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

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 بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: 1401/03/01، تاریخ پذیرش: 1401/03/21

ارجاع به مقاله:
کیمیا آرام، روح اله طاهرخانی، ارائه یک راهکار بهینه برای کاهش اثرات اقلیمی بر یک ساختمان آموزشی بر مبنای تکنینک انرژی خالص صفر، *مهندسی و مدیریت ساخت*، 1401، 7 (1): 8-15.

چکیده

تغییرات آب و هوایی یکی از مهم ترین مشکلاتی کره زمین می باشد. ساختمان ها با تکیه بر منابع انرژی غیرقابل تجدید، 40 درصد از کل انرژی مصرفی در سراسر دنیا و30 درصد از کل گاز کربن دی اکسید منتشر شده را به خود اختصاص داده اند. بخش ساخت و ساز در ایران 33.8 درصد از مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است که در این میان مصرف انرژی در ساختمان های آموزشی ایران 2.5 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 کارگرفته 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 11.83درصدی در مصرف گاز سالانه ناشی از گرمایش و با در نظر گرفتن آب و هوای دهه باعث2080 کاهش بیش از 1.15 درصد در مصرف انرژی سالانه ناشی از سرمایش و کاهش 40.4 درصدی مصرف سالانه گازناشی از گرمایش و افزایش 4.84درصدی 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

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

Kimiya 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

*Corresponding author's email address:
taherkhani@eng.ikiu.ac.ir, ORCID: 0000-0003-4180-792X

How to cite this article:
Kimiya 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.

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

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
7 (1) , 2022
دوره 7، شماره 1
زمستان 1401
دوفصلنامه پژوهشی

1- 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 1970 و 2004، انتشار گازهای گلخانه ای جهانی، 70 درصد افزایش داشته است [1]. براساس گزارش هیئت بین دولتی تغییر اقلیم ، بین سال های 2000 و 2017، انتشار گازهای گلخانه ای جهانی افزایش یافته و به میزان تاریخی 32.5 گیگاتن در سال رسیده است. بنابر گفته آژانس بین المللی انرژی، انتشار کربن دی اکسیدتا پایان سال 2050 باید 77 درصد کاهش یابد تا افزایش گرمایش کره زمین زیر 2 درجه سانتیگراد باشد. گزارش آژانس بین المللی انرژی نشان می دهد، تقاضای جهانی انرژی در سال 2018، 2.3٪ افزایش داشته است و انتشارکربن دی اکسید مربوط به انرژی جهانی با 1.7٪ افزایش به 33 گیگاتون در سال 2018 رسیده است (آخرین ارزیابی آژانس بین المللی انرژی در مورد مصرف انرژی جهانی و انتشار کربن دی اکسید مربوط به انرژی برای سال 2018). بخش ساختمان 40٪ از کل مصرف انرژی در سراسر جهان و تا 30٪ 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 33.8٪ از کل انرژی مصرفی و 23.37٪ از کل دی اکسید کربن را در سال 2014 به خود اختصاص داده است [2]. در چند دهه گذشته، مصرف انرژی در ایران نرخ رشد متوسطی در حدود 8٪ در سال داشته است [3]. 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[4]. عملکرد انرژی یک ساختمان در طول چرخه حیات، ارتباط تنگاتنگی با انتشار گازهای گلخانه ای دارد [5]. 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 [6] و اگر هیچ بهبودی در بهره وری انرژی در بخش ساختمان انجام نشود، مصرف انرژی ممکن است در سال 2050 تا 50٪ افزایش یابد [7].

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 [2،8]. 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 [8]. همانطور که توسط وزارت انرژی ایالات متحده بیان شده است، ساختمان با انرژی خالص صفرعبارت 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 2020، تبدیل محله های اروپا به مناطقی با مصرف انرژی خالص صفر بوده است (سرویس علم و دانش کمیسیون اروپا، 2019). اتحادیه اروپا سه هدف اصلی را برای سال تعیین کرد2020 که عبارت بودند از: 20 درصد کاهش انتشار گازهای گلخانه ای نسبت به سال 1990، تأمین 20 درصد انرژی اتحادیه اروپا از منابع تجدید پذیر و 20 درصد بهبود بهره وری انرژی (سرویس علوم و دانش کمیسیون اروپا، 2019). ایالات متحده نیز دستیابی به انرژی صفر تا سال 2050 را برای همه ساختمان های تجاری دنبال می کند [9].

