

ارزیابی کمیت و کیفیت نور در سالن‌های مطالعه و عرضه راهکارهای اصلاحی

نمونه موردی: کتابخانه‌های دانشگاه شهید بهشتی

زهرا سادات زمردیان^۴

استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی

نیما فروزنده شهرکی^۱

هانیه احمدی جوشقانی^۲

هانیه نورکجوری^۳

دریافت: ۱۱ اسفند ۱۳۹۸
پذیرش: ۳۰ خرداد ۱۳۹۹
(صفحه ۴۸ - ۳۱)

کلیدواژگان: نور روز، خیرگی، کتابخانه، آسایش بصری.

چکیده

دریافت نور روز در فضاهای ساخت انسان در شمار مهم‌ترین عوامل ارتقای کیفیت زیست در این محیطها محسوب می‌گردد. این عامل در کاربری‌هایی با نیازهای خاص، مانند سالن‌های مطالعه، اهمیت دوچندان می‌یابد. به‌طور کلی کمیت و کیفیت دریافت نور روز در یک فضا با استفاده از شاخص‌های مختلفی قابل‌ارزیابی است. در این پژوهش عملکرد بصری سالن‌های مطالعه هفت دانشکده دانشگاه شهید بهشتی در شهر تهران از طریق شبیه‌سازی با نرم‌افزار رادیانس ارزیابی و شاخص‌های مربوطه محاسبه و سپس این مقادیر با استانداردهای ملی و بین‌المللی مقایسه شده است. در گام بعد، به منظور بهبود شرایط بصری، راهکارهایی پیشنهاد و در هر کدام از فضاهای مورد بررسی، متناسب با نتایج اولیه، اعمال شده و میزان اثرگذاری هر کدام از راهکارها بر بهبود کمیت و کیفیت نور روز عرضه گردیده است. در این مقاله صحت مدل‌های شبیه‌سازی، با استفاده از برداشت میدانی، بررسی گردیده و بعد به‌منظور مطالعه میزان تأثیرات متناظر با هر یک از راهکارهای مورد بررسی در حوزه کفایت و توزیع نور در فضا، آسایش بصری (خیرگی)، و انرژی روشنایی مورد نیاز استفاده شده‌اند. در نهایت، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در بخش شبیه‌سازی و هزینه‌های به‌کارگیری آن‌ها، راهکارهایی برای هر فضا پیشنهاد شده

است. بر اساس ارزیابی اولیه کتابخانه‌های مورد بررسی، در پنج مورد مشکل دریافت نشدن نور کافی در روز و در یک کتابخانه دریافت بیش از حد نور و وجود خیرگی بوده است، یک کتابخانه هم مشکلی در این زمینه نداشت. مقادیر مربوط به توزیع نور روز (UDI₃₀₀₋₃₀₀₀) در فضاهای دارای مشکل در دریافت نور روز، از بازه ۶ تا ۵۹٪ در مدل پایه به مقادیر ۲۴ تا ۱۰٪ ارتقا یافته است. مؤثرترین راهکارها برای بهبود وضعیت کتابخانه‌ها افزایش و بهبود ضریب بازتاب نور با رنگ‌آمیزی مجدد سطوح فضا، اجرای نورگیر سقفی، و ارتقای ضریب عبور نور شیشه‌ها با حفظ و نگهداری و یا تغییر شیشه‌های فضا بوده است. همچنین مصرف انرژی الکتریکی متناظر با نورپردازی مصنوعی در کتابخانه‌ها از ۴ تا ۵۸٪ بهبود داشته است. نتایج این پژوهش می‌تواند راهنمایی اجرایی برای ارتقای عملکرد فضاهای کتابخانه‌ای از نظر دریافت نور روز، آسایش، و مصرف انرژی روشنایی در فضاهای کتابخانه‌ای باشد.

مقدمه

امروزه طراحان به معماری کتابخانه‌ها، به دلیل تأثیر مستقیمی که بر تمایل به حضور کاربران در آن محیط و کیفیت مطالعه دارد، توجه ویژه‌ای می‌کنند. به‌منظور ارزیابی عملکرد کتابخانه‌ها، بررسی

۱. کارشناسی ارشد رشته معماری و انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی
forouzandeh.nima@gmail.com
۲. کارشناسی ارشد رشته معماری و انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی
h.ahmadijoshaghani@mail.sbi.ac.ir
۳. کارشناسی ارشد رشته معماری و انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی
hanieh.nk95@gmail.com
۴. نویسنده مسئول
z_zomorodian@sbu.ac.ir

پرسش‌های تحقیق

۱. آیا در کتابخانه‌های دانشگاه شهید بهشتی روشنایی مناسب و آسایش بصری مطابق استانداردها برای کاربران تأمین می‌شود؟

۲. برای بهبود وضعیت روشنایی طبیعی و کاهش مصرف انرژی روشنایی از چه راهکارهای معماری می‌توان استفاده کرد؟

رضایت کاربران و بخصوص رضایت از کیفیت محیط داخلی اهمیت دارد. عوامل مهم و مؤثر بر رضایت کاربران از کیفیت محیط داخلی شامل رضایت از روشنایی، تهویه، شرایط حرارتی، شرایط آکوستیکی، مبلمان، و مصالح داخلی است.^۵ از آنجاکه افراد مدت زمان زیادی را در سالن‌های مطالعه و کتابخانه‌ها سپری می‌کنند، وجود روشنایی مناسب با توزیع بهینه می‌تواند از بروز خستگی چشم و کاهش دقت جلوگیری کند.^۶ مطالعات نشان داده است که بهره‌گیری از روشنایی طبیعی در فضاهای داخلی به میزان ۴/۵٪ بهره‌وری کاربران را افزایش می‌دهد که این افزایش را می‌توان به بهبود عملکرد بینایی، اثرات بیولوژیکی، و روانی روشنایی نسبت داد.^۷ بهره‌گیری از نور روز، به‌منزله راهکار ایستا در تأمین نور ساختمان‌ها، علاوه بر افزایش کیفیت محیط داخلی، مصرف انرژی روشنایی و همچنین انرژی سرمایشی ساختمان را کاهش می‌دهد.^۸ نور کافی و مناسب در محیط کتابخانه می‌تواند به بهبود کیفیت یادگیری، امکان تفکر و مطالعه در محیطی مناسب، و در نتیجه افزایش بازدهی کاربران، آسایش بصری، کاهش اشتباهات و افزایش دقت عمل در کارکنان، و جلوگیری از احساس خستگی و حفظ سلامتی و قدرت بینایی و بهبود روحیه مراجعه‌کنندگان کمک کند. در کنار فواید استفاده از نور روز باید توجه داشت که زیاده از حد بودن مقدار نور در فضا و فقدان کنترل آن منجر به بروز ناراضایتی بصری و ایجاد خیرگی می‌شود. با ارزیابی عملکرد نور روز در فضا در مرحله طراحی و به‌منظور اعمال راهکارهای اصلاحی در فضاهای موجود، می‌توان از وقوع شرایط آزاردهنده بصری برای کاربران جلوگیری کرد. مقادیر پیشنهادی برای شدت روشنایی عمومی و موضعی در محیط‌های بسته، محوطه‌ها، و معابر توسط سازمان‌های بین‌المللی و مؤسسات رسمی استاندارد کشورهای مختلف تدوین و منتشر شده است که این مقادیر بسته به شرایط اقتصادی و فرهنگی کشورها با هم متفاوت است.^۹ در ایران میزان حداقل مجاز روشنایی در محل مطالعه مطابق مبحث ۱۳ مقررات ملی ساختمان حداقل ۳۰۰ لوکس و در حالت ترجیحی، ۵۰۰ لوکس در نظر گرفته شده است.^{۱۰} این در حالی است که این مقدار در استاندارد IES آمریکا برابر با ۷۵۰ لوکس و در انگلستان از این میزان هم بالاتر است^{۱۱} (جدول ۱). با توجه به اهمیت نور روز در فضاهای کتابخانه‌ای، می‌توان برای بررسی کیفیت فضا به موضوعاتی مانند یکنواختی نور، احتمال بروز خیرگی، جهت‌گیری پنجره‌ها، و ابعاد بازشوها اشاره کرد.^{۱۲}

۵. هادی کابلی و مریم امجدی، «تأثیر نور روز بر طراحی کتابخانه و رضایتمندی کاربران از محیط کتابخانه»، ص ۲.
 ۶. سمیه باقری و همکاران، «ارزیابی شدت روشنایی و ارتباط آن با میزان خستگی بینایی دانشجویان، در سالن‌های مطالعه دانشگاه علوم پزشکی زابل در سال ۱۳۹۶»، ص ۱۵۵.
 ۷. نک:

H. Juslén, et al, "The Influence of Controllable Task-lighting on Productivity: a Field Study in a Factory".

۸. محمدجواد مهدوی‌نژاد و همکاران، «بهبودسازی تناسبات و نحوه استفاده از نور در معماری کلاس‌های آموزشی»، ص ۸۲.

۹. جمشید خوبی و همکاران، «ارزیابی شدت روشنایی کتابخانه‌ها و بیمارستان‌های آموزشی دانشگاه علوم پزشکی کردستان»، ص ۸۷-۸۶.

۱۰. مقررات ملی ساختمان ایران مبحث سیزدهم، ص ۱۷۸.

۱۱. باقری و همکاران، همان.

۱۲. مهدوی‌نژاد و همکاران، همان.



پیشینه تحقیق

با توجه به مرور مطالعات انجام شده در این حوزه، تحقیقات محدودی در خصوص بررسی کمیّت و کیفیت نور طبیعی در کتابخانه‌ها انجام شده است.

