تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۷ | تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۳/۲۷
نوع مقاله: پژوهشی
شماره صفحه ۸۵-۱۰۰

طراحی پارامتریک نمای متحرک با هدف ارتقاء بهره‌وری روشنایی و آسایش بصری
بررسی موردی: ساختمان‌های اداری تهران*

سحر رستم زاد
کارشناسی ارشد مهندسی معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران (نویسنده مسئول مکاتبات)
E-mail : sahar.rostamzad90@yahoo.com

محسن فیضی
استاد گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
E-mail : mfaizi@iust.ac.ir

هانیه صنایعیان
استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
E-mail : sanayeayan@iust.ac.ir

مهدی خاکزند
دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
E-mail : mkhakzand@iust.ac.ir

چکیده

بهره‌گیری از نور طبیعی در فضاهای داخلی، افزون بر کاهش مصرف انرژی، تأثیرات مثبت فیزیکی و روانی بر کاربران را نیز در پی دارد. در کنار فواید استفاده از نور طبیعی باید توجه داشت که زیاده از حد بودن مقدار نور در فضا، منجر به بروز نارضایتی بصری و خیرگی می‌شود. در این مطالعه بهره‌وری روشنایی یک پوسته متحرک با طرح اسلیمی مورد بررسی قرار گرفته است. شش ضلعی‌های این طرح به عنوان بازشو در نظر گرفته شده‌اند و حرکت آن‌ها وابسته به موقعیت خورشید می‌باشد. هدف از طراحی این پوسته و سناریوی حرکتی آن، تأمین آسایش بصری در یک فضای اداری با نمای جنوبی در شهر تهران است. همچنین در مقابل پوسته، پانل‌های افقی با هدف کاهش تابش مستقیم نور خورشید در نظر گرفته شده‌اند. برای مدل‌سازی از نرم‌افزار گرس هاپر برای راینو، استخراج داده‌های آب و هوایی و موقعیت خورشید از پلاگین لیدی باگ، آنالیز نور از پلاگین هانی بی و برای یافتن حالات بهینه از نرم‌افزار دیزاین اکسپلورر استفاده شده است. آنالیزهای خیرگی در ساعات بحرانی در ۴ روز بحرانی سال انجام شده‌اند. نتایج آنالیزهای روشنایی سالانه نشان داد که اعمال پوسته متحرک، نقش قابل‌توجهی در افزایش بهره‌وری روشنایی دارد و با معیارهای آسایش بصری سیستم ارزشیابی لید مطابقت می‌کند و در اغلب ساعاتی که آنالیز خیرگی صورت گرفته، میزان خیرگی در حد نامحسوس است.

کلیدواژه‌ها: نور طبیعی، آسایش بصری، خیرگی، پوسته متحرک، طراحی پارامتریک

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد سحر رستم زاد با عنوان «طراحی کتابخانه با رویکرد بهینه‌سازی مصرف انرژی در حوزه نور روز» است که با راهنمایی دکتر محسن فیضی و دکتر مهدی خاکزند و مشاوره دکتر هانیه صنایعیان در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه علم و صنعت ایران به انجام رسیده است.

مقدمه

امروزه مسئله بحران انرژی در دنیا به موضوعی چالش برانگیز تبدیل شده است. در ایران بخش قابل‌توجهی از کل مصرف انرژی مربوط به بخش ساختمان است و در ساختمان‌های اداری، روشنایی مصنوعی تا ۳۵٪ کل انرژی الکتریکی مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد (نصراللهی، ۱۳۹۰، ۲). نور روز و استفاده مؤثر از آن، از جمله عوامل مؤثر در کاهش مصرف انرژی محسوب می‌شود، که تأثیر به‌سزایی بر کیفیت فضای داخلی و شرایط روحی و جسمی کاربران دارد. در این رابطه، پوسته ساختمان علاوه بر اینکه نقش مهمی در میزان مصرف انرژی دارد، در زمینه بهره‌وری نور طبیعی و آسایش بصری، به عنوان یکی از فاکتورهای مهم طراحی محسوب می‌شود (Michael, 2012, 541). در سال-های اخیر، تمایل به طراحی پوسته متحرک در ساختمان‌ها افزایش یافته است؛ از یک سو، قابلیت‌های طراحی دیجیتال امکان طراحی و عملی شدن ایده‌های متحرک را افزایش می‌دهند، از سوی دیگر، قابلیت انطباق پوسته‌ها متناسب با تغییرات شرایط خارجی ساختمان منجر به کاهش مصرف انرژی و همچنین ارتقاء سطح آسایش ساکنین می‌شود (Attia *et al*., 2018, 168).

نگاه به معماری سنتی خصوصاً معماری موفق و گهربار ایرانی می‌تواند خط‌مشی خلق آثاری ماندگار و اثرگذار باشد. هنرهای سنتی ایران با هنر اسلامی پیوندی تنگاتنگ داشته و مفاهیم و مشابهات معناگرای این دو هنر با هم عجین شده‌اند. اصول مبانی تصویری این دو وجه هنری با باور دینی و عرفان اسلامی در هم تنیده شده است و از آن نقوشی سر برآورده که اسلیمی نام دارد. اسلیمی نقوش تزئینی هستند که به دو صورت گیاهی و خطوط هندسی در هم پیچیده طراحی می‌شوند (ویلسون، ۱۳۸۸، ۹۸). در نظریات بورکهارت، تبلور توحید و یکتا پرستی در تمام نقوش هندسی معماری سنتی موج می‌زند و این نقوش مانند آهنگ و وزن در یک اثر جلوه می‌کنند و به آن غنا می‌بخشند (بورکهارت، ۱۳۶۵، ۱۱۳). در معماری گذشته ایران، از نقوش اسلیمی در کاشیکاری، گچبری، نقاشی، حجاری و طراحی در و پنجره‌ها استفاده بسیار شده است. بیشتر نقوش و طرح‌های هندسی موجود در هنر و معماری اسلامی، در حقیقت بر اساس تکرار یک نقش مایه ساخته شده‌اند. این نقش‌مایه طوری طراحی می‌شود که قابلیت تکرار داشته باشد و به همین دلیل تمامی تکرارها در هم چفت می‌شوند (سیلوایه و همکاران، ۱۳۹۲). از این رو، طرح هندسی و تکرار شونده این نقوش متناسب با ایده پوسته متحرک می‌باشد. ایده طراحی در این پژوهش، بر اساس برقراری ارتباط بین نقوش به کار رفته در معماری سنتی ایران در طراحی پنجره‌ها و رویکردهای نوین در معماری است.

با توجه به موارد فوق، تحقیق حاضر به بررسی تأثیر یک پوسته متحرک با طرح اسلیمی به عنوان پوسته خارجی ساختمان در بهبود بهره‌وری روشنایی و تأمین آسایش بصری می‌پردازد. این پوسته با استفاده از روش طراحی پارامتریک[۱] و الگوریتمیک[۲]، وابسته به موقعیت خورشید، برای یک فضای اداری با نمای جنوبی در شهر تهران شبیه‌سازی شده است. هدف این مطالعه تأمین معیارهای آسایش بصری سیستم ارزشیابی لید[۳] می‌باشد.

پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی در رابطه با تکنولوژی‌ها و سیستم‌های کنترل نور طبیعی که تأثیر زیادی در کاهش مصرف انرژی ساختمان دارند، صورت گرفته است. راهکارهایی برای رفع مشکل توزیع نامتوازن نور روز از طریق پنجره‌های سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این راهکارها به دو دسته جنس شیشه مانند شیشه منشوری[۴]، ورقه آکریلیکی برش خورده با لیزر[۵] و شیشه الکتروکرومیک[۶] و سیستم‌های هدایت نور مانند قفسه نوری[۷]، سایه‌انداز داخلی و خارجی، شفت نوری[۸]، سیستم آنیدولیک[۹] و سایبان متحرک تقسیم می‌شوند (Michael *et al*., 2015; Palmero-Marrero & Oliveira, 2010; Hammad, 2010).