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، 18٪ کل مصرف انرژی در ایالات متحده را به خود اختصاص می دهند [10]. در این میان دانشگاهها تقریباً 12٪ 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 [11]. ساختمانهای بخش عمومی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه انرژی زیادی مصرف می کنند. بطوریکه میزان مصرف انرژی در ساختمانهای آموزشی ایران 2.5 برابر بیشتر از ساختمان آموزشی در کشورهای پیشرفته ارزیابی شده است [12].

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 [13]. 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 [14]. 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 [12]. لذا تاثیرات فوق الذکر ضرورت پرداختن به این مسئله را صد چندان می کند.

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
7 (1) , 2022
دوره 7، شماره 1
زمستان 1401
دوفصلنامه پژوهشی

در بسیاری از ادبیات علمی، بررسی استراتژی های بهبود بهره وری انرژی در بخش ساختمان طی دهه های اخیر رایج شده است. از آنجاییکه حدود 40٪ از مصرف انرژی توسط بخش ساختمان صورت می گیرد، توجه ویژه ای باید به این بخش اختصاص یابد. علاوه بر این، در آخرین گزارش از مرکز آمار ایران، جمعیت ایران بین سال 2011 تا 2016 با سرعتی در حدود 1.24٪ در سال در حال رشد بوده است (مرکز آمار ایران). افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی می تواند منجر به افزایش تقاضای انرژی شود. از طرف دیگر، به دلیل تغییرات سریع آب و هوا، استفاده از داده های آب و هوایی برای تجزیه و تحلیل عملکرد انرژی و طراحی ساختمان ها به طور فزاینده ای اهمیت پیدا می کند. داده های آب و هوایی در برآورد مصرف انرژی و آسایش حرارتی ساختمان ها مهم هستند با این وجود متأسفانه، در روشهای فعلی برای شبیه سازی ساختمان ها و برآورد عملکرد انرژی، از داده های استاندارد آب و هوای امروزی استفاده می شود و به این اصل تعیین کننده و اثرگذار که آب و هوا به سرعت در حال تغییر است توجه نمی کنند و تأثیر تغییرات آب و هوایی آینده بر ساختمان ها را در نظر نمی گیرد [15].

هیئت بین دولتی تغییر اقلیم برای پیش بینی افزایش دما در آینده، سناریوهای انتشار گازهای گلخانه ای را توسعه داده است که از انتشار گازهای گلخانه ای کم تا زیاد متفاوت است و امروزه می توان مصرف انرژی ساختمان را با توجه به تغییرات آب و هوا تخمین زد. از سوی دیگر، در دهه گذشته ساختمان های با انرژی خالص صفر مورد توجه قرار گرفته اند. افزایش مصرف انرژی سالانه در ایران و فقدان راه حل برای کاهش مصرف انرژی می تواند اهمیت استفاده از اصول انرژی خالص صفر در ساختمان ها را روشن کند. اگرچه ایران متعهد شده است که سهم انرژی های تجدیدپذیر را افزایش دهد، اما فقط چند مطالعه محدود در مورد استفاده از استراتژی های انرژی خالص صفر در ساختمان های آموزشی در ایران صورت گرفته است که این مطالعات به صورت جامع به متغیرهای موثر در نوسازی بهینه ساختمانهای آموزشی نپرداخته اند. از این رو با عنایت به ضرورت ها و مشکلات مذکور و اهمیت صرفه جویی در انرژی در ساختمان های 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.

2- پیشینه تحقیق

2-1- تغییرات در آب و هوای جهانی

واضح است که ذوب شدن یخچال ها و افزایش سطح دریاها عمدتا توسط فعالیت های انسانی به وقوع پیوسته است. آنها به دلیل استفاده بیش از حد از سوخت های فسیلی به عنوان منابع انرژی، با انتشار گازهای مهارکننده گرما به اصطلاح گازهای گلخانه ای باعث ایجاد گرم ترین دوران در مقایسه با قرن های گذشته گذشته شده اند. این امر گرمایش جهانی نامیده می شود، که باعث ایجاد مجموعه ای از تغییرات در آب و هوای زمین یا الگوهای طولانی مدت آب و هوایی می شود 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 می شود. گرم شدن کره زمین طی یک قرن گذشته بیش از 0.8 درجه سانتیگراد و طی 25 سال گذشته حدود 0.2 درجه سانتیگراد در هر دهه افزایش یافته است [16]. فعالیتهای انسانی باعث گرم شدن کره زمین در حدود 1.0 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 2030 تا 2052 این افزایش دما به 1.5 درجه سانتیگراد خواهد رسید (هیئت بین دولتی تغییر اقلیم). دمای سطح جهانی احتمالاً در کمترین سناریو انتشار 0.3 تا 1.7 درجه سانتیگراد و در بالاترین سناریو انتشار 2.6 تا 4.8 درجه سانتیگراد خواهد بود [17].

