

تحلیلی بر الگوی ساختمان‌های صفر انرژی در اقلیم سرد و خشک شهر تبریز (مورد مطالعه: ساختمان اداری پسماند شهری)

فاطمه بایندور بگلو^۱

حسن ابراهیمی اصل^{۲*}

hasan.ebrahimi@gmail.com

بهنام حیدری^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۹

چکیده

زمینه و هدف: مفهوم ساختمان صفر انرژی در حال توسعه است اما این ساختمان باید ب شرایط مختلف آب و هوایی سازگار باشد. ساختمان‌های مناطق سردسیر بخصوص شهر تبریز به دلیل مصرف زیاد انرژی گرمایشی در فصل زمستان، مصرف انرژی و انتشار گاز بیشتری دارند. طراحی و راه اندازی یک ساختمان با انرژی صفر خالص در آب و هوای سرد بسیار چالش برانگیز است. این مقاله تحلیل الگوی یک ساختمان اداری صفر انرژی را با هدف بهره‌وری انرژی و پایداری محیطی مورد بحث قرار می دهد. براین اساس ساختمان اداری پسماند شهری تبریز مورد بررسی قرار گرفت. **روش کار:** روش تحقیق حاضر توصیفی-تحلیلی و با هدف کاربردی می باشد. برای تحلیل از نرم افزار شبیه ساز انرژی پلاس استفاده شد. شبیه سازی ساختمان برای تایید محیط روشنایی داخلی و مصرف انرژی سالانه انجام می شود. تراز انرژی برای مطالعه موردی، با هدف دستیابی به هدف انرژی الکتریکی با انرژی صفر محاسبه شد. نظارت دقیق انرژی در حین عملیات اجرا می شود. **یافته‌ها:** کل مصرف انرژی سالانه ساختمان شبیه سازی شده بسیار کمتر از اتاق‌های فعلی ساختمان می‌باشد. با توجه به نتیجه شبیه سازی ارائه شده توسط انرژی پلاس، میزان مصرف انرژی سالانه ۱۹۵۵۰۵ کیلو بی تی یو (۵۷۲۹۷ کیلووات ساعت) است که عمدتاً از طریق بار گرمایشی در فصل زمستان انجام می شود. همچنین نتایج نشان داد بهبود گرمایش و تهویه مطبوع و روش کنترل خصوصاً بر پایه نتایج پایش بسیار دقیق داده ها است. **بحث و نتیجه گیری:** برای دستیابی به ساختمان پایدار واقعی در اقلیم سرد، تحلیل چرخه حیات نیز برای دستیابی به عملکرد زیست محیطی ساختمان هم باید انجام گیرد. تا یک ساختمان پایدار صفر انرژی در اقلیم سرد شکل بگیرد.

واژه‌های کلیدی: معماری ساختمان، صفر انرژی، اقلیم سرد، شهر تبریز.

^۱ دانشجوی دکتری معماری، واحد بین المللی جلفا، دانشگاه آزاد اسلامی، جلفا، ایران

^۲ استادیار گروه معماری، واحد بین المللی جلفا، دانشگاه آزاد اسلامی، جلفا، ایران* (مسئول مکاتبات)

^۳ استادیار گروه مکانیک، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران

An analysis on the pattern of zero energy buildings in the cold and dry climate of Tabriz city (case study of municipal waste office building)

Fatemeh Baiandor Bagloo¹

Hassan Ebrahimi Asl^{2*}

hasan.ebrahimi@gmail.com

Behnam Heidari³

Admission Date: October 7, 2024

Date Received: July 31, 2023

Abstract

Background and aim: The concept of zero energy building is being developed, but this building must be adapted to different weather conditions. Buildings in cold areas, especially in Tabriz city, have more energy consumption and gas emissions due to the high consumption of heating energy in the winter season. Designing and operating a net zero energy building in a cold climate is very challenging. This article discusses the analysis of the model of a zero energy office building with the aim of energy efficiency and environmental sustainability. Therefore, the administrative building of urban waste in Tabriz was investigated.

Methods: The current research method is descriptive-analytical and with practical purpose. Energy Plus simulator software was used for analysis. The simulation of the building is done annually to confirm the indoor lighting environment and energy consumption. The energy balance for the case study was calculated with the goal of achieving zero energy electrical energy. Strict energy monitoring is implemented during operation.

Results: The total annual energy consumption of the simulated building is much lower than the current rooms of the building. According to the simulation results provided by Energy Plus, the annual energy consumption is 195,505 K-BUT (57,297 KW-hours), which is mainly done through the heating load in the winter season. Also, the results showed that the improvement of heating and air conditioning and the control method is especially based on the results of very accurate data monitoring.

Discussion and Conclusion: To achieve real sustainable building in cold climate, life cycle analysis should also be done to achieve the building's ecological performance. To create a sustainable zero energy building in a cold climate.

Keywords: Architecture, Building, Zero energy, Cold climate, Tabriz city.

¹ PhD Student in Architecture, Jolfa International Branch, Islamic Azad University, Jolfa, Iran

² Assistant Professor, Department of Architecture, Jolfa International Branch, Islamic Azad University, Jolfa, Iran * (Corresponding Author)

³ Assistant Professor, Department of Mechanics, Shabester Branch, Islamic Azad University, Shabester, Iran

مقدمه

با توجه به پیشرفت تکنولوژی همراه با رشد جمعیت، تقاضا برای انرژی سالانه افزایش یافته است (۱). این بیشتر به این دلیل است که انرژی نیروی محرکه اکثر اقتصادهای جهانی است. یکی از رویدادهای قابل توجهی که در سال ۲۰۱۸ بر اساس گزارش ارائه شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی (IEA) اتفاق افتاد، افزایش قابل توجه مصرف برق تقریباً ۲ برابر سال ۲۰۱۰ بود (۲). تقاضای بالای انرژی در سال ۲۰۱۸ رابطه مستقیمی با انتشار دی اکسید کربن داشت که از ۱۷ تا ۳۳٫۱ Gt مشاهده شد. اکثر مردم در سراسر جهان معمولاً بیشتر وقت خود را در داخل خانه می‌گذرانند، از این رو مهم است که در نظر بگیریم که ساختمان‌ها چگونه می‌توانند در مصرف انرژی صرفه جویی کنند (۳). معمولاً امروزه، صحبت در مورد تغییرات آب و هوایی این واقعیت را برجسته می‌کند که فعالیت‌های انسانی یک عامل اصلی در تخریب ناگهانی لایه اوزون است (۴) باتوجه به این نگرانی‌های حیاتی، استراتژی‌های مختلفی برای به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی سوخت‌های فسیلی از طریق افزایش کارایی روش‌های تبدیل انرژی در نظر گرفته شده است (۵): ۱- توسعه دستگاه‌های تبدیل انرژی کارآمد با اثرات زیست‌محیطی کم (۶)، ۲- استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر زیست‌محیطی که اثرات مخرب زیست‌محیطی کمتری دارند (۱). در مورد چگونگی استفاده از انرژی در ساختمان‌ها بحث‌های متعددی وجود دارد (۷). تا این اواخر مطالعه مشخص در مورد تأثیر نگرش ساکنان در ساختمان‌ها در رابطه با گرمایش، سرمایش، تهویه و همچنین مصرف انرژی بطور کلی همراه با فعالیت‌های انسانی در ساختمان مورد ارزیابی قرار نگرفته است (۸). در اروپا، چندین تلاش برای ارزیابی و تجزیه و تحلیل انرژی مورد استفاده در سازه‌ها انجام شده است. به عنوان مثال، برنامه‌های متعددی برای ساختمان‌سازی صفر انرژی به‌طور عمده برای کاهش تغییرات آب و هوایی و همچنین آلودگی محیط زیست اجرا شده است (۹). علاوه بر این، در ساخت ساختمان‌های جدید توجه به انرژی مورد نیاز در راه‌اندازی چنین ساختمان‌هایی بسیار مهم و حیاتی شده است و این امر در حال حاضر با نیاز به مهار انرژی از طریق استفاده از منابع تجدیدپذیر تقویت شده است. به‌عنوان مثال، ادغام خانه‌های هوشمند با خانه‌های صفر انرژی، نیاز انرژی خانه‌ها را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد (۱۰). یکی از قاره‌هایی که در تلاش است تا مصرف انرژی را در ساخت و ساز کاهش دهد، آسیا است. ارزیابی تقاضای انرژی برای این قاره به دلیل انتشار سموم بالای سالانه از این قاره بسیار ضروری شده است. به عنوان مثال، تقاضای انرژی برای

