

بررسی تاثیر بهینه سازی پوسته خارجی و جدار نورگذر بر کاهش مصرف انرژی و زمان بازگشت سرمایه ساختمان های آموزشی در اقلیم معتدل با تابستان های خشک و بسیار گرم

چکیده:

محیط داخلی راحت برای سلامتی، عملکرد و بازدهی تحصیلی دانش آموزان در مدارس ضروری می باشد. میزان بالای مصرف انرژی جهت تامین شرایط آسایش محیطی در ساختمان های آموزشی ایران، این ساختمانها را با مصرف انرژی بیش از ۱۶۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در زمره بزرگترین مصرف کنندگان بخش انرژی قرار داده است و نیاز به کاهش مصرف انرژی در این بخش از طریق راهکارهای همساز با محیط زیست ضروریست. هدف این تحقیق کاهش مصرف انرژی و تامین شرایط آسایش در ساختمان های آموزشی از طریق ایجاد تغییرات در لایه بندی عناصر پوسته ساختمان شامل دیوارها و جدارهای نور گذر به عنوان یک راهکار ترکیبی ایستا است. روش تحقیق در این مطالعه به صورت کمی و مدل سازی آن از طریق استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر می باشد؛ و به بررسی وضع موجود و بهینه سازی انرژی ساختمان با متغیرهایی از قبیل؛ نوع عایق حرارتی، ضخامت عایق حرارتی دیوار ها، لایه بندی عایق، نوع و ضخامت شیشه، گازهای مابین جدار، ضخامت جدارها پرداخته شد. نتایج نشان داد که در ساختمان مورد مطالعه استفاده از عایق پلی اورتان در داخلی ترین لایه ی (لایه بندی شماره یک) کلاس درس های جنوبی و شمالی با ضخامت ۱۰ سانتی متر بهینه ترین عملکرد را داشته است. در کلاس درس شمالی جدار نور گذر دو جداره با شیشه کم گسیل و با ضخامت شیشه ۳ میلی متر و جدار میانی ۱۳ میلی متری گاز آرگون (پنجره نوع ۵) با ۲۸،۴۰ درصد کاهش مصرف انرژی و همچنین در کلاس درس جنوبی با پنجره های با جدار نور گذر سه جداره و شیشه معمولی ۳ میلی متر و ۱۳ میلی متر هوا (پنجره نوع ۷) با ۲۳،۰۴ درصد کاهش مصرف انرژی مناسب ترین عملکرد را در بین سایر پیکربندی ها داشته است. همچنین در محاسبه زمان بازگشت سرمایه مشخص شد که عایق پشم شیشه با زمان بازگشت سرمایه ۲۷،۹۲ سال مناسبترین گزینه عایق کاری از جنبه بازگشت سرمایه است.

کلیدواژه: مصرف انرژی، بهینه سازی انرژی، عملکرد حرارتی مدارس، عایق کاری حرارتی

Investigating the effect of optimizing external skins and translucent walls on reducing energy consumption and investment return time of educational buildings in a temperate climate with dry and very hot summers.

Amir Yarinezhad¹

Abbas Mahravan²

Abstract:

A comfortable indoor environment is essential for the health, performance, and academic efficiency of students in schools. The high amount of energy consumption to provide environmental comfort in Iran's educational buildings has placed these buildings among the biggest consumers of the energy sector with energy consumption of more than 160 kilowatt hours per square meter, and the need to reduce energy consumption in this sector through solutions It is necessary to be compatible with the environment. The purpose of this research is to reduce energy consumption and provide comfortable conditions in educational buildings by making changes in the layering of building shell elements including walls and light-transmitting walls as a static combination solution. The research method in this study is quantitative and its modeling through the use of Design Builder software; to examine the existing situation and optimize the energy of the building with variables such as; The type of thermal insulation, the thickness of the thermal insulation of the walls, the layering of the insulation, the type and thickness of the glass, the gases between the walls, the thickness of the walls were discussed. The results showed that in the studied building, the use of polyurethane insulation in the innermost layer (behind the carpentry plaster) of the south and north classrooms with a thickness of 10 cm had the most optimal performance. In the northern classroom, a double-paned light-transmitting wall with low-emissivity glass with a thickness of 3 mm and a middle wall of 13 mm argon gas with a 28.40% reduction in energy consumption, and in the southern classroom with windows with a triple-paned light-transmitting wall and normal glass. 3mm and 13mm of air have the best performance among other configurations with a 23.04% reduction in energy consumption. Also, in the calculation of the investment return time, it was found that glass wool insulation with an investment return time of 27.92 years is the most appropriate insulation option in terms of investment return.

Key words: energy consumption, energy optimization, thermal performance of schools, thermal insulation

زدنی در رابطه با صرفه جویی انرژی برای کل جامعه دارند، به عنوان یکی از نقاط آغازین پروژه های بهینه سازی انرژی در ایران به شمار می روند [۷].

آژانس بین المللی انرژی (IEA) اعلام کرد که ساختمان ها مصرف کننده اصلی انرژی در جهان هستند، به طوری که پوشش ساختمان مسئول ۳۶ درصد مصرف نهایی انرژی و ۳۹ درصد انتشار دی اکسید کربن (CO₂) در سال ۲۰۱۸ بوده است [۸]. همچنین یکی از استراتژی های غیرفعال اصلی صرفه جویی در انرژی، استفاده از ذخیره سازی انرژی حرارتی و اینرسی حرارتی برای حفظ آسایش حرارتی مطلوب داخل ساختمان و کاهش تقاضای انرژی ساختمان است [۹].

ساکنان اصلی مدارس کودکان و نوجوانانی هستند که میزان تنفس آنها بیشتر از بزرگسالان است و اندام ها و سیستم ایمنی آنها هنوز در حال رشد است، به این معنی که آنها در برابر آلاینده های داخل ساختمان و محیط های حرارتی نامطلوب آسیب پذیرتر هستند [۱۰]. همچنین فضای کلاس درس در طول فرآیند یادگیری دانش آموزان، تمرکز بیشتری برای بازدهی بیشتر نیاز دارد [۱۱]. در این راستا، معماری و کیفیت محیط داخل به طور مستقیم بر توانایی های یادگیری کودکان تأثیر می گذارد [۱۲]. یک محیط حرارتی نامطلوب می تواند بر سلامت و ظرفیت یادگیری دانش آموز تأثیر منفی داشته باشد [۱۳]، از این رو، طراحی و بهره برداری تخصصی مدرسه می تواند آسایش حرارتی، سلامت و عملکرد دانش آموزان را ضمن کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه ای بهبود بخشد [۱۴].

بر اساس گزارش اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده، انرژی مصرف شده در ساختمان های عمومی ۲۰،۱ درصد از کل انرژی را در سال های ۲۰۱۲ تا ۲۰۴۰ تشکیل می دهد که این نسبت در سطح جهانی ۱،۵ درصد و در کشورهای غیر عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OCDE) سالانه ۲،۱ درصد افزایش یابد [۱].

مصرف انرژی پس از رشد صنعت و شهرنشینی شدت یافته است، شهرنشینی با تأثیر بر تولید قادر است تا بر مصرف انرژی تأثیر روز افزون بگذارد [۲].

تغییرات اقلیمی آب و هوای ایران را گرمتر و خشک تر خواهد کرد. این افزایش در سختی شرایط مرزی حصول اطمینان از عملکرد مناسب ساختمانهایی با کارایی بالا که خواص ترموفیزیکی پوسته ای آنها برای سازگاری با آب و هوای فعلی بهینه شده است را در شرایط آب و هوایی آتی ضروری می نماید [۳].

در ایران حدود ۷۰ درصد از مصرف انرژی مرتبط با بخش ساختمان در ساختمانهای عمومی و دولتی به مصرف میرسد [۴]. همچنین مصرف انرژی در فضاهای آموزشی به عنوان یکی از مصرف کنندگان اصلی سوخت های فسیلی، موضوعی چالش برانگیز در سال های اخیر بوده است [۵].

علیرغم مصرف بالای انرژی که توسط یارانه های انرژی ترویج می شود، ارزیابی های پس از بهره برداری (POE) نارضایتی حرارتی را در کلاس های درس گزارش می کنند [۶]. از آنجایی که بخش ساختمان های عمومی از جمله مدارس نقشی مثال

شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد ساختمان‌های سرد و مرطوب تأثیر منفی بر سلامت و رفاه روانی دارند [۱۵]. دمای سرد داخل ساختمان، با مشکلات تنفسی و قلبی عروقی، از جمله افزایش فشارخون و علائم آسم و همچنین بهزیستی روانی ضعیف‌تر مرتبط است [۱۶]. زایلر و باکسم [۱۷] نشان دادند که دمای گرم باعث کاهش عملکرد ساکنین خواهد شد، در حالی که دمای سرد باعث کاهش انعطاف جسمی (ductility) و سرعت اجرای کار می‌شود. همچنین، رطوبت بالا ممکن است به دلیل افزایش اصطکاک بین پوست و لباس ناشی از افزایش تعرق، باعث ناراحتی حرارتی بیشتری شود. از سوی دیگر، رطوبت کم می‌تواند موجب تشدید علائم تنفسی مانند آسم و سوزش چشم، بینی و گلو گردد [۱۷].

