

Original Research Article

Daylightophil educational buildings: A case study of optimizing the southern wall openings of the classrooms in Semnan

Neda Marufi¹, Mohammadjavad Mahdavejad^{2*}, Hossein Moradi Nasab³

¹ PhD student of Architecture, Department of Architecture, Islamic Azad University of Semnan, Iran

² Professor at the Department of Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

³ Assistant professor at the Department of Architecture, Islamic Azad University of Semnan, Iran



10.22034/AHDC.2023.18776.1668

Received:

July 28, 2022

Accepted:

February 12, 2023

Keywords:

Optimization of energy consumption, Daylight, Simulation, Excellent architecture, educational building, Semnan City

Abstract

The thermal performance and lighting of buildings are two critical factors in architectural designs due to the need for energy consumption while establishing the residents' comfort. The design of the facade of the building as an external shell is critical. This is because it is the place of heat exchange between the building and the surrounding environment, absorption of solar energy, and penetration of light into the interior environment. Theoretical framework of the research was built on the high-performance architecture and daylightophil architecture theories of optimizing energy consumption in buildings with a special focus on useful daylight illuminance (UDI), spatial daylight autonomy (sDA), annual sunlight exposure (ASE) and other critical daylight factors. The research method in this study was descriptive-analytical. With regard to the importance of educational spaces, the energy consumption there and the central role of classrooms, this research deals with the south facade of one of the classrooms in the Islamic Azad University of Semnan. It has been investigated and simulated with the Rhino software, Grasshopper, Ladybug, Honeybee, Energy Plus plugins, thermal performance analysis, and the genetic algorithm in the Galapagos component by changing the dimensions of the studied class windows. The findings of the research showed that, by optimizing the classroom, energy consumption in the south wall would decrease by 12%, and more than 50% of the classroom environment would receive useful daylight. Based on the LEED evaluation method, both indexes of the spatial adequacy of daylight and annual direct sunlight for lighting the educational buildings obtained the necessary scores. The results also showed that the form and arrangement of the apertures in the south wall of the studied classroom were effective in receiving light and energy consumption, and the highest illumination and the lowest energy consumption were apertures with smaller dimensions and greater dispersion than the existing windows in the climate of Semnan City.



Extended Abstract

1. Introduction

The limitation in energy resources and the significant increase in their consumption in Iran compared to the world average have doubled the necessity of optimizing energy consumption in this country. The thermal performance and lighting of buildings are two important factors in architectural designs due to the need to consume energy and, at the same time, to establish comfort of the residents. The design of the facade of the building as an external shell where the heat exchange of the building and the surrounding environment occurs, the absorption of solar energy, and the penetration of light into the interior environment are very important factors. Windows are one of the most important components of building architecture and have always been of interest from the point of view of thermal and cooling energy loss. This importance is for two basic reasons, the heat transfer coefficient being higher than that of windows and the passage of most of the solar radiation through them. The main goal of this research is to present an optimal model based on positioning and changing the dimensions of windows through reducing energy consumption and practical use of daylight in an educational building in Semnan City.

2. Research Methodology

In this research, attention has been paid to the optimal pattern and environmental compatibility of the southern walls of the educational buildings in Semnan City. The method of research and data collection in this research was the examination of the form of windows and field observations in a classroom with south-facing windows in Semnan Azad University. In order to validate the software model and study the classroom lighting performance, the lighting intensity was measured by a lux meter. The dimensions of the studied classroom were considered independent variables. Also, the amount of energy consumption, the dimensions of windows, and lighting were considered dependent variables. Simulation provides a set of methods and tools to evaluate real systems, which is done by computer and software. Modeling in this research was based on a case study with the Rhinoceros software and the Grasshopper plug-in. Then, using the Galapagos plug-in optimizer engine, the most optimal mode was selected among the possible window arrangement modes, daylight simulation was done using Ladybug, Honeybee plug-ins, and the Energy Plus engine was used to analyze the thermal performance. The daylight indicators examined in this research were selected from those that are more important and popular in daylight research and standards. They include Useful Daylight Illuminance, Spatial Daylight Autonomy and Annual Sunlight Exposure. The desirable sample was obtained from the software and was made using wood materials on the scale of 1:7. To test the efficiency of this model, illuminance was measured using a lux meter.

3. Results and discussion

The results of evaluating the light intensity in the studied classroom proves the accuracy of the software and shows that parts of the classroom receive less than 300 lux while the parts close to the windows receive more than 500 lux of light. In this project, according to the dimensions of the wall and the form of the windows, the grid is done on the wall, and the result of the optimization

software shows that windows with dimensions of 13 x 13 cm to 65 x 65 cm are appropriate. According to the findings, by optimizing the classroom through south-facing windows, the energy consumption decreases by 12%. In the reference classroom, part of the place between the windows receives useful daylight in less than 30% of the total time. This problem is not present in the optimized sample. By using grids and windows designed in a decentralized manner on the surface of the facade, more than 50% of the classroom environment can receive useful daylight illuminance. The simulation results show that Spatial Daylight Autonomy is 94.7% and Annual Sunlight Exposure is 10%. Both of these indices are acceptable. The examination of the Spatial Daylight Autonomy indicates that a part of the classroom receives little light. To compensate for it, the use of artificial light in very small quantities is suggested.

4. Conclusion

The results show that the form and arrangement of the apertures in the south wall of the studied classroom are effective in receiving light and in energy consumption. The highest illumination and the lowest energy consumption belong to apertures with smaller dimensions and greater dispersion than the existing windows in the climate of Semnan City. Also, based on the certificate of optimal energy consumption and environmental design, both Spatial Daylight Autonomy and Annual Sunlight Exposure indices have obtained the necessary scores in the discussion of lighting for optimized classrooms. So, the proposed model is acceptable.

نوردوستی در ساختمان‌های آموزشی؛ نمونه مطالعاتی: بهینه‌سازی جداره‌های جنوبی کلاس درس در شهر سمنان

ندا معروفی^۱، محمدجواد مهدوی نژاد^{۲*}، حسین مرادی نسب^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه معماری، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران.

۲- استاد گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳- استادیار گروه معماری، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران.

چکیده

عملکرد حرارتی و روشنایی ساختمان‌ها با توجه به نیاز به مصرف انرژی، هم‌زمان با برقراری آسایش ساکنین، دو عامل پر اهمیت در طراحی معماری است. طراحی نمای ساختمان به عنوان پوسته خارجی که محل تبادل حرارت بنا با محیط اطراف، جذب انرژی‌های خورشیدی و نفوذ نور به محیط داخلی، بسیار حائز اهمیت است. چارچوب نظری پژوهش براساس نظریه معماری سرآمد و معماری نوردوست، با هدف بهره‌وری در مصرف انرژی بنیان نهاده شده است. روش تحقیق در این پژوهش توصیفی-تحلیلی و از جنبه هدف، کاربردی است. با توجه به اهمیت فضاهای آموزشی و میزان مصرف انرژی در این حوزه و نقش و جایگاه محوری کلاس‌های درس، در این پژوهش، نمای جنوبی یکی از کلاس‌های دانشگاه آزاد اسلامی سمنان به عنوان مطالعات میدانی مورد بررسی قرار گرفته و در نرم افزار راینو شبیه‌سازی و با پلاگین‌های گرس هاپر، لیدی باگ، هانی بی، انرژی پلاس، عملکرد حرارتی، آنالیز و با کمک روش الگوریتم ژنتیک در کامپوننت گالاپاگوس با تغییر در ابعاد پنجره‌ها، مصرف انرژی کلاس مورد مطالعه، بهینه‌سازی شده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد با بهینه‌سازی کلاس، از طریق پنجره‌های جداره جنوبی، مصرف انرژی ۱۲ درصد کاهش یافته است و بیش از ۵۰ درصد از محیط کلاس، روشنایی مفید نور روز را دریافت می‌کند. براساس گواهینامه مصرف بهینه انرژی و طراحی زیست‌محیطی، هر دو شاخص کفایت فضایی نور روز و دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید برای بحث روشنایی در ساختمان‌های آموزشی، امتیاز لازم را کسب کرده است. نتایج نشان می‌دهد که فرم و چیدمان روزنه‌ها در جداره جنوبی کلاس مورد مطالعه، در دریافت نور و مصرف انرژی، موثر بوده و بیشترین روشنایی و کمترین مصرف انرژی را روزنه‌هایی با ابعاد کوچک‌تر و پراکندگی بیشتر نسبت به پنجره‌های وضع موجود در اقلیم شهر سمنان دارند.

تاریخ دریافت:

۰۶ مرداد ۱۴۰۱

تاریخ پذیرش:

۲۳ بهمن ۱۴۰۱

کلیدواژه‌ها:

بهینه‌سازی مصرف انرژی، نور روز، شبیه‌سازی، معماری سرآمد، ساختمان آموزشی، شهر سمنان

doi: 10.22034/AHDC.2023.18776.1668

E-ISSN: 2645-372X /© 2023. Published by Yazd University This is an open access article under the CC BY 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



نویسنده مسئول: محمدجواد مهدوی نژاد. آدرس پستی: تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده هنر و معماری، گروه معماری.

