



Daylight Performance Assessment of Shading Devices in Temperate Climates: Horizontal, Vertical, and Integrated Configurations

(Case Study: An Educational Building)

Leila Sadat Hamidian Divkolaei

Received 03/May/2025

Revised: 14/Aug/2025

Accepted: 06/Nov/2025

(PP.:151 -166)

Abstract

Introduction: Daylight is an important factor in educational buildings because of its influence on indoor environmental quality, energy consumption, and occupants' visual comfort. External shading devices can play a significant role in controlling daylight while reducing unwanted solar gains. This study investigates the performance of different shading configurations in an educational building in a moderate climate with the aim of identifying an effective shading solution for improving daylight performance and energy efficiency.

Research Method: To assess daylight and energy performance, the building was modeled in Rhino and analyzed using Grasshopper with the Ladybug, Honeybee, and Radiance plugins and the Energy Plus simulation engine.

Results and Discussion: The optimization objectives included reducing lighting-related electricity consumption, maximizing UDI through shading geometry optimization, and improving daylight performance. Analyses were conducted for the summer and winter solstices and the spring and autumn equinoxes. The results showed that shading devices significantly affected daylight performance.

Conclusion: The findings showed that horizontal shading devices with a depth of 50 cm achieved the highest performance in terms of Spatial Daylight Autonomy (sDA), Useful Daylight Illuminance (UDI), and Daylight Glare Probability (DGP). In contrast, integrated shading devices demonstrated better performance in terms of Annual Sunlight Exposure (ASE) than the other two shading configurations.

Keywords: External Shading, Daylight Performance, Educational Building, Day Light Optimization, Moderate Climate.

¹**Instructor**, Department of Architecture and Urban Planning, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Technical and Vocational Uni. (TVU), Tehran, Iran, lhamidian@tvu.ac.ir

طراحی و ارزیابی سایه‌بان‌های افقی، عمودی و یکپارچه به منظور سنجش شاخصه‌های نور روز در اقلیم معتدل

(مورد پژوهی: یک ساختمان آموزشی)

لیلا السادات حمیدیان دیوکلائی

تاریخ پذیرش: 15/1404/آبان	تاریخ بازنگری: 23/1404/مرداد	تاریخ دریافت: 13/1404/اردیبهشت
(صفحات: 151-166)		

چکیده

مقدمه: امروزه با توجه به اهمیت موضوع نور روز به ویژه در محیط‌های کاری و فضاهای آموزشی، در نظر گرفتن راهکارهایی به منظور تأمین نور روز و افزایش بهره‌وری در ساختمان‌ها امری اجتناب ناپذیر است. در راستای تأمین مناسب نور روز و توجه به اثرات آن بر آسایش حرارتی داخلی، سلامت یادگیرندگان و همچنین کیفیت یادگیری در این پژوهش در نظر است تا طراحی مطلوبی از سایه‌بان‌های خارجی در ساختمان آموزشی مورد پژوهش به‌گونه‌ای در نظر گرفته شود که بتواند به بهره‌وری انرژی کارا و همچنین دریافت نور مطلوب روز دست یابد.

روش تحقیق: به منظور ارزیابی دقیق مباحث مرتبط با نور روز و مصارف انرژی، ساختمان مذکور در نرم افزار راینو مدل‌سازی شده و سپس با استفاده از نرم‌افزار گرس هاپر و افزونه‌های موجود در آن (Ladybug، Honeybee و Radiance) و به واسطه موتور ارزیابی Energy Plus، تحلیل‌های مختلف نور روز و انرژی بر روی آن انجام شده است.

نتایج و بحث: اهداف بهینه‌سازی مدل تحلیلی شامل کاهش مصرف انرژی الکتریکی متاثر از نور روز (Lighting)، حداکثر کردن UDI از طریق بهینه‌سازی فرم و هندسه سایبان و همچنین بهبود سایر شاخصه‌های نور روز است. به منظور سنجش دقیق‌تر، تحلیل‌ها در روزهای اول هر فصل از سال (انقلاب تابستانه/انقلاب زمستانه/اعتدالین/بهار و پاییز) انجام شده است. مطالعات نشان داد که سایه‌بان‌ها در عملکرد شاخصه‌های نور روز اثرگذارند.

نتیجه‌گیری: در بررسی‌های انجام شده مشخص شد که سایه‌بان‌های افقی با عمق 50 سانت بیشترین بازدهی را در شاخصه‌های کفایت نور روز (sDA)، روشنایی مفید نور روز (UDI) و درصد میزان خیرگی نور روز (DGP) به خود اختصاص داده‌اند. در حالیکه سایه‌بان‌های یکپارچه عملکرد بهتری در شاخصه‌ی ASE نسبت به دو مدل سایه‌بان دیگر کسب کرده‌اند.

واژگان کلیدی: سایه‌بان، شاخصه‌های نور روز، اقلیم معتدل، ساختمان آموزشی.

¹ مربی، گروه معماری و شهرسازی، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران. lhamidian@tvu.ac.ir

1- مقدمه

امروزه با توجه به مقوله ارزشمند حفظ انرژی، کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها و بهبود آسایش حرارتی و بصری فضاهای داخلی به منظور دستیابی به ساختمان‌های کارآمد انرژی امری اجتناب‌ناپذیر است (Yao et al., 2024). بنابراین طراحان ناگزیرند تا ضمن در نظر داشتن راهکارهایی به منظور کاهش مصرف انرژی، تأمین نور روز و آسایش حرارتی را نیز بهبود بخشند. سایه‌بان‌ها نمونه‌های مناسبی هستند تا با کاهش نفوذ تابش خورشید در فصل تابستان و تأمین عمق بهینه در زمستان، نور مطلوب را در فضاها تأمین نمایند. یکی از مهم‌ترین فضاهای تحت تأثیر نور روز در میان فضاهای مختلف، فضای آموزشی است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که حضور نور روز بر سلامت بصری یادگیرندگان، کیفیت یادگیری و روحیات ایشان اثرگذار است. بنابراین، لازم است به منظور بهبود عملکرد فضای آموزشی و همچنین توجه به مقوله انرژی، طراحی منطقی سیستم سایه‌بان‌های خارجی در ساختمان‌ها به گونه‌ای در نظر گرفته شود که بتواند به بهره‌وری انرژی مطلوب و همچنین دریافت نور مطلوب روز دست یابد. سایه‌بان‌ها در انواع مختلفی طراحی و عرضه می‌شوند. سایه‌بان‌های ثابت و متحرک بیشترین نوع مورد استفاده در ساختمان‌ها هستند. پژوهش‌های مختلفی در زمینه سنجش کارایی سایه‌بان متحرک در مقایسه با سایه‌بان ثابت انجام شده است (Bazazzadeh et al., 2021) و (De Luca et al., 2018)، (Sorooshnia et al., 2021)، (Lu et al., 2024) و ... در برخی از این پژوهش‌ها یک استراتژی کنترل سایه‌بان را بر اساس الزامات راحتی کاربران توسعه داده‌اند. در این روش، دستگاه سایه‌بان توسط یک سیستم کنترلی با یک دوربین کم‌وضوح کنترل می‌شود که قادر است تصاویر با دامنه دینامیکی بالا را ثبت کرده و یک پارامتر مربوط به راحتی بصری را ارزیابی کند. این استراتژی کنترلی می‌تواند به طور مؤثری از ناراحتی بصری پیش‌گیری کرده و در عین حال، میزان دسترسی به نور روز را بهینه‌سازی کند (Goovaerts et al., 2017). Uribe و همکاران (2019) نیز چهار استراتژی کنترلی مختلف برای دستگاه‌های