عملکرد ضعیف انرژی ساختمان‌های موجود در بسیاری از کشورها سهم عمده‌ای در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد [۱۸]. حدود ۷۵ درصد از ساختمان‌های موجود در اروپا مصرف انرژی بالایی دارند [۱۹]. در کانادا، بیشتر از ۵۰ درصد از ساختمان‌های مسکونی این کشور بیش از ۳۰ سال و ۲۰ درصد از این ساختمان‌ها بیشتر از ۵۰ سال از ساختمان میگذرد [۲۰]. در جهان ساختمان‌های موجود عمدتاً از انواع انرژی تجدیدناپذیر استفاده می‌کنند که در حال تخریب مواد و مصالح ساختمانی و اجزا آن هستند [۲۱-۲۳]. در ایران، با توجه به ویرانی‌های ناشی از جنگ هشت‌ساله ایران-عراق از یک‌سو و رشد سریع جمعیت در دهه ۱۹۸۰ از سوی دیگر، امکان ساخت مدارس را در سطح وسیع و با کمترین هزینه ممکن فراهم کرد، چنین ساخت‌وسازهایی بدون توجه به

تغییرات آب‌وهوایی، معمولاً با مصالح و روش‌های ساخت‌وساز باکیفیت پایین اجرا شده‌اند. در نتیجه، بیش از صد هزار مدرسه با مصرف انرژی بیش از ۱۶۰ کیلووات ساعت بر مترمربع پس از پایان جنگ مذکور ساخته شد که حدود ۲٫۵ برابر بیشتر از مصرف انرژی در کشورهای توسعه‌یافته (با نرخ متوسط ۶۵ کیلووات ساعت در مترمربع) برای مدارس معمولی است [۷]. بنابراین، ساختمان‌های موجود انرژی بیشتری مصرف می‌کنند و در نتیجه گازهای گلخانه‌ای بیشتری را در مقایسه با ساخت‌وسازهای جدید انتشار می‌دهند [۲۴]. [۲۵].

مطالعات نشان داده‌اند که شرایط محیطی داخلی در زیرساخت‌های آموزشی به شدت به ویژگی‌های معماری و جزئیات اجرایی که شامل چیدمان، جهت‌گیری، پیکربندی (configuration)، ویژگی‌های پوشش حرارتی ساختمان، نسبت پنجره به دیوار و سایه بان خارجی ساختمان‌ها بستگی دارد [۲۶]. همچنین سطح آسایش حرارتی داخل ساختمان نه تنها بر محیط حرارتی داخلی تأثیر می‌گذارد، بلکه بر مصرف انرژی ساختمان نیز تأثیر می‌گذارد. به طور کلی، هر چه آسایش حرارتی ساختمان بیشتر باشد، مصرف انرژی آن نیز بیشتر است [۲۷].

۲- پیشنهاد تحقیق:

ساداتی و همکاران [۲۸]، عملکرد حرارتی یک ساختمان را با استفاده از روش شبیه‌سازی در سه منطقه مختلف اقلیمی ایران (اقلیم گرم کویر، نیمه خشک سرد و آب و هوای مدیترانه‌ای قاره‌ای) مورد بررسی قرار دادند. بر اساس یافته‌ها، انتخاب مصالح

دیواری مناسب بر اساس شرایط آب و هوایی می تواند بارهای گرمایشی و سرمایشی سالانه و همچنین انتشار دی اکسید کربن را به ترتیب تا ۲۳,۲، ۲۶,۴ و ۱۸,۵ درصد کاهش دهد. بر اساس تحلیل های اقتصادی، زمان بازپرداخت بین ۱,۷ تا ۱۷ سال بسته به شرایط اقلیمی و نوع دیوارهای خارجی متغیر است [۲۸].

یوسفی و همکاران [۲۹]، عملکرد انرژی ساختمان ۹ مدرسه دولتی را باهدف ارزیابی پوسته آن ها در سناریوهای مختلف در سه شهر ایران شامل ایلام، تبریز و یزد را شبیه سازی کردند، نتایج نشان داد که مصرف گاز طبیعی برای گرمایش در همه سناریوهای از پیش تعیین شده به جز سناریوی اضافه کردن سایه اندازی پنجره، کاهش یافته است. بیشترین کاهش مصرف انرژی در شهر یزد متعلق به عناصر دیوارها و پس از آن سقف و پنجره به ترتیب برابر با ۴۲ درصد ۳۳ درصد و ۸ درصد بود. نتایج نهایی اجرای تمامی سناریوها شامل نسبت مساحت دیوار و پنجره، مصالح بکار رفته و سایه اندازی حاکی از کاهش معنادار مصرف گاز طبیعی به میزان ۷۹ درصد در ایلام، ۷۴ درصد در یزد و ۶۳ درصد در تبریز بود. جانگ و همکاران [۲۴]، در مطالعه ی خود در کره جنوبی، نشان دادند که سه راهکار شامل اصلاح پوسته خارجی ساختمان، روش های مقرون به صرفه گرمایش و ابعاد واحدهای ساختمانی می تواند باعث کاهش ۷۰,۹ درصدی مصرف انرژی در سال شود.

کونگدو و همکاران [۳۰]، از روش بهینه یابی شامل؛ پیکربندی عایق کاری (نوع، ضخامت) و انواع پیکربندی پنجره (شیشه، فواصل جدارها، ضخامت ها، قاب ها) در دو ساختمان مهدکودک و پیش دبستانی موجود که

سن، مصالح و سیستم های متفاوتی دارند در منطقه مدیترانه ارائه دادند. نتایج نشان داد که ترکیب: پانل های الیاف کفنی با ضخامت ۶ سانتی متر، قاب چوبی برای پنجره ها، پمپ حرارتی متمرکز با منبع حرارت هوا، فن کویل برای انتشار با تهویه مکانیکی کنترل شده و سیستم فتوولتائیک متشکل از ۱۸ پنل با حداکثر توان ۴/۵ کیلووات و بازدهی ۱۷ درصد، به میزان ۸۵ درصد مصرف انرژی اولیه و ۸۲ تا ۸۳ درصد انتشار گازها را در هر ساختمان کاهش می دهد.

گوپتا و دب نشان دادند که عایق کاری پوشش ساختمان بیشترین تاثیر را در صرفه جویی انرژی دارد. متغیرهای جهت ساختمان و جرم حرارتی مصالح ساختمانی کمترین تاثیر را بر مصرف کل انرژی دارند. همچنین با ترکیب همه متغیرها و تهویه مناسب، یک ساختمان می تواند ۳۵ درصد انرژی سالانه و در برخی موارد تا ۶۰ درصد صرفه جویی کند [۳۱].

کاتافیگیتو و همکاران [۳۲]، در تحقیقی، جزئیات اجرایی شیوه های معمول و مصرف انرژی به روش شبیه سازی را در ساختمان دبیرستان های سه منطقه آب و هوایی، ساحلی، داخلی و کوهستانی کشور قبرس را مورد بررسی قرار دادند. آنها شش سناریوی بهینه سازی (افزودن پلی استایرن اکستروود شده ۵ سانتی متری روی سقف، افزودن پلی استایرن اکستروود شده ۵ سانتی متری بر روی دیوارهای پوسته خارجی و سقف، تعویض پنجره های تک جداره با دوجداره، کاهش تهویه مطبوع، افزایش راندمان سیستم گرمایش و سرمایش، نصب سلول های خورشیدی در پشت بام ساختمان) را تحلیل کردند و نتایج نشان داد، افزودن پلی استایرن اکستروود شده ۵ سانتی متری روی سقف

۱۶,۵ درصد، همزمان روی دیوارها و سقف ۳۱,۹ درصد، تعویض پنجره های تک جداره با دوجداره ۳,۶ درصد و افزایش راندمان سیستم گرمایش و سرمایش ۲۳,۵ درصد باعث کاهش مصرف انرژی می شود.

الویت‌بندی و همکاران [۳۳]، تأثیر عایق حرارتی، نسبت پنجره به دیوار و ترکیبی از این عوامل را بر ساختمان مدرسه ای در شهر طائف عربستان سعودی با آب‌وهوایی گرم، با استفاده از برداشت های میدانی و شبیه سازی نرم افزاری بررسی کردند. این مطالعه نشان داد که ترکیبی از عایق حرارتی همراه با به حداقل رساندن نسبت پنجره به دیوار در ساختمان‌های موجود در مناطق گرم و خشک مورد نیاز است. عایق حرارتی باید در لایه بیرونی دیوارهای خارجی و به ویژه در کلاس های رو به جنوب و مرتبط با جنوب از جمله جنوب، جنوب غربی و جنوب شرقی اعمال شود. نماهای های شمالی به دلیل به حداقل رساندن هزینه های اصلاح باقی می ماند علاوه بر این، توصیه شد که نسبت پنجره به دیوار نباید برای نماهای ساختمان‌های شمال غربی، جنوب شرقی و جنوب غربی به ترتیب از ۳۵٪، ۲۵٪ و ۲۰٪ تجاوز کند.

جی هان پارک و همکاران [۳۴]، در تحقیق خود به بررسی یک ساختمان آموزشی هنرستان چهار طبقه با مساحت ۳۸۸۳ مترمربع پرداختند، که با تبدیل سالن سخنرانی به سالن موسیقی و حذف پنجره‌های آن و همچنین سایه‌اندازی بر روی پوسته خارجی ساختمان و اعمال مواد تغییر فاز دهنده موجب کاهش ۴۴ درصدی مصرف انرژی و افزایش ۳۴ درصدی ساعات آسایش حرارتی شدند.

م.جرادی و همکاران [۳۵]، بهینه‌سازی عمیق انرژی یک ساختمان اداری در دانمارک را بررسی کردند و نتایج تحقیق نشان داد که مصرف انرژی اولیه کلی ساختمان به اندازه ۱۷۶,۱۱ کیلووات ساعت بر مترمربع در بخش مصرف انرژی گرمایشی است که ۶۵ درصد آن برای گرمایش فضا و آب گرم خانگی است. بر این اساس، ۸ سناریوی پیشنهادی بهینه‌سازی عمیق انرژی شامل، مجموعه روشنایی کارآمد، حسگرهای نور روز در فضاهای باز و راهروها، عایق‌کاری سقف و دیوارهای بیرونی و کنترل نقطه تنظیم و شروع گرمایش تحلیل شد. این مجموعه بهینه‌سازی انرژی مصرف انرژی اولیه را به ۷۰,۴۴ کیلووات ساعت بر مترمربع کاهش داد تا ساختمان با مقررات انرژی ساختمان دانمارک مطابقت داشته باشد. همچنین از طریق نصب یک سیستم فتوولتائیک ۲۰ کیلوواتی بر روی پشت‌بام، ساختمان را در رده ساختمان کم انرژی با مصرف انرژی ۴۱,۳۹ کیلووات ساعت بر مترمربع قرارداد.