از میان مطالعات انجام شده می‌توان به پژوهش علی‌بابا و بوکر اشاره کرد که بر روی تأثیر استفاده از نور طبیعی بر آسایش بصری، بهره‌وری انرژی، و آسایش حرارتی در کتابخانه‌ای در قبرس شمالی انجام شده است. در این پژوهش، عملکرد نور روز با استفاده از پارامترهایی نظیر فاکتور نور روز، شدت روشنایی، عمق نفوذ نور، و خیرگی فضا با استفاده از نرم‌افزار ریلوکس ارزیابی شده است. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که روشنایی طبیعی در کتابخانه‌ها تأثیر مستقیم بر کیفیت داخلی و احساس آسایش کاربران دارد. همچنین نتایج شبیه‌سازی بیانگر آن است که آسایش بصری در این فضا با چیدمان داخلی قفسه‌ها و ارتفاع پنجره رابطه مستقیم دارد و با افزایش دوبرابری ارتفاع پنجره میزان نور طبیعی موجود در فضا به منطقه آسایش بصری نزدیک‌تر شده است.^{۱۳}

اسلامی آسایش بصری در سالن مطالعه کتابخانه ملی کرمان را با استفاده از اندازه‌گیری شدت روشنایی بر روی میز مطالعه و پرسش‌نامه بررسی کرده است. به‌طور کلی نتایج این پژوهش حاکی از آن است که میان خصوصیات نور مصنوعی، نور طبیعی، و درخشندگی مصالح با خیرگی رابطه معنی‌داری وجود دارد. به‌منظور تنظیم روشنایی و نور محیط برای جلوگیری از خیرگی در سالن‌های مطالعه ابتدا باید شدت نور طبیعی را در نظر گرفت؛ زیرا با توجه به مطالعات انجام شده، این عامل بیشترین میزان همبستگی را با شدت خیرگی در محیط دارد.^{۱۴}

خویی و همکاران شدت روشنایی کتابخانه دانشکده‌ها و بیمارستان‌های آموزشی دانشگاه علوم پزشکی کردستان را با اندازه‌گیری میدانی ارزیابی و با استانداردها مقایسه کرده‌اند. بر اساس نتایج، میزان روشنایی در سالن‌های مطالعه مناسب و

مطابق استانداردها بوده است، هرچند میزان روشنایی در قسمت قفسه‌ها پایین‌تر از حد استاندارد است.^{۱۵}

در اغلب تحقیقات انجام شده بر وضعیت روشنایی مصنوعی در کتابخانه‌ها و تأثیر نور بر رضایت‌مندی افراد در محیط و عوامل مؤثر بر آن تمرکز شده است. دانشمندان در تحقیقات محدودی به رابطه ویژگی‌های معماری کتابخانه‌ها و تأثیر آن‌ها بر کمیّت و کیفیت روشنایی طبیعی و عرضه راهکارهای طراحی برای بهبود عملکرد نور روز در کتابخانه‌ها پرداخته‌اند.

۱. موضوع و هدف تحقیق

در تحقیق حاضر با توجه به اهمیت فضاهای کتابخانه‌ای، بخصوص در فضاهای آموزشی که دانشجویان زمان قابل‌ملاحظه‌ای را در آن‌ها سپری می‌کنند، به مطالعه این فضاها از منظر کمیّت و کیفیت نور طبیعی توجه شده است. بررسی راهکارهای اصلاحی برای بهبود کمیّت و کیفیت نور، که در تحقیقات پیشین بررسی نشده، موضوع این پژوهش است. هدف از این مطالعه ارزیابی عملکرد روشنایی طبیعی در کتابخانه‌های دانشگاه شهید بهشتی و مقایسه آن‌ها با استانداردها و مشخص کردن نقاط ضعف و درنهایت عرضه و اولویت‌بندی راهکارهای اصلاحی با استفاده از مطالعات میدانی و شبیه‌سازی است.

برای پاسخ به پرسش‌های پژوهش ابتدا شاخص‌های ارزیابی کمیّت و کیفیت نور روز بیان و سپس روش انجام پژوهش تشریح شده است. در گام بعدی، نتایج مطالعات میدانی و شبیه‌سازی عرضه و بررسی و درنهایت جمع‌بندی شده است.

محدوده	حداقل مورد نیاز	حد پیشنهادی
قفسه‌ها (در سطح قائم)	۱۰۰	۲۰۰
سالن مطالعه	۱۰۰	۲۰۰
روی میز مطالعه	۳۰۰	۵۰۰

۱۳. نک:

Bukar Ali Kime & Halil Zafer Alibaba, "Comparative Analysis of Day lighting and Artificial Lighting in Library Building; Analyzing the Energy Usage of

۱۴. ساجده اسلامی، «بررسی عوامل مؤثر بر خیرگی و راه‌های کاهش آن؛ مطالعه موردی: کتابخانه ملی مرکزی کرمان»، ص ۶۳. "the Library"
 ۱۵. نک: جمشید خوبی و دائم روشنی و احسن شیری و زانکو صمدی، «ارزیابی شدت روشنایی کتابخانه‌ها و بیمارستان‌های آموزشی دانشگاه علوم پزشکی کردستان».

جدول ۱. حدود قابل‌قبول شدت روشنایی، بر اساس مبحث ۱۳ مقررات ملی ساختمان.

۲. شاخص‌های ارزیابی آسایش بصری

برای ارزیابی فضا از منظر عملکرد بصری (کفایت نور، توزیع نور، و خیرگی) شاخص‌های مختلفی، بر اساس مطالعات تدوین و حدود مشخصی برای آن‌ها در استانداردها و آیین‌نامه‌ها متناسب با کاربری‌های مختلف عرضه شده است. شاخص‌های مورد استفاده در این حوزه به دو دسته شاخص‌های ایستا و پویا تقسیم می‌شوند. شاخص‌های استاتیک یا ایستا نور روز را تحت شرایط بیرونی ایستا و ثابت ارزیابی می‌کنند. از جمله این شاخص‌ها می‌توان از شاخص فاکتور نور روز^{۱۶} نام برد. در شاخص‌های پویا، به‌طورمثال شاخص میزان روشنایی قابل استفاده^{۱۷} با استفاده از محاسبات سالانه تغییرات میزان دریافت نور روز در طول زمان (روز و سال) را در نظر می‌گیرند. شاخص‌های پویا در قیاس با شاخص‌های ایستا، پارامترهای طراحی (مانند روشنایی و برنامه اشغال فضا)، آب‌وهوا و تغییرات نور روز را بهتر و دقیق‌تر ارزیابی می‌کنند. در نتیجه شاخص‌های پویا نسبت به سایر شاخص‌ها توانایی بیشتری در بیان وضعیت

کفایت نور و توزیع روشنایی در فضا دارند.^{۱۸} شاخص‌های رایج ارزیابی دریافت نور روز در «جدول ۲» ارائه شده است. شاخص‌های تحلیل خیرگی در واقع میزان نارضایتی بصری به دلیل ایجاد خیرگی را در فضاهای داخلی ارزیابی می‌کنند. اگرچه بسیاری از مردم قادر به تعریف علمی و طبقه‌بندی انواع خیرگی نیستند، با این حال همه افراد روزانه این پدیده را در محیط داخلی و خارج ساختمان‌ها تجربه می‌کنند. محققان معتقدند چشم انسان قادر به دریافت میزان مشخصی از روشنایی است و خیرگی زمانی رخ می‌دهد که مقدار نور دریافتی بیشتر از این حد باشد که منجر به آسیب به چشم و کاهش قدرت بینایی انسان می‌شود. بسیاری از شاخص‌های ارزیابی خیرگی در فضا از جمله VCP، UGR، DGI، DGP، و CGI بر ارزیابی شدت خیرگی تمرکز دارند.^{۱۹}

در «جدول ۲» دامنه‌های مختلف شاخص‌های خیرگی نشان داده شده است. مقدار بالاتر نشان‌دهنده خیرگی بیشتر در شاخص‌های UGR، DGI، DGP و CGI است. اما در

16. Daylight Factor
17. UDI: Useful Daylight Illuminance

جدول ۲. شاخص‌های رایج در ارزیابی توزیع نور روز و خیرگی در فضا، مأخذ:

Alstan Jakubiec & Christoph Reinhart. "The Use of Glare Metrics in the Design of Daylit Spaces: Recommendations for Practice"; <http://www.licaso.com>; <https://www.greenquarter.biz>; <https://www.energydesignresources.com>

شاخص	نماد	حد قابل قبول	توضیحات
Illuminance	E	بسته به کاربری هر فضا متفاوت است.	روشنایی در هر نقطه برای زمان و مکان انتخابی را ارزیابی می‌کند.
Daylight Factor	DF	۵-۲	نسبت شدت روشنایی دریافتی در داخل یک اتاق (روی صفحه کار) به شدت روشنایی در فضای خارج، بدون وجود مانع و در شرایط آسمان کاملاً ابری.
Daylight Autonomy	DA	< ۵۰٪	درصد ساعت‌هایی از سال که کاربر در فضا حضور دارد و میزان دریافت روشنایی طبیعی فضا از حد معینی بیشتر باشد را مشخص می‌کند. از آنجاکه در این شاخص حداکثر روشنایی فضا لحاظ نشده است، زمان‌هایی که میزان روشنایی فضا بیش از حد نیاز باشد و موجب فقدان آسایش بصری می‌شود، در نظر گرفته نشده است.
Continuous Daylight Autonomy	cDA	-	مشابه شاخص قبل (Daylight Autonomy) است، با این تفاوت که نقاطی با شدت روشنایی کمتر از ۳۰۰ لوکس، هریک به میزان کسری از ۱، به نسبت شدت روشنایی مینا (۳۰۰ لوکس)، در محاسبه مجموع امتیاز فضا در نظر گرفته می‌شوند.
Spatial Daylight Autonomy	sDA	حد قابل قبول < ۵۵٪ حد ترجیحی < ۷۵٪	این شاخص بر اساس شاخص فاکتور نور روز تعریف می‌شود. به بیان دقیق‌تر، مقدار این شاخص برای یک فضا، برابر است با نسبت تعداد نقاط با > ۵۰٪ DA به تعداد کل نقاط شبکه مورد بررسی. مزیت اصلی این شاخص نسبت به شاخص فاکتور نور روز آن است که برخلاف شاخص فاکتور نور روز که برای هریک از نقاط شبکه بررسی یک عدد است، یک عدد برای کل فضا محاسبه می‌کند.
Useful Daylight Illuminance	UDI	< ۷۵٪	نسبت ساعتی از کل ساعات کاربری در سال را که میزان روشنایی طبیعی در یک نقطه از فضا در بازه مشخصی (۲۰۰ تا ۲۰۰۰ یا ۳۰۰ تا ۳۰۰۰) باشد، بیان می‌کند. از مزیت‌های این شاخص نسبت به شاخص فاکتور نور روز می‌توان به مشخص بودن حدود حداکثری در آن اشاره کرد.
Annual Sunlight Exposure	ASE	> ۱۰٪	در این شاخص تابش مستقیم خورشید با عنوان یک منبع ایجاد عدم آسایش بصری در نظر گرفته می‌شود. این شاخص در واقع بیانگر نسبت نقاطی از فضا است که در ساعات مشخصی بیش از مقدار مشخصی تابش مستقیم خورشید دریافت می‌کنند. از این شاخص برای پیش‌بینی احتمال وقوع خیرگی استفاده می‌شود.



۳. روش شناسی

۱۸. نک:

<https://www.energydesignresources.com>

۱۹. نک:

<https://www.researchgate.net/publication/309350795.htm>

۲۰. نک:

Alstan Jakubiec & Christoph Reinhart, "The Use of Glare Metrics in the Design of Daylit Spaces: Recommendations for Practice"

ادامه جدول ۲.

شاخص‌های رایج در ارزیابی توزیع نور روز و خیرگی در فضا، ...

شاخص VCP، برخلاف معیارهای خیرگی دیگر، مقدار بالاتر نشان‌دهنده آسایش بصری بیشتر است.