چین به عنوان کشوری در آسیا در حال حاضر بیشتر از ایالات متحده آمریکا است. انرژی مصرف شده در سال ۲۰۱۸ در چین ۱۰۷×۳٫۸۶ گیگاوات ساعت بود و این ۲۲ درصد از انرژی مصرف شده در سراسر جهان بود. با این حال، ۱/۴۲ بیشتر از انرژی مصرف شده در ایالات متحده آمریکا بود (۲) عمدتاً بیش از ۳۹٪ مصرف انرژی در جهان مربوط به بخش ساخت و ساز که از صنعت خودرو هم فراتر رفته است (۱۱). تقاضای برای انرژی در اکثر کشورهای آسیایی وابسته به شهرنشینی همراه با پیشرفت تکنولوژی است (۱۲). با افزایش تدریجی تقاضای انرژی برای انجام فعالیت‌های روزانه در یک ساختمان، تبدیل به یک موضوع هشدار دهنده شده است. یکی از رویکردهای عملگراییانه گزارش شده برای صرفه جویی در انرژی یک خانه، افزایش بهره‌وری انرژی ساختمان است (۱۳). در سالهای اخیر، توجه همه محققان و دست‌اندرکاران مصرف انرژی در بخش ساختمان به بحث صرفه جویی در مصرف انرژی و یافتن راهکارهای مناسب و کارا برای حفظ منابع انرژی، جلب شده است. بهینه‌سازی مصرف انرژی در سیستم‌های گرمایش و سرمایش ساختمان، برخلاف سایر سیستم‌های تبدیل انرژی با عوامل محدودکننده‌هایی نظیر شرایط آسایش حرارتی روبرو است. در اغلب موارد، کم کردن مصرف انرژی در ساختمان، باعث بدتر شدن شرایط آسایش حرارتی می‌گردد؛ بنابراین، باید در پی راهکارهایی بود که بتوان علاوه بر حفظ شرایط آسایش حرارتی در محدوده قابل قبول، مصرف انرژی را نیز کاهش داد (۱۴) زیرا مطابق ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۸ ایران یازدهمین کشور تولیدکننده دی اکسید کربن در جهان است (۱۵) و به استثنای سال ۱۳۸۹ که در نتیجه فاز اول هدفمندی یارانه‌ها انتشار دی اکسید کربن کاهش داشته است، این میزان یعنی انتشار مشکل دیگر در معماری معاصر ایران دور شدن از روش‌ها و اصول معماری سنتی است که به صورت ناآگاهانه به علت تحت تأثیر قرار گرفتن از روش‌ها و تکنولوژی معماری مدرن که به صورت انبوه مورد استفاده قرار می‌گیرد مشکلات زیادی در جهت مصرف انرژی پدید آورده که به طور مثال می‌توان به مشکلات ساختمان‌های جدید در مناطق گرم و مرطوب و گرم و خشک اشاره کرد. به همین جهت دستیابی به اصولی در راستای معماری پایدار می‌تواند ذره‌ای بازگشت به معماری هم‌ساز با طبیعت به سبک گذشته مفید باشد؛ بر همین اساس لزوم کاهش مصرف انرژی و بهینه‌سازی آن هرچه بیشتر احساس می‌شود. از اینرو در این پژوهش با توجه به وضعیت انرژی در ایران و رشد فزاینده مصرف سوخت‌های فسیلی که اثرات زیان‌باری را بر کشور تحمیل نموده است، سعی در ارزیابی ساختمان‌های صفر انرژی در محله رشدیه تبریز داشته است، به

گونه ای که در آن علاوه بر بهینه سازی مصرف انرژی از طریق اعمال راهکارهای غیرفعال، تمام و یا دستکم بخش زیادی از انرژیهای موردنیاز ساختمانها در محله فوق از این طریق تأمین شود. چون محلات شهر تبریز هم از پایداری لازم برخوردار نبوده از نظر آلودگی محیط هم به وسیله ضایعات معصون نیستند، از سویی با توجه به اینکه مانند بسیاری دیگر از کشورها در ایران نیز ساختمانهای بخش مسکونی از اصلیترین بخشهای مصرف کننده انرژی است و در کنار آن به سبب وابستگی شدید مصرف انرژی با اقلیم منطقه و به ویژه مناطق سرد و کوهستانی تبریز که شاهد بهره گیری از انرژی در بازه زمانی حداکثر در این مناطق هستیم، لذا ضروری می نماید که نوشتار حاضر به بهره گیری از انرژیهای صفر به دنبال خلق ساختمانهای پایدار صفر انرژی باشد. زیرا در میان اهداف مربوط به بخش انرژی در کشورهای مختلف، بهبود راندمان و بهینه سازی مصرف انرژی از اولویت برخوردار است. و این ضرورت ناشی از حفظ ذخایر پایان پذیر جهان باتوجه به محدودیتهای عرضه انرژی و رشد تقاضای آن؛ کاهش اثرات مخرب زیست محیطی ناشی از احتراق سوخت های فسیلی؛ بهبود بازده اقتصادی و رقابت جهانی با توجه به هزینه های لازم برای سرمایه گذاری در بخش انرژی خواهند بود. همه این حقایق کلیدی نیاز به تحقیقات در مورد ساختمانهای صفر انرژی در ایران را برجسته می کند. عواملی وجود دارند که تحقیقات در مورد ساختمانهای صفر انرژی را متوقف کرده است. برخی از این عوامل عبارتند از هزینه، نوآوری های تکنولوژیکی و در دسترس بودن مواد خام مناسب. خط مشی هایی که به عنوان راهنمای صنعت ساختمان تدوین شده اند، معمولاً از یک کشور به کشور دیگر متفاوت هستند و در برخی موارد حتی از یک مکان خاص به مکان دیگر در همان کشور متفاوت هستند. در این پژوهش سعی شده است با طراحی یک ساختمان مسکونی انرژی صفر و ارائه راهکارهایی در جهت بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان با بکارگیری سیستم های غیر فعال و فعال به یک ساختمان الگو رسید و هم راهکارهای مناسبی را برای کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان در اقلیم سرد ارائه داد و در نهایت به یک پارادایم ساختمان صفر انرژی دست پیدا کرد. در واقع هدف از این پژوهش ارائه یک واحد مسکونی پایدار با مصرف انرژی صفر می باشد. بنابراین سیستم های مختلفی در ساختمان به کار گرفته شده و موثر بودن و عدم تاثیر آن را در ساختمان با استفاده از نرم افزار سنجیده شده و مشخص می گردد که کدام سیستم تاثیر بهتری دارد.