2-2- تاثیر تغییرات آب و هوایی بر مصرف انرژی در ساختمان ها

ساختمان ها یکی از بزرگترین بخشهای مصرف کننده انرژی هستند، که بیش از 32٪ از کل انرژی جهانی و 19٪ از کل انتشار گازهای گلخانه ای به دلیل فرآیندهای انرژی ساختمان است [18]. بنابراین، لازم است تأثیر تغییرات آب و هوا برعملکرد 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 خنک کننده / گرمایش فضا، تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی جهانی قرار می گیرد[19]. بسیاری از مطالعات تأثیر تغییرات آب و هوایی جهانی را در مصرف انرژی ساختمان در سراسر جهان نشان داده اند. 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[20]. نتایج نشان می دهد که مصرف بیشتر انرژی منجر به انتشارکربن دی اکسید بیشتر و تغییرات آب و هوا و گرم شدن کره زمین در پی انتشار ایجاد می شود. تأثیر تغییرات آب و هوا بر استفاده از انرژی ساختمان می تواند با اقدامات صرفه جویی در انرژی کاهش یابد [20].

فلورس-لارسن و همکاران تأثیر تغییرات آب و هوایی در مصرف انرژی ساختمان های مسکونی در مناطق گرم آرژانتین را ارزیابی کردند و بررسی کردند که آیا استراتژیهای زیست اقلیمی متناسب برای شرایط آب و هوایی فعلی در طراحی ساختمان ها 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 2080 به ترتیب بین 59٪-23٪ پایین تر و بین 790٪-360٪ بالاتر از دوره پایه (1961-1990) خواهد بود [21]. براردی و همکاران نتایج تأثیر تغییرات اقلیمی بر عملکرد انرژی 16 مدل ساخته شده طبق آیین نامه اشری را برای تورنتو و انتاریو ارزیابی کردند. این مطالعه بر روی تولید فایل آب و هوایی در آینده با استفاده از روش های کوچک سازی آماری و پویا متمرکز شده است [22]. سیانچیو و همکاران تأثیر نسبی گرمایش کره زمین را برای سالهای 2050 و 2080 در 19 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 می دهد که افزایش تدریجی دمای

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
7 (1) , 2022
دوره 7، شماره 1
زمستان 1401
دوفصلنامه پژوهشی

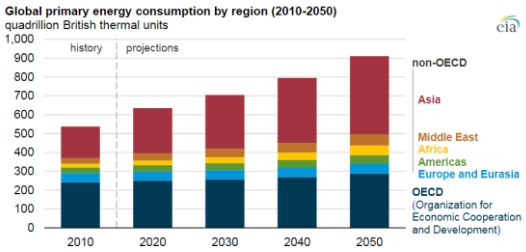
متوسط در سال های 2050 و 2080 منجر به کاهش عمومی تقاضای انرژی گرمایی برای گرمایش و افزایش تقاضای برق برای خنک سازی می شود [23]. وانگ و همکاران نیازهای انرژی گرمایش و سرمایش و میزان انتشار کربن مربوطه در خانه های مسکونی تحت شرایط مختلف آب و هوایی در رابطه با گرم شدن کره زمین را ارزیابی کردند [24]. آن ها اثر تغییر اقلیم بر نیاز به انرژی سرمایشی و گرمایشی در ساختمانهای مسکونی در پنج شهر با آب و هوای سرد و مرطوب وگرم 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 [25]. همانگونه که مشاهده می شود بیشتر مطالعات صورت گرفت در این حوزه به بررسی اثرات تغییرات آب وهوایی بر ساختمان ها اشاره دارد.

