Cult Islam Archit Urban, 2025; 10 (1): 41-59

CULTURE OF ISLAMIC ARCHITECTURE AND URBANISM

DOI: http://dx.doi.org/10.61186/ciauj.10.1.541

Original Paper Open Access

Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025

Optimizing the Ratio of Window to Floor Area in Classrooms to Achieve Thermal and Visual Comfort for Students

Elham Saligheh[1], Aida Maleki [2,*], Yaser Shahbazi [3], Abbas Ghaffari[4]

1. PhD Student of Islamic Architecture, Department of Architecture, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran
2. Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran
3. Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran
4. Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran

Received: 2024/01/31 Accepted: 2024/09/27

Abstract

Architectural design is a complex process in which multiple issues must be addressed simultaneously. The ratio of window area to floor area in classrooms, especially in cold regions, plays a significant role in enhancing both visual and thermal comfort, as it directly influences the amount of natural light and radiant heat entering the space. This reduces the need for artificial lighting and dependency on heating systems. However, an excessively high ratio can lead to heat loss, energy wastage, and discomfort due to glare. Therefore, determining an optimal window-to-floor area ratio is crucial for ensuring both visual and thermal comfort. This study focuses on a secondary school classroom in Tabriz, a city with a cold climate. The research objectives were optimized using simulation tools such as Honey Bee, Ladybug, and the Octopus optimization plugin. The study concludes that the optimal classroom window-to-floor area ratio ranges between 0.125 and 0.2. Specifically, the best results for glare and adaptive thermal comfort are achieved with a lower ratio within this range. In contrast, the best results for daylight sufficiency occur at the higher end.

Keywords:

Optimization, Thermal comfort, Daylight Autonomy, Glare, Classroom

* Corresponding Author: a.maleki@tabriziau.ac.ir

©2025 by the Authours.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 4.0 license)
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

[DOI: 10.61186/ciauj.10.1.541]
Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025

Introduction

Sustainable architecture is a comprehensive approach that addresses user needs, contextual factors, functionality, and aesthetics in an integrated manner. In educational buildings, functionality plays a critical role as it directly affects the cognitive performance, comfort, and health of students. Among the most important factors are thermal comfort, energy efficiency, and adequate natural lighting, all of which contribute to creating a conducive learning environment. Natural daylight has been widely acknowledged for its positive physical and psychological effects. It enhances alertness, reduces eye strain, and supports circadian rhythm regulation, contributing to better concentration and reduced fatigue. However, without proper design, excessive brightness can cause glare and discomfort, undermining these benefits. Achieving a balance between sufficient daylight and visual comfort requires careful consideration during the design phase.Thermal comfort is equally essential, as inappropriate indoor temperatures can impair students' health and focus. Given the challenges and costs associated with post-construction modifications, using simulation tools during the early design stage is highly advantageous. In regions like Iran, where localized sustainable building guidelines are lacking, such tools are crucial for climate-responsive architectural solutions.Numerous studies have examined environmental comfort in educational buildings across diverse climates. For example, research in subtropical and tropical regions has emphasized the need for cooler indoor environments and has highlighted gender-based variations in thermal comfort perception. Other studies have focused on optimizing design elements such as light shelves and window placement to improve performance. The use of multi-objective optimization tools based on artificial intelligence has enabled architects to address multiple goals simultaneously. Despite these advancements, practical design recommendations tailored to specific Iranian climates remain limited.This study addresses that gap by focusing on the window-to-floor area ratio in high school classrooms in Tabriz. The goal is to identify an optimal range that ensures thermal and visual comfort based on climatic conditions, using simulation and optimization tools to inform design decisions.

Materials and Methods

Tabriz is situated in northwestern Iran and features a semi-arid climate characterized by cold winters and hot, dry summers. Positioned at an altitude of 1361 meters, the city receives about 4,369 hours of sunshine annually, of which approximately 3,047 hours are usable due to weather conditions (Ouria, 2019). According to ASHRAE Standard 55, the psychrometric chart indicates that, without climate-adaptive measures, only 19% of the year offers natural thermal comfort.To evaluate the classroom environment, the study used three key performance indicators:

Daylight Autonomy (DA) — the percentage of time during which natural light meets or exceeds minimum illumination levels, as defined by Reinhart & Walkenhorst (2001).

Daylight Glare Probability (DGP) — a measure of potential visual discomfort due to bright light sources within a space (Van Den Wymelenberg, 2014).

Adaptive Thermal Comfort — determined using updated ASHRAE and EN standards that incorporate outdoor conditions in naturally ventilated buildings (Serghides et al., 2017; Wang et al., 2019).

The research employed Rhino software with the Grasshopper plugin for parametric modeling. This allowed for flexible adjustments of classroom geometry, including width, length, and window size. Ladybug and Honeybee plugins simulated daylight and thermal behavior using actual climate data from Tabriz Airport. Artificial lighting was excluded to isolate the impact of natural light. For optimization, the Octopus plugin within Grasshopper applied the SPEA2 evolutionary algorithm. The three objectives—maximizing daylight autonomy, minimizing glare, and increasing thermal comfort hours—were assigned equal weights to ensure an unbiased evaluation. The simulated classroom was a ground-floor unit with an east-west orientation, featuring one south-facing window and a fixed-size door. The window was modeled as non-operable, double-glazed, and low-emissivity. Except for the southern external wall, all other surfaces were considered adiabatic. The simulation focused on typical school days and hours, excluding holidays and vacations, and assumed adult student occupancy per ASHRAE guidelines.

Results

The primary objective of this study was to determine an optimal ratio between window area and classroom floor area to create a comfortable indoor environment that supports educational activities. Using parametric simulation and multi-objective optimization, the study explored how variations in classroom dimensions and window sizes affected thermal comfort, daylight adequacy, and glare probability. Out of the various configurations tested, 70 optimal solutions were identified using the SPEA2 algorithm. These solutions formed a Pareto front where none dominated the others, meaning each provided a balanced trade-off among the three objectives. The optimal range of window-to-floor ratios was found to be between 0.125 and 0.2. Within this range, several configurations demonstrated particularly high performance in specific areas.For instance, some configurations achieved daylight adequacy levels exceeding 86%, making them suitable for reducing the need for artificial lighting during school hours. Others achieved over 1830 annual hours of

[DOI: 10.61186/ciauj.10.1.541]
Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025

thermal comfort, which would reduce reliance on mechanical heating or cooling systems. In contrast, the best glare performance, with values as low as 0.73, indicating minimal visual discomfort. These results underscore the importance of considering all comfort factors in tandem. Enhancing one objective often impacts another—for example, increasing window size can improve daylight but may also raise glare and thermal instability. The study demonstrates that there is no one-size-fits-all solution; rather, the optimal design based on contextual needs and priorities. Designers may select specific solutions from the Pareto set depending on site conditions, user preferences, or institutional policies on artificial lighting and HVAC usage.Ultimately, the study's findings provide a valuable framework for evidence-based design in educational architecture, especially in cold-climate regions like Tabriz.

Discussion

Ensuring thermal and visual comfort in classrooms is essential for supporting learning and well-being. This study employed multi-objective optimization to explore how window-to-floor ratios affect daylight, glare, and thermal comfort. A ratio between 0.125 and 0.2 was found to be the most effective. Lower ratios reduce glare and maintain daylight levels, whereas higher ratios improve thermal comfort. The results provide practical guidance for cold-climate classroom design in Tabriz. Future research can examine these proportions in other climates and consider additional factors such as acoustic comfort or surface-to-floor ratio as further design parameters.

[DOI: 10.61186/ciauj.10.1.541]
Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025

فرهنگ معماری و شهرسازی اسلامی ، ۱۴۰۴؛ ۱۰(۱): ۵۹-۴۱

فرهنگ معماری و شهرسازی اسلامی

DOI: http://dx.doi.org/10.61186/ciauj.10.1.541

مقاله پژوهشی

دسترسی آزاد

بهینه‌یابی نسبت سطح بازشو به کف در کلاس‌های درسی به‌منظور دستیابی توأمان به آسایش حرارتی و بصری دانش‌آموزان

الهام سلیقه [۱]، آیدا ملکی[۲*]، یاسر شهبازی [۳]، عباس غفاری [۴]

۱. دانشجوی دکترای معماری اسلامی، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

۲. دانشیار، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

۳. دانشیار، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

۴. دانشیار، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۶

چکیده

طراحی معماری امری پیچیده است که در آن باید به‌صورت هم‌زمان برای موضوعات و مسائل متعدد پاسخی قانع‌کننده و درخور یافت شود. نسبت مساحت پنجره به کف در کلاس‌های درس مناطق سردسیر، نقش مهمی در افزایش آسایش بصری و حرارتی کاربران دارد. چراکه به‌طور مستقیم، بر میزان نفوذ نور طبیعی و گرمای تابشی آن تأثیر می‌گذارد. به‌این‌ترتیب، نیاز به نور مصنوعی و وابستگی به سیستم‌های گرمایشی کاهش می‌یابد. بااین‌حال، نسبت بیش‌ازحد نیز می‌تواند منجر به از دست دادن گرما و انرژی و همچنین خیرگی آزاردهنده شود؛ بنابراین دستیابی به یک نسبت بهینه از مساحت پنجره به کف در کلاس در تأمین آسایش بصری و حرارتی کاربران اهمیت فراوانی دارد و این پژوهش بر این مهم اختصاص‌یافته است. مدل موردبررسی در این مطالعه، یک کلاس درس در مقطع متوسطه در شهر تبریز است. بهینه یابی اهداف تحقیق با استفاده از پلاگین‌های شبیه‌ساز بی و لیدی و پلاگین بهینه‌ساز اکتاپوس انجام‌شده است. دستاورد این تحقیق نسبت مساحت پنجره به کف کلاس‌های درسی مطلوب را در بازه ۰/۱۲۵ تا ۰/۲ معرفی می‌کند. بررسی جداگانهٔ اهداف و پاسخ‌هایی که به‌عنوان برترین‌های هر هدف معرفی شدند، بیانگر این موضوع است که در اهداف مربوط به میزان خیرگی و آسایش حرارتی تطبیقی، نسبت بهینهٔ سطح بازشو به کف، در حدّ پایین بازهٔ مذکور و در هدف مربوط به‌کفایت نور روز، این نسبت در حدّ بالای بازهٔ مذکور قرار دارد.

