

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و هفت، شماره دو، اردیبهشت ماه ۱۴۰۴ (۲۰-۱)

## بررسی تاثیر تغییر تکنیک مصالح بر صرفه جویی در مصرف انرژی ساختمان

مدارس (شهرهای مورد مطالعه: شیراز و اصفهان)

مهدی رخشنده رو<sup>۱</sup>

پری ناز کشتکاران<sup>\*۱</sup>

[parinaz.keshtkaran@iaui.ac.ir](mailto:parinaz.keshtkaran@iaui.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۹/۱۳

### چکیده

**زمینه و هدف:** ساختمان مدرسه بدین دلیل که دانش آموزان و معلمان بیش از ۸ ساعت در طول روز را در ساختمان مدرسه سپری می کنند، حایز اهمیت است. با توجه به این که ساختمان مدرسه از مهمترین بناهای عمومی است که مصرف انرژی آن در ایران بیش از ۱۶۰ kWh/m<sup>2</sup> می باشد، بحث صرفه جویی در مصرف انرژی در ساختمان مدارس مهم می گردد. انتقال حرارت از جداره های ساختمان نقش مهمی در بحث صرفه جویی در مصرف انرژی دارد و در کشورهای پیشرفته با بهینه سازی جداره های ساختمانها میزان قابل توجهی از مصرف انرژی را کاهش داده اند، لذا در این مقاله به بررسی تاثیر بهینه سازی جداره های ساختمان یک مدرسه در دو شهر شیراز و اصفهان، که دارای اقلیم مشابه اما با کمی تفاوت هستند، با هدف بررسی و کاهش انتقال حرارت از جداره های ساختمان مدارس، جهت کاهش مصرف انرژی، پرداخته شده است. این پژوهش، به دنبال پاسخ به این سوال است که: آیا طراحی پلان مشابه و تکنیک طراحی مشابه در دو شهر متفاوت اقلیم گرم و خشک ایران به لحاظ مصرف انرژی عملکرد مشابه دارند؟

**روش بررسی:** روش تحقیق کمی، بر اساس نتایج محاسبات نرم افزار انرژی پلاس 4.0-v8 است. در این پژوهش دو مدرسه با پلان مشابه در دو شهر ایران؛ شیراز و اصفهان، به روش نمونه گیری غیر احتمالی هدفمند انتخاب شد. پلان مدارس در نرم افزار اسکچاپ ۱۶ (Sketchup16) مدل سازی و جهت محاسبات به نرم افزار انرژی پلاس انتقال داده شد. محاسبات انتقال حرارتی جداره های ساختمان مدرسه با توجه به داده های اقلیمی و مصالح وضع موجود دو بنا انجام گرفت. سپس چهار تکنیک: عایق سازی دیوارها، عایق سازی سقف، ایجاد سایبان افقی و ایجاد نمای دو جداره، جهت بهینه سازی جداره ها پیشنهاد شد و جهت بهینه سازی مصالح جداره های افقی و عمودی از ضریب انتقال حرارت بهینه استفاده شد.

**یافته ها:** مقایسه نتایج قبل و بعد از اعمال تکنیک های بهینه سازی، نشان داد که پس از اعمال هر چهار تکنیک در ساختمان مدرسه در شهر اصفهان و شیراز به ترتیب ۶۰/۸ و ۴۸/۲ درصد در مصرف انرژی صرفه جویی شد. همچنین نشان داد که به لحاظ تشابه اقلیمی نمی توان از تکنیک یکسان در ساختمان مدارس استفاده کرد.

**بحث و نتیجه گیری:** در شیراز تکنیک عایق سقف و در اصفهان تکنیک نمای دو جداره بیشترین صرفه جویی در مصرف انرژی را ایجاد کرد. کمترین میزان صرفه جویی در مصرف انرژی مربوط به تکنیک های عایق دیوارهای خارجی و سایبان پنجره جنوبی به ترتیب برای شهرهای شیراز و اصفهان بود .

**واژه های کلیدی:** کاهش مصرف انرژی، انتقال حرارت، بهینه سازی جداره ها، معماری مدرسه، ایران.

## **Surveying the effect of materials' technique change on school building energy efficiency (Case Study: Isfahan and Shiraz)**

**Mehdi Rakhshandehroo<sup>1</sup>**

**Parinaz Keshtkaran<sup>1\*</sup>**

[parinaz.keshtkaran@iau.ac.ir](mailto:parinaz.keshtkaran@iau.ac.ir)

Date of Acceptance: August 29, 2024

Date of Submission: December 29, 2024

### **Abstract**

**Background and Objective:** The school building is among the most important public buildings, and the matter of energy saving in school buildings is serious because students and teachers spend more than 8 hours of their time in the school buildings during the day. energy consumption in Iran is more than 160 kWh/m<sup>2</sup> Heat transfer from building envelopes has an important role in the energy saving aspect, and a considerable amount of energy consumption is declined in developed countries by retrofitting the buildings' envelopes. This article surveyed the effect of retrofitting buildings envelopes of a school in Iran (Shiraz and Isfahan) with the same climate but with a little difference.

**Material and Methodology:** The quantitative research method is based on the results of calculations of software Energy plus v8-4.0. In this research, two schools with the same plan in two cities of Iran, Shiraz and Isfahan were selected by purposeful improbable sampling method. The school plan was modelled in the software SketchUp 16 and transferred to the software energy plus for calculations. The calculations of heat transfer of the envelopes of the school building were performed based on climate data and used materials from two buildings. Then four techniques: insulation of envelopes, insulation of ceiling, making the horizontal canopy and making double-envelope façade were proposed for retrofitting of envelopes.

**Findings:** The comparison of results before and after applying retrofit techniques showed that after applying every four techniques in the school building in the city of Isfahan and Shiraz, 60.8 and 48.2 per cent were saved respectively in energy consumption. It also showed that we cannot use the same technique in school building because of the similarity of climate.

**Discussion and Conclusion:** The roof insulation in Shiraz school and the double -glazed façade technique in Isfahan school, created the greatest energy consumption saving. The lowest amount of energy saving is related to external wall insulation techniques, and south window canopy for Shiraz and Isfahan, respectively

**Keywords:** Reducing energy consumption, Heat transfer, School Architecture, Envelopes retrofitting.

---

1- Department of Architecture, Bey. C., Islamic Azad University, Beyza, Iran. *\*(Corresponding Author)*

## مقدمه

در جهان چهل درصد از آلودگی کربن دی اکسید به ساختمانها تعلق دارد (۱). که می توان با سیستم ساختمان سبز، به ضرورت کاهش آلودگی کربن دست یافت (۲). با توجه به گزارش های آژانس بین المللی انرژی (IEA)، یک سوم کل انرژی مصرفی و یک سوم کل دی اکسیدکربن تولید شده در جهان مربوط به ساختمانها است. معمولا هدف از ساخت بنا آن است که مدت زمان طولانی از آن استفاده گردد لذا توجه به بهره وری انرژی خصوصا در زمان طراحی اولیه اهمیت دارد. میانگین مصرف انرژی در ساختمان های مدارس ایران به عنوان پرشمار ترین گروه از ساختمان های عمومی بیشتر از ۱۶۰ کیلو وات ساعت بر متر مربع است. اما علیرغم آن که مدارس واقع در اقلیم گرم و خشک ایران سهم ۴۱/۹٪ از کل انرژی مصرفی مدارس کشور ایران را دارند. هنوز دستورالعمل و قواعد دقیق و مشخص در خصوص صرفه جویی در مصرف انرژی در مرحله طراحی وجود ندارد (۳). از آنجا که مدارس از مهمترین بناهای با عملکرد عمومی است، در جهت کاهش تاثیرات منفی ذکر شده، بایستی طراحی این بناها بر اساس اصول ساختمان سازی سبز باشد. مدرسه ای را که منابع و سرمایه را حفظ میکند در حالی که فضایی سالم برای یادگیری ایجاد میکند، مدرسه سبز تعریف میکنند (مرکز مدارس سبز USGBC) طراحی و ساخت این مدارس اهمیت منابع انرژی را داخل کلاس درس مطرح میکند (۴). طراحی مدرسه پایدار در گام اول اثرات مخرب زیست محیطی بنا را کاهش خواهد داد و در مصرف انرژی صرفه جویی خواهد کرد و در گام دوم طراحی مدرسه پایدار میتواند تسهیلات آموزش های مفیدی را برای دانش آموزان ایجاد کند. بدین ترتیب دانش آموزان نسبت به محیط سبز، ذخیره صرفه جویی انرژی، آسایش حرارتی، اطلاعات سودمند را از طریق محیط آموزشی به واسطه آموزش دیداری و تجربی کسب می نمایند (۲). با توجه به این نکته که مدارس نقش عمده ای در جامعه ایفا می کنند اهمیت مطرح کردن بحث پایداری در آن آشکار می شود. چرا که مدارس پایدار، علاوه بر انتقال میزان اهمیت بحث پایداری توسط آموزش دیداری و تجربی، خود نیز با صرفه جویی، در راه پیشرفت به سوی جامعه ای پایدار گامی