Email: mahdavinejad@modares.ac.ir

۱ مقدمه

امروزه انرژی در کشورهای در حال توسعه مسئله مهمی است و سبک جدیدی را در معماری مدرن کشورهایی مانند ایران ایجاد کرده است. همچنین محدودیت در منابع انرژی و افزایش چشم‌گیر مصرف آن‌ها در ایران نسبت به میانگین جهانی، ضرورت بهینه‌سازی مصرف انرژی در این کشور را دوچندان کرده است (Mahdavinejad & Nazar, 2017).

از دیرباز انرژی خورشید در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، نقش فعالی در تامین نیازهای گرمایشی و روشنایی ساختمان‌ها داشته است. گرمای حاصل از نور خورشید در فصل زمستان سبب کاهش بار گرمایشی ساختمان و این دریافت در فصل گرم، سبب افزایش بار سرمایشی ساختمان و مصرف سوخت می‌شود. یکی از عوامل مهم برای بهبود بهره‌وری انرژی در ساختمان، کنترل تابش خورشیدی است (وهایی و مهدوی نیا، ۱۳۹۵). آمارها نشان می‌دهد انرژی مورد استفاده در ساختمان‌ها در ایران حدود ۴۰/۶٪ کل انرژی مصرف شده در سراسر کشور است. همچنین، ساختمان‌های آموزشی که بخش عمده‌ای از ساختمان‌های عمومی را تشکیل می‌دهند از مهمترین مصرف‌کنندگان انرژی در ایران هستند. با توجه به مصرف زیاد انرژی در ایران، تعداد زیادی از کلاس‌های درس هنوز از آسایش حرارتی برخوردار نیستند و هیچ استاندارد برای ساخت مدارس با مصرف انرژی کمتر وجود ندارد (AibaghiEsfahani, Momeni & Hassan, 2020). معماری مدرن با بهره‌گیری از رشد تکنولوژی و نگاه ماشینی به ساختمان باعث عدم تطابق ساختمان‌ها با بستر آن‌ها و در نتیجه آسیب‌های زیست‌محیطی و افزایش استفاده از منابع انرژی گردید. یکی از راهکارهای کاهش اتلاف انرژی، طراحی ساختمان‌های تطبیق پذیر با شرایط محیطی بیرون بوده است (برزویی، زندیه و حیدری، ۱۳۹۹). موقعیت جغرافیایی ایران موجب شده که امکان دریافت میزان قابل توجهی از انرژی تابشی خورشید فراهم باشد. در این شرایط، با توجه به محدود بودن ذخایر سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از سوزاندن آن‌ها، طراحی معماری مناسب می‌تواند با استفاده از راه کارهای سامانه‌های غیرفعال، به کاهش انرژی مصرفی نهایی ساختمان منجر شود. تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز در ساختمان‌های انرژی کارا توسط خود بنا یکی از راهبردهای توصیه شده در کاهش سهم عمده بخش ساختمان در کل سرانه مصرف انرژی است (فرهنگی خانقاه، گرجی مهبلیانی، مفیدی شمیرانی و مدی، ۱۴۰۰). نمای ساختمان نقش اصلی را در بهبود بهره‌وری انرژی ساختمان ایفا می‌کند درحالی‌که از نظر زیبایی، چهره عمومی یک ساختمان است. بنابراین، به طور قابل توجهی بر ادراک مردم از یک ساختمان تأثیر می‌گذارد (Valitabar, Mahdavinejad & Henry Skates, 2021). نقش نمای ساختمان بسیار حائز اهمیت است چراکه می‌تواند نقشی اساسی در این زمینه را ایفا نماید و موجب کاهش مصرف انرژی و همچنین تامین بخشی عمده از آن انرژی گردد (بهنام، ۱۳۹۵). استفاده روزافزون از نورپردازی الکتریکی که در دسترس و کنترل شدنی است، سبب شده که بسیاری از معماران و طراحان، تأثیر نور طبیعی در ساختمان را به فراموشی بسپارند و قابلیت نور طبیعی را در بهبود کیفیت معماری نادیده بگیرند (Mahdavinejad & Kia, 2019). بازوها از مهم‌ترین اجزای معماری ساختمان هستند که از دیدگاه اتلاف انرژی حرارتی و برودتی، به دو دلیل اساسی، ضریب انتقال حرارت بیشتر نسبت به جداره‌ها و عبور بخش اعظم تشعشع‌های خورشیدی از خود، همواره مورد توجه بوده‌اند. بر این اساس بررسی تأثیر سطح پنجره‌ها در کاهش مصرف انرژی و عملکرد سیستم روشنایی به طور همزمان حائز اهمیت است. نور روز همیشه تمرکز اصلی طراحان بوده است. امروزه به دلیل نگرانی‌های اقتصادی، بهداشتی و زیست‌محیطی، نور روز اهمیت زیادی پیدا کرده است. اما به دلیل موقعیت مکانی و محدودیت‌های معماری، استفاده از نور طبیعی در تمامی فضاهای داخلی چالشی است که معماران با آن مواجه هستند (Arbab, Mahdavinejad & Bemanian, 2020) با توجه به ویژگی اقلیم شهر سمنان، تابش خورشید از اهمیت زیادی برخوردار است به همین علت شکل و فرم پنجره‌ها به عنوان محل ورود نور خورشید حائز اهمیت است. حال باید این نکته را در نظر بگیریم که فرم پنجره‌های ساخته شده در شهرهای متفاوت

ایران و رسیدن به الگو ثابت در فرم پنجره نمی‌تواند پاسخگو نیاز کاربران در اقلیم‌های متفاوت باشد. ساختمان‌های آموزشی عموماً شامل فضاهایی با کاربری‌های متنوعی هستند. با این حال کلاس‌های درس علاوه بر نقش و جایگاه محوری خود، بیشترین سطح مدارس را نیز تشکیل می‌دهند. علیرغم مطالعات متعدد در مورد بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها در دهه‌های گذشته، اکثر ساختمان‌های جدید با توجه به ادغام نور روز با روشنایی الکتریکی به درستی طراحی نشده‌اند. هدف اصلی این پژوهش ارائه یک مدل بهینه، براساس مکانیابی و تغییر ابعاد پنجره‌ها با توجه به آسایش بصری ساکنین با هدف کاهش مصرف انرژی در ساختمان آموزشی در شهر سمنان است.

پرسش‌های پژوهش

۱- پراکندگی روزه‌ها، در جداره جنوبی کلاس‌های درس در ساختمان‌های آموزشی شهر سمنان، چه تاثیری در ایجاد شرایط آسایش دارد؟

۲- چگونه می‌توان از طریق طراحی پارامتریک در نما جنوبی کلاس‌های آموزشی، علاوه بر بهره‌وری در مصرف انرژی استفاده بهینه از نور روز را نیز فراهم آورد؟

۳- تغییر در تعداد و ابعاد پنجره‌های نما جنوبی ساختمان آموزشی شهر سمنان، بر میزان مصرف انرژی چه تاثیری دارد؟

۲ پیشینه تحقیق

فناوری معماری و علوم ساختمان همواره به دنبال بهره‌گیری از روش‌هایی بوده است که امکان کاهش مصرف انرژی و افزایش آسایش محیطی را فراهم آورد (حافظی، زمردیان و تحصیلدوست، ۱۳۹۵). یکی از مقرون به صرفه‌ترین روش‌های صرفه جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌ها، کاهش نیاز به انرژی از طریق معماری پاسخگو به آب و هوا است (Nasrollahi, 2013 & Zomorodian) و همچنین بهینه‌سازی طراحی کارآمد انرژی نه تنها یک فلسفه طراحی است بلکه یک کاربرد عملی نیز محسوب می‌شود و تکنیکی که در چند سال گذشته توسط معماران پیشنهاد شده است (Tian, Chen & Jin, 2016). از آن‌جا که کمتر بخشی از بنا همانند نماهای ساختمانی، توأمان بر کارایی، جلوه‌های بصری و ظاهر ساختمان مؤثر است، لذا در عمده پژوهش‌های صورت گرفته با کمک نرم افزارهای شبیه‌سازی انرژی، به بررسی جداره‌های ساختمان، تعیین ابعاد و هندسه پنجره و جانمایی صحیح آن‌ها با توجه به اقلیم پرداخته شده است، که در جدول ۱، پژوهش‌های گذشته بررسی شده است.

جدول ۱: بررسی روش تحقیق و تجارب پژوهش‌های گذشته (ماخذ: نگارندگان).