2-3- ضرورت اطلاعات آب و هوایی

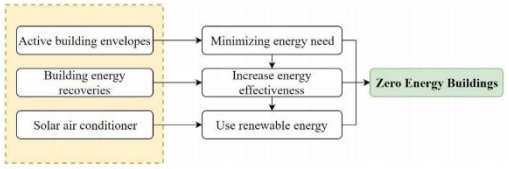
داده های معمولی آب و هوایی که در شبیه سازی های ساختمان ها استفاده می شود سال مرجع آزمون، سال هواشناسی معمولی یا سال مرجع طراحی شامل 8760 مقدارِ ساعتی است که از برخی پارامترهای هواشناسی انتخاب شده مانند دمای محیط، تابش خورشید، رطوبت نسبی و سرعت باد استفاده می کند [26]. امروزه، بیشتر مطالعات و ارزیابی 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 [15] 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. دراین تحقیق از فایل های شبیه سازی شده آب و هوای آینده جهت تعیین عملکرد انرژی ساختمان استفاده شده است.

2-4- انرژی

استفاده از انرژی درجهان 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 20تا 40 درصد ازکل مصرف جهانی انرژی است و نیمی از این انرژی مصرفی در ساختمان به سیستم های گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع اختصاص یافته است [27]. کربن دی اکسید و سایر گازهای گرماگیر از دلایل اصلی گرم شدن کره زمین است. گرچه نمی توان گرمایش جهانی را متوقف کرد، اما می توان سرعت آن را کاهش داد. برای جلوگیری از بدترین پیامدهای تغییر اقلیم، رسیدن به " انرژی خالص صفر " تا سال 2050 یا زودتر ضروری است. مفهوم ساختمان با انرژی صفر در اوایل سال 2000 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 [28] .



شکل 1 مصرف جهانی انرژی اولیه براساس منطقه (2010-2050)



شکل 2 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 2021 به حداقل 5 درصد از ظرفیت کشور افزایش دهد (آخرین ارزیابی آژانس بین المللی انرژی از مصرف جهانی انرژی و انتشار CO2 مربوط به انرژی برای 2018)، بنابراین، افزایش سهم انرژی های تجدیدپذیر با استفاده از استراتژی های انرژی صفر خالص در ساختمان ها مهم است.

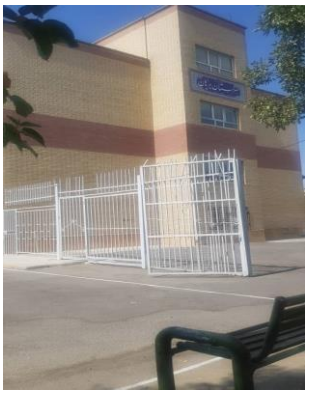
بدیهی است که ایران باید سهم انرژی های تجدیدپذیر را افزایش دهد. اگر چه مطالعاتی محدودی در این حوزه در ایران انجام شده است. برای مثال عدالتی و همکاران سیستم گرمایش و سرمایش را بر اساس روشهای غیرفعال خورشیدی با هدف دستیابی به یک ساختمان مسکونی با انرژی خالص نزدیک به صفر در شهر کرمان طراحی کردند [29]. نقدعلیزاده 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 [30]. 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 [31]. همتی پور و همکاران به اولویت بندی و بهینه سازی سیستم تأمین انرژی با توجه به مفهوم انرژی خالص صفر، در یک ساختمان دانشگاهی در اقلیم یزد پرداختند [32]. که بررسی شد غالب مطالعات صورت گرفته به ارائه راه حلی مناسب برای آب و هوای کنونی اقلیم مورد مطالعه پرداخته اند. حال

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
7 (1) , 2022
دوره 7، شماره 1
زمستان 1401
دوفصلنامه پژوهشی

آنکه این مطالعه بهینه ترین استراتژی ممکن برای بازسازی یک ساختمان آموزشی با رویکرد انرژی خالص صفر در اقلیم تهران را برای سال 2080 ارائه داده است.

