

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

علی کنگازیان<sup>۱</sup>

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

سید محمد مهدی میرممتاز

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

فصلنامه پژوهش‌های مکانی فضایی، سال ششم، شماره اول، پیاپی ۲۱، زمستان ۱۴۰۰، صص ۲۷ - ۳۸

## 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، به‌ویژه در عمق فضاهای داخلی این گروه ساختمانی، با کاهش تأثیرات نامطلوب مختلف ناشی از به‌کارگیری روش‌نمایی 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. بدین منظور شهر اصفهان با اقلیمی که امکان استفاده و بهره‌مندی حداکثری از نور مستقیم روز را دارد، انتخاب شده است. نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده‌ی اهمیت استفاده از لوور بازتابی (با پیکربندی‌های مختلف مطابق با جهت‌گیری مورد بررسی) است. با این حال، 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

۱. نویسنده مسئول: alikangazian@gmail.com

## مقدمه و بیان مسئله

به‌عنوان 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 الکتریسیته 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. بدین ترتیب عدم توجه به مزایای پیدای و نهمان 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، (۱۳۹۶). 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.

## روش پژوهش

رویه‌ی کلی پژوهش در برخورد با مسئله‌ی مورد بررسی، متشکل از سه بخش است؛ الف) ایجاد مدلی پارامتریک؛ بدین منظور از افزونه‌ی گرس‌هایپر<sup>۱</sup> از

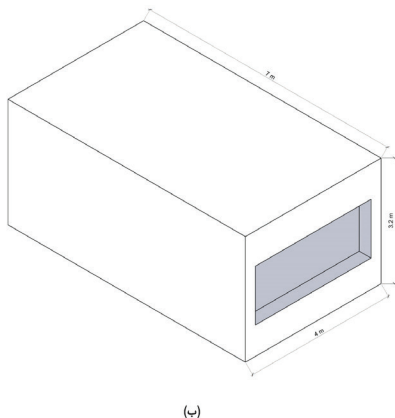
نور روز، نقشی مهم در طراحی‌های معمارانه بازی می‌کند. برای نمونه معماران اغلب به‌لحاظ زیبایی‌شناختی از نور و سایه‌ی ایجادشده به‌واسطه‌ی آن بهره‌گرفته و برای فضا فرم یا محیطی خاص می‌آفرینند (D. A. Chi, Moreno, & Navarro, 2018; Yu, Wennersten, & Leng, 2020). نور روز همچنین می‌تواند، نیازهای روشنایی داخلی را تأمین کرده و مصرف انرژی ناشی از نورپردازی مصنوعی را کاهش دهد. بدین ترتیب نقش معمار در تعیین چگونگی یکپارچه‌سازی نور روز با فضا بسیار پررنگ می‌نماید (عرب انواری و فیاض، (۱۳۹۶) (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، (۱۳۹۸) (Ayoub, 2019; Wong, 2017). علاوه بر این بهره‌گیری مؤثر از نور طبیعی روز در ساختمان‌ها، به‌وسیله‌ی فراهم‌سازی و کنترل آن در راستای دستیابی به سطح کفایت‌دهنده‌ای از نور روز، نه‌تنها 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). بدین ترتیب هویدا می‌گردد بهره‌گیری از نور روز