تأمین شرایط آسایش کاربر در محیط‌های داخلی، از اهداف اصلی در طراحی ساختمان‌ها به شمار می‌آید. آسایش کاربر در فضا دارای جنبه‌های مختلفی است که آسایش بصری یکی از مهم‌ترین آنهاست. آسایش بصری در محیط به معنای تأمین شرایط مناسب برای بینایی در موقعیت‌های گوناگون و جلوگیری از خستگی چشم می‌باشد و به قدرت بینایی و ادراک فرد، شکل فضا و تطابق آن با فعالیت‌های مختلف کاربران بستگی دارد (Arif *et al.*, 2016). برای ارزیابی فضا از نظر آسایش بصری، شاخص‌های مختلفی وجود دارند. در ادامه، شاخص‌های معتبر و پرکاربرد در سنجش آسایش بصری معرفی می‌شوند. استقلال نور روز فضایی[۱۰]، درصدی از ساعات اشغالی در طول سال که سطح روشنایی بالای ۳۰۰ لوکس دارند را می‌سنجد. تابش مستقیم سالانه نور خورشید[۱۱] نشان می‌دهد که چه مقدار از فضا تابش مستقیم نور خورشید را دریافت می‌کند، که می‌تواند منجر به ناراحتی بصری یا افزایش بارهای سرمایش شود. این شاخص درصدی از ساعات اشغالی در طول سال که سطح روشنایی بالای ۱۰۰۰ لوکس دارند را می‌سنجد. شاخص روشنایی نور روز مفید[۱۲]، به درصدی از ساعات اشغالی در طول سال که سطح روشنایی ۲۰۰۰-۳۰۰ لوکس دارند، اطلاق می‌شود (Carlucci *et al.*, 2015). شاخص احتمال خیرگی نور روز[۱۳]، نسبت به شاخص‌های پیشین خیرگی که فقط وابسته به میزان تضاد روشنایی پس‌زمینه و منبع روشنایی بودند، دقت بیشتری دارد و به شدت روشنایی موقعیت کاربر نیز بستگی دارد. مقدار آن عددی در بازه ۱-۰ می‌باشد و به ۴ محدوده کمتر از ۰٫۳۵ (خیرگی نامحسوس[۱۴])، ۰٫۴-۰٫۳۵ (خیرگی محسوس[۱۵])، ۰٫۴۵-۰٫۴ (خیرگی آزار دهنده[۱۶]) و بیشتر از ۰٫۴۵ (خیرگی ناتوان کننده[۱۷]) تقسیم می‌شود (Bian *et al.*, 2018, 310).

مطالعاتی به بررسی اعتبار شاخص‌های سنجش روشنایی پرداخته‌اند. در سال ۲۰۰۹، ماردالجویک و همکاران با انجام تحقیقی گسترده در فضاهایی با کاربری متنوع و واقع در سه ایالت کالیفرنیا، واشنگتن و نیویورک شاخص‌های استقلال نور روز فضایی و تابش مستقیم سالانه نور خورشید را به عنوان دو شاخص معتبر برای سنجش رضایت کاربران از میزان روشنایی و خیرگی پیشنهاد کردند (Mardaljevic *et al.*, 2009). رینهارت و وینولد، طی پژوهشی در دانشگاه کمبریج آمریکا به این نتیجه رسیدند که شاخص استقلال نور روز فضایی، بیشترین هماهنگی را با نظر کاربران داشته است و شاخص‌های روشنایی نور روز مفید و ضریب نور روز[۱۸] انطباق کمتری را با نظر کاربران داشته‌اند (Reinhart Wienold, 2012). در پژوهشی گسترده‌تر، با بررسی ۱۱ فضای آموزشی واقع در کشورهای برزیل، کانادا، مصر و آمریکا این نتیجه حاصل شد که شاخص استقلال نور روز فضایی دقت بالایی در پیش‌بینی میزان رضایت کاربران از فضا دارد (Reinhart *et al.*, 2013). در پژوهشی دیگر، کارایی شاخص استقلال نور روز فضایی در فضاهای متنوع مورد ارزیابی قرار گرفت. در اغلب فضاها نتایج مثبتی به همراه داشت، اما در فضاهای با نورگیر سقفی اختلاف بسیاری با نظر کاربران مشاهده شد (Xue *et al.*, 2016). در این میان، یکی از سیستم‌های معتبر ارزیابی ساختمان، سیستم لید می‌باشد که در جدول ۱، معیارهای آسایش بصری مورد تأیید آن ذکر شده‌اند (USGBC, 2015, 130).

جدول ۱. معیارهای آسایش بصری سیستم لید

تابش مستقیم سالانه نور خورشید (ASE)	استقلال نور روز فضایی (SDA)
ASE<10%	SDA>50%

منبع: USGBC, 2015, 130

سیستم‌های متحرک می‌توانند به طور قابل‌توجهی سطح آسایش داخلی را افزایش دهند و در این زمینه مؤثرتر از سیستم‌های سنتی سایه‌اندازی عمل می‌کنند. انعطاف پذیری این سیستم‌ها، این امکان را فراهم می‌کند تا با توجه به نیاز یا هدف مورد نظر، با الگوهای مختلف به حرکت درآیند (Michael *et al*., 2016, 150). به طور قطع، یک نمای متحرک انطباق‌پذیر می‌تواند پاسخگوی هر دو مسئله حفاظت از تابش خورشید و بهره‌وری روشنایی طبیعی باشد و شرایط آسایش بصری و دمایی را فراهم آورد. در عین حال، امکان استفاده از انرژی تجدیدپذیر و کمک به توازن انرژی ساختمان را فراهم می‌کند. علاوه بر این، نمای متحرک انطباق‌پذیر می‌تواند به عنوان یک روش جایگزین برای نوسازی خارجی ساختمان‌های موجود باشد (Kontovourkis *et al*., 2015, 1345). به گفته کالگیرو، ادغام سیستم‌های متحرک بر روی پوسته ساختمان می‌تواند به طور قابل‌توجهی در کاهش بارهای گرمایش و سرمایش ساختمان مؤثر باشد (Kalogirou, 2015, 382). می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از سیستم‌های سایه‌اندازی متحرک سازگار با شرایط آب و هوایی به طور قابل ملاحظه‌ای در ایجاد یک رابطه متعادل بین بهره‌وری روشنایی و مصرف انرژی نقش دارد. با این حال، میزان بهره‌وری این سیستم‌ها بستگی به نوع سایه‌انداز متحرک، نوع سیستم کنترلی، موقعیت جغرافیایی و مقیاس اجرای آن دارد (Bian *et al*., 2018). گروهی از محققان در رابطه با سیستم‌های سایه‌اندازی متحرک مطالعات مروری جامعی را ارائه کرده‌اند. لونن و همکارانش به بررسی جامعی در زمینه نماهای سازگار با شرایط آب و هوایی پرداخته‌اند. در مطالعه آنها، نماهای سازگار بر اساس تنوع ایده در ۴۴ دسته قرار می‌گیرند. با وجود جنبه‌های مثبت، هنوز ایده نماهای سازگار به علت فقدان اطلاعات بهره‌وری عملکردی و ارزیابی‌های پس از بهره‌برداری به حد اعتلای خود نرسیده است (Loonen *et al*., 2013). مطالعه مروری دیگری توسط کیریمتات و همکاران در مورد سایبان‌ها انجام شده است. آنها به ۱۰۹ مقاله پژوهشی دانشگاهی از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۵ استناد کردند که حدود ۲۰ مقاله در رابطه با سیستم‌های متحرک می‌باشند. اگرچه آن‌ها نتایج خاصی را در رابطه با سایه‌اندازهای متحرک ارائه نمی‌دهند، ولی استفاده از انواع متحرک سایه‌بان‌ها را برای طراحی‌های آینده توصیه می‌کنند (Kirimtat *et al*., 2016). التاول و سو با تمرکز بر ارتقاء بهره‌وری نور روز و به حداقل رساندن مصرف انرژی، یک مطالعه مروری در رابطه با استفاده از رویکرد پارامتریک در معماری ارائه دادند. در این مطالعه به این نتیجه رسیدند که استفاده از این تکنیک‌ها در پوسته ساختمان‌ها منجر به افزایش ۶۰ تا ۱۰۰ درصدی میزان نور روز دریافتی و کاهش ۲۶ تا ۵۰ درصدی مصرف انرژی می‌شوند (Eltaweel & Su, 2017).