م. تحصیلدوست و همکاران [۷]، در تحقیق سه مرحله‌ای شامل؛ ارزیابی اولیه عملکرد ساختمان و ارائه پیشنهاد های مقاوم‌سازی، بهینه‌سازی و اولویت‌بندی سناریوها بر اساس شبیه‌سازی انرژی و زمان بازگشت (PBT) و ارزیابی تکنیک‌های اجرا شده، به ارائه روش مقاوم‌سازی دو مدرسه معمولی ساخته شده قبل و بعد از سال ۲۰۰۰ در تهران- ایران پرداختند. آن‌ها نشان دادند که هوابندی، تعویض نوع پنجره و عایق کاری سقف از کارآمدترین سناریوها برای بازسازی هستند. علاوه بر کاهش مصرف انرژی ۲۹,۸۷ درصدی در ساختمان قدیمی و ۳۸,۲۹ درصدی در ساختمان

جدید، پس از اجرای مقاوم‌سازی در بررسی‌های پرسشنامه‌ای نیز بهبود کیفیت محیط داخلی را تأیید کرد.

راجی و همکاران [۳۶]، سعی کردند اندازه ابعاد بهینه پنجره را برای ساختمان‌های اداری در سه اقلیم مختلف: معتدل، نیمه گرمسیری و گرمسیری پیدا کنند. آن‌ها دریافتند که نسبت پنجره به دیوار بهینه، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد برای آب‌وهوای معتدل، بین ۳۵ تا ۴۵ درصد برای آب‌وهوای نیمه گرمسیری و بین ۳۰ تا ۴۰ درصد در آب‌وهوای گرمسیری می‌باشد. در آب‌وهوای گرم و خشک که آسمان صاف و تشعشعات خورشیدی شدید است، جدارهای بزرگ می‌توانند نور روز را بیشتر کنند اما بار سرمایشی را افزایش می‌دهند. همچنین ال دیب [۳۷]، اظهار داشت که نسبت پنجره به دیوار بهینه باید بین ۸ تا ۱۵ درصد در ساختمان‌های مسکونی مصر باشد.

م. طاهباز و همکاران [۳۸]، در پژوهشی به بررسی هم‌زمان درصد سطوح شفاف نما و جهت‌گیری بنا بر میزان مصرف انرژی مدارس در اقلیم معتدل و مرطوب ایران پرداختند، نشان دادند که جهت‌گیری بهینه بنا سمت جنوب است و همچنین درصد بهینه سطوح شفاف بنا بسته به جهت‌گیری می‌تواند ۴۰ تا ۵۵ درصد متغیر باشد.

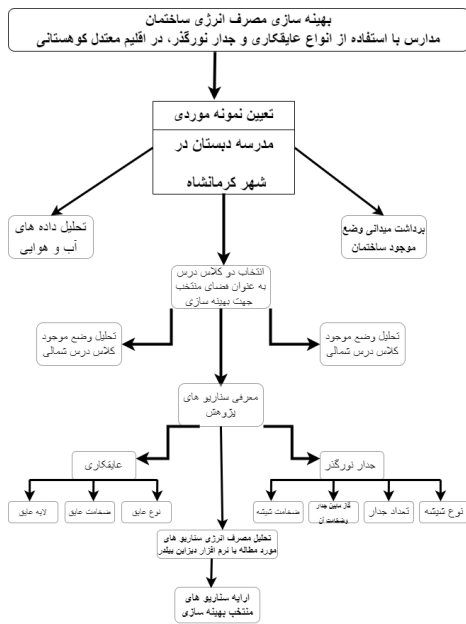
با توجه به مطالعات قبلی، عایق بندی تمامی پوشش‌ها و پوشش کم گسیل پنجره‌های موجود [۳۹-۴۴]، سیستم سایه بان متحرک خارجی، طراحی و نصب سیستم مدیریت انرژی از راه دور [۴۲]، جایگزینی

سیستم تهویه مکانیکی موجود با سیستم جدید تهویه طبیعی طراحی شده [۴۵] به عنوان روش‌های مقاوم سازی انرژی موثر ذکر شده است از ۳۰ تا ۵۰ درصد کاهش تقاضای انرژی اولیه سالانه را در شرایط مختلف آب و هوایی ممکن کند.

با توجه به پیشینه پژوهش، بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهند که سازمان‌های بین‌المللی، محققین و سیاستمداران کشورها درصدد بهینه‌سازی مصرف انرژی بخش ساختمان‌های موجود با سن زیاد بدون تخریب آن هستند. مطالعات انجام‌شده همگی نشان‌دهنده اهمیت این موضوع هستند و راهکارهای متنوعی نیز ارائه کرده‌اند. این تحقیق می‌تواند سوال؛ راهبرد های غیر فعال بهینه‌سازی پوسته خارجی ساختمان تاجه میزان می‌تواند در مصرف انرژی ساختمان مدارس موجود با عمر بیش از سی سال تأثیر مثبت و قابل توجهی داشته باشد؟ را پاسخ دهد.

همچنین در مطالعات محدودی به پیکر بندی انواع تنظیمات عایق‌کاری و جدار نور گذر با توجه به سامانه طبقه بندی اقلیمی کوپن پرداخته شده است. در این تحقیق به معیار بازگشت سرمایه بهینه سازی انرژی پرداخته شده است که مطالعه خاصی با این رویکرد در ایران و اقلیم های مرتبط با آن انجام نشده است. همچنین مطالعات بر روی عایق‌های پسماند کشاورزی بسیار محدود می‌باشد که در این تحقیق به بررسی رفتار حرارتی عایق پسماند کشاورزی نیز پرداخته شده است.

۳- روش‌شناسی تحقیق:



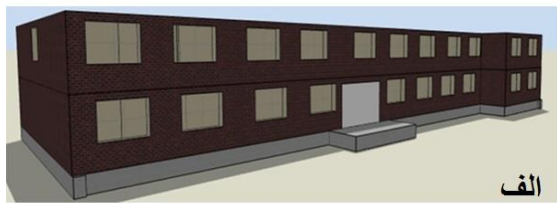
شکل ۱ فرایند انجام پژوهش

۱-۳-۳ مکان مورد مطالعه:

طبق سامانه طبقه بندی اقلیمی کوپن (Köppen- Geiger)، اقلیم معتدل با تابستان‌های خشک و بسیار گرم، از نوع Csa معمولاً میان عرض‌های جغرافیایی ۳۰ درجه تا ۴۵ درجه دیده می‌شود که از ویژگی‌های آن میانگین دمای بیشتر از ۱۰ درجه سلسیوس در گرم‌ترین ماه سال است [۴۶]. آب و هوای معتدل «Csa» با تابستان‌های خشک و بسیار گرم بر بخش وسیعی از مناطق کوهستانی البرز در شمال و زاگرس در غرب کشور را در بر گرفته است [۴۷].

با توجه به این طبقه بندی، مکان مورد مطالعه، شهر کرمانشاه - ایران، با معتدل با تابستان‌های خشک و بسیار گرم با موقعیت جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و ۴۷ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۰۵ متر از سطح دریا است. مطابق شکل ۲ که میانگین

روش تحقیق در این پژوهش مدل سازی و شبیه سازی و استفاده از برداشت‌های میدانی است. هدف این پژوهش دستیابی به مصرف انرژی کارآمد با استفاده از بهینه سازی انرژی در ساختمان موجود یک دبستان در اقلیم شهر کرمانشاه است. در راستای رسیدن به هدف پژوهش به شناخت رفتار حرارتی و شرایط آسایش در ساختمان مرجع و سپس ارائه بهینه سازی انرژی با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر (Design Builder) نسخه ۶٫۱ پرداخته شد. مراحل و فرایند انجام این پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است. در ابتدا نمونه موردی انتخاب شده و با بازدیدهای میدانی اطلاعات فنی ساختمان برداشت شد و سپس به تحلیل وضع موجود ساختمان پرداخته و دو کلاس درس به عنوان فضای منتخب، جهت بهینه سازی انرژی مصرفی به وسیله نرم افزار دیزاین بیلدر مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی اعم از عایق کاری حرارتی در انواع پیکربندی‌ها، شامل: نوع عایق، ضخامت عایق، موقعیت عایق در لایه بندی و همچنین پیکربندی جدار نور گذر در انواع: ضخامت شیشه، گازهای مابین جداره، نوع شیشه، تعداد جدار پرداخته شده است.