1. Grasshopper

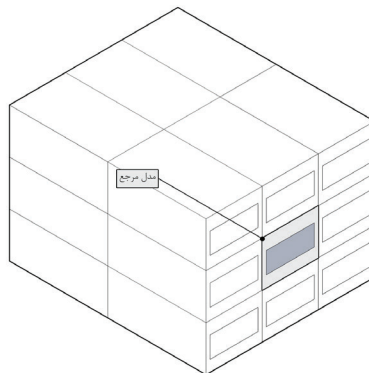
نرم افزار راینو تری. دی<sup>۱</sup> استفاده شده است. گرس هاپر پرکاربردترین و مهم ترین نرم افزار در حوزه مدل سازی پارامتریک بوده که به عنوان یک ویرایشگر الگوریتمی گرافیکی قادر به کنترل هم زمان چندین پارامتر بوده که تحت تعریف خاصی به فرمولی واحد که توسط کاربر تعریف شده متصل شده اند؛ ب) انتقال اطلاعات مدل پارامتریک به فضای مدل سازی نور روز مبتنی بر اقلیم<sup>۲</sup> و آماده سازی پروسه‌ی شبیه سازی به وسیله اضافه کردن مشخصات هندسی و ساختاری سایه اندازها و شیشه های مورد بررسی به همراه برنامه‌ی زمانی و جزئیات ساختاری مدل مرجع توسط افزونه‌ی لیدی باگ<sup>۳</sup>. این افزونه امکان مطالعات دقیق محیطی در رابطه با ساختمان را از طریق فراهم سازی تمامی داده‌ی آب و هوایی منطقه‌ی جغرافیایی مورد نظر، نوع آسمان، نور روز، تابش خورشید، سرعت باد، رطوبت و مصرف انرژی گرمایش و سرمایش فراهم می سازد. چنین اطلاعاتی را می توان به صورت پارامتریک به داده های پروژه متصل کرده تا تأثیر آب و هوا و موقعیت بر پروژه‌ی مورد بررسی درک شود. این ابزار به وسیله فراهم سازی یک محیط گرافیکی ساده به کاربران این اجازه را می دهد تا از موتورهای نرم افزارهای معتبر و شناخته شده‌ی انرژی و نور روز نظیر انرژی پلاس<sup>۴</sup>، ریدینس<sup>۵</sup> و دی سیم<sup>۶</sup> استفاده کرده و بر این اساس طراح کل مدل را به وسیله‌ی فرمول ایجاد شده در گرس هاپر به راحتی دچار تغییرات نموده تا با شرایط آب و هوایی اقلیم انتخاب شده سازگار شده و بدین طریق فرآیند طراحی و تحلیل آن، به فرآیندی

ساده تر تبدیل شود؛ و ج) شبیه سازی سالیانه‌ی نور روز. شبیه سازی های حاصل از مدل سازی روشنایی مبتنی بر اقلیم معمولاً همراه با نتایج زیادی است که لازم است بدون کاسته شدن از مقادیر حقیقی شان تبدیل به شاخص هایی محسوس شوند. بدین منظور شاخص های بسیاری برای ارزیابی عملکرد نور روز در محیط داخلی، با در نظر گیری معیارهای مختلف مکانی و زمانی ایجاد شده اند. از جمله پرکاربردترین این شاخص ها، شاخص روشنایی مفید نور روز (UDI) است که توسط «نبیل» و ماردالیویچ در سال ۲۰۰۶، به جهت تعیین سودمندی شرایط روشنایی حاصل از نور روز به گونه ای که نه فضا فاقد نور کافی باشد و نه بیش از حد آکنده از آن، معرفی شد. UDI نخستین شاخصی است که ایده‌ی آستانه های حدی را معرفی کرده است. روشنایی مفید نور روز درصدی از ساعات اشغال فضا در طول سال است که روشنایی مفید (در میان دو حد بالا و پایین)، ناکافی (کم تر از حد پایین) یا بیش از حد (بیش تر از حد بالا) است (Ayoub, 2019). آستانه‌ی حدی روشنایی مفید در ابتدا توسط نبیل و ماردالیویچ ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس تعیین شده بود اما بعد از آن توسط ماردالیویچ و همکاران دچار تغییراتی شد؛ برای نمونه این مقدار در سال ۲۰۱۱ توسط ماردالیویچ و همکاران به ۱۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس افزایش یافت (Yu et al. 2020) یا بار دیگر در سال ۲۰۱۲ 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 ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس تغییر نمود. خودسامانی روشنایی مفید نور روز (UDI-a) به معنای روشنایی نور روز، در محدوده‌ی بین ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس بوده که به طور معمول برای کاربر دل پذیر یا دست کم قابل تحمل است و ازدیاد روشنایی مفید نور