بر می دارد. که خود از اهمیت بالایی برخوردار است. البته با توجه به گستردگی مبحث پایداری، در این پژوهش صرفا مبحث پایداری اقلیمی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. چنانچه گفته شد، طراحی اقلیمی ساختمان مدارس علاوه بر جنبه آموزش تجربی به دانش آموزان، با کاهش مصرف انرژی ساختمان و استفاده از تکنیک های غیرفعال و انرژی های تجدید پذیر، در مصرف سوخت صرفه جویی خواهد کرد و کل انرژی مصرفی ساختمان مدارس کاهش می یابد. سازمان نوسازی مدارس در ایران به عنوان متولی امر مدرسه سازی پلان های مدارس کشور را منطبق بر چهار اقلیم سرد کوهستانی، گرم و خشک، گرم و مرطوب، معتدل و مرطوب طراحی و اجرا میکند. و در شهرهای مختلف با اقلیم کلان یکسان و خرد اقلیم متفاوت پلان یکسان اجرا می شود. این پژوهش با هدف بررسی و کاهش مصرف انرژی ساختمان مدارس به دنبال پاسخ این سوال است که: آیا طراحی پلان مشابه و تکنیک طراحی مشابه در دو شهر متفاوت اقلیم گرم و خشک ایران به لحاظ مصرف انرژی عملکرد مشابه دارند؟

محور این پژوهش پایداری اقلیمی است. این پژوهش در اقلیم گرم و خشک (شیراز، اصفهان) جهت طراحی بهینه ترین جداره ها در معماری مدارس انجام شده است. هدف پژوهش بررسی و کاهش انتقال حرارت از جداره های ساختمان مدارس، جهت کاهش مصرف انرژی، می باشد. در ابتدای تحقیق ادبیات و پیشینه تحقیق بر اساس مطالعات کتابخانه ای انجام شد. سپس با توجه به اینکه روش این پژوهش مقایسه تطبیقی بر اساس شبیه سازی نرم افزاری است. دو مدرسه از مدارس طراحی و اجرا شده توسط سازمان نوسازی مدارس با پلان مشابه بر اساس نمونه گیری غیر احتمالی - هدفمند، در دو شهر شیراز و اصفهان انتخاب شد و توسط نرم افزار انرژی پلاس مدلسازی و تحلیل شد.

**پیشینه تحقیق:** در ایران تحقیقات اندکی در زمینه طراحی مدارس با پایداری اقلیمی انجام گرفته است. در سایر کشورها توجه بیشتری به پایداری اقلیمی ساختمان مدارس داشته اند و تحقیقاتی در کشورهای انگلستان، آمریکای شمالی، کره جنوبی

در این زمینه انجام شده است. در انگلستان راهنمایی هایی در خصوص جهت گیری بنا، جنس مصالح، استفاده از نور روز و تهویه، آکوستیک و استفاده از انرژی گرمایی، در کتابی ارایه کرده اند. در این کتب با مرور ساختمانهای مدارس چهار الگوی متناسب برای طراحی پلان مدرسه استخراج کرده است که شامل: پلان فشرده، پلان با حیاط مرکزی، پلان خوشه ای انگشتی، پلان خطی است. نتیجه این تحقیق نشان داد که مدارس با پلانهای با حیاط مرکزی و پلان گسترده، کمترین انرژی مصرفی را دارند (۵). در ایران سازمان نوسازی مدارس به عنوان متولی امر مدرسه سازی دو جزوه تحت عنوان های ۱- اصول طراحی اقلیمی و ۲- ساختمانهای آموزشی و اقلیم در زمینه همسازی معماری مدارس با اقلیم تدوین کرده است (۶). همچنین سازمان ملی استاندارد ایران نیز در سال ۱۴۰۱ دستورالعمل برچسب انرژی ساختمانهای آموزشی - مدرسه را منتشر ساخته است (۷).

در تحقیق انجام گرفته بر ساختمان مدارس ابتدایی کشور کره عوامل معماری موثر در کاهش مصرف انرژی به ترتیب: ۱- مقاوت در برابر نفوذ هوا ۲- جهت گیری مناسب بنا ۳- نوع دیوارهای خارجی (محیطی) ۴- نوع بازو ها ۵- ضریب تاثیر جذب حرارت ۶- عرض ۷- ارتفاع، بوده است (۸). انجام تغییراتی در طراحی بنای مدارس کاهش مصرف انرژی در ساختمان را نشان میدهد. میتوان به ، بهبود و توسعه عایق کاری جداره ها و استفاده از انرژی های نو، اشاره کرد (۹).

در صورتی که در طراحی عایقکاری حرارتی ساختمان (کاهش ضریب انتقال حرارت پنجره) نسبت به ضریب بهره حرارتی پنجره ها یا وضعیت سایبانها توجه نشود، شرایط نامطلوبی آسایش حرارتی برای ساکنین فراهم می آورد، چراکه از اتلاف حرارت از طریق جداره های خارجی جلوگیری کرده و تابش خورشید در فضاهای داخل در اوقات گرم و حتی معتدل باعث افزایش دما به میزان زیاد شده و استفاده از وسایل خنک کننده افزایش می یابد (۱۰).

کمترین میزان مصرف انرژی سالیانه محاسبه شده در ساختمان مدارس تیپ دوکلاسه برای شهرهای اصفهان، زاهدان، شیراز،

قم، کرمان و یزد به ترتیب مربوط به جهت گیریهای ۸۴، ۹۸، ۸۰، ۷۶ و ۸۴ درجه محور طولی ساختمان نسبت به شمال جغرافیایی و در جهت عقربه های ساعت است (۳).

طراحی ساختمان مدرسه به لحاظ کیفی باید که تا حد ممکن استفاده از تهویه، خنک سازی و گرمایش مکانیکی را به حداقل برساند. و از انرژیهای پایدار بهره ببرد. طرح مدرسه به گونه ای باشد که از سیستمها و مصالح پایدار و تجدیدپذیر جهت مصرف انرژی استفاده گردد. اشخاص، فضاها و مبلمان میتوانند هم به صورت نیروی بازدارنده و هم به صورت عامل تسهیل کننده در یادگیری دانش آموزان تاثیر گذار باشد. مدرسه و فضای آموزشی، فقط دیوار، اتاق و اشیای بی جان نیستند؛ بلکه فضا عرصه ای است که هر بخش آن برای کودک پيامی دارد و آداب و عاداتی را بر آنان دیکته می کند (۱۱).

پژوهشی که استراتژی های خنک کننده غیرفعال در ساختمان مدارس را بررسی کرده، پس از مطالعه و تجزیه و تحلیل ۴۷ مدرسه ۲۰ استراتژی طراحی غیر فعال را شناسایی کرده است که هشت پارامتر مربوط به پایداری و شش پارامتر مربوط به ارگونومی محیطی است. نتایج نشان می دهد که بیشترین استفاده از استراتژی های غیرفعال شامل: تهویه طبیعی، بام سبز، پنجره های با انتقال حرارت کم و ایجاد سایه بان خورشیدی است. در مقابل، نماهای تهویه شونده و سرمایش تبخیری کمترین استفاده را دارند. سیستم های خنک کننده تبخیری نیز از نظر پایداری و کارایی انرژی در اکثر مطالعات موردی وجود داشته است. از نظر ارگونومی محیطی، آسایش حرارتی در اکثر مطالعات موردی وجود داشته، در حالی که آسایش صوتی ارزیابی نشده است. نتایج، فقدان: بهینه سازی آسایش صوتی و بصری، ایجاد تمهیداتی جهت سازگاری با تغییرات آب و هوا و مشارکت جامعه آموزشی را نشان میدهد. این تحقیق لزوم استفاده از پروتکل های طراحی غیر فعال را برای دستیابی به محیطی پایدار و سازگار با اقلیم در معماری مدارس را متذکر میشود (۱۲).

در مطالعه موردی یک ساختمان مدرسه واقع در یک منطقه روستایی که طبق طبقه بندی کوپن در اقلیم (BSH) واقع است،

مورد بررسی قرار گرفته است. پروژه فعلی برای کاهش نیازهای انرژی از سیستم های غیرفعال، طراحی پوسته ساختمان و سیستم های سرمایش/گرمایش بهره برده است. ساختمان مورد مطالعه با مصالح طبیعی و بومی با توجه به کاربری استفاده کرده است. نتایج مطالعه شبیه سازی با استفاده از نرم افزار ترانسپس<sup>۱</sup> انجام شده و نشان می دهد که گونه های مبتنی بر سنگ آهک و پایه خاکی عملکرد بهتری دارند زیرا بار سالانه آنها به ترتیب ۵۷/۲ و ۵۶ درصد در مقایسه با بلوک سیمانی کاهش یافته است. با توجه به معیارهای مختلف انتخاب، نوع مبتنی بر خاک در این زمینه، پایدارترین نوع در بین موارد مورد مطالعه بوده است. در واقع، این مقایسه بر اساس چرخه زندگی و انرژی نهفته مصالح ارزیابی شده است که بسته به هزینه، دانش محلی و میراث اجتماعی و فرهنگی، استفاده میشود (۱۳). در طراحی ساختمان های مدارس، توجه به اثرات انرژی، آسایش حرارتی، روشنایی روز و هزینه چرخه زندگی مهم است. در این مقاله یک ساختمان مدرسه در شهر نانجینگ کشور چین انتخاب شده است. که از روش بهینه سازی طراحی هماهنگ چند هدفه ساختمان های مدرسه جهت بهینه سازی طراحی جداره های ساختمان مدرسه و سیستم های انرژی استفاده شده است. این روش عمدتاً در سه بخش شامل: متغیرهای طراحی هماهنگ، بهینه سازی جداره و بهینه سازی سیستم انرژی. در فرآیند بهینه سازی طراحی جداره بر اساس سه هدف بهینه سازی آسایش حرارتی، روشنایی روز و انرژی می باشد (۱۴).

