Volume 5, Issue 14, February 2026, 2211-2226.

Online ISSN: 3041-9255

Journal of Human Ecology

journal homepage: http://www.landscapeecologyjournals.ir/

Research Paper

Enhancing Building Envelope Efficiency for Energy Optimization: A Case Study of Educational Buildings in Shiraz

Elahe Nouri Segherlou[1], Ghazaleh Nouri Segherlou*[2], Alireza Pahlavan Hassan Kashani [3]

1 Department of Architecture, ShQ.C., Islamic Azad University, Shahr-e Qhods, Iran.
2 Department of Civil Engineering, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3 Department of Architecture, ShQ.C., Islamic Azad University, Shahr-e Qods, Iran.

Keywords

Building Envelopes, Energy Optimization, Educational Buildings, Shiraz

Scan me

A B S T R A C T

With the excessive increase in global energy consumption, the need for energy-saving strategies has become increasingly important. Over recent decades, energy consumption in public buildings has risen significantly. So far, various policies with varying effectiveness have been implemented to improve energy efficiency in the building sector across different building types. This study proposes a retrofit strategy to enhance energy efficiency, focusing on higher education buildings in hot and dry climatic regions, with Shiraz as the case study. Improving certain building-envelope characteristics can enhance indoor comfort without compromising functional requirements. Meeting comfort needs, including thermal, visual, and acoustic comfort, can reduce energy consumption. This research emphasizes thermal comfort as a means of achieving energy efficiency. Key criteria in the building envelope retrofit process include external walls, insulation, window glazing type, airtightness (air infiltration rate), and shading. The results indicate that several simple retrofit strategies, such as shading, window glazing improvements, airtightness enhancement, and insulation, can reduce energy consumption by up to 33% on average. From a building-envelope perspective, this research offers recommendations for design codes and standards, addresses thermal comfort, identifies practical retrofit strategies, and provides a foundational reference for energy efficiency in Shiraz educational buildings.

*Corresponding Author: Ghazaleh Nouri Segherlou
Email Address: ghazaleh.nouri@iau.ac.ir

Aghapour, B., Doodman, P., Ashraf, S. M., & Siami, L. (2026). A phenomenological exploration of the lived experiences of women aged 20 to 45 in Lamerd County regarding hijab and generational conflict within the context of cultural transformations. Human Ecology, 5(14), 2211-2226.

DOI: https://doi.org/10.22034/he.2026.553999.1158

سال پنجم، شماره چهاردهم، بهار ۱۴۰۵،۲۱۵۶-۲۱۶۸.

شاپای الکترونیکی: ۹۲۵۵-۳۰۴۱

فصلنامه اکولوژی انسانی

http:// www.landscapeecologyjournals.ir

مقاله پژوهشی

افزایش بازده پوسته های ساختمانی در راستای بهینه سازی انرژی، نمونه مطالعاتی بناهای آموزشی شیراز

الهه نوری سقرلو [۱] غزاله نوری سقرلو *[۲] علی رضا پهلوان حسن کاشانی [۳]

۱ گروه معماری، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، شهر قدس، ایران.

۲ گروه عمران، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳ گروه معماری، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، شهر قدس، ایران.

چکیده

با افزایش بیش از حد مصرف انرژی در جهان، نیاز به راهبردهای صرفه‌جویی در حال افزایش است. طی دهه-های اخیر مصرف انرژی در ساختمان های عمومی به شدت افزایش داشته است. تاکنون در راستای ارتقای بهره‌وری انرژی در بخش ساختمان، سیاست‌گذاری‌های موثری با شدت مختلف و بروی سازه‌های متفاوتی صورت گرفته‌است. این مطالعه با هدف ارائه‌ی یک راهبرد بهسازی در جهت ارتقای بهره‌وری انرژی انجام شده و نمونه موردی آن ساختمان های آموزش عالی واقع در مناطق آب و هوایی گرم و خشک (شیراز) می‌باشد. بهسازی برخی ویژگی‌های پوسته‌های ساختمانی می‌تواند بدون خدشه دار شدن نیازهای عملکردی، باعث ایجاد آسایش در ساختمان شود. نیازهای آسایشی که شامل نیازهای حرارتی، بصری و آکوستیک می‌باشد، می‌تواند مصرف انرژی را کاهش دهد. در این پژوهش ، تاکید بروی آسایش حرارتی در راستای ایجاد بهره‌وری انرژی می‌باشد. برخی معیارهای مهم استفاده شده در فرایند بهسازی پوسته‌های ساختمانی عبارتند از: دیوارهای خارجی، عایق‌بندی، نوع شیشه‌ی پنجره‌ها، هوابندی (میزان نفوذ هوا) وسایه اندازی. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که برخی راهبردهای ساده‌ی بهسازی از جمله سایه‌اندازی، شیشه‌گذاری پنجره‌ها، هوابندی و عایق-بندی می‌تواند مصرف انرژی را به طور میانگین تا ۳۳ درصد کاهش دهد. از منظر ویژگی‌های پوسته‌ی ساختمانی، این پژوهش پیشنهاداتی برای آیین نامه‌های طراحی ارائه می‌کند که شامل آسایش حرارتی، ارائه‌ی راهبردی عملی جهت بهسازی و همچنین مرجعی پایه برای بهره‌وری انرژی در بناهای اموزشی شیراز را ارائه می‌کند.

واژگان کلیدی

پوسته های ساختمانی، بهینه سازی انرژی، بناهای اموزشی، شیراز.

اسکن کنید

ارجاع به این مقاله: آقاپور، بایرام، دودمان، پروانه، اشرف، سید محمود، و صیامی، لیلا. (۱۴۰۵). واکاوی پدیدارشناختی تجربه زیسته زنان ۲۰ تا ۴۵ ساله شهرستان لامرد از حجاب و تعارض نسلی در بستر تحولات فرهنگ. اکولوژی انسانی، ۵(۱۴)، ۲۲۱۱-۲۲۲۶.

۱. مقدمه

متاسفانه، بهسازی ساختمان ها در کشورهای جهان سوم، تنها با تاکید بر معیارهای زیبایی شناسی یا سازه‌ای و به طور عمده در جهت حفاظت ساختمان های تاریخی به کار می‌رود. در صورتی که از نظر تاثیر اقتصادی، کاهش میزان مصرف انرژی نیز به همان اندازه اهمیت داشته و این مسئله را نباید دست کم گرفت که ساختمان های دارای تهویه داخلی بهتر و مصرف سوخت کمتر باعث کاهش تولید منوکسید کربن شده و محیط زیست را کمتر آلوده می‌کند. دولتمردان در سراسر دنیا در جهت ارتقای عملکرد انرژی، تاکنون قدمهای بزرگی در بهسازی ساختمان های موجود برداشته‌اند. پایگاه داده‌ی ادیسه[1]، جهت پاسخگویی به سیاست‌های اتحادیه‌ی اروپا، در انگلستان یک بررسی جامع برای الگوهای رایج بهره‌وری انرژی در همه‌ی بخش‌ها و حوزه‌های الویت دار ایجاد کرده است که طبق آن، بخشی از راهبرد دولت این است که تا سال ۲۰۵۰ به هدف کاهش ۸۰ درصدی تولید کربن در انگلستان دست یابد(Ascanio-Villabona & etal., 2022; Ghazwani & etal.,2025). همچنین طبق «دستورالعمل عملکرد انرژی ساختمان ها در اروپا» دولت در پی رسیدن به هدف صرفه جویی ۲۰ درصدی انرژی تا سال ۲۰۲۰ است. در ایالات متحده امریکا، وزارت انرژی که در فرایند توسعه‌ی (انجمن مهندسین گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع) و (شورای آیین نامه‌های داخلی) مشارکت دارد، پیشنهاد تغییر آیین نامه را ارائه کرده و در تلاش است که آیین‌نامه فعلی را از طریق راهکارهای مقرون به صرفه‌ی بهره‌وری انرژی ارتقا بخشد (جعفری و صلواتیان، ۱۴۰۱). نسخه‌ی اخیر استاندارد ۹۰.۱-۲۰۱۶، ویرایش آخر این استاندارد را نشان می‌دهد که در حال ایجاد زمینه مناسب برای پاسخگویی به الزامات بهره‌وری انرژی در ساخت و سازهای آینده‌ی ساختمان های تجاری است. الزامات فنی پوسته ساختمان شامل این موارد می‌شود:

- الزامات اجباری برای تایید پوسته، که از کاهش نفوذ هوا پشتیبانی کرده و وضع الزامات سختگیرانه تر برای کنترل نشت هوا از طریق درهای کرکره‌ای؛
- الزامات تجویزی سخت گیرانه‌تر برای بامها و دیوارهای فلزی ساختمان ها، پنجره‌بندی، و درهای غیرشیشه‌ای؛
- لزوم افزایش تعریف واضح دیوارهای خارجی، جهت‌گیری ساختمان، و شفاف سازی مقدار R-value موثر (معیار ارزیابی عایق بودن) برای هوای درون فضای ساختمان؛ و
- الزامات جدید بر اساس منطقه‌ی آب و هوایی صفر (گرمترین منطقه‌ی آب و هوایی) (خطیبی و همکاران، ۱۴۰۱).

برآوردها نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۳۵، ۷۵ درصد ساختمان ها در ایالات متحده جدید یا نوساز هستند. آیین نامه انرژی ساختمان تضمین می‌کند که مصرف انرژی نسبت به عمر ساختمان بهینه باشد. جدول ۱ شامل مروری کلی است که خلاصه‌ای از ارزیابی سیاست‌های پوسته ساختمان در مناطق اصلی ارائه می‌دهد. برخی مناطق با رتبه‌ی بالاتر در این زمینه، از آزمون مصالح پوسته ساختمان و همچنین ارزیابی رتبه‌بندی‌ها و برچسب‌گذاری‌ها استفاده می‌کنند(Baetens & etal., 2022).