واژگان کلیدی

بهینه یابی، آسایش حرارتی، کفایت نور روز، خیرگی، کلاس درس

*مسئول مکاتبات: a.maleki@tabriziau.ac.ir

©2025 by the Authours.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 4.0 license)
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

[DOI: 10.61186/ciauj.10.1.541]
Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025

۱. مقدمه

معماری پایدار ساختمان‌ها موضوعی چندوجهی است، به‌گونه‌ای که باید در آن تمام شرایط و نیازهای افراد و بستر طرح در کنار مفاهیم عملکردی و زیبایی‌شناسی به‌طور هم‌زمان مدنظر قرار گیرد (Fallahtafti & Mahdavinejad, 2015). در فضای آموزشی اطمینان از فراهم شدن شرایط عملکردی به‌منظور فراگیری مناسب دانش‌آموزان از ضروریات طراحی است (Boubekri et al., 2020). تأمین آسایش حرارتی، توجه به کارایی بنا از منظر انرژی مصرفی و تأمین نور طبیعی در کلاس‌های درس مهم‌ترین معیارهای عملکردی در فضای آموزشی هستند (Konis et al., 2016). میزان نور و روشنایی فضا تأثیرات جسمانی و روانی متعددی بر مخاطب دارد و عدم بهره‌مندی از نور مناسب می‌تواند منجر به اختلالات عاطفی و روانی، افسردگی، خستگی و استرس در افراد شود. نور طبیعی از بسیاری جهات، مقدم بر نور مصنوعی است و می‌تواند سبب بهبود کارایی روانی و فیزیکی افراد گردد، به‌علاوه منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی نیز می‌شود (سلیقه و سعادت جو، ۱۳۹۹). اگرچه بهره‌مندی از نور روز بر سلامتی استفاده‌کنندگان از فضا مؤثر است اما باید توجه داشت که درخشندگی بیش‌ازحد نیز می‌تواند سبب ایجاد خیرگی و عدم آسایش بصری گردد (Kent et al., 2017). کنترل روشنایی فضا به‌گونه‌ای که هم نور کافی تأمین شود و هم موجب خیرگی نشود، چالشی است که طراحان درگیر آن هستند (سلیقه، ۱۴۰۱؛ Veillette et al., 2021) . از طرفی، تأمین آسایش حرارتی یکی از ضروریات دیگر عملکردی فضای آموزشی است. چراکه دمای فضا بر ایجاد حس خوب و سلامتی افراد تأثیر بسیاری دارد (Lamberti et al., 2021). توجه به این مسئله که رفع اشکالات بنا بعد از اتمام کار ساختمان بسیار پیچیده و دشوار است، اهمیت مطالعات و شبیه‌سازی‌های پیش از طراحی را آشکارتر می‌سازد (Javanroodi et al., 2019; Xu et al., 2021). بهره‌مندی از راه‌حل‌های بهینه‌سازی مبتنی بر الگوریتم در راستای دستیابی به بهترین حالت‌های طراحی، بسیار مؤثر و مقرون‌به‌صرفه است (Talaei et al., 2021). روش بهینه‌سازی چندهدفه در مسائل مختلف به‌منظور تأمین بینابینی و توأمان اهداف متناقض یا غیرهمسو به کار می‌رود. در مقالهٔ پیشرو با بهره‌گیری از شیوهٔ بهینه‌سازی چندهدفهٔ مبتنی بر الگوریتم، به دنبال تبیین نسبت بهینهٔ مساحت پنجره به مساحت کلاس در راستای تأمین هم‌زمان نور طبیعی مناسب، عدم خیرگی افراد و فراهم نمودن آسایش حرارتی دانش‌آموزان است. فرضیهٔ تحقیق، آن است که با افزایش نسبت سطح بازشو به کف کلاس، میزان نور ورودی افزایش و درنتیجه، کفایت نور روز و میزان احتمال خیرگی بیشتر و تعداد ساعات احساس آسایش حرارتی افزایش می‌یابد. فرض بر آن است که نسبت یا نسبت‌هایی بین مساحت سطح نورگیر و مساحت کف کلاس درسی وجود دارد که اهداف تحقیق را به‌صورت توأمان و به میزان مناسب تأمین نماید. از اهداف اصلی این پژوهش، افزایش دریافت نور طبیعی هم‌زمان با افزایش آسایش حرارتی و کاهش خیرگی است. زمینهٔ موردمطالعهٔ پژوهش حاضر، کلاس‌های درس مقطع دوم متوسطه در شهر تبریز هستند.

۲. پیشینه پژوهش

مرحلهٔ نخست برنامه‌دهی پیش از طراحی بسیار حائز اهمیت است. چراکه تصمیمات اساسی در این مرحله اتخاذ می‌شوند. تصمیم‌گیری‌های این مرحله بر کارایی ساختمان و آسایش ساکنان تأثیر بسیاری دارد (سعادت جو و سلیقه، ۱۴۰۰ ; Taghizade et al., 2019). در امر طراحی، معماران و طراحان با متغیرهای بسیاری سروکار دارند که باید پاسخ مناسبی برای آن‌ها بیابند (Moghtadinejad & Pashaei, 2016). در حال حاضر داده‌های آب‌وهواییِ اغلب شهرهای جهان، در اختیار طراحان و برنامه‌ریزان قرار دارند که آن‌ها می‌توانند در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز کارایی ساختمان وارد شوند و عملکرد مشابه محیط واقعی ساختمان را نشان دهند. در کشور ایران نیز به دلیل فقدان دستورالعمل‌های مربوط به طراحی پایدار، استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز امکان دستیابی به طرح‌های مؤثر و کارا را برای طراحان فراهم می‌کند (Bakmohammadi & Noorzai, 2020). در طی سالیان اخیر مطالعات گوناگونی در خصوص بررسی و بهبود آسایش بصری و حرارتی در فضاها انجام‌گرفته است. کاستودیو و همکارانش، در مطالعه‌ای به بررسی آسایش حرارتی در کلاس‌های دانشگاهی اقلیم مرطوب نیمه استوایی پرداخته‌اند. در این مطالعه با استفاده از مدل‌های تحلیلی و تطبیقی، آسایش حرارتی دانشجویان، در کلاس‌های دارای تهویهٔ مطبوع و تهویهٔ طبیعی مقایسه شده است. پژوهشگران در این پژوهش، متغیرهای محیطی را توسط یک ایستگاه میکرواقلیمی اندازه‌گیری نموده و داده‌های شخصی را از طریق پرسش‌نامه‌های الکترونیکی در بازهٔ زمانی سپتامبر ۲۰۲۲ تا جولای ۲۰۲۳ جمع‌آوری کرده‌اند. میانگین دمای خنثی حرارتی ۱۹/۸ درجه سانتی‌گراد و ۲۱/۴ درجه سانتی‌گراد در کلاس‌های با تهویه طبیعی و ۲۱/۸ درجه سانتی‌گراد و ۲۲/۱ درجه سانتی‌گراد در کلاس‌های دارای تهویهٔ مطبوع گزارش‌شده است. علی‌رغم گزارش احساسات گرمایی خنثی توسط دانشجویان، آن‌ها محیط‌های خنک‌تر را ترجیح می‌دادند. از طرفی میزان تراکم زیر

[DOI: 10.61186/ciauj.10.1.541]
Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025

۱.۰۰ افراد بر احساسات حرارتی آن‌ها تأثیری نداشته است. نتیجهٔ این پژوهش، نشان می‌دهد مدل PMV/PPD قادر نبوده است که آسایش حرارتی کاربران را به‌درستی پیش‌بینی کند. درحالی‌که مدل آسایش تطبیقی برای این موضوع مؤثرتر بوده است (Custodio et al., 2024). در مطالعهٔ دیگری، نیزا و همکارانش، به ارزیابی آسایش حرارتی در کلاس‌های درسی دانشگاهی برزیل با در نظر گرفتن دسته‌بندی جنسیتی و ترجیحات حرارتی افراد پرداخته‌اند. بر اساس نتایج این پژوهش، محدودهٔ آسایش حرارتی برای زنان بین ۲۰/۳۹ و ۲۲/۱۹ درجه سانتی‌گراد و برای مردان ۱۹/۴۷ تا ۵۶/۲۲ درجه سانتی‌گراد تعیین‌شده است. پژوهشگران این مطالعه معتقد هستند که در نظر گرفتن تفاوت‌های جنسیتی در دستیابی به آسایش حرارتی و ارائهٔ دستورالعمل‌های رفاهی کاربران اهمیت بالایی دارد (Niza et al., 2023). نسما و سایر همکارانش، در پژوهشی تحلیلی به بررسی قفسه‌های نوری و تخمین روشنایی مناسب در روز و آسایش بصری با روش طراحی پارامتریک پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش، پارامترهای بهینه طراحی برای قفسه‌های نوری و آفتاب‌گیرهای پنجره‌ها را زاویهٔ نصب متناسب با جهت‌گیری ساختمان و درصد شفافیت مناسب می‌داند (Nesma et al., 2023). علاوه بر بررسی هر یک از اهداف ذکرشده به‌صورت جداگانه، نتایج تحقیقات مختلف نشان می‌دهند که استفاده از روش بهینه‌سازی چندهدفه بر مبنای شبکهٔ هوش مصنوعی می‌تواند اهداف چندگانه را هم‌زمان بررسی و بهینه‌سازی کند. به‌بیان‌دیگر، متغیرها و اهداف متضاد موجود در امر طراحی توسط نرم‌افزارهای بهینه‌ساز به‌طور هم‌زمان می‌توانند بهینه‌سازی شوند و پاسخ‌های مناسب بینابینی به دست دهند (Ziaee & Vakilnezhad, 2022; Xu et al., 2021; Lakhdari et al., 2021; Bakmohammadi & Noorzai, 2020; Zhang et al., 2017; Mahdavinejad et al., 2016).

در تحقیق ضیایی و وکیل نژاد، به بهینه‌سازی ویژگی‌های قفسه‌های نوری در کلاس‌های مدارس تهران و ساری پرداخته‌شده است. هدف اصلی این تحقیق، بهبود آسایش حرارتی کاربران و بهره‌وری از نور طبیعی بوده است. از افزونه‌های اکتاپوس (Octopus) و گرس‌هاپر (Grasshopper) در راینو (Rhino) برای بهینه‌سازی و از نرم‌افزار اوپن استودیو برای تحلیل آسایش حرارتی استفاده‌شده است. نتایج نشان می‌دهند که ویژگی‌های قفسه‌های نوری در کلاس‌های شهر ساری و تهران مشابه است و برخی روابط بین زوایای قفسه‌ها و نور ورودی مورد شناسایی قرارگرفته‌اند (Ziaee & Vakilinezhad, 2022). در پژوهشی که ژو (Xu) و همکاران، در خصوص طراحی کلاس‌های درسی ابتدایی در چین انجام داده‌اند، یک روش بهینه‌سازی چندهدفه بر مبنای شبکهٔ هوش مصنوعی مورداستفاده قرارگرفته است. در این پژوهش، از نرم‌افزارهای انرژی پلاس (Energyplus)، متلب (Matlab) و الگوریتم ان‌اس‌جی‌ای۲ (NSGAII) استفاده‌شده و جبههٔ جواب پارتو به‌منظور بهینه‌سازی و اولویت‌بندی جواب‌ها به‌کاررفته است. اهداف بهینه‌سازی شده شامل شاخص‌های کلیدی مانند میزان انرژی مصرفی و آسایش فضای داخلی می‌شوند. در بررسی و مقایسهٔ نتایج نسبت به طرح معیار، روش به‌کاررفته گرفته‌شده منجر به افزایش ۴۷/۸٪ درصد مدت‌زمان قرارگیری در محدودهٔ آسایش، کاهش ۸۱۰/۸ کیلووات ساعت مصرف انرژی سالانه و افزایش ۴/۲٪ در میزان ساعات خارج از محدودهٔ آسایش شده است (Xu et al., 2021). در تحقیقی دیگر به بهینه‌سازی چند متغیرهٔ کلاس مدارس متوسطه از منظر بهبود نور طبیعی، آسایش حرارتی و بهره‌وری انرژی در اقلیم گرم و خشک و با استفاده از روش پارامتریک پرداخته‌شده است. متغیرهای این پژوهش، مصالح به‌کاررفته در دیوار، نسبت سطح بازشو به دیوار، انواع شیشه‌ها و ابزار سایه‌اندازی بوده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که با تغییر و تنظیم متغیرهای مربوط به پوستهٔ ساختمان می‌توان بهره‌مندی از نور طبیعی، آسایش حرارتی و نیز بهره‌وری انرژی را در ساختمان‌های آموزشی این اقلیم بهبود بخشید (Lakhdari et al., 2021). بک‌محمدی و همکارانش، در مقالهٔ خود به بهینه‌سازی چند هدفهٔ کلاس درسی ابتدایی از منظر دریافت نور طبیعی، آسایش حرارتی کاربران و بهره‌وری انرژی پرداخته‌اند. این مقاله در پی بهبود بخشیدن عناصر معماری ازجمله هندسهٔ فضا با ایجاد حوزه‌های نوری مستقل و قابل‌کنترل بوده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهند که با این روش، میزان مصرف انرژی تا ۴۲/۹۲ کیلووات ساعت بر مترمربع، کاهش و میزان احساس آسایش حرارتی افراد بهبودیافته است (Bakmohammadi & Noorzai, 2020). در یک پژوهش دیگر، رویکرد نوآورانه‌ای برای بهینه‌سازی بازشوهای ساختمان‌های اداری از منظر کارایی انرژی و عملکرد بصری به‌کاررفته است. در این روش از نرم‌افزارهای راینو و افزونه‌های گرس‌هاپر، هانی‌بی (Honeybee) و لیدی‌باگ (Ladybug) به همراه الگوریتم هایپ (HypE) در اکتاپوس استفاده‌شده است.

