

دستیابی به آسایش بصری بهینه در ساختمان‌های اداری با استفاده از مدل‌سازی نور روز مبتنی بر اقلیم (نمونه موردی: شهر اصفهان)

علی کنگازیان^۱

کارشناسی ارشد رشته معماری و انرژی، دانشکده‌ی هنر و معماری، دانشگاه یزد

alikangazian@gmail.com

سید محمدمهدی میرممتاز

دانشجوی دکتری رشته‌ی معماری، دانشکده‌ی معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان

sm.mirmomtaz@gmail.com

چکیده

میزان سطح نور در فضاهای داخلی ساختمان‌های اداری از جمله تأثیرگذارترین عوامل بر بهره‌وری، رضایت شغلی و وضعیت سلامتی کارمندان ادارات است. دستیابی به سطوح بصری بهینه در ساختمان‌های اداری، به ویژه در عمق فضاهای داخلی این گروه ساختمانی، با کاهش تأثیرات نامطلوب مختلف ناشی از بکارگیری روش‌های مصنوعی، به‌زیستی کارمندان را متضمن شده و می‌تواند به‌صورتی مؤثر بر وجوه مختلفی از ساختمان تأثیر گذارد. از جمله رایج‌ترین ابزارهای ارزان و کارا به‌منظور حداکثرسازی حصول‌پذیری نور روز در فضاهای داخلی ساختمان‌های اداری، شیشه‌ها و سیستم‌های سایه‌انداز هستند. از سوی دیگر جهت‌گیری ساختمان به‌عنوانی عاملی بنیادین به‌منظور دریافت مستقیم نور روز تأثیرگذار بوده و می‌بایست تأثیر این عامل مد نظر قرار گیرد. پژوهش حاضر با به‌خدمت‌گیری مدل‌سازی نور روز مبتنی بر اقلیم در پی آن است تا با بررسی شیشه‌ها و سیستم‌های مختلف سایه‌اندازی، تسهیل در امر حداکثرسازی دستیابی نور روز در فضاهای داخلی ساختمان‌های اداری، در چهار جهت‌گیری اصلی را بررسی نماید. بدین‌منظور شهر اصفهان با اقلیمی که امکان استفاده و بهره‌مندی حداکثری از نور مستقیم روز را دارد، انتخاب شده‌است. نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده‌ی اهمیت استفاده از لوور بازتابی (با پیکربندی‌های مختلف مطابق با جهت‌گیری مورد بررسی) است. با این‌حال، یافته‌ها تفاوت چندانی میان استفاده از شیشه‌ی دو جداره‌ی شفاف و سه‌جداره‌ی شفاف به‌منظور حداکثرسازی حصول‌پذیری نور روز در فضاهای داخلی ساختمان‌های اداری را بازگو نمی‌کنند.

واژگان کلیدی: سیستم سایه‌انداز، ساختمان اداری، نور روز، آسایش بصری، اصفهان

1- مقدمه

نور روز، نقشی مهم در طراحی‌های معمارانه بازی می‌کند. برای نمونه معماران اغلب به‌لحاظ زیبایی‌شناختی از نور و سایه‌ی ایجادشده به‌واسطه‌ی آن بهره‌گرفته و برای فضا فرم یا محیطی خاص می‌آفرینند (D. A. Chi, Moreno, & Navarro, 2018; Yu, Wennersten, & Leng, 2020). نور روز همچنین می‌تواند، نیازهای روشنایی داخلی را تأمین کرده و مصرف انرژی ناشی از نورپردازی مصنوعی را کاهش دهد. بدین‌ترتیب نقش معمار در تعیین چگونگی یکپارچه‌سازی نور روز با فضا بسیار پررنگ می‌نماید (عرب انواری و فیاض، 1396). (Fathy, Mansour, Sabry, Refat, & Wagdy, 2020; Yu et al., 2020). بهره‌گیری از نور روز در فضاهای داخلی به معنای استفاده‌ی کنترل‌شده از نور طبیعی در داخل ساختمان به‌جهت دستیابی به آسایش بصری، حرارتی و روانی است. بهره‌گیری از نور روز، عنصری مهم در زندگی انسان و از راهبردهای مهم در معماری مدرن بوده و پژوهشگران و نهادهای تحقیقاتی بسیاری اهداف این امر را افزایش عملکرد کاربران، افزایش تعاملات اجتماعی، کاهش مصرف انرژی ساختمان و افزایش آسایش حرارتی و بصری بیان کرده‌اند (اخلاصی و همکاران، 1398). (Ayoub, 2019; Wong, 2017). علاوه‌براین بهره‌گیری مؤثر از نور طبیعی روز در ساختمان‌ها، به‌وسیله‌ی فراهم‌سازی و کنترل آن در راستای دستیابی به سطح کفایت‌دهنده‌ای از نور روز، نه تنها باعث بهره‌وری در مصرف انرژی شده بلکه در بهبود شرایط بهره‌وری و آسایش بصری ساکنین نیز مفید است (Ahmad & Reffat, 2018; F. a. Chi, Wang, Wang, Li, & Peng, 2020). بدین‌ترتیب هویدا می‌گردد بهره‌گیری از نور روز به عنوان عنصری اساسی در پایداری ساختمان تلقی شده و همزمان از منظر زیست‌محیطی و اجتماعی در شرایط پایداری