الف

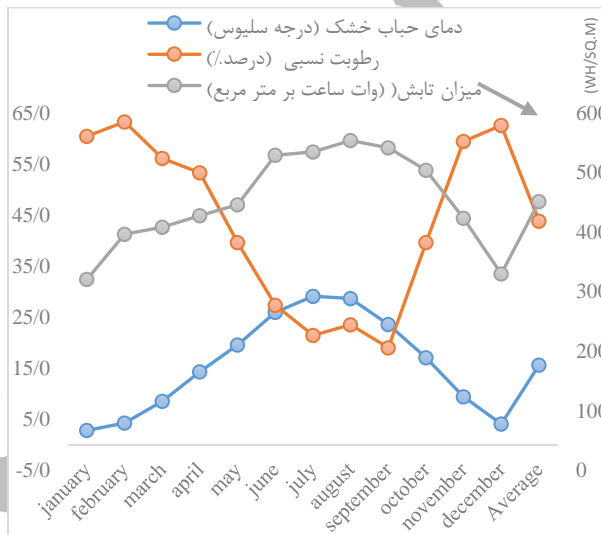


ب

شکل ۳. الف: نمای مدل‌سازی شده ساختمان در نرم‌افزار دیزاین بیلدر، ب: وضع موجود ساختمان مدرسه احسان

در شبیه‌سازی ساختمان موجود دو کلاس درس مطابق شکل ۴ به ابعاد ۵,۲*۶,۶ متر به‌عنوان فضای نمونه و نماینده فضاهای دیگر مورد بررسی قرار گرفتند، یکی از کلاس‌ها در جبهه جنوبی ساختمان و کلاس دیگر در جبهه شمالی ساختمان قرار دارد. همچنین فضاهای مجاور کلاس‌های درس به‌عنوان فضای کنترل نشده، جهت ارائه دقیق‌تر نتایج مطالعه، مورد بررسی قرار گرفت.

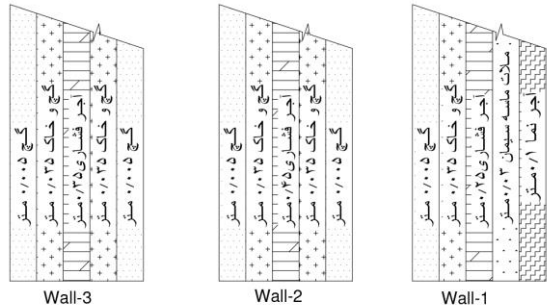
دمای هوای ماهانه، میزان تابش و رطوبت نسبی مکان مورد مطالعه را نشان می‌دهد، میانگین دمای هوای ماهانه ۱۵,۶۳ درجه سلسیوس، میانگین رطوبت نسبی ۴۳,۸ درصد و میانگین میزان تابش خورشیدی ۴۵۱,۵ وات ساعت بر متر مربع می‌باشد. همچنین میانگین سرعت باد در این اقلیم ۲,۴۸ متر بر ثانیه است.



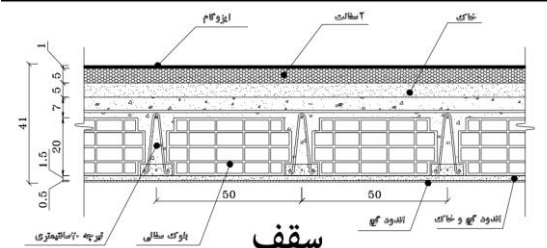
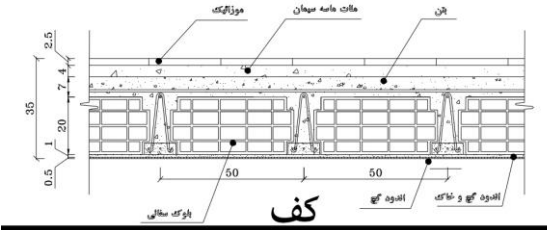
شکل ۲ میانگین دمای هوای ماهانه، میزان تابش و رطوبت نسبی شهر کرمانشاه

۲-۳ ساختمان مورد مطالعه:

ساختمان مورد مطالعه در این پژوهش مدرسه‌ای دو طبقه ۱۴ کلاسه بانام احسان (شکل ۳)، واقع در شهر کرمانشاه-ایران به مساحت ۱۳۱۰ مترمربع زیربنا می‌باشد. پلان‌های این ساختمان در شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس برداشت‌های میدانی و به‌عمل آمده از ساختمان و همچنین با استفاده از نقشه‌های ازبیلت تهیه شده از سازمان نوسازی مدارس استان کرمانشاه، مشخصات ترموفیزیکی مصالح استفاده شده در این ساختمان در جدول ۱ نشان داده شده است.



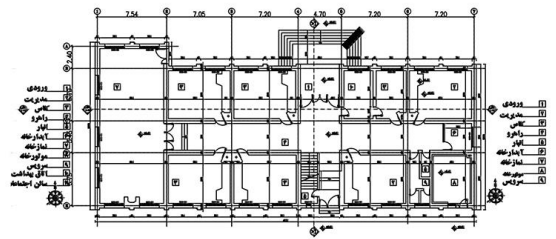
Wall-3 Wall-2 Wall-1



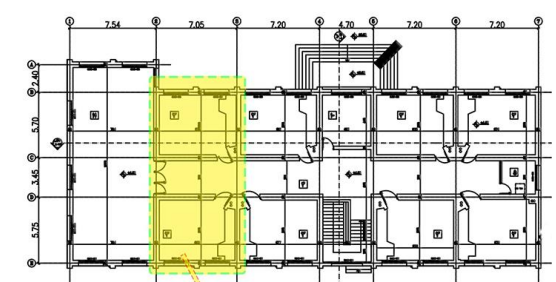
شکل ۵ جزئیات اجرایی انواع دیوار، کف و سقف ساختمان نمونه

۳-۳ داده‌ها و ابزارهای مورد استفاده:

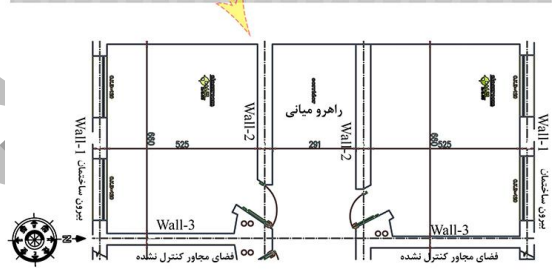
در این مطالعه داده‌های آب‌وهوایی از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی و نرم‌افزار (Climate consultant) تهیه شد و شبیه‌سازی ساختمان با استفاده از نقشه‌های ازبیلت و استخراج از نرم‌افزار اتوکد در نرم‌افزار دیزاین بیلدر ورژن ۶٫۱ با استفاده از فایل Epw وارد شد. مصالح و جزئیات استفاده‌شده در ساختمان از سازمان نوسازی مدارس استان کرمانشاه و بازدیدهای میدانی تهیه گردید.



طبقه همکف



طبقه اول



شکل ۴ بالا: پلان طبقه همکف و اول ساختمان مدرسه احسان / پایین: فضای منتخب در دو کلاس درس شمالی و جنوبی

مطابق با شکل ۵ دیوار کلاسهای مورد مطالعه از سه تیپ با نام wall1_3 تشکیل شده‌اند. wall1 دیوارهای خارجی، wall2 دیوارهای غربی و دیوارهای مجاور راهرو و wall3 دیوارهای شرقی که در جدول ۱ همراه با مشخصات ترموفیزیکی سقف و کف نشان داده شده است.

مشخصات مصالح ساختمان مرجع

متریال	ضخامت	هدایت حرارتی	چگالی	گرمای ویژه
	m	w/m.k	kg/m ³	j/kg-k
آجرنما	0.1	0.84	1700	800
ملات ماسه	0.03	0.72	1860	840
سیمان				
آجر فشاری	0.22	0.72	1920	840
ملات گچ و خاک	0.035	1.1	1680	840
گچ نازک کاری	0.005	0.57	1000	1000
ایزوگام	0.004	0.23	1100	1000
آسفالت	0.05	0.7	2100	1000
خاک بر پایه شن	0.05	0.52	2050	180
بتن هوادهی	0.07	0.16	500	840
کرسی چینی	0.2	1.4	2200	840
سنگی				
موزاییک کف	0.025	1.35	1890	880

مشخصات بازشوهای ساختمان مرجع

نوع شیشه	تعداد جدار	ضخامت	پروفیل	هدایت حرارتی
		شیشه	قاب	
ساده	۱	۳	فولادی	۰,۹
			میلی متر	

جدول ۱ مشخصات ترموفیزیکی مصالح استفاده شده در ساختمان

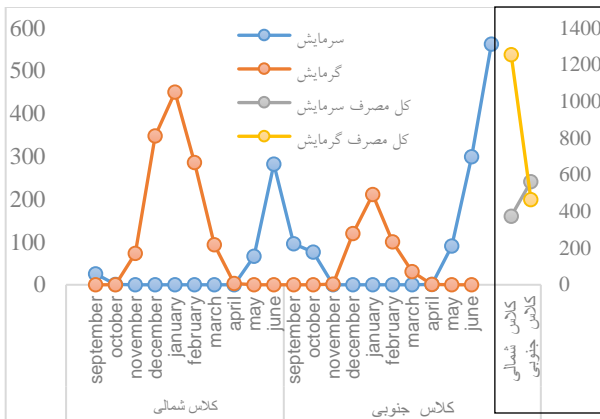
طبیعی نیز ۲۴ درجه سلسیوس در نظر گرفته است که مطابق با کتابخانه انرژی پلاس است.

در کلاس های عمومی این ساختمان هیچ گونه کامپیوتر و تجهیزات اداری برقی وجود ندارد، بر همین مبنا در این مطالعه از چگالی و مصرف انرژی کامپیوتر و تجهیزات اداری در تمام فضا صرف نظر شده است. روشنایی مصنوعی در این ساختمان نیز با توجه به برنامه زمانی آن خاموش فرض شده است. سیستم سرمایش ساختمان با استفاده از کولر آبی با ضریب بازدهی (COP) ۰,۷۰ و گرمایش آن با استفاده از سیستم موتورخانه مرکزی و میزان ضریب بازدهی ۰,۸۵ می باشد. همچنین ضریب نشت و نفوذ هوا (infiltration)، برابر ۰,۵ تعویض هوا در ساعت (Ac/h) می باشد و از میزان انرژی برای آب گرم مصرفی در این مطالعه چشم پوشی شده است.