[DOI: 10.61186/ciauj.10.1.541]
Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025

نتایج پژوهش حاکی از آن هستند که با کاهش ۱۲ درصدی مصرف انرژی و بهبود کیفیت دید در بیش از ۸۰٪ از نقاط شبیه‌سازی‌شده، روش حاضر توانسته بهبود قابل‌توجهی در دریافت روشنایی روز و کیفیت دید رضایت‌بخش ایجاد کند (Pilechiha et al., 2020). در تحقیقی دیگر، بهینه‌سازی توأمان نور روز دریافتی و آسایش حرارتی در مدارس چین موردمطالعه قرارگرفته است. در این مطالعه، موقعیت قرارگیری کلاس درس، ویژگی‌های مختلف سطوح بازتابنده، نوع ابزار سایه‌انداز و ویژگی‌های آن، به‌عنوان متغیر موردبررسی قرارگرفته‌اند. محققان اشاره‌کرده‌اند که بر مبنای نتایج حاصل از مدل بهینه می‌توان میزان استفاده از نور روز را بهبود بخشید و تعداد ساعات عدم آسایش حرارتی را کاهش داد (Zhang et al., 2017). مهدوی نژاد و همکارانش در مقاله‌ای به بهینه‌سازی چندهدفهٔ تناسبات و موقعیت رف‌های نوری به‌منظور استفادهٔ بیشینهٔ مطلوب از نور طبیعی و جلوگیری از خیرگی در کلاس درسی در شهر تهران پرداخته‌اند. در این مطالعه، با تأکید بر تناسبات بهینه برای بهره‌گیری حداکثری از نور طبیعی در روز در فضای داخلی، از یک سطح بازتابنده و انتقال‌دهندهٔ نور جهت نفوذ دهی عمیق‌تر نور به فضا استفاده‌شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهند که استفاده از سامانه‌های ترکیبی، از طریق تلفیق رف نوری به همراه سایبان، می‌تواند نوری یکنواخت با میانگین شدت روشنایی ۳۰۰ لوکس در سطح میز دانش‌آموزان در کلاس درس مورد آزمایش ایجاد کند (مهدوی نژاد و همکاران، ۱۳۹۵). تحقیقات مورداشاره در این بخش به‌اختصار در جدول (۱) آمده است. علی‌رغم وجود برخی مطالعات و دستورالعمل‌های طراحی در خصوص نحوهٔ ساخت مدارس در کشور ایران، همچنان کمبود منابع کاربردی در امر طراحی ساختمان‌های مناسب مدارس ایرانی از منظر آسایش حرارتی مشاهده می‌شود. مطالعات انجام‌گرفته در سایر نقاط جهان، به دلیل محدودیت‌های تحقیقاتی، قادر به پاسخ‌گویی به مسئلهٔ طراحی مدارس در ایران نیستند (Zahiri & Altan, 2016). علاوه بر این، مطالعات صورت گرفته در راستای بهینه‌سازی آسایش حرارتی و بصری در کلاس‌های درسی، کمتر به تأثیر ابعاد پرداخته‌اند و تقریباً هیچ مطالعه‌ای در خصوص تأثیر نسبت سطح بازشو به مساحت کف در این خصوص انجام نگرفته است. در پژوهش حاضر، عامل نسبت مساحت بازشو به مساحت کف کلاس درسی به‌عنوان متغیرهای مستقل و شاخص‌های مربوط به آسایش بصری و حرارتی متغیرهای وابسته محسوب می‌شوند.

جدول ۱. بررسی اختصاری پیشینه تحقیق

Table 1. A Brief Review of Research Background

نام پژوهش	نویسندگان	اهداف	متغیرها	ابزار مورداستفاده
Thermal comfort in university classrooms in humid subtropical climate: Field study during all seasons	Custodio et al., 2024	آسایش حرارتی		دیتالاگر و برداشت میدانی پرسش‌نامه
Thermal Comfort Assessment in University Classrooms: A Discriminant Analysis for Categorizing Individuals According to Gender and Thermal Preferences	Niza et al., 2023	آسایش حرارتی	جنسیت افراد و ترجیحات حرارتی	دیتالاگر و برداشت میدانی پرسش‌نامه
Optimizing Visual Comfort in School Buildings Through Parametric Design	Nesma et al., 2023	آسایش بصری	زاویه و شفافیت قفسه‌های نوری و آفتاب‌گیرهای بیرونی	Rhino-Grasshopper Ladybug-Honeybee
Multi-objective optimization of daylight performance and thermal comfort in classrooms with light-shelves: Case studies in Tehran and Sari, Iran	Ziaee & Vakilnezhad, 2022	بهره‌مندی از نور طبیعی آسایش حرارتی	ویژگی‌های مختلف قفسه‌های نوری	Rhino-Grasshopper Ladybug-Honeybee Openstudio Octopus
A Novel Optimization Method for Conventional Primary and Secondary School Classrooms in Southern China Considering Energy Demand, Thermal Comfort and Daylighting	Xu et al., 2021	بهره‌وری انرژی آسایش حرارتی بهره‌مندی از نور طبیعی	ویژگی‌های مختلف مصالح دیوار نسبت سطح بازشو به دیوار ویژگی‌های مصالح به‌کاررفته در بازشو	Matlab Energyplus
Parametric optimization of daylight, thermal and energy	Lakhdari et al., 2021	بهره‌وری انرژی	نسبت سطح بازشو به دیوار	Rhino-Grasshopper Ladybug-Honeybee

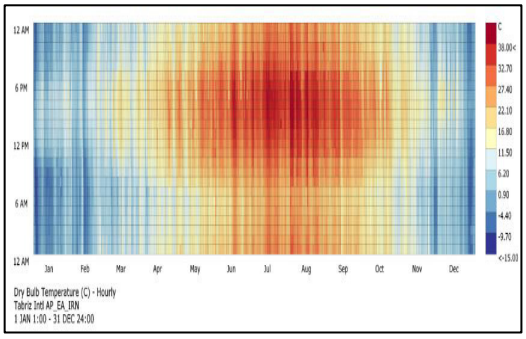
[DOI: 10.61186/ciauj.10.1.541]
Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025

نام پژوهش	نویسندگان	اهداف	متغیرها	ابزار مورداستفاده
performance of middle school classrooms, case of hot and dry regions		آسایش حرارتی بهره‌مندی از نور طبیعی	نوع مصالح دیوار نوع مصالح بازشو نوع ابزار سایه‌انداز	Octopus
Parametric optimization of daylight, thermal and energy performance of middle school classrooms, case of hot and dry regions	Bakmohammadi & Noorzai, 2020	بهره‌وری انرژی آسایش حرارتی بهره‌مندی از نور طبیعی	نوع هندسه فضا	Rhino-Grasshopper Ladybug-Honeybee Octopus
Multi-objective optimisation framework for designing office windows: quality of view, daylight and energy efficiency	Pilechiha et al., 2020	کیفیت دید بهره‌مندی از نور طبیعی بهره‌وری انرژی	ویژگی‌های ابعادی پنجره فاصلهٔ لبه‌های پنجره از دیوارها و سقف و کف	Rhino-Grasshopper Ladybug-Honeybee Energyplus Octopus
Optimization of thermal and daylight performance of school buildings based on a multi-objective genetic algorithm in the cold climate of China	Zhang et al., 2017	بهره‌مندی از نور طبیعی آسایش حرارتی	موقعیت قرارگیری کلاس درس ویژگی‌های مختلف سطوح بازتابنده نوع ابزار سایه‌انداز و ویژگی‌های آن	Rhino-Grasshopper Ladybug-Honeybee Energyplus Octopus
بهینه‌سازی تناسبات و نحوهٔ استفاده از رف نور در معماری کلاس‌های آموزشی	مهدوی نژاد و دیگران، ۱۳۹۵	میزان و کیفیت بهره‌مندی از نور طبیعی	تناسبات و ابعاد رف نوری	Ecotect Radiance

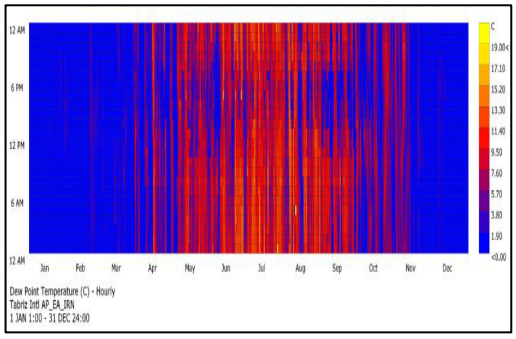
۳. روش و ابزارهای پژوهش

۳-۱. بررسی بستر موردمطالعه

تبریز شهری در شمال غربی ایران است که ازلحاظ جغرافیایی در ۳۸ درجه و ۵ دقیقهٔ شمال خط استوا و ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقهٔ شرق گرینویچ قرار دارد. طبق طبقه‌بندی کوپن (Köppen) و گایگر (Geiger)، تبریز در حوزهٔ اقلیم نیمه‌خشک و در عرض‌های میانی جغرافیایی با زمستان‌هایی سخت و تابستان‌هایی گرم و خشک قرارگرفته است (Kottek et al., 2006). ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۳۶۱ متر و رطوبت هوا هم در فصل تابستان و هم در فصل زمستان کم است. در شکل (۱)، اطلاعات بعضی از پارامترهای مستقل اقلیمی مانند دمای خشک، دمای نقطه شبنم، میزان تابش مستقیم عمودی خورشید و رطوبت نسبی تبریز در ساعات ماه‌های مختلف سال بر اساس فایل آب و هوایی (epw.) با استفاده از افزونهٔ لیدی‌باگ مورد تحلیل قرارگرفته است. میانگین بارندگی در این شهر ۳۲۳ میلی‌متر و متوسط دمایی آن ۱۱/۶ درجه سانتی‌گراد است (Ouria, 2019).