بر اساس مطالعات راینهارت و جاکوبیک، به نظر می‌رسد DGP، بهتر از سایر شاخص‌ها، میزان خیرگی در فضا را ارزیابی می‌کند. همچنین، این مطالعات یادآور می‌شوند که شاخص VCP گزینه مناسبی برای ارزیابی فضا به می‌رود. علاوه بر این، شاخص‌های DGI و UGR می‌توان برای ارزیابی خیرگی نور روز استفاده کرد، با این حال، این شاخص‌ها فقط زمانی کارایی مناسب دارند که نور مستقیم خورشید وارد فضا نشده باشد.^{۲۰} نهایتاً با توجه به مطالعات مشابه انجام شده، در این پژوهش، به منظور ارزیابی وضع موجود و بررسی تأثیر راهکارهای مختلف در بهبود وضعیت فضاها و با توجه به اطلاعات قابل قبولی که با استفاده از این شاخص‌ها قابل برداشت خواهد بود، از شاخص UDI₃₀₀₋₃₀₀₀ برای بررسی وضعیت دریافت نور روز و برای خیرگی از شاخص DGP استفاده شده است.

شاخص	نماد	حد قابل قبول	توضیحات
Daylight Glare Probability	DGP	خیرگی نامحسوس (>۰.۳۵) خیرگی محسوس (۰.۴-۰.۳۵) خیرگی آزاردهنده (۰.۴۵-۰.۴) خیرگی ناتوان‌کننده (<۰.۴۵)	دی‌جی‌پی از شاخص‌های رایج در ارزیابی خیرگی در فضا محسوب می‌گردد که در آن میزان روشنایی برخوردی به چشم، با توجه به زمان، محاسبه می‌شود. در محاسبه این شاخص تأثیرات منبع تابش نیز در نظر گرفته می‌شود. طبق تحقیقات انجام شده شاخص دی‌جی‌پی در مقایسه با سایر معیارهای خیرگی، بیشترین همبستگی را با پاسخ کاربر در مورد خیرگی داشته است.
Daylight Glare Index	DGI	۱۸ >	این شاخص برای ارزیابی خیرگی ناشی از نور روز استفاده می‌شود و زمانی بهترین کارایی را در بیان وضعیت فضا دارد که یک منبع درخشندگی بزرگ (مانند سطح پنجره) در فضا وجود داشته باشد.
Unified Glare Rating	UGR	خیرگی نامحسوس (>۱۳) خیرگی محسوس (۱۳-۲۲) خیرگی آزاردهنده (۲۲-۲۸) خیرگی ناتوان‌کننده (<۲۸)	
Visual Comfort Probability	VCP	خیرگی نامحسوس (۱۰۰-۸۰) خیرگی محسوس (۶۰-۸۰) خیرگی آزاردهنده (۴۰-۶۰) خیرگی ناتوان‌کننده (<۴۰)	این شاخص‌ها برای ارزیابی خیرگی ناشی از منابع نوری مصنوعی استفاده می‌شود. اگرچه این شاخص‌ها به منظور ارزیابی خیرگی ناشی از نور روز طراحی نشده است، مطالعات متعددی نشان‌دهنده اعتبار این شاخص‌ها در ارزیابی این نوع خیرگی است.
CIE Glare Index	CGI	خیرگی نامحسوس (>۱۳) خیرگی محسوس (۱۳-۲۲) خیرگی آزاردهنده (۲۲-۲۸) خیرگی ناتوان‌کننده (<۲۸)	

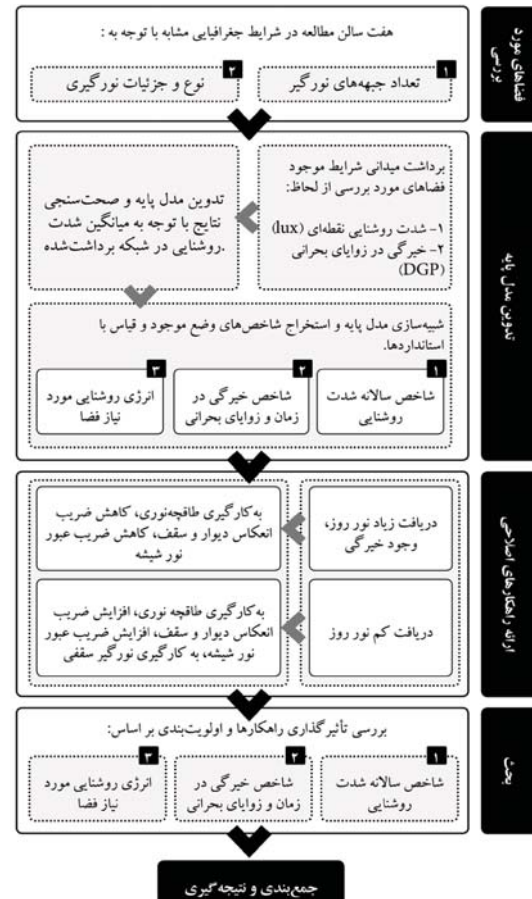
۱.۳. بستر تحقیق

محدوده مورد بررسی در قسمت کوهپایه‌ای در شمال تهران، در منطقه ولنجک، و در دانشگاه شهید بهشتی قرار دارد (ت ۲). کتابخانه‌های این دانشگاه نمونه‌های مورد بررسی در این پژوهش انتخاب شده‌اند. استان تهران در پهنه اقلیمی کوهستانی و در عرض‌های جغرافیایی ۳۴ تا ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ تا ۵۳ درجه شرقی قرار دارد. طبق تقسیم‌بندی کوپن-گایگر، شهر تهران در گروه اقلیمی Bsk (سرد و نیمه‌خشک) قرار می‌گیرد.

بر مبنای اطلاعات هواشناسی شمال شرق تهران، در این منطقه در طول سال از جهات ۷۰ درجه تا ۲۹۰ درجه نسبت به راستای شمال به‌طور تقریبی بین ۳۵ تا ۷۰ کیلووات ساعت بر متر مربع تابش وجود دارد. و میانگین ابرناکی در این منطقه ۴۲٪ در سال است. حداقل و حداکثر ابرناکی به‌ترتیب در ماه‌های خرداد و اسفند و مجموع تعداد ساعات آفتابی تهران در طول یک سال به‌طور متوسط ۲۹۰۳ ساعت است^{۲۱}. در این پژوهش فضاهای مطالعه واقع در کتابخانه‌های دانشگاه شهید بهشتی بررسی و ارزیابی شده‌اند. هریک از این فضاها، بسته به موقعیت قرارگیری در دانشکده، دارای مشخصات متفاوتی هستند و از منظر دریافت روشنایی طبیعی شرایط بخصوصی دارند. «ت ۲» موقعیت این کتابخانه‌ها را در سایت دانشگاه شهید بهشتی نشان می‌دهد. فضاهای مورد بررسی در این پژوهش شامل کتابخانه‌های دانشکده معماری و شهرسازی، زمین‌شناسی، دندان‌پزشکی، ترتیب بدنی، بهداشت، و کتابخانه مرکزی است (در دانشکده دندان‌پزشکی ۲ فضای مطالعه بررسی شده‌اند).

اطلاعات مربوط به ۷ سالن مطالعه ارزیابی شده در «جدول ۳» ذکر شده است که از این اطلاعات برای مدل‌سازی فضا استفاده شده است. هریک از این کتابخانه‌ها مساحت، جهت‌گیری، و به‌طور کلی مشخصات کالبدی مختلفی دارند. مساحت این فضاها از ۵۰ تا ۲۷۵ متر مربع و ظرفیت آن‌ها از ۲۴ تا ۸۰ نفر

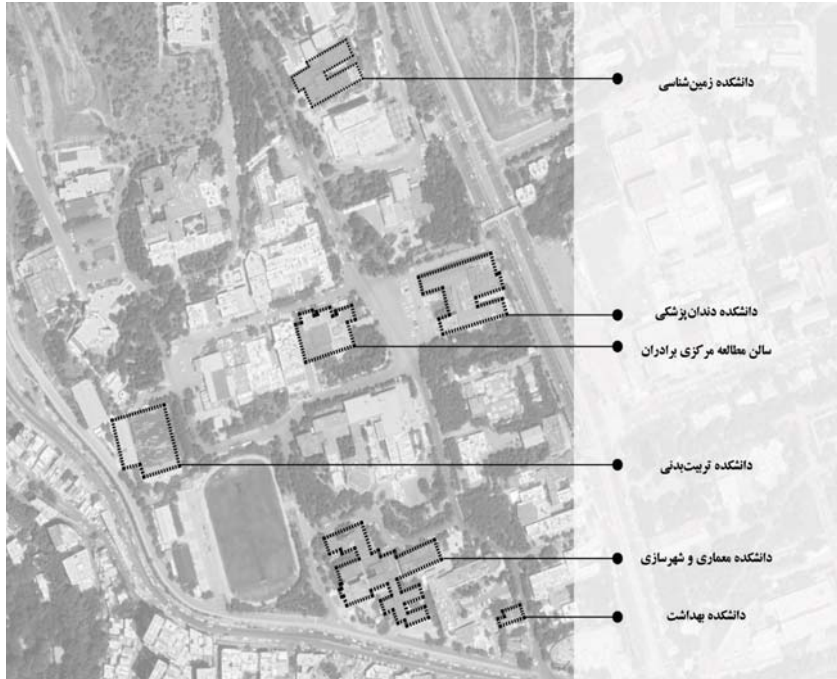
قبل، مدل‌های این فضاها برای شبیه‌سازی ایجاد شدند و نتایج شبیه‌سازی توزیع نور و خیرگی در زمان مشابه زمان برداشت، با مقادیر برداشت‌شده در مرحله قبل مقایسه گردیده و تغییرات لازم به‌منظور ایجاد مدل با اعتبار قابل قبول اعمال شده است. در گام بعدی راهکارهای بهسازی برای هریک از فضاهای مورد بررسی، به فراخور شرایط مدل پایه، انتخاب و در مدل رایانه‌ای اعمال شد. نتیجتاً میزان تأثیرگذاری هریک از این راهکارها با توجه به مقادیر انرژی مصرفی، توزیع نور، و خیرگی متناظر محاسبه و نتایج آن گزارش شده است.



۲۱. نک:

<https://www.weatheronline.co.uk>

ت ۲ (بالا). موقعیت دانشکده‌های مورد ارزیابی در دانشگاه شهید بهشتی؛ مأخذ عکس: earth.google.com
ت ۳ (پایین). دستگاه‌های اندازه‌گیری روشنایی و بازتاب سطوح (راست: درخشندگی سنج، چپ: نورسنج).



