مرحله بعدی تأثیر نسبی هر یک از متغیرها بر میزان مصرف انرژی مورد نیاز ساختمان و بهترین ترکیب متغیرها بر مصرف انرژی کلاس درس شناسایی گردید. بر اساس 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 بهره‌وری انرژی بالاتری حاصل شده بود، شناسایی گردید. بر اساس نتایج بدست آمده در این مرحله می‌توان ادعا کرد که در صورت طراحی مناسب فضاهای آموزشی می‌توان ضمن تامین شرایط آسایش حرارتی و بصری، در مصرف انرژی فضاهای آموزشی تا ۵۵٪ صرفه جویی نمود.

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

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۵/۲۴

۵۱

شماره ۳-۶  
پاییز ۱۳۹۵

فصلنامه  
علمی-پژوهشی

نقش  
جهان

بررسی عوامل مؤثر در بهره‌وری انرژی در فضاهای آموزشی در اقلیم شهر تهران

Ghanbaran@srutu.edu  
aminhpr@gmail.com

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.

## 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 گسترده در 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 از جمله 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 در حال توسعه نیز با توجه به رشد نسبی جمعیت و همچنین رشد بی‌سابقه صنعتی و ارتقا سطح کمی و کیفی آسایش، روند فزاینده تقاضای انرژی در آینده نیز ادامه خواهد یافت. از این رو 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 [۶-۹]. 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 در زمینه عوامل مؤثر بر میزان مصرف انرژی در فضاهای آموزشی در مناطق مختلف کشور، در این تحقیق به منظور فراهم کردن راهنمایی جهت طراحی مناسب فضای آموزشی در یک اقلیم مشخص (در این تحقیق اقلیم شهر تهران)، سعی شده است به وسیله شبیه‌سازی انرژی یک کلاس درس، شرایط ناشی از تغییر متغیرهای مختلف تأثیرگذار بر مصرف انرژی، بر عملکرد انرژی فضای کلاس درس مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. در این راستا، مدل‌های مختلفی به کمک نرم‌افزار eQUEST شبیه‌سازی شده که در هر یک از آن‌ها، انرژی مورد نیاز جهت سرمایش، گرمایش، تهویه و روشنایی تخمین زده شده 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. باین حال کلاس‌های درس علاوه بر نقش و جایگاه محوری خود، بیشترین سطح مدارس را نیز تشکیل می‌دهند.

این فضاها میزبان بخش عمده‌ای از فعالیت‌های روزانه در مدارس 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 در زمینه 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. باین حال توجه توأم 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 مورد بحث قرار گرفته اما نمونه‌های کمتری دیده شده 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 تعددی و ناخواسته، کنترل نوفه‌های صوتی، کیفیت طراحی و اجرا و ابعاد زیبایی‌شناسی، تأثیر قابل توجهی 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. در حالی که 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 هر یک از این راهکارها به نحوی ما را در رسیدن به این هدف یاری می‌کنند [۱۶].

دوررو و بر در تحقیق خود مسئله کیفیت هوای داخلی و انرژی را در یک ساختمان آموزشی چندطبقه مورد بررسی قرار داده‌اند و در نتیجه گیری از آن فقط به لزوم بهره‌گیری از تهویه شبانه و تهویه به کمک نماهای دوپوسته‌ای شفت دار اشاره کرده‌اند [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 مورد بررسی قرار داده‌اند که با بهره‌گیری از یک آنریوم مرکزی موجود در فضاهای کناری برقرار می‌شود. اما در آن اشاره‌ای به مصرف کل انرژی الکتریکی نشده است [۱۹]. در تحقیق دیگری پرزو 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 مورد استفاده محققان علوم ساختمانی قرار گرفته است. در این میان نرم‌افزارهای گوناگون با قابلیت‌های مختلف مورد استفاده 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 مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم‌افزار ابزاری حرفه‌ای با کاربری آسان است که با استفاده از قدرت تحلیل آن با اعمال هزینه‌های ناچیز و معقول در طراحی می‌توان به تغییرات بزرگ در مصرف انرژی در بنا دست یافت. این نرم‌افزار حاصل ترکیب ابزاری برای طراحی بنا، ابزار تعیین کارایی انرژی و یک ماژول نمایشگر گرافیکی نتایج می‌باشد. موتور محاسباتی اصلی این برنامه نسخه DOE\_۲،۲ می‌باشد [۲۰-۲۱]. سایت وزارت انرژی ایالات متحده آمریکا، این برنامه را با توجه به سرعت و دقت بالا، عملکرد ساده و خروجی‌های مناسب و صحت عملکرد، آن را مورد تأیید استاندارد ASHRAE ۱۴۰ قرار داده است.

