

An optimized solution for tackling effects of climate change on an educational building based on net zero energy technique

ارائه یک راهکار بهینه برای کاهش اثرات اقلیمی بر یک ساختمان آموزشی بر مبنای تکنیک انرژی خالص صفر

Kimia Aram

M.Sc. in Engineering & Construction Management, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran

Roohollah Taherkhani*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran

کیمیا آرام

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

روح اله طاهرخانی*

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

*Corresponding author's email address:

taherkhani@eng.ikiu.ac.ir, ORCID: 0000-0003-4180-792X

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱

How to cite this article:

Kimia Aram, Roohollah Taherkhani, An optimized solution for tackling effects of climate change on an educational building based on net zero energy techniques, *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2022, 7(1):8-15.

ارجاع به مقاله:

کیمیا آرام، روح اله طاهرخانی، ارائه یک راهکار بهینه برای کاهش اثرات اقلیمی بر یک ساختمان آموزشی بر مبنای تکنیک انرژی خالص صفر، مهندسی و مدیریت ساخت، ۱۴۰۱، ۷(۱): ۸-۱۵.

Abstract

Climate change is one of the most important problems of the planet. Buildings, relying on non-renewable energy sources, account for 40% of the total energy consumed worldwide and 30% of the total carbon dioxide emissions. The construction sector in Iran accounts for 33.8% of energy consumption, among which the energy consumption in Iran's educational buildings is 2.5 times that of developed countries. Renovation of existing buildings helps to reduce energy consumption and carbon dioxide emissions globally. In this research, the optimal reconstruction of an educational building located in Tehran was investigated using passive measures. In order to minimize the load of cooling, heating and the initial investment of the building for the current and future climate, the genetic algorithm with non-globe sorting was used in the jEPlus environment. In the optimization of the mentioned building, various options such as parameters related to the building cover, such as the type of insulation and its thickness and the type of glass used in the windows were considered and finally solar panels in order to reach the building with zero net energy. used. The passive option selected considering the current climate causes an 11.83% reduction in annual gas consumption due to heating and considering the climate of the decade 2080 causes a reduction of more than 1.15% in annual energy consumption due to cooling and a 40.4% reduction in consumption Annual gas emissions from heating and a 4.84% increase in cooling energy compared to the base model. The results show that the current optimal building cannot remain optimally in the future.

Keywords

Energy retrofit, optimization, net zero energy, genetic algorithm, TOPSIS

چکیده

تغییرات آب و هوایی یکی از مهم ترین مشکلاتی که زمین می باشد. ساختمان ها با تکیه بر منابع انرژی غیرقابل تجدید، ۴۰ درصد از کل انرژی مصرفی در سراسر دنیا و ۳۰ درصد از کل گاز کربن دی اکسید منتشر شده را به خود اختصاص داده اند. بخش ساخت و ساز در ایران ۳۳.۸ درصد از مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است که در این میان مصرف انرژی در ساختمان های آموزشی ایران ۲.۵ برابر کشورهای توسعه یافته می باشد. بازسازی ساختمان های موجود کمک شایانی به کاهش مصرف انرژی و انتشار گاز کربن دی اکسید در سطح جهانی می کند. در این پژوهش، بازسازی بهینه یک ساختمان آموزشی واقع در شهر تهران با استفاده از اقدامات غیر فعال مورد بررسی قرار گرفت. جهت کمینه سازی بار سرمایش، گرمایش و سرمایه گذاری اولیه ساختمان برای آب و هوای حاضر و آینده، از الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب در محیط jEPlus استفاده شد. در بهینه سازی ساختمان مذکور، گزینه های مختلفی چون پارامترهای مرتبط با پوشش ساختمان، مانند نوع عایق وضخامت آن و نوع شیشه به کار گرفته شده در پنجره ها در نظر گرفته شد و در نهایت از پنل های خورشیدی به منظور رسیدن به ساختمان با انرژی خالص صفر استفاده شد. گزینه غیرفعال انتخاب شده با در نظر گرفتن آب و هوای کنونی باعث کاهش ۱۱.۸۳ درصدی در مصرف گاز سالانه ناشی از گرمایش و با در نظر گرفتن آب و هوای دهه باعث ۲۰.۸۰ کاهش بیش از ۱.۱۵ درصد در مصرف انرژی سالانه ناشی از سرمایش و کاهش ۴۰.۴ درصدی مصرف سالانه گاز ناشی از گرمایش و افزایش ۴.۸۴ درصدی انرژی ناشی از سرمایش در مقایسه با مدل پایه می شود. نتایج نشان می دهد که ساختمان بهینه با فعلی نمیتواند به صورت بهینه در آینده باقی بماند.

کلمات کلیدی

بهسازی انرژی، بهینه سازی، انرژی خالص نزدیک به صفر، الگوریتم ژنتیک، تاپسیس



7 (1), 2022

دوره ۷، شماره ۱

زمستان ۱۴۰۱

دوفصلنامه پژوهشی

مهندسی و مدیریت ساخت

ارائه یک راهکار بهینه برای کاهش اثرات اقلیمی بر یک ساختمان آموزشی بر مبنای تکنیک انرژی خالص صفر

۱- مقدمه

تغییرات آب و هوا یکی از مشکلات عمده ای است که کره زمین با آن روبرو است. بدون تردید دمای کره زمین در حال افزایش است. اتمسفر از کربن دی اکسید ناشی از سوزاندن سوخت های فسیلی به منظور تولید انرژی اشباع شده است. برآورد می شود که تغییرات آب و هوایی اثراتی مانند بالا رفتن دما، جاری شدن سیل، کاهش منابع آب، خطرات بهداشتی و کاهش تنوع زیستی بر روی محیط زیست بگذارد. بین سالهای ۱۹۷۰ و ۲۰۰۴، انتشار گازهای گلخانه ای جهانی، ۷۰ درصد افزایش داشته است [۱]. براساس گزارش هیئت بین دولتی تغییر اقلیم، بین سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷، انتشار گازهای گلخانه ای جهانی افزایش یافته و به میزان تاریخی ۳۲.۵ گیگاتن در سال رسیده است. بنابر گفته آژانس بین المللی انرژی، انتشار کربن دی اکسید تا پایان سال ۲۰۵۰ باید ۷۷ درصد کاهش یابد تا افزایش گرمایش کره زمین زیر ۲ درجه سانتیگراد باشد. گزارش آژانس بین المللی انرژی نشان می دهد، تقاضای جهانی انرژی در سال ۲۰۱۸، ۲۰.۳٪ افزایش داشته است و انتشار کربن دی اکسید مربوط به انرژی جهانی با ۱.۷٪ افزایش به ۳۳ گیگاتن در سال ۲۰۱۸ رسیده است (آخرین ارزیابی آژانس بین المللی انرژی در مورد مصرف انرژی جهانی و انتشار کربن دی اکسید مربوط به انرژی برای سال ۲۰۱۸). بخش ساختمان ۴۰٪ از کل مصرف انرژی در سراسر جهان و تا ۳۰٪ از انتشار سالانه گازهای گلخانه ای در جهان که از منابع غیر تجدید پذیر تأمین می شود را تشکیل می دهد و به همین ترتیب در ایران ۳۳.۸٪ از کل انرژی مصرفی و ۲۳.۳۷٪ از کل دی اکسید کربن را در سال ۲۰۱۴ به خود اختصاص داده است [۲]. در چند دهه گذشته، مصرف انرژی در ایران نرخ رشد متوسطی در حدود ۸٪ در سال داشته است [۳]. ساختمانهای فعلی بدون انرژی تأمین شده توسط سوخت های فسیلی که منبع اصلی تولید گاز گلخانه ای هستند و مشکلات جدی برای محیط زیست تولید می کنند، نمی توانند کار کنند [۴]. عملکرد انرژی یک ساختمان در طول چرخه حیات، ارتباط تنگاتنگی با انتشار گازهای گلخانه ای دارد [۵]. اگر اثر چرخه عمر کربن در ساختمان ها از طریق بهینه سازی مصرف انرژی و تولید انرژی تجدیدپذیر حذف شود، بخش ساختمان می تواند بر انتشار تقریباً نیمی از کربن سالانه تاثیر بگذارد [۶] و اگر هیچ بهبودی در بهره وری انرژی در بخش ساختمان انجام نشود، مصرف انرژی ممکن است در سال ۲۰۵۰ تا ۵۰٪ افزایش یابد [۷].

