مجلهٔ منظر، ۱۸ (۷۵)، ۶۶-۷۵ / تابستان ۱۴۰۵
DOI: 10.22034/manzar.2026.537861.2369

ترجمهٔ انگلیسی این مقاله نیز با عنوان:
Optimal and Efficient Daylight-Oriented Design of the Library Building Façade Structure Using Simulation (Case Study: Zanjan City)
در همین شمارهٔ مجله به چاپ رسیده است.

مقالهٔ پژوهشی

طراحی بهینه و کارآمد نور محور شاکلهٔ نمای ساختمان کتابخانه به کمک شبیه‌سازی

(مطالعه موردی: شهر زنجان)*

فرشته صدری
گروه معماری، واحد قشم، دانشگاه آزاد اسلامی، قشم، ایران

سید مجید مفیدی شمیرانی**
گروه معماری، مرکز تحقیقات معماری انرژی، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

شهناز پورناصری
گروه معماری، دانشکدهٔ مهندسی معماری و طراحی شهری، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۲۹ تاریخ قرارگیری روی سایت: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱

چکیده| طراحی معماری ساختمان‌ها با چالش بهبود کارایی و بهینه‌سازی استفاده از نور روز در نماها، به‌ویژه در اقلیم‌های سرد مانند شهر زنجان، روبه‌روست که پتانسیل بالایی برای بهره‌گیری از نور طبیعی در فصول پرتابش دارد. با هدف کلان طراحی شاکلهٔ نمای کتابخانه با استفاده از شبیه‌سازی و فرایندهای بهینه‌سازی فراابتکاری نور روز به‌منظور یافتن مدل‌هایی بهینه با بالاترین میزان بهره‌وری روشنایی نور روز این پرسش مطرح می‌شود که چگونه می‌توان از شبیه‌سازی و فرایندهای بهینه‌سازی فراابتکاری در فرایند طراحی شاکلهٔ نمای کتابخانه به‌منظور افزایش بهره‌وری نور روز استفاده کرد؟ محیط گرس‌هاپر و افزونهٔ لیدی باگ تولز جهت مدلسازی و شبیه‌سازی استفاده شده است. نرم‌افزار مدلسازی پارامتریک گرس‌هاپر تغییرات را به‌سرعت اعمال می‌کند و تأثیرات آن‌ها در زمان واقعی مشاهده می‌شود. در بخش مطالعات توصیفی- تحلیلی از نرم‌افزار SPSS، آزمون کولمگروف- اسمیرنوف، آزمون پیرسون و نرم‌افزار PLS استفاده شده است. در استفاده از نور طبیعی روز مدلی بهینه با بالاترین میزان بهروری نور روز و مناسب‌ترین توزیع شدت نور با عمق داخلی رف نوری ۱/۳ متر، عمق خارجی رف نوری ۰/۶ متر و ضریب عبور نور ۰/۵۵ به دست آمد.

واژگان کلیدی| *بهره‌وری نور، شاکلهٔ نما، شبیه‌سازی، شهر زنجان، کتابخانه.*

مقدمه| بهینه‌سازی کارایی ساختمان و استفادهٔ بهینه از نور روز، به‌ویژه در فضاهای اداری و عمومی، نقش مهمی در افزایش آسایش افراد دارد. نمای ساختمان نقش کلیدی در بهره‌گیری از نور طبیعی دارد و با توجه به پتانسیل بالای شهر زنجان برای بهره‌گیری از نور روز، این پژوهش می‌تواند به ارتقای کیفیت طراحی نما و بهبود عملکرد نور روز کمک کند.

فرضیهٔ اصلی پژوهش بر این است؛ با به‌کارگیری شبیه‌سازی و فرایندهای بهینه‌سازی فراابتکاری توسط پارامترهای نور روز می‌توان شاکلهٔ نمای کتابخانه در اقلیم زنجان را سنجید و به بهترین الگوی بهینه برای طراحی نما دست یافت. در ادامه با هدف کلان «طراحی شاکلهٔ نمای کتابخانه با استفاده از شبیه‌سازی و فرایندهای بهینه‌سازی فراابتکاری نور روز به‌منظور یافتن مدل‌هایی بهینه با بالاترین میزان بهره‌وری روشنایی نور روز» این پرسش مطرح می‌شود که چگونه می‌توان از شبیه‌سازی و فرایندهای بهینه‌سازی فراابتکاری در فرایند طراحی شاکلهٔ نما کتابخانه به‌منظور افزایش بهره‌وری نور روز استفاده کرد؟ همچنین برای دستیابی به هدف خرد «مطالعهٔ ویژگی‌های جغرافیایی شهر زنجان در راستای ارائهٔ راهکارهای عملی و بهینه برای بهره‌گیری از روشنایی طبیعی و توزیع مناسب شدت آن جهت افزایش بهره‌وری نور روز در کتابخانه» باید بتوان به این سؤال پاسخ داد که اقلیم شهر زنجان (ازنظر موقعیت جغرافیایی، میزان تابش مستقیم و پراکنده) دارای چه ویژگی‌هایی در استفادهٔ بهینه از نور روز در فضای مطالعهٔ کتابخانه است؟ و همچنین در راستای نیل به هدف خرد «بررسی چگونگی و میزان تأثیر عناصر معماری در طراحی شاکلهٔ نمای کتابخانه بر استفادهٔ بهینه از نور روز در فضاهای مطالعه»، این سؤال به وجود می‌آید که عناصر معماری جداره‌های نورگذر ساختمان چه تأثیری بر کیفیت و کمیت روشنایی فضای مطالعهٔ کتابخانه دارد؟

* این مقاله برگرفته از رسالهٔ دکتری «فرشته صدری» با عنوان «تبیین شاکلهٔ کتابخانه در اقلیم زنجان بر مبنای بهینه‌سازی فراابتکاری در استفاده از نور روز» که به‌راهنمایی دکتر «سید مجید مفیدی شمیرانی» و مشاورهٔ «شهناز پورناصری» در واحد قشم، دانشگاه آزاد اسلامی در سال ۱۴۰۴ به انجام رسیده است.

** نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۲۵۱۱۶۴۸۸، S_m_mofidi@iust.ac.ir

پیشینهٔ پژوهش

نصرالهی و شکری (Nasrollahi & Shokry, 2020)، مقاله‌ای را با هدف دستیابی به راه‌حل‌هایی کاربردی برای استفاده بیشتر از نور روز در فضاهای کتابخانه ارائه دادند و در آن نقش عناصر معماری، مانند موقعیت و ابعاد پنجره‌ها، بازتاب‌پذیری مصالح، پیکربندی سطوح و تناسب فضا بررسی و مطالعه شده است. در سال‌های اخیر، کاهش مصرف انرژی و تأثیر مثبت نور طبیعی بر کاربران، اهمیت استفاده از نور روز در طراحی ساختمان‌ها را افزایش داده است (Freidooni et al., 2022, 2023; Edwards & Torcellini, 2002; Xue, Y., & Liu, 2021; Li, 2010). در طراحی کتابخانه‌ها، ایجاد سامانهٔ روشنایی مناسب و کنترل نور ورودی ازطریق نما ضروری است (Sadri et al., 2024). جهت پیداکردن راهی برای دستیابی به جنبه‌های زیباشناختی، ییی (Yi, 2019) از متد بهینه‌سازی چندهدفه به‌عنوان افزایش عملکرد کمّی و کیفی و آسایش بصری بهره برد. مطالعات مختلف به نقش عناصر معماری، مانند موقعیت و ابعاد پنجره‌ها، بازتاب‌پذیری مصالح و پیکربندی فضا در بهره‌گیری از نور روز پرداخته‌اند (Gherri, 2015; Nasrollahi & Shokry, 2020). گری (Gherri, 2015) با استفاده از نرم‌افزار دیالوکس عملکرد نور روز در فضای کتابخانه را تحلیل کرده است. فرناندز و همکاران (Fernandes et al., 2013) در پژوهشی جهت بهینه‌سازی روشنایی طبیعی در فضای کتابخانه، سه راهکار شامل ادغام سامانه‌های خورشیدی، تغییر مصالح داخلی و خارجی به نانو مواد و استفاده از سامانه انیدولیک[1] برای افزایش نور داخلی ارائه دادند. لیو و همکاران (Liu et al., 2023) با روش طراحی پارامتریک و افزونهٔ لیدی‌باگ، عملکرد روشنایی کتابخانه دایره‌ای دانشگاهی در شانگهای را بهبود بخشیدند. چلیک و اینان (Çelik & Inan, 2023) نیز از برنامهٔ Velux Daylight Visualizer برای تحلیل توزیع نور روز در کتابخانه استفاده کردند.