دوربین نیکون مدل D7100 با ضریب قطع حسگر ۱/۳ و در فاصله کانونی اسمی ۱۸ میلی‌متر (و واقعی ۲۳/۴ میلی‌متر) برای تصویربرداری HDR به کار گرفته شد. در گام ابتدایی، به منظور اندازه‌گیری شدت روشنایی در فضاهای مطالعه، برداشت هندسی فضاهای مطالعه کتابخانه‌ها صورت گرفت. در مرحله بعد برای تعیین شدت روشنایی در نقاط مختلف، این فضاها شبکه‌بندی شدند. شبکه‌بندی صورت‌گرفته شامل

متغیر است. همچنین نسبت میانگین مساحت پنجره به دیوار برای جدارهای دارای بازشو در این فضاها از ۲۱ تا ۵۲٪ و نسبت مساحت پنجره به کف از ۵/۸ تا ۲۳/۱۸٪ متفاوت است. با در نظر گرفتن چرخش ۱۵ درجه‌ای همه بناهای دانشگاه به سمت جنوب شرقی، جهت‌گیری جدارهای نورگذر در کتابخانه بهداشت جنوب شرقی، تربیت‌بدنی در جنوب شرق، جنوب غرب و شمال شرق، دندان‌پزشکی ۱ در جنوب شرق، دندان‌پزشکی ۲ در شمال غرب، معماری در جنوب شرق و شمال غرب، مرکزی در جنوب شرق، و زمین‌شناسی در جنوب شرق و جنوب غرب قرار دارد.

۲.۳. اندازه‌گیری میدانی

ارزیابی فضاهای کتابخانه‌ها از منظر عملکرد آن‌ها در حوزه روشنایی طبیعی در دو بخش کفایت نور و ارزیابی آسایش بصری (خیرگی) انجام شده است. به این منظور در هر یک از این دو بخش، ابتدا اندازه‌گیری‌های میدانی انجام گردید و سپس با شبیه‌سازی رایانه‌ای به تحلیل شاخص‌های روشنایی و خیرگی بر اساس شاخص‌های سالانه پرداخته شد. اندازه‌گیری‌های میدانی با هدف اعتبارسنجی شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای انجام شده است. ابزارهای مورد استفاده در بخش اندازه‌گیری‌های میدانی با سه هدف به کار گرفته شدند:

۱. برداشت میزان روشنایی دریافتی نقاط در اثر نور طبیعی،
۲. برداشت میزان بازتاب سطوح با مصالح مختلف (به منظور تکمیل اطلاعات مربوط به شبیه‌سازی)، و
۳. عکس‌برداری HDR از زوایای خاص به منظور تحلیل میزان خیرگی.

برای اندازه‌گیری میزان روشنایی در نقاط مشخص‌شده، از نورسنج TES مدل TES-1330A و برای اندازه‌گیری میزان درخشندگی در نقاط مختلف از دستگاه درخشندگی سنج TES مدل TES 137 استفاده شد (ت ۳).

همچنین برای تحلیل خیرگی در زمان اندازه‌گیری،

۲۲. نرم‌افزار EvalGlare، ابزاری برای ارزیابی خیرگی ناشی از نور روز که می‌توان از آن به‌منظور محاسبه شاخص خیرگی DGP به‌وسیله تصاویر اچ‌دی‌آر

جدول ۳. مشخصات کالبدی کتابخانه‌های مورد بررسی، تدوین: نگارندگان.

نقاطی با فواصل ۱ تا ۱/۵ متر در راستای طولی و عرضی بوده است. سپس، در نقاط مشخص شده و در ارتفاع ۸۰ سانتی‌متری از سطح زمین (ارتفاع میزهای مطالعه)، شدت روشنایی در نقاط مشخص شده با دستگاه نورسنج اندازه‌گیری و ثبت شد. اندازه‌گیری‌های صورت گرفته برای جمع‌آوری اطلاعات مذکور، در شرایط آسمان صاف در تاریخ ۱۱ تا ۱۸ اسفند ۱۳۹۷ در بازه زمانی ۱۰:۰۰ الی ۱۴:۰۰ صورت گرفته است.

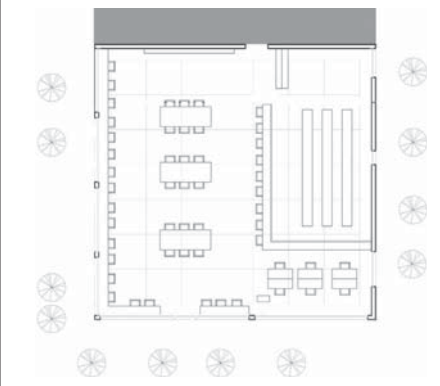
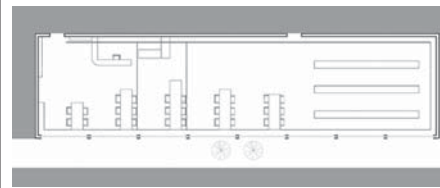
در گام بعدی که به‌موازات جمع‌آوری اطلاعات شدت روشنایی صورت گرفت، به‌منظور محاسبه ضریب بازتاب سطوح

برای مدل‌سازی فضاهای مورد بررسی، ابتدا شدت روشنایی دریافتی سطح و سپس شدت روشنایی بازتاب‌شده از آن برای سطوح داخلی فضا (شامل دیوارها، سقف، کف، سطوح میزها، سطوح طاقچه‌ها، و قاب پنجره‌ها) به‌وسیله دستگاه نورسنج اندازه‌گیری و ثبت شد. نسبت روشنایی بازتاب‌شده به روشنایی دریافتی هر نقطه میزان بازتاب آن سطح را مشخص می‌کند، که این مقدار در مصالح مختلف می‌تواند متفاوت باشد. همچنین به‌منظور محاسبه ضریب عبور شیشه پنجره‌ها، ابتدا روشنایی دریافتی در سطح خارجی شیشه و سپس روشنایی همان نقطه در سطح داخلی اندازه‌گیری و ثبت شد. نسبت میزان روشنایی داخلی به روشنایی خارجی با عنوان ضریب عبور نور شیشه در نظر گرفته شد.

یکی از متداول‌ترین روش‌هایی که در حال حاضر برای ارزیابی خیرگی استفاده می‌شود، عکس‌برداری HDR و تحلیل عکس با استفاده از ابزار اول‌گلر^{۲۳} است. کار این ابزار مبتنی بر ماشین محاسباتی رادیانس^{۲۴} است. با اول‌گلر ضمن تشخیص منابع خیرگی در تصاویر HDR، به محاسبه شاخص خیرگی در تصاویر می‌پردازند. این ابزار را می‌توان به چندین برنامه نرم‌افزاری تجزیه و تحلیل نور روز مانند اچ‌دی‌آراسکوپ^{۲۵} متصل و میزان خیرگی را با استفاده از آن‌ها بررسی کرد. در این نرم‌افزار ابتدا مقدار روشنایی هر پیکسل تصویر محاسبه می‌شود، سپس این اطلاعات برای محاسبه عواملی مانند درخشندگی پس‌زمینه، توان و موقعیت منبع تابش، روشنایی عمودی، و شاخص‌های خیرگی به کار می‌رود^{۲۵}. هم‌زمان با اندازه‌گیری شدت روشنایی در سطح افقی، به‌منظور تحلیل شرایط خیرگی، در کتابخانه‌های مذکور، ابتدا زوایای بحرانی از نظر احتمال بروز خیرگی شناسایی شدند، سپس در ارتفاع دید کاربر، تعداد ۸ تا ۱۰ تصویر با تنظیماتی شامل دیافراگم ۵/۶، ISO ۱۰۰، فاصله کانونی اسمی ۱۸ (و حقیقی ۲۳/۴) و سرعت‌های شاتر کم تا زیاد (نسبت به سرعت معمول برای عکاسی در فضا) به‌منظور تولید

نام کتابخانه	مساحت	ظرفیت	نسبت سطح پنجره به کف (%)	نسبت سطح پنجره به دیوار (%)	سایبان	
					داخلی	خارجی
L-1	دانشکده بهداشت	۲۰۰	۶۰	۱۳/۵	۳۲	سایبان با عرض ۶۰ سانتی‌متر پرده
L-2	دانشکده تربیت‌بدنی	۱۹۰	۵۰	۳۳/۱۸	۴۸ ۴۵ ۱۲	سایبان با عرض ۸۰ سانتی‌متر پرده

پلان فضا و جهات بازشوها ④



توجه به گواهی‌نامه LEED v.4 و استاندارد IES در نظر گرفته شده است.^{۳۰} در مبحث آسایش بصری و خیرگی هم پس از

تصویر اچ‌دی‌آر از زوایای مذکور برداشته شد. در مرحله بعد این تصاویر به وسیله نرم‌افزار فوتواسفیر^{۳۶} تبدیل به تصویر اچ‌دی‌آر گردید و در مرحله بعد، با استفاده از نرم‌افزار اچ‌دی‌آراسکوپ، خیرگی تصاویر با استفاده از شاخص DGP تحلیل شد.

۳.۳. شبیه‌سازی

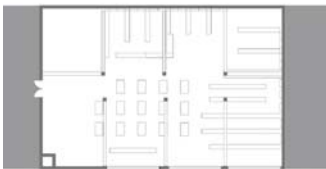
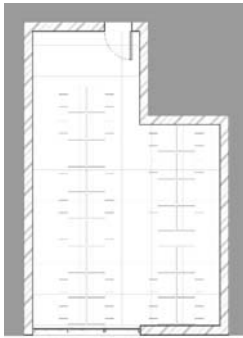
به منظور ارزیابی شدت روشنایی و خیرگی در زمان‌های مختلف در وضعیت موجود و ارزیابی راهکارهای اصلاحی از شبیه‌سازی استفاده شده است. در گام نخست به منظور اطمینان از نتایج شبیه‌سازی، نتایج اندازه‌گیری‌ها با شبیه‌سازی‌ها مقایسه شده است. مقادیر ضرایب بازتاب نور سطوح غیرشفاف و عبور نور پنجره‌ها، که با استفاده از اندازه‌گیری میدانی محاسبه شده است، در شبیه‌سازی استفاده شدند. مدل‌سازی سه‌بعدی در محیط نرم‌افزار راینو نسخه ۳۷۵ انجام شده و شبیه‌سازی و محاسبات روشنایی با استفاده از افزونه دیوا^{۳۸} نسخه ۴/۱ با موتور شبیه‌سازی رادیانس انجام شده است.^{۳۹} فرضیات کلیدی شبیه‌سازی مرتبط با ابزار رادیانس مطابق «جدول ۴» است.