کلی ساختمان سهیم بوده و این دلیلی است بر آن‌که اکثر سیستم‌های رتبه‌بندی ساختمان از جمله گواهی‌نامه‌ی LEED و استاندارد ساختمانی WELL، برای ساختمان‌هایی که دسترسی خوبی به نور روز دارند امتیاز بیش‌تری تخصیص می‌دهند (Turan, Chegut, Fink, & Reinhart, 2020). با وجود مزایای متعدد استفاده از نور روز در فضاهای داخلی نورپردازی مصنوعی، بخش عظیمی از مصارف الکتریسته در ساختمان‌ها را به‌خود اختصاص داده که با توجه به حضور غالب انسان در فضاهای داخلی این آمار در سال‌های آتی روندی رو به رشد خواهد داشت. بدین‌ترتیب عدم توجه به مزایای پیدا و نهان استفاده از نور روز، به‌ویژه در ساختمان‌های اداری، می‌تواند منجر به معضلات فراوانی از جمله، افزایش مصرف انرژی و افزایش نرخ انتشار کربن شود (Le-Thanh, Le-Duc, Ngo-Minh, Nguyen, & Nguyen-Xuan, 2021; Pellegrino, Cammarano, Lo Verso, & Corrado, 2017; Samadi, Noorzai, Beltrán, & Abbasi, 2020; Wong, 2017). (وزارت نیرو، 1396). از جمله روش‌های کارآمد به‌منظور مقابله با چنین معضلاتی، بهره‌جویی مؤثر از نور روز در فضاهای داخلی است. استفاده از چنین روشی، به‌ویژه در اقلیم‌هایی نظیر اقلیم گرم و خشک که از میزان تابش سالیانه‌ی آفتاب فراوانی بهره‌مند هستند اهمیت بیش‌تری دارد.

2- روش‌شناسی

رویه‌ی کلی پژوهش در برخورد با مسئله‌ی مورد بررسی، متشکل از سه بخش است؛ الف) ایجاد مدلی پارامتریک؛ بدین منظور از افزونه‌ی گرس‌هاپر^۲ از نرم‌افزار راینو تری‌دی^۳ استفاده شده‌است. گرس‌هاپر پرکاربردترین و مهم‌ترین نرم‌افزار در حوزه‌ی مدل‌سازی پارامتریک بوده که به‌عنوان یک ویرایشگر الگوریتمی گرافیکی قادر به کنترل همزمان چندین پارامتر بوده که تحت تعریف خاصی به

² Grasshopper

³ Rhinoceros 3D

فرمولی واحد که توسط کاربر تعریف شده متصل شده‌اند؛ (ب) انتقال اطلاعات مدل پارامتریک به فضای مدل‌سازی نور روز مبتنی بر اقلیم^۴ و آماده‌سازی پروسه‌ی شبیه‌سازی به‌وسیله اضافه‌کردن مشخصات هندسی و ساختاری سایه‌اندازها و شیشه‌های مورد بررسی به‌همراه برنامه‌ی زمانی و جزئیات ساختاری مدل مرجع توسط افزونه‌ی لیدی باگ^۵. این افزونه امکان مطالعات دقیق محیطی در رابطه با ساختمان را از طریق فراهم‌سازی تمامی داده‌ی آب‌وهوایی منطقه‌ی جغرافیایی مورد نظر، نوع آسمان، نور روز، تابش خورشید، سرعت باد، رطوبت و مصرف انرژی گرمایش و سرمایش فراهم می‌سازد. چنین اطلاعاتی را می‌توان به‌صورت پارامتریک به داده‌های پروژه متصل کرده تا تأثیر آب‌وهوا و موقعیت بر پروژه‌ی مورد بررسی درک شود. این ابزار به‌وسیله فراهم‌سازی یک محیط گرافیکی ساده به کاربران این اجازه را می‌دهد تا از موتورهای نرم‌افزارهای معتبر و شناخته‌شده‌ی انرژی و نور روز نظیر انرژی پلاس^۶، ریدینس^۷ و دی‌سیم^۸ استفاده کرده و بر این اساس طراح کل مدل را به‌وسیله‌ی فرمول ایجاد شده در گرس‌هاپر به‌راحتی دچار تغییرات نموده تا با شرایط آب‌وهوایی اقلیم انتخاب‌شده سازگار شده و بدین طریق فرآیند طراحی و تحلیل آن، به فرآیندی ساده‌تر تبدیل شود؛ (ج) شبیه‌سازی سالیانه‌ی نور روز. شبیه‌سازی‌های حاصل از مدل‌سازی روشنایی مبتنی بر اقلیم معمولاً همراه با نتایج زیادی است که لازم است بدون کاسته‌شدن از مقادیر حقیقی‌شان تبدیل به شاخص‌هایی محسوس شوند. بدین منظور شاخص‌های بسیاری برای ارزیابی عملکرد نور روز در محیط داخلی، با در نظرگیری معیارهای مختلف مکانی و زمانی ایجاد شده‌اند. از جمله پرکاربردترین این شاخص‌ها، شاخص روشنایی مفید نور روز (UDI) است که توسط «نیبل» و

ماردالیویچ در سال 2006، به‌جهت تعیین سودمندی شرایط روشنایی حاصل از نور روز به‌گونه‌ای که نه فضا فاقد نور کافی باشد و نه بیش‌از حد آکنده از آن، معرفی شد. UDI نخستین شاخصی است که ایده‌ی آستانه‌های حدی را معرفی کرده است. روشنایی مفید نور روز درصداً از ساعات اشغال فضا در طول سال است که روشنایی مفید (در میان دو حد بالا و پایین)، ناکافی (کم‌تر از حد پایین) یا بیش‌از حد (بیش‌تر از حد بالا) است (Ayoub, 2019). آستانه‌ی حدی روشنایی مفید در ابتدا توسط نیبل و ماردالیویچ 100 تا 2000 لوکس تعیین شده بود اما بعد از آن توسط ماردالیویچ و همکاران دچار تغییراتی شد؛ برای نمونه این مقدار در سال 2011 توسط ماردالیویچ و همکاران به 100 تا 3000 لوکس افزایش یافت (Yu et al., 2020) یا بار دیگر در سال 2012 با تعریف دو زیرشاخه از این شاخص خودسامانی روشنایی مفید نور روز (UDI-a) و ازدیاد روشنایی مفید نور روز (UDI-e) این مقدار به 300 تا 3000 لوکس تغییر نمود. خودسامانی روشنایی مفید نور روز (UDI-a) به‌معنای روشنایی نور روز، در محدوده‌ی بین 300 تا 3000 لوکس بوده که به‌طور معمول برای کاربر دل‌پذیر یا دست‌کم قابل تحمل است و ازدیاد روشنایی مفید نور روز (UDI-e) به‌معنای آن است که روشنایی حاصل از نور روز در محدوده‌ای بالاتر از 3000 لوکس بوده که به احتمال زیاد موجب ایجاد عدم آسایش حرارتی یا بصری یا هر دو در کاربر می‌گردد (D. A. Chi et al., 2018).

