فصلنامه علمی پژوهش‌های بوم‌شناسی‌شهری
سال ... ، شماره...، پیاپی ... ، زمستان .... (-)

Journal of Urban Ecology Research
Vol...., NO. ..., Series ..., Winter ...2, (-)
DOI: 10.30473/grup.2025.70487.2833

بهینه‌سازی الگوی هندسی دریافت نور در عنصر شباک به‌منظور ارتقای میزان نور روز مطلوب (مطالعه موردی: ساختمان اداری شهر کرمان)

علی ذبیحی[1]، *رضا میرزایی[2]، علی یظهری کرمانی[3]، احمد حیدری[4]
۱. دانشجوی دکتری، گروه هنر و معماری، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران.
۲. استادیار، گروه هنر و معماری، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران.
۳. استادیار، گروه هنر و معماری، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۹

Optimizing the Geometric Pattern of Light Reception in The Sabak Element to Enhance the Optimal Daylight Level (Case Study: Office Building in Kerman)

Ali Zabihi[1], Reza Mirzaei[2*], Ali Yazhari Kermani[3], Ahamad Heydari[2]
1. Ph.D. Candidate, Department of Art and Architecture, College of Architecture, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Art and Architecture, College of Architecture, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Art and Architecture, College of Architecture, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran.

Received: 2021/-/- Accepted: 2022/-/-

چکیده

امروزه راهکارهای کاهش مصرف انرژی ساختمان برای حفاظت از منابع انرژی تجدیدناپذیر ضروری است که موردتوجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. ایجاد شرایط نوری مناسب در فضای اداری یکی از مهم‌ترین عوامل در طراحی بوده که تأثیرات چشمگیری بر شرایط روحی، جسمی و کاهش مصرف انرژی دارد. یکی از عناصر مهم بکار رفته در معماری ایران نورگیر شباک بوده که تأثیر قابل‌توجهی بر حفاظت از خیرگی، کارایی انرژی، تأمین و کنترل نور روز در ساختمان داشته است. هدف این پژوهش دستیابی به الگوی بهینه‌سازی شده شباک، جهت ارتقای کیفیت و دریافت نور روز مطلوب و کاهش خیرگی است. ابتدا به‌مرور و مطالعات اولیه پیرامون عنصر شباک پرداخته و در مرحله بعد وضعیت جزئیات معماری و مصرف انرژی ساختمان اداری انتخاب شده شهر کرمان در نرم‌افزار شبیه‌سازی، مدل‌سازی و بررسی می‌شود. شبیه‌سازی پژوهش در چهارچوب نرم‌افزار راینو و پلاگین‌های گرس‌هاپر، لیدی باگ، هانی بی موتور ریدینس برای شبیه‌سازی نور روز بکار رفته و ابزار گالاپاگوس که قابلیت بهینه‌سازی بر اساس الگوریتم ژنتیک دارد استفاده شده است. نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها نشان داد که تغییر در شاخص مقیاس روزنه‌ها در حالت میانی ۱۵۶/۷۹ و حداکثر ۲۰۷/۳۶ سانتی‌متر، موقعیت نقطه جذب در بازده ۲۷ تا ۳۱ و شعاع جذب ۰/۹ و ۱/۱ متر هندسه الگوی شباک در ارتقای کیفیت و دریافت نور روز مطلوب مؤثر بوده و در نتیجه موجب افزایش حدود ۵۴ درصد نور مفید روز (UDI) و کاهش ۱۵/۶ درصد خیرگی (sGA) به‌صورت سالیانه می‌شود.

واژگان کلیدی

شباک، ساختمان اداری، بهینه‌سازی، نور روز، خیرگی

Abstract

Today, solutions for reducing energy consumption in buildings to protect non-renewable energy resources are essential and have received significant attention from researchers. Creating appropriate lighting conditions in office spaces is one of the most important factors in design, impacting both mental and physical conditions, as well as reducing energy consumption. A significant element in Iranian architecture is the "shabak" skylight, which plays a crucial role in controlling glare, enhancing energy efficiency, and optimizing daylight in buildings. This research aims to develop an optimized shabak pattern model to improve daylight quality and reduce glare. Initially, the study conducts a review and preliminary analysis of the shabak element. Subsequently, the architectural details and energy consumption of a selected administrative building in Kerman aresimulated and analyzed using specialized software. The research utilizes Rhino software and plugins such as Grasshopper, Ladybug, Honeybee, and Radiance Engine for daylight simulation. Additionally, the Galapagos tool, with its genetic algorithm-based optimization capabilities, is employed. Data analysis results show that the optimal aperture scale is 156.79 in the middle state with a maximum of 207.36 centimeters. The absorption point position ranges between 27 to 31, with an absorption radius of 0.9 to 1.1 meters. The geometry of the shabak pattern has effectively enhanced the quality of daylight, resulting in a 54% increase in useful daylight illuminance and a 15.6% reduction in annual glare.

Keywords

Shabak, Office Building, Optimization, Daylight, Glare.

E-mail: mirzaeireza@iaubir.ir
***نویسنده مسئول: رضا میرزایی**
***Corresponding Author**: Reza Mirzaei

مقدمه

یکی از چالش‌های مهم در معماری معاصر جهان که بخصوص کشورهای درحال‌توسعه با آن مواجه‌اند، مصرف انرژی است. در دوران مدرن، توجه به اقلیم و نقش آن در مراحل طراحی با تغییرات فراوانی همراه شده است. یکی از مهم‌ترین بخش‌هایی که امروزه انرژی زیادی مصرف می‌کند، ساختمان‌ها هستند. آمارها نمایانگر این نکته است که از کل انرژی مصرفی کشور، میزان مصرف انرژی در بخش ساختمان‌ها حدود ۳۷ درصد است، که ساختمان‌های اداری دولتی و عمومی ۷۰ درصد این میزان را به مصرف انرژی خود اختصاص داده‌اند (Farhanieh & Sattari, 2006; Hong, 2018). در همین راستا بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های فوق که بخش بزرگی از انرژی مصرفی در کشور را دارند، از اهمیت زیادی برخوردار است. بیشتر فعالیت‌های ادارات دولتی در ساعاتی انجام می‌شود که معمولاً روشنایی نور روز کافی است و می‌توان نور روز مناسب را با بکارگیری راهکارهایی به داخل فضا وارد نمود و از آن استفاده کرد. با توجه به اینکه ایران روی کمربند آفتابی در نیمکره شمالی قرارگرفته است و به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی یکی از بالاترین رده‌های جهانی (با تابش بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلوات ساعت بر مترمربع که بالاتر از میزان متوسط جهانی است) را به خود اختصاص داده است (صفایی و همکاران، ۱۳۸۴).

شهر کرمان با قرارگیری در مناطق کویری و موقعیت جغرافیایی خاص، شدت روشنایی و تابش نور خورشید دریافتی بسیار بیشتر از میزان نیاز فضاهای کاربردی را دارد و با ورود تمام طیف تابشی، نور خورشید باعث گرم‌شدن، خیرگی و ناراحتی‌های دیگری در فضاهای داخلی می‌شود (کاظم‌زاده و طاهباز، ۱۳۹۲: ۲۰). بهره‌گیری از نور روز و روشنایی طبیعی مناسب در ساختمان‌ها، امکان حفظ انرژی زیادی را متضمن می‌شود (Subbiah et al., 2017). بر اساس تحقیقات انجام شده یکی از موضوعات مهمی که اهمیت آن روزبه‌روز افزوده می‌شود، توجه به جایگاه نور روز در مصرف هوشمندانه انرژی و بهره‌وری است. در حال حاضر میزان مناسب روشنایی توسط انجمن مهندسی روشنایی[1] آمریکا، مؤسسه تحقیقات ساخت‌وساز NRC[2] و استاندارد لیید[3] ، حداقل 300 لوکس تعریف می‌شود که این ورود میزان نور استاندارد در فضای اداری امری ضروری است (Denan, 2004, Brembilla, 2019, Lee, 2010).

در سال‌های اخیر باتوجه‌به چالش‌های جدید مطرح شده، در ارتباط با چگونگی دریافت نور برای فضاهای اداری، کیفیت محیط برای کارمندان با مشکلاتی از جمله: مسائل روان‌شناختی، فیزیکی و عملکردی روبرو شده است که با بررسی تحقیقات پیرامون موضوع می‌توان مسائل و مشکلات بیان شده را با استفاده از راهکارهایی بهره‌وری مطلوب از نور روز و کاهش خیرگی، فضای اداری را برای کارمندان بهبود بخشید. استفاده مناسب از نور طبیعی و ایجاد شرایط روشنایی مطلوب، علاوه بر کاهش مصرف انرژی الکتریکی، منجر به افزایش راندمان و رضایت کارمندان در فضاهای اداری نیز می‌شود.

با پیشرفت ساختمان‌سازی و تغییر سبک طراحی، کیفیت نورپردازی طبیعی در فضاهای معماری از اهمیت کمتری برخوردار شده است. توجه به آموزه‌ها و تجارب گذشتگان، در مورداستفادهٔ مناسب از نور طبیعی در فضای معماری، موجب بهبود کارایی و کیفیت برنامه‌ریزی فضای داخل ساختمان و همچنین صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. در ادوار گذشته ایران، نحوه کنترل نور در فضاهای داخلی برای معماران بسیار مهم بوده و از روش‌ها و عناصری همچون کنترل‌کننده‌های نور و نورگیرهایی مانند شباک استفاده می‌شد. امروزه با پیشرفت مصالح ساختمانی و روش‌های هوشمندسازی و بهینه‌سازی، می‌توان راه‌حل‌های جدید برای بهره‌گیری از فن آوری‌های کنترلی نوین ارائه نمود.

در میان اجزاء ساختمان، بازشوها، بخصوص پنجره‌ها با ابعاد بهینه و الگوی انتشار نور روز داخل فضا، یکی از عناصر مهم ساختمان هستند که همواره از نظر انتقال روشنایی و حرارت به داخل فضا و صرفه‌جویی مصرف انرژی الکتریکی و حرارتی بسیار مؤثر هستند و از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (Fasi & Budaiwi, 2015). یکی از نقاط ضعف فرایند بهینه‌سازی در مصرف انرژی، عدم وجود راهکار مناسب جهت بهینه‌سازی جداره‌های نور گذر و بازشوها بخصوص پنجره در ساختمان‌های اداری موجود است. در همین راستا، یکی از اصلی‌ترین ویژگی‌های نور روز که ممکن است بر علاقه بصری و بهره‌وری مطلوب نور روز تأثیرگذار باشد، الگوی هندسی انتشار آن است. الگوهای هندسه انتشار نور روز معمولاً توسط موانع بیرون یا داخلی فضا مانند: سایه سازه، پوسته‌های متخلخل و یا نماهای چندلایه شکل

---

[1] Illuminating Engineering Society

[2] Leadership in Energy and Environmental Design

[3] National Research Council Canada

می‌گیرند که بر میزان دریافت بهینه و بهره‌وری مطلوب از نور روز نیز مؤثر هستند (Abboushi, 2018، رضایی و شرقی، ۱۳۹۹).

یکی از مسائل بسیار مهم در دهه‌های اخیر بهینه‌سازی مصرف انرژی و تلاش برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان است که می‌توان عملکرد نور روز و انرژی را با استفاده از شبیه‌سازی‌های دقیق محاسبه نمود.

در همین راستا هدف پژوهش حاضر، احیای عنصر شباک و ارائه راه‌حل‌های جدید و هوشمندانه برای کنترل نور روز در محدوده استاندارد ۳۰۰ تا ۱۵۰۰ لوکس که به‌عنوان معیار بهینه‌سازی نور روز با استفاده از الگوی شباک بهینه (دوبعدی) نصب شده بر روی شیشه پنجره‌های ساختمان اداری در شهر کرمان انتخاب شده است. در همین راستا این پژوهش به دنبال پاسخ به این سؤال است که تغییر مقیاس روزنه‌های الگوی هندسی شباک (دوبعدی نصب شده بر روی شیشه) بر افزایش دریافت روشنایی مفید نور روز مؤثر است؟ تغییر در نقطه جذب و شعاع جذب الگوی شباک بر کاهش خیرگی مؤثر است؟ تغییر در مقیاس روزنه‌ها، نقطه جذب و شعاع جذب الگوی شباک تا چه میزان محدوده استاندارد مقدار روشنایی بین ۳۰۰ تا ۱۵۰۰ لوکس را در بازه یک‌ساله دریافت خواهد نمود؟

مبانی نظری

چارچوب نظری

یکی از عناصر اساسی در پایداری ساختمان بهر گیری از نور روز است که از منظر زیست‌محیطی و اجتماعی در شرایط پایداری کلی ساختمان سهیم است که امروزه موردتوجه بسیاری از استانداردهای رتبه‌بندی ساختمان بخصوص استاندارد لیید قرار گرفته و برای ساختمان‌هایی که از نور روز خوب بهره‌مند باشد امتیاز بیشتری اختصاص داده می‌شود (Turan et al., 2020: 2). برای طراحی ساختمان انرژی کارا باید کارکرد انرژی الگوهای مختلف را جهت ارائه راه‌حل بهینه و مطلوب مورد ارزیابی و تحلیل قرار دارد. در نتیجه عدم توجه به مزایا و ویژگی‌های استفاده از نور روز در ساختمان اداری زمینه‌ساز مشکلات زیادی چون افزایش انتشار کربن و افزایش مصرف انرژی شود (Le-Thanh et al., 2021). در همین راستا شبیه‌سازی عملکرد ساختمان امکان بررسی بر روی تعداد زیاد گزینه‌ها ایجاد می‌کند تا اهداف طراحان را جهت کاهش مصرف انرژی، کاهش انتشار کربن، تأثیرات محیطی، بهبود آسایش حرارتی و پایداری ساختمان فراهم نماید.