1. Rhinoceros 3D
2. CBDM
3. Ladybug
4. EnergyPlus
5. Radiance
6. DAYSIM



(ب)



(الف)

شکل شماره (۱): الف: موقعیت مدل مرجع در ساختمان، ب: ابعاد مدل مرجع

### مصالح

با توجه به آن که پژوهش حاضر تنها بر بررسی خیرگی تمرکز دارد، توجه به نوع مصالح به لحاظ ویژگی‌های حرارتی فاقد اهمیت است اما از نظر بررسی‌های مربوط به نور اما تمامی جداره‌ها، 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 کرده‌اند؛ به‌هر روی در این پژوهش ارقام پیشنهادی استاندارد IES-LM-83-12 جامعه‌ی مهندسين روشنایی وام‌گرفته شده است.

### برنامه زمانی، بارها و نحوه استفاده از فضا

مطابق پیشنهاد استاندارد IES-LM-83-12، محاسبات مربوط به شبیه‌سازی روشنایی و انرژی با فرض آن صورت می‌پذیرد که برنامه‌ی زمانی اشغال فضا در یک دوره‌ی یک‌ساله، از روز شنبه تا چهارشنبه، در طول ساعات ۸ صبح الی ۶ بعدازظهر در نظر گرفته شود. هم‌چنین بر اساس روش کار پیشنهادی پژوهش‌های مشابه، تراکم فضایی برابر با ۰٫۱ فرد در هر مترمربع در نظر گرفته شده است.

روز (UDI-e) به معنای آن است که روشنایی حاصل از نور روز در محدوده‌ای بالاتر از ۳۰۰۰ 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).

### مدل مرجع

فرض بر آن است که اتاق اداری مرجع، در شهر اصفهان در یکی از طبقات میانی ساختمانی چندطبقه واقع شده و پیرامون آن عاری از هرگونه موانع طبیعی یا انسان‌ساخت است. مقادیر عددی مربوط به عرض، عمق و ارتفاع مدل مورد استفاده در این پژوهش به ترتیب برابر با ۴ متر، ۷ متر و ۳٫۲ متر تعیین شده است. با توجه به آن که پژوهش‌های پیشین نسبت مساحت پنجره به دیوار ۳۵ تا ۴۵ درصد را برای چنین کاربری ساختمانی پیشنهاد کرده‌اند (Valladares-Rendón, Schmid, & Lo, 2017; Yu et al. 2020)، در پژوهش حاضر نسبت مساحت پنجره به دیوار به صورت ثابت برابر با ۴۰ درصد در نظر گرفته شده است. هم‌چنین فاصله‌ی کف پنجره از کف اتاق مرجع برابر با ۰٫۸ متر تعیین شده است.

جدول شماره (۱): چارچوب شبیه‌سازی و مشخصات کلی مدل مرجع

چهار جهت‌گیری اصلی (جنوبی، غربی، شمالی، شرقی)		جهت‌گیری
عرض	۴ متر	ابعاد
عمق	۷ متر	
ارتفاع	۳٫۲ متر	
IRN_ES_Badr.Esfahan.AFB.408000_ITMY		داده‌های اقلیمی
کف	٪۲۰	بازتابندگی سطوح
سقف	٪۷۰	
دیوار داخلی	٪۵۰	
٪۴۰		نسبت پنجره به دیوار
۰٫۸ متر		فاصله کف پنجره از کف اتاق
میانی		طبقه
دوره‌ی یک ساله	شنبه تا چهارشنبه	برنامه‌ی زمانی اشغال فضا
ساعت ۸ صبح الی ۶ بعدازظهر		
۰٫۱ نفر در هر مترمربع		چگالی کاربران
دوره‌ی یک ساله		دوره‌ی بررسی
۰٫۵ متر در ۰٫۵ متر		ابعاد شبکه‌بندی