در رابطه با نماهای متحرک، بخشی از پژوهش‌ها به بررسی ایده‌های نوآورانه پرداخته‌اند که در مراحل اولیه طراحی با هدف ارتقاء بهره‌وری نور روز، می‌توانند مورد استفاده معماران قرار گیرند. محمود و القاضی در مقابل بازشو یک نمای جنوبی در مصر که مساحت آن، ۲۰٪ سطح نما است، میزان روشنایی نور روز مفید حاصل از یک شبکه ۶ ضلعی متحرک را مورد بررسی قرار دادند و متغیرهای این شبیه‌سازی شامل ابعاد ۶ ضلعی‌ها، نوع حرکت (جابه‌جایی یا چرخش) و میزان حرکت بودند (Mahmoud & Elghazi, 2016). حسن و همکارانش، برای تأمین معیارهای سیستم لید، یک پوسته غیرمتحرک را که طرح کلی آن شبکه‌ای از چهار ضلعی‌ها می‌باشد را در مقابل نمای جنوبی یک فضای اداری در مصر طراحی کردند و با استفاده از ابزارهای طراحی پارامتریک به بررسی حالات بهینه ناشی از پارامترهای ابعاد چهار ضلعی‌ها، میزان بیرون زدگی، زاویه چرخش و نسبت ابعاد مقطع بیرونی نسبت به مقطع داخل پرداختند (Hassan *et al*., 2017). در مطالعه چوی و همکارانش، با هدف کاهش مصرف انرژی (روشنایی مصنوعی، سرمایش و گرمایش)، پانل‌های طولی را که حول محور طولی‌شان قابلیت چرخش دارند و توسط یک سیستم کنترلی وابسته به سنسورهای نوری و دمایی داخل فضا کنترل می‌شوند، شبیه‌سازی کردند (Choi *et al*., 2017). میکائیل و همکارانش، برای رفع مشکل خیرگی و گرمایش بیش از حد نماهای شیشه‌ای ساختمان‌های موجود، پوسته متحرک متشکل از

شبکه‌ای مربعی را پیشنهاد دادند و برای تأمین شدت روشنایی بین ۳۰۰۰-۵۰۰ لوکس، حالت‌های مختلف جهت چرخش (افقی یا عمودی) و زاویه چرخش مربع‌ها را مورد بررسی قرار دادند (Michael *et al*., 2018). در مطالعه‌ای دیگر، یک نمای متحرک هوشمند که بر پایه ایده اوریگامی[۱۹] می‌باشد، برای یک فضای اداری در شهر تهران شبیه‌سازی شده است و نتایج آن حاکی از آن است که این ایده، آستانه مطلوب شاخص‌های روشنایی نور روز مفید و احتمال خیرگی نور روز را تأمین می‌کند (Tabadkani *et al*., 2019).

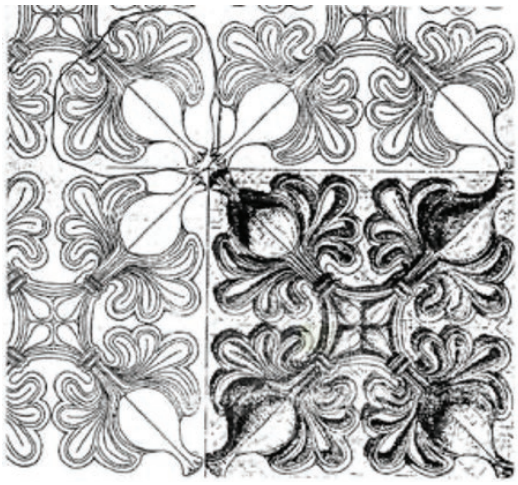
نقوش اسلیمی

نقوش اسلیمی نوعی روش تزئین سطح یا زمینه در کاشی‌کاری، گچبری، نقاشی، حجاری، طراحی در و پنجره (ارسی)، قالی‌بافی، فلزکاری، سفال‌گری، منبت‌کاری و غیره است و در آن از اشکال به هم بافته خطوط هندسی (شکل ۱) و یا غنچه، گل و شاخ و برگ گیاهان (شکل ۲) استفاده می‌گردد. اسلیمی یک موضوع تزئینی قراردادی، تجریدی، انتزاعی و نتیجه تخیل و تصور هنرمند و یا دوستداران هنر است (کیانی، ۱۳۷۰، ۱۰۸).

شکل ۱. نقوش اسلیمی در ارسی‌های مسجد نصیر الملک شیراز

منبع: https://fa.wikipedia.org/wiki/مسجد_نصیرالملک

طرح‌های اسلیمی علاوه بر اینکه بر پایه هندسه و ریاضی استوار هستند، از طرف دیگر بر پایه ژرف‌نگری در رموز طبیعت تکیه دارند، و همانطور که اشاره شد حرکات منحنی‌های اسلیمی منتج از شکل گل، ساقه و برگ گیاهان است و یادآور فصل بهار یا فصل رویش است. انرژی اشکال و خطوط نه تنها در سطح دو بعدی به جنبش لایزال خود ادامه می‌دهند بلکه به علت تغییر پلان یا در زیر و رو قرار گرفتن اشکال، بعد سومی نیز دارند که طرز رنگ‌آمیزی به زنده کردن آن کمک می‌کند. برای زنده کردن سطح دو بعدی ساکن با کنترل عناصر بصری چون خط، سطح و شکل و کیفیات عناصر بصری چون ترکیب، تضاد و هماهنگی، نوعی حرکت در سطح دو بعدی را می‌توان تداعی کرد. بعضی از محققان طرح‌های اسلیمی را چون شعر یا اصوات موسیقی، برانگیزاننده و نوازشگر روح عارفانه انسان می‌دانند و اشکال موزون یا ریتمیک اسلیمی، نگاه بیننده را در سطح از نقطه شروع اسلیمی به نقطه دیگر که انتهای آن باشد می‌رساند، که در آنجا شروع دیگری است و حرکتی دیگر، و این عمل تا بی‌نهایت تکرار می‌شود و تقارن این حرکات به وضع پایدار و ثابتی که ترکیب طرح دارد کمک می‌کند. عده‌ای نیز معتقدند که «وحدت در کثرت» یا «کثرت در وحدت» به این وسیله نشان داده شده است، هر اسلیمی تنها خود را نمی‌نمایاند بلکه با نظمی بسیار محکم، در عین استقلال صورت جزئی از کل طرح است (پوپ، ۱۳۸۴، ۴۳).



شکل ۲. نقوش اسلیمی در کاخ کیش، دوره ساسانی (برگ انار که بر روی ساقه متحد المرکزی قرار دارد)
منبع: انصاری، ۱۳۶۶، ۳۳۰

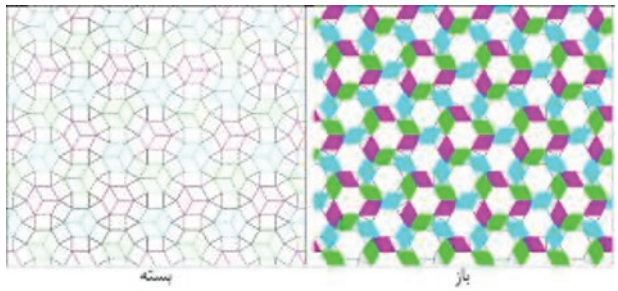
این طرح تزئینی، چه به صورت گیاهی و چه به صورت هندسی، تقریباً در همه آثار دوران اسلامی به کار رفته است و می‌تواند یک عامل اشتراک و اتحاد هنری در عالم اسلام شمرده شود و در مقامی نظیر مقام خط عربی گذارده شود. در عین حال این طرح یک موضوع تزئینی صرفاً عربی یا اسلامی نیست بلکه قبل از ظهور اسلام نیز در کشورهای مختلف از جمله ایران، معمول بوده است. در دوره اسلامی تحت تأثیر معارف اسلامی مبنی بر منع نقوش واقع گرایانه، نقوش اسلیمی تکامل بیشتری یافتند و به صورت‌های متنوعی درآمدند و به عنوان نمودی از مضامین زیبایی‌شناسی هنر اسلامی تلقی می‌شوند (میرزایی، ۱۳۹۱).

روش تحقیق

در این پژوهش از روند طراحی پارامتریک و الگوریتمیک توسط نرم‌افزارهای راینو[۲۰] و گرس هاپر[۲۱] و پلاگین‌های هانی بی[۲۲] و لیدی باگ[۲۳] استفاده شده است. راینو برای مدل سازی، گرس هاپر به عنوان ابزار پارامتریک، لیدی باگ برای وارد کردن داده‌های آب و هوایی و مختصات خورشید و هانی بی برای آنالیز نور روز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در نهایت خروجی‌های حاصل از شبیه‌سازی برای دستیابی به حالات بهینه توسط نرم‌افزار آنلاین دیزاین اکسپلورر[۲۴] ارائه شده‌اند.

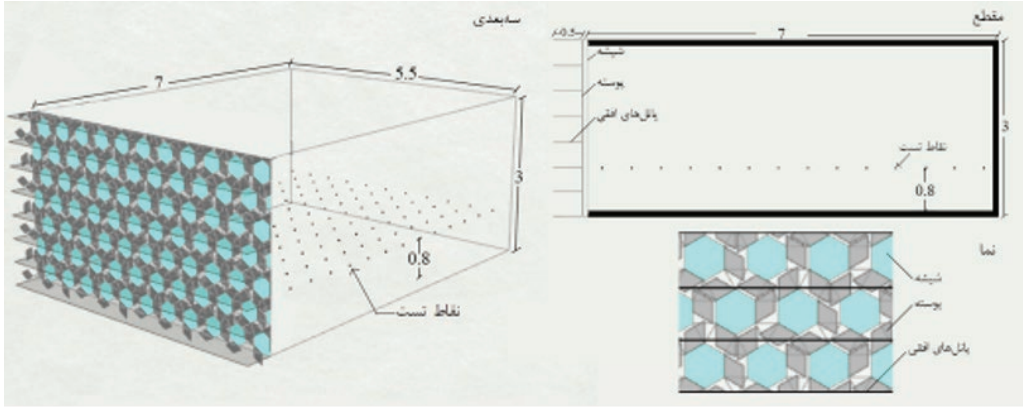
در این راستا، یک اتاق اداری رو به جنوب در شهر تهران به عنوان نمونه موردی شبیه‌سازی شده است. از آن‌جایی که عموماً در محیط‌های اداری ساکنین نمی‌توانند به طور آزادانه موقعیت‌شان را تغییر دهند و الزامات آسایش بصری محدودی دارند، پوسته ساختمان سازگار و متحرک می‌تواند نور کافی و شرایط آسایش بصری مناسبی را تأمین کند.