خرازی صنعت شتریان، (۱۶)، در مطالعه ساختمان های انرژی صفر یا صفر کربن حرکتی در راستای معماری اکولوژیکی، نتایج تحقیقشان نشان داد که با طراحی مناسب ساختمان با توجه به پارامترهای اقلیمی و استفاده حداکثری از سیستم های سرمایش و گرمایش طبیعی، استفاده از سیستم های غیرفعال خورشیدی، توربین های بادی و پانل های فتوولتائیکی می توان به دو هدف اصلی که همان تحقق ساختمان با آلاینده گی صفر و انرژی صفر می باشد دست یافت. حکیمی و همکاران، (۱۷)، در مطالعه مدیریت بهینه سازی مصرف انرژی با رویکرد ساختمان انرژی صفر با استفاده از روش فازی نشان دادند در بین شاخصهای مدیریت بهینه سازی مصرف انرژی مورد بررسی به روش FAHP قابل مشاهده است که گزینه شاخص اقتصادی، عمرانی و تاسیساتی به ترتیب با ضرایب ۰/۳۳۳، ۰/۲۰۱ و ۰/۱۷۶ از بالاترین اولویت مدیریت بهینه سازی مصرف انرژی با رویکرد ساختمان انرژی صفر برخوردار است. اصغری و همکاران، (۱۸)، در بررسی نقش سیستم های غیر فعال خورشیدی در ساختمان های صفر انرژی شهری، جهت آسایش و کاهش مصرف انرژی در ولیعصر شهر تبریز، نشان دادند برای فاکتور نور روز، توزیع شدت روشنایی در میان مدل های (در جذب مستقیم) C، (در دیوار ترومب) G، (در گلخانه ای) L نسبت به سایر سناریوها به صورت مناسب تری بوده است. موسوی سادات و همکاران (۱۹)، در ارزیابی فنی و اقتصادی ساختمان تجاری انرژی خالص صفر در شهر اهواز با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان. با استفاده از تحلیل فنی نشان دادند که نیازهای حرارتی و برودتی ساختمان را می توان از انرژی خورشیدی با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان تامین کرد و همچنین با تحلیل اقتصادی نشان داده می شود که طراحی ساختمان انرژی صفر نسبت به حالت غیربهینه ساختمان دارای سود خالص می باشد و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می باشد. ویلبرفورس و همکاران^۱ (۲۰)، مروری بر ساختمان های بدون انرژی - مزایا و معایب، به این نتیجه دست یافتند که ساختمان با انرژی صفر در مقایسه با سازه های سنتی اگرچه گران تر است، اما به همان اندازه می تواند از طریق کارآمدی و صرفه جویی در مصرف انرژی مؤثر واقع شود. اسماعیل و صباح^۲ (۲۱)، در رویکرد اکتشافی برای ساختمان های مسکونی با انرژی خالص صفر در منطقه خشک با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر دوگانه، نتایج آنها نشان می دهد می تواند مبنایی را برای تصمیم گیرندگان برای مقاوم سازی ساختمان های موجود به منظور افزایش بهره وری انرژی، افزایش ارزش سرمایه گذاری، و

¹ Wilberforce et al

² Ismaeil & Sobaih

مهم‌ترین مواردی هستند که باید در نظر گرفته شوند: (۱) متریک تعادل، (۲) زمان تعادل، (۳) نوع مصرف انرژی مورد استفاده در تراز، (۴) نوع تراز انرژی، (۵) گزینه‌های مورد توافق برای تامین انرژی تجدیدپذیر، و (۶) پیوند به زیرساخت انرژی و (۷) الزامات مربوط به بهره‌وری انرژی و اقلیم (۲۶).

روش کار

روش تحقیق حاضر بصورت توصیفی-تحلیلی با هدف کاربردی می باشد. در راستای تحلیل الگوی ساختمان صفر انرژی در اقلیم سرد تبریز ساختمان سازمان پسماند شهری تبریز به عنوان نمونه انتخاب گردید. در این راستا برای آنالیز و تحلیل از نرم افزار انرژی Plus استفاده شد. یک ساختمان از منظر آرایش فیزیکی ساختمان، سیستم‌های مکانیکی مرتبط و غیره، انرژی پلاس بارهای گرمایش و سرمایش لازم برای حفظ تنظیمات کنترل حرارتی، شرایط سیستم HVAC ثانویه و بارکویل‌های حرارتی و برودتی، و مصرف انرژی تجهیزات و همچنین بسیاری از جزئیات شبیه سازی دیگر را که برای نزدیک شدن به یک ساختمان واقعی لازم است را محاسبه می کند. بسیاری از این ویژگی‌ها از برنامه های DOE-2 و BLAST به ارث رسیده‌اند. بر این اساس در مرحله طراحی اولیه، روش‌های انفعالی که عمدتاً در این پژوهش اعمال شده شامل پوشش ساختمانی با کیفیت بالا، نور طبیعی روز، تهویه طبیعی و مواردی از این قبیل می‌باشد. شبیه‌سازی‌های ساختمانی نیز برای تحلیل این روش‌ها بکار برده می‌شود. هدف یافتن کارآمدترین روش و نمایش امکان‌سنجی ساختمان صفر انرژی در تغییرات اقلیمی همراه با آب و هوای سرد شهر تبریز است.

محدوده مورد مطالعه

استان آذربایجان شرقی با جمعیت ۳۹۰۹۶۵۲ نفر از استانهای ترک‌نشین ایران است که تبریز مرکز استان آذربایجان شرقی در ناحیه شمال غربی آن واقع شده است. مرکز استان شهر تبریز با جمعیت ۱۵۹۳۳۷۳ نفر ۴۲ درصد جمعیت استان را به خود اختصاص داده است. بر اساس تقسیمات کالبدی طرح جامع، این شهر به ۱۰ منطقه تقسیم شده است. سهم تبریز از مساحت بافت فرسوده شهری استان ۲۵۲۲ هکتار است شهر تبریز در ۴۶ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و دو دقیقه عرض شمالی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۴۰۰ متر می باشد. با وسعتی حدود ۱۱۸۰۰ کیلومتر در قلمرو میانی خطه آذربایجان و در قسمت شرقی شمال دریاچه ارومیه و ۶۱۹ کیلو متری غرب تهران قرار دارد. در ۱۵۰ کیلو متری جنوب جلفا، مرز ایران و جمهوری

همچنین جلوگیری از نصب بی‌رویه منابع انرژی تجدیدپذیر برای افزایش صرفاً نرخ نصب انرژی تجدیدپذیر فراهم کند. جیساول و همکاران^۱ (۲۲)، در پژوهشی با عنوان مفهوم ساختمان های انرژی صفر خالص- مروری بر ادبیات آن. بیان می‌کنند ساختمان‌ها بخش بزرگی از کل انرژی و انتشار کربن در جهان را تشکیل می‌دهند و نقش مهمی در تدوین استراتژی‌های رشد پایدار دارند. چن آستین و همکاران^۲ (۲۳)، در بررسی عوامل موثر در مدل سازی انرژی ساختمان‌های مسکونی با استفاده از ویژگی‌های مهندسی، نتایج آن‌ها فهرستی از ویژگی‌های مهم را تولید می‌کنند که پیش‌بینی‌کننده‌های کارآمد برای مدل سازی و ارزیابی انرژی مسکونی در سطوح ملی و منطقه‌ای هستند. ادین و همکاران^۳ (۲۴)، در مطالعه تأثیر رفتار ساکنین برای حفظ انرژی ساختمان: مطالعه مروری سیستماتیک مدل سازی و رویکرد شبیه سازی متنوع، در نهایت، شش شکاف تحقیقاتی مهم را برای توسعه آینده شناسایی می کنند: استقرار چیدمان فضای ساکن محور؛ رفتار ساکنان باید در زمینه اقتصادهای در حال توسعه یا کم درآمد درک شود. تعداد مطالعات کمی بیشتر از مطالعات کیفی است. استفاده گسترده از داده‌های پیمایشی یا ثانویه و فقدان داده‌های واقعی مورد استفاده در اعتبارسنجی مدل. مطالعات رفتاری برای ساختن دسته‌های مختلف مورد نیاز است. ادغام مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) با مدل سازی/شبیه سازی رفتار ساکنین موجود.

