Karafan

Quarterly Scientific Journal of National University of Skill

Winter 2026, Vol. 22, No. 4, p. 13-34

Journal Homepage: https://karafan.tvu.ac.ir/?lang=en

: 10.48301/kssa.2025.502783.3130

Optimal shade evaluation for openings in a university building with the aim of reducing energy consumption

Leila Sadat Hamidian Divkolaei[1],

1 Department of Architecture and Urban Planning, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran. ORCID ID:0000-0003-1277-1251

ARTICLE INFO

Article Type:
Original Research

Received:
Revised:
Accepted:

Keyword:
Energy Consumption, Genetic Algorithm, Shading Devices, Educational Building

***Corresponding Author:**
Leila Sadat Hamidian Divkolaei
Email: *lhamidian@tvu.ac.ir*

ABSTRACT

In recent years, excessive energy consumption has led to the identification of various factors influencing energy use in buildings and the development of strategies to reduce consumption. One of the key factors affecting energy consumption in buildings is the building envelope, including windows and openings. Therefore, this study aims to evaluate the impact of shading devices on cooling and heating energy consumption in the buildings of a university complex. The selected case study is the buildings of the National Skill College for Girls in Babol. Energy consumption for cooling and heating in these buildings was analyzed by considering the presence of shading devices, optimizing conditions, and keeping other building specifications constant, using a genetic algorithm process.

The overall findings of this research indicate that cooling energy consumption peaks in July and August, during which the presence of shading devices can significantly reduce energy usage. Moreover, the optimization results revealed that the optimal angle for shading devices to achieve maximum energy reduction in the studied buildings is approximately 63 degrees. Another key finding of the study highlights that implementing shading devices on the southern façade of the buildings results in greater energy savings compared to other façades

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Buildings are among the most critical sectors in terms of energy consumption. In both developing and developed countries, energy consumption in buildings accounts for approximately 40%. With the global population increasing and urbanization expanding in many regions, energy consumption is on the rise. Therefore, energy conservation is considered as one of the primary strategies in the energy sector across many countries [1], [2], [3], [4].

In recent years, the emphasis on expanding and developing educational spaces within the global construction industry, has gained widespread attention maintaining high quality, and focusing on promoting and developing sustainable construction with an emphasis on green universities [5]. Among the various components of a building, building envelopes, which have the most interaction with the environment, account for about 75% of the total heat load gain or loss in a building [6]. In this context, reducing energy consumption in educational buildings has highlighted the importance of designing optimal features for openings to achieve adequate daylighting and reduce energy consumption [7]. Windows are building components that can be assessed in terms of light and view due to environmental and psychological considerations [8].

windows, due to their structural characteristics, may not always provide sufficient thermal comfort indoors. Therefore, to reduce energy consumption, it is necessary to incorporate shading devices tailored to the climatic conditions. Properly designed shading devices can offer numerous benefits, including reducing heat transfer to the interior and controlling glare to enhance visual comfort [9].

Consequently, the design of shading devices should aim to optimize indoor thermal comfort and reduce energy consumption. This represents a high-dimensional and complex multi-objective optimization problem [2].

Numerous studies have been conducted to investigate the factors influencing energy consumption in buildings. Among these, the significant role of openings and shading devices as crucial and impactful elements in reducing energy consumption has received particular attention. Accordingly, this research aims to practically and tangibly evaluate the necessity of using optimal shading features in an educational building at the National Skills University (case study: Babol Girls National Skills Training College), taking into account the climatic characteristics of this city.

Methodology

The research methodology employed in this study is of a mixed nature, utilizing tools such as literature review, observation, and computer simulations. In the first phase, the Energy Consultant software was used to obtain the region's climatic data. The weather file for the Qarakhil meteorological station (located in Babol) in EPW format was downloaded from the Climate Data website (https://climate.onebuilding.org/) and incorporated into the climatic information section of the aforementioned software.

In the present study, the modeling of the academic building and energy-related analyses were conducted using Rhino software, the Grasshopper plugin, and extensions such as Ladybug, Honeybee, and others. Initially, after modeling the building and defining the weather file, the climatic characteristics of the target city were extracted again using the Ladybug plugin. Climate analyses were performed, including the amount of solar radiation received by the site and building, the number of hours of sunlight received by the site and building, and the sky view factor(figure 1).

Given the building's orientation (east-west elongation) and the lack of shading devices, many spaces experience excessive heat during the spring and especially in summer, while becoming significantly cold in the winter. Therefore, in this case study, the energy consumption required for heating and cooling to ensure indoor thermal comfort was analyzed. Since the research focuses on energy consumption influenced by openings and shading structures, the study is considered a single-variable optimization problem aimed at reducing energy consumption.

In this context, one of the advanced plugins of Grasshopper software is the Galapagos extension, which is specifically designed for solving optimization problems. In the single-variable optimization process, this tool adjusts the target variable within a defined range to identify the optimal value for the objective function.

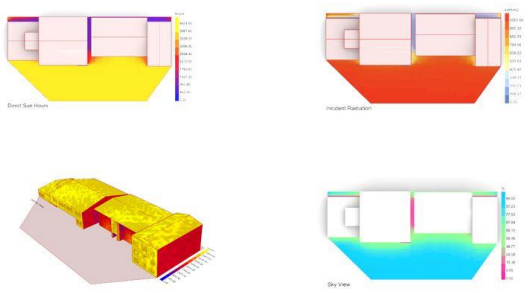


Figure 1.
Amount of Solar Energy (Watts per Square Meter),
, Hours of Direct Sunlight Received on the Site and Building,
Sky View Percentage / Source: Author

Climatic studies indicate that in the mentioned buildings, the highest amount of solar radiation is received on the southern façade of the building as well as on its roof.

Given that the hypothesis of this project focuses on examining the role of shading devices in controlling energy consumption in various parts of the building, at this stage, the shading device is considered the main variable, while other variables are held constant. Figure 2 illustrates the overall energy consumption intensity as well as the breakdown of heating, cooling, indoor lighting, and electronic equipment energy usage (in kilowatt-hours per square meter), which are, respectively, 29.531, 54.403, 26.959, and 42.317 in the existing state without shading devices.

In the next phase, horizontal shading devices with a depth of 50 cm were implemented, resulting in a change in total energy consumption from 153.21 kWh/m^2 to 147.437 kWh/m^2, showing a reduction compared to the previous state (without shading devices). The results indicate that heating energy consumption decreased from 29.531 to 26.497, and cooling energy consumption dropped from 54.403 to 51.665. However, no change was observed in energy consumption for indoor lighting and electronic equipment in either scenario.

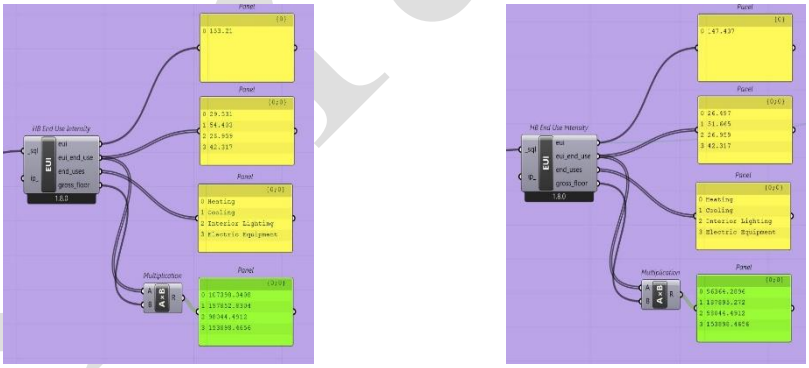


Figure 2. Reduction in energy consumption after applying shading to building openings, the figure on the left (indicating energy consumption of the current situation) and the figure on the right (indicating energy consumption with shading).
Source: Author

In the next step, the optimal angle for the shading devices was evaluated to reduce energy consumption. Based on the optimization process, where the shading angle was considered the independent variable (genome) and the reduction of Energy Use Intensity (EUI) was the objective variable, the results indicated that changing the angle from horizontal to 63 degrees relative to the horizon achieved the lowest energy consumption. Therefore, a 63-degree angle is deemed optimal for the shading devices in the mentioned project.