مطابق شکل ۳ از یک طرح اسلیمی برای پوسته متحرک استفاده شده است؛ از یک سو، استفاده از نقوش اسلیمی قدمت طولانی و جایگاه ویژه‌ای در معماری ایرانی-اسلامی دارند و از سوی دیگر، طرح هندسی و تکرارشونده آن متناسب با ایده پوسته متحرک می‌باشد. در این طرح شش ضلعی‌ها به عنوان بازشو در نظر گرفته شده‌اند و با هدف اینکه شش ضلعی‌ها در مسیر حرکت و قرارگیری در پشت فریم تلاقی نداشته باشند، به سه قسمت تقسیم شده‌اند و در سه حالت متفاوت حرکت می‌کنند که مطابق شکل ۳ با سه رنگ متفاوت مشخص شده‌اند.



شکل ۳. طرح اسلیمی برای پوسته متحرک

پوسته اسلیمی بر روی جداره کاملاً شیشه‌ای رو به جنوب یک اتاق اداری به ابعاد ۵/۵ متر عرض، ۷ متر عمق و ۳ متر ارتفاع (بر اساس ابعاد متداول در آنالیزهای روشنایی) مطابق شکل ۴ در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که در اغلب مطالعات، عمق ۷ متر برای آنالیز کارآمد روشنایی با توجه به عمق نفوذ نور انتخاب می‌شود. میزان باز و بسته شوندگی پوسته بستگی به موقعیت و زاویه خورشید دارد. اطلاعات مربوط به خورشید در هر لحظه از سال توسط ابزار لیدی باگ استخراج شده است. در الگوریتم نوشته شده با هدف افزایش سطح روشنایی در عین کاهش خطر خیرگی، میزان حداقل و حداکثر زاویه ارتفاع خورشید در طول روز متناظر با میزان بازشوندگی ۵۰ تا ۱۰۰ درصدی برای پوسته در نظر گرفته شده است؛ به این صورت که در کمترین زاویه ارتفاع خورشید، بیشترین میزان بازشوندگی و در بیشترین زاویه ارتفاع خورشید، کمترین میزان بازشوندگی را داشته باشند. برای دریافت نور روز غیرمستقیم و جلوگیری از عبور نور بیش از حد، پانل‌های افقی ثابت در مقابل پوسته اعمال شدند. عمق این پانل‌ها در دو حالت ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده‌اند. پانل‌ها در فواصل بین ردیف‌های شش ضلعی‌ها در سطح کف تا سقف اتاق تعبیه شده‌اند.



شکل ۴. مدل شبیه‌سازی

در راستای ایجاد شرایط واقعی در شبیه‌سازی، پارامترهای سطوح بر اساس استاندارد اروپایی سی ای ان (CEN, 2011) انتخاب شده‌اند. ضریب انعکاس کف اتاق، سقف و دیوارها با توجه به مصالح مرسوم به ترتیب ۲۰، ۸۰ و ۵۰ درصد در نظر گرفته شده است. با توجه اینکه جنس شیشه نیز نقش مهمی در میزان نور عبوری دارد، دو نوع شیشه)شیشه دوجداره کم گسیل[۲۵] با ضریب عبور نور[۲۶] ۷۰٪ و شیشه دوجداره معمولی با ضریب عبور نور ۸۰٪) در شبیه‌سازی‌ها لحاظ شده‌اند. برای پانل‌ها و پوسته دو جنس آلومینیومی و پلاستیکی با ضرایب انعکاس[۲۷] به ترتیب ۰/۸ و ۰/۶، یکی با خاصیت منعکس کنندگی بالا و دیگری متوسط انتخاب

شده‌اند. نقاط تست در فواصل ۰٫۵ متری و در ارتفاع ۰٫۸ متری از کف طبقات (ارتفاع میز کار) در نظر گرفته شده‌اند. آنالیزهای خیرگی در ساعات ۹:۰۰، ۱۲:۰۰ و ۱۶:۰۰ در ۴ روز از سال (اعتدال بهاری-اول فروردین، انقلاب تابستانی-اول تیر، اعتدال پاییزی-اول مهر و انقلاب زمستانی-اول دی) انجام شده‌اند. خلاصه‌ای از پارامترهای شبیه‌سازی در جدول ۲ آمده‌اند. در مجموع ۳۶۰ آنالیز خیرگی و ۳۰ آنالیز روشنایی سالانه صورت گرفته است.

جدول ۲. پارامترهای شبیه‌سازی

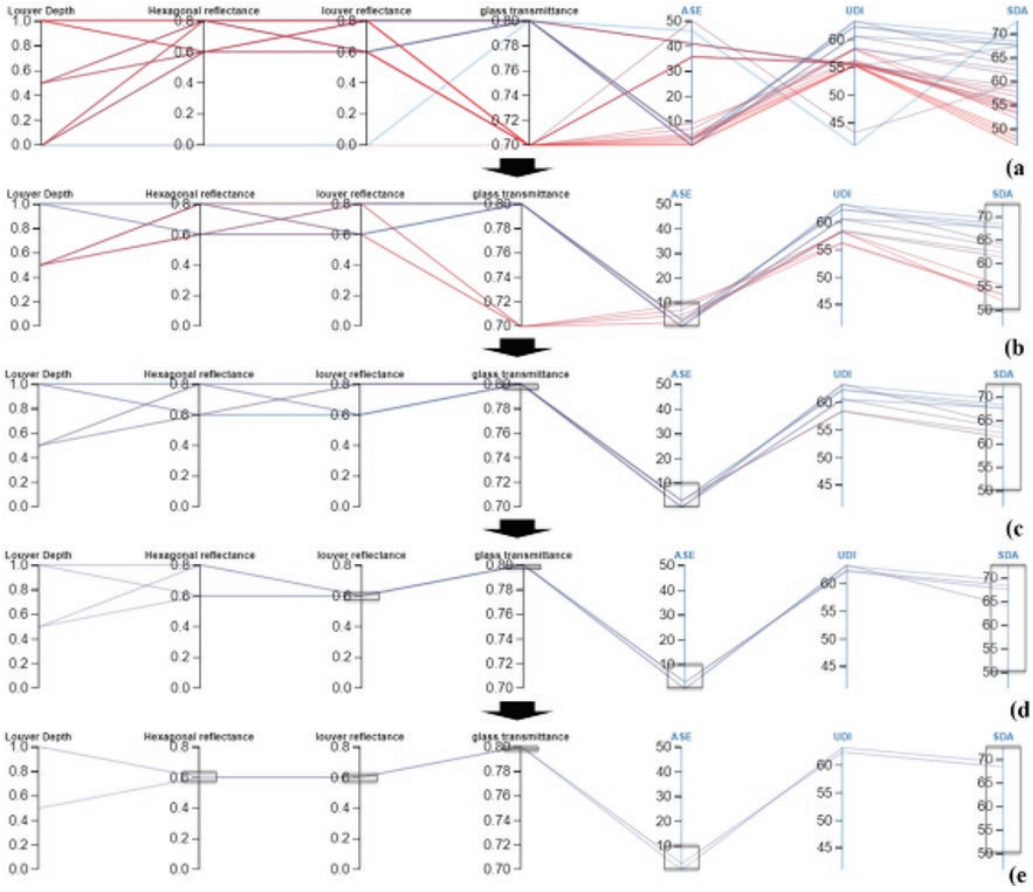
پارامترهای ثابت شبیه‌سازی	- موقعیت - کاربری - عرض اتاق - طول اتاق - ارتفاع اتاق - ضریب انعکاس دیوار داخلی - ضریب انعکاس سقف - ضریب انعکاس کف داخلی - ارتفاع سطح میز کار	تهران، ایران اداری ۵٫۵ متر ۷ متر ۳ متر ۰٫۵ ۰٫۸ ۰٫۲ ۰٫۸ متر
پارامترهای متغیر شبیه‌سازی	- جنس شیشه	۱) شیشه دوجداره کم گسیل با ضریب عبور نور ۷۰٪ ۲) شیشه دوجداره معمولی با ضریب عبور نور ۸۰٪
	- متریال پانل های افقی	۱) پلاستیک uPVC با ضریب انعکاس ۰٫۶ ۲) آلومینیوم با ضریب انعکاس ۰٫۸
	- عرض پانل های افقی	۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر
	- متریال پوسته	۱) پلاستیک uPVC با ضریب انعکاس ۰٫۶ ۲) آلومینیوم با ضریب انعکاس ۰٫۸
پارامترهای مربوط به آنالیز خیرگی	ساعت	۹:۰۰ - ۱۲:۰۰ - ۱۶:۰۰
	روز	اعتدال بهاری (اول فروردین)، انقلاب تابستانی (اول تیر)، اعتدال پاییزی (اول مهر) و انقلاب زمستانی (اول دی)