شبیه‌سازی یک فرایند کاملاً اتوماتیک مبتنی بر بهینه‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی عددی است که با استفاده شبیه‌سازی راه‌حل بهینه را برای طراحی ارائه دهد (Attia, 2012). در بسیاری از مطالعات در حوزه بهینه‌سازی جهت بهبود عملکرد ساختمان‌ها روش تحلیل حساسیت جایگزین بهینه‌سازی ریاضی شد که تأثیر متغیرهای طراحی بر تابع هدف را نشان می‌دهد. فرایند شبیه‌سازی با استفاده از برنامه شبیه‌سازی ساختمان و به کمک موتورهای بهینه‌سازی که از یک یا چند الگوریتم یا استراتژی بهینه‌سازی شکل‌گرفته انجام می‌شود (محمدزاده، ۱۳۹۸: ۱۹). در همین راستا به‌منظور صرفه‌جویی و کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها بهینه‌سازی سطح پنجره بسیار مؤثر و مهم است. عدم توجه به شکل، تناسبات و سایه‌سازهای پنجره با سطح فضای پشت آن از نظر اقلیمی و محیطی مشکلات فراوانی برای کاربران فضا ایجاد می‌کند و باعث می‌شود ساکنین به‌منظور حفظ از تابش بیش حد نور خورشید از سایه‌سازها بخصوص پرده‌های داخلی به طور دائم استفاده کنند و از ورود نور به فضای داخلی جلوگیری نمایند.

یکی از مهم‌ترین عناصر در معماری ایرانی که جهت تأمین و ورود کنترل شده نور روز به فضای داخل بکار گرفته می‌شد، می‌توان به عنصر شباک اشاره نمود. شباک‌ها به‌عنوان یک بازشوی مشبک همراه با تزیینات هندسی و نقوش اسلیمی هستند، به همین منظور درون ساختمان با استفاده از روزن‌ها، پنجره‌های چوبی، گچی و پرده حفظ می‌شد و بیرون پنجره با شبکه‌هایی از جنس کاشی و سفالی پوشانده می‌شد که این شبکه‌ها نور مستقیم خورشید را گرفته و نور ملایم و تلطیف شده، از لابه‌لای فضای پر و خالی آنها عبور می‌نماید (مهدوی‌نژاد و کیا، ۱۳۹۸).

در معماری سنتی ایران نور به‌صورت مستقیم در فضا بکار گرفته نمی‌شد و همواره پس از تعدیل و تنظیم، به فضای داخلی ساختمان وارد می‌شد. به‌کارگیری نور در معماری سنتی ایران با استفاده از عناصر ساده و فنون نوآورانه صورت می‌گرفت. به‌منظور بهره‌برداری نور روز، ورود نور از محیط بیرون به فضای داخلی و همچنین کنترل نور از عناصر متعددی استفاده می‌شد که به تلطیف‌شدن فضای داخلی کمک می‌کرد. از میان عناصر نورگیر بکار رفته در معماری سنتی ایران، عنصر شباک به‌منظور آسایش بصری، حفظ محرمیت، حفاظت از خیرگی و همچنین کارایی انرژی، تأمین و کنترل نور روز، تهویه طبیعی و اعتقادات ایرانیان مورداستفاده قرار می‌رفت (اوغازیان، ۱۳۹۵: ۳۴). اجتناب از نور مستقیم خورشید و گرمای بیش از اندازه دلیل توسعه استفاده از عنصر شباک به‌عنوان نورگیر در اقلیم گرم و خشک بوده که قدمت بسیار طولانی در ایران داشته است (بمانیان و نیکودل، ۱۳۹۳. در اثر برخورد اشعه نور خورشید با نقوش بکار رفته در شبکه‌ها، نور در فضا پخش

شده و به یکنواختی نور فضا کمک می‌کرد (پیرنیا، و معماریان،۱۳۸۱).

نور روز[1]

سه عامل کیفیت نور روز، کمیت نور روز و خیرگی در ارتباط با شدت نور روز است که در تعریف گروه بین‌المللی نور[2] به آن اشاره نموده است. همچنین دستیابی به آرامش بصری در محیط داخلی به دو پارامتر یکنواختی و خیرگی وابسته است. دو عامل مهم در مصرف انرژی برای روشنایی شدت نور و کنترل نور است. باتوجه‌به اینکه نور پراکنده و یکنواخت می‌تواند صرفه‌جویی بیشتری در انرژی و بهبود آسایش بصری فراهم آورد، تلاش باید بر این باشد که در طراحی روشنایی، این دو پارامتر مهم رعایت شود (مهدوی‌نژاد، کیا، ۱۳۹۸).

نور طبیعی باعث کاهش مصرف انرژی الکتریکی، بار گرمایشی و سرمایشی می‌شود. گرمای حاصل از نور روز، کمتر از گرمایی است که لامپ‌های الکتریکی به هنگام تولید مقادیر یکسان نور پدید می‌آورند، در نتیجه بازدهی روشنایی نور طبیعی از نور مصنوعی بیشتر است . (Fang, 2017)در طراحی روشنایی فضاها، توزیع یکنواخت نور بسیار مهم است. این به معنای توزیع نور به صورتی است که حداکثر و حداقل روشنایی در فضا، فاصله کمی با هم داشته باشند. با این کار، خیرگی کاهش پیدا می‌کند و آسایش بصری بهبود می‌یابد. برای رسیدن به این هدف، می‌توان از روزنه‌های کوچک و غیرمتمرکز در جداره‌ها استفاده کرد. به‌علاوه، پنجره‌هایی با مرکزگرایی کمتر می‌توانند به کاهش خیرگی کمک کنند (Lechner & Cooling, 2001).

روشنایی مفید نور روز[3]

روشنایی مفید نور روز (UDI)، در شاخص‌های پویا نور روز قرار دارد و بر اساس میزان روشنایی سطح میز کار اندازه‌گیری و محاسبه می‌شود که به‌منظور ارزیابی انرژی روشنایی مفید نور روز پیشنهاد و مطرح می‌شود. این فاکتور علاوه بر اینکه اندازه‌گیری میزان روشنایی مفید نور روز در یک سطح را مشخص می‌کند، بلکه میزان زیاد روشنایی یک سطح که می‌تواند باعث عدم آسایش ساکنین ساختمان شود را اندازه‌گیری و مشخص می‌کند (Nabil & Mardaljevic, 2005: 6). این فاکتور بین شدت‌های روشنایی مختلف تمایز ایجاد می‌کند. میزان روشنایی کمتر از ۱۰۰ لوکس نمی‌تواند مؤثر باشد و برای انجام کارهای بصری کافی نمی‌باشد و فضا با این میزان، نیاز به استفاده از روشنایی مصنوعی دارد و میزان روشنایی بیشتر از ۳۰۰۰ لوکس می‌تواند منجر به عدم آسایش ساکنین، خیرگی و افزایش گرما در محیط شود (Nabil & Mardaljevic, 2006: 906). در سال ۲۰۱۲ این میزان به ۳۰۰ الی ۳۰۰۰ لوکس تغییر نمود (Chi et al., 2018).

سازمان‌های مختلف، سطوح نور متفاوتی را برای فضاهای اداری پیشنهاد کردند. حداقل سطح روشنایی توصیه شده از سوی انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی (IESNA) برای یک فضای اداری معمولی حداقل ۲۰۰–۵۰۰ لوکس است. مؤسسه تحقیقات ساخت و ساز NRC سطح حداقل ۴۰۰ تا ۵۰۰ لوکس را برای کارهای اداری عمومی توصیه می‌کند. این مقادیر می‌تواند در برخی از مناطق فضا، تحت شرایط خاص، بیشتر یا کمتر باشد. به طور کلی، کتاب راهنمای روشنایی[4] IES مقادیری از ۱۰۰ تا ۱۵۰۰ لوکس را قابل قبول تعریف می‌کند ((Bahdad & Fadzil, 2022; Clayton, 1948; Razzaghmanesh, 2015; Bahdad, et al., 2022. با توجه به محدوده توصیه شده IES برای فضاهای اداری، محدوده روشنایی مورد نظر در این پژوهش بین ۳۰۰–۱۵۰۰ لوکس تنظیم شد.

کفایت نور روز[5]

این فاکتور نیز از شاخص‌های پویا نور روز محسوب می‌شود که در سال ۲۰۰۱ توسط رینهارت[6] و والکنهورست[7] بر اساس اصلاحیه‌ای بر پیشنهاد انجمن سوئیس دی الکتریک سال ۱۹۸۹صورت گرفت، مطرح شد (Reinhart & Walkenhorst, 2001). فاکتور کفایت نور

آماده به انتشار

---

[1] Daylight

[2] CIE: Commission internationale de l'éclairage

[3] Useful Daylight Illuminance

[4] IES Lighting Handbook

[5] Daylight Autonomy

[6] Reinhart

[7] Walkenhorst

آماده انتشار

روز (DA) شاخص قویی است، که به منظور تعیین میزان فراوانی نور روز جهت انجام فعالیت‌های مختلف در فضا فقط با استفاده از نور روز است. کفایت نور روز درصدی است از ساعاتی در طول سال، که نور یک فضای مشخص که مورد استفاده کاربران قرار می‌گیرد، تنها با استفاده از نور روز تأمین شود. میزان کفایت نور روز برای فضا با کاربری‌های مختلف و بر اساس ضوابط مختلف متغییر است. این فاکتور بیان می‌کند که چه میزانی از طول سال آستانه روشنایی در محیط کمتر یا بیشتر از اندازه است. میزان کفایت نور روز بر اساس فایل اطلاعات آب و هوایی که بر گرفته از تمام شرایط آسمان که سالانه در طول روز رخ می‌دهد، اندازه گیری می‌شود. از نقاط قوت شاخص کفایت نور روز نسبت به فاکتور نور روز، می‌توان به تأثیر زمان استفاده از فضا توسط ساکنین و جهت ساختمان اشاره نمود، در زیر معادله کفایت نور روز ارائه شده است.

خیرگی[1]

میزان بالای درخشندگی نور طبیعی در محیط باعث ایجاد خیرگی و عدم آسایش بصری می‌شود. عدم آسایش بصری و خیرگی در فضا منجر به تأثیرات منفی بر افراد در محیط ساختمان می‌شود. بازتابش روشن و انعکاس از سطوح درخشان باعث خیرگی افراد می‌شود که زمینه‌ساز آسیب‌دیدن می‌شود. محیط با توزیع غیریکنواخت و یا بیش از اندازه یکنواخت، در محدوده دید افراد، ایجاد خیرگی می‌نماید (Christoffersen, 2000: 36).

پیشینه تحقیق

در پژوهش‌های انجام شده، تلاش برای پیش‌بینی روشنایی نور روز به‌منظور بهبود و بهینه‌سازی طراحی روشنایی ساختمان شده است. پیش‌بینی روشنایی نور روز، می‌تواند علاوه بر بهینه‌سازی نور در ساختمان، زمینه‌ساز افزایش کارآمدی و کاهش هزینه‌های مربوط به روشنایی شود. پیش‌بینی و توجه به روشنایی نور روز یک‌قدم اساسی در طراحی روشنایی ساختمان است که به طراحان کمک می‌کند تا باتوجه‌به استفاده از نور روز، فضاهای داخلی ساختمان را طراحی کنند.

امیدی فر[2] و همکاران (۲۰۱۵)، در مطالعه‌ای با عنوان استفاده از زیبایی شناسی محیطی در ارزیابی ذهنی کیفیت نور روز در ساختمان‌های اداری که به بررسی شش الگوی انتشار نور روز پرداخته‌اند، به این نکته دست یافتند که اهمیت سنجش همزمان شاخص‌های کیفی و کمی نور روز به منظور ارزیابی جامع و مطلوب فضاهای بهره‌مند از نور دلالت دارد.

واگدی[3] و همکاران (۲۰۱۶)، در پژوهشی تحت عنوان تعادل بین روشنایی روز و عملکرد حرارتی بر اساس بهره‌برداری از گونه‌شناسی کالیدوسیکل در اقلیم گرم و خشک اسوان پرداخته شده است. نتایج این پژوهش نشان داد پیکربندی و بهینه‌سازی نما بر مبنای اوریگامی زمینه‌ساز صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بهبود کیفیت نور روز می‌شود.