مبانی نظری پژوهش

کلمهٔ شاکله به معنای ساختار یا هویت یک چیز استفاده می‌شود (Amid, 1996). بنابراین، منظور از شاکلهٔ نمای کتابخانه ساختار جبههٔ ساختمان، مناسب برای مطالعه است که ارتباط مستقیم با عوامل تأثیرگذار بیرونی همچون نور دارد. بهینه‌سازی، مسئله‌ای است که جواب‌های امکان‌پذیر متفاوتی برای آن وجود دارد و هدف، به‌دست‌آوردن بهترین جواب است (Talbi, 2008; Moraga et al., 2006). فرایندهای فرابتکاری روش‌هایی هستند که عموماً الهام‌گرفته از طبیعت‌اند. در این فرایندها مسیر رسیدن به هدف مهم نیست و صرف پیداکردن یک پاسخ بهینه کافی است. فرایندهای فرابتکاری ازنظر کیفیت جواب نسبت به فرایندهای دقیق در سطح پایین‌تری قرار دارند اما زمان حل بسیار کمتر، پژوهشگران را به سمت این روش‌ها سوق می‌دهد (Djannaty & Doostdar, 2008).

روش پژوهش

در این پژوهش محیط گرس‌هاپر و افزونهٔ لیدی باگ تولز[2] جهت مدلسازی و شبیه‌سازی استفاده شده است. مدلسازی پارامتریک گرس‌هاپر تغییرات را به‌سرعت اعمال می‌کند، به کاربران این امکان را می‌دهد که به‌جای تعریف دقیق جزئیات هر عنصر، قوانین و روابط کلی حاکم بر طراحی را تعریف کنند. ازاین‌رو، در این پژوهش نیز از بهینه‌سازی‌های فرابتکاری استفاده شده است. در بخش مطالعات توصیفی-تحلیلی، ابتدا داده‌ها با SPSS بررسی و ویژگی‌های هر متغیر شامل میانگین، انحراف معیار و بازهٔ مقادیر ثبت شد. نرمال‌بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنف سنجیده و در صورت نرمال‌بودن، همبستگی پیرسون بررسی شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار PLS4، مدل رگرسیونی تحلیل شد و ضرایب مسیر، ضریب تعیین، عامل تورم و معناداری روابط محاسبه شد و در نهایت ماتریسی از اهمیت و عملکرد متغیرها ارائه شد.

استاندارد پایهٔ رنج خیرگی

تابش خیره‌کننده باعث ناراحتی یا خستگی چشم می‌شود و وقتی روشنایی بیش از ۲۰۰۰ لوکس باشد، احتمال خیرگی افزایش می‌یابد. شاخص DGP برای ارزیابی آسایش نور روز استفاده می‌شود؛ مقادیر ≤۴۵ درصد غیرقابل تحمل، ۴۰-۴۵ درصد آزاردهنده، ۳۵-۴۰ درصد محسوس و <۳۵ درصد نامحسوس است (Reinhart & Wienold, 2011).

بحث

• متغیرهای بهینه‌سازی

پارامترهای زیادی جهت بهبود کارآیی ساختمان و محیط داخل وجود دارد که در این پژوهش بالحاظ‌کردن محدودیت‌های موجود با توجه به کاربری و اقلیم از متغیرهای ذکرشده در جدول ۱ و جدول ۲ استفاده می‌شود. در جدول ۱ نخست به معرفی راهکارهای مرتبط با پنجره و رف نوری پرداخته شده و در جدول ۲ متریال‌های متنوعی که امکان استفاده در رف نوری وجود دارد، ارائه شده است.

• محیط پژوهش

محیط پژوهش در اقلیم سرد شهر زنجان (منطقه‌ای کوهستانی و نیمه‌کوهستانی حدفاصل بین ۹′ ۴۷° تا ۵۱′ ۵° طول شرقی و ۲۸′ ۳۵° تا ۱۵′ ۳۷° عرض شمالی) در نظر گرفته شده است. با توجه به مطالعات انجام‌شده، زاویهٔ جهت‌گیری ساختمان‌ها در استان زنجان بین ۱۵ درجهٔ غربی و ۴۵ درجهٔ شرقی و در سایهٔ باد یکدیگر و خارج از سایهٔ آفتابِ هم، در محور شمالی- جنوبی مستقر می‌شود. بهترین جهت استقرار ۱۵ درجهٔ شرقی است (زمانی و همکاران، ۱۳۹۲).

• تحلیل داده‌های هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار climate consultant

میانگین دمای سالانهٔ زنجان حدود ۱۲ درجهٔ سانتی‌گراد است و در هیچ ماهی در بازهٔ آسایش قرار نمی‌گیرد، با زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً خنک. میانگین دما سالانه بین ۳- تا ۲۴ درجهٔ

جدول ۱. متغیرها و راهکارهای پژوهش. مأخذ: Sadri et al., 2025.

راهکار	سناریو	واحد	تعداد حالت	بازهٔ متغیر	گام‌های تغییر
راهکارهای مرتبط با پنجره	نسبت پنجره به دیوار	درصد	۱۷	۰/۰۵ تا ۰/۹۵	۰/۰۵
	یکپارچه‌بودن یا چندقسمت‌بودن پنجره	-	۲	۰ یا ۱	-
	ارتفاع از کف تا لبهٔ پایین پنجره	سانتی‌متر	۱۱	۰/۱ تا ۱/۱	۰/۱
	ضریب عبور نور شیشه	درصد	۱۲	۰/۳ تا ۰/۸	۰/۵
	تعداد لایهٔ شیشه	-	۳	۱ تا ۳	۱
راهکار رف نوری در جنوب	عمق داخلی رف نوری	متر	۱۵	۰/۱ تا ۱/۵	۰/۱
	عمق خارجی رف نوری	متر	۱۵	۰/۱ تا ۱/۵	۰/۱
	زاویهٔ داخلی رف نوری	درجه	۶۰	۰۳- الی ۰۳	۱
	زاویهٔ خارجی رف نوری	درجه	۶۰	۰۳- الی ۰۳	۱
	موقعیت قرارگیری رف نوری	متر	۱۵	۰/۵۰ الی ۰/۸۰	۰/۰۵

جدول ۲. متغیرهای مربوط به متریال رف نوری پژوهش. مأخذ: Sadri et al., 2025.