مرجع	فاکتورهای اندازه‌گیری شده	رویکرد پژوهش	ابزار شبیه‌سازی	اقلیم
Kazemzadeh, Tahbaz, 2013	- شدت نور - خیرگی - مصرف انرژی	تجزیه و تحلیل شبیه‌سازی نور و بهینه‌سازی انرژی	- ECOTECT	سرد و خشک
Ahmed Mahmoud, Elghazi, 2016	- شدت روشنایی - مصرف انرژی	شبیه‌سازی پارامتریک پوسته‌های متحرک	- Grasshopper - DIVA	گرم و خشک
Zhang, Bokel, et al, 2017	- نور روز - مصرف انرژی - خیرگی	بهینه‌سازی چند هدفه حداکثر رساندن روشنایی مفید نور روز	- EnergyPlus - Radiance - Octopus	سرد
Montaser Koohsari, Fayaz, Kari,	- عملکرد نور روز - مصرف انرژی	تعیین اندازه مناسب روزه‌ها در فضای آموزشی	- EnergyPlus - Daysim - Radiance	معتدل

	-Rhino			2018	
گرم و خشک	-Honeybee -Grasshopper	تعیین نسبت بهینه پنجره به دیوار کلاس	- عملکرد نور روز - مصرف انرژی	Motazedian, 2019	۵
گرم و خشک	-Grasshopper -Honeybee -Ladybug	بهینه‌سازی نمای ساختمان اداری با استفاده از الگوریتم ژنتیک با رویکرد پایداری	- میزان تابش خورشیدی دریافتی توسط پوشش ساختمان - مصرف انرژی	Jalali, Noorzai & Heidari, 2020	۶
گرم و نیمه خشک	-Grasshopper -Honeybee -Ladybug -EnergyPlus -Octopus	بهینه‌سازی چند هدفه نور و انرژی ارزیابی یک اتاق اداری. بررسی اندازه و مکان پنجره‌ها	- کیفیت دید به بیرون - نور دریافتی روز - مصرف انرژی	Pilechiha, Mahdavinejad & Rahimian, 2020	۷
گرم و خشک	-Grasshopper -Rhinoceros -Honeybee -Ladybug	بهینه‌سازی مصرف انرژی در کلاس درس	- آسایش بصری - نور روز - مصرف انرژی	Bakmohammadi &Noorzai,2020	۸
گرم و خشک	-Rhinoceros -Grasshopper -DIVA	بررسی راحتی بصری در ارسی‌ها	- فاکتورهای نور روز	Hosseini, Hosseini& HeiraniPour,2020	۹
گرم و خشک	-Grasshopper -Honeybee -Ladybug -EnergyPlus	بررسی تاثیر سایبان ثابت و متحرک در پنجره‌های اداری بر اساس بهینه‌سازی دریافت نور و انرژی	- نور دریافتی روز - مصرف انرژی - سایه‌بان ثابت و متحرک	Bazazzadeh, 'Swit- Jankowska,Faze li Nadolny, Safarali Najar Hashemi, Safaei & Mahdavinejad, 2021	۱۰
عرض‌های جغرافیایی مختلف	-Honeybee -Ladybug -Honeybee Plus	بهینه‌سازی فضاهای بدون پنجره	- نور روز دریافتی در عمق ساختمان	Goharian, Mahdavinejad, Bemnian & Daneshjoo2022	۱۱

۲-۱ تعریف واژگان

- نور روز

موضوع نور روز در معماری، به مقوله نور طبیعی در ساختمان‌ها ارتباط دارد و به ملزومات فراهم کردن کیفیت دیداری مطلوب، به وسیله تامین میزان بهینه روشنایی در فضا می‌پردازد. هدف از تامین نور طبیعی در ساختمان‌ها، تنها به مسائل اقتصادی خلاصه نمی‌شود. نور، برای فیزیولوژی و سلامت انسان اهمیت به‌سزایی دارد، زیرا بشر همواره در محیطی زیسته است که دائماً در معرض نور طبیعی قرار داشته و برای سلامتی و آسایش خود به آن نیاز دارد (محقق، فلاح زواره، ترکاشوند و فیضی ۱۴۰۰).

روشنایی مفید نور روز: Useful Daylight Illuminance (UDI)

روشنایی مفید نور روز همان‌گونه که از اسم آن بر می‌آید نشان دهنده آن است که روشنایی طبیعی در دسترس در ساختمان، در چه میزان از کل زمان‌های مورد اشغال آن مفید و قابل استفاده بوده (بین ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس) و نیز چه درصدی از آن خیلی تاریک (کمتر از ۳۰۰ لوکس) و یا خیلی روشن (بیش از ۳۰۰۰ لوکس) است (Dutra, 2017).

- کفایت فضایی نور روز^۱

کفایت فضایی نور روز نیز جزء شاخص‌های پویا بوده و واحد ارزیابی روشنایی است که درصدی از سطح فضای کاری داخلی که به روشنایی طبیعی کافی دسترسی دارند را تعیین می‌نماید. براساس پیشنهاد جامعه مهندسان روشنایی IES ۲ به‌منظور تامین روشنایی کافی در هر نقطه از سطح فضای کاری، حداقل کفایت فضایی نور روز ۵۰ درصد با حداقل روشنایی طبیعی مورد نیاز ۳۰۰ لوکس در زمان‌های کاری بین ۸ صبح تا ۶ بعد از ظهر تعریف شده است (میری، محسن کمپانی، ۱۳۹۳).

- دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید^۳

دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید واحد ارزیابی روشنایی که به تابش مستقیم خورشید به عنوان منبع بالقوه ناراحتی بینایی نگاه می‌کند و درصد مساحت کف را که بیش از یک میزان روشنایی مستقیم نور خورشید برای مدت مشخصی از ساعت است را اندازه گیری می‌کند (Dutra, ۲۰۱۷). دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید درصدی از فضا است که میزان روشنایی مستقیم نور روز، از میزان ۱۰۰۰ لوکس، برای مدت زمان معینی از ساعات اشغال سالیانه فضا (۲۵۰ ساعت) بیشتر گردد. (فدایی اردستانی، ناصری مبارکی، آیت‌اللهی، زمردیان، ۱۳۹۷). براساس پیشنهاد ارائه شده توسط جامعه مهندسان، اگر نتیجه به دست آمده، بیشتر از ۱۰ درصد باشد به عنوان عدم رضایت از بینایی و غیر قابل قبول و کمتر از ۱۰ درصد، قابل قبول است.

- شاخص مصرف انرژی

شاخص عملکرد انرژی در برآورد مصرف ساختمان، EUI^۴ است. EUI یک متریک مرسوم مصرف انرژی در ساختمان است. با تقسیم کل بارهای انرژی سالانه (مجموع بارهای گرمایش، سرمایش و روشنایی) ساختمان براساس سطح ناخالص کف بنا محاسبه می‌شود. عملکرد انرژی ساختمان‌ها را می‌توان با مقایسه مقدار محاسبه شده شاخص EUI با برخی دیگر از مقادیر مرجع که نمایانگر خصوصیات انرژی در ساختمان هستند، ارزیابی کرد. گرمایش، سرمایش و روشنایی نیز به منظور ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان به طور جداگانه محاسبه می‌شود. واحد آن‌ها و همچنین شاخص EUI بر اساس (kWh / m2 . yr) مطرح می‌شود (رزمی، ۱۳۹۹).

LEED^۵

به معنای مدیریت انرژی و طراحی محیطی است. این سامانه اختیاری توسط شورای ساختمان سبز آمریکا در سال ۱۹۹۸ بنیان گردیده است. در این روش ارزیابی ۱ تا ۳ امتیاز برای بحث روشنایی در ساختمان‌های آموزشی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: دریافت امتیاز LEED (ماخذ: LEED v4,2020)

امتیاز LEED	تابش سالانه نور خورشید کفایت فضایی نور روز
۱	$SDA < 40\%$ ، $ASE < 10\%$
۲	$SDA < 50\%$ ، $ASE < 10\%$
۳	$SDA < 70\%$ ، $ASE < 10\%$

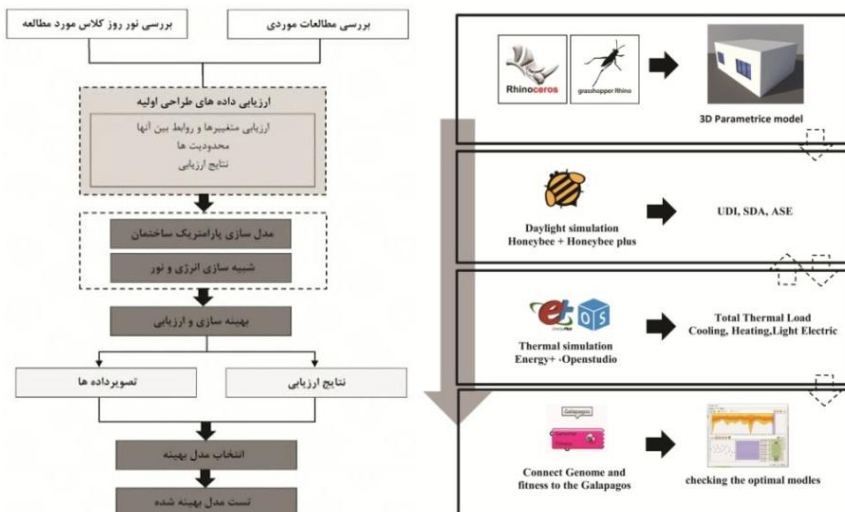
۳ مواد و روش‌ها

اهمیت استفاده از نور روز در معماری آشکار است و به‌طور معمول معمارها به دنبال روش‌های ساده برای تحلیل رفتار و کیفیت روشنایی در فضای طرح خود هستند. نور روز به کنترل روشنایی طبیعی در ساختمان‌ها اشاره دارد به طوری که به کمک آن آسایش بصری، حرارتی و روانی افراد مهیا شود (منتصر کوهساری، ۱۳۹۹). در طی دهه‌های اخیر، شاخص‌های زیادی برای اندازه‌گیری نور روز در داخل فضا معرفی شده است که می‌توان آن‌ها را به دو دسته تقسیم کرد: شاخص‌های ایستا یا استاتیک (شاخص‌های لحظه‌ای)، تحت شرایط بیرونی مشخص و ثابت (آسمان ابری یا بدون ابر) میزان روشنایی طبیعی را در فضای داخلی

بیان می‌کنند. شاخص‌های پویا یا دینامیک (شاخص‌های سالیانه)، شاخص‌های مبنی بر اقلیم هستند و یک مدل پیش بینی نور روز هستند که کمیت‌های مختلف روشنایی را با در نظر گرفتن وضعیت آسمان و موقعیت خورشید بر اساس داده‌های اقلیمی، شبیه‌سازی و ارزیابی می‌کنند. و از آن جایی که کمیت و کیفیت نور روز به صورت لحظه‌ای متغیر است بنابراین نوع ارزیابی‌های ایستا با محدودیت مواجه است و امروزه بیش از پیش شبیه‌سازی پویا مورد توجه و استفاده کاربران قرار دارد (میری، محسن کمپانی، ۱۳۹۳). با توجه به موارد ذکر شده، شاخص‌های نور روز مورد بررسی در این پژوهش نیز از شاخص‌هایی که اهمیت و رواج بیشتری در تحقیقات و استانداردهای نور روز دارد انتخاب شده است. که شامل روشنایی مفید نور روز، کفایت فضایی نور روز، دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید، است.