امامی[4] و گیلز[5] (۲۰۱۶)، مطالعه‌ای با عنوان الگوهای هندسی، نور و سایه: کمی‌کردن نسبت دیافراگم و وضوح الگو در عملکرد صفحه‌های سایه‌دار دارد که به بررسی چهار الگوی انتشار هندسه ایرانی پرداخته، نتایج حاکی از آن است که کاهش نسبت سوراخ منجر به کاهش خیرگی و روشنایی می‌شود.

راککاسل[6] و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهش با عنوان اقدامات کنتراست برای پیش‌بینی اثرات ادراکی نور روز دارد. نتایج نشان داد الگوی انتشار متفاوت بر کاهش خیرگی تأثیرگذار است.

صفایی تبار و همکاران (۱۳۹۶)، که به بررسی تحلیل و ساخت الگوهای پارامتریک در ایجاد نمای دوم به منظور کنترل نور در فضای داخلی مسکن پرداخته است. نتایج حاکی از آن بود که اضافه کردن پوسته بر روی نما در طبقه اول و دوم منجربه بهینه شدن نور و در طبقه چهارم و پنجم منجر به کاهش خیرگی می‌شود.

ابوشی[7] (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای که به بررسی آسایش بصری و علاقه بصری ساکنین به الگوهای نور خورشید در دفاتر نور روز پرداخته، نتایج حاکی از آن بود که الگوی فراکتال بر کیفیت نور روز مؤثر است.

---

[1] Glare

[2] Omidfar

[3] Wagdy

[4] Emami

[5] Giles

[6] Rockcastle

[7] Abboushi

چامیلوتوری[1] و همکاران (۲۰۱۹)، در پژوهشی با عنوان پاسخ‌های ذهنی و فیزیولوژیکی به هندسه الگوی نما و نور خورشید در واقعیت مجازی به بررسی الگوی انتشار نور با هندسه نامنظم و منظم پرداخته، به این نتیجه دست یافته‌اند هندسه نامنظم بر یکنواختی نور روز تأثیر بیشتری دارد.

در پژوهش مهدوی‌نژاد و کیا (۱۳۹۸) با عنوان معاصرسازی پوسته‌های سنتی (شباک) معماری ایرانی، جهتِ بهینه‌سازی دریافت نور و انرژی؛ نمونه مطالعاتی: بناهای اداری تهران پرداخته شده است. ۴ الگوی هندسی شباک مورد بررسی قرار گرفته، به این نتیجه دست یافتند که پراکنده کردن روزنه‌ها در الگوی ترکیبی زمینه‌ساز افزایش روشنایی نور روز UDI 100-2000 و کاهش مصرف انرژی در ساختمان می‌شود.

مهدوی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۸)، در مطالعه‌ای با عنوان استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی چندهدفه لوورهای خارجی در ساختمان‌های اداری که به بررسی "استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی چند هدفه لوورهای خارجی در ساختمان‌های اداری" پرداخته، نتایج نشان داد بکارگیری لوورهای خارجی به منظور کنترل و افزایش کیفیت روشنایی بسیار کارآمد است.

در پژوهش مؤذنی و همکاران (۱۳۹۹) با عنوان ارزیابی الگوهای نوری مؤثر بر کیفیت زندگی ساکنین واحدهای مسکونی با بهره‌گیری از هندسه فراکتال به بررسی هندسه فراکتال پرداخته، نتایج نشان داد که هندسه فرکتال بر یکنواختی نور روز و کیفیت زندگی افراد مؤثر است.

قاسمی نسب و همکاران (۱۴۰۰)، در پژوهشی با عنوان شبیه سازی دقیق نماهای شیشه‌ای نوین با تاکید بر بهینه سازی نور روز و انرژی (موردپژوهی: ساختمان اداری در همدان) پرداخته، نتایج بهینه سازی نماهای شیشه‌ای نوین نشان داد که عملکرد نور روز و شدت مصرف انرژی سالانه در سیستم Low-E3 بهینه‌ترین نمونه برای اقلیم شهر همدان است.

اینگابو[2] و همکاران (۲۰۲۲) مطالعه‌ای با عنوان نوارهای سایه افقی خارجی قابل‌تنظیم برای نور روز در ساختمان‌های اداری در تایلند دارد. نتایج حاکی از آن است نصب الگوی نوارهای سایه افقی خارجی قابل‌تنظیم در ساختمان‌های اداری می‌تواند باعث صرفه‌جویی شود به ۶۰٪ از کل مصرف انرژی روشنایی و تهویه‌مطبوع در مقایسه با فضاهای کاری با گرمای بدون نوار سایه‌ساز پنجره‌های شیشه‌ای ساده باشد.

در پژوهش عبدالحمید[3] و همکاران (۲۰۲۳) با عنوان تأثیر تغییرات نما با الگوی پارامتری بر کیفیت نور روز، راحتی بصری و عملکرد نور روز در تدریس خصوصی مبتنی بر استودیو معمارپپرداخته، نتایج شبیه‌سازی شده برای ناحیه کاری و فضای مجاور تأیید کرد که الگوی پارامتری مثلث بالاترین الگوی مقدار روشنایی نور روز، UDI و sDA[4] است (Abdelhamid et al., 2023).

بازی روشنایی و تاریکی، دوری از سروصدای بیرون، بوی خالص مصالح، گرما و خنکی ایجاد شده در درون ناخودآگاه انسان و ورود به فضای متفاوت را اعلام می‌کند (طاهباز، ۱۳۸۳: ۱۰۵). بعلاوه تمام فضای بیرون از داخل قابل‌دیدن است و در روز امکان هیچ‌گونه دیدی از بیرون به داخل فضا وجود ندارد (پیرنیا، و معماریان،: ۳۴۸: ۱۳۸۱، گنجی خیبری و همکاران، ۱۳۹۴: ۳۷). در همین راستا عنصر شباک در کنترل میزان نور، هماهنگ‌کردن قدرت بینایی انسان با شدت نور، دلپذیر ساختن و تلطیف نور و همچنین تأثیر روانی نور بر بیننده نقش قابل‌توجهی دارد (طهماسبی، ۱۳۹۰). هندسه بکار رفته در عنصر شباک در ایران تنوع زیادی داشته، دراین‌بین هندسه تعداد محدودی از این شباک‌ها، دامنه تکرار از نظر تاریخی و جغرافیایی دارند (Babaei, et al., 2013: 156). روزنه‌های موجود در شباک‌ها از نظر هندسی انواع مختلفی دارند و در ایران، هندسه شباک با تنوع زیادی موجود است. باتوجه‌به دامنه تاریخی و جغرافیایی تعداد محدودی از این فرم‌های هندسی دارای دامنه تکرار زیادی در آثار معماری هستند. در مطالعه بابایی و همکاران (۲۰۱۳) طی بررسی‌های انجام شده، ۹ فرم هندسی پرتکرار بکار رفته در عنصر شباک را شناسایی کرده‌اند، همچنین در مطالعه دیگر، مهدوی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۸) بر اساس مطالعات و برداشت‌های میدانی ۴ فرم هندسی که بیشترین تکرار را داشته‌اند، شناسایی و مورد بررسی قرار داده‌اند.

باتوجه‌به بررسی‌های میدانی انجام شده بیشترین تکرار هندسه شباک در بناها با کاربری‌های مختلف بخصوص در اقلیم گرم خشک ایران و شهر کرمان مربوط به هندسه چلیپا است. علاوه بر اینکه در تزیینات از هندسه چلیپا استفاده می‌شود، می‌توان شاهد به‌کارگیری آن

---

[1] Chamilothori

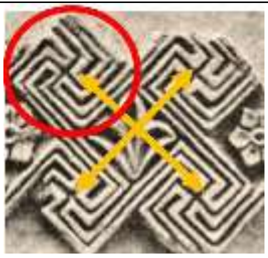
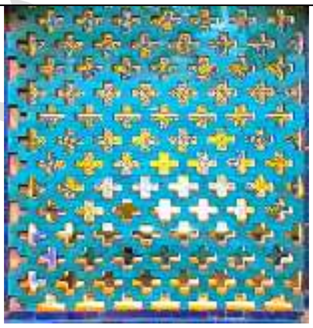
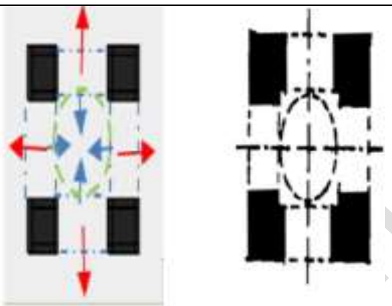
[2] Ingabo

[3] Abdelhamid

[4] Spatial Daylight Autonomy

در نورگیرهای موجود بناهایی چون: مساجد جامع نائین و ورامین، اصفهان، کبود تبریز، بارگاه شاه‌چراغ، مقبره شیخ صفی‌الدین اردبیلی، مسجد شیخ لطف‌الله اصفهان، مقبره شاه نعمت‌الله ماهان کرمان، باغ شاهزاده کرمان، مشتاق علی‌شاه و مجموعه بازار گنجعلی‌خان کرمان بود. یکی از نقوشی که از ادوار گذشته اهمیت بخصوصی در معماری و هنر ایران داشته هندسه چلیپا است. چلیپا تصویری است که فضا را به چهار قسمت تقسیم کرده و در مرکزیت آن نقطه‌ای در محورهای یک صلیب است. چلیپا به‌عنوان یک نقش یا الگوی هندسی بر پایه یک مربع استوار شده که به‌عنوان نماد خورشید در بین عموم محسوب می‌شود (کفشچیان مقدم و یاحقی،۱۳۹۰: ۶۸). به دلیل اهمیت معنایی نقش چلیپا، این طرح در تمام طول تاریخ معماری ایران به نحوی در تزیینات و تهرنگ بناها در دوره‌های مختلف تاریخی ایران، به صورت‌های مختلف استفاده شده است که در جدول ۱ ارائه شده است. بر همین اساس در این پژوهش باتوجه‌به بررسی‌های میدانی انجام شده توسط نگارندگان، فرم هندسی چلیپا که بیشترین تکرار در تزیینات و نورگیرها در بناهای تاریخی شهر کرمان و بخصوص هندسه بکار رفته شباک داشته، مورد بررسی قرار گرفت.

جدول شماره ۱. هندسه چلیپا بکار رفته در بناها و تزئینات ایران

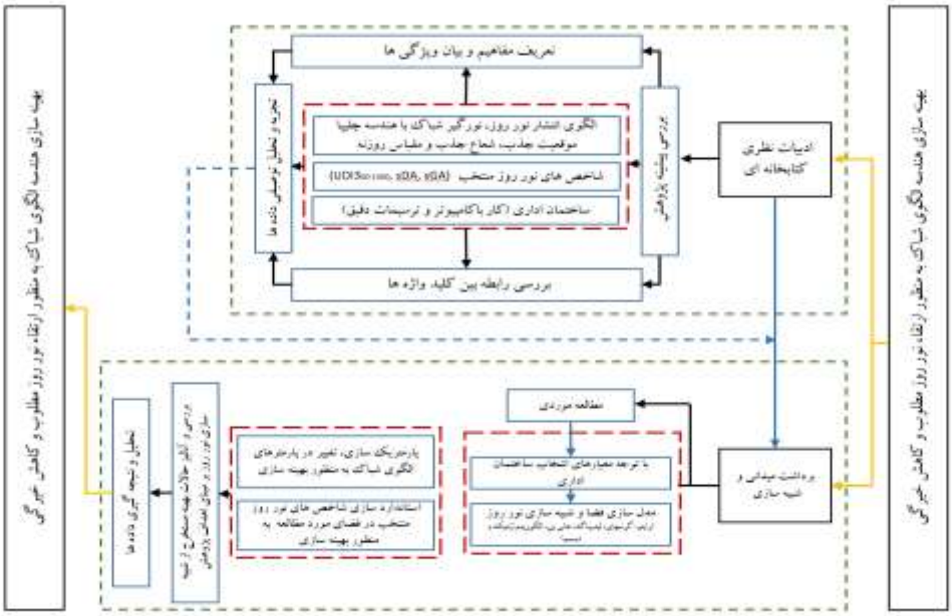
 نقش‌رستم الگوی چلیپایی (محسنی و باستان فرد، ۱۳۹۹)	 گچ‌بری کاخ تیسفون الگوی چلیپا و چلیپای شکسته (قائم، ۱۳۸۸)
 شباک با هندسه چلیپا مسجد شیخ لطف‌الله اصفهان (Arel & Öner, 2017)	 آتشکده نیاسر الگوی چلیپایی (Godard et al., 1992)

نقوش هندسی بکار رفته در شباک‌ها بخصوص هندسه چلیپا که پیشینه‌ای و قدمتی طولانی دارد، به‌غیراز زیبایی برای بهره‌گیری هر چه بیشتر از نور خورشید نیز استفاده می‌شده (شکل ۴). به این نحو باعث می‌شده که نور مستقیم خورشید در جهت‌های مختلف پخش شده و به داخل فضا هدایت شود و مانع از خسته شدن چشم در مقابل نور مستقیم شدید شده و نور داخل فضا را تنظیم کند. عنصر شباک در کنترل میزان نور، هماهنگ‌کردن قدرت بینایی انسان با شدت نور، دلپذیر ساختن و تلطیف نمودن نور و همچنین تأثیر روانی نور بر بیننده نقش قابل‌توجهی دارد. در شباک‌ها هندسه روزنه و جانمایی آن، دو فاکتور مهم برای ارزیابی این عنصر محسوب می‌شود.