میزان روشنایی و خیرگی اندازه‌گیری شده در فضاها با نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی‌ها مقایسه شده است و بازه قابل قبول نتایج ($\pm 15\%$) شبیه‌سازی به منظور صحت‌سنجی مدل‌های شبیه‌سازی تعیین شد. پس از اطمینان از صحت مدل‌های ایجادشده، شاخص UDI برای بررسی وضعیت روشنایی در فضای کتابخانه‌ها به صورت سالانه در نظر گرفته شده است. در شاخص UDI که برای بررسی کفایت نور روز در نظر گرفته شده است، حد بالا و پایین برای هر نقطه در نظر گرفته شده است، به صورتی که حداقل و حداکثر روشنایی مورد نیاز فضا در آن بیان می‌شود. این شاخص نسبت به بقیه شاخص‌ها، که صرفاً به بیان حداقل روشنایی مطلوب می‌پردازند، جامع‌تر و مناسب‌تر به نظر می‌رسد. در این پژوهش حدود قابل قبول برای شاخص UDI روشنایی بین ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس با

نام کتابخانه	مساحت	ظرفیت	نسبت سطح پنجره به کف (%)	نسبت سطح پنجره به دیوار (%)	سایبان	
					داخلی	خارجی
نام کتابخانه: L-3 دانشکده دندان پزشکی (۱)	۵۱	۳۲	۱۰	۳۲	پرده	سایبان با عرض ۶۰ سانتی‌متر
نام کتابخانه: L-4 دانشکده دندان پزشکی (۳)	۱۸۸	۲۴	۱۴	۵۲	پرده	-
نام کتابخانه: L-5 دانشکده معماری و شهرسازی	۳۴۰	۸۰	۲۱	۴۳	پرده	سایبان با عرض ۶۰ سانتی‌متر

ادامه جدول ۳.
مشخصات کالبدی کتابخانه‌های مورد بررسی، تدوین: نگارندگان.

پلان فضا و جهات بازشوها



جدول ۴ (بالا). فرضیات کلیدی شبیه‌سازی توزیع نور.

ادامه جدول ۳ (پایین). مشخصات کالبدی کتابخانه‌های مورد بررسی، تدوین: نگارندگان.

مقدار	نام پارامتر
۱	Ambient Accuracy (aa)
۵	Ambient Bounce (ab)
۱۵۰۰	Ambient Division (ad)
۲۵۶	Ambient Resolution (ar)
۲۵۶	Ambient Super-sample (as)

۴. نتایج و بررسی

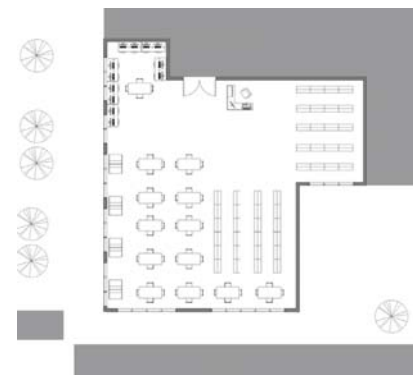
در این بخش ابتدا نتایج حاصل از ارزیابی وضعیت موجود سالن‌های مطالعه با استفاده از اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی بررسی و با استانداردها مقایسه شده است. سپس برای بهبود شرایط بصری، راهکارهایی در سالن‌های مورد بررسی عرضه و تأثیر آن‌ها بر بهبود شرایط ارزیابی شده است.

۴.۱. وضعیت موجود

در این مرحله به منظور مطالعه وضعیت موجود کتابخانه‌ها و صحت‌سنجی مدل‌های شبیه‌سازی، وضعیت دریافت و یکنواختی نور روز و خیرگی به صورت میدانی و در وضعیت هوای صاف در روزهای ۲۳ و ۲۴ اسفندماه و در بازه زمانی ساعت ۱۱ تا ۱۳ اندازه‌گیری شد. وضعیت دریافت نور روز در این فضاها و اختلاف آن‌ها با مقادیر استاندارد در «جدول ۵» قابل مشاهده است. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، حد قابل قبول متوسط روشنایی در مبحث ۱۳ مقررات ملی ساختمان ۵۰۰ لوکس و در استاندارد امریکا ۷۵۰ لوکس در نظر گرفته شده است. با توجه به «جدول ۵»، کتابخانه دانشکده دندان‌پزشکی ۲ دارای کمترین اختلاف با هر دو استاندارد است، در نتیجه از نور روز مناسب برخوردار است؛ اما کتابخانه‌های دانشکده‌های تربیت‌بدنی، معماری، مرکزی، و زمین‌شناسی حدود ۸۰٪ کمتر از روشنایی ذکر شده در استاندارد هستند.

نام کتابخانه	مساحت	ظرفیت	نسبت سطح پنجره به کف (%)	نسبت سطح پنجره به دیوار (%)	سایبان	
					داخلی	خارجی
L-6 سالن مطالعه مرکزی برادران	۲۷۵	۶۰	۵/۸	۳۲ ۱۰	پرده	-
L-7 دانشکده زمین‌شناسی	۴۴۳	۸۰	۲۱	۴۳	پرده	-

پلان فضا و جهات بازشوها



کتابخانه	نتایج برداشت میدانی
بهداشت	۰/۱۴
تربیت بدنی	۱/۰
دندان پزشکی (۱)	۰/۰۴
دندان پزشکی (۲)	۰/۰۱
معماری و شهرسازی	۰/۱۴
مرکزی برادران	۰/۲۹
زمین شناسی	۰/۲

جدول ۵ (راست). وضعیت موجود دریافت نور روز در فضاهای مورد بررسی، با توجه به برداشت‌های میدانی نگارندگان.

جدول ۶ (میان). مقادیر احتمال بروز خیرگی (DGP) با توجه به اندازه‌گیری میدانی نگارندگان.

جدول ۷ (چپ). وضعیت توزیع نور در فضاهای مطالعه.

ت ۴ (پایین). مقاطع کتابخانه‌های مورد بررسی و وضعیت عمق نفوذ نور در این فضاها؛ ترسیم: نگارندگان، بر اساس برداشت میدانی.

کد فضاها	تعداد جبهه‌های نورگیر	عمق نفوذ نور (m)	حداکثر میزان نور (LUX)	حداقل میزان نور (lux)	احتمال بروز خیرگی دید ۲
بهداشت	یک (جنوب شرق)	۲	۶۹۰	۱۲	۰/۰۰۷
تربیت بدنی	سه (جنوب شرق- جنوب غرب- شمال شرق)	۱۳/۸۰	۳۸۸۰۰	۱۹۰	۰/۳۵
دندان پزشکی (۱)	یک (جنوب شرق)	۵	۲۷۰۰۰	۷۸	۰/۱۳
دندان پزشکی (۲)	یک (شمال شرق)	۳/۵	۲۵۰۰	۸۵	۰/۲۵
معماری و شهرسازی	دو (جنوب شرق- شمال غرب)	۱۲	۳۱۰۰	۰	۰/۲۶
مرکزی برادران	یک (جنوب شرق)	۲/۵	۷۶۷	۰	۰/۲۶
زمین شناسی	دو (شمال شرق)	-	۲۸۲	۱۹	۰/۳۱

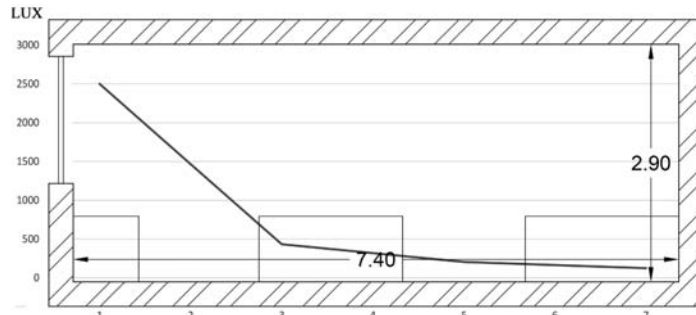
۲.۴. صحت‌سنجی نتایج شبیه‌سازی

به منظور صحت‌سنجی و تطبیق مقادیر اندازه‌گیری شده با نتایج شبیه‌سازی‌ها، میانگین روشنایی اندازه‌گیری شده در فضاها با میانگین مقادیر روشنایی نقاط در مدل‌های شبیه‌سازی شده مقایسه شدند. بازه قابل قبول برای اعتبار مدل فضا، شامل

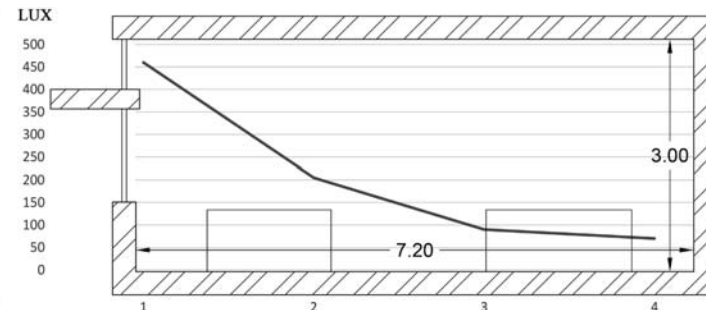
کتابخانه	میانگین روشنایی طبق نتایج شبیه‌سازی (LUX)	درصد اختلاف با استاندارد ایران (مقررات ملی)	درصد اختلاف با استاندارد امریکا (IES)
بهداشت	۱۹۰/۴	-۶۱/۹۲	-۷۴/۶۱
تربیت بدنی	۱۲۷۵۹	۲۴۵۱/۸	۱۶۰۱/۲
دندان پزشکی (۱)	۲۳۵۳/۹	۳۷۰/۷۸	۲۱۳/۸۵
دندان پزشکی (۲)	۵۵۶/۸	۱۱/۳۵	-۲۵/۷۶
معماری و شهرسازی	۸۷	-۸۲/۶	-۸۸/۴
مرکزی برادران	۱۲۹	-۷۴/۲	-۸۲/۸
زمین شناسی	۱۰۶/۳	-۷۸/۷۴	-۸۵/۸۲

مطابق آنچه گفته شد، از شاخص DGP برای ارزیابی خیرگی داخل فضا استفاده می‌شود. حد قابل قبول استاندارد برای دستیابی به خیرگی نامحسوس کمتر از ۰/۳۵ است. مطابق «جدول ۶» همه کتابخانه‌ها دارای خیرگی نامحسوس هستند. در «جدول ۷» وضعیت توزیع نور در فضاهای مطالعه نشان داده شده است.

در «ت ۴» مقاطع دو مورد از فضاهای مورد بررسی به‌طور نمونه نمایش داده شده است. مطابق تصویر، فضای L-4 پس از فاصله ۴ متری از جدار نورگذر، شدت روشنایی قابل قبولی در ساعت برداشت نداشته است. همچنین در فضای L-1 همه سطح فاقد حد مناسب شدت روشنایی برای انجام فعالیت‌های کتابخانه‌ای بوده است.



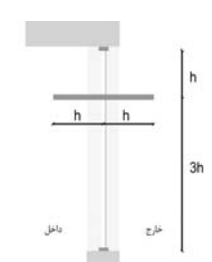
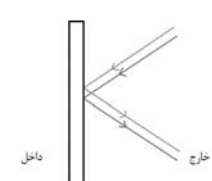

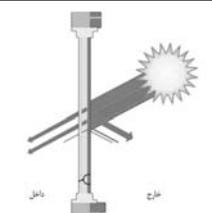
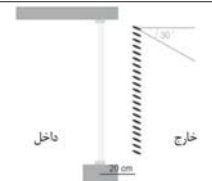
L-4



L-1

جدول ۸. جزئیات راهکارهای اعمال شده.

