نشریه مطالعات هنر اسلامی
www.sysislamicartjournal.ir

واکاوی کاربرد نقوش هندسی در سقف و اضلاع کلاس‌های آموزشی جهت افزایش بهره‌وری بصری در اقلیم گرم و خشک**

مهناز محمودی زرندی [1]، ساراسادات کارگر [2*]، مهدی خاک‌زند [3]

[1] (نویسنده مسئول) دانشیار، گروه معماری، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، mahnaz_mahmoody@yahoo.com
[2*] دانشجوی دکتری، گروه معماری، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، sarah_kgr@yahoo.com
[3] دانشیار، گروه معماری، دانشکده معماری شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، mkhakzand@iust.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی
شماره ۵۳
دوره ۲۱
صفحه ۶۱۸ الی ۶۳۸

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۱۶
تاریخ داوری: ۱۴۰۱/۰۹/۲۴
تاریخ صدور پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۰۱

کلمات کلیدی

اقلیم گرم و خشک،
ارتفاع کلاس،
فرم هندسی سقف،
آسایش بصری،
کارایی انرژی.

ارجاع به این مقاله

محمودی زرندی, مهناز, کارگر, سارا السادات, & خاک زند, مهدی. (۱۴۰۳). واکاوی کاربرد نقوش هندسی در سقف و اضلاع کلاسهای آموزشی جهت افزایش بهره وری بصری در اقلیم گرم و خشک. مطالعات هنر اسلامی, ۲۱(۵۳), ۶۳۸-۶۱۸.

dorl.net/dor/20.1001.1.*
******.****.**.**.*.*/

dx.doi.org/10.22034/IAS
.۲۰۲۳.۳۷۶۶۲۷.۲۱۱۵

چکیده

نور خورشید بهترین و ارزان‌ترین منبع انرژی است که به‌صورت فعال و غیرفعال می‌تواند در رسیدن به ساختمان‌های پایدار نقش مؤثری داشته باشد. ورود مقادیر مناسبی از نور روز به‌خصوص در فضاهای آموزشی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. وجود نور بیش از حد نیاز و عدم‌کنترل آن، منجر به بروز خیرگی و نارضایتی بصری می‌شود. هدف این پژوهش بررسی و تحلیل هندسه سقف و ارتفاع کلاس در ارزیابی کیفیت آسایش بصری و بهره‌وری انرژی در اقلیم گرم و خشک با استفاده از شبیه‌سازی می‌باشد. پس از بیان مفاهیم و معرفی نرم‌افزار، دو مدل کلاس درس شمالی و جنوبی از مدارس بومی مدل‌سازی شده و عملکرد نوروز و انرژی روی آن‌ها بررسی می‌گردد. با در نظر گرفتن ارتفاع کلاس و هندسه سقف به‌عنوان متغیر طراحی، شاخص‌های ارزیابی عملکرد نوروز، کیفیت نوروز (DLA,UDLI) خیرگی(DGP) و مقدار مصرف انرژی(EUI) در جهت رسیدن به اهداف پژوهش به‌عنوان متغیرهای وابسته پژوهش محاسبه می‌شوند. در نتیجه، در جبهۀ جنوبی سقف گنبدی باعث کاهش خیرگی و مصرف انرژی شده و توزیع نور یکنواخت‌تر است و در جبهۀ شمالی فقط خیرگی و مصرف انرژی کاهش پیدا کرد که مطلوب می‌باشد. اما با افزایش ارتفاع در جهت شمال میزان روشنایی بهبود می‌یابد که این موضوع پتانسیل کلاس شمالی جهت انتخاب به‌عنوان بهینه‌ترین جهت را بالا می‌برد.

اهداف پژوهش:

۱. کاربرد فرم هندسی سقف کلاس درس و تأثیر آن بر بهره‌وری بصری و انرژی در اقلیم گرم و خشک.

۲. بررسی ارتفاع کلاس و تاثیر آن بر بهره‌وری بصری و انرژی در اقلیم گرم و خشک.

سؤالات پژوهش:

۱. آیا فرم هندسی سقف کلاس درس بر بهره‌وری بصری و انرژی در اقلیم گرم و خشک تأثیر دارد؟

۲. ارتفاع کلاس بر بهره‌وری بصری و انرژی در اقلیم گرم و خشک چه تأثیری دارد؟

** این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دکتری ساراسادات کارگر با عنوان «ارائه مدل مفهومی وکاربردی طراحی مدارس ابتدایی اقلیم گرم و خشک ایران با تأکید بر عوامل کالبدی مؤثر در استفاده بهینه از نور روز» با راهنمایی خانم دکترمهناز محمودی زرندی و مشاور اقای دکتر مهدی خاک‌زند در سال ۱۳۹۹ در دانشگاه آزاد تهران شمال است.

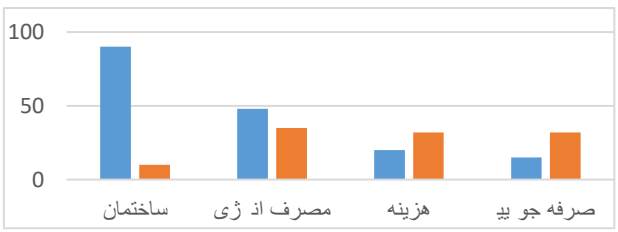
2676-7759/ © 2020 Islamic Art Press. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/BY/4.0/)

مقدمه

تأمین آسایش کاربر در فضای داخلی مدرسه، دارای جنبه‌های مختلفی است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به آسایش بصری و بهره‌وری از انرژی اشاره کرد. کاهش نیاز به نورپردازی مصنوعی ساختمان‌های آموزشی شناخته شده است. نور روز منبعی برای دست‌یابی به کیفیت بهتر محیط داخلی و کارایی انرژی در ساختمان‌های آموزشی و در نتیجه ارتقای پایداری آن‌هاست. فراهم‌کردن شرایط نوری به‌گونه‌ای که آسایش بصری کاربران تأمین شود، متأثر از عوامل مختلفی است که مقدار نور روز و نحوهٔ توزیع آن، بازتاب‌های آزاردهنده و درجهٔ خیرگی ازجملهٔ آن‌هاست (رضایی، شرقی، ۱۳۹۹). طبق نتایج تحقیقات، استفادهٔ صحیح از نور روز در فضاهای آموزشی، سبب ارتقای سطح سلامت جسمی و روحی دانش‌آموزان، افزایش تمرکز و کیفیت یادگیری و به‌طورکلی بهبود کارایی آنان می‌شود (Heschong, Wright, and Okura, ۲۰۰۲). برای ارزیابیِ دو عامل مهم مؤثر بر آسایش بصری مرتبط با نور روز، یعنی کافی‌بودن مقدار نور دریافتی و عدم‌وقوع خیرگی آزاردهنده، از شاخص‌هایی استفاده می‌شود که نمایندهٔ چند متغیر همگن با ارزش‌های مختلف بوده و پس از ترکیب، در نهایت در قالب یک محدوده یا ارزش بیان می‌شوند و کیفیت روشنایی محیط را تعیین می‌کنند.

نور روز تنها بخش کمی از انرژی تابشی است که از طریق پنجره وارد می‌شود. بخش عمده‌ای از انرژی نور روز که به فضا وارد می‌شود تنها پس از چند بازتاب به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود. در اقلیم‌های گرم ممکن است برای بخش‌های زیادی از سال سرمایش موردنیاز باشد و در این حالت استفاده از روشنایی الکتریکی و جلوگیری از ورود نور روز هر دو به بار سرمایش افزوده می‌شوند (Brown & Henze, ۲۰۱۷) . اعتقاد بر این است که طراحی خوب نور روز منجر به کاهش مصرف روشنایی الکتریکی و همچنین کاهش مصرف انرژی خواهد شد. (شکل ۱)

این تفکرات ناشی از مفاهیم رایج تحقیق Crisp (۱۹۷۸) و هانت (۱۹۸۰) در دهه ۱۹۷۰ است. در ابتدا پتانسیل صرفه‌جویی در انرژی براساس روشنایی داخلی مستخرج از فاکتور نور روز و توزیع نور روز با استفاده از برخی مدل‌های کنترل نورپردازی صورت پذیرفت (هانت، ۱۹۸۰). مدل‌های کنترل نورپردازی بر مبنای تنظیم دستی از الگوهای مشاهده شده حاصل شدند. در واقع فرم‌هایی از تنظیم زمان‌بندی‌شده یا کنترل اتوماتیک برای اطمینان از صرفه‌جویی موردنیاز بودند و تعدادی فرمول‌های کاملاً تئوریک برای کنترل میزان اشغال و کنترل الکتریکی روشنایی مورداستفاده قرار گرفتند (Crisp: ۱۹۷۸) .



شکل ۱: مقایسه تأثیر گروه‌های مختلف بر اهداف ساختمان (محمدی، مفیدی، طاهباز، ۱۳۹۸)

به دو دلیل متمرکز شده است: اولاً، حدود ۶۰ درصد مصرف انرژی در ساختمان‌های ما توسط برق صورت می‌گیرد، و به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های تغییرات آب‌وهوایی، منطقی‌تر است که از انرژی خورشیدی و البته انرژی تجدیدپذیر استفاده کنیم. ثانیاً، انتخاب اقلیم گرم و خشک به‌عنوان محور تحقیق، فرصت مناسبی را برای استفاده غیرمستقیم و کارآمد از نور خورشید در ساختمان‌ها فراهم می‌کند. در این شرایط آب‌وهوایی نور خورشید برای گرم‌کردن و تکمیل نورپردازی فضای داخلی است؛ درحالی‌که در این اقلیم، تابش مستقیم خورشید به دلیل مشکلات گرمای بیش از حد مورد استقبال قرار نمی‌گیرد و تلاش برای جلوگیری از آن است. ازآنجاکه این تحقیق قصد دارد به دانش ساختمان‌های مدارس و آموزشی کمک کند. هدف این تحقیق با مرورِ ساختاریافته پیشینهٔ موضوع و توصیف و تحلیل محتوای آن؛ به‌دنبال بررسی و تحلیل هندسه سقف و ارتفاع (متغیر مستقل) و کیفیت آسایش بصری و بهره‌وری انرژی (متغیر وابسته) در کلاس‌های درس و شناسایی و تشریح روش‌ها و ابزارهای قابل‌اتکا برای سنجش، کمی‌سازی و پیش‌بینی رابطهٔ بین این دو و در نهایت تبیین خلأهای پژوهشی مرتبط با موضوع تحقیق است.