سایه‌بان خودکار قابل تنظیم را در چهار شهر ارزیابی نمودند. ایشان دریافتند که برای هر شهر یک استراتژی کنترلی خاص مناسب‌تر است، اما اجرای این استراتژی‌ها در دنیای واقعی پیچیده است. تعداد زیاد حسگرها و سخت‌افزارها، هزینه بالای سرمایه‌گذاری و مدیریت نگهداری پیچیده، استفاده گسترده از این سیستم‌ها را دشوار می‌سازد. بنابراین، دستگاه‌های سایه‌بان ثابت همچنان رایج‌ترین نوع سایه‌بان‌ها در ساختمان‌ها هستند. در پژوهش پیش رو نیز با توجه به این امر که نمونه مذکور بر روی یک ساختمان دانشگاهی در حال ارزیابی است، بنابراین با توجه به شرایط موجود، سایه‌بان مورد نظر از نوع ایستا در نظر گرفته خواهد شد. با توجه به انواع فرم‌های مختلفی که می‌توان برای سایه‌بان‌ها در نظر گرفت، در پژوهش مذکور در نظر است تا سایه‌بان‌های افقی، عمودی، یکپارچه با تمرکز بر مسأله بهینه‌سازی نور روز مورد ارزیابی قرار گرفته و بهترین نوع آن شناسایی شود. همچنین با توجه به اینکه در برخی پژوهش‌ها به ارجحیت سیستم‌های سایه‌بان خارجی بر سایه‌بان داخلی به دلیل عملکرد بهتر تأکید شده (2022 Zhou et al. و Cheng et al., 2022)، پژوهش مذکور در نظر دارد تا از سایه‌بان خارجی به جای سایه‌بان داخلی به منظور تأمین شرایط مناسب جهت دستیابی به آسایش بصری و حرارتی در ساختمان استفاده شود. مطالعه پیش رو در نظر دارد، یک چارچوب طراحی پارامتریک برای سیستم سایبان خارجی ایجاد نماید تا ابعاد ساختاری آن را بهینه‌سازی کند. بهینه‌سازی سیستم سایه‌بان‌ها بر اساس شاخص‌های روشنایی نور روز و مصرف انرژی روشنایی داخلی انجام شده و سپس ساختار بهینه، فرم و ابعاد سایه‌بان خارجی تعیین و در نهایت مدل برتر پیشنهاد می‌شود. با توجه به مطالعات انجام شده، با توجه به اینکه در بیشتر پژوهش‌های انجام شده در بخش پیشینه پژوهش، اقلیم‌های بسیار سرد و یا گرم مورد توجه قرار گرفته‌اند، پژوهش مذکور در نظر دارد تا فرضیه تأثیر مثبت سایه‌بان‌های خارجی در اقلیم معتدل و همچنین ساختمان آموزشی موجود (با توجه به اهمیت نور روز در ساختمان آموزشی) را مورد بررسی قرار دهد.

در زمینه‌ی کنترل تابش نور روز و سایه‌اندازی مطالعات متعددی انجام گرفته است. پژوهشی که توسط (Khalaf et al., 2021) انجام شده است، به بررسی تأثیر سیستم‌های سایه‌اندازی بر بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها پرداخته می‌شود. در این پژوهش به طور ویژه استفاده مؤثر از شیشه‌کاری و سایه‌اندازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که می‌تواند کاهش چشم‌گیری در مصرف انرژی برای گرمایش و روشنایی را به همراه آورد. در مطالعه دیگری که توسط (Yao et al., 2021) صورت گرفته است، تأثیر سایه‌بان‌های خورشیدی با قابلیت کنترل دستی را بر آسایش بصری فضای داخلی بررسی می‌کند، که مستقیماً با موضوع تحلیل تأثیر سایه‌بان بر تابش و مصرف انرژی روشنایی مرتبط است. این مطالعه نشان می‌دهد که سایه‌بان‌های خورشیدی متحرک به طور قابل توجهی، سطح روشنایی داخلی را بهبود بخشیده و خیرگی را کاهش می‌دهند. این امر منجر به افزایش راحتی بصری می‌شود. علاوه بر این، در این پژوهش تأکید می‌شود که سایه‌اندازی بیش از حد می‌تواند باعث افزایش مصرف انرژی روشنایی به دلیل کمبود نور طبیعی شده و بر اهمیت ایجاد تعادل در طراحی سایه‌بان به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی در عین حفظ راحتی تأکید دارد.

(Yang & Yao et al., 2012) در پژوهشی تأثیر سایه‌اندازی بر عملکرد انرژی ساختمان را بررسی کرده و به طور خاص مصالح سایه‌انداز متحرک و ثابت را با یکدیگر مقایسه می‌کنند. نتایج تحقیقات ایشان نشان می‌دهد که سایه‌بان متحرک بهتر از سایه‌بان ثابت عمل می‌کند. Rana و همکاران (2021) نیز در پژوهشی به طور جامع، تأثیر تجهیزات سایه‌انداز بر مصرف انرژی در ساختمان‌های تجاری را به‌ویژه در شرایط اقلیمی نیمه‌گرمسیری بررسی نمودند. این مطالعه بر کارایی استراتژی‌های مختلف سایه‌اندازی، مانند سایه‌بان‌ها و پرده‌ها، در کاهش جذب مستقیم گرمای خورشیدی و بهینه‌سازی بارهای سرمایش و روشنایی تأکید دارد. در مطالعه انجام شده توسط Esquivias و همکاران (2015) تأثیر تجهیزات سایه‌انداز بر شرایط نور روز در فضای داخلی و اثرات آن بر مصرف انرژی روشنایی تأکید

می‌گردد. این مطالعه نشان می‌دهد در حالی که برخی تجهیزات سایه‌انداز مانند سایه‌بان‌ها و لوورها می‌توانند به‌طور مؤثر نور روز را مدیریت کنند، انسداد بیش از حد می‌تواند سطح روشنایی را به‌شدت کاهش داده و وابستگی به نور مصنوعی را افزایش دهد. در پژوهش صورت گرفته توسط شهید و کریمی (2022)، بهینه‌سازی انتقال انرژی از طریق پوسته‌های ساختمانی مورد مطالعه قرار گرفته و به نقش تجهیزات سایه‌انداز در کنترل ضریب بهره‌گیری از گرمای خورشیدی (SHGC) و میزان انتقال نور تأکید می‌گردد. این مطالعه نشان می‌دهد که در حالی که بسیاری از پژوهش‌ها به بررسی عوامل جداگانه‌ای مانند نسبت پنجره به دیوار (WWR) و SHGC می‌پردازند، اغلب اثرات ترکیبی این پارامترها همراه با سایه‌اندازی، جهت‌گیری و نوع شیشه را نادیده می‌گیرند. بر اساس نتایج این تحقیق، بیشترین صرفه‌جویی در مصرف انرژی با انتخاب بهینه‌ترین ترکیب پارامترهای فرآیند برای کاهش مصرف انرژی از طریق پوسته ساختمان حاصل می‌شود، که شامل موارد زیر است:

نسبت پنجره به دیوار: (WWR) 7%

نوع شیشه: سه‌جداره

سایه‌اندازی: سایبان افقی (Overhang Fin)

جهت‌گیری: غربی

همچنین نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مهم‌ترین عامل در میان پارامترهای انتخابی، نسبت پنجره به دیوار است. با تمرکز بر پارامترهای پوسته ساختمان، یک طراح معماری می‌تواند نیاز انرژی ساختمان را به میزان قابل توجهی کاهش داده و گزینه‌های بیشتری برای دستیابی به ساختمان‌های با بهره‌وری انرژی بالا ارائه دهد.

در تحقیقات انجام گرفته توسط Kim و همکاران (2017) تأثیر تجهیزات سایه‌انداز افقی بر مصرف انرژی مربوط به روشنایی مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعه نشان می‌دهد که در حالی که پیش‌آمدگی‌های بیشتر سایه‌اندازها باعث کاهش نور روز ورودی و شدت روشنایی داخلی می‌شوند، این امر همچنین می‌تواند منجر به افزایش مصرف انرژی روشنایی در فضاهای سایه‌دار در مقایسه با فضاهای بدون سایه شود. Iqbal و همکاران

انرژی سیستم‌های HVAC را کاهش دهد، در برخی شرایط ممکن است منجر به افزایش مصرف انرژی روشنایی شود. این پژوهش به صورت کمی تأثیر استراتژی‌های مختلف سایه‌اندازی بر شدت مصرف انرژی (EUI) را در مناطق اقلیمی و طراحی‌های ساختمانی متنوع تحلیل می‌کند و آستانه‌های بهینه برای فعال‌سازی سایه‌اندازی به منظور صرفه‌جویی در انرژی را ارائه می‌دهد.

