Journal of Sustainable Energy Systems

Home Page: https://ses.ut.ac.ir

Research Paper

Energy Management of an Office Building with the Help of Daylight Simulation and Feasibility Analysis of Using Solar Panels to Supply Building's Energy

Mohammad Hossein Jahangir*, Ali Abdi, Vahid Nourmohammadi

Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received 09 November 2022
Revised 07 December 2022
Accepted 24 December 2022

Keywords:
Energy consumption management
Office building
Design Builder
Renewable Energies

ABSTRACT

Given the fact that there is a large impact of building energy consumption on our environment and modern society, there is an urgent need for efficient building energy management. The importance of this issue has grown in recent years due to rising concerns about environmental preservation and global warming. Researchers have been researching different strategies in order to achieve optimal energy use in buildings as well as to improve user comfort. This article studies building energy management by examining some studies related this topic and applying their results to a 4-storey office building located in Tehran. DesignBuilder software was used to simulate the building, taking into account the various factors influencing its energy consumption such as the occupants' daily schedules, location, and other external influences affecting thermal comfort conditions. Furthermore, solar panels were digitally incorporated into this simulation in order to find out how much solar energy could be used efficiently in order to provide part of the building's energy needs.

Introduction

The building sector accounts for the biggest portion of total energy usage, about 40%, and almost half of that is for heating and AC. This is becoming a concern due to increasing demand for energy as well as increased emissions from greenhouses gases. To reduce energy use in buildings, it's important to understand their energy efficiency which can be quite complicated and necessitates the use of special tools. During the research conducted in this area, details like wall and ceiling materials were looked at. In some developed countries, buildings consume up to 60% of all electricity used, with the majority (65%) being used on ACs. Studies have revealed that existing offices or business premises can save up to 30% of energy just by making some minor adjustments without affecting customer comfort levels. If appropriately utilized, lighting and air conditioning within a building can improve its operational costs dramatically. The research went into detail on such things such windows models amongst other things before simulation software was employed; the results were then inspected before an overall assessment was made.

Research Methodology

In this study, the energy management of a smart building was discussed by using DesignBuilder software. The desired building is a four-storey office building that is presented at Figure 1. Each floor of this building has a different partition. The area of this building is 1982 square meters. The building is located in Tehran and climatic information is intended for Tehran. The building hours are intended to be from 8am to 6pm and the building is closed one day a week. Different elements of the building are designed depending on the characteristics of the building, such as the length of each layer, and elements such as windows are selected according to the need for building energy management. The comfort temperature of the office building is between 20 and 26 degrees Celsius and the humidity is 19 %. The building also uses solar cells to produce energy to provide some of the energy needed for the building. Municipal gas has been used to supply the heat energy of the building and the energy needed by the lighting and other electrical appliances is supplied by the power grid.

* Corresponding Author, Email: mh.jahangir@ut.ac.ir

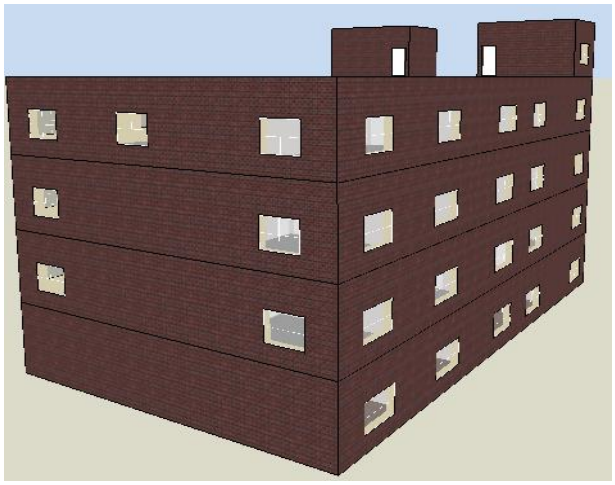


Fig. 1. the studied building

Results and discussion

After the building simulation by the software, the following is a review of the most important results provided by the software. As mentioned, given the high share of energy consumption of the building's lighting sector, the importance of using day -to -day lighting in the office, which is mainly serving during the day, is determined. To achieve this, precision is important in the design of the building and the location of the windows. One of the useful information provided by DesignBuilder software is a complete diagram of the impact of the daylight on indoor brightness. Figure 2 demonstrates the distribution of daylight to the ground, the first, second and third floor, respectively. Figure 3 shows the brightness distribution in different zones.

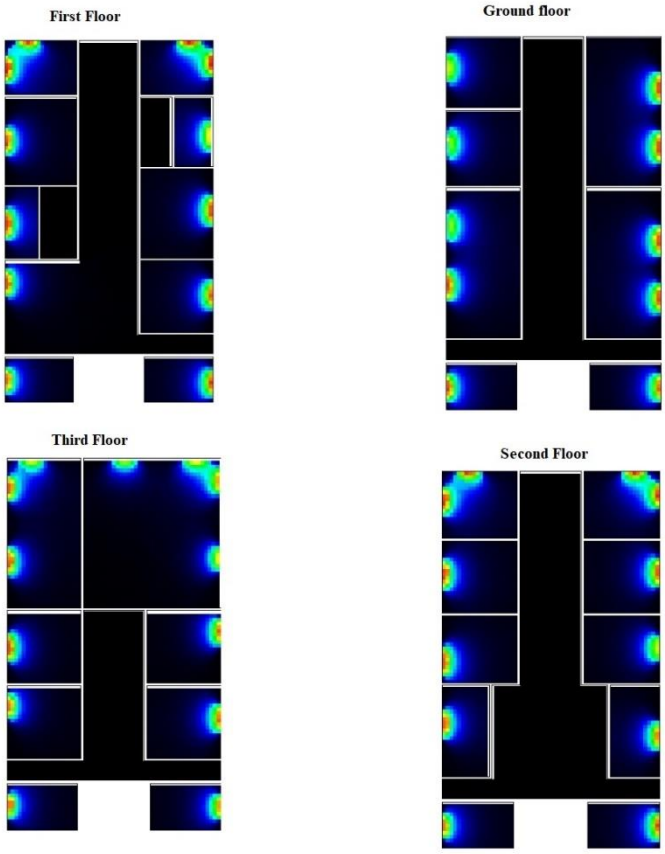


Fig. 2. brightness distribution in different floors of the building

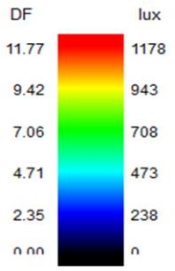


Fig. 3. colors representing brightness levels

The importance of analyzing the simulation results is that the more the thermal comfort of the building increases, the carbon produced in the building will increase. Another important topic is the capacity required for the heating and cooling system. The capacity of the building's cooling system is 173 kW and the heating system capacity is 113 kW. The software examined different scenarios, and among these scenarios, in the optimal scenario, the minimum heating temperature was 21 ° C and the maximum cooling degree was 26.2 ° C. During this scenario, 163 tons of carbon dioxide was produced. During this scenario, it was suggested that in order to manage the building's needs, if 74 % of the wall surface is occupied by the window, it would be better offered in terms of energy consumption. Figure 4 shows carbon dioxide emissions over the course of a year.

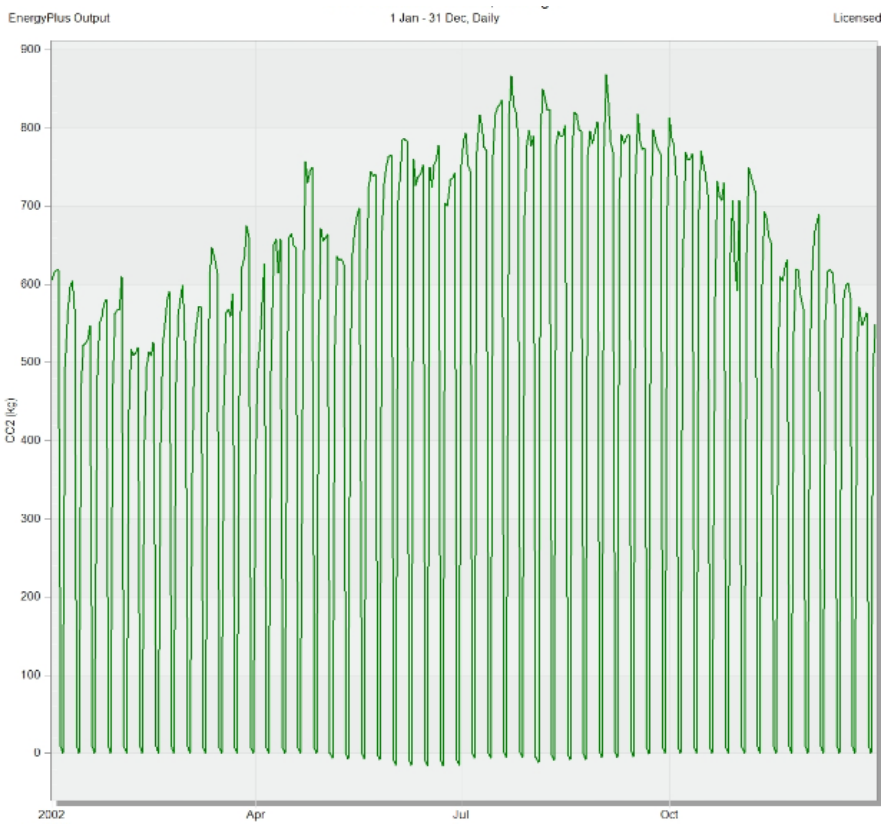


Fig. 4. carbon dioxide emissions over the year

Figure 4 demonstrates that except the weekends, the amount of carbon dioxide emissions are over 500 kilograms a day. This means that around a total of 163 tons of carbon dioxide is produced for the energy used in this building over the year. The best window to wall ratio for best energy performance of the building is calculated to be around 0.74.

فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار

سایت نشریه: https://ses.ut.ac.ir

مقالهٔ پژوهشی

مدیریت مصرف انرژی یک ساختمان اداری به کمک شبیه‌سازی روشنایی روز و امکان‌سنجی استفاده از پنل‌های خورشیدی برای تأمین انرژی ساختمان

محمدحسین جهانگیر[1*]، علی عبدی[2]، وحید نورمحمدی[2]

[1] دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران

[2] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

اطلاعات مقاله

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۸/۱۸

تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۰۹/۱۶

تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۱۰/۰۳

کلیدواژه:

انرژی تجدیدپذیر

ساختمان اداری

مدیریت مصرف انرژی

Design Builder

چکیده

با توجه به سهم عمدهٔ مصرف انرژی بخش ساختمان و اهمیت تأمین انرژی و آسایش افراد در ساختمان، امروزه مسئلهٔ مدیریت انرژی ساختمان‌ها از اهمیت فراوانی برخوردار است. هوشمندسازی ساختمان‌ها و استفاده از منابع تجدیدپذیر به منظور تأمین انرژی ساختمان از جمله برنامه‌های پیش روی محققان در حوزهٔ مدیریت انرژی ساختمان است. در این مقاله با بررسی برخی از مطالعات انجام‌شده در این زمینه و استفاد از نتایج این مطالعات، به بررسی مدیریت انرژی یک ساختمان اداری ۴ طبقه واقع در شهر تهران پرداخته شده است. برای این منظور، از نرم‌افزار DesignBuilder برای شبیه‌سازی ساختمان استفاده شده است. در این شبیه‌سازی عوامل مختلف دخیل در مصرف انرژی ساختمان نظیر برنامهٔ تردد افراد، موقعیت مکانی، تأثیرات روشنایی روز در نظر گرفته شده است تا با بررسی شرایط مختلف آسایش حرارتی ساکنان با صرفه‌جویی در مصرف انرژی تأمین شود. از طرفی، با کمک قابلیت این نرم‌افزار در استفاده از پنل‌های خورشیدی، با توجه به وسعت بنا، میزان امکان استفاده از انرژی خورشیدی برای تأمین بخشی از انرژی مصرفی ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است.

۱. مقدمه

بخش ساختمان بیشترین سهم (تقریباً ۴۰ درصد) در کل انرژی مصرفی نهایی در کشور را شامل می‌شود. حدود نیمی از مصرف انرژی ساختمان برای گرمایش و تهویهٔ هوا[1] است[۱]. این امر به دلیل افزایش تقاضای انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به یک مشکل تبدیل شده است. به منظور کاهش مصرف در ساختمان‌ها، درک عملکرد انرژی ساختمان لازم به نظر می‌رسد. این کار نیاز به استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی انرژی دارد [۲]. ساختمان‌ها در کشورهای توسعه‌یافته حتی تا ۵۰-۶۰ درصد از مصرف برق را تشکیل می‌دهند. از انرژی مورد استفاده برای تهویهٔ مطبوع، ۶۵ درصد به شکل برق است. مطالعات گزارش کرده‌اند که صرفه‌جویی انرژی تا ۳۰ درصد می‌تواند از طریق گزینه‌های مقاوم‌سازی در ساختمان‌های اداری و تجاری موجود بدون به خطر انداختن راحتی در محیط داخلی حاصل شود. اگر سیستم روشنایی و تهویهٔ مطبوع ساختمان با صرفهٔ اقتصادی بیشتری ایجاد شود، می‌توان هزینه‌های عملیاتی ساختمان را بهبود بخشید [۳]. ساختمان‌های نسل آینده انتظار می‌رود ساختمان‌های سبز باشند که منابع انرژی تجدیدپذیر (انرژی زمین‌گرمایی، انرژی خورشیدی، انرژی باد و غیره) را به عنوان منبع انرژی حرارتی یا

* نویسندهٔ مسئول

Email: mh.jahangir@ut.ac.ir

1. HVAC

الکتریکی برای یکپارچه‌سازی استفاده می‌کنند. ساختمان‌های هوشمند آینده نیاز به مدیریت پاسخ‌گویی به تقاضا دارند، که یک برنامهٔ مدیریت بار برای ساختمان‌ها به منظور کاهش مصرف اوج انرژی و هزینهٔ انرژی است. هنگامی که همهٔ این ویژگی‌های مورد نظر با هم ترکیب شوند، واضح است که مدیریت بهینهٔ انرژی ساختمان یک کار پیچیده است و راه حل‌های کنترل مبتنی بر مدل ریاضی پتانسیل قابل توجهی را ارائه می‌دهد [۱]. فیض ام بوتا [۴] بخش‌های مختلف هوشمندسازی نظیر مدیریت انرژی هوشمند، روشنایی هوشمند، اندازه‌گیری هوشمند و دیگر فاکتورها را مورد بررسی قرار داده‌اند. جی کاردنس [۲] در پژوهشی به تجزیه‌وتحلیل انرژی ساختمانِ ساختمان مهندسی برق با کمک ابزار DesignBuilder پرداخته است. این تحقیق، تجزیه‌وتحلیل انرژی ساختمان مهندسی برق، واقع در دانشگاه صنعتی سانتاندر در بوکارامانگا - کلمبیا را نشان می‌دهد. این ساختمان یک ساختمان سبز برای تجزیه‌وتحلیل استراتژی‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی از قبیل لوله‌های خورشیدی، سقف سبز، نور روز و اتوماسیون است. تجزیه‌وتحلیل انرژی با استفاده از نرم‌افزار DesignBuilder از مدل مجازی ساختمان انجام شد. متغیرهای مختلفی مانند دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت هوا، نور روز و مصرف انرژی مورد بررسی قرار گرفت. براساس دو معیار، بار حرارتی و مصرف انرژی، مناطق بحرانی تعریف شده است. کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل مجازی با خطای کمتر از ۵ درصد در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری‌شده انجام شد. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد میانگین دمای محیط داخلی در مناطق بحرانی ساختمان ۲۷ درجهٔ سانتی‌گراد بوده، در حالی که رطوبت نسبی به مقادیر نزدیک به ۷۰ درصد در سال رسیده است. لوله‌های خورشیدی می‌توانند ۳۳ درصد میزان نور روز را به مناطقی که در طبقهٔ فوقانی ساختمان قرار دارند، افزایش دهند. در مورد بام‌های سبز، نتایج شبیه‌سازی‌شده نشان می‌دهد این موارد تقریباً ۳۱ درصد از افزایش گرمای داخلی را از طریق پشت‌بام می‌کاهد و میزان مصرف انرژی تخمینی ساختمان ۶۹ ۶۹۳ کیلووات ساعت در سال بوده است. به‌کارگیری راه حل‌های تجدیدپذیر مانند استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و خودروهای الکتریکی هیبریدی در قسمت‌های خانگی و صنعتی، به دلیل مشکلات محیط زیستی که استفاده از سوخت‌های فسیلی به بار آورده، افزایش یافته است. میزان تقاضا برای انرژی در ساختمان و تأمین انرژی از منابع تجدیدپذیر پیچیده و متغیر است. این پیچیدگی به‌خصوص در نواحی با آب‌وهوای سرد که تأمین انرژی مورد نیاز از تجدیدپذیرها معمولاً قطعی نیست، افزایش می‌یابد. زاهدی و همکاران [۵] انرژی تأمین‌شده و تقاضای انرژی در گروهی از ساختمان‌های مسکونی را مورد بررسی قرار داده‌اند. تحقیق آن‌ها شامل مدل‌سازی تمامی ساختمان‌ها برای بررسی انرژی مورد نیاز آن‌ها برای گرمایش سرمایش و خودروهای الکتریکی بوده است. پتانسیل هر ساختمان برای تولید الکتریسیته از سلول‌های خورشیدی در قسمت دیگری از تحقیق آن‌ها محاسبه شده است. سپس، ۱ ابزار یادگیری ماشین برای بررسی انرژی تأمین و انرژی تقاضاشده در مجتمع مورد استفاده قرار گرفته است. در نهایت، آن‌ها توانستند به دقت ۶/۸۸ درصد در پیش‌بینی تقاضا و تأمین انرژی مجتمع برسند.