2-1 مدل مرجع

فرض بر آن است که اتاق اداری مرجع، در شهر اصفهان در یکی از طبقات میانی ساختمانی چندطبقه واقع شده و پیرامون

⁷ Radiance

⁸ DAYSIM

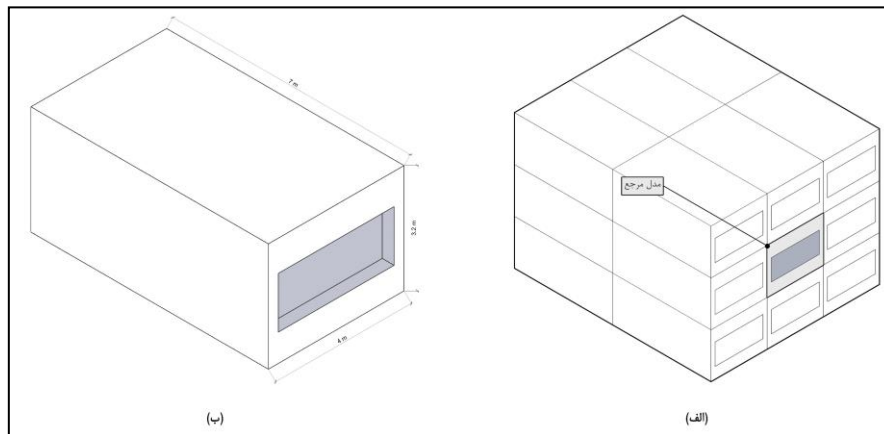
⁴ CBDM

⁵ Ladybug

⁶ EnergyPlus

آن عاری از هر گونه موانع طبیعی یا انسان ساخت است. مقادیر عددی مربوط به عرض، عمق و ارتفاع مدل مورد استفاده در این پژوهش به ترتیب برابر با 4 متر، 7 متر و 3.2 متر تعیین شده است. با توجه به آن که پژوهش های پیشین نسبت مساحت پنجره به دیوار 35 تا 45 درصد را برای چنین کاربری

ساختمانی پیشنهاد کرده اند (Valladares-Rendón, Schmid, & Lo, 2017; Yu et al., 2020)، در پژوهش حاضر نسبت مساحت پنجره به دیوار به صورت ثابت برابر با 40 درصد در نظر گرفته شده است. هم چنین فاصله ی کف پنجره از کف اتاق مرجع برابر با 0.8 متر تعیین شده است.



نگاره 1 الف: موقعیت مدل مرجع در ساختمان، ب: ابعاد مدل مرجع [نگارندگان]

2-1-1 مصالح

با توجه به آن که پژوهش حاضر تنها بر بررسی خیرگی تمرکز دارد، توجه به نوع مصالح به لحاظ ویژگی های حرارتی فاقد اهمیت است اما از نظر بررسی های مربوط به نور اما تمامی جداره ها، سقف و کف نیازمند بررسی بوده و لازم است درصد انعکاس این سطوح مختلف را مشخص نمود. مراجع و استانداردهای مختلفی برای سطوح مذکور، درصد انعکاس مختلفی را ذکر کرده اند؛ بهر روی در این پژوهش ارقام پیشنهادی استاندارد IES-LM-83-12 جامعه ی مهندسين روشنایی وام گرفته شده است.

2-1-2 برنامه زمانی، بارها و نحوه استفاده از فضا

مطابق پیشنهاد استاندارد IES-LM-83-12، محاسبات مربوط به شبیه سازی روشنایی و انرژی با فرض آن صورت می پذیرد که برنامه ی زمانی اشغال فضا در یک دوره ی یک ساله، از

روز شنبه تا چهارشنبه، در طول ساعات 8 صبح الی 6 بعدازظهر در نظر گرفته شود. هم چنین بر اساس روش کار پیشنهادی پژوهش های مشابه، تراکم فضایی برابر با 0.1 فرد در هر مترمربع در نظر گرفته شده است.

2-1-3 داده های اقلیمی

با توجه به آن که این پژوهش از روش مدل سازی مبتنی بر داده های اقلیمی استفاده می کند، استفاده از چنین داده ای امری الزامی است. در این پژوهش از داده های اقلیمی پایگاه هوایی بدر اصفهان، از نوع «نمونه سال هواشناختی ایران»⁹ یا به اختصار ITMY، که توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ایران توسعه یافته، استفاده شده است. خلاصه ای از چارچوب شبیه سازی و مشخصات کلی مدل مرجع پایه مورد بررسی در این پژوهش در جدول 1 آورده شده است.