مینگ سون و همکاران با استفاده از این نرم‌افزار، عوامل مؤثر بر مصرف انرژی در یک ساختمان اداری را مورد بررسی 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 دانش‌آموزان وارد کلاس شود تا بتواند میزهای دانش‌آموزان را که اغلب راست دست می‌باشند روشن کند.

## ۲. روش تحقیق

به منظور بررسی عملکرد انرژی فضای کلاس درس، تصمیم گرفته شد که یک کلاس با ابعاد متعارف به عنوان 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 انجام گرفته است. در مرحله اول تأثیر هر یک از متغیرها به صورت مستقل بر میزان مصرف انرژی کلاس درس تخمین

زده می‌شود و در مرحله بعدی تأثیر نسبی هر یک از متغیرها بر میزان مصرف انرژی مورد نیاز ساختمان و بهترین ترکیب متغیرها بر مصرف انرژی کلاس درس شناسایی خواهد شد. نرم‌افزار شبیه‌سازی به کار گرفته شده در این تحقیق قابلیت استفاده از اطلاعات ورودی به این نرم‌افزار، شامل اطلاعات آب و هوایی محل مورد نظر و اطلاعات فیزیکی ساختمان را دارا می‌باشد. اطلاعات آب و هوایی شهر تهران به صورت یک فایل اطلاعاتی حاوی سوابق آب و هوایی شهر تهران طی سی سال گذشته به عنوان بانک اطلاعات آب و هوایی شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است.

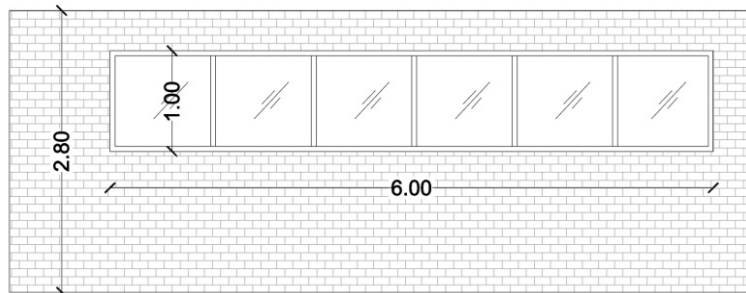
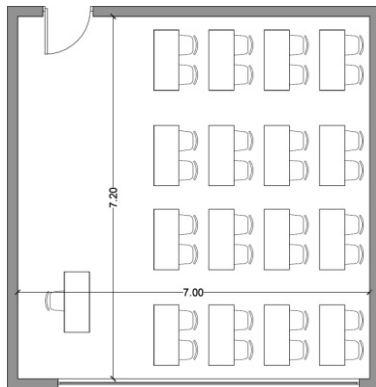
همچنین برنامه زمانی هفتگی و سالیانه استفاده از فضای کلاس درس به صورت جدولی در نرم‌افزار شبیه‌سازی اعمال گردیده است. جهت ارائه راهنمای طراحی کلاس‌های درس، عوامل مؤثر در طراحی آن به دو گروه تقسیم شدند. گروه اول مشخصاتی که با توجه به محدودیت‌های مختلف قابل تغییر نخواهند بود و گروه دوم عواملی که می‌توان با تغییر آن‌ها، عملکرد انرژی ساختمان را بهبود بخشید. تمامی این عوامل به منظور 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 شبیه‌سازی شده به شرحی که در ادامه مطرح خواهد شد تعیین گردیده‌اند. ابعاد کلاس درس شبیه‌سازی شده 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 گرفته شده است (شک ۱). با توجه به استانداردهای موجود و نوع پوشش دانش‌آموزان در کلاس حداقل دما جهت گرمایش ۲۱٫۱ درجه سلسیوس و حداکثر دما جهت سرمایش ۲۴ درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است. به منظور تأمین هوا با کیفیت مطلوب میزان تهویه ۴/۵ بار تعویض هوا در ساعت استفاده از فضای کلاس در نظر گرفته شده است. میزان روشنایی مورد نیاز در ساعات درس نیز ۳۰ لوکس در شبیه‌سازی لحاظ گردیده است [۲۳-۲۴].