نوع	متریال	ضریب درخشندگی[۳]	ضریب ناهمواری[۴]	ضریب انعکاس[۵]
چوب	درخت ساج	۰/۱	۰/۰۸	۰/۲۶۳
	درخت گردو	۰/۱	۰/۰۸	۰/۱۹۷
	درخت کاج سفید	۰/۱	۰/۰۸	۰/۵۶۶
تختهٔ بتنی	روشن	۰	۰	۰/۴۱۶
	معمولی	۰	۰	۰/۲۰۴
	تیره	۰	۰	۰/۱۶۱
آلومینیوم	سفید	۰/۸	۰/۰۲	۰/۸۸۵
	موج‌دار	۰/۸۵	۰/۰۵	۰/۷
	نورد داده	۰/۶۸	۰/۰۶۵	۰/۳۱
	فویل	۰/۱۲	۰/۱	۰/۹۲
فلز	استیل روشن	۰/۹	۰/۰۳۵	۰/۸
	استیل تیره	۰/۹۶	۰/۰۲	۰/۵۴۱
	ورق فلز گالوانیزه	۰/۵	۰/۱	۰/۶۶
	برنج	۰/۸۵	۰	۰/۵۸۴

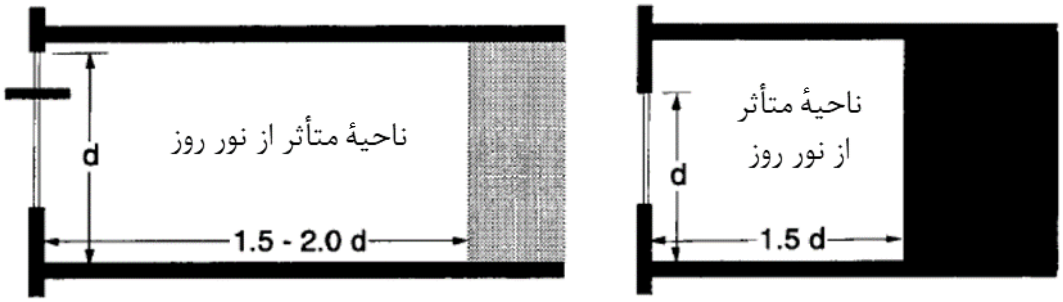
سانتی‌گراد متغیر است و میانگین تابش خورشید روی سطوح عمودی و افقی به‌ترتیب ۲۸۰ و ۴۲۰ وات بر مترمربع در ساعت است.

• مقطع پایهٔ معماری دیوار و پنجره

مطابق تصویر ۱ با ارتفاع سقف معمولی و پنجرهٔ استاندارد، نور روز تا ۱/۵[۱] برابر ارتفاع سر پنجره نفوذ می‌کند، اما استفاده از قفسهٔ نور این نفوذ را تا دو برابر افزایش و عملکرد نور روز را بهبود می‌بخشد و نیاز به نور الکتریکی را کاهش می‌دهد.

• شرایط کتابخانه

در این پژوهش، یک اتاق مطالعهٔ استاندارد در زنجان به ابعاد ۸×۶ متر و ارتفاع ۴ متر به‌عنوان مدل مرجع طراحی شد. پنجره‌ها برای بهره‌برداری بهینه از نور طبیعی در جهات شمال و جنوب قرار گرفتند و رف نوری تنها برای پنجرهٔ جنوبی پیش‌بینی شد. ابعاد اجزای اتاق مطالعه طبق استاندارد نویفرت (جدول ۳) تعیین و سرانهٔ هر فرد ۲/۵ مترمربع در نظر گرفته شد. فاصلهٔ بین میزها حدود ۹۵ سانتی‌متر، ارتفاع میز حداقل ۷۵ سانتی‌متر و پهنای آن حداقل ۹۰ سانتی‌متر است. صندلی‌ها پشت به درب قرار گرفته‌اند تا مزاحمت بصری کاهش یابد و کاربران از نور طبیعی شمال و جنوب بهره‌مند شوند. همچنین، عمق زیاد اتاق به‌طور خاص برای بررسی دقیق‌تر شاخص‌های روشنایی و سنجش اثرگذاری گزینه‌های مختلف در بهره‌گیری از نور روز انتخاب شده است.



تصویر ۱. استاندارد برای نفوذ نور روز با عمق و ارتفاع سقف معمولی، ۱/۵ برابر ارتفاع سر پنجره‌های استاندارد از کف و تا دو برابر ارتفاع سر با قفسهٔ نور، برای پنجره‌های رو به جنوب است. مأخذ: Luther, 2004.

همچنین این واحد در ارتفاع ۶/۴ متری از سطح زمین یا طبقهٔ سوم روی دو واحد اداری در بین اتاق‌های دیگر فرض شده است. فاصلهٔ کف تا کف اتاق نیز ۴ متر است.

برای حذف اثر نمای شرقی و غربی، بدنه‌های این جبهه‌ها بسته در نظر گرفته شدند. پنجره‌های جنوبی با زاویهٔ ۲۳۰ درجه نسبت به قائم و نسبت ارتفاع به عرض نزدیک به یک طراحی شد تا در فصول سرد، تابش خورشید بیشتری به داخل فضا نفوذ کند (همان) و دارای سایبان افقی قوسی به عمق ۰/۲۷ ارتفاع پنجره هستند. پنجره‌های شمالی به صورت افقی برای ورود نور یکنواخت طراحی شده‌اند و کل طرح با ۱۵ درجه انحراف به سمت شرق در نظر گرفته شده است (تصویر ۲).

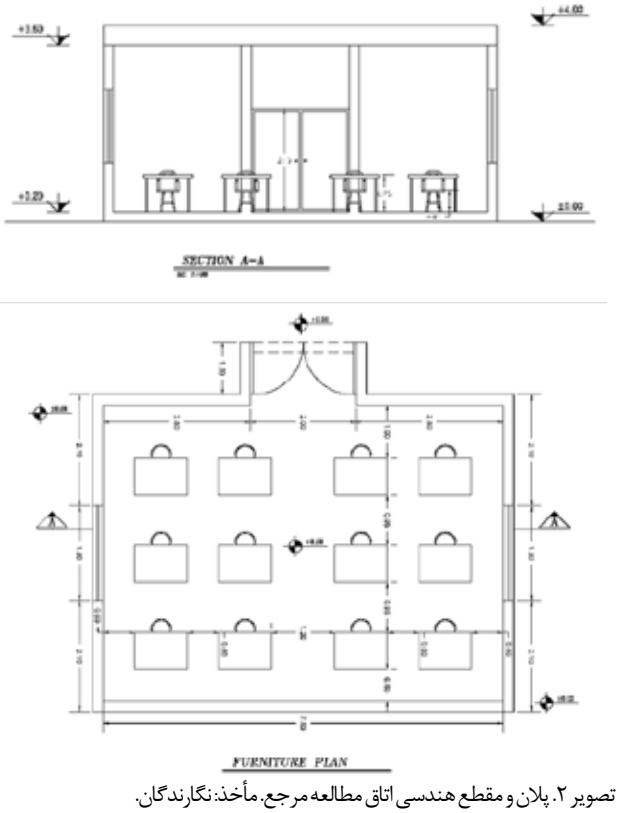
پارامترهای شبیه‌سازی نور روز براساس مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان و تنظیمات نرم‌افزار لیدی‌باگ تولز تعریف شده‌اند. در این شبیه‌سازی، تعداد بازتاب پراکنده شش، تعداد اشعه‌های محاسباتی ۱۵۰۰۰ و عدم لحاظ تابش مستقیم صفر در نظر گرفته شده است که با استاندارد ملی مطابقت دارد.

والیسی ایکس[۶] بخش اصلی پلتفرم والیسی است که با استفاده از الگوریتم NSGA-II برای تکامل و K-means برای خوشه‌بندی، امکان اجرای الگوریتم‌های تکاملی و تحلیل نتایج را فراهم می‌کند. در شبیه‌سازی این پژوهش، جمعیتی با ۷۵ ژن در ۱۰۰ نسل با پارامترهای مشخص (احتمال ترکیب ۰/۹، احتمال جهش 1/n، شاخص توزیع ۲۰ و بذر تصادفی ۱) مورد استفاده قرار گرفت. این شبیه‌سازی ۴۹۹ ساعت زمان برد. به‌دلیل میلیاردها حالت ممکن و پیچیدگی بالا، از روش‌های بهینه‌سازی استفاده شد و در مجموع ۷۵۰۰ حالت شبیه‌سازی و داده‌های مربوط به آن برای تحلیل گردآوری شد. در این پژوهش از روش‌های مختلف بهینه‌سازی، خوشه‌بندی(K-means و سلسله‌مراتبی) و جبههٔ پارتو برای انتخاب و تحلیل راه‌حل‌ها استفاده شده است. ابزارهایی مانند نمودار مختصات موازی و نمودار خط روند انحراف معیار (تصویر ۳) نیز برای مقایسهٔ راه‌حل‌ها و بررسی تغییرات و همگرایی نسل‌ها به کار رفته‌اند.