بهترین راه حل در برابر افزایش تقاضای انرژی متاثر از افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی را میتوان در ساختمان های پایدار جست و جو کرد. ساختمان پایدار ساختمانی است که با اتکا به رویکرد های اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی، عملکردی در جهت کاهش مصرف انرژی و اثرات سو محیط زیستی ساختمان داشته باشد [۲،۸]. در راستای مفهوم ساختمان پایدار، ساختمان های با مصرف انرژی کم یا تقریباً صفر در بسیاری از جنبه ها از جمله بهره وری انرژی جهانی، صرفه جویی در انرژی و ادغام سیستم های انرژی تجدیدپذیر تأثیر بسزایی دارد [۸]. همانطور که توسط وزارت انرژی

ایالات متحده بیان شده است، ساختمان با انرژی خالص صفر عبارت است از: "ساختمان با صرفه جویی در انرژی، جایی است که در آن انرژی مصرف شده در ساختمان به صورت سالانه، کمتر یا مساوی با انرژی تجدید پذیر تولید شده در آن باشد".

برخی سیاستها برای کنترل تأثیر افزایش دما و کارایی ساختمانها در سراسر جهان اجرا شده است. به عنوان مثال، هدف اتحادیه اروپا برای انرژی و آب و هوا در سال ۲۰۲۰، تبدیل محله های اروپا به مناطقی با مصرف انرژی خالص صفر بوده است (سرویس علم و دانش کمیسیون اروپا، ۲۰۱۹). اتحادیه اروپا سه هدف اصلی را برای سال تعیین کرد ۲۰۲۰ که عبارت بودند از: ۲۰ درصد کاهش انتشار گازهای گلخانه ای نسبت به سال ۱۹۹۰، تأمین ۲۰ درصد انرژی اتحادیه اروپا از منابع تجدید پذیر و ۲۰ درصد بهبود بهره وری انرژی (سرویس علوم و دانش کمیسیون اروپا، ۲۰۱۹). ایالات متحده نیز دستیابی به انرژی صفر تا سال ۲۰۵۰ را برای همه ساختمان های تجاری دنبال می کند [۹].

از مجموعه ساختمان های عمومی، ساختمان هایی که فعالیت های آموزشی در آن ها جریان دارد تحت عنوان ساختمان های آموزشی، بخش قابل ملاحظه ای از مصرف انرژی را به خود اختصاص می دهند. بنابر گفته اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده ساختمان های غیرمسکونی، ۱۸٪ کل مصرف انرژی در ایالات متحده را به خود اختصاص می دهند [۱۰]. در این میان دانشگاهها تقریباً ۱۲٪ از انرژی مصرفی در بخش غیرمسکونی را تشکیل می دهند که در زمره ساختمان های پر مصرف از نظر انرژی قرار می گیرند. این ساختمان ها به علت مسئولیت محدود کاربران آن، در وضعیت نامطلوبی در حیطه صرفه جویی در مصرف انرژی قرار دارند [۱۱]. ساختمانهای بخش عمومی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه انرژی زیادی مصرف می کنند. بطوریکه میزان مصرف انرژی در ساختمانهای آموزشی ایران ۲.۵ برابر بیشتر از ساختمان آموزشی در کشورهای پیشرفته ارزیابی شده است [۱۲].

از آنجا که بیشتر ساختمان های آموزشی قدیمی هستند و اقدامات صرفه جویی در مصرف انرژی، تنها در تعداد محدودی از این ساختمان ها انجام شده است، این ساختمان ها در مجموع انرژی زیادی را هدر می دهند [۱۳]. کارهای تحقیقاتی مختلف نشان می دهد که ساختمان های آموزشی اگر به طور موثری مطابق با نیاز واقعی شان به انرژی طراحی شوند، می توانند به میزان قابل توجهی از صرفه جویی در مصرف انرژی دست یابند، این موضوع می تواند منجر به کاهش انتشار مقدار زیادی گاز کربن دی اکسید شود [۱۴]. پژوهش های گوناگون بیان می دارند که بازسازی ساختمانهای قدیمی موجود تنها راه کاهش قابل ملاحظه ردپای کربن و مصرف انرژی در ساختمان های فعلی است. بازسازی ساختمان های موجود باعث راحتی کاربران، کاهش مصرف انرژی و کاهش تغییرات آب و هوایی می شود [۱۲]. لذا تأثیرات فوق الذکر ضرورت پرداختن به این مسئله را صد چندان می کند.

در بسیاری از ادبیات علمی، بررسی استراتژی های بهبود بهره وری انرژی در بخش ساختمان طی دهه های اخیر رایج شده است. از



7 (1), 2022

دوره ۷، شماره ۱

زمستان ۱۴۰۱

دوفصلنامه پژوهشی

مهندسی و مدیریت

آنجا بیکه حدود ۴۰٪ از مصرف انرژی توسط بخش ساختمان صورت می‌گیرد، توجه ویژه ای باید به این بخش اختصاص یابد. علاوه بر این، در آخرین گزارش از مرکز آمار ایران، جمعیت ایران بین سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶ با سرعتی در حدود ۱.۲۴٪ در سال در حال رشد بوده است (مرکز آمار ایران). افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی می‌تواند منجر به افزایش تقاضای انرژی شود. از طرف دیگر، به دلیل تغییرات سریع آب و هوا، استفاده از داده‌های آب و هوایی برای تجزیه و تحلیل عملکرد انرژی و طراحی ساختمان‌ها به طور فزاینده‌ای اهمیت پیدا می‌کند. داده‌های آب و هوایی در برآورد مصرف انرژی و آسایش حرارتی ساختمان‌ها مهم هستند با این وجود متأسفانه، در روش‌های فعلی برای شبیه‌سازی ساختمان‌ها و برآورد عملکرد انرژی، از داده‌های استاندارد آب و هوای امروزی استفاده می‌شود و به این اصل تعیین‌کننده و اثرگذار که آب و هوا به سرعت در حال تغییر است توجه نمی‌کنند و تأثیر تغییرات آب و هوایی آینده بر ساختمان‌ها را در نظر نمی‌گیرند [۱۵].

هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم برای پیش‌بینی افزایش دما در آینده، سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای را توسعه داده است که از انتشار گازهای گلخانه‌ای کم تا زیاد متفاوت است و امروزه می‌توان مصرف انرژی ساختمان را با توجه به تغییرات آب و هوا تخمین زد. از سوی دیگر، در دهه گذشته ساختمان‌های با انرژی خالص صفر مورد توجه قرار گرفته‌اند. افزایش مصرف انرژی سالانه در ایران و فقدان راه حل برای کاهش مصرف انرژی می‌تواند اهمیت استفاده از اصول انرژی خالص صفر در ساختمان‌ها را روشن کند. اگرچه ایران متعهد شده است که سهم انرژی‌های تجدیدپذیر را افزایش دهد، اما فقط چند مطالعه محدود در مورد استفاده از استراتژی‌های انرژی خالص صفر در ساختمان‌های آموزشی در ایران صورت گرفته است که این مطالعات به صورت جامع به متغیرهای موثر در نوسازی بهینه ساختمان‌های آموزشی نپرداخته‌اند. از این رو با عنایت به ضرورت‌ها و مشکلات مذکور و اهمیت صرفه‌جویی در انرژی در ساختمان‌های آموزشی موجود کشور تحقیق حاضر به دنبال نوسازی بهینه یک ساختمان آموزشی با رویکرد مصرف انرژی خالص نزدیک به صفر با توجه به تغییرات آب و هوایی کشور است.

۲- پیشینه تحقیق

۲-۱- تغییرات در آب و هوای جهانی

واضح است که ذوب شدن یخچال‌ها و افزایش سطح دریاها عمدتاً توسط فعالیت‌های انسانی به وقوع پیوسته است. آنها به دلیل استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی به عنوان منابع انرژی، با انتشار گازهای مهایارکننده گرما به اصطلاح گازهای گلخانه‌ای باعث ایجاد گرم‌ترین دوران در مقایسه با قرن‌های گذشته گذشته شده‌اند. این امر گرمایش جهانی نامیده می‌شود، که باعث ایجاد مجموعه‌ای از تغییرات در آب و هوای زمین یا الگوهای طولانی مدت آب و هوایی می‌شود که از مکانی به مکان دیگر متفاوت است. درواقع گرمایش جهانی یا گرم شدن کره زمین به افزایش تدریجی میانگین دمای سیستم آب و هوایی زمین گفته می‌شود. گرم شدن کره زمین طی یک قرن گذشته بیش از ۰.۸ درجه سانتیگراد و طی ۲۵ سال

گذشته حدود ۰.۲ درجه سانتیگراد در هر دهه افزایش یافته است [۱۶]. فعالیت‌های انسانی باعث گرم شدن کره زمین در حدود ۱.۰ درجه سانتیگراد بالاتر از سطحی که پیش از انقلاب صنعتی وجود داشته، شده است. اگر گرمایش جهانی با این سرعت افزایش یابد، احتمالاً بین سال ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۲ این افزایش دما به ۱.۵ درجه سانتیگراد خواهد رسید (هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم). دمای سطح جهانی احتمالاً در کمترین سناریو انتشار ۰.۳ تا ۱.۷ درجه سانتیگراد و در بالاترین سناریو انتشار ۲.۶ تا ۴.۸ درجه سانتیگراد خواهد بود [۱۷].

۲-۲- تأثیر تغییرات آب و هوایی بر مصرف انرژی در ساختمان‌ها

ساختمان‌ها یکی از بزرگترین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی هستند، که بیش از ۳۲٪ از کل انرژی جهانی و ۱۹٪ از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای به دلیل فرآیندهای انرژی ساختمان است [۱۸]. بنابراین، لازم است تأثیر تغییرات آب و هوا بر عملکرد انرژی ساختمان بررسی شود. در عین حال، تغییرات طولانی مدت آب و هوا تأثیرات قابل توجهی در تقاضای انرژی ساختمان دارد. مصرف انرژی ساختمان به دلیل ارتباط مستقیم بین دمای خارج و مصرف سیستم خنک‌کننده / گرمایش فضا، تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی جهانی قرار می‌گیرد [۱۹]. بسیاری از مطالعات تأثیر تغییرات آب و هوایی جهانی را در مصرف انرژی ساختمان در سراسر جهان نشان داده‌اند. وان و همکاران تأثیر تغییرات آب و هوا در استفاده از انرژی ساختمان در مناطق مختلف آب و هوایی در چین را برای دو سناریو انتشار برای آب و هوای آینده بررسی کردند [۲۰]. نتایج نشان می‌دهد که مصرف بیشتر انرژی منجر به انتشار کربن دی‌اکسید بیشتر و تغییرات آب و هوا و گرم شدن کره زمین در پی انتشار ایجاد می‌شود. تأثیر تغییرات آب و هوا بر استفاده از انرژی ساختمان می‌تواند با اقدامات صرفه‌جویی در انرژی کاهش یابد [۲۰].

فلورس-لارسن و همکاران تأثیر تغییرات آب و هوایی در مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی در مناطق گرم آرژانتین را ارزیابی کردند و بررسی کردند که آیا استراتژی‌های زیست‌اقلیمی متناسب برای شرایط آب و هوایی فعلی در طراحی ساختمان‌ها برای آب و هوای آینده عملی می‌تواند عملی باشد. نتایج نشان داد که انرژی در نظر گرفته شده برای گرمایش و سرمایش هوا در سال ۲۰۸۰ به ترتیب بین ۵۹٪-۲۳٪ پایین‌تر و بین ۷۹۰٪-۳۶۰٪ بالاتر از دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) خواهد بود [۲۱]. براردی و همکاران نتایج تأثیر تغییرات اقلیمی بر عملکرد انرژی ۱۶ مدل ساخته شده طبق آیین‌نامه اشرفی را برای تورنتو و انتاریو ارزیابی کردند. این مطالعه بر روی تولید فایل آب و هوایی در آینده با استفاده از روش‌های کوچک‌سازی آماری و پویا متمرکز شده است [۲۲]. سیانچیو و همکاران تأثیر نسبی گرمایش کره زمین را برای سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ در ۱۹ شهر اروپایی متعلق به کلاسهای مختلف آب و هوایی کوپن-گایگر با مقایسه نیازهای فعلی و برآورد شده انرژی یک خانه مسکونی فرضی بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که افزایش تدریجی دمای متوسط در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ منجر به کاهش عمومی تقاضای انرژی گرمایی برای گرمایش و افزایش تقاضای برق برای خنک‌سازی می‌