در همین راستا با انجام تحقیقات بیشتر و بررسی الگوهای مختلف انتشار نور روز، می‌توان به گونه‌شناسی دقیق‌تری از شرایط مختلف انتشار نور روز در فضای داخلی پرداخت و به طراحان کمک کرد تا با استفاده از الگوهای مناسب، زمینه بهبود کارایی روشنایی روز در ساختمان‌ها را ایجاد کنند. در معماری سنتی ایران جهت به‌کارگیری نور روز، ورود نور از محیط بیرون به فضای داخلی و کنترل نور از فیلترهای متعددی استفاده می‌شد که به واسطه آنها به تلطیف فضای داخلی کمک کنند (نعمت گرگانی، ۱۳۸۲). مکانیسم نحوه دریافت نور و نورگیرها و سایه‌سازها در معماری سنتی ایران، از تدابیر نسبتاً کارا و راهکار متناسب با آن زمان بوده که از شکل‌های هندسی و گره‌چینی در شباک، بالکانه و ارسی‌ها استفاده شده است. از مهم‌ترین عناصر بکار رفته در معماری ایرانی، بخصوص در اقلیم گرم و خشک جهت ورود کنترل شده نور روز و تلطیف فضا می‌توان به نورگیر شباک اشاره نمود. باتوجه‌به اهمیت عنصر شباک در معماری سنتی ایران و کمبود مطالعات کافی در زمینه کارایی آن، در این پژوهش تلاش شده است تا با شناسایی و بررسی شرایط فعلی عنصر شباک، تدابیر لازم جهت

بهبود کارایی آن در ایجاد روشنایی روز صورت پذیرد.

باتوجه‌به مبانی نظری و پیشینه تحقیق فوق، نورگیر شباک و شاخص‌های نور روز مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت که در بخش بهینه‌سازی مورد شبیه‌سازی قرار گرفت و به‌صورت تحلیلی به آن پرداخته شد. در نهایت برآیند خروجی بهینه‌سازی ارائه شده است و مدل مفهومی آن در شکل ۱ ارائه شده است.


تعریف مفاهیم و بیان ویژگی ها
ادبیات نظری کتابخانه ای
بررسی پیشینه پژوهش
الگوی انتشار نور روز، نورگیر شباک با هندسه چلیپا موقعیت جذب، شعاع جذب و مقیاس روزنه
شاخص های نور روز منتخب (UDI300-1000, sDA, sGA)
ساختمان اداری (کار با کامپیوتر و ترسیمات دقیق)
تجزیه و تحلیل توصیفی داده ها
بررسی رابطه بین کلید واژه ها
مطالعه موردی
برداشت میدانی و شبیه سازی
با توجه معیارهای انتخاب ساختمان اداری
مدل سازی فضا و شبیه سازی نور روز
پارامتریک سازی، تغییر در پارامترهای الگوی شباک به منظور بهینه سازی
استاندارد سازی شاخص های نور روز منتخب در فضای مورد مطالعه به منظور بهینه سازی
تحلیل و نتیجه گیری داده ها
بهینه سازی هندسه الگوی شباک به منظور ارتقاء نور روز مطلوب و کاهش خیرگی

شکل ۱. نمودار مدل مفهومی

روش انجام پژوهش

تحقیق حاضر در دو مرحله مطالعات کتابخانه‌ای، میدانی و شبیه‌سازی انجام شده است. در مرحله اول، عملکرد و ویژگی‌های نورگیر شباک و هندسه مورداستفاده در اقلیم گرم و خشک ایران، شهر کرمان مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. در مرحله دوم، با استفاده از داده‌های حاصل از مرحله اول، به‌منظور بهینه‌سازی عنصر شباک بر روی ساختمان اداری در شهر کرمان، ابتدا هندسه فضا مطابق با برداشت انجام شده در محیط راینو[1] و گرس‌هاپر[2] مدل‌سازی، سپس تنظیمات مربوط به مقادیر بازتاب سطوح و سنسورهای آنالیز توسط هانی‌بی[3] ایجاد شد. به‌منظور بهینه‌سازی یک تابعی از ابزار گالاپاگوس[4] بر اساس الگوریتم تکاملی ژنتیک[5] استفاده شد و در نهایت مدل به موتور شبیه‌سازی ریدینس[6] ارسال و شبیه‌سازی انجام شد.

محدوده موردمطالعه

استان کرمان در جنوب شرقی فلات مرکزی ایران، به‌عنوان یکی از پهناورترین استان‌های کشور، قرار گرفته است (جاوید، ۱۳۸۹). این استان مساحتی حدود ۱۳۱۲۰۰ کیلومترمربع و بین ۱۶ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۱۹ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی و ۵۵ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۱ درجه عرض شمالی از نصف النهار گرینویچ[7] قرار گرفته است. بر اساس تقسیمات اقلیمی ایران، کرمان در منطقه اقلیمی گرم و خشک قرار دارد. کرمان به عنوان شهری که حداقل ۲۸۰ روز آفتابی را با متوسط تابش۴/۵-۵/۵ کیلوات ساعت بر متر مربع در روز است. مدل پژوهش یک فضای اداری با پنجرهای درجبهه جنوبی است. که عوامل کالبدی تأثیرگذار بر دریافت روشنایی طبیعی بهتر و بیشتر توسط جداره‌های

---

[1] Rhino

[2] Grasshopper

[3] Honeybee

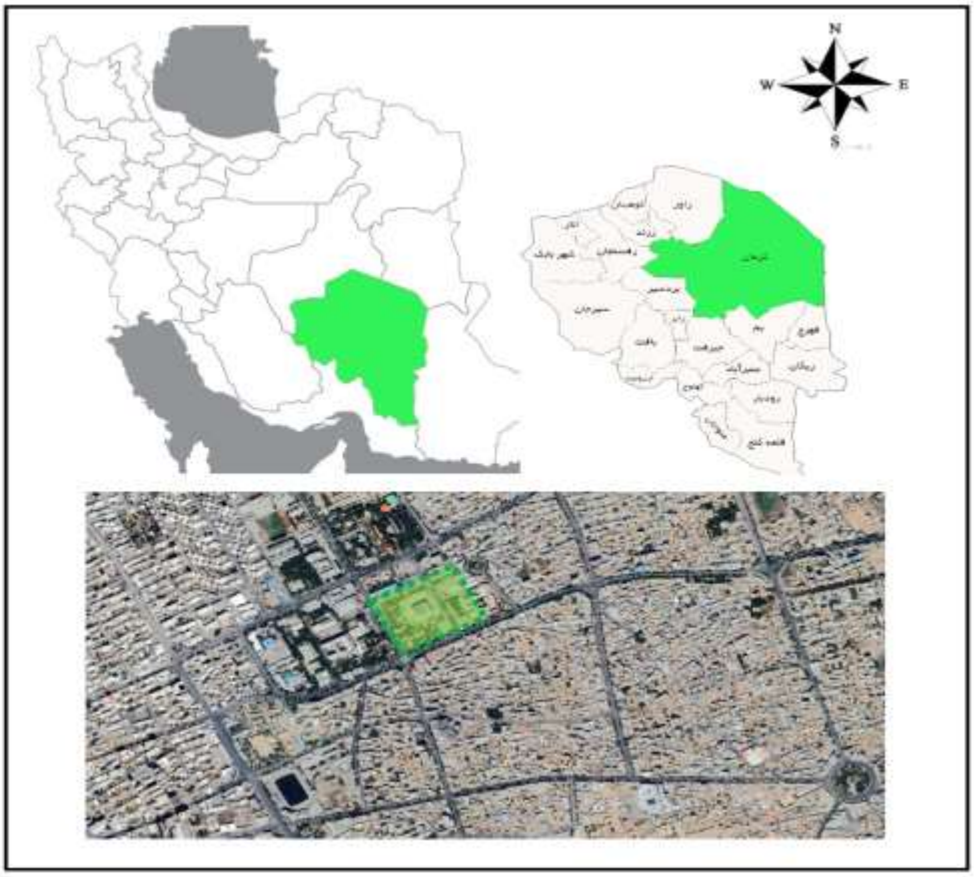
[4] Galapagos

[5] Evolutionary algorithm (genetic)

[6] Radiance

[۷] Prime Meridian

نورگذر در فضای اداری شهرداری کرمان به عنوان نمونه، مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به اهداف پژوهش مولفه های انتخاب ساختمان اداری در شهر کرمان مواردی چون، زمینه فعالیت مرتبط با حوزه معماری و شهرسازی باشد. جداره‌های نورگذر جنوبی فاقد هر گونه نورگیر و کنترل کننده نور مانند: سایبان، پوسته، لوور، یابش بند و سایه اندازی ساختمان یا درخت پیرامون باشد. همچنین باتوجه به اهداف کلی پژوهش حداقل ۱۰۰ کارمند ساکن در محیط کاری جبهه جنوب ساختمان می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی ساختمان مورد مطالعه

بررسی روش شبیه‌سازی انتخابی

در این مطالعه فضای اداری به علت عمومی بودن و گستردگی فعالیت در بازده زمانی روز و پررنگ بودن بعد اقلیم آن، به‌منظور بهینه‌سازی عنصر شباک با هندسه چلیپا انتخاب شده است؛ بنابراین باتوجه‌به اینکه فضای مورد تحلیل بخشی از یک پژوهش در محیط واقعی است که ورودی‌های مدل‌سازی در محیط راینو در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. ورودی‌های مدل سازی

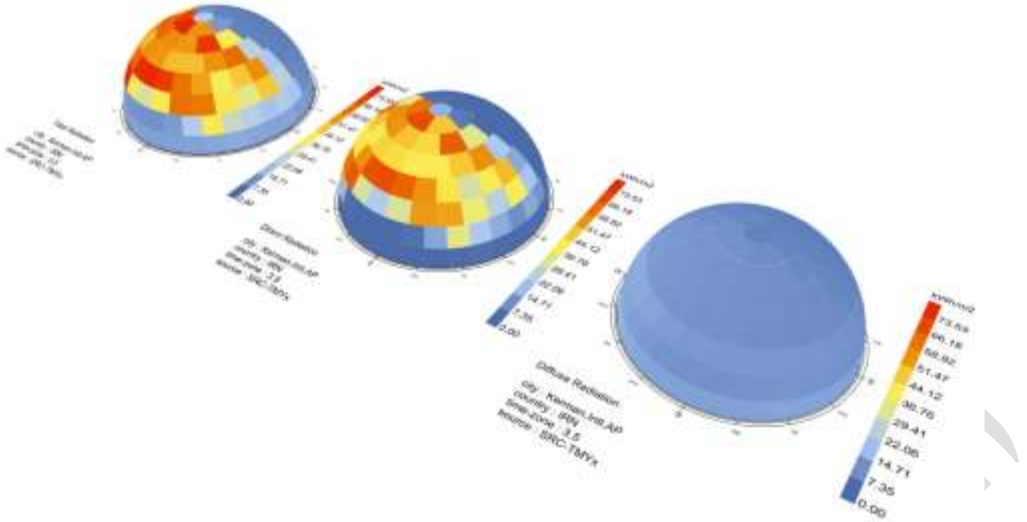
موقعیت فضا	جنوب
ابعاد فضا	۱۰/۳۶*۵/۳۶ متر
ابعاد پنجره	۲/۴۶*۱/۸۰ متر
موقعیت سنسورها	۰/۵ متر در ارتفاع ۰/۷۶ متری (ارتفاع میز کاربر)

ازآنجا که ساختمان اداری در شهر کرمان در نظر گرفته شده است، بنابراین برای انجام تمام مراحل شبیه‌سازی از اطلاعات آب‌وهوایی کرمان که از سایت معتبر کلایمت وان بیلدینگ[1] که یکی از مهم‌ترین منابع فایل‌های آب و هوایی به‌منظور شبیه‌سازی نور روز است، استخراج و مورد استفاده قرار گرفته است. مقدار تابش خورشیدی از گنبد آسمان ترگنزا در طول سال به‌صورت مستقیم، پراکنده و مجموع دریافت شده در شکل ۳ نشان‌داده شده است. همچنین در این مطالعه برداشت میدانی با استفاده از دستگاه لوکس متر میزان نور روز در

---

[1] Climate.one.building.org

سه‌نقطه ارزیابی و ثبت شد.



