

# بهینه‌سازی جداره‌های ساختمان مدرسه در جهت دستیابی به معماری پایدار مدارس نمونه موردی شهر شیراز

پری‌ناز کشتکاران\* ■ خسرو موحد\*\* ■ زهرا برزگر مروستی\*\*\*

## چکیده:

از آنجاکه ساختمان‌ها ۴۰ درصد مصرف سالانه انرژی جهان را به خود اختصاص می‌دهند، آموزش روش‌های صحیح مصرف انرژی به کاربران و ساکنان این ساختمان‌ها می‌تواند تأثیر زیادی در کاهش مصرف داشته باشد. جهت آموزش این روش‌ها از سنین پایین، مدارس بهترین محیط جهت آموزش و یادگیری است. چراکه مدارس پایدار به‌عنوان یکی از بخش‌های مهم جامعه، علاوه بر انتقال میزان اهمیت بحث پایداری توسط آموزش دیداری و تجربی، خود نیز با صرفه‌جویی در راه پیشرفت به‌سوی جامعه‌ای پایدار گام برمی‌دارند. با توجه به گستردگی مبحث پایداری، در این پژوهش صرفاً مبحث پایداری اقلیمی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است.

هدف این مقاله بهینه‌سازی جداره‌های ساختمان یک مدرسه در شیراز در جهت کاهش مصرف انرژی است و همچنین لزوم استفاده از سامانه‌های ایستا در طراحی هر مدرسه با توجه به اقلیم محل مدرسه در جهت استفاده بهینه از انرژی تابشی خورشید می‌باشد. روش تحقیق مقاله حاضر کمی و انجام محاسبات با نرم‌افزار شبیه‌ساز می‌باشد، و به‌منظور مدل‌سازی از نرم‌افزار اکوتکت ۲۰۱۱ استفاده گردیده است. جامعه آماری این تحقیق مدارس ساخته‌شده توسط سازمان نوسازی مدارس استان فارس، بر اساس پلان تیپ اقلیم گرم و خشک، می‌باشد. در این راستا یک مدرسه ۶ کلاسه ابتدایی تیپ ۲-۱۹۲۶ به روش نمونه‌گیری غیر احتمالی، هدفمند انتخاب شد و تأثیر استفاده از عایق حرارتی در جداره‌های ساختمان این مدرسه در بهینه‌سازی مصرف انرژی بررسی گردید. نتایج محاسبات نشان داد که پس از بهینه‌سازی جداره‌ها، مجموع فضاهای ساختمان مدرسه مدت زمانی حدود دو برابر بیشتر در محدوده آسایش قرار خواهند داشت.

معماری پایدار، مدرسه، انرژی، عایق جداره‌ها، بهینه‌سازی

کلید واژه‌ها:

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۵/۲۰ ■ تاریخ شروع بررسی: ۹۵/۷/۱۱ ■ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۰/۲۹

\* دانشجوی دکتری معماری، واحد شیراز، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران..... par.keshkaran@gmail.com  
\*\* دانشیار گروه معماری، واحد شیراز، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران (نویسنده مسئول)..... khm@iaushiraz.ac.ir  
\*\*\* استاد مدعو گروه معماری، واحد شیراز، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران..... zahrabarzegar86@yahoo.com

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دکتری معماری نویسنده اول و به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم می‌باشد.

## مقدمه

پایداری و توسعه پایدار، اولین بار در گزارش «آینده متعارف ما» در کمیته جهانی توسعه و محیط‌زیست، در سال ۱۹۸۷، مطرح شد و این‌گونه تعریف گردید که: «توانایی تأمین احتیاجات امروز بدون به مخاطره انداختن نیازهای نسل‌های آینده است» (کمیته توسعه و محیط‌زیست سازمان ملل، ۱۹۹۱، تاسکی<sup>۱</sup>، ۲۰۱۵). گزارش براندلنت<sup>۲</sup> «خلق یک سیستم تولید که نیازهای اکولوژیکی پایه برای توسعه را تضمین می‌نماید» را به‌عنوان یکی از نیازهای توسعه پایدار بیان کرده است (گینس<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴).

تعاریفی مانند معماری سبز، معماری اکولوژیک، معماری دوستدار محیط‌زیست و معماری هوشمند، همه به‌عنوان تعابیر معماری پایدار به کار می‌رود (تاسکی، ۲۰۱۵). معماری سبز نیز احداث ساختمان با مواد و مصالح تا حد امکان طبیعی است به نحوی که استفاده از ساختمان کمترین آسیب را به محیط‌زیست وارد کند. امروزه گرایش به ساخت چنین بناهایی در جهت حفظ محیط‌زیست، بیش از پیش سرعت گرفته و با پیشرفت فناوری، امکان اجرا پیدا کرده است (داریوش، ۱۳۹۲). از آنجا که ۴۰ درصد از آلودگی کربن دی‌اکسید در جهان ناشی از ساختمان‌هاست (سومالی و ایلیکا<sup>۴</sup>، ۲۰۰۹)، سیستم ساختمان‌سازی سبز در جهت کاهش آلودگی کربنی و تأثیرات منفی بر محیط‌زیست، به سرعت در تمام دنیا در حال پیشرفت است (تاسکی، ۲۰۱۵).

مدرسه سبز بنا به تعریف خود، مدرسه‌ای است که فضایی سالم برای یادگیری مهیا می‌کند درحالی‌که در مصرف منابع و سرمایه صرفه‌جویی، و آن‌ها را ذخیره می‌کند (مرکز مدارس سبز<sup>۵</sup>، ۲۰۰۸). حرکت به‌سوی مدارس سبز رویدادی است که به‌نوعی اهمیت منابع انرژی را تا داخل کلاس درس می‌آورد (پراکاش و راندال<sup>۶</sup>، ۲۰۰۵). مدرسه فراتر از (یک بنا) آجر و ملات است، بلکه نشانه و سمبل التزام ما به تحصیل است (لاکنی<sup>۷</sup>، ۱۹۹۹) در این راستا مدارس پایدار به‌مثابه مصالح بتنی قلمداد می‌شود که جهت آموزش ایده‌های سهل‌الوصول و فراوان به دانش‌آموزان، ایده‌آل هستند. طراحی مدرسه منطبق بر اصول پایداری می‌تواند تسهیلات مفیدی را در زمینه آموزش مقولات پایداری برای دانش‌آموزان مهیا سازد. از جمله: آگاهی نسبت به محیط سبز، ذخیره انرژی، اطلاعات سودمند درباره آسایش حرارتی و غیره (تاسکی، ۲۰۱۵). با توجه به این نکته که مدارس نقش عمده‌ای در جامعه ایفا می‌کنند اهمیت مطرح کردن بحث پایداری در طراحی آن‌ها آشکار می‌شود. چراکه مدارس پایدار به‌عنوان یکی از بخش‌های مهم جامعه، علاوه بر انتقال اهمیت مبحث پایداری به‌وسیله آموزش دیداری و تجربی، خود نیز با صرفه‌جویی، در راه پیشرفت به‌سوی جامعه‌ای پایدار گام برمی‌دارد، که خود از اهمیت بالایی برخوردار است (باس<sup>۸</sup>، ۲۰۰۷). البته با توجه به گستردگی مبحث پایداری، در این پژوهش صرفاً مبحث پایداری اقلیمی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است.

این پژوهش با هدف پیشنهاد اصولی جهت طراحی معماری مدارس سبز در شهر شیراز با اقلیم گرم و خشک، به دنبال پاسخ به این سؤال است که: چگونه می‌توان با کنترل و تعدیل انتقال حرارت از سطوح ساختمان مدارس در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد؟ در این راستا ابتدا پیشینه پژوهش و ضرورت تحقیق بر اساس منابع موجود و مطالعات کتابخانه‌ای انجام شده سپس در بخش فرآیند پژوهش، روش تحقیق و ابزار گردآوری اطلاعات، توضیح داده شده است. نهایتاً در بخش بحث و یافته‌ها نتایج تحقیق در جهت استخراج نتایج بررسی و تحلیل گردیده است.