در یک تحقیق، به واحدهای پنجرهٔ دوجداره که از شیشهٔ رنگی تشکیل شده، پرداخته شده است. شیشهٔ بازتابنده روشن، کم‌انتشار و شیشه‌های هوشمند. این مواد با ارائهٔ کنترل خورشیدی و حفاظت از گرما، بارهای گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها را کاهش می‌دهند. هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر این واحدهای جایگزین به جای واحدهای دوجداره در دو نوع آپارتمان بوده است. این مقاله به واحدهای پنجرهٔ دوجداره که از شیشهٔ رنگی تشکیل شده است، می‌پردازد. شیشهٔ بازتابندهٔ روشن؛ شیشهٔ کم‌انتشار (کم‌مصرف) و شیشه‌های هوشمند (یک سطح شامل یک شیشهٔ بازتاب گرما با کارایی زیاد و سطح دیگر، دارای روکش کم‌انتشار است). این مواد با ارائهٔ کنترل خورشیدی و حفاظت از گرما، بارهای گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها را کاهش می‌دهند. در این مطالعه از نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی DesignBuilder برای تعیین تأثیرات از جمله مصرف انرژی و ساختمان در ساختمان، انواع مختلف واحدهای لعاب‌دار استفاده‌شده در ساختمان‌های مسکونی مرتفع استفاده شده است. استفاده از این نرم‌افزار و تجزیه‌وتحلیل تعداد بیشتری از واحدهای دوجداره عملکرد یک مطالعهٔ جامع انرژی و اقتصادی را امکان‌پذیر کرده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد واحدهای دارای لعاب هوشمند و آن‌هایی که لعاب کم‌انتشار دارند، کارآمدترین گزینه در رابطه با مصرف انرژی

و مصرف انرژی در ساختمان هستند. باگیش سنجی پاوار و همکاران [۶] به منظور به حداقل رساندن مصرف انرژی تلاش کرده‌اند تا چگونگی ارزیابی میزان مصرف انرژی ساختمان‌های تجاری درک شود. استفادهٔ اجباری از چنین استانداردها و نرم‌افزارها باعث ایجاد تسهیل در طراحی ساختمان‌های با مصرف انرژی بهینه می‌شود. عبدسلام داوود [۷] به ارائهٔ راهنمایی کلی و استراتژی‌های طراحی مناسب برای طراح‌های مختلف پنجره و تکنیک‌های سایه‌زنی در مراحل اولیهٔ طراحی در آب‌وهوای گرم و خشک پرداخته است. در این پژوهش یک ساختمان اداری معمولی با استفاده از نرم‌افزار DesignBuilder مدل‌سازی شده است. مشخصات ساختمانی، بارهای داخلی و برنامه‌های عملیاتی از جمله برنامه‌ای برای تجهیزات، محل کار، روشنایی داخلی، گرمایش، تهویهٔ مطبوع و داده‌های آب‌وهوا همه طی فرایند شبیه‌سازی تغییر نکرده‌اند. شرایط سایه‌زنی پنجره و نوع شیشه تنها پارامترهای متفاوت هستند. داده‌های خروجی نشان می‌دهد شیشهٔ الکتروکرومیک بهترین عملکرد را در کاهش گرمای خورشیدی در مقایسه با سایر شرایط سایه‌انداز آزمایش‌شده ارائه می‌دهد. در مقایسه همهٔ گزینه‌های دیگر، واضح است که تأثیر دستگاه‌های سایه بیرونی و شیشه الکتروکرومیک بسته به شرایط مختلف بار خارجی و داخلی متفاوت است. نوع ساختمان، فضاهای داخلی، موقعیت مکانی و شرایط آب‌وهوایی محلی، جهت‌یابی پنجره‌ها، اندازهٔ شیشه و اندازه و محل بهینهٔ وسایل سایه‌زنی از عوامل اصلی تأثیر زیادی بر میزان افزایش گرمای خورشیدی به‌خصوص در ساختمان است. با وجود هزینهٔ نگهداری و هزینهٔ اولیه بالاتر نسبت به سایر روش‌های سایه‌بان، کاهش مصرف انرژی خنک‌کنندهٔ ساختمان که ناشی از کاهش مستقیم خورشیدی از طریق شیشه است، می‌تواند تا حدودی یا کاملاً جبران شود. ارکان آتام [۱] به بررسی موانع نرم‌افزاری فعلی برای کنترل پیشرفته مبتنی بر مدل ساختمان‌های ادغام‌شده با تجهیزات پیشرفتهٔ تهویهٔ مطبوع و سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر پرداخته است. در این مقاله، نرم‌افزارها و ابزارهای مهم مدرن مورد استفاده در زمینهٔ ساختمان‌های با صرفهٔ اقتصادی، قابلیت‌های آن‌ها و تحلیل موانع موجود، همه از منظر طراحی کنترل پیشرفته مبتنی بر مدل مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سرانجام، این مقاله مجموعه‌ای از ویژگی‌های کنترلگر را برای ابزارهای نسل جدید برای بهبود وضعیت فعلی ذکر کرده است. نیکولا کاردیناله و همکاران [۸] انرژی و تأثیر آب‌وهوایی در مقیاس میکروساختمان‌های بومی مدیترانه را مورد بررسی قرار داده‌اند. تحقیقات تجربی روی دو نوع ساختمان که نمونه‌ای از معماری بومی در جنوب ایتالیا هستند، انجام شده‌اند. اندازه‌گیری‌های تجربی در مورد خواص حرارتی، عملکرد انرژی و راحتی گرمایش داخل ساختمان برای تأیید عددی ارائه‌شده توسط DesignBuilder که برای بررسی ساختمان‌ها به صورت سالانه مورد استفاده قرار گرفت، انجام شد. جرم حرارتی بسیار زیاد سازه‌های ساختمان باعث ایجاد دمای داخلی فصلی شبه‌ثابت و بدون نیاز به تهویهٔ هوا در فصل‌های میانی و اوج تابستان می‌شود. ذخیرهٔ حرارتی فصلی تقریباً می‌تواند در نزدیکی آسایش حرارتی با استفاده از سیستم‌های گرمایش ساده در فصل سرما تضمین کند. ایوب ال باراکا و همکاران [۹] توسعه و ادغام پنجرهٔ فتوولتاییک کم‌هزینه مبتنی بر فناوری سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ برای کاربرد در مراکش را بررسی کرده‌اند. در این مقاله، یک نمونه از سلول‌های خورشیدی نسل سوم، به نام سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ نانوکریستالی مورد بحث قرار گرفته است. یک مطالعهٔ گسترده انجام شده است و نتایج نشان می‌دهد سلول خورشیدی حساس به رنگ نانوکریستالی به عنوان یک فناوری فتوولتاییک جدید و کم‌هزینه در نظر گرفته شده است. در مقایسه با سلول‌های خورشیدی سیلیکون، آن‌ها نسبت به ناخالصی‌های موجود در فرایند ساخت حساس هستند، که انتقال از آزمایشگاه تحقیق به خط تولید انبوه را تسریع می‌کند. با این‌حال، استفاده از آن روی پنجرهٔ شیشه‌ای می‌تواند بر انتقال نور خورشید به خانه تأثیر بگذارد و باعث افزایش گرمای تأمین‌شده توسط خورشید شود. در این کار، یک شبیه‌سازی دقیق با استفاده از نرم‌افزار DesignBuilder برای مقایسهٔ مصرف انرژی و سود داخلی دریافت‌شده توسط ساختمان‌ها با پنجره‌های شفاف و ساختمان‌هایی با پنجره‌های رنگی انجام شده است. رحمان و همکاران [۳] اقدامات حفاظت از انرژی در یک ساختمان در آب‌وهوای نیمه‌گرمسیری در استرالیا را بررسی کرده‌اند. در این مطالعه، اقدامات مختلف صرفه‌جویی در مصرف انرژی[1] در زمینهٔ گرمایش، تهویه و تهویهٔ مطبوع (تهویهٔ مطبوع) و