یکی از ابزارهای مناسب برای بهینه‌سازی مسائل چند هدفه، الگوریتم‌های ژنتیک است. الگوریتم ژنتیک تکنیک جستجویی در علم رایانه برای یافتن راه حل تقریبی برای بهینه‌سازی و مسائل جستجو است. قانون انتخاب طبیعی بدین صورت است که تنها گونه‌هایی از یک جمعیت ادامه نسل می‌دهند که بهترین خصوصیات را داشته باشند و آن‌هایی که این خصوصیات را نداشته باشند به تدریج و در طی زمان از بین می‌روند. الگوریتم ژنتیک یکی از الگوریتم‌های جستجوی تصادفی است که ایده آن برگرفته از طبیعت است (پورجعفری، داسمه، ۱۳۹۳). شبیه‌سازی، مجموعه‌ای از روش‌ها و ابزارها برای مشابه‌سازی سیستم‌های واقعی است که عموماً به وسیله کامپیوتر و نرم افزار انجام می‌شود. دستیابی به داده‌های شبیه‌سازی در مقایسه با سیستم‌های حقیقی معمولاً بسیار کم هزینه‌تر است. شبیه‌سازی اجازه مدل‌سازی شرایط احتمالی و متغیر را می‌دهد (ری بد، ۱۳۹۹). بر اساس مطالعه تطبیقی بین مدل شبیه‌سازی و تحلیل تجربی، توسط Ashdown, Bedocs & Carroll, (2006) ثابت می‌کند که بسیار دقیق عمل می‌کند. همچنین Breton Reinhart, (2009) نشان می‌دهند که دیسیم^۶ برای شبیه‌سازی نور روز پویا به اندازه کافی دقیق است.

Kirimtat, Koyunbaba, Chatzikonstantinou & Sariyildiz (2016) در مطالعات خود نرم افزارهای شبیه‌سازی را مورد تحقیق قرار داده است و بیان کرده است که انرژی پلاس^۷، پرکاربردترین ابزار شبیه‌سازی در تحقیقات علمی است. در این تحقیق جهت تحلیل عملکرد حرارتی از موتور انرژی پلاس و جهت آنالیز روشنایی از موتور ریدینس^۸ استفاده شده است. شبیه‌سازی انجام شده در مرحله بعد توسط یک موتور بهینه‌ساز، که در این تحقیق از پلاگین گالاپاگوس^۹ استفاده شد است، بهینه‌یابی شده است. تابع هدف^{۱۰} در این پژوهش حداقل رساندن مصرف انرژی و تابع متغیر^{۱۱}، اندازه و مکان قرارگیری پنجره‌ها بر روی جداره ساختمان (نما جنوبی) است. امروزه، به دلیل ساخت و تولید انبوه کارخانه، پنجره‌ها دارای ویژگی‌های مشترک در تمام شهرها، آب و هوا و مکان‌های مختلف هستند که پاسخ‌گوی مسائل آب و هوا و فرهنگ نیستند (semnanweather, 2020) و از طرفی انواع فرم‌های مدرن پنجره‌ها باعث فراموش شدن معماری گذشته شده است. بنابراین، با هدف احیا و بازآفرینی فرم شباک، در این تحقیق از فرم پنجره‌های مربعی استفاده شده است. فرآیند شبیه‌سازی و انجام تحقیق در این پژوهش به صورت تصویر ۲و۱ بیان شده است.

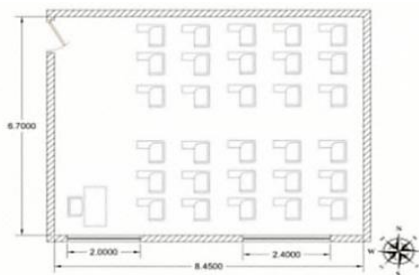


تصویر ۱: روند شبیه سازی (ماخذ: نگارندگان)

تصویر ۲: فرآیند انجام تحقیق (ماخذ: نگارندگان)


- بررسی وضع موجود نمونه موردی

با توجه به اهمیت فضاهای آموزشی و میزان مصرف انرژی در این حوزه، نقش و جایگاه محوری کلاس های درس، در این پژوهش، نما جنوبی یکی از کلاس های دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، مورد بررسی قرار گرفته است. کلاس مورد مطالعه، مطابق تصویر ۳، مستطیل شکل با کشیدگی شرقی - غربی، به طول ۸/۴۵ متر و عرض ۶/۷ متر با ارتفاع کف به کف ۳/۲۰ متر به مساحت ۵۶/۶۱ متر مربع است. در نما جنوبی، تنها وجه نورگیر این کلاس، پنجره هایی به ابعاد ۱/۴ در ۲/۴۰ متر و ۱/۴ در ۲ متر از نوع پنجره های دو جداره ساده که ۲۳ درصد از سطح دیوار را به خود اختصاص داده است وجود دارد. با توجه به مشاهدات انجام گرفته، در جداره خارجی کلاس مورد مطالعه، به ضخامت ۲۰ سانتی متر، سنگ گرانیت رنگ روشن و در جداره داخلی آن، گچ و رنگ به کار رفته است. این کلاس در شهر سمنان با اقلیم سرد و خشک در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه واقع شده است (Farrokhi, Farzin & Mousavi, 2020).



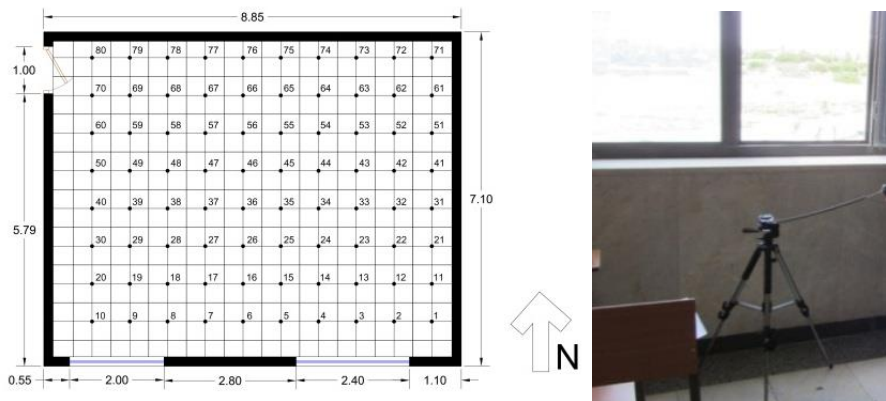
تصویر ۳: موقعیت کلاس مورد مطالعه (ماخذ: نگارندگان)

یکی از رایج ترین معیارهای اندازه گیری نور روز، شدت روشنایی ۱۲ است که با استفاده از یک لوکس متر اندازه گیری می شود. لوکس مقیاسی است برای سنجش شدت نور که توسط چشم انسان درک می شود (Marufi, Moradinasab, 2020) & Mahdavinejad حسگر موجود در لوکس متر میزان تابش را با توجه به ضرایب تبدیل اختصاص داده شده به دستگاه و بازتاب سطح مختلف اتاق محاسبه می کند (Mardaljevic, Hescong & Lee, 2009). در این پژوهش جهت اعتبارسنجی مدل نرم افزاری و مطالعه عملکرد روشنایی کلاس، شدت روشنایی به وسیله لوکس متر که مشخصات آن در تصویر ۴ مشاهده می شود، اندازه گیری شده است.