روش مطالعات پایه، شناخت مفهوم کیفیت محیطی داخلی، پیشینه و عوامل آن، به روش کتابخانه‌ای صورت‌گرفته است و ابزار اصلی در این مرحله کتاب‌ها، مقالات، پایان‌نامه‌ها و اسناد مدارک موجود است. وضعیت نور روز و دما به روش کمی و از طریق شبیه‌سازی رایانه‌ای به هدف بررسی این عوامل در کلاس‌ها صورت پذیرفته است. از میان‌برنامه‌های مختلف طراحی ساختمان مفهومی، گرس‌هاپر و پلاگین هانی‌بی به‌عنوان ابزاری شبیه‌سازی انتخاب شده است. این یک رویکرد منحصربه‌فرد برای طراحی مفهومی است که یک رابط طراحی بصری سه‌بُعدی را با مجموعه‌ای کامل از توابع آنالیز عملکرد و نمایشگرهای اطلاعات تعاملی همراه می‌کند (مارش، ۲۰۰۳). این برنامه‌ای مناسب برای بررسی عوامل مؤثر در روشنایی روز کلاس‌های درس است. میزان آسایش راحتی و حرارتی افراد بر مبنای پراکندگی نور روز در محیط داخلی باتوجه‌به تأثیر ارتفاع کلاس و هندسه سقف بر شدت تابش نور روز مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج برخی از عوامل مؤثر در تأثیر بازتابش نور روز در کلاس‌ها را برجسته خواهد کرد. برای بررسی آسایش افراد، در قالب نور مفید روز (DLA) و شاخص احتمال خیرگی (DGP) حاصل از تابش و بازتابش نور که مقادیر بیش از ۴۵ درصد برای این شاخص، وقوع خیرگی غیرقابل‌تحمل برای بیننده را نشان می‌دهد و برای بررسی آسایش حرارتی افراد (EUI) مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. یکی از جنبه‌های جدید در این مطالعه، مدل‌سازی و شبیه‌سازی بر اساس پراکندگی نور روز است؛ برای این منظور دو کلاس (حجره) از مدارس تاریخی اقلیم گرم و خشک ایران مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد. برای مقایسه حالت‌های مختلف چند شاخص موردتوجه گرفتند که در ادامه بعد از بیان مفهوم کلی کیفت و کمیت روشنایی معرفی می‌شوند.

در این پژوهش تجزیه‌وتحلیل پارامتریک با استفاده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار گرس‌هاپر با استفاده از پلاگین لیدی باگ و هانی‌بی جهت بررسی شاخص‌های روشنایی DLA ، UDLI و خیرگی و بهره‌وری انرژی EUI از طریق نحوه تأثیر آن‌ها با تغییرات مؤلفه‌های هندسه سقف و ارتفاع کلاس در مدل کلاس‌های درس مدارس سنتی نمونه در اقلیم گرم و خشک انجام شد. ابتدا نمونه‌های مورد بررسی با جزئیات حجره‌های انتخابی معرفی می‌شوند در ادامه نرم‌افزار

مورداستفاده و صحت سنجی آن بررسی شده و در نهایت به بیان شیوه شبیه‌سازی با ذکر متغیرها و پیش‌فرض‌ها در نرم‌افزار می‌پردازیم.

۱. کیفیت و کمیت نور روز

پنجره یکی از عناصر کالبدی کلاس درس است که امکان ورود نور به داخل فضای کلاس و دیدن محیط بیرون را فراهم می‌کند و در نتیجه، افزایش کارایی آموزشی را دربر خواهد داشت. کیفیت بالای روشنایی در محیط کلاس بستگی به توزیع متناسب و متعادل میزان کافی نور بر سطح میز، سطوح دیوارها، سقف، تخته سیاه و وایت‌برد و ... کنترل نفوذ ورود اشعه مستقیم خورشید، جلوگیری از نور زننده و خیرگی، فراهم‌کردن روشنایی ملایم و یکنواخت پنجره‌هایی برای دید استراحت چشم، فکر و ارتباط با فضای بیرون، وجود ابزار سایه‌انداز بیرونی جهت به‌حداقل‌رساندن کسب گرمای ناخواسته خورشید در طول فصول گرم، هماهنگ‌سازی سیستم بهره‌گیری از نور روز با سیستم روشنایی الکتریکی و طرح‌ریزی دقیق پلان و نقشه فضاهای داخلی دارد (پورناصری، ۱۳۹۰). کیفیت روشنایی اصطلاحی کلی است و نشان‌دهندهٔ چند ویژگی فضایی است که با نور طبیعی روشن می‌شود، این ویژگی‌ها عبارت‌اند از: ۱- توزیع بهتر نور؛ ۲- یکنواختی روشنایی؛ ۳- عدم وجود خیرگی؛ ۴- ارائه بهتر رنگ؛ ۵- عدم وجود لرزش و سوسو در نور طبیعی؛ ۶- برجسته‌نمودن و ارائه اجسام به‌طور سه‌بَعدی (نیل‌فروشان، ۱۳۹۳). با شبیه‌سازی نور روز می‌توان مقدار نور روز را در فضا محاسبه کرد. معمولاً فضایی که از کمیت نور مناسبی برخوردار باشد، کیفیت خوبی نیز دارد. از لحاظ کمیت، میزان روشنایی موردنیاز برای فضاها نتایج متفاوتی را در بهره‌وری خواهد داشت. روشنایی کم‌تر از ۱۰۰ لوکس، برای فضاهای عمومی و عبوری می‌تواند خوب باشد، اما در فضاهای آموزشی و علی‌الخصوص کلاس‌های درس کفایت نمی‌کند، روشنایی ۵۰۰-۱۰۰ لوکس، برای استفاده به ترکیب هم‌زمان با نور مصنوعی نیازمند است و روشنایی بیشتر از ۲۰۰۰ لوکس سبب ایجاد خیرگی و مشکلات گرمایشی می‌شود (محمدی، مفیدی، طاهباز، ۱۳۹۹). لازم به ذکر است یک لوکس، شدت روشنایی است که از یک شمع استاندارد در فاصله یک‌متری توسط سطح یک مترمربعی دریافت شود یا بر آن سطح تابیده شود.

۲. آسایش بصری

آسایش بصری واژه‌ای است که در علوم مربوط به نور روز و نیز روان‌شناسی انسان مورداستفاده قرار می‌گیرد. بااین‌وجود، تعریف جامعی در رابطه با این مفهوم به‌گونه‌ای که مورد قبول جامعه حرفه‌ای و علمی باشد ارائه نشده است. برخی محققین آسایش بصری مطلوب را براساس میزان روشنایی تعریف کرده‌اند، درحالی‌که تعدادی از صاحب‌نظران، تعادل درخشندگی را ملاک ارزیابی آن می‌دانند و برخی نیز میزان رضایت در ارتباط با محیط بصری را به‌عنوان ملاک سنجش آسایش بصری پذیرفته‌اند. غالب محققین بر این باور هستند که آسایش بصری با کاهش مشکلات مربوط به خیرگی فراهم می‌شود و این‌گونه به نظر می‌رسد که تمام فاکتورهای بر پایه خیرگی ازجمله شاخص خیرگی نور روز (DGE)، احتمال خیرگی نور روز (DGP) و رتبهٔ عامل ایجاد خیرگی یکپارچه که در پژوهش‌های مختلف انجام شده است باهدف

بررسی آسایش بصری بوده است. به‌طورکلی آسایش بصری براساس عوامل مختلف ازجمله، محیط فیزیکی، احساس افراد و رفتار آن‌ها حاصل می‌گردد (تحصیل دوست و همکاران، ۱۳۹۸). روشی دیگر برای محاسبه آسایش بصری، محاسبه آسایش درخشندگی است. طبق پژوهشی موانع خارجی مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر روی آسایش درخشندگی است، درحالی‌که درک یکنواختی فاکتور اصلی در احساس ساکنین نسبت به نور روز است. قابلیت تصور و رفتار افراد نیز از عوامل مؤثر در آسایش درخشندگی هستند(Li, Wang, & Peng, ۲۰۲۰).

۳. خیرگی

خیرگی از دیدگاه CIE[۱]، این‌گونه تعریف می‌شود؛ موقعیتی از دید که در آن عدم‌آسایش یا کاهش توانایی در دیدن جزئیات یا اشیا، در اثر توزیع نامناسب طیف روشنایی، یا کنتراست شدید صورت می‌گیرد (Pierson, Wienold & Bodart, ۲۰۱۷). خیرگی بر دو نوع است، مخل توانایی و مخل آسایش. به‌عنوان‌مثال خیرگی ناتوان‌کننده در مدارس زمانی استفاده می‌شود که پنجره در دیواری باشد که تخته در آن قرار دارد. خیرگی مخل آسایش، به ابعاد و شکل فضا، انعکاس سطوح، شدت روشنایی، نوع روشنایی‌ها، موقعیت ناظر، خط دید بستگی دارد (Group, ۲۰۱۲). برای کاهش خیرگی مستقیم باید از نفوذ نور خورشید به داخل اتاق جلوگیری کرد و برای کاهش خیرگی انعکاس‌یافته، باید از سطوح مات استفاده کرد. خیرگی مخل آسایش بیشتر از خیرگی ناتوان‌کننده در معماری اتفاق می‌افتد و به نور آسمان و زاویهٔ دید مرتبط است (Dfee,۱۹۹۹). از دیدگاه IESNA[۲] خیرگی، احساس روشنایی بیشتر از میزانی که چشم با آن تطابق دارد در میدان دید است که باعث آزار، ناراحتی و کاهش عملکرد بینایی می‌شود (IESNA, ۲۰۰۰). خیرگی به‌طور معمول به چهار محدودهٔ خیرگی غیر قابل ادراک، خیرگی قابل‌قبول، خیرگی ناخوشایند یا خیرگی ناتوان‌کننده طبقه‌بندی می‌شود (Jakubiec & Reinhart, ۲۰۱۲). لازم به ذکر است مقادیر خیرگی از نظر میزان راحتی چشم در دسته‌بندی زیر قرار می‌گیرند:

