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

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؟

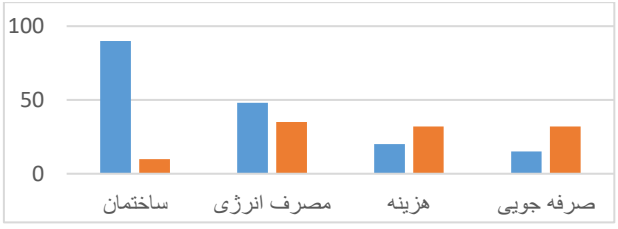
کلیدواژه‌ها: اقلیم گرم و خشک، ارتفاع کلاس، فرم هندسی سقف، آسایش بصری، کارایی انرژی.

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.

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

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.

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.

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.

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.

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

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

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. (٢٠١٢), Windows and classrooms: A study of student performance and the indoor environment calif. Energy commission, VOL,٣٧.

Hunt, D.R.G. (١٩٨٠), Improved daylight data for predicting energy savingfrom photo electric control. Lighting research and technology, ١٢.

Heschong, Lisa, Roger L. Wright, and Stacia Okura. (٢٠٠٢). "Daylighting Impacts on Human Performance in School." JOURNAL of the Illuminating Engineering Society ١٠١-١١٤.

IESNA. (٢٠٠٠). 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, ١٠th edition, ٢٠١١.

Jakubiec , J & Christoph Reinhart.(٢٠١٢) The “adaptive zone” - A concept for assessing discomfort glare throughout daylit spaces. Lighting Research and Technology,٤٤(٢), ١٤٩-١٧٠.

Marsh, A. (٢٠٠٣). "ECOTECT and EnergyPlus." Building Energy Simulation ٢٤(٦).

Pierson, C., Wienold, J., & Bodart, M. (٢٠١٧). Discomfort glare perception in daylighting: Influencing factors. Energy Procedia, ١٢٢, ٣٣١–٣٣٦. https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.egypro.٢٠١٧,٠٧,٣٣٢

Wang, R., Li, G., Xu, L., Wang, Y., & Peng, C. (٢٠٢٠). Integration of sun-tracking shading panels into window system towards maximum energy saving and non-glare daylighting. Applied Energy, ٢٦٠, ١١٤٣٠٤.