۳-۴ رفتار حرارتی ساختمان موجود:

در شبیه سازی کلاسه های مورد مطالعه، به تحلیل شاخص های آسایش حرارتی ساختمان (شکل ۶) و میزان مصرف انرژی (شکل ۷) پرداخته شد.

در ساختمان مرجع، دوره فعالیت مدرسه از دهم شهریور ماه تا دهم تیر ماه و برنامه ساعتی فعالیت ساختمان از ساعت ۸ تا ۱۴ می باشد که دو روز تعطیلات در هر هفته نیز لحاظ شده است، همچنین نرخ متابولیک فعالیت افراد خردسال ۰,۷۵ و ضریب لباس ساکنین نیز در زمستان ۱,۰۰ و در تابستان ۰,۵۰ در نظر گرفته شده است. دمای نقطه شروع گرمایش ۲۰ درجه سلسیوس و دمای نقطه شروع سرمایش برابر ۲۸ درجه سلسیوس مطابق مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ایران است و همچنین دمای شروع تهویه



شکل ۷ میزان مصرف انرژی در فضاهای مورد مطالعه ساختمان

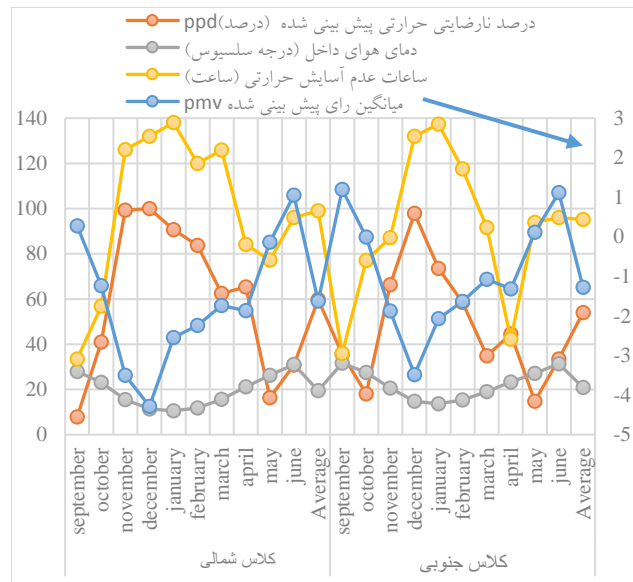
با توجه به شکل ۷ میزان مصرف انرژی در فضاهای کلاس درس مورد نظر در جبهه شمالی و جنوبی در طول دوره بهره برداری بررسی شد و نشان داد که مصرف انرژی گرمایش کل دوره مذکور در کلاس درس شمالی ۱۲۵۴٫۲ کیلووات ساعت و کل مصرف انرژی سرمایشی کلاس درس شمالی ۳۷۴٫۲ کیلووات ساعت است. همچنین، در کلاس درس جنوبی، مصرف انرژی گرمایش کل دوره برابر با ۴۶۴٫۳ کیلووات ساعت و مصرف انرژی سرمایش ۵۶۲٫۴ کیلووات ساعت در کل دوره بهره برداری ساختمان در یکسال است.

۴- یافته‌ها و نتیجه‌گیری:

۴-۱- پیکربندی عایق کاری

در بهینه‌سازی دو کلاس درس مورد مطالعه در مرحله اول شبیه‌سازی، به انواع عایق‌بندی حرارتی دیوار خارجی با توجه به جدول ۲ با ضخامت پیش فرض ۵۰ میلی‌متر و در لایه‌بندی تیپ ۱ مطابق شکل ۱۰ پرداخته شد.

۴-۱-۱- نوع عایق:



شکل ۸ بررسی آسایش حرارتی در وضع موجود ساختمان

شکل ۸، آمار شاخص‌های آسایش حرارتی و دمای هوا در کلاس‌های شمالی و جنوبی را نشان می‌دهد که شاخص میانگین رأی پیش‌بینی‌شده (pmv) در طول دوره بهره‌برداری (دهم شهریور ماه تا دهم تیر ماه)، در کلاس شمالی برابر ۱٫۳۹- و در کلاس جنوبی ۰٫۹۴- است. میانگین شاخص درصد ناراضی‌تی حرارتی پیش‌بینی‌شده (ppd) در کلاس شمالی ۵۵٫۷۷ درصد و کلاس جنوبی ۴۸٫۰۷ درصد می‌باشد. هرچند که میانگین دوره شاخص pmv در کلاس شمالی در ماه سپتامبر در محدوده آسایش قرار دارد اما مطابق با شکل و شاخص ساعات عدم آسایش حرارتی نشان می‌دهد که اکثر روزهایی که ساختمان در حال بهره‌برداری است، فضای مورد نظر در محدوده آسایش قرار ندارد و نشان‌دهنده هوای سرد فضا در کل دوره بخصوص سه ماه زمستان است. همچنین میزان ساعات عدم آسایش حرارتی در کلاس شمالی ۹۳۸ ساعت و در کلاس جنوبی ۸۳۸٫۲ ساعت است.

جدار خارجی فضای مورد نظر با ۶ نوع عایق حرارتی مختلف شامل، پلی استایرن منبسط شده (eps)، پلی استایرن اکسترود شده (xps)، پشم شیشه، پشم سنگ، پلی یورتان، مواد طبیعی- پوسته برنج در دو جبهه شمالی و جنوبی بررسی شد که مشخصات انواع عایق‌های مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است.

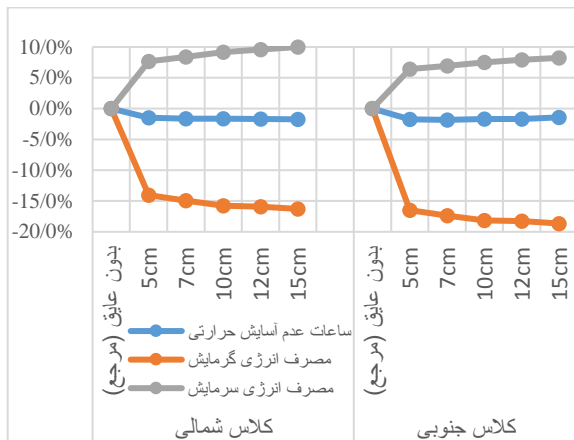
مشخصات ترموفیزیکی عایق‌ها			
نوع عایق	هدایت حرارتی	گرمای ویژه	چگالی
	w/m.k	j/kg-k	kg/m ³
پلی استایرن منبسط شده (eps)	0.040	1400	15
پلی استایرن اکسترود شده (xps)	0.034	1400	35
پشم شیشه	0.036	840	20
پشم سنگ	0.038	840	40
پلی یورتان	0.028	1470	30
مواد طبیعی- پوسته برنج	0.051	1000	120

جدول ۲ مشخصات انواع عایق‌های مورد مطالعه

با توجه به شکل ۸، بهینه یابی ۶ عایق حرارتی به ضخامت ۵ سانتی‌متر، در جدار خارجی کلاس‌های درس شمالی و جنوبی شبیه‌سازی شد و نتایج نشان می‌دهد که ۶ نوع عایق حرارتی تقریباً عملکرد یکسانی داشتند. با توجه به وضع موجود مصرف انرژی ساختمان در شکل ۷، افزودن عایق پلی اورتان به جدار خارجی کلاس درس شمالی، منجر به کاهش ۱۴,۰۷ درصدی (۱۷۶,۵ کیلو وات ساعت) مصرف انرژی گرمایشی در طول دوره و کاهش ۱,۵ درصدی ساعات عدم آسایش شده است. همچنین با توجه به پدیده آنتی اینزولیشن مصرف سرمایه‌های ساختمان، ۷,۶۶ درصد (۲۸,۷ کیلووات ساعت) افزایش یافته است. لازم به ذکر است که در کلاس درس شمالی، عایق پلی اورتان

مناسب‌ترین عملکرد را در بخش مصرف انرژی گرمایش، مواد طبیعی باروکش الیافی گیاهان مناسب‌ترین عملکرد را در بخش مصرف انرژی سرمایه‌های داشته است. در کلاس درس جنوبی نیز عایق پلی اورتان با ۱۶,۵۱ درصد (۷۶,۷ کیلووات ساعت) مناسب‌ترین عملکرد را در بخش مصرف انرژی گرمایش و مواد طبیعی-روکش الیاف گیاهی با ۵,۱۴ درصد (۲۸,۹ کیلووات ساعت) مناسب‌ترین عملکرد در بخش مصرف انرژی سرمایه‌های را دارد. همچنین عایق پلی اورتان با ضخامت ۵ سانتی‌متر در کل دوره شبیه‌سازی در کلاس درس شمالی با احتساب پدیده آنتی اینزولیشن به میزان ۹ درصد (۱۴۷,۸ کیلووات ساعت) کاهش مصرف انرژی سرمایه‌های و گرمایش داشته است. این میزان در کلاس درس جنوبی برابر با ۴ درصد (۴۰,۷ کیلووات ساعت) است. البته با توجه به اینکه کل مصرف انرژی سرمایه‌های در مدل بدون عایق در کلاس شمالی ۳۷۵ کیلووات ساعت و در کلاس جنوبی ۵۶۲ کیلووات ساعت است می‌توان از افزایش مصرف انرژی به دلیل پدیده آنتی اینزولیشن چشم‌پوشی کرد. عملکرد عایق‌های دیگر، در شکل ۸ نشان داده شده است.