باتوجه به مزیت‌ها و کاربردهای فراوان یک ساختمان انرژی صفر و همچنین تمام شدن سوخت‌های فسیلی و انرژی‌های تجدیدناپذیر در آینده‌ای نزدیک، ضرورت ساخت ساختمان‌های انرژی صفر احساس می‌شود. اما چالش‌هایی پیش روی این موضوع می‌باشد (۱۲). از مهم‌ترین چالش‌هایی که پیش روی ساختمان‌های انرژی صفر قرار دارد؛ کمبود دانش فنی ساختن ساختمان‌ها و همچنین کمبود سیستم‌ها و ابزار می‌باشد (۲۵). اما می‌توان امید داشت در آینده نزدیک، این مسائل و چالش‌ها با کمک پیشرفت دانش و تکنولوژی برطرف شوند. به طور کلی انرژی مصرفی یک ساختمان در طول حیاتش به دو بخش عمده تقسیم می‌شود: بخش اول انرژی مصرف شده جهت ساخت بنا که حدود ۲۰٪ از کل انرژی را به خود اختصاص داده و بخش دوم انرژی مصرف شده در هنگام استفاده از ساختمان است که تقریباً معادل ۸۰٪ کل انرژی یک ساختمان در طول حیاتش است (۲۶). قبل از احداث ساختمان صفر انرژی موارد زیر

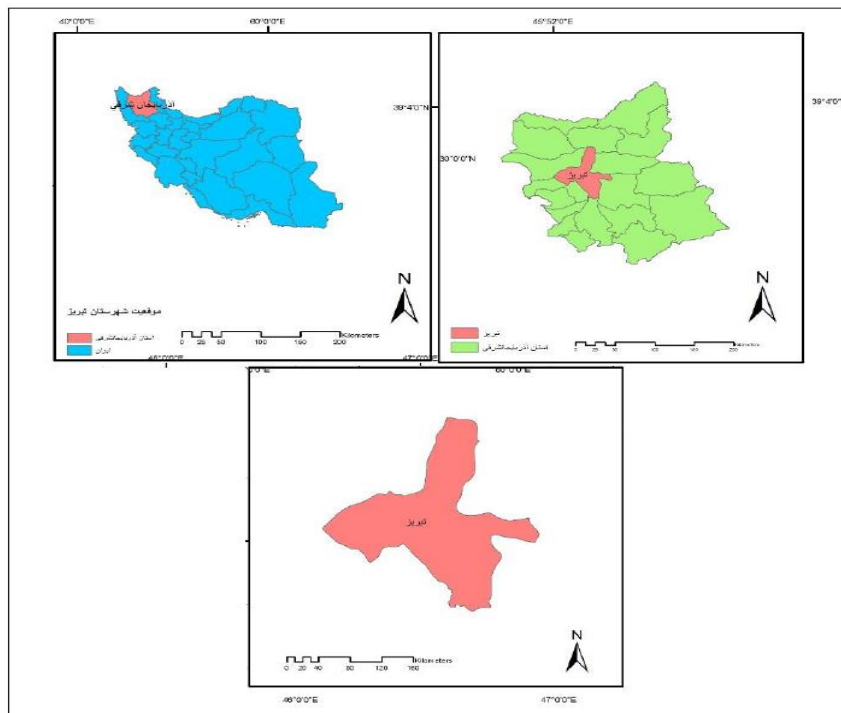
¹ Jaysawal et al

² Chen Austin et al

³ Uddin

مختلف سال بی‌آب است. تبریز زمانی دارای باغات و مزارع فرح انگیز و پر آوازه ای بود به همراه قنات‌ها و چشمه‌های متعدد که امروز تمامی آن همه باغات و مزارع از میان رفته یا درحکم از میان رفتن است و گستره شهر پیرامون خود را به مناطق مسکونی، تجاری، اداری، و صنعتی و خدماتی مبدل ساخته است (۲۹).

آذربایجان قرار گرفته است. جمعیت تبریز بیش از یک و نیم میلیون نفر می‌باشد. تبریز از سمت جنوب به رشته کوه منفرد همیشه پر برف سهند و از شمال شرقی به کوه سرخ فام (عون بن علی عینالی) محدود می‌شود (۲۸). رودخانه آجی چای (تلخه رود) از قسمت شمال و شمال غرب تبریز می‌گذرد و بعد از طی مسافتی قابل توجه در دشت تبریز به دریاچه ارومیه می‌ریزد و مهران‌رود از میانه تبریز می‌گذرد که اکثراً در فصول



شکل ۱. موقعیت شهر تبریز در کشور و استان

Fig. 1. Location of Tabriz city in the country and province



شکل ۲. موقعیت ساختمان اداری پسماند شهر تبریز در شهرک آذربایجان

Fig. 2. The location of Tabriz waste office building in Azarbaijan city

یافته‌ها

پوشش‌های ساختمانی

طراحی عایق حرارتی پوشش ساختمان جزو مهمترین پروژه‌ها هستند. در ابتدا، پوشش بر پایه دستورالعمل‌های صادر شده توسط سازمان استاندارد ملی- استاندارد طراحی برای بهره‌وری انرژی ساختمان‌های عمومی (GB 50189-2005) و سازمان استاندارد محلی- استاندارد طراحی استان آذربایجان شرقی برای صرفه‌جویی (۶۵٪) در مصرف انرژی ساختمان‌های عمومی (DB 21/T1899-2011) بررسی شد. این آیین‌نامه‌ها محدودیت‌هایی برای انتقال حرارتی دیوارها و اجزای شیشه‌ای تعیین می‌کنند. بعد کل پوشش ساختمان بهبود می‌یابد تا ضریب انتقال حرارت کمتری بدست آید. جدول ۱ مقایسه بین ضرایب انتقال حرارت کلی (مقدار U) وضع شده توسط استاندارد طراحی برای صرفه‌جویی (۶۵٪) در مصرف انرژی ساختمان‌های عمومی (DB 21/T1899-2011) و پوشش‌های پیشنهادی را نشان می‌دهد.

دیوار خارجی ساختمان با ۰/۹۲ فوت (۰/۲۸ متر) تخته پلی‌استایرن گرافیتی با رسانندگی گرمایی ۰/۰۰۶ Btu/h·ft²·°F (۰/۳۵ وات بر متر در درجه کلوین) عایق شد. به عایق حرارتی پل‌های حرارتی توجه ویژه‌ای شده است. در ساختمان صفر انرژی، پنجره‌ها حداکثر عایق را طبق آیین‌نامه ملی- استاندارد

طراحی برای بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های عمومی (GB50189-2005)، آیین‌نامه محلی- استاندارد طراحی برای صرفه‌جویی (۶۵٪) در مصرف انرژی ساختمان‌های عمومی (DB21/T1899-2011)، و اصلاحات و الحاقات بعدی تضمین می‌کنند. میزان نفوذ با آهنگ تغییر هوای نشی ۵۰ n و فشردگی هوای تغییرات (هوا به ازای هر ساعت (ACH)) تنظیم شده است.

پنجره‌ها، پنجره‌های سه‌جداره پر از گاز آرگون در نظر گرفته شدند که با مقدار عبور نور ۰/۱۹ Btu/h·ft²·°F (۱/۱ وات بر متر در درجه کلوین) با شیشه خارجی ۰/۰۲ فوت (۰/۰۰۶ متر)، دو شکاف ۰/۰۵۲ فوت (۰/۰۱۶ متر) پر شده با آرگون و دو شیشه داخلی ۰/۰۱۶ فوتی (۰/۰۰۵ متر) مشخص می‌شوند. میانگین مقدار U کلی ۰/۱۵ Btu/h·ft²·°F (۰/۸۵ وات بر متر در درجه کلوین) است. ضریب گرمای ورودی تابش خورشید (SHGC) ۰/۴۱ و میزان انتقال نور مرئی ۰/۵۳ است. چارچوب پنجره‌ها بصورت سه‌جداره از چوب، فوم حرارتی و آلومینیوم در نظر گرفته شدند. جدول ۲ مقایسه بار گرمایش و سرمایش بین آیین‌نامه ملی انرژی، آیین‌نامه انرژی محلی و ساختمان پیشنهادی را نشان می‌دهد. بار گرمایش و سرمایش سالانه در مقایسه با آیین‌نامه انرژی ملی و محلی به ترتیب ۳۴/۴ درصد و ۳۵/۹ درصد کاهش یافته است.