⁹ Iran Typical Meteorological Year (ITMY)

جدول 1 - چارچوب شبیه‌سازی و مشخصات کلی مدل مرجع [نگارندگان]

جهت‌گیری		چهار جهت‌گیری اصلی (جنوبی، غربی، شمالی، شرقی)
ابعاد	عرض	4 متر
	عمق	7 متر
	ارتفاع	3.2 متر
داده‌های اقلیمی		IRN_ES_Badr.Esfahan.AFB.408000_ITMY
بازتابندگی سطوح	کف	0.20
	سقف	0.70
	دیوار داخلی	0.50
نسبت پنجره به دیوار		0.40
فاصله کف پنجره از کف اتاق		0.8 متر
طبقه		میانی
برنامه‌ی زمانی اشغال فضا		دوره‌ی یک ساله / شنبه تا چهارشنبه / ساعت 8 صبح الی 6 بعدازظهر
چگالی کاربران		0.1 نفر در هر مترمربع
دوره‌ی بررسی		دوره‌ی یک ساله
ابعاد شبکه‌بندی		0.5 متر در 0.5 متر

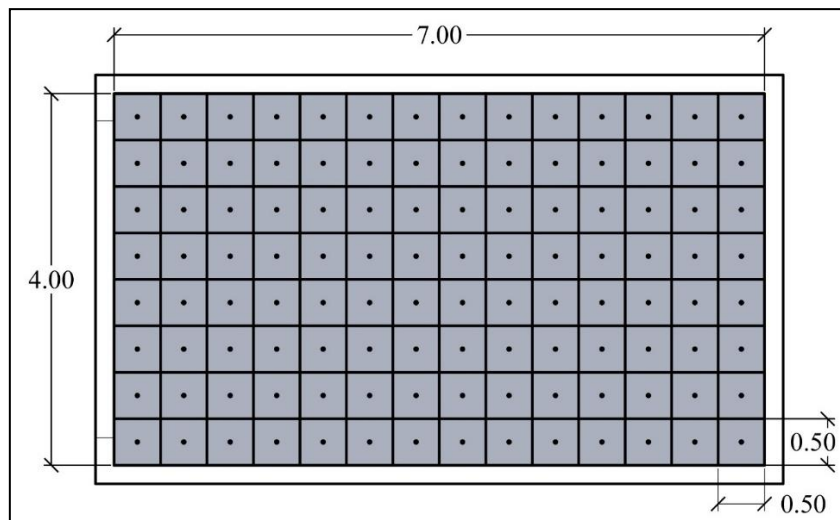
2-2- تنظیمات شبیه‌سازی

شبیه‌سازی روشنایی مفید نور روز (UDI) در یک بازه‌ی زمانی یک‌ساله از ساعت 8 صبح الی 6 بعدازظهر و مجموعاً 3650 ساعت تعریف شده‌است. آستانه‌های حدی در نظر گرفته شده برای UDI در این پژوهش وام‌گرفته شده از پژوهش ماردالیویچ (Mardaljevic, 2015؛ میری و کمپانی سعید، 1393). است که چهار آستانه‌ی حدی برای UDI شامل عدم‌دستیابی به روشنایی مفید نور روز یا $UDI < 100$ lux، روشنایی مفید نور روز تکمیلی یا $100 \text{ lux} < UDI < 300 \text{ lux}$ ، روشنایی مفید نور روز خودسامان یا $300 \text{ lux} < UDI < 3000 \text{ lux}$ و روشنایی مفید نور روز مزید یا $UDI < 3000 \text{ lux}$ را در نظر می‌گیرد. با توجه به محدودیت‌های افزونه‌ی Honeybee که تنها امکان تعریف سه آستانه‌ی حدی UDI را فراهم می‌سازد و نیز با توجه به تعریف مسئله در این پژوهش که تنها به بررسی نتایج حاصل از دسته‌ی «روشنایی مفید نور روز خودسامان» می‌پردازد، می‌توان طبقه‌بندی‌های

«عدم دستیابی به روشنایی مفید نور روز» و «روشنایی مفید نور روز تکمیلی» را ادغام نمود. ضروری است شبیه‌سازی نور روز بر صفحه‌ای شبکه‌بندی شده اجرا شود. مطابق با روش کار ارائه شده در استاندارد IES-LM-83-12، ابعاد شبکه‌بندی مربعی می‌تواند در بازه‌ی 30.48 سانتی‌متر الی 60.96 سانتی‌متری و در ارتفاع سطح کار (76.2 سانتی‌متر) قرار داشته باشد (Illuminating Engineering, 2014). بدین ترتیب ابعاد شبکه‌بندی مربعی در نظر گرفته شده برای این پژوهش 50 سانتی‌متر و ارتفاع سطح کار 80 سانتی‌متر تعیین شده‌است.

جدول 2 آستانه‌های حدی در نظر گرفته شده برای UDI در پژوهش حاضر [نگارندگان]

$UDI < 300 \text{ lux}$	تجمع روشنایی مفید نور روز تکمیلی با عدم دسترسی به آن (UDI-n)
$300 \text{ lux} < UDI < 3000 \text{ lux}$	روشنایی مفید نور روز خودسامان (UDI-a)
$3000 \text{ lux} < UDI$	روشنایی مفید نور روز مزید (UDI-e)



نگاره 2 شبکه‌بندی شبیه‌سازی نور روز [نگارندگان]

شیشه‌های دوجداره و سه‌جداره برای پروسه‌ی شبیه‌سازی انتخاب شده‌اند.

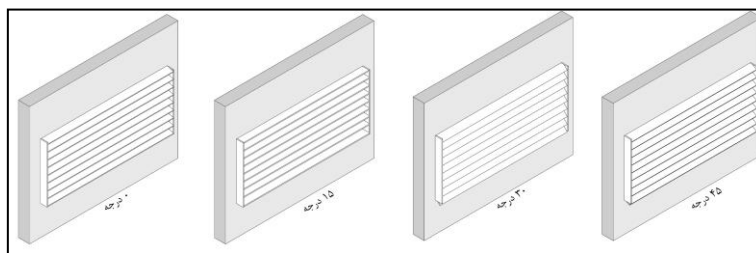
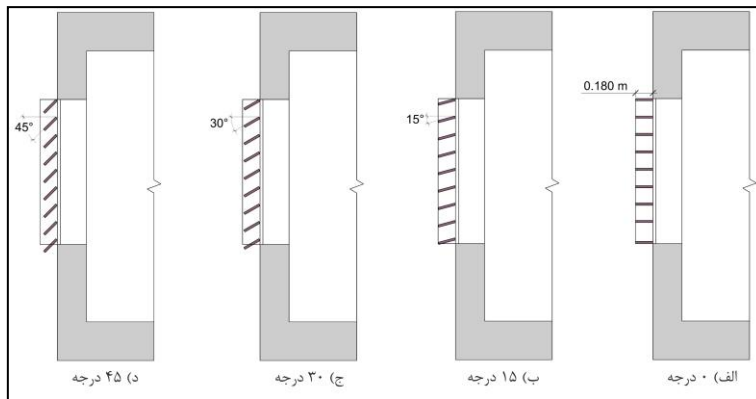
2-3-1 سیستم‌های سایه‌انداز

انتخاب مشخصه‌های هندسی سایه‌اندازهای کرکره‌ای با بررسی کاتالوگ‌های فنی-معمارانه‌ی شرکت‌های تولیدکننده‌ی لوور از جمله واریما، لوور تک و هانترداگلاس انتخاب شده است. بررسی لوورها به لحاظ زاویه‌ی قرارگیری در حالت ثابت در بازه‌ی 0 تا 45 درجه با گام‌های 15 درجه‌ای صورت پذیرفته است. مشخصه‌های هندسی و ساختاری تمامی سایه‌اندازهای مورد بررسی به جز میزان بازتابش مرئی متفاوت سایه‌انداز غیربازتابی و سایه‌انداز بازتابی یک‌سان در نظر گرفته شده است.

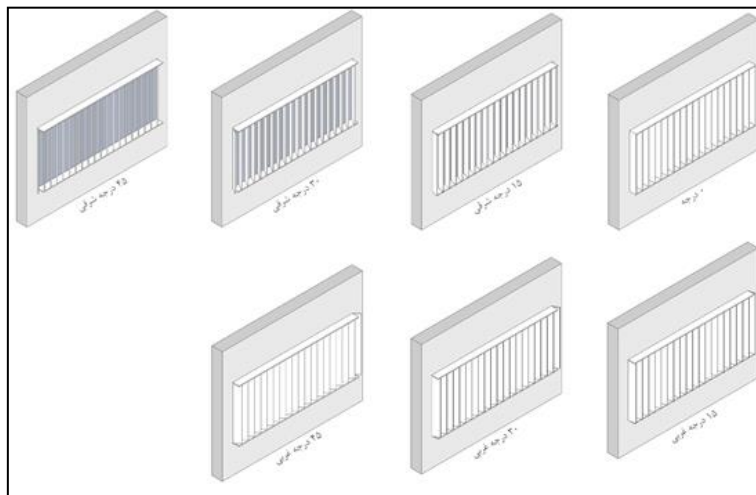
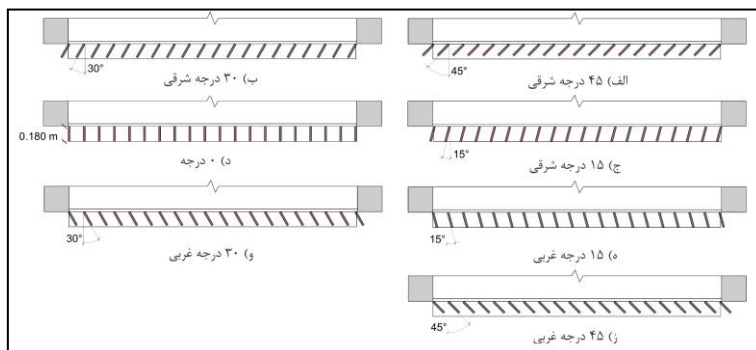
2-3-2 گزینه‌های مورد بررسی طراحی

در این پژوهش دو مؤلفه به‌عنوان متغیرهای اصلی طراحی یا به‌عبارت دیگر گزینه‌های مورد بررسی طراحی در نظر گرفته شده‌اند؛ سیستم‌های سایه‌انداز و شیشه. شایان ذکر است به‌دلیل آن‌که نتایج حاصل از ترکیب سیستم‌های مختلف سایه‌انداز و شیشه در هر جهت‌گیری تنها با خود قابل قیاس است، متغیر جهت‌گیری به‌عنوان یک متغیر فرعی طراحی به‌شمار رفته است.

از جمله معیارهای اصلی در تعیین گزینه‌های طراحی مورد بررسی شامل انواع سیستم‌های سایه‌انداز و شیشه، لزوم امکان ساخت یا دسترسی آسان و هزینه‌ی مناسب بوده است. بدین ترتیب علاوه بر حالت پایه (بدون سایه‌انداز)، دو سایه‌انداز کرکره‌ای افقی و عمودی بازتابی و غیربازتابی و



نگاره 3 برش از مقطع و ترسیم ایزومتریک سایه‌انداز کره‌ای افقی [نگارندگان]



نگاره 4 برش از مقطع و ترسیم ایزومتریک سایه‌انداز کره‌ای عمودی [نگارندگان]

جدول 3 مشخصات شیشه‌های مورد بررسی [نگارنده]

3.006	U-Factor (W/m ² ·K)	شیشه‌ی دو جداره‌ی شکاف هوا - (DCL)
0.691	SHGC	
0.702	T _{vis}	
2.181	U-Factor (W/m ² ·K)	شیشه‌ی سه جداره‌ی شکاف هوا - (TCL)
0.614	SHGC	
0.635	T _{vis}	

2-3-2 شیشه‌ها

چنانچه پیش‌تر گفته شد، نسبت پنجره به دیوار از عوامل اساسی در میزان دریافت نور فضاهای داخلی است. بدین ترتیب مطابق با فرضیات مسئله و به‌عنوان عاملی اساسی و تأثیرگذار در محاسبات مذکور، مساحت پنجره 40٪ مساحت دیوار دارای پنجره یا به عبارتی برابر با 5.12 متر مربع در نظر گرفته شده است. مشخصات ساختاری شیشه‌های مورد بحث در پژوهش پیش‌رو، در جدول 3 آمده است.