یافته‌های پژوهش

آنالیزهای روشنایی بر اساس داده‌های آب و هوایی شهر تهران در یک اتاق اداری رو به جنوب با پوسته متحرک صورت گرفت. اطلاعات آنالیزها توسط نرم‌افزار اکسل[۲۸] استخراج شدند تا برای ارائه حالات بهینه به نرم‌افزار دیزاین اکسپلورر منتقل شوند.

در گراف‌های حاصل از دیزاین اکسپلورر (شکل‌های ۳ و ۵)، ستون‌های با نوشته‌های به رنگ سیاه مربوط به متغیرها و ستون‌های با نوشته‌های به رنگ آبی مربوط به خروجی‌های شبیه‌سازی هستند. متغیرهای آنالیز روشنایی سالانه، ضریب عبور نور شیشه، ضریب انعکاس پوسته شش ضلعی، عرض و ضریب انعکاس پانل‌های افقی هستند و خروجی‌های آن، استقلال نور روز فضایی، تابش مستقیم سالانه نور خورشید و روشنایی نور روز مفید می‌باشند. متغیرهای آنالیز خیرگی، عرض پانل‌های افقی، ضریب عبور نور شیشه، ضریب انعکاس پوسته شش ضلعی، ضریب انعکاس پانل‌های افقی و زمان آنالیز (ساعت و ماه) هستند و خروجی‌های آن، احتمال خیرگی نور روز و حد آسایش خیرگی[۲۹] می‌باشند. شکل ۵، گراف آنالیز روشنایی سالانه و شکل ۷، گراف آنالیز خیرگی در ۴روز از سال (اعتدال بهاری-اول فروردین، انقلاب تابستانی-اول تیر، اعتدال پاییزی-اول مهر و انقلاب زمستانی-اول دی) را نشان می‌دهند. در این گراف‌ها با انتخاب محدوده‌هایی از متغیرها و خروجی‌ها می‌توان به بررسی تأثیر هر متغیر در خروجی‌ها، رابطه بین متغیرها و در نهایت یافتن حالات بهینه پرداخت.

بهینه‌ترین حالت در شرایطی اتفاق می‌افتد که تعادلی بین شاخص‌های استقلال نور روز فضایی و تابش مستقیم سالانه نور خورشید و احتمال خیرگی نور روز برقرار شود. از این رو، نتایج آنالیز روشنایی سالانه و خیرگی به صورت متناظر مورد بررسی قرار گرفتند. در مرحله اول ستون‌های مربوط به خروجی‌ها به بازه‌های مطلوب محدود شدند؛ به این صورت که تابش مستقیم سالانه نور خورشید (ASE) کمتر از ۱۰٪، استقلال نور روز فضایی (SDA) بیشتر از ۵۰٪ و احتمال خیرگی نور روز (DGP) کمتر از ۰٫۳۵ باشد.



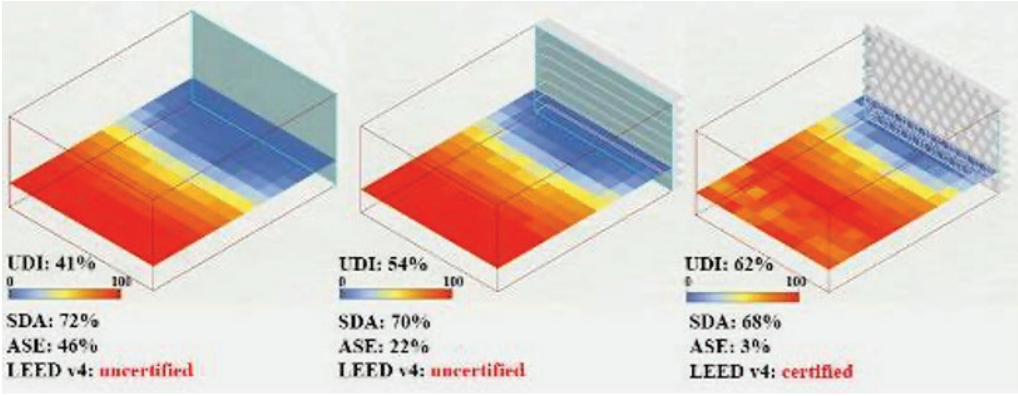
شکل ۵. گراف‌های حاصل از آنالیز روشنایی سالانه

با توجه به شکل ۷(b) برای اینکه خیرگی در حد نامحسوس باشد حالات مختلفی از متغیرها وجود دارد؛ از این رو ابتدا به بررسی گراف آنالیز روشنایی سالانه پرداخته شد. شکل ۵(b) نشان می‌دهد که بدون پانل‌های افقی، شرط ASE کمتر از ۱۰٪ تأمین نمی‌شود؛ بنابراین در گراف مربوط به آنالیز خیرگی نیز عرض پانل‌های افقی به مقدار غیر از صفر محدود شد (شکل ۷(c)). سپس با مقایسه تأثیر ضریب عبور نور شیشه در گراف آنالیز روشنایی (شکل ۵(c)) مشاهده می‌شود که شیشه با ضریب عبور نور ۰٫۸ به میزان قابل‌توجهی میزان SDA و UDI را افزایش می‌دهد؛ بنابراین در گراف مربوط به آنالیز خیرگی نیز ضریب عبور نور ۰٫۸ انتخاب شد (شکل ۷(c)). با توجه به گراف‌های شکل ۵(d و e) نیز برای هر دو پوسته و پانل‌های افقی، متریال پلاستیک با ضریب انعکاس ۰٫۶ روشنایی مطلوب‌تری را تأمین می‌کنند. در نهایت در رابطه با عرض پانل‌های افقی مشاهده می‌شود که عرض یک متر با اختلاف ناچیزی نسبت به عرض ۰٫۵ متر سبب افزایش میزان SDA و UDI می‌شود.

جدول ۳. نتایج آنالیز روشنایی حالت پایه (بدون در نظر گرفتن پوسته و پانل های افقی) و حالات بهینه