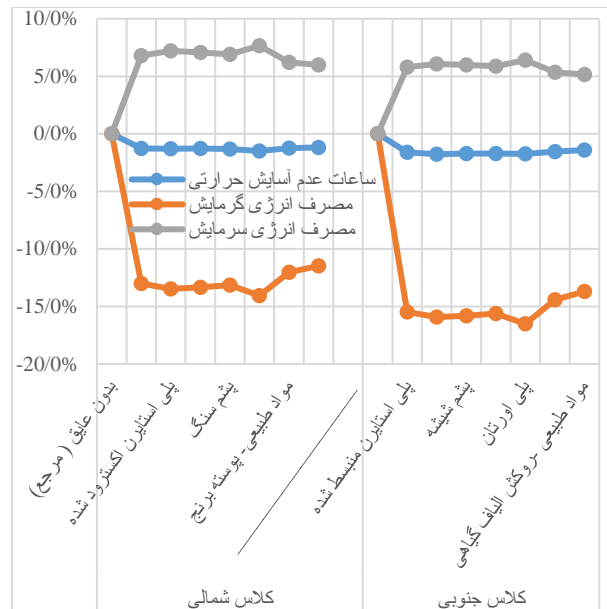
داشته است، علاوه بر این عایق پلی اورتان در مجموع سرمایش و گرمایش کلاس درس شمالی موجب کاهش ۱۰,۲۴ درصدی (۱۶۶,۷۱ کیلووات ساعت) شده است. همچنین عایق پلی اورتان ۱۵ سانتی متری موجب کاهش ساعات عدم آسایش به میزان ۱,۷۲ درصد در کلاس درس شمالی شده است.



شکل ۹ تأثیر ضخامت عایق پلی اورتان بر مصرف انرژی و آسایش حرارتی

با توجه به شکل ۹، در کلاس درس جنوبی نیز ضخامت های ۵-۷-۱۰-۱۲-۱۵ شبیه سازی شد که نتایج آن، کاهش مصرف انرژی گرمایش به ترتیب به میزان ۱۶,۵۱، ۱۷,۳۶، ۱۸,۱۶، ۱۸,۲۷، ۱۸,۶۵ درصد را نشان می دهد و در مصرف انرژی سرمایش با ایجاد پدید آنتی اینزولیشن به ترتیب به میزان ۶,۹۱، ۶,۴، ۷,۵۳، ۷,۹۱، ۸,۲۵ درصد افزایش مصرف انرژی داشته است.

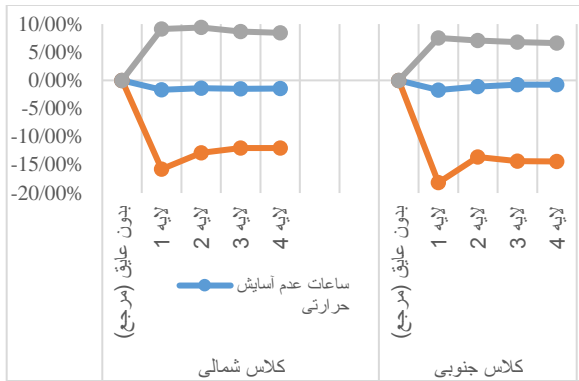
با توجه به مطالب گفته شده در بخش ضخامت عایق و با توجه به اختلاف ناچیز مصرف انرژی و آسایش حرارتی مابین ضخامت ۱۰ و ۱۵ سانتی متری و اختلاف ۱,۵ برابری در هزینه افزایش ضخامت و همچنین اشغال کردن فضای معماری، می توان عایق



شکل ۸ تأثیر انواع عایق ها با ضخامت ۵ سانتی متر بر مصرف انرژی فضاهای مورد مطالعه

۲-۱-۴ ضخامت عایق:

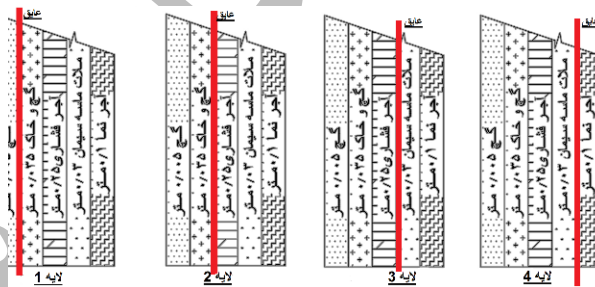
عایق پلی اورتان موجود در بازار از نوع پاششی است و اجرا کننده میتواند در ضخامت های متغیری عملیات پاشش عایق را اجرا کند، و در این مطالعه ضخامت های ۵-۷-۱۰-۱۲-۱۵ سانتی متر شبیه سازی شد. از این رو عایق پلی اورتان که در بخش قبلی از انواع عایق به عنوان مناسب ترین عایق شناخته شد. با توجه به شکل ۹ نتایج نشان داد که عایق پلی اورتان با ضخامت ۱۵ سانتی متر نسبت به ضخامت ۵ سانتی متری به میزان ۲,۵۷ درصد کاهش بیشتری در گرمایش کلاس درس داشته است و نسبت به مدل مرجع (بدون عایق)، در کلاس درس شمالی منجر به کاهش ۱۶,۲۸ درصد (۲۰۴,۱ کیلو وات ساعت) مصرف انرژی شده است، همچنین در بخش سرمایش عایق پلی اورتان با ضخامت ۱۵ سانتی متر ۱۰ درصد (۳۷,۴۱ کیلووات ساعت) نسبت به مدل مرجع افزایش مصرف انرژی



شکل ۱۱ تأثیر موقعیت عایق پلی اورتان ۱۰ سانتیمتری در مصرف انرژی و آسایش حرارتی

۲-۴ پیکربندی جدار نور گذر:

در راستای کاهش میزان انتقال حرارتی از جدار نور گذر و همچنین کاهش اتلاف حرارتی آن که به نسبت بیشتر از حد استاندارد معمول بوده است، ۹ نوع پیکربندی جداره نورگذر مورد بررسی قرار گرفت. که در جدول ۳ نشان داده شده است و ضخامت شیشه‌ها، تعداد جداره، گاز میانی جداره‌ها، ضخامت گاز مابین جداره‌ها در این ۹ نوع پیکربندی متفاوت است.



شکل ۱۰ موقعیت عایق در لایه‌بندی‌های مختلف دیوار خارجی فضاهای مورد مطالعه

مطابق شکل ۱۱ نتایج شبیه‌سازی نشان داد که موقعیت عایق با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر در لایه پشت گچ نازک‌کاری (لایه ۱) مناسب‌ترین عملکرد را داشته است به صورتی که مصرف انرژی سرمایش و گرمایش همان نتایج بخش قبلی با ضخامت ۱۰ سانتی‌متری است. در بخش‌های قبلی عایق پلی اورتان نیز در موقعیت پشت گچ داخلی (لایه ۱) قرار داشت و در ادامه در ۳ موقعیت دیگر سنجیده شد که شامل لایه ۲ و لایه ۳ و لایه ۴ است.

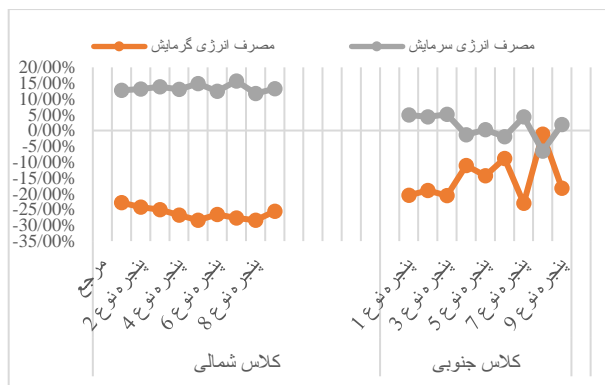
پلی اورتان را به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر به عنوان ضخامت بهینه در نظر گرفت.

۳-۱-۴ اثر موقعیت عایق در دیوار:

موقعیت عایق در لایه‌های مختلف دیوار می‌تواند تأثیر بسزایی در عملکرد عایق‌کاری حرارتی داشته باشد، به همین دلیل در این تحقیق اثر موقعیت عایق پلی اورتان ۱۰ سانتی‌متری در راستای ادامه مباحث قبلی در ۴ الگوی لایه بندی عناصر بررسی شده است که در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

کاهش مصرف انرژی گرمایش داشته است. همچنین میزان مصرف انرژی سرمایش به نسبت مدل مرجع افزایش داشته که نتیجه پدیده آنتی اینزولیشن می‌باشد.

در کلاس جنوبی نتایج نسبت به کلاس شمالی متفاوت هستند، به این صورت که پنجره نوع ۷ به میزان ۲۳,۰۴ درصد کاهش مصرف انرژی گرمایشی داشته است و همچنین پنجره نوع ۳ به میزان ۲۰,۶۲ درصد و پنجره نوع ۱ به میزان ۲۰,۴۸ درصد و پنجره نوع ۲ به میزان ۱۹,۰۲ درصد کاهش مصرف انرژی گرمایشی داشته است. میزان افزایش انرژی سرمایش ساختمان بسیار کمتر نسبت به کلاس شمالی بوده است.