3- یافته‌ها و گفتمان

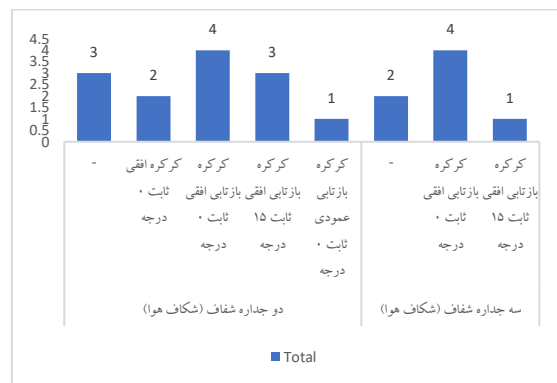
در این پژوهش، 34 گزینه‌ی طراحی منحصر به فرد، در چهار جهت‌گیری مختلف، از نظر میزان دریافت روشنایی مفید نور روز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پنج گزینه‌ی برتر طراحی در هر جهت‌گیری در جدول 4 آورده شده است.

جدول 4 گزینه‌های برتر در جهت‌گیری‌های مورد بررسی [نگارندگان]

سایه‌انداز	شیشه	ج.	(UDI-n)	(UDI-a)	(UDI-e)	ر.ج.	ر.ت.ج.
کرکره بازتابی افقی ثابت 0 درجه	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	جنوبی	۹۵۰۴۹۱۱	۷۸۸۹۳۳۰۴	۱۱۶۰۱۷۸۶	۱	۱
کرکره بازتابی افقی ثابت 0 درجه	سه جداره شفاف (شکاف هوا)	جنوبی	۱۳۴۰۹۰۱۸	۷۷۵۹۸۹۲۹	۸۹۹۱۹۶۴	۲	۲
کرکره بازتابی افقی ثابت 15 درجه	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	جنوبی	۱۶۸۷۵۸۹۳	۷۷۴۵۲۱۴۳	۵۶۷۱۸۷۵	۳	۳
کرکره افقی ثابت 0 درجه	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	جنوبی	۱۸۸۸۴۵۵۴	۷۷۴۵۰۷۱۴	۳۶۶۴۷۳۲	۴	۴
کرکره بازتابی افقی ثابت 15 درجه	سه جداره شفاف (شکاف هوا)	جنوبی	۲۱۲۱۹۷۳۲	۷۴۸۲۰۸۹۳	۳۹۵۹۲۸۶	۵	۷
کرکره بازتابی افقی ثابت 0 درجه	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	غربی	۱۸۴۰۵۸۹۳	۷۶۱۹۰۸۹۳	۵۴۰۳۰۳۶	۱	۵
-	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	غربی	۹۷۱۶۶۹۶	۷۲۸۷۷۱۴۳	۱۷۴۰۶۲۵	۲	۱۳
کرکره بازتابی افقی ثابت 0 درجه	سه جداره شفاف (شکاف هوا)	غربی	۲۳۴۷۷۴۱۱	۷۲۴۶۴۳۷۵	۴۰۵۸۱۲۵	۳	۱۴
-	سه جداره شفاف (شکاف هوا)	غربی	۱۳۱۱۳۵۷۱	۷۱۴۰۶۶۰۷	۱۵۴۷۹۸۲۱	۴	۱۷
کرکره بازتابی افقی ثابت 15 درجه	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	غربی	۲۶۰۵۶۱۶۱	۷۱۴۰۵۷۱۴	۲۵۳۷۵۸۹	۵	۱۸
-	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	شمالی	۱۶۴۰۵۸۹۳	۷۱۹۹۶۹۶۴	۱۱۵۹۷۱۴۳	۱	۱۵
کرکره بازتابی افقی ثابت 0 درجه	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	شمالی	۳۰۷۵۱۴۲۹	۶۹۲۴۰۹۸۲	۰۰۰۷۵۸۹	۲	۳۱
-	سه جداره شفاف (شکاف هوا)	شمالی	۲۲۳۸۶۶۹۶	۶۸۰۹۰۹۸۲	۹۵۲۲۳۲۱	۳	۳۳
کرکره بازتابی افقی ثابت 0 درجه	سه جداره شفاف (شکاف هوا)	شمالی	۳۶۵۰۵۱۷۹	۶۳۴۹۴۸۲۱	۰	۴	۴۸
کرکره بازتابی عمودی ثابت 0 درجه	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	شمالی	۳۵۰۷۵۸۰۴	۶۲۲۸۹۹۱۱	۲۶۳۴۲۸۶	۵	۵۲
کرکره بازتابی افقی ثابت 0 درجه	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	شرقی	۱۴۷۹۵۷۱۴	۷۵۸۵۸۷۵	۹۳۴۵۱۷۹	۱	۶
کرکره بازتابی افقی ثابت 15 درجه	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	شرقی	۲۱۰۸۰۸۹۳	۷۳۶۳۹۰۱۸	۵۲۷۹۷۳۲	۲	۹
کرکره بازتابی افقی ثابت 0 درجه	سه جداره شفاف (شکاف هوا)	شرقی	۱۸۶۳۵۱۷۹	۷۳۶۱۲۷۶۸	۷۷۵۲۰۵۴	۳	۱۰
کرکره افقی ثابت 0 درجه	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	شرقی	۲۲۴۱۳۱۲۵	۷۳۵۷۳۳۹۳	۴۰۱۴۱۰۷	۴	۱۱
-	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	شرقی	۷۹۹۰۷۱۴	۷۱۱۰۳۹۲۹	۲۰۹۰۴۹۱۱	۵	۱۹
ج: جهت‌گیری؛ ر.ج: رتبه در جهت‌گیری؛ ر.ت.ج: رتبه در میان تمامی جهت‌گیری‌ها							