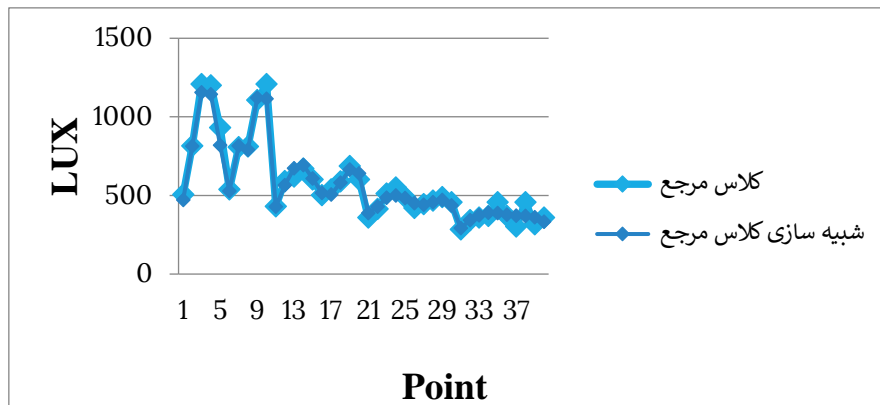
Lux Intensity Meter, TES-1337B		
	Measuring Range	Accuracy
		Lux 200,000 ~ 0

تصویر ۴: مشخصات لوکس متر (ماخذ: <https://saenco.com>)

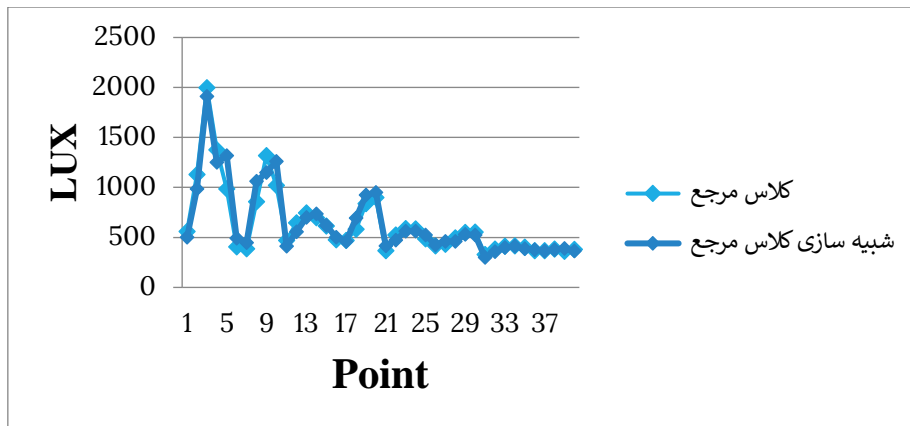
طبق استاندارد EN 12464-2، فضای کلاس مطابق تصویر ۵، به هشتاد مربع مساوی تقسیم، که اندازه شدت روشنایی در وسط هر مربع اندازه‌گیری شده است. میزان روشنایی با شرایط آسمان صاف و آفتابی ۱۳ در میز کار با ارتفاع ۸۰ سانتی متر از سطح زمین، در تاریخ ۵ آگوست سال ۲۰۲۰ در سه ساعت ۱۰ صبح و ۱۲ ظهر و ۱۵ مورد بررسی قرار گرفت. اعداد خوانده شده توسط لوکس متر در نمودار تصویر ۶، با نمونه شبیه‌سازی شده کلاس مقایسه و ارائه شده است.



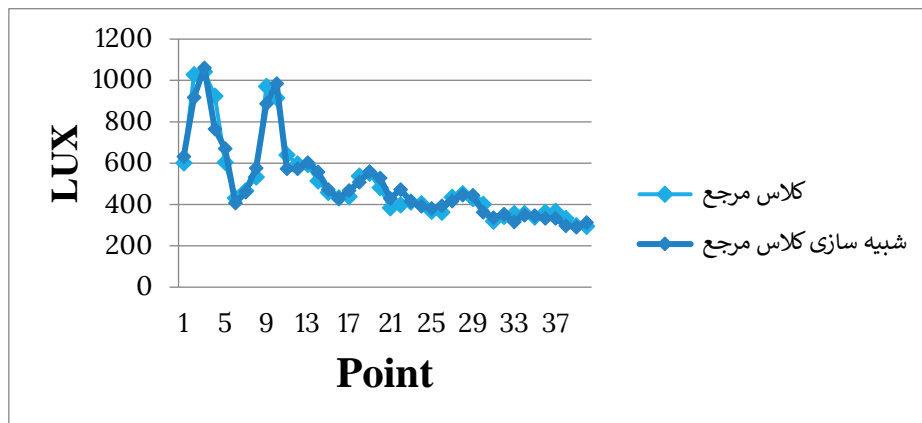
تصویر ۵: نمایش مکان سنسورهای کلاس (ماخذ: نگارندگان)



(a)



(b)



(c)

تصویر ۶: (a) مقایسه شدت روشنایی کلاس مرجع و نمونه شبیه‌سازی در نرم افزار در ساعت ۱۰ صبح، (b) مقایسه شدت روشنایی کلاس مرجع و نمونه شبیه‌سازی در نرم افزار در ساعت ۱۲ ظهر، (c) مقایسه شدت روشنایی کلاس مرجع و نمونه شبیه‌سازی در نرم افزار در ساعت ۱۵. (ماخذ: نگارندگان)

مدل‌سازی در این پژوهش بر اساس مطالعه موردی، یک کلاس درس در نرم افزار راینو^{۱۴} نسخه (5SR14) و پلاگین گرس هاپر^{۱۵} بوده است. سپس شبیه‌سازی نور روز با بهره‌گیری از پلاگین‌های لیدی‌باگ^{۱۶} (نسخه 0.0.68)، هانی‌بی^{۱۷} (نسخه 0.0.64) که پلاگین‌های آن به محیط پلاگین گرس هاپر اضافه می‌شوند توسط موتور اوپن‌استودیو^{۱۸} انجام شد. جدول ۴ تنظیمات مربوط به نرم افزار انرژی پلاس را جهت بررسی انرژی و روشنایی نشان می‌دهد. در این پروژه از اطلاعات آب و هوایی با فرمت EPW^{۱۹}، با کمک ابزار Ladybug استفاده شده است. در جدول ۳، مشخصات مصالح مورد استفاده در نرم افزار بیان شده است.

جدول ۴: تنظیمات مربوط به نرم افزار انرژی پلاس (ماخذ: نگارندگان)

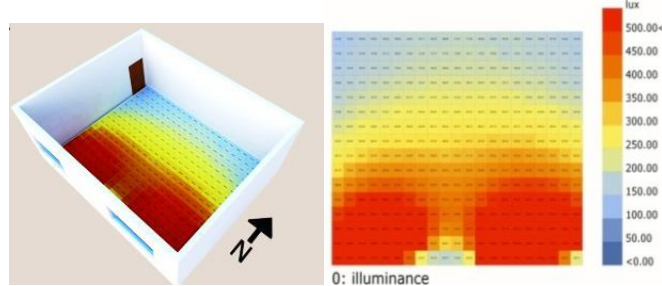
Building program	Values
Zone programs	Secondary school class room
occupied period	8 AM – 4 PM
Infiltration Rate Per Area	0/0003 m ³ /s m ²
Lighting Density PerArea	7.63 W/ m ²
Num of People Per Area	0.03 ppl/ m ²

جدول ۳: مشخصات مصالح ساختمان (ماخذ: مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۹).

پارامتر	ضریب هدایت W/m.k	مقاومت حرارتی m2.K/W	ضریب هدایت حرارتی W/(m ² K)
دیوار خارجی	۴/۷	۰/۴۴۷	-
کف کلاس	۰/۳۶	۰/۸۱	-
سقف	۰/۳۳	۰/۹۲	-
پنجره دو جداره	-	-	۲/۹۵

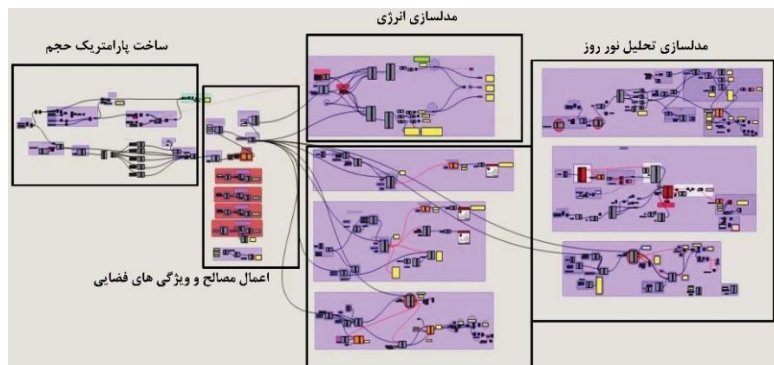
۴ نتایج و یافته ها

ارزیابی نتایج تست روشنایی از کلاس مورد مطالعه در نمودار تصویر ۶ عملکرد پنجره و وضعیت ورود نور روز به داخل کلاس و همچنین تصویر ، شبیه سازی کلاس مورد مطالعه در نرم افزار و بررسی شدت روشنایی در آن نشان می دهد. براساس استاندارد شدت روشنایی در مبحث سیزدهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲) ، قسمت هایی از کلاس کمتر از ۳۰۰ لوکس و قسمت های نزدیک به پنجره ها، بالای ۵۰۰ لوکس نور دریافت می کنند.

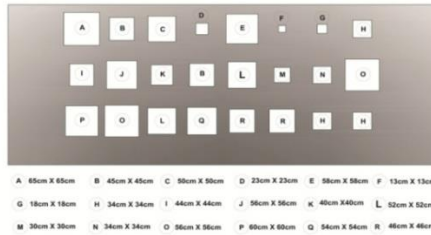


تصویر ۷: خروجی نرم افزار شدت روشنایی کلاس مرجع (ماخذ: نگارندگان)

با توجه به متغیرها، اهداف تحقیق و انتخاب هندسه پنجره ها در جداره جنوبی، مطابق تصویر ۸، الگوریتم های لازم جهت بهینه سازی نوشته شده و به کمک نرم افزار گالاپاگوس بهینه ترین حالت از بین حالت های چیدمان پنجره ها انتخاب و معرفی شده است. در این پروژه با توجه به ابعاد دیوار و فرم پنجره ها، شبکه بندی بر روی دیوار انجام شده و دامنه تغییرات از پنجره هایی با ابعاد 13×13 سانتی متر تا 65×65 سانتی متر بوده است. تصویر ۹، فرم و موقعیت قرارگیری پنجره ها و ابعاد آن را نشان می دهد.