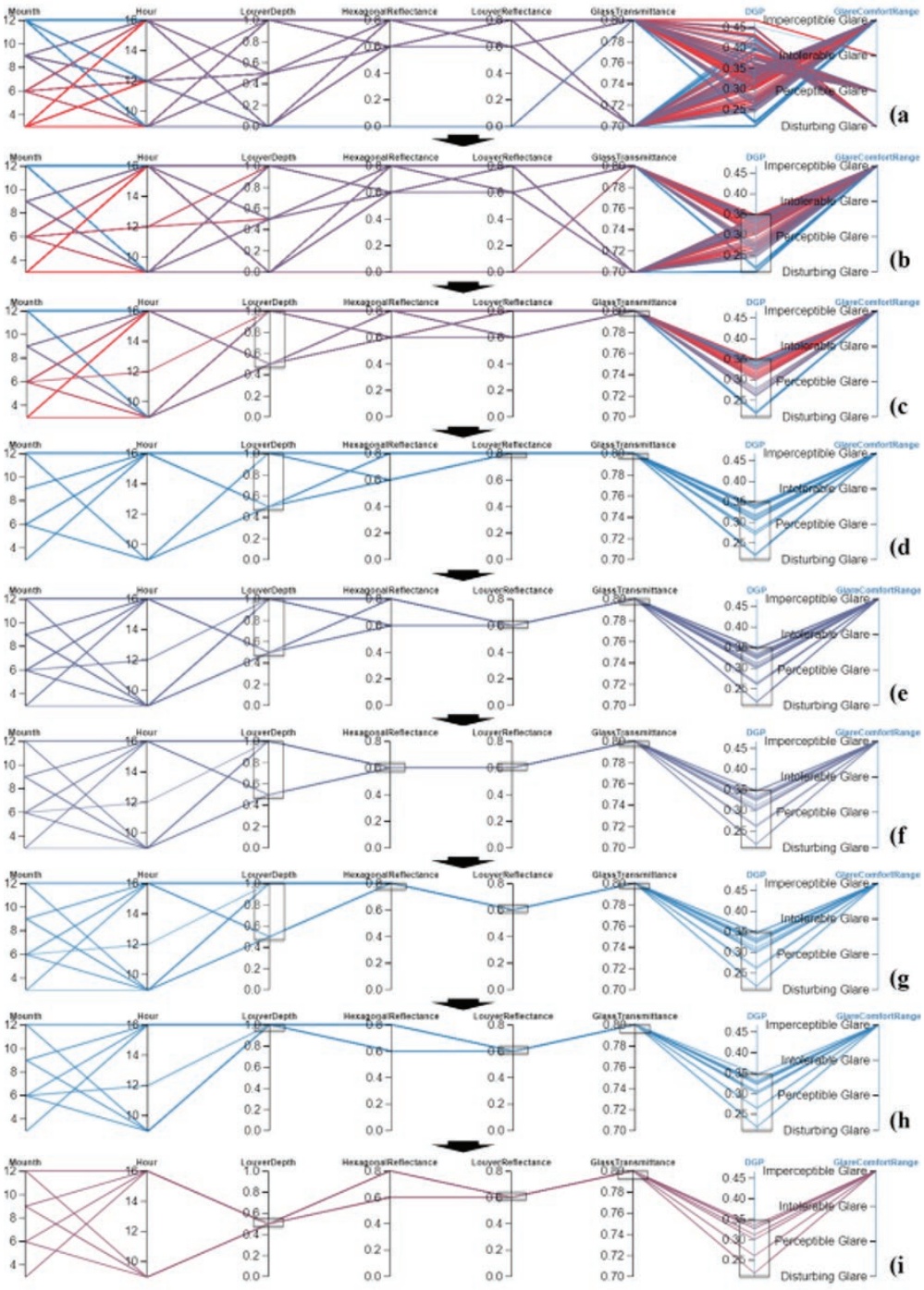
	عرض پانل‌ها	ضریب انعکاس پوسته	ضریب انعکاس پانل‌ها	ضریب عبور نور شیشه	UDI	ASE	SDA	تأییدیه لید
حالت محافظت نشده	-	-	-	۰٫۷	۴۳٫۴۱۸۶۷	۴۶٫۳۱۷۳۸	۶۹٫۸۰	×
	-	-	-	۰٫۸	۴۱٫۱۲۸۱۲	۵۰٫۴۵۷۰۸	۷۲٫۶۷	×
حالات بهینه محافظت شده با پوسته و پانل‌های افقی	۱	۰٫۸	۰٫۸	۰٫۸	۶۰٫۵۰۲۷۳	۰٫۶۴۹۳۹۳	۶۷٫۶۴	✓
	۱	۰٫۶	۰٫۶	۰٫۸	۶۳٫۰۵۲۱۴	۰٫۶۴۹۳۴۱	۶۹٫۴	✓
	۱	۰٫۶	۰٫۸	۰٫۸	۶۰٫۵۱۳۳۱	۰٫۶۴۹۳۵۶	۶۳٫۴۴	✓
	۱	۰٫۸	۰٫۶	۰٫۸	۶۳٫۲۶۸۱۲	۰٫۶۴۹۱۸۱	۶۴٫۱۳	✓
	۰٫۵	۰٫۶	۰٫۶	۰٫۸	۶۲٫۲۵۸۷	۳٫۲۴۶۷۵۳	۶۸٫۳۵	✓
	۰٫۵	۰٫۸	۰٫۶	۰٫۸	۶۲٫۱۸۵۳۲	۳٫۲۴۶۸۸۳	۶۷٫۴۶	✓
	۰٫۵	۰٫۸	۰٫۸	۰٫۸	۵۸٫۳۲۸۹	۳٫۲۴۶۷۶۳	۶۱٫۳۶	✓
	۰٫۵	۰٫۶	۰٫۸	۰٫۸	۵۸٫۴۳۳۱۸	۳٫۲۴۶۷۹۴	۶۲٫۳۵	✓
	۰٫۵	۰٫۸	۰٫۶	۰٫۷	۵۸٫۲۰۹۵۵	۷٫۲۹۵۴۶۹	۵۵٫۳۴	✓
	۰٫۵	۰٫۸	۰٫۸	۰٫۷	۵۶٫۲۶۹۷۴	۹٫۳۵۷۴۴۲	۵۳٫۶۶	✓
	۰٫۵	۰٫۶	۰٫۸	۰٫۷	۵۶٫۱۲۹۰۹	۵٫۲۳۴۵۶۲	۵۳٫۳۴	✓
	۰٫۵	۰٫۶	۰٫۶	۰٫۷	۵۸٫۱۶۷۹۲	۲٫۳۴۴۳۵۷	۵۲٫۲۱	✓

با توجه به اینکه ASE کمتر از ۱۰٪ و SDA بیشتر از ۵۰٪ دو معیار الزامی سیستم ارزشیابی لید هستند در جدول ۳، نتایج حالت محافظت نشده (بدون در نظر گرفتن پوسته و پانل‌های افقی) و حالاتی از آنالیزهای روشنایی سالانه را که با معیارهای این سیستم ارزشیابی مطابقت دارند، ارائه شده است. این مقایسه نشان می‌دهد که اعمال پوسته متحرک و پانل‌های افقی در مقابل نما، نقش قابل‌توجهی در بهبود شاخص‌های آسایش بصری دارند. برای درک بهتر تأثیر پوسته در توزیع روشنایی با در نظر گرفتن ضریب عبور نور شیشه ۰٫۸، عرض پانل‌های افقی ۰٫۵ متر و ضریب انعکاس ۰٫۶ برای پوسته و پانل‌ها، در شکل ۶ گراف‌های آنالیز روشنایی در سه حالت محافظت نشده، محافظت با پانل‌های افقی و محافظت با پوسته و پانل‌های افقی مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالت محافظت شده با پانل‌های افقی ASE به میزان کاهش می‌یابد ولی هنوز با آستانه مورد تأیید سیستم ارزشیابی لید تفاوت بسیار دارد. در حالت محافظت با پوسته و پانل‌های افقی گرچه هر دو ASE و SDA کاهش می‌یابند ولی هر دو در آستانه مطلوب یعنی SDA بالای ۵۰٪ و ASE کمتر از ۱۰٪ قرار دارند. شکل ۶ نشان می‌دهد که پانل‌ها به تنهایی نمی‌توانند شرایط آسایش بصری را فراهم کنند ولی ترکیب مؤثر آن‌ها با پوسته، روشنایی کافی در عین ممانعت از تابش زیاد خورشید را فراهم می‌کند.



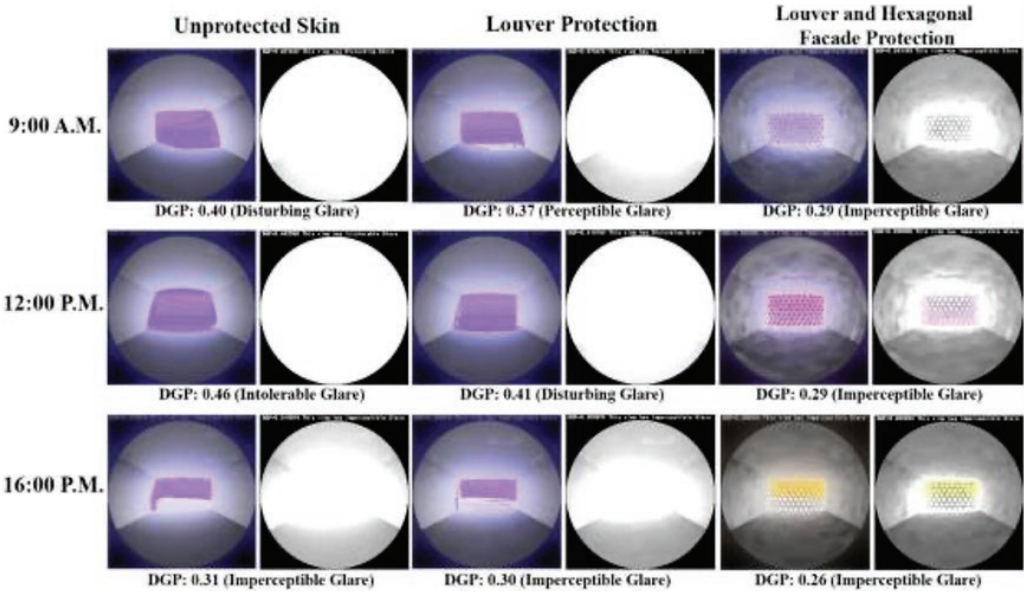
شکل ۶. مقایسه بهره‌وری روشنایی سه حالت نمای محافظت نشده، محافظت با پانل‌های افقی و محافظت با پوسته و پانل‌های افقی