### ■ پیشینه پژوهش

در انگلستان دو کتاب در زمینه راهنمای طراحی مدارس و مجتمع‌های آموزشی منتشر شده است. که در هر دو راهنمایی‌هایی در خصوص جهت‌یابی، نوع مصالح، به‌کارگیری نور روز، تهویه، اجرای آکوستیک و استفاده از انرژی گرمایی وجود دارد. تعدادی از این راه‌کارها بر اساس نوع پلان مدارس و انواع آن پیشنهاد شده است. با مرور ساختمان‌های مدارس، به‌طورکلی چهار الگوی متناسب طراحی پلان مدرسه به شرح زیر قابل تشخیص است: پلان فشرده، پلان با حیاط مرکزی، پلان خوشه‌ای انگشتی و پلان خطی. بریان<sup>۹</sup> (۲۰۰۳)، به نقل از فارسی و هنردان، (۱۳۹۴) میزان مصرف انرژی در هر یک از انواع پلان مدرسه را چنین بیان می‌دارد: مدارس با پلان فشرده و پلان خطی بیشترین انرژی کل مصرفی را به ترتیب با مقادیر ۹۱ و ۹۲ (KWh/m<sup>2</sup>/yr)، و پلان‌های با حیاط مرکزی و پلان گسترده به ترتیب با مقدار ۸۷ و ۸۳ (KWh/m<sup>2</sup>/yr) کمترین کل انرژی مصرفی را دارند. میزان استفاده سطوح از انرژی غیرفعال در پلان‌های حیاط مرکزی، گسترده، خطی ۱۰۰ درصد و در پلان فشرده ۹۴ درصد است. بریان افزایش مصرف انرژی در پلان فشرده را به دلیل امکان بهره‌گیری کمتر این پلان در جذب انرژی به‌صورت غیرفعال و افزایش مصرف انرژی در پلان خطی را به دلیل بیشتر بودن سطح دیوارهای مدرسه در این نوع پلان می‌داند.

ایون کوری و ها جین کنگ<sup>۱۰</sup> در پروژه تحقیقاتی خود که توسط مرکز ملی تحقیقات کره<sup>۱۱</sup> حمایت مالی شده است، اصول طراحی معماری پایدار را جهت ساختمان مدارس ابتدایی بخش مرکزی کشور کره پیشنهاد داده‌اند. آن‌ها در نتایج این تحقیق، که در مجله «مهندسی معماری و ساختمان آسیا» سال ۲۰۱۴ به چاپ رسیده است، فاکتورهای اصلی مؤثر در کاهش مصرف انرژی (شامل: ارتفاع سقف، عرض کریدور، جهت بنا، موقعیت بازشوها، ارتفاع و عمق کلاس، نسبت بازشوها به دیوارها) را انتخاب و در آنالیزها مورد آزمایش قرار داده‌اند. در نتایج این تحقیق، متغیرهای معماری تأثیرگذار در کاهش مصرف انرژی به ترتیب زیر اولویت‌بندی گردیده است:

۱. نفوذپذیری<sup>۱۲</sup>

۲. جهت‌گیری مناسب بنا<sup>۱۳</sup>

۳. نوع دیوارهای خارجی (محیطی)<sup>۱۴</sup>

۴. نوع بازشوها<sup>۱۵</sup>

۵. ضریب تأثیر جذب حرارت<sup>۱۶</sup>

۶. عرض فضاها<sup>۱۷</sup>

۷. ارتفاع<sup>۱۸</sup> فضاها.

بورکو گوالی تاسکی (۲۰۱۵) در مقاله خود به معرفی سیستم ارزیابی مصرف انرژی ساختمان در کشورهای آمریکای شمالی به شرح زیر پرداخته است: در کشورهای آمریکای شمالی سیستم لید<sup>۱۹</sup> (راهنمای طراحی محیط‌زیست و انرژی) توسط مرکز ساختمان‌سازی سبز<sup>۲۰</sup> از سال ۱۹۹۸ ابداع گردید. هدف این سیستم به حداقل رساندن آسیب‌های مصالح ساختمان و صنعت ساختمان‌سازی در محیط‌زیست است. بدین منظور بخش‌های مختلفی در این سیستم تعریف شده است از جمله: مصالح و منابع، اثرات آب، انرژی و اتمسفر، پایداری، کیفیت هوای فضای داخلی و سرانجام نوآوری. این سیستم تأییدیه‌هایی را در سطوح مختلف و بخش‌های متفاوت ارائه می‌کند که بستگی مستقیم به نوع و عملکرد بنا دارد. بنای مدارس نیز یکی از بخش‌های این سیستم (ارزیابی مصرف انرژی ساختمان) می‌باشد. در این سیستم مواردی از اصول با توجه به عملکرد مدرسه و فضاهای آموزشی به‌طور مشخص و با اهمیت بیشتری بیان شده است. اصول مطرح‌شده در زمینه کیفیت و میزان نور مرتبط با نور روز، آسایش صوتی در فضاهای آموزشی، نیازهای آکوستیکی، تهویه طبیعی، سیستم‌های تهویه مطبوع، فضاهای سبز و کارایی انرژی می‌باشد.

بخش تحقیقات سازمان نوسازی مدارس به‌عنوان متولی امر مدرسه‌سازی در ایران تحقیقاتی در زمینه همسازی معماری مدارس با اقلیم انجام داده است که نتایج آن به‌صورت دو جزوه تحت عنوان‌های ۱. اصول طراحی اقلیمی و ۲. ساختمان‌های آموزشی و اقلیم در سایت اینترنتی سازمان نوسازی مدارس در دسترس کاربران قرار گرفته است (سازمان نوسازی مدارس، ۱۳۹۳).

در سال‌های اخیر مطالعاتی در زمینه مصرف انرژی در ساختمان مدارس ایران انجام شده است که تنها تعداد کمی از آن‌ها به مطالعه و ارائه تکنیک‌ها و اولویت‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی و راهکارهای توسعه کاهش مصرف انرژی در مناطق اقلیمی خاص پرداخته‌اند (زمردیان و نصرالهی، ۲۰۱۳، تحصیل دوست و زمردیان، ۲۰۱۵، ظهیری، شارپلز و آلتن<sup>۲۱</sup>، ۲۰۱۱، مفیدی شمیرانی، ۲۰۰۶) زمردیان و نصرالهی (۲۰۱۳) به بررسی ضوابط طراحی معماری اقلیمی مدارس در اقلیم گرم و خشک ایران با هدف کاهش مصرف انرژی پرداخته و مطالعات در بحث بهینه‌سازی ساختمان مدارس را در سه گروه دسته‌بندی کرده‌اند: ۱. تحقیقات بهینه‌سازی تأسیسات مکانیکی و الکتریکی ساختمان مدارس ۲. تحقیقات طراحی معماری و پارامترهای ساختمانی مانند سایبان‌ها و عایق‌های حرارتی ۳. تحقیقات مدیریت انرژی در ساختمان مدارس، و اظهار داشته‌اند که سازمان نوسازی مدارس به‌عنوان متولی امر مدرسه‌سازی در ایران توجهی به ضوابط طراحی معماری اقلیمی خصوصاً در اقلیم گرم و

بهبودسازی جداره‌های ساختمان مدرسه در جهت دستیابی به معماری پایدار مدارس، نمونه موردی شهر شیراز

خشک ایران نداشته است این در حالی است که مصرف انرژی مدارس این اقلیم ۴۱/۹۱ درصد مصرف انرژی مدارس کل کشور است.