به منظور جلوگیری از اثر نامطلوب درخشش در فضای داخلی سایه‌اندازه‌هایی تعبیه گردیده است. تعداد دانش‌آموزان کلاس ۳۳ نفر و ساعات بهره‌گیری از کلاس از ساعت ۸ صبح تا ۱۵ بعد از ظهر در نظر گرفته شده است.

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



شکل ۱. پلان و نمای شماتیک کلاس درس شبیه‌سازی شده

دیوارهای خارجی و سقف کلاس به صورت جرم‌های سنگین حرارتی با لحاظ کردن عایق حرارتی پلی یورتان به ضخامت ۳ سانتی متر دارای ضریب انتقال حرارتی  $0,818 \text{ k.w/m}^2$  برای دیوار و  $0,59 \text{ k.w/m}^2$  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 گرفته شده 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 بر اساس تحقیقات مشابه انجام شده در اقلیم‌های گوناگون بوده که با توجه به گستردگی موضوع و بررسی‌های اولیه انجام شده، شش متغیر به عنوان متغیرهای مستقل این تحقیق انتخاب و مورد بررسی قرار گرفته است. در گام بعدی به منظور بررسی تأثیر متغیرهای مختلف بر تعیین میزان مصرف انرژی کلاس درس، هر یک از متغیرهای مستقل به صورت جداگانه شبیه‌سازی شده و نتایج حاصل از آن جمع‌آوری و مورد مطالعه قرار می‌گیرد. این متغیرها همان‌گونه که در جدول ۱ نشان داده شده است عبارتند از: عایق بندی حرارتی دیوار و سقف، میزان نفوذ ناخواسته هوا، ابعاد و موقعیت قرارگیری پنجره‌ها، نوع شیشه بکار گرفته شده در پنجره‌ها و سیستم کنترل روشنایی کلاس درس، پس از شبیه‌سازی نمونه پایه، حالت‌های مختلف هر متغیر مستقل به صورت 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

جدول ۱ متغیرهای مستقل تحقیق و مقادیر مختلف آن (نمونه پایه با \* مشخص شده است)

مقادیر	متغیر طراحی	
۶۵۴۳*۲۱۰ سانتی متر	عایق حرارتی بام	۱
۶۵۴۳*۲۱۰ سانتی متر	عایق حرارتی دیوار	۲
ACH ۴,۵۲۱,۵۳۰,۷۵	نفوذ ناخواسته هوا	۳
۲۵۲۰۱۶۱۳*۱۰٪ مساحت کلاس	ابعاد پنجره	۴
به جدول ۲ مراجعه نمایید.	نوع شیشه	۵
همیشه روشن / سیستم کنترل هوشمند	سیستم کنترل روشنایی	۶

مصرف انرژی تأثیرگذار بوده، تأثیر آن به صورت مستقل در شبیه‌سازی منظور گردیده است. در ادامه تأثیر هر یک از این متغیرها توضیح داده خواهد شد.

### ۳. شبیه‌سازی

پس از شبیه‌سازی نمونه پایه، به منظور بررسی تأثیر هر متغیر مستقل، ضمن ثابت نگه داشتن سایر متغیرها، مقادیر پیش فرض متغیر مستقل مطابق با جدول ۱ در شبیه‌سازی اعمال گردید که نتایج هر دسته در این بخش ارائه شده است.

#### ۱۳. بررسی تأثیر عایق بندی 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 سانتی متر  $0,8176 \text{ k.w/m}^2$  در نظر گرفته شده است. جهت بررسی میزان تأثیر عایق بندی حرارتی، دیوارهای خارجی در ۷ حالت مختلف شبیه‌سازی شده که در آن ضخامت عایق حرارتی پلی یورتان از ۶ تا ۳ سانتی متر تغییر کرده است (با ثابت ماندن سایر متغیرها). همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است در این بخش با تغییر ضخامت لایه عایق حرارتی دیوارهای خارجی، میزان ضریب انتقال حرارتی تغییر می‌یابد. با تغییر میزان ضریب انتقال حرارتی، میزان مصرف انرژی مورد نیاز کلاس درس نیز در چهار جهت اصلی مطابق شکل ۲ تغییر خواهد یافت.