جدول ۱- مقایسه مقدار U بین خط مبنا و پوشش‌های پیشنهادی

Table 1- Comparison of U value between baseline and proposed coatings

ساختمان بیرونی	خط پایه Btu/(h·ft²·°F)	خط پایه W/(m²·K)	پیشنهادی Btu/(h·ft²·°F)	پیشنهادی W/(m²·K)	میزان کاهش
پشت‌بام	۰/۰۸	۰/۴۵	۰/۰۲	۰/۱۱	٪۷۶
دیوار	۰/۰۹	۰/۵	۰/۰۲	۰/۱۲	٪۷۶
پنجره شرقی	۰/۵۶	۳/۲	۰/۱۵	۰/۸۵	٪۷۳
جنوبی	۰/۵۱	۲/۹	۰/۱۵	۰/۸۵	٪۷۱
غربی	۰/۵۶	۳/۲	۰/۱۵	۰/۸۵	٪۷۳
شمالی	۰/۵۶	۳/۲	۰/۱۵	۰/۸۵	٪۷۳
نورگیر	۰/۴۶	۲/۶	۰/۱۸	۱	٪۶۲
طبقه	۰/۰۹	۰/۵	۰/۰۵	۰/۲۸	٪۴۵

جدول ۲- مقایسه بار گرمایش و سرمایش

Table 2- Comparison of heating and cooling load

سالانه	آیین‌نامه ملی kWh	آیین‌نامه ملی kWh	آیین‌نامه محلی kWh	پیشنهادی kWh	پیشنهادی kWh
بار گرمایشی	۶۶۸۷۵۲	۱۹۶۰۰۰	۶۵۱۰۵۷	۱۹۰۸۱۴	۴۰۹۹۳۵
بار سرمایشی	۲۳۱۴۴۳	۶۷۸۳۲	۲۲۹۶۰۴	۶۷۲۹۳	۱۶۷۱۳۳
مجموع	۹۰۰۱۹۵	۲۶۳۸۳۲	۸۸۰۶۶۱	۲۵۸۱۰۷	۵۷۷۰۶۸

محیط حرارتی آتریوم

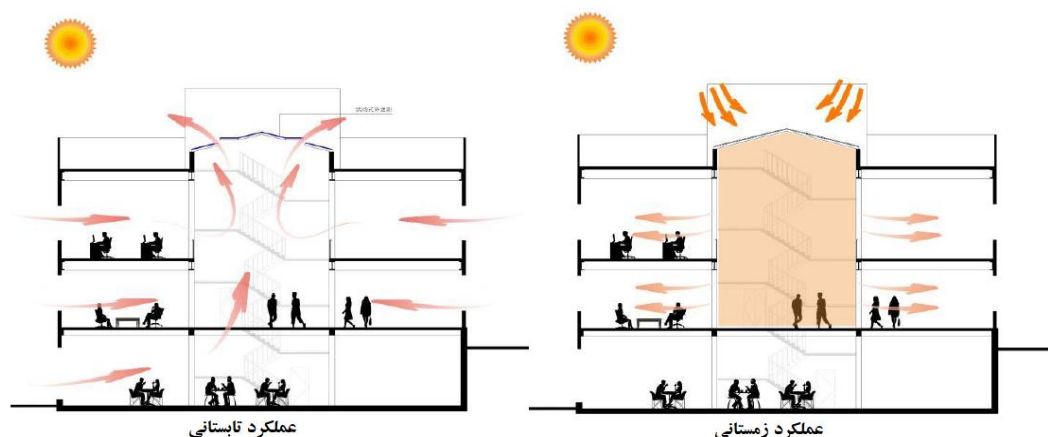
در این طرح آتریوم شیشه‌ای در بخش مرکزی ساختمان قرار داده می‌شود تا روشنایی روز را برای فضای کاری بهبود بخشد. در فصل تابستان، آتریوم با پنجره‌های باز روی پشت‌بام می‌تواند تهویه طبیعی را بهبود بخشد و مصرف انرژی تهویه مکانیکی را کاهش دهد. در فصل زمستان، وقتی دستگاه سایه‌انداز باز باشد، نورگیر پشت‌بام بسته می‌شود. پس آتریوم می‌تواند محیط حرارتی داخلی ساختمان را بهبود بخشد تا مصرف انرژی برای گرمایش را کاهش دهد. روی پنجره‌های نورگیر یک دستگاه سایه‌انداز تعبیه شده که در اثر تابش نور خورشید به صورت دستی یا بصورت خودکار می‌توان کنترل کرد. دستگاه سایه‌انداز می‌تواند به حفظ محیط حرارتی آتریوم و کاهش بار گرمایشی در فصل تابستان کمک کند.

کنترل سیستم گرمایش و تهویه مطبوع

در این ساختمان مورد مطالعه حسگرهای مختلفی نظیر حسگرهای CO₂، کنتورهای الکتریکی، حسگرهای دما و رطوبت؛ کنتورهای مصرف انرژی برق (روشنایی، پریز، سیستم انتقال و توزیع، سیستم جریان ضعیف، نیروگاه و غیره) در نظر گرفته شده است. همه داده‌های جمع‌آوری شده در پایگاه داده ذخیره شده و بعد برای عملیات‌های داده‌کاوی بکار برده می‌شوند.

هدف حسگر CO₂ برای سیستم تهویه مکانیکی تضمین کیفیت بالای هوا در سالن و نیز تا حد امکان کاهش مصرف انرژی است. این حسگر واقع شده در سالن وجود دی‌اکسید کربن را اندازه‌گیری می‌کند و با بهبود کار انجام شده توسط تهویه طبیعی، گردش هوا را فعال می‌کند. وقتی میزان دی‌اکسید کربن به دلیل حضور افراد در سالن افزایش می‌یابد، جریان هوای تازه از طریق مدیریت دستگاه‌های هواساز با حجم متغیر در کانال هوا افزایش می‌یابد. دستگاه ATU مجهز به سیستم بازیابی حرارت که راندمان ۸۰ درصدی دارد است. سیستم تهویه مکانیکی در صورت باز شدن پنجره‌ها توسط کاربران متوقف می‌شود.

برای کاهش بار سرمایشی و گرمایشی، تهویه غیرفعال این ساختمان بر سیستم تهویه مطبوع اولویت دارد. آتریوم همراه با نورگیر می‌تواند تهویه طبیعی را بهبود بخشد. از داده‌های جمع‌آوری شده در اواخر ژوئن و اوایل جولای، میانگین دمای ساختمان اداری با تهویه طبیعی بهبود یافته در بیشتر روزها کمتر از ۷۹ درجه فارنهایت (۲۶ درجه سانتیگراد) بود و حدوداً پانزده روز در فصل تابستان به ورودی‌های سرمایش مکانیکی نیاز دارد که این کار تا حدود زیادی می‌تواند مصرف انرژی سرمایش را کاهش دهد.

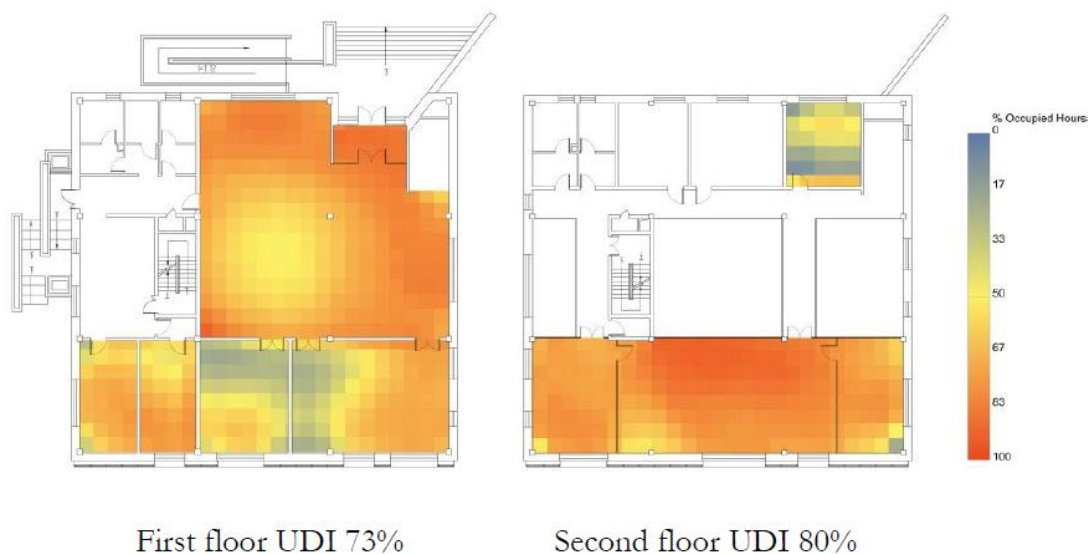


شکل ۳. نمودار محیط حرارتی آتریوم (الف) در فصل تابستان، و (ب) در فصل زمستان
Figure 3. Ethereum thermal environment diagram (a) in summer, and (b) in winter