3- روش تحقیق

ساختمان مورد مطالعه یک ساختمان چهار طبقه است که در سال 2008 در منطقه 18 تهران بنا شده است. این ساختمان دارای سه طبقه در بالای زمین و یک طبقه در زیر زمین می باشد. مساحت کل بنا 2132.84 مترمربع و ارتفاع زیرزمین وطبقه همکف 3.2 متر و ارتفاع طبقات اول و دوم 4.4 متر است (شکل 3)



شکل 3 نمای شرقی ساختمان مورد مطالعه

این ساختمان به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است تا به عنوان ساختمان مرجع برای سایر مدارس تیپ 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 درنرم افزار دیزاین بیلدر شبیه سازی و کالیبره می شود. در نهایت با استفاده از ابزار jEplus 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 2080 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 4 ساختمان مدل سازی شده در نرم افزار دیزاین بیلدر

3-1- 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 [33]. 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 [34].

3-2- 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 30 سال طراحی شده اند .به عنوان مثال، تقریباً 75٪ از کل ساختمان های مسکونی انگلستان تا سال 2050 عملکردی باقی خواهد ماند .به همین دلیل، استفاده از استراتژی های کاهش انرژی منفعل برای نوسازی ساختمان ها برای حال حاضر و در همه زمان های آینده مفید خواهد بود.

3-3- الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب

الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب یکی از کارآمدترین و مشهورترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه می‌باشد که توسط دب و همکاران در سال 2000 ارائه شد [35]. همان‌طور که اشاره شد، الگوریتم‌های بهینه‌سازی تک هدفه، حل بهینه را با توجه به یک هدف می‌یابند و این در حالی است که در مسائل چند هدفه یک حل بهینه مجزا را نمی‌توان یافت. پس طبیعی است که با یک مجموعه‌ای از راه حل‌ها به نام راه حل‌های مغلوب نشده موثر سروکار داشته باشیم. از بین این مجموعه راه حل‌های متناهی حل مناسب جواب‌هایی خواهد بود که عملکرد قابل قبولی را نسبت به همه اهداف داشته باشد.

3-4- روش تاپسیس

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
7 (1) , 2022
دوره 7، شماره 1
زمستان 1401
دوفصلنامه پژوهشی

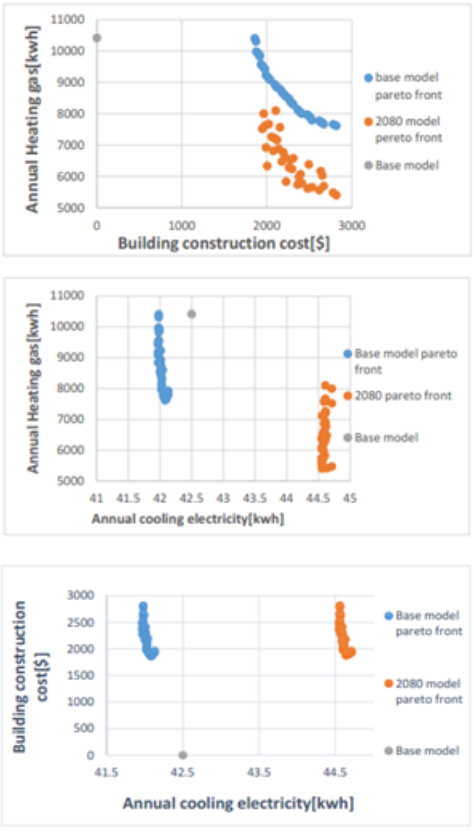
فرآیند انتخاب یک اقدام عملی احتمالی از بین همه گزینه های موجود، تصمیم گیری نامیده می شود تصمیم گیری مناسب برای یافتن بهترین گزینه مهم است .تقریباً در همه این موارد به علت تعدد در معیارهای قضاوت، تصمیم گیرنده تمایل به دستیابی به بیش از یک هدف دارد در حالی که محدودیت های مختلف مربوط به محیط، فرآیندها و منابع وجود دارد. از روش تاپسیس برای حل یک مسئله تصمیم گیری چند منظوره استفاده می شود [36]. 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 1981 ساخته شد. [37].

3-5- 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 هرکدام 1.939 مترمربع مساحت دارند. این پنل ها هر 2.65 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 45 درجه شیب در جهت جنوب قرار گرفته اند. درنهایت ساختمان در نرم افزار دیزاین بیلدر و شبیه سازی می شود.

4- 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 درنرم 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 ودهه 2080 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 نمودار3 نشان داده شده است.



شکل 5 نتایج بهینه سازی حاصل از اقدامات غیر فعال برای آب و هوای کنونی و 2080

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 20 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 2080 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 1 و جدول 2 نشان داده شده است.