### داده‌های اقلیمی

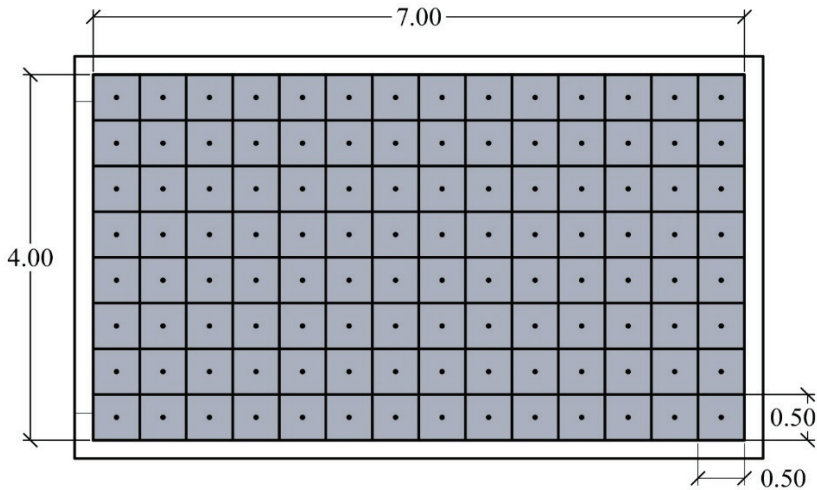
با توجه به آن‌که این پژوهش از روش مدل‌سازی مبتنی بر داده‌های اقلیمی استفاده می‌کند، استفاده از چنین داده‌ای امری الزامی است. در این پژوهش از داده‌های اقلیمی پایگاه هوایی بدر اصفهان، از نوع «نمونه سال هواشناختی ایران»<sup>۱</sup> یا به اختصار ITMY که توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ایران توسعه یافته، استفاده شده است. خلاصه‌ای از چارچوب شبیه‌سازی و مشخصات کلی مدل مرجع پایه مورد بررسی در این پژوهش در جدول آورده شده است.

### تنظیمات شبیه‌سازی

شبیه‌سازی روشنایی مفید نور روز (UDI) در یک

1. Iran Typical Meteorological Year (ITMY)

بازه‌ی زمانی یک‌ساله از ساعت ۸ صبح الی ۶ بعدازظهر و مجموعاً ۳۶۵۰ ساعت تعریف شده است. آستانه‌های حدی در نظر گرفته شده برای UDI در این پژوهش وام‌گرفته شده از پژوهش ماردالیویچ (Mardaljevic, 2015؛ میری و کمپانی سعید، ۱۳۹۳). است که چهار آستانه‌ی حدی برای UDI شامل عدم‌دستیابی به روشنایی مفید نور روز یا  $UDI < 100 \text{ lux}$ ، 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  $3000 \text{ lux} < UDI$  را در نظر می‌گیرد. با توجه به محدودیت‌های افزونه‌ی Honeybee که تنها امکان تعریف سه آستانه‌ی حدی UDI را فراهم می‌سازد



شکل شماره (۲): شبکه‌بندی شبیه‌سازی نور روز

روشنایی مفید نور روز خودسامان (UDI-a)

$$300 \text{ lux} < UDI < 3000 \text{ lux}$$

روشنایی مفید نور روز مزید (UDI-e)

$$3000 \text{ lux} < UDI$$

### 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 به دلیل 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 رفته‌است.