در حال حاضر، مرکز ملی تحقیقات مسکن و ساختمان آیین‌نامه‌هایی برای بهره‌وریی انرژی در ساختمان های مسکونی و تجاری ارائه کرده است که هنوز مطالعه و آمار دقیقی از میزان اجرای این قانون در کشور در دست نیست اما در مطالعه ای که مشخص شده است که سیستم تهویه مطبوع در ساختمان ها، ۵۶ درصد کل مصرف انرژی آنها را مصرف می‌کند (Kamel, & Memari, 2019). در شیراز، مصرف انرژی در ساختمان های عمومی اداری، آموزشی و درمانی (۹٪) پس از مسکونی (۴۰٪) دومین رتبه را دارد. گزارشی توسط ایالتهای EBCP[2] و بر اساس آژانس بین المللی انرژی (IEA)[3] در ایالات متحده– که بهره‌وری انرژی را به عنوان راهی برای مدیریت و محدودسازی افزایش مصرف انرژی تعریف می‌کند–منتشر شده که نشان می‌دهد ساختمان های آموزشی مقادیر بالایی از مصرف انرژی را داشته و بنابراین بهسازی در این بخش ضروری به نظر می‌رسد. لازم به ذکر است که مصرف انرژی در این ساختمان ها تا حد زیادی به نوع فعالیت آنها، زمان استفاده و تعداد دانش‌جویان و کارکنان بستگی دارد(Bhadbhade & etal., 2021).

در اکثر پروژه‌های بهسازی، راهبردهای بهسازی در بهره‌وری انرژی به دلیل نبود دانش کافی درباره‌ی میزان سرمایه مورد نیاز و همچنین میزان بهره‌وریی بالقوه‌ی راهبردهای صرفه‌جویی انرژی، اجرایی نمی‌شوند. برای بسیاری، این امر به عنوان پیچیدگی بهسازی و تأمین مالی تلقی شده که موانعی برای مداخله و جذب ایجاد می‌کند (Ardent & etal., 2009; Hosseini, 2022). در این مطالعه بر اساس راهبردهای صحیح بهسازی، نحوه‌ی بهبود عملکرد انرژی پوسته‌های ساختمانی ارائه شده‌است. به منظور درک بهتر عملکرد حرارتی در بهسازی، در ابتدا باید ویژگی‌های ساختمان های موجود بررسی شود.

1 ODYSSEE
2 Existing Building Commissioning Professional
3 International Energy Agency

اغلب ساختمان های عمومی به ویژه ساختمان های آموزشی در مناطق گرم و خشک، میزان مصرف انرژی بسیار بالایی دارند. مصرف انرژی به طور عمده برای پاسخگویی به آسایش حرارتی می‌باشد. در اینجا متغیرهای ساده‌ی بهسازی می‌توانند در ضمن ایجاد آسایش حرارتی، مصرف انرژی را کاهش دهند.

هدف از این مطالعه، بررسی تجربی راهبردهای بهسازی جهت دستیابی به پوسته‌های ساختمانی مناسب برای مراکز آموزش عالی می‌باشد. هدف اولیه این است که با به کارگیری تعدادی از ویژگی‌های محتمل برای بهسازی که باعث کاهش مصرف انرژی می‌شوند، بهره‌وریی آسایش حرارتی و عملکرد انرژی ارزیابی شود. دومین هدف، ارائه‌ی فرایندی برای راهبرد بهسازی در ساختمان های آموزش عالی است که در ضمن تأمین آسایش حرارتی، با استانداردهای عملکردی نیز تطابق داشته باشد. این اهداف بهسازی را می‌توان به عنوان معیاری برای بهره‌وری انرژی در فضاهای آموزشی در نظر گرفت. با این وجود، برای شروع، به کارگیری بهره‌وریی انرژی و اجرای آیین‌نامه‌های بهسازی در سطوح ملی و بین المللی ضروری به نظر می‌رسد.

این پژوهش از روش شناسی استقرایی، استفاده می‌کند که با تعریفی از مسئله و پیشینه پژوهش آغاز شده و در ادامه به ترسیم چشم انداز روشن‌تری می‌پردازد. بدین صورت که با پیشرفت پژوهش در بخش کاربردی چالش‌های متعدد در این زمینه نمایان می‌شود. پارامترها و فاکتورها به صورت متقابل مرور و بررسی شده تا اقدام عملی قطعی جهت مداخله شناسایی شود. سپس این موارد جهت دستیابی به یک جهت‌گیری مشخص و نقطه نظری کامل و ثابت، تحت بررسی قرار می‌گیرد تا از این طریق، رویکرد مورد نیاز، دستورالعمل‌ها و راه حل‌های عملی ایجاد شود.

این مقاله به دو قسمت تقسیم می‌شود. در بخش اول، مبانی نظری درمورد متغیرها و معیارهای بهسازی پوسته‌های ساختمان های موجود مطرح شده و پس از آن رویکردهای مهم در سراسر جهان، جهت پاسخگویی به بهره‌وری انرژی و دستیابی به آسایش حرارتی فضاهای آموزش عالی ، گرداوری شده‌است. بر اساس پیشنهادات سایر تجربیات در این زمینه، این مطالعه، تلاشی در جهت آزمایش و ارزیابی مفاهیم مهم در حوزه‌ی بهسازی پوسته می‌باشد. همچنین هدف اصلی، ارتقا بینش عمومی بوده و تاکید پژوهش بر ایجاد یک چارچوب مفهومی برای این فرایند است.

قسمت دوم مطالعه، شامل مرور چند نمونه موردی در این زمینه در شهر شیراز (که منطقه‌ای گرم و خشک است) می‌باشد که در پی این است که دیدگاههای نظری مطرح شده را در سطح عملی به کار گیرد. این روش شناسی چند مرحله‌ای کمک می‌کند تا مشکل عمومی تحقیق در زمینه‌های اقلیمی محلی خاص و منحصر به فرد، به شکل بهتری مرتفع گردد.

جدول۱. ارزیابی سیاست پوسته ساختمان در مناطق اصلی جهان

منطقه/ سیاست	آسیا	برزیل	چین	اروپا	هند	ژاپن/ کره	مکزیک	آسیای میانه	استرالیا	روسیه	آفریقای جنوبی	ایالات متحده
نحوه‌ی حکومت (قدرت)	L	M	H	H	M	M	M	L	M	L	M	**M**
قیمت انرژی	L	M	M	H	M	H	L	L	M	L	M	**M**
ظرفیت انسانی و	M	L	M	H	M	H	M	L	M	M	M	**H**
زیرساختها												
مواد به کار رفته در کالاها(ساختمانی)	L	M	H	H	M	H	M	L	M	M	L	**H**
برنامه‌های داوطلبانه	L	L	L	M	L	L	L	L	L	L	L	**L**
آیین نامه‌های اجباری ساختمان	L	L	M	H	L	M	M	L	M	M	M	**H**

H:زیاد M: متوسط L: کم

هدف از مطالعه‌ی تجربی صورت گرفته (سه نمونه موردی) این است که به عنوان یک نمونه‌ی نماینده، عناصر مشترک در این زمینه و همچنین روابط و تاثیرات متقابل میان آنها شناسایی گردد. همچنین این پژوهش به عنوان راهی برای به هم پیوستن ایده‌ها و پیشنهادات مختلف بوده و تجربیات ویژه در زمینه‌ی بهسازی پوسته‌های ساختمانی را بررسی می‌کند. این امر اهمیت بسیاری در تدوین دستورالعملهای مربوطه داشته و در نتیجه راهبردهای مناسبی برای اجرای پروژه‌های معماری پیشنهاد می‌دهد.

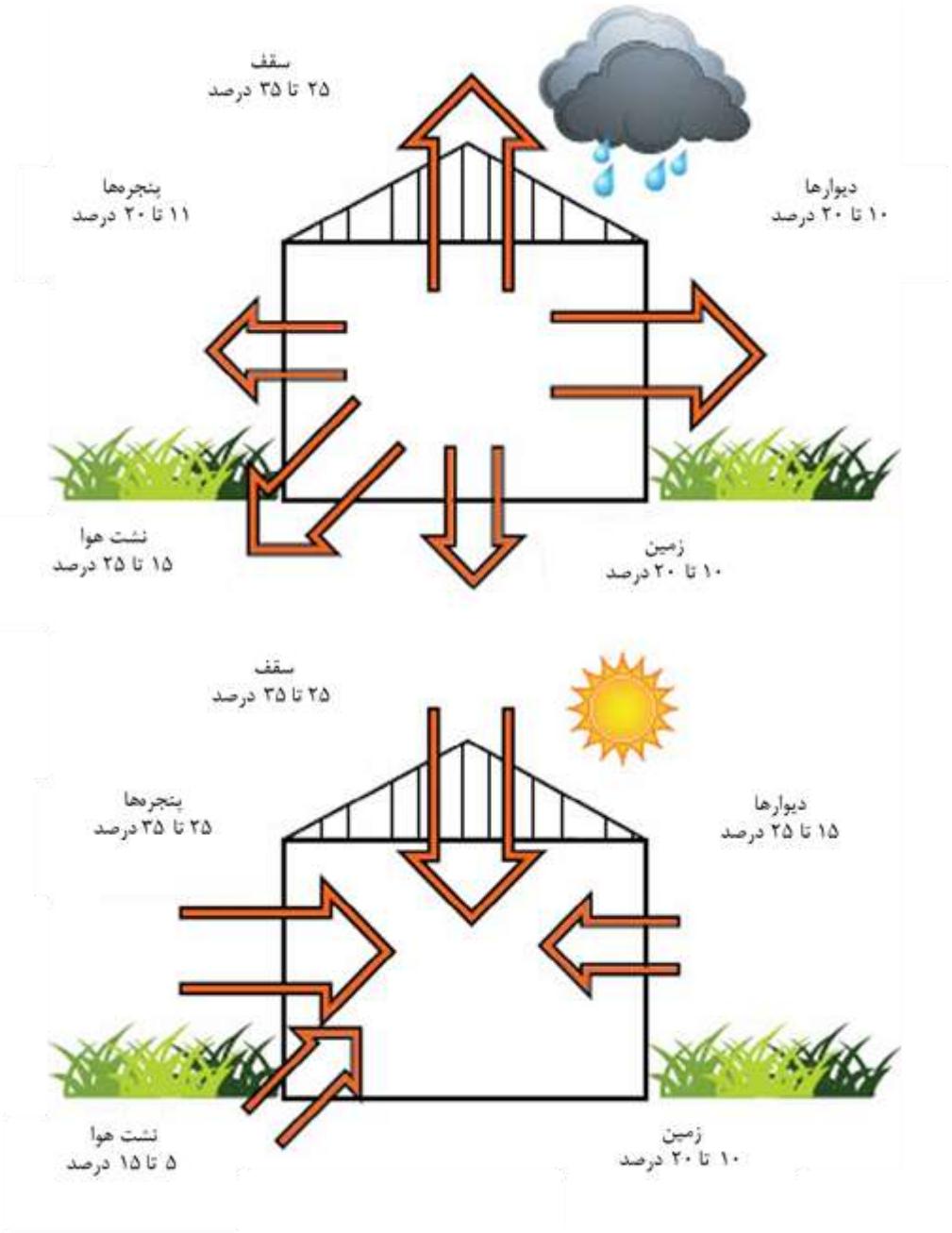
۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱. راهبرد بهسازی