شکل ۳. مقدار تابش خورشیدی دریافت شده از گنبد آسمان ترگنزا در طول سال به صورت مستقیم، پراکنده و مجموع

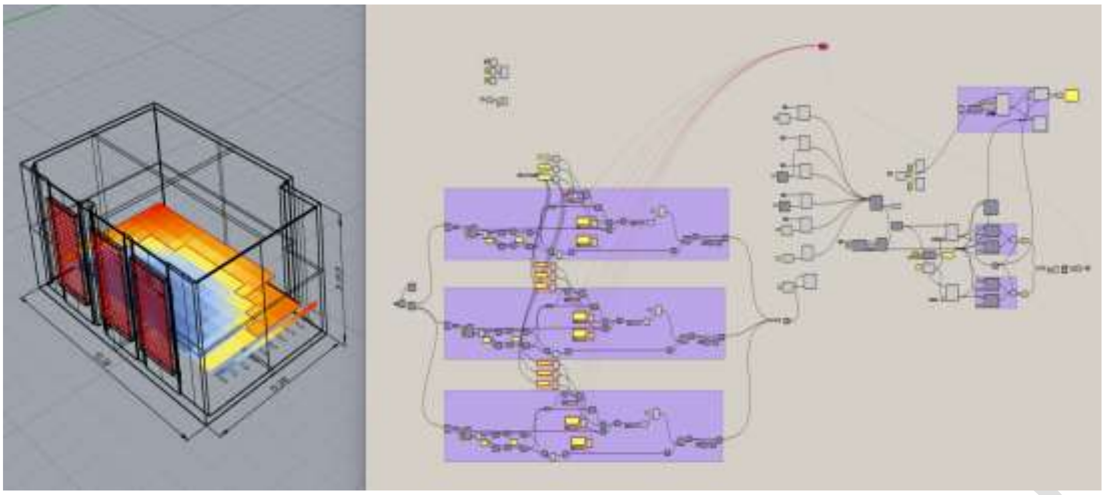
از دیگر آیتم تأثیرگذار در شبیه‌سازی و مقادیر شاخص‌های نور روز و خیرگی، مربوط به بازتاب سطوح داخلی و خارجی ساختمان است. این مقادیر مطابق با پیشنهادهای مقررات ملی ساختمان و مبحث نوزده، برای دیوار، سقف، کف، زمین و سایبان‌های بیرونی جدول ۳ در نظر گرفته شده است.

جدول ۳. مقادیر مفروض برای بازتاب سطوح

جداره	مقدار بازتاب
دیوار	۰/۵
سقف	۰/۷
کف	۰/۲
زمین	۰/۲
سایبان‌ها و جداره‌های بیرونی	۰/۳

باتوجه‌به این که هدف معاصرسازی و بهینه‌سازی نورگیر شباک است، از شاخص مقدار روشنایی استفاده شده است. جهت ارزیابی و محاسبه این شاخص از راهنمای استاندارد لیید استفاده و طبق آن ارزیابی در زمان اعتدالین ۲۱ مارس و ۲۳ سپتامبر (یک روز در ۱۵ روز از ۲۱ سپتامبر و یک روز در ۱۵ روز از ۲۱ مارس را انتخاب کنید که نشان‌دهنده صاف‌ترین وضعیت آسمان است) در دو ساعت ۹ صبح و ۱۵ بعدازظهر شبیه‌سازی انجام شده است. طبق استاندارد لیید محدوده مناسب روشنایی روز دریافتی فضا در این شاخص ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس است، اما با توجه بررسی پیشینه پژوهش، مقادیر نزدیک به ۳۰۰۰ احتمال وقوع خیرگی وجود دارد، حد فوقانی این شاخص ۱۵۰۰ لوکس در نظر گرفته شده است.

ابتدا فضا در محیط راینو مدل‌سازی شده و سپس با الگوریتم ژنتیک، شاخص نور مفید روز و میزان خیرگی و همچنین آتانومی نور روز در بازه یک سال به صورتی که در کل سال دارای سطح استانداردی از روشنایی مفید روز باشد و حداقل میزان خیرگی را داشته باشد، مورد بهینه‌سازی قرار گرفته است. سپس هندسه نورگیر شباک در گرس‌هاپر مدل‌سازی شده (شکل ۴) و بر اساس اطلاعات حاصل از بهینه‌سازی نور روز، دامنه گستردگی روزنه‌ها روی بدنه نما، مشخص و میزان دریافت نور روز محاسبه و درنهایت باحالت وضع موجود قیاس می‌گردد.



شکل ۴. الگوریتم بهینه‌سازی نور مفید روز در بازده زمانی یک سال

برای انجام بهینه‌سازی ابتدا باید شاخص‌ها و پارامترهای مربوط به آن تعیین شود. در همین راستا بخش‌های مربوط به شکل فضا و ابعاد پنجره‌ها ثابت در نظر گرفته شده است. شباک‌ها می‌توانند با ترکیبات مختلفی روی پنجره‌ها قرار گیرند. به این منظور سه پارامتر اصلی در نظر گرفته شده است تا حالات مختلفی از شباک و فضاهای خالی آن ایجاد شود که در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. مقادیر مفروض برای پرامتر های بهینه‌سازی

پارامتر	توضیح	ورودی‌ها پارامتر
موقعیت نقطه جذب	اشکال مختلف از تراکم فضاهای خالی شباک حول یک نقطه ایجاد خواهد شد.	۴۵ نقطه جذب در فاصله فاصله ۴۰ سانتی متر بر روی الگو سه پنجره
شعاع جذب	شدت جذب را در الگو مشخص می‌کند.	حداکثر ۰/۷ و حداقل ۱/۱متر با گام تغییرات ۰/۲
مقیاس روزنه‌ها	روزنه‌ها می‌توانند اندازه و سازهای مختلفی داشته باشند.	حداکثر ۲۰۷/۳۶، حداقل ۱۲۲/۶۹ و مقیاس میانی ۱۵۶/۷۹ سانتی متر مربع

پارامتر موقعیت نقطه جذب الگوی فضاهای خالی شباک بافاصله گرفتن از نقطه جذب، بزرگ‌تر شده و هرچه به این نقطه نزدیک‌تر شویم، الگوهای کوچک‌تری خواهیم داشت. در پارامتر شعاع تأثیر جذب، هرچه این شعاع کمتر در نظر گرفته شود، الگوهای دورتر تحت‌تأثیر قرار نخواهد گرفت. همچنین هرچه این مقدار بیشتر باشد، الگوهای بافاصله بیشتر از نقطه جذب نیز تحت‌تأثیر قرار خواهند گرفت. در نهایت پارامتر مقیاس الگوهایی که در فاصله دورتر از نقطه جذب بوده و تحت‌تأثیر آن نیستند، می‌توانند اندازه و سازهای مختلفی داشته باشند.

پارامترهای مربوط به شباک‌های هر پنجره به‌صورت جداگانه و مستقل از هم هستند به عبارت بهتر، سه‌نقطه جذب وجود خواهد داشت که موقعیت هر کدام در روی هر پنجره کاملاً مستقل عوض خواهد شد. مشخص‌کردن ۴۵ نقطه جذب به فاصله ۴۰ سانتی‌متری باتوجه‌به عرض پنجره انتخاب شد، به این دلیل که تعداد حداکثر حالات ممکن کنترل شود چرا که کمتر کردن فاصله نقاط، تعداد حالات ممکن را به‌صورت تصاعدی زیاد خواهد نمود. به همین دلیل در پژوهش‌های قبلی نیز باتوجه‌به عرض پنجره نقطه جذب بافاصله‌های متفاوتی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. درصورتی‌که تعداد حالات پارامترها کنترل نشود، تعداد حالات ممکن می‌تواند تا میلیاردها حالت بیشتر شود که بزرگ‌تر بودن این جامعه، رسیدن به جواب‌های بهینه را عملاً غیرممکن خواهد نمود. در نظرگیری سه مقدار برای کنترل تعداد حالات ممکن در بهینه‌سازی است. همچنین سرعت شبیه‌سازی موردنیاز برای هر حالت نیز در نظر گرفته شود تا در مدت‌زمان معقول‌تری بتوان به جواب‌های مناسب و حل مسئله بهینه‌سازی دست‌یافت.

ابزار بهینه‌سازی

با توجه به دامنه تغییرات هر پارامتر تعریف شده، حدوداً ۶۶ میلیون حالت ایجاد شدکه امکان بررسی یک به یک آنها کاری دشوار و عملاً غیرممکن خواهد بود. به همین دلیل از الگوریتم‌های تکاملی برای جهت بهینه‌سازی استفاده شد که امکان دست یابی به جواب‌های بهینه با

بررسی تعداد حالت کمتر را فراهم می‌کند.

به دلیل اینکه محیط گرس‌هاپر دارای ابزاری برای بهینه‌سازی ژنتیک تک تابعی است، استفاده از این ابزار در ترکیب با هانی‌بی برای استخراج نتایج و بهینه‌سازی ایده‌آل است. گالاپاگوس گرس‌هاپر که وظیفه بهینه‌سازی تکاملی یک تابعی را بر عهده دارد، ابتدا متغیرها را تغییر می‌دهد تا حالات مختلفی از ترکیبات را فراهم کند. سپس مدل‌های ایجاد شده در هانی‌بی مورد بررسی قرار خواهند گرفت تا نتایج نور روز استخراج شود و برای تعیین فرایند بهینه‌سازی توسط گالاپاگوس مورداستفاده قرار گیرند. در واقع به کمک گرس‌هاپر و قابلیت مدل‌سازی پارامتریک آن، مدلی مناسبی از محیط و ترکیبات شباک ایجاد شده است که به‌راحتی توسط ابزار بهینه‌سازی قابلیت تغییر حالات و پارامترها مهیا شده است.

تعیین تابع و ورودی‌های بهینه‌ساز تکاملی

با توجه به سرعت بیشتر موردنیاز برای شبیه‌سازی شاخص‌های ایستا، این شاخص برای معیار تابع بهینه‌سازی مورداستفاده قرار گرفته است. بازه مورد قبول برای مقدار روشنایی بین ۳۰۰ تا ۱۵۰۰ لوکس است و در نهایت باید مقدار مساحتی از فضا که نور روز را در این بازه دریافت خواهد نمود را مشخص کرد. این مساحت برای هر دو ساعت مشخص شده و میانگین آن برای بهینه‌سازی به گالاپاگوس معرفی شده است. همان‌طور که در بخش‌های قبلی نیز اشاره شد، برای شاخص ایستا منتخب مقدار روشنایی لحاظ شده است که بر اساس لیبد در یکی از روزهای اعتدالین و در ساعت‌های ۹ و ۱۵ بررسی شده است.

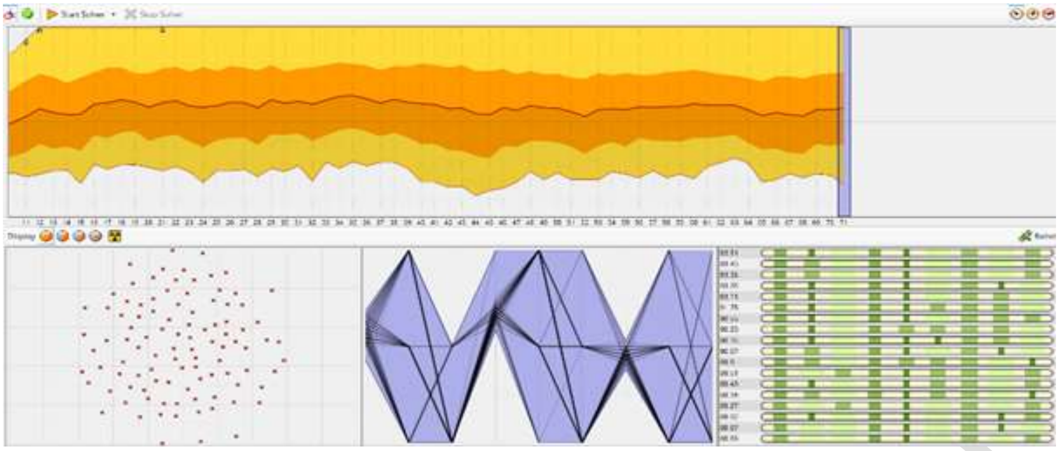
الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی بر اساس ارزیابی مدل‌های رندوم و تصادفی محدود دارای نتایج بهینه را کوچک و مشخص می‌کنند. این فرایند با بررسی اولین نسل آغاز می‌شود که کاملاً تصادفی انتخاب خواهد شد. ۵۰۰ نمونه برای نسل اول انتخاب شده است که بررسی آن حدود ۴۲۰ دقیقه زمان برده است. در بسیاری از مطالعات تعداد کمتری از حالات برای ارزیابی در نسل اول مورداستفاده قرار می‌گیرد. این در حالی است که در نظرگیری چنین جامعه‌ای برای درک بهتر بهینه‌ساز از دامنه جواب‌ها و محدوده‌هایی از پارامترها که جواب‌های بهینه می‌توانند در آن وجود داشته باشند، ضروری است. نتایج حاصل از ارزیابی‌های مدل‌های نسل اول، معیار ایجاد نسل بعدی و ادامه فرایند بهینه‌سازی است. به‌نحوی‌که در نسل بعدی مدل‌های انتخاب شده، ترکیبی از مدل‌های رندوم و محدود جواب‌های مناسب‌تر نسل قبل خواهد بود. این فرایند ادامه می‌یابد تا زمانی که حالاتی بهتر از نتایج یافته شده وجود نداشته باشد و جواب‌های بهینه استخراج شوند. در نسل‌های بعدی تعداد حالات مورد شبیه‌سازی ۱۰۰ مدل در نظر گرفته شده است که از این تعداد ۷۵ مدل بر اساس نتایج نسل قبل و ۲۵ مدل مجدداً به‌صورت تصادفی انتخاب شده است. این پروسه در تمام نسل‌های دیگر نیز ادامه یافته است تا نتایج بهینه‌سازی تکمیل گردد.