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 بوده‌است. بدین ترتیب علاوه بر حالت پایه (بدون سایه‌انداز)، دو سایه‌انداز کرکره‌ای افقی و عمودی بازتابی و غیربازتابی و شیشه‌های دوجداره و

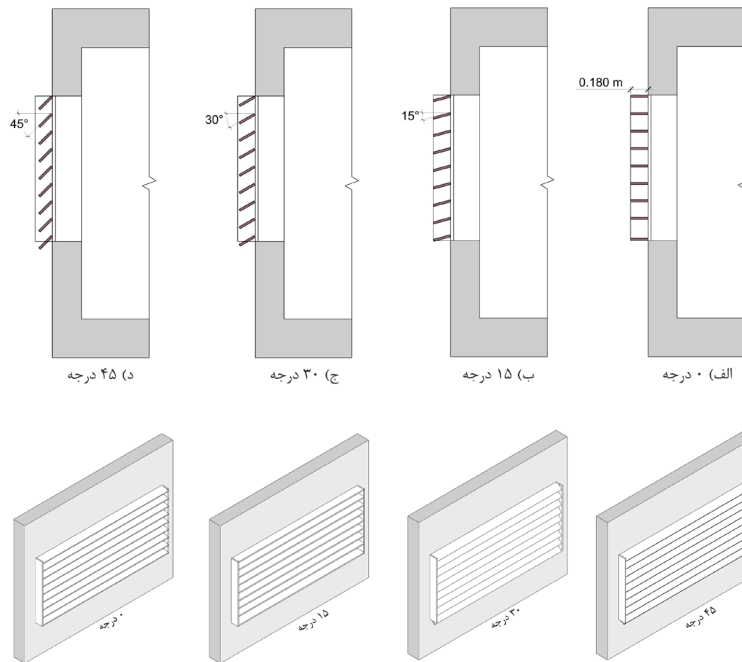
و نیز با توجه به تعریف مسئله در این پژوهش که تنها به بررسی نتایج حاصل از دسته‌ی «روشنایی مفید نور روز خودسامان» می‌پردازد، می‌توان طبقه‌بندی‌های «عدم دستیابی به روشنایی مفید نور روز» و «روشنایی مفید نور روز تکمیلی» را ادغام نمود. ضروری است شبیه‌سازی نور روز بر صفحه‌ای شبکه‌بندی شده اجرا شود. مطابق با روش کار ارائه‌شده در استاندارد IES-LM-83-12، ابعاد شبکه‌بندی مربعی می‌تواند در بازه‌ی ۳۰،۴۸ سانتی‌متر الی ۶۰،۹۶ سانتی‌متری و در ارتفاع سطح کار (۷۶،۲ سانتی‌متر) قرار داشته باشد (Illuminating Engineering, 2014). بدین ترتیب ابعاد شبکه‌بندی مربعی در نظر گرفته‌شده برای این پژوهش ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع سطح کار ۸۰ سانتی‌متر تعیین شده‌است.

جدول شماره (۲): آستانه‌های حدی در نظر گرفته شده

برای UDI در پژوهش حاضر

تجمع روشنایی مفید نور روز تکمیلی با عدم دسترسی به آن (UDI-n)

$$UDI < 300 \text{ lux}$$



شکل شماره (۳): برش از مقطع و ترسیم ایزومتریک سایه‌انداز کرک‌های افقی

است. بدین ترتیب مطابق با فرضیات مسئله و به‌عنوان عاملی اساسی و تأثیرگذار در محاسبات مذکور، مساحت پنجره ۴۰٪ مساحت دیوار دارای پنجره یا به‌عبارتی برابر با ۵٫۱۲ متر مربع در نظر گرفته شده است. مشخصات ساختاری شیشه‌های مورد بحث در پژوهش پیش‌رو، در جدول آمده است.