در ادامه، گراف آنالیز خیرگی با توجه به محدودیت‌های اعمال شده از آنالیز روشنایی سالانه (شکل ۷(c)) بررسی می‌شود. در رابطه با متریال پانل‌های افقی، پلاستیک با ضریب انعکاس ۰٫۶ در مقایسه با آلومینیوم با ضریب انعکاس ۰٫۸ در تعداد بیشتری از ساعاتی که آنالیز صورت گرفته است، خیرگی در بازه نامحسوس را تأمین می‌کند (شکل (d و e)۷). با توجه به گراف‌های شکل (f و g)۷، جنس پوسته در میزان خیرگی تأثیر محسوسی ندارد. در رابطه با عرض پانل‌های افقی، عرض ۱ متر فقط در یکی از ساعاتی که آنالیز صورت گرفته است، نتیجه بهتری نسبت به عرض ۰٫۵ متر دارد (شکل (h و i)۷) و نتایج هر دو حالت، مطلوب می‌باشند؛ با این حال به استفاده از پانل‌های ۰٫۵ متری به علت اینکه محدودیت دید کمتری نسبت به پانل‌های ۱ متری ایجاد می‌کند، توصیه می‌شود.



شکل ۷. گراف‌های حاصل از آنالیز خیرگی

در شکل ۸ گراف‌های آنالیز خیرگی برای یک روز (اعتدال پاییزی-اول مهر) با در نظر گرفتن ضریب عبور نور شیشه ۰٫۸، عرض پانل‌های افقی ۰٫۵ متر و ضریب انعکاس ۰٫۶ برای پوسته و پانل‌ها، نشان داده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود اعمال پوسته متحرک در مقابل نما، نقش قابل‌توجهی در کاهش میزان خیرگی دارد. به طور مثال، در ساعت ۹ صبح نمای محافظت نشده با خیرگی آزاردهنده، نمای محافظت شده با پانل‌های افقی با خیرگی محسوس و نمای محافظت شده با پوسته و پانل‌های افقی با خیرگی نامحسوس مواجه هستند.



شکل ۸. مقایسه آسایش خیرگی سه حالت نمای محافظت نشده، محافظت با پانل‌های افقی و محافظت با پوسته و پانل‌های افقی در اعتدال پاییزی (اول مهر)

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، مسائل زیست‌محیطی و همچنین لزوم صرفه‌جویی در مصرف انرژی، استفاده از نور روز در ساختمان‌ها را به عنوان یکی از معیارهای مهم طراحی معماری مطرح کرده است، چرا که بهره‌گیری از نور طبیعی در فضاهای داخلی، موجب کاهش نیاز به روشنایی مصنوعی و در نتیجه کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان می‌شود. با وجود اینکه نور طبیعی تأثیر قابل‌توجهی در ارتقاء کیفیت فضای داخلی، شرایط روحی و جسمی افراد و عملکرد ساکنین دارد، نور بیش از حد نیز با افزایش خطر خیرگی و تولید گرما می‌تواند آزاردهنده باشد. از این رو، ارتقاء سطح روشنایی فضاهای داخلی در عین کنترل خیرگی و تأمین آسایش بصری با توجه به تغییرات شرایط آب و هوایی در طول سال از جمله دلایل توجه بیشتر و مطرح شدن نماهای متحرک سازگار می‌باشند.

در این پژوهش، بهره‌وری روشنایی یک پوسته متحرک سازگار در نمای جنوبی یک فضای اداری در شهر تهران مورد ارزیابی قرار گرفت. طرح پوسته یک نقش اسلیمی و سناریوی حرکتی آن وابسته به موقعیت خورشید می‌باشد. جهت افزایش کارایی پوسته و کاهش تابش مستقیم نور خورشید، تأثیر پانل‌های افقی در مقابل پوسته نیز مورد بررسی قرار گرفت. آنالیزهای روشنایی سالانه با هدف سنجش میزان تطبیق ایده طراحی با سطح آسایش بصری مورد تأیید سیستم ارزشیابی لید صورت گرفتند، که در این سیستم ارزشیابی، تأمین تابش مستقیم سالانه نور خورشید (ASE) کمتر از ۱۰٪ و استقلال نور روز فضایی (SDA) بیشتر از ۵۰٪، فاکتورهای تأمین آسایش بصری هستند. اگرچه تابش مستقیم سالانه نور خورشید (ASE) کمتر از ۱۰٪ به معنی کاهش خطر خیرگی می‌باشد، با این حال جهت بررسی بهتر در ساعاتی از ۴روز بحرانی سال (اعتدال بهاری (اول فروردین)، انقلاب تابستانی (اول تیر)، اعتدال پاییزی (اول مهر) و انقلاب زمستانی (اول دی)) آنالیزهای خیرگی نیز صورت گرفتند.

نتایج آنالیز نشان داد که اعمال این پوسته متحرک، نقش قابل‌توجهی در افزایش بهره‌وری روشنایی دارد و همچنین معیارهای آسایش بصری سیستم ارزشیابی لید را تأمین می‌کند. با مقایسه نتایج حالات بهینه محافظت

شده با پوسته و پانل‌های افقی با حالت محافظت نشده مشاهده می‌شود که روشنایی نور روز مفید (UDI) به طور متوسط ۲۰٪ افزایش می‌یابد که حاکی از توزیع روشنایی یکنواخت‌تری می‌باشد و گرچه استقلال نور روز فضایی (SDA) به میزان ۳ تا ۲۰ درصد کاهش می‌یابد ولی کاهش ۴۰ تا ۵۰ درصدی تابش مستقیم سالانه نور خورشید (ASE) را به همراه دارد. در اغلب ساعاتی که آنالیز خیرگی صورت گرفته، میزان خیرگی نامحسوس است.
در رابطه با مصالح باید گفت که جنس شیشه و پانل‌های افقی تأثیر بیشتری نسبت به جنس پوسته در نتایج دارند. در راستای افزایش بهره‌وری روشنایی، شیشه دوجداره معمولی نسبت به شیشه دوجداره کم گسیل و متریال پلاستیک نسبت به آلومینیوم برای هر دو پوسته و پانل‌های افقی نتایج بهتری دارند. در خصوص عرض پانل‌های افقی مشاهده می‌شود که عرض پانل‌ها با آسایش بصری رابطه مستقیم دارد ولی با توجه به اینکه در نتایج آنالیزهای روشنایی سالانه، اختلاف ناچیز و در نتایج آنالیزهای خیرگی، اختلاف کمی را در پی دارند و همچنین از آنجایی که هرچه عرض پانل‌ها کمتر باشد محدودیت دید کمتری ایجاد می‌کنند، به طراحی با عرض کمتر توصیه می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1. Parametric
2. Algorithmic
3. Leadership in Energy and Environmental Design, (LEED)
4. Prismatic Glass
5. Laser Cut Panel, (LCP)
6. Electrochromic Glass
7. Light Shelf
8. Light Shaft
9. Anidolic System
10. Spatial Daylight Autonomy, (SDA)
11. Annual Solar Exposure, (ASE)
12. Useful Daylight Illuminance, (UDI)
13. Daylight Glare Probability, (DGP)
14. Imperceptible Glare
15. Perceptible Glare
16. Disturbing Glare
17. Intolerable Glare
18. Daylight Factor, (DF)
19. Origami
20. Rhino
21. Grasshopper
22. Honeybee
23. Ladybug
24. Design Explorer
25. Low-Emissivity Glass
26. Light Transmittance
27. Reflectance
28. Excel
29. Glare Comfort Range

فهرست منابع

- انصاری، جمال (۱۳۶۶). گچبری دوران ساسانی و تأثیر آن در هنرهای اسلامی. *فصلنامه هنر*، ۱۳، ۳۱۸-۳۷۳.
- بورکهارت، تیتوس (۱۳۶۵). *هنر اسلامی، زبان و بیان* (مترجم: مسعود رجب نیا). تهران: سروش.
- پوپ، آرتور، و بالتروشایتس، یورگیس (۱۳۸۴). *نقوش پیشینه‌دار* (مترجم: ژیلبرت صدیق پور). ژیلبرت صدیق‌پور.
- سیلوایه، سونیا، دانشجو، خسرو، و فرمهین فراهانی، سعید (۱۳۹۲). هندسه در معماری ایران پیش از اسلام و تجلی آن در معماری معاصر ایران. *نقش جهان*، ۳ (۱)، ۵۵-۶۶.
- کیانی، محمد یوسف (۱۳۷۰). *تزئینات وابسته به معماری ایران*. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
- میرزایی، عبدالله (۱۳۹۱). بررسی سیر تکامل اسلیمی در هنر ایران. *کتاب ماه هنر*، ۱۶۴، ۵۴-۵۷.
- نصراللهی، فرشاد (۱۳۹۰). *ضوابط معماری و شهرسازی کاهش دهنده مصرف انرژی ساختمان‌ها*. تهران: نشست کمیته ملی انرژی ایران.
- ویلسون، آوا (۱۳۸۸). *طرح‌های اسلامی* (مترجم: محمدرضا ریاضی). تهران: سمت.