7 (1), 2022

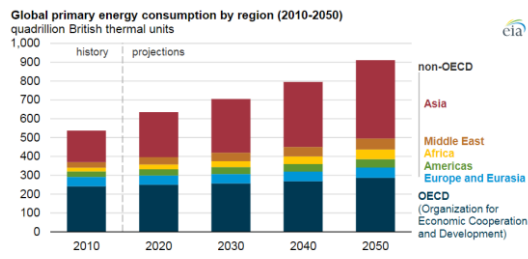
دوره ۷، شماره ۱

زمستان ۱۴۰۱

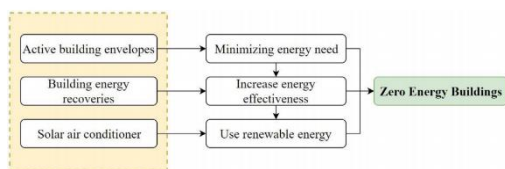
دوفصلنامه پژوهشی

مهندسی و مدیریت ساخت

متوقف کرد، اما می توان سرعت آن را کاهش داد. برای جلوگیری از بدترین پیامدهای تغییر اقلیم، رسیدن به " انرژی خالص صفر " تا سال ۲۰۵۰ یا زودتر ضروری است. مفهوم ساختمان با انرژی صفر در اوایل سال ۲۰۰۰ مطرح شد. اصطلاح خالص بیانگر این است که باید تعادل بین انرژی دریافت شده از شبکه های انرژی با انرژی تولید شده در آنها در طی مدت زمان مشخص-اصولا یکساله- برقرار باشد [۲۸].



شکل ۱ مصرف جهانی انرژی اولیه براساس منطقه (۲۰۵۰-۲۰۱۰)



شکل ۲ تبدیل از یک ساختمان مرجع به یک ساختمان با انرژی صفر

بنابر قانون وضع شده ایران موظف است سهم نیروگاه های تجدیدپذیر و نیروگاه های پاک را تا پایان سال ۲۰۲۱ به حداقل ۵ درصد از ظرفیت کشور افزایش دهد (آخرین ارزیابی آژانس بین المللی انرژی از مصرف جهانی انرژی و انتشار CO2 مربوط به انرژی برای ۲۰۱۸)، بنابراین، افزایش سهم انرژی های تجدیدپذیر با استفاده از استراتژی های انرژی صفر خالص در ساختمان ها مهم است.

بدیهی است که ایران باید سهم انرژی های تجدیدپذیر را افزایش دهد. اگر چه مطالعاتی محدودی در این حوزه در ایران انجام شده است. برای مثال عدالتی و همکاران سیستم گرمایش و سرمایش را بر اساس روشهای غیرفعال خورشیدی با هدف دستیابی به یک ساختمان مسکونی با انرژی خالص نزدیک به صفر در شهر کرمان طراحی کردند [۲۹]. نقدعلیزاده و همکاران طراحی یک ساختمان انرژی صفر در اقلیم همدان را انجام دادند و از دیوار ترومب به عنوان راه حلی برای کاهش مصرف انرژی استفاده کردند [۳۰]. به طراحی مسکن اجتماعی پایدار با رویکرد ساختمان های صفر انرژی در بافت فرسوده تهران پرداخت و از تکنیک بام سبز، مصالح با ظرفیت حرارتی بالا، عایق بندی مناسب، سایبان و بادگیر در جهت کاهش انرژی مصرفی ساختمان و تامین انرژی مصرفی ساختمان از انرژی های تجدید پذیر استفاده کرد [۳۱]. همتی پور و همکاران به اولویت بندی و بهینه سازی سیستم تامین انرژی با توجه به مفهوم انرژی خالص صفر، در یک ساختمان دانشگاهی در اقلیم یزد پرداختند [۳۲]. که بررسی شد غالب مطالعات صورت گرفته به ارائه راه حلی مناسب برای آب و هوای کنونی اقلیم مورد مطالعه پرداخته اند. حال آنکه این مطالعه بهینه ترین استراتژی ممکن برای بازسازی یک ساختمان

شود [۲۳]. وانگ و همکاران نیازهای انرژی گرمایش و سرمایش و میزان انتشار کربن مربوطه در خانه های مسکونی تحت شرایط مختلف آب و هوایی در رابطه با گرم شدن کره زمین را ارزیابی کردند [۲۴]. آن ها اثر تغییر اقلیم بر نیاز به انرژی سرمایشی و گرمایشی در ساختمانهای مسکونی در پنج شهر با آب و هوای سرد و مرطوب و گرم در استرالیا را ارزیابی کردند و پیشنهاد کردند که قانون نویسان ساختمان هنگام بررسی سیستم درجه بندی انرژی، باید تأثیر تغییر اقلیم را نیز در نظر بگیرند [۲۵]. همانگونه که مشاهده می شود بیشتر مطالعات صورت گرفت در این حوزه به بررسی اثرات تغییرات آب و هوایی بر ساختمان ها اشاره دارد.

۳-۲- ضرورت اطلاعات آب و هوایی

داده های معمولی آب و هوایی که در شبیه سازی های ساختمان ها استفاده می شود سال مرجع آزمون، سال هواشناسی معمولی یا سال مرجع طراحی شامل ۸۷۶۰ مقدار ساعتی است که از برخی پارامترهای هواشناسی انتخاب شده مانند دمای محیط، تابش خورشید، رطوبت نسبی و سرعت باد استفاده می کند [۲۶]. امروزه، بیشتر مطالعات و ارزیابی های مربوط به ساختمان از داده های فعلی آب و هوا با کمک ابزارهای شبیه سازی انرژی ساختمان برای ارزیابی و پیش بینی عملکرد انرژی آینده ساختمان استفاده می کنند، اما باید این نکته را در نظر داشت که استفاده از این فایل های آب و هوایی به جای فایل شبیه سازی شده آب و هوا در آینده، منعکس کننده اثر تغییر شرایط آب و هوایی بر ساختمان نیست و بنابراین پیش بینی ها نمی توانند دقیق باشند [۱۵] در نتیجه، انتخاب بهترین داده های آب و هوایی برای شبیه سازی ساختمان بسیار مهم است. در واقع، روش های فعلی شبیه سازی انرژی ساختمان از فایل آب و هوایی که توسط سوابق تاریخی ایجاد شده اند استفاده می کند. با این حال، به دلیل تغییرات زیاد آب و هوایی و تأثیر آن بر تقاضای انرژی در ساختمان، شبیه سازی با استفاده از فایل های آب و هوایی تاریخی، توانایی پیش بینی روند گرمایش و سرمایش در ساختمان ها را ندارد. در این مطالعه پیش بینی وضعیت آب و هوای آینده نقطه شروع ارزیابی اثرات تغییرات آب و هوایی بر عملکرد ساختمان است. استفاده از فایل های آب و هوای امروزی برای ایجاد فایل پیش بینی شده یا شبیه سازی شده آب و هوا با اهمیت روز افزونی مواجه است. در این تحقیق از فایل های شبیه سازی شده آب و هوای آینده جهت تعیین عملکرد انرژی ساختمان استفاده شده است.