- خیرگی نامحسوس [DGP < ۰.۳۵]
- خیرگی قابل احساس [۰.۴ > DGP > ۰.۳۵]
- خیرگی آزاردهنده [۰.۴۵ > DGP > ۰.۴]
- خیرگی غیرقابل‌تحمل [DGP > ۰.۴۵] (پوراحمدی، و همکاران، ۱۳۹۸)

۴. شاخص‌های ارزیابی نور روز

۴.۱. شاخص DLA

(DAYLIGHT AUTONOMY) این شاخص به‌عنوان درصد اوقاتی که در طول روز که یک نقطه معین از فضا بالاتر از یک سطح روشنایی مشخص است، نمایان می‌شود. در ابتدا توسط انجمن Suisse des Electriciens در سال ۱۹۸۹ پیشنهاد شد و بین سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۴ توسط کریستف راینهارت ارتقا یافت. این شاخص اطلاعات جغرافیایی مربوط به موقعیت جغرافیایی را به‌صورت سالانه درنظر می‌گیرد و درصد زمان‌هایی که در زمان استفاده از فضا،

ست‌پوینت‌ها بیش از حد تعریف شده (۳۰۰ لوکس) نور دریافت می‌کنند را نشان می‌دهد. این مقیاس از لوکس محسوس‌تر بوده و بهتر قابلیت درک میزان نور لازم در فضا را می‌دهد(Standard IES ۲۰۱۱) .

۴.۲. شاخص UDLI

با ارزیابی این شاخص به‌طور دقیق‌تر می‌توانیم عملکرد روشنایی را بررسی کنیم. این شاخص مانند DLA بوده فقط به ۳ قسمت تقسیم شده است.

UDLI<۱۰۰ : درصد اوقاتی که ست‌پوینت‌ها به‌طور میانگین در بازه زمانی داده شده کم‌تر از ۱۰۰ لوکس نور دریافت کنند.

UDLI: ۱۰۰-۲۰۰۰: درصد اوقاتی که ست‌پوینت‌ها به‌طور میانگین در بازه زمانی داده شده بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس نور دریافت کنند.

UDLI> ۲۰۰۰: درصد اوقاتی که ست‌پوینت‌ها به‌طور میانگین در بازه زمانی داده شده بیشتر از ۲۰۰۰ لوکس نور دریافت کنند.

۴.۳. شدت مصرف انرژی (EUI)

یکی از مهم‌ترین متغیرهای موردتوجه در مبحث مدیریت مصرف انرژی در ساختمان‌های با کاربری‌های مختلف، شاخص مصرف انرژی است که به‌عنوان محکی قابل‌قبول جهت برآورد وضعیت مصرف انرژی موجود مورداستفاده قرار می‌گیرد. باتوجه‌به رابطهٔ مستقیم و تأثیرگذار نور روز و کارایی انرژی در ساختمان لذا انرژی مورد بعدی تحلیل و بررسی است(Borgstein et al., ۲۰۱۶). در ادامه کار برای بررسی مصرف انرژی از شاخص EUI استفاده شد که میزان مصرف انرژی را در واحد سطح بیان می‌کند، با واحد اندازه‌گیری Kwh/m^2 و معیار مناسبی برای مقایسه مصرف انرژی است. برای آنالیز توسط نرم‌افزار از موتور انرژی پلاس استفاده شد بدین صورت که توسط اینترفیس راینو مدل اتاق در محیط گرس‌هاپر به پلاگین هانی بی منتقل شده و پس از تعریف مشخصات حرارتی مصالح، برنامه زمان‌بندی، فایل آب‌وهوایی منطقه و ... برای آنالیز مصرف انرژی به موتور معتبر انرژی پلاس فرستاده شده و دوباره نتایج در هانی‌بی قابل‌مشاهده است.

براساس تعاریف ارائه شد می‌توان مشاهده نمود که شاخص‌های ارزیابی مختلف ادراکات متفاوتی از شرایط نور روز در فضا را ارائه می‌دهند. از سویی دیگر، ازآنجاکه عملکرد نور روز در هرگونه فضایی بستگی به جنبه‌های مختلفی دارد، طرح مناسب نور روز باید با استفاده از شاخص‌های مناسب به جمع‌آوری اطلاعات در مورد تمام اثرات نور روز در آن فضا انجام پذیرد. پژوهش‌های کمی چندین شاخص نور روز را به‌طور مؤثر ارزیابی کرده‌اند در نتیجه منجر به انتخاب شاخص مناسب جهت طراحی بهینه نور روز در فضاهای مختلف شده است. ازاین‌رو در این پژوهش با بررسی شاخص‌های ارزیابی مؤثر نور روز جهت تعیین تطابق آن‌ها با نیازهای کالبدی کلاس درس در جهت انتخاب مناسب‌ترین حالت با اهداف عملکردی در این‌گونه از فضاهای آموزشی پرداخته می‌شود.

۵. مشخصات اقلیمی و جغرافیایی نمونه‌های مورد بررسی

در این پژوهش برای توسعه قابلیت تعمیم نتایج، باید باتوجه‌به ویژگی‌های معماری و ساختمانی متداول اقلیم گرم و خشک باشد. به‌این‌ترتیب در انتخاب مدول پایه شبیه‌سازی، جامعه آماری شامل کل مدارس سنتی اقلیم گرم و خشک است. باتوجه‌به وسعت این بخش دو شهر در بخش مرکزی این اقلیم که دارای قدمت بیشتر و بافت سنتی سالم‌تری هستند انتخاب شد. دو مدرسه در شهر یزد و دیگری در اصفهان برای انجام شبیه‌سازی انتخاب شدند. هر دو این مدارس هم‌اکنون نیز کاربری خود را حفظ کرده و مدارس نمونه موفق در طراحی از نظر نور روز هستند. برای این پژوهش، به‌منظور روند صحیح محاسبات آزمایش فیزیکی و شبیه‌سازی‌های نرم‌افزاری، تعدادی از متغیرها یا پیش‌فرض‌های وضع موجود تعیین می‌گردد. زمان تعیین‌شده برای شبیه‌سازی در محدوده سال تحصیلی ۱ مهر ۲۳ سپتامبر (تا ۱ تیر ۲۲ژوئن) درنظر گرفته شده است، و در ساعات ۸ صبح لغایت ۱۶ بعدازظهر.

اقلیم گرم و خشک، محدودهٔ مرکزی، با عرض‌های جغرافیایی ۳۲°۶۸'N و طول جغرافیایی ۵۱°۶۵'E (اصفهان) و ۳۱°۸۹'Nو طول جغرافیایی ۵۴°۳۶'E (یزد) برای این محاسبات درنظر گرفته شده است. برای محاسبات انرژی، اقلیم گرم و خشک باید به‌صورت کد بین‌المللی تعریف بشود، پس از بررسی‌های لازم، کدBW (اقلیم بیابانی)[1] برای این اقلیم درنظر گرفته شده است.

۶. اجزای روشنایی روز در کلاس‌های موردمطالعه (حجره)

حجره‌ها (اتاق مطالعه) اتاق‌هایی نسبتاً طولانی هستند که در اطراف حیاط قرار دارد و برای تحصیل و همچنین اسکان شاگردان از آن‌ها استفاده می‌شود. هرکدام معمولاً از طریق فضای نیمه‌باز کوچک که می‌تواند به‌عنوان یک بخش سایه‌انداز به حیاط متصل می‌شود. مؤلفه‌های ورود نور در حجره پنجره‌های جانبی هستند. مؤلفه اصلی نورپردازی یک پنجره کوچک (شکاف) بالای ورودی است که معمولاً توسط یک صفحه مشبک پوشانده شده است. ویژگی مهم این پنجره‌ها این است که می‌توانند نور روز تا اعماق اتاق فراهم کنند. پنجره‌های درب ورودی دومین مؤلفه‌ای هستند که نور طبیعی را به داخل اتاق می‌آورند. شکل و موقعیت پنجره‌ها بر نحوهٔ توزیع نور روز تأثیر می‌گذارد.

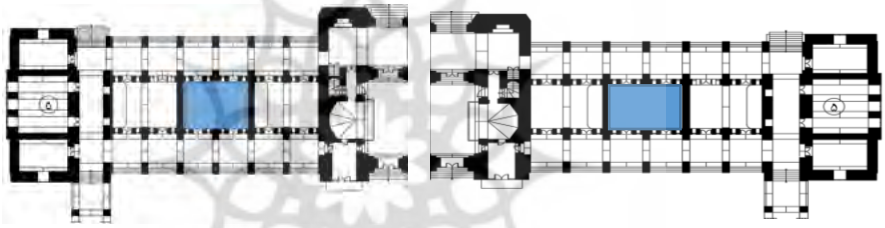
۶.۱. مدرسه ایرانشهر یزد

مدرسه ایرانشهر اثر آندره گدار در سال ۱۳۱۳ در یزد بنا شد. این مدرسه ساختمانی یک طبقه با نمایی از آجر زردرنگ است که به شکل نیم‌حلقه در میان بستر طرح قرار گرفته است. کلاس‌های درس، اتاق‌های اداری و کتابخانهٔ این بنا در تراز همکف (پشت رواق‌های حیاط اصلی) قرار گرفته، و زیرزمین نیز به آزمایشگاه‌های مدرسه اختصاص‌یافته است. کلاس‌های درس و فضاهای کمک‌آموزشی همچون کتابخانه و آزمایشگاه و حیاط وسیع مدرسه، آن را به نمونه‌ای از مدارس سنتی ولی هماهنگ با تحولات نظام آموزشی کشور تبدیل می‌کند. عامل اتصال بدنهٔ اصلی با بازوهایی در دو طرف، رواقی دوسویه است که بسیار شفاف‌تر از همه عناصر دیگر نما دیده می‌شود.

