



An Analysis of Lighting Quality in University Buildings in District 6 of Tehran: Proposing Improvement Strategies Aligned with Relevant Requirements and Life Cycle Cost Assessment

Mohammad Kazemi¹, Aliyeh Kazemi^{2*}

¹ Department of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

² School of Industrial and Technology Management, College of Management, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract: Lighting within educational environments is critical in establishing an optimal atmosphere that supports health, conserves energy, enhances the utility of educational spaces, and fosters effective learning. This study aims to assess the lighting quality in educational institutions, considering international standards and criteria and providing recommendations for improvements. The research focuses specifically on universities located in District 6 of Tehran, including the University of Tehran, Tarbiat Modares University, and Amirkabir University of Technology. To achieve these objectives, a mixed-method research approach has been adopted. This approach encompasses a comprehensive literature review, architectural and electrical documentation analysis, direct observations, and comparative assessments. Additionally, relevant strategies are proposed based on an examination of successful case studies that align with Iran's lighting methodologies and technologies. A life cycle cost assessment has also been conducted to validate these proposed solutions. The findings indicated that strategies aimed at enhancing the quality of educational lighting include (1) designing lighting systems tailored to various functions while ensuring sufficient illumination levels, (2) emphasizing the integration of daylight considerations alongside the implementation of control systems, (3) designing lighting systems following geometry, spatial configurations, proportions, and furniture arrangements, and (4) ensuring that environments retain adaptability concerning the lighting systems implemented. Replacing fluorescent lamps with LED lighting and installing motion sensors in educational corridors can lead to a significant annual energy consumption reduction of 91.1%. Additionally, integrating daylight with electric lighting and utilizing active control mechanisms could achieve an even greater reduction of 95.3%.

Key Words: Educational environments, Indoor lighting, Spatial configurations, Lighting requirements

تحلیل کیفیت نورپردازی در دانشگاه‌های منطقه ۶ تهران و پیشنهاد راه‌حل برای ارتقای آن بر اساس

استانداردها و روش ارزیابی هزینه چرخه زندگی

محمد کاظمی^۱، عالییه کاظمی^{۲*}

۱- دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- دانشکده مدیریت صنعتی و فناوری، دانشکده‌گان مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۸

چکیده

نورپردازی آموزشی برای ایجاد محیط خوشایند، ارتقای شرایط سلامتی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، ارتقای عملکرد آموزشی فضا و یادگیری بهتر اهمیت دارد؛ بنابراین، تحلیل سیستم نورپردازی در ساختمان‌های آموزشی بر اساس الزامات و استانداردهای بین‌المللی و پیشنهاد راه‌حل برای ارتقای آن، هدف اصلی این پژوهش است. دانشگاه‌های منطقه ۶ تهران شامل سه دانشگاه دولتی تهران، تربیت مدرس و امیرکبیر به عنوان نمونه انتخاب شده‌اند. با استفاده از روش‌های پژوهش شامل مرور ادبیات، تحلیل اسناد و نقشه‌های معماری و الکتریکی، مشاهده و مقایسه، این هدف دنبال شده است. همچنین، برای پیشنهاد راه‌حل‌های کاربردی، نمونه‌های موردی ساخته‌شده موفق و هماهنگ با روش‌ها و فناوری‌های نورپردازی در کشور ایران بررسی شده‌اند. در نهایت، راه‌حل‌ها با روش ارزیابی هزینه چرخه زندگی اعتبارسنجی شده‌اند. یافته‌های پژوهش نشان داده‌اند (۱) طراحی سیستم نورپردازی با توجه به عملکردهای موجود و تنظیم شدت روشنایی مناسب، (۲) توجه به نور طبیعی و استفاده از سیستم کنترل برای استفاده بهینه از آن، (۳) طراحی سیستم نورپردازی بر اساس هندسه، آرایش فضایی، تناسب و مبلمان برای به حداقل رساندن خیرگی مستقیم و انعکاسی و (۴) انعطاف‌پذیری فضاها در ارتباط با سیستم نورپردازی، از راه‌حل‌های موجود برای ارتقای کیفیت نورپردازی آموزشی هستند. همچنین، نتایج نشان داد با جایگزین کردن لامپ‌های فلورسنت با دیویدهای نورگسیل در راهروی ساختمان آموزشی و استفاده از حسگر حرکتی به جای سویچ روشن و خاموش، میزان مصرف برق به میزان ۹۱/۱ درصد کاهش می‌یابد. همچنین، با استفاده از ترکیب نور طبیعی و روشنایی الکتریکی و کنترل فعال آن، میزان کاهش مصرف برق ۹۵/۳ درصد است.

واژه‌های کلیدی: محیط‌های آموزشی، نورپردازی داخلی، آرایش فضایی، الزامات نورپردازی.

* Corresponding Author: Aliyeh Kazemi

E-mail address: a.s.m.kazemi@gmail.com, aliyehekazemi@ut.ac.ir



2588-4867/ © 2025 University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC-ND/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

مقدمه

است؟

• چه ضعف‌هایی در سیستم نورپردازی در ساختمان‌های دانشگاهی منطقه ۶ تهران وجود دارند؟

• چگونه می‌توان ضعف‌های موجود در سیستم نورپردازی در ساختمان‌های دانشگاهی منطقه ۶ تهران را کاهش داد یا برطرف کرد؟

بنابراین، هدف این پژوهش، بررسی و تحلیل سیستم نورپردازی در ساختمان‌های آموزشی منتخب در منطقه ۶ تهران با توجه به استانداردها و الزامات بین‌المللی، شناسایی نقاط ضعف این سیستم‌ها و ارائه راهکارهای متناظر برای ارتقای آن‌ها است. با استفاده از ترکیبی از روش‌های مروری، تحلیلی، مشاهده‌ای و مقایسه‌ای و همچنین، روش ارزیابی هزینه چرخه زندگی (LCCA)^۱، این هدف دنبال شده است. پیشینه پژوهش، روش پژوهش، مبانی نظری، یافته‌ها و نتیجه‌گیری بخش‌های مختلف این پژوهش را تشکیل می‌دهند.

پیشینه پژوهش

بر اساس مرور ادبیات، سه نوع پژوهش در زمینه کیفیت نورپردازی در فضاهای آموزشی، انجام شده‌اند. این مطالعات بر (۱) کیفیت محیط داخلی با در نظر گرفتن نورپردازی به عنوان عامل اصلی، (۲) آزمایش کردن با در نظر گرفتن فضاهای آموزشی به عنوان آزمایشگاه و (۳) بررسی مستقیم کیفیت نورپردازی تأکید کرده‌اند.

مطالعات مختلف از طریق جمع‌آوری بازخوردهای ذهنی و کمیت‌های محیط فیزیکی، کیفیت محیط داخلی در فضاهای آموزشی را بررسی کرده‌اند. همچنین، محاسبه‌کننده‌های شدت روشنایی افقی و عمودی، به طور گسترده در این مطالعات به کار رفته‌اند (Trivedi & Badarla, 2019). هیل و ایپسⁱⁱ در سال ۲۰۱۰ میلادی مشخص کرده‌اند محیط‌های نورپردازی تأثیری مهم بر ارزیابی‌های دانشجویان از فضاهای آموزشی دارند (Hill & Epps, 2010). لیⁱⁱⁱ و همکارانش در سال ۲۰۱۲ میلادی با بررسی رابطه کیفیت محیط داخلی و کارآمدی یادگیری دانشجویان، نشان داده‌اند آسایش حرارتی، کیفیت هوای داخلی و شرایط نورپردازی از عوامل اصلی هستند (Lee et al., 2012). ریسپاردی و بوراتی^{iv} در سال ۲۰۱۸ میلادی بر وابستگی بین متوسط مقادیر شدت روشنایی و آسایش بصری ادراک شده در فضاهای آموزشی،

نورپردازی شامل واکنش‌های بصری و اثرات غیربصری است و بر کارآمدی، روحیه و میزان توجه تأثیر دارد. نورپردازی بر انطباق با ساعت بیولوژیکی نیز اثر می‌گذارد (Mills et al., 2007). مدت، زمان، شدت و توزیع نوری که به چشم‌ها می‌رسد بر ریتم شبانه‌روزی و سلامت افراد، مؤثر است (Cajochen et al., 2005). به دلیل تأثیرات بصری و غیربصری نور بر میزان آسایش و حس خوب بودن افراد، تحلیل و ایجاد امکان پیش‌بینی آن برای طراحان نورپردازی یک هدف اصلی است.

دانشجویان برای یادگیری، تولید اندیشه‌ها و ایده‌های نو و افزایش توانایی برای یادگیری مؤثر، مدت زمان جالب توجهی را در فضاهای آموزشی سپری می‌کنند. کیفیت محیط داخلی در فضاهای آموزشی نقشی مهم در فرآیند یادگیری دارد (Duijnhoven et al., 2019). آسایش حرارتی، کیفیت هوای داخلی، آسایش بصری و آسایش آکوستیکی چهار عامل کیفیت محیط داخلی هستند که نورپردازی در میان آن‌ها، تأثیری بسیار مهم بر کارآمدی یادگیری و حس خوب بودن دارد (Ricciardi & Buratti, 2018). پشتیبانی از امور بصری دانشجویان و کارآمدی آموزشی از عملکردهای اصلی و مهم محیط‌های نورپردازی هستند. محیط‌های نورپردازی بر جنبه‌های غیربصری دانشجویان همچون خواب‌آلودی، هوشیاری و ریتم شبانه‌روزی نیز تأثیرگذار هستند (Souman et al., 2018). به دلیل اهمیت شرایط نورپردازی در فضاهای آموزشی، در این پژوهش بر کیفیت سیستم نورپردازی در دانشگاه‌ها تمرکز شده است. معمولاً دانشگاه‌ها در تهران نسبت به شهرستان دارای سیستم‌ها و امکانات بیشتر هستند. همچنین، منطقه ۶ تهران یکی از مراکز مهم برای دانشگاه‌های بزرگ دولتی و غیردولتی است. بر این اساس، سه دانشگاه دولتی و بزرگ شامل دانشگاه تهران، دانشگاه تربیت مدرس و دانشگاه صنعتی امیرکبیر در منطقه ۶ تهران به عنوان نمونه انتخاب شده‌اند. پرسش‌های پژوهش حاضر به شرح زیر تعریف شده‌اند:

• الزامات و استانداردهای بین‌المللی برای سیستم نورپردازی در ساختمان‌های دانشگاهی و بخش‌های مختلف آن همچون کلاس درس، کارگاه، لابراتور رایانه، آزمایشگاه، گالری هنری، سالن سخنرانی و سالن ورزشی چیستند؟

• سیستم نورپردازی در ساختمان‌های دانشگاهی منطقه ۶ تهران به چه میزان با الزامات و استانداردهای بین‌المللی هماهنگ

تأکید کرده‌اند (Ricciardi & Buratti, 2018).