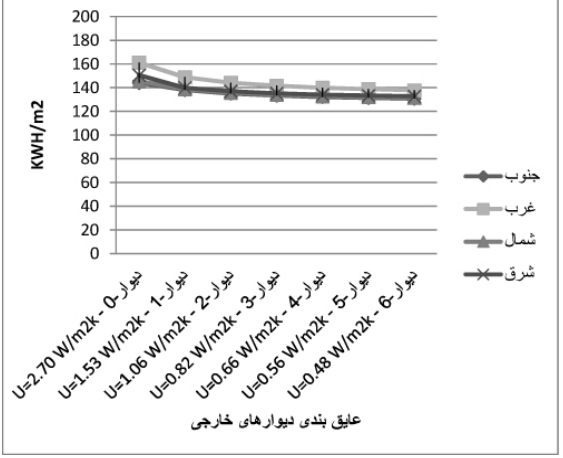
#### ۲۳. بررسی تأثیر عایق بندی حرارتی سقف بر میزان مصرف انرژی

به طریق مشابه فوق، این بار تأثیر لایه عایق حرارتی در سقف کلاس مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی این متغیر، ضخامت لایه پلی یورتان در حالت پایه ۳ سانتی متر در نظر گرفته شد که ضریب انتقال حرارتی سقف را معادل  $0,59 \text{ k.w/m}^2$  می‌سازد. در این بخش نیز جهت بررسی میزان تأثیر عایق بندی حرارتی، ضخامت لایه عایق حرارتی پلی یورتان در ۷ حالت مختلف از ۶ تا ۳ سانتی متر 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 هر یک از حالت‌ها ارائه گردیده است (با ثابت ماندن سایر متغیرها).



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

سومین متغیری که در شبیه‌سازی‌ها مورد بررسی قرار گرفته است (با فرض ثابت ماندن سایر متغیرها)،

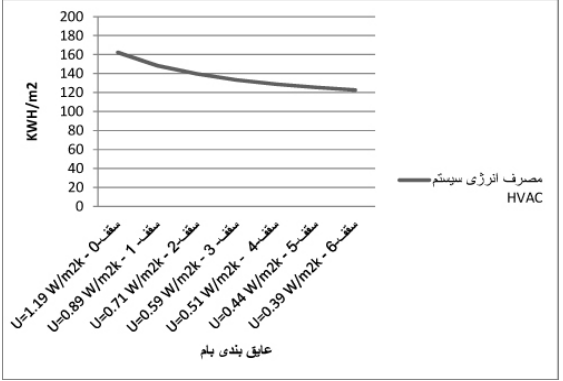


شکل ۲ تاثیر عایق بندی حرارتی دیوار بر مصرف انرژی

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 تاثیر قابل توجه این متغیر بر میزان مصرف انرژی کلاس درس، مقادیر مختلف آن مورد بررسی قرار گرفته 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 انجام گرفته 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٪)، مورد بررسی قرار گرفته 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 مورد نیاز 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 بکاررفته در پنجره‌ها می‌باشد. امروزه با توسعه و پیشرفت صنعت شیشه‌های ساختمانی و تنوع محصولات این صنعت، شناخت صحیح از مشخصات این

محصولات و تاثیر آن بر میزان مصرف انرژی امری ضروری تلقی می‌گردد. در این تحقیق به منظور بررسی تاثیر گونه‌های مختلف شیشه، ۱۲ گونه شیشه که در صنعت ساختمان کشورمان متداول می‌باشند مورد بررسی قرار گرفته‌اند. 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 تاثیر استفاده از گونه‌های مختلف شیشه بر میزان مصرف انرژی کلاس درس در جهت

#### 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 بهره‌گرفت که این امر علاوه بر کاهش مصرف انرژی، باعث افزایش سطح آسایش بصری دانش‌آموزان 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 مورد نیاز 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. با این حال 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.