این رواق به بخش انتهایی نما منتهی می‌شود؛ بخشی که خود حجمی تقریباً بسته و متقارن است. طرح نمای آن عبارت است از سطوح بسته با روزنه‌های کوچک که دهانه‌های مکرر رواقی کوتاه را در میان می‌گیرند. دو حجره از این بنا برای شبیه‌سازی در این پژوهش انتخاب شدند. (شکل ۲)

حجره شماره یک: حجره انتخابی در ضلع شمالی قرار داشته و تنها از جنوب نور می‌گیرد در این حجره ۶ نورگیر وجود دارد که ۲ نورگیر اصلی از زمین فاصله‌ای نداشته و ۲.۸۰ متر ارتفاع دارند پنجره بعدی با ارتفاع ۸۸ سانتی‌متر با okb ۹۰ در بالای ورودی اصلی قرار گرفته است.

حجره شماره دو: حجره انتخابی در ضلع شمالی قرار داشته و تنها از شمال نور می‌گیرد. در این حجره ۳ نورگیر وجود دارد که ۲ نورگیر اصلی از زمین فاصله‌ای نداشته و ۱.۸۰ متر ارتفاع دارند. پنجره بعدی با ارتفاع ۸۴ سانتی‌متر با okb ۲.۲۰ در بالای ورودی اصلی قرار گرفته است.



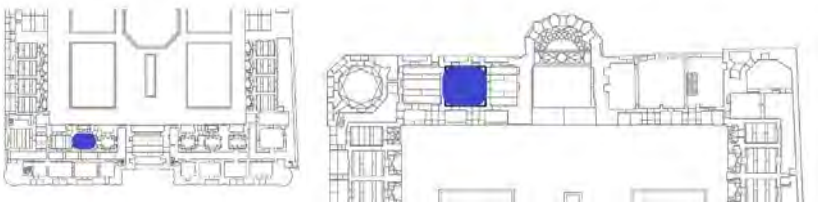
شکل ۲. موقعیت اتاق انتخابی اول و دوم در پلان(منبع: نگارنده)

۶.۲. مدرسه چهارباغ اصفهان

مدرسه چهارباغ که مدرسه سلطانی و مدرسه مادرشاه نیز نامیده می‌شود، در سال ۱۱۲۶ هجری قمری به‌منظور تدریس علوم دینی به طلاب تأسیس شد. این مدرسه آخرین بنای تاریخی باشکوه دوران صفوی در اصفهان است. مدرسه چهارباغ که به قول بسیاری از محققین هم مدرسه و هم مسجد بوده‌است، با ۸۵۰۰ متر مربع مساحت در ضلع شرقی خیابان چهارباغ قرار دارد. این بنای باشکوه علاوه‌بر معماری بی‌نظیر دارای دیدنی‌هایی همچون کاشی‌کاری‌های منحصربه‌فرد مدخل مدرسه و ... است. دو حجره بعدی نیز از این بنا انتخاب شده است: (شکل ۳)

حجره شماره سه: حجره انتخابی در ضلع شمالی قرار داشته و تنها از جنوب نور می‌گیرد در این اتاق ۳ نورگیر وجود دارد که ۲ نورگیر اصلی از زمین فاصله‌ای نداشته و ۱.۸ متر ارتفاع دارند پنجره بعدی با ارتفاع ۸۴ سانتی‌متر با okb ۲.۲۰ در بالای ورودی اصلی قرار گرفته است.

حجره شماره چهار: اتاق انتخابی در قسمت جنوب بنا با پنجره رو به شمال بوده است. ارتفاع سقف ۴.۲ متر و دارای ۳ پنجره هستند که ۲ پنجره اصلی با okb صفر بوده و نقش در نیز دارند. این پنجره‌ها ۱.۸۰ متر ارتفاع دارند پنجره بعدی با ارتفاع ۸۴ سانتی‌متر با okb ۲.۲۰ در بالای ورودی اصلی قرار گرفته است.



شکل ۳: موقعیت حجره انتخابی سه و چهارم (منبع: نگارنده)

۷. شیوه شبیه‌سازی

مدل‌سازی اولیه و نرم‌افزار پایه در این پژوهش راینو است و برای شبیه‌سازی انرژی و روشنایی از پلاگین هانی‌بی در محیط گرس‌هاپر استفاده شده است که موتور پردازش آن برای شبیه‌سازی انرژی، انرژی پلاس و برای شبیه‌سازی روشنایی رادیانس است. پلاگین هانی‌بی که در سال ۲۰۱٤ معرفی شده است، رایگان است و بر روی گرس‌هاپر نصب می‌شود. هانی‌بی اتصال میان گرس‌هاپر و چند نرم‌افزار مطرح تحلیلی و شبیه‌سازی محیطی و انرژی از قبیل انرژی پلاس، رادیانس و اپن استودیو را برقرار می‌کند و بسیاری از ویژگی‌های این نرم‌افزارها را به شیوه پارامتریک ممکن می‌سازد و همه آن‌ها را در یک محیط کنار هم قرار می‌دهد، ازاین‌رو می‌توان محاسبات نور روز را در کنار محاسبات حرارت انجام داد. با این افزونه، می‌توان مصالح و نوع آسمان را مشخص کرد، نوع محاسبات دلخواه لحظه‌ای (بر پایه موتور رادیانس) سالانه (بر پایه موتور دیسیم) را تعیین کرد و داده‌ها را به‌صورت عکس، نمودار، یا اعداد برداشت کرد (صادقی پور و دیگران ۲۰۱۳). اصول طراحی زیست‌محیطی در مراحل مفهومی طراحی به‌طور مؤثر در هانی‌بی موردتوجه قرار می‌گیرند؛ بنابراین این ابزار برای بررسی عوامل تأثیرگذار بر تابش و انتشار نور روز در کلاس‌های درس مناسب است.

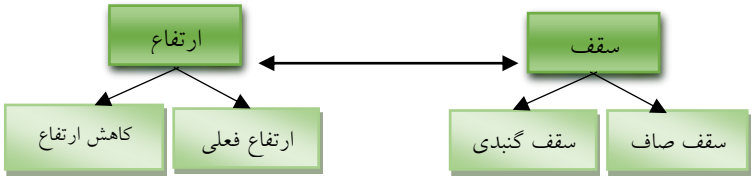
۸. متغیرها و پیش‌فرض‌های شبیه‌سازی

در این تحقیق دو متغیر برای ارزیابی نور روز و انرژی درنظر گرفته شده است:

- تأثیر ارتفاع: بنا بر ارتفاع‌های موجود حجره‌ها که ۶ و ۴.۲ متر بوده ارتفاعی نزدیک به سقف‌های مدارس جدید برای مقایسه پیشنهاد شده است.

- تأثیر فرم سقف: فرم سقف موجود سقف صاف بوده و برای بررسی تأثیر بازتابش فرم منحنی سقف سقفی گنبدی (معماری بومی) جایگزین سقف قبلی خواهد شد. این متغیرهای کالبدی به‌صورت ماتریسی مورد بررسی قرار گرفتند، به‌طوری که در هر مرحله یک آیتم مورد آنالیز با متغیرهای دیگر بررسی می‌شود و فقط متغیر مورد بررسی در هر بخش نسبت به حالت فعلی تغییر پیدا کرد تا بهترین گزینه مشخص شود. (شکل ۴).

ازجمله پیش‌فرض‌ها برای شبیه‌سازی رنگ و مصالح است که آجر و رنگ سفید طبق وضع موجود حجره‌ها انتخاب شد. آنالیز انرژی، خیرگی و نور روز در بازه زمانی مهر تا خرداد (زمان استفاده از مدرسه) و در ساعات ۸ تا ۱۶ بعدازظهر انجام می‌شود.



شکل ۴: آنالیز متغیرهای کالبدی

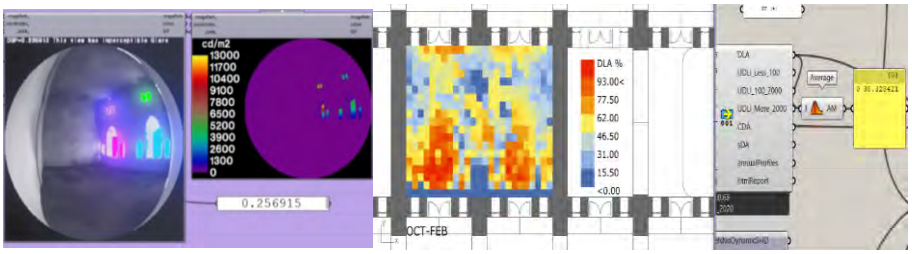
۹. یافته‌ها

بعد از معرفی شاخص‌ها و متغیرها با هدف بررسی میزان روشنایی نور روز و توزیع نور روز در فضا با تغییر برخی از عوامل کالبدی کلاس مانند ارتفاع و فرم سقف تجزیه‌وتحلیل صورت‌گرفته است. در این قسمت چهار حجره از دو مدرسه سنتی چهارباغ اصفهان و ایرانشهر یزد انتخاب شده و متغیرهای هرکدام به‌صورت ماتریسی مورد آنالیز قرار می‌گیرد. حجره‌های انتخابی بدین صورت است:

- حجره شماره یک: کلاس جنوبی مدرسه ایرانشهر یزد
- حجره شماره دو: کلاس شمالی مدرسه ایرانشهر یزد
- حجره شماره سه: کلاس جنوبی مدرسه چهارباغ اصفهان
- حجره شماره چهار: کلاس شمالی مدرسه چهارباغ اصفهان

۹.۱. حجره شماره یک (یزد)

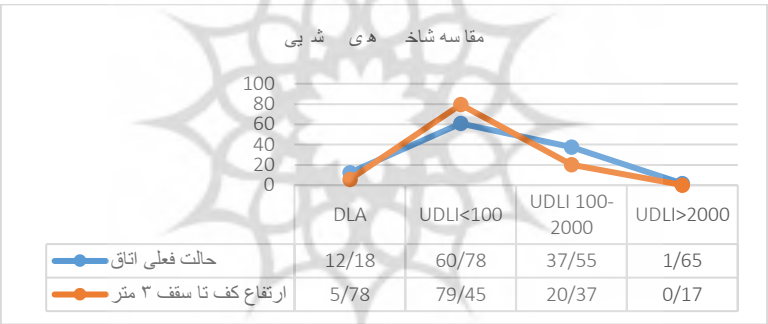
بررسی ویژگی‌های وضع موجود: در این قسمت آنالیز روشنایی حجره شماره ۱ در شهر یزد انجام گردید و DLA یا درصد اوقاتی که ست‌پوینت‌ها لوکس بالای ۳۰۰ را ثبت کرده بودن؛ در شکل ۵ نمایش‌داده‌شده است. میانگین این شاخص در حجره انتخابی ۳۸.۳۲٪ است، همان‌طورکه در شکل مشخص است بیشتر فضای کلاس نور مناسبی دریافت می‌کنند.