روش پژوهش

در این پژوهش از ترکیبی از روش‌های مروری، تحلیلی، مشاهده‌ای و مقایسه‌ای استفاده شده است. کتاب‌ها، آیین‌نامه‌ها، استانداردها، دفترچه‌های راهنما و توصیه‌های طراحی در زمینه سیستم نورپردازی آموزشی در کشورهای مختلف بررسی شده‌اند. بر این اساس، الزامات نورپردازی برای ساختمان‌های آموزشی و بخش‌های مختلف آن همچون کلاس درس، کارگاه، سالن سخنرانی، سالن ورزشی و گالری هنری استخراج شده‌اند. همچنین، بیش از ۲۰۰ مقاله با توجه به واژه‌های کلیدی سیستم نورپردازی آموزشی، بهره‌وری انرژی، حفاظت انرژی، محیط بصری و ساختمان‌های آموزشی جست‌وجو شده‌اند. بعد از بررسی عنوان، چکیده و واژه‌های کلیدی آن‌ها، ۲۵ مقاله برای مطالعه دقیق و عمیق انتخاب شده‌اند. ۱۰ مقاله از این مقاله‌ها در جدول (۱) در بخش پیشینه پژوهش، ۱۰ مقاله دیگر در جدول (۲) در این بخش و ۵ مقاله دیگر در جدول (۳) در بخش یافته‌های پژوهش ارائه شده‌اند. گفتنی است، بررسی این مقاله‌ها با توجه به زمینه جغرافیایی، فرهنگی و اقتصادی آن‌ها انجام شده است. از این مقاله‌ها، راه‌حل‌های مختلف برای افزایش کیفیت محیط بصری در ساختمان‌های آموزشی به ویژه با توجه به سیستم نورپردازی استخراج شده‌اند.

علاوه بر این، نمونه‌های موردی مختلف در زمینه نورپردازی آموزشی در سراسر جهان جست‌وجو شده‌اند. نمونه‌های موردی موفق با فناوری‌های قابل استفاده در کشور ایران، از این مجموعه، انتخاب و از لحاظ معماری، تأسیسات الکتریکی و سیستم نورپردازی تحلیل شده‌اند. مدارس مختلف در کالی^{ix} کلمبیا، مؤسسه انرژی دانشگاه صنعتی استانبول در ساری^x ترکیه، کلاس‌های آموزشی در دانشکده مهندسی خدمات ساختمان در دانشگاه فنی کلوژ-نپوکای^{xi} رومانی و دانشکده ایستیکالال^{xii} در دانشگاه مهمت آکیف ارسوی^{xiii} در بوردور^{xiv} ترکیه از نمونه‌های موردی بررسی شده هستند. بر این اساس، راه‌حل‌های عملیاتی و به‌روز برای ارتقای سیستم نورپردازی آموزشی جمع‌آوری و تحلیل شده‌اند. در این مطالعه، نمونه موردی از فضاهای آموزشی در دانشگاه فناوری و طراحی سنگاپور (SUTD)^{xv} به طور ویژه معرفی و تحلیل شده است. این پروژه به دلیل ارائه طیف گسترده از رویکردها و راه‌حل‌های نورپردازی آموزشی انتخاب شده است. تحلیل این نمونه موردی بر اساس ترکیب راه‌حل‌های نورپردازی با عناصر معماری و آرایش فضایی

مطالعات آزمایشگاهی از فضاهای آموزشی به عنوان آزمایشگاه برای بررسی پرسش اصلی پژوهش خود همچون کارایی نور طبیعی و نورپردازی الکتریکی، استفاده کرده‌اند. در این مطالعات، ارزیابی‌های ذهنی و اطلاعات فیزیکی نورپردازی نیز بررسی شده‌اند، هرچند هدف از پژوهش، بررسی کیفیت نورپردازی در فضاهای آموزشی نبوده است. یان^v و همکاران در سال ۲۰۱۲ میلادی، اثرات دمای رنگ منابع نور الکتریکی و میزان سطوح روشنایی بر کارآمدی یادگیری دانشجویان، ضعف بینایی و خستگی ذهنی را بررسی کرده‌اند (Yan et al., 2012). بیان و ما^{vi} در سال ۲۰۱۸ میلادی از فضاهای آموزشی برای بررسی رابطه بین ادراک ناراحتی و خیرگی، با افزایش مدت زمان در معرض نور بودن، استفاده کرده‌اند (Bian & Ma, 2018).

تعداد مطالعات کیفیت نور محدود هستند، به ویژه مطالعاتی که انواع مختلف فضاهای آموزشی را پوشش داده‌اند یا از محاسبه‌کننده‌های سطوح روشنایی و شدت روشنایی استفاده کرده‌اند. چیئو^{vi} و همکاران در سال ۲۰۲۰ میلادی درباره آسایش بصری در چهار فضای آموزشی پژوهش کرده‌اند. در این مطالعه، پروژکتور و تخته‌سیاه برای بررسی میزان خیرگی استفاده شده‌اند (Chiou et al, 2020). ئیلدیز^{viii} و همکارانش در سال ۲۰۱۸ میلادی، آسایش بصری در ۱۶ فضای آموزشی دانشگاهی را از طریق شبیه‌سازی کمیت‌های نورپردازی و جمع‌آوری ارزیابی‌های دانشجویان، بررسی کرده‌اند (Yildiz et al., 2018). جدول (۱) روش‌ها و نتایج مطالعات اخیر را مشخص کرده است.

بر اساس مرور ادبیات در زمینه نورپردازی آموزشی، شکافی عمیق در مطالعات انجام شده در داخل کشور وجود دارد؛ به همین دلیل، در این پژوهش به طور مشخص کیفیت نورپردازی در ساختمان‌های آموزشی ایران به ویژه دانشگاه‌های منطقه ۶ تهران بررسی و با الزامات و استانداردهای بین‌المللی مقایسه شده است. همچنین، در مطالعات موجود در کشورهای دیگر، به نقش معماری فضا و چیدمان مبلمان در کیفیت نورپردازی آموزشی کمتر توجه شده است؛ به همین دلیل، در این مطالعه در کنار معرفی و بررسی الزامات نورپردازی در فضاهای مختلف آموزشی، به تأثیر هندسه، آرایش فضایی، تناسب و مبلمان بر کیفیت نورپردازی نیز توجه شده است. علاوه بر این، تحلیل نمونه‌های موردی در این مطالعه باعث افزایش ارتباط طراحان فضاهای آموزشی با الزامات نورپردازی آن می‌شود.

جمع‌آوری شده از مقاله‌های مختلف و نمونه‌های موردی خارجی، راه‌حل‌های ارتقای کیفیت نورپردازی در دانشگاه‌های منطقه ۶ تهران پیشنهاد شده‌اند. این راه‌حل‌ها با استفاده از روش ارزیابی هزینه چرخه زندگی که روش ارزیابی اقتصادی گزینه‌های پیشنهاد شده بر اساس در نظر گرفتن تمام هزینه‌ها در طول عمر اقتصادی است، اعتبارسنجی شده‌اند. شکل (۱) خلاصه‌ای از مراحل مختلف روش پژوهش را نشان داده است.

انجام شده است. یافته‌های تحلیل با تصاویر و ترسیمات مختلف ارائه شده‌اند.

در مرحله بعد، محیط‌های بصری در دانشگاه‌های منطقه ۶ تهران شامل دانشگاه تهران، دانشگاه تربیت مدرس و دانشگاه صنعتی امیرکبیر بررسی شده‌اند و کیفیت نورپردازی در آن‌ها تحلیل شده است. همچنین، سیستم نورپردازی آن‌ها با الزامات بین‌المللی استخراج شده از مرحله مرور ادبیات مقایسه شده است تا نقاط ضعف آن‌ها شناسایی شوند. با مقایسه و تحلیل راه‌حل‌های

جدول ۱- مطالعات اخیر درباره کیفیت نورپردازی در محیط‌های آموزشی (منبع: نویسندگان)

نویسندگان	سال انتشار	روش	نتایج
پرادهان و همکاران (Pradhan et al., 2024)	۲۰۲۴	مجوز کردن ۱۷ دانشجو در شرایط آزمایشگاهی و ارزیابی با آزمون‌های شناختی	بین دما و نور و کارایی یادگیری، توجه کردن و حافظه عملیاتی رابطه وجود دارد.
کاستیلا و همکاران (Castilla et al., 2024)	۲۰۲۴	بازخورد روان‌شناختی از ۱۹۲ شرکت‌کننده	تأثیر متقابل بین شدت روشنایی و دمای رنگ همبسته وجود دارد و امکان تحلیل مجزای آن‌ها وجود ندارد. همچنین، سطوح مختلف روشنایی بر بهره‌وری انرژی مراکز آموزشی تأثیری قابل ملاحظه دارند.
گرگولو و کوکابی (Gorgulu & Kocabay, 2020)	۲۰۲۰	تحلیل کمی پتانسیل صرفه‌جویی انرژی بر اساس چهار سناریوی ارتقای نورپردازی	ترکیب ارتقای نورپردازی و استفاده از سیستم‌های کنترل نور در دانشگاه مدنظر ممکن است باعث صرفه‌جویی به میزان ۶۷۲ مگاوات ساعت انرژی الکتریکی در سال شود.
ریسیاردی و بوراتی (Ricciardi & Buratti, 2018)	۲۰۱۸	اندازه‌گیری ذهنی و عینی با پرسشنامه در ۷ فضای آموزشی دانشگاه پوای ایتالیا	بین متوسط شدت روشنایی و آسایش بصری ادراک شده همبستگی وجود دارد.
کاستیلا و همکاران (Castilla et al., 2018)	۲۰۱۸	ارزیابی ذهنی از ۴۲۷ دانشجوی دانشگاه طی ۴ سال	ارتقای کیفیت نورپردازی داخلی به طور مستقیم باعث افزایش کارآمدی و هوشیاری مدرسان و دانشجویان می‌شود. همچنین، بر بهره‌وری انرژی ساختمان‌های آموزشی مؤثر است.
میکائیل و هراکلیوس (Michael & Heracleous, 2016)	۲۰۱۷	پژوهش میدانی از طریق پرسشنامه و شبیه‌سازی ایستا و پویا	بر اساس ارزیابی نور طبیعی و آسایش بصری در فضاهای آموزشی اروپای جنوبی، رویکرد جامع برای بررسی کارایی نورپردازی آموزشی و آسایش بصری آن ارائه شده است.
کاظمی و کاظمی، ۱۴۰۳	۱۴۰۳	مرور ادبیات، مشاهده، مقایسه و روش تحلیل هزینه - فایده	ترکیب نور طبیعی و روشنایی الکتریکی و تنظیم شدت روشنایی با سیستم کنترل باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی و ارتقای آسایش بصری می‌شود.
موحدی، ۱۳۹۸	۱۳۹۸	طرح تحلیلی توصیفی به روش رگرسیون و استفاده از پرسشنامه	تنوع در رنگ‌پردازی، نورپردازی و جزئیات فضا به همراه استفاده از مصالح طبیعی و گل و گیاه باعث ارتقای خلاقیت در فضاهای آموزشی می‌شود.
مهدوی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۷	۱۳۹۷	روش تحلیلی و توصیفی و مصاحبه	نورپردازی ساختمان‌های شهری به ویژه خانه‌های تاریخی و فرهنگی بیشترین تأثیر را در ایجاد تصویر شبانه شهری دارد.
مهدوی‌نژاد و پورفتح‌اله، ۱۳۹۴	۱۳۹۴	پژوهش پیمایشی و پرسشنامه	فناوری‌های جدید نورپردازی در رونق معماری شبانه و ارتقای حس تعلق شهروندان تهرانی سهمی به‌سزا دارد.