- Arif, M., Katafygiotou, M., Mazroei, A., Kaushik, A., & Elsarrag, E. (2016). Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: a review of the literature. *International Journal of Sustainable Built Environment,* 5 (1), 1-11.
- Attia, S., Bilir, S., Safy, T., Struck, C., Loonen, R., & Goia, F. (2018). Current trends and future challenges in the performance assessment of adaptive facade systems. *Energy and Buildings,* 179, 165-182.
- Bian, Y., Leng, Y., & Ma, Y. (2018). A proposed discomfort glare evaluation method based on the concept of 'adaptive zone'. *Building and Environment,* 143, 306-317.
- Carlucci, S., Causone, F., De Rosa, F., & Pagliano, L. (2015). A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 47, 1016-1033.
- CEN (2011). *EN 12464-1: Light and lighting-lighting of work places, part 1: indoor work places*. Brussels, Belgium: CEN.
- Choi, S. J., Lee, D. S., & Jo, J. H. (2017). Lighting and cooling energy assessment of multi-purpose control strategies for external movable shading devices by using shaded fraction. *Energy and Buildings,* 150, 328-338.
- Eltaweel, A., & Su, Y. (2017). Parametric design and daylighting: a literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 73, 1068-1103.
- Hammad, F. (2010). The energy savings potential of using dynamic external louvers in an office building. *Energy and Buildings,* 82, 1888-1895.
- Hassan, A., Abdin, A., & Ezzeldin, S. (2017). Parallel Parametric Simulation for Optimizing Non-Conventional Solar Screens: An Approach for Balancing Daylight and Thermal Performance in Hot Arid Climates. *International Conference for Sustainable Design of the Built Environment-SDBE London,* 257-268.
- Kalogirou, A. S. (2015). Building integration of solar renewable energy systems towards zero or nearly zero energy buildings. *International Journal of Low-Carbon Technelogy,* 10 (4), 379-385.
- Kirimtat, A., Koyunbaba, B., Chatzikonstantinou, I., & Sariyildiz, S. (2016). Review of simulation modeling for shading devices in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 53, 23-49.
- Kontovourkis, O., Michael, A., Alexandrou, K., & Vassiliades, C. (2015). Lighting performance simulation and adaptive control of an advanced building skin based on human behaviour inputs. 10th *International Conference On Advanced Building Skins, Bern Switzerland*, 1340-1349.

- Loonen, R., Trčka, M., Cóstola, D., & Hensen, J. (2013). Climate adaptive building shells: state-of-the-art and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 25, 483-493.
- Mahmoud, A. H. A., & Elghazi, Y. (2016). Parametric-based designs for kinetic facades to optimize daylight performance: Comparing rotation and translation kinetic motion for hexagonal facade patterns. *Solar Energy,* 126, 111-127.
- Mardaljevic, J., Heschong, L., & Lee, E. (2009). Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research and Technology*, 41, 261-283.
- Michael, A. (2012). Natural lighting in the indoor environment. In A. M_endez Vilas (Ed.), *Fuelling the Future: Advances in Science and Technologies for Energy Generation, Transmission and Storage.* Florida, USA: Brown Walker.
- Michael, A., Eftychi, M., & Pattichi, E. (2015). Innovative integrated concept for an environmentally friendly and energy efficient building envelope. *The 10th International Conference On Advanced Building Skins, Bern Switzerland,* 1360-1369.
- Michael, A. G., Alexandrou, K. C., Konatzii, P. G., & Kalli, A. K. (2016). An environmental renovation strategy based on adaptive control optimisation of a modular light regulating façade system. *The 6th International Conference On Harmonisation between Architecture and Nature, Eco-Architecture, Alicante, Spain,* 142-153.
- Michael, A., Gregoriou, S., & Kalogirou, S. A. (2018). Environmental assessment of an integrated adaptive system for the improvement of indoor visual comfort of existing buildings. *Renewable Energy,* 115, 620-633
- Palmero-Marrero, A. I., & Oliveira, A. C. (2010). Effect of louver shading devices on building energy requirements. *Applied Energy,* 87 (6), 2040-2049.
- Reinhart, C. F., Jakubiec, J. A., & Ibarra, D. (2013). Definition of a reference office for standardized evaluations of dynamic façade and lighting technologies. *The 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambery, France*, 3645-3652.
- Reinhart, C. F., & Wienold, J. (2012). The daylighti*ng dashboard: A simulation-based design analysis for daylit spaces. Building and Environment,* 46, 386-396.
- Tabadkani, A., Valinejad Shoubi, M., Soflaei, F., & Banihashemi, S. (2019). Integrated parametric design of adaptive facades for user's visual comfort. *Automation in Construction,* 106, 1-19.
- USGBC (2015). *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED).* U.S: Green Building Council.
- Xue, P., Mak, C., & Huang, Y. (2016). Quantification of luminous comfort with dynamic daylight metrics in residential buildings. *Energy and Buildings,* 117, 99-108.

Vol. 13 • No. 31 • Summer 2021

Received: 08 December, 2019 | Accepted: 16 June, 2020

Document Type: Research Paper

Parametric Design of a Kinetic Facade for the Improvement of Daylight Performance and Visual Comfort Case Study: An Office Space in Tehran

Sahar Rostamzad
M.A. in Architecture, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran (Corresponding Author)

Mohsen Feizi
Professor, Department of Architecture, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Haniyeh Sanaieian
Assistant Professor, Department of Architecture, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Mehdi Khakzand
Associate professor, Department of Architecture, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Abstract

Daylighting has significant impacts on the physiological and psychological needs of people in addition to reducing energy consumption. Furthermore, it should be noted that excessive daylight can cause visual discomfort and glare. Therefore, the reasons for the growing attention towards the responsive kinetic skins are increasing the indoor lighting levels while controlling glare and providing visual comfort due to different weather conditions during the year. This research proposes and evaluates a sun-responsive kinetic skin consisting of an Islamic pattern for the improvement of indoor environmental conditions. The use of Islamic patterns has a long history and a special significance in Iranian-Islamic architecture, and its geometric and iterative design is correspondent with the idea of the kinetic skin. With the aim of increasing the illuminance level while reducing the risk of glare, the minimum and maximum solar altitude angles are considered corresponding to the skin opening ratio (50-100%), so that the lowest solar altitude angle is corresponding to the highest opening ratio, and the highest solar altitude angle is corresponding to the lowest opening ratio. The case study is a 7-meter deep south-oriented office space in Tehran. The depth of 7-meter is commonly used for conceptual design explorations and it is also chosen to be this large so that the effect of daylighting remains visible for all adaptive façade variations. Furthermore, horizontal louvers are deployed among the facade to control excessive unwanted daylight. The aim of this study is to provide a visual comfort level based on the LEED certificate. According to LEED, spatial daylight autonomy (SDA) of at least 50%, and annual sunlight exposure (ASE) of no more than 10% is recommended. The proposed envelope was evaluated using Grasshopper / Rhino for parametric simulation, Ladybug for inputting time zones and delivering sun position coordinates, Honeybee for analyzing daylight and glare, and online software 'Design Explorer' for extracting optimum solutions. The reflectance of the floor, ceiling, and walls are considered 20%, 80% and 50%, respectively, according to the conventional materials. Louver depth (50 and 100 centimeters), louver material (plastic and aluminium), glass material (double glazed low emissivity glass, and double-glazed clear glass), and the kinetic skin material (plastic and aluminium) were considered as input variables. Test points were chosen 0.5 meters apart and 0.8 meters high from the floor (desk height). The glare analyses were conducted during the winter solstice (December 21st), spring equinox (March 21st), autumn equinox (September 23st), and the summer solstice (June 21st) at 09:00h, 12:00h, and 16:00h, in order to meet extreme sun angles. In this study, 360 glare analyses and 30 annual daylight analyses were performed. The results show that the proposed system is efficiently capable of achieving imperceptible glare most of the time and providing the improvement of daylight performance and visual comfort level based on the LEED certificate. Useful daylight illuminance (UDI) increases by around 20 percent. Despite the decrease in spatial daylight autonomy (SDA) by around 3-20 percent, annual solar exposure (ASE) decreases by around 40-50 percent.

Keywords: Daylight, visual comfort, glare, kinetic skin, parametric design