مطالعه ای با توسعه استراتژی های مقاوم سازی جداره برای ساختمان های مدارس بدون عایق در اردن انجام یافته است. در این تحقیق جایگزین های بهینه سازی جداره پیشنهادی از نظر صرفه جویی در انرژی بالقوه و هزینه اولیه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. که بر اساس آن یک رویکرد جامع برای بهینه سازی جداره ها با ترکیب جایگزین های بهینه مقرون به صرفه و اقتصادی ایجاد شود. این مطالعه شامل روش های طراحی ترکیبی - کمی و کیفی، شامل تجزیه و تحلیل فیزیکی، آرشو ملی، پرسشنامه و پایش میدانی پارامترهای محیطی در کلاس

های درس است. شبیه سازی انرژی و تحلیل اقتصادی با استفاده از روش تحلیل دوره بازگشت سرمایه ساده انجام شده است. یافته های این تحقیق نشان داده است که رویکرد پیشنهادی برای بهینه سازی جداره منجر به صرفه جویی در انرژی تا ۵۴ درصد با دوره بازپرداخت ۵.۵ سال می شود (۱۵).

ساختمان های مدارس از جمله ساختمان های عمومی در اروپا هستند که بیشتر آنها چندین دهه پیش ساخته شده اند. در مطالعه ای در منطقه آب و هوای معتدل جنوب اسپانیا، شیوه های بهره وری انرژی خوب را جهت بهسازی ساختمان های مدرسه به عنوان فرصتی برای بهبود عملکرد انرژی، با کاهش هزینه ارتقاء ساختمان ها، مورد تحلیل قرار گرفته است. بیش از ۴۵۰۰ مدرسه در منطقه مورد مطالعه قرار داشته، که به عنوان نماینده منطقه آب و هوای معتدل مدیترانه ای با تقریباً ۸۷۰۰۰ مدرسه، است. این تحقیق مجموعه ای از راه حل های بهسازی غیرفعال و مقرون به صرفه را برای بهینه سازی جداره ساختمان های مدرسه (عایق، ایجاد سایه و جدار نورگذر) در یک مدل ساختمان پایه مرجع مطالعه می کند. نتایج نشان دهنده تقاضای انرژی نسبتاً کم در مقایسه با آنچه در مدارس معادل در سایر اقلیم ها گزارش شده، است، همچنین بهبود بهره وری انرژی، با صرفه جویی تا ۱۷/۷٪ برای گرمایش و تا ۱۵/۹٪ برای سرمایش با ترکیب تکنیک های طراحی غیرفعال به دست خواهد آمد (۱۶).

صاحب نظران برای دستیابی به آموزش محیط زیستی در مدارس، طراحی مدرسه سبز را پیشنهاد میدهند. ویژگی هایی مدرسه سبز: آرامش، کیفیت خوب هوای داخل ساختمان و دمای مناسب، سامانه هایی که خوب حفاظت شوند و پاکیزگی، می باشد که حامی سلامت و یادگیری دانش آموز و معلمان است. در طراحی مدرسه سبز انتخاب مصالح و به حداقل رساندن آنها، بهره وری انرژی و کیفیت هوای داخل ساختمان مد نظر است. زیر معیارهای مدل های کنونی مکانیابی: استفاده از زمینهای متروکه، استفاده از قطعات نیازمند نوسازی و مرمت، جهت گیری ساختمان به سمت نور مطلوب، استفاده از باد مطلوب در جهت تعدیل دمای محوطه، جلوگیری از اشراق

محیط زیست مهیا می سازد. از آنجا که انتقال حرارت از جداره های ساختمان از مباحث بسیار مهم در زمینه صرفه جویی در مصرف انرژی و دستیابی به معماری پایدار اقلیمی است. در این مقاله به بررسی انتقال حرارت از جداره های ساختمان مدرسه با پلان یکسان در دو شهر اصفهان و شیراز که دارای شباهت اقلیمی کلان و خرد اقلیم متفاوت میباشد پرداخته است.

**روش بررسی:** روش تحقیق حاضر کمی است و با کمک محاسبات حاصل از نتایج تحلیلی شبیه سازی نرم افزار انجام شده است. مراحل تحقیق حاضر شامل فرآیند ذیل است:

- گردآوری اطلاعات با کمک روش کتابخانه ای، اینترنتی و استفاده از آرشیو اطلاعات سازمان نوسازی مدارس است.

- پلان تیپ یک مدرسه مفروض ساخته شده در شهرهای شیراز و اصفهان که دارای اقلیم تا حدودی مشابه، ولی دارای تفاوت هایی هستند، انتخاب گردید. شهر شیراز ( $29^{\circ}37'N$   $52^{\circ}32'E$ ) و شهر اصفهان ( $32^{\circ}38'N$   $51^{\circ}39'E$ ) در محدوده مرکزی کشور ایران واقع شده است که بر اساس تقسیم بندی اقلیمی کوپن شهر اصفهان در پهنه اقلیمی (BWks) و شهر شیراز در پهنه اقلیمی (BSks) قرار گرفته اند. (۲۱) (تصویر ۱)

ساختمانهای اطراف به مدرسه و دارا بودن حداکثر فضای باز و میزان شیب زمین (۱۰-۰ درصد) می باشد (۱۷).

مدرسه ها ضمن ایجاد طراوت و شادابی در روحیه دانش آموزان، امکان افزایش خلایقیت و ظهور فرایند ایده پردازی را در آنها میسر میسازند؛ در حین حال که می-توانند زمینه ساز بالا بردن کیفیت یادگیری و بستر ساز آموزش رفتارهای حفظ زیست محیطی و الگویی برای تربیت نسلهای دوستدار محیط زیست باشند (۱۸). رعایت اصول مدارس سبز علاوه بر صرفه جویی انرژی، باعث بهبود عملکرد دانش آموزان شده و بستر آموزشهای پایه ای در زمینه طراحی های ساختمانهای سبز را توسعه می دهد (۱۹). پژوهش های انجام شده در مدارس ایالات متحده نشان میدهد که یادگیری دانش آموزان با طراحی صحیح فضاهای مدرسه رابطه معنا دار داشته و دمای نامناسب، نور کم، فرسودگی ساختمان، عملکرد دانش آموزان را تحت تاثیر قرار میدهد. لذا میان شرایط فیزیکی ساختمان و پیشرفت تحصیلی دانش آموزان رابطه همبستگی قوی وجود دارد (۲۰).

با توجه به ذکر اهمیت ساخت مدارس سبز، طراحی معماری مدارس ساخته شده در ایران نیز باید بر مبنای اصول طراحی مدارس سبز انجام شود، این مدارس علاوه بر صرفه جویی در مصرف انرژی، آشنایی دانش آموزان را با فرآیند موثر در آینده

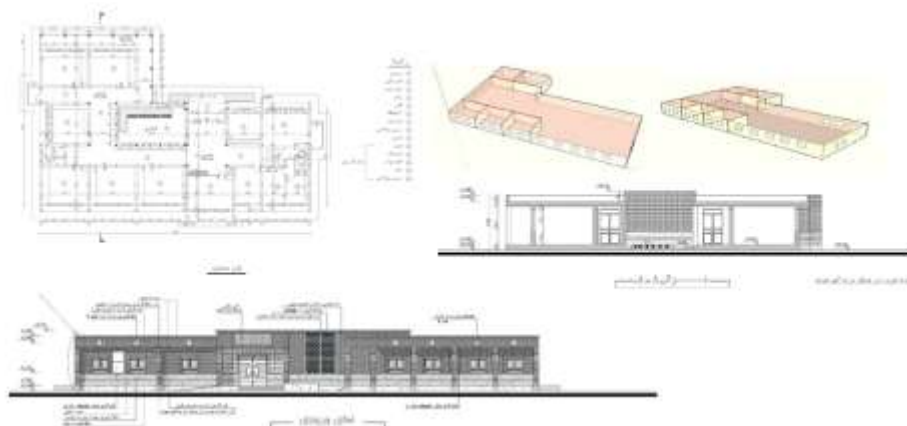


تصویر ۱- موقعیت جغرافیایی و اقلیمی شهرهای اصفهان و شیراز بر اساس تقسیم بندی کوپن مآخذ: (۲۱)

Figure 1. Geographical and Climate Situation of the cities of Isfahan and Shiraz based on coupon classification, reference (21)

مساحت تقریبی مدرسه انتخابی ۵۹۷ متر مربع یک طبقه و دارای شش کلاس و فضاهای اداری و سالن نماز خانه می باشد.

مدراس انتخابی از مدارس طراحی شده با پلان تیپ اقلیم گرم و خشک بر اساس نمونه گیری غیر احتمالی و هدفمند انتخاب گردید (تصویر ۲).



تصویر ۲- مشخصات ساختمانی نمونه های انتخابی در شهر شیراز و اصفهان، بالا: پلان، پایین: مدلسازی حجم مدرسه در نرم

### افزار Sketch up

Figure 2. Building specifications of selected samples in the city of Shiraz and Isfahan, Top: Plan and school modeling in software Sketch up down: elevation

در مرحله بعد مصالح ساختمانی برای جداره ها و پنجره ها تعریف شد. مصالح متداول ساختمانی با توجه به مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، که مجموعه ای از ضوابط فنی، اجرایی و حقوقی طراحی و ساختمان سازی لازم الرعایه در ایران است، برای این ساختمان مطابق مقدار U نهایی تعریف شده است. (جدول ۱) (۷). این مقادیر U برای جداره ها برای شهر های مختلف ایران مطابق مبحث ۱۹ یکسان است، از آنجا که فرضیه این مقاله آزمایش این فرضیه است که مقدار بهینه مصالح برای دو شهر اصفهان و شیراز برای یک مدرسه واحد نمونه متفاوت است. در ابتدا مصالح برای دو شهر شیراز و اصفهان به صورت یکسان و طبق جدول ۱ تعریف شده است.

به منظور مدل سازی سه بعدی ساختمان از نرم افزار واسط اسکچاپ 16.0.1999 و سپس جهت محاسبات انتقال حرارت از نرم افزار انرژی پلاس v8-4.0 استفاده شد (تصویر ۳).