شکل ۵: آنالیز روشنایی حجره شماره ۱(منبع: نگارنده).

شبیه‌سازی UDLI نیز نشان داد ۹۰.۹۱٪ اوقات روشنایی دریافتی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس بوده که بسیار مطلوب است. همچنین ۱ درصد اوقات بالای ۲۰۰۰ و ۸٪ نیز زیر ۱۰۰ لوکس روشنایی اندازه‌گیری شد. مصرف انرژی با درنظرگرفتن برنامه زمان‌بندی و مصالح تعریف‌شده برای حجره شماره ۱ و براساس اطلاعات موجود در مدرسه که عمدتاً آجر در سقف، کف و جداره‌ها بود، انجام شد. باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده ۱۵۴.۵۷ Kwh/m^2 انرژی مصرفی حجره بوده که به تفکیک شامل ۴۰.۰۷ Kwh/m^2 برای سرمایش، ۸۵.۸۷ برای گرمایش و ۲۸.۶۲ برای روشنایی است. خیرگی آنالیز شده باتوجه‌به شکل ۵ با مقدار ۰.۲۵۶۹، cd/m^2 در حجره شماره ۱ در محدوده مطلوب قرار می‌گیرد. در این آنالیز ایوان به‌عنوان سایه‌انداز درنظر گرفته شده که باعث کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در خیرگی و فراهم‌کردن آسایش بصری شده است.

بررسی تأثیر ارتفاع سقف: در این آنالیزها ارتفاع حجره از ۶ متر به ۴ متر کاهش یافت تا تأثیر ارتفاع اتاق بر نور روز بررسی شود و با مدل فعلی این اتاق نیز مقایسه گردد. متعاقباً ۲ پنجره نزدیک به سقف با کاهش ارتفاع حذف شدند.

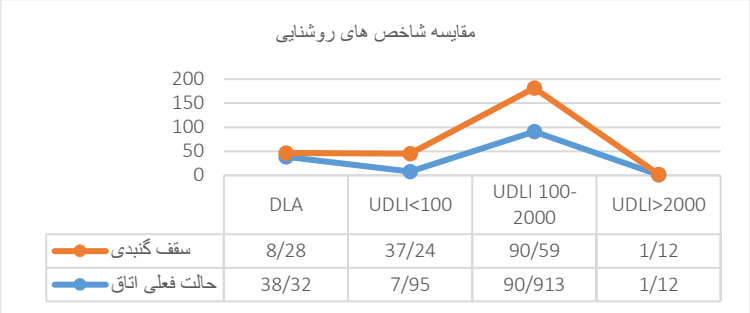


شکل ۶: مقایسه شاخص های روشنایی در حالت فعلی و بعد از تغییر ارتفاع

همان‌طورکه در شکل ۶ مشاهده می‌شود کاهش ارتفاع باعث کاهش میزان نور دریافتی در این حجره شده و نور به عمق اتاق نفوذ نمی‌کند، بدین‌صورت که ۱۴.۶۵٪ فضا بالای ۳۰۰ لوکس نور دریافت می‌کنند، بنابراین به نظر می‌رسد ارتفاع بلند حجره تأثیر قابل‌توجهی در عملکرد نور روز حجره دارد. میزان خیرگی با ۶٪ افزایش به ۰.۲۹ cd/m^2 رسیده است. ولی باید توجه داشت باتوجه‌به تعریف خیرگی نامطلوب در هر دو حالت شرایط آسایش بصری فراهم بوده و هر دو در محدوده خیرگی نامحسوس قرار دارند. اما کاهش ارتفاع مقدار خیرگی را افزایش می‌دهد. با کاهش ارتفاع انتظار می‌رفت مصرف انرژی کاهش پیدا کند که آنالیزها نشان داد حدود ۴٪ تغییر (۱۳۹.۰۳ kWh/m^2) ارتفاع باعث کاهش مصرف انرژی شد.

بررسی تأثیر فرم سقف: تغییر حالت سقف باعث شد تا فضای حجره ۹۵.۵۹٪ از نور بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس بهره می‌برد و تنها ۱.۱۲٪ بالاتر از ۲۰۰۰ لوکس بهره‌مند می‌شوند. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهندهٔ کاهش میزان خیرگی

به میزان ۲٪ با تغییر فرم سقف اتفاق می‌افتد. مصرف انرژی حجره مورد بررسی در این حالت با درنظرگرفتن سقف گنبدی شاهد کاهش ۲٪ در این راهکار هستیم.

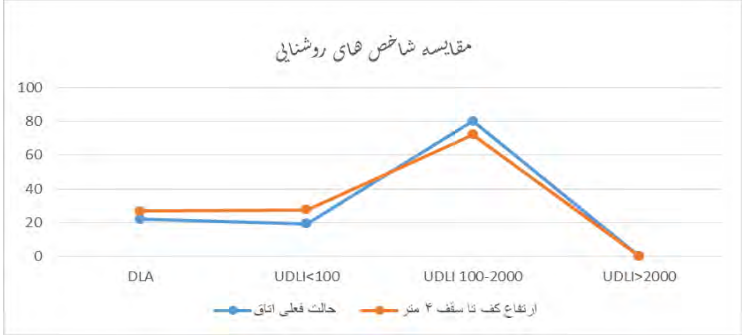


شکل۷. مقایسه شاخص‌های روشنایی سقف گنبدی و وضع موجود

۹.۲. حجره شماره دو (یزد)

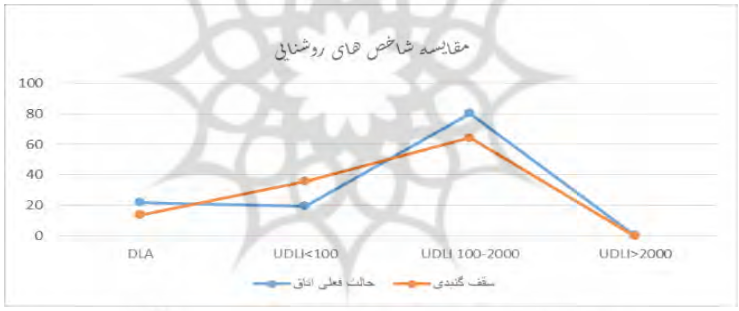
بررسی ویژگی‌های وضع موجود: روشنایی حجره شماره دو آنالیز گردید و درصد اوقاتی که ستپوینت‌ها لوکس بالای ۳۰۰ را ثبت کرده بودن ثبت گردید. میانگین این شاخص در اتاق انتخابی ۲۱.۹۹٪ است. خیرگی آنالیز شده با مقدار ۰.۱۲۱۵، cd/m^2 در اتاق شماره ۲ در محدوده مطلوب قرار می‌گیرد. در این آنالیز، ایوان به‌عنوان سایه‌انداز درنظر گرفته شده که باعث کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در خیرگی و فراهم‌کردن آسایش بصری شده است. مصرف انرژی باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده، ۱۶۶.۹۰ Kwh/m^2 انرژی مصرفی بوده که به تفکیک شامل ۵۱.۵۲ Kwh/m^2 برای سرمایش، ۸۶.۷۵ برای گرمایش و ۲۸.۶۲ برای روشنایی است.

بررسی تأثیر ارتفاع سقف: کاهش ارتفاع ۲ متری در کلاس شمالی باعث کاهش میزان نور دریافتی شده و نور طبیعی به عمق نفوذ نمی‌کند، بدین‌صورت که ۲۶.۸۴٪ فضا بالای ۳۰۰ لوکس نور دریافت می‌کنند، این نتایج نشان‌دهندهٔ افزایش ۱۰٪ شاخص DLA در اتاق شماره دو است. نمودار ضریب بازتابش نور روز، نشان‌دهندهٔ توزیع بازتابش نور روز یکنواخت‌تر نسبت به حالت قبل است. میزان خیرگی بدون تغییر قابل‌ملاحظه‌ای ۰.۱۲۲ cd/m^2 رسیده است. ولی باتوجه‌به تعریف خیرگی نامطلوب در هر دو حالت شرایط آسایش بصری فراهم بوده و هر دو در محدوده خیرگی نامحسوس قرار دارند. با کاهش ارتفاع به‌نظر می‌رسد مصرف انرژی کاهش پیدا کند که آنالیزها نشان داد به میزان اندکی حدود ۶٪ تغییر ارتفاع باعث کاهش مصرف انرژی گردید.