جدول ۲- مقاله‌های بررسی شده در زمینه کیفیت نورپردازی در محیط‌های آموزشی (منبع: نویسندگان)

نویسندگان	سال انتشار	پایگاه داده‌ای	روش
ایمارا و همکاران (Emara et al., 2024)	۲۰۲۴	Sciencedirect	ارزیابی تأثیر منبع نور بر رضایت دانشجویان از طریق تکمیل ۸۵۴ پرسشنامه و اندازه‌گیری اهمیت نور طبیعی به عنوان عامل طراحی
روی و همکاران (Roy et al., 2024)	۲۰۲۴	Sciencedirect	استفاده از پرسشنامه برای ۲۴ دانشجو در سه گروه ۸ نفره
البلاهی و همکاران (Elbellahy et al., 2024)	۲۰۲۴	Sciencedirect	اندازه‌گیری در محل و پرسشنامه برخط
کنگ و همکاران (Kong et al., 2022)	۲۰۲۲	Sciencedirect	استفاده از شاخص نور طبیعی، اندازه‌گیری در محل و جمع‌آوری ۱۱۳ واکنش ذهنی به آسایش بصری و تأثیرات نورپردازی از طریق پرسشنامه برخط
سامیو و همکاران (Samiou et al., 2022)	۲۰۲۲	Sciencedirect	شبیه‌سازی و مدل‌سازی نور طبیعی بر پایه اقلیم
لسس و همکاران (Leccese et al., 2020)	۲۰۲۰	Sciencedirect	روش تحلیل سلسله‌مراتبی ^{xvi}
میکائیل و هیراکلئوس (Michael & Heracleous, 2017)	۲۰۱۷	Sciencedirect	پژوهش میدانی بر پایه پرسشنامه و شبیه‌سازی ایستا و پویا
بنوملو و همکاران (Bonomolo et al., 2017)	۲۰۱۷	Sciencedirect	روشی بر پایه تحلیل شرایط نور طبیعی و محاسبه هزینه بهینه برای سناریوهای مختلف
بلیا و همکاران (Bellia et al., 2015)	۲۰۱۵	Sciencedirect	تحلیل نقشه‌های روشنایی و ارزیابی اثرات غیربصری نور
کابریا و زارعی‌پور (Cabrera & Zareipour, 2013)	۲۰۱۳	Sciencedirect	پژوهش آزمایشگاهی در زمینه کمی‌سازی و درک الگوهای اتلاف انرژی نورپردازی

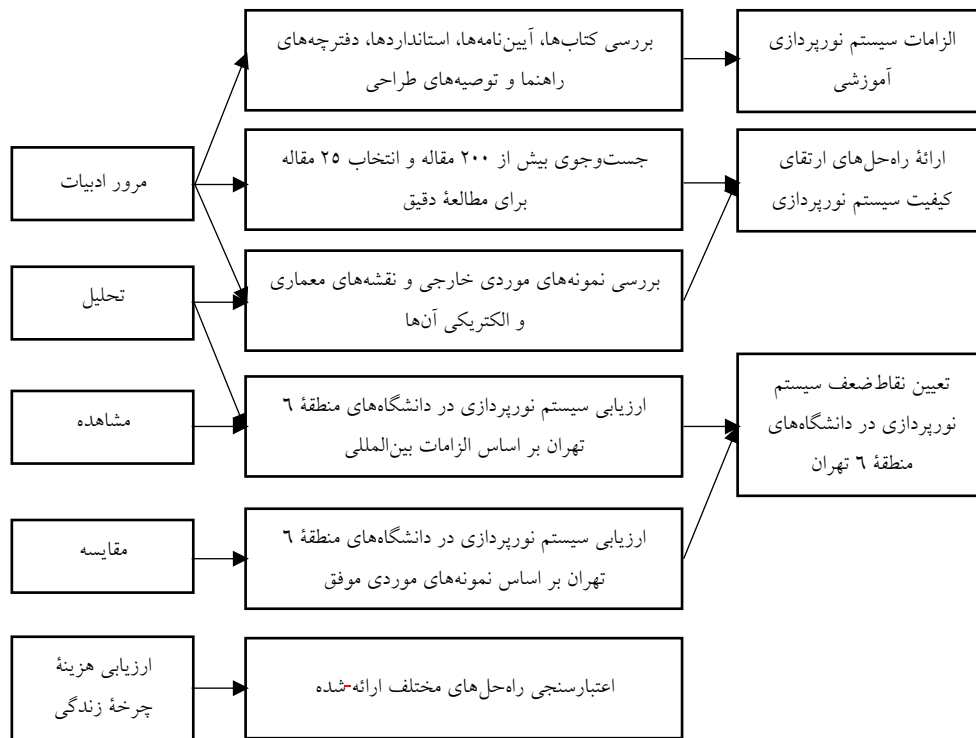
یافته‌های پژوهش

الزامات بین‌المللی برای سیستم نورپردازی آموزشی و مقایسه سیستم نورپردازی در دانشگاه‌های منطقه ۶ تهران با آن‌ها

در این بخش، ابتدا با مرور کتاب‌ها، آیین‌نامه‌ها، استانداردها، دفترچه‌های راهنما و توصیه‌های طراحی در زمینه نورپردازی آموزشی، الزامات سیستم نورپردازی در ساختمان‌های آموزشی تعیین شده‌اند. به طور کلی، ساختمان‌های آموزشی به استثنای دانشگاه‌های خصوصی، از طریق بودجه عملیاتی محدود نگهداری می‌شوند. در این صورت، تمام تأسیسات در این ساختمان‌ها باید بادوام باشند. همچنین، لازم است تا حد امکان بدون نیاز به نگهداری و با مصرف انرژی کم همراه باشند. (۱) استفاده از منابع نور با بیشترین اثربخشی همچون سدیم پرفشار، فلورسنت و متال‌هالید، (۲) رعایت الزامات جایگزینی برای تجهیزات نورپردازی، (۳) استفاده از منابع دارای عمر طولانی همچون

لامپ‌های فلورسنت و تخلیه با شدت زیاد به ویژه برای راهروها و پلکان‌ها و (۴) کنترل دقیق بر سروصدا و لرزش بالاست‌ها و پخش‌کننده‌های نور، در فضاهای آموزشی توصیه می‌شوند. روش‌های نورپردازی مناسب در فضاهای آموزشی مختلف در زیر تبیین شده‌اند.

• کلاس درس در گذشته با صندلی‌های ثابت، راستای دید ثابت و موقعیت ثابت معلم همراه بود؛ اما بسیاری از کلاس‌های درس مدرن دارای قابلیت حرکت معلم، امکان انجام فعالیت‌های مختلف در یک فضا و آرایش انعطاف‌پذیر صندلی‌ها هستند. سیستم نورپردازی غیرمستقیم با پراکندگی خوب برای به حداقل رساندن خیرگی انعکاسی در راستای دید و استفاده از کنترل‌کننده‌ها در کلاس درس اهمیت دارند. به طور کلی، تجهیزات فلورسنت با لامپ‌های فسفری T8 و دمای رنگ از ۳۵۰۰ تا ۴۱۰۰ کلوین مناسب هستند.



شکل ۱- مراحل اجرای پژوهش (منبع: نویسندگان)

کم تضعیف نور و دوره‌های عملیاتی کوتاه‌مدت، منابع توصیه‌شده در این زمینه هستند. لامپ‌های فلورسنت سقفی و تخلیه با شدت زیاد برای مطالعه در این فضاها استفاده می‌شوند. ترکیب‌هایی بسیار زیاد در این زمینه وجود دارند.

- سالن ورزشی کاربردهای مختلف دارد و تمام تجهیزات نورپردازی آن باید محکم و حفاظت‌شده باشند. لامپ‌های جیوه‌ای با روکش فسفری، لامپ‌های سدیم پرفشار و لامپ‌های متال‌هالید با شناسه نمود رنگ زیاد به دلیل رنگ، طول عمر، قابلیت کنترل و اثربخشی مناسب توصیه شده‌اند. سالن ورزشی به چند سطح درخشندگی از طریق تضعیف نور نیاز دارد.

- سالن سخنرانی: نورپردازی سالن سخنرانی از لحاظ منابع و ملاحظات دیگر مشابه کلاس‌های درس است. لامپ‌های فلورسنت قابل تنظیم برای نمایش‌ها و فیلم‌ها لازم هستند. برای نمایش میزها و تخته‌سیاه‌ها باید از نورپردازی موضعی استفاده کرد.

- آزمایشگاه متفاوت از کلاس درس است. میزها در آزمایشگاه ثابت و سطوح آن‌ها معمولاً بسیار تیره هستند. اگر ارتفاع سقف‌ها کافی باشد، سیستم نورپردازی غیرمستقیم به دلیل به حداقل رساندن خیرگی انعکاسی و تأمین درجه زیاد درخشندگی برای سطوح عمودی مناسب است. اگر ارتفاع سقف‌ها کم باشد، باید از سیستم نورپردازی مستقیم استفاده کرد.