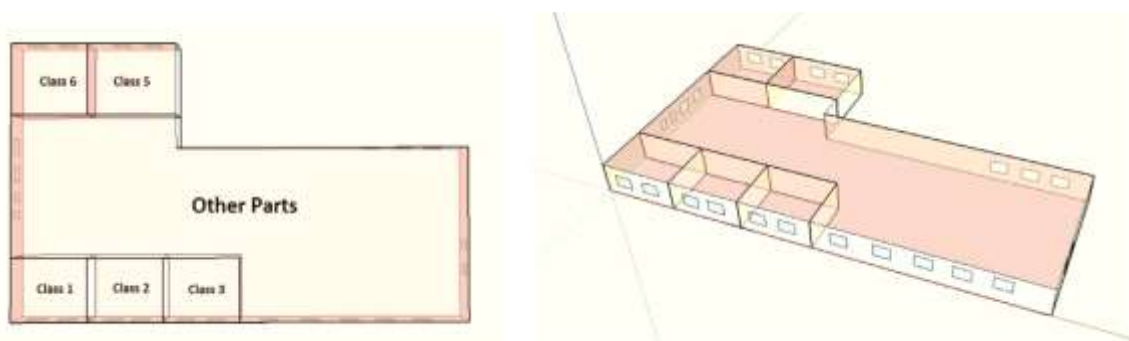
روش تحلیل این مقاله مقایسه تطبیقی با کمک آمار توصیفی و استنباطی نرم افزار اکسل است.

همه کلاس ها که آنالیز انرژی آنها مد نظر است، به صورت تک به تک مطابق پلان مربوط به خود به صورت یک محدوده حرارتی<sup>۱</sup> تعریف شد. (تصویر ۳)

داده های اقلیمی شهر شیراز و اصفهان و ساختمان مدلسازی شده در نرم افزار اسکچاپ به نرم افزار انرژی پلاس وارد شد.

جهت بررسی و محاسبه سایه اندازی و انتقال حرارت دیوارها، گزینه های محاسبه سایه (shadow calculation) و انتقال حرارت جابجایی برای داخل و خارج در نرم افزار انرژی پلاس فعال شد.





تصویر ۳- جزئیات ساختمان مورد بررسی و zone بندی آن، محور سبز نمایانگر جهت شمال می باشد

Figure 3. Details of studied building and its zoning; green axis is indicator of north

جدول ۱- ضریب نهایی مصالح ساختمان مدارس شیراز و اصفهان

Table 1. Final coefficient of building materials of the schools of Shiraz and Isfahan

| ضریب نهایی انتقال حرارت<br>U value $\frac{W}{m^2 K}$ | مصالح                                  | عنصر ساختمان |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------|
| ۰/۹۶                                                 | بلوک سیمانی به همراه اجر               | دیوارها      |
| ۰/۶۳                                                 | تیرچه و بلوک سیمانی                    | سقف          |
| ۰/۶۱                                                 | تیرچه و بلوک سیمانی و سرامیک           | کف           |
| ۴/۱                                                  | دوجداره با شیشه ۳ میلی و لایه عایق هوا | پنجره        |

است. لازم به ذکر است که نقاط تنظیم<sup>۲</sup> تعریف شده برای آسایش حرارتی برای گرمایش ۲۱ درجه سانتیگراد و برای سرمایش ۲۶ درجه سانتی گراد مطابق استاندارد اشری<sup>۳</sup> و آب و هوایی شیراز و اصفهان در نظر گرفته شده است. سیستم گرمایش و سرمایش برای روزهای پنج شنبه و جمعه خاموش و برای سایر روزها از ۷ صبح تا ۴ بعد از ظهر در نظر گرفته شده است.

سیستم گرمایش و سرمایش، روشنایی و همچنین حضور افراد در هر zone حرارتی تعریف شد. شرایط محاسبه در نرم افزار اعم از تعداد کاربران فضاهای مدرسه، سیستم های سرمایشی و گرمایشی و میزان ساعات آماده به کار سیستمها در جدول ۲ ارایه شده است. تعداد کلاسهای مدرسه مدل سازی شده ۶ کلاس با ظرفیت ۴۰ نفر و نوع فعالیت مطالعه، در بازه زمانی کل ماههای سال و کل روزهای هفته به استثنای روزهای پنج شنبه و جمعه از ساعت ۷ صبح تا ۴ بعداز ظهر در نظر گرفته شده است. محدوده آسایش ۲۱ تا ۲۶ درجه سانتی گراد است.

سیستم سرمایش و گرمایش با توجه به تجهیزات ارسالی بر روی پلان ساختمان و با توجه به عکسهای ارسالی برای هر محدوده<sup>۱</sup> تعریف شده

2- setpoint  
3- Ashrae 95

1- zone

## جدول ۲ - مشخصات فضاها (زون های حرارتی)

Table 2. Specifications of Spaces (Thermal Zones)

| تعداد کلاس                  | ۶                                                                                                                       | ظرفیت کلاس          | ۴۰ نفر                  |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| نوع فعالیت                  | مطالعه ۴۰ وات                                                                                                           | محدوده آسایش        | ۱۸ تا ۲۶ درجه سانتیگراد |
| حساسیت وزش باد              | ۰/۲۵                                                                                                                    | ضریب درزهای ساختمان | ۱                       |
| زمان آماده به کار           | مهر تا اسفند                                                                                                            | روزهای تعطیل        | پنج شنبه و جمعه         |
| ساعت کار (شنبه تا چهارشنبه) | ۷ صبح تا ۴ بعدازظهر                                                                                                     | مصالح ساختمانی      | مطابق جدول ۳ و ۲        |
| نقطه تنظیم (Set point)      | درجه سانتی گراد (در دمای پایین تر از ۲۱ درجه سیستم گرمایش و در دمای بالاتر از ۲۶ درجه سیستم سزمایش به کار گرفته میشود). |                     |                         |

- در مرحله نهایی میزات انتقال حرارت کلاسهای ساختمان مدرسه در دو شهر منظور مجددا با جداره بهینه سازی شده در نرم افزار انرژی پلاس محاسبه گردید. و این میزان انتقال حرارت بعد از بهینه سازی با میزان انتقال حرارت قبل از بهینه سازی مقایسه شد.

## یافته های تحقیق

## بررسی وضع موجود

- با کمک روش تحقیق و فرضیه بیان گردیده، ابتدا مدل سازی مدرسه در شهر شیراز انجام گردید و نتایجی حاصل گرفت. با توجه به تجهیزات به کار رفته در هر محدوده و همچنین هندسه و ابعاد پنجره هر محدوده، میزان انتقال حرارت کلاسها به طور تقریبی  $2 \times 10^8$  ژول میباشد (جدول ۳). مقادیر انتقال حرارت جدول ۳ نشان میدهد که انتقال حرارت جداره های کلاسها بین ۱۵ تا ۱۶ درصد و انتقال حرارت فضاهای ارتباطی بالای ۲۰ درصد کل انتقال حرارت فضای آموزشی است.

- و اما محاسبه انتقال حرارت از بیرون به داخل در مدرسه نمونه شهر اصفهان با همان کیفیات محاسبه کلاسها به طور تقریبی  $2/6 \times 10^8$  ژول میباشد. (جدول ۳) انتقال حرارت جداره های کلاسها به طور تقریبی ۱۵ درصد و انتقال حرارت فضاهای ارتباطی

- سیستم روشنایی با توجه به تجهیزات ارسالی بر روی پلان ساختمان و با توجه به عکسهای ارسالی برای هر محدوده تعریف شده است. سیستم روشنایی برای روزهای پنج شنبه و جمعه خاموش ( به جز راهرو با ۰/۱ روشنایی که روشن است) و برای سایر روزها از ۷ صبح تا ۴ بعد از ظهر به صورت پلهای بر اساس روشنایی تعریف شده است.

- حضور افراد در هر محدوده به صورت زیر تعریف شده است: ظرفیت هر کلاس ۴۰ نفر (به دلیل وجود درز در و پنجره برای هر محدوده، ضریب نفوذ<sup>۱</sup> به مقدار ۱ متر مکعب بر ثانیه در نظر گرفته شده است).

پس از انجام تنظیمات مشروح در نرم افزار شبیه ساز انرژی پلاس ساختمان مدرسه مدل شده مورد آنالیز قرار گرفت.

- در مرحله بعد ابتدا به مقایسه محاسبات انتقال حرارت جداره های وضع موجود دو مدرسه در دو شهر مطروحه، جهت اثبات ضرورت تغییر مصالح در شهرها، پرداخته شد. سپس مقادیر سالانه و ماهانه میزان انرژی انتقالی از بیرون به داخل در کل ساختمان و یک کلاس محاسبه گردید.

- در گام بعدی مقاومت حرارتی بهینه کل مصالح محاسبه گردید و مصالح موجود در بازار مسکن ایران، با ضریب مقاوت مصالح معادل مقاومت بهینه انتخاب شد.

بالای ۲۳ درصد کل انتقال حرارت فضای آموزشی است.