نمودارها نشان می‌دهند که انحراف معیار روشنایی مفید نور روز[۷] و خیرگی در نسل‌های اولیه بالا بوده اما با افزایش تعداد نسل‌ها کاهش یافته و در نهایت به مقدار ثابت و کوچکی همگرا شده است؛ این امر بیانگر پایداری و همگرایی جمعیت در طول

جدول ۳. مشخصات اتاق مطالعه مرجع. مأخذ: Neufert & Neufert, 2012.

پارامتر	اندازه (متر)
عرض اتاق مطالعه	۶/۰۰
طول اتاق مطالعه	۸/۰۰
ارتفاع اتاق مطالعه	۴/۰۰
ارتفاع در ورودی	۲/۱۰
پهنای میز	۱/۰۰
عرض میز	۰/۷۰
ارتفاع پنجره‌ها	۱/۵۰
عرض در ورودی	۲/۰۰
ارتفاع میز	۰/۷۵
ارتفاع صندلی	۰/۴۵



تصویر ۲. پلان و مقطع هندسی اتاق مطالعه مرجع. مأخذ: نگارندگان.

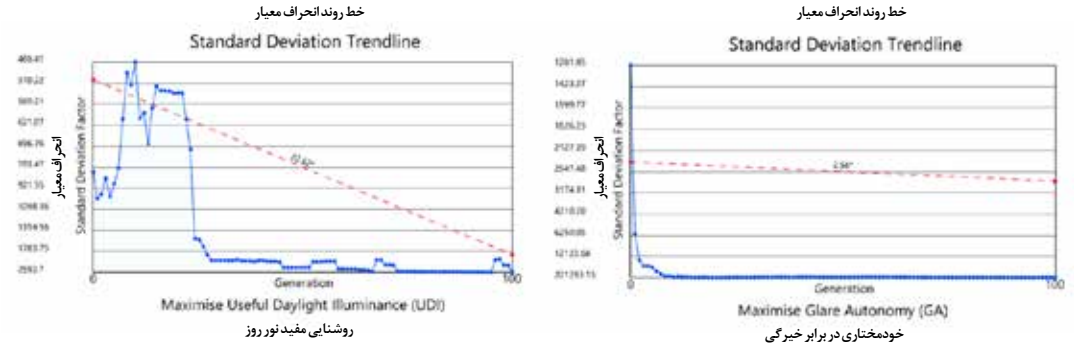
زمان است (تصویر ۴). همچنین میانگین در نسل‌های اولیه نوسان داشته اما به‌تدریج کاهش یافته و به مقدار ثابتی همگرا شده که بیانگر رسیدن جمعیت به حالت پایدار و بهینه است. همچنین داده‌های تکمیلی شبیه‌سازی در سه دسته شامل پارامترهای طراحی رف نوری، موقعیت و ویژگی‌های پنجره و نوع متریال ذخیره شده‌اند.

دستهٔ دوم پارامترهای هدف شامل روشنایی مفید نور روز و میانگین درصد نقاط بدون احساس خیرگی توسط کاربران است. سایر شاخص‌های نوری نظیر «استقلال نور روز»، «استقلال نور روز پیوسته»، «استقلال فضایی نور روز» و «حد پایین روشنایی مفید نور روز» و «حد بالای روشنایی مفید نور» در فرایند بهینه‌سازی تأثیرگذار نبوده و صرفاً به‌منظور بررسی و داده‌کاوی استفاده شده‌اند. تمامی داده‌ها پس از مقیدسازی در نمودارهای خطی (تصویر ۵) نمایش داده شده‌اند. این امر می‌تواند در انتخاب گزینهٔ بهینه پس از فرایند بهینه‌سازی و به‌صورت دستی مؤثر باشد؛ چراکه براساس مقادیر هدف، می‌توان مقادیر ورودی پیشنهادی را استخراج کرد. در تصویر ۵، داده‌ها براساس تعداد تکرار با دو رنگ قرمز و آبی مشخص شده‌اند.

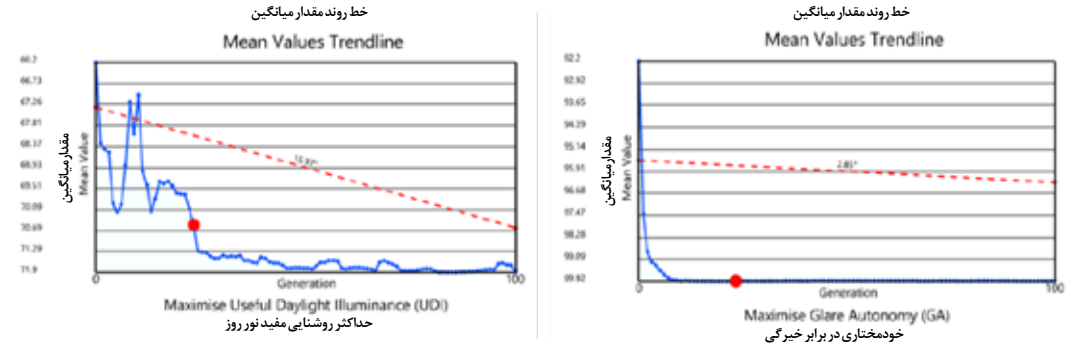
تصویر ۵ بیانگر آن است که فرایند بهینه‌سازی منجر به دستیابی به یک پاسخ نمی‌شود. دلیل این امر، تعدد بالای پارامترهای مؤثر در میان میلیاردها گزینهٔ ممکن است که دستیابی به یک راه‌حل مستقل را غیرممکن می‌سازد. بااین‌حال، این ویژگی می‌تواند به‌عنوان یک مزیت در فرایند طراحی تلقی شود؛ چراکه امکان تصمیم‌گیری هدفمند و متناسب با نیازهای خاص هر پروژه را فراهم می‌آورد. براساس نتایج نمودار تصویر ۵، می‌توان رهنمودهای زیر را به‌عنوان شاخص‌های کلیدی طراحی استخراج کرد:

۱. در پنجره‌های جنوبی، حداکثر ۴۰ درصد سطح در محدودهٔ بالای دستانداز لحاظ شود.

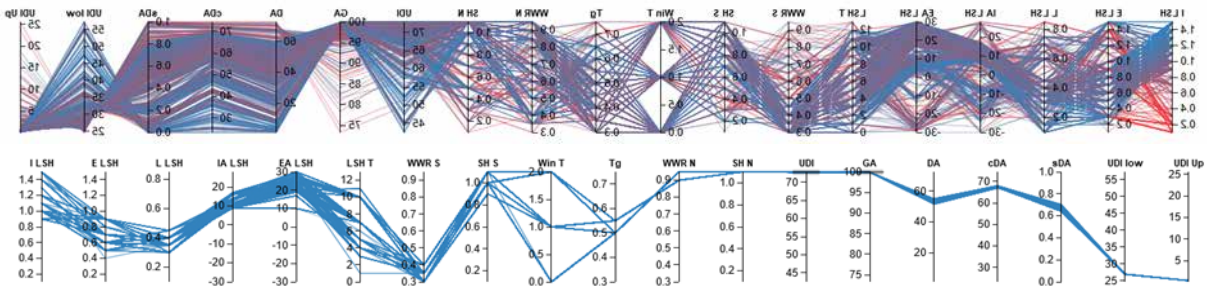
۲. در پنجره‌های شمالی، حداقل ۹۰ درصد سطح در محدودهٔ دستانداز ضروری است.



تصویر ۳. نمودارهای خط روند انحراف معیار اهداف در هر نسل. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۴. نمودارهای خط روند مقدار میانگین اهداف در هر نسل. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۵. نمودار خطی داده‌های شبیه‌سازی (تصویر بالا)؛ نمودار بهینه‌سازی‌شده براساس روشنایی مفید نور روز را در حالت حداکثر و عدم خیرگی (تصویر پایین). مأخذ: نگارندگان.