- کارگاه: اگر در کارگاه‌ها نیمی از افراد دارای سن ۲۵ سال یا کمتر باشند، شدت روشنایی ۵۰۰ لوکس برای کار با ماشین، بازرسی، ساخت و کار با چوب نیاز است. نورپردازی ایمن جنبه دیگر در طراحی نورپردازی کارگاه‌ها است.

- فضای موسیقی: انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی (IESNA) ^{xvii} برای سطوح افقی، شدت روشنایی ۱۵۰ لوکس و برای سطوح عمودی، شدت روشنایی ۱۰۰ لوکس را توصیه کرده است. سن افراد، کمتر از ۲۵ سال فرض شده است. نورپردازی مستقیم-غیرمستقیم، میزان پراکندگی زیاد را فراهم می‌کند که برای این فضا مناسب است.

- گالری هنری: الزامات اصلی نورپردازی در این فضا بر اساس نور طبیعی با رنگ ثابت تنظیم شده‌اند. در این صورت، پنجره‌های شمالی و سقفی بسیار مطلوب هستند. در نورپردازی الکتریکی، به دلیل اهمیت بسیار زیاد رنگ، به لامپ‌های فلورسنت با شناسه نمود رنگ زیاد نیاز است. شدت روشنایی عمومی باید از طریق نورپردازی موضعی، تقویت شود. اگر الگوهای نورپردازی ویژه پیش‌بینی شده باشند، استفاده از منابع نور قابل تنظیم مطلوب است.

- فضای چندمنظوره: فعالیت‌های مختلف در این فضا به نورپردازی انعطاف‌پذیر نیاز دارند. لامپ‌های رشته‌ای به دلیل هزینه



شکل ۲- دانشکده‌گان مدیریت دانشگاه تهران (منبع: نویسندگان)



شکل ۳- کلاس درس در دانشکده‌گان مدیریت دانشگاه تهران (منبع:

نویسندگان)



شکل ۴- راهروها در دانشکده‌گان مدیریت دانشگاه تهران (منبع:

نویسندگان)

• کتابخانه: در فضای مطالعه عمومی کتابخانه، می‌توان از نورپردازی عمومی منابع نور فلورسنت و متال‌هالید برای تمام سطوح استفاده کرد؛ اما استفاده از نورپردازی عمومی با سطح کم و نورپردازی موضعی برای میزها و اتاقک‌های مطالعه راه‌حلی با بهره‌وری انرژی بیشتر است. شدت روشنایی قفسه‌ها از طریق لامپ‌های فلورسنت با ارتفاع کمتر از ۰/۶ متر از بالای آن‌ها بهتر تأمین می‌شود.

• محل تحویل غذا: سطوح تحویل غذا برای تأکید بر نظافت و افزایش جذابیت غذاها باید به‌خوبی روشن باشند. نمود رنگ غذاها برای افزایش ظاهر اشتهاآور مهم است. در این صورت، باید از لامپ‌های فلورسنت یا لامپ‌های متال‌هالید با دمای رنگ ۳۱۰۰ کلوین در سطوح تهیه، تحویل و صرف غذا استفاده کرد.

با مقایسه سیستم نورپردازی در دانشگاه‌های منطقه ۶ تهران شامل دانشگاه تهران، دانشگاه تربیت مدرس و دانشگاه صنعتی امیرکبیر با این الزامات، کمبودها و نقاط ضعف این سیستم‌ها شناسایی شده‌اند. یکی از ضعف‌های سیستم نورپردازی در دانشگاه‌های این منطقه، برای مثال در دانشکده‌گان مدیریت دانشگاه تهران، طراحی نشدن سیستم نورپردازی بر اساس هماهنگی با عملکردهای مختلف موجود است. در کلاس‌های درس، کتابخانه، سالن سخنرانی، پلکان، راهروها و فضاهای دیگر، از یک آرایش ثابت نورپردازی استفاده شده است؛ در حالی که ارزش این فضاها و خدماتی که ارائه می‌دهند یکسان نیستند (شکل‌های ۲ تا ۴). این آرایش از تجهیزات دارای دو لامپ فلورسنت T شکل با نور رو به پایین ساخته شده است. همچنین، به طراحی سیستم نورپردازی بر اساس فعالیت‌های مختلف موجود در یک فضای ویژه همچون کلاس درس نیز توجه نشده است و برای تمام آن فعالیت‌ها، همین آرایش تکرار شده است. در برخی از ساختمان‌های آموزشی دیگر، همچون دانشکده هنر دانشگاه تربیت مدرس، از تجهیزات دارای دو لامپ فلورسنت U شکل به صورت توکار استفاده شده است؛ اما همچنان به هماهنگی با بخش‌های مختلف و فعالیت‌های متفاوت موجود در هر بخش توجه نشده است (شکل ۵).

انعکاسی را ایجاد کند. انعطاف‌ناپذیری در فضاهای آموزشی این ضعف را تشدید می‌کند.



شکل ۶- خیرگی در سالن اصلی دانشکده‌گان مدیریت دانشگاه تهران (منبع: نویسندگان)



شکل ۷- خیرگی در پلکان دانشکده‌گان مدیریت دانشگاه تهران (منبع: نویسندگان)



شکل ۵- نمایشگاه طرح و رنگ در دانشکده هنر دانشگاه تربیت مدرس (<http://tech.modares.ac.ir>)

ضعف دیگر سیستم نورپردازی در دانشگاه‌های منطقه ۶ تهران فراهم کردن شدت روشنایی افقی و عمودی یکسان در تمام بخش‌ها و فضاها است، هرچند فضاهای حساس با امور بینایی دشوار و دقیق همچون کارگاه‌ها، آزمایشگاه‌ها و آتلیه‌های ترسیم فنی، به شدت به روشنایی بیشتر و سیستم نورپردازی بدون سایه نیاز دارند.

عدم استفاده بهینه از نور طبیعی برای کاهش مصرف انرژی ضعف دیگر است. حتی در برخی از فضاهای آموزشی این منطقه از نور طبیعی به طور نامناسب استفاده شده است که باعث ایجاد خیرگی شدید در محیط می‌شود و حتی امور بینایی ساده را نیز مختل می‌کند. برای نمونه، این خیرگی در دانشکده‌گان مدیریت دانشگاه تهران قابل مشاهده است (شکل‌های ۶ و ۷). علاوه بر این، در بیشتر دانشگاه‌های منطقه ۶ تهران، سیستم کنترل برای ایجاد هماهنگی بین نور طبیعی و نورپردازی الکتریکی وجود ندارد؛ به همین دلیل، لامپ‌های الکتریکی معمولاً با وجود نور شدید از پنجره‌ها روشن هستند. برای استفاده بهینه از نور طبیعی، توجه به جهت‌گیری، سایه‌بان‌ها و پوشش گیاهی اهمیت دارد و میزان نور طبیعی باید با کرکره‌های خودکار و هوشمند تنظیم شود تا باعث خیرگی نشود. همچنین، سیستم‌های کنترل می‌توانند بر اساس نور طبیعی موجود در ساعت‌های مختلف، شدت روشنایی سیستم نورپردازی الکتریکی را تنظیم کنند.

ضعف دیگر سیستم نورپردازی در دانشگاه‌های منطقه ۶ تهران عدم طراحی بر اساس هندسه، آرایش فضایی، تناسبات و مبلمان هر بخش است. این موضوع به ویژه موقع استفاده از لپ‌تاپ‌ها و تبلت‌ها و سایر تجهیزات دارای صفحه‌نمایش دیجیتال محسوس است؛ زیرا نور می‌تواند از این صفحات منعکس شود و خیرگی

سنگاپور به طور ویژه معرفی و تحلیل شده است. این دانشگاه دارای دو ساختمان هفت طبقه است. هر ساختمان دارای دو حیاط مرکزی به شکل هشت ضلعی است (شکل‌های ۸ و ۹). هر حیاط با فضاهای آموزشی و فضاهای اداری احاطه شده است. شکل (۱۰) ویژگی‌های تمام هشت فضای آموزشی شامل ابعاد، آرایش فضایی و جهت‌گیری را ارائه کرده است. تمام هشت فضای آموزشی دارای مصالح داخلی مشابه هستند؛ زیرا در دانشگاه یکسان قرار گرفته‌اند. دو لابراتور رایانه، سه فضای یادگیری مشارکتی و سالن سخنرانی ۶ دارای دیوارهای سفید یکسان، ستون‌های سفید، سقف‌های معلق سفید و سقف‌های مشکی فوقانی هستند. سالن‌های سخنرانی ۷ و ۸ دارای دیوارها و سقف‌های ارغوانی و صندلی‌های مشکی هستند. دو لابراتور رایانه و سه فضای مشارکتی با راهروهای باز محدود شده‌اند. این راهروها دارای کف‌های بتنی، دیوارهای سفید و قطعات ارغوانی و سبز هستند.

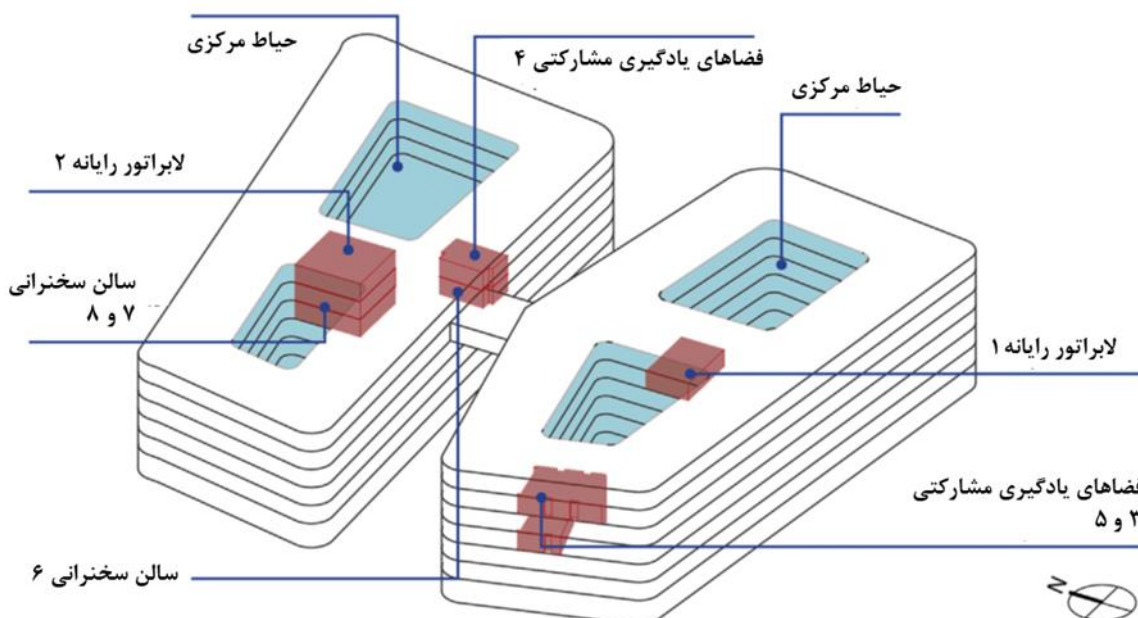
در طراحی سیستم نورپردازی در دانشگاه‌های منطقه ۶ تهران، از نور به عنوان یک ملاحظه مهم در طراحی معماری استفاده نشده است. اگر نورپردازی در طراحی معماری لحاظ شود، می‌تواند حس‌های مختلف همچون پذیرش، حرکت، سکون، سکوت و جنبش را ایجاد کند.