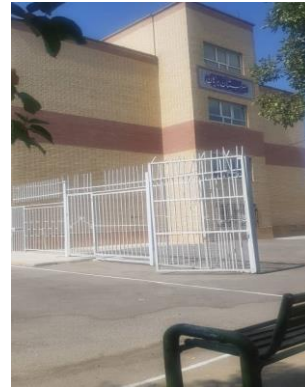
۴-۲- انرژی

استفاده از انرژی در جهان به سرعت در حال رشد است و نگرانی در مورد مشکلات تأمین، استفاده از منابع انرژی و اثرات قابل توجه زیست محیطی مانند گرم شدن کره زمین و تغییرات آب و هوایی را ایجاد کرده است. پرز-لومبارد و دیگران، بررسی کردند که افزایش مصرف انرژی ساختمان های مسکونی و تجاری بین ۲۰ تا ۴۰ درصد از کل مصرف جهانی انرژی است و نیمی از این انرژی مصرفی در ساختمان به سیستم های گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع اختصاص یافته است [۲۷]. کربن دی اکسید و سایر گازهای گرمگیر از دلایل اصلی گرم شدن کره زمین است. گرچه نمی توان گرمایش جهانی را

آموزشی با رویکرد انرژی خالص صفر در اقلیم تهران را برای سال ۲۰۸۰ ارائه داده است.

۳- روش تحقیق

ساختمان مورد مطالعه یک ساختمان چهار طبقه است که در سال ۲۰۰۸ در منطقه ۱۸ تهران بنا شده است. این ساختمان دارای سه طبقه در بالای زمین و یک طبقه در زیر زمین می باشد. مساحت کل بنا ۲۱۳۲.۸۴ مترمربع و ارتفاع زیرزمین و طبقه همکف ۳.۲ متر و ارتفاع طبقات اول و دوم ۴.۴ متر است (شکل ۳)



شکل ۳ نمای شرقی ساختمان مورد مطالعه

این ساختمان به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است تا به عنوان ساختمان مرجع برای سایر مدارس تپ این شهر مورد استفاده قرار گیرد. ساختمانهای مرجع با توصیف صفات کامل تجزیه و تحلیل انرژی کل ساختمان با استفاده از نرم افزار شبیه سازی انرژی پلاس، نقش اساسی در تحقیقات نرم افزاری مدل سازی انرژی این برنامه دارند. پس از جمع آوری و اندازه گیری اطلاعاتی مانند قبض های مصرف انرژی، مطالعه موردی در نرم افزار دیزاین بیلدر شبیه سازی و کالیبره می شود. در نهایت با استفاده از ابزار iEplus که مبتنی بر الگوریتم مرتب سازی غیرمغلوب است و به کمک روش تاپسیس بهترین گزینه بهینه سازی انتخاب می شود. مراحل قبلی برای شرایط آب و هوایی سال ۲۰۸۰ تکرار می شود تا بهترین گزینه ممکن برای این سال هم تعیین شود برای دستیابی به این مهم از ابزار CCWorldWeatherGen برای تحلیل و تولید داده های آب و هوایی در آینده استفاده می شود.



شکل ۴ ساختمان مدل سازی شده در نرم افزار دیزاین بیلدر

۳-۱- بهینه سازی چندهدفه

طراحی ساختمان ها یک مسئله بهینه سازی چند معیاره است، زیرا مبادله ای که باید بین هزینه سرمایه، هزینه عملیاتی و راحتی حرارتی ساکنین انجام شود، همیشه وجود دارد. به دلیل طیف گسترده ای از اقدامات بازسازی، تصمیم گیری در مورد انتخاب هدف مناسب مهم است. اخیراً، محققان از تکنیک های معیارهای چند هدفه برای عبور از این نوع تصمیم گیری استفاده کرده اند. جرو و همکاران از اولین کسانی بودند که برای بررسی رابطه بین عملکرد حرارتی ساختمان، هزینه سرمایه و مساحت قابل استفاده از ساختمان، یک مدل چند معیاره را در روند طراحی ساختمان پیاده سازی کردند [۳۳]. نتایج نشان می دهد که الگوریتم چندهدفه پتانسیل زیادی برای یافتن مشخصه بازده بهینه بین هزینه انرژی روزانه و آسایش حرارتی منطقه فراهم می کند [۳۴].

۳-۲- روش های بهسازی غیر فعال انرژی

در واقع، روش های بهینه سازی مصرف انرژی در دو گروه اصلی به نام اقدامات فعال و غیرفعال دسته بندی می شوند. لازم به ذکر است که استراتژی های غیر فعال شامل جهت گیری ساختمان، عایق بندی، آب بندی هوا، پنجره ها و روشنایی روز و طراحی ساختمان برای استفاده از فرصت های تهویه طبیعی است. در واقع، هدف اصلی اقدامات انفعالی یافتن راه هایی برای کاهش اندازه سیستم گرمایش و سرمایش با نگهداری گرما (یا هوای خنک شده) در داخل ساختمان است. استراتژی های طراحی غیرفعال اولین فرصت برای طراحان برای افزایش بهره وری انرژی ساختمان است، معمولاً با هزینه بسیار کمتر از ورود به سیستم های پیشرفته ساختمان. علاوه بر این، این مزیت کاهش بارهای گرمایش و سرمایش را دارد تا سیستم مکانیکی ساختمان کوچک شود و منجر به کاهش مصرف انرژی در ساختمان شود. علاوه بر این، ساختمانها برای عملکرد بیش از ۳۰ سال طراحی شده اند. به عنوان مثال، تقریباً ۷۵٪ از کل ساختمان های مسکونی انگلستان تا سال ۲۰۵۰ عملکردی باقی خواهد ماند. به همین دلیل، استفاده از استراتژی های کاهش انرژی منفعلی برای نوسازی ساختمان ها برای حال حاضر و در همه زمان های آینده مفید خواهد بود.

۳-۳- الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب

الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب یکی از کارآمدترین و مشهورترین الگوریتم های بهینه سازی چند هدفه می باشد که توسط دب و همکاران در سال ۲۰۰۰ ارائه شد [۳۵]. همان طور که اشاره شد، الگوریتم های بهینه سازی تک هدفه، حل بهینه را با توجه به یک هدف می یابند و این در حالی است که در مسائل چند هدفه یک حل بهینه مجزا را نمی توان یافت. پس طبیعی است که با یک مجموعه ای از راه حل ها به نام راه حل های مغلوب نشده موثر سروکار داشته باشیم. از بین این مجموعه راه حل های متناهی حل مناسب جواب هایی خواهد بود که عملکرد قابل قبولی را نسبت به همه اهداف داشته باشد.