یافته‌ها

بهینه‌سازی

پس از تعیین مقادیر پارامترها، شاخص‌های بهینه‌سازی توسط گالاپاگوس انجام شده، مجموعاً ۷۱ نسل برای یافتن و همگرایی بهینه‌سازی انجام شده است. در ابتدای فرایند بهینه‌سازی گستردگی بسیاری در ترکیبات پارامترها وجود داشته که باید زمان کافی برای رسیدن به جواب بهینه و ناحیه‌های دارای جواب‌های بهینه صرف و بهینه‌سازی ادامه یابد.

در ادامه شکل ۵ ناحیه‌هایی که جواب‌های بهینه در آن وجود دارد بیش از یک ناحیه برای هر پارامتر است که نشان‌دهنده به‌دست آمدن نتایج مناسب در ترکیبات مختلف پارامترها است. مجموعاً ۷۶۰۰ حالت متمایز از هم برای رسیدن به جواب‌های بهینه که مدت زمان رسیدن به همگرایی و بررسی این مدل‌ها حدود ۹۶ ساعت بوده توسط نرم‌افزار محاسبه شده است. تمام داده‌های مربوط به پارامترها و تابع بهینه‌سازی ریکورد و ذخیره شده تا در مرحله بعد با استفاده از نرم‌افزار اکسل بر اساس تابع بهینه‌سازی بهترین حالات مشخص شوند.



شکل ۵. همگرایی نتایج بهینه‌سازی در گالاپاگوس

براساس خروجی‌های نرم‌افزار و نتایج بهینه‌سازی بیشترین مقدار به دست آمده برای تابع بهینه‌سازی برابر با ۹۳/۵۱٪ بوده و ضعیف‌ترین مقدار به‌دست‌آمده برابر با ۷۵/۳۳٪ فضا بوده که در پروسه بهینه‌سازی حذف شده، که نشان‌دهنده درصدی از مساحت فضاست که نور روز در بازه ۳۰۰ تا ۱۵۰۰ لوکس در طول زمان اشغال فضا در یک سال دریافت کرده است. لازم به ذکر است، ضعیف‌ترین مقداری که بیان شد مربوط به فرایند بهینه‌سازی است و درصورتی‌که تمام حالات مورد محاسبه قرار گیرد، ضعیف‌ترین حالات به مراتب اعداد کمتری خواهند داشت.

اختلاف بین نتایج تابع بهینه‌سازی برای ۱۰۰ مدل برتر حدود ۲,۳٪ است که اختلاف بسیار ناچیزی محسوب می‌شود. به عبارت بهتر در فرایند بهینه‌سازی می‌تواند چندین حالت بهینه وجود داشته باشد؛ چراکه اختلاف نتایج بین بسیاری از مدل‌ها می‌تواند ناچیز باشد. در چنین حالاتی دست طراح معمار باز خواهد بود تا از ترکیبات مختلف که تطابق بیشتری با سایر آیتم‌های مدنظر طراح داشته باشد، استفاده نماید. به‌عنوان‌مثال، زمانی که ابعاد بیشتری از الگوهای شباک بهتر مناسب باشد، طراح از نتایج بهتر، مواردی که الگوهای بزرگ‌تر دارند یا شعاع جذب بیشتر استفاده خواهد کرد.

مطابق با نتایج حاصل شده بهترین نتایج زمانی به دست آمده‌اند که موقعیت نقطه جذب در پنجره سمت چپ فضا در موقعیتی در بازه ۲۷ تا ۳۰ باشد، همچنین مقیاس الگوها نیز در حالت حداکثر و میانی دارای جواب‌های مناسب است. برای شعاع جذب نیز در پنجره سمت چپ بهترین مقادیر زمانی اتفاق افتاده است که شعاع جذب برابر با ۰/۹ یا ۱/۱ متر باشد و تعداد حالاتی که شعاع ۰/۷ متری دارند و منجر به نتایج بهتر شده‌اند، خیلی کمتر بوده است.

برای پنجره سمت راست فضا، موقعیت نقاط برای مدل‌های مناسب بین ۱۸ تا ۲۲ متفاوت بوده است و در این نقاط قرار دارد. شعاع جذب محاسبه شده برای این بخش نیز هر سه مقدار (۷/۷، ۹۰/ و ۱/۱) را دارا است درحالی‌که تعداد حالات با شعاع حداکثر، کمتر بوده است. مقیاس الگوها برای این پنجره نیز هیچ‌وقت در کمترین مساحت قرار نداشته است. برای پنجره میانی، موقعیت نقطه جذب در ناحیه ۲۹ تا ۳۱ قرار داشته است که غالباً دارای شعاع جذب ۱/۱ متر بوده‌اند. همچنین مقیاس الگوها نیز غالباً در ابعاد حداکثر و میانی هستند.

میانگین شاخص‌های مورد بررسی در حالت وضع موجود و شباک معاصرسازی و بهینه‌سازی شده در این پژوهش در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج این بررسی حاکی از آن است که میانگین مقدار دریافت سالانه نور روز مفید در حالت شباک معاصرسازی و بهینه‌سازی شده نسبت به وضع موجود حدود ۵۴ درصد افزایش و میزان خیرگی نیز ۱۵/۶ درصد کاهش داشته است.

وضع موجود

نتایج شاخص‌های منتخب حاصل از خروجی شبیه‌سازی نشان داد که مقدار روشنایی در بازه موردنظر در وضع موجود ۴۱/۰۴٪ بوده که در قسمت‌های نزدیک به پنجره، مقدار روشنایی بسیار شدیدتر بوده و تا بیش از ۲۰۰۰۰ لوکس رسیده است. و همچنین قسمت‌های انتهایی فضا دارای نور روز در بازه مناسب هستند.

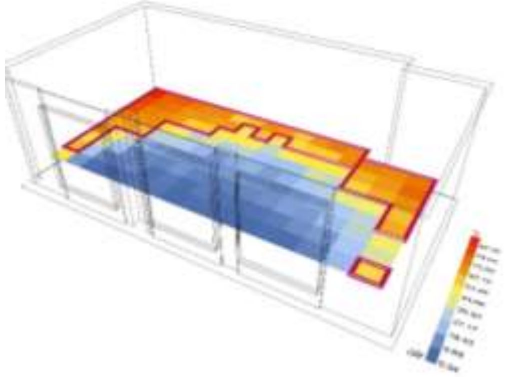
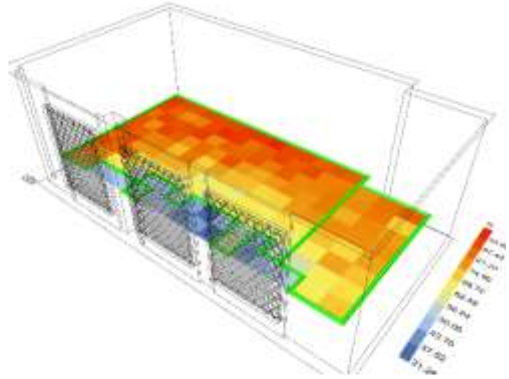
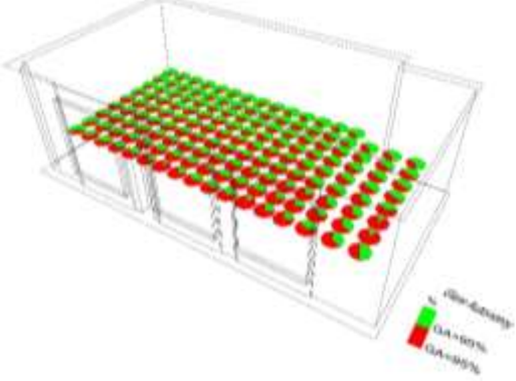
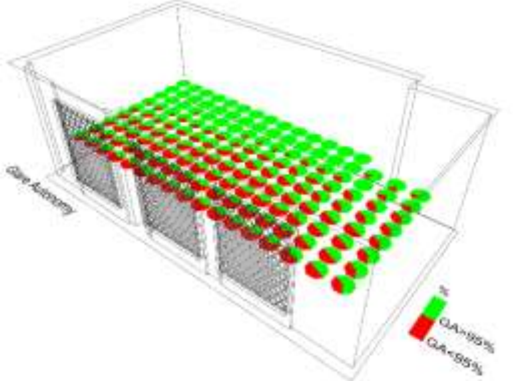
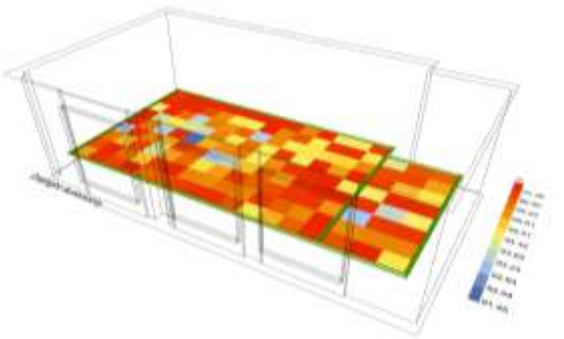
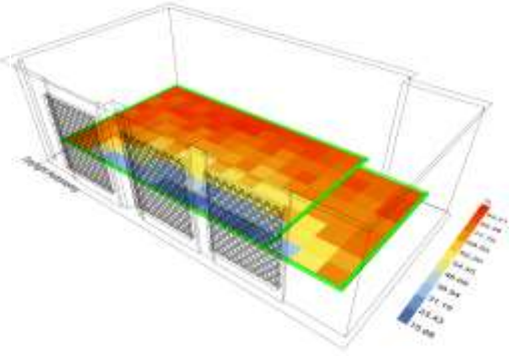
برای شاخص‌های ارزیابی نور روز به‌صورت سالیانه مقدار شاخص آتانومی نور روز فضایی برابر با ۱۰۰٪ مساحت فضا بوده است. درحالی‌که مقدار شاخص نور روز مفید حدود ۳۵٪ بوده که حداقل در ۵۰٪ ساعات اشغال فضا روشنایی در بازه ۳۰۰ تا ۱۵۰۰ لوکس دریافت کرده‌اند. همان‌طور که در تصویر سه‌بعدی این بخش مشخص شده است، زمانی که دوربین به سمت پنجره‌ها بوده است، همواره خیرگی زیادی وجود داشته که حدود ۵۰٪ از فضا دارای شرایط خیرگی است.

آماده به انتشار

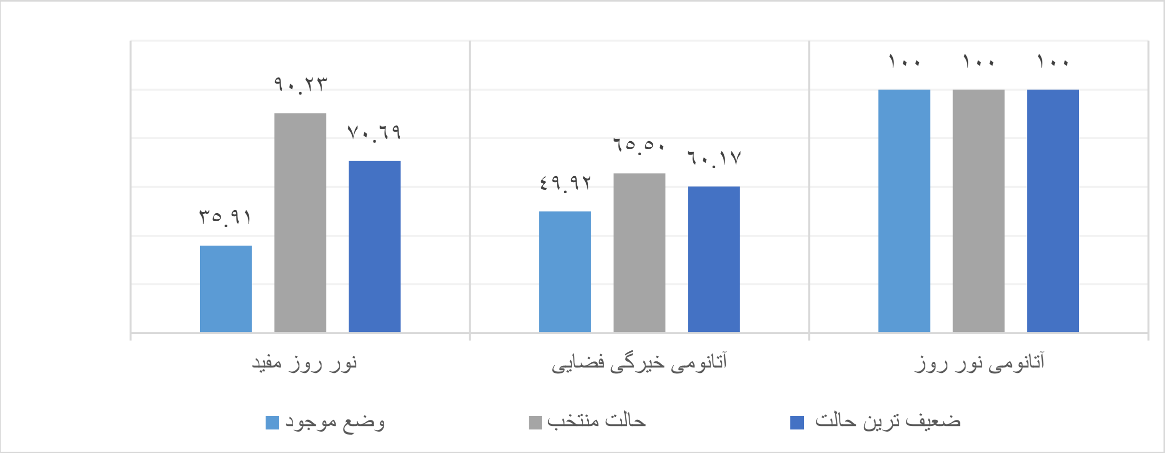
شباک بهینه‌سازی شده

برای شاخص‌های ارزیابی نور روز به‌صورت سالیانه مقدار شاخص آتانومی نور روز فضایی برابر با ۱۰۰٪ مساحت فضا بوده است. مقدار شاخص نور روز مفید حدود ۹۰/۲۳٪ که حداقل در ۵۰٪ ساعات اشغال فضا روشنایی در بازه ۳۰۰ تا ۱۵۰۰ لوکس دریافت کرده‌اند. مطابق با تصویر سه‌بعدی شاخص نور روز مفید، بخش انتهایی فضا در شرایط نورگیری مناسب است درحالی‌که با نزدیک‌شدن به پنجره مقدار این شاخص برای هر نقطه کمتر شده است، به‌نحوی‌که در نزدیک پنجره مقدار آن کمتر از ۰/۹۴٪ ساعات اشغال فضا است. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده در حالت شباک بهینه حدود ۱۷٪ از فضا نسب به وضع موجود خیرگی کاهش‌یافته است.