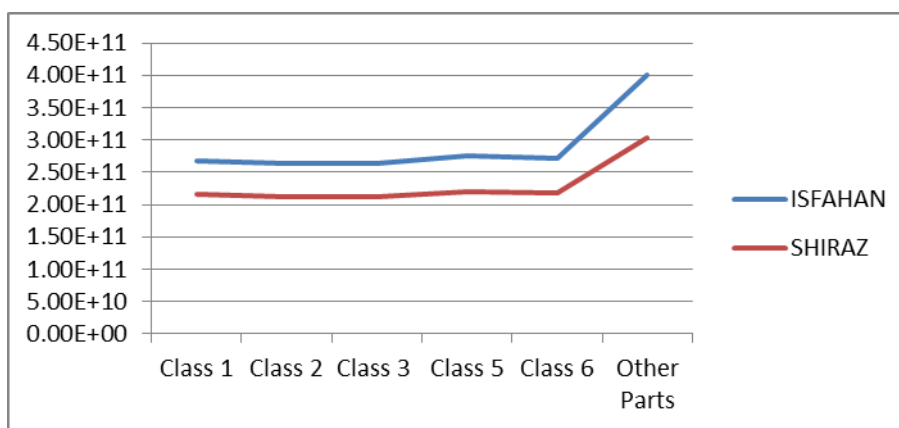
جدول ۳ - میزان انتقال حرارت سالانه هر زون حرارتی

Table 3. The rate of annual heat transfer of thermal zone

| اصفهان                |                          | شیراز                 |                          | منطقه حرارتی |
|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------|
| درصد انتقال حرارت (%) | میزان انتقال حرارت (J)   | درصد انتقال حرارت (%) | میزان انتقال حرارت (J)   |              |
| ۱۵                    | $2/6847 \times 10^{11}$  | ۱۵/۶                  | $2/1573 \times 10^{11}$  | کلاس ۱       |
| ۱۵                    | $2/6379 \times 10^{11}$  | ۱۵/۳                  | $2/1174 \times 10^{11}$  | کلاس ۲       |
| ۱۵                    | $2/6394 \times 10^{11}$  | ۱۵/۳                  | $2/1171 \times 10^{11}$  | کلاس ۳       |
| ۱۶                    | $2/7629 \times 10^{11}$  | ۱۶                    | $2/2085 \times 10^{11}$  | کلاس ۵       |
| ۱۵/۵                  | $2/7142 \times 10^{11}$  | ۱۶                    | $2/1755 \times 10^{11}$  | کلاس ۶       |
| ۲۳                    | $4/0015 \times 10^{11}$  | ۲۲                    | $3/0321 \times 10^{11}$  | سایر فضاها   |
| ۱۰۰                   | $17/4406 \times 10^{11}$ | ۱۰۰                   | $13/8043 \times 10^{11}$ | جمع          |

دو شهر متفاوت است، لذا لازم است که در هر شهر با توجه به ویژگی های مصالح و اقلیمی آن تکنیک مناسب انتخاب شود و شیوه بهینه سازی جداره ها در هر شهر متناسب با ویژگی های آن انجام شود.

میزان انتقال حرارت به ترتیب در شیراز و اصفهان تقریباً معادل ۱۳ تا ۱۷ ژول انرژی است که بار بسیار بالایی به سیستم سرمایش وارد می نماید و همچنین نمودار ۱ نشان می دهد که این میزان در



نمودار ۱ - انتقال حرارت جداره های فضاهای آموزشی مدرسه در دو شهر اصفهان و شیراز

Diagram 1. Heat transfer of the envelopes of school educational spaces in two cities of Isfahan and Shiraz

#### بهینه سازی جداره ها

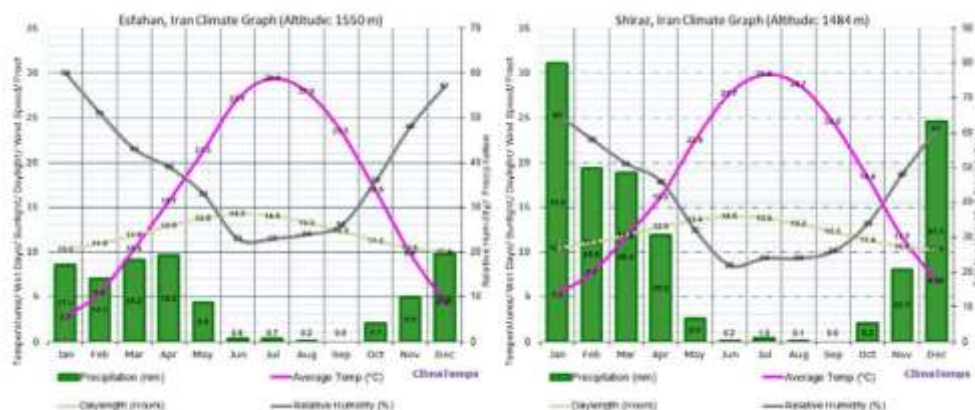
جهت استخراج نتایج بهینه سازی مقدار مقاومت حرارتی مورد نیاز جداره های عمودی برای به حداقل رساندن میزان انتقال حرارت از این جداره، نتایج نشان داد که مصرف انرژی در اصفهان در مدرسه نمونه مورد بررسی برای هر محدوده بیشتر از شهر شیراز است، همچنین با مطالعه اطلاعات آب و هوایی چند ساله شهر اصفهان مشاهده شد که اختلاف دمای محیط از

به منظور بهینه سازی انرژی تغییراتی در تکنیک های عایق دیوارها و سقف، ایجاد سایبان افقی روی پنجره ها و ایجاد نمای دو جداره شفاف ایجاد شد و زونهای حرارتی توسط محاسبات نرم افزاری مورد بررسی مجدد قرار گرفت.

#### الف) تغییر مقاومت حرارتی جداره های عمودی

برای هر دو شهر متفاوت و به صورت زیر است.

دمای آسایش، نسبت به شهر شیراز اختلاف بیشتری دارد. (نمودار ۲) بنابراین میزان افزودن عایق به دیواره خارجی



نمودار ۲ - اطلاعات آب و هوایی، راست شهر شیراز - چپ شهر اصفهان (۲۲)

Figure 2. Weather information, right (Shiraz city)- left (Isfahan city) (22)

آن است که با اضافه کردن ۸ سانتی متر عایق پلی یوران در دیوار خارجی مدرسه شیراز حدود ۱۹٪ در مصرف انرژی سالانه صرفه جویی خواهد شد. (جدول ۵).

- در شهر شیراز برای تمامی دیوارهای خارجی میزان مقاومت بهینه دیوار  $U=0.87$  شد که معادل ۸ سانت عایق پلی یوران است و با عایق اضافه شده مجدداً میزان انتقال حرارت توسط نرم افزار محاسبه شد. نتایج حاکی از

جدول ۵- مقایسه تغییرات انرژی سالانه و درصد ذخیره سازی انرژی قبل و بعد از عایق کاری دیوار خارجی برای شهر شیراز.

Table 5. The comparison of annual energy changes and storing percentage of energy , before and after insulation of external wall for Shiraz city

| درصد ذخیره انرژی (%) | اضافه کردن ۸ سانتی متر عایق پلی یوران در دیوار خارجی | انتقال حرارت سالانه (J)  | منطقه حرارتی |
|----------------------|------------------------------------------------------|--------------------------|--------------|
| ۳/۶                  | $2/0.80 \times 10^{11}$                              | $2/1573 \times 10^{11}$  | کلاس ۱       |
| ۲/۱                  | $2/0.728 \times 10^{11}$                             | $2/1174 \times 10^{11}$  | کلاس ۲       |
| ۲                    | $2/0.732 \times 10^{11}$                             | $2/1171 \times 10^{11}$  | کلاس ۳       |
| ۴/۵                  | $2/10.94 \times 10^{11}$                             | $2/20.85 \times 10^{11}$ | کلاس ۵       |
| ۳/۶                  | $2/0.965 \times 10^{11}$                             | $2/1755 \times 10^{11}$  | کلاس ۶       |
| ۳/۲                  | $2/9384 \times 10^{11}$                              | $3/0.321 \times 10^{11}$ | سایر فضاها   |
| ۱۹                   | انرژی کل صرفه جویی شده سالانه                        |                          |              |

حدود ۲۵٪ صرفه جویی در مصرف انرژی سالانه خواهیم داشت (جدول ۶). از آنجا که استفاده از عایق ۱۵ سانتی در عمل امکان پذیر نیست، بدین منظور میتوان از ۸ سانت عایق استفاده کرد و در کنار آن از اجزای صنعتی و مشبک استفاده کرد که

در شهر اصفهان مقدار مقاومت حرارتی بهینه  $U=0.82$  شد که به تمامی دیوارهای خارجی ۱۵ سانت عایق پلی یوران اضافه شد. و با عایق اضافه شده در نرم افزار مجدداً میزان انتقال حرارت محاسبه شد. نتایج حاکی از آن است که با اضافه کردن ۱۵ سانتی متر عایق پلی یوران در دیوار خارجی مدرسه اصفهان

ترکیب این دو U\_value معادل با ۱۵ سانت عایق را به ما خواهد داد.

جدول ۶- مقایسه تغییرات انرژی سالیانه و درصد ذخیره سازی انرژی قبل و بعد از عایق کاری دیوار خارجی برای شهر

اصفهان

Table 6. The comparison of annual energy changes and storing percentage of energy, before and after insulation of external wall for the city of Isfahan

| درصد ذخیره انرژی (%) | اضافه کردن ۱۵ سانتی متر عایق پلی یوران در دیوار خارجی | انتقال حرارت سالانه (J) | منطقه حرارتی |
|----------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------|--------------|
| ۴/۳                  | $2/5701 \times 10^{11}$                               | $2/6847 \times 10^{11}$ | کلاس ۱       |
| ۲/۸                  | $2/5645 \times 10^{11}$                               | $2/6379 \times 10^{11}$ | کلاس ۲       |
| ۲/۸                  | $2/5651 \times 10^{11}$                               | $2/6394 \times 10^{11}$ | کلاس ۳       |
| ۵/۲                  | $2/6186 \times 10^{11}$                               | $2/7629 \times 10^{11}$ | کلاس ۵       |
| ۴/۳                  | $2/5971 \times 10^{11}$                               | $2/7142 \times 10^{11}$ | کلاس ۶       |
| ۵/۱                  | $3/7970 \times 10^{11}$                               | $4/0015 \times 10^{11}$ | سایر فضاها   |
| ۲۴/۵                 | انرژی کل صرفه جویی شده سالانه                         |                         |              |

ب) تغییر مقاومت حرارتی جداره های افقی

حاکی از آن است که با اضافه کردن ۵ سانتی متر عایق پلی یوران در سقف مدرسه شیراز حدود ۲۶٪ صرفه جویی در مصرف انرژی سالانه خواهد داشت. (جدول ۷)

با توجه به اختلاف مصرف انرژی در اصفهان و شیراز در مدرسه نمونه مورد بررسی، و همچنین مطالعات آب و هوایی دو شهر (نمودار ۱)، میزان مقاومت حرارتی بهینه برای سقف محاسبه شد.