تصویر ۸: الگوریتم بهینه سازی نور و مصرف انرژی در فضای کلاس مورد مطالعه (ماخذ: نگارندگان)



تصویر ۹: ابعاد مدل بهینه شده جداره جنوبی کلاس (سمت راست)، مدل سه بعدی کلاس با جداره بهینه شده (ماخذ: نگارندگان)

جهت آنالیز انرژی در نرم افزار انرژی پلاس در راینو، سه خروجی بررسی می‌شود که شامل موارد زیر است:

- متوسط انرژی ماهیانه مصرف شده برای روشنایی با واحد kWh

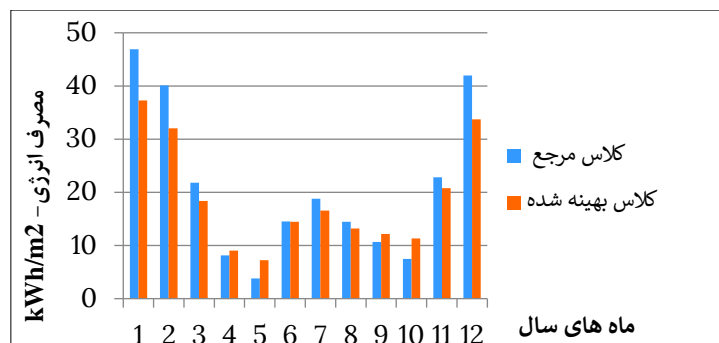
- متوسط انرژی ماهیانه مصرف شده برای گرمایش با واحد kWh

- متوسط انرژی ماهیانه مصرف شده برای سرمایش با واحد kWh

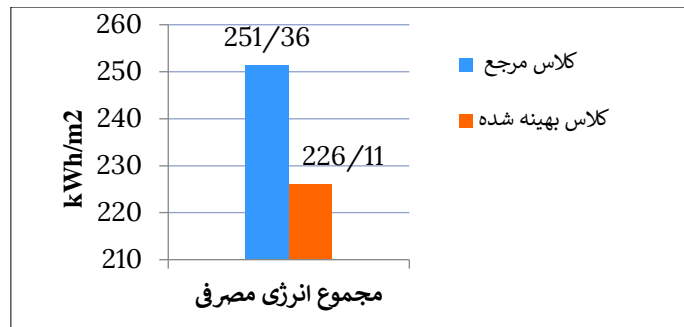
خروجی‌های نرم افزار که مصرف انرژی ماهانه را نشان می‌دهد در نمودار تصویر ۱۰ و مصرف انرژی سالیانه در نمودار تصویر ۱۱ ارائه شده است. جدول ۵، انرژی مورد استفاده جهت سرمایش و گرمایش محیط کلاس و روشنایی آن را در دو حالت کلاس مورد مطالعه و کلاس بهینه شده، نشان می‌دهد.

جدول ۵: انرژی مصرف شده کلاس مرجع و کلاس بهینه شده (ماخذ: نگارندگان)

نمونه	بار سرمایشی kWh/m ²	بار گرمایشی kWh/m ²	بار الکتریکی روشنایی kWh/m ²
کلاس مرجع	۵۶/۴۹	۱۷۵/۶۵	۱۹/۲۱
کلاس بهینه شده	۶۳/۳۰	۱۴۶/۷۳	۱۹/۰۹

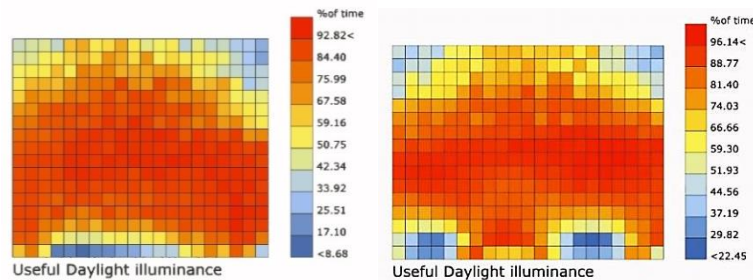


تصویر ۱۰: مقایسه مصرف انرژی ماهانه کلاس مرجع و بهینه شده (ماخذ: نگارندگان)

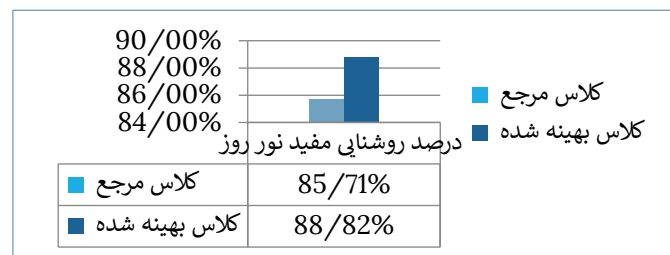


تصویر ۱۱: مقایسه مجموع مصرف انرژی کلاس درس مرجع و بهینه (ماخذ: نگارندگان)

علاوه بر بررسی مصرف انرژی، لازم است با استفاده از شاخص‌های استاندارد ارزیابی نور روز، روشنایی طبیعی محیط داخلی را تجزیه و تحلیل کنیم. در این مطالعه، UDI یکی از استانداردهای رایج است که برای تعیین سطح نور محیط استفاده می‌شود. UDI مقداری است که نور طبیعی سالانه را در دوره اشغال شده، به صورت ساعتی شناسایی می‌کند. روشنایی مفید نور روز در محدوده بین ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس ۵۰٪ در نظر گرفته شده است. تصویر ۱۲، خروجی نرم افزار روشنایی مفید نور روز در کلاس مورد مطالعه و کلاس بهینه شده را نشان می‌دهد. نتایج تحلیل روشنایی مفید نور روز سالانه کلاس مرجع و نمونه بهینه شده در نمودار تصویر ۱۳، مقایسه شده است.



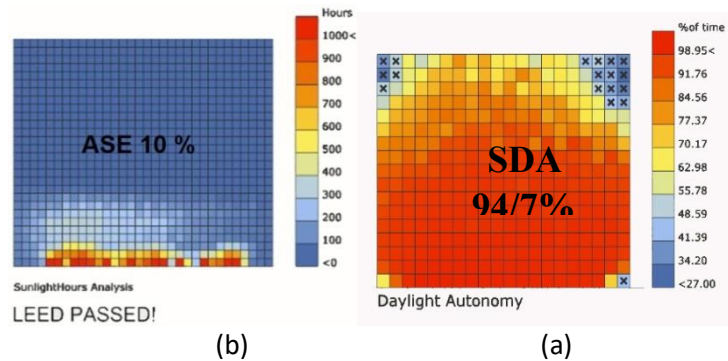
تصویر ۱۲: خروجی نرم افزار روشنایی مفید نور روز در کلاس مرجع (سمت راست)، خروجی نرم افزار روشنایی مفید نور روز در کلاس بهینه (سمت چپ) (ماخذ: نگارندگان)



تصویر ۱۳: نتایج تحلیل روشنایی مفید نور روز کلاس مرجع و نمونه بهینه شده (ماخذ: نگارندگان)

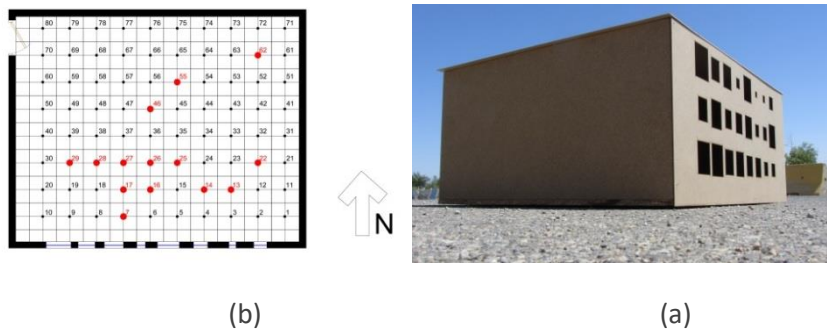
در میان تحقیقات مرتبط با موضوع آسایش بصری انجام گرفته در سال‌های ۱۹۴۹ تا ۲۰۱۸، در سال‌های اخیر تعدادی از تحقیقات به کمک مقایسه ارزیابی‌های حاصل از روش میدانی و شبیه‌سازی رایانه‌ای، به اعتبارسنجی این شاخص‌ها از نظر هماهنگی با نظریات کاربران پرداخته‌اند. در سال ۲۰۱۲، طی تحقیقی گسترده در فضاهایی با کاربری متنوع در ایالات متحده آمریکا، شاخص‌های SDA و ASE به عنوان دو شاخص مناسب برای پیش‌بینی رضایت کاربران از مقدار نور و آزاردهندگی خیرگی پیشنهاد شدند (شفوی مقدم، تحصیلدوست و زمردیان، ۱۳۹۸). شاخص کفایت فضایی نور روز (SDA) به طراحان کمک می‌کند تا نقاطی از کلاس را که نور کم دریافت می‌کند شناسایی کنند و نور مصنوعی را برای آن نقاط طراحی کنند که در مدل بهینه شده این

مقدار ۹۴/۷ درصد به دست آمده است و همچنین دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید، واحد ارزیابی روشنایی که به تابش مستقیم خورشید به عنوان منبع بالقوه ناراحتی بینایی نگاه می‌کند. که در تصویر ۱۴، ASE و SDA به دست آمده از خروجی پلاگین هانی بی پلاس ۲۰ در نمونه بهینه شده کلاس بررسی شده است.