جدول ۳- پارامترهای طراحی کنترل داخلی

Table 3- Internal control design parameters

سرعت باد متر بر ثانیه	رطوبت درصد	دمای فصل زمستان		دمای فصل تابستان		
		درجه سانتیگراد	درجه فارنهایت	درجه سانتیگراد	درجه فارنهایت	
≤ ۰/۲	۶۰	۲۰	۶۸	۲۶	۷۹	اتاق کار
≤ ۰/۲	۶۰	۲۰	۶۸	۲۶	۷۹	اتاق جلسه
≤ ۰/۲	۶۰	۱۸	۶۴	۲۶	۷۹	اتاق کنفرانس
≤ ۰/۲	۶۰	۱۶	۶۱	۲۶	۷۹	سرویس بهداشتی



شکل ۴- نتیجه شبیه‌سازی روشنایی مفید نور روز (UDI) برای فضای کار و آتریوم.

Fig 4- The result of the simulation of useful daylight illumination (UDI) for the work space and atrium.

تولید شده بواسطه‌ی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی می‌تواند کف تابشی در هر طبقه را گرم کند. واحد تصفیه هوا (ATU) نصب شده به پمپ حرارتی زمین گرمایی وصل می‌شود. انرژی حرارتی بازیابی‌شده از گرمای هوای داخلی یا پراکنش خنک قبل از دفع جلوگیری می‌کند و مانع اتلاف حرارتی می‌شود. هوای بیرونی نیز از طریق کانال زیرزمینی تقریباً به طول ۳۷۴ فوت (۱۱۴ متر) قبل از رسیدن به ATU بطور طبیعی پیش‌تهویه می‌شود.

انرژی تجدیدپذیر

همچنین مصرف برق در پشت بام و نمای جنوبی ساختمان با نصب سیستم فتوولتائیک (PV) در نظر گرفته شده است. بازتاب برای باتری فتوولتائیک ۱۰ درصد و برای شیشه ۹ درصد است. میزان تبدیل فتووالکتریک برای سیستم فتوولتائیک پشت بام ۱۵ درصد، برای سیستم فتوولتائیک دیوار جنوبی ۱۱ درصد است. مساحت سیستم فتوولتائیک پشت بام ۱۵۶۱ فوت مربع (۱۴۵ مترمربع) و مساحت سیستم فتوولتائیک دیوار جنوبی ۱۵۴۹ فوت مربع (۱۴۴ مترمربع) است. سیستم فتوولتائیک در مجموع ۱۵۲۳۴۹ کیلو بی‌تی‌یو در سال (۴۴۶۴۹ کیلووات ساعت در سال) تولید خواهد کرد.

مساحت بام سبز ۲۳۰۳ فوت مربع (۲۱۴ متر مربع) است که ۵۲/۲ درصد از کل مساحت پشت‌بام را تشکیل می‌دهد و با استاندارد ارزیابی ساختمان سبز (GB50378-2006) به هدف ۳۰ درصدی دست خواهد یافت.

کنترل روشنایی

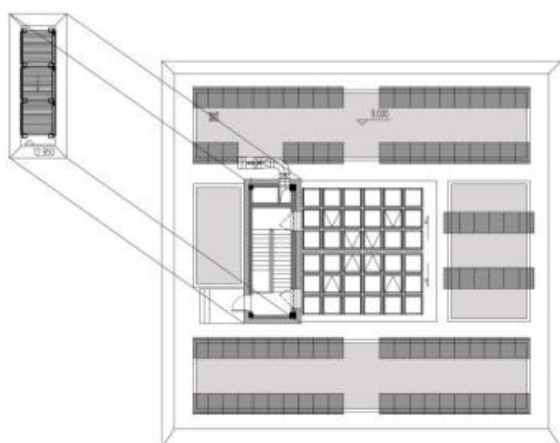
هم آتریوم و هم نمای شیشه‌ای نیم‌طبقه می‌توانند محیط روشنایی داخلی روز را بهبود بخشند. حسگرهایی برای تست روشنایی در هر اتاق کاری قرار داده شده است. وقتی روشنایی در صفحه کار بیش از ۱۰۰ لوکس باشد، سیستم روشنایی الکتریکی به صورت خودکار خاموش می‌شود، در غیر اینصورت برای دستیابی به محیط روشنایی داخلی خوب روشن می‌شود. شکل ۳ نتیجه شبیه‌سازی نور روز با استفاده از روشنایی مفید نور روز (UDI) برای فضای کار و فضای عمومی را نشان می‌دهد. با توجه به نتیجه شبیه‌سازی نور روز و داده‌های مصرف جمع‌آوری شده برای دو ماه اول، تقریباً هیچ نیازی به استفاده از سیستم روشنایی الکتریکی در فضای کاری در طول روز نیست. لامپ‌های کم‌مصرف LED برای روشن‌سازی در تمام فضاها استفاده می‌شوند تا میزان مصرف انرژی روشنایی کاهش یابد.

پمپ حرارتی دو منبع

در ساختمان مورد مطالعه تولید گرمایش و سرمایش بواسطه‌ی پمپ حرارتی دو منبع (منبع هوایی و منبع زمینی) در نظر گرفته شده است که با محیط تبادل می‌شوند و از طریق سی و دو چاه عمودی هر کدام به عمق ۱۶۴ فوت (۵۰ متر) به زمین می‌رسد. پمپ حرارتی زمین گرمایی می‌تواند منبع سرمایشی که بار سرمایشی را در تابستان تحت پوشش قرار می‌دهد باشد. هوا در نمای جنوبی فضای سیستم دیوار ترومب در فصل زمستان گرم می‌شود، و پمپ حرارتی دو منبع همراه با گرمای

آب گرم در سیستم بازچرخشی بلافاصله می‌تواند در اختیار کاربران قرار گیرد و از هدر رفتن آب جلوگیری کند. سیستم فعال غیرمستقیم استفاده می‌شود: پمپ برای چرخش سیال انتقال حرارت (HTF) بین کلکتور و مخزن ذخیره با استفاده از سیستم تبادل گرمایی بکار برده می‌شود.

در پشت‌بام پلکانی، سه کلکتور گرمایی خورشیدی صفحه تخت تعبیه خواهد شد. مساحت کل ۱۴۲ فوت‌مربع (۱۳/۲ مترمربع) است. کلکتورهای گرمایی سالانه ۷۷۳۱ فوت‌مکعب (۲۱۹ مترمکعب) آب گرم خانگی تولید می‌کنند که ۱۰۰ درصد کل آب گرم خانگی در طبقه اول را تامین می‌کند. چون کلکتورهای گرمایی در تولید آب گرم خانگی، پمپ حرارتی را (با توجه به فصل) تجمیع یا کاملاً جایگزین می‌کنند.