- Umberto Berardi & Hamid Khademi Anaraki, The benefits of light shelves over the daylight illuminance in office buildings in Toronto.
- Nastaran Makaremia, Samuele Schiavonia & Anna Laura Pisello & Francesco Asdrubalic & Franco Cotana, Quantifying the effects of interior surface reflectance on indoor lighting; Stephen Simm & David Coley, The relationship between wall reflectance and daylight factor in real rooms, in Architectural Science review.
- Karam, M. Al-Obaidi & Muhammad Azzam Ismail & Abdul Malek Abdul Rahman, Assessing the allowable daylight illuminance from skylights in single-storey buildings in Malaysia: a review; Arvind Chel & G.N. Tiwari & Avinash Chandra, A model for estimation of daylight factor for skylight: An experimental validation using pyramid shape skylight over vault roof mud-house in New Delhi (India); Gonçalo Castro Henriques & José Pinto Duarte & Vitor Leal, Strategies to control daylight in a responsive skylight system, in Automation in Construction.
- C. Garnier & T. Muneer & L. McCauley, Super insulated aerogel windows: impact on daylighting and thermal performance; Syed Husin Sharifah Nor Fairuz & Zarina Yasmin Hanur Harith, The Performance of Daylight through Various Type of Fenestration in Residential Building..

نام راهکار اصلاحی	کد راهکار اصلاحی	توضیحات
طاقچه نوری*	M-1	
افزایش ضریب انعکاس دیوار و سقف به دلیل تغییر رنگ**	M-2	
نورگیر سقفی**	M-3	
تغییر ضریب عبور نور شیشه‌ها به دلیل تغییر آن‌ها***	M-4	
سایبان (لوور)***	M-5	

••• Ahmed A.Y Freewan, Impact of external shading devices on thermal and daylighting performance of offices in hot climate regions; Jeong Tai Kim & Gon Kim, Advanced External Shading Device to Maximize Visual and View Performance.

۱۵±٪ میانگین روشنایی اندازه‌گیری نقاط است^{۳۱}. طبق نتایج به‌دست‌آمده میانگین روشنایی نقاط در مدل‌های شبیه‌سازی شده در بازه قابل قبول قرار دارد و این موضوع اعتبار شبیه‌سازی‌های انجام‌شده را تأیید می‌کند.

نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی‌ها و برداشت‌های میدانی مربوط به شاخص DGP در موضوع خیرگی در بازه ۸ تا ۹۵٪ بوده است. با اینکه مقادیر شاخص DGP در دو مرحله شبیه‌سازی و برداشت میدانی با یکدیگر متفاوت است، در اکثر مدل‌ها مقادیر این شاخص در دو مرحله در بازه‌های آسایشی قرار گرفته است. به‌طور کلی فقدان انطباق نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری ناشی از عوامل مختلفی از قبیل عدم مدل‌سازی جزئیات موجود در فضا مانند بخشی از مبلمان، افراد، وسایل، و بسیاری از عوامل مداخله‌گر در فرایند اندازه‌گیری میدانی و ضعف نرم‌افزاری و مدل‌سازی بخصوص در محاسبه خیرگی — با توجه به نیاز به مطابقت کامل زاویه بررسی در عکاسی میدان و محیط شبیه‌سازی — است.

۳.۴. راهکارهای اصلاحی

پس از انجام شبیه‌سازی‌ها و تحلیل وضع موجود، تعداد مشخصی از راهکار اصلاحی رایج، با توجه به نیاز هر فضا، برای هر یک از سالن‌های مطالعه بیان و در مدل شبیه‌سازی اعمال شد و در گام بعدی میزان بهبود شاخص‌های مورد بررسی به‌واسطه اعمال هر یک از راهکارهای اصلاحی، با استفاده از شبیه‌سازی، محاسبه گردید. همان‌طور که در «جدول ۵» قابل مشاهده است، بر اساس نتایج وضع موجود فضاها، مشکل اصلی اکثر کتابخانه‌ها دریافت کم نور طبیعی بوده است. همچنین مشکل یک کتابخانه دریافت بیش از حد نور روز و خیرگی بوده و یک کتابخانه از این حیث مشکلی نداشته است. راهکارهای بررسی‌شده در هر کتابخانه در پاسخ به مشکلات مذکور بوده است (جدول ۸ و ۹).

این راهکارهای اصلاحی شامل اصلاحاتی در مصالح مورد

اعمال راهکارهای مختلف در «ت ۵» قابل مشاهده است.

با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین تغییرات شاخص UDI در فضای کتابخانه دانشکده تربیت بدنی و در پی اعمال راهکار شماره ۵ رخ داده است. نتیجه دیگر اینکه برخلاف انتظار قبلی، قرار دادن طاقچه نوری در هیچ یک از فضاها منجر به بهبود وضعیت روشنایی نشده است. در بین باقی نتایج ارتباط چندانی بین نوع راهکار و میزان تغییر شاخص کفایت روشنایی دیده نمی شود، اما بهر حال می توان گفت که تغییر ضریب انعکاس سطوح، تغییر ضریب عبور شیشه، و تعبیه نورگیرهای سقفی بیشترین تأثیرات را بر میزان روشنایی فضاها خواهند داشت.

جدول ۹ (راست). درصد ضرایب عبور پنجره ها و ضرایب بازتاب سطوح داخلی، پیش و پس از اعمال تغییرات.
جدول ۱۰ (چپ). وضع موجود فضاها، مشکلات، راهکارها و نتایج هر یک از راهکارها در وضعیت فضاها، تدوین: نگارندگان.

کتابخانه	نتایج مدل پایه		مشکل	راهکارها	نتایج بهترین راهکار	
	UDI				UDI	
بهداشت	UDI	۱۲,۳۹	نور کم	M-1, M-2, M-4*, M-5	UDI	۲۴,۷۸
	UDI Underlit	۸۴,۱۳			UDI Underlit	۷۲,۶۱
	UDI Overlit	۰,۰۰			UDI Overlit	۰,۰۰
تربیت بدنی	UDI	۶,۶۵	نور زیاد / خیرگی	M-1, M-2, M-4, M-5*	UDI	۸۰,۰۵
	UDI Underlit	۰,۰۰			UDI Underlit	۰,۰۰
	UDI Overlit	۹۷,۶۱			UDI Overlit	۶۹,۴۱
دندان پزشکی (۱)	UDI	۳۴,۷۲	نور کم	M-1, M-2, M-3*	UDI	۴۳,۵۲
	UDI Underlit	۶۳,۶۶			UDI Underlit	۰,۰۰
	UDI Overlit	۱۹,۶۸			UDI Overlit	۹۲,۱۳
دندان پزشکی (۲)	UDI	۹۸,۲۴	بدون مشکل	M-4*	UDI	۱۰۰
	UDI Underlit	۰,۰۰			UDI Underlit	۰
	UDI Overlit	۶,۱۸			UDI Overlit	۰
معماری و شهرسازی	UDI	۳۰,۷۷	نور کم	M-1, M-2*, M-6	UDI	۴۶,۱۵
	UDI Underlit	۶۷,۳۱			UDI Underlit	۵۰,۰۰
	UDI Overlit	۰,۰۰			UDI Overlit	۰,۰۰
مرکزی برادران	UDI	۵۶,۱۵	نور کم	M-1, M-2, M-3*, M-5	UDI	۹۷,۳۳
	UDI Underlit	۴۰,۰۴			UDI Underlit	۰,۰۰
	UDI Overlit	۱۳,۷۳			UDI Overlit	۷۷,۳۱
زمین شناسی	UDI	۵۹,۹۴	نور کم	M-1, M-2*, M-4	UDI	۱۰۰,۰۰
	UDI Underlit	۳۹,۷۶			UDI Underlit	۰,۰۰
	UDI Overlit	۰,۰۰			UDI Overlit	۰,۰۰

استفاده در پنجره و سطوح فضا، سایه بان ها، و اضافه کردن عناصری به کالبد فضاها است.

به منظور مقایسه وضع موجود و تأثیر راهکارهای مختلف، ابتدا شاخص UDI در فضاها با بازه مورد بررسی ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس ارزیابی شد و سپس همین شاخص پس از اعمال راهکارهای اصلاحی در فضاها دوباره ارزیابی شد. نتایج به دست آمده از این تحلیل ها در «جدول ۱۰» عرضه شده است. در این جدول بهترین راهکار مورد استفاده با علامت * مشخص شده است. همچنین در کنار شاخص UDI شاخص های UDI_{overlit} (درصدی از فضا که بیش از ۵٪ زمان بیش از ۳۰۰۰ لوکس روشنایی دریافت می کند) و UDI_{underlit} (درصدی از فضا که بیش از ۵۰٪ زمان کمتر از ۳۰۰ لوکس روشنایی دریافت می کند) هم عرضه شده است.

۱.۳.۴. مقایسه نتایج بهبود ناشی از راهکارهای پیشنهادی (کفایت و یکنواختی نور)

در این بخش راهکارهای عرضه شده در برخی موارد موجب بهبود و در برخی موارد موجب افت کیفیت روشنایی فضا شده است. میزان تغییرات این شاخص در فضاهای مختلف و با

کتابخانه	ضرایب بازتاب پس از اعمال تغییرات	ضرایب بازتاب مدل پایه		راهکارهای پیشنهادی	راهکارهای پیشنهادی اول	راهکارهای پیشنهادی دوم	ضرایب بازتاب پس از اعمال تغییرات
		سقف	دیوار				
بهداشت	۹۰	۸۰	۹۰	۸۵	-	-	۹۰
تربیت بدنی	۳۸	۳۵	-	-	۴۷	-	۳۸
دندان پزشکی (۱)	۸۸	۷۵	۹۰	۸۵	-	-	۸۸
دندان پزشکی (۲)	۸۸	۷۰	-	-	۴۷	-	۸۸
معماری و شهرسازی	۷۰	۷۷	۹۰	۸۵	-	-	۷۰
مرکزی برادران	۷۷	۷۴	۹۰	۸۵	-	-	۷۷
زمین شناسی	۶۵	۵۰	۹۰	۸۵	-	-	۶۵

۲.۳.۴. مقایسه نتایج بهبود ناشی از راهکارهای پیشنهادی (آسایش)

در این بخش میزان تأثیرگذاری راهکارهای مورد استفاده در هریک از فضاها عرضه شده است. لازم به ذکر است که هریک از راهکارها با جزئیات اجرایی مشابه در همه کتابخانه‌ها اعمال شده‌اند. با توجه به نتایج، میزان خیرگی در نماهای مورد بررسی پس از اعمال راهکارها تغییر چندانی نکرده است و محدوده شاخص DGP در همه مدل‌ها کماکان در حالت پیشین خود قرار دارد. البته در فضای L-2 میزان خیرگی با در نظر گرفتن راهکار M-5 میزان شاخص خیرگی از ۰/۷۶ به ۰/۲۷ کاهش یافته است که تغییر قابل ملاحظه‌ای در قیاس با تغییرات سایر کتابخانه‌ها محسوب می‌گردد.