The results also indicate that adding shading devices to the southern openings significantly reduces cooling energy consumption compared to other orientations. Additionally, the total energy consumption (EUI) with shading devices on the southern façade is lower than on other sides, amounting to approximately 148.21 kWh/m^2.

کارافن
فصلنامه علمی دانشگاه ملی مهارت
زمستان ۱۴۰۴، دوره ۲۲، شماره ۴، ص ۱۳-۳۴
آدرس نشریه: https://karafan.tvu.ac.ir/
doi: 10.48301/kssa.2025.502783.3130

ارزیابی سایه‌بان بهینه برای بازشوهای یک ساختمان دانشگاهی با هدف کاهش مصرف انرژی

لیلا السادات حمیدیان دیوکلائی[1]

۱- گروه معماری و شهرسازی، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه ملی مهارت، تهران. ایران. 0000-0003-1277-1251

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله:
بازنگری مقاله:
پذیرش مقاله:

کلید واژگان:
مصرف انرژی، الگوریتم ژنتیک، سایه‌بان، ساختمان آموزشی

***نویسنده مسئول:** لیلا السادات حمیدیان دیوکلائی
پست الکترونیکی:
Lhamidian@tvu.ac.ir

چکیده

در سال‌های اخیر مصرف بی‌رویهٔ انرژی موجب گردیده است که عوامل مختلف مؤثر در مصرف انرژی در ساختمان‌ها شناسایی و راهکارهایی در جهت کاهش مصرف ارائه گردد. یکی از شاخصه‌های تأثیرگذار در مصرف انرژی در ساختمان‌ها، جداره‌های ساختمانی و به تبع بازشوها می‌باشند. از این رو در پژوهش پیش رو مد نظر است تا تاثیر سایه‌بان‌ها بر میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی در ساختمان‌های یک مجموعه‌ی دانشگاهی مورد ارزیابی قرار گیرد. نمونه‌ی انتخابی مذکور مجموعه‌ی ساختمان‌های آموزشکده ملی مهارت دختران بابل است که میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی در آن با در نظر گرفتن سایه‌بان و بهینه سازی شرایط در آن و ثابت نگه داشتن سایر مشخصات و جزئیات مختلف بنا، به کمک فرآیند و الگوریتم ژنتیک مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بطورکلی نتایج این پژوهش بیانگر آن است که میزان مصرف انرژی سرمایشی در تیر و مرداد ماه به بیشترین میزان مصرف خود می‌رسد که وجود سایه‌بان می تواند به طور قابل توجهی در کاهش این مصرف اثر گذار باشد. همچنین در خروجی حاصل از بهینه سازی مشخص شد که بهترین زاویه برای سایه بان‌ها در ساختمان مذکور به منظور دستیابی به بالاترین کاهش مصرف انرژی، زاویه‌ی حدود ۶۳ درجه است. از دیگر نتایج این تحقیق می توان به این موضوع اشاره کرد که به کارگیری سایه بان در جداره‌ی جنوبی، کاهش مصرف انرژی بیشتری در مقایسه با سایر جداره‌ها به همراه دارد.

شاپای الکترونیکی: ۴۴۳۰-۲۵۳۸
شاپای چاپی: ۹۷۹۶-۲۳۸۲

©2025 the authors. Published by National University of Skill, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

مقدمه

ساختمان‌ها یکی از مهم‌ترین حوزه‌ها در زمینه‌ی مصرف انرژی به شمار می آیند. در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته میزان مصرف انرژی در ساختمان‌ها به حدود ۴۰٪ می رسد. مصرف انرژی با توجه به افزایش جمعیت جهانی، شهری و صنعتی شدن بسیاری از مناطق در حال افزایش است[۱]. بنابراین حفظ انرژی در بسیاری از کشورها به عنوان یکی از راهکارهای اصلی در حوزه‌ی صنعت انرژی محسوب می‌گردد [۲]، [۳]، [۴]،[۵].

در سال‌های اخیر توجه به گسترش و توسعه‌ی فضاهای آموزشی در صنعت ساخت و ساز جهانی، حفظ کیفیت بالاتر در راستای تاکید بر پرورش و توسعه‌ی ساخت پایدار با تمرکز بر دانشگاه‌های سبز مورد توجه همگانی قرار گرفته است[۶]. در میان بخش‌های مختلف ساختمان، جداره‌های ساختمانی که بیشترین ارتباط را با محیط دارند، حدود ۷۵ درصد از دریافت یا انتقال بار حرارتی کل ساختمان را شامل می شوند[۷]. در این میان با توجه به رویکرد کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های آموزشی، طراحی ویژگی‌های بهینه در بازشوها به منظور دستیابی به نور مناسب روز و کاهش مصرف انرژی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار گردیده است[۸]. پنجره‌ها اجزایی از ساختمان‌ها هستند که به دلایل محیطی و روانشناختی از حیث نور و دید قابل ارزیابی می باشند[۹].

پنجره یک جزء شفاف از جداره است که اجازه می‌دهد نور خورشید قابل مشاهده‌ای به داخل اتاق وارد شود و در فصل زمستان انرژی گرمایی را از تابش خورشید به ارمغان آورده و در نتیجه مصرف انرژی گرمایی را کاهش می‌دهد. با این حال، گرمایی که توسط نور خورشید قابل مشاهده به داخل اتاق وارد می‌شود، ممکن است منجر به گرم شدن بیش از حد دمای داخلی محیط شده و موجب افزایش مصرف انرژی سرمایشی در تابستان نیز شود. در نتیجه تابش خورشید اثرات متفاوتی بر مصرف انرژی ساختمان در فصول مختلف سال دارد[۷].

از طرفی پنجره‌ها با توجه به ویژگی‌های ساختاری‌شان بعضا به تنهایی نمی‌توانند تامین کننده‌ی آسایش حرارتی فضای داخلی بوده و به منظور کاهش مصرف انرژی با توجه به شرایط اقلیمی نیاز است تا سایه‌بان‌هایی متناسب با تنوع اقلیمی موجود در نظر گرفته شود. طراحی سایه‌بان‌های متناسب می‌تواند فواید بسیاری شامل کاهش انتقال حرارت به فضای داخلی و کنترل خیرگی نور را به منظور بهبود آسایش بصری به ارمغان آورد[۱۰].

بنابراین، طراحی سایه‌بان‌ها باید با هدف بهینه‌سازی آسایش حرارتی داخلی و کاهش مصرف انرژی باشد که این یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه با ابعاد بالا و پیچیده است[۳].

تاکنون پژوهش‌های متعددی در زمینه‌ی بررسی شاخصه‌های موثر بر مصرف انرژی در ساختمان‌ها صورت گرفته است. در این میان، نقش پررنگ بازشوها و سایه‌بان‌ها به عنوان عامل مهم و تاثیرگذار در کاهش مصرف انرژی مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. از این رو در این پژوهش در نظر است تا بصورت کاربردی و عینی، لزوم توجه به استفاده از ویژگی‌های یک سایه‌بان بهینه در ساختمانی آموزشگاهی در دانشگاه ملی مهارت (نمونه: آموزشکده ملی مهارت دختران بابل) با توجه به ویژگی‌های اقلیمی این شهر بررسی و مورد ارزیابی قرار گیرد.

مروری بر ادبیات موضوع

تحقیقاتی در رابطه با به‌کارگیری هدفمند طراحی بهینه‌ی پنجره‌ها و ساختار سایه بان‌ها انجام گردیده است (جدول ۱). لی[1] و همکاران (۲۰۱۳) سیستم‌های پنجره را با در نظر گرفتن انواع و ویژگی‌های مختلف پنجره بهینه‌سازی کرده تا تأثیر آن بر مصرف انرژی ساختمان برای گرمایش، سرمایش و روشنایی در پنج منطقه‌ی اقلیمی در چین را بررسی کنند. در این پژوهش بر اساس تحلیل‌های رگرسیونی به دست آمده، نمودارهایی جهت بررسی ارتباط میان ویژگی‌های پنجره و عملکرد حرارتی ساختمان با توجه به توابعی از ضریب انتقال حرارت[2]، ضریب جذب حرارت خورشیدی[3]، انتقال نور مرئی، نسبت سطح پنجره به دیوار[4]، بازشوهای خورشیدی، بازشوهای مؤثر و جهت‌گیری ارائه شده است که می‌تواند به عنوان مبنایی برای انتخاب پنجره‌ها با کارایی صرفه‌جویی در مصرف انرژی در نظر گرفته شود[۹].