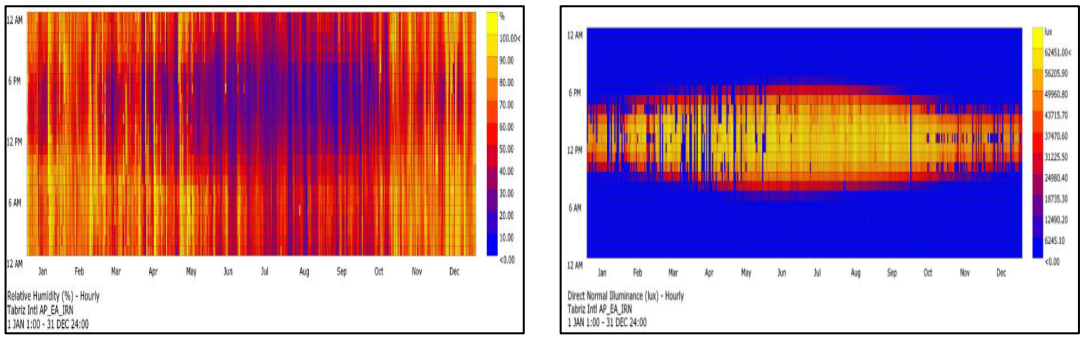


الف-A



ب-B

[DOI: 10.61186/ciauj.10.1.541]
Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025



D-د C-ج

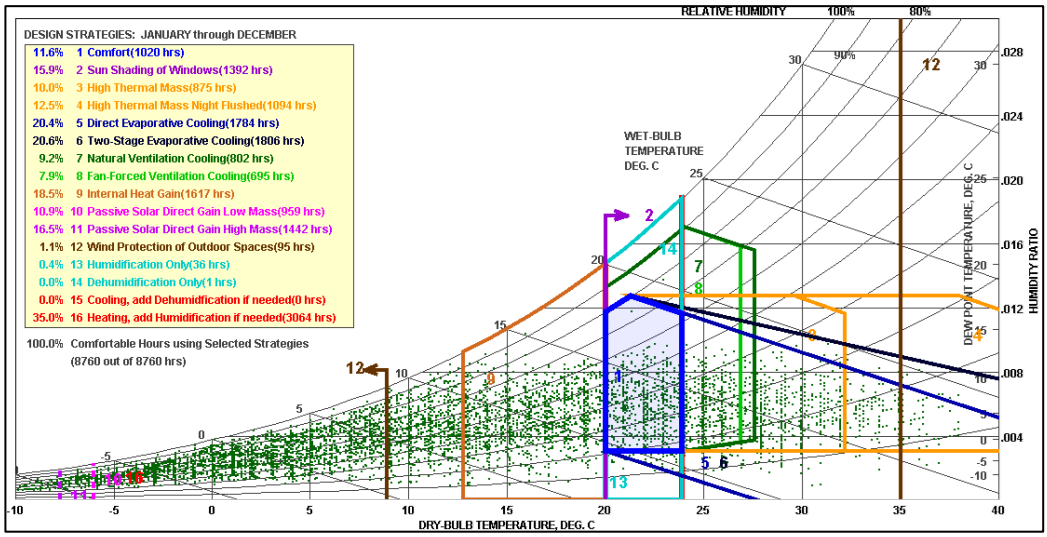
شکل ۱. کانتورهای گرافیکی مربوط به پارامترهای اقلیمی به‌صورت ساعتی، برگرفته از پایگاه داده‌های هواشناسی فرودگاه تبریز، از ابتدای ماه ژانویه تا پایان دسامبر- (الف) دمای حباب خشک (°C) (ب) دمای نقطه شبنم (°C) (ج) تابش مستقیم عمودی (**lux**) (د) رطوبت نسبی (**%**).

Fig 1. Graphic Contours of Climatic Parameters on an Hourly Basis, Extracted from Tabriz Airport Meteorological Database, from January to December. **A.** Dry bulb temperature (℃) **B.** Dew point temperature (℃) **C.** Direct vertical irradiance (lux) **D.** Relative humidity (%)

با افزایش میزان ساعات آفتابی، امکان بهره‌برداری مؤثرتر از نور طبیعی در کلاس‌های درس فراهم می‌شود، به شرطی که از ایجاد خیرگی و اختلال در آسایش بصری دانش‌آموزان جلوگیری شود.

شهر تبریز به‌طورکلی ۴۳۶۹ ساعت در طول سال ساعت آفتابی دارد و ۳۰ درصد از این ساعات در روزهای مه‌آلود و ابری به هدر می‌رود و صرفاً در ۳۰۴۷ ساعت (۳۵٪ کل ساعات سال) دسترسی به نور خورشید امکان‌پذیر است (Ouria, 2019).

با توجه به نمودار سایکرومتریک شهر تبریز، استاندارد اشری ۵۵ (ASHRAE 55) و فاکتورهای مختلف تأثیرگذار، محدودهٔ آسایش حرارتی برای این شهر مشخص‌شده است (شکل ۲). طبق این نمودار، بدون در نظر گرفتن تمهیدات طراحی اقلیمی ساختمان، تنها در ۱۷۰۸ ساعت (۱۹٪ کل ساعات سال) آسایش حرارتی برای ساکنان فراهم می‌باشد.



شکل ۲. نمودار سایکرومتریک شهر تبریز و حوزهٔ آسایش حرارتی در آن (برگرفته از ورژن ۱۰ نرم‌افزار کلایمیت کانسلتنت (Climateconsultant)

Fig 2. Graphic Contours of Climatic Parameters on an Hourly Basis, Extracted from Tabriz Airport Meteorological Database, from January to December

۳-۲. شاخص‌های آسایش بصری

بر اساس یافته‌های این پژوهش و مطالعات مشابه، دو عامل کلیدیِ کفایت نور روز و احتمال خیرگی بیش از سایر موارد در ارزیابی آسایش نوری و بصری موردتوجه قرارگرفته‌اند. چنانچه از تعاریف این فاکتورها و نمونه‌های مشابه در سایر پژوهش‌ها نیز

[DOI: 10.61186/ciauj.10.1.541]
Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025

برمی‌آید، کفایت نور دریافتی ازیک‌طرف و عدم خیرگی از سوی دیگر، بیشترین احتمال آسایش بصری را به دنبال خواهند داشت.

۳-۲-۱. کفایت نور روز

این فاکتور از معیارهای پویای اندازه‌گیری نور روز به شمار می‌رود. معیارهای پویای اندازه‌گیری نور روز مبتنی بر داده‌های سری‌های زمانی روشنایی هستند که خود از داده‌های تابش خورشیدی سالانه در منطقهٔ موردنظر استخراج می‌گردند. مزیت معیارهای پویای عملکرد نور روز نسبت به معیارهای ایستا در این است که تأثیر تغییرات روزانهٔ نور و نیز شرایط آب و هوایی مدّ نظر قرار می‌گیرند (Reinhart et al., 2006). در تعاریف، کفایت نور روز عبارت است از نسبت تعداد ساعاتی از سال که روشنایی حاصل از نور روز بیش از حداقل روشنایی موردنیاز فضا است بر کل تعداد ساعاتی از سال که فضا مورداستفاده قرار می‌گیرد (Reinhart & Walkenhorst, 2001). کفایت نور روز، توسط استانداردهایی مانند استاندارد انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی (IESNA)، برای کار خاصی در زمان مشخصی از سال تعیین می‌شود (Alhagla et al., 2019).

۳-۲-۲. احتمال خیرگی نور روز

این شاخص به‌منظور ارزیابی میزان احتمال خیرگی افراد در فضای داخلی در مواجهه با تابش نور روز به کار می‌رود (Van DenWymelenberg, 2014).

$$DGP=5.87\times 10^{-5}E_v + 0.098\times log_{10}\left[1+\sum_{i=0}^{n}\frac{l_{s,i}^2\times\omega_{s,i}}{E_v^{1.87}\times P_i^2}\right]+0.16 \quad (۱)$$

در رابطهٔ احتمال خیرگی نور روز، E_v روشنایی عمودی برحسب لوکس است که به چشم می‌رسد و به‌واسطهٔ منبع نور تولید می‌شود، $l_{s,i}$ روشنایی منبع نور برحسب کندلا بر مترمربع (cd/m2)، $\omega_{s,i}$ زاویهٔ بین منبع نوری و بیننده برحسب رادیان (rad) و P شاخص موقعیت است که بیانگر تغییر در میزان خیرگی آزاردهنده با تغییر در زاویه قرارگیری منبع نسبت به خط دید ناظر است. بر اساس این رابطه، میزان آزاردهندگی خیرگی حاصل از نور روز بر اساس جدول (۲) در چهار طبقه دسته‌بندی می‌شود (Bakmohammadi & Noorzai, 2020).

جدول ۲. معیار آزاردهندگی خیرگی (Bakmohammadi & Noorzai, 2020)

Table 2. Discomfort Glare Criteria

میزان آزاردهندگی خیرگی	احتمال خیرگی نور روز
تابش خیره‌کنندهٔ نامحسوس	DGP < 0.35
تابش خیره‌کنندهٔ محسوس	0.35 < DGP < 0.4
تابش خیره‌کنندهٔ آزاردهنده	0.4 < DGP < 0.45
تابش خیره‌کنندهٔ غیرقابل‌تحمل	0.45 < DGP

۳-۳. شاخص آسایش حرارتی

آسایش حرارتی، اصطلاحی برای توصیف یک محیط حرارتی رضایت‌بخش و بدون استرس در ساختمان‌ها است که به‌صورت یک مفهوم جمعی و به‌واسطهٔ هنجارها و انتظارات تعریف‌شده است (Nicol et al., 2012). در نسخهٔ اولیهٔ استاندارد اشری ۵۵، شرایط مفروض استانداردهای آسایش حرارتی با تمرکز بر مدل‌های تعادل حرارتی بودند. بر این اساس، آسایش حرارتی زمانی به دست می‌آمد که دمای بدن در محدوده‌ای بسیار محدود از تعادل حرارتی قرار گیرد. در این مورد، تلاش فیزیولوژیکی افراد برای انطباق با محیط و احساس آسایش نادیده گرفته می‌شده است و صرفاً عوامل محیطی (دما، تابش حرارتی، رطوبت و سرعت هوا)، به‌علاوهٔ عوامل شخصی (فعالیت و لباس) به‌عنوان عوامل تأثیرگذار برآسایش حرارتی افراد مطرح می‌شده‌اند (Dear & Brager, 1997). استاندارد اشری ۵۵، در سال ۲۰۱۰ میلادی از رابطهٔ بین دمای آسایش داخلی و دمای بیرون، برای تعریف مناطق قابل‌قبول برای دمای داخلی در ساختمان‌هایی با تهویهٔ طبیعی استفاده می‌کرد؛ بنابراین، باید اصلاحاتی انجام می‌شد تا تفاوت بین رفتار ساکنان و آنچه استانداردها پیش‌بینی می‌کردند به حداقل برسد، پس از مطالعات میدانی بسیار و پرسش از میزان آسایش ساختمان‌های دارای تهویهٔ طبیعی، استانداردهای آسایش حرارتی تطبیقی (Adaptive) به وجود آمد. این مدل در حال حاضر توسط استانداردهای بین‌المللی مانند اشری ۵۵-۲۰۱۳ (ASHRAE Standard 55-2013) و استاندارد اروپایی ای‌ان ۱۵۲۵۱ (EN 15251) پشتیبانی می‌شود (Serghides et al., 2017; Wang et al., 2019). در پژوهش حاضر، نیز از این مدل برای تحلیل آسایش حرارتی تطبیقی کاربران استفاده‌شده است. رابطهٔ محاسبهٔ آسایش حرارتی تطبیقی در استاندارد اشری ۵۵ به‌صورت زیر است:

$$Tcomf=0.31\times Tm_{out}+17.8 \quad (۲)$$

در این رابطه Tcomf، بیانگر دمای آسایش داخلی و Tm_{out} میانگین ماهانهٔ دمای خارجی است. در نتایج این

[DOI: 10.61186/ciauj.10.1.541]
Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025

تحقیق، تعداد ساعاتی که در آن آسایش حرارتی تطبیقی بر مبنای فرمول فوق برقرار بوده است، گزارش می‌شود.

۳-٤. ابزار پژوهش

در پژوهش پیش‌رو، برای شبیه‌سازی فضای کلاس درسی از نرم‌افزار گرافیکی راینو و افزونهٔ گرس‌هاپر جهت تغییر پارامتریک حجم و سطح کلاس درسی و نورگیر دیوار جنوبی استفاده‌شده است. مدل‌سازی پارامتریک به محقق این امکان را می‌دهد تا تمام امکان‌های موجود در یک بازهٔ تغییر معین را بررسی کند (Gursel Dino & Üçoluk, 2017). به‌منظور اندازه‌گیری عوامل مرتبط با آسایش بصری و حرارتی، از افزونه‌های لیدی‌باگ و هانی‌بی استفاده‌شده است. برای ارزیابی دقیق‌تر میزان دریافت نور طبیعی و حدّ آسایش بصری، از نور مصنوعی در فضا صرف‌نظر شده است. داده‌های اقلیمی موردنیاز مانند شرایط آب‌وهوایی و شرایط آسمان از طریق فایل آب‌وهوایی کالیبره‌شده‌ای که از ایستگاه هواشناسی فرودگاه تبریز استخراج و در پایگاه داده‌های لیدی‌باگ موجود است، تأمین‌شده است. شرایط آسمان در بحث مربوط به میزان نور ورودی به فضا و بحث خیرگی تأثیر بسزایی دارد. حداقل نور موردنیاز در فضای کلاس درسی ۳۰۰ لوکس و آستانهٔ نهایی اجتناب از خیرگی ناراحت‌کننده ۰/۴ در نظر گرفته‌شده است (Othman and Mazli, 2012).