بیشتر تکنیک‌های مطالعه‌شده در زمینهٔ بهینه‌سازی مصرف انرژی شامل عایق‌کاری مناسب جهت جداره‌های بنا، استفاده از شیشه‌های دو جداره با پوشش محافظ، سیستم‌های نورپردازی بهینه و سیستم‌های جدید تأسیسات حرارتی می‌باشد (تحصیل دوست و زمردیان، ۲۰۱۵؛ دی سانتولی<sup>۲۲</sup>، ۲۰۱۴؛ الشمرانی، گلال و الکاس<sup>۲۳</sup>، ۲۰۱۴؛ رضا، صادق و هیواگ<sup>۲۴</sup>، ۲۰۱۱؛ ماتیوس و براگانکا<sup>۲۵</sup>، ۲۰۱۱؛ کاسترو لاکوچر، سفایر، فلورز و مداگلیا<sup>۲۶</sup>، ۲۰۰۹).

انجام تغییراتی در طراحی بنا، از جمله بهبود و توسعه عایق‌کاری جداره‌ها و استفاده از انرژی‌های نو، کاهش مصرف انرژی را در ساختمان نشان داده است (گالیانو، نوکرا، پاتانیا و کاپیزی<sup>۲۷</sup>، ۲۰۱۳). در مناطقی که نیاز انرژی بالاست، استفاده بهینه از عایق‌کاری جداره‌ها و یا توسعه استفاده از انرژی‌های نو پیشنهاد شده است (سیدرلت و دفاکس<sup>۲۸</sup>، ۲۰۰۷). چنانچه عایق مناسب جهت جداره‌های بنا طراحی شود نیاز به انرژی حرارتی به مقدار چشمگیری کاهش خواهد یافت. ضخامت عایق استفاده‌شده برای سطوح افقی و عمودی (سقف و دیوارها) به موقعیت اقلیمی سایت، هندسه بنا و ماهیت مصالح بستگی دارد ولی افزایش بیش از حد ضخامت عایق تأثیری بر میزان بار برودتی و حرارتی ندارد (لولینیا، باروزیا و فاسانوب<sup>۲۹</sup>، ۲۰۰۶).

ایجاد تغییرات در مصالح جداره‌های بنا، نوع عایق، مصالح سقف، مصالح نما و اندازه و نوع بازشوها، میزان مصرف انرژی و به تبع آن هزینه مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. نتایج تحقیقات بیانگر این مهم است که توجهات ویژه به طراحی اقلیمی عناصر مذکور، مصرف انرژی را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد (فسنقری و اسدی، ۲۰۱۲). دو پارامتر مؤثر در بار حرارتی<sup>۳۰</sup> سالانه ساختمان، یکی ضخامت عایق دیوارهای خارجی و دیگری عمق اتاقک خورشیدی است، که به ترتیب حداکثر تا ۷۰ درصد و ۱۰ درصد باعث کاهش بار حرارتی می‌شوند (گونگ و آکاشی<sup>۳۱</sup>، ۲۰۱۲).

## ■ ضرورت پژوهش

بورکو گوالی تاسکی (۲۰۱۵) در مقاله خود با عنوان «آموزش پایداری از طریق طراحی مدارس پایدار» بیان می‌کند که می‌توان از طریق معماری پایدار، به پایداری محیط‌زیست و پایداری بوم‌شناختی دست یافت و این دیدگاه را می‌توان از طریق ساختمان‌سازی و معماری به دانش‌آموزان انتقال داد؛ و اگر مدارس بر اساس اصول معماری پایدار طراحی گردد می‌توان محیطی را برای دانش‌آموزان مهیا کرد که از طریق آن، توجه به محیط‌زیست سبز، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و غیره را نیز آموزش داد. آتای<sup>۳۲</sup> در کتاب خود به نقل از بورکوگوالی تاسکی (۲۰۱۵) طراحی مدرسه با نگرش پایداری را بخش بسیار مهمی در آموزش پایداری می‌داند و این مهم را جزو حقوق کودکان در مقوله آموزش مطرح می‌کند.

تیلور<sup>۳۳</sup> (۱۹۹۳) کارشناس آموزش و پرورش، در مقاله خود تحت عنوان «یادگیری از محیط‌زیست مانند یک کتاب سه‌بعدی» مطرح می‌کند که: سازه و منظر و فضای محاط آن نباید صرفاً به‌عنوان فضای غیرفعال دیده شود و می‌تواند به‌گونه‌ای طراحی گردد که به‌عنوان وسیله‌ای جهت آموزش و یادگیری فعال در دروس فیزیک، هندسه، گیاه‌شناسی و محیط‌شناسی باشد. او همچنین عنوان می‌کند که علاوه بر دانش‌آموزان، والدین و معلمان هم می‌آموزند که محیط‌زیست را بخوانند، در آن مداخله کنند و از آن در تمامی سطوح درس بیاموزند. یونسکو در برنامه «آموزش برای آینده پایدار» بیان می‌کند که: برنامه آموزش محیط‌زیست ایده‌آل بیش از انتقال غیرفعال اطلاعات، نیازمند توسعه آگاهی و ارزش‌ها درباره موضوع است (یونسکو، ۱۹۷۷). آلن فورد نویسنده کتاب «طراحی مدرسه پایدار»، ساختمان مدارس را تأثیرگذارترین بنا بر زندگی انسان می‌داند چراکه آدمیان خاطره این مکان‌های یادگیری اولیه را همواره در ذهن دارند. جان ابرهارد در مقاله خود برای این کتاب می‌نویسد: مغز در طول این دوران به روش‌های مهمی رشد می‌کند و کیفیت محیط‌های مدارس نقش اساسی در بالا بردن سطح یادگیری یا کند کردن آن ایفا می‌کند. او در این کتاب به معرفی طراحی معماری مدرسی پرداخته است که: برای محیط‌زیست بی‌خطر بوده، اصول و قواعد طراحی با کارکرد بالا در آن رعایت شده، از انرژی‌های طبیعی و تجدیدپذیر جهت تأمین انرژی مورد نیاز بنا استفاده شده و به لحاظ معماری غنی می‌باشد. پروژه‌های انتخاب‌شده در این کتاب برای ارائه دامنه وسیعی از راه‌حل‌های طراحی ساختمان با هدف نشان دادن تنوع زیبایی‌شناختی و جغرافیایی ساختمان مدارس می‌باشد (فورد، ۲۰۰۷/۱۳۸۹). با توجه به مطالعات فوق، اهمیت مبحث پایداری در ساختمان مدارس مشخص گردیده است و چنانچه طراحی معماری مدارس ساخته‌شده در ایران بتواند ساختمان این مدارس را به‌سوی مدارس سبز سوق دهد، علاوه بر صرفه‌جویی در هزینه‌های مصرف انرژی، محصلین را نیز با این فرآیند مؤثر در آینده محیط‌زیست آشنا می‌سازد. همان‌گونه که در تحقیقات پیشین نیز آمده است مسئله انتقال حرارت از جداره‌های ساختمان از مباحث بسیار مهم در زمینه دستیابی به معماری پایدار اقلیمی است. لذا در این مقاله کاهش انتقال حرارت از جداره‌های ساختمان مدرسه مورد بررسی قرار گرفته است.

## ■ فرآیند تحقیق

### ● سؤالات تحقیق

۱. میزان انتقال حرارت از سطوح مدرسه، تیپ مفروض ساخته‌شده در شیراز، چقدر است؟
۲. چه اندازه میزان تبادل حرارتی با تغییر مصالح جداره‌های صلب ساختمان مدرسه و پیش‌بینی مصالح بهینه تغییر می‌کند؟
۳. آیا از انرژی تابشی خورشید در راستای دستیابی به طراحی معماری اقلیمی مناطق گرم و خشک استفاده شده است؟

### ● فرضیه تحقیق

با توجه به طراحی پلان‌های تیپ مدارس توسط سازمان نوسازی مدارس و اجرا در شهرستان‌های مختلف استان فارس و استفاده از جزییات اجرایی یکسان جهت جداره‌های بنا باعث اتلاف حرارتی از طریق جداره‌های صلب شده و هزینه بالای مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی را باعث می‌شود. همچنین ساختمان این مدارس از میزان انرژی تابشی خورشید به صورت بهینه بهره‌مند نشده و لذا نتوانسته‌اند با طراحی سیستم‌های ایستا از انرژی‌های طبیعی محیط بهره مناسب را ببرند.