شکل ۱۲ تأثیر پیکربندی مختلف جدار نورگذر بر مصرف انرژی ساختمان

۵- تخمین زمان بازگشت سرمایه

دوره بازگشت سرمایه یک معیار مالی پرکاربرد برای اندازه‌گیری احتمال بازدهی از یک سرمایه‌گذاری است. هزینه و زمان بازگشت سرمایه را با استفاده از معیار بازگشت سرمایه در طرح‌های بهینه‌سازی انرژی می‌توان میزان هزینه پروژه‌های بهینه‌سازی انجام شده را با توجه به میزان کاهش مصرف انرژی در سال‌های بهره‌برداری ساختمان

پیکربندی‌های مختلف جدار نورگذر						
ضخامت گاز جدار میانی (میلیمتر)	گاز جدار میانی	ضخامت شیشه (میلیمتر)	ضریب انتقال حرارت (U-value.W (M2.K)	ضریب ضریب (SHGC) شیشه	نوع شیشه	تعداد جدار
*	*	3	5.894	0.861	معمولی	1
6	هوا	3	3.159	0.762	معمولی	2
13	هوا	6	2.665	0.703	معمولی	2
13	آرگون	6	2.511	0.704	معمولی	2
13	هوا	3	1.786	0.598	کم گسیل در جداره داخلی	2
13	آرگون	3	1.512	0.597	کم گسیل در جداره داخلی	2
13	هوا	6	1.761	0.568	کم گسیل در جداره داخلی	2
13	هوا	3	1.757	0.684	معمولی	3
13	هوا	3	0.982	0.474	کم گسیل در جداره خارجی	3
6	هوا	3	2.178	0.682	معمولی	3

جدول ۳ پیکربندی‌های مختلف جدار نورگذر

با توجه به شکل ۱۲ و با شبیه‌سازی ۹ نوع پیکربندی مختلف در جدار نورگذر نتایج نشان داد که؛ در کلاس درس شمالی مصرف انرژی گرمایشی در کل دوره با پنجره نوع ۵ (۲ جداره با شیشه کم گسیل در جدار خارجی و ۱۳ میلی‌متر گاز آرگون و ۳ میلی‌متر ضخامت شیشه) به میزان ۲۸,۴ درصد کاهش نسبت به مدل مرجع داشته است همچنین پنجره نوع ۸ نیز ۲۸,۳۵ درصد و پنجره نوع ۷ به میزان ۲۷,۷۰ درصد

نشدن و عدم وجود بازار فروش در ایران از معیار مدت بازگشت سرمایه مثبتی شدند.

نوع عایق	مجموعت بهینه	قیمت واحد (ریال مترمکعب)	هزینه کل بهینه سازی (ریال)	بیران تاثیر در بهینه سازی کربایش (گاز مصرفی) در دو کلاس درس در هر سال (کیلووات ساعت)	مقدار صرفه جویی سالانه (ریال)	بازگشت سرمایه (سال)
پلی اورتان با دانسیته (30kg/m ³)	5	75,000,000	70,875,000	253,2	448,164	168,14
پشم سنگ	5	25,000,000	24,003,000	237,4	420,188	60,44
پلی استایرن مستط شده	5	30,000,000	28,250,000	234,8	415,566	72,18
پلی استایرن اکسترو شده	5	26,000,000	27,400,000	242,2	428,764	67,64
پشم نیشه	5	12,700,000	11,807,000	240,9	426,393	27,92
مواد فیبری - پوشه برنج	5	0	0	218	0	0
مواد فیبری - سروفکش	5	0	0	207,5	0	0

نرخ و تعرفه انرژی در اوج مصرف (کیلووات ساعت/ریال): 1770
مقدار مورد مصرف در بهینه ترین حالت در دو کلاس درس (مترمکعب): 0,845

جدول 4 محاسبه هزینه و زمان بازگشت سرمایه عایفکاری پوسته ساختمان

در محاسبه بازگشت سرمایه بهینه سازی جدار نورگذر با توجه به اینکه بهینه سازی با استفاده از شیشه های هوشمند و با تکنولوژی جدید انجام شده است، این نوع شیشه ها در داخل کشور ایران تولید نشده و بازار فروش ندارند، به همین دلیل در محاسبه بازگشت سرمایه لحاظ نشده اند.

۶- نتیجه گیری:

این پژوهش باهدف کاهش مصرف انرژی ساختمان مدارس موجود با استفاده از روش های بهینه سازی انرژی اعم از پیکربندی های عایق کاری و پیکربندی های جدار نور گذر در یک ساختمان آموزشی دوطبقه واقع در شهر کرمانشاه، با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر به روش مدل سازی، شبیه سازی و برداشت های میدانی انجام شده است. همچنین بازگشت سرمایه بهینه سازی انرژی نیز محاسبه شده است. متغیرهای بررسی شده در این پژوهش شامل

محاسبه کرد. معیار یاد شده نشان دهنده این است که تا چه مقدار و در چه مدت هزینه پروژه (سرمایه گذاری) به نسبت صرفه جویی در مصرف انرژی به بهره بردار بازمی گردد. در محاسبه هزینه عایق کاری ساختمان در شهريور ماه سال 1402 استعمال عایق های مد نظر از شرکت های تولید کننده اخذ گردید. همچنین قیمت انرژی مصرفی بر پایه تعرفه انرژی وزارت نیرو در سال 1402 به ازای هر کیلووات ساعت 1770 ریال است. بر این مبنا تمام عایق ها با ضخامت 5 سانتی متر در معیار مدت زمان بازگشت سرمایه محاسبه شد. با توجه به جدول 4

نتایج نشان داد که هر چند عایق پلی اورتان با اختلاف کم نسبت به عایق های دیگر عملکرد بهتری داشته است اما زمان بازگشت سرمایه آن با توجه به گران بودن عایق در بازار فروش به 158,14 سال می رسد. همچنین عایق پشم شیشه با توجه به اینکه نتایج عملکرد نزدیکی به عایق پلی اورتان دارد و نیز قیمت مناسب آن قیمت مناسب آن در بازار فروش، زمان بازگشت سرمایه آن 27,92 سال می باشد. عایق های پلی استایرن منبسط شده و پلی استایرن اکسترو شده و عایق پشم سنگ زمان بازگشت سرمایه به ترتیب 72,18-67,64-60,44 سال دارند. با توجه به نتایج استباط میشود که بالا بودن مدت بازگشت سرمایه به دلیل یارانه های موجود انرژی در کشور ایران است. همچنین عایق های تولید شده از ساقه برنج و گیاهان به دلیل بومی سازی

حالت‌های بهینه نوع عایق، ضخامت عایق، موقعیت عایق در لایه‌بندی، نوع شیشه، ضخامت شیشه، تعداد جدارهای شیشه، گازهای مابین جدارها و ضخامت آن‌ها است.

نتایج این مطالعه نشان داد که میزان مصرف انرژی سرمایش و گرمایش، با توجه به تحلیل‌های انجام‌شده در هر مترمربع فضای کلاس درس در جبهه شمالی در حدود ۴۸ کیلووات ساعت بر مترمربع در طول یک سال تحصیلی است. همچنین کلاس درس جنوبی نیز مصرف انرژی گرمایش و سرمایش معادل ۳۰ کیلووات ساعت در مترمربع در یک سال تحصیلی را دارد. در فرایند بهینه‌سازی مصرف انرژی دو کلاس درس مورد مطالعه با اعمال ۶ نوع عایق مختلف در ضخامت‌های ۵-۷-۱۰-۱۲-۱۵ سانتیمتر و ۴ الگوی لایه بندی عناصر بررسی شد. نتایج نشان داد، عایق پلی اورتان با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر در داخلی‌ترین لایه (پشت گچ نازک‌کاری) مناسب‌ترین عملکرد را با میزان ۱۵,۷۴ درصد کاهش مصرف انرژی گرمایش در کلاس شمالی و ۱۸,۱۶ درصد کاهش مصرف انرژی گرمایش در کلاس جنوبی داشته است. در ادامه مطالعه همچنین ۹ نوع پیکربندی مختلف در جدارهای نور گذر کلاس درس شمالی شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که در کلاس درس شمالی، پنجره دوجداره با شیشه کم گسیل در لایه داخلی و با ۳ میلی‌متر ضخامت شیشه و ۱۳ میلی‌متر ضخامت گاز آرگون در جدار میانی (پنجره نوع ۵) منجر به کاهش ۲۸,۴ درصدی مصرف انرژی گرمایش شده است، همچنین پنجره سه جداره با شیشه معمولی و ضخامت ۳ میلی‌متر شیشه و ۱۳ میلی‌متر هوا در هر ۲ جداره میانی (پنجره نوع ۷)، عملکرد

نزدیکی با سناریو قبلی داشته است، به همین ترتیب در کلاس درس جنوبی نیز پنجره سه جداره با شیشه معمولی و ۳ میلی‌متر ضخامت شیشه، ۱۳ میلی‌متر ضخامت هوای مابین جدارها (پنجره نوع ۷) باعث کاهش ۲۳,۰۴ درصدی مصرف انرژی گرمایش شده است. در نتیجه بهترین راه حل‌ها برای بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان مورد مطالعه استفاده از عایق پلی اورتان با ضخامت ۱۰ سانتیمتر در لایه بندی شماره ۱ میباشد و همچنین پنجره نوع ۵ در کلاس درس شمالی و پنجره نوع ۷ در کلاس درس جنوبی بهترین عملکرد را داشته است.

با توجه به سامانه طبقه بندی اقلیمی کوپن اقلیم معتدل با تابستان‌های خشک و بسیار گرم (Csa) به میزان ۱۷,۰۳ درصد از وسعت ایران را اشغال کرده است [۴۷]. بر همین مبنا تا حدودی میتوان نتایج این مطالعه را به شهرهای دیگر که تابع اقلیم معتدل با تابستان‌های خشک و بسیار گرم (Csa) هستند تعمیم داد.

با توجه به مطالب و نتایج به دست آمده از این تحقیق، مشخص شد که بعد از عایق‌کاری و بهینه‌سازی انرژی ساختمان‌های موجود، مقدار ناچیزی مصرف انرژی سرمایشی ساختمان افزایش پیدا می‌کند که به پدیده آنتی اینزولیشن شهرت دارد. از این رو پیشنهاد میشود که تحقیقات گسترده تری در حوزه جلوگیری و دفع این افزایش مصرف انرژی سرمایشی، در راستای اجرای کامل و بی نقص بهینه‌سازی انرژی ساختمان انجام شود.