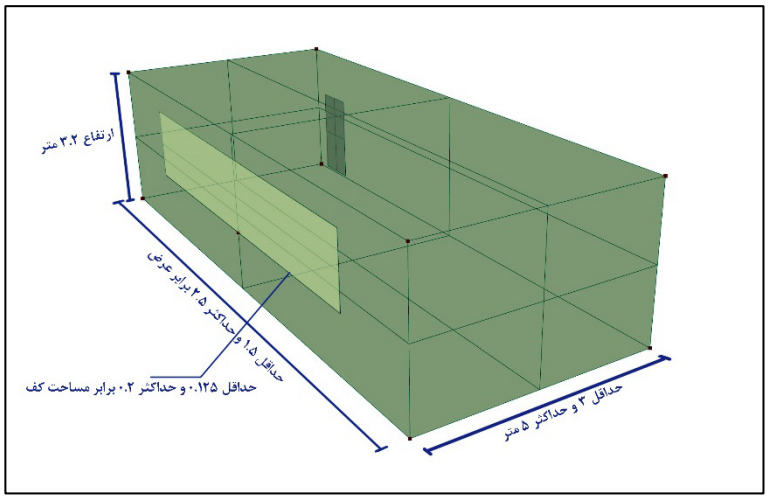
در این مقاله، به‌منظور بهینه‌سازی از افزونهٔ اکتاپوس (Octopus) به روی گرس‌هاپر استفاده‌شده است. این افزونه، اصول تکاملی را در طراحی پارامتریک و حل مسئله اعمال می‌کند. در این راستا، برای انتخاب مجموعه جواب بهینه از الگوریتم اس‌پی‌ای‌ای۲ در افزونهٔ اکتاپوس استفاده‌شده است. لازم به ذکر است که وزن اهداف در این پژوهش، یکسان در نظر گرفته‌شده است تا پاسخ‌های کارای به‌دست‌آمده دارای شرایط مطلوب در تمام توابع باشند.

۳-۵. مدل و شرایط شبیه‌سازی

در این مطالعه مدل موردبررسی، کلاس درسی مقطع متوسطه در شهر تبریز است. دلیل انتخاب این مقطع تحصیلی، دسته‌بندی دانش‌آموزان آن در گروه بزرگ‌سالان استانداردهای مربوط به احساس آسایش فیزیکی فرد در محیط، علی‌الخصوص پیش‌فرض‌های موجود در استاندارد اشری، است.

مدل پایهٔ شبیه‌سازی، کلاسی است که جهت‌گیری شرقی-غربی دارد و ارتفاع فضا ۳/۲ متر، عرض آن متغیر در بازهٔ ۳ و ۵ متر و طول آن متغیر و تابعی از عرض است به‌گونه‌ای که حداقل و حداکثر طول مضرب ۱/۵ تا ۲/۵ برابر عرض کلاس است. این نسبت با استناد به ضوابط ارائه‌شده توسط سازمان نوسازی مدارس استخراج‌شده است. با توجه به بررسی آماری که از مدارس این مقطع در شهر تبریز به‌عمل‌آمده است، قریب به ۵۶٪ کلاس‌های این مدارس صرفاً یا توأماً دارای نورگیری جنوبی و ۴۵٪ آن‌ها صرفاً یا توأماً دارای نورگیر شمالی بوده‌اند. با استناد به این آمار و با توجه به اقلیم شهر تبریز، کلاس‌های دارای نورگیر جنوبی پرکاربردتر بوده است؛ بنابراین مدل شبیه‌سازی کلاس دارای یک پنجرهٔ جنوبی است که مساحت آن متغیر و وابسته به تغییر مساحت کلاس است. علت عدم تقسیم سطح نورگیر به بیش از یک پنجره آن است که زمانی که ماشین ابعاد حدّ پایین بازهٔ تعریف‌شده برای طول و عرض کلاس را انتخاب می‌کند، ابعاد پنجره هم به تبعیت از این تناسبات کاهش می‌یابد. در این پژوهش برای جلوگیری از کاهش بیش‌ازحد و غیرمنطقی مساحت پنجره‌ها از یک بازشو استفاده‌شده است تا مساحت کلی بازشو استخراج شود. لازم به ذکر است که ارتفاع کف پنجره از کف کلاس به‌صورت ثابت ۱/۲ متر و ارتفاع پنجره به‌طور ثابت ۱/۵ متر در نظر گرفته‌شده که در این خصوص هم ضوابط سازمان نوسازی مدارس ملاک عمل قرارگرفته است (دفتر فنی سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس، ۱۳۸۶). به‌علاوه، یک در با ابعاد ثابت ۱×۲ متر به‌عنوان ورودی کلاس در نظر گرفته‌شده است (شکل ۳).

[DOI: 10.61186/ciauj.10.1.541]
Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025



شکل۳. مدل کلاس درسی موردمطالعه

Fig 3. Model of the Classroom Under Study

موقعیت کلاس مدل‌سازی شده به‌صورت اتاقی در طبقهٔ همکف یک مدرسهٔ دوطبقه تعریف‌شده است. کف این کلاس مجاور با زمین، دو جبهه شرقی و غربی مجاور باکلاس‌ها و سقف آن مجاور با طبقهٔ فوقانی بوده و اتلاف حرارت از این جوانب صورت نمی‌گیرد و به‌اصطلاح، دیوارها و سقف، آدیاباتیک (Adiabatic) تعریف‌شده‌اند. تنها، دیوار جبههٔ جنوبی دیوار خارجی محسوب می‌شود و مجاور فضای کنترل نشده قرارگرفته است. جزئیات دیوار خارجی در جدول (۳) آمده است. لازم به ذکر است که این دیوار و جزئیات آن از مجموعه مصالح پیشنهادی توسط سازمان نوسازی و تجهیز مدارس انتخاب‌شده است (دفتر فنی سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس، ۱۳۹۵). پنجرهٔ به‌کاررفته در دیوار نیز از نوع شیشهٔ دوجدارهٔ کم گسیل غیرفعال همراه با قاب پی‌وی‌سی (PVC) است.

جدول ۳. مشخصات مصالح به‌کاررفته در دیوار جبههٔ جنوبی مدل

Table 3. Specifications of Materials Used in the South-Facing Wall of the Model

مصالح دیوار خارجی (نما آجری)	ضخامت (m)	ضریب هدایتی (W/m·K)	چگالی (kg/m³)	گرمای ویژه (J/kg·K)	ضریب جذب حرارت	ضریب جذب نور
آجر پلاک	0.03	0.7	1850	790	0.9	0.65
ملات ماسه سیمان	0.03	1.3	2000	839.46	0.9	0.5
بلوک لیکا	0.2	0.12	600	1000	0.9	0.5
اندود سیمانی	0.02	1.3	2000	839	0.9	0.7
اندود گچ	0.005	0.57	1400	839.46	0.9	0.7

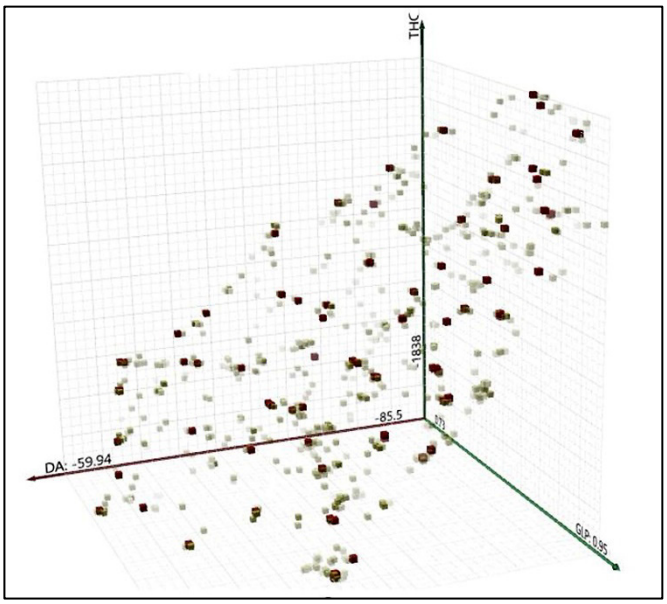
در خصوص زمان‌های موردنظر برای تحلیل آسایش حرارتی و بصری، زمان‌های آموزشی به‌صورت روزانه از ساعت ۷ صبح تا ۶ بعدازظهر مورد تحلیل قرارگرفته‌اند. لازم به ذکر است که روزهای تعطیل، ازجمله روزهای جمعه، تعطیلات تابستانی (اول تیر تا اول مهرماه) و همچنین تعطیلات رسمی از جدول زمانی مربوط حذف‌شده‌اند. درروند این تحقیق با تغییر متغیرهای مستقل شامل عرض کلاس، ضریب طول کلاس و نسبت مساحت پنجره به سطح کف، اهداف یا متغیرهای وابسته شامل عوامل آسایش بصری و حرارتی موردبررسی قرارگرفته‌اند و جواب‌های بهینه استخراج‌شده‌اند. همچنین، متغیرهای مداخله‌گری همچون چینش و شکل مبلمان، ثابت در نظر گرفته‌شده‌اند.

٤. یافته‌ها

این تحقیق باهدف بهینه یابی نسبت سطح بازشو به کف در

[DOI: 10.61186/ciauj.10.1.541]
Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025

مدل یک کلاس درسی با فرضیات ابعادی معرفی‌شده و به‌منظور تأمین هم‌زمان آسایش حرارتی و آسایش بصری دانش‌آموزان انجام‌یافته است. در این بستر تحقیقاتی ابعاد کلاس به‌عنوان متغیرهای مستقل و میزان آسایش حرارتی تطبیقی ساکنان و میزان کفایت نور روز برای فعالیت آموزشی در طول سال و نیز میزان خیرگی ایجادشده به‌واسطهٔ نور روز به‌عنوان متغیر وابسته تعریف‌شده‌اند. در تنظیمات مربوط به بهینه‌سازی، نرخ نخبگی بر عدد ۰/۵، احتمال جهش ۰/۲، نرخ جهش ۰/۹، نرخ التقاط متقاطع ۰/۸ و تعداد اعضای جامعه بر عدد ۱۰۰ تنظیم شد. با توجه به همگرایی نتایج، بهینه‌سازی در نسل ۱۸۵ متوقف گردید. برای انتخاب مجموعه راه‌حل‌های بهینه، از الگوریتم اس‌پی‌ای‌ای ۲ در بستر افزونهٔ اکتاپوس استفاده شد و مجموعه جواب به‌دست‌آمده در مرز جبههٔ جواب نهایی شامل ۷۰ راه‌حل است. در شکل (۴)، نقاط قرمزرنگ موقعیت ۷۰ راه‌حل بهینه را در سه محور اهداف تحقیق که متعلق به جبههٔ جواب نهایی بهینه‌سازی هستند، نشان می‌دهند. جواب‌های بهینهٔ جبههٔ جواب نهایی پارتو و مقدار هر یک از اهداف تحقیق در این جواب‌ها در جدول ۴ ارائه‌شده‌اند.