### ● هدف تحقیق

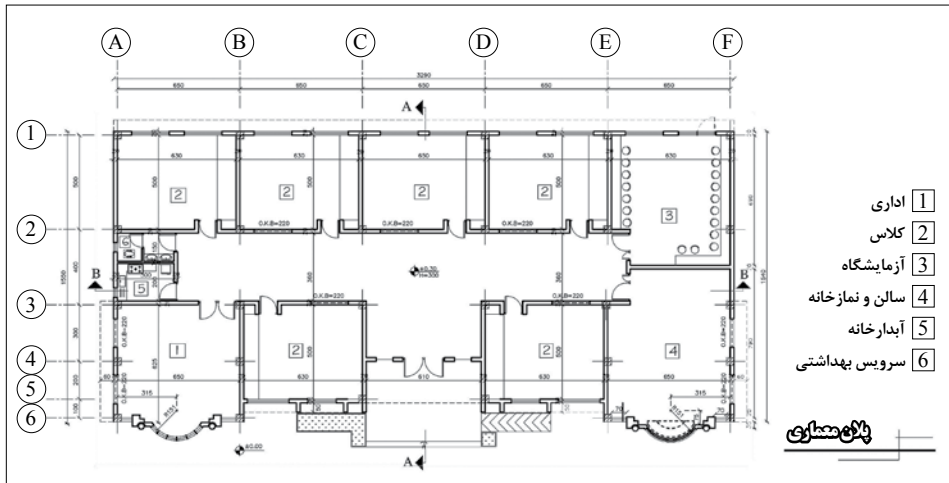
هدف این تحقیق بهینه‌سازی جداره‌های ساختمان مدارس شیراز در جهت کاهش مصرف انرژی و همچنین لزوم استفاده از سامانه‌های ایستا در طراحی هر مدرسه، با توجه به اقلیم محل مدرسه، در جهت استفاده بهینه از انرژی تابشی خورشید است.

### ■ روش تحقیق

پژوهش‌های پیشین در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی دو روش اصلی را در دستیابی به میزان مصرف انرژی یک بنا بیان می‌کنند:

۱. روش مستقیم که نیاز انرژی ساختمان را با نرم‌افزارهای شبیه‌ساز انرژی محاسبه می‌کند.
  ۲. روش معکوس که با استفاده از اطلاعات گذشته و سابقه تاریخی مدل‌سازی انجام شده و مصرف انرژی تخمین زده می‌شود (دیمودی و کوستارلا<sup>۳۴</sup>، ۲۰۰۹، الشمرانی و همکاران، ۲۰۱۴، کیم، لی و هونگ<sup>۳۵</sup>، ۲۰۱۲، یو اس جی بی سی<sup>۳۶</sup>، ۲۰۱۰، لید، ۲۰۰۹، کنگ و ری<sup>۳۷</sup>، ۲۰۱۴)
- به جهت دقت روش اول (روش مستقیم) و استفاده از فناوری روز جهت انجام محاسبات، در این تحقیق از این روش و نرم‌افزار شبیه‌ساز انرژی بهره گرفته شده است. روش تحقیق مقاله حاضر کمی و روش محاسبه شبیه‌سازی می‌باشد که بدین منظور جهت مدل‌سازی از نرم‌افزار اکوتکت ۱۱<sup>۳۸</sup> استفاده گردیده است. جامعه آماری این تحقیق مدارس ساخته شده توسط سازمان نوسازی مدارس استان فارس بر اساس پلان تیپ اقلیم گرم و خشک است. بدین ترتیب یک مدرسه از مدارس طراحی و اجرا شده توسط سازمان نوسازی مدارس استان فارس بر اساس نمونه‌گیری غیراحتمالی، هدفمند، انتخاب گردید. در این راستا مدرسه ۶ کلاسه ابتدایی تیپ ۲-۱۹۲۶ که در شهرهای: شیراز، زرقان و اقلید اجرا شده است انتخاب گردید. شکل (۱) این نقشه به‌عنوان پلان تیپ جهت شهرستان‌های استان فارس طراحی و در شهرهای فوق اجرا شده است با توجه به محدودیت‌های نرم‌افزارهای تحلیل انرژی و محدودیت‌های دریافت اطلاعات هواشناسی شهرهای مذکور و اینکه صرفاً اطلاعات هواشناسی شهرهای بزرگ ایران قابلیت ورود به نرم‌افزارهای انرژی را دارند، پلان مدرسه فوق در اقلیم شیراز به‌عنوان نمونه مدل‌سازی شده و توسط نرم‌افزار اکوتکت تحلیل شده است. سپس اطلاعات مستخرج از نرم‌افزار با کمک آمار توصیفی، مورد بحث و نتیجه‌گیری قرار گرفته است.

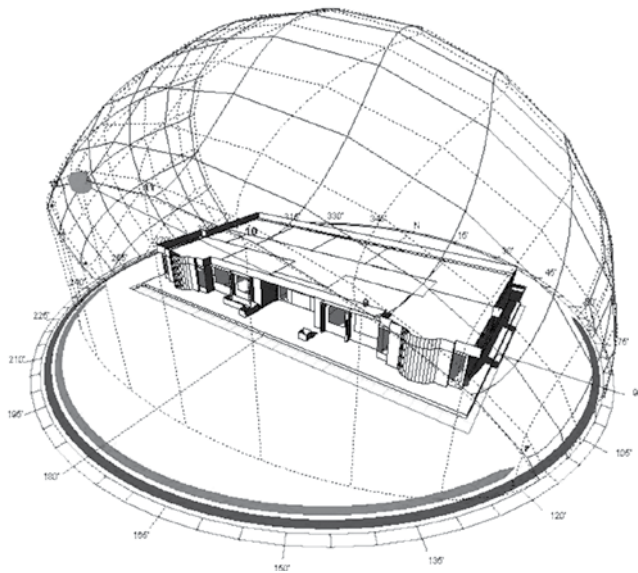
بهبودسازی جداره‌های ساختمان مدرسه در جهت دستیابی به معماری پایدار مدارس، نمونه موردی شهر شیراز



شکل ۱ | پلان مدرسه تیپ ۲-۱۹۲۶ (آرشیو دفتر فنی نوسازی مدارس استان فارس، ۱۳۹۵)

### ابزار گردآوری داده‌ها

مدرسه فوق‌الذکر در محیط نرم‌افزار اکوتکت مدل‌سازی شده و مسیر حرکت خورشید توسط نقاله خورشیدی، مطابق با اقلیم شهر شیراز بر آن نمایش داده شده است (شکل ۲).