شکل ۵- (الف) نتیجه شبیه سازی طرح سیستم فتوولتائیک پشت بام، و (ب) نمای هوایی در سازمان پسماند شهری تبریز
Fig 5- (a) The result of the simulation of the rooftop photovoltaic system design, and (b) the aerial view in the urban waste organization of Tabriz



شکل ۶- (الف) نمونه سیستم پیشنهادی سیستم فتوولتائیک در پشت بام، و (ب) نمونه پیشنهادی کلکتورهای گرمایی خورشیدی برای آب گرم
Fig 6- (a) The proposed system example of photovoltaic system on the roof, and (b) the proposed example of solar thermal collectors for hot water

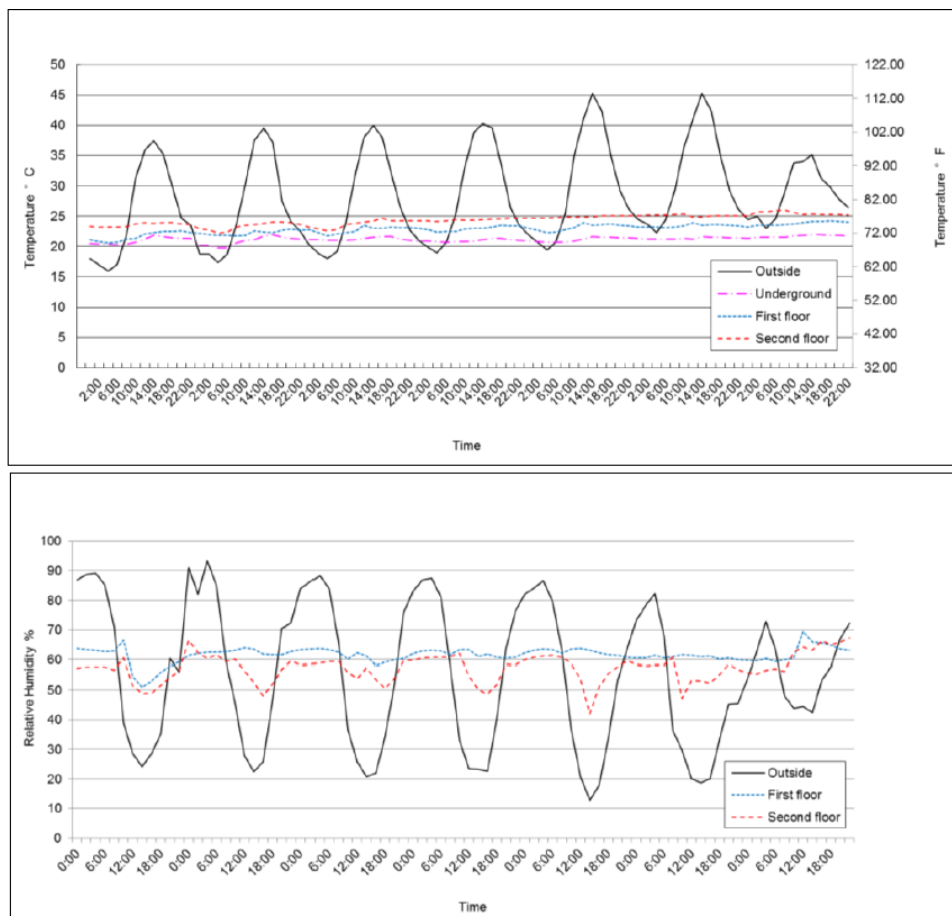
درجه فارنهایت (۳۱/۲ درجه سانتیگراد) در ساعت ۱۰ صبح است، و دمای فضای داخلی برای طبقه اول ۷۱/۴ درجه فارنهایت (۲۱/۹ درجه سانتیگراد) و برای طبقه دوم ۷۳/۹ درجه فارنهایت (۲۳/۳ درجه سانتیگراد) است. در ساعت ۲ بعد از ظهر، دمای بیرونی به حداکثر مقدار در روز می‌رسد که ۹۹/۵

پایش داده‌ها در فصل تابستان

شکل ۷ داده‌های پایش دما و رطوبت برای فضای بیرونی و داخلی از ۴ جولای تا ۱۰ جولای (۱۳-۱۹ تیر ماه) پس از شبیه سازی از ساختمان را نشان می‌دهد. برای مثال، داده‌های وضع هوا در ۴ جولای را در نظر بگیرید، دمای فضای بیرونی ۸۸/۲

محیط بیرونی نسبتاً ثابت است. از ۴ جولای تا ۱۰ جولای (۱۳- ۱۹ تیرماه) برای طبقه اول، بیشترین میزان رطوبت نسبی ۶۹/۳ درصد، کمترین میزان ۵۰/۹ درصد، و مقدار میانگین ۶۱/۶ درصد است. برای طبقه دوم، بیشترین میزان رطوبت نسبی ۶۷/۲ درصد، کمترین میزان ۴۱/۹ درصد و مقدار میانگین آن ۵۷/۳ درصد است. رطوبت نسبی فضای داخلی برای بیش از ۹۵ درصد زمان پایش در سطح آسایش ۴۰-۶۵ درصدی قرار دارد.

درجه فارنهایت (۳۷/۵ درجه سانتی‌گراد) است، و دمای داخلی برای طبقه اول ۷۳/۸ درجه فارنهایت (۲۳/۲ درجه سانتیگراد) و برای طبقه دوم ۷۵/۹ درجه فارنهایت (۲۴/۴ درجه سانتیگراد) است. می‌توان فهمید که در مقایسه با دمای فضای داخلی در سطح ثابتی نگه داشته می‌شود و دمای بیرونی بسیار تغییر می‌کند. همچنین می‌توان از داده‌های پایش رطوبت به این موضوع پی برد که رطوبت نسبی فضای داخلی در مقایسه با



شکل ۷. داده‌های پایش برای ۴ جولای تا ۱۰ جولای (الف) دما، و (ب) رطوبت نسبی
Fig 7. Monitoring data for July 4 to July 10 (a) temperature, and (b) relative humidity

سنجش بهره‌وری انرژی در ساختمان بایستی با توجه به عوامل محیطی و محلی مانند بوم منطقه، اقلیم و صنعت مرسوم ساختمانی در هر محل برآورد شود. بهره‌گیری از این حوزه دانشی می‌تواند به برنامه‌ریزان و سیاستمداران در جهت ارتقای بهره‌وری سیستم ساخت و ساز کشور کمک کرده و به کاهش هزینه، کاهش اتلاف، افزایش هدف‌مندی و افزایش مدت و میزان کارایی ساختمانها و محلات و ارتقای آسایش و رضایت شهروندان بیانجامد.

نتیجه‌گیری

در طی چند دهه گذشته مطالعات گسترده‌ای در خصوص صرفه جویی در مصرف انرژی ساختمان انجام گرفته است. بهینه سازی انرژی ساختمان به معنای حذف یا کاهش استانداردهای آسایش محیطی نیست، بلکه کاهش مصرف انرژی جهت دستیابی به آسایش، کیفیت هوا و سایر کیفیات محیطی است. با وجود پیشرفتهای اخیر در محاسبه و مدلسازی انرژی ساختمانها در مقیاس جهانی، به نظر می‌رسد نرم‌افزارهای موجود بایستی به عوامل کیفی دیگری نظیر الزامات عملکردی مجهز گردند.