جدول ۵. بررسی توزیع نور و خیرگی

ردیف	وضعیت موجود	وضعیت شباک در حالت معاصرسازی و بهینه‌سازی شده
۱	 نور روز مفید در بازه ۳۰۰ تا ۱۵۰۰ لوکس مقدار: ۳۵/۹۱٪	 نور روز مفید در بازه ۳۰۰ تا ۱۵۰۰ لوکس مقدار: ۹۰/۲۳٪
۲	 آتانومی خیرگی فضایی مقدار: ۴۹/۹۲٪	 آتانومی خیرگی فضایی مقدار: ۶۵/۵۰٪
۳	 آتانومی نور روز فضایی مقدار: ۱۰۰٪	 آتانومی نور روز فضایی مقدار: ۱۰۰٪

مهم‌ترین دستاورد حاصل از این پژوهش در بهینه‌سازی نورگیر شباک می‌توان به افزایش محسوس نور مفید در بازه ۳۰۰–۱۵۰۰ لوکس در حالت شباک بهینه شده اشاره کرد که همچنین منجر به کاهش میزان خیرگی در مقایسه باحالت وضع موجود شده است (شکل ۶) که نتایج فوق باتوجه‌به بحران انرژی پیش‌آمده جهان در دهه‌های اخیر می‌توان باعث افزایش کارآمدی و کاهش هزینه‌های مربوط به روشنایی در ساختمان‌های اداری شود.



شکل ۶. نمودار مقایسه نتایج نور روز حالات منتخب بهینه و وضعیت موجود، وضعیت حالت شباک منتخب و ضعیف‌ترین حالت حاصل از فرایند بهینه‌سازی

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اثرات مخربی که ساختمان‌ها بر روی محیط‌زیست می‌گذارند و همچنین افزایش نگرانی‌ها در این زمینه، امروزه انتظارات بیشتری از طراحان جهت ارتقای و بهبود عملکرد ساختمان‌ها ایجاد کرده است. در همین راستا پژوهش حاضر عنصر نورگیر شباک را (که مهم‌ترین کارکرد شباک‌ها کنترل فضای داخل از شرایط متغیر آب‌وهوایی و ورود نور تلطیف شده خورشید در اقلیم گرم و خشک بوده) به‌منظور افزایش کارایی آن جهت بهینه‌سازی و دریافت نور روز مطلوب مورد بررسی قرار داده است. بهینه‌سازی ورودی نور روز از طریق پنجره برای کاهش تابش خیره‌کننده و درعین‌حال حفظ سطوح مفید نور روز به‌منظور افزایش سلامتی سرنشینان، راحتی بصری و تعدیل مصرف انرژی روشنایی بسیار مهم است.

در پاسخ به سؤالات پژوهش، نتایج عملکرد در بازه یک‌ساله تغییر در موقعیت و شعاع جذب و همچنین مقیاس روزنه‌ها این نکته را آشکار کرد که توزیع توصیه شده روزنه‌ها در بالای پنجره این است که در ناحیه بالایی نسبتاً بزرگ باشد تا اجازه نفوذ نور روز به اعماق اتاق را بدهد و به‌تدریج کاهش یابد تا سطح روشنایی بالا در ناحیه نزدیک پنجره به حداقل رسانده که تأثیر مستقیمی بر کاهش خیرگی دارد. انتخاب ۴۰ سانتی متری با توجه به عرض پنجره‌های مورد مطالعه بتواند نقطه جذب روزنه‌ها را در کل سطح پنجره بخصوص در گوشه‌ها تحت تاثیر قرار دهد که تاثیر مستقیم بر افزایش میزان نور روز مفید داشته و به نتایج قابل قبول‌تر منجر شده است. مقیاس روزنه‌ها الگوی شباک سطح پنجره در نمای جنوبی باید از۲۰۷/۳۶ سانتی متر مربع شروع شود و به تدریج به ۱۲۲/۶۹ سانتی متر مربع کاهش یابد. با توجه به هدف پژوهش، نتایج بهینه‌سازی تغییر در شاخص مقیاس روزنه‌ها در حالت میانی ۱۵۶/۷۹ و حداکثر ۲۰۷/۳۶ سانتی متر، موقعیت نقطه جذب در بازده ۲۷ تا ۳۱ و شعاع جذب ۰،۹ و ۱،۱ متر در حالت شباک بهینه‌سازی شده نشان داد که مقدار شاخص نور روز مفید (UDI) در بازه ۳۰۰ تا ۱۵۰۰ لوکس (که حداقل در ۵۰٪ زمان اشغال نور روز مناسبی دریافت کرده است) حدود ۵۴٪ رشد داشته است.

درحالی‌که مقدار شاخص آتانومی خیرگی فضایی (sGA) نیز ۱۵/۶٪ بهبودیافته است. به عبارت بهتر شباک‌های بهینه علاوه بر ایجاد یکنواختی برای نور روز دریافتی محیط، مقدار آن را نیز کنترل و در بازه مفید قرار داده و همزمان عملکرد خوبی نیز در کاهش خیرگی محیط داشته است. در مدل پیش‌بینی ارائه شده از بهینه‌سازی نورگیر شباک سه پارامتر: موقعیت نقطه جذب، شعاع تأثیر جذب و مقیاس روزنه‌ها به‌عنوان عوامل مؤثر بر عملکرد نور روز ارائه شد که هر گونه تغییر در سه پارامتر فوق، مستقیماً بر عملکرد دریافت نور ورز تأثیرگذار است. نتایج حاصل از تغییر پارامتر مقیاس روزنه‌ها این مطالعه همراستا با پژوهش عبدالحمید و هبه (۲۰۲۴)، نتایج حاصل از تحلیل و ارزیابی به‌کارگیری الگوهای انتشار در جداره‌های نورگذر تأثیر مستقیم بر افزایش میزان نور روز مفید نشان دارد که همراستا بامطالعه امامی و گیلز (۲۰۱۶)، ابوشی (۲۰۱۸) و مهدوی‌نژاد و کیا (۱۳۹۸) است. همچنین به‌کارگیری الگوهای انتشار در جداره‌های نورگذر تأثیر مستقیم بر کاهش خیرگی در محیط کار دارد که همراستا بامطالعه امامی و گیلز (۲۰۱۶)، صفایی تبار و همکاران (۱۳۹۶) و ابوشی (۲۰۱۸) است.

استفاده مجدد از هندسه الگوی نورگیرهای شباک بهینه‌سازی شده در سطح پنجره علاوه بر حفظ ارزش معماری و فرهنگی آن می‌تواند پاسخ مناسبی برای بحران انرژی دهه‌های اخیر باشد. بررسی نتایج حاصل از بهینه‌سازی نشان داده است که دامنه وسیعی از حالات بهینه شده با نتایج نزدیک به هم می‌تواند وجود داشته باشند که طراح می‌تواند باتوجه‌به نیاز خود، انتخاب‌های متفاوتی از پارامترها داشته باشد، درحالی‌که نتایج کماکان در بالاترین سطح خود باقی بماند. باتوجه‌به پیشرفت مصالح امکان هوشمندسازی این عنصر به‌منظور پاسخ خودکار نسبت به تغییرات نور روز وجود دارد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی می‌تواند نشان‌دهنده بدتر یا بهتر بودن حالت‌های مختلف بهینه باشد و می‌تواند راهنمای خوبی برای تصمیم‌گیری‌ها در روند طراحی باشد.

راهکارها

- استفاده از الگوی بهینه‌سازی‌شده عنصر شباک در نماهای دوجداره
- استفاده از الگوی بهینه‌سازی‌شده عنصر شباک در جداره‌های دوم نمای GFRC
- به‌کارگیری الگوهای بهینه‌سازی شده در شیشه‌های هوشمند (Smart Glass) جهت کاهش مصرف انرژی الکتریکی
- حذف عناصر الحاقی پنجره‌ها در محیط‌های اداری مانند بلایندها و کنترل‌کننده‌های نور داخلی

References

Abboushi, B. (2018). *Investigating Occupant's Visual Comfort and Visual Interest towards Sunlight Patterns in Daylit Offices.* (Doctor of Philosophy) , University of Oregon.

Abdelhamid, Y. M. S., Wahba, S. M., & ElHusseiny, M. (2023). The Effect of Parametric Patterned Façade Variations on Daylight Quality, Visual Comfort, and Daylight Performance in Architecture Studio-Based Tutoring. Journal of Daylighting, 10(2), 173-191. DOI:10.15627/jd.2023.15.

Arel, H., & Öner, M. (2017) .*Use of daylight in mosques: Meaning and practice in three different cases.* Paper presented at the Islamic Heritage Architecture 2016. DOI:10.2495/HA-V1-N3-421-429/015.

Attia, S. (2012). Computational optimization zero energy building design: interviews with 28 international experts. International energy agency (IEA) task, 40.

Babaei, M., Soltanzadeh, H., & Islami, S. Y. (2013). A study of the lighting behaviour of Moshabak in Kashan's houses with emphasis on the notion of transparency. *Architectural Science Review*, *56*(2), 152-167. DOI:10.1080/00038628.2012.729309.

Bahdad, A. A. S., & Fadzil, S. F. S. (2022). Design Optimization for Light-Shelves with Regard to Daylighting Performance Improvements in The Tropics. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, *100*(3), 35-50. DOI:10.37934/arfmts.100.3.3550.

Bahdad, A. A., Syed Fadzil, S. F., Onubi, H. O., & BenLasod, S. A. (2022). Balancing daylight in office spaces with respect to the indoor thermal environment through optimization of light shelves design parameters in the tropics. *Indoor and Built Environment*, *31*(7), 1963-1985. DOI: 10.1177/1420326X221086.

Bemanian, M,. & Nikoudel, F. (2014). Evaluation of daylight-catching and daylight providing methods in mosques. Iran university of science & technology, 2, 60-74. URL: http://jria.iust.ac.ir/article-1-155-fa.html . (In Persian)

Brembilla, E., & Mardaljevic, J. (2019). Climate-Based Daylight Modelling for compliance verification: Benchmarking multiple state-of-the-art methods. Building and Environment, 158, 151-164. DOI: 10.1016/j.buildenv.2019.04.051.

Chamilothori, K., Chinazzo, G., Rodrigues, J., Dan-Glauser, E., Wienold, J., & Andersen, M. (2019) . Subjective and physiological responses to façade and sunlight pattern geometry in virtual reality. *Building and Environment, 150*, 144-155. DOI:10.1016/J.BUILDENV.2019.01.009.

Chi, D. A., Moreno, D., & Navarro, J. (2018). Correlating daylight availability metric with lighting, heating and cooling energy consumptions. Building and Environment, 132, 170-180.

Christoffersen, J. (2000). *Daylight in buildings. A source book on daylighting systems and components* (LBNL ed.): Lawrence Berkeley National Laboratory.

Clayton, G. D. (1948). *IES Lighting Handbook*: American Public Health Association.

Denan, Z. (2004). Assessment of window and lighting design in office buildings under daylight of a hot-humid climate, Malaysia, The University of Wales College of Cardiff (United Kingdom). DOI: 10.31436/japcm.v2i2.507

Emami, N., & Giles, H. (2016). Geometric patterns, light and shade: quantifying aperture ratio and pattern resolution in the performance of shading screens. *Nexus network journal, 18*, 197-222. DOI:10.1007/s00004-015-0279-z.

Fang, Y. (2017). *Optimization of daylighting and energy performance using parametric design, simulation modeling, and genetic algorithms.* (Ph.D), North Carolina State University, https://hdl.handle.net/1969.1/162495.

Farhanieh, B., & Sattari, S. (2006). Simulation of energy saving in Iranian buildings using integrative modelling for insulation. *Renewable energy, 31*(4), 417-425. DOI:10.1016/j.renene.2005.04.004.

Fasi, M. A., & Budaiwi, I. M. (2015). Energy performance of windows in office buildings considering daylight integration and visual comfort in hot climates. *Energy and Buildings, 108*, 307-316. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.09.024.