راه‌حل‌های ارتقای کیفیت نورپردازی بر اساس تحلیل فضاهای آموزشی در دانشگاه فناوری و طراحی سنگاپور

برای ارائه راه‌حل برای ضعف‌های موجود در سیستم نورپردازی در دانشگاه‌های منطقه ۶ تهران، نمونه‌های موردی بسیاری بررسی و تحلیل شده‌اند. جدول (۳) پنج نمونه بررسی شده را ارائه کرده است. به دلیل جامع بودن راه‌حل‌های به‌کاررفته و هماهنگی با فناوری‌های کشور ایران، سیستم نورپردازی در سه نوع فضای آموزشی شامل لابراتورهای رایانه، فضاهای یادگیری مشارکتی و سالن‌های سخنرانی در دانشگاه فناوری و طراحی

جدول ۳- نمونه‌های موردی بررسی شده در زمینه کیفیت نورپردازی در محیط‌های آموزشی (منبع: نویسندگان)

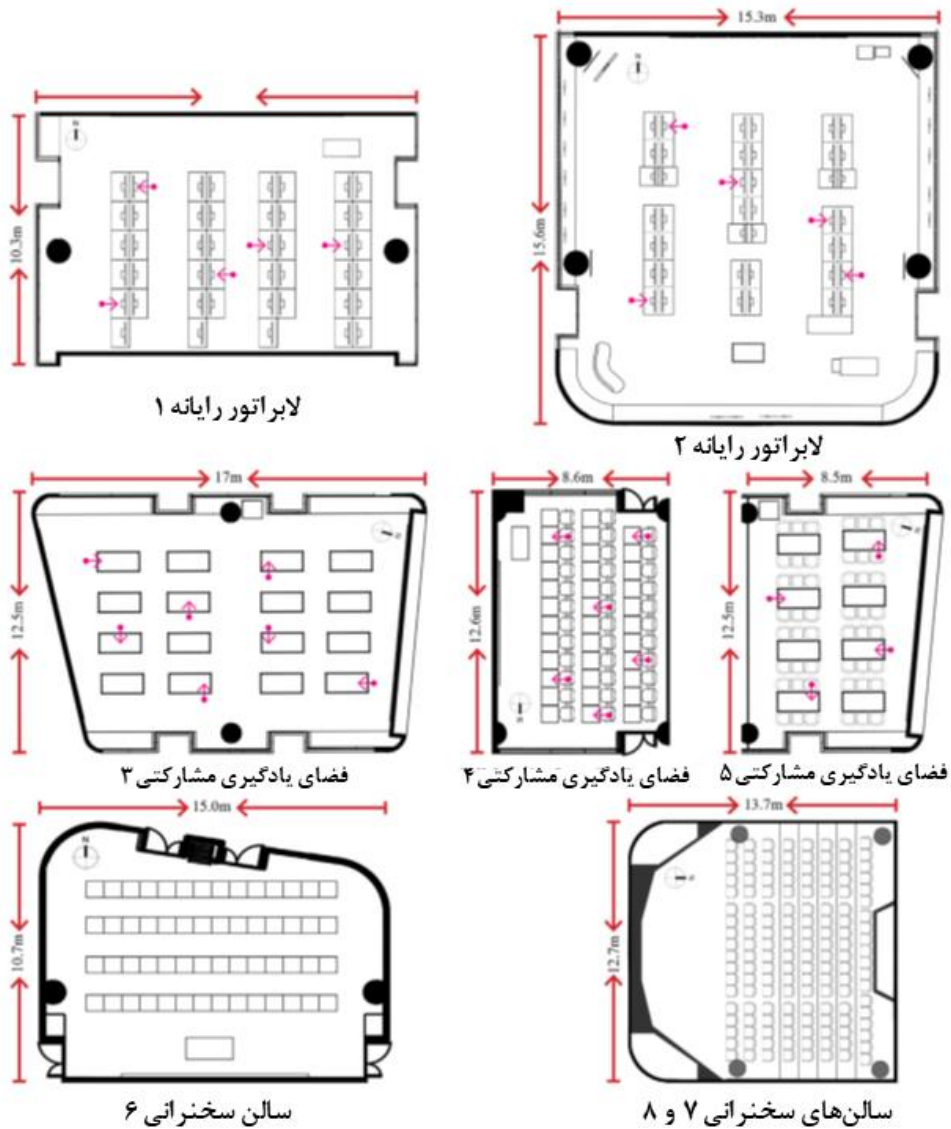
نویسندگان	سال انتشار	پایگاه داده‌ای	نمونه موردی
میونز گالیانو و همکاران (Munoz-Galeano et al., 2025)	۲۰۲۵	Sciencedirect	۳۰۱ مدرسه در کالی کلمبیا
زعفرانچی و سوزر (Zafaranchi & Sozer, 2024)	۲۰۲۴	Sciencedirect	مؤسسه انرژی دانشگاه صنعتی استانبول در ساریر ترکیه
البو و همکاران (Albu et al., 2023)	۲۰۲۳	Sciencedirect	کلاس‌های آموزشی در دانشکده مهندسی خدمات ساختمان در دانشگاه فنی کلوژ-تیپوکای رومانی
خانی و همکاران (Khani et al., 2022)	۲۰۲۲	Sciencedirect	مدارس اقلیم گرم و مرطوب جزیره قشم
گورگولو و همکاران (Gorgulu & Kocabey, 2020)	۲۰۲۰	Sciencedirect	دانشکده ایستیکلال در دانشگاه مهمت آکیف ارسوی در بوردور ترکیه



شکل ۸- موقعیت هشت فضای آموزشی در دانشگاه فناوری و طراحی سنگاپور (Kong & Jakubiec, 2021)



شکل ۹- نمایی از حیاط مرکزی در دانشگاه فناوری و طراحی سنگاپور (<https://archello.com>)



شکل ۱۰- آرایش هشت فضای آموزشی در دانشگاه فناوری و طراحی سنگاپور (Kong & Jakubiec, 2021)



شکل ۱۲- فضای یادگیری مشارکتی در دانشگاه فناوری و طراحی سنگاپور

(<https://archello.com>)



شکل ۱۳- فضای یادگیری مشارکتی در دانشگاه فناوری و طراحی سنگاپور

(<https://archello.com>)

طراحی سیستم نورپردازی بدون توجه به هندسه، آرایش فضایی، تناسب و مبلمان، یکی از ضعف‌های سیستم نورپردازی در دانشگاه‌های منطقه ۶ تهران است؛ در حالی که سیستم نورپردازی در دانشگاه فناوری و طراحی سنگاپور بر این اساس، طراحی و در صورت لزوم اصلاح شده است. برای نمونه، ابتدا صفحه‌نمایش‌ها در دو لابراتور رایانه به موازات پنجره‌ها آرایش یافته بودند. در این صورت، دانشجویان رو به یک جبهه از پنجره‌ها و پشت به جبهه دیگر بودند. دانشجویان در این لابراتورها، سخنرانی‌های برخط را دریافت و بر تکالیف درسی برخط به صورت فردی یا گروهی کار می‌کردند. کنگ و جاکوبیس^{xvi ii} در سال ۲۰۲۱ میلادی، کیفیت ذهنی و عینی نورپردازی در هشت فضای آموزشی به ویژه لابراتورهای رایانه را ارزیابی کرده‌اند. بر اساس اطلاعات فضایی و نورپردازی، مدل‌های نور طبیعی و تحلیل پاسخ‌های ۳۳۳ دانشجو به پرسشنامه‌ها، در لابراتورهای رایانه، نور طبیعی همراه با خیرگی توزیع یافته بود. در این لابراتورها، متوسط شدت روشنایی افقی ۱۲۸/۶ لوکس و متوسط شدت روشنایی عمودی ۱۲۰/۴ لوکس بود. ۶۰ درصد از دانشجویان میزان نور طبیعی را کافی دانسته‌اند؛ اما ۳۶ درصد از دانشجویان افزایش

یکی از ضعف‌های سیستم نورپردازی در دانشگاه‌های منطقه ۶ تهران استفاده نامناسب از نور طبیعی است که باعث ایجاد خیرگی شدید در فضاها می‌شود؛ در حالی که حیاط‌های مرکزی، جهت گیری مناسب فضاها نسبت به نور مطلوب، پنجره‌ها با نسبت مناسب، سایه‌بان‌های کاربردی و پوشش گیاهی باعث استفاده بهینه و بدون خیرگی از نور طبیعی در فضاهای آموزشی دانشگاه فناوری و طراحی سنگاپور شده‌اند. دو لابراتور رایانه (شکل ۱۱) و سه فضای یادگیری مشارکتی (شکل‌های ۱۲ و ۱۳) در جبهه‌های روبه‌رو دارای پنجره هستند. نسبت پنجره به دیوار آن‌ها از ۴۸ تا ۷۳ درصد و قابلیت انتقال نور مرئی مصالح شیشه‌ای آن‌ها از ۴۲ تا ۸۴ درصد است. این پنج فضای آموزشی دارای سایه‌بان با عمق ۲/۱ تا ۲/۵ متر هستند که به طور مؤثر مانع تابش مستقیم خورشید می‌شود. هیچ کدام از پنج فضای آموزشی دارای سیستم کنترل نور طبیعی برای طراحی نورپردازی الکتریکی نیستند. نماهای شمال‌شرقی در فضاهای یادگیری مشارکتی ۳ و ۵، رو به شهر و بدون مانع دید از ساختمان‌های مجاور هستند. سه فضای آموزشی دیگر در مرکز بلوک‌های ساختمان قرار گرفته‌اند. در این صورت، دو جبهه آن‌ها دارای پنجره رو به نمای حیاط مرکزی هستند. سالن‌های سخنرانی ۷ و ۸ (شکل ۱۴) دارای آرایش یکسان هستند؛ اما در طبقات مختلف قرار گرفته‌اند. سه سالن سخنرانی دارای پنجره خارجی نیستند و به نور طبیعی دسترسی ندارند. آن‌ها فقط از لامپ‌های فلورسنت سقفی استفاده می‌کنند.