شکل ۲ | مدل‌سازی ساختمان مدرسه و نقاله خورشیدی



بهبودسازی جداره‌های ساختمان مدرسه در جهت دستیابی به معماری پایدار مدارس، نمونه موردی شهر شیراز

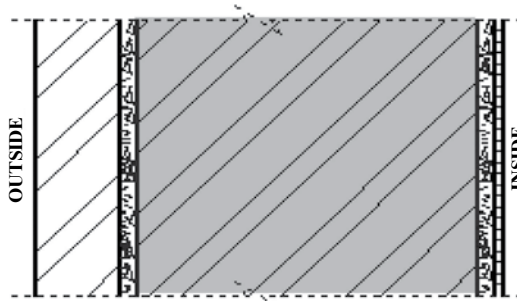
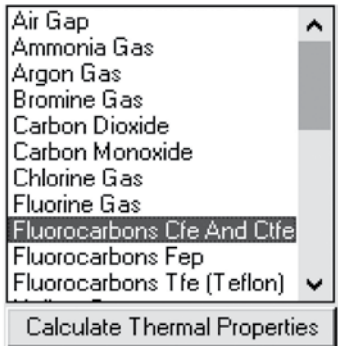
با توجه به فعالیت‌های مختلف در فضاهای مدرسه بر اساس عملکرد فضا و نوع کاربری آن فضاها و نیازهای حرارتی و برودتی خاص هر فضا، دو نوع زون تعریف گردید: زون کلاس‌ها و زون فضاهای اداری. نیازهای حرارتی و برودتی این زون‌ها در گرم‌ترین روز سال ۷ مردادماه (۲۹ جولای) و سردترین روز سال ۳۰ آذر (۲۲ دسامبر) تحلیل شده است جدول (۲). ساعت کاری مدرسه از ۷ صبح تا ۱۷ روزهای شنبه تا پنج‌شنبه تعریف شده است. مصالح استفاده‌شده در ساختمان مدرسه و مشخصات آن‌ها بر اساس جدول (۱) می‌باشد

جدول ۱ مشخصات مصالح جداره‌های ساختمان

ضریب هدایت <sup>۳۹</sup> (w/m-°k)	گرمای ویژه <sup>۴۰</sup> (j/kg-°k)	چگالی <sup>۴۱</sup> (kg/m <sup>۳</sup> )	مواد و مصالح
۱۷۰۰	۱۰۰۰	۰/۲۵	قیر و گونی
۲۱۱۰	۱۰۰۰	۱/۱۵	آسفالت
۱۹۰۰	۸۴۰	۱	آجر
۲۰۰۰	۹۲۰	۱/۱۵	ملات ماسه سیمان
۱۳۰۰	۸۴۰	۰/۳۴	بتن با پوکه معدنی
۲۳۰۰	۱۰۰۰	۱/۷۵	دال بتنی
۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰/۳	لایه هوا
۱۰۰۰	۸۴۰	۱/۱۵	گچ و خاک
۱۳۰۰	۱۰۰۰	۰/۷	گچ
۲۵۰۰	۸۴۰	۲/۹	سنگ گرانیت
۳۰۰۰	۱۰۰۰	۱/۴	موزاییک
۲۳۰۰	۸۴۰	۱/۳	سرامیک
۲۰۰۰	۸۵۰	۰/۷	کاشی
۱۰۰۰	۱۵۰۰	۰/۱	رنگ روغنی

بهینه‌سازی جداره‌های ساختمان مدرسه در جهت دستیابی به معماری پایدار مدارس، نمونه موردی شهر شیراز

جزئیات جداره‌ها مطابق شکل (۳) و مصالح به ترتیب از داخل به خارج به شرح زیر است: ۵ میلی متر رنگ، ۱۰ سانت گچ و خاک به علاوه گچ نرمه، ۲۰ سانت آجر فشاری، ۱۰ سانت ملات سیمان، ۵ سانت نمای آجر و ضریب هدایتی  $U=1/45$ .



	Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1.	Brick, Lightweight	0.050	950.0	840.000	0.270	25
2.	Cement Mortar	0.010	1650.0	920.000	0.720	35
3.	Brick Masonry Medium	0.200	2000.0	836.000	0.711	25
4.	Gypsum Plaster	0.010	1120.0	960.000	0.510	35
5.	Plaster Building (Molded Dry)	0.005	1250.0	1088.000	0.431	85

شکل ۳ دیتایل جداره ساختمان

جدول ۲ مشخصات کالبدی و انتقال حرارت زون‌ها

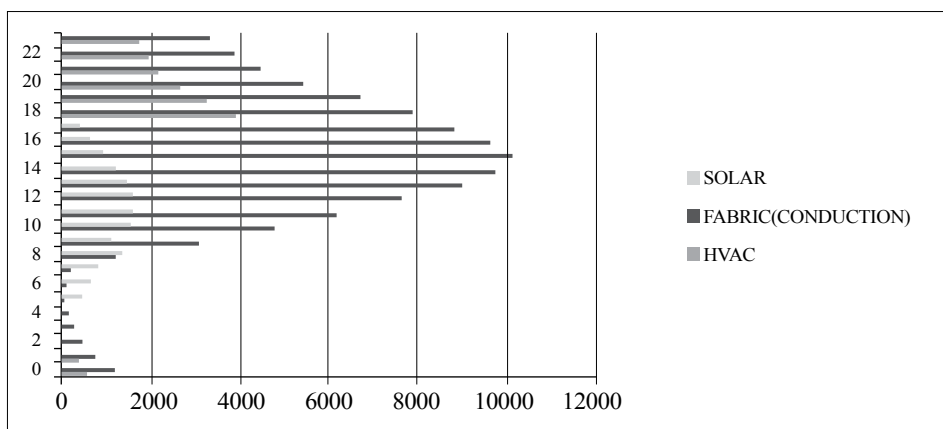
ردیف	نام فضا	اداری	کلاس ۶	کلاس ۵	کلاس ۴	کلاس ۳	کلاس ۲	کلاس ۱
۱	متوسط دما <sup>۴۲</sup> (C)	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
		۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵
۲	مساحت کل سطوح <sup>۴۳</sup> m <sup>۲</sup>	۱۸۲/۴۷۵	۱۵۲/۸۷۶	۱۵۵/۱۳۸	۱۵۰/۰۸۷	۱۵۳/۲۸۹	۱۴۹/۹۹۲	۱۴۸/۸۸۲
۳	کل سطوح در معرض <sup>۴۴</sup> m <sup>۲</sup>	۵۱/۴۱۳	۳۳/۴۲۲	۳۳/۳۹۲	۴۷/۴۸۶	۴۸/۴۸۶	۴۷/۳۹۲	۶۲/۴۲۶
۴	مساحت کل بازشوهای جنوبی <sup>۴۵</sup> m <sup>۲</sup>	۳/۹۶۰	۲/۷۱۸	۶/۶۷۸	۱/۲۸۷	۱/۰۶۲	۱/۱۹۲	۰,۰۰۰

بهبودسازی جداره‌های ساختمان مدرسه در جهت دستیابی به معماری پایدار مدرن، نمونه موردی شهر شیراز

ردیف	نام فضا	اداری	کلاس ۶	کلاس ۵	کلاس ۴	کلاس ۳	کلاس ۲	کلاس ۱
۵	مساحت کل بازشوها <sup>۴۶</sup> m <sup>۲</sup>	۶/۰۶۰	۲/۷۱۸	۶/۶۷۸	۸/۴۸۷	۸/۲۶۲	۸/۳۹۲	۷/۲۰۰
۶	ضریب هدایت <sup>۴۷</sup> (AU) W/°K	۱۱۷	۷۱	۸۷	۱۲۳	۱۲۴	۱۲۳	۱۴۴
۷	ضریب نفوذ پذیری <sup>۴۸</sup> (AY) W/°K	۵۳۳	۴۳۹	۴۶۰	۴۴۷	۴۵۶	۴۴۷	۴۴۰
۸	ضریب پاسخ <sup>۴۹</sup>	۳/۵۸	۴/۴۶	۴/۰۲	۳/۰۵	۳/۰۸	۳/۰۶	۲/۶۵

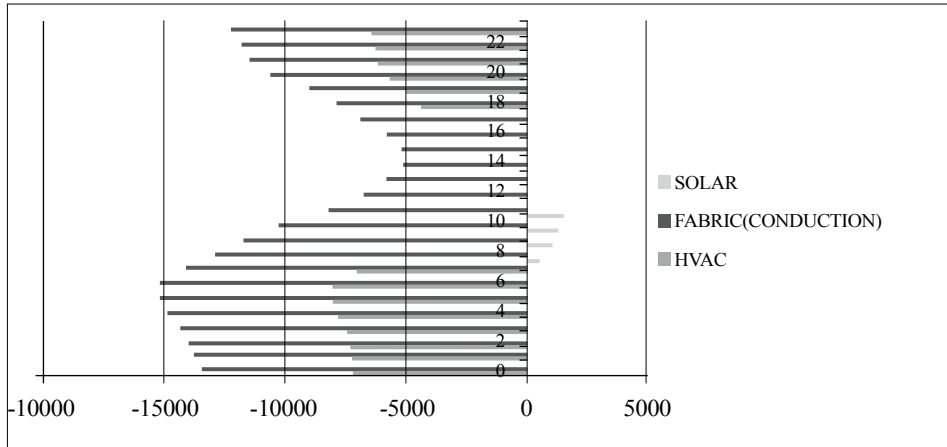
تحلیل‌های انرژی مورد نیاز ساختمان مدرسه توسط نرم‌افزار انجام و اطلاعات زیر بر اساس تحلیل‌های نرم‌افزار استخراج گردید.