شمال و جنوب ساختمان نشان داده شده است (نمونه پایه شیشه شفاف دوجداره، ردیف دوم جدو ۲).

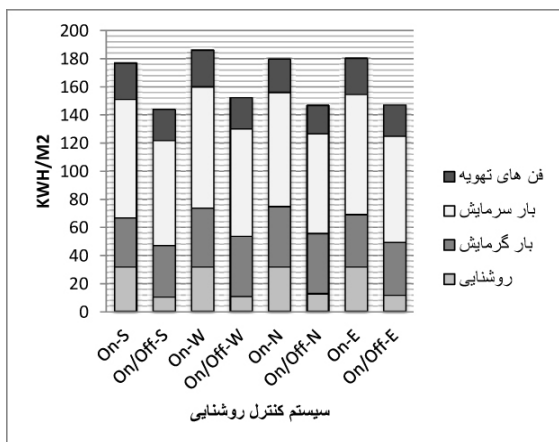
#### ۶۳. سیستم کنترل روشنایی

در اکثر کلاس‌های درس در کشورمان، استفاده از نور مصنوعی بدون توجه به نور روز، در تمام ساعات استفاده از کلاس اتفاق می‌افتد. در حالی که 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 دانش‌آموزان 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 مورد نیاز فضای کلاس درس نشان داده شده است.

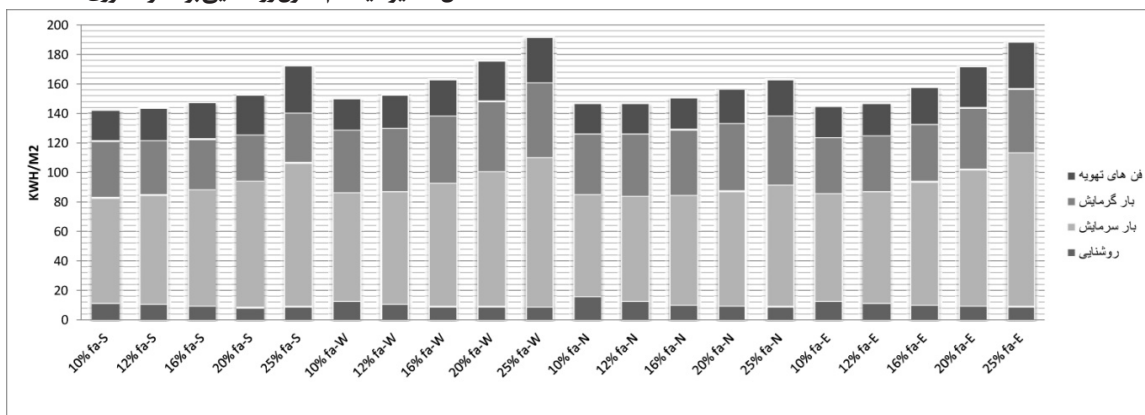
جدول ۲ مشخصات فیزیکی گونه‌های مختلف شیشه بکاررفته در

روند شبیه‌سازی

ضریب انتقال نور خورشید	ضریب انتقال نور مرئی	ضریب سایه اندازی	ضریب انتقال حرارت سطحی
۰.۷۷	۰.۸۸	۰.۸۷	۵.۶۲
۰.۶۱	۰.۷۹	۰.۷۶	۲.۶۷
۰.۴۹	۰.۵۴	۰.۶۹	۵.۶۲
۰.۴۱	۰.۴۸	۰.۵۸	۲.۷۰
۰.۱۲	۰.۱۸	۰.۲۵	۲.۴۲
۰.۴۴	۰.۷۶	۰.۶۶	۵.۶۲
۰.۳۷	۰.۶۷	۰.۵۵	۲.۶۷
۰.۵۳	۰.۷۲	۰.۷۸	۱.۹۳
۰.۴۷	۰.۷۵	۰.۶۵	۱.۷۵
۰.۳۴	۰.۶۸	۰.۴۸	۱.۶۴
۰.۰۵	۰.۰۷	۰.۲۴	۱.۸۹
۰.۱۹	۰.۳۷	۰.۳۴	۲.۳۱