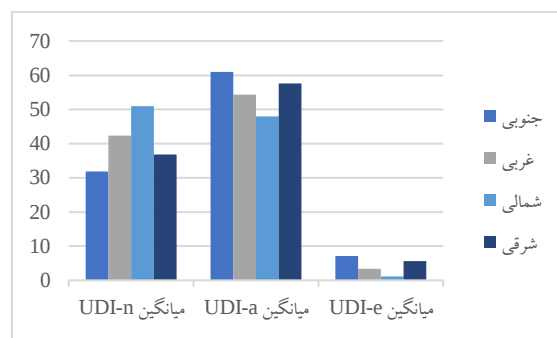
چنانچه از مذاقه در جدول 4 بر می‌آید، کرکره بازتابی افقی ثابت صفر درجه با 8 بار تکرار، عدم استفاده از سایه‌انداز با 5 بار تکرار، کرکره بازتابی افقی ثابت 15 درجه با 4 بار تکرار، کرکره افقی ثابت صفر درجه با 2 بار تکرار و نهایتاً کرکره بازتابی عمودی ثابت

0 درجه با 1 بار تکرار بیشترین استفاده را در جهت‌گیری‌های مختلف داشته‌اند. از سوی دیگر در میان گزینه‌های برتر جهت‌گیری‌های مختلف، شیشه‌های دو جداره و سه‌جداره به ترتیب 13 بار و 7 بار تکرار شده‌اند.



نگاره 5 پرتکرارترین ترکیب‌ها در جهت‌گیری‌های مختلف [نگارندگان]

از سوی دیگر چنانچه در جدول 4 مشاهده می‌شود، مدل پایه که ترکیبی از شیشه‌ی دو جداره و عدم وجود سایه‌انداز است، به جز در جهت‌گیری جنوبی، در سایر جهت‌گیری‌ها یکی از گزینه‌های برتر است.



نگاره 6 میانگین آستانه‌های حدی شبیه‌سازی روشنایی مفید نور روز در جهت‌گیری‌های مختلف [نگارندگان]

نگاره 6 میانگین به‌دست آمده از آستانه‌های حدی شاخص UDI برای گزینه‌های مختلف طراحی در جهت‌گیری‌ها مورد بررسی را به تصویر کشیده‌است. مطابق این نگاره استفاده از ترکیب‌های مختلف از سیستم‌های سایه‌انداز و شیشه در جهت‌گیری‌های جنوبی و شرقی، بیش‌ترین میزان از روشنایی مفید نور روز خودسامان در طول سال را به همراه دارد. از سوی دیگر، با استناد به UDI-e معین می‌گردد دو جهت‌گیری مذکور با احتمال بروز خیرگی بیش‌تر و جهت‌گیری شمالی با کم‌ترین احتمال بروز خیرگی نسبت به جهت‌گیری‌های دیگر در بازه‌ای یک‌ساله مواجه‌اند.

4- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به کاوش پیرامون نحوه‌ی دستیابی به سطوح بصری بهینه در ساختمان‌های اداری در اقلیم گرم‌وخشک و به‌طور خاص شهر اصفهان پرداخته‌است. بدین منظور ترکیب‌های مختلفی از ترکیب سایه‌اندازهای کرکره‌ای با پیکربندی‌های متفاوت و یک‌حالت عدم استفاده از سایه‌انداز با 2 گونه شیشه‌ی مختلف شامل شیشه‌ی دو جداره و سه‌جداره‌ی شفاف در جهت‌گیری‌های جنوبی، غربی،

شمالی و شرقی مورد پژوهش قرار گرفته و در هر جهت گیری 34 سیستم کنترل کننده ی نور روز منحصر به فرد مورد بررسی قرار گرفته است. آنچه از اندیشه پیرامون یافته های به دست آمده حاصل می گردد آن است که:

- در میان انواع سیستم های سایه اندازی مورد بررسی، کرکره ی بازتابی و به طور خاص کرکره ی بازتابی افقی در پیکربندی های مختلفش، عملکردی آشکارا برتر در بهره گیری حداکثری نور روز مفید خودسامان (UDI-a) در فضاهای داخلی دارد.

- یافته های به دست آمده نشان گر عملکرد نسبتاً مشابه شیشه های دو جداره ی و سه جداره ی شفاف به منظور بهره گیری حداکثری از نور روز مفید خودسامان است.

- کارآمدترین سیستم کنترل کننده ی نور روز به لحاظ بهره گیری حداکثری از نور روز مفید خودسامان، ترکیب پیکربندی های مختلف سایه انداز کرکره ای بازتابی افقی و شیشه های دوجداره ی و سه جداره ی شفاف است.

- سنجش شاخص UDI-e در جهت گیری های مختلف بازگوکننده ی احتمال بروز خیرگی ناشی از حضور نور روز در فضاهای داخلی جبهه های جنوبی و شرقی است.