مطالعه‌ی انجام شده توسط آردنت و همکاران (Chlechowitz & etal., 2022). نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از مزیتهای ارزیابی مصرف انرژی معطوف به عواملی چون بهبود عایق بندی حرارتی پوسته، نورپردازی و شیشه‌گذاری بوده است. بر اساس مطالعه‌ی عملکرد حرارتی ساختمان به دو عامل مقاومت در برابر نفوذ هوا و همچنین جلوگیری از خروج گرما از سازه بستگی دارد (JRHT)[1] (Ardent & etal., 2009). شکل ۱ چگونگی گردش حرارتی یک ساختمان غیرعایق در یک منطقه آب و هوایی خنک را نشان می‌دهد. در مطالعه‌ای که توسط خلف[2] و همکاران(۲۰۱۹) بر روی روشهای بهسازی بهره‌وری انرژی بروی پوسته‌های ساختمان یک مدرسه انجام شده است، نشان می‌دهد که در صورت به کارگیری راهکار های بهسازی، هزینه‌ی سالیانه‌ی سوخت تا نزدیک به یک سوم وضعیت فعلی کاهش می‌یابد (Harputlugil & de Wilde, 2022). در این مطالعه راه‌حل‌های کاملا عملی برای چالش‌های بهسازی در زمینه‌ی عملکرد حرارتی ارائه شده و نشان می‌دهد که با توجه کافی به جزئیات طراحی، مخصوصا مشخصات و جزئیات نصب تأسیسات، می‌توان به معیارهای کاملا عملی برای بهبود وضعیت حرارتی و همچنین کاهش معیار U-Value دست یافت و در نتیجه‌ی آن، به طور قابل ملاحظه‌ای تجهیزات حرارتی در فضاها وهمچنین تولید منوکسید کربن را کاهش داد(همان). مطالعه‌ای که در شیراز توسط جعفری و همکاران انجام شد به تاثیرات و ظرفیت‌ها در بهسازی کم انرژی در مقیاس جامعه و در یک حوزه‌ی مسکونی با میانگین درامد متوسط در شیراز می‌پردازد. وی به این نتیجه رسید که از طریق بهسازی پوسته، حافظت موثر در برابر نور خورشید، اینرسی حرارتی بالا، و راهبردهای ترکیبی تهویه، همچنین گرمایش آب خانگی، پنل‌های فتوولتاییک و تهویه مطبوع حرارتی خورشیدی (راهبرد تلفیقی بهسازی) می‌توان به کاهش ۸۳٪ کل تقاضای انرژی الکتریکی دست یافت (Kim, 2021).

مطالعات انجام‌شده در حوزه بهینه‌سازی انرژی پوسته‌های ساختمانی نشان می‌دهند که اصلاح لایه‌های خارجی پوسته و بهینه‌سازی مقاومت حرارتی جدارها (مانند استفاده از عایق‌های مناسب و مصالح مدرن) تا حد استانداردهای بهینه نقشی اساسی در جلوگیری از افت حرارت در اقلیم‌های سرد ایفا می‌کند؛ به‌طوری‌که بر اساس مطالعه لاوی و شاهدی (۱۳۹۹)، این راهکار به تنهایی می‌تواند مصرف گاز طبیعی در زمستان را در اقلیم سرد اردبیل تا ۳۲٪ بهبود بخشد. همچنین سلیمی گرگری و همکاران (۱۴۰۰) نیز بر اهمیت استفاده از لایه‌های عایق حرارتی پلی‌استایرن انبساطی (EPS) در جدار خارجی بناهای مسکونی تهران تأکید کرده‌اند. تنظیم این نسبت در محدوده ۳۰ تا ۳۵ درصد در جبهه جنوبی همراه با تعبیه سایبان‌های متحرک، بار سرمایشی و گرمایشی کل ساختمان را بیش از ۲۸٪ کاهش می‌دهد. به همین ترتیب، اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند که در اقلیم گرم و خشک، تغییر هم‌زمان جهت‌گیری بازشوها و عمق سایبان‌ها، مصرف برق سیستم‌های تبرید را تا ۲۲/۴٪ بدون افت کیفیت روشنایی روز کاهش می‌دهد. بر اساس مطالعات مروری انجام‌شده توسط نیو و هوانگ[3](۲۰۱۶)، متغیرهای مرتبط با پوسته ساختمان (شامل ضخامت عایق، WWR و مشخصات شیشه) بیشترین حساسیت حرارتی را دارند و ترکیب الگوریتم‌های فراابتکاری با شبیه‌سازی دینامیک انرژی، بالاترین کارایی را در کاهش مصرف ایجاد می‌کند. در همین راستا، مندز[4] و همکاران(۲۰۱۵) اثبات کردند که بهینه‌سازی یکپارچه فرم و پوسته‌های شفاف/مات با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی به شکل جبهه پارتو[5] مصرف تجمیعی سالیانه را بین ۱۸ تا ۳۰ درصد کاهش می‌دهد.

1 Joseph Rowntree Housing Trust
[2] Khalaf
[3] Huang & Niu
[4] Méndez
[5] Pareto Front



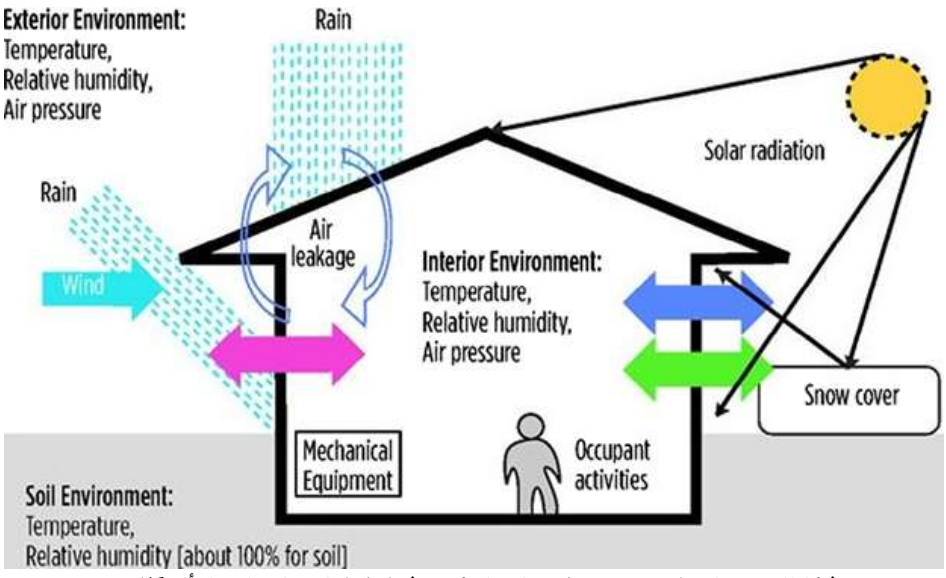
شکل۱. جریان حرارتی در یک خانه¬ی بدون عایق بندی واقع در منطقه آب و هوایی خنک

۲-۲.راهبردهای بهسازی پوسته

به طور کلی، پوسته‌های ساختمان دارای مقاومت در برابر هوا، آب، حرارت، نور و انتقال صدا هستند. پوسته‌های حرارتی، شامل دیوارهای خارجی، بام، فانداسیون (پی) پنجره‌ها و درها می‌باشند. هدف از به‌کارگیری پوسته‌های حرارتی، جلوگیری از انتقال حرارت از داخل خانه به بیرون در زمستان و برعکس آن در تابستان می‌باشد. برای مثال، در فضاهای آموزشی، پنجره‌ها باید در گوشه‌ها قرار گیرند، و در صورت قرارگیری در معرض نور مستقیم خورشید باید جهت کاهش انتقال حرارت، از شیشه‌های Low- E [1] (شیشه‌های کنترل کننده‌ی انرژی) استفاده شود. بهسازی به طور معمول از طریق نصب، جای‌گذاری یا انطباق عملکرد با چیزی قدیمی تر تعریف می‌شود. اما اخیرا، بهسازی به افزودن فناوری یا ویژگی جدیدی به سیستمهای قدیمی تر اطلاق شده که می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد. مثلا برخی دلایل بهسازی می‌تواند معطوف به بهبود بهره‌وری نیروگاه باشد: مثلا برای بهسازی ساختمان های قدیمی‌تر در برابر زلزله، یا جهت بهبود بهره‌وری انرژی

1 Low Emissivity

تجهیزات ساختمان های موجود. تغییر شرایط ساختمان و شرایط محیطی از بیرون به درون می‌تواند بر متغیرهای مختلف تأثیر بگذارد. این متغیرها شامل عوامل بیرونی همچون، دمای هوای بیرون، میزان تابش خورشید، در شرایط محیطی، و همچنین عوامل داخلی همچون گرم‌کننده/ خنک‌کننده‌های تابشی، نوع تهویه هوا در سیستم‌های (HVAC)[1] میزان جذب حرارت داخلی، برنامه زمانی کاری و شرایط بهره‌برداری از دیوار، سقف، کف و مشخصات WWR^2 (نسبت پنجره به دیوار) در پوسته‌ی ساختمان، و در نهایت، ارتفاع کف و سقف ساختمان می‌باشد که این عوامل می‌توانند در کلیه‌ی رفتارهای حرارتی و همچنین جریان هوای داخل ساختمان بسیار تعیین کننده باشند. گرچه برخی ویژگی‌های خاص ساختمان ها نیز می‌توانند موثر باشند. شکل ۲ برخی متغیرهای موثر در شرایط داخلی ساختمان ها را نشان می‌دهد.



شکل۲. متغیرهای وابسته به محیط و ساختمان که بر شرایط داخلی ساختمان ها تأثیرگذارند

۲-۳ متغیرها و معیارهای انتخابی

مطالعات نشان داده است که آسایش حرارتی که نقشی اساسی در مصرف انرژی دارد می‌تواند از طریق اصلاحاتی جزئی بروی ساختمان های قبلی اعمال شود. این اصلاحات می‌توانند با توجه به میزان بهره‌وری و امکان پذیری آنها بر اساس موضوعات زیر جهت بهسازی به کار روند:

۲-۳-۱. عایق بندی و پل حرارتی

جرم حرارتی بالا در سازه، (مثلا در سنگ، مصالح بنایی، و یا سیمان) از طریق حفره‌های سازه‌ای به عنوان پل حرارتی عمل می‌کنند. به این دلیل استفاده از عایق‌بندی در ساختمان امری ضروری است. یک رویکرد جدید ساخت در این زمینه، استفاده از پنلهای عایق سازه‌ای (SIP)[3] است. SIP نوعی پنل ساختمانی پیش ساخته است که معمولا شامل لایه‌های مانند تخته با رشته‌های جهت دار یا نئوپان، و هسته‌ای عایق می‌باشد. یکی از نمونه‌های SIPها پلی استایرن منبسط شده [4] (EPS) می‌باشد. در مناطق گرم، استفاده از پلی استایرن منبسط شده جهت عایق بندی حرارتی در فضاهای بیرونی توصیه شده است (Harputlugil & de Wilde, 2022). چرا که این ماده در مقابل انتقال رطوبت، دوام و مقاومت مناسبی را از خود نشان داده است. بر اساس HBRC[5] مقدار مقاومت حرارتی (معیار R-Value) توصیه شده برای دیوار و بام باید به ترتیب میان ۰.۹ و ۲.۳ $m^2°C/W$ باشد. به عنوان بخشی از طرح بهسازی، لازم است که عایق بندی لبه‌ها در سیستم‌های پنجره به خوبی انجام گیرد تا میزان پل حرارتی در ساختمان های مناطق گرم به حداقل برسد.

مطالعات متعددی بروی متریالهای مختلف مورد استفاده درعایق بندی ، با درجات مختلف R-Value انجام شده است. این متریال‌های عایق‌بندی شامل این موارد می‌باشد: عایق هاب پتویی (عمدتا از جنس فایبرگلس)، بلوکهای بتنی(شامل متریال فوم)، تخته‌های فوم (عمدتا

1 Heating, Ventilating and Air Conditioning
2 Window-to-Wall Ratio
3 Structural Insulation Panels
4 Expanded Polystyrene System
5 Housing and Building National Research Center

از جنس پلی استایرن)، قالب بتن عایق (ICF)[1] ، فوم تزریقی عایق‌بندی (عمدتا تشکیل شده از سلولز) سیستم‌های بازتابنده مانند فویل، عایق بندی فیبری صلب، اسپری فوم سیمانی، و پنلهای عایق سازه‌ای (SIPها) هر یک از این متریالها به گونه‌ی متفاوتی به کار رفته و مزایای خاص خود را دارند.

۲-۳-۲. هوابندی و نفوذ هوا

میزان جریان طبیعی هوا در بیرون و درون ساختمان به عنوان نشت هوا در نظر گرفته می‌شود. عامل نشت هوا با میزان تغییرات هوا در هر ساعت اندازه‌گیری می‌شود (AC/ H) شرایط آب و هوایی طبیعی از جمله تغییرات دمایی و باد می‌تواند باعث افزایش میزان نشت هوا شود. شبیه سازی تعداد زیادی از انواع ساختمان ها نشان داده است که کاهش نشت هوا می‌تواند از ۵ تا ۴۰ درصد باعث صرفه‌جویی در انرژی‌های گرمایشی و سرمایشی(OECD/IEA)[2] شود. نشت هوا را می‌توان با استفاده از درزگیرها، واشرها، و افزودن پنلهای پنجره کاهش داد(Jahnke, 2019).

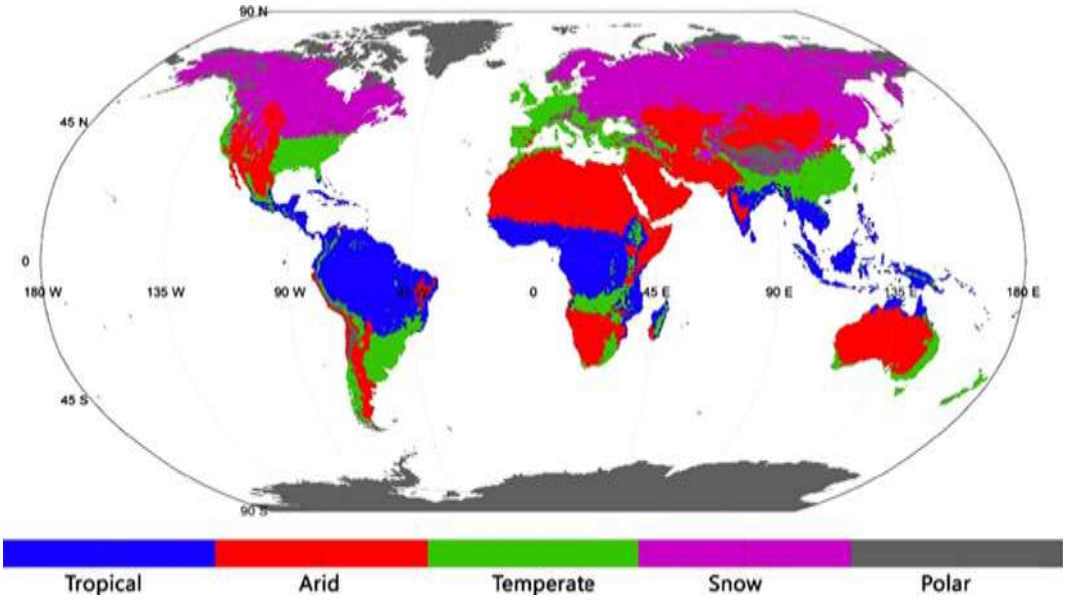
۲-۳-۳. شیشه گذاری پنجره

پنجره‌ها عملکردهای متعددی دارند. علاوه بر اینکه دسترسی لازم به فضای ساختمان یا بیرون را فراهم می‌کنند، تأمین روشنی روز، امنیت و جریان حرارتی را نیز بر عهده دارند. به همین دلیل، انتخاب صحیح اندازه‌ی پنجره‌ها، جهت گیری و همچنین نحوه‌ی شیشه گذاری در آنها بسیار اهمیت دارد. جریان حرارتی به عواملی همچون فصل، نوع ساختمان و بهره‌برداری از آن بستگی دارد. در صورتی که داخل ساختمان خنک و هوای بیرون گرم باشد، پنجره ها باید حرارت دریافتی از خورشید را دور نگه داشته و اجازه دهند این حرارت از ساختمان بازتاب یابد. (مقدار value-U بالا) در حال حاضر، در بسیاری از نقاط دنیا، پنجره‌های تک جداره با شیشه‌های شفاف وعایق بندی ضعیف استفاده می‌شوند. در این نوع از پنجره‌ها value-U حدودی بین ۴.۵ وات بر متر مربع در کلوین (K ۲W/m) تا ۵.۶ K W/m^2 می‌باشد. بیشتر کشورهای عضو OECD به سمت استفاده از پنجره‌های دو جداره حرکت کرده‌اند که این پنجره‌ها پوشش‌های شیشه‌ی low-e و قابهایی کم رسانا داشته و در ساختمان های مسکونی از گازهای بی اثر برای ایجاد values-U کمتر استفاده می‌کنند. (OECD/IEA) در برخی اقلیم‌ها از تلفیقی از روشهای پیشرفته‌ی شیشه‌گذاری ثابت، سیستمهای پنجره‌های عایق و همچنین سایه اندازی معماری، استفاده می‌کنند تا اثرات فصلی را به حداقل برسانند. به طور کلی، امروزه در اقلیم معتدل اروپا برای دستیابی به نتیجه‌ی مطلوب در این زمینه اقداماتی همچون به کارگیری سیستم پنجره‌های سه جداره با دو لایه‌ی شیشه‌ی low-e، جذب حرارت خورشیدی کم، قابهای کم رسانا، و استفاده از سایبان، در حال انجام است(Steen Englund & etal., 2020).

۲-۳-۴. سایه اندازی

استفاده از ابزارهای سایه اندازی یکی از جنبه‌های بسیار مهم در راهبردهای بهره‌وری انرژی طراحی ساختمان هاست. برخی از راههای کنترل حرارت خورشیدی و سیستمهای سایه‌اندازی بر اساس (Whole Building Design Guide, 2016) شامل این موارد می‌شود: پیشامدگی‌های خارجی (تیغه‌ها)، سطوح بازتابنده‌ی افقی (صفحات بازتابنده‌ی نور) شیشه‌های با ضریب سایه اندازی (SC)[3] کم، ابزارهای کنترل تابش نور داخلی مانند پرده‌های ونیزی (کرکره‌ای) یا پرده‌های قابل تنظیم، و ویژگی‌های محوطه ساختمان مانند درختان بلند یا ردیفهای پرچین (Mélois & etal., 2019). WBDG[4] استفاده از پیش‌آمدگی‌های ثابت بروی شیشه‌های رو به جنوب را در جهت کنترل تابش مستقیم اشعه خورشید، توصیه می‌کند. میزان طول بهینه برای پیش‌آمدگی به اندازه‌ی پنجره و اهمیت نسبی گرمایش و سرمایش در ساختمان ها بستگی دارد. از دیگر موارد توصیه شده، به حداقل رساندن استفاده از شیشه‌های شرقی است. گرچه پرده‌های ونیزی یا عمودی میزان بار سرمایشی را به طور محسوسی کاهش نمی‌دهند، اما این وسایل امکان کنترل تابش نور را فراهم می‌کنند. واضح است که در نمای شمالی ساختمان نیازی به سایه‌اندازی نیست. به طور کلی، راهبردهای سایه‌اندازی بر اساس عرض جغرافیایی، چرخه‌ی خورشیدی و جهت ساختمان متفاوت است. دیگر موضوع مهم، توجه به کاهش دو عامل پیک جذب حرارتی و تجهیزات سرمایشی می‌باشد. همچنین افزایش کیفیت نورپردازی با نور طبیعی در فضای داخلی نیز اهمیت بسیاری دارد. در حال حاضر طیف وسیعی از محصولات تجاری سایه‌انداز با قابلیت تنظیم در بازار موجود هستند. که از جمله آنها می‌توان به سایبانهای برزنتی، صفحات خورشیدی و پرده‌های رولی و عمودی اشاره کرد.