شکل۸. مقایسه شاخص‌های روشنایی اتاق شماره ۲ با تغییر ارتفاع

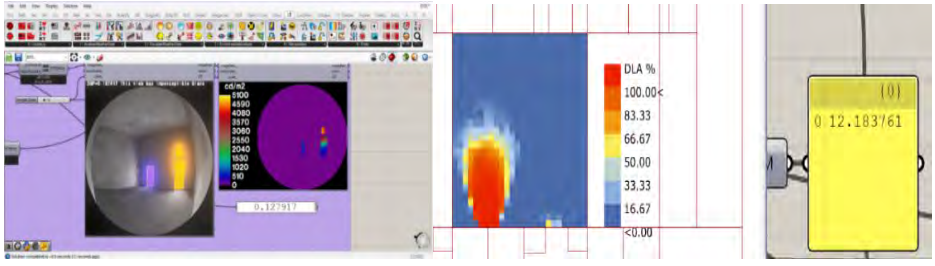
بررسی تأثیر فرم سقف: در رابطه با میزان نور با شاخص DLA، تغییر فرم سقف باعث کاهش ۲۲ درصد می‌شود. شاخص لوکس حجره شماره ۲ در این حالت ۱۳.۸ درصد است. این تغییر حالت باعث شده تا ۶۲ درصد فضای حجره از نور بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس بهره گیرد و تقریباً هیچ‌زمانی بالاتر از ۲۰۰۰ لوکس نباشد. تغییر فرم حجره باعث افزایش ۱۰ درصدی خیرگی می‌شود. شاخص خیرگی به ۰.۱۴۶۴ cd/m^2 می‌رسد. مصرف انرژی حجره مورد بررسی در این حالت، بدون تغییر محسوس به ۱۶۴.۳۱ Kwh/m^2 کاهش یابد.



شکل۹: مقایسه شاخص‌های روشنایی درحالت سقف گنبدی و حالت فعلی

۹.۳. حجره شماره سه (اصفهان)

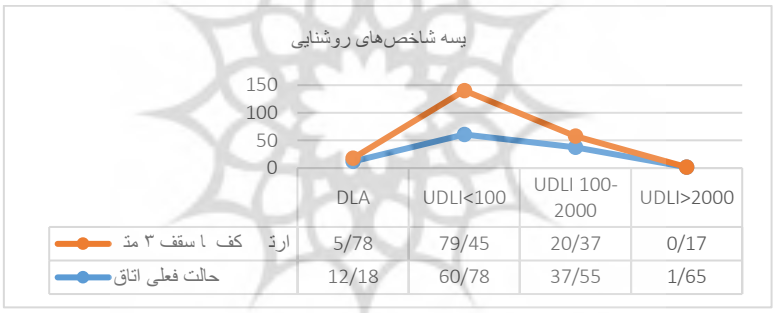
بررسی ویژگی‌های وضع موجود: با آنالیز روشنایی درصد اوقاتی که ست‌پوینت‌ها لوکس بالای ۳۰۰ را ثبت کردند، میانگین شاخص انتخابی ۱۲.۱۸ درصد است، همان‌طورکه در شکل ۱۰ مشخص است، بیشتر فضای کلاس نور مناسبی دریافت نمی‌کنند و پنجره قسمت شرق حجره به‌دلیل وجود ایوان نتوانسته به‌اندازه پنجره دیگر نور را وارد فضا بکند.



شکل ۱۰: آنالیز روشنایی حجره ۳ (منبع: نگارنده)

طبق آنالیزها در ماه‌های مهر تا تیر به‌طور میانگین حدوداً ۶۰ درصد اوقات میزان لوکس دریافتی زیر ۱۰۰ لوکس، ۳۷ درصد بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ و تقریباً ۱ درصد مواقع بالای ۲۰۰۰ لوکس است. خیرگی آنالیزشده باتوجه‌به شکل شماره ۱۰ مقدار ۰.۱۲۷ cd/m^2 در محدوده مطلوب و نامحسوس قرار می‌گیرد. انرژی مصرفی حجره ۱۰۱.۲ Kwh/m^2 بوده که به تفکیک شامل ۲۲.۲ Kwh/m^2 برای سرمایش، ۵۰.۲۶ برای گرمایش و ۲۸.۶۲ برای روشنایی است.

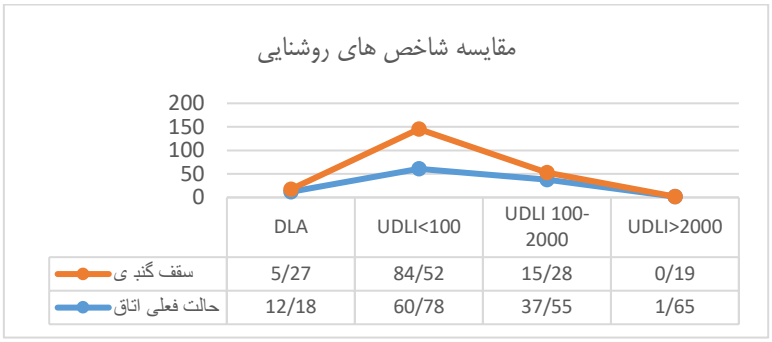
بررسی تأثیر ارتفاع سقف: در این حالت ارتفاع حجره از ۴.۲۲ متر به ۳ متر کاهش‌یافته تا تأثیر ارتفاع اتاق بر نور روز بررسی شود. ۵.۷۸ درصد فضا بالای ۳۰۰ لوکس نور دریافت می‌کند و ۷۹.۴۸ صد در نیز زیر ۱۰۰ لوکس نور دریافت می‌کند که میزان لوکس زیر ۱۰۰ در مقایسه با حالت فعلی این مقدار ۱۹ درصد بیشتر شده است. همچنین محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس نیز ۱۷ درصد کاهش یافت و هر دو تقریباً هیچ‌زمانی بالای ۲۰۰۰ لوکس نور دریافت نکردند؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد ارتفاع بلند حجره تأثیر قابل‌توجهی در عملکرد نور روز دارد و توزیع بازتابش نور روز یکنواخت‌تر نسبت به حالت قبل است. (شکل ۱۱)



شکل۱۱: مقایسه شاخص‌های روشنایی حالت فعلی و بعد از تغییر ارتفاع

با کاهش ارتفاع به‌نظر می‌رسد مصرف انرژی کاهش پیدا کند؛ اما آنالیزها نشان داد به میزان اندکی حدود ۴ درصد، تغییر ارتفاع باعث کاهش مصرف انرژی گردید. میزان خیرگی با ۶۸ درصد کاهش به ۰.۰۲۵ cd/m^2 رسید؛ ولی باید توجه داشت در هر دو حالت شرایط آسایش بصری فراهم است و هر دو حالت در محدوده خیرگی نامحسوس قرار دارند.

بررسی تأثیر فرم سقف: شکل شماره ۱۲ درارتباط‌با میزان نور DLA ۴۰٪ کاهش پیدا کرد؛ به‌طوری‌که از حالت سقف کوتاه‌تر هم به مقدار کمی کاهش دارد و تنها ۱۵ درصد فضا از نور بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس بهره می‌برد. خیرگی به میزان ۱۶درصد افزایش‌یافته است. با وجود افزایش چشمگیر روشنایی مصرف انرژی تقریباً ثابت باقی‌مانده است. به‌طوری با کاهش زیر ۱درصد هم اکنون به ۹۹.۲۴ Kwh/m^2 رسیده است.

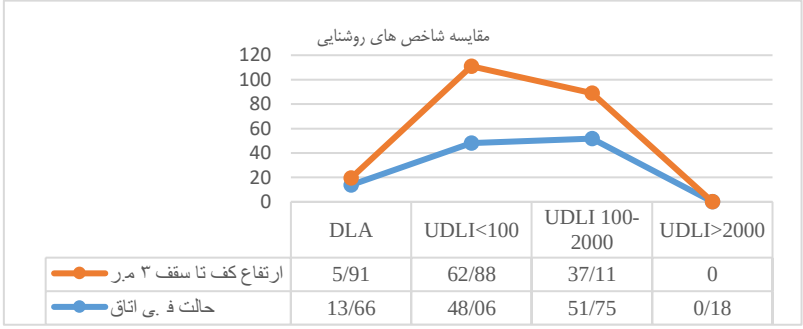


شکل ۱۲: مقایسه شاخص‌های روشنایی حالت سقف گنبدی با حالت فعلی

۹.۴. حجره شماره چهار (اصفهان)

بررسی ویژگی‌های وضع موجود: میانگین شاخص در اتاق انتخابی ۱۳.۶۶ درصد است که بیشتر فضای کلاس نور مناسبی دریافت نمی‌کند و پنجره اتاق به‌دلیل وجود ایوان نتوانسته به‌اندازهٔ پنجره دیگر نور را وارد فضا بکند. خیرگی آنالیزشده با مقدار ۰.۰۷۰۶ cd/m^2 در حجره شماره ۴ در محدودهٔ مطلوب و نامحسوس قرار می‌گیرد. در این آنالیز ایوان به‌عنوان سایه‌انداز درنظر گرفته شده که باعث کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در خیرگی و فراهم‌کردن آسایش بصری شده است. ۱۲۴.۷ Kwh/m^2 انرژی مصرفی حجره بوده که به تفکیک شامل ۲۵.۶ Kwh/m^2 برای سرمایش، ۷۰.۴۶ برای گرمایش و ۲۸.۶۲ برای روشنایی است.

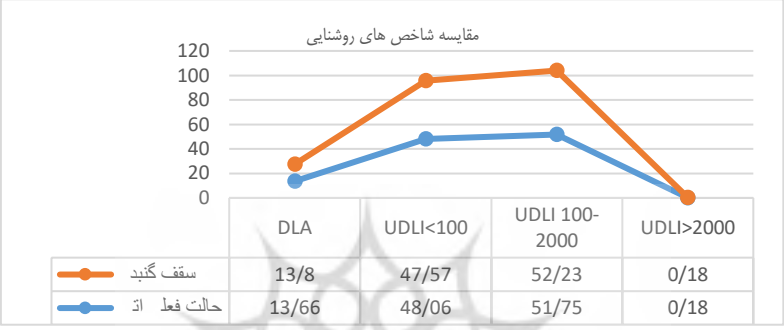
تأثیر ارتفاع سقف: با کاهش ارتفاع از ۴.۲ به ۳ متر ۵.۹۱ درصد فضا بالای ۳۰۰ لوکس نور دریافت می‌کند و ۶۲.۸۸ درصد نیز زیر ۱۰۰ لوکس نور دریافت می‌کند که میزان لوکس زیر ۱۰۰ در مقایسه با حالت فعلی اتاق این مقدار ۱۴.۸٪ بیشتر شده است. همچنین محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس نیز ۱۴.۶۴درصد کاهش یافت و هر دو تقریباً هیچ زمانی بالای ۲۰۰۰ لوکس نور دریافت نکردند. همان‌طورکه با مقایسه نمودارهای نور روز در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، نور روز به عمق نفوذ نمی‌کند؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد ارتفاع بلند حجره تأثیر قابل‌توجهی در عملکرد نور روز حجره دارد.