شکل ٤. موقعیت ۷۰ راه‌حل بهینهٔ جبهه جواب نهایی پارتو در نسل ۱۸۵

Fig 4. Location of 70 Optimal Solutions on the Final Pareto Front in Generation 185

جدول ٤. جواب‌های بهینهٔ جبههٔ جواب نهایی پارتو و مقدار هر یک از اهداف تحقیق در این جواب‌ها

Table 4. Optimal Solutions of the Final Pareto Front and the Value of Each Research Objective in These Solutions

جواب	مساحت بازشو	مساحت کف	کفایت نور روز	میانگین ماکزیمم خیرگی	تعداد ساعت آسایش حرارتی	جواب	مساحت بازشو	مساحت کف	کفایت نور روز	میانگین ماکزیمم خیرگی	تعداد ساعت آسایش حرارتی
1	4.76	37.50	73.26	0.8076	1798	36	2.20	16.33	72.56	0.9312	1811
2	4.31	21 .66	84.56	0.9641	1700	37	4.93	36.01	76.13	0.8321	1785
3	7.78	43.22	83.56	0.8634	1699	38	8.18	57.62	70.79	0.7741	1761
4	7.81	62.50	64.08	0.7311	1792	39	10.12	62.50	76.51	0.8041	1719
5	4.15	32.40	72.49	0.8373	1803	40	3.94	27.73	76.59	0.8859	1781
6	8.20	55.00	74.86	0.7961	1739	41	4.61	25.21	83.29	0.9354	1708
7	8.76	57.62	74.09	0.7937	1733	42	8.82	60.00	72.82	0.7781	1744
8	9.31	62.50	72.55	0.7779	1735	43	5.26	36.01	78.32	0.8422	1762
9	5.88	45.62	71.28	0.7833	1787	44	4.16	33.28	69.80	0.8297	1810
10	5.99	47.50	70.25	0.7753	1789	45	4.92	32.40	78.55	0.8751	1750
11	5.94	47.50	69.93	0.7762	1789	46	7.02	45.61	77.99	0.8269	1735
12	4.05	32.40	71.55	0.8364	1807	47	2.51	16.33	76.78	0.9467	1782
13	7.81	62.50	64.22	0.7300	1792	48	3.10	17.34	81.24	0.9667	1727
14	2.27	18.00	64.76	0.8696	1834	49	3.92	30.37	73.37	0.8460	1801
15	6.88	55.00	67.03	0.7504	1789	50	10.75	62.50	79.16	0.8173	1703
16	5.78	37.50	80.01	0.8460	1744	51	4.60	27.73	81.21	0.9035	1734
17	7.26	57.62	65.22	0.7445	1790	52	5.32	42.59	66.03	0.7842	1802

[DOI: 10.61186/ciauj.10.1.541]
Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025

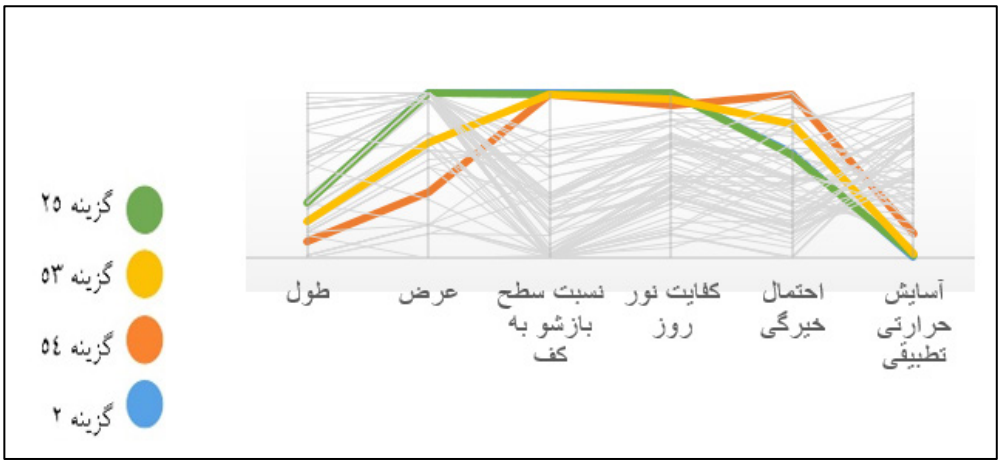
تعداد ساعت آسایش حرارتی	میانگین ماکزیمم خیرگی	کفایت نور روز	مساحت کف	مساحت بازشو	جواب	تعداد ساعت آسایش حرارتی	میانگین ماکزیمم خیرگی	کفایت نور روز	مساحت کف	مساحت بازشو	جواب
1679	0.8785	86.34	37.50	7.46	53	1750	0.8723	78.50	32.40	4..92	18
1681	0.9218	85.54	29.04	5.77	54	1757	0.8082	75.22	48.02	6.96	19
1778	0.7927	73.98	47.50	6.55	55	1758	0.7646	70.14	62.50	8.88	20
1827	0.8930	68.20	20.80	2.62	56	1762	0.8392	77.79	38.42	5.61	21
1824	0.8184	60.40	22.50	2.83	57	1789	0.7728	69.23	48.02	6.05	22
1757	0.9528	78.21	17.34	2.79	58	1792	0.7307	64.19	62.50	7.81	23
1805	0.7989	62.00	34.22	4.31	59	1755	0.9077	78.29	25.22	3.86	24
1836	0.9218	70.20	17.34	2.16	60	1677	0.8819	86.53	37.50	7.50	25
1799	0.7660	62.81	46.22	5.77	61	1698	0.8222	79.71	62.50	10.88	26
1801	0.8095	73.11	37.50	4.72	62	1835	0.9242	70.60	17.34	2.20	27
1720	0.8569	82.24	37.50	6.22	63	1689	0.8368	81.43	60.00	10.80	28
1776	0.7587	68.87	60.00	8.16	64	1785	0.7883	71.74	45.62	5.98	29
1754	0.7945	73.59	52.82	7.65	65	1719	0.9207	82.26	26.46	4.60	30
1760	0.7661	70.03	60.02	8.52	66	1722	0.9119	82.05	27.74	4.74	31
1744	0.8429	73.85	37.50	5.77	67	1711	0.8122	77.88	62.50	10.44	32
1789	0.7774	69.84	47.50	5.93	68	1749	0.8451	79.32	37.50	5.66	33
1752	0.7655	70.36	62.50	8.93	69	1815	0.8462	64.73	25.43	3.23	34
1744	0.8448	79.67	37.50	5.73	70	1815	0.8744	71.93	25.22	3.18	35

با توجه به پاسخ‌های به‌دست‌آمده از جبههٔ نهایی، میزان بهینهٔ نسبت سطح بازشو به کف برای تأمین اهداف تحقیق، در بازهٔ ۱۲۵.۰ تا ۲.۰ قرار دارد. بیشینه کفایت نور روز مربوط به جواب شمارهٔ ۲۵ با مقدار ۶۲۵.۸۶٪ ، بیشترین میزان آسایش حرارتی تطبیقی مربوط به پاسخ شمارهٔ ۶۰ با مقدار ۱۸۳۶ ساعت آسایش حرارتی در بازهٔ زمانی تعریف‌شده و کمترین میزان خیرگی آزاردهنده مربوط به پاسخ شمارهٔ ۱۳ با مقدار ۷۳.۰ است. لازم به یادآوری است که کلیهٔ پاسخ‌های موجود در جبهه جواب نهایی ازلحاظ میزان مطلوبیت توأمان دستیابی به اهداف بر هم برتری ندارند. این موضوع به معنی این است که همگی به‌طور هم‌زمان حد مطلوبی از هر سه هدف را ارائه می‌دهند. با توجه به اینکه در شرایط خاص و بنا به نیازهای طراح ممکن است یکی از اهداف، اولویت بیشتری نسبت به سایرین داشته باشد و یا یکی از اهداف به دلایلی همچون شرایط سایت یا تمایل طراحان به استفاده از نور مصنوعی یا گرمایش مکانیکی اهمیت کمتری داشته باشد، در ادامه به‌صورت جداگانه پاسخ‌های بهینه‌ای که در جبهه جواب نهایی بیشترین میزان هر هدف را به خود اختصاص داده‌اند، بررسی و معرفی می‌شود.

٤-١. پاسخ‌های بهینه با بیشترین میزان کفایت نور روز

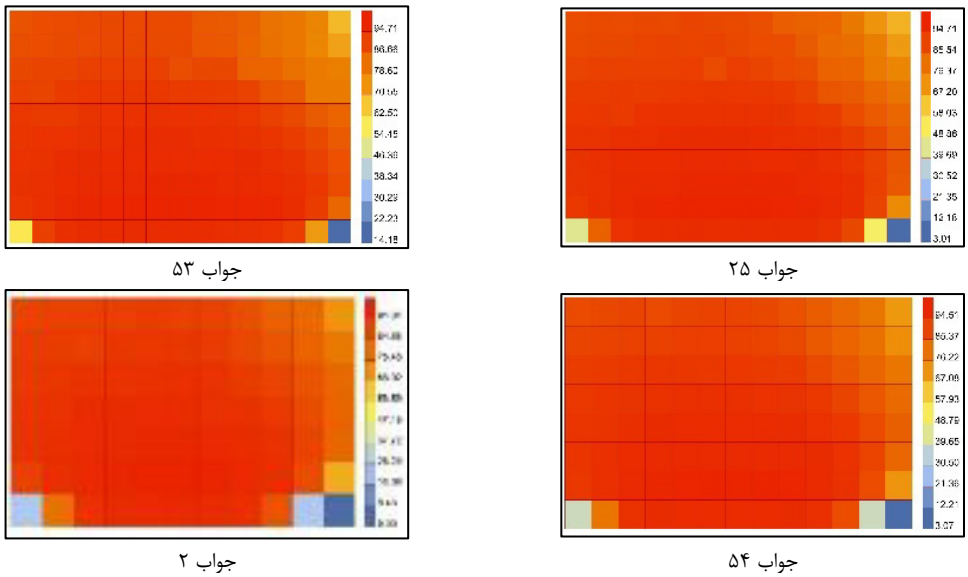
بررسی نتایج حاصل از جبهه جواب نهایی نشان می‌دهد که جواب‌های شمارهٔ ۲۵، ۵۳، ۵۴ و ۲ به ترتیب با مقادیر ۵۲۶.۸۶٪، ۳۴۵۴.۸۶٪، ۵۴۹۱۳.۸۵ ٪ و ۵۶۱۶۹.۸۴٪ بیشترین میزان کفایت نور روز را نسبت به سایر پاسخ‌ها دارند. باید در نظر گرفت که در برخی از این گزینه‌ها افزایش مساحت بازشو می‌تواند منجر به افزایش میزان خیرگی آزاردهنده شود؛ بنابراین، لزوماً نمی‌توان گزینه‌های فوق را به‌عنوان برترین گزینه‌ها از منظر آسایش بصری انتخاب نمود. چراکه عوامل کفایت نور روز و خیرگی، هر دو در مقدار آسایش بصری دخیل هستند. شکل (۵)، وضعیت فاکتورهای مختلف مربوط به جواب‌های منتخب کفایت نور روز را نشان می‌دهد. شکل (۶) نشانگر کانتورینگ کفایت نور روز در شبکه‌بندی داخلی جواب‌های چهارگانهٔ فوق است.