شکل ۷ تأثیر سیستم کنترل روشنایی بر مصرف انرژی



شکل ۵ مقایسه میزان مصرف متوسط سالیانه انرژی بر اساس ابعاد پنجره (بر مبنای مساحت کلاس) در چهار جهت اصلی نما

### ۱۴. اهمیت نسبی هر یک 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 در نتیجه 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 مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. براین اساس در شکل ۸ میزان تأثیرگذاری مستقل هر متغیر بر میزان مصرف انرژی نشان داده شده است. در مواردی که اختلاف مصرف انرژی در چهار جهت به هم نزدیک بوده مقدار میانگین آن در شکل نشان داده شده 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:

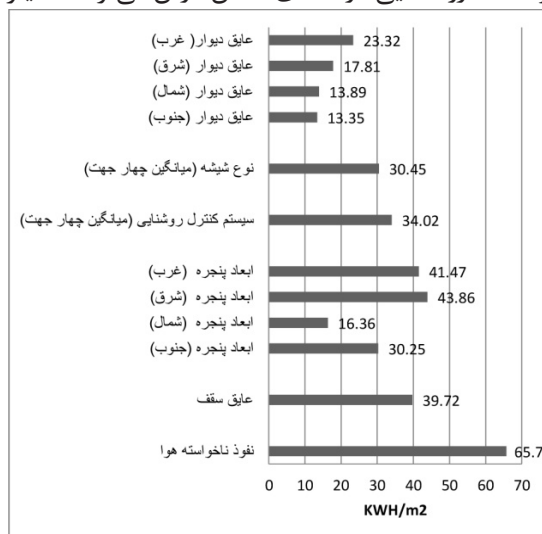
الف) نفوذ ناخواسته هوا: استفاده از درها و پنجره‌ها با پروفیل‌های استاندارد که به خوبی هوابندی شده باشند، در صورتی که پس از ورود و خروج دانش آموزان از کلاس بسته بماند می‌تواند کمک بسیار زیادی به صرفه جویی انرژی کلاس درس نماید. در این زمینه توجه به انتخاب صحیح در و پنجره و کنترل کیفی ساختمان می‌تواند باعث کاهش قابل توجه میزان نفوذ ناخواسته هوا به فضای کلاس درس گردد. همان‌طور که در شکل ۸ نیز نشان داده شده است به کمک بهبود شرایط نفوذ هوا می‌توان تا حدود  $65.7 \text{ kWh/m}^2$  نیاز انرژی فضای کلاس را کاهش دهد.

ب) عایق حرارتی بام: عایق کاری حرارتی مناسب بام می‌تواند تأثیر قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی داشته

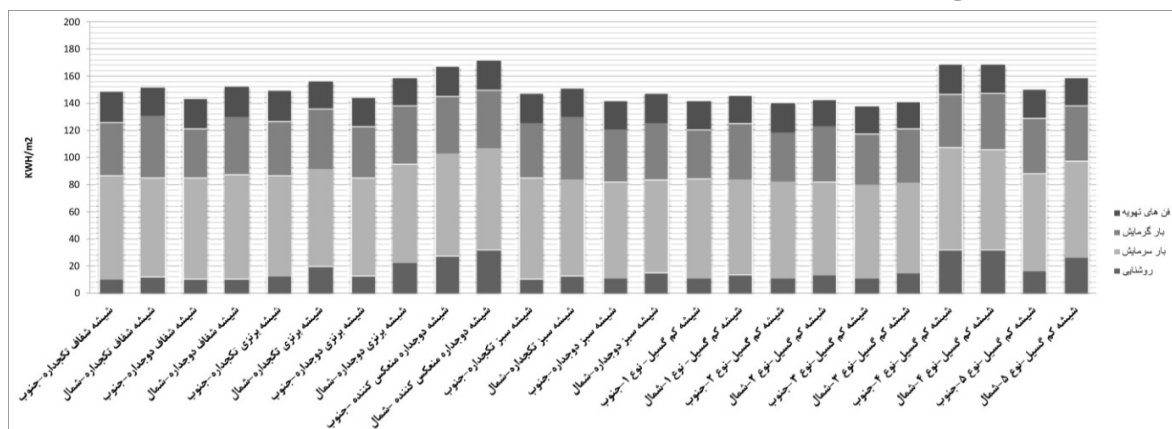
باشد. در مقایسه یک سقف بدون عایق حرارتی، یک لایه عایق حرارتی به ضخامت ۶ سانتی‌متر می‌تواند تا  $40.7 \text{ kWh/m}^2$  نیاز انرژی فضای کلاس را کاهش دهد (شک ۸).