1 Insulating Concrete Formwork
2 Organization for Economic Co-operation and Development/ International Energy Agency
3 Shading coefficient
4 Whole Building Design Guide



شکل۳. نقشه¬ی طبقه¬بندی اقلیمی کوپن- گایگر

۲-۴. ابزار شبیه‌سازی (روند مدل‌سازی)

شبیه سازی با استفاده از رابط کاربری گرافیکی (GUI)[1] نرم‌افزار Design Builder که موتور محاسباتی Energy Plus نیز در آن بکار گرفته شدهُ انجام شده است. نرم‌افزار Design Builder به علت انعطاف‌پذیری در وارد کردن داده‌های هندسی، کتابخانه‌های مصالح متنوع و مشخصات بارگذاری‌ها انتخاب شده است. به‌علاوه این نرم‌افزار شامل روندهای کنترلی است که دقت نتایج را در مقایسه با بکارگیری موتور Energy Plus به تنهایی، تضمین می‌کند (Edelenbosch & etal., 2021).

مدل شبیه‌سازی مبنا بر اساس جزئیات کنونی ساخت، مصالح و سیستم‌های نواحی مختلف پروژه است. هدف از ساخت یک مدل مبنا، تخمین میزان مصرف انرژی یک ساختمان معمولی برای پروژه‌های مورد مطالعه بدون بهسازی است. به این طریق می‌توان به مقایسه نقش و حساسیت هر جزء و سیستم به صورت انفرادی پس از انجام بهسازی، از نظر میزان کل انرژی مصرف شده پرداخت.

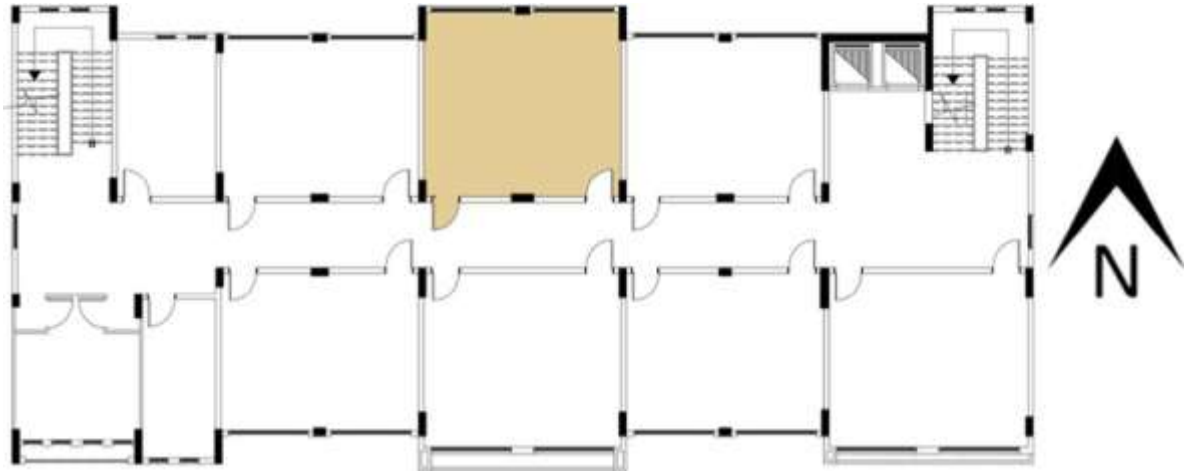
موقعیت	ساختمانمدرسه بین المللی شیراز 30^0 N, 30.4^0 E
منطقه جغرافیایی	
اقلیم منطقه	گرم و خشک
نوع ساختمان	آموزشی
مساحت	680 m^2
محدوده پروژه مقیاس پروژه	
زمان ساخت	
نرم افزار شبیه سازی	نمونه کلاسی می Design Builder via Energy Plus
هدف	کاهش مصرف انرژی

شکل۴. مشخصات کلی نمونه موردی اول

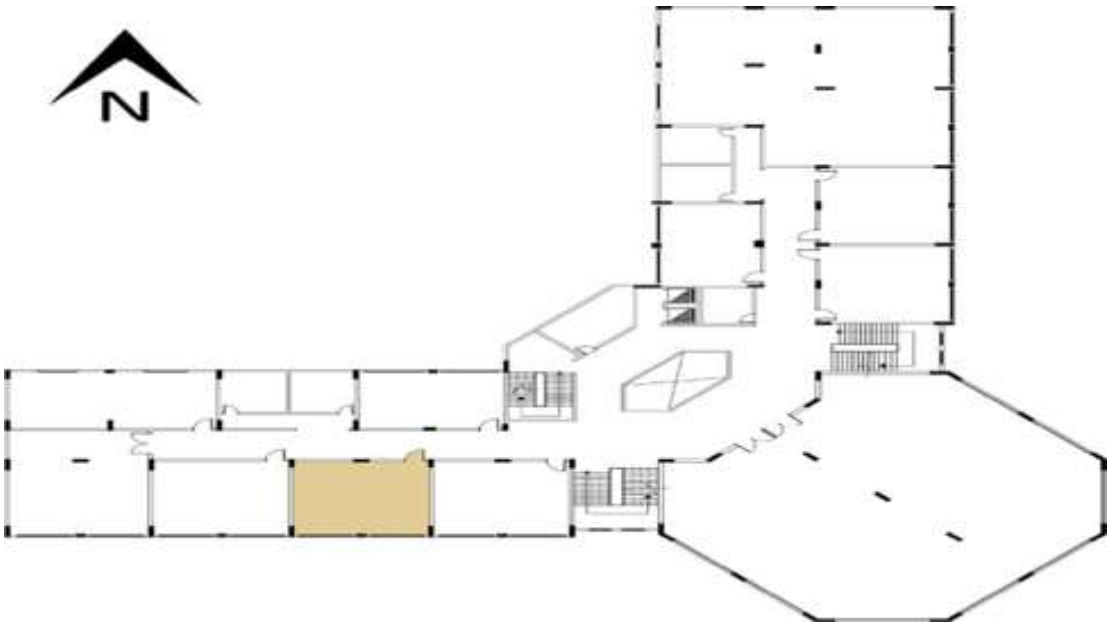
۲-۴-۱. توضیحات محل و جمع‌آوری اطلاعات

1 Graphical User Interface

سه ساختمان موجود واقع در شیراز در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۳ نقشه تقسیم‌بندی آب و هوایی کوپن- گایگر را نشان می‌دهد. ساختمان اول یک ساختمان ۵ طبقه با مساحت ۶۸۰ مترمربع است؛ همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است. ساختمان مورد نظر یکی از ساختمان های دانشکده مهندسی دانشکده ادبیات دانشگاه شیراز است که در استان غربیه ، در راستای محور شرقی غربی واقع شده که با راستای شمال زاویه عمود می‌سازد. همانطور که در شکل ۴ قابل مشاهده است، کاربری بیشتر طبقات آموزشی بوده و دروس خاص مهندسی دارند. ساختمان دوم یک ساختمان ۶ طبقه با مساحت ۱۸۰۰ مترمربع است؛ همانطور که در جدول ۳ آورده شده است. این ساختمان یکی از موسسات آموزش عالی در علوم و فنون است که در استان دبستان دخترانه نسل هوشمند در راستای محور شرقی غربی واقع شده که با راستای جنوب زاویه عمود دارد. همانطور که در شکل ۵ مشخص است، بیشتر طبقات کاربری آموزشی برای دانشکده‌های مهندسی دارند.



شکل ۵. پلان استاندارد طبقه همکف نشان دهنده¬ی سالن مطالعه¬ی ساختمان برنامه¬ریزی فضایی، دانشکده¬ی مهندسی دانشکده ادبیات دانشگاه شیراز



شکل ۶. پلان استاندارد طبقه همکف، نشان دهنده¬ی سالن مطالعه¬ی موسسه عالی علم و فناوری

کلاس‌ها یا اتاق‌های کنفرانس انتخاب شده برای مطالعه به صورت تصادفی از بین سه ساختمان دانشگاهی در سه ناحیه مختلف آب و هوایی انتخاب شده‌اند. هر سه ناحیه طی دهه اخیر ساخته شده و نماینده فضای آموزشی استاندارد در شیراز هستند و از آنجاکه هیچ معیار قانونی برای این فضاها وجود ندارد؛ انتخاب بر اساس تنوع جهت‌گیریُ اندازه و ناحیه آب و هوایی انجام شده است. معمولا استاندارد کلاس‌ها به گونه‌ای است که گنجایش ۴۰–۵۰ دانش‌آموز را داشته باشد. شکل ۳، موقعیت کلاس یا اتاق کنفرانس انتخاب شده را در ساختمان آموزشی نشان می‌دهد. جدول ۶ یک توضیح مختصر در مورد مکان‌های مورد مطالعه در شرایط پایه ارائه می‌دهد. موقعیت‌های شیراز (آب و هوای گرم و خشک شمال شیراز) و فایل‌های اطلاعات هواشناسی ساعتی همراه آن‌ها شامل دما، سرعت باد، تابش خورشید و رطوبت نسبی برای شبیه‌سازی در DesignBuilder انتخاب شدند. یک برنامه زمان‌بندی برای مدت زمان بهره‌برداری از ساختمان با در نظر گرفتن برنامه تعطیلات دانشگاه‌های شیراز نیز در نظر گرفته شد: همه روزهای هفته به غیر از جمعه از ساعت ۸ صبح تا ۱۸ + ۱۲۰ روز برای تعطیلات. کنترل محیطی برای خنک کردن با الکتریسیته با توجه به راهنمای CIBSE ،B[1] تعیین شده است: خنک کردن تا دمای ۱۹–۲۵ درجه سانتی‌گراد برای مطالعه راهبردهای عملی ساختمان در طول سال به علت تغییرات فصلی مدل پایه، برای سه مطالعه موردی در حالت پایه کل ، شبیه‌سازی انجام شده است.