[DOI: 10.61186/ciauj.10.1.541]
Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025



شکل ۵. وضعیت فاکتورهای مختلف مربوط به جواب‌های منتخب بیشترین کفایت نور روز

Fig 5. Status of Various Factors Related to the Selected Solutions with the Highest DA



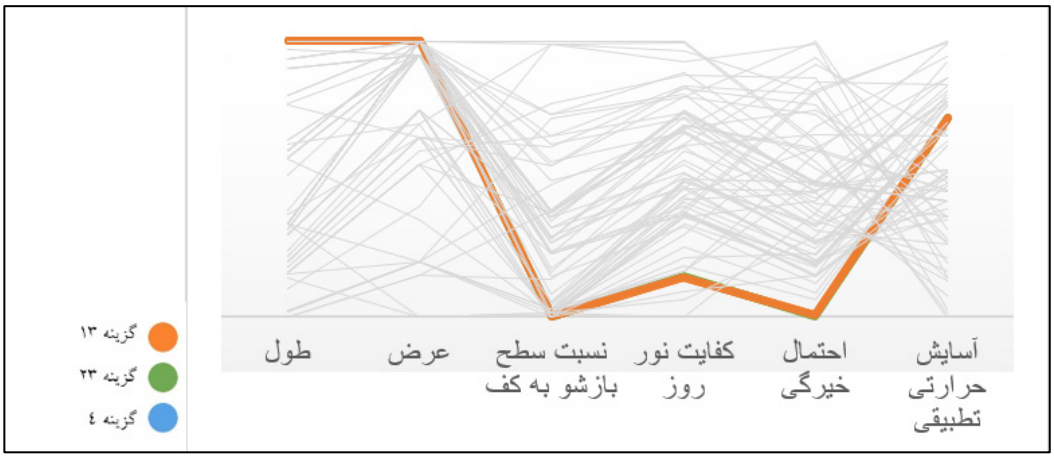
شکل٦. کانتورینگ‌های کفایت نور روز مربوط به جواب‌های منتخب بیشترین کفایت نور روز

Fig 6. Contours for the Selected Solutions with the Highest DA

٤-۲. پاسخ‌های بهینه با کمترین احتمال خیرگی

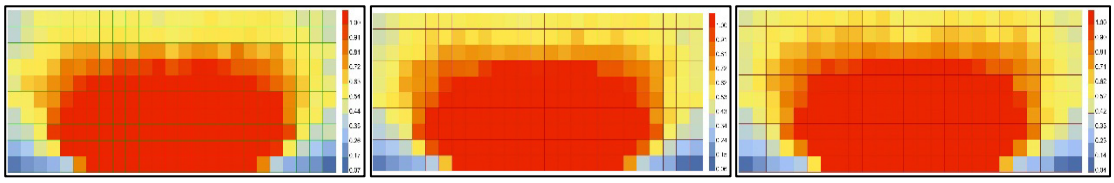
اعدادی که در این بخش به‌عنوان احتمال خیرگی گزارش می‌شوند، میانگین ماکزیمم خیرگی در تمام سنسورهای نوری در طول یک سال هستند. با توجه به اینکه هر سنسور ممکن است در طول سال خیرگی را تجربه کند و بیشینهٔ مقادیر آن به‌عنوان معیار اصلی مدنظر قرار می‌گیرد، اعداد ارائه‌شده در محدودهٔ تابش خیره‌کننده قرار دارند اما به دلیل اصل مقایسه در بهینه‌سازی اعداد کمتر پاسخ‌های بهتری در حوزهٔ خیرگی هستند. مطالعهٔ میزان احتمال خیرگی در پاسخ‌های جبهه جواب نهایی بیانگر آن است که پاسخ‌های شمارهٔ ۱۳، ۲۳ و ۴ به ترتیب با مقادیر ۷۳۰۰۸۳.۰، ۷۳۰۷۷۵.۰ و ۷۳۱۱۰۵.۰ دارای کمترین میزان احتمال خیرگی نسبت به سایر پاسخ‌ها هستند. چنانچه ذکر شد کاهش خیرگی و افزایش میزان کفایت نور روز دو هدف متقابل می‌باشند که بر اهمیت بهینه‌سازی چندهدفه تأکید می‌کنند، بنابراین، بهترین پاسخ‌های مربوط به خیرگی را نمی‌توان به‌عنوان برترین گزینه‌ها از منظر آسایش بصری انتخاب کرد. شکل (۷)، وضعیت فاکتورهای مختلف مربوط به جواب‌های منتخب احتمال خیرگی را نشان می‌دهد. شکل (۸) نشانگر کانتورینگ‌های احتمال خیرگی در شبکه‌بندی داخلی جواب‌های چهارگانهٔ فوق است.

[DOI: 10.61186/ciauj.10.1.541]
Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025



شکل ۷. وضعیت فاکتورهای مختلف مربوط به جواب‌های منتخب کمترین احتمال خیرگی

Fig 7. Status of Various Factors Related to the Selected Solutions with the Lowest DGP



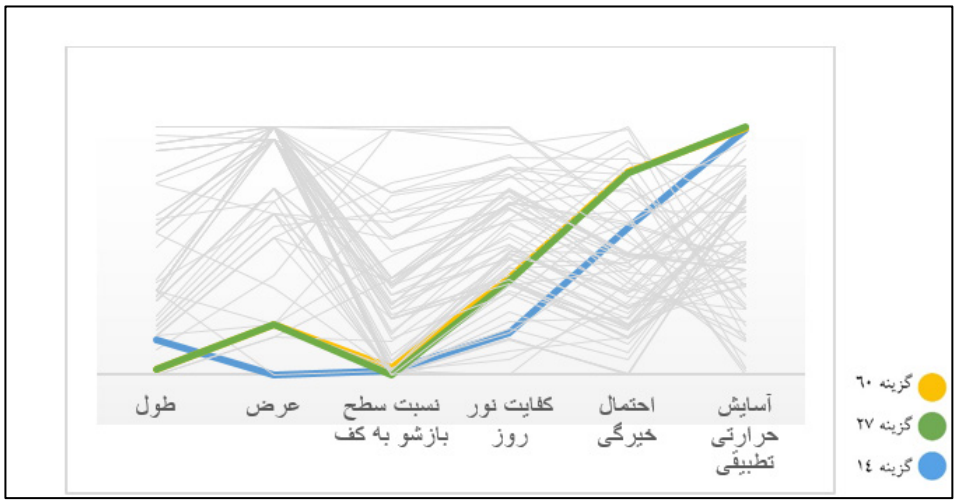
جواب ۴ جواب ۲۳ جواب ۱۳

شکل۸. کانتورینگ‌های احتمال خیرگی مربوط به جواب‌های منتخب کمترین احتمال خیرگی

Fig 8. Contours for the Selected Solutions with the Lowest DGP

٤-۳. پاسخ‌های بهینه با بیشترین شرایط آسایش حرارتی تطبیقی

بررسی آسایش حرارتی مدل‌های ارائه‌شده در جبهه جواب نهایی نشان می‌دهد که جواب‌های شماره ۶۰، ۲۷ و ۱۴ به ترتیب با مقادیر ۱۸۳۶، ۱۸۳۵ و ۱۸۳۴ دارای بیشترین میزان آسایش حرارتی در مقایسه با سایر پاسخ‌ها هستند. نمودار موجود در شکل (۹)، وضعیت فاکتورهای مختلف مربوط به جواب‌های منتخب آسایش حرارتی تطبیقی را نشان می‌دهد.



شکل ۹. وضعیت فاکتورهای مختلف مربوط به جواب‌های منتخب بیشترین آسایش حرارتی تطبیقی

Fig 9. Status of Various Factors Related to the Selected Solutions with the Highest Adaptive Thermal Comfort

[DOI: 10.61186/ciauj.10.1.541]

Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025

۵. نتیجه‌گیری

تأمین آسایش بصری و حرارتی دانش‌آموزان ازجمله موضوعات پراهمیت در طراحی کلاس‌های درسی است. با توجه به اینکه ابعاد و تناسبات فضا و اجزای آن در تحقق اهداف فوق تأثیر چشمگیری دارند، پژوهش حاضر در پی دستیابی به نسبت بهینهٔ میان مساحت بازشوی نورگیر و مساحت کلاس درس، در قدم اول، پیشینهٔ تحقیقاتی موجود را موردبررسی قرار داده است. تحقیق در این مطالعات نشان می‌دهد که اگرچه همگی بر اهمیت تأمین توأمان آسایش بصری و حرارتی توجه داشته‌اند اما اغلب، صرفاً جزئیات فضا ازجمله سطوح بازشو و نورگیر و یا سایر اجزای پیوستی فضا که میزان نور ورودی را کنترل می‌کنند، موردمطالعه بوده است و به ابعاد خود فضا و به‌طور دقیق‌تر نسبت بین این ابعاد نپرداخته‌اند. پژوهش حاضر درصدد رفع خلأ تحقیقاتی مذکور بوده و با استفاده از روش‌هایی که دستیابی هم-زمان به اهداف متعدد و غیرهمسو (همچون میزان خیرگی و عوامل آسایش حرارتی و میزان نور ورودی جهت تأمین روشنایی کافی) را ممکن می‌سازند، به دنبال این نسبت بهینه بوده است. درنهایت و با استفاده از روش فوق پس از همگرایی نتایج حاصل از بهینه‌سازی در نسل ۱۸۵، جواب‌های غیر غالب معرفی شدند. در هر یک از این جواب‌ها علاوه بر ذکر مساحت کف و بازشوی متناسب با آن، به میزان نور دریافتی و خیرگی ممکن و آسایش حرارتی اشاره‌شده است. بررسی نتایج ۷۰ گانه جبهه جواب نهایی نشان می‌دهد که نسبت سطح بازشو به کف کلاس‌های درسی در بازه ۱۲۵.۰ تا ۲.۰ متغیر بوده است. بررسی بالاترین میزان سطح بازشو به کف کلاس که متعلق به پاسخ ۲۵ است، نشان می‌دهد که فرضیهٔ تحقیق در خصوص کفایت نور روز صحیح بوده ولی در مورد میزان خیرگی و تأمین آسایش حرارتی ناصحیح است. مطالعهٔ جداگانهٔ هر یک از اهداف و پاسخ‌هایی که به‌عنوان برترین‌های هر هدف معرفی شدند حاکی از آن است که در اهداف مربوط به میزان خیرگی و کفایت نور روز، نسبت کمتر (۱۲۵.۰ و ۱۲۶.۰ و ۱۲۷.۰) در بازهٔ مذکور و در هدف مربوط به آسایش حرارتی تطبیقی نسبت بیشتر (۱۹۹.۰) در این بازه مطلوب‌تر بوده‌اند. هدف از انجام این بررسی تفکیک‌شده آن است که در صورت عدم‌تساوی وزن اهداف و تمایل طراح به اعمال وزن بیشتر به یکی از اهداف، امکان استفاده از نتایج این پژوهش فراهم شود. شایان‌ذکر است که تمام پاسخ‌های ۷۰ گانه حدّ متعادلی را بین اهداف به دست آورده‌اند و هم‌زمان اهداف مطالعه را تأمین می‌نمایند. نتایج مطالعهٔ حاضر می‌تواند راهنمایی در جهت طراحی مناسب کلاس‌های درسی در مقطع متوسطه شهر تبریز و اقلیم سرد باشد. در پژوهش‌های آتی محققان می‌توانند علاوه بر بررسی تناسبات فوق در سایر شرایط اقلیمی، برخی اهداف مهم دیگر ازجمله آسایش صوتی را نیز به‌صورت توأمان موردتحقیق قرار دهند. همچنین نقش نسبت سطح به کف کلاس درسی و بهینه یابی ابعاد آن برای تأمین اهداف آسایشی کلاس درسی می‌تواند موضوع مناسب و تکمیل‌کنندهٔ پژوهش حاضر باشد.

سپاسگزاری: این مقاله، مستخرج از رسالهٔ دکتری با عنوان "بهینه یابی چندهدفه آسایش بصری، حرارتی و صوتی دانش‌آموزان در کلاس‌های درسی" است که باراهنمایی اساتید بزرگوار خانم دکتر آیدا ملکی و آقای دکتر یاسر شهبازی و مشاورهٔ آقای دکتر عباس غفاری در دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام‌گرفته است.

مشارکت نویسندگان: ایده‌پردازی: آ.م. و ی.ش.؛ روش‌شناسی: ا.س. و ی.ش.؛ نرم‌افزار: ا.س.؛ اعتبارسنجی: ا.س. و ع.غ.؛ تحلیل رسمی: ا.س.؛ تحقیق و بررسی: ا.س.؛ منابع: ا.س.؛ مدیریت و تنظیم داده‌ها: ا.س.؛ نگارش پیش‌نویس اولیه: ا.س.؛ بازبینی و ویرایش متن: آ.م.؛ تصویرسازی داده‌ها: ا.س.؛ نظارت: آ.م.؛ مدیریت پروژه: ا.س.؛ تأمین مالی: ا.س.. تمام نویسندگان نسخه منتشر شده مقاله را مطالعه کرده و با آن موافقت نموده‌اند.