شکل ۱۱- لابراتور رایانه در دانشگاه فناوری و طراحی سنگاپور

(<https://archello.com>)

سالن‌های سخنرانی نورپردازی الکتریکی ثابت دارند؛ به گونه‌ای که متوسط شدت روشنایی افقی آن‌ها ۳۷۲/۲ لوکس و متوسط شدت روشنایی عمودی آن‌ها ۱۸۷/۲ لوکس است. ۲۶/۶ درصد از دانشجویان شرایط نورپردازی الکتریکی را بسیار درخشان و ۲۴ درصد از آنان این شرایط را با عدم راحتی همراه دانسته‌اند. ۵۵/۷ درصد از دانشجویان کاهش سطوح روشنایی را مطلوب دانسته‌اند. ۱۵/۲ درصد از دانشجویان خیرگی ناراحت‌کننده یا غیرقابل تحمل را تجربه کرده‌اند. لامپ‌های موجود بر اساس گزارش ۵۷ درصد از دانشجویان، منبع اصلی خیرگی هستند. در این صورت، برای ایجاد شرایط نورپردازی راحت و حفاظت انرژی، می‌توان لامپ‌های الکتریکی را کمتر به کار برد (Kong & Jakubiec, 2021).

اعتبارسنجی راه‌حل‌های ارائه شده برای ارتقای کیفیت سیستم

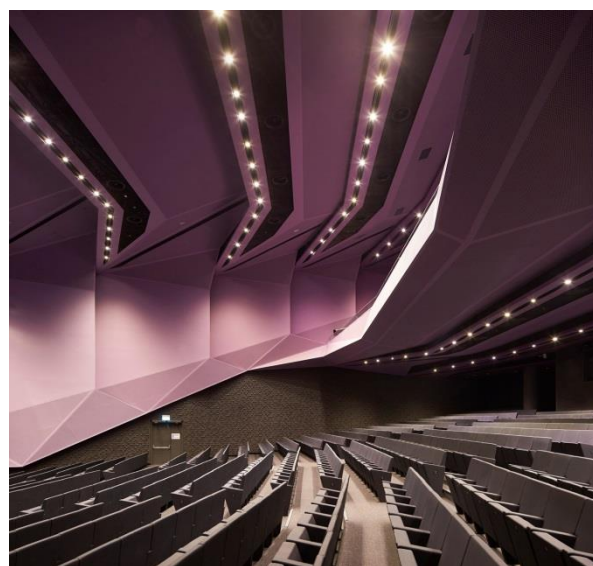
نورپردازی آموزشی با روش ارزیابی هزینه چرخه زندگی

در این بخش، راه‌حل‌های ارائه شده در بخش قبل به ویژه در ارتباط با استفاده بهینه از نور طبیعی، اعتبارسنجی شده‌اند. یک راهرو معمول در ساختمان آموزشی دارای جهت‌گیری شمالی - جنوبی با طول ۲۶ متر، عرض ۲/۵ متر و ارتفاع ۳ متر در نظر گرفته شده است. کلاس‌های درس در دو طرف این راهرو فرض شده‌اند. از روش ارزیابی هزینه چرخه زندگی برای مقایسه سه گزینه نورپردازی در این راهرو استفاده شده است. گزینه اول شامل سیستم نورپردازی متداول در این راهروهاست. گزینه‌های دوم و سوم بر اساس نظریه بهبود سیستم نورپردازی تعریف شده‌اند. در این نظریه، بهره‌وری انرژی، تجهیزات نورپردازی، هزینه‌های نگهداری و کیفیت و نمود نورپردازی در نظر گرفته شده‌اند. یکی از این دو گزینه از تغییر وضعیت سیستم نورپردازی بر اساس حرکت افراد در راهرو و گزینه دیگر از حسگر نور طبیعی و حفظ شدت روشنایی در سطح مورد نیاز استفاده کرده است.

ارزیابی هزینه چرخه زندگی به عنوان روش اقتصادی برای ارزیابی پروژه لحاظ می‌شود و می‌توان از آن برای پشتیبانی از تصمیم‌های هزینه‌محور بلندمدت استفاده کرد (Sanchez-Silva & Klukte, 2016). هزینه کل پروژه به سه عامل بستگی دارد. عامل اول شامل سرمایه‌گذاری در سیستم مدنظر از طراحی تا اجرای کامل است. عامل دوم هزینه‌های لازم برای بهره‌برداری و نگهداری از سیستم را پوشش می‌دهد. عامل سوم هزینه انرژی مصرف شده توسط سیستم را در بر می‌گیرد (Sanchez-Silva & Klukte, 2016). در این صورت، هزینه کل چرخه زندگی برای سیستم نورپردازی با معادله (۱) تعیین می‌شود. در این معادله، Total cost

سطوح روشنایی را مطلوب دانسته‌اند و ۲۴/۶ درصد از دانشجویان خیرگی غیرقابل تحمل را تجربه کرده‌اند. صفحه‌نمایش‌ها به موازات پنجره‌های دوجبهه بودند. انعکاس نور در صفحه‌نمایش‌ها منبع اصلی خیرگی بود که ۷۱/۳ درصد از دانشجویان به آن اشاره کرده‌اند. در این صورت، آرایش مجدد صفحه‌نمایش‌ها عمود بر پنجره‌ها توانست خیرگی انعکاسی را به طور مؤثر کاهش دهد (شکل ۱۱).

انعطاف‌پذیری در فضاهای آموزشی راه‌حلی برای خیرگی مستقیم و انعکاسی است که در دانشگاه‌های منطقه ۶ تهران لحاظ نشده است؛ در حالی که در دانشگاه فناوری و طراحی سنگاپور، آرایش میزها در سه فضای یادگیری مشارکتی بر اساس نیازهای سخنرانی، انعطاف‌پذیر است. موقعیت دانشجویان در ارتباط با پنجره‌ها در هر درس ممکن است متفاوت باشد. دانشجویان سخنرانی‌ها را دریافت می‌کنند و بر تکالیف درسی به صورت فردی یا گروهی کار می‌کنند. فضاهای یادگیری مشارکتی بدون صفحه‌نمایش‌ها با اندکی توزیع نور طبیعی بیشتر همراه هستند. متوسط شدت روشنایی افقی آن‌ها ۱۱۰/۱ لوکس و متوسط شدت روشنایی عمودی آن‌ها ۱۸۴/۲ لوکس است. ۶۰ درصد از دانشجویان شرایط نور طبیعی را مناسب دانسته‌اند. ۳۷ درصد از دانشجویان افزایش سطوح روشنایی را مطلوب دانسته‌اند. دانشجویان توانایی بازآرایش میزها و صندلی‌ها را دارند. در این صورت، فقط ۱۵/۲ درصد از آنان خیرگی ناراحت‌کننده را تجربه کرده‌اند. پنجره‌ها بر اساس گزارش ۵۸/۳ درصد از ساکنان، منبع اصلی خیرگی هستند (Kong & Jakubiec, 2021).



شکل ۱۴- سالن سخنرانی در دانشگاه فناوری و طراحی سنگاپور

(<https://archello.com>)

کیلوگرم دی‌اکسیدکربن، Energy usage مصرف انرژی در فضاهاى مدنظر برحسب کیلووات-ساعت و CIEu تأثیر اقلیمی مصرف انرژی برحسب کیلوگرم دی‌اکسیدکربن بر کیلووات-ساعت است.

$$\text{Climate impact} = \sum \text{Energy usage} * \text{CIEu} \quad (6)$$

در معادله بالا، Energy usage با استفاده از معادله (۷) محاسبه می‌شود.

$$\text{Energy usage} = N_{rst} * N_1 * E_1 * \text{TRF}_c * h_o / 1000 \quad (7)$$

ضریب مهم دیگر شاخص عددی انرژی نورپردازی (LENI)^{xx} است. این شاخص با معادله (۸) محاسبه می‌شود که در آن، مساحت فضای مدنظر برحسب متر مربع است.

$$\text{LENI} = \sum N_{rst} * N_1 * E_1 * \text{TRF}_c * h_o / 1000 / A \quad (8)$$

بر اساس این معادلات، در نرم‌افزار اکسل، مدلی ساخته شده است که نتایج ارزیابی هزینه چرخه زندگی برای گزینه‌های نورپردازی منتخب را ارائه می‌کند. گزینه اول شامل ۶ مورد از تجهیزات نورپردازی است که هر کدام از این تجهیزات شامل ۴ لامپ فلورسنت با توان ۱۸ وات است؛ بنابراین، توان هر کدام از این تجهیزات ۷۲ وات و توان کل سیستم نورپردازی نصب شده ۴۳۲ وات است. شار نوری هر لامپ ۱۳۵۰ لومن است. در این صورت، شار نوری هر کدام از تجهیزات برابر ۵۴۰۰ لومن است. این سیستم نورپردازی فاقد کنترل ویژه است و فقط با دو سویچ راهرو روشن و خاموش می‌شود. بر اساس محاسبات انجام شده، مصرف برق سالانه در این گزینه نورپردازی برابر ۱۵۷۶/۸ کیلووات ساعت است.

دو گزینه بهبود سیستم نورپردازی بر اساس استفاده یا عدم استفاده از نور طبیعی تعریف شده‌اند. گزینه دوم بر اساس عدم وجود نور طبیعی و استفاده از دیودهای نورگسیل (LED)^{xx} و حسگرهای حرکتی تعریف شده است. حسگرهای حرکتی بین لامپ‌ها توزیع شده‌اند و پوشش فضایی کافی برای تشخیص حرکت را فراهم کرده‌اند. اگر بعد از ۶۰ ثانیه حرکتی ثبت نشود، لامپ‌ها خاموش می‌شوند. در این صورت، هر گونه تغییر شخصی در سیستم روشنایی حذف می‌شود و لامپ‌ها فقط با تشخیص حضور افراد در راهرو روشن می‌شوند. بر اساس محاسبات انجام شده، مصرف برق سالانه در این گزینه نورپردازی تقریباً برابر ۱۴۰ کیلووات ساعت است.