۲-۴-۲. راهبردها/معیارهای بهسازی انرژی

هدف از این برنامه دستیابی به مهمترین و عملی‌ترین راهبردهای بهسازی برای مصرف بهینه انرژی است. این مطالعه راهبردهای بهسازی مختلف فعال و غیر فعال مانند بهسازی پوسته (عایق‌بندی، هوابندی، شیشه‌گذاری پنجره‌ها و سایه‌بان خارجی) و راهبردهای ترکیبی تهویه را توسعه داده است. این راهبردها روی سه نمونه کلاس/ اتاق کنفرانس به کار برده شده‌اند. بر اساس مطالعات و آزمون‌های گذشته، راهبردهای منتخب ذکر شده در ذیل برای این مطالعه انتخاب شده‌اند:

موقعیت	موسسه عالی علم و فناوری، ا
منطقه جغرافیایی	30^0 N, 30.4^0 E
اقلیم منطقه	گرم و خشک
نوع ساختمان	آموزشی
مساحت	m^2 1800
محدوده پروژه مقیاس پروژه	نمونه کلاسی
زمان ساخت	۱۳۹۰
نرم افزار شبیه سازی	Design Builder via Energy Plus
هدف	کاهش مصرف انرژی

شکل۷. مشخصات کلی نمونه موردی دوم

۲-۴-۳. عایق‌بندی

برای عایق‌بندی ۰/۰۵ میلی‌متر EPS [2] پلی‌استایرن منبسط شونده مطابق شکل ۷ –که مقطعی از لایه‌های دیوار را با بکارگیری EPS در دیوارهای موجود نشان داده است– به دیوارهای خارجی اضافه شده است. EPS یک مصالح عایق معدنی و ضدپوسیدگی است. EPS در سرتاسر دنیا به عنوان یک روش ایمن، بسیار موثر و اقتصادی عایق‌بندی ساختمان پذیرفته شده است. صفحات عایق‌بندی EPS علاوه بر مقاومت در برابر رطوبت، دارای کارآمدی انرژی بالا، سبک، با قابلیت جابه‌جایی آسان و مصالح عایق‌بندی با پایداری طولانی مدت هستند.

۲-۴-۴. هوابندی

هوابندی/ نفوذپذیری با آب‌بندی اطراف پنجره‌ها هواکش‌ها و درب‌ها، از مقدار AC/H ۰/۷ به مقدار AC/H ۰/۳ بهبود پیدا کرد. همانطور که قبلا اشاره شد، نشت هوا به وسیله تغییرات هوا بر ساعت (AC/H) اندازه‌گیری می‌شود. هوابندی به تعداد و اندازه راه‌های نشت هوا و

1 Chartered Institution of Building Services Engineers
2 Expanded Polystyrene Insulation

همچنین اختلاف فشار داخل و بیرون وابسته است. با وجود این هوابندی راحتی و کیفیت هوا را بهبود بخشیده و مشکلات تراکم را کاهش می‌دهد و در نتیجه مصرف انرژی را کاهش می‌دهد.

۲-۴-۵. شیشه‌گذاری پنجره‌ها

پنجره قاب آلومینیومی با شیشه تک جداره را با پنجره دوجداره ۴/۶/۴ میلی‌متر پر شده با گاز آرگون جایگزین کردیم. واحدهای شیشه عایق می‌توانند دوبرابر و سه برابر بشوند. با وجود اینکه سه برابر کردن این واحدها بهتر است ولی حالت دو برابر مقرون‌به‌صرفه‌تر و در دسترس‌تر است. پر کردن با گاز آرگون به عنوان روشی کم هزینه، پاک، غیر سمی و یک گاز طبیعی با هدایت گرمایی کمتر از هوا شناخته شده است. اگرچه چندین روش شیشه‌گذاری برای کنترل نور خورشید وجود دارد: شیشه‌های رنگی (به وسیله اکسید فلزات)، شیشه‌های رفلکس، شیشه‌های دارای پوشش طیفی انتخابی و دارای پوشش low-e ؛ با وجود این شیشه‌های دارای پوشش low-e به عنوان روشی پاک و در دسترس برای حالات مختلف جذب نور خورشید (زیاد، متوسط و کم) شناخته شده‌اند. علاوه بر صرفه‌جویی در انرژی، این روش به عنوان مناسب‌ترین راه برای فصول و جهات مختلف ساختمان شناخته شد.

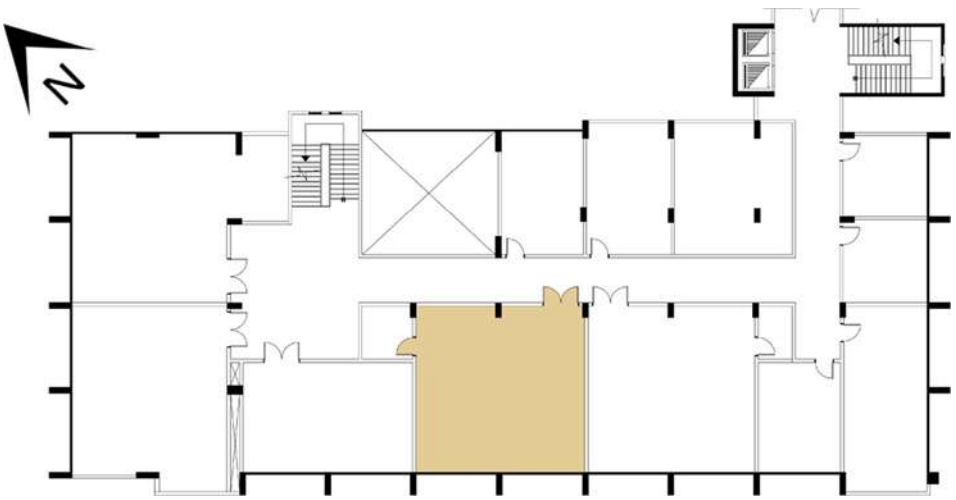
۲-۴-۶. سایه‌بان خارجی

معمولاً پرده‌های فلزی که با مصالح به کار برده شده در ساختمان همخوانی دارند، برای استفاده در این روش ارجحیت دارند. بعد از انجام چند مطالعه پرده‌های فلزی به طول ۰/۵ متر برای افزایش بهره‌وری انرژی انتخاب شدند. پرده‌های فلزی دارای ویژگی‌های صرفه اقتصادی، در دسترس بودن، انعطاف‌پذیری، دوام و دوستدار محیط زیست هستند (Zhang & etal.,2019).

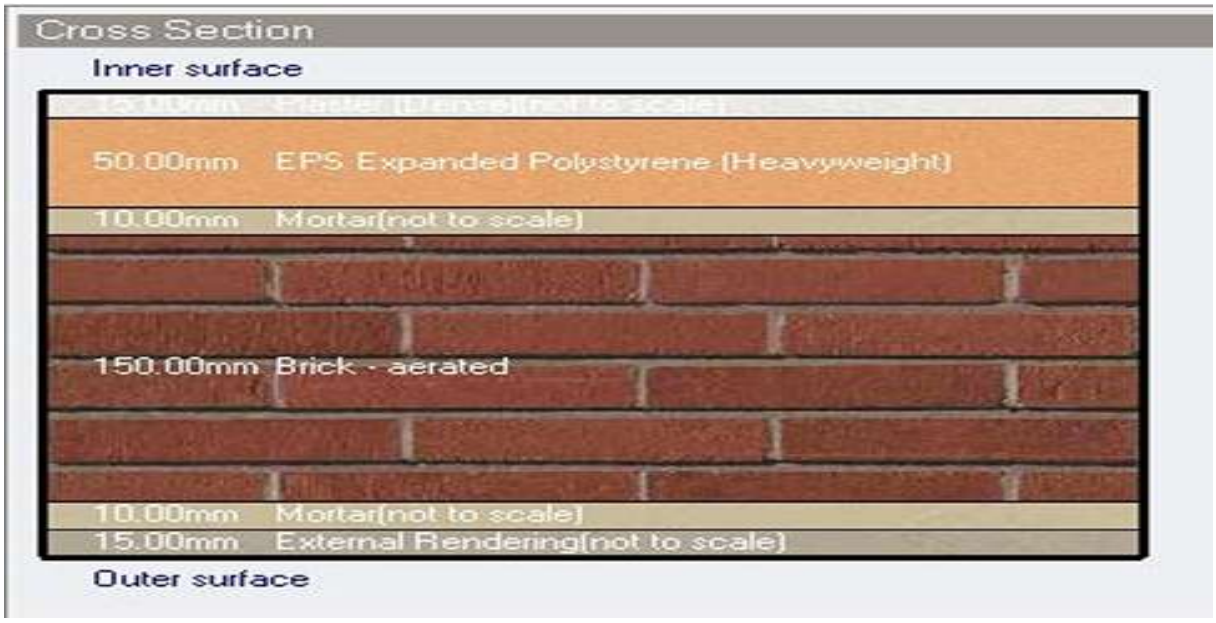
در راستای دستیابی به هدف این مطالعه، یک بررسی میدانی برای علامت‌گذاری یک نمونه از فضای سه کلاس/ اتاق کنفرانس در ساختمان های دانشگاهی واقع در شیراز توضیح داده شده و هدایت شده است. پس از آن مقایسه میان کلاس یا اتاق کنفرانس عمومی انتخاب شده در حالت پایه و در حالت بهسازی پارامترهای انتخاب شده برای بهره‌وری انرژی، انجام می‌شود. این عمل از طریق بکارگیری شبیه‌سازی راهبردهای مختلف طراحی بهسازی شامل فعال و غیر فعال بر روی نمونه‌های انتخاب شده انجام می‌شود.