Ganji kheybari, A., Diba, D., mahdavinejad, M., & shahcheraghi, A. (2015). Algorithmic design of “palekane” in order to increase efficiency of daylight in buildings. *Armanshahr architecture & urban development*, 52-35. (In Persian)

Ghaem, G. (2009). The message of cross motif on potsherds. *Soffeh*, 19. (In Persian)

Ghasemi Nasab, M., Moulaii, M., & Pilechiha, P. (2021). Accurate simulation of new glazed facades with emphasis on daylighting and energy optimization (Case study: office building in Hamedan). *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design*, *9*(2), 175-163. DOI: 10.22061/jsaud.2021.7529.1811. (In Persian)

Godard, A., Godard, Y., & Siroux, M. (1992). Athār-e Iran. (A. Sarvghade Moghadam, Trans.). *Mashhad: Astan Ghods Razavi Publication*, 1-2.

Hong, T. (2018). IEA EBC annexes advance technologies and strategies to reduce energy use and GHG emissions in buildings and communities. *Energy and Buildings, 158*, 147-149. DOI:10.1016/j.enbuild.2017.10.028.

Ingabo, S. N., Chaiwiwatworakul, P., & Chirarattananon, S. (2022). Adjustable external horizontal shading slats for daylighting in office buildings in Thailand. Asia -Pacific Journal of Science and Technology, 27(1), 1-14. DOI: 10.14456/apst.2022.10.

Javid, M., (2009). Kerman at a glance. Kermanology Center Publications. (In Persian)

Kafshchian Moghadam, A. & yahaghi, M. (2012). Symbolic elements in persian painting. The monthly scientific *journal of bagh-e nazar*, 8. (In Persian)

Kazemzadeh, M., & tahbaz, M. (2013). Measurement and analyzing daylight condition in traditional kerman houses(aminian house). *Journal of fine arts: architecture & urban planning*, *18*(2), 17-26. (In Persian)

Lechner, H., & Cooling, L. (2001). *Design Methods for Architects, Norbert Lechner*: Wiley.

lee, Y. S.)2010). Office layout affecting privacy, interaction, and acoustic quality in LEED-certified buildings. Building and Environment, 45, 1594-1600. DOI:10.1016/j.buildenv.2010.01.007.

Le-Thanh, L., Le-Duc, T., Ngo-Minh, H., Nguyen, Q. H., & Nguyen-Xuan, H. (2021). Optimal design of an Origami-inspired kinetic façade by balancing composite motion optimization for improving daylight performance and energy efficiency. Energy, 219, 119557. DOI: 10.1016/j.energy.2020.119557.

Mahdavinejad, M., & kia, A. (2019). Contemporarization of traditional facade skins (lattice) in iranian architecture for optimization of daylight and energy. Case study: tehran office buildings. *Journal of architecture in hot and dry climate, 7*(9), 69-82. 20.1001.1.26453711.1398.7.9.4.3. (In Persian)

Mahdavinejad, M.J., Arbab, M., & Aarbab, M., (2019). "genetic algorithm for multi-objective optimization external louvers in high-performance office buildings". *Journal of architectural thought*, 3, 5, 214-235. 20.1001.1.25383019.1398.3.5.12.1 . (In Persian)

Moazzeni, M., toofan, S., & sattarzadeh, D. (2020). Assessment optical patterns affecting the quality of life of residents of residential units using fractal geometry. *Journal of architectural thought*, *4*(7), 122-137. 20.1001.1.25383019.1399.4.7.9.9, (In Persian)

Mohammadzadeh, N., mofidi shemirani, M., & Tahbaz, M. (2020). Optimization of Daylight and Energy performance of residential buildings Using Genetic Algorithm in Hamedan. *Architectural and Environmental Reasearch*, *2*(1), 17-37. DOI:10.30470/jaer.2020.106497.1053. (In Persian)

Mohseni, M. & Bastanfard, M. (2020). A study of ancient types of cross pattern in iranian architecture. *Armanshahr architecture & urban development*, 13, 125-143. DOI:10.22034/aaud.2020.113263 , (In Persian)

Nabil, A., & Mardaljevic, J. (2005). Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research & Technology*, *37*(1), 41-57. DOI:10.1191/1365782805li128oa.

Nabil, A., & Mardaljevic, J. (2006). Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy and buildings*, *38*(7), 905-913. DOI:10.1016/j.enbuild.2006.03.013.

Nemat gorgani, u. A.-b. (2003). Background of light in architecture and lighting devices in islamic art of iran. *Asar* 35, 316-323. (In Persian)

Oghazian, F. (2017). Recreation of geometric patterns of shobak based on daylight optimization case study: design of qazvin glass office building in tehran. Ph.d, tarbiat modares university (tmu). (In Persian)

Omidfar, A ,.Niermann, M., & Groat, L. (2015). *The use of environmental aesthetics in subjective evaluation of daylight quality in office buildings.* Paper presented at the Proceedings of IES Annual Conference.

Pirnia, M. K. & memarian, G.-H. (2004). The style of iranian architecture. Iran university of science and technology. (In Persian)

Razzaghmanesh, D. (2015). *Impact Of Parametric Design On Designing Performative Facades.* (M.Sc.) , Istanbul Technical University. (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Reinhart, C. F., & Walkenhorst, O. (2001). Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. *Energy and Buildings*, *33*(7), 683-697. DOI:10.1016/S0378-7788(01)00058-5.

Rezaei, S. & Sharghi, A. (2020). Perceptual performance of daylight; a systematic review of the role of daylight patterns on occupants’ perceptions in interior spaces. *Journal of architecture in hot and dry climateis*, 8, 211-251. DOI: 10.29252/ahdc.2020.1988. (In Persian)

Rockcastle, S., Ámundadóttir, M. L., & Andersen, M. (2017). Contrast measures for predicting perceptual effects of daylight in architectural renderings. *Lighting Research & Technology*, *49*(7), 882-903. DOI:10.1177/14771535166442.

Safaeetabar, M., Farahzad, N. & Kosheshgaran, A. (2018). Analysis and construction of parametric patterns to create second facades to control the light in the interior of the housing. *Journal of sustainable architecture and urban design*, 5, 15-26. 20.1001.1.25886274.1396.5.2.2.8 . (In Persian)

Safaei, B., Khalaji Asadi, M., Taghizadeh, H, Jilavi, A., Taleghani, G., & Danesh, M., (2005). Estimating solar energy potential in iran and related radiation atlas. *Journal of nuclear science and technology*, - (1 (33)) , 27-34. (In Persian)

Bahdad, A. A., Syed Fadzil, S. F., Onubi, H. O., & BenLasod, S. A. (2022). Balancing daylight in office spaces with respect to the indoor thermal environment through optimization of light shelves design parameters in the tropics. *Indoor and Built Environment*, 31(7), 1963-1985. DOI: 10.1177/1420326X221086.

Subbiah, R., Pal, A., Nordberg, E. K., Marathe, A., & Marathe, M. V. (2017). Energy demand model for residential sector: a first principles approach. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, *8*(3), 1215-1224. DOI:10.1109/TSTE.2017.2669990.

Tahbaz, M. (1383). Traces of holiness in islamic architecture of iran. *Soffeh*, 14(2). 20.1001.1.1683870.1383.14.4.3.8. (In Persian)

Tahmasabi, Z, (2017), investigation of mesh mosaic tile in safavid period mosques and its application in contemporary architecture of iran, master's thesis, university of tehran. (In Persian)

Turan, I., Chegut, A., Fink, D., & Reinhart, C. (2020). The value of daylight in office spaces. Building and Environment, 168, 106503. DOI:10.1016/j.buildenv.2019.106503.

Wagdy, A., Elghazi, Y., Abdalwahab, S., & Hassan, A. (2015). The balance between daylighting and thermal performance based on exploiting the kaleidocycle typology in hot arid climate of Aswan , Egypt. In *AEI 2015* (pp. 300-315). DOI:10.1061/9780784479070.028.

اوغازیان، فرزانه، (۱۳۹۵)، بازخوانی الگوهای هندسی عنصر شباک بر مبنای بهینه‌سازی نور روز؛(نمونه موردی: طراحی ساختمان اداری شیشه قزوین در تهران)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

بمانیان محمدرضا، نیکودل فهیمه. (۱۳۹۳). بررسی انواع نورگیری و روش‌های تأمین نور در مساجد بررسی انواع نورگیری و روش‌های تأمین نور در مساجد. پژوهش‌های معماری اسلامی.; ۲ (۲):۶۰-۷۴.

پیرنیا، محمدکریم ، معماریان، غلامحسین. (۱۳۸۱)، آشنایی با معماری اسلامی ایران "ساختمانهای درون شهری و برون شهری"، تهران انتشارات دانشگاه علم و صنعت.

جاوید، مجید. (۱۳۸۹). کرمان در یک نگاه. انتشارات مرکز کرمان شناسی.

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.

صفایی تبار، مژده، فرحزاد، نریمان، و کوششگران، علی‌اکبر. (۱۳۹۶). تحلیل و ساخت الگوهای پارامتریک در ایجاد نمای دوم به‌منظور کنترل نور در فضای داخلی مسکن. معماری و شهرسازی پایدار، ۵(۲)، ۱۵-۲۶.

صفایی، بتول، خلجی اسدی، مرتضی، تقی‌زاده، حبیب، جیلاوی، افسانه، طالقانی، گیتی، و دانش، ماندانا. (۱۳۸۴). برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در ایران و تهیه اطلس تابشی آن. مجله علوم و فنون هسته‌ای، - (۱ (مسلسل ۳۳))، ۲۷-۳۴.

طاهباز، منصوره. (۱۳۸۳). ردپای قداست در معماری اسلامی ایران .صفه، دوره ۱۴ (۳-۴).

طهماسبی، زهرا، (۱۳۹۰)، بررسی کاشی معرق مشبک در مساجد دوره صفویه وبه کار گیری ان در معماری معاصر ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

قاسمی نسب، مریم، مولایی، محمدمهدی و پیله چی ها، پیمان. (۱۴۰۰). شبیه‌سازی دقیق نماهای شیشه‌ای نوین با تأکید بر بهینه‌سازی نور روز و انرژی (موردپژوهی: ساختمان اداری در همدان) .معماری و شهرسازی پایدار، ۹(۲)، ۱۶۳-۱۷۵.

قائم، گیسو. (۱۳۸۸). پیام چلیپا بر سفالینه‌های ایران .صفه، ۱۹(۲-۱) ۳۲-۴۹.

کاظم‌زاده، مرضیه، طاهباز، منصوره. (۱۳۹۲). اندازه‌گیری و بررسی شرایط نور روز در خانه‌های قدیمی کرمان .نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی، ۱۸(۲)، ۱۷-۲۶.

کفشچیان مقدم، اصغر، یاحقی، مریم. (۱۳۹۰). بررسی عناصر نمادین در نگارگری ایران .باغ نظر، ۸(۱۹)، ۶۵-۷۶.

گنجی خیبری، ابوالفضل، دیبا، داراب، مهدوی‌نژاد، محمدجواد و شاهچراغی، آزاده. (۱۳۹۴). طراحی الگوریتمیک "پالکانه" برای افزایش بهره‌مندی از نور روز در ساختمان .معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۸(دومین ویژه‌نامه نورپردازی) , ۳۵-۵۲.

محسنی، منصوره، باستان فرد، متین. (۱۳۹۹). بررسی گونه‌های کهن الگوی چلیپا در معماری ایرانی .معماری و شهرسازی آرمان شهر، ۱۳(۳۱)، ۱۲۵-۱۴۳.

محمدزاده نیلوفر، مفیدی شمیرانی مجید و طاهباز، منصوره . (۱۳۹۸). بهینه‌سازی عملکرد انرژی و نوروز پوسته ساختمان‌های مسکونی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در شهر همدان، پژوهش‌های معماری و محیط ۲(۱)، ۱۷-۳۷.

مؤذنی، مسعود، طوفان، سحر و ستارزاده، داریوش. (۱۳۹۹). ارزیابی الگوهای نوری موثر بر کیفیت زندگی ساکنین واحدهای مسکونی با بهره گیری از هندسه فراکتال .نشریه علمی اندیشه معماری، ۴(۷)، ۱۲۲-۱۳۷.

مهدوی‌نژاد، محمدجواد، ارباب، مژگان، ارباب، مریم. (۱۳۹۸). استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی چندهدفه لوورهای خارجی در ساختمان‌های اداری .نشریه علمی اندیشه معماری ۵(۳) ۲۱۴-۲۳۵.

آماده به انتشار

مهدوی‌نژاد، محمدجواد، کیا، آنوشا. (۱۳۹۸). معاصرسازی پوسته‌های سنتی (شباک) معماری ایرانی، جهتِ بهینه‌سازی دریافت نور و انرژی؛ نمونه مطالعاتی: بناهای اداری تهران، معماری اقلیم گرم و خشک، ۷(۹)، ۶۹-۸۲.

نعمت گرگانی امالبنین. (۱۳۸۲)، پیشینه نور در معماری و وسایل روشنایی در هنر اسلامی ایران (خلاصه پایان نامه). فصلنامه علمی اثر; ۲۴ (۳۵):۳۱۶-۳۲۳.

آماده به انتشار