در شهر شیراز با توجه به ضریب حرارتی بهینه  $U=0.58$  به تمامی سقفها ۵ سانتی متر عایق پلی یوران اضافه شد. نتایج

جدول ۷- تغییرات انرژی سالیانه و درصد ذخیره سازی انرژی دو حالت قبل و بعد از عایق سقف مدرسه شهر شیراز

Table 7. Changes of annual energy and energy storing percentage of two states, before and after insulation of school ceiling of Shiraz city

| درصد ذخیره انرژی (%) | اضافه کردن ۵ سانتی متر عایق پلی یوران در بام | انتقال حرارت سالانه (J) | منطقه حرارتی |
|----------------------|----------------------------------------------|-------------------------|--------------|
| ۲/۳                  | $2/1074 \times 10^{11}$                      | $2/1573 \times 10^{11}$ | کلاس ۱       |
| ۲/۴                  | $2/0657 \times 10^{11}$                      | $2/1174 \times 10^{11}$ | کلاس ۲       |
| ۲/۵                  | $2/0648 \times 10^{11}$                      | $2/1171 \times 10^{11}$ | کلاس ۳       |
| ۳                    | $2/1430 \times 10^{11}$                      | $2/2085 \times 10^{11}$ | کلاس ۵       |
| ۲/۶                  | $2/1194 \times 10^{11}$                      | $2/1755 \times 10^{11}$ | کلاس ۶       |
| ۱۳/۳                 | $2/6295 \times 10^{11}$                      | $3/0321 \times 10^{11}$ | سایر فضاها   |
| ۲۶                   | انرژی کل صرفه جویی شده سالانه                |                         |              |

در اصفهان نیز با توجه به ضریب حرارتی بهینه به دست آمده معادل  $U=0.54$  به تمامی سقفها ۱۰ سانتی متر عایق پلی

یوران اضافه شد. نتایج حاکی از آن است که با اضافه کردن ۱۰ سانتی متر عایق پلی یوران در سقف مدرسه اصفهان حدود ۳۳٪ در مصرف انرژی سالانه صرفه جویی خواهد شد. (جدول ۸).

### جدول ۸- تغییرات انرژی سالیانه و درصد ذخیره سازی انرژی دو حالت قبل و بعد از عایق سقف مدرسه شهر اصفهان

Table 8. Changes of annual energy and energy storing percentage of two states, before and after insulation of school ceiling of Isfahan city

| منطقه حرارتی                  | انتقال حرارت سالانه (J) | اضافه کردن ۱۰ سانتی متر عایق پلی یوران بر بام | درصد ذخیره انرژی (%) |
|-------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|----------------------|
| کلاس ۱                        | ۲/۶۸۴۷*۱۰ <sup>۱۱</sup> | ۲/۵۹۹۲*۱۰ <sup>۱۱</sup>                       | ۳/۱                  |
| کلاس ۲                        | ۲/۶۳۷۹*۱۰ <sup>۱۱</sup> | ۲/۵۵۰۹*۱۰ <sup>۱۱</sup>                       | ۳/۳                  |
| کلاس ۳                        | ۲/۶۳۹۴*۱۰ <sup>۱۱</sup> | ۲/۵۵۰۵۹*۱۰ <sup>۱۱</sup>                      | ۳/۴                  |
| کلاس ۵                        | ۲/۷۶۲۹*۱۰ <sup>۱۱</sup> | ۲/۶۵۱۶*۱۰ <sup>۱۱</sup>                       | ۴                    |
| کلاس ۶                        | ۲/۷۱۴۲*۱۰ <sup>۱۱</sup> | ۲/۶۱۸۵۱*۱۰ <sup>۱۱</sup>                      | ۳/۵                  |
| سایر فضاها                    | ۴/۰۰۱۵*۱۰ <sup>۱۱</sup> | ۳/۳۶۲۲۸*۱۰ <sup>۱۱</sup>                      | ۱۶                   |
| انرژی کل صرفه جویی شده سالانه |                         |                                               | ۳۳/۴                 |

### ج) سایه بان افقی پنجره های رو به جنوب

با توجه به اختلاف بیشتر دمای محیط از دمای آسایش در شهر اصفهان، نسبت به شهر شیراز (نمودار ۱) و مصرف بیشتر انرژی محاسبه شده در مدرسه شهر اصفهان نسبت به شهر شیراز، ابعاد سایه بان برای هر دو شهر با کمک زوایای خورشیدی در نرم افزار محاسبه و ابعاد متفاوتی برای هر دو شهر قرار داده شد.

– در شیراز برای تمامی پنجره های رو به جنوب سایه بانی به طول پنجره و ارتفاع ۱ متر در نظر گرفته شده است. نتایج حاکی از آن است که پس از ایجاد سایبان افقی حدود ۱۹٪ صرفه جویی در مصرف انرژی سالانه خواهد شد. (جدول ۱۰)

### جدول ۱۰- تغییرات انرژی سالیانه و درصد ذخیره سازی انرژی دو حالت قبل و بعد از سایبان پنجره های جنوبی مدرسه شهر شیراز

Table 10. Changes of annual energy and energy storing percentage of two states, before and after southern window canopy of Shiraz city

| منطقه حرارتی                  | انتقال حرارت سالانه (J) | ایجاد سایبان افقی بر پنجره های جنوبی (J) | درصد ذخیره انرژی (%) |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|----------------------|
| کلاس ۱                        | ۲/۱۵۷۳*۱۰ <sup>۱۱</sup> | ۲/۰۸۴۸*۱۰ <sup>۱۱</sup>                  | ۳/۴                  |
| کلاس ۲                        | ۲/۱۱۷۴*۱۰ <sup>۱۱</sup> | ۲/۰۴۴۹*۱۰ <sup>۱۱</sup>                  | ۳/۴                  |
| کلاس ۳                        | ۲/۱۱۷۱*۱۰ <sup>۱۱</sup> | ۲/۰۴۴۶*۱۰ <sup>۱۱</sup>                  | ۳/۴                  |
| کلاس ۵                        | ۲/۲۰۸۵*۱۰ <sup>۱۱</sup> | ۲/۱۳۶۰*۱۰ <sup>۱۱</sup>                  | ۳/۳                  |
| کلاس ۶                        | ۲/۱۷۵۵*۱۰ <sup>۱۱</sup> | ۲/۱۰۳۰*۱۰ <sup>۱۱</sup>                  | ۳/۳                  |
| سایر فضاها                    | ۳/۰۳۲۱*۱۰ <sup>۱۱</sup> | ۲/۹۵۹۶*۱۰ <sup>۱۱</sup>                  | ۲/۴                  |
| انرژی کل صرفه جویی شده سالانه |                         |                                          | ۱۹                   |

در اصفهان برای تمامی پنجره‌های رو به جنوب سایه‌بانی به طول پنجره و ارتفاع ۱/۲ متر در نظر گرفته شده است. نتایج حاکی از آن است که پس از ایجاد سایبان افقی حدود ۱۹٪ صرفه جویی در مصرف انرژی سالانه خواهد شد. (جدول ۱۱)

جدول ۱۱- تغییرات انرژی سالیانه و درصد ذخیره‌سازی انرژی دو حالت قبل و بعد از سایبان پنجره‌های جنوبی مدرسه شهر اصفهان

Table 11. Changes of annual energy and energy storing percentage of two states, before and after southern window canopy of Isfahan city

| درصد ذخیره انرژی (%) | ایجاد سایبان افقی بر پنجره های جنوبی (J) | انتقال حرارت سالانه (J) | منطقه حرارتی |
|----------------------|------------------------------------------|-------------------------|--------------|
| ۳/۳                  | ۲/۵۹۵۱*۱۰ <sup>۱۱</sup>                  | ۲/۶۸۴۷*۱۰ <sup>۱۱</sup> | کلاس ۱       |
| ۳/۴                  | ۲/۵۴۸۱*۱۰ <sup>۱۱</sup>                  | ۲/۶۳۷۹*۱۰ <sup>۱۱</sup> | کلاس ۲       |
| ۳/۴                  | ۲/۵۴۹۸*۱۰ <sup>۱۱</sup>                  | ۲/۶۳۹۴*۱۰ <sup>۱۱</sup> | کلاس ۳       |
| ۳/۲                  | ۲/۶۷۳۳*۱۰ <sup>۱۱</sup>                  | ۲/۷۶۲۹*۱۰ <sup>۱۱</sup> | کلاس ۵       |
| ۳/۳                  | ۲/۶۲۴۶*۱۰ <sup>۱۱</sup>                  | ۲/۷۱۴۲*۱۰ <sup>۱۱</sup> | کلاس ۶       |
| ۲/۲                  | ۳/۹۱۱۹*۱۰ <sup>۱۱</sup>                  | ۴/۰۰۱۵*۱۰ <sup>۱۱</sup> | سایر فضاها   |
| ۱۹                   | انرژی کل صرفه جویی شده سالانه            |                         |              |

(د) نمای دو پوسته شفاف

در آخرین تکنیک اعمالی نمای دوپوسته شفاف در اطراف ساختمان در فاصله ۷۰ سانت از نمای اصلی که در تابستان بالای نما باز شده جهت خنک کردن سطح نمای اصلی و در زمستان بسته می‌شود، اعمال گردید. در این آنالیز شرایط برای هر دو شهر اصفهان و شیراز یکسان در نظر گرفته شده است. استفاده از این تکنیک باعث کاهش تقریبی ۱۴٪ و ۱۸٪ مصرف انرژی را به ترتیب در مدرسه نمونه شهرهای شیراز و اصفهان گردید (جداول ۱۲ و ۱۳).