هزینه کل چرخه زندگی، Investment هزینه سرمایه‌گذاری، Maintenance هزینه نگهداری، Annual energy هزینه برق سالانه و Fpv ضریب ارزش فعلی است (Commission on Illumination, 1996).

$$\text{Total cost} = \sum \text{Investment} + \sum F_{pv} * \text{Maintenance} + \sum F_{pv} * \text{Annual energy} \quad (1)$$

هزینه نگهداری و مصرف برق معمولاً به تغییر زمانی ارزش پول وابسته است. این تغییر با استفاده از ضریب Fpv لحاظ شده است. این کمیت شامل تغییر ارزش پول در دوره زمانی معین است و بر اساس معادله (۲) محاسبه می‌شود. در این معادله، Df نرخ تورم برحسب درصد، Eapch تغییر قیمت برق سالانه برحسب درصد و tu مدت زمان استفاده برحسب سال است.

$$F_{pv} = 1 / D_f * (1 - (1 + E_{apch}) / (1 + D_f))^{tu} \quad (2)$$

هزینه سرمایه‌گذاری بر اساس معادله (۳) محاسبه می‌شود. در این معادله، Investment cost هزینه سرمایه‌گذاری، Nrst تعداد فضاهاى دارای کاربری یکسان، N1 تعداد تجهیزات نورپردازی، P1 هزینه هر کدام از تجهیزات نورپردازی، ML1 هزینه مصالح و کارگران به‌ازای هر کدام از تجهیزات و Cecd وسایل کنترل خارجی است.

$$\text{Investment cost} = N_{rst} * (N_1 * (P_1 + ML_1)) + C_{ecd} \quad (3)$$

هزینه برق مصرفی بر اساس معادله (۴) محاسبه می‌شود. در این معادله، Annual energy هزینه برق سالانه، Ep هزینه برق، E1 توان تجهیزات نورپردازی برحسب وات، TRFc ضریب کاهش کل با کنترل و h0 ساعات‌های عملیات است.

$$\text{Annual energy} = E_p * (N_{rst} * N_1 * E_1 * \text{TRF}_c * h_o) / 1000 \quad (4)$$

TRFc در معادله بالا شامل تأثیر درجه‌های مختلف کنترل نورپردازی است و بر اساس معادله (۵) محاسبه می‌شود. در این معادله، Rm ضریب کاهش کنترل دستی، Rp ضریب کاهش کنترل تشخیص حضور افراد و Rd ضریب کاهش کنترل نور طبیعی است.

$$\text{TRF}_c = R_m * R_p * R_d \quad (5)$$

ارزیابی هزینه چرخه زندگی اطلاعاتی درباره تأثیر سیستم بر محیط‌زیست را فراهم می‌کند. امکان محاسبه تأثیر کل بهره‌برداری سیستم وجود دارد. ارزش این تأثیر با معادله (۶) محاسبه می‌شود. در این معادله، Climate impact تأثیر اقلیمی سیستم برحسب

بر اساس محاسبات انجام شده، شاخص عددی انرژی نورپردازی برای گزینه‌های اول تا سوم به ترتیب برابر ۱، ۲ و ۱ است. همچنین، استفاده از دیود نورگسیل و حسگر حرکتی میزان مصرف برق را از $157\frac{6}{8}$ به ۱۴۰ کیلووات ساعت در سال و اضافه شدن وسیله کنترل نور طبیعی میزان مصرف برق را از ۱۴۰ به ۷۴ کیلووات ساعت در سال کاهش می‌دهد. بر اساس تعرفه برق در سال ۱۴۰۳، هزینه انرژی برای گزینه اول به طور تقریبی برابر ۱۳۰،۰۰۰ تومان، برای گزینه دوم برابر ۱۲،۰۰۰ تومان و برای گزینه سوم برابر ۶،۱۰۰ تومان است.

گزینه سوم بر اساس وجود نور طبیعی، استفاده از دیودهای نورگسیل، اندازه‌گیری شدت روشنایی و کنترل فعال آن تعریف شده است. سه پنجره سقفی در یک طرف راهرو فرض شده‌اند. در این سیستم، شدت روشنایی راهرو در سطح ثابت ۱۰۰ لوکس کنترل می‌شود. طراحی کنترل بر اساس اطلاعات منابع نور موجود، نور طبیعی و حرکت افراد در راهرو است. بر اساس محاسبات انجام شده، مصرف برق سالانه در این گزینه نورپردازی تقریباً برابر ۷۴ کیلووات ساعت است. جدول (۴) خلاصه‌ای از ویژگی‌های مختلف لامپ‌های استفاده شده در سه سیستم نورپردازی را ارائه کرده است.

جدول ۴- ویژگی‌های لامپ‌های استفاده شده در سه سیستم نورپردازی (Belany et al., 2021)

انواع	لامپ فلورسنت گزینه اول	دیود نورگسیل گزینه دوم	دیود نورگسیل گزینه سوم
توان برحسب وات	۱۸	۱۰	۱۰
شار نوری برحسب لومن	۱۳۵۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
طول عمر برحسب ساعت	۲۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۵۰۰۰۰
شناسه نمود رنگ	۸۵	۸۰	۸۰
دمای رنگ برحسب کلوین	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۳۵۰۰

نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق، بررسی کیفیت نورپردازی در دانشگاه‌های منطقه ۶ تهران و بخش‌های مختلف آن همچون کلاس درس، کارگاه، فضای چند منظوره، سالن سخنرانی و سالن ورزشی، بر اساس الزامات و استانداردهای بین‌المللی بود. بر اساس یافته‌های تحقیق، سیستم نورپردازی در دانشگاه‌های منطقه ۶ تهران دارای کمبودها و ضعف‌های بسیار است. این کمبودها و ضعف‌ها عبارتند از: (۱) طراحی سیستم نورپردازی بدون توجه به عملکردهای مختلف و در نظر گرفتن آرایش ثابت برای تمام بخش‌ها، (۲) طراحی سیستم نورپردازی ثابت در هر فضای آموزشی همچون کلاس درس بدون توجه به فعالیت‌های مختلف موجود در آن، (۳) استفاده نامناسب از نور طبیعی بدون توجه به الزامات آن و ایجاد خیرگی شدید ناشی از آن، (۴) طراحی سیستم نورپردازی بدون توجه به هندسه، آرایش فضایی، تناسبات و مبلمان هر بخش، (۵) انعطاف‌ناپذیری در بخش‌های آموزشی در ارتباط با سیستم نورپردازی و (۶) عدم استفاده از پتانسیل سیستم نورپردازی برای ایجاد محیط بصری خوشایند و مفهوم‌سازی. همچنین، در این تحقیق مشخص شد که آرایش فضایی و چیدمان مبلمان می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر کیفیت

نورپردازی داشته باشند. اگر صفحه نمایش‌ها در لابراتور رایانه به موازات پنجره‌ها، قرار گیرند یا بند منبع خیرگی خواهند بود اما اگر عمود بر پنجره‌ها، قرار گیرند این مشکل رفع خواهد شد. لامپ‌ها در سالن سخنرانی می‌توانند منبع خیرگی باشند اما با انتخاب تعداد و موقعیت مناسب آنها، کیفیت نورپردازی افزایش می‌یابد. در کلاس درس، انعطاف‌پذیر بودن صندلی‌ها و میزها می‌تواند باعث حذف خیرگی شود.

همچنین، در این پژوهش الزامات نورپردازی برای فضاهای مختلف آموزشی مشخص شدند. برای کلاس درس و سالن سخنرانی، سیستم نورپردازی غیرمستقیم با پراکندگی خوب و استفاده از کنترل‌کننده‌ها، توصیه می‌شود. برای کارگاه، نورپردازی مستقیم-غیرمستقیم و برای گالری هنری، ترکیب نورپردازی عمومی و موضعی، کاربرد دارد. فضای چند منظوره و سالن ورزشی به دلیل فعالیت‌های مختلف به نورپردازی انعطاف‌پذیر از طریق تضعیف نور، نیاز دارند. در آزمایشگاه، در صورت ارتفاع کافی سقف می‌توان از سیستم نورپردازی غیرمستقیم برای کاهش خیرگی و تأمین درخشندگی مناسب، استفاده کرد. در کتابخانه، استفاده از ترکیب نورپردازی عمومی و موضعی، تأکید می‌شود.

یافته‌های این تحقیق، نتایج مطالعه هیل و ایپس در سال

- بین‌المللی و پیشنهاد راه‌حل برای ارتقای آن. فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، ۱۰(۲)، ۹۱-۶۵.
- <http://epprjournal.ir/article-1-1196-fa.html>
- Albu, H., Beu, D., Rus, T., Moldovan, R., Domnitam F., & Vilcekova, S. (2023). Life cycle assessment of LED luminaire and impact on lighting installation – A case study. *Alexandria Engineering Journal*, 80, 282-293.
- <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.08.068>
- Belany, P., Hrabovsky, P., & Kolkova, Z. (2021). Combination of lighting retrofit and life cycle cost analysis for energy efficiency improvement in buildings. *Energy Reports*, 7, 2470-2483.
- <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.04.044>
- Bellia, L., Spado, G., Pedace, A., & Fragliasso, F. (2015). Methods to evaluate lighting quality in educational environments. *Energy Procedia*, 78, 3138-3143.
- <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.770>
- Bian, Y., & Ma, Y. (2018). Subjective survey & simulation analysis of time-based visual comfort in daylight spaces. *Build Environ*, 131, 63-73.
- <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.007>
- Bonomolo, M., Baglivo, C., Bianco, G., Congedo, P.M., & Beccali, M. (2017). Cost optimal analysis of lighting retrofit scenarios in educational buildings in Italy. *Energy Procedia*, 126, 171-178.
- <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.137>
- Cabrera, D. F. M., & Zareipour, H. (2013). Data association mining for identifying lighting energy waste patterns in educational institutions. *Energy and Buildings*, 62, 210-216.
- <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.049>
- Cajochen, C., Munch, M., Kobiakka, S., Krauchi, K., Streiner, R., Oelhafen, P., et al. (2005). High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 90(3), 1311-1316.
- <https://doi.org/10.1210/jc.2004-0957>
- Castilla, N., Higuera-Trujillo, J., & Llinares, C. (2024). Virtual reality-based study assessing the impact of lighting on attention in university classrooms. *Journal of Building Engineering*, 86.
- <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.108902>
- Castilla, N., Llinares, C., Bisegna, F., Blanca-Gimenez, V. (2018). Emotional evaluation of lighting in university classrooms: A preliminary study. *Frontiers of Architectural Research*, 7, 600-609. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2018.07.002>
- Chiou, Y. S., Saputro, S., & Sari, D. P. (2020). Visual comfort in modern university classrooms. *Sustainability*, 12(9).
- <https://doi.org/10.3390/su12093930>
- Duijnoven, J., Aarts M., Aries, M., Rosemann, A., & Kort, H. (2019). Systematic review of the interaction between office light conditions and occupational health: Elucidating gaps and
- ۲۰۱۰ میلادی را تأیید می‌کند که بر تأثیر شرایط نورپردازی بر ارزیابی‌های دانشجویان از فضاهای آموزشی تأکید کرده‌اند (Hill & Epps, 2010). همچنین، یافته‌های این مطالعه، نتایج پژوهش انجام شده توسط ریساردی و همکارانش در سال ۲۰۱۸ میلادی را تأیید می‌کند که به همبستگی بین متوسط شدت روشنایی و آسایش بصری در فضاهای آموزشی، تأکید کرده‌اند (Ricciardi & Buratti, 2018). لازم به ذکر است که یافته‌های این دو مطالعه و مطالعات ذکر شده دیگر در بخش پیشینه تحقیق، مربوط به مناطق جغرافیایی دیگر است؛ یافته‌های تحقیق حاضر با عیب‌یابی سیستم‌های نورپردازی در دانشگاه‌های تهران، تربیت مدرس و صنعتی امیرکبیر بدست آمده است و منحصر به کشور ایران است و راه‌حل‌های مناسب برای نقاط ضعف موجود در این سیستم‌های نورپردازی ارائه شده‌اند. علاوه بر این، راه‌حل‌های ارائه شده مربوط به کشورهای دیگر بر اساس شرایط خاص جغرافیایی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی ایران و موانع موجود (Kazemi & Kazemi, 2022 ; Kazemi & Udall, 2023) اعتبارسنجی شده‌اند.
- برای تحقیقات آینده، بررسی دقیق کیفیت نورپردازی در بخش‌های ساختمانی دیگر همچون ساختمان‌های اداری و تجاری، پیشنهاد می‌شود.