جدول شکل شماره (۳): مشخصات شیشه‌های مورد بررسی

۳٫۰۰۶	U-Factor (W/m <sup>2</sup> .K)	شیشه‌ی دو جداره‌ی شکاف هوا - (DCL)
۰٫۶۹۱	SHGC	
۰٫۷۰۲	T <sub>vis</sub>	
۲٫۱۸۱	U-Factor (W/m <sup>2</sup> .K)	شیشه‌ی سه جداره‌ی شکاف هوا - (TCL)
۰٫۶۱۴	SHGC	
۰٫۶۳۵	T <sub>vis</sub>	

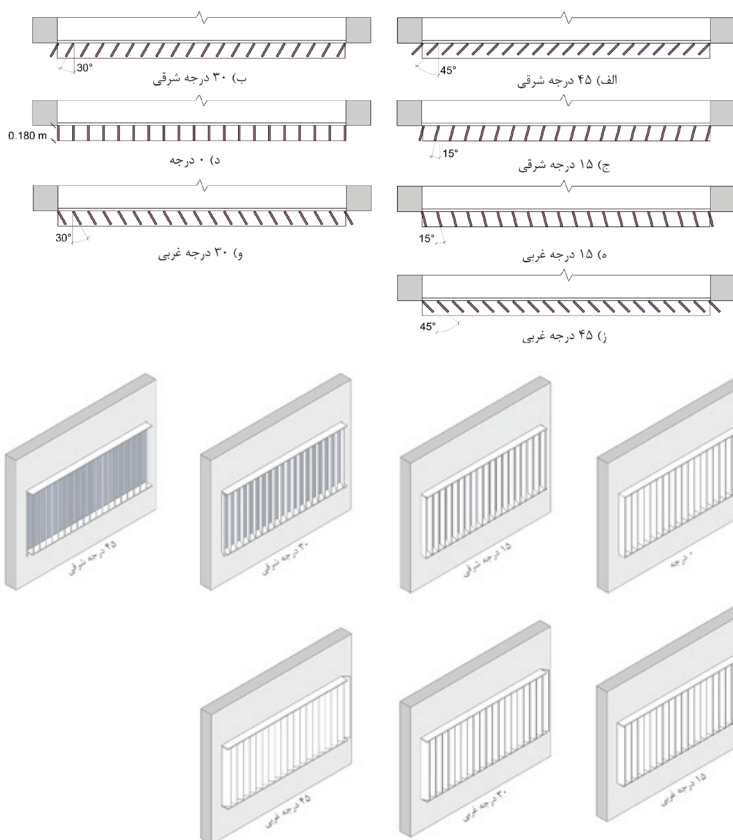
سه‌جداره برای پروسه‌ی شبیه‌سازی انتخاب شده‌اند.

#### سیستم‌های سایه‌انداز

انتخاب مشخصه‌های هندسی سایه‌اندازهای کرک‌های با بررسی کاتالوگ‌های فنی-معماران‌هی شرکت‌های تولیدکننده لوور از جمله واریمما، لوورتک و هانترا دگلاس انتخاب شده است. بررسی لوورها به لحاظ زاویه‌ی قرارگیری در حالت ثابت در بازه‌ی ۰ تا ۴۵ درجه با گام‌های ۱۵ درجه‌ای صورت پذیرفته است. مشخصه‌های هندسی و ساختاری تمامی سایه‌اندازهای مورد بررسی به‌جز میزان بازتابش مرئی متفاوت سایه‌انداز غیربازتابی و سایه‌انداز بازتابی یکسان در نظر گرفته شده است.

#### شیشه‌ها

چنانچه پیش‌تر گفته شد، نسبت پنجره به دیوار از عوامل اساسی در میزان دریافت نور فضاهای داخلی



شکل شماره (۴): برش از مقطع و ترسیم ایزومتریک سایه‌انداز کرکره‌ای عمودی

با ۴ بار تکرار، کرکره افقی ثابت صفر درجه با ۲ بار تکرار و نهایتاً کرکره بازتابی عمودی ثابت ۰ درجه با ۱ 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 ۱۳ بار و ۷ بار تکرار شده‌اند.

#### یافته‌ها و گفتمان

در این پژوهش، ۳۴ 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 **Error! Reference source not found.** آورده شده‌است.