1. ECM

سیستم‌های روشنایی برای یک ساختمان نهادی چهارطبقه در مناطق گرمسیری (آب‌وهوای گرم و مرطوب) کوئینزلند، استرالیا با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی DesignBuilder ارزیابی شده و سپس نتایج شبیه‌سازی‌شده توسط داده‌های اندازه‌گیری‌شده در محل تأیید شد. این مطالعه نشان داد صرفه‌جویی در مصرف انرژی‌ها می‌توانند با موفقیت در ساختمان‌های واقع در آب‌وهوای گرم و مرطوب که مصرف انرژی زیادی از سیستم‌های تهویهٔ مطبوع لازم است، اعمال شوند. ادموند کازیمرس و همکاران [۱۰] اهمیت اطلاعات سکونت هنگام شبیه‌سازی تقاضای انرژی خانه با انرژی کارآمد را به صورت مطالعهٔ موردی انجام داده‌اند. در مرحلهٔ برنامه‌ریزی و طراحی مراحل سرمایه‌گذاری در خانه و با بهره‌برداری از طراحان، نیاز به اطمینان از مصرف انرژی بسیار پایین در مرحلهٔ عملیاتی چرخه عمر ساختمان را تضمین می‌کند. در این تحقیق به طور جامع تفاوت ویژگی‌های سرنشینان (سن، رفتار و غیره) ارزیابی شده است. هدف از این مطالعه، انجام تجزیه‌وتحلیل پیچیده در مورد اثر پروفایل‌های سکونت داخلی روی انرژی مصرفی خانه و ارزیابی قابلیت استفاده از پروفایل‌های پیش‌فرض سکونت DesignBuilder در شرایط جغرافیایی مختلف بوده است. مقاله همچنین چارچوبی را برای طراحی ساخت یکپارچه ارائه می‌دهد که شامل تجزیه‌وتحلیل تأثیرات مربوط به انرژی از تمام اجزای ساختمان، از جمله محل ساختمان، محوطه، گرمایش، تهویه و تهویهٔ مطبوع و آب خانگی[1] است. زاهدی و همکاران [۱۱] اثر سقف سبز بر انرژی مصرفی یک ساختمان دوطبقه فلزی که در سه شهر مختلف ایران قرار دارند را مورد بررسی قرار داده‌اند. شبیه‌سازی آن‌ها شامل ساخت یک مدل سه‌بعدی از ساختمان و مقایسهٔ انرژی مصرفی یک ساختمان معمولی با سقف قیرگونی با یک ساختمان که از سقف سبز در همان دورهٔ زمانی استفاده می‌کند، بوده است. نتایج آن‌ها نشان داده است سقف سبز می‌تواند مصرف انرژی الکتریکی را تا ۳/۱۶، ۵/۱۲ و ۲۳ درصد به‌ترتیب در تهران، تبریز و بندرعباس کاهش دهد. استفاده از سقف سبز می‌تواند در نواحی گرمسیری اثر بیشتری کاهش مصرف انرژی بگذارد. این تحقیق همچنین نشان داد ضخامت خاک استفاده‌شده در سقف سبز و تراکم گیاهی اثر قابل توجهی بر مصرف انرژی خواهد گذاشت به این ترتیب کند با ضخیم شدن لایه خاک میزان عایق حرارتی افزایش می‌یابد. میزان صرفه‌جویی سالانه مصرف انرژی با استفاده از سقف سبز به اندازهٔ ۵۶۲، ۶۶۰ و ۳۸۱ دلار برای ساختمان‌های در تهران تبریز به بندرعباس تخمین زده شده است. در یک تحقیق که برای منطقهٔ شهر جدید اندیشه مورد بررسی قرار گرفته است، بر اساس شرایط محیطی مختلف و زاویه به نسبت شمال جغرافیایی، یک مجتمع آموزشی- فرهنگی بر اساس میزان مصرف انرژی در بخش‌های گرمایش و سرمایش با استفاده از نرم‌افزار کریر مدل‌سازی شده است [۱۲]. بر این اساس، میزان توان مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش با به‌کارگیری دو ترکیب دیوارهای مختلف محاسبات انجام شده است. پس از آنکه حالت بهینهٔ مصرف انرژی ساختمان به دست آمد، ساختمان را در جهت عقربه‌های ساعت ۴۵ درجه چرخانده و به این‌ترتیب، کمترین و بیشترین میزان حرارت و سرمایش مورد نیاز ساختمان به دست آمده است. در نهایت، بررسی اقتصادی برای به‌کارگیری آبگرمکن خورشیدی برای تأمین بخشی از حرارت مورد نیاز ساختمان بررسی شده است که به دلیل طولانی بودن بازگشت سرمایه به‌صرفه عنوان نشده است. میزان افزایش مصرف انرژی طی دو دههٔ اخیر افزایش چشمگیری داشته است که باعث به وجود آمدن مشکلات عمده‌ای در زمینهٔ تأمین امنیت منابع محلی انرژی در ساختمان شده است. در یک تحقیق که هدف آن، محاسبه و مقایسهٔ دو روش گرمایش و سرمایش با استفاده از پارامترهایی مانند نوع ماده، خاک کف، درب‌ها و پنجره‌ها به کمک نرم‌افزار کریر مورد بررسی قرار گرفته است. به علاوه، میزان واقعی مصرف انرژی ضبط‌شده در ساختمان برای بررسی شاخص مصرف انرژی ساختمان و خطای محاسبات مورد استفاده قرار گرفت. یافته‌های آن‌ها نشان داد تفاوت بار سرمایش محاسبه‌شده با بار سرمایش واقعی میزان ۶ درصد بوده است. در این مقدار برای بار گرمایش ۳۴ درصد بوده است [۱۳].

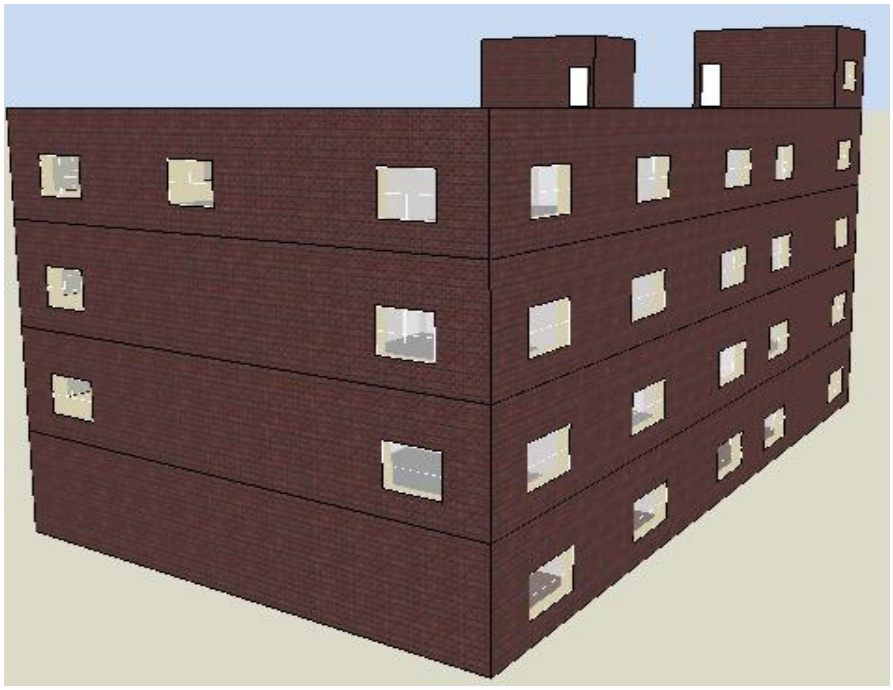
در ادامه، این مقاله با ارائهٔ یک روش تحقیق ابتدا جزئیات مختلف ساختمان نظیر مصالح دیوار و سقف و سایر بخش‌های ساختمان ارائه می‌شود. پس از آن، با توجه به هدف پژوهش، دیگر جزئیات ساختمان نظیر مدل پنجره‌ها بررسی می‌شود و تمامی ورودی‌های شبیه‌سازی مشخص می‌شود. با در نظر گرفتن موارد مختلفی مانند

1. DHW

برنامهٔ تردد داخل ساختمان، موقعیت مکانی و تأثیرات روشنایی روز، امکان فراهم شدن آسایش حرارتی ساکنان با مصرف بهینهٔ انرژی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در این تحقیق، میزان استفاده از نور خورشید در داخل ساختمان طی روز شبیه‌سازی می‌شود تا امکان استفاده از نور طبیعی خورشید به جای نور مصنوعی لامپ مورد بررسی قرار گیرد. در این میان، میزان کاهش تولید کربن دی‌اکسید سالیانه شبیه‌سازی و گزارش می‌شود. در نهایت، امکان استفاده از سلول خورشیدی برای تأمین بخشی از انرژی مصرفی ساختمان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲. روش تحقیق

در این مطالعه به بررسی مدیریت انرژی یک ساختمان هوشمند توسط نرم‌افزار DesignBuilder پرداخته شده است. ساختمان مورد نظر یک ساختمان ۴ طبقه با کاربری اداری است که شکل ۱ مدل شبیه‌سازی‌شده آن را نشان می‌دهد. هر طبقه از این ساختمان دارای پارتیشن‌بندی متفاوتی است. مساحت زیربنای این ساختمان ۱۹۸۲ متر مربع است. ساختمان مورد نظر در شهر تهران واقع شده و اطلاعات آب‌وهوایی برای شهر تهران در نظر گرفته شده است. ساعت کاری این ساختمان از ۸ صبح تا ۱۸ در نظر گرفته شده است و یک روز در هفته ساختمان تعطیل است. المان‌های متفاوت ساختمان با توجه به مشخصات ساختمان نظیر طول هر لایه طراحی شده است و المان‌هایی نظیر پنجره‌ها نیز با توجه به نیاز به مدیریت انرژی ساختمان انتخاب شده‌اند. دمای آسایش ساختمان اداری بین ۲۰ تا ۲۶ درجهٔ سانتی‌گراد و میزان رطوبت ۱۹ درصد در نظر گرفته شده است [۱۳]. همچنین، در این ساختمان از از سلول‌های خورشیدی برای تولید انرژی استفاده شده است تا بخشی از انرژی مورد نیاز ساختمان تأمین شود. برای تأمین انرژی حرارتی ساختمان از گاز شهری استفاده شده است و انرژی مورد نیاز روشنایی و سایر وسایل الکتریکی توسط شبکهٔ برق تأمین می‌شود.



شکل ۱. نمای کلی ساختمان

۳. معرفی نرم‌افزار DesignBuilder

نرم‌افزار DesignBuilder یک رابط کاربری گرافیکی پیشرفته است که به منظور اجرای انرژی به علاوه شبیه‌سازی ساخته شده است. DesignBuilder یک ابزار نرم‌افزاری پیشرفته برای بررسی انرژی ساختمان، کربن دی‌اکسید، روشنایی و عملکرد راحت است. طراحی ساده ساز به منظور ساده‌سازی روند شبیه‌سازی ساختمان، به شما امکان می‌دهد تا عملکرد و عملکرد طرح‌های

ساختمان را به‌سرعت مقایسه کنید و نتایج را به‌موقع و بودجه را ارائه دهید. DesignBuilder از مدل‌سازی سریع ساختمان و سهولت استفاده با حالت شبیه‌سازی انرژی پویا در هنر استفاده می‌کند. طراح طراحی آسان برای استفاده است. ویژگی‌های نوین بهره‌وری آن اجازه می‌دهد تا حتی ساختمان‌های پیچیده به‌سرعت توسط کاربران غیر متخصص مدل شوند. DesignBuilder اولین رابط کاربری جامع با موتور شبیه‌سازی حرارتی پویا انرژی پلاس است. DesignBuilder به شما امکان می‌دهد مدل‌های ساختمان را با قرارگیری، کشش و برش بلوک در فضای ۳ بعدی مونتاژ کنید. عناصر ۳ بعدی واقع‌گرایانه بازخورد بصری از ضخامت عنصر واقعی و فضای اتاق و حجم آن را ارائه می‌دهند و هیچ محدودیتی در شکل هندسی یا شکل سطح وجود ندارد. الگوهای داده به شما امکان می‌دهند با انتخاب لیست‌ها، سازه‌های معمول ساختمان، فعالیت‌ها، تهویهٔ مطبوع و سیستم‌های روشنایی را در طراحی خود بارگذاری کنید. در صورتی که غالباً روی انواع مشابه ساختمان‌ها کار می‌کنید، می‌توانید الگوهای خود را نیز اضافه کنید. الگو همراه با داده‌ها، اجازه می‌دهد تا تغییرات جهانی در سطح ساختمان، بلوک یا منطقه انجام شود. شما همچنین می‌توانید سطح جزئیات را در هر مدل ساختمان کنترل کنید تا امکان استفاده از این ابزار در هر مرحله از فرایند طراحی یا ارزیابی فراهم شود [۶].

۳. ۱. چگونگی محاسبهٔ کربن دی‌اکسید تولیدی

در نرم‌افزار DesignBuilder برای انواع مختلف سوخت که در ناحیهٔ زندگی مورد مطالعه مرسوم هستند، تعریف می‌شوند و میزان تولید هر یک از آلاینده‌ها به ازای واحد انرژی حاصل از هر یک از این سوخت‌ها برای سیستم تعریف می‌شوند. که در کشور ما عمدهٔ انرژی تولیدی کشور از متان و مازوت تشکیل شده است که مقادیر تولید کربن دی‌اکسید به ازای واحد انرژی تولیدی از این سوخت‌ها به نرم‌افزار معرفی شده‌اند. برای محاسبهٔ میزان کربن دی‌اکسید تولیدی به ازای انرژی مصرفی ساختمان، میزان انرژی مصرفی در ضریب سوخت استفاده شده می‌شود و به این‌گونه نمودارهای ردپای کربن دی‌اکسید توسط نرم‌افزار تولید می‌شود.

۴. اطلاعات ورودی

۴. ۱. پارتیشن‌بندی طبقات

همان‌طور که پیش از این اشاره شد، طبقات این ساختمان دارای پارتیشن‌بندی متفاوت هستند. از همین رو، در طراحی توسط نرم‌افزار به این نکته توجه شده و هر یک از طبقات با توجه به نقشهٔ ساختمان طراحی شده است. شکل ۲ به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ طبقهٔ همکف، اول، دوم و سوم هستند.

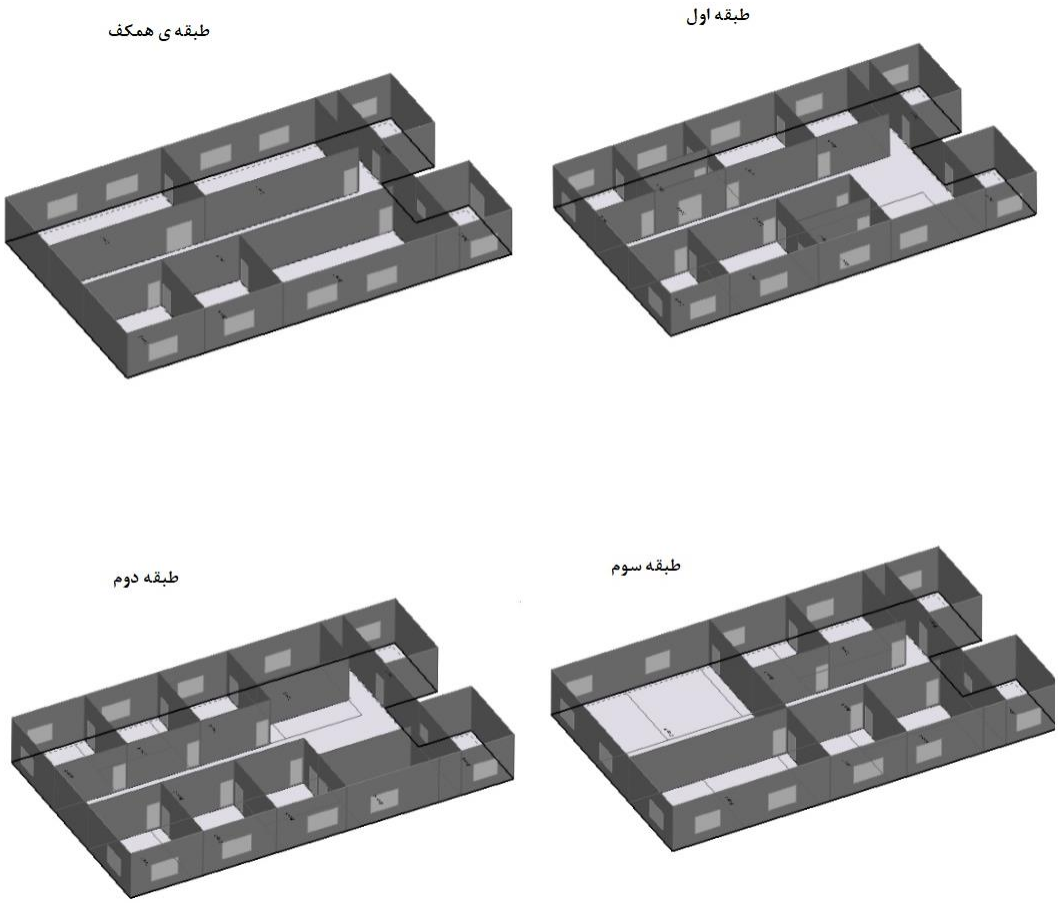
همان‌طور که در شکل‌ها مشخص است، هر طبقه دارای زون‌های خاص خود است و حتی محل قرارگیری و تعداد پنجرهٔ طبقات نیز متفاوت است.

۴. ۲. مشخصات مصالح و بنای ساختمان

هر یک از بخش‌های ساختمان با توجه به هدف پژوهش که مدیریت انرژی ساختمان است و با در نظر گرفتن فرضیات نقشهٔ ساختمان در نرم‌افزار طراحی و شبیه‌سازی شده‌اند. اولین مورد همان‌گونه که در شکل ۳ نیز مشخص است، دیوارهای خارجی و مصالح به‌کاررفته در آن را نشان می‌دهد.

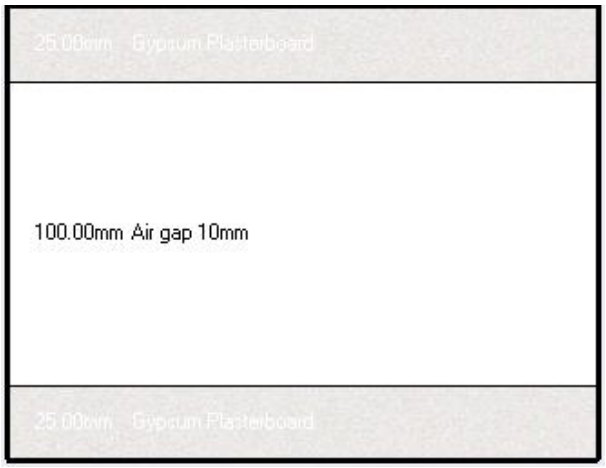
طول لایهٔ دیوار خارجی ۴۰ سانتی‌متر بوده و از ۴ بخش تشکیل می‌شود. از طرفی، ضریب گذردهی‌ای که برای دیواره‌ها در نظر گرفته شده با توجه استفاده از عایق و نیاز به مدیریت انرژی.۰۵ است. برای کاستن از تبادل حرارتی و مدیریت انرژی در این دیوارها از یک لایه عایق استفاده شده است. مورد دیگر دیوارهای داخلی هستند که فقط به منظور پارتیشن‌بندی هر طبقه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. طول این دیوار ۲۰ سانتی‌متر است و همان‌گونه که در شکل ۴ مشخص است، از ۳ لایه تشکیل شده است.

سقف ساختمان نیز مانند دیوارهای خارجی لایه‌ای ۴۰ سانتی‌متری متشکل از ۴ لایه مجزا است. شکل ۵ نشان‌دهندهٔ اجزای سقف است.