- Waste heat recovery technologies and applications, *Therm. Sci. Eng. Prog.* 6, 268-289
- 6- Lu, X.; Zhang, S.; Xing, J.; Wang, Y.; Chen, W.; Ding, D.; Wu, Y.; Wang, S.; Duan, L.; Hao, J. 2020 Progress of air pollution control in China and its challenges and opportunities in the ecological civilization era. *Engineering*, 6, 1423-1431.
 - 7- Adam, A, M, Mishra, A, Usman, A, 2021, Economic Implication and Impact of Climate Change on Net Zero Energy Building (NZEB), In book: *Advances in Interdisciplinary Engineering*. 195-204.
http://dx.doi.org/10.1007/978-981-15-9956-9_20.
 - 8- Amani, N., Moghadas, Mashhad, M. 2020. Feasibility of building a zero energy building in the cold and semi-arid region of Iran (case study: Mashhad city). *Environmental Science and Technology*, 22(5), 57-71. [In Persian].
 - 9- European Commission. 2021, NZEB; European Commission: Brussels, Belgium.
 - 10- Chastas, P.; Theodosiou, T.; Bikas, D.; Kontoleon, K. 2017, Embodied Energy and Nearly Zero Energy Buildings: A Review in Residential Buildings. *Procedia Environ. Sci.*, 38, 554-561.
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.123>.
 - 11- Sun, W, Sun, Y, Xu, L, Chen, X, Zai, D, 2022, Research on Energy Consumption Constitution and Energy Efficiency Strategies of Residential Buildings in China Based on Carbon Neutral Demand, *Sustainability*, 14(5), 2741; <https://doi.org/10.3390/su14052741>.
 - 12- Kazemi, A., Nouri, P., Aryai, S. 2022. Identifying and prioritizing suitable cities for building zero energy houses using multi-criteria decision-making methods (case study: Iran). *Urban and Regional Development Planning*, 7(21), 59-86. [In Persian].
 - 13- Ismail, K.; Hamdy, M.; Maher, A. 2019, Net Zero Energy Buildings (NZEBs) Potential in MENA region: Critical review on Egypt case. In *Plant-Microbes-Engineered Nano-particles (PM-ENPs) Nexus in Agro-Ecosystems*; Springer Science and Business Media: Berlin/Heidelberg, Germany, 2019; 117-131.
 - 14- Habibzadeh, Z. 2019 Design works of zero energy residential units with an approach to the climatic conditions of cold and dry mountainous areas; Master's thesis in architecture, under the guidance of Bahram Ghasili, Technical and Engineering Faculty, Ardabil University. [In Persian].
 - 15- Ministry of Power. 2019 Energy Balance Sheet, Vice President of Electricity and Energy Affairs, Tehran: Macro and Energy Planning Office Publications. [In Persian]

این مطالعه موردی، شیوه‌ای از تغییرات اقلیمی همراه با سرمای در شهر تبریز نشان می‌دهد که از عایق پوششی بهبودیافته، تهویه طبیعی و نور روز به عنوان روش‌های انفعالی مهم برای ساختمان صفر انرژی استفاده می‌کند، بعد از روش‌های فعال نظیر پمپ حرارتی دو منبع، پانل‌های فتوولتائیک و روش کنترل برای کاهش بیشتر مصرف انرژی سالانه استفاده می‌کند. تحلیل دقیق سیستم ساختمانی نیز انجام شده است. چون تقریباً هیچ بار سرمایشی یا بار روشنایی خاصی بصورت طبیعی برای ساختمان سازمان پسماند شهری تبریز وجود ندارد، بنابراین بار تهویه مکانیکی با روش تهویه طبیعی تا حدود زیادی کاهش می‌یابد، پس کل مصرف انرژی سالانه ساختمان شبیه سازی شده بسیار کمتر از اتاق کارهای فعلی ساختمان می‌باشد. با توجه به نتیجه شبیه سازی ارائه شده توسط انرژی پلاس، میزان مصرف انرژی سالانه ۱۹۵۵۰۵ کیلوواتی-یو (۵۷۲۹۷ کیلووات ساعت) است که عمدتاً از طریق بار گرمایشی در فصل زمستان انجام می‌شود.

همچنین نتایج نشان داد بهبود گرمایش و تهویه مطبوع و روش کنترل خصوصاً بر پایه نتایج پایش بسیار دقیق داده‌ها است. برای دستیابی به ساختمان پایدار واقعی، تحلیل چرخه حیات نیز برای دستیابی به عملکرد زیست محیطی ساختمان هم باید انجام گیرد.

References

- 1- Dong, J, Lan, H, Liu, Y, Wang, X, Yu, C, 2020, Indoor Environment of nearly zero energy residential buildings with conventional air conditioning in hot-summer and cold-winter zone, *Energy Built Environ* In press, <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.12.001>.
- 2- IEA, 2019, CO2 Status Report, IEA (International Energy Agency), Paris, France.
- 3- Yi, Z; lv, Y; Xu, D; Xu, J; Qian, H; Zhao, D; Yang, R, 2021, Energy saving analysis of a transparent radiative cooling film for buildings with roof glazing, *Energy Built Environ.* 1 (2021), 214-222, <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.07.003>.
- 4- Egglestone K, Abdellatif, M, Amoako-Attah J, Saif S, A. Khalid, H 2021, Mitigating the impact of climate change on UK buildings through zero energy strategies, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 877, 012018, IOP Publishing, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/877/1/012018>.
- 5- Jouhara, H, Khordehgah, N, Almahmoud, S, Delpech, B, Chauhan, A, Tassou, S, A, 2018,

- 16- Kharazi Sanat Shetrabani, M. 2022, Zero energy or zero carbon buildings moving towards ecological architecture, *Architecture*, 5(23), 18-31. [In Persian].
- 17- Hakimi, M., Kazemini, M., Taj al-Dini, A. 2021. Energy consumption optimization management with zero energy building approach using fuzzy method. *Structural and Construction Engineering*, 8(6), 241-262. [In Persian].
- 18- Asghari, A; Ebrahimi Asl, H, Maleki Gavagani, A; Satari Sarbangoli, H.; 2021, Investigating the role of passive solar systems in zero energy urban buildings, for comfort and reducing energy consumption (Case study: Valiasr Shahratbariz), *New Attitudes in Human Geography*, 50, 751-771. [In Persian].
- 19- Mousavi Sadat, S., Mohammadnejad Shorkai, H., Soleimani, S. 2020. Technical and economic evaluation of zero energy commercial building in Ahvaz city considering reliability. *Environmental Science and Technology*, 22(6 (97)), 235-250. [In Persian].
- 20- Wilberforce, T, Olabi, A, G, Sayed, E, T, Elsaid, K, Maghrabie, H.M, Abdelkareem, M. K, 2023, A review on zero energy buildings – Pros and cons, *Energy and Built Environment* 4 (2023) 25-38, <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.06.002>.
- 21- Ismaeil, E.M.H.; Sobaih, A.E.E. 2023, Heuristic Approach for Net-Zero Energy Residential Buildings in Arid Region Using Dual Renewable Energy Sources. *Buildings*, 13, 796. <https://doi.org/10.3390/buildings13030796>.
- 22- Jaysawal, R. K, Chakraborty, S, Elangovan, D, Padmanaban, S, 2022, Concept of net zero energy buildings (NZE) - A literature review, *Cleaner Engineering and Technology* 11 (2022) 100582. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100582>.
- 23- Chen Austin, M.; Chung-Camargo, K.; Mora, D. 2021. Review of Zero Energy Building Concept-Definition and Developments in Latin America: A Framework Definition for Application in Panama. *Energies*, 14, 5647. <https://doi.org/10.3390/en14185647>.
- 24- Uddin, M.N.; Wei, H.-H.; Chi, H.L.; Ni, M. 2023, Influence of Occupant Behavior for Building Energy Conservation: A Systematic Review Study of Diverse Modeling and Simulation Approach. *Buildings* 2021, 11, 41. <https://doi.org/10.3390/buildings11020041>.
- 25- Amani, N., Moghadas Mashhad, M. 2020. The Feasibility of Construction of Zero-Energy Building in the Cold and Semi-Arid Climate (Case Study: Mashhad). *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(5): 57-71. [In Persian].
- 26- Wu W, Skye, HM. 2021, Residential net-zero energy buildings: Review and perspective. *Renew Sustain Energy Rev.* 142: 110859.
- 27- Abdul-Zahra AS, Al Jubori AM. 2021, Potential evaluation and analysis of near-to-net zero energy building in hot and dry climate. *Energy Convers Manag.* 2021; 12: 100146. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100146>.
- 28- Zeynali Azim, A., & Babazadeh Oskouei, S. 2022. Analyzing of Creating a Livable Smart City in the City of Tabriz. *Urban Economics and Planning*, 3(4), 24-37. [In Persian].
- 29- Zeynali Azim, A. 2022. Analysis of place attachment in the city of Tabriz by using the scale of smart cities during the Covid-19 disease. *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, 10(3), 65-80. [In Persian].