شکل ۱۳: مقایسه شاخصهای روشنایی حالت فعلی و بعداز تغییر ارتفاع

با کاهش ارتفاع انتظار می‌رفت مصرف انرژی کاهش پیدا کند که آنالیزها نشان داد به میزان اندکی حدود ۴ درصد تغییر ارتفاع باعث کاهش مصرف انرژی شد. میزان خیرگی با ۶۸ درصد کاهش به ۰.۰۲۵ کندلا بر مترمربع رسید.

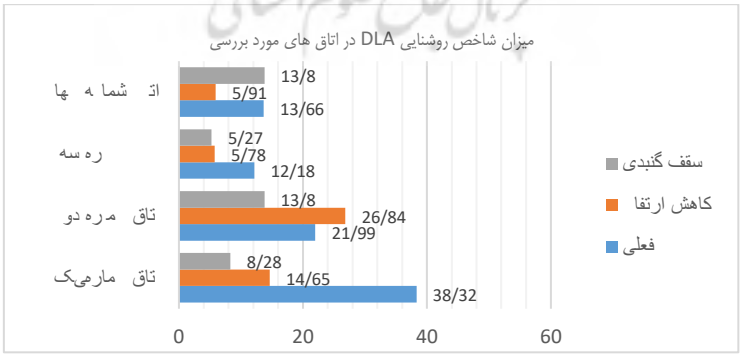
بررسی تأثیر فرم سقف: در بررسی فرم سقف و تأثیر آن بر میانگین DLA حجره شماره ۴ ، در این حالت ۵۲ درصد فضا از نور بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس بهره می‌برد و در فضای حجره تنها ۰.۱۸ درصد بالاتر از ۲۰۰۰ لوکس بهره‌مند می‌شود. (شکل ۱۴) در این بخش نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد میزان خیرگی به میزان ۴ درصد کاهش داشته است. مصرف انرژی حجره مورد بررسی در این حالت با درنظرگرفتن سقف گنبدی کاهش ۲ درصد دارد.



شکل ۱۴: مقایسه شاخص‌های روشنایی حالت سقف گنبدی با حالت فعلی

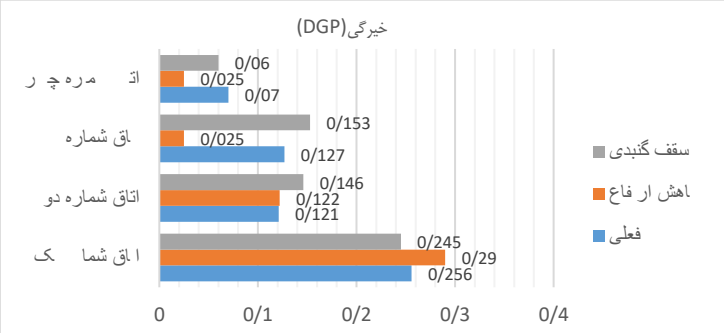
۱۰. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

باتوجه‌به آنالیزهای انجام شده و نتایجی که بیان شد نمودارهای زیر به‌صورت خلاصه عملکرد اتاق‌ها را در سه دسته بررسی متغیرهای نور روز و آسایش بصری (خیرگی) و مصرف انرژی نشان می‌دهند. طبق شکل ۱۵ روشنایی در هر ۴ حجره در بهترین وضعیت خود قرار دارد. در اتاق‌های جنوبی کاهش ارتفاع و سقف گنبدی تأثیر منفی بر میزان نور دریافتی داشته‌اند؛ ولی در اتاق‌های شمالی (شماره ۲ و ۴) کاهش ارتفاع تأثیرات متفاوتی را نشان می‌دهد و سقف گنبدی همچنان تأثیر منفی خود را نشان می‌دهد.



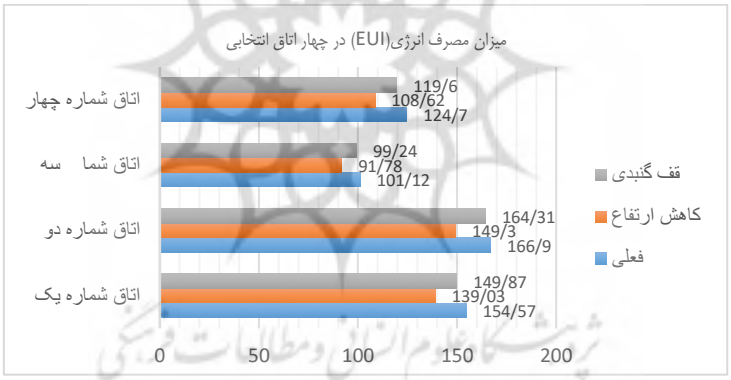
شکل۱۵: بررسی روشنایی در حجره‌های انتخابی (منبع: نگارنده.

بر طبق مقادیر شکل ۱۶ خیرگی نیز به‌طورکلی در تمامی حجره‌ها با وجود ایوان در حالت‌ها زیر ۰.۳۵ قرار داشته و در محدوده مطلوب از نظر آسایش بصری قرار دارد. حجره‌های جنوبی نیز در کل خیرگی بالاتری داشته‌اند.



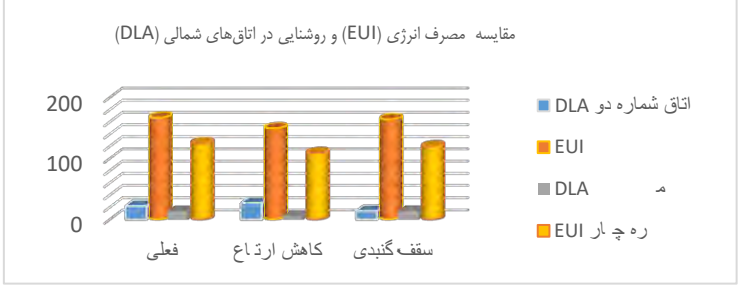
شکل۱۶: بررسی خیرگی در حجره های انتخابی (منبع: نگارنده)

در ارتباط با مصرف انرژی مطابق الگوهای شکل شماره ۱۷، حجره‌های انتخابی از مدرسه ایرانشهر یزد نسبت به مدرسه چهارباغ اصفهان مصرف انرژی بیشتری داشتند. بین حالت‌های مختلف نیز مشخص می‌شود، حالت فعلی بیشترین مصرف انرژی را داشته و کاهش ارتفاع و سقف گنبدی به‌ترتیب بیشترین تأثیر را در صرفه‌جویی انرژی داشته است.



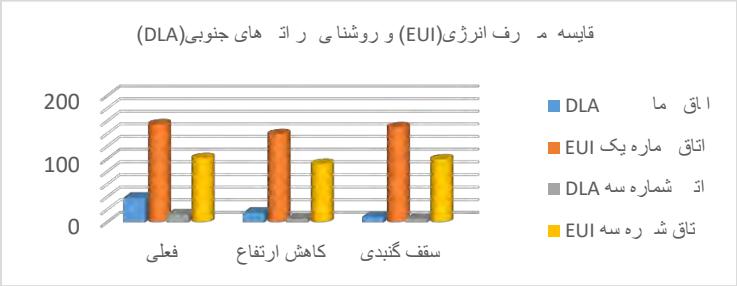
شکل۱۷: بررسی شدت مصرف انرژی حجره‌های انتخابی (منبع: نگارنده)

به‌طورکلی بهترین حالت با هر متغیر در حجره‌های شمالی، افزایش ارتفاع و فرم سقف صاف بهترین عملکرد را داشته است که این نتیجه‌گیری با استفاده از اختلاف مقدار مصرف انرژی و میزان روشنایی نسبت به حالت فعلی به‌دست‌آمده است. (شکل ۱۸)



شکل ۱۸: مقایسه نهایی حجره‌های شمالی (منبع: نگارنده)

در حجره‌های جنوبی نیز افزایش ارتفاع و سقف گنبدی حالت بهینه بوده است. (شکل ۱۹)



شکل۱۹: مقایسه نهایی حجره‌های جنوبی (منبع: نگارنده)

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف بررسی تغییر پارامترهای هندسه سقف و ارتفاع کلاس در ارزیابی کیفیت آسایش بصری و بهره‌وری انرژی با تحلیل پارامتریک بر روی مدل‌های کلاس درس جنوبی و شمالی مدارس بومی در اقلیم گرم و خشک تلاش نمود، نتایج به‌دست‌آمده با مصادیق استاندارد مؤلفه‌ها مقایسه شد و شاخص‌ها بررسی شدند. مصادیق آسایش بصری به عملکرد نور روز گویند. آسایش بصری به‌عنوان مقادیر مناسب روشنایی، تعادل درخشندگی و رضایت از محیط اطلاق می‌شود. با شاخص‌های پرکاربرد موجود DLA و UDLI مبتنی بر کفایت نور روز و بررسی اینکه ناظر هنگام مشاهده یک سیستم احساس ناراحتی نداشته باشد ارزیابی می‌شود. در مبحث خیرگی یا موقعیتی که در آن عدم‌آسایش یا کاهش توانایی در دیدن جزئیات یا اشیا، در اثر توزیع نامناسب طیف روشنایی، یا کنتراست شدید صورت می‌گیرد، با شاخص DGP (خیرگی) بررسی می‌شود. برای مصادیق بهره‌وری انرژی‌بخش عمده‌ای از انرژی نور روز که به فضا وارد می‌شود تنها پس از چند بازتاب به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود. میزان انرژی مصرفی در هر مترمربع را EUI گویند به‌عنوان محک مناسبی جهت برآورد وضعیت مصرف انرژی از طریق بهینه‌سازی مصرف است.