۱. تفاوت دمای داخل و خارج هر زون به تفکیک ساعات روز؛
۲. نمودار دمای هوای هر زون در مقایسه با محدوده آسایش حرارتی؛
۳. میزان ساعات سال که هر زون در محدوده آسایش حرارتی (دمای ۱۸ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد) قرار دارد (جدول ۳)؛
۴. میزان تابش دریافتی خورشیدی؛
۵. نیاز حرارتی و برودتی سالانه هر زون در ماه‌های مختلف سال، نمودار بار حرارتی و برودتی هر زون در ماه‌های مختلف سال؛
۶. میزان تبادل حرارتی ۲۴ ساعت ساختمان در گرم‌ترین و سردترین روز سال. نمودارهای (۱) و (۲).



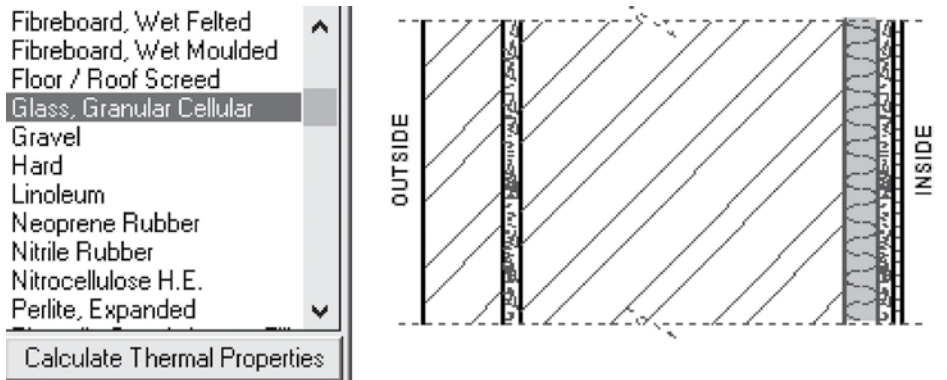
نمودار ۱ تبادل حرارتی در گرم‌ترین روز سال

بهبودسازی جداره‌های ساختمان مدرسه در جهت دستیابی به معماری پایدار مدارس، نمونه موردی شهر شیراز



نمودار ۲ تبادل حرارتی در سردترین روز سال

جهت آزمون فرضیه، بر اساس اطلاعات مستخرج از مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، ۱۰ سانت عایق پشم شیشه در جدار داخلی قرار داده شد و جداره به شرح زیر طراحی گردید: ۵ میلی متر رنگ، ۱۰ سانت گچ و خاک به علاوه گچ نرمه، ۱۰ سانت عایق پشم شیشه، ۲۰ سانت آجر فشاری، ۱۰ سانت ملات سیمان، ۵ سانت آجر و ضریب هدایتی  $U=1/45$ .

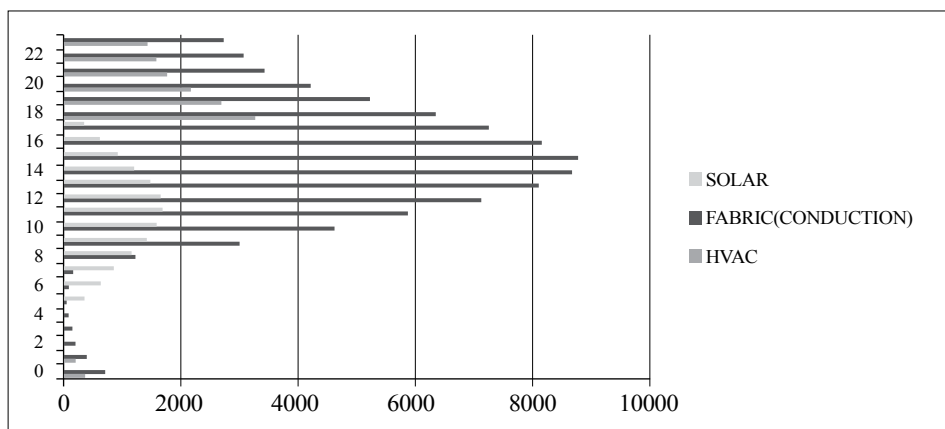


Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1. Brick, Lightweight	0.050	950.0	840.000	0.270	25
2. Cement Mortar	0.010	1650.0	920.000	0.720	35
3. Brick Masonry Medium	0.200	2000.0	836.000	0.711	25
4. Glass, Granular Cellular	0.020	180.0	840.000	0.070	45
5. Gypsum Plaster	0.010	1120.0	960.000	0.510	35

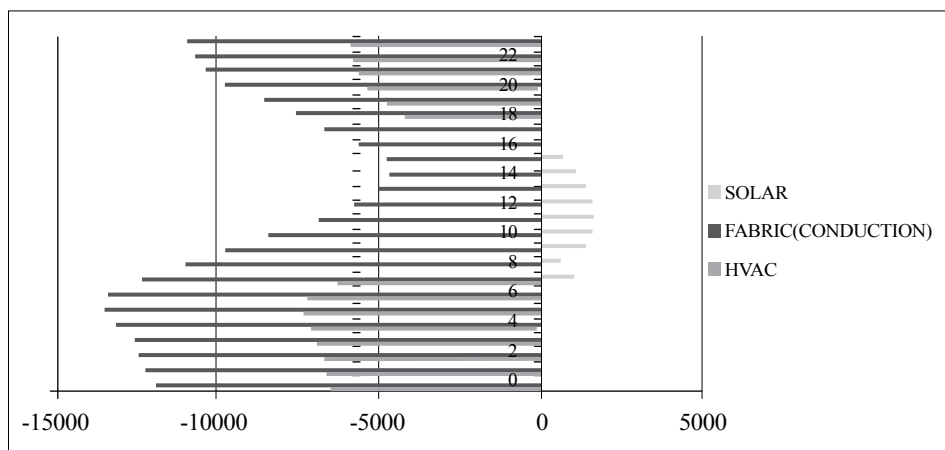
شکل ۴ دیتایل جداره ساختمان با اجرای عایق

بهینه‌سازی جداره‌های ساختمان مدرسه در جهت دستیابی به معماری پایدار مدرس، نمونه موردی شهر شیراز

جزئیات مفروض در مدل‌سازی نرم‌افزاری اعمال و مجدداً مورد تحلیل قرار گرفت، میزان تبادل حرارتی ۲۴ ساعت ساختمان با عایق‌بندی جداره‌ها در گرم‌ترین و سردترین روز سال مطابق نمودارهای (۳) و (۴) استخراج شد.