۳. عمـق داخلـی رف نوری باید بیش از عمق خارجی آن در نظر گرفته شـود؛ به‌گونـه‌ای کـه حداکثـر پیش‌آمدگـی خارجی ۹۰ سـانتی‌متر و حداقـل پیش‌آمدگـی داخلی نیز ۹۰ سـانتی‌متر پیش‌بینی شـود.

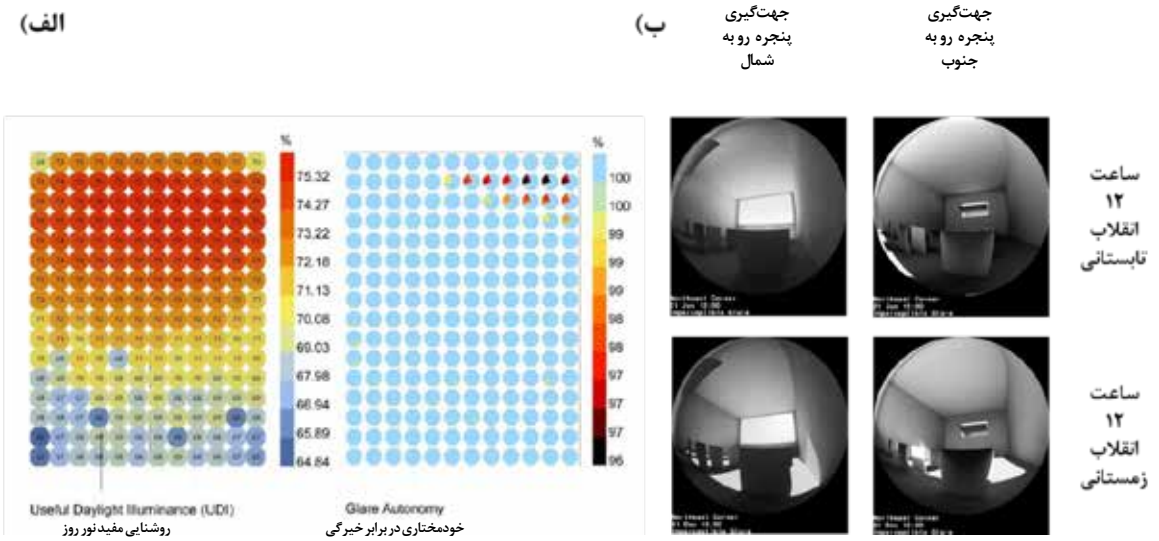
رعایـت ایـن الزامـات، ضمن تسـهیل در تفسـیر نتایـج، می‌تواند دقت و کارآمـدی فراینـد طراحـی معمـاری را بـه میـزان قابل توجهـی ارتقا بخشد.

پـس از پـردازش و بهینه‌سـازی داده‌هـا، نسـبت بهینهٔ پنجره بـه دیوار جنـوب ۳۰ درصـد و دیـوار شـمال ۹۰-۹۵ درصـد تعیین شـد. ارتفاع دسـت‌انداز شـمال ۱/۱ متـر ثابـت و جنـوب ۰/۹-۱/۱ متـر متغیر در نظـر گرفته شـد. تکرار دسـت‌انداز با فاصلـهٔ ۱ متر بهتریـن عملکرد را نشان داد.

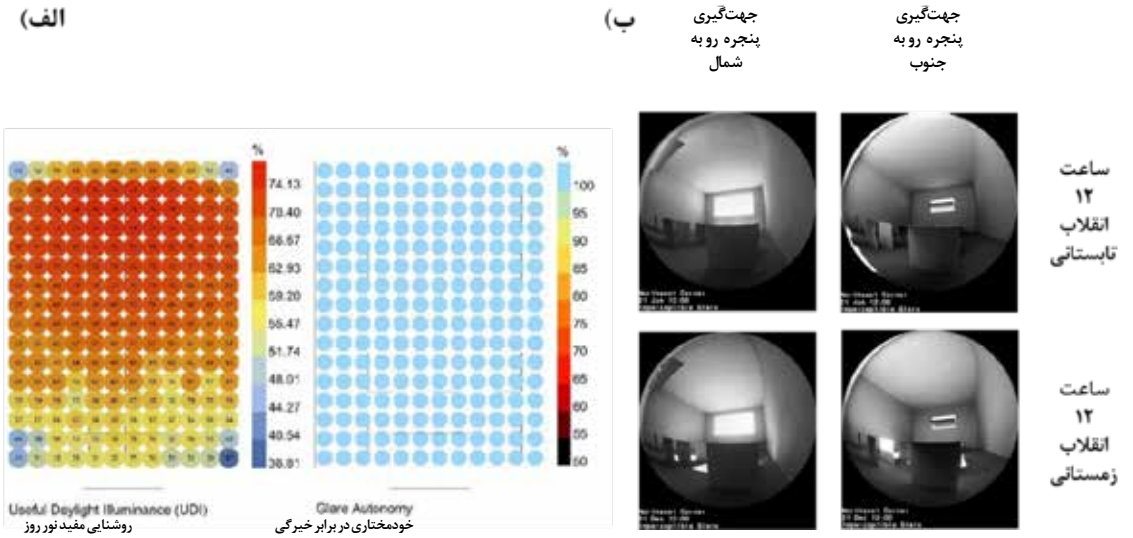
دربارهٔ مصالح، سـه گزینه (تخته بتنی، آلومینیوم سـفید و ورق فویلی) بررسـی شـدند و بـا توجـه بـه ملاحظـات طراحـی و زیایی‌شـناختی، ترکیـب بهینـه بـا کمتریـن عمـق داخلـی و خارجـی، شـامل عمـق داخلـی ۹۰ سـانتی‌متر و عمـق خارجـی ۷۰ سـانتی‌متر انتخـاب شـد (تصویـر ۶. الف).

با توجه به تصویر ۶. ب، در سـمت شـمال خیرگی محدود و در جنوب خیرگـی وجـود نـدارد، نـور یکنواخت توزیع و بخشـی از نور شـمالی از انعکاس رف نوری تأمین می‌شـود. در کل، روشـنایی طبیعی مناسب و بدون خیرگی آزاردهنده اسـت که در تابسـتان و زمسـتان نیز مشـهود است.

به‌منظـور کاهش سـطح پنجـره در جبههٔ شـمالی و نیز محدودسـازی ابعـاد بازشـوها در هـر دو جبهـه، گزینـهٔ عمـق داخلـی و خارجـی رف نـوری به‌ترتیـب ۹۰ سـانتی‌متر و ۶۰ سـانتی‌متر انتخـاب شـد. در این حالـت، خیرگـی به‌طـور کامـل (۱۰۰ درصـد) برطـرف شـد، هرچنـد میـزان روشـنایی مفیـد روز کاهش یافت. بااین‌حال، سـطح روشـنایی حاصـل همچنـان در چارچوب اسـتانداردهایی همچـون LEED v4.1 قابـل پذیرش اسـت (تصویـر ۷).



تصویر ۶. الف) نمودار دوبّعدی روشنایی مفید نور روز و درصد عدم خیرگی کاربران؛ ب) خیرگی در انقلاب تابستانی و زمستانی در جهت شمال و جنوب. مأخذ: نگارندگان.