جدول ۱۲- تغییرات انرژی سالیانه و درصد ذخیره‌سازی انرژی قبل و بعد از ایجاد نمای دو پوسته شفاف مدرسه شهر شیراز

Table 12. Changes of annual energy and energy storing percentage of two states, before and after making the view of two transparent shells of Shiraz city

| درصد ذخیره انرژی (%) | ایجاد نمای دو پوسته شفاف (J)  | انتقال حرارت سالانه (J) | منطقه حرارتی |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------|
| ۱/۸                  | ۲/۱۱۷۷*۱۰ <sup>۱۱</sup>       | ۲/۱۵۷۳*۱۰ <sup>۱۱</sup> | کلاس ۱       |
| ۱/۴                  | ۲/۰۸۸۰*۱۰ <sup>۱۱</sup>       | ۲/۱۱۷۴*۱۰ <sup>۱۱</sup> | کلاس ۲       |
| ۱/۴                  | ۲/۰۸۷۵*۱۰ <sup>۱۱</sup>       | ۲/۱۱۷۱*۱۰ <sup>۱۱</sup> | کلاس ۳       |
| ۲/۵                  | ۲/۱۵۳۷*۱۰ <sup>۱۱</sup>       | ۲/۲۰۸۵*۱۰ <sup>۱۱</sup> | کلاس ۵       |
| ۲/۱                  | ۲/۱۳۰۵*۱۰ <sup>۱۱</sup>       | ۲/۱۷۵۵*۱۰ <sup>۱۱</sup> | کلاس ۶       |
| ۵/۲                  | ۲/۸۷۳۲*۱۰ <sup>۱۱</sup>       | ۳/۰۳۲۱*۱۰ <sup>۱۱</sup> | سایر فضاها   |
| ۱۴/۴                 | انرژی کل صرفه جویی شده سالانه |                         |              |

جدول ۱۳- تغییرات انرژی سالیانه و درصد ذخیره سازی انرژی قبل و بعد از ایجاد نمای دو پوسته شفاف مدرسه شهر اصفهان

Table 13. Changes of annual energy and energy storing percentage of two states, before and after making the view of two transparent shells of Isfahan city

| منطقه حرارتی                  | انتقال حرارت سالانه<br>(J) | ایجاد نمای دو پوسته شفاف<br>(J) | درصد ذخیره انرژی<br>(%) |
|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| کلاس ۱                        | $2/6847 \times 10^{11}$    | $2/6223 \times 10^{11}$         | ۲/۳                     |
| کلاس ۲                        | $2/6379 \times 10^{11}$    | $2/5886 \times 10^{11}$         | ۱/۹                     |
| کلاس ۳                        | $2/6394 \times 10^{11}$    | $2/5893 \times 10^{11}$         | ۱/۹                     |
| کلاس ۵                        | $2/7629 \times 10^{11}$    | $2/6777 \times 10^{11}$         | ۳/۱                     |
| کلاس ۶                        | $2/7142 \times 10^{11}$    | $2/6432 \times 10^{11}$         | ۲/۶                     |
| سایر فضاها                    | $4/015 \times 10^{11}$     | $3/7314 \times 10^{11}$         | ۶/۷                     |
| انرژی کل صرفه جویی شده سالانه |                            |                                 | ۱۸/۵                    |

#### بحث و نتیجه گیری

نتایج تحقیقات انجام شده در خصوص بهینه سازی جداره های ساختمان دو مدرسه مدل سازی شده در نرم افزار انرژی پلاس مورد تحلیل قرار گرفت و میزان انتقال حرارت از جداره های مدرسه در دو شهر استخراج شد. داده های خروجی نرم افزار شبیه ساز انرژی نشان داد که میزان انتقال حرارت به ترتیب در شیراز و اصفهان تقریباً معادل ۱۳ تا ۱۷ ژول انرژی است که این داده ها بیانگر این است که میزان انتقال حرارت در ساختمان تیپ مدرسه واقع در دو شهر متفاوت است. بدین ترتیب باید بهینه سازی جداره ها در هر شهر با ویژگی متفاوت مد نظر قرار گیرد.

جهت بهینه سازی جداره ها تکنیک های عایق سازی سقف و دیوارها، ایجاد سایبان و نمای دو جداره پیشنهاد شد. جهت بهینه سازی سقف و دیوارها ابتدا مقدار ظرفیت حرارتی بهینه برای سقف و دیوار محاسبه، سپس ضخامت بهینه عایق پلی یوران با توجه به ظرفیت حرارتی بدست آمده محاسبه شد، میزان صرفه جویی انرژی پس از بهینه سازی جداره ها در جدول ۱۴ نشان داده شده است. در شیراز تکنیک عایق سقف و در اصفهان تکنیک نمای دو جداره بیشترین صرفه جویی در

مصرف انرژی را ایجاد کرد. کمترین میزان صرفه جویی در مصرف انرژی مربوط به تکنیک های عایق دیوارهای خارجی و سایبان پنجره جنوبی به ترتیب برای شهرهای شیراز و اصفهان بود. همچنین نتایج تحلیل بیانگر این مهم است که در شهر شیراز سایبان افقی جنوبی به عمق ۱ متر و عایق سقف به ضخامت ۵ سانتی متر و عایق جداره های عمودی به ضخامت ۸ سانتی متر و نمای دو پوسته شفاف تهویه شونده (به فاصله ۷۰ سانتی متر) بیشترین کاهش مصرف انرژی را در پی خواهد داشت. در حالی که این داده برای شهر اصفهان شامل: سایبان افقی جنوبی به عمق ۱/۲ متر و عایق سقف به ضخامت ۱۰ سانتی متر و عایق جداره های عمودی به ضخامت ۸ سانتی متر به همراه استفاده از آجر صنعتی مشبک و نمای دو پوسته شفاف تهویه شونده به فاصله ۷۰ سانتی متر، می باشد. بدین ترتیب فرض تفاوت مقدار بهینه مصالح برای دو شهر اصفهان و شیراز برای یک مدرسه واحد نمونه" مورد تایید است. پس از اعمال هر چهار تکنیک در ساختمان مدرسه در شهر اصفهان و شیراز به ترتیب ۶۰/۸ و ۴۸/۲ درصد در مصرف انرژی صرفه جویی شد. (جدول ۱۵)



## جدول ۱۴- درصد صرفه جویی انرژی در دو شهر اصفهان و شیراز به تفکیک تکنیک های بهینه سازی جداره ها

Table 14. Energy saving percentage in two cities of Isfahan and Shiraz by separating the techniques of envelopes retrofit

| اصفهان  | شیراز  | تکنیک بهینه سازی جداره                          |
|---------|--------|-------------------------------------------------|
| ٪ ۲۴    | ٪ ۱۹   | اضافه کردن عایق حرارتی پلی یوران در دیوار خارجی |
| ٪ ۳۳/۴  | ٪ ۲۶   | اضافه کردن عایق حرارتی پلی یوران بر بام         |
| ٪ ۱۸/۹  | ٪ ۱۹/۲ | استفاده از سایبان افقی بر پنجره جنوبی           |
| ٪ ۱۸/۵۳ | ٪ ۱۴/۴ | ایجاد نمای دو پوسته شفاف                        |

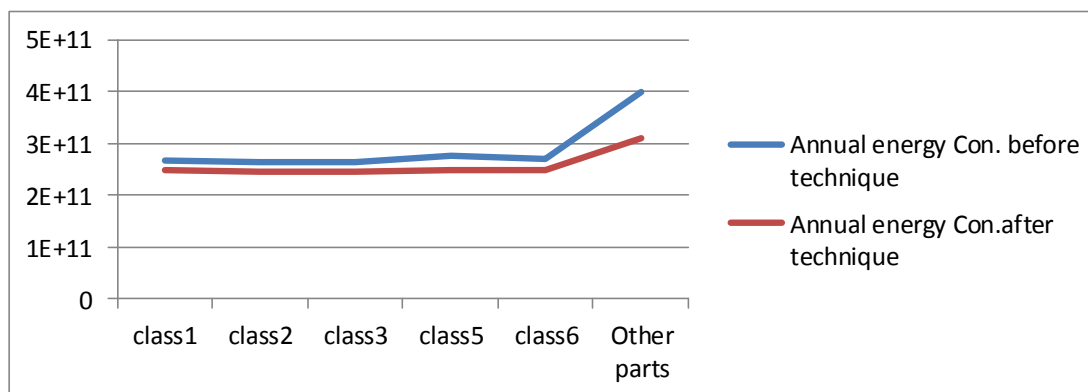
## جدول ۱۵- میزان کل صرفه جویی در مصرف انرژی ساختمان مدرسه در دو شهر اصفهان و شیراز