ج) ابعاد و موقعیت پنجره‌ها: پنجره‌های شمالی و جنوبی با ابعاد تقریبی ۱۲٪ مساحت سطح کلاس بهترین عملکرد انرژی را خواهد داشت. در حالی که 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 داده شده 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 به منظور روشنایی کلاس می‌باشد. از این رو بهره‌گیری از سیستم کنترل هوشمند روشنایی در فضای کلاس درس می‌تواند تأثیر



شکل ۸ اهمیت نسبی هر یک از متغیرها بر میزان مصرف انرژی



شکل ۶ تأثیر بکارگیری شیشه‌های مختلف در نمای شمالی و جنوبی بر میزان مصرف انرژی



بسیار زیادی بر صرفه جویی انرژی داشته باشد. در صورت استفاده از سیستم هوشمند کنترل روشنایی به طور متوسط می توان تا حدود  $34 \text{ y.KWH/m}^2$  نیاز انرژی فضای کلاس را کاهش دهد.

ه) نوع شیشه: استفاده از شیشه های عایق و همچنین شیشه های کم گسیل، تأثیر قابل توجهی بر میزان بار سرمایش و گرمایش ساختمان خواهد داشت. از سوی دیگر بعضی از شیشه های کم گسیل، نیاز به روشنایی مصنوعی فضای کلاس درس را افزایش می دهند. علاوه بر این توجه به جهت قرارگیری ساختمان یکی از برگ خریدهای مؤثر در انتخاب نوع شیشه خواهد بود. همان گونه که در شکل ۸ مشاهده می شود با انتخاب مناسب نوع شیشه می توان تا حدود  $30 \text{ y.KWH/m}^2$  نیاز انرژی فضای کلاس را کاهش دهد.

و) عایق حرارتی دیوارهای خارجی: وجود لایه عایق حرارتی در دیوارهای خارجی غربی باعث صرفه جویی  $23 \text{ y.KWH/m}^2$  در مصرف انرژی خواهد شد. در حالی که تأثیر این لایه در دیوارهای جنوبی تا  $13 \text{ y.KWH/m}^2$  کاهش می یابد. این در حالی است که اگر ضخامت عایق حرارتی به کمتر از ۲ سانتی متر کاهش یابد، صرفه جویی ناشی از آن چندان قابل توجه نخواهد بود.

تأثیر کلی بکارگیری روش های 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 به کارگیری این روش ها مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

در صورت اعمال همزمان متغیرهای مستقل تحقیق، تأثیر هر یک از متغیرها تحت تأثیر شرایط سایر متغیرها تغییراتی خواهد داشت. به طور مثال در صورت افزایش سطح پنجره ها، تأثیر انتخاب نوع شیشه نیز اثری مضاعف خواهد داشت. همچنین این امر باعث تشدید اهمیت به کارگیری از سیستم کنترل هوشمند روشنایی خواهد

گردید. بنابراین شاهد خواهیم بود که با افزایش سطح پنجره ها، میزان تبادل حرارتی و در نتیجه بار حرارتی به میزان قابل توجهی افزایش و در مقابل انرژی مورد نیاز 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، ترکیب های گوناگون حاصل از مقادیر مختلف متغیرهای مستقل در نرم افزار، شبیه سازی گردید تا حالت هایی که در آن میزان مصرف انرژی فضای کلاس بیشینه و کمینه می باشد، شناسایی گردد. همان طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، با بررسی ۶ متغیر مستقل تحقیق به علاوه جهت گیری ساختمان، حالت های الف و ب که در آن ها میزان مصرف انرژی کلاس درس به ترتیب بیشینه و کمینه می باشد مشخص گردیدند. میزان انرژی مورد نیاز هر یک از این دو حالت در شکل ۹ نشان داده شده است. بر این اساس با به کارگیری شرایط مناسب در طراحی فضای کلاس درس می توان مصرف انرژی این فضا را تا ۵۵٪ کاهش داد (از حالت الف تا حالت ب).