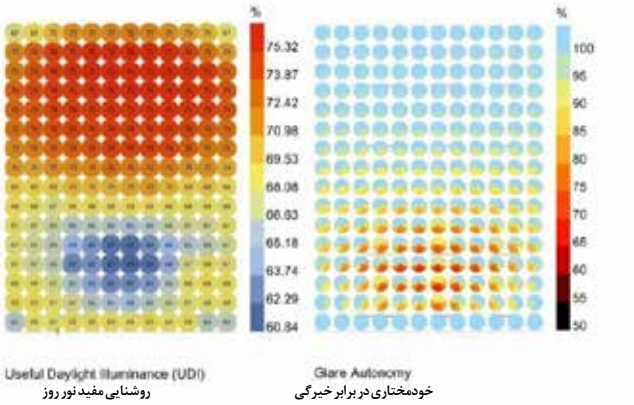


تصویر ۷. الف) نمودار دوبعدی روشنایی مفید نور روز و درصد عدم خیرگی کاربران؛ ب) خیرگی در انقلاب تابستانی و زمستانی در جهت شمال و جنوب. مأخذ: نگارندگان.

نتایج نشـان می‌دهد که در اغلب سـاعات روز و در طول سـال، خیرگی قابل مشـاهده نیسـت؛ موضوعی که نشان‌دهندهٔ شـرایط نوری مطلوب و عـاری از خیرگـی آزاردهنـده اسـت. در عیـن حـال، کاهش نـور روز نسـبت بـه حالت پیشـین محسـوس بـوده و در برخی نقـاط منجر به ایجاد شـرایطی مشـابه شـب می‌شـود که بیانگر نبود تابش مسـتقیم نور خورشـید است.

بـا درنظرگرفتـن پنجره‌هایـی معـادل ۵۵ درصـد سـطح دیـوار (بـا دسـت‌انداز یـک متر) و رف نـوری با ابعاد حداقلی در محل دسـت‌انداز، امـکان مقایسـهٔ تغییـرات نسـبت بـه حالـت مرسـوم فراهم می‌شـود؛ درصـد عبـور نـور روز نیـز همـان ۵۵ درصـد حفظ شـده اسـت.

در مدل مرسـوم، توزیع نور یکنواخت نیسـت و باعث خیرگی و روشنایی نامناسب، به‌ویژه در مرکز جبهه جنوبی، می‌شود. رف نوری نقش مؤثری در کاهش خیرگی، بهبود پخش نور و افزایش یکنواختی روشـنایی دارد (تصویـر ۸). همچنین در مدل مرسـوم، نبـود رف نوری منجر به خیرگی در برخی سـاعات بعدازظهر می‌شـود. این مدل به‌عنوان نمونهٔ پایه برای مقایسـهٔ اسـتفاده شـده و از پنجره‌هـای بزرگ خودداری شـده اسـت تا شـرایط نوری نامطلوب‌تر و آزاردهنده ایجاد نشـود.



تصویر ۸. نمودار دوبُعدی روشنایی مفید نور روز و درصد عدم خیرگی کاربران.
مأخذ: نگارندگان.

• بررسی توصیفی تحلیلی داده‌ها

براسـاس جـدول ۴، بیشـترین مقـدار میانگین بـه «زاویـهٔ خارجی رف نـوری» بـا مقـدار ۲۱/۱۱ اختصـاص دارد. همچنین بیشـترین انحراف معیـار نیـز مربوط بـه همین متغیـر و برابر بـا ۸/۲۹۴ اسـت. در بخش خیرگی، بیشـترین مقدار میانگین برابر با ۹۹/۷۷۹ و بیشـترین انحراف معیـار نیز بـا مقـدار ۹۹/۹۰۰ به همین متغیر تعلـق دارد.

جـدول ۵ نشـان می‌دهـد کـه آزمـون کولموگروف-اسـمیرنوف بـرای تمامـی متغیرهـا معنـادار اسـت؛ بنابرایـن، نرمال‌بودن توزیـع متغیرها تأییـد نمی‌شـود. بااین‌حـال، در ایـن پژوهـش بـه دو دلیـل می‌تـوان از شـرط نرمال‌بـودن داده‌هـا صرف‌نظـر کـرد: ۱. حجـم نمونـه بیش از n>30 اسـت؛ و۲. نرم‌افـزار مورد اسـتفاده (PLS) نسـبت بـه نرمال‌بودن داده‌ها حساسـیت ندارد. با توجه به اینکه متغیرها در مقیاس فاصله‌ای اندازه‌گیـری شـده‌اند، از ضریـب همبسـتگی پیرسـون بـرای تحلیـل اسـتفاده شـد. نتایـج ماتریـس همبسـتگی نشـان می‌دهد کـه تمامی متغیرهای وابسـته به جز «روشـنایی مفید نور روز» ـ با «عمق داخلی رف نوری» همبسـتگی معنادار دارند. در این میان، شـاخص «خیرگی» بیشـترین و قوی‌تریـن همبسـتگی مثبـت را بـا ضریب ۰/۱۶۸ نشـان می‌دهد. همچنین، همهٔ متغیرهای وابسـته به جز «اسـتقلال نور روز پیوسـته» و «حـد بالای روشـنایی مفید نـور روز» ـ بـا «عمق خارجی رف نـوری» همبسـتگی معنـادار دارنـد. شـاخص «خیرگـی» دارای همبسـتگی منفی و قابل توجهی برابر با ۰/۴۹- اسـت. متغیر مسـتقل «موقعیـت قرارگیـری رف نـوری» بـا متغیرهـای وابسـته «روشـنایی مفیـد نور روز» و «عدم خیرگی سـالیانه» همبسـتگی معنـادار و منفی نشـان می‌دهـد، درحالی‌کـه بـا «حد بـالای روشـنایی مفید نـور روز» همبسـتگی معنـادار مثبـت دارد. ایـن آزمـون بـرای «عـدم خیرگی»

جدول ۴. نتایج توزیع میانگین متغیرهای مستقل. مأخذ: نگارندگان.

متغیر	میانگین	انحراف استاندارد	کمترین	بیشترین
عمق داخلی رف نوری	۱/۰۸	۰/۱۹	۰/۱	۱/۵
عمق خارجی رف نوری	۰/۶۹	۰/۱۸۷	۰/۱	۱/۵
موقعیت قرارگیری رف نوری (نسبت به ارتفاع پنجره)	۰/۳۸	۰/۶۸۵	۰/۱	۰/۸۵
زاویهٔ داخلی رف نوری	۱۱/۰۴	۴/۸۲۴	-۳۰/۰۰	۲۸
زاویهٔ خارجی رف نوری	۲۱/۱۱	۸/۲۹۴	۳۰	۳۰
نوع متریال رف نوری	۶/۵۶۲	۲/۵۷۸	۰	۱۳
نسبت پنجرهٔ جنوب	۰/۳۴۸	۰/۵۸۷	۰/۳	۰/۹۵
ارتفاع از کف تا لبهٔ پایین پنجرهٔ جنوب	۰/۹۶	۰/۱۱۴	۰/۱	۱/۱
تعداد لایهٔ شیشه	۱/۱۶	۰/۶۴۴	۰	۲
ضریب عبور نور شیشه	۰/۴۷	۰/۸۵۲	۰/۳	۰/۷۵
نسبت پنجرهٔ شمال	۰/۸۸	۰/۱۱۲	۰/۳	۰/۹۵
ارتفاع از کف تا لبهٔ پایین پنجرهٔ شمال	۱/۰۷	۰/۱	۰/۱	۱/۱

جدول ۵. نتایج توزیع میانگین متغیرهای وابسته. مأخذ: نگارندگان.