جدول 1 مقایسه گزینه انتخاب شده برای شرایط آب و هوایی کنونی و مدل اولیه

	مدل پایه	بهترین مدل
هزینه اقدامات بازسازی (تومان)	0	48254200

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
7 (1) , 2022
دوره 7، شماره 1
زمستان 1401
دوفصلنامه پژوهشی

انرژی مصرفی سالانه برای گرمایش (کیلووات ساعت)	9081.63	8006.67
انرژی مصرفی سالانه برای گرمایش (کیلووات ساعت)	42.5	42.01

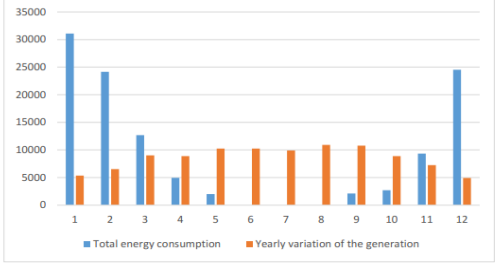
برای شرایط آب و هوای کنونی عایق پشم سنگ با دانسیته 100 و ضخامت 0.1 متر و شیشه دو جداره شفاف با ضخامت 3و 13 میلی متر پر شده با آرگون انتخاب شده است. این راه حل منفعل با 48254200 تومان هزینه سرمایه گذاری، منجر به کاهش 11.83درصدی انرژی گرمایشی و بیش از 1.15درصد انرژی مصرفی سرمایشی می شود. اگرچه اقلام کم مصرف بیشتری وجود دارد، اما هزینه سرمایه گذاری آنها بسیار بیشتر است.

جدول 2 مقایسه گزینه انتخاب شده برای شرایط آب و هوایی دهه 2080 و مدل اولیه

	مدل پایه	بهترین مدل
هزینه اقدامات بازسازی (تومان)	0	56280400
انرژی مصرفی سالانه برای گرمایش (کیلووات ساعت)	9081.63	5405.52
انرژی مصرفی سالانه برای گرمایش (کیلووات ساعت)	42.5	44.56

راه حل انتخاب شده برای شرایط آب و هوایی دهه 2080، عایق پی وی سی با ضخامت 0.1 متر و شیشه دو جداره شفاف با ضخامت 6 و 13 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 56280400 تومان منجر به کاهش 40.4 درصدی انرژی گرمایی وافزایش 4.84 انرژی سرمایشی می شود. باید توجه داشت که افزایش دما در آب و هوای آینده امری اجتناب ناپذیر است که منجر به افزایش انرژی سرمایشی 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، 176 پانل که 341.264 مساحت را فراهم می کنند، روی سقف نصب شده اند. پانل ها شیب 45 درجه داشته تا دربرابر تابش جنوب بهترین عملکرد را داشته باشند. با اینکه20٪ کاهش مصرف انرژی برای تأمین انرژی خالص نردیک به صفر کافی است، این پانل ها بیش از 90٪ کاهش مصرف انرژی ایجاد می کنند.



شکل 6 مقایسه میزان انرژی مصرفی ساختمان و انرژی تولید شده توسط پنل های خورشیدی درماه های مختلف سال

5- بحث و نتیجه گیری

در مرحله اول، ساختمان موجود درنرم 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 درتهران 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 :

1) بررسی اهداف متفاوت
2) استفاده از فن آوری های مقاوم سازی پایدار مانند سقف سبز، دیوار ترومب
3) انجام یک مطالعه مشابه در طبقه بندی مختلف اقلیمی
4) استفاده از تکنیک های هوشمند مدیریت انرژی
5) توجه به رفتار ساکنین

6- تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافعی ندارند.

7- سهم نویسندگان

نویسندگان به صورت مساوی در نگارش مقاله نقش داشته‌اند.

8- حمایت مالی

این تحقیق از هیچگونه حمایت مالی‌ای برخوردار نبوده است.

9- 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., Bararzadeh, M., & Avami, A. (2019). Multi objective planning for sustainable retrofit of educational buildings. Journal of Building Engineering, 24, 100759.

[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
[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.، مهرابیان، م.، & طالبی زاده، پ. (1390). 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.، & هیبتی، س. (1394). 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. (1397). 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. (1399). 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.

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
7 (1) , 2022
دوره 7، شماره 1
زمستان 1401
دوفصلنامه پژوهشی

COPYRIGHTS
©2022 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)