۱. Solgi, E., S. Memarian, and G. Nemati Moud, *Financial viability of PCMs in countries with low energy cost: A case study of different climates in Iran*. Energy and Buildings, 2018. **173**: p. 128-137.
۲. Han, J., et al., *Can the semi-urbanization of population promote or inhibit the improvement of energy efficiency in China?* Sustainable Production and Consumption, 2021. **26**: p. 921-932.
۳. Rodrigues, E., et al., *Climate change and ideal thermal transmittance of residential buildings in Iran*. Journal of Building Engineering, 2023. **74**: p. 106919.
۴. Soad Sarihi, M.F., Fatemeh Mehdizadeh Siraj, *Prioritization of Façade Retrofit Measures to Achieve Energy Efficiency in Existing Office Buildings in Tehran, in Persian*. MANZAR, 2022. **14**(59): p. 30-39.
۵. Khani, A., M. Khakzand, and M. Faizi, *Multi-objective optimization for energy consumption, visual and thermal comfort performance of educational building (case study: Qeshm Island, Iran)*. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2022. **54**: p. 102872.
۶. Zahiri, S. and H. Altan, *Improving energy efficiency of school buildings during winter season using passive design strategies*. Sust. Build., 2020. **5**.
۷. Tahsildoost, M. and Z.S. Zomorodian, *Energy retrofit techniques: An experimental study of two typical school buildings in Tehran*. Energy and Buildings, 2015. **104**: p. 65-72.
۸. Al-Yasiri, Q. and M. Szabó, *Experimental study of PCM-enhanced building envelope towards energy-saving and decarbonisation in a severe hot climate*. Energy and Buildings, 2023. **279**: p. 11268.
۹. Fazlikhani, F., H. Goudarzi, and E. Solgi, *Numerical analysis of the efficiency of earth to air heat exchange systems in cold and hot-arid climates*. Energy Conversion and Management, 2017. **148**: p. 78-89.
۱۰. Babich, F., et al., *Comparison of indoor air quality and thermal comfort standards and variations in exceedance for school buildings*. Journal of Building Engineering, 2023. **71**: p. 106405.
۱۱. Singh, M.K., et al., *Progress in thermal comfort studies in classrooms over last 50 years and way forward*. Energy and Buildings, 2019. **188-189**: p. 149-174.
۱۲. Zhang, A., et al., *Optimization of thermal and daylight performance of school buildings based on a multi-objective genetic algorithm in the cold climate of China*. Energy and Buildings, 2017. **139**: p. 371-384.
۱۳. Singh, M.K., et al., *Status of thermal comfort in naturally ventilated classrooms during the summer season in the composite climate of India*. Building and Environment, 2018. **128**: p. 287-304.
۱۴. Councils, G.B. *Thermal Comfort in Schools*. (n d) [cited 2022 11 september]; Available from: <https://www.worldgbc.org/sites/default/files/Better%20Places%20for%20People%20-%20Schools%20Briefing%20Notes%20-%20Thermal%20Comfort.pdf>.
۱۵. Churchill, S.A. and R. Smyth, *Energy poverty and health: Panel data evidence from Australia*. Energy economics, 2021. **97**: p. 105219.
۱۶. Bentley, R., et al., *The effect of energy poverty on mental health, cardiovascular disease and respiratory health: a longitudinal analysis*. The Lancet Regional Health–Western Pacific, 2023.
۱۷. Zeiler, W. and G. Boxem, *Effects of thermal activated building systems in schools on thermal comfort in winter*. Building and Environment, 2009. **44**(11): p. 2308-2317.
۱۸. Zhang, H., et al., *Research on policy strategies for implementing energy retrofits in the residential buildings*. Journal of Building Engineering, 2021. **43**: p. 103161.

- . ١٩ Parliament, E., *REPORT on the proposal for a directive of the European Parliament and of the Council amending directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings*. 2017.
- . ٢٠ Canada, G.o., *Energy, Greenhouse Gas Emissions, Natural resources Canada*. 2021.
- . ٢١ Charles, A., W. Maref, and C.M. Ouellet-Plamondon, *Case study of the upgrade of an existing office building for low energy consumption and low carbon emissions*. *Energy and Buildings*, 2019. **183**: p. 151-160.
- . ٢٢ Munoz, P.-B., et al., *Sustainability assessment of refurbishment vs. new constructions by means of LCA and durability-based estimations of buildings lifespans: A new approach*. *Building and Environment*, 2019. **160**: p. 106203.
- . ٢٣ Ruparathna, R., K. Hewage, and R. Sadiq, *Rethinking investment planning and optimizing net zero emission buildings*. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2017. **19**(6): p. 1711-1724.
- . ٢٤ Jang, H., L. Jones, and J .Kang, *Prioritisation of old apartment buildings for energy-efficient refurbishment based on the effects of building features on energy consumption in South Korea*. *Energy and Buildings*, 2015. **96**: p. 319-328.
- . ٢٥ Jie, P., et al., *Optimizing the insulation thickness of walls and roofs of existing buildings based on primary energy consumption, global cost and pollutant emissions*. *Energy*, 2018. **159**: p. 1132-1147.
- . ٢٦ Tabadkani, A., S. Banihashemi, and M.R. Hosseini, *Daylighting and visual comfort of oriental sun responsive skins: A parametric analysis*. *Building Simulation*, 2018. **11**(4): p. 663-676.
- . ٢٧ Ni, S., et al., *Research on indoor thermal comfort and energy consumption of zero energy wooden structure buildings in severe cold zone*. *Journal of Building Engineering*, 2023. **67**: p. 105965.
- . ٢٨ Sadati, S.E., N. Rahbar, and H. Kargarsharifabad, *Energy assessment, economic analysis, and environmental study of an Iranian building: The effect of wall materials and climatic conditions*. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2023. **56**: p. 103093.
- . ٢٩ Yousefi, Y., S. Yousefi, and Y. Yousefi. *Energy efficiency in educational buildings in Iran: Analysis and measures*. in *Proceedings*. 2015.
- . ٣٠ Congedo, P.M.A.U.D.A.D.B.C.T.G.Z.I.E.S. and B. Cost-Optimal Analysis for Existing School Energies, 2016. **9**, DOI: 10.3390/en9100851.
- . ٣١ Gupta, V. and C. Deb, *Envelope design for low-energy buildings in the tropics: A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2023. **186**: p. 113650.
- . ٣٢ Katafygiotou, M.C. and D.K. Serghides, *Analysis of structural elements and energy consumption of school building stock in Cyprus: Energy simulations and upgrade scenarios of a typical school*. *Energy and Buildings*, 2014. **72**: p. 8-16.
- . ٣٣ Alwetaishi, M. and A. Taki, *Investigation into energy performance of a school building in a hot climate: Optimum of window-to-wall ratio*. *Indoor and Built Environment*, 2019. **29**(1): p. 24-39.
- . ٣٤ Park, J.H., et al., *Impact of a passive retrofit shading system on educational building to improve thermal comfort and energy consumption*. *Energy and Buildings*, 2020. **216**: p. 109930.
- . ٣٥ Jradi, M., C. Veje, and B.N. Jørgensen, *Deep energy renovation of the Mærsk office building in Denmark using a holistic design approach*. *Energy and Buildings*, 2017. **151**: p. 306.٣١٩-
- . ٣٦ Raji, B., Martin J. Tenpierik, Andy Van den Dobbelen *Early-Stage Design Considerations for the Energy-Efficiency of High-Rise Office Buildings*. *Sustainability*, 2017. **9**, DOI: 10.3390/su9040623.
- . ٣٧ EL-DEEB, K. *Combined Effect Of Window-To-Wall Ratio And Wall Composition On Energy Consumption*. in *PLEA*. 2013.
- . ٣٨ Amiri Fard, R., M. Thaghafi, and M. Tahbaz, *Investigating the simultaneous effect of the percentage of transparent surfaces and orientation according to the energy consumption of schools in the temperate and humid climate of Iran*. *Soffeh*, 2021. **30**(4): p. 49-65.
- . ٣٩ Carlos, J.S. and H. Corvacho, *Retrofit measures in old elementary school buildings towards energy efficiency*. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2010. **16**(4): p. 56.٥٧٦-٧

- . ٤٠ Basarir, B., B.S. Dirir, and C. Dirir, *Energy efficient retrofit methods at the building envelopes of the school buildings*. Retrieved, 2012. **10**(12): p. 2016.
- . ٤١ de Santoli, L., et al., *Energy performance assessment and a retrofit strategies in public school buildings in Rome*. Energy and Buildings, 2014. **68**: p. 196-202.
- . ٤٢ Zinzi, M., et al., *Retrofit of an Existing School in Italy with High Energy Standards*. Energy Procedia, 2014. **48**: p. 1529-1538.
- . ٤٣ Ascione, F., et al., *Energy retrofit of an educational building in the ancient center of Benevento. Feasibility study of energy savings and respect of the historical value*. Energy and Buildings, 2015. **95**: p. 172-183.
- . ٤٤ Ostojić, S., Z. Veršić, and I. Muraj, *Energy analysis and refurbishment strategy for Zagreb University buildings: Former Faculty of Technology in Zagreb by Alfred Albini*. Energy and Buildings, 2016. **115**: p. 47-54.
- . ٤٥ Erhorn-Kluttig, H. and O. Mørck, *Energy-efficient renovation of educational buildings*. 2005.
- . ٤٦ McKnight, T. and D. Hess, *Climate zones and types. physical geography: a landscape appreciation*. NJ: Prentice Hall, 2000: p. 205-208.
- . ٤٧ Raziei, T., *Climate of Iran according to Köppen-Geiger, Feddema, and UNEP climate classifications*. Theoretical and Applied Climatology : (٣) ٤٨ . ٢٠٢٢ ,p. 1395-1416.

پایگاه
انتشار