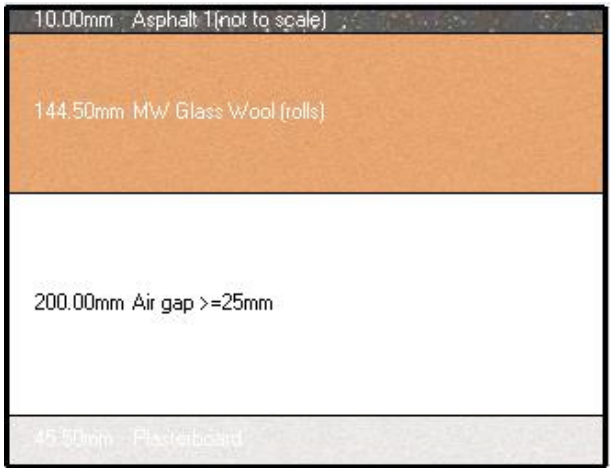


شکل ۲. شماتیک طبقه‌های ساختمان مطالعه‌شده

شکل ۳. دیوار خارجی



شکل ۴. دیوار داخلی



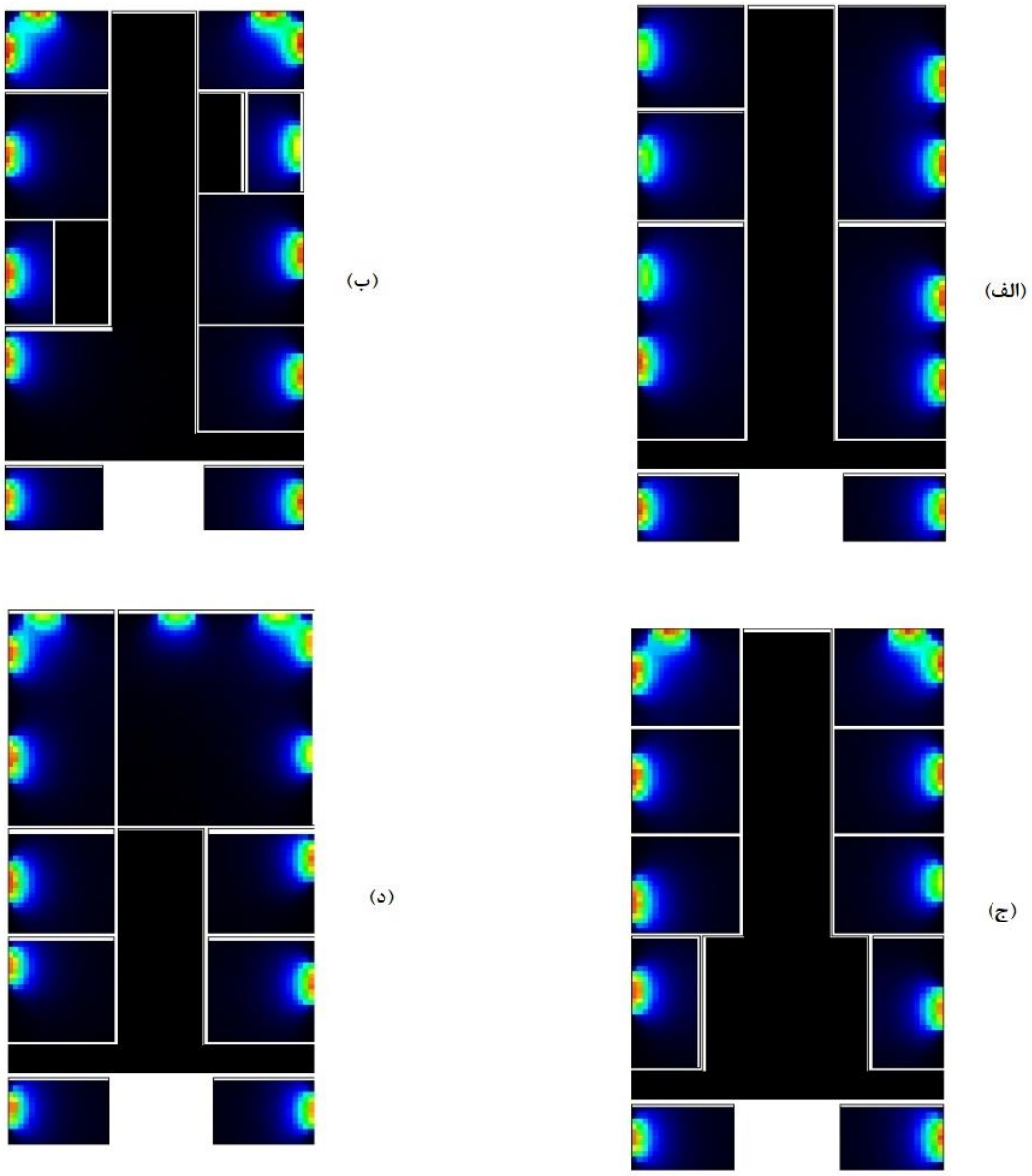
شکل ۵. سقف ساختمان

پنجره‌های این ساختمان از شیشه‌های دوجداره متشکل از شیشهٔ دوجداره ۶ میلی‌متری و لایهٔ گاز آرگون تشکیل شده. اندازهٔ پنجره‌ها ۱/۵*۲ متر است. طبقهٔ همکف ۱۰ پنجرهٔ طبقات اول و دوم ۱۲ و طبقهٔ سوم ۱۳ پنجره دارد. اندازهٔ درهای داخلی ساختمان ۱*۲/۲ متر است و اندازهٔ درهای ورودی ۲*۲/۲ است. میزان روشنایی مورد نیاز ساختمان اداری طبق مصوبات و استاندارد معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی برابر ۵۰۰ لوکس است. حدود ۴۰ درصد انرژی الکتریکی مصرفی در یک ساختمان اداری توسط سیستم روشنایی مصرف می‌شود [۱۳] و همین مسئله به‌خوبی اهمیت ممیزی میزان مصرف انرژی توسط سیستم روشنایی را نشان می‌دهد. روشنایی این ساختمان توسط یک سیستم روشنایی متشکل از چراغ فلورسنت با کمک کنترل خطی به منظور کنترل شیوهٔ روشن و خاموش شدن این سیستم روشنایی تأمین می‌شود. پیش از این نیز اشاره شد که این ساختمان از نوع اداری بوده و میزان اشغال شدن بخش‌های مختلف و ساعت‌های استفاده از ساختمان در نرم‌افزار بر این اساس مدل و برنامه تدوین شده است. از جمله مواردی که در نظر گرفته شده است تأثیرات حضور افراد و فعالیتشان بر تولید کربن دی‌اکسید و دیگر موارد است. در این ساختمان با توجه به کاربری از وسایل کامپیوتری استفاده می‌شود. برای گرمایش ساختمان سوخت گاز طبیعی در نظر گرفته شده است و وسایل سرمایشی با استفاده از انرژی الکتریکی کار می‌کنند. از طرفی، در بخش حرارتی سیستمی مدل شده است تا بخشی از حرارت ریکاوری شده و دوباره به چرخهٔ تأمین انرژی ساختمان بازگردد. به منظور مدیریت انرژی ساختمان برنامه‌ای مطابق با ساعت‌های فعالیت

کارکنان در نرم‌افزار مدل شده است. به منظور تأمین بخشی از انرژی ساختمان از پنل‌های خورشیدی روی سقف ساختمان استفاده شده ست. سیستم خورشیدی مدل شده متشکل از پنل خورشیدی، اینورتر و باتری است.

۵. نتایج شبیه‌سازی

پس از انجام شبیه‌سازی ساختمان توسط نرم‌افزار در ادامه به بررسی مهم‌ترین نتایجی که توسط نرم‌افزار ارائه شد، پرداخته شده است. همان‌گونه که اشاره شد، با توجه به سهم بالای مصرف انرژی بخش روشنایی ساختمان، اهمیت استفاده از روشنایی روز در بخش اداری که بیشتر طی روز مشغول به ارائهٔ خدمت است، مشخص می‌شود. برای نیل به این هدف دقت در طراحی ساختمان و محل قرارگیری پنجره‌ها اهمیت بسزایی پیدا می‌کند. یکی از اطلاعات مفیدی که نرم‌افزار دیزاین بیلدر ارائه می‌کند یک نمودار کامل از تأثیر نور روز بر روشنایی داخل ساختمان است.

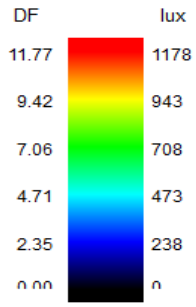


شکل ۶. تأثیر روشنایی روز بر زون‌های مختلف طبقات

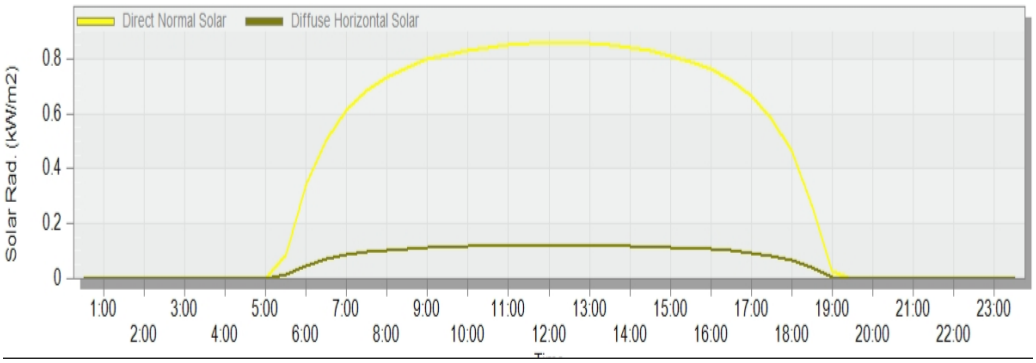
در شکل ۶ به‌ترتیب توزیع تابش نور روز در طبقات همکف، اول، دوم و سوم نمایش داده شده است. در شکل ۷ نشان داده شده است که هر رنگ در تصاویر مربوط به توزیع روشنایی به چه میزان روشنایی برای زون‌ها تأمین می‌کند. با توجه به شکل ۶ در طبقهٔ همکف، اتاق‌ها با دو پنجره در یک سمت دیوار قرار دارند که توزیع نور در این اتاق‌ها حدود ۱۱۰۰ لوکس در نزدیکی پنجره‌ها تا قسمت‌های تاریک نزدیک دیوارها را شامل می‌شود. در شکل ۶ مشخص شده است که به غیر از راهروها، تمام اتاق‌ها در طبقات مختلف امکان استفاده از نور طبیعی خورشید را طی روز دارند. از طرفی، از توزیع نور در نزدیک پنجره‌ها مشخص است که اگر از سطوح براق در قسمت‌های نزدیک به پنجره‌ها استفاده شود، می‌توان نور مناسبی برای نقاط دیگر اتاق بازتاب داد.