منابع

مهدوی‌نژاد، محمدجواد، و پورفتح‌اله، مائده (۱۳۹۴). فناوری‌های جدید نورپردازی و ارتقای حس تعلق شهروندان (مطالعه موردی: بدنه‌های شهری تهران). *پژوهش‌های جغرافیایی انسانی*، ۱۷(۱)، ۱۳۱-۱۴۱.

<http://doi.org/10.22059/jhgr.2015.51238>

مهدوی‌نژاد، محمدجواد، ارباب‌زاده، مژگان، و ارباب، مریم (۱۳۹۷). نقش معماری نور و نورپردازی ابنیه در آوازه‌سازی و مدیریت چشم‌انداز شبانه شهری. *مدیریت شهری*، ۵۳(۱۷)، ۲۶۹-۲۹۰.

<http://ijurm.imo.org.ir/article-1-2382-fa.html>

موحدی، یزدان (۱۳۹۸). تأثیر طراحی بهینه فضای آموزشی بر ارتقای خلاقیت. *نشریه علمی - پژوهشی فناوری آموزش*، ۱۳(۳)، ۵۲۹-۵۳۵.

<https://doi.org/10.22061/jte.2018.3352.1856>

کاظمی، محمد، و کاظمی، عالیه (۱۴۰۳). بررسی سیستم نورپردازی در شهرک صنعتی چرمشهر بر اساس الزامات

- Wang, J. (2022). Towards an integration of visual comfort and lighting impression: A field study within higher educational buildings. *Buildings and Environment*, 216. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108989>
- Leccese, F., Salvadori, G., Rocca, M., Buratti, C., & Belloni, E. (2020). A method to assess lighting quality in educational rooms using analytic hierarchy process. *Building and Environment*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106501>
- Lee, M. C., Mui, K. W., Wong, L. T., Chan, W. Y., Lee, E. W. M., & Cheung, C. T. (2012). Student learning performance and indoor environmental quality (IEQ) in air-conditioned university teaching rooms. *Buil. Environ*, 48, 238-244. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2011.10.001>
- Mahdavinejad, M. J., Arbab, M., & Arbab, M. (2019). The role of lighting architecture in nocturnal city branding and management. *International Journal of Urban and Rural Management*, 17(53), 269-290. [In Persian] <http://ijurm.imo.org.ir/article-1-2382-fa.html>
- Mahdavinejad, M. J., & Pourfatollah, M. (2015). New lighting technologies and enhancement in sense of belonging (Case study: Tehran buildings). *Human Geography Research*, 47(1), 131-141. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/jhgr.2015.51238>
- Michael, A., & Heracleous, C. (2017). Assessment of natural lighting performance and visual comfort of educational architecture in southern Europe: The case of typical educational school premises in Cyprus. *Energy and Buildings*, 140, 443-457. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.087>
- Mills, P., Tomkins, S., & Schlangen, L. (2007). The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance. *The Journal of Circadian Rhythms*, 5(2), 45-48. <https://doi.org/10.1186/1740-3391-5-2>
- Movahedi, Y. (2019). The effect of optimal design of the learning space on creativity promoting. *Technology of Education Journal*, 13(3), 529-535. [In Persian] <https://doi.org/10.22061/jte.2018.3352.1856>
- Munoz-Galeano, A., Lopez-Estrada, S., & Arbona, A. (2025). High-crime environments and educational efficiency: A spatial case study. *International Journal of Educational Research*, 129. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2024.102509>
- Pradhan, S., Jang, Y., & Chauhan, H. (2024). Investigating effects of indoor temperature and lighting on university students' learning performance considering sensation, comfort, and physiological responses. *Building and Environment*, 253. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111346>
- Ricciardi, P., & Buratti, C. (2018). Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort condition. *Buil. Environ*, 127, 23- methodological issues. *Indoor Built Environ*, 29(2), 152-174. <https://doi.org/10.1177/1420326X17735162>
- Elbellahy, S., Alotaibi, B. S., & Abuhussain, M. A. (2024). Field measurements of post-operation evaluation of daylighting and thermal comfort in hot and arid climates: A pilot study of three educational buildings on the Najran University campus in Saudi Arabia. *Journal of Building Engineering*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2023.108174>
- Emara, M. E., Mayhoub, M., Mahmoud, H. A., Mesloub, A., & Alnaim, M. M., (2024). Lighting impact on architecture student experience in higher education buildings in Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, 108, 108-121. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.07.067>
- Gorgulu, S., & Kocabey, S. (2020). An energy saving potential analysis of lighting retrofit scenarios in outdoor lighting systems: A case study for a university campus. *Journal of Cleaner Production*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121060>
- Hill, M. C., & Epps, K. K. (2010). The impact of physical classroom environment on student satisfaction and student evaluation of teaching in the university environment. *Academy of Educational Leadership Journal*, 14(4), 65-79. <https://core.ac.uk/reader/231827461>
- International Commission on Illumination. (1996). *Calculations for interior lighting: Basic Method*. CIE publications. <https://cie.co.at/>
- Kazemi, M., & Kazemi, A. (2022). Financial barriers to residential buildings' energy efficiency in Iran. *Energy Efficiency*, 15(5), Article 30, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s12053-022-10039-8>
- Kazemi, M., & Kazemi, A. (2024). Assessment of lighting systems in Charmshar industrial estate, in compliance with current requirements and standards, and proposed solutions for enhancement. *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research*, 10(2), 65-91. [In Persian] <http://epprjournal.ir/article-1-1196-en.html>
- Kazemi, M., & Udall, J. (2023). Behavioral barriers to the use of renewable and energy-efficient technologies in residential buildings in Iran. *Energy Efficiency*, 16(7), 79, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s12053-023-10162-0>
- Khani, A., Khakzand, M., & Faizi, M. (2022). Multi-objective optimization for energy consumption, visual and thermal comfort performance of educational building (case study: Qeshm Island, Iran). *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 54, 102872. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102872>
- Kong, Z., Jakubiec, J. A. (2021). Instantaneous lighting quality within higher educational classrooms in Singapore. *Frontiers of Architectural Research*, 10, 787-802. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.05.001>
- Kong, Z., Zhang, R., Ni, J., Ning, P., Kong, X., &

- ^{xvii} Illuminating Engineering Society of North America
^{xviii} Kong & Jakubiec
^{xix} Lighting Energy Numeric Indicator
^{xx} Lighting Emitting Diode

36.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.030>
 Roy, S., Satvaya, P., & Bhattacharya, S. (2024). Effects of indoor lighting conditions on subjective preferences of task lighting and room aesthetics in an Indian tertiary educational institution. *Building and Environment*, 249, 11119.
<https://doi.org/10.1177/1420326X19875621>
 Samiou, A. I., Doulos, L. T., & Zerefos, S. (2022). Daylighting and artificial lighting criteria that promote performance and optical comfort in preschool classrooms. *Energy and Buildings*, 258.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111819>
 Sanchez-Silva, M., & Klutke, G. A. (2016). *Reliability and life-cycle analysis of deteriorating systems*. Springer International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-20946-3>
 Souman, J. L., Tinga, A. M., Te Pas, S. F., Ee, R., & Vlaskamp, B. N. S. (2018). Acute alerting effects of light: A systematic literature review. *Behave. Brain. Res.*, 337, 228-239.
<https://doi.org/10.1016/j.bbr.2017.09.016>
 Trivedi, D., & Badarla, V. (2019). Occupancy detection systems for indoor environments: A survey of approaches and methods. *Indoor and Built Environment*, 29(8), 1053-1069.
<https://doi.org/10.1177/1420326X19875621>
 Yan, Y., Lee, T., Guan, Y., & Liu, X. (2012). Evaluation index study of students' physiological rhythm effects under fluorescent lamp and LED. *Adv. Mater. Res.*, 433-440, 4757-4764.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.433-440.4757>
 Yildiz, Y., Caner, I., Ilten, N., & Karaoglan, AD. (2018). Field study to analyse luminous comfort in classrooms. *Proc. Instit. Civil Eng. Eng. Sustain.*, 171(3), 151-165.
<https://doi.org/10.1680/jensu.16.00001>
 Zafaranchi, M., & Sozer, H. (2024). Enhancing energy efficiency through hourly assessments of passive interventions in educational-office buildings: A case study in a Mediterranean climate. *Energy Reports*, 11, 423-441.
<https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.12.016>

ⁱ Life Cycle Cost Assessment

ⁱⁱ Hill & Epps

ⁱⁱⁱ Lee

^{iv} Ricciardi & Buratti

^v Yan

^{vi} Bian & Ma

^{vii} Chiou

^{viii} Yildiz

^{ix} Cali

^x Sariyer

^{xi} Cluj-Napoca

^{xii} Istiklal

^{xiii} Mehmet Akif Ersoy

^{xiv} Burdur

^{xv} The Singapore University of Technology and Design

^{xvi} Analytic Hierarchy Process