پالمرو[5] و همکاران(۲۰۱۰) اثر سایه‌بان‌های لوور اعمال شده در نماهای مختلف ساختمان در عرض‌های متفاوت جغرافیایی را بررسی کرده و نیازهای سرمایشی و گرمایشی را بر اساس پیکربندی سایه‌های مختلف در کشورهای مکزیک، مصر، پرتغال، اسپانیا و بریتانیا مورد ارزیابی قرار دادند[۱۱].

لیو[6] و همکاران (۲۰۱۹) نیز استفاده از دستگاه‌های سایه‌بان را در نمای مات از منظر طول، اندازه و شیب سایه بان ها بهینه نموده و تأثیر پیکربندی های مختلف سایه بان ها را بر مصرف انرژی ساختمان‌های عمومی در هنگ کنگ بررسی کردند. بطور مثال نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با اعمال آفتابگیر در جبهه غربی ساختمان ۸٪ در مصرف انرژی این ساختمان‌ها صرفه جویی می‌گردد[۱۰].

همچنین ژی و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی میزان طول و همچنین پیش آمدگی سایه بان‌ها را با توجه به عملکرد نور روز و عملکرد حرارتی ساختمان بهینه کرده و مورد ارزیابی قرار دادند. سامانی و همکاران(۲۰۱۶) و سقیوری و همکاران(۲۰۱۸) نیز همگی تأثیر سایه‌اندازی بر آسایش داخلی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج پژوهش ایشان نشان می دهد که سایه‌اندازی بیرونی اقدامی بسیار مؤثر در بهبود آسایش حرارتی داخلی است[۱۲].

[1] . Lee
[2] . U-value
[3] . SHGC
[4] . WWR
[5] . Palmero-Marrero
[6] . Liu

بهینه سازی طراحی سایه بان، جنبه ای حیاتی از مهندسی معماری و محیطی است که هدف آن افزایش بهره وری انرژی، راحتی ساکنین و عملکرد کلی ساختمان است. ادغام دستگاه های سایه بان موثر می تواند به طور قابل توجهی افزایش گرمای خورشیدی را کاهش و در نتیجه نیاز انرژی سرمایشی را نیز کاهش دهد و آسایش حرارتی داخلی را بهبود می بخشد [۱۳] و[۱۰]. این ترکیب، رویکردها و روش‌های مختلفی را برای بهینه‌سازی طراحی سایه بان، با تکیه بر یافته‌های تحقیقات اخیر مورد بحث قرار می‌دهد.

یکی از استراتژی‌های اولیه برای بهینه‌سازی طراحی سایه بان، انتخاب دقیق مکان قرارگیری دستگاه‌های سایه‌بان است. داونز و همکاران بر اهمیت ممیزی سایت و تجزیه و تحلیل الگوی استفاده در زمین‌های بازی برای تعیین مکان‌های بهینه برای سایه بان‌ها تأکید می‌کنند، که می‌تواند به طور قابل‌توجهی میزان حفاظت در برابر اشعه UV و سطوح راحتی را برای کاربران افزایش دهد[۱۴].

به همین ترتیب کابانشی [1]و همکاران، تاکید می‌کنند که قرارگیری سایه‌بان بر روی پنجره‌های ساختمانی می‌تواند منجر به کاهش قابل توجهی در تابش خورشیدی شود، در نتیجه تقاضای سالانه انرژی سرمایشی را کاهش داده و آسایش حرارتی را بهبود می‌بخشد[۱۵]. نتایج این تحقیقات با یافته‌های کیم و همکاران، که تأثیر سایه‌بان‌های مؤثر بر ساختمان‌های اداری را تجزیه و تحلیل کرده‌اند، مطابقت دارد و نشان می‌دهد که راه‌حل‌های مشابه مناسب می‌توانند گرمای بیش از حد را در طول دوره‌های اوج خورشیدی کاهش دهند[۱۶].

علاوه بر این، در طراحی سایه بان‌ها باید عوامل مختلفی از جمله جهت، اندازه و ویژگی‌های مواد در نظر گرفته شود. بزازاده و همکاران یک چارچوب چند هدفه برای طراحی دستگاه‌های سایه‌انداز پیشنهاد می‌کنند که این متغیرها را برای دستیابی به نتایج معماری با کارایی بالا ترکیب می‌کنند[۱۷].

خیدمت [2]و همکاران نیز دیدگاه‌هایی را در مورد بهینه‌سازی دستگاه‌های سایه انداز لوور تحت شرایط مختلف آسمان ارائه می دهند و بر نیاز به استراتژی های طراحی تطبیقی تأکید می کنند[۱۸].

بهینه سازی سیستم‌های پنجره و سایه، همانطور که توسط نظری و همکاران مورد بحث قرار گرفت، نشان می‌دهد که در نظر گرفتن دقیق جهت نما و ضرایب افزایش حرارت خورشیدی می‌تواند منجر به صرفه جویی قابل توجه انرژی در زمینه‌های مختلف آب و هوایی گردد[۱۹].

[1] . Kabanshi
[2] . Khidmat

در سال‌های اخیر، تکنیک‌های بهینه‌سازی پیشرفته، مانند تصمیم‌گیری چند معیاره[1] و الگوریتم‌های ژنتیک، برای بهبود طراحی سایه‌بان استفاده گردیده اند. به عنوان مثال، خوروشیلتسوا[2]و همکاران، یک الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر pareto ارائه می‌کنند که عملکرد حرارتی و نور روز را در طراحی سایه‌بان متعادل می‌کند[۲۰].

به طور مشابه، مانزن و پادوان[3] از یک رویکرد بهینه‌سازی جامع استفاده می‌کنند که محاسبات انرژی و تجزیه و تحلیل روشنایی روز را برای توسعه راه‌حل‌های سایه بان موثر برای محیط‌های اداری ادغام می‌کند[۲۱].

این روش‌ها بر اهمیت یک رویکرد سیستماتیک برای طراحی سایه‌بان‌ها تأکید می‌کنند که هم بهره‌وری انرژی و هم راحتی ساکنان را در نظر می‌گیرند.

بافت اقلیمی نیز نقش مهمی در بهینه‌سازی طراحی سایه‌بان دارد. ستتینو و همکاران نشان می‌دهند که سیستم‌های سایه بان‌های خورشیدی ثابت را می‌توان برای مناطق مختلف آب و هوایی برای دستیابی به بهره‌وری انرژی در حین رفع نیازهای ساکنان بهینه کرد[۲۲].

علاوه بر این، العجمی و همکاران، بررسی اثربخشی دستگاه‌های مختلف سایه‌بان خورشیدی ثابت در آب و هوای گرم را ارزیابی نموده و نشان دادند که طرح‌های خاص می‌توانند به طور قابل‌توجهی مصرف انرژی را کاهش داده و آسایش داخلی را بهبود بخشند[۲۳]. این مورد توسط رانا و همکارانش نیز تکرار شده است که تأثیر دستگاه‌های سایه‌بان بر مصرف انرژی در آب و هوای نیمه گرمسیری را بررسی می کنند و پیشنهاد می‌دهند که استراتژی های مناسب می تواند بارهای خنک کننده و نیازهای نور مصنوعی را بهینه کنند[۲۴].

در نتیجه، بهینه‌سازی طراحی سایه‌بان یک فرآیند چند وجهی است که نیاز به درک جامعی از اصول معماری، شرایط آب و هوایی و نیازهای ساکنین دارد. با به‌کارگیری تکنیک‌های بهینه‌سازی پیشرفته و در نظر گرفتن پارامترهای مختلف طراحی، معماران و مهندسان می‌توانند سایه‌بان‌های موثری را ایجاد کرده که بهره وری انرژی و راحتی ساکنین را افزایش می دهند.

با توجه به این امر که مطالعات پیشین انجام شده، بیشتر در مرحله‌ی پیش از طراحی ساختمان با تمرکز بر طراحی سایه‌بان‌های بهینه بویژه در اقلیم‌های بسیار گرم صورت گرفته است، در پژوهش پیش رو در نظر است تا ساختمان با وضع موجود آموزشکده و در شرایطی که در اقلیم معتدل و مرطوب واقع شده است، مورد ارزیابی قرار گیرد. لذا این امر موجب تمایز پژوهش پیش رو با سایر پژوهش‌های مذکور است.

[1] . MCDM
[2] . Khoroshiltseva
[3] . Manzan & Padovan

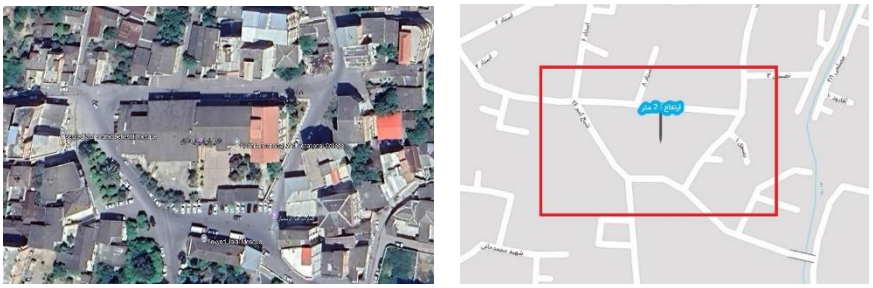
جدول۱ -برخی از سوابق پژوهشی ادبیات موضوع- منبع: نگارنده

محوریت پژوهش (طراحی سایه بان ها و کاهش مصرف انرژی)	عنوان مقالات	نویسنده/ نویسندگان
بررسی مشخصات کمی شامل فرم، ابعاد،اندازه،زاویه و ... در طراحی سایه بان ها	Effect of louver shading devices on building energy requirements	Palmero et al.,2010
	Investigating the energy saving potential of applying shading panels on opaque façades: A case study for residential buildings in Hong Kong	Liu et al.,2019
	Efficient Shading Device as an Important Part of Daylightophil Architecture; a Designerly Framework of High-Performance Architecture for an Office Building in Tehran	بزاززاده و همکاران (۲۰۲۱)
	Designing a Kinetic Façade Using BB-BC Algorithm with a Focus on Enhancing Building Energy Efficiency	Soltani et al.,2023
بررسی عوامل اقلیمی در طراحی سایه بان ها	The optimization of louvers shading devices and room orientation under three different sky conditions	Khidmat et al.,2022
	Multi-Objective Analysis of a Fixed Solar Shading System in Different Climatic Areas	Settino et al.,2020
	Determining the optimum fixed solar-shading device for minimizing the energy consumption of a side-lit office building in a scorching climate	Alajmi et al.,2021
	An investigation on the impact of shading devices on energy consumption of commercial buildings in the contexts of subtropical climate	Rana et al.,2021

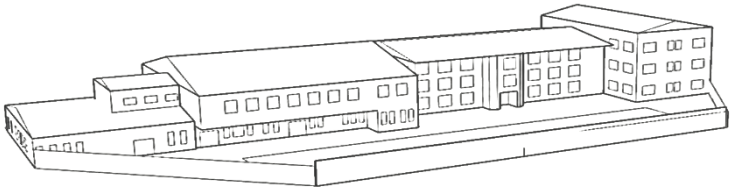
روش شناسی

روش تحقیق حاضر از نوع ترکیبی است که در آن از ابزارهای مطالعه، مشاهده و شبیه سازی‌های رایانه‌ای استفاده شده است[۲۵]. در بخش اول به جهت کسب اطلاعات اقلیمی منطقه از نرم افزار مشاور انرژی[1] بهره گیری شده است. فایل آب و هوایی ایستگاه آب و هوا شناسی قراخیل (واقع در شهرستان بابل) با فرمت EPW از سایت داده های آب و هوایی(https://climate.onebuilding.org/) استخراج و در بخش اطلاعات اقلیمی نرم افزار مذکور درج گردیده است. در ادامه تحلیل‌های اقلیمی این شهر بصورت گرافیکی و خروجی عکس از نرم افزار انجام می گیرد.

پژوهش مورد نظر در شهر بابل در ساختمانی دانشگاهی به نام آموزشکده ملی مهارت دختران بابل انجام گردیده است (شکل ۱ و ۲). ساختمان مورد نظر در شهر بابل به طول جغرافیایی ۵۲،۶۸ و عرض جغرافیایی ۳۶،۵۴ و ارتفاع ۲ متر از سطح دریا در نظر گرفته شده است. تغییرات دمای هوای سالانه در شهر بابل حدود ۳۸ درجه است. بیشترین دما متعلق به ماه جولای (تیر) حدود ۳۶ درجه و کم ترین دمای هوا به ماه ژانویه (دی) حدود ۲- درجه اختصاص یافته است (شکل ۳).

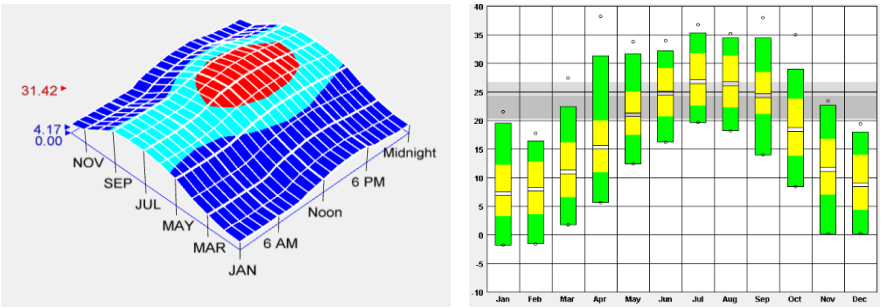


شکل ۱. موقعیت مکانی ساختمان آموزشکده، منبع: نگارنده



شکل ۲. دید سه بعدی به ساختمان‌های آموزشکده، منبع: نگارنده

[1] .Climate Consultant



شکل ۳. میانگین دمای هوا و چارت سه بعدی دمای هوای ماهیانه

، منبع: نرم افزار مشاور اقلیمی

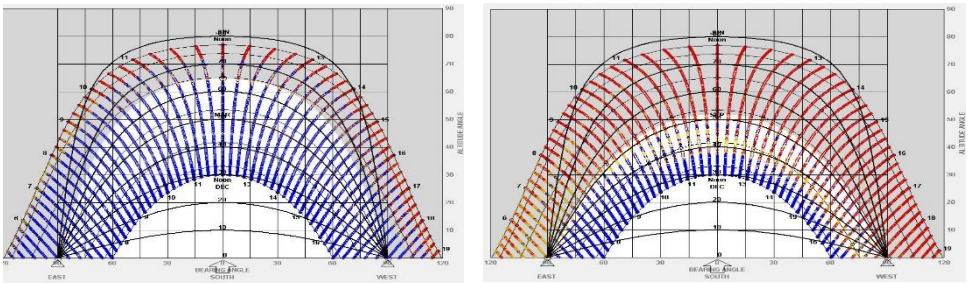
همچنین جدول زمانی دمای خشک برای این شهر نشان می‌دهد که نیاز گرمایشی در آن بیشتر از نیاز سرمایشی است. در حدود ۵۹ درصد از ایام سال بطور کلی این شهر دمای بین ۰ تا ۲۰ درجه را تجربه کرده و در ۲۵ درصد از مواقع دمای ۲۴ تا ۳۸ را به خود اختصاص داده است.

میزان دریافت انرژی خورشیدی و استفاده از نور طبیعی روز جهت روشنایی فضاها دو عامل اثر گذار در طراحی فضاها هستند که به شاخصه هایی نظیر میزان ابری یا صاف بودن آسمان نیز بستگی دارند. دیاگرام پوشش ابر نشان می دهد که بطور میانگین حدود ۶۳ درصد از آسمان شهر بابل در طول سال ابری است.

نمودار محدوده‌ی دریافت تابش خورشید نشان می‌دهد که در شهر بابل میزان دریافت انرژی خورشیدی از تابش آفتاب روی سطوح قائم در ماه‌های سرد سال حدود ۲۵۰ وات بر مترمربع در هر ساعت بوده که این مقدار کمتر از میزان دریافت این انرژی در ماه‌های گرم سال (حدود ۴۰۰ وات بر مترمربع در ساعت) است.

نمودارهای خورشیدی در این منطقه بیانگر آن است که نیاز گرمایشی در این منطقه قابل توجه بوده و حدود ۱۵۴۶ ساعت نیاز به تابش آفتاب برای گرم کردن فضای داخلی وجود دارد. همچنین در فصول گرم سال ۹۰۸ ساعت آفتاب به درون ساختمان نفوذ پیدا کرده و ۲۹۷ ساعت از آن لازم است که سایه‌بان در نظر گرفته شود.

با در نظر گرفتن سایه بانی افقی با قابلیت تغییر جهت در فصل تابستان حدود ۵۵ درجه و در زمستان حدود ۶۵ درجه می توان از میزان دریافت گرما در تابستان کاسته و به افزایش دریافت انرژی خورشیدی در زمستان افزود(شکل ۴).



شکل ۴. تاثیر سایه بان در فصول سرد (تصویر سمت چپ) و در فصول گرم (تصویر سمت راست)

، منبع: نرم افزار مشاور اقلیمی

در پژوهش پیش رو به منظور مدلسازی ساختمان دانشگاهی و تحلیل مباحث انرژی از نرم افزارهای راینو[1]و پلاگین گرس هاپر[2] و افزونه‌هایی چون لیدی باگ[3]، هانی بی[4]و موتورهای مرتبط با محاسبه‌ی انرژی(انرژی پلاس[5])، محاسبه‌ی روشنایی(رادیانس[6]) و اپن استادیو[7] برای تلفیق محاسبه‌ی روشنایی و انرژی نیز استفاده شده است[۲۶]. در ابتدا پس از مدلسازی و تعیین فایل آب و هوایی، مشخصات اقلیمی شهر مورد نظر مجدد در پلاگین لیدی باگ استخراج و تحلیل‌های اقلیمی مانند (میزان دریافت مقدار انرژی تابشی آفتاب در سایت و در ساختمان، میزان ساعت دریافت انرژی خورشید در سایت و ساختمان و همچنین میزان دید به آسمان و ...) صورت می‌گیرد (شکل ۵).

با توجه به جهت‌گیری ساختمان (کشیدگی شرقی-غربی) و همچنین عدم وجود تابش‌گیر، بسیاری از فضاها در فصل بهار و بویژه تابستان به گرمای بیش از اندازه رسیده و در فصل زمستان بسیار سرد می شوند. از این رو در نمونه‌ی مذکور در نظر گرفته شد تا میزان مصارف انرژی جهت گرمایش و سرمایش به منظور برقراری آسایش حرارتی داخلی مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به تمرکز پژوهش بر مصرف انرژی متاثر از بازشوها و ساختارهای سایه بان‌ها، پژوهش مذکور از نوع بهینه سازی تک متغیره با هدف کاهش مصرف انرژی در نظر گرفته می شود. ساختار پژوهش بصورت کلی در شکل 6 قابل مشاهده است.

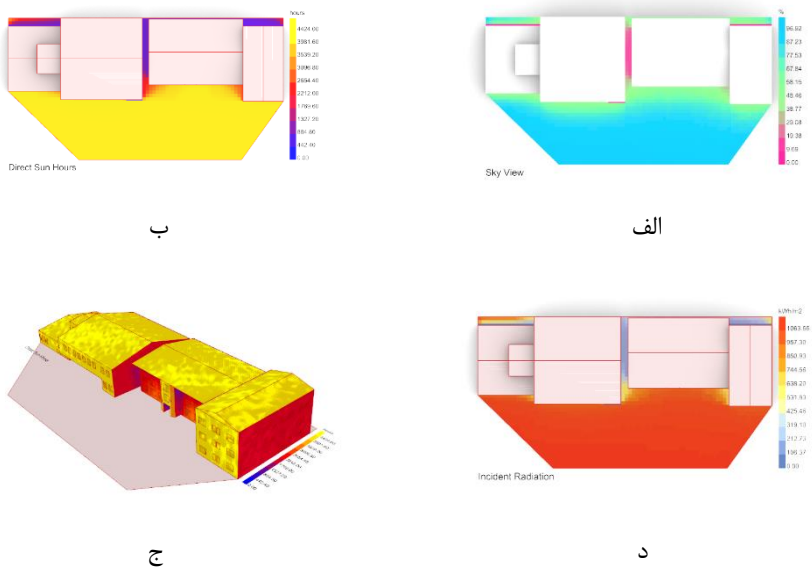
[1] .Rhino
[2] .Grasshoper
[3] .Ladybug
[4] .Honeybee
[5] .EnergyPlus
[6] .Radiance
[7] .OpenStudio

زمانی که یک مساله بهینه‌سازی مطرح می‌شود، قرار است که یک یا چند پارامتر بهینه شده و بهترین مقادیر یا بهترین انتخاب ممکن برای آنها کشف گردد. برای یافتن پاسخی بهینه، می‌بایست ابتدا تعدادی پاسخ توسط الگوریتم بهینه سازی مورد نظر تولید شده و سپس در پاسخ به سوال پژوهش (تابع هدف) مشخص شود که کدام یک از پاسخ‌های تولیدشده، به پاسخ بهینه مورد نظر، نزدیکتر و یا به عبارت دیگر مناسبتر هستند. به دلیل وجود مسائل بهینه‌سازی مختلف، روش‌های بهینه‌سازی بسیار متنوعی ابداع شده اند. برخی از روش‌های بهینه سازی در ساختمان که تابع هدف یا قسمتی از آن با استفاده از برنامه‌های شبیه‌سازی عملکرد ساختمان مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، می‌تواند از نوعی الگوریتم به نام الگوریتم تکاملی استفاده نماید. الگوریتم‌های تکاملی زیرمجموعه‌ای از محاسبات تکاملی بوده و در شاخه هوش مصنوعی قرار می‌گیرند. در این الگوریتم و در آغاز کار تعدادی از اعضای جامعه به صورت تصادفی حدس زده میشوند. سپس تابع هدف برای هر یک از این اعضا محاسبه و نخستین نسل ایجاد خواهد شد. اگر در ادامه هیچ یک از معیارهای خاتمه بهینه سازی دیده نشوند، ایجاد نسل جدید آغاز خواهد شد.

الگوریتم ژنتیک به عنوان یکی از زیرمجموعه‌های الگوریتم تکاملی، از اصول انتخاب طبیعی استفاده می‌کند تا مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها را که به راه‌حل بهینه نزدیک هستند، استخراج کند. این الگوریتم، مبتنی بر جمعیت است و به طور موثری می‌تواند در مسایلی غیرخطی که ناپیوستگی و یا تعداد زیادی کمینه محلی دارند به کار برده شود و به همین دلیل به طور گسترده‌ای در حوزه بهینه سازی ساختمان به کار می‌رود[۲۷].

در این راستا یکی از پلاگین‌های پیشرفته نرم افزار گرس هاپر[1] افزونه‌ی گالاپاگوس[2] است که از زیر مجموعه مفاهیم الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل بهینه‌سازی طراحی شده است. در فرآیند بهینه‌سازی تک متغیره، این ابزار، متغیر هدف مشخصی را در دامنه مشخص تغییر می‌دهد تا مقدار بهینه‌ای برای تابع هدف پیدا کند[۲۸].

[1] .Grasshoper
[2] . Galapagos

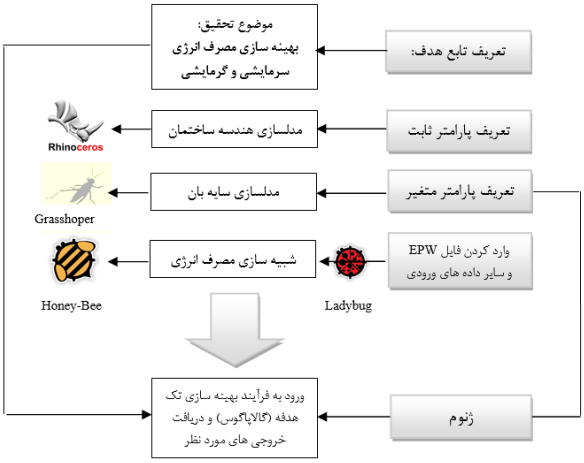


الف ب

د ج

شکل ۵. تحلیل‌های اقلیمی ساختمان مورد نظر در سایت

الف:میزان دریافت انرژی تابشی در سایت (واحد وات بر متر مربع)، ب و ج:میزان ساعات دریافت تابش مستقیم خورشید در سایت و ساختمان، د: درصد دید به آسمان/ منبع: نگارنده



شکل 6. ساختار پژوهش

در سال‌های اخیر الگوریتم ژنتیک (GA) به دلیل توانایی در حل چالش‌های معماری و همچنین بهینه‌سازی مسائل پیچیده طراحی، مخاطبان زیادی را به خود جلب کرده است. الگوریتم‌های ژنتیکی که از اصول انتخاب طبیعی الهام گرفته‌اند، به منظور جستجوی فضای وسیع طراحی و شناسایی راه‌حل‌های بهینه یا نزدیک به بهینه استفاده می‌گردند. طراحی الگوریتمیک و تکرارشونده در حال تبدیل شدن به یکی از گرایش‌های محبوب در حرفه معماری است و در این میان نقش نرم افزار گرس هاپر در سرعت بخشی به این حرکت بدون انکار است. قدرت این نرم افزار طی سال‌های گذشته با معرفی افزونه‌های مختلف در زمینه معماری، شهرسازی، مدلسازی دینامیکی، آنالیز سازه، آنالیز انرژی و روشهای بهینه‌سازی افزایش یافته است.گرسهاپر به‌عنوان نرم افزار اصلی برای مدلسازی پارامتریک و واسط برای تبادل اطلاعات بین محیط راینو و نرم افزارهای فرم یابی و تحلیل اطلاعات معرفی می‌شود. این افزونه به طراحان این امکان را می‌دهد که فارغ از آموزش برنامه نویسی، فرم‌های مختلف را با پارامترهای مشخص تعریف کرده و با تغییر این پارامترها تغییر فرم را به صورت زنده مشاهده کنند.

تغییر فرم‌های پیچیده به کمک پارامترهای اصلی باعث می‌شود که معماران راحت‌تر و سریعتر به فرم‌های دلخواه خود رسیده و همچنین با به افزونه‌های شبیه ساز پارامتریک (از جمله شبیه ساز انرژی گرمایشی و سرمایشی، روشنایی نور روز، تهویه و...) که مبتنی بر گرس هاپر هستند، راه حل‌های بهینه‌ای در صنعت ساختمان ایجاد نمایند.

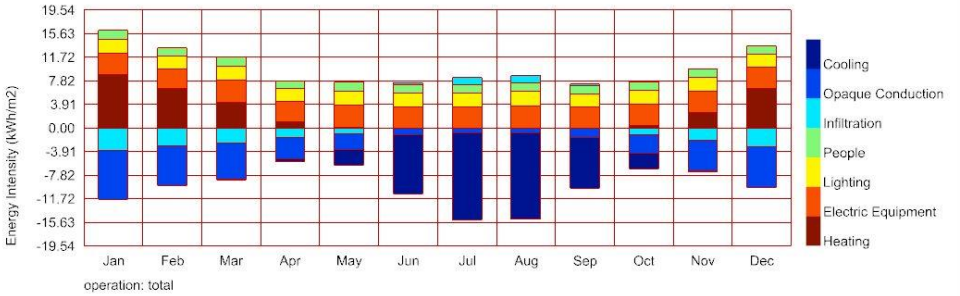
نتایج و بحث

مطالعات اقلیمی نشان می‌دهد که در ساختمان‌های مذکور، بیشترین میزان دریافت تابش آفتاب در بخش جنوبی ساختمان و همچنین در بام این مجموعه است.

بعد از مدلسازی مجموعه‌ی ساختمانی در نرم افزار راینو و تخصیص فضاها به کامپوننت های مرتبط در هانی بی (تعیین جرم ساختمان و بازشوها) و همچنین تعیین مصالح، ساختار دیوارها و سایر اجزای ساختمانی بر مبنای واقعیت موجود (دیوارهای آجری بیرونی و دیوارهای گچی داخلی) با پنجره‌های آلومینیومی تک جداره و سقف های آزبستی، مدلسازی انرژی این مجموعه در دو حالت بدون سایه‌بان (پیش فرض موجود) و با سایه بان سنجیده شد.

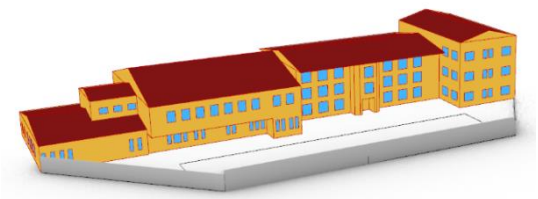
تصویر ۷ نیز میزان مصرف انرژی مجموعه‌ی ساختمانی را در ماه‌های مختلف سال به تفکیک نوع انرژی مصرفی بر حسب کیلووات بر مترمربع نمایش می‌دهد.

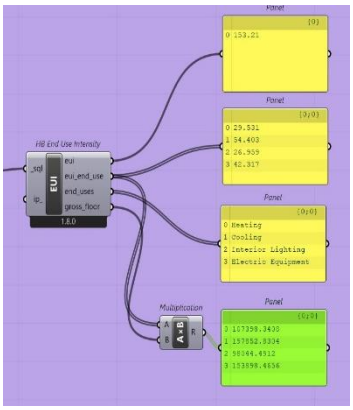
تصویر بیانگر این امر است که میزان مصرف انرژی سرمایشی در تیر و مرداد ماه به بیشترین میزان مصرف خود می‌رسد که وجود سایه‌بان می تواند به طور قابل توجهی در کاهش این مصرف اثر گذار باشد.



شکل ۷. نمایش میزان مصرف انرژی ساختمان در ماه های ۱۲ گانه سال به تفکیک نوع انرژی مصرفی . منبع: نگارنده

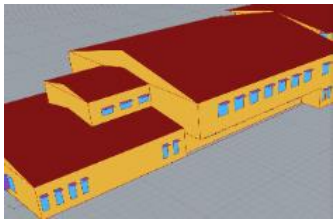
با توجه به اینکه فرضیه این پروژه بررسی نقش سایه‌بان در کنترل مصارف انرژی در بخش‌های مختلف مد نظر بوده، از این نظر در این مرحله، متغیر اصلی زاویه‌ی سایه‌بان لحاظ شده و سایر متغیرها ثابت در نظر گرفته می شوند. تصویر ۸ بیانگر میزان شدت انرژی مصرفی کلی و همچنین به تفکیک انرژی گرمایشی، سرمایشی، روشنایی داخلی و تجهیزات الکترونیکی با واحد کیلو وات بر مترمربع به ترتیب برابر(۲۹/۵۳۱، ۵۴/۴۰۳، ۲۶/۹۵۹، ۴۲/۳۱۷) در حالت بدون سایه بان (وضع موجود) است.

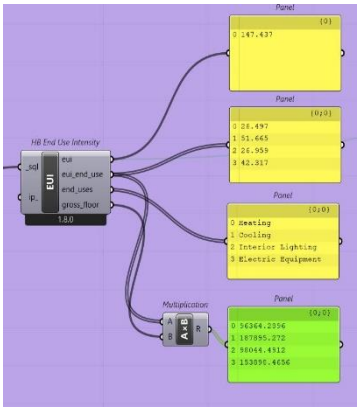




شکل ۸.تصویر سمت چپ :(ساختمان مورد نظر بدون سایه بان و در وضع کنونی) و تصویر سمت راست: (بیانگر میزان مصرف انرژی وضعیت موجود) است. منبع: نگارنده

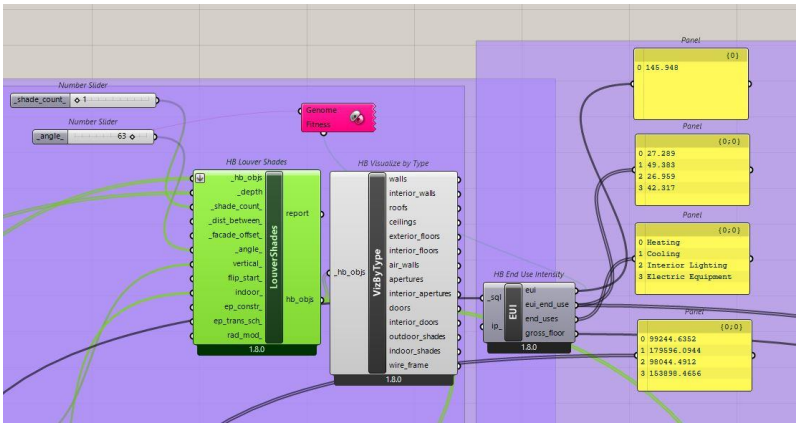
در مرحله‌ی بعد با در نظر گرفتن سایه‌بان‌هایی افقی با عمق ۵۰ سانت، تغییری در مصرف انرژی کلی حاصل می‌گردد که این میزان از ۱۵۳,۲۱ کیلووات بر مترمربع به ۱۴۷,۴۳۷ کیلو وات بر مترمربع می‌رسد که نسبت به حالت قبل (بدون سایه بان) کاهش داشته است. آن چه که از نتایج مشخص است، مصرف انرژی به منظور گرم نمودن فضا از ۲۹,۵۳۱ به ۲۶,۴۹۷ و مصرف انرژی سرمایشی از ۵۴,۴۰۳ به ۵۱,۶۶۵ کاهش داشته است. همچنین در دو حالت دیگر (روشنایی داخلی و تجهیزات الکترونیکی) تغییری در میزان مصرف انرژی حاصل نگردیده است(شکل ۹).





شکل ۹.تصویر سمت چپ :(ساختمان مورد نظر با سایه بان افقی و در وضعیت پیشنهادی) و تصویر سمت راست: (بیانگر میزان مصرف انرژی وضعیت پیشنهادی) است. منبع: نگارنده

در گام بعدی در نظر گرفته شد تا بهترین زاویه‌ی سایه‌بان های مذکور به منظور کاهش مصرف انرژی مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به روند بهینه سازی و تعیین زاویه‌ی سایه‌بان به عنوان متغیر مستقل (ژنوم) و کاهش میزان eui به عنوان متغیر وابسته(هدف)، نتیجه‌ای که حاصل شد بیانگر آن است که با تغییر زاویه از حالت افقی به ۶۳ درجه نسبت به افق کمترین میزان مصرف انرژی حاصل می گردد. بنابراین زاویه ۶۳ درجه برای سایه‌بان‌های پروژه‌ی مذکور زاویه‌ای مطلوب است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. تعیین زاویه‌ی بهینه در سایه‌بان‌های پروژه‌ی مذکور به منظور کاهش مصرف انرژی. منبع: نگارنده

با توجه به نتایج حاصل شده آنچه که مشهود است با رعایت زاویه‌ی ۶۳ درجه برای سایه بان‌ها، میزان eui کاهش یافته و به ۱۴۵ کیلووات بر مترمربع خواهد رسید. جدول ۲ نیز بیانگر میزان مصرف انرژی به تفکیک در صورت وجود سایه بان برای هرکدام از جهات چهارگانه (شمالی، شرقی، جنوبی و غربی) است. نتایج نشان می‌دهد که با ایجاد سایه بان بر روی بازشوهای جنوبی، میزان مصرف انرژی سرمایشی در مقایسه با سایر جهات کاهش می یابد. همچنین میزان مصرف انرژی کلی (EUI) با قرارگیری سایه بان بر روی این جبهه در مقایسه با سایر جهات کمتر بوده و حدود ۱۴۸/۲۱ کیلووات بر مترمربع است (جدول ۲).

جدول۲-جدول نمایش میزان مصرف انرژی در صورت وجود سایه بان‌های مجزا برای جهات چهارگانه، منبع:نگارنده

جهت قرارگیری پنجره	Eui	مصرف انرژی گرمایشی	مصرف انرژی سرمایشی
شمالی	۱۴۸/۳۴	۲۶/۰۲	۵۳/۰۴
شرقی	۱۴۸/۴۴	۲۶/۱۰	۵۳/۰۶
جنوبی	۱۴۸/۲۱	۲۶/۵۴	۵۲/۴۰
غربی	۱۴۸/۴۵	۲۶/۱۱	۵۳/۰۵

نتایج این پژوهش بطور کلی با پژوهش لیو و همکاران (۲۰۱۹) که اقدام به بهینه سازی مصرف انرژی از طریق ایجاد سایه بان بر روی بازشوها نموده اند، مطابقت داشته اما با بخشی که اعمال آفتابگیر موجب صرفه جویی مصرف انرژی بیشتری در نمای غربی می گردد، مغایرت دارد.

بطور مثال نتایج مذکور نشان می‌دهد که با اعمال آفتابگیر در جبهه غربی ساختمان، ۸٪ در مصرف انرژی این ساختمان‌ها صرفه جویی می‌گردد.

نتایج این پژوهش با پژوهش سقیوری و همکاران (۲۰۱۸) نیز که بیانگر موثر بودن سایه انداز بیرونی در بهبود آسایش حرارت داخلی است، مطابقت دارد. با بکارگیری سایه بان‌ها در جبهه جنوبی نمای این پروژه، تقاضای سالانه انرژی سرمایشی کاهش یافته و این امر موجب افزایش کیفیت آسایش حرارتی در فضاهای داخلی می‌گردد. این موضوع در پژوهش کابانشی و همکاران و کیم و همکاران که تاثیر سایه بان‌ها را بر روی ساختمان‌های اداری مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند، نیز صادق است.

نتیجه گیری

طراحی سایه‌بان و فرآیند بهینه سازی شاخصه‌های مختلف آن، جنبه‌ای مهم از مهندسی معماری و محیطی است که هدف آن افزایش بهره‌وری انرژی، راحتی ساکنین و عملکرد کلی ساختمان است. دستگاه‌های سایه بان موثر می‌تواند به طور قابل توجهی افزایش گرمای خورشیدی را کاهش داده و در نتیجه نیاز به انرژی سرمایشی را نیز منطقی‌تر کند. این امر موجب بهبود آسایش حرارتی داخلی نیز می‌گردد.

مطالعات نشان می‌دهد که بهینه‌سازی طراحی سایه‌بان یک فرآیند چند وجهی است که نیاز به درک جامعی از اصول معماری، شرایط آب و هوایی و نیازهای ساکنین دارد. با به‌کارگیری تکنیک‌های بهینه‌سازی و در نظر گرفتن پارامترهای مختلف طراحی، معماران و مهندسان می‌توانند سایه‌بان‌های موثری را ایجاد کرده که بهره وری انرژی و راحتی ساکنین را افزایش داده و موجب ارتقای آسایش حرارتی ساکنین گردند. بطورکلی نتایج این پژوهش بیانگر آن است که میزان مصرف انرژی سرمایشی در تیر و مرداد ماه به بیشترین میزان مصرف خود می‌رسد که وجود سایه‌بان می تواند به طور قابل توجهی در کاهش این مصرف اثر گذار باشد. همچنین در خروجی حاصل از بهینه سازی مشخص شد که بهترین زاویه برای سایه بان‌ها در ساختمان مذکور به منظور دستیابی به بالاترین کاهش مصرف انرژی، زاویه‌ی حدود ۶۳ درجه است. از دیگر نتایج این تحقیق می توان به این موضوع اشاره کرد که تاثیر مثبت سایه بان بر روی جداره‌ی جنوبی بیشتر از سایر جداره هاست.

بدین معنا که به کارگیری سایه بان در جداره‌ی جنوبی با کاهش مصرف انرژی بیشتری در مقایسه با سایر جداره‌ها همراه است.