Table 15. Total rate of saving in energy consumption of school building in two cities of Isfahan and Shiraz

| درصد صرفه جویی در مصرف انرژی |           | منطقه حرارتی                  |
|------------------------------|-----------|-------------------------------|
| اصفهان (%)                   | شیراز (%) |                               |
| ۷/۶۷                         | ۶/۱۴      | کلاس ۱                        |
| ۶/۲۵                         | ۴/۷۶      | کلاس ۲                        |
| ۶/۲۹                         | ۴/۷۴      | کلاس ۳                        |
| ۹/۹۵                         | ۸/۱       | کلاس ۵                        |
| ۸/۳۸                         | ۶/۷۳      | کلاس ۶                        |
| ۲۲/۲۴                        | ۱۷/۷۷     | سایر فضاها                    |
| ۶۰/۷۷                        | ۴۸/۲۴     | انرژی کل صرفه جویی شده سالانه |

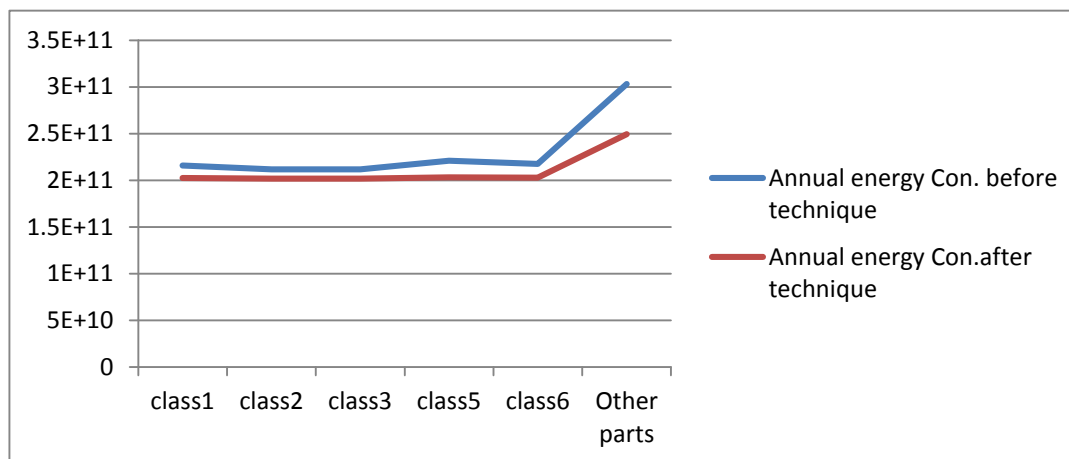
ساختمان در مدرسه مهیا ساخت. بنابراین در پاسخ به سوال تحقیق باید عنوان داشت که صرفا با قرارگیری شهرها در دسته بندی کلان اقلیمی گرم و خشک نمیتوان پلان مشابه و تیپ طراحی و اجرا کرد. داده های تحلیلی این پژوهش نشان داد که عملکرد حرارتی ساختمان مدرسه با یک پلان واحد در شهرهای شیراز و اصفهان (هر دو واقع در اقلیم گرم و خشک) یکسان نمی باشد. و تکنیک های طراحی غیر فعال مورد استفاده در طراحی بنا بایستی متفاوت و بر اساس داده های اقلیمی هر منطقه محاسبه و پیشنهاد گردد. جهت تحقیقات آتی پیشنهاد میگردد: زمان بازگشت هزینه استفاده از تکنیک های غیر فعال و بهره وری اقتصادی این طرح مورد پژوهش قرار گیرد.

تغییرات مصرف انرژی سالانه قبل و بعد از اجرای تکنیک های چهارگانه یاد شده در نمودارهای ۳ و ۴ به ترتیب برای شهر اصفهان و شیراز نشان داده شده است. همانگونه که نمودارها نشان داد تغییرات انرژی بعد از اجرای تکنیک ها کاهش چشمگیری داشته است. چنانچه مشخص است پس از اجرای تکنیک بهینه سازی جداره ها در کلاسها علاوه بر کاهش مصرف انرژی، میزان انتقال حرارت از جداره های کلیه کلاسها یکنواخت بوده است. که این امر باعث میشود که بار برودتی و حرارتی سالانه کلیه کلاسها یکسان باشد و با تمهید تاسیسات مکانیکی یکسان برای کلیه کلاسها میتوان دمای آسایش را در کلاسها ایجاد نمود و شرایط محیطی مناسب جهت کاربران و دانش آموزان به همراه صرفه جویی در مصرف انرژی کل



نمودار ۳- تغییرات مصرف انرژی سالانه قبل و بعد از اجرای تکنیک های بهینه سازی جداره ها در مدرسه شهر اصفهان

Diagram 3. Changes of annual energy consumption before and after applying the techniques of retrofit of envelopes in school of Isfahan city



نمودار ۴- تغییرات مصرف انرژی سالانه قبل و بعد از اجرای تکنیک های بهینه سازی جداره ها در مدرسه شهر شیراز

Diagram 4. Changes of annual energy consumption before and after applying the techniques of retrofit of envelopes in school of Shiraz city

Orientation on Annual Energy Consumption in Schools in Hot Arid Regions in Iran, Using Climate Modeling, Case Study: A Double-class School. ARMANSHAHR [Internet]. 2021; 14(34 ):23-40. Available from: <https://sid.ir/paper/982393/en>. (In Persian)

4. Nair, P., & Fielding, R. The Language of School Design: Design Patterns for 21st Century Schools. DesignShare.com: Prakash Nair & Randall Fielding. 2005.

## References

1. de Santoli, L., F. Fraticelli, F. Fornari, and C. Calice, Energy performance assessment and a retrofit strategy in public school buildings in Rome. Energy and Buildings, 2014. 68: p. 196-202.
2. Burcu Gulay Tascı, Project Based Learning from Elementary School to College, Tool: Architecture, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Volume 186, 2015, Pages 770-775.
3. Aibaghi Esfahani, H., Momeni K., Hassan pour, F. Impact of Building

- Environment, Volume 221, 2022, 109297, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109297>.
13. Laila Sokar, Abderrahim Brakez, Issam Sobhy, A scientific process for a sustainable architectural design: A case study of a rural pavilion in a hot semi-arid climate, *Journal of Building Engineering*, Volume 79, 2023, 107816, ISSN 2352-7102, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107816>.
  14. Yizhe Xu, Chengchu Yan, Dong Wang, Jun Li, Jingfeng Shi, Zefeng Lu, Qingsong Lu, Yanlong Jiang, Coordinated optimal design of school building envelope and energy system, *Solar Energy*, Volume 244, ۲۰۲۲, Pages 19-30, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.08.035>.
  15. Hikmat Ali, Rifqa Hashlamun, Envelope retrofitting strategies for public school buildings in Jordan, *Journal of Building Engineering*, Volume 25, 2019, 100819, ISSN 2352-7102, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100819>.
  16. Maite Gil-Baez, Ángela Barrios Padura, Marta Molina Huelva, Passive actions in the building envelope to enhance sustainability of schools in a Mediterranean climate, *Energy*, Volume 167, 2019, Pages 144-158, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.094>.
  17. Asadpour, H., Taherian, B., Asadpour, A. Application of Green School Site Selection Criteria to Increase Environmental Sustainability; Case
  5. Honardan, A. Farsi, T., The role of spatial planning (section separation and plan design) of educational uses in energy consumption. Second national conference of architecture and urban landscape. Mashhad, Iran. 2015. (In Persian)
  6. [www.dres.ir](http://www.dres.ir)
  7. National Standard of Iran. no 14254-3-1. (2022). (In Persian)
  8. Kang, H.J., & Rhee, E.K. Development of a Sustainable Design Guideline for a School Building in the Early Design Stage. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 2014; 13, 467 - 474.
  9. Gagilano, A., Pataniaa, F., Capizzi, G., A case study of energy efficiency retrofit in social housing units, *Energy Procedia* 42 .2013; 289-298.
  10. Fallah H. Determining the Most Efficient Window-to-Wall Ratio in Southern Faç ade of Educational Buildings in Kerman. *Naghshejahan* [Internet]. 2019; 9(2):105-115. Available from: <https://sid.ir/paper/249059/en>. (In Persian)
  11. Loft Ata, A. Effect of environmental factors on behaviors and learning, in educational spaces (especially elementary schools). *Urban management* [Internet]. 2008; 6(21):73-90. Available from: <https://sid.ir/paper/91958/en>. (In Persian)
  12. Carmen Díaz-López, Antonio Serrano-Jiménez, Konstantin Verichev, Ángela Barrios-Padura, Passive cooling strategies to optimise sustainability and environmental ergonomics in Mediterranean schools based on a critical review, *Building and*

- Architecture. Hamedan.Iran. 2011. (In Persian)
20. Zakeri, S, M., Honarmand, S. Measuring students' environmental satisfaction with school environmental components, a case study of four new and dilapidated elementary schools in Shiraz. *Soffeh*. 25 (70). 2015; 19-33. (In Persian)
  21. Soflaei, F., & Shokouhian, M., & Mofidi-Shemirani, S-M. Investigation of Iranian traditional courtyard as passive cooling strategy (a field study on BS climate). *International Journal of Sustainable Built Environment*. 5. 10.1016. 2015./j.ijsbe.2015.12.001
  22. [www.climate-chart.org](http://www.climate-chart.org)
  - Study: Fahadan Neighborhood of Yazd. *Armanshahr*[Internet]. 2022; 14(37):215-229. Available from: <https://sid.ir/paper/977421/en>. (In Persian)
  18. Majedi H., sadat siadati F. Green roof development in sustainable urban design solutions and suggestions, case study: garden - school. *Urban management* [Internet]. 2015; 14(38):215-240. Available from: <https://sid.ir/paper/92136/en>. (In Persian)
  19. Safari, Z., Malekmahmoodi, R. Green School as a sustainable view in educational spaces. *Second National Conference in Sustainable*