تأمین مالی: این پژوهش هیچ بودجه خارجی دریافت نکرده است.

تضاد منافع: نویسندگان هیچ گونه تضاد منافعی را اعلام نمی کنند.

دسترسی به داده‌ها و مواد: مجموعه داده‌های تولیدشده و یا تحلیل‌شده در طول پژوهش حاضر از طریق درخواست منطقی از نویسندهٔ مسئول قابل‌دسترسی هستند.

References

Alhagla, Kh., Alaa, M., & Elbassuoni, R. (2019). Optimizing Windows for Enhancing Daylighting Performance and Energy Saving. *Alexandria Engineering Journal*. 58(1):283–90. https:..doi.org.10.1016.j.aej.2019.01.004

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 (1):1590–1607. 10.1016.j.egyr.2020.06.008

Boubekri M., Lee J. Bub K., & Curry K. (2020). Impact of Daylight Exposure on Sleep Time and Quality of Elementary School Children. *European Journal of Teaching and Education*. 2(2):10–17. https:..doi.org.10.1016.j.buildenv.2024.111644

Custódio, D., Ghisi, E., & Forgiarini Rupp, R. (2024). Thermal comfort in university classrooms in humid subtropical climate: Field study during all seasons. *Building and Environment*. 258(4):115-130. https:..doi.org.10.1016.j.buildenv.2024.111644

Dear, R., & Brager, K. (1997). *Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference - Final Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference*. Final Report on RP-884(ASHRAE Transactions) (pp.104-

[DOI: 10.61186/ciauj.10.1.541]
Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025

Sustainable Architecture Goals. *International conference on modern research in civil engineering, architectural and urban development*. 3:65-76. https:..sid.ir.paper.910528.en

Nesma F., Akila B., Djamel A., & Atef A. (2023). Optimizing Visual Comfort in School Buildings Through Parametric Design. *PERIODICO di MINERALOGIA*. 92(3):74-91.

Nicol, F., Humphreys, M., & Roaf, S. (2012). *Adaptive Thermal Comfort Theory, Principles and Practice*. Routledge publications.

Niza, I., Mendes da Luz, I., & Eduardo Broday, E. (2023). Thermal Comfort Assessment in University Classrooms: A Discriminant Analysis for Categorizing Individuals According to Gender and Thermal Preferences, *Atmosphere*. 14:1325-1342.

Othman, A., & Mohd Mazli, M. (2012). Influences of Daylighting towards Readers' Satisfaction at Raja Tun Uda Public Library, Shah Alam. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 68: 244–57.

Ouria, M. (2019). Solar Energy Potential According to Climatic and Geometrical Parameters of Cities and Buildings: A Case-Study from Tabriz City- Iran. *Urban Climate*. 28: 100469. https:..doi.org.https:..doi.org.10.1016.j.uclim.2019.100469.

Pilechiha P., Mahdavinejad M., Pour Rahimian P., Carnemolla P., & Seyedzadeh S. (2020). Multi-Objective Optimisation Framework for Designing Office Windows: Quality of View, Daylight and Energy Efficiency. *Applied Energy*. 261(5):205-221.

Reinhart, C., Mardaljevic, J., & Rogers, Z. (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *Journal of Illuminating Engineering Society of North America*. 3(1): 7–31.

Reinhart, C, & Walkenhorst, O. (2001). Validation of Dynamic RADIANCE-Based Daylight Simulations for a Test Office with External Blinds. *Energy and Buildings*. 33(7): 683–97.

Saadatjoo, P, & Saligheh, E. (2021). The Role of Buildings Distribution Pattern on Outdoor Airflow and Received Daylight in Residential Complexes; Case Study: Residential Complexes in Tehran. *Naqshejahan-Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 11(3): 67–92. [In Persian]

Saligheh, E. (2022). Investigating the Effect of Protrusion and Orientation of the Building on Self-Shading of the Building in Hot and Humid Climate (Case Study: Four-Story Buildings on Kish Island). *Journal of Renewable and New Energy*. 9(1): 49–60. [In Persian]

Saligheh, E., & Saadatjoo, P. (2020). Impact of Central Courtyard Proportions on Passive Cooling Potential in Hot and Humid Regions (Case Study: Single-Story Buildings in Bandar Abbas). *Naqshejahan: Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 10(2): 137–52. [In Persian]

Serghides D., Dimitriou S., Kyprianou I., & Papanicolas C. (2017). The Adaptive Comfort Factor in Evaluating 125).

Elwekil, E. (2015). *Optimizing Classroom Acoustic Performance to Promote Children's Education and Wellbeing* (Published Master's thesis). The University of Arizona, Tucson, Arizona.

Fallahtafti, R., & Mahdavinejad, M. (2015). Optimization of Building Shape and Orientation for Better Energy Efficient Architecture. *International Journal of Energy Sector Management*. 9(4):593–618. https:..doi.org.10.1108.IJESM-09-2014-0001

Gursel Dino, I., & Üçoluk, G. (2017). Multiobjective Design Optimization of Building Space Layout, Energy, and Daylighting Performance. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 31(5):201-235. https:..doi.org.10.1061.(ASCE)CP.1943-5487.0000669.

Javanroodi, K., Vahid, N., & Mahdavinejad, M. (2019). A Novel Design-Based Optimization Framework for Enhancing the Energy Efficiency of High-Rise Office Buildings in Urban Areas. *Sustainable Cities and Society*. 49(5):362-405. https:..doi.org.10.1016.j.scs.2019.101597

Kent M., Altomonte S., Wilson R., & Tregenza P. (2017). Temporal Effects on Glare Response from Daylight. *Building and Environment*. 113:49–64. https:..doi.org.10.1016.j.buildenv.2016.09.002

Konis, K., Gamas, A., & Kensek, K. (2016). Passive Performance and Building Form: An Optimization Framework for Early-Stage Design Support. *Solar Energy*. 125:161–79. https:..doi.org.10.1016.j.solener.2015.12.020.

Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., & Rubel F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification Updated. *Meteorologische Zeitschrift*. 15 (3): 259–263. https:..doi.org.10.1127.0941-2948.2006.0130

Lakhdari, K., Sriti, L., & Painter, B. (2021). Parametric Optimization of Daylight, Thermal and Energy Performance of Middle School Classrooms, Case of Hot and Dry Regions. *Building and Environment*. 204(1): 108-143. https:..doi.org.10.1016.j.buildenv.2021.108173

Lamberti G., Salvadori G., Leccese F., Fantozzi F., & Bluyssen Ph. (2021). Advancement on Thermal Comfort in Educational Buildings: Current Issues and Way Forward. *Sustainability*. 13(18):107-123. https:..doi.org.10.3390.su131810315

Mahdavinejad, M., Tahbaz, M., & Dolatabdi, T. (2016). Optimization of Proportions and How to Use the Light Rack in the Architecture of Classrooms. *Journal of Fine Arts: Architecture & Urban Planning*. 21(2):81-92. https:..doi.org. 10.22059.jfaup.2016.60164 [In Persian]

Moghtadinejad, M., & Pashaei, S. (2016). Investigating the Impact of Parametric Architecture Design Process Based on Algorithmic Design, A New Approach in the Digital Architecture Design in Line with

[DOI: 10.61186/ciauj.10.1.541]
Downloaded from ciauj-tabriziau.ir at 17:46 +0330 on Friday October 17th 2025

the Energy Performance of Office Buildings in the Mediterranean Coastal Cities. *Energy Procedia*. 134: 683–91.

Taghizade, K., Heidari, A., & Noorzai, E. (2019). Environmental Impact Profiles for Glazing Systems: Strategies for Early Design Process. *Journal of Architectural Engineering*. 25(2):67-81.

Talaei M., Mahdavinejad M., Azari R., Prieto A., & Sangin H. (2021). Multi-Objective Optimization of Building-Integrated Microalgae Photobioreactors for Energy and Daylighting Performance. *Journal of Building Engineering*. 42(2):165-179. https:..doi.org.10.1016.j.jobe.2021.102832.

Technical Deputy and Supervision of School Equipment and Renovation Organization. (2015). *Regulations for the Design of Educational Buildings (Architectural Planning for Schools)*. Planning and budget organization of the Islamic Republic of Iran. [In Persian]

Technical Deputy and Supervision Organization of School Equipment and Renovation. (2006). *Regulations and Criteria for the Design of Educational Spaces*. Planning and budget organization of the Islamic Republic of Iran. [In persian]

Veillette, D., Rouleau, J., & Gosselin, L. (2021). Impact of Window-to-Wall Ratio on Heating Demand and Thermal Comfort When Considering a Variety of Occupant Behavior Profiles. *Frontiers in sustainable cities*. 3(12):101–116.

Wang W., Hong T., Ning X., Xiaodong X., Chen J., & Shan X. (2019). Cross-Source Sensing Data Fusion for Building Occupancy Prediction with Adaptive Lasso Feature Fi Ltering. *Building and Environment*. 162(4):213-228.

Wymelenberg, K., & Den, V. (2014). Visual Comfort, Discomfort Glare, and Occupant Fenestration Control: Developing a Research Agenda. *LEUKOS: Journal of Illuminating Engineering Society of North America*. 10(4):207–221.

Zahiri, S., & Altan, H. (2016). The Effect of Passive Design Strategies on Thermal Performance of Female Secondary School Buildings during Warm Season in a Hot and Dry Climate. *Frontiers in Built Environment*. 2(10):1–15. https:..doi.org.10.3389.fbuil.2016.00003

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(5): 371–384.

Ziaee, N., & Vakilinezhad, R. (2022). Multi-Objective Optimization of Daylight Performance and Thermal Comfort in Classrooms with Light-Shelves: Case Studies in Tehran and Sari, Iran. *Energy and Buildings*. 254(5): 111590-615.

دفتر فنی سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس. (۱۳۸۶). ضوابط طراحی ساختمان‌های آموزشی، انتشارات سازمان برنامه‌وبودجه، تهران.

دفتر فنی سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس. (۱۳۹۵). ضوابط طراحی ساختمان‌های آموزشی، انتشارات سازمان برنامه‌وبودجه، تهران.

سعادت جو، پریا و الهام سلیقه. (۱۴۰۰). نقش الگوی چیدمان بلوک های مجتمع مسکونی بر جریان باد فضای باز و نور روز دریافتی ساختمان‌ها؛ نمونه موردی: مجتمع‌های مسکونی شهر تهران، نقش‌جهان، ۱۱(۳): ۹۲-۶۷.

سلیقه، الهام و پریا سعادت جو. (۱۳۹۹). بررسی نقش تناسبات حیاط مرکزی بر سرمایش ایستای ساختمان در اقلیم گرم و مرطوب (نمونه موردی: ساختمان های یک مرتبه شهر بندرعباس)، نقش‌جهان، ۱۰(۲): ۱۵-۱.

سلیقه، الهام. (۱۴۰۱). بررسی تأثیر پیش‌آمدگی و جهت‌گیری ساختمان بر خودسایه‌اندازی بنا در اقلیم گرم و مرطوب (نمونه موردی: ساختمان‌های چهارطبقه جزیره کیش)، انرژی‌های تجدید پذیر و نو، ۹(۱): ۶۰-۴۹.

مهدوی نژاد محمدجواد، طاهباز منصوره، دولت‌آبادی، مهناز. (۱۳۹۵). بهینه‌سازی تناسبات و نحوهٔ استفاده از رف نور در معماری کلاس‌های آموزشی، نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی، ۲۱(۲):۸۱- ۹۲.