سطوح تغییراتی دارند، هزینه اجرای راهکارها بیشتر خواهد بود. تقسیم‌بندی هزینه‌ها در «جدول ۱۱» ارائه شده است. طبق «جدول ۱۲»، هزینه راهکارهای ۲ و ۴ کمتر از سایر راهکارها است، نتیجتاً در فضاهایی که این راهکارها تأثیر مناسبی در افزودن میزان شاخص UDI در آن‌ها داشته است (کدهای L-5، L-1، و L-7) می‌توان به‌سادگی از این راهکارها برای بهبود شرایط روشنایی طبیعی استفاده کرد. با توجه به میزان تأثیر راهکارها در تغییر شاخص UDI، تغییر ضریب انعکاس سطوح و ضریب عبور شیشه علاوه بر تأثیر در این شاخص ارزان‌تر از باقی راهکارها هستند. در نتیجه استفاده از این دو راهکار در گام اول پیشنهاد می‌گردد.

۴.۳.۴. انرژی مصرفی

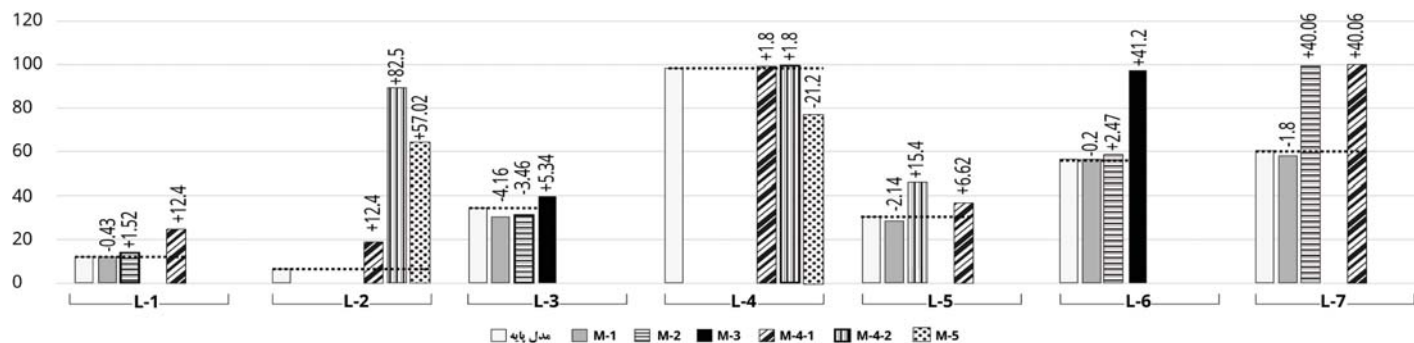
انرژی مصرفی متناظر با هریک از راهکارهای مورد بررسی، در «جدول ۱۲» قابل مشاهده است. این میزان مصرف بر اساس تأمین شدت روشنایی ۳۰۰ لوکس تعریف شده در شبکه در فضاها محاسبه شده است؛ به این معنی که در صورتی که روشنایی طبیعی در فضا کمتر از این میزان باشد، سیستم روشنایی مصنوعی فضا فعال خواهد شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان دریافت که در هر فضا کدام راهکار بهترین نتیجه را به همراه داشته است.

۳.۳.۴. هزینه و سهولت اجرا

راهکارهای مورد بررسی در این پژوهش از منظر هزینه اجرا به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول با هزینه بیشتر و دسته دوم با هزینه کمتر. تقسیم‌بندی هزینه‌های این راهکارها بر اساس میزان هزینه اولیه و هزینه اجرا انجام شده است. در راهکارهای اول، سوم، و پنجم، به دلیل اضافه شدن المان‌های ساختمانی مثل سایه‌بان، نورگیر سقفی و طاقچه نوری، به دخل و تصرف در ساختار بدنه ساختمان نیاز خواهد بود و نسبت به راهکارهای دوم و چهارم، که صرفاً ضرایب عبور و بازتاب نور

استفاده کرد.

ت ۵. مقادیر شاخص توزیع نور (UDI₃₀₀₋₃₀₀₀) متناظر با هریک از راهکارهای اصلاحی در کتابخانه‌های مختلف، تدوین: نگارندگان.



۴.۴. تعیین راهکارهای پیشنهادی

با توجه به نتایج به دست آمده، ارتباط مستقیمی میان میزان مصرف انرژی روشنایی و میزان روشنایی طبیعی فضا وجود دارد و بهبود یکی از این دو شاخص باعث بهبود دیگری نیز خواهد شد؛ نتیجتاً با توجه به اولویت‌های طراحی و بهسازی فضاها از نظر طراح، می‌توان هر یک از راهکارها را با علم به میزان تأثیرگذاری در شاخص‌های روشنایی و میزان مصرف انرژی به منظور بهبود کیفیت عملکرد ساختمان انتخاب کرد؛ با این حال در خصوص اینکه کدام راهکار بهترین نتیجه را به همراه خواهد داشت، با توجه به نتایج این پژوهش نمی‌توان نظر قطعی داد و باید گزینه‌های بهسازی با جزئیات اجرایی متفاوت در مورد هر فضا آزموده شوند. در این پژوهش، برای هر یک از دانشکده‌ها، مؤثرترین راهکار بر بهبود شرایط شدت روشنایی فضا، در «جدول ۱۳» عرضه شده است.

۵. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی وضع موجود هفت سالن مطالعه در دانشگاه شهید بهشتی تهران و سپس پیشنهاد راهکارهای اصلاحی انجام شده است. به این منظور، ابتدا وضعیت موجود این کتابخانه‌ها از نظر کیفیت و کفایت توزیع نور روز در فضا و آسایش بصری بررسی گردید و با توجه به نتایج این

بخش، مدل‌های شبیه‌سازی صحت‌سنجی شده، از وضع موجود کتابخانه‌ها، ایجاد شد. در این مرحله، سایه‌اندازی‌های ناخواسته افراد و میلمان بر دستگاه اندازه‌گیری، میزان انحرافات احتمالی درخشندگی سطوح در تصاویر اچ‌دی‌آر، و همچنین خطای اندازه‌گیری دستگاه‌های مورد استفاده از عوامل کنترل‌ناپذیر اما مؤثر در نتایج بوده است که پیشنهاد می‌شود در مطالعات مشابه راهکاری به منظور تقلیل و تعدیل این مشکلات، در نظر گرفته شود. در گام بعدی با توجه به اطلاعات مستخرج از برداشت‌های میدانی در خصوص شدت روشنایی فضا، مدل‌های شبیه‌سازی شده صحت‌سنجی شد. نکته قابل توجه در این مرحله، فقدان امکان صحت‌سنجی مدل شبیه‌سازی خیرگی بر اساس تصاویر اچ‌دی‌آر با هدف ارزیابی کمی در گام‌های بعدی است که از محدودیت‌های مطالعات آسایش بصری محسوب می‌گردد. در بخش بعدی، با توجه به نتایج این بخش از نظر میزان خیرگی در زمان و زوایای بحرانی و همچنین شاخص‌های سالانه کفایت توزیع نور فضاها، راهکارهایی به منظور اصلاح و بهبود شرایط موجود پیشنهاد شد. شاخص مورد استفاده در ارزیابی آسایش بصری (خیرگی) شاخص DGP در نظر گرفته شد که نشانگر وضعیت خیرگی در زمان و زاویه خاص است. به نظر می‌رسد برای بررسی همه‌جانبه فضا، شاخصی با قابلیت ارزیابی سالانه فضا، بدون محدودیت زاویه قرارگیری دوربین،

جدول ۱۱ (بالا). طبقه‌بندی راهکارها از نظر هزینه، تدوین: نگارندگان.

جدول ۱۲ (پایین، راست). میزان انرژی روشنایی متناظر با هر یک از راهکارهای اصلاحی در فضاهای مورد بررسی.

جدول ۱۳ (پایین، چپ). مؤثرترین راهکارها در فضاهای مورد بررسی.

ردیف	راهکار	دسته هزینه
۱	M-1	۱
۲	M-2	۲
۳	M-3	۱
۴	M-4	۲
۵	M-5	۱

نام کتابخانه	مؤثرترین راهکار
بهداشت	تغییر ضریب عبور نور شیشه
تربیت بدنی	قرار دادن سایه‌بان (لوور)
دندان پزشکی (۱)	نورگیر سقفی
دندان پزشکی (۲)	تغییر ضریب عبور شیشه
معماری و شهرسازی	تغییر ضریب انعکاس سقف و دیوار
مرکزی بردارن	قرار دادن نورگیر سقفی
زمین‌شناسی	تغییر ضریب عبور شیشه-ضریب انعکاس سقف و دیوار

کتابخانه	میزان تغییرات مصرف انرژی روشنایی						
	M-5	M-4 (۴۷)	M-4 (۶۵-۸۸)	M-3	M-2	M-1	مصرف انرژی مدل پایه (kWh)
بهداشت	-	-	۶-٪	-	۱+٪	۱۹-٪	۲۲۳۳٫۲
تربیت بدنی	۴+٪	۴-٪	۱۵+٪	-	-	-	۵۴۳٫۵
دندان پزشکی (۱)	-	-	-	۵۸-٪	۵-٪	۲۱٪	۵۰۷
دندان پزشکی (۲)	-	۱۰۷+٪	۴۳+٪	-	-	-	۶۶۱٫۴
معماری و شهرسازی	-	-	۲۰-٪	-	۲۵-٪	۹+٪	۱۶۶۱٫۶
مرکزی بردارن	-	-	-	۲۲-٪	۱۲-٪	۹-٪	۱۸۴۲٫۱
زمین‌شناسی	-	-	۴۰-٪	-	۲۵-٪	۱۶+٪	۷۶۵٫۲

است و به منظور نتیجه‌گیری همه‌جانبه، بررسی این راهکارها به صورت ترکیبی، نتایج مفیدتری به دست خواهد داد. به این ترتیب در پاسخ به پرسش‌های پژوهش، وضعیت دریافت نور کتابخانه‌های مورد بررسی و همچنین راهکارهای مؤثر برای بهبود این شرایط، در «جدول ۱۴» عرضه شده است. نکته قابل توجه دیگر تقریب‌های مفروض در جهت تفسیر شاخص توزیع نور (UDI) در فضا بوده است که برای تعیین حدود کمی دقیق‌تر به منظور پیش‌بینی رضایت کاربران از کیفیت و کفایت نور طبیعی، مطالعات میدانی با در نظر گرفتن شرایط جغرافیایی، کاربری بنا، و سایر متغیرهای مؤثر می‌تواند ثمربخش باشد. توصیه می‌شود که در پژوهش‌های آتی به منظور تدوین نتایج دقیق‌تر، اندازه‌گیری‌های میدانی در بازه‌های زمانی طولانی‌تری از سال صورت گیرد. همچنین تحلیل اقتصادی در این پژوهش به صورت تقریبی انجام شد و در پروژه‌ها و پژوهش‌های مشابه برای نتیجه‌گیری دقیق‌تر لازم است بررسی جامع‌تری بر اساس هزینه‌های دقیق هر یک از راهکارها صورت پذیرد. علاوه بر بررسی عملکرد راهکارهای اصلاحی، بررسی پارامتریک هر یک از راهکارها با محدوده‌های قابل قبول، اطلاعات جامع‌تری برای تصمیم‌گیری نهایی در اختیار قرار می‌دهد که توصیه می‌گردد در پژوهش‌های مشابه از این روش استفاده شود. همچنین به منظور ارزیابی همه‌جانبه عملکرد محیط، انجام تحقیقات پرسش‌نامه‌ای و ثبت نظرات کاربران، روش قابل‌انکایی در پاسخ به تحقیقاتی با سؤالات مشابه این پژوهش محسوب می‌شود. در نهایت با توجه به محدودیت‌های ذکر شده و همچنین کمبود تحقیقات مرتبط در زمینه ارزیابی نور روز در کتابخانه‌ها، به نظر می‌رسد مطالعات مشابه در این زمینه می‌تواند راهنمای تصمیم‌گیرندگان و متخصصان حوزه ساختمان در این زمینه باشد.