نمودار ۳ تبادل حرارتی در گرم‌ترین روز سال (با عایق جداره‌ها)



نمودار ۴ تبادل حرارتی در سردترین روز سال (با عایق جداره‌ها)

تعداد ساعات و درصدی که هر زون در محدوده آسایش حرارتی (دمای ۱۸ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد) قرار دارد در هر دو حالت، جداره با عایق و بدون عایق محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

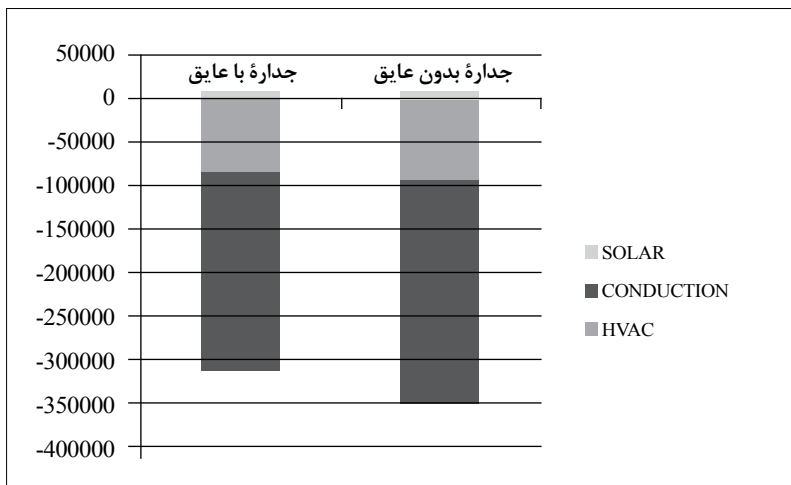
جدول ۳ تعداد ساعت در کل سال (درصد) قرارگیری هر زون در محدوده آسایش حرارتی

نام فضا	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	کلاس ۵	کلاس ۶	اداری
محدوده آسایش حرارتی بدون عایق (ساعت)	۱۱۸۴ Hrs (۲۹/۱٪)	۱۲۸۷ Hrs (۳۱/۷٪)	۱۲۸۴ Hrs (۳۱/۶٪)	۱۲۸۷ Hrs (۳۱/۷٪)	۱۲۹۰ Hrs (۳۱/۷٪)	۱۲۵۱ Hrs (۳۰/۸٪)	۱۲۸۴ Hrs (۳۱/۶٪)
محدوده آسایش با عایق حرارتی (ساعت)	۱۲۰۰ Hrs (۳۱/۱٪)	۱۲۹۵ Hrs (۳۴/۷٪)	۱۲۹۹ Hrs (۳۵/۶٪)	۱۳۰۰ Hrs (۳۵/۷٪)	۱۳۶۰ Hrs (۳۷/۷٪)	۱۳۹۶ Hrs (۴۱/۸٪)	۱۴۰۰ Hrs (۴۶/۶٪)
میزان تفاوت قرارگیری در محدوده آسایش	٪+۲	٪+۳	٪+۴	٪+۴	٪+۶	٪+۱۱	٪+۱۵
مجموع	TOTAL = +۴۵٪						

### ■ بحث و نتیجه‌گیری ■

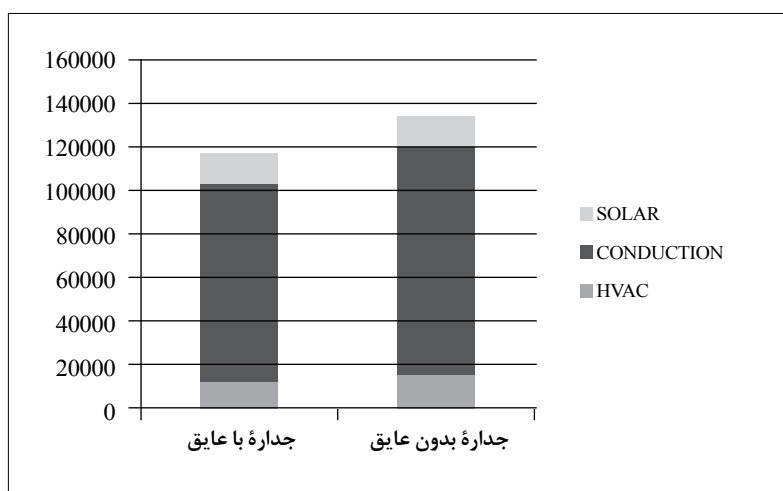
نمودارهای ۲ و ۴ که میزان انتقال حرارت را در زمستان از داخل به خارج نشان می‌دهد در سردترین روز سال در ساختمان با جداره عایق حرارتی از ساعت ۸ صبح تا ۲ بعدازظهر دریافت حرارت از طریق تابش خورشید دارد درحالی‌که همین عامل تابش خورشید در ساختمان بدون عایق محدود به ساعت ۸ تا ۱۰ صبح می‌باشد. انتقال حرارت از داخل به خارج (اتلاف حرارت) به‌طور متوسط ۲۰۰۰ (وات ساعت) کاهش یافته است. نمودارهای ۱ و ۳ که میزان انتقال حرارت را در تابستان از خارج به داخل نمایش می‌دهد در گرم‌ترین روز سال انتقال حرارت از طریق هدایت در مصالح جداره، در ساختمان با جداره عایق حرارتی، حدود ۱۲۰۰ (وات بر ساعت) نسبت به ساختمان بدون عایق در همان روز کاهش یافته است.

نمودارهای (۵) و (۶) نشان می‌دهد که مجموع تبادل حرارتی از جداره‌ها در ساختمان، با عایق حرارتی کاهش چشمگیری داشته است. به‌نحوی‌که پس از بهینه‌سازی جداره‌ها، در سردترین روز سال میزان دریافت حرارت از طریق تابش خورشید قریب ۳ درصد افزایش یافته، میزان اتلاف حرارت به‌طور تقریبی ۶ درصد کاهش یافته و میزان نیاز به سیستم‌های گرمایشی تقریباً ۵ درصد کاهش یافته است (نمودار ۵).



نمودار ۵ مقایسه مجموع تبادل حرارتی در سردترین روز سال (با عایق جداره‌ها)

نمودار (۶) تغییرات این عوامل را در گرم‌ترین روز سال پس از بهینه‌سازی جداره‌ها نشان می‌دهد، چنانچه محاسبات نشان داده است در این روز میزان انتقال حرارت از خارج به داخل تقریباً ۸ درصد کاهش یافته است و میزان نیاز به تأسیسات سرمایشی نیز کاهش تقریبی ۱۰ درصدی داشته است. بدیهی است با توجه به موقعیت قرارگیری شهر شیراز در اقلیم گرم و خشک و نیاز بیشتر این اقلیم به سیستم‌های سرمایشی در



نمودار ۶ مقایسه مجموع تبادل حرارتی در گرم‌ترین روز سال (با عایق جداره‌ها)

فصول گرم سال (بهار و تابستان) نسبت به نیاز به سیستم‌های گرمایشی در فصول سرد سال (اواخر پاییز و اوایل زمستان)، کاهش نیاز به سیستم‌های سرمایشی در فصول گرم در صرفه‌جویی در مصرف انرژی تأثیرگذارتر خواهد بود.

همچنین ساختمان با عایق میزان ساعات بیشتری از سال در محدوده آسایش حرارتی قرار خواهد داشت چنانچه در جدول ۳ نشان داده شده است، کل بنا، پس از بهینه‌سازی جداره‌های ساختمان، ۴۵ درصد زمان بیشتری در محدوده آسایش (دمای ۱۸ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد) قرار خواهد داشت (جدول ۳)؛ همین امر بیان‌گر این مهم است که پس از بهینه‌سازی جداره‌ها مدت زمان کمتری (تقریباً نصف زمان در قیاس با قبل از بهینه‌سازی جداره‌ها) نیاز به استفاده از تأسیسات برودتی در فصل تابستان و تأسیسات حرارتی در فصل زمستان خواهد بود؛ و نهایتاً با بهینه‌سازی جداره‌های ساختمان مدارس و کاهش تقریبی مدت زمان مورد نیاز به تأسیسات حرارتی و برودتی به نصف، انتظار می‌رود که مصرف انرژی نیز به نصف کاهش یافته و در مصرف آن به میزان قابل توجه صرفه‌جویی شود.