متغیر / مؤلفه	میانگین	انحراف استاندارد	کمترین	بزرگترین
روشنایی مفید نور روز	۷۱/۲۷	۷۲/۷۴۸	۴۲/۵۵	۷۲/۸۵
عدم خیرگی سالیانه	۹۹/۷۷۹	۹۹/۹	۷۳/۳۱	۱۰۰
استقلال نور روز	۴۵/۷۴۱	۴۵/۱۴۵	۰/۹۶۸	۷۲/۶۹
استقلال نور روز پیوسته	۶۳/۲۳	۶۴/۰۸۸	۲۳/۳۱۸	۷۴/۴۶
استقلال فضایی نور روز	۰/۵۷۳	۰/۷۰۳	۰	۱
حد پایین روشنایی مفید نور روز	۲۸/۳۵	۲۷/۷	۲۴/۶۷	۵۷/۳۶
حد بالا روشنایی مفید نور روز	۰/۳۶۳	۰/۰۹۹	۰/۰۶۱	۲۵/۵۹۴

همبستگی منفی و قابل توجهی برابر با ۰/۱۵۶- گزارش کرده است. سایر متغیرهای وابسته، همبستگی معناداری با «موقعیت قرارگیری رف نوری» نشان نمی‌دهند. همچنین، متغیر مستقل «زاویهٔ داخلی رف نوری» با تمامی متغیرهای وابسته همبستگی معنادار دارد. شاخص GA دارای همبستگی مثبت و قابل توجهی برابر با ۰/۳۳۴ است. متغیر مستقل «زاویهٔ خارجی رف نوری» با تمامی متغیرهای وابسته همبستگی معنادار دارد. همچنین، همبستگی خیرگی مثبت و قابل توجه ۰/۳۲۳ است. متغیر مستقل «نوع متریال رف نوری» نیز با تمام متغیرهای وابسته همبستگی معنادار نشان می‌دهد. شاخص «استقلال فضایی نور روز» نیز همبستگی مثبت و قابل توجه ۰/۳۶۴ را گزارش می‌کند.

متغیر مستقل «نسبت پنجره جنوب» با همهٔ متغیرهای وابسته همبستگی معنادار دارد و برای شاخص «خیرگی» همبستگی منفی و قابل توجه ۰/۶۳۱- گزارش شده است. متغیر مستقل «ارتفاع از کف تا لبهٔ پایین پنجرهٔ جنوب» با تمام متغیرهای وابسته به جز «استقلال نور روز» و «استقلال نور روز پیوسته» همبستگی معنادار نشان می‌دهد. در این آزمون، شاخص «خیرگی» همبستگی مثبت و بزرگتری نسبت به سایر متغیرها (۰/۴۶۰) دارد. همچنین، متغیر مستقل «تعداد لایهٔ شیشه» با تمام متغیرهای وابستهٔ همبستگی معنادار است.

شاخص DA همبستگی منفی دارد، اما بیشترین اثر مثبت را با مقدار ۰/۷۲۵ نشان می‌دهد. ضریب عبور نور شیشه و نسبت پنجرهٔ شمال با متغیرهای وابسته همبستگی معنادار دارند و بیشترین اثرها به‌ترتیب برای DA و (0.819) UDI ثبت شده است. همچنین، «ارتفاع از کف تا لبهٔ پایین پنجرهٔ شمال» با تمام متغیرهای وابسته همبستگی دارد و بیشترین اثر مثبت آن برای (0.466) GA است.

• سنجش ضریب‌های مسیر در PLS

مدل مفهومی آزمون‌شده در حالت استاندارد یا الگوریتم PLS و ضریب مسیرها در تصویر ۹ ارائه شده است. بیشترین ضریب مسیر به مسیرهای WWRN -> CDA به میزان ۰/۸۰۵، WWRN -> UDI به میزان ۰/۸۴۸ و WWRN -> UDI LOW به میزان ۰/۸۷۷- اختصاص دارد. ضریب تعیین (R^2) به مجذور ضریب همبستگی چندگانه اطلاق میشود. ضریب تعیین متغیرهای وابسته GA، DA، CDA، UDI LOW، UDI، SDA[۸] و UDI UP به ترتیب ۰/۹۴۴، ۰/۹۷۴، ۰/۹۴۴، ۰/۹۵۹، ۰/۷۷۹، ۰/۸۲۰ و ۰/۵۴۶ است که به معنی درصد واریانس این متغیرها توسط متغیرهای مستقل است. در تحلیل ماتریس اهمیت و عملکرد، شاخص DA به‌دلیل ضریب تعیین بالاتر مبنا قرار گرفت. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد مربوط به SillHN (97.331) و بیشترین اهمیت مربوط به WWRN (90.161) است. همچنین، در متغیر GA بیشترین اهمیت به SillHS و در متغیر UDI به WWRN تعلق دارد.

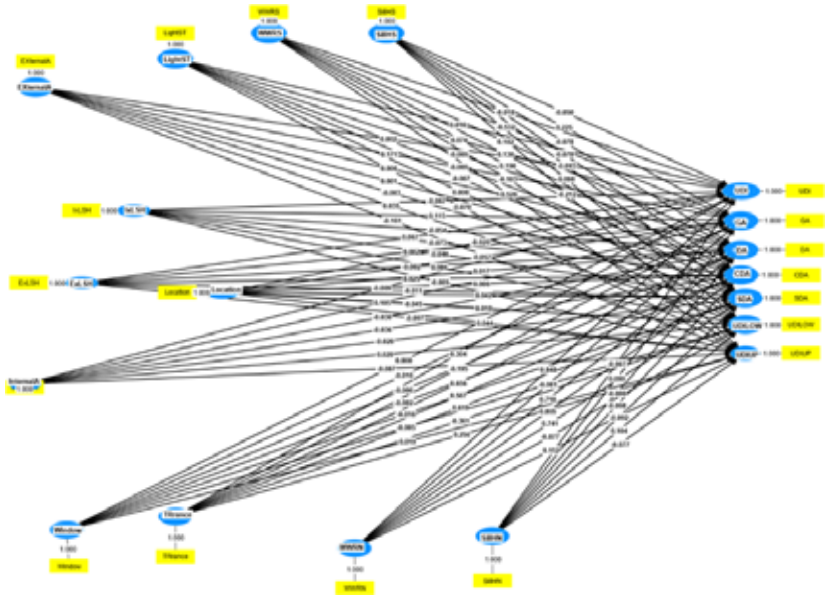
• بررسی فرضیه

پژوهش نشان می‌دهد فرضیهٔ اصلی دربارهٔ بهینه‌سازی نمای کتابخانه در اقلیم زنجان با شبیه‌سازی و روش‌های فراابتکاری به نظریهٔ قابل تبدیل است. نتایج بیانگر آن است که مدل‌های پارامتریک می‌توانند روشنایی داخلی را بهبود دهند و نمایی مطلوب ارائه کنند. در نهایت، الگویی بهینه با مشخصات «عمق داخلی رف نوری» ۱/۳ متر، «عمق خارجی» ۰/۶ م‌تر و «ضریب عبور نور» ۰/۵۵ به‌عنوان بهترین گزینه برای طراحی نما معرفی شده است.

نتیجه‌گیری

مقدار «روشنایی مفید نور روز» در گزینه‌های مختلف بین ۴۴/۲۶ تا ۷۲/۸۵ درصد متغیر است که نشان‌دهندهٔ درصد زمانی است که روشنایی در سطح مطلوب قرار دارد. بالاترین مقدار مربوط به گزینه‌ای با «عمق داخلی» ۱/۳ متر، «عمق خارجی» ۰/۶ متر، «نسبت پنجره به دیوار جنوب» ۰/۴ و «ضریب عبور نور شیشه» ۰/۵۵ است. بااین‌حال، گزینهٔ ایده‌آل از منظر طراحی همیشه به معنای بیشترین درصد پوشش روشنایی نیست، زیرا علاوه‌بر شبیه‌سازی دوهدفه، اهداف طراحی و سازه‌ای نیز اهمیت بالایی دارند. ازسوی‌دیگر، درصد «عدم خیرگی» در تمامی گزینه‌ها بسیار بالا و نزدیک به ۱۰۰ درصد است که نشان می‌دهد کنترل خیرگی در تمام حالات مورد بررسی به خوبی انجام شده است.

به‌طور کلی، مقادیر به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که هریک



تصویر ۹. مدل و ضرایب مسیر. مأخذ: نگارندگان.