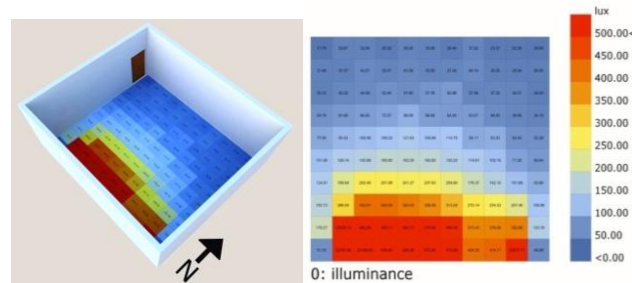


تصویر ۱۴: (a) خروجی شاخص دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید، (b) شاخص کفایت فضایی نور روز در نمونه بهینه شده (ماخذ: نگارندگان)

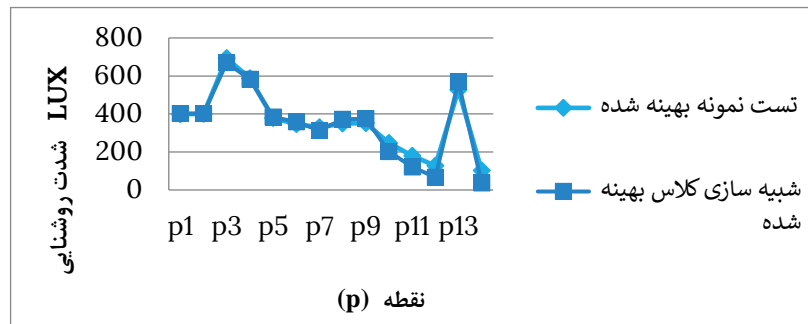
نمونه به دست آمده از نرم افزار در این پژوهش، با استفاده از مصالح چوب با مقیاس ۱:۷ جهت سنجش کارایی مدل به دست آمده مطابق تصویر (a) ساخته شده است و میزان روشنایی با استفاده از لوکس متر که مشخصات آن را بیان کرده‌ایم در محل مورد مطالعه آزمایش شده است. به منظور ارزیابی میزان روشنایی، کف ماکت مانند تصویر (b) ۱۵، شبکه بندی شده است و با ارتفاع ۸۰ سانتی متر از سطح زمین، در شرایط آسمان صاف و آفتابی در ساعت ۱۲ ظهر، روز ۲۷، ماه آگوست سال ۲۰۲۰، شدت روشنایی نقاط تعیین شده در آن، قرائت شده است. جهت مقایسه میزان روشنایی، نمونه آزمایشی و نمونه شبیه‌سازی شده در تصویر ۱۶، اعداد به صورت نمودار تصویر ۱۷، ارائه شده است.



تصویر ۱۵: (a) ماکت مدل بهینه شده، (b) نمایش مکان سنسورهای مورد بررسی (ماخذ: نگارندگان)



تصویر ۱۶: خروجی نرم افزار، شدت روشنایی کلاس بهینه (ماخذ: نگارندگان)



تصویر ۱۷: مقایسه شدت روشنایی نمونه ساخته شده و نمونه شبیه‌سازی (ماخذ: نگارندگان)

۵ - بحث در نتایج و یافته ها

نتایج تست نور کلاس مورد مطالعه نشان می‌دهد، شدت روشنایی نقاط برداشت شده از نمونه موردی با نتایج شبیه‌سازی شده در نرم افزار مطابقت دارد و همچنین قسمت‌هایی از کلاس مورد مطالعه از نور کم و قسمت‌های دیگر از نور زیاد برخوردار است که این امر باعث می‌شود کلاس مورد مطالعه از نظر دریافت نور روز و مصرف انرژی شرایط مناسبی نداشته باشد. در این پژوهش با کمک روش الگوریتم ژنتیک در کامپوننت گالاپاگوس، با تغییر در ابعاد و مکان‌یابی مناسب پنجره‌ها، کلاس مورد مطالعه بهینه‌سازی شده است. نتایج تجزیه و تحلیل UDI نشان می‌دهد که در کلاس مرجع، بخشی از کلاس بین پنجره‌ها، کمتر از ۳۰٪ از کل زمان، روشنایی نور روز مفید را دریافت می‌کند، این مشکل در نمونه بهینه شده وجود ندارد و با استفاده از فرم مشبک و طراحی پنجره‌ها به صورت غیر متمرکز در سطح نما، بیش از ۵۰٪ از محیط کلاس، نور روز کارآمد را دریافت می‌کند. همچنین براساس روش ارزیابی LEED، هر دو شاخص SDA و ASE در بحث روشنایی مدل بهینه شده از کلاس، امتیاز لازم را کسب کرده است و یا می‌توان گفت، مدل معرفی شده توسط LEED مورد تأیید است. زیرا با توجه به تصویر ۱۴، کفایت فضایی نور روز ۹۴/۷ درصد و دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید، ۱۰ درصد است که هر دو این اعداد قابل قبول است. همچنین با بررسی شاخص کفایت فضایی نور روز نقاطی که با رنگ آبی مشخص شده است نشان دهنده آن است که این قسمت از کلاس نور کمی دریافت می‌کنند که جهت جبران آن، استفاده از نور مصنوعی به تعداد بسیار کم، پیشنهاد می‌شود. جهت بررسی کارایی مدل به دست آمده، از نقاط تعیین شده در ماکت نمونه بهینه شده، تست شدت روشنایی گرفته شده است که از مقایسه نتایج آن با نتایج نرم افزار شبیه‌سازی مطابق نمودار تصویر ۱۷، مدل ارائه شده مورد تأیید است.

۶ نتیجه‌گیری

در پاسخ به سوال اول این پژوهش، با بهینه‌سازی جداره‌های جنوبی ساختمان و بررسی کفایت فضایی نور روز و دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید، به این نتیجه رسیده‌ایم که پراکندگی روزه‌ها در جداره جنوبی کلاس، علاوه بر کارایی در مصرف انرژی، ورود نور مزاحم را به حداقل رسانده که این یک گام کارآمد در جهت دستیابی به ایجاد شرایط آسایش است. با طراحی پارامتریک و استفاده از نرم افزار شبیه‌سازی با هدف بهینه‌سازی مصرف انرژی به الگویی دست یافته‌ایم که در آن ابعاد روزه‌ها در جداره جنوبی ساختمان کوچک‌تر و پراکندگی آن‌ها نسبت به پنجره‌های وضع موجود در کلاس مورد مطالعه بیشتر شده است. همچنین بررسی روشنایی مفید نور روز و میزان مصرف انرژی در این الگو نشان می‌دهد که فرم و چیدمان روزه‌ها در جداره جنوبی کلاس مورد مطالعه، در دریافت نور و مصرف انرژی، موثر بوده زیرا کیفیت نور روز دریافتی در کلیه روزه‌های سال به حالت مطلوب خود رسیده و بار انرژی مصرفی کاهش یافته و بر همین اساس پاسخ سوال دوم این پژوهش ارائه شده است. به جهت پاسخگویی به سوال سوم پژوهش، تعداد و ابعاد پنجره‌ها را تغییر داده و میزان مصرف انرژی را محاسبه کرده‌ایم تا حالت بهینه آن به دست بیاید.

نتایج نشان می‌دهد، با استفاده از الگو به دست آمده در این پژوهش، که ۲۷/۵۲ درصد از سطح نما جنوبی را به خود اختصاص داده است، توانسته ایم ۱۲ درصد مصرف انرژی را کاهش دهیم.

با توجه به اهداف این پژوهش و نتایج به دست آمده، موارد زیر به عنوان زمینه‌های توسعه نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌گردد:

- شبیه‌سازی و مطالعه بر روی سایر مناطق آب و هوایی در نماهای دیگر ساختمان.
- بررسی تاثیر تلفیق گیاهان با جداره های ساختمان در عملکرد انرژی و نور روز.