۳-۴- روش تاپسیس

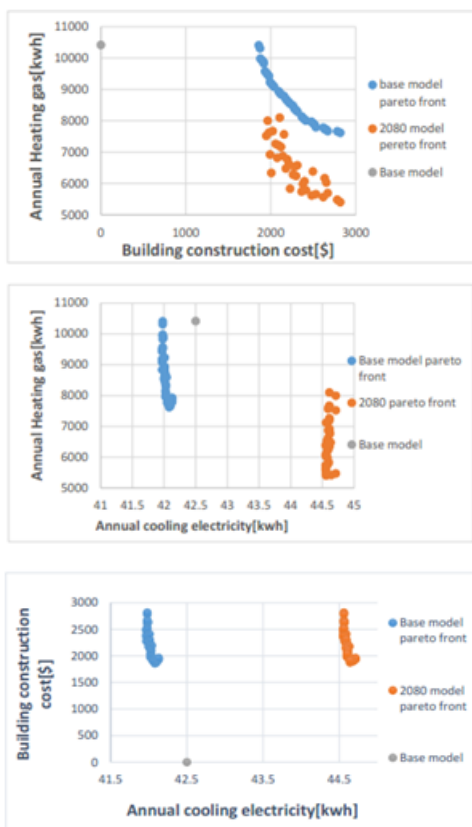
فرآیند انتخاب یک اقدام عملی احتمالی از بین همه گزینه های موجود، تصمیم گیری نامیده می شود. تصمیم گیری مناسب برای یافتن بهترین گزینه مهم است. تقریباً در همه این موارد به علت تعدد در معیارهای قضاوت، تصمیم گیرنده تمایل به دستیابی به بیش از یک هدف دارد در حالی که محدودیت های مختلف مربوط به محیط، فرآیندها و منابع وجود دارد. از روش تاپسیس برای حل یک مسئله تصمیم گیری چند منظوره استفاده می شود [۳۶]. تکنیک تاپسیس یک روش تجزیه و تحلیل تصمیم چند معیاره است که معمولاً برای مقایسه مجموعه ای از گزینه ها با تعیین وزن برای هر معیار استفاده می شود. نرمال کردن مقادیر برای هر معیار، و محاسبه فاصله هندسی بین هر گزینه از اقدامات اصلی این روش هستند. گزینه ایده آل باید کمترین فاصله را از راه حل ایده آل و بیشترین فاصله را با راه حل ایده آل منفی داشته باشد. این روش براساس مقایسه بین تمام گزینه های موجود در مسئله است و برای اولین بار توسط چینگ لای هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ ساخته شد. [۳۷].

۳-۵- اقدامات لازم جهت ایجاد ساختمان با انرژی خالص نزدیک به صفر

ساختمان مورد مطالعه دارای یک سقف مسطح و جهت گیری مناسب (جنوب و جنوب / جنوب غربی) برای نصب پنل های خورشیدی است. ساختمان مورد مطالعه در معرض سایه اندازی ساختمان های دیگر نیست، زیرا در مرکز حیاط واقع شده است. پنل های در نظر گرفته شده هر کدام ۱.۹۳۹ مترمربع مساحت دارند. این پنل ها هر ۲.۶۵ متر نصب می شوند تا از سایه اندازه روی سایر صفحات جلوگیری شود. برای دستیابی به بهترین عملکرد از جهت جنوب، پنل های خورشیدی با زاویه ۴۵ درجه شیب در جهت جنوب قرار گرفته اند. در نهایت ساختمان در نرم افزار دیزاین بیلدر و شبیه سازی می شود.

۴- یافته ها

هدف از یافتن راه حل در این بخش به دست آوردن اقدام یا ترکیبی از اقدامات غیرفعال به جهت بهینه سازی مصرف انرژی سرمایشی سالانه، مصرف انرژی گرمایشی سالانه و هزینه سرمایه گذاری اولیه است. نتایج نشان داده که اقدامات بازسازی غیرفعال تا چه اندازه قادر به کاهش مصرف انرژی سرمایش و گرمایش سالانه در ساختمان هستند. برای ارزیابی این بخش، ابتدا ساختمان در نرم افزار دیزاین بیلدر شبیه سازی و پس از آن مدل شبیه سازی شده با استفاده از ابزار jEPlus برای تعیین جبهه پارتو بهینه می شود. این ارزیابی برای هر دو شرایط آب و هوایی کنونی و دهه ۲۰۸۰ صورت می گیرد. از آنجا که این مورد در آب و هوای B3 قرار دارد، مصرف انرژی گرمایشی از اهمیت بیشتری نسبت به مصرف انرژی سرمایشی برخوردار است. نمای کلی نتایج در نمودار ۳ نشان داده شده است.



شکل ۵ نتایج بهینه سازی حاصل از اقدامات غیر فعال برای آب و هوای کنونی و ۲۰۸۰

همه این نمودارها نشان دهنده نتایج و هر نقطه نشان دهنده یک شبیه سازی است. رنگ نقاط نشان دهنده جواب بهینه پرتو بسته به شرایط آب و هوا فعلی و آینده است. واحد هزینه در نمودار ها بر حسب دلار می باشد که در این پژوهش هر دلار معادل ۲۰ هزار تومان در نظر گرفته شده است. همانطور که مشاهده می شود ساختمانی که در آب و هوای کنونی بهینه می باشد، نمی تواند عملکرد بهینه خود را در دهه ۲۰۸۰ داشته باشد. لذا این پژوهش برای هر یک از شرایط آب و هوایی راه حلی بهینه متناسب با شرایط زمانی ارائه خواهد داد. ارزیابی گزینه های غیرفعال در راستای دستیابی به راه حلی با حداقل مصرف انرژی توام با در نظر گرفتن معیارهزینه است. درواقع گزینه غیرفعال انتخاب شده سعی در ایجاد تعادل بین حداقل مصرف انرژی سرمایشی، گرمایشی و حداقل هزینه سرمایه گذاری اولیه دارد. بهترین اقدام غیرفعال از بین بسته های مختلف اقدامات غیرفعال بر اساس روش تاپسیس انتخاب می شود. در این روش مصرف انرژی سرمایشی، گرمایشی و هزینه سرمایه گذاری اولیه به عنوان معیارهای تصمیم گیری و با میزان اولیت یکسان برای محاسبه در الگوریتم تاپسیس در نظر گرفته می شود. پاسخ انتخاب شده با توجه به الگوریتم تاپسیس در جدول ۱ و جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱ مقایسه گزینه انتخاب شده برای شرایط آب و هوایی کنونی و مدل

اولیه	
مدل پایه	بهترین مدل
۰	۴۸۲۵۴۲۰۰
هزینه اقدامات بازسازی (تومان)	

شکل ۶ مقایسه میزان انرژی مصرفی ساختمان و انرژی تولید شده توسط پنل های خورشیدی در ماه های مختلف سال

انرژی مصرفی سالانه برای گرمایش (کیلووات ساعت)	۹۰۸۱۶۳	۸۰۰۶۶۷
انرژی مصرفی سالانه برای گرمایش (کیلووات ساعت)	۴۲.۵	۴۲.۰۱