در تحقیقات انجام گرفته توسط Elshiwihy & Chaudhry (2019) به اهمیت تکنیک‌های سایه‌اندازی در ساختمان‌های بلندمرتبه شهری و تأثیر مستقیم آن‌ها بر مصرف انرژی می‌پردازد. این مطالعه نشان می‌دهد که سایه‌اندازی مؤثر می‌تواند از افزایش گرمای خورشیدی و تابش جلوگیری کند، که این عوامل نقش حیاتی در مدیریت تقاضای انرژی سرمایشی، به‌ویژه در اقلیم‌های گرم دارند. تحلیل پارامتری این پژوهش بر روی انواع مختلف تجهیزات سایه‌انداز، شواهد تجربی در مورد تأثیر آن‌ها بر بهره‌وری انرژی، میزان نور روز و تهویه ارائه می‌دهد. حیدری و همکاران (2021) تأثیر تجهیزات سایه‌انداز ثابت خارجی بر نور روز و آسایش حرارتی را بررسی می‌کنند، که ارتباط مستقیمی با مصرف انرژی روشنایی دارد. این مطالعه از مدل‌سازی و شبیه‌سازی برای ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان با و بدون تجهیزات سایه‌انداز استفاده کرده و نشان می‌دهد که این تجهیزات می‌توانند بارهای گرمایشی و سرمایشی را کاهش داده و میزان جذب انرژی خورشیدی را مدیریت کنند. با این حال، این پژوهش به اهمیت تعادل در طراحی سایه‌اندازی نیز اشاره می‌کند؛ زیرا سایه‌اندازی بیش از حد می‌تواند منجر به کاهش نور طبیعی شده و وابستگی به نور مصنوعی را افزایش دهد، که در نتیجه، مصرف انرژی را بالا می‌برد. Bazazzadeh و همکاران (2021) نیز تأثیرات قابل توجه تجهیزات سایه‌انداز بر عملکرد ساختمان را به‌ویژه در ارتباط با مصرف انرژی و نور روز، مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه تأکید می‌کند که سایه‌اندازی مؤثر می‌تواند مصرف انرژی را بهینه کرده و هم‌زمان میزان نور طبیعی را افزایش می‌دهد.

(2023) نقش حیاتی تجهیزات سایه‌انداز را در افزایش بهره‌وری انرژی ساختمان‌ها، به‌ویژه در زمینه تغییرات اقلیمی و افزایش دما، بررسی می‌کنند.

این مطالعه نشان می‌دهد که استراتژی‌های سنتی غیر فعال، مانند سایه‌اندازی خارجی، می‌توانند با کاهش جذب گرمای خورشیدی، دمای داخلی را به‌طور قابل توجهی کاهش داده و مصرف انرژی را بهینه کنند. در این پژوهش، از روش مطالعه موردی تطبیقی برای تحلیل کارایی سایه‌اندازهای ثابت با پیش‌آمدگی در واحدهای مسکونی در پاکستان استفاده شده و اهمیت آن‌ها در بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه بر لزوم ادغام طراحی‌های مناسب سایه‌اندازی بر اساس جهت‌گیری ساختمان تأکید داشته تا مصرف انرژی کاهش یافته و عملکرد کلی ساختمان را بهبود ببخشد. در پژوهش دیگری که توسط عابدینی (2024) انجام گرفته است، به بررسی تأثیر سه نوع تجهیزات سایه‌انداز، شامل سایه‌بان‌ها، لوورها و سایه‌اندازهای یکپارچه، بر مصرف انرژی و آسایش حرارتی در ساختمان‌های اداری پرداخته می‌شود. سیستم سایه‌بان خارجی یکپارچه نوعی از سایه‌بان خارجی است که در ساختمان‌های آموزشی به‌طور رایج استفاده می‌شود. این سیستم شامل یک پنل سایه‌بانی افقی و دو پنل سایه‌بانی عمودی است که از مزایای هر دو نوع اثر سایه‌بانی افقی و عمودی برخوردار می‌باشد (Zhou و همکاران، 2022). در مطالعه‌ی مذکور با استفاده از یادگیری ماشینی و شبیه‌سازی انرژی، تأثیر پیکربندی‌های مختلف سایه‌اندازی، از جمله سایه‌بان‌ها و لوورها، بر دمای داخلی و نیازهای انرژی در اقلیم‌های متنوع ایران را تحلیل می‌کند. نتایج نشان می‌دهند که سایه‌بان‌ها در اقلیم گرم و خشک یزد به‌طور قابل توجهی مصرف انرژی را کاهش داده، در حالی که لوورها در شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب بندرعباس بالاترین کارایی را دارند. Zhang (2024) تأثیر سیستم‌های سایه‌انداز خارجی پویا بر مصرف انرژی در ایستگاه‌های راه‌آهن را بررسی کرده و به‌طور خاص بر سیستم‌های روشنایی و HVAC تمرکز دارد. این مطالعه نشان می‌دهد که در حالی که سایه‌اندازی می‌تواند مصرف

در مجموع نتایج مطالعات انجام شده حاکی از آن است که سایه‌بان‌ها نقش موثری در کنترل نور روز و کاهش مصرف انرژی در فضاهای مختلف داشته و در صورت شناسایی نوع، فرم مورد نظر و سایر شاخصه‌های فیزیکی، محیطی و ... می‌توانند عملکرد بهتری را در طراحی‌ها ارائه دهند.

2- روش تحقیق

این تحقیق با هدف انتخاب سایه‌بان مناسب در نماهای ساختمان دانشگاهی با عملکرد بالای انرژی انجام شد. برای این تحقیق، مجموعه ساختمان‌های اداری و آموزشی یک آموزشکده (آموزشکده ملی مهارت دختران بابل) در شهر بابل و استان مازندران به عنوان نمونه انتخاب شد (شکل 1). چرا که بنا بر وضع موجود

ساختمان، فضاهای اداری و آموزشی بویژه در جبهه جنوبی ساختمان در فصول گرم‌تر سال عملاً غیر قابل استفاده بوده و بدون وجود تجهیزات مکانیکی و مصرف انرژی زیاد پاسخ‌گو نخواهند بود. با توجه به اینکه مجموعه ساختمانی مذکور در شهر بابل (استان مازندران) و در اقلیم معتدل و مرطوب قرار گرفته، از داده‌های آب و هوایی ایستگاه قراخیل (در نزدیکی این شهر) به منظور تحلیل داده‌های آب و هوایی استفاده شده که نتایج آن می‌تواند برای دیگر شهرهایی که آب و هوای مشابه دارند نیز مفید باشد. تغییرات دمای هوای سالانه در شهر بابل حدود 38 درجه است. بیشترین دما متعلق به ماه جولای (تیر) حدود 36 درجه و کم‌ترین دمای هوا به ماه ژانویه (دی) حدود 2- درجه اختصاص یافته است (شکل 2).

جدول 1- خلاصه تحقیقات انجام شده در بخش پیشینه پژوهش

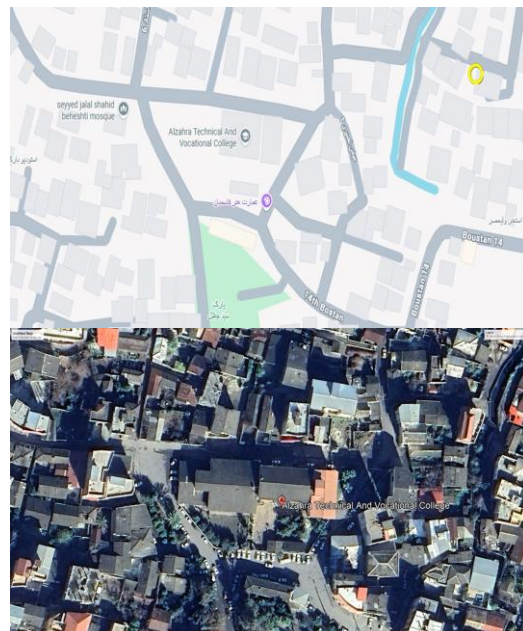
Tab. 1- Summary of Studies Reviewed in the Literature Review