پی‌نوشت‌ها

1. Spatial Daylight Autonomy (SDA)
2. Integrated Environmental Solutions Ltd
3. Annual Sunlight Exposure(ASE)
4. Energy Use Intensity
5. Leadership in Energy and Environmental Design
6. Daysim
7. EnergyPlus
8. Radiance
9. Galapagos
10. Fitness
11. Genome
12. Illuminance
13. Sunny with sun
14. Rhinoceros
15. Grasshopper
16. Ladybug
17. Honeybee
18. Open Studio
19. EnergyPlus Weather
20. HoneybeePlus

References

- Ashdown, I., Bedocs, L., & Carroll, W. (2006). Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Computer Programs. *International Commission on Illumination, CIE*, 171.
- AibaghiEsfahani, H., Momeni, K., & Hassanpour, F. (2020). Finding the Best Orientation of the Educational Buildings in Hot Arid Regions in Iran, in order to achieve the Optimum Annual Energy Consumption, Using Computer Simulation (Case Study: A Double Class School in Zahedan). *Space Ontology International Journal*, 9(1), 13-36.
- Arbab, M., Mahdavinejad, M., & Bemanian, M. (2020). Comparative Study on New lighting Technologies and Buildings Plans for High-performance Architecture. *Journal of Solar Energy Research*, 5(4), 580-593.
- Behnam, H. (2016). Analysis of the effect of intelligent second shells in optimizing and reducing the energy consumption of tall buildings. *The third tall buildings conference*. (In persian)

- Bakmohammadi, P., & Noorzai, E. (2020). Optimization of the design of the primary school classrooms in terms of energy and daylight performance considering occupants' thermal and visual comfort. *Energy Reports*, 6, 1590-1607.
- Borzouei, A., Zandieh, M., & Heidari, Sh. (2020). Analyzing the Use of Origami to Increase the Solar Radiation on Photovoltaic Panels Through Software Simulation. *Scientific Journal of Architecture and Urban Planning of Iran*, 189-203. (In persian)
- Bazazzadeh, H., Świt-Jankowska, B., Fazeli, N., Nadolny, A., & Mahdavinejad, M. (2021). Efficient Shading Device as an Important Part of Daylightophil Architecture; a Designerly Frame work of High-Performance Architecture for an Office Building in Tehran. *Energies*, 14(24), 8272.
- CSN, EN, 12464-2, Lighting of Work Places - Part 2: Outdoor Work Places, European Committee for Standardization, 2007.
- Dutra de Vasconcellos, G. (2017). Evaluation of annual sunlight exposure (ASE) as a proxy to glare: a field study in a NZEB and LEED certified office in San Francisco.
- Fadaii Ardestani, M. A., Nasser Mobaaraki, H., Ayatollahi, M. R., & Zomorrodian, Z. S. (2018). The Assessment of Daylight and Glare in Classrooms Using Dynamic Indicators; the Case of SBU Faculty of Architecture and Urban Planning. *Soffeh*, 28(4), 25-40. (In persian)
- Farrokhi, A., Farzin, S., & Mousavi, S. F. (2020). A new framework for evaluation of rainfall temporal variability through principal component analysis, hybrid adaptive neuro-fuzzy inference system, and innovative trend analysis methodology. *Water Resources Management*, 34(10), 3363-3385.
- Farhangi Khanghah, A., Gorji Mahlabani, Y., Mofidi Shemirani, S. M., & Medi, H. (2021). The Design Pattern of Optimal Combined Envelope in Generating Solar Electricity Using Genetic Algorithm in Iran's Cold Climate. *Journal of Iranian Architecture & Urbanism (JIAU)*, 12(2), 83-101. (In persian)
- Goharian, A., Mahdavinejad, M., Bemanian, M., & Daneshjoo, K. (2022, June). Designerly optimization of devices (as reflectors) to improve daylight and scrutiny of the light-well's configuration. In *Building Simulation* (Vol. 15, No. 6, pp. 933-956). Tsinghua University Press.
- Hafezi, MR., Zomorodian, Z., & Tahsildoost, M. (2017). Energy Efficient Design of Double Skin Facade, Case Study: an Office Building in Tehran. *Journal of Iranian Architecture Studies*, 5(10), 101-122. (In persian)
- Hosseini, S. N., Hosseini, S. M., & Heiranipour, M. (2020). The role of Orosi's Islamic geometric patterns in the building facade design for improving occupants' daylight performance. *Journal of Daylighting*, 7(2), 201-221.
- <https://saenco.com>. (2021). (In persian)
- Jalali, Z., Noorzai, E., & Heidari, S. (2020). Design and optimization of form and façade of an office building using the genetic algorithm. *Science and Technology for the Built Environment*, 26(2), 128-140.

- Kazemzadeh, M., & Tahbaz, M. (2013). Measurement and analyzing daylight condition in traditional Kerman houses (Aminian house). *Honar-Ha-Ye-Ziba: Memary Va Shahrsazi*, 18(2), 17-26.
- Kirmat, A., Koyunbaba, B.K., Chatzikonstantinou, I., & Sariyildiz, S. (2016). Review of simulation modeling for shading devices in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 23-49.
- LEED v4.1(2020). BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION Getting started guide for beta participants.
- Mardaljevic, J., Heschong, L., & Lee, E. (2009). Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research & Technology*, 41(3), 261-283.
- Miri, M., & Kompani Saeed, M. (2015). A New Method for Achieving Daylight in Working Spaces by Finding the Efficient Type and Size of Windows, Shading Systems and Depth of Rooms. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 8(2),73-89.(In persian)
- Montaser Koohsari, A., Fayaz, R., & Kari, B.M. (2016). Integrating Thermal and Lighting Analysis to Optimize Window Size of Educational buildings.
- Mahmoud, A. H. A., & Elghazi, Y. (2016). Parametric-based designs for kinetic facades to optimize daylight performance: Comparing rotation and translation kinetic motion for hexagonal facade patterns. *Solar Energy*, 126, 111-127.
- Mahdavejad, M., & Nazar, N.S. (2017). daylightophil high-performance architecture: Multi-objective optimization of energy efficiency and daylight availability in BSk climate. *Energy Procedia*, 115, 92-101.
- Mahdavejad, M., & Kia, A. (2019). Contemporization of traditional facade skins (lattice) in Iranian architecture for optimization of daylight and energy. Case study: Tehran office buildings. *Journal of Architecture in Hot and Dry Climate*, 7(9), 69-82. (In persian)
- Motazedian, F.(2019). Analysisof Optimum Window-to-Wall Ratio in Horizontally Expanded and Vertically Expanded Windows in Tehran, Iran. *Int. J. Architect. Eng. Urban Plan*, 29(1), 61-68.
- Marufi, N., Mahdavejad, M., & Moradinasab, H. (2020). Impacts of Window Form on Natural Light in Classroom in BWk Climate. *Journal of Climate Research*, 1399(43), 127-142.
- Montaser Koohsari,A.(2020).Window design considering occupants' behaviour (Case study: An office building in Tehran), The Degree of PHD, Department of Architecture, University of Tehran. (In persian)
- Mohaghegh,H., Fallah Zavareh, Z., Tarkashvand ,A.,& Faizi, M.(2021). Application of Islamic Geometric Patterns in Improving the Performance of Daylighting in Kinetic Facades, *Journal of Researches in Islamic Architecture Iran University of Science & Technology*, 9 (3) :171-191. (In persian)
- National building regulations, 13th topic. (2012). Design and implementation of electrical installations of buildings, Iran Development Publication, 103. (In persian)

- National building regulations, 19th topic (2019). Energy saving, Iran Development Publication. (In persian)
- PoorJafari,N.,&Dasme,A.(2015).Multi-objective optimization in process engineering by genetic algorithm. The second scientific conference of process engineering,Tehran,13.(In persian)
- Pilechiha, P., Mahdavinejad, M., Rahimian, F.P., Carnemolla, P., & Seyedzadeh, S. (2020). Multi-objective optimisation framework for designing office windows: quality of view, daylight and energy efficiency. *Applied Energy*, 261, 114356.
- Razmi,A.(2020). Integrated Design Based on Multi-Objective Optimization of Energy and Daylight Performance in Public Buildings (Dormitory Design), Thesis Master, Department of Architecture, Faculty of Art & Architecture Tarbiat Modares University. (In persian)
- RayBad,A.(2020). Simulations and its applications, familiarization with basic concepts, Faradars magazine. (In persian)
- Reinhart, C., Breton, PF. (2009). Experimental validation of Autodesk 3d Max Design 2009 and Daysim 3.0. *Leukos*, 6, 7–35.
- Shi, X., Z .Tian, W. Chen , B. Si, X. Jin. (2016).A review on building energy efficient design. optimization rom the perspective of architects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* : 872-84.
- Shafghi-Moghadam,N., Tahsildoost,M., &Zomardian,Z.(2018). nvestigating the effectiveness of daylight indicators in evaluating the quality of users' visual comfort (case study: educational spaces of architecture schools in Tehran). *Iranian Architectural Studies*, 16(8), 205-228. (In persian)
- Semnanweather.(2020).www.semnanweather.ir/station1.
- Zomorodian, ZS., F. Nasrollahi. (2013). Architectural design optimization of school buildings for reduction of energy demand in hot and dry climates of Iran. *Int J Archit Eng Urban Plan* : 41-50.
- Zhang, A., Bokel, R., van den Dobbelsteen, A., Sun, Y., Huang, Q., & Zhang, Q. (2017). Optimization of thermal and daylight performance of school buildings based on a multi-objective genetic algorithm in the cold climate of China. *Energy and Buildings*, 139, 371-384.
- Vahabi,V.,& Mahdavinia,M.(2018).The Effect of Physical Features of Window Protective Covers on Thermal Performance of Tehran's Residential Buildings, Publication Architecture and urban planning of Iran,9(15),75-90. (In persian)
- Valitabar, M., Mahdavinejad, M., & Henry Skates, P. P. (2021). Data-Driven Design of Adaptive Façades: View, Glare, Daylighting and Energy Efficiency.