با توجه به اینکه نیاز روشنایی در ساختمان‌های اداری ۵۰۰ لوکس است و با توجه به شکل توزیع روشنایی روز از پنجره می‌توان مشاهده کرد که دقت در طراحی ساختمان و پارتیشن‌بندی مناسب می‌توان تا حد زیادی نیاز به روشنایی مصنوعی را کاهش داد. مسئلهٔ حائز اهمیت تابش خورشید طی روز است. این تابش از طرفی روشنایی روز را در ساختمان تأمین می‌کند و از طرفی، هم تابش مورد نیاز پنل‌های فتوولتاییک نصب‌شده در ساختمان را تأمین می‌کند. شکل ۸ پروفیل تابش خورشید در منطقهٔ مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

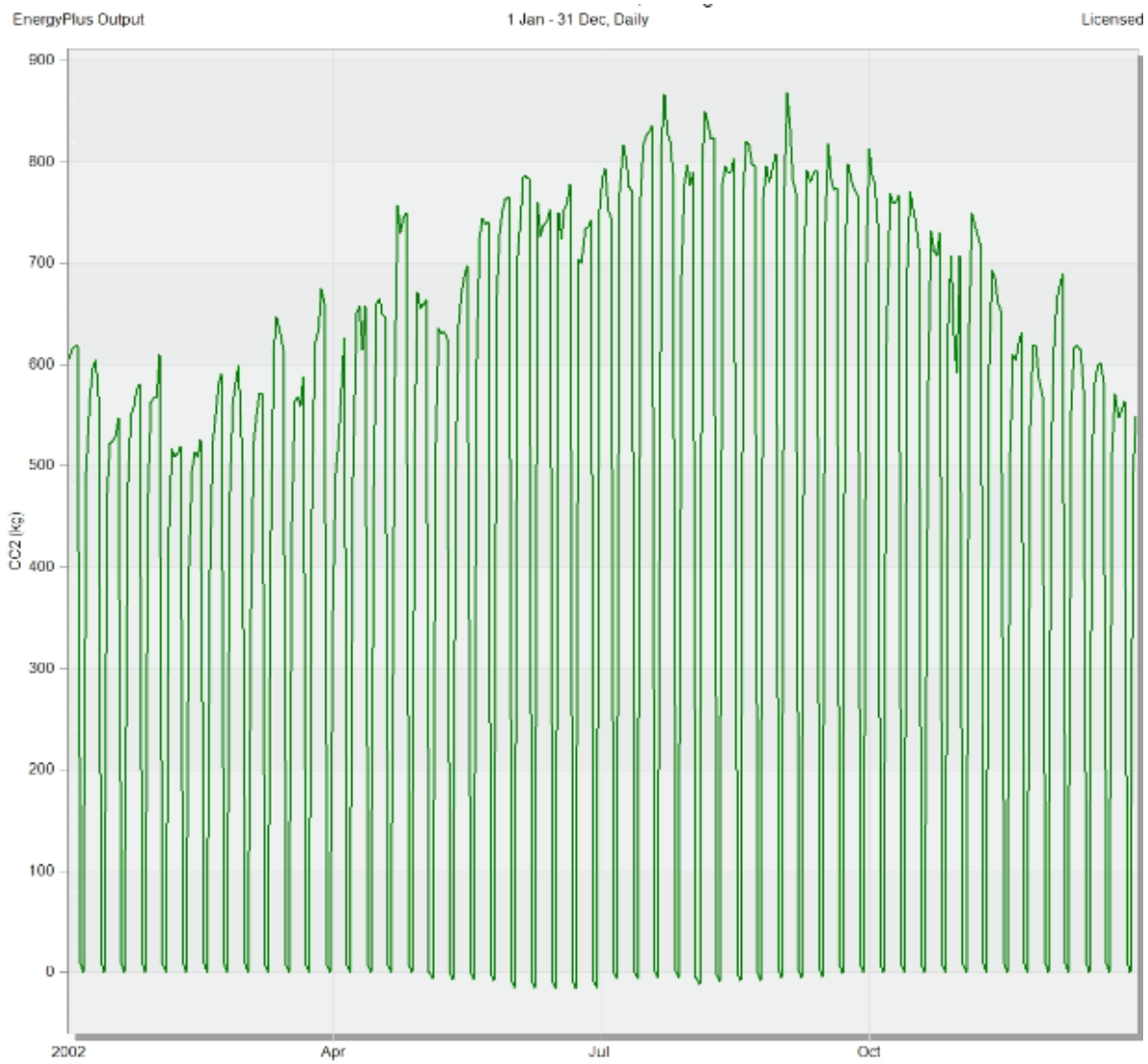
پروفیل تابش دقیقاً منطبق بر ساعت کاری اداره بوده و به این‌ترتیب می‌تواند در مدیریت انرژی مؤثر واقع شود. با توجه به نیاز ساختمان به انرژی الکتریکی و استفاده از سلول خورشیدی برای تأمین این انرژی در شبیه‌سازی، نتایج نشان داد سلول‌های خورشیدی در مجموع در این ساختمان ۱۲۳۸۲۰ کیلو وات ساعت انرژی تولید می‌کنند که این با توجه به میزان مصرف انرژی الکتریکی ساختمان این انرژی تولیدی می‌تواند بخش عمده‌ای از انرژی الکتریکی مورد نیاز را تأمین کند. مسئلهٔ دیگری که توسط شبیه مورد توجه است مقدار کربن تولیدی مراحل کلی ساختمان است. شبیه‌سازی نشان داد در مجموع ۳۱۸ تن کربن طی کلیهٔ مراحل طراحی و بهره‌برداری از ساختمان تولید می‌شود. شکل ۹ روند تولید کربن در هر روز در ساختمان را نشان می‌دهد.