### نتیجه گیری

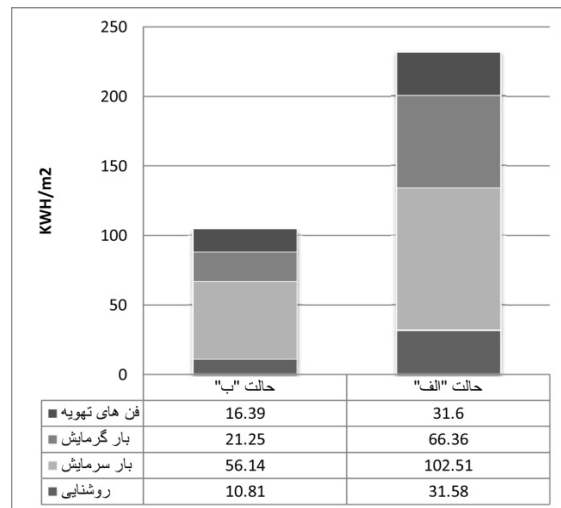
این تحقیق با روش شبیه سازی، به دنبال شناخت تأثیر متغیرهای فیزیکی مختلف بر میزان مصرف انرژی در فضاهای آموزشی در اقلیم شهر تهران، شرایط گوناگون

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

حالت "الف" (بیشینه مصرف انرژی)	حالت "ب" (کمینه مصرف انرژی)	
غرب	جنوب	جهت گیری ساختمان
بدون عایق حرارتی $U_{\text{value}}=1,19 \text{ W/m}^2\text{K}$	۶ سانتی متر عایق حرارتی $U_{\text{value}}=0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$	عایق حرارتی بام
بدون عایق حرارتی $U_{\text{value}}=2,70 \text{ W/m}^2\text{K}$	۶ سانتی متر عایق حرارتی $U_{\text{value}}=0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$	عایق حرارتی دیوار
۴,۵ ACH	۰,۷۵ ACH	نفوذ ناخواسته هوا
۲۰٪ مساحت کلاس	۱۲٪ مساحت کلاس	ابعاد پنجره
Lowe ۳	Lowe ۴	نوع شیشه
همیشه روشن	سیستم کنترل هوشمند	سیستم کنترل روشنایی

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



شکل ۹. میزان مصرف بیشینه و کمینه انرژی در گزینه‌های شبیه‌سازی

ابعاد پنجره‌ها اشاره کرد. به منظور 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 مورد نیاز فضای کلاس درس، تأثیر منفی بر افزایش بار سرمایش و گرمایش ساختمان نداشته باشد. از طرف دیگر، در صورتی که 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 دانش‌آموزان در طول ساعات کلاس درس برقرار خواهد شد. و در عین حال تأثیر چندانی بر مصرف انرژی نخواهد گذاشت. علاوه بر موارد اشاره شده، 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.

بر اساس 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 مورد نیاز جهت گرمایش، سرمایش، تهویه و روشنایی آن را از  $232y.m^2$  به  $104y.KWH/m^2$  کاهش دهد. این امر به معنای کاهش ۵۵٪ در میزان مصرف انرژی فضای کلاس درس خواهد بود. این مقادیر با نتایج حاصل از تحقیقات به‌عمل آمده 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 به‌عمل آمده است. اعداد و ارقام به‌دست آمده بر مبنای متوسط سالیانه می‌باشد و با این پیش‌فرض که این فضاها (کلاس‌های آموزشی) در تابستان نیز جهت برگزاری کلاس‌های فوق برنامه و تقویتی، مورد استفاده دانش‌آموزان 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.

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 G.J., 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 arid 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
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](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.

23. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers; (1999) ASHRAE Handbook;
24. Chartered 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).



شماره ۳-۶  
پاییز ۱۳۹۵  
فصلنامه  
علمی-پژوهشی

**نقش  
جهان**

بررسی عوامل مؤثر در بهره‌وری انرژی در فضاهای آموزشی در اقلیم شهر تهران