از پارامترهای بهینه‌سازی در بازه‌ای مشخص متغیر بوده‌اند. در اغلب گزینه‌ها، «عمق داخلی رف نوری» بین ۰/۹ تا ۱/۳ متر قرار دارد که در این میان، عمق ۱/۳ متر بالاترین میزان «روشنایی مفید نور روز» را ایجاد کرده است. همچنین، «عمق خارجی رف نوری» در بیشتر گزینه‌ها بین ۰/۵ تا ۰/۷ متر متغیر بوده و عملکرد گزینه‌های با عمق ۰/۶ و ۰/۷ متر به طور کلی بهتر ارزیابی شده است. «زاویه‌های داخلی و خارجی رف نوری» نیز در بیشتر حالات بین ۹ تا ۳۰ درجه قرار دارند؛ گزینه‌هایی با زاویه‌های بالاتر کنترل مطلوب‌تری بر روشنایی و کاهش خیرگی نشان داده‌اند.

نتایج نشان می‌دهد ترکیب شیب خارجی به سمت زمین و شیب داخلی به سمت سقف بهترین عملکرد را دارد. همچنین، پنجره‌ای با ضریب عبور نور ۰/۳ تا ۰/۵۵ و ویژگی‌های بازتاب ۰/۱۹۷، بازتاب مطلق ۰/۱ و زبری ۰/۰۸ مناسب‌ترین گزینه بوده است. به‌طور کلی، افزایش «عمق داخلی»، «عمق خارجی» متوسط، «نسبت بالای پنجره به دیوار» و «ضریب عبور نور» بیشتر موجب بهبود روشنایی مفید روز و کنترل مطلوب خیرگی می‌شود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از تمامی کسانی که در تهیه این مقاله یاری کرده اند؛ تشکر و قدردانی می‌کنند. همچنین، از تمامی جویندگان علم و خوانندگان این مقاله قدردانی به عمل می‌آید.

اعلام عدم تعارض منافع

نویسنده اعلام می‌کند در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافعی برای وی وجود نداشته است.

پی‌نوشت‌ها

۱. Anidolic System

۲. Ladybug Tools

۳. Specularity

۴. Roughness

۵. Reflectance

۶. Wallacei X

۷. محدوده ای از شدت روشنایی (بر حسب لوکس) را مشخص می کند که برای کاربران فضا مفید و قابل تحمل است (Useful Daylight Illuminance یا به اختصار UDI).

۸. اتونومی فضایی نور روز معیار عملکردی برای ارزیابی میزان دسترسی به نور طبیعی در یک فضای داخلی است و نشان می دهد که چه درصدی از سطح مفروض در طول سال، حداقل مقدار مشخصی از نور روز را برای مدت زمانی مشخص دریافت می کند (Spatial Daylight Autonomy (sDA)).

فهرست منابع

• زمانی، مهدی؛ سلمانی، ناصر و بایایی، فاطمه. (۱۳۹۲). تعیین بهترین اولویت‌های جهت‌گیری بناهای ساختمانی در شهر زنجان براساس شرایط اقلیمی. *دومین همایش ملی اقلیم، ساختمان و بهینه‌سازی مصرف انرژی*، اصفهان. https://civilica.com/doc/215761/

• Amid, H. (1996). *Amid Dictionary*. Amir Kabir.

• Çelik, T., & Inan, N. (2023). Daylight in library design and natural light distribution: ostim technical university library. *Star Sanat ve Tasarim Araştirmalari Dergisi, 4*(6), 70-89. https://dergipark.org.tr/en/pub/stardergisi/article/1233919

• Djannaty, F., & Doostdar, S. (2008). A hybrid genetic algorithm for the multidimensional knapsack problem. *International Journal of Contemporary Mathematical Sciences, 3*(9), 443–456. https://www.researchgate.net/publication/228939007_A_Hybrid_Genetic_Algorithm_for_the_Multidimensional_Knapsack_Problem

• Edwards, L., & Torcellini, P. (2002). *A literature review of the effects of natural light on building occupants.* National Renewable Energy Laboratory. https://doi.org/10.2172/15000841

• Fernandes, L. L., Lee, E. S., & Ward, G. (2013). Lighting energy savings potential of split-pane electrochromic windows controlled for daylighting with visual comfort. *Energy and Buildings, 61,* 8–20. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.057

• Freidooni, F., Freidooni, S., & Gandomkar, A. (2022). Climatic compatible future cities locating approach to less non-renewable energy consumption. *Int. J. Urban Manage Energy Sustainability, 3*(3), 71-83. https://doi.org/10.22034/jumes.2022.1982956.1101

• Freidooni, F., Gandomkar, A., Freidooni, S. (2023). Assessing residences' climatic compatible comfort approach. *Sustainable Earth Review, 3*(3), 45-64. https://doi.org/10.48308/SER.2023.234143.1032

• Gherri, B. (2015). *Assessment of daylight performance in buildings: Methods and design strategies.* WIT Press.

• Li, D. H. (2010). A review of daylight illuminance determinations and energy implications. *Applied Energy, 87*(7), 2109–2118. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.03.004

• Liu, Q., Xiao, H., Yuheng, Y., & Juan, R. (2023). A parametric design method for the lighting environment of a library building based on building performance evaluation. *Energies, 16*(2), 832. https://doi.org/10.3390/ en16020832.

• Luther, M. B. (2004). Integrated design process incorporating lighting. *Environment Design Guide,* 1-9. https://www.researchgate.net/publication/305059450_Integrated_design_process_incorporating_lighting

• Moraga, R. J., DePuy, G. W., & Whitehouse, G. E. (2006). Metaheuristics: A solution methodology for optimization problems. In A. B. Badiru (Ed.), *Handbook of industrial and systems engineering.* CRC Press.

• Nasrollahi, N., & Shokry, E. (2020). Parametric analysis of architectural elements on daylight, visual comfort, and electrical energy performance in the study spaces. *Journal of Daylighting, 7,* 57–72. http://dx.doi.org/10.15627/jd.2020.5

• Neufert, E., & Neufert, P. (2012). *Neufert architects' data* (4th ed.). Wiley. https://books.google.com/books/about/Architects_Data.html?id=6N68sMtqXSUC

• Reinhart, C. F., & Wienold, J. (2011). The daylighting dashboard–A simulation-based design analysis for daylit spaces. *Building and Environment, 46*(2), 386–396. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.08.001

• Sadri, F., Mofidi Shemirani, S. M., & Pournaseri, S. (2024). Explaining the buildings' façade based on meta-heuristic method optimization in the use of daylight, the-state-of-the-art. *Int. J. Urban Manage Energy Sustainability, 5*(4), 1-21. https://doi.org/110.22034/IJUMES.2024.711844.

• Sadri, F., Mofidi Shemirani, S. M., & Pournaseri, S. (2025). Optimizing library facade design in Zanjan climate through daylight simulation and metaheuristic approaches. *Sustainable Earth Trends, 5*(2), 64-84. https://doi.org/10.48308/set.2024.237269.1075

• Talbi, E.-G. (2008). *Metaheuristics: From design to implementation.* John Wiley & Sons. https://books.google.com/books?id=SIsa6zi5XV8C&source=gbs_book_other_versions

• Xue, Y., & Liu, W. (2022). A study on parametric design method for optimization of daylight in commercial building's atrium in cold regions. *Sustainability, 14*(13), 7667, https://doi.org/10.3390/su14137667

• Yi, Y. K. (2019). Building facade multi-objective optimization for daylight and aesthetical perception. *Building and Environment, 156,* 178–190. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.002

COPYRIGHTS
Copyright for this article is retained by the authors with publication rights granted to Manzar journal. This is an open access article disributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نحوهٔ ارجاع به این مقاله

صدری، فرشته؛ مفیدی شمیرانی، سید مجید و پورناصری، شهناز. (۱۴۰۵). طراحی بهینه و کارآمد نور محور شاکلهٔ نمای ساختمان کتابخانه به کمک شبیه‌سازی (مطالعه موردی: شهر زنجان). *منظر*، ۱۸(۷۵)، ۶۶-۷۵.

DOI: 10.22034/manzar.2026.537861.2369
URL: https://www.manzar-sj.com/article_242499.html?lang=fa