پژوهش حاضر توانسته با بررسی گزینه های مختلف طراحی، مؤثرترین سیستم های کنترل کننده ی نور روز برای جهت گیری های مختلفی از ساختمان های اداری شهر اصفهان به عنوان نماینده ای از شهرهای اقلیم گرم و خشک را به منظور بهره گیری حداکثری از نور روز مفید در فضاهای داخلی معرفی نماید. با این وجود ضروری می نماید در پژوهش های آتی، پژوهشگران با در نظر گیری سایر معیارهای معمارانه و بررسی انواع نیازهای کاربر به هنگام حضور در فضاهای داخلی، پژوهشی گسترده تر و چندبعدی در این زمینه صورت دهند. هم چنین لازم است تا با استفاده از شاخص های سنجش خیرگی، بررسی ژرف تری پیرامون احتمال وقوع خیرگی ناشی از نور روز در جهت گیری های مختلف صورت پذیرد.

5- منابع

اخلاصی، ا.، مفیدی شمیرانی، م.، عنبری روزبهانی، ن. 1393. رویکرد طراحی الگوریتمیک و راهکارهای معماری بومی ایران در بهره گیری و کنترل نور روز: چگونگی بهره گیری از راهکارهای معماری گذشته در راستای طراحی نماهای شفاف معاصر. آرمانشهر، 7: 25-35.

عرب انواری، ا.، فیاض، ر. 1396. شبیه سازی پارامتریک کارایی ساختمان در مراحل اولیه طراحی: ساختمان مسکونی میان مرتبه در اقلیم گرم و خشک. نامه معماری و شهرسازی، 23: 5-28.

میری، م.، کمپانی سعید، م. 1393. طراحی فرآیندی جهت نیل به روشنایی طبیعی مناسب برای یک فضای کاری اداری در شهر تهران از طریق محاسبه ابعاد بهینه ی پنجره، سایبان و عمق مفید اتاق. آرمانشهر، 14: 73-89.

وزارت نیرو، 1396. معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی، ترازنامه انرژی.

Ahmad, R. M., & Reffat, R. M. (2018). A comparative study of various daylighting systems in office buildings for improving energy efficiency in Egypt. *Journal of Building Engineering*, 18, 360-376. doi:10.1016/j.jobbe.2018.04.002

- Ayoub, M. (2019). 100 Years of daylighting: A chronological review of daylight prediction and calculation methods. *Solar Energy*, 194, 360-390. doi:10.1016/j.solener.2019.10.072
- 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. doi:10.1016/j.buildenv.2018.01.048
- Chi, F. a., Wang, Y., Wang, R., Li, G., & Peng, C. (2020). An investigation of optimal window-to-wall ratio based on changes in building orientations for traditional dwellings. *Solar Energy*, 195, 64-81. doi:10.1016/j.solener.2019.11.033
- Fathy, F., Mansour, Y., Sabry, H., Refat, M., & Wagdy, A. (2020). Conceptual framework for daylighting and facade design in museums and exhibition spaces. *Solar Energy*, 204, 673-682. doi:10.1016/j.solener.2020.05.014
- Illuminating Engineering, s. (2014). *IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE) (LM-83-12)*: Illuminating Engineering Society of North America.
- 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. doi:10.1016/j.energy.2020.119557
- Mardaljevic, J. (2015, 16-17 April 2015). Climate-Based Daylight Modelling And Its Discontents. Paper presented at the CIBSE Technical Symposium, London, UK.
- Pellegrino, A., Cammarano, S., Lo Verso, V. R. M., & Corrado, V. (2017). Impact of daylighting on total energy use in offices of varying architectural features in Italy: Results from a parametric study. *Building and Environment*, 113, 151-162. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.012>
- Samadi, S., Noorzai, E., Beltrán, L. O., & Abbasi, S. (2020). (A computational approach for achieving optimum daylight inside buildings through automated kinetic shading systems. *Frontiers of Architectural Research*, 9(2), 335-349. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.10.004>
- Turan, I., Chegut, A., Fink, D., & Reinhart, C. (2020). The value of daylight in office spaces. *Building and Environment*, 168. doi:10.1016/j.buildenv.2019.106503
- Valladares-Rendón, L. G., Schmid, G., & Lo, S.-L. (2017). Review on energy savings by solar control techniques and optimal building orientation for the strategic placement of façade shading systems. *Energy and Buildings*, 140, 458-479. doi:10.1016/j.enbuild.2016.12.073
- Wong, I. L. (2017). A review of daylighting design and implementation in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 959-968. doi:10.1016/j.rser.2017.03.061
- Yu, F., Wennersten, R., & Leng, J. (2020). A state-of-art review on concepts, criteria, methods and factors for reaching 'thermal-daylighting balance'. *Building and Environment*, 186, 107330. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107330>

Achieving optimal visual comfort in office buildings of Isfahan by Climate-Based Daylight Modelling (CBDM): A case study of Isfahan

Abstract

The daylight level in interior spaces of office buildings highly affects productivity, job satisfaction and health condition of employees. Achieving optimal daylight level in office buildings helps reducing various harmful effects artificial lighting which may lead to the well-being of employees and can affect various aspects of the building. Maximizing daylight availability in the interior spaces of office buildings through the use of different glazings and shading systems is one of the most common and effective tools to achieve such goal. It is also important to consider buildings orientation as it is one of the fundamental factors which directly affects how a space receives daylight. By the use of climate-based daylight modeling and examining various shading systems and glazings, the presented study seeks to achieve optimal visual level through maximizing useful daylight illuminance (UDI) in a reference office model for cardinal orientations. To this end, weather data of Isfahan is used as this city represents the climate with high daylight availability. The results show the importance of using the reflective

louver (in different configurations according to the orientation). Findings also reveal the very similar effects of clear double glazing and clear triple glazing.

Keywords: Shading system, Office building, Daylighting, visual comfort, Isfahan