۵- بحث و نتیجه گیری

در مرحله اول، ساختمان موجود در نرم افزار دیزاین بیلدر مدلسازی شد و سه معیار مواد عایق، ضخامت عایق، و نوع شیشه پنجره برای کاهش مصرف انرژی ساختمان انتخاب شدند. در این راستا، کاهش بار خنک کننده، گرمایش و هزینه سرمایه گذاری به عنوان سه هدف بهینه سازی در نظر گرفته شده است. در مرحله دوم با استفاده از پنل های خورشیدی ساختمان به یک ساختمان با انرژی خالص نزدیک به صفر تبدیل شد. از جمله مطالعات صورت گرفته در این زمینه در کشور دو مورد مشابه با عناوین طراحی بهینه یک ساختمان با انرژی خالص نزدیک به صفر در موقعیت جغرافیایی شهر تهران و بررسی عملکرد ساختمان های با مصرف انرژی خالص سالیانه نزدیک به صفر در اقلیم شهر کرمان صورت گرفته است. باید توجه داشت که ایران کشوری با تنوع اقلیم هاست لذا نمیتوان مطالعات صورت گرفته شده بر روی یک اقلیم خاص مانند کرمان که دارای آب و هوایی گرم و خشک است را به شهری مانند تهران که دارای اقلیم مدیترانه ای است، تعمیم داد. از طرفی در مقالات فوق الذکر راهکاری برای نوسازی ساختمان ها با کاربری آموزشی به ویژه با در نظر گرفتن تغییرات آب و هوایی کره زمین ارائه نشده است؛ بنابراین پیشنهاد یک ساختمان آموزشی بهینه با انرژی خالص نزدیک به صفر در تهران، در نظر گرفتن تأثیر تغییر اقلیم بر ساختمان مورد مطالعه و استفاده از بهینه سازی چند هدفه از جمله نوآوری های این پژوهش هستند و میتوان نتیجه گرفت که این موضوع مطالعاتی برای نخستین بار در تهران اتخاذ شده است. از آنجا که تحقیق حاضر موضوع نوسازی بهینه ساختمان آموزشی با توجه به تغییرات آب و هوایی را پوشش می دهد، پرداختن به این تحقیق با رویکرد زیر پیشنهاد می شود:

- (۱) بررسی اهداف متفاوت
- (۲) استفاده از فن آوری های مقاوم سازی پایدار مانند سقف سبز، دیوار ترومب
- (۳) انجام یک مطالعه مشابه در طبقه بندی مختلف اقلیمی
- (۴) استفاده از تکنیک های هوشمند مدیریت انرژی
- (۵) توجه به رفتار ساکنین

۶- تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی ندارند.

۷- سهم نویسندگان

نویسندگان به صورت مساوی در نگارش مقاله نقش داشته اند.

۸- حمایت مالی

این تحقیق از هیچگونه حمایت مالی ای برخوردار نبوده است.

۹- مراجع

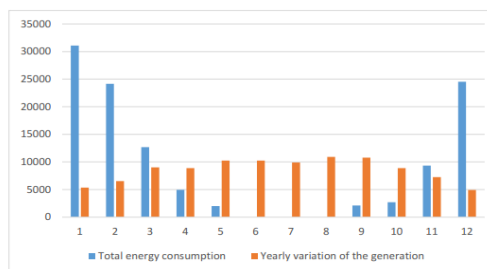
- [1] Zhai, Z. J., & Helman, J. M. (2019). Implications of climate changes to building energy and design. *Sustainable Cities and Society*, 44, 511-519.
- [2] Javid, A. S., Aramoun, F., Bararazadeh, M., & Avami, A. (2019). Multi objective planning for sustainable retrofit of educational buildings. *Journal of Building Engineering*, 24, 100759.

برای شرایط آب و هوای کنونی عایق پشم سنگ با دانسیته ۱۰۰ و ضخامت ۰.۱ متر و شیشه دو جداره شفاف با ضخامت ۳ و ۱۳ میلی متر پر شده با آرگون انتخاب شده است. این راه حل منفعل با ۴۸۲۵۴۲۰۰ تومان هزینه سرمایه گذاری، منجر به کاهش ۱۱.۸۳ درصدی انرژی گرمایشی و بیش از ۱۵ درصد انرژی مصرفی سرمایه می شود. اگرچه اقلام کم مصرف بیشتری وجود دارد، اما هزینه سرمایه گذاری آنها بسیار بیشتر است.

جدول ۲ مقایسه گزینه انتخاب شده برای شرایط آب و هوایی دهه ۲۰۸۰ و مدل اولیه

مدل پایه	بهترین مدل
هزینه اقدامات بازسازی (تومان)	۵۶۲۸۰۴۰۰
انرژی مصرفی سالانه برای گرمایش (کیلووات ساعت)	۹۰۸۱۶۳
انرژی مصرفی سالانه برای گرمایش (کیلووات ساعت)	۴۲.۵
انرژی مصرفی سالانه برای گرمایش (کیلووات ساعت)	۴۴.۵۶

راه حل انتخاب شده برای شرایط آب و هوایی دهه ۲۰۸۰، عایق پی وی سی با ضخامت ۰.۱ متر و شیشه دو جداره شفاف با ضخامت ۶ و ۱۳ میلی متر پر شده با هوا می باشد. اگرچه این راه حل هزینه سرمایه گذاری بیشتری را نشان می دهد، اما منجر به صرفه جویی بیشتری در مصرف انرژی می شود. این راه حل منفعل با هزینه سرمایه گذاری ۵۶۲۸۰۴۰۰ تومان منجر به کاهش ۴۰.۴ درصدی انرژی گرمایی و افزایش ۴.۸۴ انرژی سرمایه می شود. باید توجه داشت که افزایش دما در آب و هوای آینده امری اجتناب ناپذیر است که منجر به افزایش انرژی سرمایه می خواهد شد و در این راستا مدلی مناسب تر است که کمترین میزان افزایش مصرف را داشته باشد. برای دستیابی به بیشترین صرفه جویی در مصرف انرژی و کمترین مصرف انرژی در مرحله نصب صفحات خورشیدی، سایبان محلی برای چهار جهت اصلی و کنترل روشنایی به مدل اضافه می شود. سپس مدل آماده نصب پنل خورشیدی است. در مرحله دوم، ۱۷۶ پانل که ۳۴۱.۲۶۴ مساحت را فراهم می کنند، روی سقف نصب شده اند. پانل ها شیب ۴۵ درجه داشته تا در برابر تابش جنوب بهترین عملکرد را داشته باشند. با اینکه ۲۰٪ کاهش مصرف انرژی برای تأمین انرژی خالص نزدیک به صفر کافی است، این پانل ها بیش از ۹۰٪ کاهش مصرف انرژی ایجاد می کنند.