منابع

- داریوش، بابک. (۱۳۹۲). *انسان طبیعت معماری* (چاپ چهارم). تهران: انتشارات توس.
- دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان. (۱۳۸۲). *مقررات ملی ساختمان ایران: میحث نوزدهم*. تهران: نشر توسعه ایران.
- فارسی، طیبیه و هنردان، علی. (۱۳۹۲). ارزیابی پس از بهره‌برداری. *فصلنامه باغ نظر*، ۲۶(۱۰)، ۴۹-۵۸.
- فارسی، طیبیه و هنردان، علی. (۱۳۹۴). نقش برنامه‌ریزی فضایی کاربری‌های آموزشی در مصرف انرژی. دومین کنفرانس ملی معماری و منظر شهری پایدار، ۱۲ اردیبهشت ۱۳۹۴، مشهد.
- فورد، آلن. (۱۳۸۹). *معماری مدارس مدرن* (چاپ اول، ترجمه مجتبی دولتخواه). تهران: انتشارات باختر. (اثر اصلی در سال ۲۰۰۷ چاپ شده است).
- قیابکلو، زهرا. (۱۳۸۸). *آشنایی با نرم‌افزار اکوتکت* (چاپ اول). تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی.
- سازمان نوسازی مدارس کشور. (۱۳۹۳). بازیابی از سایت [www.dres.ir](http://www.dres.ir).
- Boss, S. (Winter 2000). Big lesson on a small scale. *Northwest Education*, 6(2), 2-9.
- Alshamrani, O., Galal, K., & Alkass, A. (2014). Integrated LCAeLEED sustainability assessment model for structure and envelope systems of school buildings. *Building and Environment*, 80, 61-70.
- Castro-Lacouture, D. Sefair, JA. Florez, L. Medaglia, AL. (2009). Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia. *Build Environ*, 44(6), 1162-1170
- De Santoli, L., Fraticelli, F., Fornari, F., & Calice, C. (2014). Energy performance assessment and a retrofit strategy in public school buildings in Rome. *Energy and Buildings*, 68, 196-202.
- Dimoudi, A., & Kostarela, P. (2009). Energy monitoring and conservation potential in school buildings in the C' climatic zone of Greece. *Renewable Energy*, 34, 289-296.
- Edwards, B. (2003). *Green buildings pay*. New York: Spon Press.
- Fesanghary, M., & Asadi, S. (2012). Design of low emission and energy efficient residential building using a multi objective optimization algorithm. *Building and environment*, 49, 245-250.
- Gagiliano, A. Pataniaa, F. Capizzi, G. (2013). A case study of energy efficiency retrofit in social housing units. *Energy Procedia*, 42, 289-298.
- Güneş, M. (2004). Reinterpreting sustainable architecture: The place of technology. *Journal of Architectural Education*, 54(3), 140-148.
- Jin Kan, H. Rhee, E. (May 2014). Development of a Sustainable Design Guideline for a School Building in the Early Design Stage. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 474, 467-473.
- Kim, T.W. Lee, K.G. Hong, W.H. (2012). Energy consumption characteristics of the elementary schools in South Korea. *Energy Build*, 54, 480-489.
- Lackney, J.A. (1999). *Reading a school like a book: the influence of the physical school setting on learning and literacy*. Fourth Annual PREPS, Winter Conference: Literacy for the New Century.
- U.S. Green Building Council (USGBC). (2008). *LEED 2009 for Schools New Construction and Major Renovations Rating System*. Retrieved from <http://www.usgbc.org/Docs/Archive/General/Docs5547.pdf>.
- Citherlet, S., & Defaux, T. (2007). Energy Environmental comparison of three variation of a family house during its whole life span. *Building and environment*, 42, 591-598.
- Mateus, R. Bragança, L. (2011). Sustainability assessment and rating of buildings: developing the methodology SBToolPT- H. *Build Environ*, 10(46), 1962-1971.
- Mofidi shemirani, S.M. (2006). *Energy optimization and management in schools*. Proceedings of the Conference of Energy optimization in buildings, Tehran, Iran [in Persian].
- Prakash, N., & Randall, F. (2005). *The Language of School Design: Design Patterns for 21st Century Schools*. Washington, DC: national clearinghouse for educational facilities (ncef).
- Reza, B., Sadiq, R., & Hewage, K. (2011). Sustainability assessment of flooring systems in the city of Tehran: an AHP-based life cycle analysis. *Constr Build Mater*, 25(4), 2053-2066
- Somali, B., & Ilıcalı, E. (2009). *Leed ve Breeam uluslararası yeşil bina değerlendirme sistemlerinin değerlendirilmesi*, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi [in Spanish].

- Tahsildoost, M., & Zomorodian, Z. S. (2015). Energy Retrofit Techniques: An Experimental Study of two Typical School Buildings in Tehran. *Energy and Buildings*, 104, 65–72.
- Tasci, B. (2015). "Sustainability" Education by Sustainable School Design. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 186, 868 – 873.
- Taylor, A. (1993). The learning environment as a three-dimensional textbook. *Children's Environments*, 10, 170-179.
- The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (1977). *Educating for a sustainable future*. A transdisciplinary vision for concerted action. Paris: UNESCO.
- Zahiri, S., Sharples, S., & Altan, H. (2011). Developing Sustainable School Design in Iran thermal comfort survey of a secondary school in Tehran. In M. Bodart and A. Evard (Eds), *Architecture and Sustainable Development* (pp. 523-528, Vol 1). Belgium: Universite catholique de Louvain.
- Zomorodian, Z. S., & Nasrollahi, F. (2013). Architectural design optimization of school buildings for reduction of energy demand in hot and dry climates of Iran. *International Journal of Architectural Engineering & Urban Planning*, 23, (1, 2), 41-50.
- Gong, X., Akashi, Y., & Sumiyoshi, D. (2012). Optimization of passive measures for residential buildings in different Chinese areas. *Building and environment*, 58, 46-57
- Lollinia, Barozzia, Fasanob, Meronia, & Zinzib. (2006). Optimisation of opaque components of the building envelope. Energy, economic and environmental issues. *Building and Environment*, 41, 1001–1013.

### پی‌نوشت‌ها

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tasci</li> <li>2. Brundlant</li> <li>3. Gunes</li> <li>4. Somali &amp; Ilicah</li> <li>5. USGBC</li> <li>6. Prakash, Randall</li> <li>7. Lackney</li> <li>8. Boss</li> <li>9. Brian</li> <li>10. Eon Ku Rhee &amp; HaeJin Kang</li> <li>11. NRF</li> <li>12. Infiltration Quantity (tightness of window)</li> <li>13. Orientation</li> <li>14. Wall U-factor</li> <li>15. Shading</li> <li>16. Solar Heat Gain Coefficient</li> <li>17. Width</li> <li>18. Height</li> <li>19. LEED</li> <li>20. USGBC</li> <li>21. Zahiri &amp; Sharples</li> <li>22. De Santoli</li> <li>23. Alshamrani &amp; Galal &amp; Alkass</li> <li>24. Reza, B., Sadiq, R., &amp; Hewage</li> <li>25. Mateus &amp; Bragança</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>26. Castro-Lacouture &amp; Sefair &amp; Florez &amp; Medaglia</li> <li>27. Gagliano &amp; Nocera &amp; Patania &amp; Capizzi</li> <li>28. Citherlet &amp; Defaux</li> <li>29. Lollinia &amp; Barozzia &amp; Fasanob</li> <li>30. Thermal Load</li> <li>31. Gong &amp; Akashi</li> <li>32. Atay</li> <li>33. Taylor</li> <li>34. Dimoudi &amp; Kostarela</li> <li>35. Kim &amp; Lee &amp; Hong</li> <li>36. USGBC</li> <li>37. kang &amp; Rhee</li> <li>38. Autodesk Ecotect Analysis 2011</li> <li>39. Conductivity</li> <li>40. Specific Heat</li> <li>41. Density</li> <li>42. Avg. Temperature(c)</li> <li>43. Total Surface Area (m2)</li> <li>44. Total Exposed Area (m2)</li> <li>45. Total South Window (m2)</li> <li>46. Total Window Area (m2)</li> <li>47. Total Conductance (AU) W/°K</li> <li>48. Total Admittance (AY) W/°K</li> <li>49. Response Factor</li> </ol> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|