نویسندگان	عنوان مقاله	محوریت پژوهش
(Khalaf et al,2021)	Energy efficiency evaluation of different glazing and shading systems in a school building	تأثیر سیستم‌های سایه‌اندازی بر بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها
(Yao et al,2021)	Impact of manually controlled solar shades on indoor visual comfort	تأثیر سایه‌بان‌های خورشیدی با قابلیت کنترل دستی را بر آسایش بصری فضای داخلی
(Yang & Yao et al,2012)	A comparative study on building energy performance between movable and fixed shading materials	تأثیر سایه‌اندازی بر عملکرد انرژی ساختمان
(Rana et al,2021)	An investigation on the impact of shading devices on energy consumption of commercial buildings in the contexts of subtropical climate.	تأثیر تجهیزات سایه‌انداز بر مصرف انرژی در ساختمان‌های تجاری
(Esquivias et al,2015)	Climate-based daylight analysis of fixed shading devices in an open-plan office	تأثیر تجهیزات سایه‌انداز بر شرایط نور روز در فضای داخلی و اثرات آن بر مصرف انرژی روشنایی
(Kim et al,2017)	A study on the effectiveness of the horizontal shading device installation for passive control of buildings in south korea	تأثیر تجهیزات سایه‌انداز افقی بر مصرف انرژی مربوط به روشنایی
(عابدینی، 2024)	Analyzing the impact of different shading devices on energy consumption and thermal comfort in office buildings using machine learning and energy simulation in three different climates of Iran	بررسی تأثیر سه نوع تجهیزات سایه‌انداز، شامل سایه‌بان‌ها، لوورها و سایه‌اندازهای یکپارچه، بر مصرف انرژی و آسایش حرارتی در ساختمان‌های اداری
(Zhang,2024)	Optimization of the dynamic external shading control for railway stations in china based on energy use intensity (eui) of lighting and hvac systems	تأثیر سیستم‌های سایه‌انداز خارجی پویا بر مصرف انرژی در ایستگاه‌های راه‌آهن
Elshiwihy & (2019) (Chaudhry)	Parametric study on determining optimum shading techniques for urban high-rise dwellings	بررسی تکنیک‌های سایه‌اندازی در ساختمان‌های بلندمرتبه شهری و تأثیر مستقیم آن‌ها بر مصرف انرژی
(حیدری و همکاران، 2021)	The effect of fixed external shading devices on daylighting and thermal comfort in residential building	بررسی تأثیر تجهیزات سایه‌انداز ثابت خارجی بر نور روز و آسایش حرارتی
Bazzaz Zadeh et 2021 (al,	Efficient shading device as an important part of daylightophil architecture; a designerly framework of high-performance architecture for an office building in tehran	بررسی تأثیرات تجهیزات سایه‌انداز بر عملکرد ساختمان در ارتباط با مصرف انرژی و نور روز،

مدلسازی شده و سپس با استفاده از نرم افزار گرس هاپر و افزونه‌های موجود در آن (Honeybee, Ladybug و Radiance) و به واسطه‌ی موتور ارزیابی Energy Plus، تحلیل‌های مختلف نور روز و انرژی بر روی آن انجام گردیده است. اهداف بهینه‌سازی مدل تحلیلی شامل کاهش مصرف انرژی الکتریکی متاثر از نور روز (Lighting) و حداکثر کردن UDI از طریق بهینه‌سازی فرم و هندسه سایبان است. برای تحلیل‌ها، ساعات اشغال فضا از 8 صبح تا 4 بعد از ظهر (روزهای کاری در ایران، شنبه تا چهارشنبه) در نظر گرفته شده و عملکرد کاربر بیشتر بصورت نشسته در فضای کاری است. همچنین به منظور سنجش دقیق‌تر، تحلیل‌ها در روزهای اول هر فصل از سال (انقلاب تابستانه/انقلاب زمستانه/اعتدالین (بهار و پاییز)) نیز انجام گردیده است.

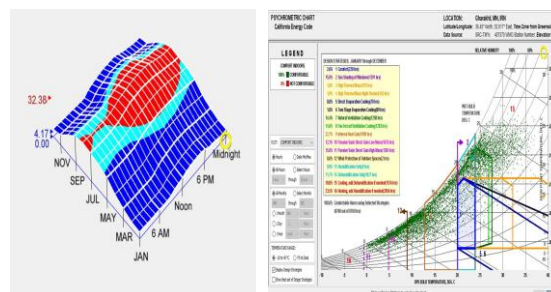
نقاط کنترل تحلیل (اندازه شبکه) به ازای هر متر مربع در نظر گرفته شده و برای تحلیل عملکرد نور روز، ارتفاع میز 80 سانتی متر فرض شده است. آب و هوای بابل در منطقه آب و هوایی 3A طبق استانداردهای ASHRAE قرار دارد که شامل آب و هوای معتدل در بهار و پاییز، هوای گرم و مرطوب در تابستان و هوای سرد در زمستان است. آسمان بابل در طول سال حدود 63 درصد ابری است.

مدل طراحی معماری در این پژوهش مبتنی بر فرآیند طراحی پارامتریک است که بر اساس تفکر الگوریتمی شکل گرفته و امکان بیان پارامترها و قوانین را فراهم می‌آورد و همچنین رابطه میان هدف طراحی و پاسخ طراحی را روشن می‌سازد. بدین معنا که اگر نیاز باشد که طرح طراحی تغییر کند، تنها کافی است که پارامترها و مقادیر آن تغییر کنند. پس از مدل‌سازی مجموعه ساختمانی در نرم‌افزار راینو و تخصیص فضاها به افزونه‌های مرتبط در هانی بی (تعیین جرم ساختمان و بازوها) و همچنین تعیین مصالح، ساختار دیوارها و سایر اجزای ساختمانی بر مبنای واقعیت موجود (دیوارهای آجری بیرونی و دیوارهای گچی داخلی) با پنجره‌های آلومینیومی تک جداره و سقف‌های آریستی، مدلسازی این مجموعه در دو حالت بدون سایه‌بان (پیش فرض موجود) و با سایه‌بان‌های مختلف سنجیده شد.



شکل 1- موقعیت مکانی ساختمان آموزشکده

Fig. 1- Location of the Technical College Building
Source: Google Earth



شکل 2- میانگین دمای هوای ماهیانه و نمودار

سایکرومتریک شهر بابل

Fig. 2- Monthly Mean Air Temperature and Psychrometric Chart for Babil
Source: Climate Consultant Software

همچنین جدول زمانی دمای خشک برای این شهر نشان می‌دهد که نیاز گرمایشی در آن بیشتر از نیاز سرمایشی است. در حدود 59 درصد از ایام سال بطور کلی این شهر دمای بین 0 تا 20 درجه را تجربه کرده و در 25 درصد از مواقع دمای 24 تا 38 را به خود اختصاص داده است. لذا طراحی فرم بهینه‌ی سایه‌بان با عمق مناسب به جهت حداکثر بهره‌وری از تابش آفتاب در زمستان و جلوگیری از ورود بیش از اندازه‌ی تابش خورشید در تابستان بسیار مهم است. به منظور ارزیابی دقیق مباحث مرتبط با نور روز و مصارف انرژی، ساختمان مذکور در نرم‌افزار راینو

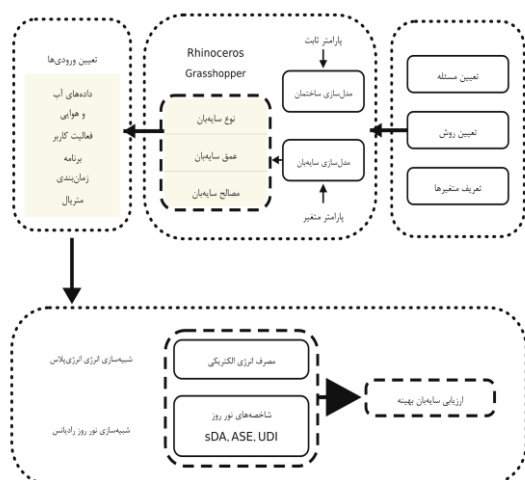
جدول 2- جدول مشخصات پوسته ساختمان مورد بررسی

Tab. 2- Envelope Specifications of the Studied Building Source: Part 19 of the Iranian National Building Regulations

ساختر	مشخصات	U-value (W/m ² ·K)	کل R (m ² ·K/W)
دیوار آجری توپر	آجر 22 سانتی توپر	2.70	0.37
پنجره تک جداره با ضریب SHGC 78.7	شیشه ساده (تک جداره) - جدار عمودی	5.8	—
سقف آریستی (آریست-سیمان)	ورق آریست-سیمان 6 mm بدون عایق	6.38	0.1567

اشغال شده در طول سال دریافت می کند، تعریف گردیده است.

علاوه بر این، طبق تعریف انجمن مهندسی روشنایی (IES)، شاخص (ASE 1000,250h) نشان دهنده درصد مساحتی از فضا است که بیش از 1000 لوکس روشنایی را برای بیش از 250 ساعت اشغال شده در طول سال دریافت می کند (Talaee,2024).