روش بر مبنای شبیه‌سازی شامل گام‌های زیر است:

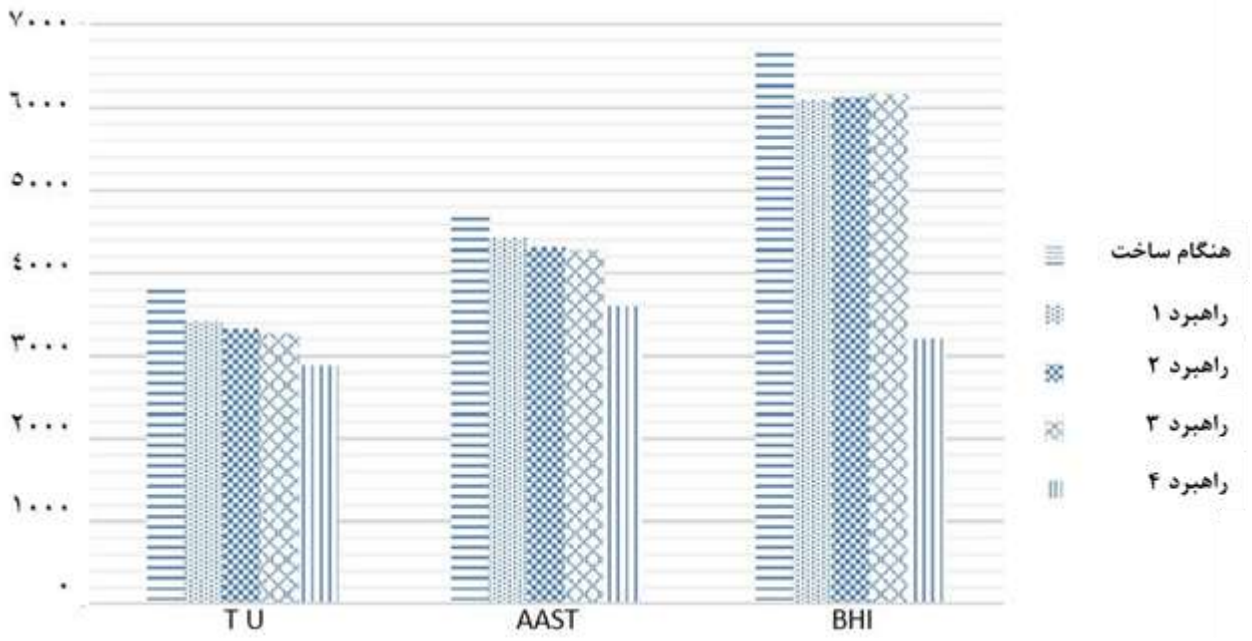
- موقعیت سه محل مورد مطالعه و اطلاعات هواشناسی آن‌ها در انتخاب می‌شوند تا کارآیی انرژی هر ساختمان منتخب بر اساس شرایط آب و هوایی همراهش شبیه‌سازی شود.
- یک حالت پایه برای هریک از سه محل که عمدتا وابسته به روشنایی مصنوعی و سیستم‌های HVAC است، با دیوارهای آجری با ضخامت ۲۰ سانتی‌متر بدون عایق‌بندی شرح داده شده و مصرف انرژی کل آن‌ها محاسبه می‌شود. سپس به سنجش تعداد زیادی از متغیرهای بهسازی مانند نوع شیشه‌گذاری، عایق‌بندی، هوابندی و سایه‌اندازی پرداخته می‌شود.
- پس از آن موثرترین متغیرهای بهسازی بر اساس مصرف انرژی و مقایسه با فضاهای مرسوم حالت پایه، شبیه‌سازی می‌شوند.
- پس از بدست آوردن نتایج شبیه‌سازی، فضاها در جهات مختلف آزمون می‌شوند تا بهترین مدل بهسازی برای فضاهای آموزشی که دارای بیشترین بهره‌وری انرژی است بدست آید.



شکل۸. پلان استاندارد طبقه همکف، نشان دهنده¬ی سالن مطالعه¬ی موسسه ی علم و فناوری



شکل۹. مقطع لایه¬های دیوار پس از اعمال متریال عایق بر دیوار موجود

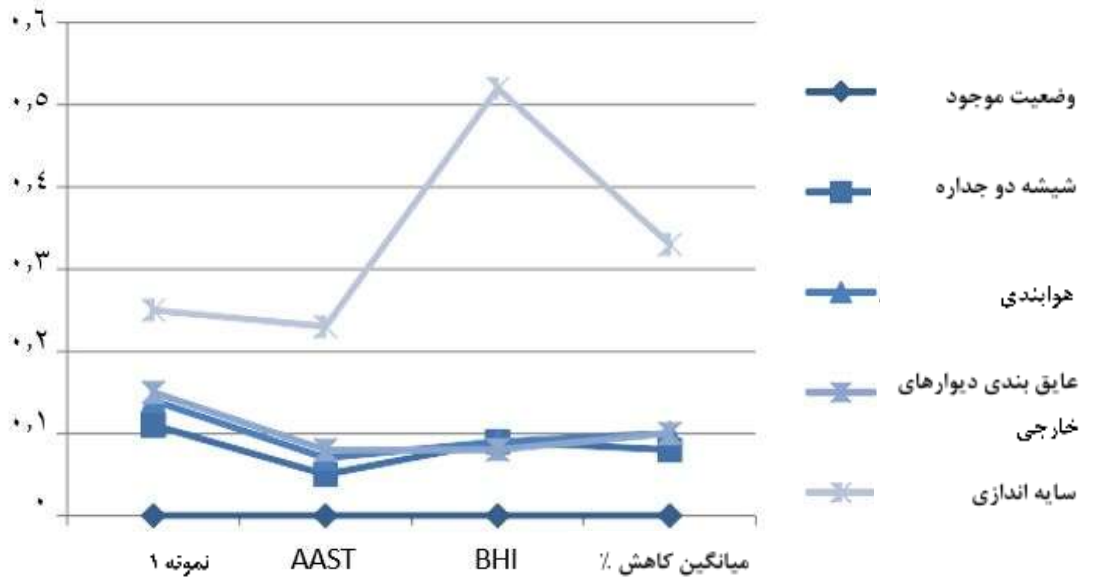


شکل۱۰. تفکیک انرژی (W h/m2) بر اساس راهبردهای مختلف

۴. یافته ها

بر اساس شکل ۸ مصرف انرژی در فضای آموزشی نمونه در دانشکده ادبیات دانشگاه شیراز پس از بهسازی با شیشه‌های دوجداره، هوابندی، عایق‌بندی دیوارهای خارجی و سایه‌اندازی، از میزان تقریبی ۳۸۰۰ وات ساعت بر متر مربع به میزان تقریبی ۲۹۰۰ وات ساعت بر متر مربع رسید. در فضای آموزشی دبستان دخترانه نسل هوشمند، مصرف انرژی پس از بکارگیری تدابیر بهسازی (شیشه‌گذاری دوجداره، هوابندی، عایق‌بندی دیوارهای خارجی و سایه‌اندازی) از میزان تقریبی ۶۷۰۰ وات ساعت بر متر مربع به میزان ۳۲۰۰ وات ساعت بر متر مربع کاهش یافت. همچنین برای فضای آموزشی علم و فناوری شیراز این عدد پس از بکارگیری متغیرهای بهسازی (شیشه دوجداره، هوابندی، عایق‌بندی دیوارهای خارجی و سایه‌اندازی، از مقدار تقریبی ۴۷۰۰ وات ساعت بر متر مربع به میزان تقریبی ۳۲۰۰ وات ساعت بر متر مربع کاهش یافت. همانطور میزان انرژی مرتبط با راهبردهای متفاوت (وات ساعت بر متر مربع) با وجود موقعیت‌ها و جهت‌گیری‌های متفاوت، در هر سه نمونه مورد مطالعه با شدت متفاوت کاهش می‌یابد. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، برای کلاس نمونه میانگین در سه ساختمان آموزشی با موقعیت‌ها و جهت‌های متفاوت، راهبرد پرده‌های فلزی ۰/۵ سانتی‌متری میانگین مصرف انرژی را به میزان ۲۳ درصد کاهش داد. در ادامه

استفاده از راهبرد شیشه دو جداره با low-e ۴/۶/۴ میلی‌متر و پر شده با گاز آرگون، میانگین مصرف انرژی را ۸ درصد کاهش داد. کم‌تاثیرترین راهبرد، راهبرد هوابندی بود که تنها ۲ درصد از میانگین مصرف انرژی کم کرد. همچنین عایق‌بندی با افزودن ۰/۰۵ میلی‌متر EPS به دیوارهای خارجی تقریبا تاثیری بر میانگین مصرف انرژی نداشت. شکل ۹ نموداری را نشان می‌دهد که میزان کاهش مصرف انرژی بر اساس راهبرد به کار گرفته شده را نشان می‌دهد که به ترتیب اهمیت سایه‌اندازی، شیشه‌گذاری پنجره‌ها، هوابندی و در نهایت عایق‌بندی در کاهش مصرف انرژی را نشان می‌دهد که می‌تواند میانگینی برابر ۳۳ درصد داشته باشد.



شکل۱۱. مقدار انرژی کاهش یافته بر اساس هر یک از راهبردها

۵. نتیجه گیری

هدف از این پژوهش ارائه یک نمای کلی از متغیرهای بهسازی به منظور برآورد رابطه نزدیک میان متغیرهای مختلف بهسازی و بهره‌وری انرژی در آب و هوای گرم و خشک شیراز است. به عنوان نتیجه راهبردهای بهسازی همچون سایه‌اندازی می‌تواند تا ۲۳ درصد از میانگین مصرف انرژی بکاهد. همچنین راهبرد شیشه‌گذاری که در این مطالعه مصرف انرژی را تا ۸ درصد کاهش داد. هوابندی تاثیر کمی بر کاهش میانگین مصرف انرژی در نمونه‌های مورد مطالعه داشته است، یعنی مصرف انرژی را تنها ۲ درصد کاهش داده است. عایق‌بندی دیوارها به عنوان یک راهبرد بهسازی تقریبا تاثیری بر میزان مصرف انرژی نداشت. به علاوه این مطالعه تلاشی بود برای بازنگری امکان تغییر اولویت‌ها از طریق آزمون‌های شبیه‌سازی بر روی پارامترهای طراحی مختلف که تاثیر زیادی بر ریز اقلیم‌ها دارند. محتویات روش‌های تقویت بهسازی را پوشش دادند که تاثیر زیادی بر مصرف انرژی از طریق برخی پارامترهای پوسته ساختمان دارد. این مطالعه به یک حوزه‌ی محدود در جست‌وجوی راهبردهای پایدار برای دستیابی به اهداف زیست‌محیطی گسترده‌تر پرداخته است. این یک حوزه پویاست، حوزه‌ای که به طور مداوم ایده‌های جدیدی را ایجاد می‌کند و نقش‌های جدیدی را از جهات مختلف در بر می‌گیرد. اعتقاد بر اینست که با تغییر شرایط فیزیکی و محیطی، نظریه‌ها و رویکردهای جدید به وجود می‌آیند. بنابراین نقش معماران، تصمیم‌گیران و مهندسان شاغل در این حوزه اهمیت بیشتری پیدا خواهد کرد.