شکل ۷. شدت تابش نور بر حسب رنگ

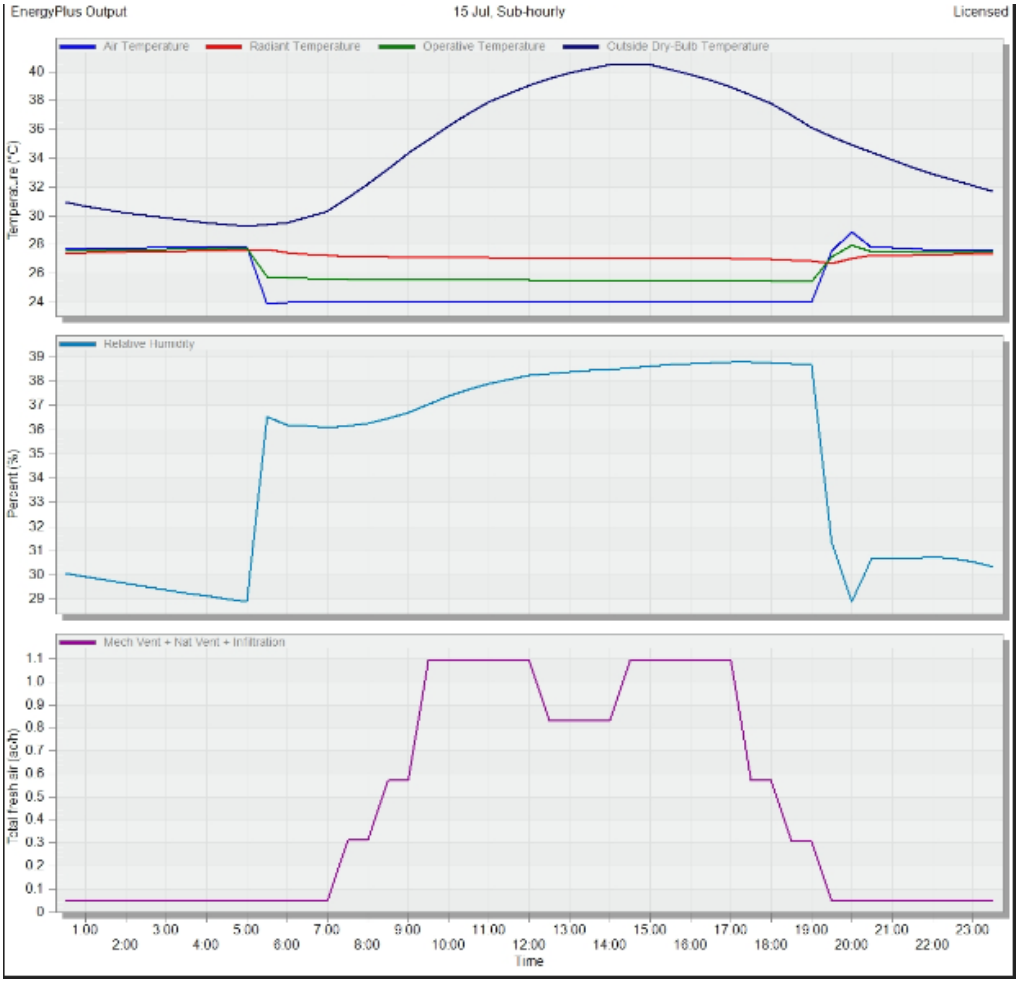


شکل ۸. پروفیل تابش خورشید



شکل ۹. روند تولید کربن دی‌اکسید در روزهای مختلف سال

مسئلهٔ حائز اهمیتی که در توسط آنالیز نتایج شبیه‌سازی به چشم می‌خورد، این است که هر چه میزان آسایش حرارتی ساختمان افزایش یابد کربن تولیدی در ساختمان نیز افزایش خواهد یافت. مسئلهٔ دیگری که توسط شبیه مورد توجه است، مقدار کربن تولیدی مراحل کلی ساختمان است. مبحث مهم دیگر میزان ظرفیت مورد نیاز برای سیستم گرمایش و سرمایش است. ظرفیت سیستم سرمایش ساختمان برابر با ۱۷۳ کیلو وات و ظرفیت سیستم گرمایش برابر با ۱۱۳ کیلو وات است. نرم‌افزار سناریوهای متفاوتی را بررسی کرد و در بین این سناریوها، در سناریوی بهینه مورد نظر حداقل دمای گرمایش آسایش ۲۱ درجهٔ سانتی‌گراد و حداکثر درجهٔ آسایش سرمایش ۲۶/۲ درجهٔ سانتی‌گراد بود. طی این سناریو ۱۶۳ تن کربن دی‌اکسید تولید می‌شود. طی این سناریو پیشنهاد شد به منظور مدیریت انرژی با توجه به نیازهای ساختمان اگر ۷۴ درصد از سطح دیوارها توسط پنجره اشغال شود حالت بهتری از نظر مصرف انرژی پیش‌خواهد آمد. شکل ۱۰ شرایط آسایش در زمان استفاده از وسایل سرمایشی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. دما، رطوبت نسبی و میزان هوای تازهٔ ورودی به ساختمان

در شکل پارامترهای مختلف طی یک روز مورد بررسی قرار گرفته و از نمودارها به‌وضوح مشخص است که در این شبیه‌سازی برنامهٔ اشغال ساختمان توسط افراد چه تأثیری بر نمودارها دارد. برای نمونه، پس ورود افراد به ساختمان تهویهٔ هوای ساختمان شروع به کار می‌کند و هر مرحله با افزایش حضور افراد تغییری در نمودار ایجاد می‌شود. این مسئله در میزان رطوبت هوای ساختمان نیز مشخص است. همچنین، در بخش اول نیز به مقایسهٔ دمای بیرون ساختمان و طی روز و داخل ساختمان و تأثیر سیستم سرمایش بر آن پرداخته شده است. همچنین، نرم‌افزار با برآورد تمامی هزینه‌ها، درنهایت هزینهٔ این پروژه را چیزی در ۲۲۶۰۰۰۰ پوند تخمین زد.

۶. نتیجه‌گیری

پس از آنالیز داده‌ها و بررسی مطالعات صورت گرفته توسط محققان، به برخی از مهم‌ترین نتایجی که در این پژوهش حاصل شد، اشاره خواهد شد. اولین مسئله در بحث مدیریت مصرف انرژی ساختمان، طراحی و معماری ساختمان است. همان‌گونه که نتایج شبیه‌سازی به‌خوبی نشان داد در صورت توجه به بحث طراحی به‌خوبی می‌توان از شرایط بهره برد. به عنوان نمونه، در بحث تابش خورشیدی می‌توان استفاده حداکثری از نور خورشید به منظور تأمین روشنایی و همچنین، با استفاده از پنل‌های خورشیدی می‌توان بخشی از نیاز به توان الکتریکی ساختمان را تأمین کرد. از طرفی، حتی می‌توان از شیشه‌های نسل جدید در ساختمان‌های هوشمند استفاده کرد. مسئلهٔ حائز اهمیت دیگر توجه به برنامهٔ اشغال ساختمان توسط افراد بر اساس کاربری ساختمان است. از طرفی، در طراحی ساختمان با استفاده صحیح از مصالح می‌توان مبادلهٔ حرارتی بین ساختمان و محیط را به حداقل رساند و در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد. این ساختمان با توجه به کاربری اداری آن تنها در ساعت‌های

مشخصی از روز مورد استفاده قرار می‌گیرد. توجه به این نکته می‌تواند در بهره بردن از عوامل محیطی کمک شایانی کند. طبق مطالعات و بررسی‌ها مصرف بالای انرژی در بخش روشنایی به‌وضوح مشخص شد. داشتن یک سیستم کنترلی برای کنترل روشنایی و انتخاب تجهیزات مناسب در یک ساختمان هوشمند که هم بتواند روشنایی را به‌خوبی تأمین نمی‌آد و از طرفی، مصرف انرژی را کمینه کند، بسیار ضروری است. آسایش حرارتی در یک ساختمان از مهم‌ترین فاکتورهاست. برای نیل به آسایش حرارتی باید از سیستم گرمایش و سرمایش بهینهٔ استفاده کرد. در صورت تنظیم پویای سیستم تهویه و سرمایش و گرمایش می‌توان تا ۴۰ درصد از مصرف انرژی این بخش کاست. از طرفی، هر چه میزان آسایش حرارتی افزایش یابد میزان مصرف انرژی و تولید کربن افزایش خواهد یافت، بنابراین باید حالت بهینه را در نظر گرفت.

۷. منابع

[1].E. Atam, "Current software barriers to advanced model-based control design for energy-efficient buildings," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 73, pp. 1031–1040, Jun. 2017, doi: 10.1016/J.RSER.2017.02.015.

[2].J. Cárdenas, G. Osma, C. Caicedo, A. Torres, S. Sánchez, and G. Ordóñez, "Building energy analysis of Electrical Engineering Building from DesignBuilder tool: Calibration and simulations," in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, vol. 138, no. 1. doi: 10.1088/1757-899X/138/1/012013.

[3].M. M. Rahman, M. G. Rasul, and M. M. K. Khan, "Energy conservation measures in an institutional building in sub-tropical climate in Australia," Appl. Energy, vol. 87, no. 10, pp. 2994–3004, Oct. 2010, doi: 10.1016/J.APENERGY.2010.04.005.

[4].F. M. Bhutta, "Application of smart energy technologies in building sector - Future prospects," in ICECE 2017 - 2017 International Conference on Energy Conservation and Efficiency, Proceedings, 2017, vol. 2018-January. doi: 10.1109/ECE.2017.8248820.

[5].R. Zahedi, M. Ghodusinejad and A. Aslani, "Modelling community-scale renewable energy and electric vehicle management for cold-climate regions using machine learning," in Energy Strategy Reviews, 2022, vol. 43.

[6].B. S. Pawar and G. Kanade, "Energy Optimization of Building Using Design Builder Software," Int. J. New Technol. Res. ISSN 2454-4116, Vol. Issue-1, January 2018 Pages 69-73, vol. 4, no. 1, 2018.

[7].A. Aldawoud, "Conventional fixed shading devices in comparison to an electrochromic glazing system in hot, dry climate," Energy Build., vol. 59, 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2012.12.031.

[8].N. Cardinale, G. Rospi, and P. Stefanizzi, "Energy and microclimatic performance of Mediterranean vernacular buildings: The Sassi district of Matera and the Trulli district of Alberobello," Build. Environ., vol. 59, 2013, doi: 10.1016/j.buildenv.2012.10.006.

[9].A. El Baraka, M. Baitoul, A. Khaldoun, and H. Ennaceri, "Development and integration of innovative low-cost PV windows based on dye sensitized solar cells technology: Application in Morocco," in Proceedings of 2014 International Renewable and Sustainable Energy Conference, IRSEC 2014, 2014. doi: 10.1109/IRSEC.2014.7059866.

[10]. V. Martinaitis, E. K. Zavadskas, V. Motuziene, and T. Vilutiene, "Importance of occupancy information when simulating energy demand of energy efficient house: A case study," Energy Build., vol. 101, pp. 64–75, Aug. 2015, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2015.04.031.

[11]. R. Zahedi, S. Daneshgar, O. N. Farahani and A. Aslani, "Thermal analysis model of a building equipped with green roof and its energy optimization," in Nature-Based Solutions, 2023. Vol. 3.

[12]. R. Zahedi, A. Gitifar and A. Aslani, "Analysis of different walls and the building's location impact on energy consumption and designing solar water heaters: case study of Andisheh city," Journal of Renewable and New Energy, October 2022.

[13]. R. Zahedi, S. Gitifar, M. Ghodusinejad, A. Aslani and H. Yousefi, "Analysis and Evaluation of Thermal-cooling Loads of Office Buildings Using Carrier Software in Iran," Journal of Smart Buildings and Construction Technology., vol. 04, Issue 02, Dec. 2022.