شکل 3- معرفی ساختار پژوهش

Fig. 3- Overview of the research structure

- روشنایی مفید نور روز (UDI)

این شاخص توسط مردالویچ و نبیل در سال 2005 جهت ارزیابی توان بالقوه‌ی روشنایی مفید نور روز و به عنوان اصلاحیه‌ای بر شاخص کفایت نور روز پیشنهاد شد که سادگی تفسیری رویکرد رایج فاکتور روز با تغییر زمان برای یک دوره یک ساله کامل تعیین می‌شود.

UDI به عنوان درصد ساعات اشغال فضا در یک سال تعریف شده است که در آن روشنایی افقی داخلی ناشی از نور روز در یک نقطه معین در محدوده آسایش تعیین شده قرار می‌گیرد. در واقع هدف UDI تعیین محدوده

با توجه به اهمیت مبحث نور و همچنین مصرف انرژی وابسته به آن بویژه در ساختمان‌های آموزشی و با توجه به اینکه ساختمان مذکور از عنصر سایه‌بان بی بهره مانده است، لذا در پژوهش پیش رو در نظر است تا با شبیه سازی اعمال سایه‌بان‌های مختلف، اثرگذاری آن را بر شاخصه‌های موثر در عملکرد نور روز سنجید و بهترین نوع آن را انتخاب و در مجموعه اعمال نمود (شکل 3). شاخص‌های عملکردی اثرگذار در این پژوهش شامل خودمختاری نور روز فضای (sDA)، میزان قرارگیری در معرض نور خورشید سالانه (ASE)، روشنایی مفید نور روز (UDI) و درصد خیرگی نور روز (DGP) هستند که توسط انجمن مهندسی روشنایی (IES) به عنوان شاخص‌های ارزیابی عملکرد نور روز در ساختمان‌ها تعریف شده‌اند (Heschong et al.2012).

- کفایت فضایی نور روز (sDA)

شاخص sDA بیانگر درصدی از مساحت کف فضا است که بیش از یک سطح، شدت روشنایی مشخص (حداقل 300 لوکس) برای یک مقدار مشخص از ساعت‌های سالانه (به عنوان مثال، 50 درصد ساعات بین 8 صبح تا 6 بعد از ظهر) را دارند. این شاخصه که نخستین بار توسط Lisa Heschong مطرح شد، هردو ویژگی‌های فضایی و زمانی عملکرد نور روز را در نظر می‌گیرد. بطور مثال سطح روشنایی مناسب در سطح کار برای خواندن و نوشتن در کلاس‌های درس 500 لوکس است که به صورت (sDA500lx%50) تعیین می‌گردد (IES, 2012 و IESNAI, LM12-83).

- قرارگیری سالانه در معرض نور خورشید (ASE)

برای ارزیابی میزان تابش نامطلوب مستقیم خورشید، شاخص ASE به عنوان درصدی از مساحت کف که میزان روشنایی را برای بیش از تعداد مشخصی از ساعات

ای از روشنایی است که نه بسیار تاریک و نه بسیار روشن باشد (Mohammadi et al., 2020).

-خیرگی غیر قابل تشخیص $DGP \leq 34\%$

-خیرگی قابل تشخیص $34 \leq DGP \leq 38\%$

-خیرگی آزاردهنده $38 \leq DGP \leq 45\%$

-خیرگی غیر قابل تحمل $DGP \leq 45\%$

تحلیل خیرگی به‌ویژه در فضاهای آموزشی اهمیت زیادی دارد، زیرا افراد معمولاً نمی‌توانند موقعیت نشستن یا جهت دید خود را تغییر دهند. شاخص‌های رایج در مبحث روشنایی نور روز بطور خلاصه در جدول 4 درج شده است.

- خیرگی نور روز (DGP)

شاخص DGP که از جمله جدیدترین شاخص‌هاست، علاوه بر کنتراست (تضاد نوری) که در شاخص‌های قبلی استفاده می‌شد، روشنایی کلی صحنه (اثر اشباع) را نیز به عنوان یک منبع بالقوه ناراحتی بصری لحاظ می‌کند (Reinhart, 2018).

شاخص DGP بر پایه چهار سطح احتمال تجربه ناراحتی بصری توسط یک فرد در یک محیط خاص تعریف شده است:

جدول 3- برنامه زمان بندی بهره‌بری کاربری آموزشی-اداری

Tab. 3- Occupancy Schedule for Educational and Administrative Uses Source: Part 19 of the Iranian National Building Regulations

روشنایی (%)		تهویه (%)		تجهیزات اداری (%)	
زمان	5 روز هفته	پنج شنبه و جمعه	5 روز هفته	پنج شنبه و جمعه	5 روز هفته
6-7	0.1	0.05	0	0.1	0.05
7-8	0.1	0.05	0	0.3	0.05
8-9	0.9	0.05	0	1	0.05
9-10	0.9	0.05	0	1	0.05
10-11	0.9	0.05	0	1	0.05
11-12	0.9	0.05	0	1	0.05
12-13	0.9	0.05	0	1	0.05
13-14	0.9	0.05	0	1	0.05
14-15	0.9	0.05	0	1	0.05

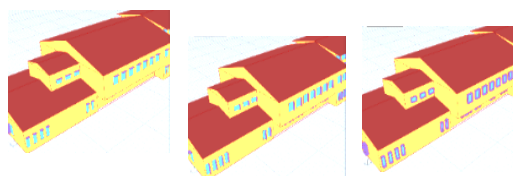
جدول 4- شاخص‌های رایج نور روز

Tab. 4- Common Daylight Metrics Source: Jiang et al. (2024)

نام شاخص	تعریف	مزیت	محدودیت
خودمختاری فضایی روشنایی روز (sDA)	درصدی از فضا که برای دستیابی به سطح مشخصی از روشنایی نور روز در مدت‌زمان معین به نور طبیعی متکی است.	SDA یک شاخص بلندمدت بوده و تغییرات زمانی و حداقل نیازهای بصری کاربران به روشنایی را نیز در نظر می‌گیرد.	-
قرارگیری سالانه در معرض نور خورشید (ASE)	درصدی از ناحیه مورد تحلیل که در آن روشنایی مستقیم نور خورشید از یک سطح مشخص (مثلاً 1000 لوکس) برای بیش از تعداد ساعات معینی (مثلاً 250 ساعت در سال) تجاوز می‌کند.	تغییرات زمانی و روشنایی بیش از حد را در نظر می‌گیرد.	محاسبه این شاخص پیچیده است و تأثیر کمبود نور روز را در نظر نمی‌گیرد.
روشنایی روز مفید (UDI)	درصد زمانی که سطح روشنایی داخلی در یک بازه مشخص در محدوده آسایش قرار دارد.	این شاخص تغییرات زمانی، حداقل نیازهای بصری به نور طبیعی و تأثیر روشنایی بیش از حد را در نظر می‌گیرد.	محاسبه آن پیچیده است و بازه‌های مختلف روشنایی برای فضاهای مختلف ساختمان باید تعیین شود.
خیرگی نور روز (DGP)	درصد خیرگی نور روز در سطح مشخص را نشان می‌دهد.	این شاخص علاوه بر تضاد نوری، اثر اشباع را نیز لحاظ می‌کند.	-

سایه بان‌های پیشنهادی در این پروژه به صورت ثابت و در سه حالت افقی، عمودی و یکپارچه به منظور سنجش شاخصه‌های کیفیت نور روز در نظر گرفته شده اند. به منظور دستیابی به دامنه‌ی اندازه‌های پیشنهادی در عمق و ابعاد سایه بان، بررسی تحقیقات پیشین با تمرکز بر انواع سایه بان‌ها با عمق، ابعاد، اندازه و زوایای متفاوت و تأثیر آن بر عملکرد نور روز در ساختمان مورد توجه قرار گرفت (شکل 4). بر این اساس سایه بان پیشنهادی از جنس آلومینیوم با هدایت حرارتی 237 وات بر متر کلین، ظرفیت گرمایی ویژه 896 ژول بر کیلوگرم کلین، چگالی 2740 کیلوگرم بر متر مکعب و ضریب گسیختگی مادون قرمز 0.25 است.

سایه بان‌های مذکور در نرم افزار Grasshopper مدل سازی شده و افزونه‌های Ladybug، Honeybee و Radiance به منظور بررسی نور روز در سطح میز کار و مصرف انرژی روشنایی در فضاهای مورد نظر به کار گرفته شدند.



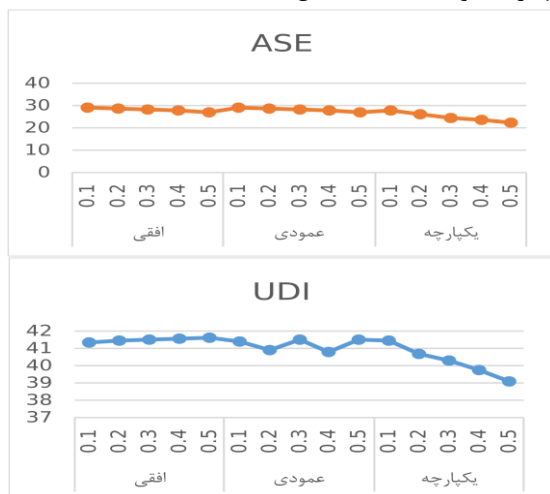
شکل 4- تعریف سایه بان‌های مختلف برای پروژه
Fig. 4- Designing various shades for the project

3- نتایج و بحث

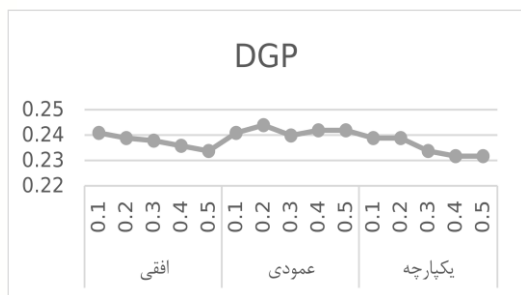
با توجه به موارد مطروحه در بخش قبل، محاسبه UDI، ASE، SDA و DGP برای هر کدام از سایه بان‌های افقی، عمودی و یکپارچه به صورت مجزا انجام و مقایسه بین حالات مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که در حالتی که برای بازشوها، سایه بان‌های افقی در همه جهات و با عمق 10 الی 50 سانت در نظر گرفته شوند، در این حالت میانگین UDI برای مجموعه‌ی مذکور به ترتیب شامل 41.37 درصد برای عمق 10 سانت و 41.44 برای عمق 20 سانت، 41.49 برای عمق 30 سانت، 41.54 برای عمق 40 سانت و 41.59 درصد برای عمق 50 سانت خواهد بود. در صورت استفاده از سایه بان‌های عمودی با عمق 10 الی 50 سانت مقدار UDI

به ترتیب برابر با 41.38 برای عمق 10 سانت، 40.88 برای عمق 20 سانت، 41.49 برای عمق 30 سانت، 40.81 برای عمق 40 سانت و 41.51 برای عمق 50 سانت حاصل می‌شود. همچنین نتایج بیانگر آن است که در صورتی که از سایه بان‌های یکپارچه با عمق 10 الی 50 سانت استفاده گردد، مقدار UDI به ترتیب برابر با 41.47 برای عمق 10 سانت، 40.66 برای عمق 20 سانت، 40.28 برای عمق 30 سانت، 39.73 برای عمق 40 سانت و 39.09 برای عمق 50 سانت بدست خواهد آمد (جدول 3). بنابراین در میان موارد مذکور با توجه به موارد یاد شده، بیشترین مقدار UDI در سایه بان‌های افقی و با عمق 50 سانت حاصل خواهد شد (شکل 5).

میانگین شاخص ASE نیز برای سایه بان افقی به میزان 27.94، برای سایه بان عمودی 28.04 و برای سایه بان یکپارچه 25.06 خواهد بود. قابل ذکر است که با افزایش عمق سایه بان از میزان ASE نیز کاسته خواهد شد و این امر در سایه بان‌های یکپارچه محسوس تر است. بنابراین بر اساس شاخص ASE، سایه بان‌های یکپارچه از عملکرد بهتری در مقایسه با دو نوع سایه بان دیگر برخوردارند (شکل 6). میانگین شاخص SDA برای سایه بان افقی به میزان 0.126 و برای سایه بان عمودی به میزان 0.125 و برای سایه بان یکپارچه نیز 0.122 خواهد بود. سایه بان‌های افقی با توجه به کسب میزان بیشتری از شاخص SDA از دو نوع دیگر به مراتب عملکرد بهتری خواهند داشت (شکل 7).



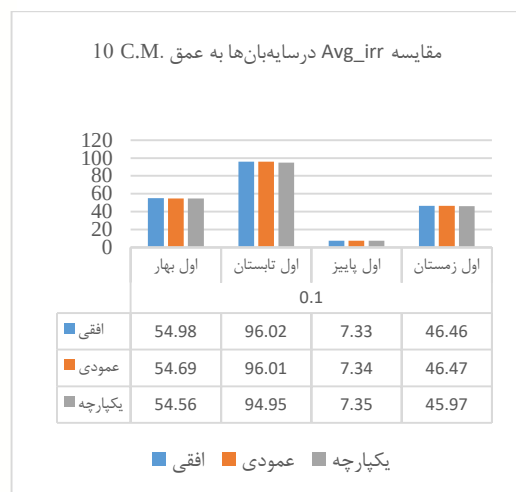
شکل 5- میزان UDI به دست آمده از سایه بان‌های مختلف
Fig. 5- UDI Values Obtained for Different Shading Devices



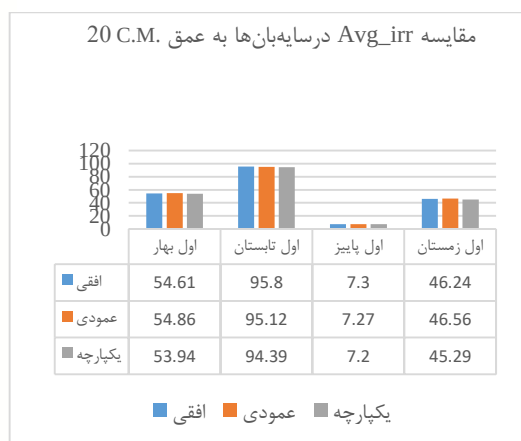
شکل 8- میزان DGP به دست آمده از سایه بان های مختلف
Fig. 8- DGP Values Obtained for Different Shading Devices



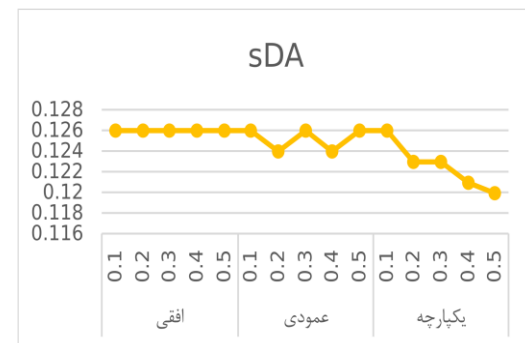
شکل 6- میزان ASE به دست آمده از سایه بان های مختلف
Fig. 6- ASE Values Obtained for Different Shading Devices



شکل 9- مقایسه متوسط انرژی دریافتی در واحد سطح از سایه بان های مختلف به عمق 10 سانتی متر
Fig. 9- Comparison of Average Energy Received per Unit Area for Different Shading Devices with a Depth of 10 C.M.

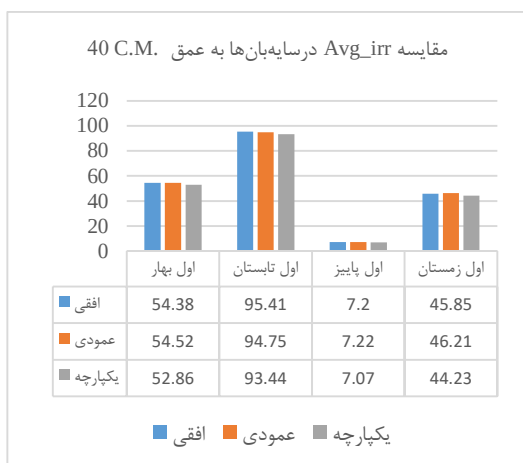


شکل 10- مقایسه متوسط انرژی دریافتی در واحد سطح از سایه بان های مختلف به عمق 20 سانتی متر
Fig. 10- Comparison of Average Energy Received per Unit Area for Different Shading Devices with a Depth of 20 C.M.

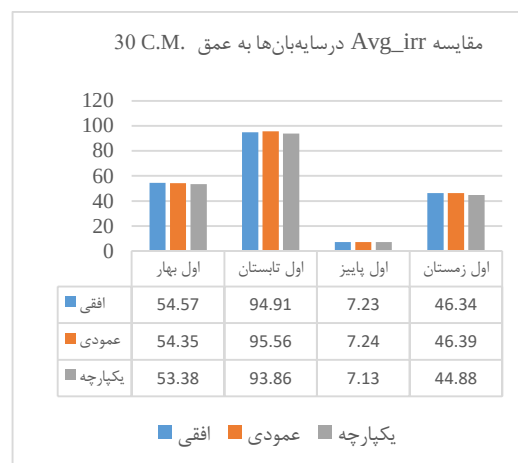


شکل 7- میزان sDA به دست آمده از سایه بان های مختلف
Fig. 7- sDA Values Obtained for Different Shading Devices

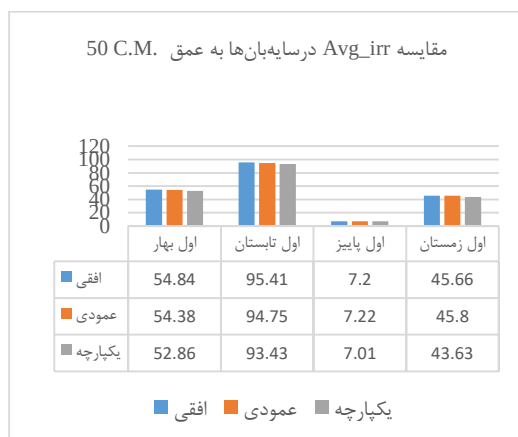
همچنین نمودار DGP برای سایه بان ها نشان می دهد که با افزایش عمق در میان سایه بان های افقی و یکپارچه از میزان DGP در فضاهای داخلی محیط کاسته شده و از 24.1٪ به 23.4٪ در سایه بان افقی و از 23.9٪ به 23.2٪ درصد در سایه بان یکپارچه می رسد. این امر در رابطه با سایه بان های عمودی صدق نکرده و میزان آن با توجه به افزایش عمق نوساناتی در دامنه ی 24.1٪ تا 24.4٪ پیدا می کند (شکل 8). شاخص دیگری که در این بخش مورد ارزیابی قرار گرفته است، میانگین میزان انرژی تابشی دریافتی در واحد سطح (Avg_irr) است که معمولاً با واحد وات بر متر مربع (W/m^2) بیان می شود. نتایج تحقیقات نشان می دهد که بیشترین میزان در دریافت انرژی تابشی خورشید زمانی است که از سایه بان های افقی به عمق 0.1 استفاده شده و هرچه به میزان عمق اضافه می گردد از میزان مذکور نیز کاسته خواهد شد. نتایج مطالعات فوق به تفصیل در اشکال 9-13 درج شده است. همچنین نتایج مطالعات نشان می دهد که بازشوها در انواع سایه بان های پیشنهادی در فصل تابستان بیشترین میزان نور دریافتی و در فصل پاییز کمترین میزان نور را دارند.



شکل 12- مقایسه متوسط انرژی دریافتی در واحد سطح از سایه بان های مختلف به عمق 40 سانتی متر
Fig. 12- Comparison of Average Energy Received per Unit Area for Different Shading Devices with a Depth of 40 C.M.



شکل 11- مقایسه متوسط انرژی دریافتی در واحد سطح از سایه بان های مختلف به عمق 30 سانتی متر
Fig. 11- Comparison of Average Energy Received per Unit Area for Different Shading Devices with a Depth of 30 C.M.



شکل 13- مقایسه متوسط انرژی دریافتی در واحد سطح از سایه بان های مختلف به عمق 50 سانتی متر
Fig. 13- Comparison of Average Energy Received per Unit Area for Different Shading Devices with a Depth of 50 C.M.

جدول 5- نتایج حاصل شده شاخصه های نور روز در سه نوع سایه بان

Tab.5- Daylight Metric Results for Three Types of Shading Devices

نوع سایه بان	میزان عمق سایه بان به متر	Avg_irr	UDI	ASE	sDA	DGP
افقی	0.1	اول بهار	54.98	41.37	28.87	0.126
		اول تابستان	96.02			
		اول پاییز	7.33			
		اول زمستان	46.46			
	0.2	اول بهار	54.61	41.44	28.39	0.126
		اول تابستان	95.8			
		اول پاییز	7.3			
		اول زمستان	46.24			
	0.3	اول بهار	54.57	41.49	27.93	0.126
		اول تابستان	95.41			
		اول پاییز	7.2			
		اول زمستان	45.66			



یکپارچه	0.4	اول تابستان	94.91	41.54	27.49	0.126	0.236
		اول پاییز	7.23				
		اول زمستان	46.34				
		اول بهار	54.38				
	0.5	اول تابستان	95.41	41.59	27.048	0.126	0.234
		اول پاییز	7.2				
		اول زمستان	45.85				
		اول بهار	54.84				
	0.1	اول تابستان	94.95	41.47	27.87	0.126	0.239
		اول پاییز	96.02				
		اول زمستان	45.97				
		اول بهار	54.56				
عمودی	0.2	اول تابستان	94.39	40.66	26.36	0.123	0.239
		اول پاییز	7.2				
		اول زمستان	45.29				
		اول بهار	53.94				
	0.3	اول تابستان	93.86	40.28	24.93	0.123	0.234
		اول پاییز	7.13				
		اول زمستان	44.88				
		اول بهار	53.38				
	0.4	اول تابستان	93.44	39.73	23.72	0.121	0.232
		اول پاییز	7.07				
		اول زمستان	44.23				
		اول بهار	52.86				
	0.5	اول تابستان	93.43	39.09	22.42	0.12	0.232
		اول پاییز	7.01				
		اول زمستان	43.63				
		اول بهار	52.4				
	0.1	اول تابستان	96.01	41.38	28.87	0.126	0.241
		اول پاییز	7.34				
		اول زمستان	46.47				
		اول بهار	54.86				
	0.2	اول تابستان	95.12	40.88	28.42	0.124	0.244
		اول پاییز	7.27				
		اول زمستان	46.56				
		اول بهار	54.35				
	0.3	اول تابستان	95.56	41.49	28.05	0.126	0.24
		اول پاییز	7.24				
		اول زمستان	46.39				
		اول بهار	54.52				
	0.4	اول تابستان	94.91	41.54	27.49	0.126	0.236
		اول پاییز	7.23				
		اول زمستان	46.34				
		اول بهار	54.38				

	اول تابستان	94.75				
	اول پاییز	7.22				
	اول زمستان	46.21				
	اول بهار	54.38				
	اول تابستان	94.58				
0.5	اول پاییز	7.2	41.51	27.24	0.126	0.242
	اول زمستان	45.8				

4- نتیجه گیری

امروزه توجه به سیستم‌های گرمایش و یا سرمایش فعال و غیر فعال در طراحی اقلیمی فضاها امری اجتناب ناپذیر است. با توجه به اینکه فضاهایی مانند فضای آموزشی در ساعات قابل توجهی از روز مورد استفاده قرار می‌گیرند، در نظر داشتن راهکارهایی جهت کاهش مصرف انرژی از اهمیت ویژه‌ای در طراحی این فضاها برخوردار است. سایه‌بان‌ها از جمله راهکارهایی هستند که می‌توانند میزان جذب نور خورشید را در اقلیم‌های متفاوت بر حسب نیاز تنظیم نموده و همچنین از خیرگی نور روز و دریافت بیش از حد تابش آفتاب بویژه در فصول گرم جلوگیری نمایند. در پژوهش مذکور، با توجه به وضعیت موجود یک ساختمان آموزشی، عدم استفاده از سایه‌بان‌ها برای بازشوها و دریافت بیش از حد نور آفتاب در کلاس‌های آموزشی مقرر شد تا سایه‌بان‌های مختلف (افقی، عمودی و یکپارچه) مورد بررسی قرار گرفته که بهترین نوع آن شناسایی و مورد استفاده قرار گیرد. در بررسی‌های انجام گرفته روشن شد که سایه‌بان‌های افقی با عمق 50 سانت بیشترین بازدهی را در شاخصه‌های کفایت نور روز (SDA)، روشنایی مفید نور روز (UDI) و درصد میزان خیرگی نور روز (DGP) به خود اختصاص داده‌اند. در حالیکه سایه‌بان‌های یکپارچه عملکرد بهتری در شاخصه‌ی ASE نسبت به دو مدل سایه‌بان دیگر کسب کرده‌اند. در عرض جغرافیایی شهر بابل، ارتفاع خورشید در ساعات میانی روز نسبتاً زیاد است و سایه‌بان افقی با عمق 50 سانتیمتر قادر است تابش مستقیم تابستان را تا حد زیادی مهار کند، در حالی که اجازه عبور نور منتشر و بخشی از تابش زمستان را می‌دهد؛ بنابراین،

UDI و SDA در سطوح مطلوب باقی می‌مانند و ASE

نیز کنترل می‌شود. همچنین برای جبهه‌های شرقی و غربی به دلیل زاویه پایین‌تر خورشید در صبح و بعد از ظهر، سایه‌بان صرفاً افقی برای مهار تابش مایل کافی نیست و استفاده از عناصر عمودی/یکپارچه می‌تواند تابش را بهتر کنترل کند، هرچند ممکن است بخشی از نور مفید روز کاهش یابد. همچنین نتایج تحقیقات نشان داد که بیشترین میزان در دریافت انرژی تابشی خورشید زمانی است که از سایه‌بان‌های افقی به عمق 0.1 استفاده شده و هرچه به میزان عمق اضافه می‌شود از میزان مذکور نیز کاسته خواهد شد. لذا با توجه به تمامی موارد و همچنین نظر به این امر که برخی از کلاس‌های آموزشی این مجموعه در سمت جنوب در نظر گرفته شده‌اند، پیشنهاد می‌شود تا برای بازشوها در جداره‌های جنوبی این مجموعه، سایه‌بان‌های افقی با عمق 50 سانت در نظر گرفته شده و برای سایر جداره‌ها (به جز جداره‌ی غربی که بازشویی ندارد) به منظور کسب حداکثر تابش آفتاب و نور روز عمق 10 سانت در نظر گرفته شود. در رابطه با محدودیت‌های تحقیق نیز می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

یافته‌های این پژوهش صرفاً بر اساس شبیه‌سازی رایانه‌ای به‌دست آمده و داده‌های میدانی برای اعتبارسنجی مدل در دسترس نبوده است. این موضوع می‌تواند بر میزان تعمیم‌پذیری نتایج اثر بگذارد. به دلیل محدودیت‌های زمانی و اجرایی، امکان اندازه‌گیری داده‌های واقعی فراهم نشد. در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود داده‌های میدانی به عنوان مرجع برای سنجش دقت شبیه‌سازی‌ها استفاده شود.



Heschong, M. T. L., Wymelenberg, V. D., Keven, M., Andersen, M., Digert, N., Fernandes, L., Keller, A., Loveland, J., McKay, H., Mistrick, R., Mosher, B., Reinhart, C., & Rogers, Z. (2012). Approved method: IES spatial daylight autonomy (sDA) and annual sunlight exposure (ASE). Illuminating Engineering Society (IES).

Jiang, Y., Qi, Z., Ran, S., Ma, Q., Dewancker, B. J., & Gao, W. (2024). A study on the daylighting, energy consumption, and climate adaptability of curved mesh shading based on the parametric performance design method. *Sustainability*, 16(13), 5549. <https://doi.org/10.3390/su16135549>

Khalaf, M., Ashrafian, T., & Demirci, C. (2019). Energy efficiency evaluation of different glazing and shading systems in a school building. *E3S Web of Conferences*, 111, 03052. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911103052>

Kim, S., Shin, K., Kim, H., & Cho, Y. (2017). A study on the effectiveness of the horizontal shading device installation for passive control of buildings in South Korea. *International Journal of Polymer Science*, 2017, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2017/3025092>

Lu, W. (2024). Dynamic shading and glazing technologies: improve energy, visual, and thermal performance. *Energy and Built Environment*, 5(2), 211-229.

Mohammadi, F., Mofidi Shomirani, S. M., & Tahbaz, M. (2020). Investigation and analysis of the effectiveness of dynamic daylight performance evaluation indices (daylight sufficiency and useful daylight illuminance) through sensitivity analysis: Case study of an elementary classroom in Tehran. *ArmanShahr Architecture and Urban Planning Journal*, 13(31). [In Persian] <https://doi.org/10.22034/2020.113264>

Pilechiha, P., Mahdavejad, M., Pour Rahimian, F., Carnemolla, P., & Seyedzadeh, S. (2020). Multi-objective optimisation framework for designing office windows: Quality of view, daylight, and energy efficiency. *Applied Energy*, 261, 114356. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114356>

Rana, M. J., Hasan, M. R., & Sobuz, M. H. R. (2021). An investigation on the impact of shading devices on energy consumption of commercial buildings in the contexts of subtropical climate.

References

Abedini, M. H. (2024). Analyzing the impact of different shading devices on energy consumption and thermal comfort in office buildings using machine learning and energy simulation in three different climates of Iran. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5216933/v1>

Arora, R. K. (2015). *Optimization: Algorithms and applications*. Taylor & Francis Group, LLC.

Bazazzadeh, H., Świt-Jankowska, B., Fazeli, N., Nadolny, A., Najar, B. S. A., Safaei, S. S. H., ... & Mahdavejad, M. (2021). Efficient shading device as an important part of daylightophil architecture; a designerly framework of high-performance architecture for an office building in Tehran. *Energies*, 14(24), 8272. <https://doi.org/10.3390/en14248272>

Cheng, X. (2022). A mini-scale modeling approach to natural daylight utilization in building design. *Energy and Buildings*, 263, 112441. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112441>

De Luca, F., Voll, H., & Thalfeldt, M. (2018). Comparison of static and dynamic shading systems for office building energy consumption and cooling load assessment. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 29(5), 978-998. <https://doi.org/10.1108/MEQ-01-2018-0008>

Elshiwihy, S. O., & Chaudhry, H. N. (2019). Parametric study on determining optimum shading techniques for urban high-rise dwellings. *Urban Science*, 3(3), 85. <https://doi.org/10.3390/urbansci3030085>

Esquivias, P. M., Munoz, C., Acosta, I., Moreno, D., & Casas, J. N. (2015). Climate-based daylight analysis of fixed shading devices in an open-plan office. *Lighting Research & Technology*, 48(2), 205-220. <https://doi.org/10.1177/1477153514563638>

Goovaerts, C., Descamps, F., & Jacobs, V. A. (2017). Shading control strategy to avoid visual discomfort by using a low-cost camera: A field study of two cases. *Building and Environment*, 125, 26-38. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.030>

Heidari, A., Taghipour, M., & Yarmahmoodi, Z. (2021). The effect of fixed external shading devices on daylighting and thermal comfort in residential building. *Journal of Daylighting*, 8(2), 165-180. <https://doi.org/10.15627/jd.2021.15>

strategies of libraries in severe cold regions: Taking a university in Xinjiang as an example. *Energy Reports*, 7, 1101-1113.
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.09.160>

Yang, X. C., & Yao, J. (2012). A comparative study on building energy performance between movable and fixed shading materials. *Applied Mechanics and Materials*, 164, 85-88.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.164.85>

Yao, B., Salehi, A., Baghoolizadeh, M., Khairy, Y., & Baghaei, S. (2024). Multi-objective optimization of office egg shadings using NSGA-II to save energy consumption and enhance thermal and visual comfort. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 157, 107697.

Yao, J., Chow, D. H., & Chi, Y. (2016). Impact of manually controlled solar shades on indoor visual comfort. *Sustainability*, 8(8), 727.
<https://doi.org/10.3390/su8080727>

Zhang, H., & Jiang, P. (2024). Optimization of the dynamic external shading control for railway stations in China based on energy use intensity (EUI) of lighting and HVAC systems. *Buildings*, 14(12), 3886.

Smart and Sustainable Built Environment, 11(3), 661-691.
<https://doi.org/10.1108/SASBE-09-2020-0131>

Reinhart, C. F. (2018). *Daylighting handbook II. Daylight simulations, dynamic facades*. Building Technology Press. ISBN: 978-0-578-40709-8

Sorooshnia, E., Rahnamayiezekavat, P., Rashidi, M., Sadeghi, M., & Samali, B. (2023). Passive intelligent kinetic external dynamic shade design for improving indoor comfort and minimizing energy consumption. *Buildings*, 13(4), 1090.

Talaei, M., & Sangin, H. (2024). Multi-objective optimization of energy and daylight performance for school envelopes in desert, semi-arid, and Mediterranean climates of Iran. *Building and Environment*, 255, 110870.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.110870>

Uribe, D., Vera, S., Bustamante, W., McNeil, A., & Flamant, G. (2019). Impact of different control strategies of perforated curved louvers on the visual comfort and energy consumption of office buildings in different climates. *Solar Energy*, 190, 495-510.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.07.027>

Wang, Z., Wang, W., Zhang, Y., Song, J., & Zhu, L. (2021). Research on energy-saving design