- [20] Wan, K. K., Li, D. H., Pan, W., & Lam, J. C. (2012). Impact of climate change on building energy use in different climate zones and mitigation and adaptation implications. *Applied Energy*, 97, 274-282.
- [21] Flores-Larsen, S., Filippín, C., & Barea, G. (2019). Impact of climate change on energy use and bioclimatic design of residential buildings in the 21st century in Argentina. *Energy and Buildings*, 184, 216-229.
- [22] Berardi, U., & Jafarpur, P. (2020). Assessing the impact of climate change on building heating and cooling energy demand in Canada. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121, 109681.
- [23] Ciancio, V., Salata, F., Falasca, S., Curci, G., Golasi, I., & de Wilde, P. (2020). Energy demands of buildings in the framework of climate change: An investigation across Europe. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102213.
- [24] Wang, X., Chen, D., & Ren, Z. (2011). Global warming and its implication to emission reduction strategies for residential buildings. *Building and Environment*, 46(4), 871-883.
- [25] Wang, X., Chen, D., & Ren, Z. (2010). Assessment of climate change impact on residential building heating and cooling energy requirement in Australia. *Building and Environment*, 45(7), 1663-1682.
- [26] Bilbao, J., Miguel, A., Franco, J., & Ayuso, A. (2004). Test reference year generation and evaluation methods in the continental Mediterranean area. *Journal of Applied Meteorology*, 43(2), 390-400.
- [27] Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394-398.
- [28] Sartori, I., Napolitano, A., & Voss, K. (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Energy and Buildings*, 48, 220-232.
- [29] عدالتی، س.، طرماحی، ح.، مهربان، م.، & طالبی زاده، پ. (۱۳۹۰). امکان سنجی و ارزیابی کارایی خانه با مصرف خالص انرژی صفر در اقلیم شهر کرمان سومین کنفرانس بین المللی گرمایش، سرمایش، و تهویه مطبوع ، <https://civilica.com/doc/268477>
- [30] نقدعلیزاده، ش.، & هیبیتی، س. (۱۳۹۴). بررسی امکانپذیری طراحی ساختمان با مصرف انرژی خالص صفر در ایران Net Zero energy Building مطالعه موردی همدان هفتمین همایش علمی تخصصی انرژی های تجدید پذیر، پاک و کارآمد ، <https://civilica.com/doc/355814>
- [31] زاهدی، م. (۱۳۹۷). طراحی مسکن اجتماعی پایدار با رویکرد ساختمان های صفر انرژی در بافت فرسوده تهران سومین کنفرانس بین المللی عمران ، معماری و طراحی شهری ، <https://civilica.com/doc/806117>
- [32] همتی پور، ح.، اولیا، م.، & لطفی، م. (۱۳۹۹). اولویت بندی و بهینه سازی سیستم تأمین انرژی با توجه به مفهوم انرژی خالص صفر، مطالعه موردی: دانشگاه یزد هفدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع <https://civilica.com/doc/1161019>
- [33] Gero, J. S., D'Cruz, N., & Radford, A. D. (1983). Energy in context: a multicriteria model for building design. *Building and Environment*, 18(3), 99-107.
- [34] Devine-Wright, P. (2014). *Renewable Energy and the Public: from NIMBY to Participation*. Routledge.
- [35] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(2), 182-197.
- [36] Lai, Y.-J., Liu, T.-Y., & Hwang, C.-L. (1994). Topsis for MODM. *European journal of operational research*, 76(3), 486-500.
- [37] Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making* (pp. 58-191). Springer.
- [3] Tahsildoost, M., & Zomorodian, Z. S. (2015). Energy retrofit techniques: An experimental study of two typical school buildings in Tehran. *Energy and Buildings*, 104, 65-72. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.079>
- [4] Shen, P., Braham, W., & Yi, Y. (2019). The feasibility and importance of considering climate change impacts in building retrofit analysis. *Applied Energy*, 233, 254-270.
- [5] Vares, S., Häkkinen, T., Ketomäki, J., Shemeikka, J., & Jung, N. (2019). Impact of renewable energy technologies on the embodied and operational GHG emissions of a nearly zero energy building. *Journal of Building Engineering*, 22, 439-450.
- [6] Dixit, M. K. (2019). Life cycle recurrent embodied energy calculation of buildings: A review. *Journal of cleaner production*, 209, 731-754.
- [7] Liu, Z., Li, W., Chen, Y., Luo, Y., & Zhang, L. (2019). Review of energy conservation technologies for fresh air supply in zero energy buildings. *Applied Thermal Engineering*, 148, 544-556.
- [8] Bourdeau, M., Zhai, X.-Q., Nefzaoui, E., Guo, X., & Chatellier, P. (2019). Modelling and forecasting building energy consumption: a review of data-driven techniques. *Sustainable Cities and Society*.
- [9] Chai, J., Huang, P., & Sun, Y. (2019). Investigations of climate change impacts on net-zero energy building lifecycle performance in typical Chinese climate regions. *Energy*, 185, 176-189.
- [10] Shea, R. P., Kissock, K., & Selvacanabady, A. (2019). Reducing university air handling unit energy usage through controls-based energy efficiency measures. *Energy and Buildings*, 194, 105-112.
- [11] Jafarinejad, T., Erfani, A., Fathi, A., & Shafii, M. B. (2019). Bi-level energy-efficient occupancy profile optimization integrated with demand-driven control strategy: University building energy saving. *Sustainable Cities and Society*, 48, 101539.
- [12] Javid, A. S., Aramoun, F., Bararzadeh, M., & Avami, A. (2019). Multi objective planning for sustainable retrofit of educational buildings. *Journal of Building Engineering*, 24, 100759.
- [13] Rospi, G., Cardinale, N., Intini, F., & Negro, E. (2017). Analysis of the energy performance strategies of school buildings site in the Mediterranean climate: A case study the schools of Matera city. *Energy and Buildings*, 152, 52-60.
- [14] Lizana, J., Serrano-Jimenez, A., Ortiz, C., Becerra, J. A., & Chacartegui, R. (2018). Energy assessment method towards low-carbon energy schools. *Energy*, 159, 310-326.
- [15] Jentsch, M. F., Bahaj, A. S., & James, P. A. (2008). Climate change future proofing of buildings—Generation and assessment of building simulation weather files. *Energy and Buildings*, 40(12), 2148-2168.
- [16] Vong, N. (2016). Climate Change and Building Energy Use: Evaluating the Impact of Future Weather on Building Energy Performance in Tropical Regions.
- [17] Gupta, A. (2018). Climate change and global warming: a critical analysis. *National Journal of Environmental Law*, 1(2), 37-41.
- [18] Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J. A., Clarke, L., Dahe, Q., & Dasgupta, P. (2014). Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ipcc.
- [19] Huang, J., & Gurney, K. R. (2016). The variation of climate change impact on building energy consumption to building type and spatiotemporal scale. *Energy*, 111, 137-153. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.118>



7 (1), 2022

دوره ۷، شماره ۱

زمستان ۱۴۰۱

دوفصلنامه پژوهشی



ارائه یک راهکار بهینه برای کاهش اثرات اقلیمی بر یک ساختمان آموزشی
بر مبنای تکنیک انرژی خالص صفر