در حوزه محدودیت‌های پژوهش و همچنین پیشنهاد در جهت انجام پژوهش‌های آتی نیز می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- قابل تامل است که اعمال یا عدم اعمال سایه‌بان به شیوه‌های متفاوتی می‌تواند بر میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها اثرگذار باشد که به دلیل گستردگی موضوع در حوزه‌های مختلف، صرفا انرژی گرمایشی و سرمایشی مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه پیشنهاد می‌گردد که پژوهش‌های آتی در زمینه تاثیرات سایه‌بان بر میزان مصرف انرژی روشنایی ساختمان‌ها نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

- همچنین با توجه به اهمیت متریال پوششی در سایه بان‌ها می‌توان پژوهشی جداگانه را در این راستا به منظور دستیابی به متریالی با قابلیت مصرف انرژی بهینه برای بازشوها در نظر گرفت.

-با توجه به فرآیند شبیه سازی و احتمال وجود خطا در آن، توصیه می‌گردد که در تحقیقات آتی و تکمیلی، پژوهش‌هایی مبتنی بر داده‌های واقعی به منظور اعتبارسنجی بیشتر نتایج و همچنین ارتقای آن‌ها انجام گیرد.

References

[1] Sabri, R., R. Rostami, and F. Mozaffari Qhadikolaei, Thermal Performance of Double-layer Green Walls in Optimizing Energy Consumption in a Typical Commercial Office Building in Tehran. Karafan Journal, ۲۰۲۴. ۲۰(۴): p. ۱۷۹–.۱۹۴

[2] Wang, Y. and C. Wei, Design optimization of office building envelope based on quantum genetic algorithm for energy conservation. Journal of Building Engineering, ۲۰۲۱. ۳۵: p. .۱۰۲۰۴۸

[3] Jaber, S. and S. Ajib, Thermal and economic windows design for different climate zones. Energy and Buildings, ۲۰۱۱. ۴۳(۱۱): p. ۳۲۰۸–.۳۲۱۵

[4] Atmaca, A. and N. Atmaca, Comparative life cycle energy and cost analysis of post-disaster temporary housings. Applied energy, ۲۰۱۶. ۱۷۱: p. ۴۲۹–.۴۴۳

[5] Schwartz, Y., R. Raslan, and D. Mumovic, Implementing multi objective genetic algorithm for life cycle carbon footprint and life cycle cost minimisation: A building refurbishment case study. Energy, ۲۰۱۶. ۹۷: p. ۵۸–.۶۸

[6] Liu, M., et al., Research on Multi-Objective Optimization Design of University Student Center in China Based on Low Energy Consumption and Thermal Comfort. Energies, ۲۰۲۴. ۱۷(۹): p. .۲۰۸۲

[7] Zhao, J. and Y. Du, Multi-objective optimization design for windows and shading configuration considering energy consumption and thermal comfort: A case study for office building in different climatic regions of China. Solar Energy, ۲۰۲۰. ۲۰۶: p. ۹۹۷–.۱۰۱۷

[8] Sedaghatnia, M., et al., Energy and daylight optimization of shading devices, window size, and orientation for educational spaces in Tehran, Iran. Journal of Architectural Engineering, ۲۰۲۱. ۲۷(۲): p. .۰۴۰۲۱۰۱۱

[9] Lee, J.-W., et al., Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements. Renewable energy, ۲۰۱۳. ۵۰: p. ۵۲۲–.۵۳۱

[10] Liu, S., et al., Investigating the energy saving potential of applying shading panels on opaque façades: A case study for residential buildings in Hong Kong. Energy and Buildings, ۲۰۱۹. ۱۹۳: p. ۷۸–.۹۱

[11] Palmero-Marrero, A.I. and A.C. Oliveira, Effect of louver shading devices on building energy requirements. Applied energy, ۲۰۱۰. ۸۷(۶): p. ۲۰۴۰–.۲۰۴۹

[12] Chou, C.-P., The performance of daylighting with shading device in architecture design. Journal of Applied Science and Engineering, ۲۰۰۵. ۷(۴): p. ۲۰۵–.۲۱۲

[13] Heydari, E., J. Mehdinezhad, and P. Doulabi, Strategic principles of designing the form of a residential building in Bushehr based on reducing energy consumption. Karafan Journal, ۲۰۲۲. ۱۸(۴): p. ۳۴۵–.۳۶۱

[14] Downs, N., et al., Optimizing the Seasonal Shade and Ultraviolet Protection of a Suburban Playground by Utilization of the Playground Shade Index. Photochemistry and Photobiology, ۲۰۲۳. ۹۹(۶): p. ۱۴۸۳–.۱۴۹۲

[15] Kabanshi, A., et al., Windows of opportunities: orientation, sizing and PV-shading of the glazed area to reduce cooling energy demand in Sub-Sahara Africa. Energies, ۲۰۲۳. ۱۶(۹): p. .۳۸۳۴

[16] Kim, M., et al., A study on external shading devices for reducing cooling loads and improving daylighting in office buildings. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, ۲۰۱۵. ۱۴(۳): p. ۶۸۷–۶۹۴

[17] Bazazzadeh, H., et al., Efficient shading device as an important part of daylightophil architecture; a designerly framework of high-performance architecture for an office building in Tehran. Energies, ۲۰۲۱. ۱۴(۲۴): p. .۸۲۷۲

[18] Khidmat, R.P., et al., The optimization of louvers shading devices and room orientation under three different sky conditions. Journal of daylighting, ۲۰۲۲. ۹(۲): p. ۱۳۷–.۱۴۹

[19] Nazari, S., P. Keshavarz Mirza Mohammadi, and P. Sareh, A multi-objective optimization approach to designing window and shading systems considering building energy consumption and occupant comfort. Engineering Reports, ۲۰۲۳. ۵(۱۰): p. e.۱۲۷۲۶

[20] Khoroshiltseva, M., D. Slanzi, and I. Poli, A Pareto-based multi-objective optimization algorithm to design energy-efficient shading devices. Applied energy, ۲۰۱۶. ۱۸۴: p. ۱۴۰۰–.۱۴۱۰

[21] Manzan, M. and R. Padovan, Multi-criteria energy and daylighting optimization for an office with fixed and moveable shading devices. Advances in Building Energy Research, ۲۰۱۵. ۹(۲): p. ۲۳۸–.۲۵۲

[22] Settino, J., et al., Multi-objective analysis of a fixed solar shading system in different climatic areas. Energies, ۲۰۲۰. ۱۳(۱۲): p. .۳۲۴۹

[23] Alajmi, A.F., F. Aba-Alkhail, and A. ALAnzi, Determining the optimum fixed solar-shading device for minimizing the energy consumption of a side-lit office building in a hot climate. Journal of Engineering Research, ۲۰۲۱. ۹(۲): p. ۳۲۰–.۳۳۵

[24] Rana, M.J., M.R. Hasan, and M.H.R. Sobuz, An investigation on the impact of shading devices on energy consumption of commercial buildings in the contexts of subtropical climate. Smart and Sustainable Built Environment, ۲۰۲۲. ۱۱(۳): p. ۶۶۱–.۶۹۱

[25] Gholizade, F., L.A. Hamidian Divkolaei, and S.M. Bagheri, Assessing the Effect of Changes in the Official Time of the Country (DST) on the Consumption of Heating and Cooling Energy of an Office Building in Cold, Temperate and Warm Climates. Karafan Journal, ۲۰۲۴. ۲۰(۴): p. ۲۳۵–.۲۵۳

[26] Sari, D.P., Visualising daylight for designing optimum openings in tropical context. ARSNET, ۲۰۲۴. ۴(۱): p. ۷۲–۸۵–۷۲–.۸۵

[27] Pilechiha, P., Optimization Methods and Algorithms in Architectural and Urban Design, Basic Mathematical Solutions. Naqshejahan-Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning, ۲۰۲۰. ۱۰(۳): p. ۲۰۵–.۲۱۷

[28] Rutten, D., Galapagos: On the logic and limitations of generic solvers. Architectural Design, ۲۰۱۳. ۸۳(۲): p. ۱۳۲–.۱۳۵