۵-۱. پیشنهادات

به عنوان یک دیدگاه گسترده، می‌توان نتیجه گرفت که راهبردهای بهسازی بر رفاه انسان تاثیر می‌گذارد و بنابراین مصرف انرژی که یکی از موارد مهم رفاهی است و سایر نیازها بهتر است از طریق چند پیشنهاد، دستورالعمل و اقدامات ویژه مورد بررسی قرار بگیرند. در ادامه بر اساس مطالعه ارائه شده در بالا تعدادی پیشنهاد متمرکز داده می‌شود.

- تکنولوژی‌های پیشرفته بهسازی پوسته ساختمان که می‌تواند انرژی مورد نیاز جهت خنک کردن را کاهش دهد مورد تشویق قرار داده؛ هرچند در برخی موارد می‌تواند وسایل خنک کننده را غیرضروری تشخیص دهد.

- اجبار مقدار مشخصی از بهسازی مصرف انرژی از طریق آیین نامه‌های قانونی و اگر آیین‌نامه‌های قانونی دارای مشکل هستند، می‌توان از مشوق‌ها برای تشویق به پیروی از این روند استفاده کرد.
- اقدامات ارتقای حرارتی برای بهسازی در این مطالعه شامل عوامل محیطی مانند باد، باران و تابش خورشید نیستند. مطالعات بیشتری را می‌توان به منظور افزایش آسایش حرارتی انسان انجام داد.
- اقدامات بهسازی می‌تواند آسایش بصری یا سایر مسائل آسایشی انسان را هدف قرار دهد.
- از تحقیقات در مورد مصالح و فنون جدید و نوآورانه که می‌تواند مصرف انرژی را کاهش دهد، حمایت کنید.
- چندین روش ارزیابی مانند سنجش مداوم داده‌ها از طریق نظارت، حسابرسی یا پرسش‌نامه می‌تواند برای سنجش این یافته‌ها مورد استفاده قرار بگیرد.
- مطالعات بیشتر می‌تواند به مطالعه اقدامات مقرون‌به‌صرفه‌تر در کوتاه مدت و بلند مدت بپردازد.
- از دیگر راهبردهای بهسازی در بازار حمایت نموده و اثر هزینه آن‌ها در بلند مدت را مورد مطالعه قرار دهید.
- نمونه‌های بیشتر در موقعیت‌های مختلف می‌تواند نتایج را از نظر آماری تایید کنند.
- انواع مختلف ساختمان ها نیز می‌توانند مطالعه شوند.

۶. منابع

۱. اسماعیلی، حامد، قیابکلو، زهرا، رضایی، محمد. (۱۳۹۸). بهینه‌سازی پارامترهای پوسته خارجی ساختمان‌های اداری در اقلیم گرم و خشک به کمک الگوریتم ژنتیک. نشریه هنرهای زیبا – معماری و شهرسازی، ۲۴(۲)، ۲۵–۳۸.

۲. جعفری, لیلا, صلواتیان, سیده مامک. (۱۴۰۱). ارزیابی عملکرد فتوولتائیک یکپارچه با سیستم سایبان در بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان در اقلیم گرم و خشک (نمونه موردی ساختمان اداری در شهر شیراز). دو فصلنامه انرژی های تجدیدپذیر و نو، ۳(۱۲)، ۲۹-۴۱.
https://doi.org/10.52547/jrenew.10.1.70

۳. خطیبی، شهبازی، ترابی. (۱۴۰۱). بررسی رفتار حرارتی نماها باهدف تعیین گزینه مطلوب از نظر مصرف انرژی (مورد مطالعه: ساختمان اداری در اقلیم تهران). دو فصلنامه انرژی های تجدیدپذیر و نو، ۹(۲)، ۱۲۱-۱۲۹. https://www.jrenew.ir/article_144427.html

٤. سلیمی گرگری، رضا، مفیدی شمیرانی، سید مجید، صنایعیان، هانیه. (۱۴۰۰). «تبیین بهینه‌سازی پارامترهای طراحی پوسته ساختمان در جهت کاهش مصرف انرژی (نمونه موردی: بناهای مسکونی متداول شهر تهران)». نشریه هویت شهر، ۱۵(۴)، ۸۵–۹۸.

٥. لاوی، محمدرضا، شاهدی، بهرام. (۱۳۹۹). «تحلیل رفتار حرارتی پوسته خارجی–نمایی ساختمان با مصالح و تکنولوژی‌های سنتی و نوین با هدف بهینه‌سازی مصرف انرژی (اقلیم سرد اردبیل)». فصلنامه علمی معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۱۳(۳۳)، ۱۷۵–۱۸۸.

1. Azari, R., Garshasbi, S., Amini, P., Rashed-Ali, H., & Mohammadi, Y. (2016). Multi-objective optimization of building envelope design for life cycle environmental performance. Energy and Buildings, 126, 524-534. 10.1016/j.enbuild.2016.05.054
2. Ghazwani, K., Beach, T., & Rezgui, Y. (2025). Energy retrofitting using advanced building envelope materials for sustainable housing: A review. Building and Environment, 267, 112243.
3. Ardent, F., Beccali, M., & Cellura, M. (2009). Application of the io methodology to the energy and environmental analysis of a regional context. In Handbook of input-output economics in industrial ecology (pp. 435–457). Springer, Dordrecht.
4. Ascanio-Villabona, J. G., Terés-Zubiaga, J., Muñoz-Maldonado, Y. A., Lengerke-Pérez, O., & LA, D. P. V. (2022). Assessing the Thermal Performance of a Conventional Architecture in Dry Warm Climate. In XV Multidisciplinary International Congress on Science and Technology (pp. 47–58). Springer, Cham.
5. Baetens, R., Jelle, B. P., & Gustavsen, A. (2010). Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review. Energy and Buildings, 42(9), 1361–1368. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.03.026
6. Bhadbhade, N., Fouiteh, I., Yilmaz, S., Patel, M. K., Boogen, N., & Betz, R. (2021). Energy efficiency Trends and Policies in Switzerland (2000–2019/2020).
7. Chlechowitz, M., Reuter, M., & Eichhammer, W. (2022). An Indicator based Approach to the Energy Efficiency First Principle (No. S10/2021). Working Paper Sustainability and Innovation.
8. Edelenbosch, O. Y., Rovelli, D., Levesque, A., Marangoni, G., & Tavoni, M. (2021). Long term, cross-country effects of buildings insulation policies. Technological Forecasting and Social Change, 170, 120887.
9. Harputlugil, T., & de Wilde, P. (2021). The interaction between humans and buildings for energy efficiency: A critical review. Energy Research & Social Science, 71, 101828.

10. Hosseini, S. M., et al. (2022). Machine learning applications in building envelope energy optimization: A state-of-the-art review. Building and Environment, 219, 109281. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109281.
11. Huang, P., & Niu, J. (2016). Optimal building envelope design based on simulated performance: History, current status and new potentials. Energy and Buildings, Vol. 117, pp. 387–398. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.09.025
12. Méndez Echenagucia, T., Capozzoli, A., Cascone, Y., & Sharaf, F. (2015). The early design stage of a building envelope: Multi-objective search through heating, cooling and lighting energy performance analysis. Applied Energy, Vol. 154, pp. 577–591. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.04.090
13. Jahnke, R. (2019). Coaching for Change at Joseph Rowntree. In Evidence-Based Initiatives for Organizational Change and Development (pp. 425–433). IGI Global.
14. Kamel, E., & Memari, A. M. (2019). Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions. Automation in Construction, 97, 164–180.
15. Khalaf, M., Ashrafian, T., & Demirci, C. (2019). Energy efficiency evaluation of different glazing and shading systems in a school building. In E3S Web of Conferences (Vol. 111, p. 03052). EDP Sciences.
16. Kim, N. H. (2021). Effect of inclination on thermal performance of a louver-finned aluminum heat exchanger having a drainage channel. Journal of Mechanical Science and Technology, 35(1), 381–389.
17. Mélois, A. B., Moujalled, B., Guyot, G., & Leprince, V. (2019). Improving building envelope knowledge from analysis of 219,000 certified on-site air leakage measurements in France. Building and Environment, 159, 106145.
18. Méndez Echenagucia, T., Capozzoli, A., Cascone, Y., & Sharaf, F. (2015). The early design stage of a building envelope: Multi-objective search through heating, cooling and lighting energy performance analysis. Applied Energy, Vol. 154, pp. 577–591. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.04.090
19. Steen Englund, J., Cehlin, M., Akander, J., & Moshfegh, B. (2020). Measured and simulated energy use in a secondary school building in Sweden—A case study of validation, airing, and occupancy behaviour. Energies, 13(9), 2325.
20. Zhao, J., Ma, L., Zayed, M. E., Elsheikh, A. H., Li, W., Yan, Q., & Wang, J. (2021). Industrial reheating furnaces: A review of energy efficiency assessments, waste heat recovery potentials, heating process characteristics and perspectives for steel industry. Process Safety and Environmental Protection, 147, 1209-1228. 10.1016/j.psep.2021.01.045
21. Zhang, Z., Chong, A., Pan, Y., Zhang, C., & Lam, K. P. (2019). Whole building energy model for HVAC optimal control: A practical framework based on deep reinforcement learning. Energy and Buildings, 199, 472–490.