ارزیابی کیفیت آسایش بصری: در کلاس‌های جنوبی با کاهش ارتفاع (در حد ارتفاع کلاس‌های مدارس معاصر) میزان نور دریافتی زیر ۱۰۰ لوکس در مقایسه با حالت فعلی ۲۰ درصد بیشتر شده است، همچنین میزان نور دریافتی محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس ۱۷ درصد کاهش یافت؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد ارتفاع بلند حجره تأثیر قابل‌توجهی در عملکرد نور روز دارد و توزیع بازتابش نور روز یکنواخت‌تر نسبت به وضعیت موجود است. تغییر حالت سقف باعث شد تا بیشتر فضای حجره از نور بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس بهره می‌برد و حدود ۱ درصد بالاتر از ۲۰۰۰ لوکس بهره‌مند شوند. کاهش میزان خیرگی به میزان ۲ درصد با تغییر فرم سقف اتفاق می‌افتد. در کلاس‌های شمالی کاهش ارتفاع باعث کاهش میزان نور دریافتی شده و نور طبیعی به عمق نفوذ نمی‌کند، بدین‌صورت که حدود ۲۰ درصد فضا بالای ۳۰۰ لوکس نور دریافت می‌کنند، در مقایسه با حالت فعلی بیانگر افزایش ۱۵ درصد شاخص DLA در کلاس است؛ بنابراین به نظر می‌رسد ارتفاع بلند حجره تأثیر قابل‌توجهی در عملکرد نور روز حجره دارد. میزان خیرگی بدون تغییر قابل‌ملاحظه‌ای در محدوده خیرگی نامحسوس قرار دارند. در بررسی تغییر فرم سقف و تأثیر آن بر میانگین DLA،

باعث کاهش ۲۲ درصد می‌شود. تا ۵۰ درصد فضای حجره از نور بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس بهره می‌گیرد و تقریباً درصد ناچیزی بالاتر از ۲۰۰۰ لوکس باشد. تغییر فرم حجره باعث می‌شود میزان خیرگی به میزان ۴ درصد کاهش داشته باشد.

ارزیابی بهره‌وری انرژی: در کلاس‌های جنوبی با کاهش ارتفاع (در حد ارتفاع کلاس‌های مدارس معاصر) انتظار می‌رفت مصرف انرژی کاهش پیدا کند که آنالیزها نشان داد حدود ۴ درصد تغییر (۱۴۰ kwh/m^2) ارتفاع باعث کاهش مصرف انرژی شد. مصرف انرژی حجره مورد بررسی در این حالت با درنظرگرفتن سقف گنبدی شاهد کاهش ۲ درصد در این راهکار هستیم. در کلاس‌های شمالی با کاهش ارتفاع و افزایش چشمگیر روشنایی به‌نظر می‌رسد مصرف انرژی کاهش پیدا می‌کند، آنالیزها نشان داد به میزان اندکی حدود ۶ درصد تغییر سقف به‌صورت گنبدی باعث کاهش مصرف انرژی (۱۶۵ kwh/m^2) گردید.

این پژوهش باتوجه‌به اهمیت استفاده از نور روز هم‌زمان با تلاش برای کاهش مصرف انرژی در کلیه ساختمان‌ها به‌ویژه کاربری‌های آموزشی شکل گرفت که با شبیه‌سازی نمونه ساختمان‌های بومی به تجزیه‌وتحلیل آن‌ها پرداخته شد. مطالعات فوق نشان می‌دهد که ارتفاع و فرم سقف در اتاق‌های شمالی و جنوبی نتایج متفاوتی داشتند، باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده در کلاس جنوبی وجود سقف گنبدی باعث کاهش خیرگی و کاهش مصرف انرژی می‌شود؛ ولی شدت روشنایی را کاهش‌یافته و توزیع نور یکنواخت‌تر است؛ به‌طوری‌که احتیاج به نور مصنوعی بیشتر می‌شود؛ ولی در کلاس‌های شمالی نور اتاق ثابت مانده و فقط خیرگی و مصرف انرژی کاهش پیدا می‌کند که مطلوب است. اما با افزایش ارتفاع در جهت شمال میزان روشنایی نیز بهبود می‌یابد که در جهت جنوب باعث کاهش میزان روشنایی می‌شود. به‌منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر و تعمیم ارزیابی‌های حاصله به کل اقلیم پیشنهاد می‌شود مدل‌سازی و تحلیل و بررسی بر روی نمونه‌های معاصر و بیشتر در عرض‌های جغرافیایی دیگر نیز انجام گردد؛ لذا انجام پژوهش مشابه در ابعاد وسیع‌تر با تعداد نمونه‌های بیشتر و در کاربری‌های مختلف از دیگر مواردی است که لازم است موردتوجه قرار گیرد.

فهرست منابع و مآخذ:

مقالات

پوراحمدی، محبوبه؛ خان‌محمدی، محمدعلی و مظفر، فرهنگ. (۱۳۹۸). «بهینه‌سازی بازشوهای ساختمانی براساس عملکرد خیرگی در ساختمان‌های آموزشی اقلیم گرم و خشک ایران (مطالعه موردی: ساختمان‌های دانشگاهی شهر یزد)». معماری و شهرسازی پایدار، ۷(۱)، ۱۱۳-۱۲۸.

رضایی، سهراب و شرقی، علی. (۱۳۹۹). «کارایی ادراکی نور روز: یک مطالعه مروری ساختاریافته از نقش الگوهای انتشار نور روز بر ادراکات ساکنان در فضاهای داخلی». معماری اقلیم گرم و خشک، ۸(۱۱)، ۲۱۱-۲۵۱.

شقوی مقدم، نسترن؛ تحصیل دوست، محمد و زمردیان، زهرا. (۱۳۹۸). «بررسی کارایی شاخص‌های نور روز در ارزیابی کیفیت آسایش بصری کاربران (مطالعهٔ موردی: فضاهای آموزشی دانشکده‌های معماری شهر تهران)». مطالعات معماری ایران، ۸(۱۶)، ۲۰۵-۲۲۸.

محمدی، فیروزه؛ مفیدی شمیرانی، سید مجید و طاهباز، منصوره. (۱۳۹۹). «بررسی و تحلیل کارایی شاخص‌های پویای ارزیابی عملکرد نور روز (کفایت نور روز و روشنایی مفید نور روز) از طریق تحلیل حساسیت، مورد مطالعاتی: کلاس درس ابتدایی در تهران». معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۱۳(۳۱)، ۱۴۵-۱۵۶.

مفیدی شمیرانی، سید مجید و پورناصری، شهناز. (۱۳۹۰). «مدل‌یابی میزان و نحوه تأثیر متغیرهای کالبدی پنجره بر بهره‌گیری مناسب از نور روز در کلاس‌های مدارس راهنمایی تهران». فناوری آموزش (فناوری و آموزش)، ۶(۱)، ۲۹-۴۴

پایان‌نامه‌ها

صادقی‌پور رودسری، مصطفی. (۱۳۸۷). «به‌کارگیری نرم‌افزارهای شبیه‌ساز رایانه‌ای در طراحی معماری، گامی به‌سوی معماری همه‌جانبه‌نگر». پایان‌نامه کارشناسی ارشد معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

محمدی، فیروزه. (۱۳۹۶). «تبیین اصول طراحی فضاهای آموزشی به‌منظور بهبود شرایط استفاده از نور روز در اقلیم نیمه گرم و خشک». پایان‌نامه دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه علوم و تحقیقات.

نیل‌فروشان، محمدرضا. (۱۳۹۲). تدوین اصول استفاده از نور طبیعی در مدارس ابتدایی. پایان‌نامه دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه علم و صنعت.

منابع انگلیسی:

Borgstein et al. (۲۰۱٦). Evaluating energy performance in non-domestic building: a review. Energy and Building ۱۲۸, ۷۳٤-۷٥٥.

Brown, K.E. & Henze , D.k .(۲۰۱۷), How Accounting for climate and health impacts of emissions could chang the US energy system. Energy policy, vol ۱۰۲. ۲۰۱۷.

Crisp, V.H.C. (۱۹۷۸), The light switch in building. Lighting research and technology, ۱۰(۲).

DfEE (۱۹۹۹). Lighting Design for Schools, Building Bulletin ۹۰. London, Department for Education and Employment, HMSO.

Group. H.M. (۲۰۱۲), Windows and classrooms: A study of student performance and the indoor environment calif. Energy commission, VOL,۳۷.

Hunt, D.R.G. (۱۹۸۰), Improved daylight data for predicting energy savingfrom photo electric control. Lighting research and technology, ۱۲.

Heschong, Lisa, Roger L. Wright, and Stacia Okura. (۲۰۰۲). "Daylighting Impacts on Human Performance in School." JOURNAL of the Illuminating Engineering Society ۱۰۱-۱۱٤.

IESNA. (۲۰۰۰). IESNA lighting handbook. Mark Stanley Rea (E.d.). America: Author Illuminating Engineering Society of North America;

IES, Lighting Handbook, Illumination Engineering Society of North America, ۱۰th edition, ۲۰۱۱.

Jakubiec , J & Christoph Reinhart.(۲۰۱۲) The.“adaptive zone” - A concept for assessing discomfort glare throughout daylit spaces. Lighting Research and Technology,٤٤(۲), ۱٤۹-۱۷۰.

Marsh, A. (۲۰۰۳). "ECOTECT and EnergyPlus." Building Energy Simulation ۲٤(٦).

Pierson, C., Wienold, J., & Bodart, M. (۲۰۱۷). Discomfort glare perception in daylighting: Influencing factors. Energy Procedia, ۱۲۲, ۳۳۱–۳۳٦. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.egypro.۲۰۱۷,۰۷,۳۳۲

Wang, R., Li, G., Xu, L., Wang, Y., & Peng, C. (۲۰۲۰). Integration of sun-tracking shading panels into window system towards maximum energy saving and non-glare daylighting. Applied Energy, ۲٦۰, ۱۱٤۳۰٤.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی