ISSN: 2538-2594; Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2025;15(2): 1-16

Improving the quality of daylight in classrooms using light shelf

ARTICLE INFO

Article Type
Analytic Study

Authors
Shadan.Massoud[1]
Zahra Zamani[2*]

How to cite this article
M

URL:

ABSTRACT

Aims: In many classrooms, due to the lack of daylight uniformity and preventing glare, curtains are drawn and artificial light is used, which increases energy consumption and reduces students' learning. One of the effective solutions is using a lightshelf. Many studies have been conducted, but they often ignored the effect of work surface height on the optimal height of the lightshelf and did not make a difference between education levels. In this research, in addition to investigating the effect of the lightshelf on daylight quality, the proper height of the light shelf in educational levels and in 4 latitudes in Iran (40, 35, 30 and 25˚N) has been investigated.

Methods: The simulations were done in a classroom using Rhino and Honeybee, Ladybug plugins. In order to evaluate the accuracy of the simulations, a scale model was made and the measurement were compared to the simulation results.

Findings: By combining the light shelf and horizontal louvres, an optimal system was achieved in order to increase the daylight quality. The effect of different latitudes as well as different heights of desks were investigated.

Conclusion: The results showed that the use of lightshelves in all cities of Iran has increased the daylight quality, while with the increase in latitude and the work surface height, the optimal height of the lightshelf should be increased.

Keywords: Daylight, Light shelf, Work surface height, Latitude, Sustainability, New architectural Technologies.

CITATIONLINKS

1-Master of Architecture, Department of Architecture, Faculty of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran.

Correspondence
Address: Faculty of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran

Email: zahrazamanii@ut.ac.ir

Article History
Received:
Accepted:
Published:

[1] Wohlfarth, H., & Gates, K. S. (1985). The effects of color-psychodynamic….[2] Motazedian, F., & Mahdavinejad, M. (2015). Light Shelves' Typology and…..[3] Masoud, S., Zamani, Z., Hosseini, S. M., & Attia, S. (2024). A Review of Factors…..[4] Heangwoo Lee, Seonghyun Park, and Janghoo Seo, (2017) .Development and Performance Evaluation….[5] Lee, H., Seo, J., & Choi, C. H. (2019). Preliminary study on the performance……..[7]Lee, Hyunmin., Baek, Songi and Lee, Heangwoo. (2022). A study…..[8] Meresi, A. (2016). Evaluating daylight performance of light shelves…… [9] Bakmohammadi, P., & Noorzai, E. (2022). Investigating the optimization…… [10] Nassiri, B., & Mahmodi, Z. M. (2020). Achieving the Principles of High……[11] Mahdavinejad, M., Tahbaz, M., & Dolatabadi, M. (2016). Optimization of Properties…….[12] Moazzeni, M.h, & Ghiabaklou, Z. (2016). Investigating the Influence of Light Shelf Geometry…..[13] Ziaee, N., & Vakilinezhad, R. (2022). Multi-objective optimization of daylight……[13] Ziaee, N., & Vakilinezhad, R. (2022). Multi-objective optimization of daylight performance……[15] Ruggiero, S.; Assimakopoulos, M.N.; De Masi, R.F.; de Rossi, F.; Fotopoulou…… [16] Organization, I.N.S. Guidance School Classroom, Specifications (2002): Institute….[19] Mesloub, A., & Ghosh, A. (2020). Daylighting performance of light shelf…..[20] Ruggiero, S.; Assimakopoulos, M.N.; De Masi, R.F.; de Rossi, F.; Fotopoulou, A.; Papadaki…..[21] Lee, H., Jeon, G., Seo, J., & Kim, Y. (2017). Daylighting performance improvement of a……..

Copyright© 2021, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

eISSN:2538-2594 نقش جهان - مطالعات نظری و فناوری های نوین معماری و شهرسازی-۱۴۰۴؛ (۲) ۱۵:۱۶-۱

بهبود کیفیت نور روز کلاس درس در عرض‌های مختلف جغرافیایی از طریق طاقچه نوری

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: تحقیق بنیادی

نویسندگان

شادان مسعود [۱]

زهرا زمانی*[۲]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گرایش معماری و انرژی، گروه فناوری معماری، دانشکدگان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*۲. دانشیار معماری، گروه فناوری معماری، دانشکده هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

نویسنده مسئول *

zahrazamanii@ut.ac.ir

تاریخ مقاله

تاریخ دریافت:

تاریخ پذیرش:

تاریخ انتشار:

ارجاع‌دهی

مفر

URL: http://

چکیده

اهداف: در بسیاری از مدارس به دلیل عدم یکنواختی نور کلاس و جلوگیری از خیرگی، پرده‌ها کشیده شده و از نور مصنوعی استفاده می‌شود که ضمن بالارفتن مصرف انرژی باعث کاهش یادگیری دانش‌آموزان خواهد شد. یکی از راهکارهای مؤثر، استفاده از طاقچه نوری می‌باشد. پژوهش‌های زیادی در این زمینه انجام شده است؛ اما اغلب تأثیر ارتفاع سطح کار بر ارتفاع بهینه طاقچه نوری را نادیده گرفته و برای کلاس‌های مقاطع مختلف تحصیلی تفاوتی قائل نشدند. در این پژوهش ضمن بررسی تأثیر طاقچه نوری در کیفیت روشنایی کلاس‌ها، به بررسی ارتفاع مناسب نصب آن در مقاطع مختلف تحصیلی و در ۴ عرض مختلف جغرافیایی در کشور ایران پرداخته شده است.

روش‌ها: شبیه‌سازی‌ها در یک کلاس درس با استفاده از نرم‌افزار راینو و پلاگین هانی بی و لیدی باگ انجام شد. به‌منظور ارزیابی صحت شبیه‌سازی‌های انجام شده، ماکتی با مقیاس کوچک‌تر از کلاس ساخته شده و نتایج با اندازه‌گیری‌ها مقایسه شدند.

یافته‌ها: با تلفیق طاقچه نوری و لوورهای افقی به یک سیستم بهینه به‌منظور افزایش کیفیت نور کلاس‌ها دست‌یافته و سپس به بررسی تأثیر عرض‌های مختلف جغرافیایی و همچنین ارتفاع متفاوت میز کار در مقاطع مختلف تحصیلی پرداخته شد.

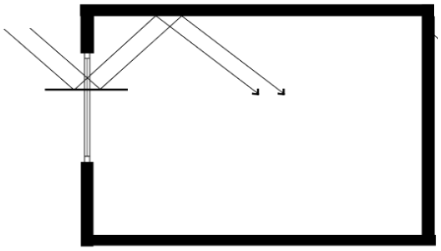
نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که استفاده از طاقچه نوری در تمام شهرهای ایران موجب بالارفتن کیفیت روشنایی کلاس شده، حال‌آنکه با افزایش عرض جغرافیایی و ارتفاع صفحه کاری ارتفاع بهینه طاقچه نوری نیز افزایش می‌یابد.

کلیدواژه‌ها: نور روز، طاقچه نوری، ارتفاع سطح کار، عرض جغرافیایی، پایداری، فناوری های نوین معماری.

این نشریه ی دارای دسترسی باز، تحت قوانین گواهینامه بین‌المللی Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License منتشر می‌شود که اجازه اشتراک (تکثیر و بازآرایی محتوا به هر شکل) و انطباق (بازترکیب، تغییر شکل و بازسازی بر اساس محتوا) را می‌دهد.

مقدمه

تحقیقات متعدد نشان می‌دهند که استفاده مناسب از نور روز در فضاهای آموزشی می‌تواند موجب بهبود کیفیت روشنایی کلاس، افزایش سطح سلامت جسمانی دانش‌آموزان و کاهش استرس آن‌ها شود.[1] بااین‌وجود همچنان شاهد مشکلات نوری عمده‌ای در فضاهای آموزشی هستیم. در اکثر مدارس ایران به دلیل عدم یکنواختی نور کلاس و جلوگیری از خیرگی، پرده‌ها کشیده شده و از نور مصنوعی استفاده می‌شود که ضمن بالابردن مصرف انرژی باعث کاهش یادگیری دانش‌آموزان خواهد شد. یکی از راهکارهای مؤثر، استفاده از طاقچه نوری است. رف‌های نوری، نور مستقیم خورشید را به سقف انعکاس داده و سپس به درون اتاق پراکنده می‌کنند. با این کار، خیرگی در نزدیکی پنجره به حداقل می‌رسد.(شکل ۱) طاقچه نوری، پنجره را به دو بخش بالا و پایین تقسیم می‌کند. کاربرد اصلی بخش پایینی، دید به بیرون و تهویه و بخش بالایی، نفوذ نور به عمق فضا می باشد.[2] این سیستم ضمن بهبود کیفیت نور روز به دلیل کاهش مصرف انرژی و سهولت به‌کارگیری، از جمله راهکارهای محبوب برای بهبود کیفیت روشنایی در فضاهای آموزشی است.

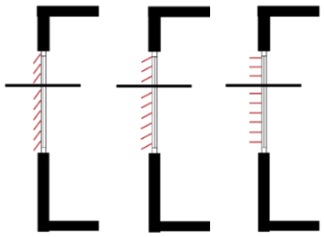


شکل ۱- نحوه عملکرد طاقچه نوری

-مروری بر پیشینه پژوهشی

تحقیقات بسیاری در زمینه استفاده از طاقچه‌های نوری انجام شده است، بخش زیادی از این پژوهش‌ها در فضاهایی با کاربری نامشخص انجام شدند،[3] درحالی‌که ارتفاع سطح کار افراد، نوع استفاده از فضا و نحوه چیدمان فضا از عوامل موثر در کیفیت نور فضا بوده و وابسته به کاربری ساختمان هستند. از میان پژوهش های انجام شده، تحقیقاتی که در زمینه استفاده از طاقچه های نوری در فضاهای آموزشی انجام شده است، در جدول ۱ دسته بندی شدند. با توجه به پیشرفت نرم‌افزارهای این حوزه، اکثر مطالعات انجام شده از ابزارهای نرم‌افزاری برای شبیه‌سازی عملکرد طاقچه‌های نوری استفاده کردند. در برخی پژوهش‌ها نیز مدل یک به یک و یا ماکت با مقیاس کوچکتر از فضای مورد بررسی ساخته شده و از اندازه گیری‌های میدانی برای بررسی نتایج استفاده شده است.

[4و5و6و7] نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از طاقچه نوری ضمن سایه‌اندازی، موجب افزایش عمق نفوذ نور، کاهش خیرگی و در نتیجه افزایش یکنواختی نور کلاس می‌شود. در بعضی پژوهش‌ها به‌منظور جلوگیری از خیرگی طاقچه‌های نوری با سیستم‌های سایه‌انداز دیگر از جمله لوورها تلفیق شدند.[8]



شکل ۲- تلفیق طاقچه نوری با لوور[3]

- چارچوب نظری

اکثر پژوهش‌های انجام شده در زمینه استفاده از طاقچه‌های نوری در مدارس، تنها به بررسی اثر طاقچه نوری در یک عرض جغرافیایی مشخص و با یک ارتفاع میز کار ثابت پرداختند، درحالی‌که متناسب با قد دانش‌آموزان، ارتفاع سطح کار در مقاطع مختلف تحصیلی متفاوت خواهد بود و با تغییر ارتفاع سطح کار ارتفاع نصب بهینه طاقچه نوری نیز تغییر خواهد کرد. علاوه بر این با تغییر عرض جغرافیایی، زاویه تابش خورشید تغییر می‌کند، در عرض‌های جغرافیایی بالاتر خورشید از ارتفاع پایین‌تر و مایل‌تر می‌تابد درحالی‌که در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر خورشید از ارتفاع بالاتر و عمودتر می‌تابد و به‌منظور جلوگیری از خیرگی و بازدهی بالاتر طاقچه نوری لازم است ارتفاع بهینه نصب در هر یک از عرض‌های جغرافیایی مورد بررسی قرار بگیرد. حدود عرض جغرافیایی مورد بررسی در این پژوهش ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی درنظر گرفته شده است. در عرض های جغرافیایی بالاتر از این محدوده، خورشید به صورت مایل و از ارتفاع

پایینی می تابد بنابراین طاقچه نوری باید در ارتفاع بسیار پایینی نصب شود تا تابش خورشیدی به سطح بازتابنده آن برخورد کند و دراین صورت خیرگی برای کاربران ایجاد می-کند. در عرض‌های جغرافیایی پایین تر از این محدوده نیز خورشید به صورت عمود می‌تابد و لذا زاویه بازتاب اجازه ورود تابش خورشید به عمق فضا را نخواهد داد؛ بنابراین محدوده عرض جغرافیایی مورد مطالعه بازه ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی خواهد بود که طاقچه نوری در افزایش عمق نفوذ نور موثر خواهد بود. از آنجایی که کشور ایران محدوده گسترده‌ای از عرض‌های جغرافیایی در بازه موردنظر را شامل می‌شود، ۴ شهر ماکو، تهران، کرمان و چابهار به ترتیب با عرض‌های جغرافیایی ۴۰، ۳۵، ۳۰ و ۲۵ درجه برای شبیه‌سازی انتخاب شدند. در این پژوهش، شبیه‌سازی‌ها برای مقاطع مختلف تحصیلی جهت طراحی بازشوهای جنوبی انجام شده است تا بتوان ضمن ایجاد نوری کافی و یکنواخت در فضای کلاس، جلوی خیرگی را گرفت. ارتفاع سطح کار در مهدکودک و پیش‌دبستان، ۵۵ سانتی‌متر، در مقطع اول تا سوم ابتدایی ۶۰ سانتی‌متر، سوم تا ششم ابتدایی، ۶۵ سانتی‌متر، متوسطه اول ۷۰ سانتی‌متر و در مقطع متوسطه دوم ۸۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده‌اند تا بتوانیم به ارتفاع نصب بهینه طاقچه نوری در شهرهای مختلف ایران و در مقاطع مختلف تحصیلی دست یابیم.

جدول ۱- بررسی پژوهش‌های انجام شده در زمینه استفاده از طاقچه نوری در فضای آموزشی

عنوان پژوهش	منبع	عرض جغرافیایی	روش تحقیق	ابعاد کلاس مورد بررسی	ارتفاع میز کار
Investigating the optimization potential of daylight, energy and occupant satisfaction performance in classrooms using innovative photovoltaic integrated light shelf systems.	[9]	۳۵ درجه شمالی (تهران)	پلاگین Ladybug & Honeybee	۳.۵*۱۰*۹	۸۰ سانتی‌متر
دستیابی به اصول طراحی رف‌های نوری با کارایی بالا در ساختمان‌های آموزشی	[10]	۳۵ درجه شمالی (تهران)	پلاگین Diva	۳.۲*۸*۷	۸۰ سانتی‌متر
بهینه‌سازی تناسبات و نحوه استفاده از رف نور در معماری کلاس‌های آموزشی	[11]	۳۵ درجه شمالی (تهران)	نرم‌افزار Ecotect	۳.۱*۸.۱*۶	۷۰ سانتی‌متر
Investigating the influence of lightshelf geometery parameters on daylight performance and visual comfort , a case study of Educational Space in Tehran , Iran.	[12]	۳۵ درجه شمالی (تهران)	پلاگین Diva	۳.۵*۸*۷	۷۵ سانتی‌متر
Evaluating daylight performance of light shelves combined with external blinds in south-facing classrooms in Athens, Greece.	[2]	۳۷ درجه شمالی (آتن یونان)	اندازه‌گیری میدانی+ نرم‌افزار Ecotect	۳.۲*۷*۷	۷۰ سانتی‌متر
Multi-objective optimization of daylight performance and thermal comfort in classrooms with light-shelves: Case studies in Tehran and Sari , Iran.	[13]	۳۵ درجه شمالی (تهران) ۴۰ درجه شمالی (ساری)	پلاگین Ladybug & Honeybee و OpenStudio	۲,۹*۸*۵.۸	۷۰ سانتی‌متر
Illuminance and luminance based ratios in the scope of performance testing of a light shelf-reflective louver system in a library reading room	[14]	۳۹ درجه شمالی (İzmirترکیه)	نرم‌افزارRelux	۴.۳*۱۹*۲۹.۷	۷۶ سانتی‌متر
Multi-disciplinary analysis of light shelves application within a student dormitory refurbishment.	[15]	۳۷ درجه شمالی (آتن یونان)	نرم‌افزار Design Builder	۲.۸*۳.۲*۷.۹	۸۰ سانتی‌متر

مواد و روش‌ها

همان‌طور که در شکل ۱ نشان‌داده شده است، این پژوهش در ۲ مرحله انجام شد. در مرحلهٔ اول پنجره بدون هیچ‌گونه سایه‌انداز به‌عنوان حالت پایه شبیه‌سازی‌شده، سپس کیفیت روشنایی با استفاده از لوورهای افقی به‌عنوان ساده‌ترین سایه‌اندازهای استفاده شده در مدارس بررسی شد. در نهایت با تلفیق طاقچه نوری و لوورهای افقی به طراحی سیستم بهینه برای مدارس دست یافتیم. در مرحله بعدی تأثیر ارتفاع سطح کار و نیز عرض‌های مختلف جغرافیایی در ارتفاع نصب بهینه طاقچه‌های نوری مورد بررسی قرار گرفت.

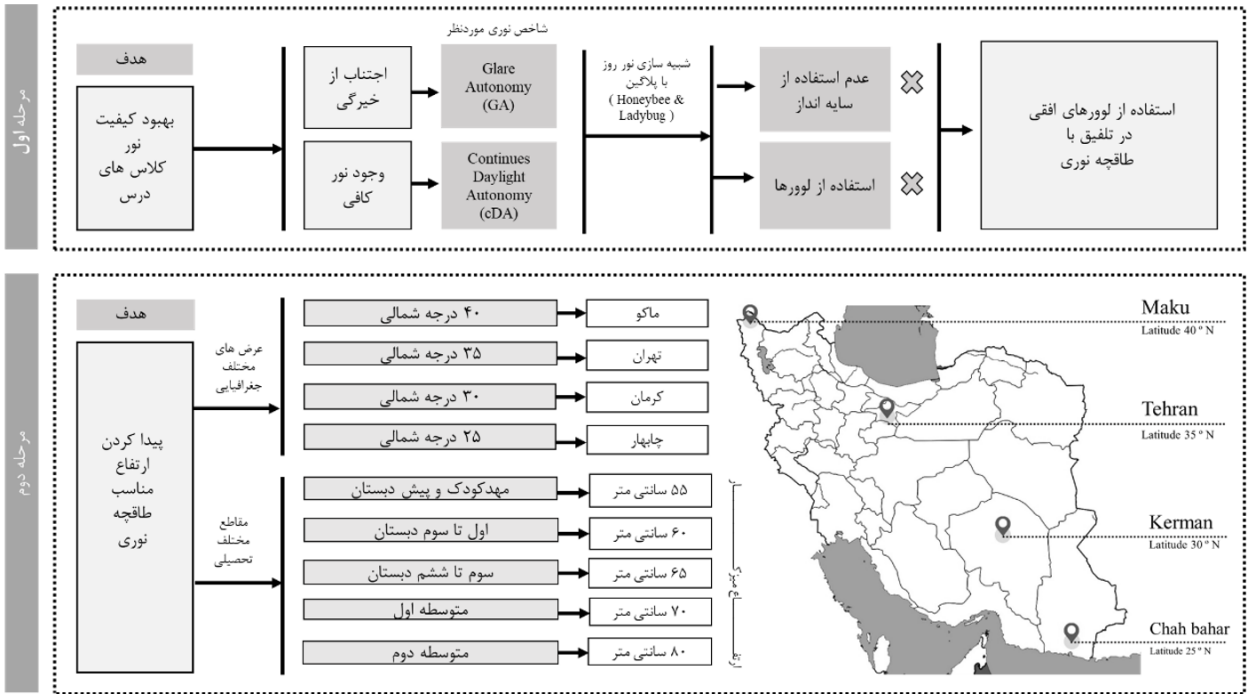
به‌منظور ارزیابی صحت شبیه‌سازی‌های انجام شده با نرم‌افزار، یک ماکت با مقیاس ۱ به ۲۰ از اتاق در نظر گرفته شده، ساخته شده و نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی با نتایج شبیه سازی‌های انجام شده مقایسه شدند.

- مشخصات فضای موردمطالعه

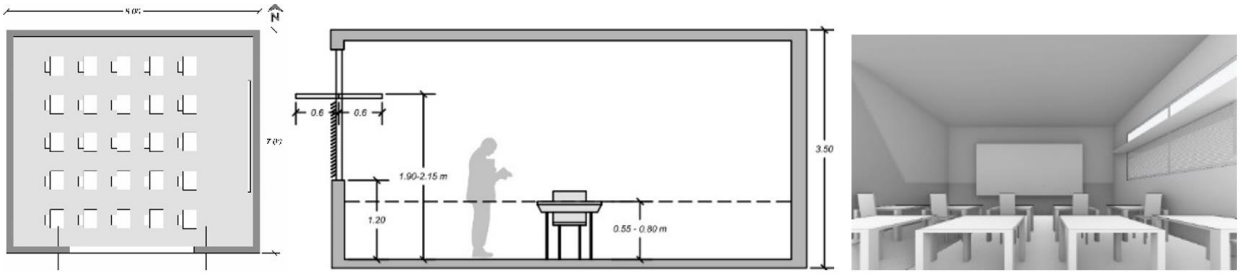
جهـــت انجام شبیه‌سازی، کلاس درسی با عرض ۷، طول ۸ و ارتفاع ۳/۵ بر اساس استاندارد آیین‌نامه ملی کار انتخاب شد.

[16] طبق تحقیقات انجام شده رف‌های نوری در نماهای جنوبی کارایی بهتری دارند. [17] پنجره ای به مساحت ۸/۶ مترمربع در سطح نمای طولی (۸متر) و در ارتفاع۱/۲متر از کف (ارتفاع مجاز سازمان نوسازی مدارس)، روی جداره جنوبی تعبیه شده و ۵۹۸ سنسور به فواصل طولی و عرضی ۰/۳متر به منظور شبیه سازی روشنایی در ارتفاع سطح کار قرار داده شد.

طاقچه نوری در ارتفاع‌های ۱/۹۰، ۱/۹۵، ۲/۰۰، ۲/۰۵، ۲/۱۰ و ۲/۱۵ متر شبیه‌سازی شده است ، در مواردی که برای بدست آوردن دقیق تر تفاوت‌ها به شبیه‌سازی‌های بیشتری نیاز بود اعداد میانی نیز درنظر گرفته شده‌اند . در این پژوهش کرکره-ای با ۴۰ لوور افقی (با زاویه ۵۰ درجه) و ضریب انعکاس۰/۲ در تلفیق با طاقچه نوری در نظر گرفته شده است. در شبیه سازی های نور روز ، مقدار انعکاس بازتابی از سطوح و جنس مصالح اهمیت بسزایی در نتایج دارد، نوع انعکاس‌ها پراکنده در نظر گرفته شده و میزان انعکاس سطوح به شرح جدول۲ می‌باشد:



شکل ۳- روند انجام پژوهش در دو مرحله



شکل ۴- مشخصات فضای موردمطالعه

جدول ۲- میزان انعکاس سطوح کلاس

ساختار مدل	درصد انعکاس پراکنده
دیوارها	۵۰٪
سقف	۸۰٪
کف	۲۰٪
شیشه	۸۰٪ عبور نور
طاقچه نوری	۹۰٪
مبلمان	۵۰٪

- نرم افزار شبیه سازی نور روز

در این پژوهش به‌منظور دستیابی به مجموعه کاملی از آنالیزهای نور روز و آسایش بصری از پلاگین هانی بی و لیدی باگ استفاده شده است. این پلاگین یک افزونه پیشرفته شبیه‌سازی نور روز و انرژی، برای نرم‌افزار راینو است که بر مبنای موتور رادیانس به شبیه‌سازی نور روز و آسایش بصری می‌پردازد، رادیانس یکی از اصلی‌ترین موتورهای نور روز است که از روش Ray-Tracing برای شبیه‌سازی استفاده می‌کند. تعداد دفعات بازتاب تشعشع‌های نور از مهم‌ترین پارامترهای شبیه‌سازی نور روز است که در این پژوهش برای رسیدن به نتایج دقیق‌تر برابر با ۶ قرار گرفته است. در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های UDI، DGP، GA و CDA به تحلیل و بررسی کیفیت نور روز می‌پردازیم.

- تعاریف شاخص های به کار رفته برای بررسی کیفیت نور روز

UDI: درصدی از زمان‌هایی که فضا توسط افراد اشغال شده و شدت روشنایی صفحه کاری بین ۱۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس است.

DGP: شاخصی برای اندازه‌گیری میزان خیرگی است. اگر مقدار این شاخص از ۰/۳۵کمتر باشد خیرگی نداریم ، اگر بین ۰/۳۵ تا ۰/۴ باشد، احتمال خیرگی وجود دارد و اگر بین ۰/۴ تا ۰/۴۵ باشد خیرگی آزاردهنده ای وجود دارد. اگر این عدد بالای ۰/۴۵ باشد، خیرگی شدید و غیرقابل تحمل داریم.

DA **(کفایت نور روز):** مقدار این شاخص نشان می‌دهد که حداقل شدت روشنایی صفحه کاری (معمولاً ۳۰۰ لوکس) چه مدت می تواند فقط به وسیله روشنایی روز حفظ شود. این معیار به صورت درصدی از زمان حضور افراد در طول یک سال تعریف می شود.

CDA **(کفایت نور روز پیوسته):** این شاخص در سال ۲۰۰۶ به عنوان یک اصلاحیه پایه برای شاخصه کفایت نور روز داده شد. اگر ۳۰۰ لوکس به عنوان آستانه کفایت نور روز مشخص شده باشد، آنگاه اگر نقطه خاصی کمتر از ۳۰۰ لوکس در ۵۰ درصد از زمان در طول سال را داشته باشد این معیار تقریبا ۵۵ تا ۶۰ درصد خواهد شد. در واقع این شاخص برای مقادیر کمتر از حداقل آستانه کفایت نور روز نیز اعتبار نسبی قائل است.

جدول ۳- مقدار پارامترهای اعمال شده به شبیه ساز نور روز رادیانس

پارامترهای مؤثر در شبیه‌سازی	مقدار
تعداد بازتاب پراکنده بین سطوح (ab)	۶
تعداد اشعه ساطع شده از سطوح در محاسبات (ad)	۲۵۰۰

sGA: آناتومی خیرگی فضایی شاخصی است که بر اساس مفهوم DGP (که یک شاخص ایستا است)، ایجاد شده است. شاخص آناتومی خیرگی مقدار عدم خیرگی در هر زاویه دید ممکن برای کاربر را محاسبه می‌نماید. مطابق با این شاخص حداکثر مدت زمانی که یک زاویه مجاز است تا DGP بیش از ۰.۴۵ داشته باشد، برابر با ۱۰٪ مواقع اشغال فضا برای ساختمان‌ها پیشنهاد شده است.

در این پژوهش حدود مورد قبول خیرگی برای شاخص DGP، ۰/۴۵ و برای شاخص SGA، ۰/۹۵ در نظر گرفته شده است.

یافته‌ها

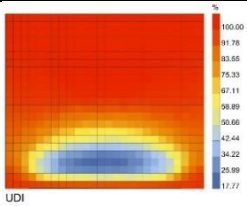
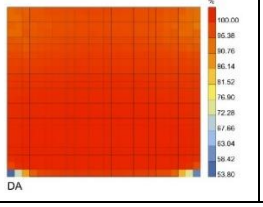
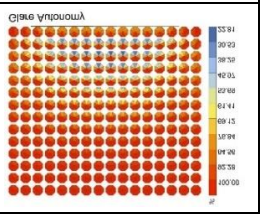
- بررسی کیفیت روشنایی کلاس بدون در نظر گرفتن سایه انداز

شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد بدون استفاده از هیچ‌گونه سیستم سایه‌انداز برای پنجره جنوبی شاهد خیرگی غیرقابل‌تحمل و عدم یکنواختی نور در کلاس هستیم، بدین صورت که بخشی از کلاس که نزدیک پنجره قرار دارد نور بسیار زیاد همراه با خیرگی را تجربه کرده و بخش انتهایی کلاس نور بسیار کمی دریافت می‌کند.

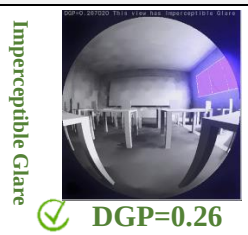
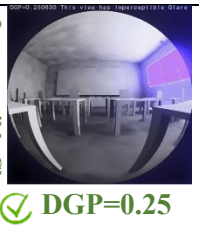
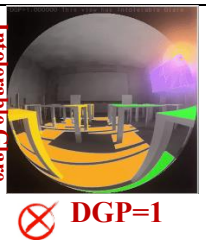
- بررسی کیفیت روشنایی کلاس با استفاده تنها از لوورهای افقی: طبق شبیه‌سازی‌های قسمت قبل وجود سیستم سایه‌انداز برای کلاس‌های درس الزامی است. در این راستا اکثر مدارس از سایه‌اندازهایی استفاده می‌کنند که کل پنجره را پوشانده و نور بسیار کمی را وارد فضا می‌کنند لذا از سیستم روشنایی مصنوعی استفاده می‌شود که ضمن افزایش مصرف انرژی موجب کاهش یادگیری و بهره‌وری دانش‌آموزان خواهد شد.

- بررسی کیفیت روشنایی کلاس در تلفیق طاقچه های نوری و لوورهای افقی: در بسیاری از مواقع طاقچه نوری با سیستم‌های سایه‌انداز تلفیق می‌شوند تا کارایی بیشتری داشته باشند. [18] شبیه سازی ها نشان می دهد که تلفیق طاقچه نوری با لوورهای افقی (با زاویه ۵۰ درجه) در مدارس شاخص CDA را کاهش می دهد درحالیکه شاخص UDI نسبت به دو حالت قبلی افزایش پیدا کرده است که بیانگر افزایش میزان نور مفید (بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس) در کلاس درس است، به این معنا که بخشی از نور خیره کننده کلاس حذف شده است. همچنین با پایین آمدن عرض جغرافیایی مقدار نور مفید کلاس (UDI) بیشتر می شود.

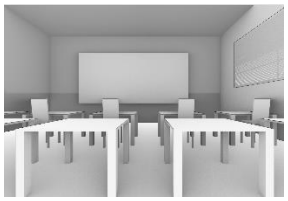
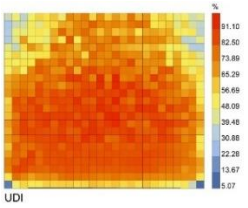
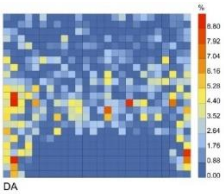
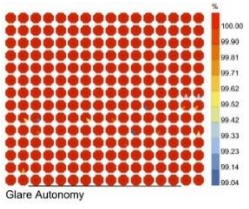
جدول ۴- بررسی میزان روشنایی فضا بدون درنظر گرفته هیچ گونه سایه انداز ارتفاع میزکار ۵۵ سانتی متر، اول تا سوم ابتدایی

بدون درنظرگرفتن سایه‌انداز برای پنجره	UDI	DA	GA
ارتفاع میز کار: ۶۰ سانتی متر اول تا سوم دبستان	UDI=83.32%	DA=94.90% CDA=97.59%	GA=0.557
			

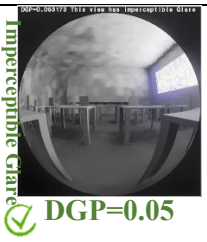
جدول ۵- بررسی خیرگی بدون درنظر گرفته هیچ گونه سایه انداز ارتفاع میزکار ۵۵ سانتی متر، اول تا سوم ابتدایی

روز ۲۱ ام	ساعت ۱۴	ساعت ۱۱	ساعت ۸
ماه ۳ (مارس): اعتدال بهاری			
ماه ۶ (ژوئن): انقلاب تابستانی			
ماه ۱۲ (دسامبر): انقلاب زمستانی			

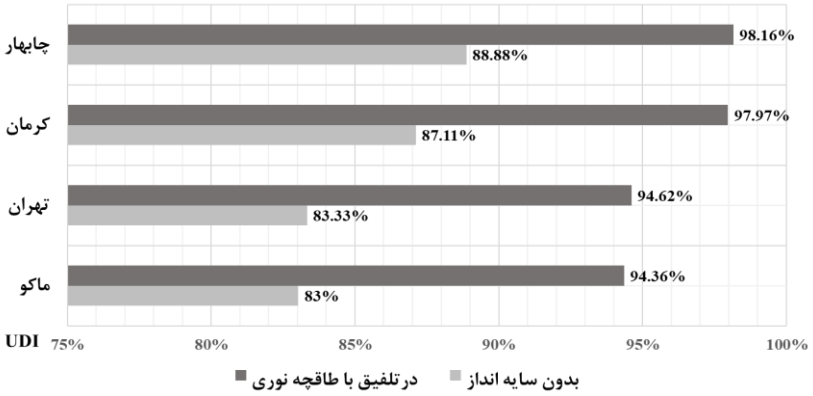
جدول ۶- بررسی روشنایی فضا با در نظر گرفتن پرده های رایج در مدارس با ارتفاع میزکار ۶۰ سانتی متر، اول تا سوم ابتدایی

با درنظرگرفتن سایه‌انداز رایج در مدارس	UDI	DA	GA
ارتفاع میز کار: ۶۰ سانتی متر اول تا سوم دبستان	UDI=69.24%	DA=1.08% CDA=41.59%	GA=1
			

جدول ۷- بررسی خیرگی با در نظر گرفتن پرده های رایج در مدارس با ارتفاع میزکار ۶۰ سانتی متر، اول تا سوم ابتدایی

روز ۲۱ ام	ساعت ۱۴	ساعت ۱۱	ساعت ۸
ماه ۳ (مارس): اعتدال بهاری			
ماه ۶ (ژوئن): انقلاب تابستانی			
ماه ۱۲ (دسامبر): انقلاب زمستانی			

شکل ۵: مقایسه UDI بدون سایه انداز و با سایه اندازهای رایج مدارس، ارتفاع میزکار ۵۵ سانتی متر



جدول ۸- مقایسه روشنایی فضا با بدون سایه انداز و با سایه اندازهای رایج مدارس، ارتفاع میزکار ۵۵ سانتی متر

مقطع تحصیلی	ارتفاع سطح کار	عرض جغرافیایی	شاخص‌های نوری مورداستفاده	بدون سایه‌انداز	با سایه‌اندازهای رایج مدارس	تلفیق طاقچه نوری و سایه‌انداز
۴ تا ۶ سال – مهدکودک و پیش‌دبستان	۵۵ سانتی متر	ماکو ۴۰ درجه شمالی	CDA	97.80%	0	83.44%
			GA	0.506	1	0.950
		تهران ۳۵ درجه شمالی	CDA	97.55%	0	85.22%
			GA	0.588	1	0.950
		کرمان ۳۰ درجه شمالی	CDA	98.25%	0	88.83%
			GA	0.609	1	0.950
		چابهار ۲۵ درجه شمالی	CDA	88.89%	0	90.28%
			GA	0.683	1	0.956

جدول ۹-بررسی وضعیت روشنایی فضا با در نظر گرفتن رف نوری با ارتفاع های مختلف در ماکو

ماکو / مقطع تحصیلی	ارتفاع سطح کار	شاخص نوری مورد استفاده	تلفیق سیستم سایه‌انداز و طاقچه نوری									
			ارتفاع طاقچه نوری									
			2.15	2.14	2.13	2.12	2.11	2.10	2.05	2.00	1.95	1.90
۴ تا ۶ سال- پیش‌دبستان	۵۵ سانتی‌متر	GA	0.985	0.970	0.968	0.958	0.950	0.942	0.889	0.854	0.826	0.790
		CDA	80.26%	81.30%	82.18%	82.73%	83.44%	84.12%	87.02%	89.31%	90.88%	92.24%
۶ تا۸ سال- اول تا سوم ابتدایی	۶۰ سانتی‌متر	GA	0.979	0.97	0.960	0.950	0.934	0.926	0.881	0.851	0.824	0.783
		CDA	81.00%	81.79%	82.58%	83.09%	83.92%	84.64%	87.36%	89.61%	91.16%	92.42%
۸ تا ۱۱ سال – سوم تا ششم ابتدایی	۶۵ سانتی‌متر	GA	0.976	0.963	0.950	0.939	0.932	0.918	0.874	0.848	0.812	0.782
		CDA	81.56%	82.44%	83.17%	83.74%	84.44%	85.05%	87.76%	89.88%	91.35%	92.57%
۱۱ تا ۱۴ سال – متوسطه اول	۷۰ سانتی متر	GA	0.970	0.954	0.941	0.932	0.919	0.912	0.867	0.846	0.801	0.783
		CDA	83.16%	84.05%	84.74%	85.39%	86.03%	86.72%	89.23%	91.25%	92.82%	94.01%
بالای ۱۴ سال – متوسطه دوم	۸۰ سانتی متر	GA	0.952	0.940	0.928	0.919	0.906	0.893	0.866	0.824	0.780	0.782
		CDA	84.24%	84.95%	85.68%	86.15%	86.85%	87.40%	89.84%	91.84%	93.30%	94.40%

جدول ۱۰- بررسی وضعیت روشنایی فضا با در نظر گرفتن رف نوری با ارتفاع های مختلف در تهران

تهران / مقطع تحصیلی	ارتفاع سطح کار	شاخص نوری مورد استفاده	تلفیق سیستم سایه‌انداز و طاقچه نوری									
			ارتفاع طاقچه نوری									
			2.15	2.10	2.09	2.08	2.07	2.06	2.05	2.00	1.95	1.90
۴ تا ۶ سال- پیش‌دبستان	۵۵ سانتی‌متر	GA	0.994	0.971	0.963	0.9556	0.951	0.950	0.941	0.913	0.890	0.854
		CDA	78.77%	82.81%	83.42%	83.98%	84.67%	85.22%	86.29%	88.34%	90.08%	91.51%
۶ تا۸ سال- اول تا سوم ابتدایی	۶۰ سانتی‌متر	GA	0.994	0.968	0.963	0.959	0.953	0.938	0.935	0.909	0.879	0.847
		CDA	79.26%	83.30%	83.99%	84.45%	85.14%	85.63%	86.18%	88.65%	90.31%	91.65%
۸ تا ۱۱ سال – سوم تا ششم ابتدایی	۶۵ سانتی‌متر	GA	0.993	0.964	0.956	0.952	0.947	0.941	0.932	0.902	0.867	0.847
		CDA	80.02%	83.79%	84.32%	84.94%	85.51%	86.04%	86.52%	88.82%	90.52%	91.78%
۱۱ تا ۱۴ سال – متوسطه اول	۷۰ سانتی‌متر	GA	0.984	0.959	0.955	0.948	0.938	0.932	0.926	0.902	0.861	0.844
		CDA	81.62%	85.30%	85.85%	86.41%	87.11%	87.85%	88.19%	90.27%	92.03%	93.21%
بالای ۱۴ سال – متوسطه دوم	۸۰ سانتی‌متر	GA	0.988	0.952	0.949	0.942	0.935	0.933	0.920	0.883	0.860	0.835
		CDA	82.75%	86.19%	86.63%	87.11%	87.80%	88.25%	88.74%	90.88%	92.41%	93.55%

جدول ۱۱ - بررسی وضعیت روشنایی فضا با در نظر گرفتن رف نوری با ارتفاع های مختلف در کرمان

کرمان / مقطع تحصیلی	ارتفاع سطح کار	شاخص نوری مورد استفاده	تلفیق سیستم سایه‌انداز و طاقچه نوری									
			ارتفاع طاقچه نوری									
			2.15	2.10	2.09	2.08	2.07	2.06	2.05	2.04	2.00	1.95	1.90
۴ تا ۶ سال- پیش‌دبستان	۵۵ سانتی‌متر	GA	0.998	0.976	0.966	0.970	0.965	0.960	0.956	0.950	0.928	0.893	0.876
		CDA	81.60%	85.42%	85.98%	86.96%	87.22%	87.69%	88.21%	88.83%	90.64%	92.35%	93.69%
۶ تا۸ سال- اول تا سوم ابتدایی	۶۰ سانتی‌متر	GA	0.998	0.973	0.966	0.955	0.965	0.946	0.950	0.940	0.926	0.891	0.847
		CDA	82.36%	85.93%	86.46%	86.94%	87.70%	88.07%	88.59%	89.16%	90.88%	92.50%	93.83%
۸ تا ۱۱ سال – سوم تا ششم ابتدایی	۶۵ سانتی‌متر	GA	0.998	0.967	0.962	0.955	0.956	0.950	0.944	0.936	0.923	0.886	0.870
		CDA	82.85%	86.35%	86.95%	87.42%	88.02%	88.51%	89.00%	89.52%	91.15%	92.77%	93.96%
۱۱ تا ۱۴ سال – متوسطه اول	۷۰ سانتی‌متر	GA	0.995	0.966	0.966	0.965	0.953	0.947	0.937	0.933	0.913	0.887	0.869
		CDA	84.47%	87.89%	88.42%	88.97%	89.55%	90.02%	90.47%	91.03%	92.64%	94.18%	95.47%
بالای ۱۴ سال – متوسطه دوم	۸۰ سانتی‌متر	GA	0.995	0.960	0.957	0.956	0.949	0.946	0.944	0.935	0.911	0.891	0.865
		CDA	85.48%	88.67%	89.15%	89.72%	90.32%	90.60%	91.15%	91.58%	93.15%	92.32%	95.79%

جدول ۱۲- بررسی وضعیت روشنایی فضا با در نظر گرفتن رف نوری با ارتفاع های مختلف در چابهار

چابهار مقطع تحصیلی	ارتفاع سطح کار	شاخص نوری مورد استفاده	تلفیق سیستم سایه‌انداز و طاقچه نوری									
			ارتفاع طاقچه نوری									
			2.15	2.10	2.05	2.00	1.99	1.98	1.97	1.96	1.95	1.90
۴ تا ۶ سال- پیش‌دبستان	۵۵ سانتی‌متر	GA	1	1	0.995	0.979	0.976	0.969	0.967	0.956	0.049	0.927
		CDA	79.84%	83.80%	85.97%	89.35%	89.07%	89.49%	89.88%	90.28%	91.35%	92.82%
۶ تا۸ سال- اول تا سوم ابتدایی	۶۰ سانتی‌متر	GA	1	1	0.991	0.980	0.973	0.976	0.959	0.947	0.940	0.930
		CDA	79.10%	83.03%	86.54%	88.91%	89.40%	89.72%	90.21%	90.61%	90.84%	92.46%
۸ تا ۱۱ سال – سوم تا ششم ابتدایی	۶۵ سانتی‌متر	GA	1	0.999	0.989	0.969	0.960	0.955	0.940	0.945	0.943	0.925
		CDA	79.86%	83.63%	86.71%	89.23%	91.58%	90.11%	90.49%	90.88%	91.13%	92.65%
۱۱ تا ۱۴ سال – متوسطه اول	۷۰ سانتی‌متر	GA	1	0.998	0.992	0.958	0.951	0.946	0.945	0.940	0.935	0.923
		CDA	81.47%	85.44%	88.55%	90.79%	89.55%	91.82%	91.99%	92.46%	92.69%	94.21%
بالای ۱۴ سال – متوسطه دوم	۸۰ سانتی‌متر	GA	1	0.996	0.983	0.954	0.954	0.946	0.946	0.944	0.940	0.921
		CDA	82.77%	86.57%	89.20%	91.43%	91.88%	92.22%	92.61%	92.92%	93.23%	94.58%

با بررسی رابطهٔ همبستگی بین دو متغیر عرض جغرافیایی و ارتفاع بهینه طاقچه نوری (با استفاده از رابطهٔ همبستگی پیرسون) در نرم‌افزار SPSS ، سطح معنی‌داری ۰/۰۲ به دست آمده است (کمتراز مقدار مفروض ۰/۰۵) که نشان می دهد بین دو متغیر عرض جغرافیایی و ارتفاع طاقچه نوری رابطه معنی داری وجود دارد و جهت رابطه نیز مثبت است به این صورت که با افزایش عرض جغرافیایی ، ارتفاع طاقچه نوری نیز افزایش می یابد ، زیرا به دلیل تابش مایل خورشید به ارتفاع بالاتری برای جلوگیری از خیرگی نیازمندیم.

بحث و نتیجه‌گیری

شبیه سازی‌ها برای سه حالت بدون طاقچه نوری، با طاقچه نوری و ترکیب طاقچه نوری و لوورها در کلاس درس انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از طاقچه نوری در تلفیق با لوورهای افقی عملکرد بهتری دارد، همان‌طور که نتایج یکی از پژوهش‌های انجام شده در آتن یونان تلفیق طاقچه نوری با لوورهای افقی را مؤثرتر از استفاده از رف نوری تنها دانست چراکه استفاده از لوورهای افقی ضمن حفظ دید به محیط بیرون، از بروز خیرگی جلوگیری کرده و یکنواختی نور کلاس را بیشتر می‌کنند.[8]

اکثر مطالعات انجام شده در زمینه طاقچه‌های نوری، تنها به بررسی اثر طاقچه نوری در یک عرض جغرافیایی مشخص پرداختند، درحالی‌که با تغییر عرض جغرافیایی، زاویه تابش خورشید تغییر می‌کند. در عرض‌های جغرافیایی بالاتر خورشید مایل‌تر و در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر، عمودتر می‌تابد.[3] در عرض های جغرافیایی بالاتر از ۴۰ درجه شمالی، طاقچه نوری باید در ارتفاع بسیار پایینی نصب شود تا تابش خورشیدی به سطح بازتابنده آن برخورد کند و دراین صورت خیرگی برای کاربران ایجاد می‌کند. در عرض‌های جغرافیایی پایین تر از ۲۵ درجه شمالی نیز خورشید به صورت عمود می‌تابد و لذا زاویه بازتاب اجازه ورود تابش خورشید به عمق فضا را نخواهد داد.

شکل ۶- بررسی رابطه همبستگی پیرسون بین دو متغیر ارتفاع بهینه طاقچه نوری و عرض جغرافیایی

Correlations

		latitude	lightshefheight
latitude	Pearson Correlation	1	.972*
	Sig. (2-tailed)		.028
	N	4	4
lightshefheight	Pearson Correlation	.972*	1
	Sig. (2-tailed)	.028	
	N	4	4

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

از آنجایی که کشور ایران شهرهایی با عرض‌های جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی را شامل می‌شود، نتایج نشان می‌دهد که استفاده از این سیستم در مدارس تمام شهرهای ایران تأثیر بسیار زیادی در بهبود کیفیت روشنایی کلاس‌های درس دارد. پژوهش‌های گذشته نیز استفاده از طاقچه‌های نوری را در عرض‌های جغرافیایی مشابه مؤثر معرفی کردند. [13 و19و20و21]

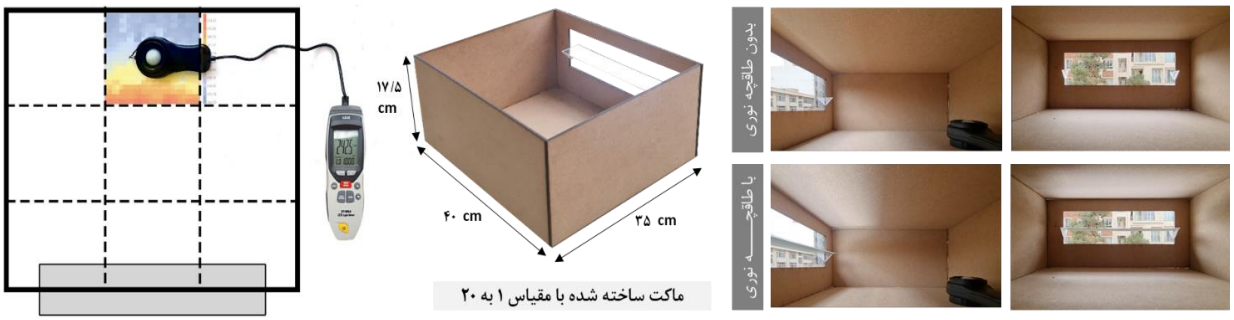
از موارد دیگری که در پژوهش‌های قبلی کمتر مورد توجه قرار گرفته است، توجه به ارتفاع سطح کاری در هر مقطع تحصیلی است. در این پژوهش، شبیه‌سازی‌ها برای مقاطع مختلف تحصیلی انجام شده است. ارتفاع سطح کار در مهدکودک و پیش‌دبستان، ۵۵ سانتی‌متر، در مقطع اول تا سوم ابتدایی ۶۰ سانتی‌متر، سوم تا ششم ابتدایی، ۶۵ سانتی‌متر، متوسطه اول ۷۰ سانتی‌متر و در مقطع متوسطه دوم ۸۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده تا تاثیر ارتفاع سطح کار بر ارتفاع نصب بهینه طاقچه نوری بررسی شود. نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع سطح کار در مقاطع تحصیلی بالاتر باید از طاقچه نوری با ارتفاع بالاتر استفاده کرد تا از بروز خیرگی جلوگیری شود.

به‌منظور ارزیابی صحت شبیه‌سازی‌های انجام شده با نرم‌افزار، یک ماکت با مقیاس ۱ به ۲۰ به ابعاد ۴۰ * ۳۵ * ۱۷/۵ سانتی متر از اتاق در نظر گرفته شده ساخته شد. میزان لوکس نور دریافت شده در انتهای اتاق در یک روز کاملاً ابری (یکشنبه ۶ اسفند) در ساعات مختلف روز اندازه گیری شده و همان طور که در شکل۸ نشان داده شده است ، نتایج تطابق بسیار زیادی با شبیه‌سازی‌های انجام شده را نشان می‌دهد. لوکس‌متر مورد استفاده در این پژوهش مدل CEM DT-856A است که مشخصات فنی آن در جدول زیر آورده شده است.

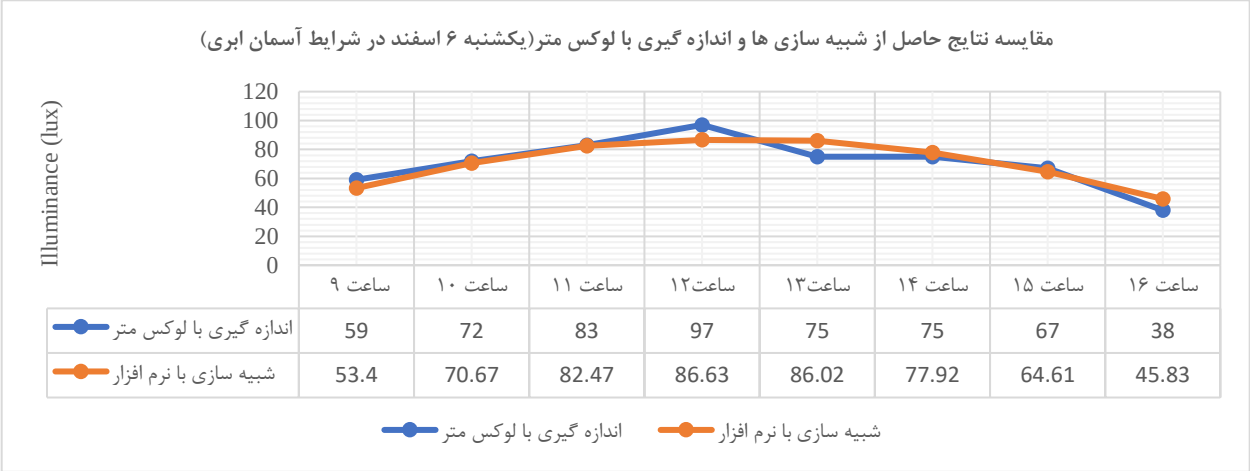
جدول ۱۳- مشخصات فنی لوکس متر مورد استفاده

مشخصات فنی	مدل DT-856A	
محدوده اندازه‌گیری	40, 400, 4000, 40000, 400000Lux 40, 400, 4,000, 40,000, FC	
دقت	±3% (Calibrated to standard incandescent lamp 2856 o K and corrected LED day while-light spectrum). +/-6% other visible light source.	
ماکزیمم رزولوشن	0.01Lux/0.01Fc	
انتخاب سورس نور	Tungsten/Daylight, Fluorescent, 0~9 select rating	

شکل ۷- ماکت ساخته شده با مقیاس ۱ به ۲۰



شکل ۸- صحت سنجی شبیه سازی های انجام شده با نرم افزار

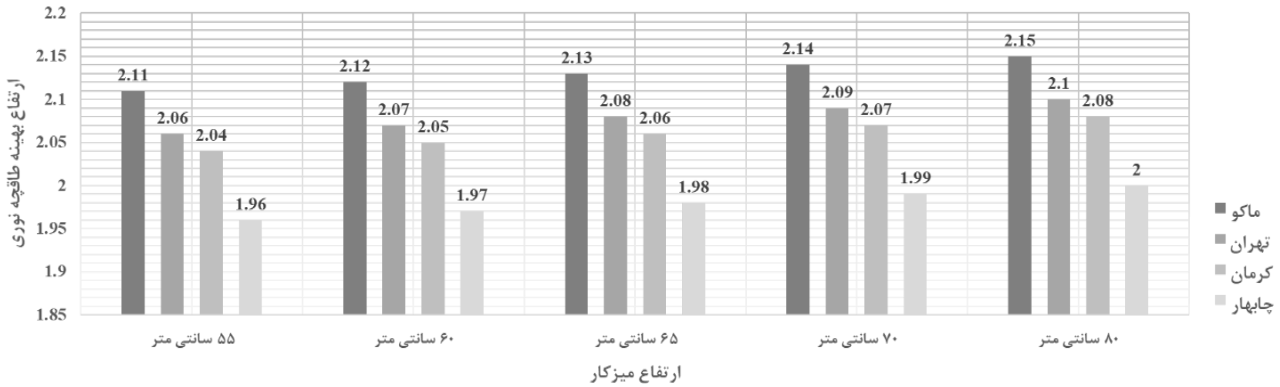


نتایج نشان می‌دهد که استفاده از طاقچه نوری در تمام شهرهای ایران موجب بهبود کیفیت روشنایی کلاس‌های درس خواهد شد چراکه طاقچه های نوری در عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و در هوای آفتابی، بهترین عملکرد را دارند. با توجه به موقعیت جغرافیایی کشور ایران، به‌کارگیری طاقچه‌های نوری به عنوان راهکاری کم هزینه و موثر برای بهبود کیفیت نور کلاس های درس توصیه می شود. طاقچه-های نوری ضمن افزایش عمق نفوذ نور، با کاهش خیرگی ابتدای کلاس به یکنواختی نور کمک کرده و می‌توانند موجب افزایش بهره‌وری و کارایی دانش آموزان در مقاطع مختلف تحصیلی شوند. همچنین با بهبود کیفیت روشنایی کلاس‌های درس و کاهش استفاده از روشنایی مصنوعی به کاهش مصرف انرژی ساختمان نیز کمک می‌کنند. در این پژوهش با تلفیق طاقچه نوری و لوورهای افقی به یک سیستم بهینه به‌منظور افزایش کیفیت نور کلاس‌ها دست‌یافته و سپس به بررسی تأثیر عرض‌های مختلف جغرافیایی و ارتفاع متفاوت میز کار در مقاطع مختلف تحصیلی پرداخته شد.

با استفاده از رابطهٔ همبستگی پیرسون بین دو متغیر عرض جغرافیایی و ارتفاع بهینه طاقچه نوری در نرم‌افزار SPSS ، سطح معنی‌داری ۰/۰۲ به دست آمده است که نشان می دهد بین دو متغیر عرض جغرافیایی و ارتفاع طاقچه نوری رابطه معنی داری وجود داشته و جهت رابطه نیز مثبت است به این صورت که با افزایش عرض جغرافیایی ، ارتفاع بهینه نصب طاقچه نوری نیز افزایش می یابد، زیرا به دلیل تابش مایل خورشید به ارتفاع بالاتری برای جلوگیری از خیرگی نیازمندیم.

پژوهش های گذشته تاثیر عوامل مهمی چون ارتفاع سطح کار بر عملکرد طاقچه های نوری را نادیده گرفته اند، لذا در این پژوهش ضمن بررسی عرض های مختلف جغرافیایی، ارتفاع میزکار در مقاطع مختلف تحصیلی (از مهدکودک تا متوسطه دوم) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع سطح کار، ارتفاع بهینه طاقچه نوری افزایش‌یافته و در مقاطع تحصیلی بالاتر باید از طاقچه نوری با ارتفاع بالاتر استفاده کرد. ارتفاع بهینه نصب طاقچه نوری در شهرهای مختلف و مقاطع تحصیلی مختلف در جدول۱۴ نشان داده شده است.

به‌منظور ارزیابی صحت شبیه‌سازی‌های انجام شده با نرم‌افزار، یک ماکت با مقیاس ۱ به ۲۰ از اتاق در نظر گرفته شده ساخته شد و میزان لوکس نور دریافت شده در انتهای اتاق در یک روز کاملاً ابری در ساعات مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده تطابق بسیار زیادی با اندازه-گیری‌های میدانی دارند. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، ابعاد بهینه طاقچه نوری از جمله عمق و زاویه مناسب نصب در عرض‌های جغرافیایی گسترده‌تر بررسی شود.



شکل ۹- مقایسه ارتفاع بهینه طاقچه نوری در مقاطع مختلف تحصیلی بر اساس عرض جغرافیایی

جدول ۱۴- مقایسه ارتفاع بهینه طاقچه نوری در مقاطع مختلف تحصیلی بر اساس عرض جغرافیایی

مقطع تحصیلی	ارتفاع سطح کار	ارتفاع بهینه طاقچه نوری (متر)			
		ماکو ۴۰ درجه شمالی	تهران ۳۵ درجه شمالی	کرمان ۳۰ درجه شمالی	چابهار ۲۵ درجه شمالی
۴ تا ۶ سال مهدکودک و پیش‌دبستان	۵۵ سانتی متر	2.11	2.06	2.04	1.96
۶ تا ۸ سال اول تا سوم ابتدایی	۶۰ سانتی متر	2.12	2.07	2.05	1.97
۸ تا ۱۱ سال سوم تا ششم ابتدایی	۶۵ سانتی متر	2.13	2.08	2.06	1.98
۱۱ تا ۱۴ سال متوسطه اول	۷۰ سانتی متر	2.14	2.09	2.07	1.99
بالای ۱۴ سال متوسطه دوم	۸۰ سانتی متر	2.15	2.10	2.08	2.00

تشکر و قدردانی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.
تأییدیه‌های اخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.
تعارض منافع: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.
سهم نویسندگان در مقاله: شادان مسعود: تدوین محتوا، شبیه‌سازی و برداشت میدانی و ارائه نتایج حاصل، سهم ۵۰ درصد. زهرا زمانی: اصلاح نگارش و مشارکت در تحلیل داده‌ها و مدیریت روند مطالعات. سهم ۵۰ درصد.
منابع مالی/حمایت‌ها: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

References

[1] Wohlfarth, H., & Gates, K. S. (1985). The effects of color-psychodynamic environmental color and lighting modification of elementary schools on blood pressure and mood: A controlled study. International Journal of Biosocial Research, 7, 9-16. Available at: https://archive.org/details/colorlighteffect00wohl/page/n1/mode/2up

[2] Motazedian, F., & Mahdavinejad, M. (2015). Light Shelves' Typology and their Characteristics. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, *8*(دومین ویژه نامه نورپردازی), ۹۱-۱۰۳. Available at: https://www.armanshahrjournal.com/article_39343

[3] Masoud, S., Zamani, Z., Hosseini, S. M., & Attia, S. (2024). A Review of Factors Affecting the Lighting Performance of Light Shelves and Controlling Solar Heat Gain. Buildings, 14(6), 1832. Available at: https://doi.org/10.3390/buildings14061832

[4] Heangwoo Lee, Seonghyun Park, and Janghoo Seo, (2017) .Development and Performance Evaluation of Light Shelves Using Width-Adjustable Reflectors,2017, Hindawi. Available at: https://doi.org/10.1155/2018/2028065

[5] Lee, H., Seo, J., & Choi, C. H. (2019). Preliminary study on the performance evaluation of a light shelf based on reflector curvature. Energies, 12(22), 4295. Available at: https://doi.org/10.3390/en12224295

[6] Lee, Sunwoo, & Lee, Heangwoo. (2021). A Preliminary Study on Daylighting Performance Experiment of External Lightshelf System with a Base-Attached PV Panel. Journal of Green Engineering, 11, 1909-1925.

[7]Lee, Hyunmin., Baek, Songi and Lee, Heangwoo. (2022). A study on the application of solar modules to light shelves to improve generation and daylighting efficiency. Energy and Buildings, 261, 111976. Available at: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111976

[8] Meresi, A. (2016). Evaluating daylight performance of light shelves combined with external blinds in south-facing classrooms in Athens, Greece. Energy and Buildings, 116, 190-205. Available at: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.009

[9] Bakmohammadi, P., & Noorzai, E. (2022). Investigating the optimization potential of daylight, energy and occupant satisfaction performance in classrooms using innovative photovoltaic integrated light shelf systems. Science and Technology for the Built Environment, 28(4), 467-482. Available at: https://doi.org/10.1080/23744731.2021.2014247

[10] Nassiri, B., & Mahmodi, Z. M. (2020). Achieving the Principles of High Performance of Light Shelves Design in Educational Buildings. Available at: https://www.magiran.com/p2182578

[11] Mahdavinejad, M., Tahbaz, M., & Dolatabadi, M. (2016). Optimization of Properties and Light Shelf System in Architecture of Learning Building. *Journal of Fine Arts: Architecture & Urban Planning*, *21*(2), 81-92. doi: 10.22059/jfaup.2016.60164 Available at: https://doi.org/10.22059/jfaup.2016.60164

[12] Moazzeni, M.h, & Ghiabaklou, Z. (2016). Investigating the Influence of Light Shelf Geometry Parameters on Daylight Performance and Visual Comfort, a Case Study of Educational Space in Tehran, Iran. Buildings (2075-

office buildings in Toronto.” Indoor and Built Environment, Vol. 27(2) 244–262, 2018. Available at: http://dx.doi.org/10.1177/1420326X16673413
[18] CIBSE, (1999). CIBSE Lighting Guide, 10, LG, Daylighting and windowdesign, Chartered Institution of Building Services, Engineers, London. Available at: https://www.cibse.org/knowledge-research/knowledge-portal/lighting-guide-10-lg10-daylighting-a-guide-for-designers-2014
[19] Mesloub, A., & Ghosh, A. (2020). Daylighting performance of light shelf photovoltaics (LSPV) for office buildings in hot desert-like regions. Applied sciences, 10(22), 7959. Available at: https://doi.org/10.3390/app10227959
[20] Ruggiero, S.; Assimakopoulos, M.N.; De Masi, R.F.; de Rossi, F.; Fotopoulou, A.; Papadaki, D.; Ferrante, A. Multi-disciplinaryanalysis of light shelves application within a student dormitory refurbishment. Sustainability 2021, 13, 8251. Available at: https://doi.org/10.3390/su13158251
[21] Lee, H., Jeon, G., Seo, J., & Kim, Y. (2017). Daylighting performance improvement of a light-shelf using diffused reflection. Indoor and built environment, 26(5), 717-726. Available at: https://doi.org/10.1177/1420326X16631144
5309), 6(3). Available at: https://doi.org/10.3390/buildings6030026
[13] 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*, 111590. Available at: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111590
[14] Öner, M.; Kazanasmaz, Z.T. Illuminance and luminance based ratios in the scope of performance testing of a light shelf-reflective louver system in a library reading room. Light Eng. 2019, 27, 39–46. Available at: http://dx.doi.org/10.33383/2018-067
[15] Ruggiero, S.; Assimakopoulos, M.N.; De Masi, R.F.; de Rossi, F.; Fotopoulou, A.; Papadaki, D.; Ferrante, A. Multi-disciplinaryanalysis of light shelves application within a student dormitory refurbishment. Sustainability 2021, 13, 8251. Available at: https://doi.org/10.3390/su13158251
[16] Organization, I.N.S. Guidance School Classroom, Specifications (2002): Institute of Standards & Industrial Research of Iran: Tehran, Iran. Available at: https://standard.roshd.ir/
[17] Bellia, Laura, Concetta Marino, Francesco Minichiello, and Alessia Pedace. “The Benefits of lightshelves over the daylight illuminance in