وضعیت آسایش بصری فضا را به شکل دقیق‌تری پیش‌بینی کند و توصیه می‌شود که به منظور رفع این محدودیت، در مطالعات مربوطه به این مسئله پرداخته شود.

در گام بعدی، با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی، میزان تأثیرگذاری هر یک از راهکارهای پیشنهاد شده بررسی و ارزیابی شد. راهکارهای بررسی شده شامل تغییر ضریب عبور نور شیشه‌ها، به دلیل تعویض پنجره‌ها، تغییر ضریب بازتاب سطوح داخلی به دلیل رنگ‌آمیزی مجدد فضا، و به کارگیری طاقچه نوری و سایبان و نورگیر سقفی می‌شود. لازم به یادآوری است که راهکارهای بررسی شده با فرض نیاز به اصلاح ساختمان‌های موجود انتخاب شده‌اند، بنابراین، روش‌های دیگری از قبیل تغییر ابعاد و تناسبات پنجره، در عین تأثیرات احتمالی قابل توجه، در دستور کار مطالعه قرار نگرفته است. ضمن آنکه اختلافات و تفاوت‌های موجود میان کتابخانه‌های مورد بررسی از لحاظ جزئیات اجرایی دیوارها، جهت‌گیری و ابعاد و تناسبات پنجره‌ها، و همچنین تعداد کم کتابخانه‌ها به شکلی بوده است که امکان مقایسه میزان تأثیرگذاری راهکارها را به صورت دقیق با مشکل مواجه کرده است. علاوه بر این، تأثیرگذاری راهکارهای مذکور به صورت تک‌تک بررسی شده

۲۳. نرم‌افزار Radiance، موتور محاسباتی برای شبیه‌سازی رفتار نور و مطالعات نور روز.

۲۴. نرم‌افزار hdrscope، ابزاری برای پردازش تصاویر اچ‌دی‌آر به منظور تجزیه و تحلیل آسایش بصری.
نک: ۲۵.

<https://www.researchgate.net/publication/309350795.htm>

۲۶. نرم‌افزار PhotoSphere، ابزاری برای تولید تصاویر اچ‌دی‌آر به منظور تحلیل خیرگی در سایر ابزارها.
27. Rhino 5

جدول ۱۴. وضعیت دریافت نور کتابخانه‌های مورد بررسی و راهکارهای مؤثر.

نام کتابخانه	وضعیت دریافت نور	راهکارهای مؤثر
بهداشت	بد- نور کم	افزایش ضریب انعکاس دیوار و سقف به دلیل تغییر رنگ؛ تغییر ضریب عبور نور شیشه‌ها به دلیل تغییر آن‌ها
تربیت‌بدنی	بد- نور زیاد و خیرگی	تغییر ضریب عبور نور شیشه‌ها به دلیل تغییر آن‌ها؛ سایبان (لور)؛ تغییر ضریب عبور نور شیشه‌ها به دلیل تغییر آن‌ها
دندان‌پزشکی (۱)	بد- نور کم	نورگیر سقفی
دندان‌پزشکی (۲)	بدون مشکل	تغییر ضریب عبور نور شیشه‌ها به دلیل تغییر آن‌ها
معماری و شهرسازی	بد- نور کم	تغییر ضریب عبور نور شیشه‌ها به دلیل تغییر آن‌ها
مرکزی برادران	بد- نور کم	افزایش ضریب انعکاس دیوار و سقف به دلیل تغییر رنگ؛ نورگیر سقفی
زمین‌شناسی	بد- نور کم	افزایش ضریب انعکاس دیوار و سقف به دلیل تغییر رنگ؛ تغییر ضریب عبور نور شیشه‌ها به دلیل تغییر آن‌ها

- اسلامی، ساجده. «بررسی عوامل مؤثر بر خیرگی و راه‌های کاهش آن؛ مطالعه موردی: کتابخانه ملی مرکزی کرمان»، در *معماری‌شناسی*، ش ۴ (دی ۱۳۹۷)، ص ۶۳-۶۷.
- باقری، سمیه و علیرضا دستوار و مریم قلع جهی. «ارزیابی شدت روشنایی و ارتباط آن با میزان خستگی بینایی دانشجویان، در سالن‌های مطالعه دانشگاه علوم پزشکی زابل در سال ۱۳۹۶»، در *بهداشت کار و ارتقای سلامت*، ش ۲ (پاییز ۱۳۹۶)، ص ۱۵۵-۱۶۳.
- خوبی، جمشید، دائم روشنی و احسن شیری و زانکو صمدی. «ارزیابی شدت روشنایی کتابخانه‌ها و بیمارستان‌های آموزشی دانشگاه علوم پزشکی کردستان».
- Malek Abdul Rahman. "Assessing the Allowable Daylight Illuminance from Skylights in Single-storey Buildings in Malaysia: a Review", in *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, Vol. 6, No. 4 (2015), pp. 236-248.
- Makaremia, Nastaran & Samuele Schiavonia & Anna Laura Pisello & Francesco Asdrubalic & Franco Cotanaa. "Quantifying the Effects of Interior Surface Reflectance on Indoor Lighting", in *Energy Procedia*, Vol. 134 (2017), pp. 306-316.
- Sharifah Nor Fairuz, Syed Husin & Zarina Yasmin Hanur Harith. "The Performance of Daylight through Various Type of Fenestration in Residential Building", in *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 36 (2012), pp.196-203.
- Simm, Stephen & David Coley. "The Relationship between Wall Reflectance and Daylight Factor in Real Rooms", in *Architectural Science Review*, Vol. 54, No. 4 (2011), pp. 329-334.
- Tai Kim, Jeong & Gon Kim. "Advanced External Shading Device to Maximize Visual and View Performance", in *Indoor and Built Environment*, Vol.19 (2010), pp. 65-72.
- Zomorodian, Z.S. & S.S. Korsavi & M. TahsilDoost. "The Effect of Window Configuration on Daylight Performance in Classroom: Afield and Simulation Study", in *Architect eng.*, Vol. 26 (2016), pp. 15-24.
- <http://diva4rhino.com>
- <http://www.licaso.com>
- <https://www.energydesignresources.com>
- <https://www.greenquarter.biz>
- <https://www.ies.org>
- <https://www.researchgate.net/publication/309350795.htm>
- <https://www.rhino3d.com>
- <https://www.usgbc.org>
- <https://www.weatheronline.co.uk>
- در مجله علوم پزشکی زانکو، دوره ۱۹، ش ۶۳ (زمستان ۱۳۹۷)، ص ۸۵-۹۴.
- کابلی، هادی و مریم امجدی. «تأثیر نور روز بر طراحی کتابخانه و رضایتمندی کاربران از محیط کتابخانه»، شیراز: کنفرانس ملی چارسوی علوم انسانی، ۱۳۹۴.
- مقررات ملی ساختمان ایران مبحث سیزدهم، وزارت راه و شهرسازی، مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۵.
- مهدوی‌نژاد، محمدجواد و منصوره طاهباز و مهناز دولت‌آبادی. «بهینه‌سازی تناسبات و نحوه استفاده از رف نور در معماری کلاس‌های آموزشی»، در *نشریه هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی*، دوره ۲۱، ش ۲ (تابستان ۱۳۹۵)، ص ۸۱-۹۲.
- Ali Kime, Bukar & Halil Zafer Alibaba. "Comparative Analysis of Day Lighting and Artificial Lighting in Library Building; Analyzing the Energy Usage of the Library", in *International Journal of Advanced Research in Science Engineering and Technology*, Vol. 5 (December 2018), pp. 7665-7680.
- Berardi, Umberto & Hamid Khademi Anaraki. "The Benefits of Light Shelves over the Daylight Illuminance in Office Buildings in Toronto", in *Indoor and Built Environment*, September 2016, pp. 1-16.
- Berardi, Umberto. & Hamid Khademi Anaraki. "Analysis of the Impacts of Light Shelves on the Useful Daylight Illuminance in Office Buildings in Toronto", in *Energy Procedia*, Vol. 78 (2015), pp. 1793-1798.
- Castro Henriques, Gonçalo & José Pinto Duarte & Vitor Leal. "Strategies to Control Daylight in a Responsive Skylight System", in *Automation in Construction*, Vol. 28 (2012), pp. 91-105.
- Chel, Arvind & G.N. Tiwari & Avinash Chandra. "A Model for Estimation of Daylight Factor for Skylight: An Experimental Validation Using Pyramid Shape Skylight over Vault Roof Mud-house in New Delhi (India)", in *Applied Energy*, Vol. 86 (2009), pp. 2507-2519.
- Freewan, Ahmed A.Y. "Impact of External Shading Devices on Thermal and Daylighting Performance of Offices in Hot Climate Regions", in *Solar Energy*, Vol.102 (2014), pp.14-30.
- Garnier, C. & T. Muneer & L. McCauley. "Super Insulated Aerogel Wwindows: Impact on Daylighting and Thermal Performance", in *Building and Environment*, Vol. 94, Part 1 (Dec 2015), pp. 231-238.
- Jakubiec, Alstan & Christoph Reinhart. "The Use of Glare Metrics in the Design of Daylit Spaces: Recommendations for Practice", in *9th International Radiance Workshop*, 2010.
- Juslén, H. & M. Wouters & A. Tenner. "The Influence of Controllable Task-lighting on Productivity: a Field Study in a Factory", in *Applied Ergonomics*, Vol.38 (2007), pp. 39-44.
- M. Al-Obaidi, Karam & Muhammad Azzam Ismail & Abdul
۲۸. نرم‌افزار Diva، ابزاری برای شبیه‌سازی توزیع نور روز و آسایش بصری.
۲۹. نک: <https://www.rhino3d.com/>; <http://diva4rhino.com>
۳۰. نک: <https://www.usgbc.org/>; <https://www.ies.org>
۳۱. نک: Z.S. Zomorodian, et al, "The Effect of Window Configuration on Daylight Performance in Classroom: Afield and Simulation Study".

۳۰

۴۸ | ۹۵