چنانچه از مذاقه در **Error! Reference source not found.** بر می‌آید، کرکره بازتابی افقی ثابت صفر درجه با ۸ بار تکرار، عدم استفاده از سایه‌انداز با ۵ بار تکرار، کرکره بازتابی افقی ثابت ۱۵ درجه



شکل شماره (۵): گزینه‌های برتر در جهت‌گیری‌های مورد بررسی

رت.ج.	ر.ج.	(UDI-e)	(UDI-a)	(UDI-n)	ج.	شیشه	سایه‌انداز
۱	۱	۱۱.۶۰۱۷۸۶	۷۸.۸۹۳۳۰۴	۹.۵۰۴۹۱۱	جنوبی	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	کرکره بازتابی افقی ثابت ۰ درجه
۲	۲	۸.۹۹۱۹۶۴	۷۷.۵۹۸۹۲۹	۱۳.۴۰۹۰۱۸	جنوبی	سه جداره شفاف (شکاف هوا)	کرکره بازتابی افقی ثابت ۰ درجه
۳	۳	۵.۶۷۱۸۷۵	۷۷.۴۵۲۱۴۳	۱۶.۸۷۵۸۹۳	جنوبی	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	کرکره بازتابی افقی ثابت ۱۵ درجه
۴	۴	۳.۶۶۴۷۳۲	۷۷.۴۵۰۷۱۴	۱۸.۸۸۴۵۵۴	جنوبی	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	کرکره افقی ثابت ۰ درجه
۷	۵	۳.۹۵۹۲۸۶	۷۴.۸۲۰۸۹۳	۲۱.۲۱۹۷۳۲	جنوبی	سه جداره شفاف (شکاف هوا)	کرکره بازتابی افقی ثابت ۱۵ درجه
۵	۱	۵.۴۰۳۰۳۶	۷۶.۱۹۰۸۹۳	۱۸.۴۰۵۸۹۳	غربی	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	کرکره بازتابی افقی ثابت ۰ درجه
۱۳	۲	۱۷.۴۰۶۲۵	۷۲.۸۷۷۱۴۳	۹.۷۱۶۶۹۶	غربی	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	-
۱۴	۳	۴.۰۵۸۱۲۵	۷۲.۴۶۴۳۷۵	۲۳.۴۷۷۴۱۱	غربی	سه جداره شفاف (شکاف هوا)	کرکره بازتابی افقی ثابت ۰ درجه
۱۷	۴	۱۵.۴۷۹۸۲۱	۷۱.۴۰۶۶۰۷	۱۳.۱۱۳۵۷۱	غربی	سه جداره شفاف (شکاف هوا)	-
۱۸	۵	۲.۵۳۷۵۸۹	۷۱.۴۰۵۷۱۴	۲۶.۰۵۶۱۶۱	غربی	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	کرکره بازتابی افقی ثابت ۱۵ درجه
۱۵	۱	۱۱.۵۹۷۱۴۳	۷۱.۹۹۶۹۶۴	۱۶.۴۰۵۸۹۳	شمالی	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	-
۳۱	۲	۰.۰۰۷۵۸۹	۶۹.۲۴۰۹۸۲	۳۰.۷۵۱۴۲۹	شمالی	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	کرکره بازتابی افقی ثابت ۰ درجه
۳۳	۳	۹.۵۲۲۳۲۱	۶۸.۰۹۰۹۸۲	۲۲.۳۸۶۶۹۶	شمالی	سه جداره شفاف (شکاف هوا)	-
۴۸	۴	۰	۶۳.۴۹۴۸۲۱	۳۶.۵۰۵۱۷۹	شمالی	سه جداره شفاف (شکاف هوا)	کرکره بازتابی افقی ثابت ۰ درجه
۵۲	۵	۲.۶۳۴۲۸۶	۶۲.۲۸۹۹۱۱	۳۵.۰۷۵۸۰۴	شمالی	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	کرکره بازتابی عمودی ثابت ۰ درجه
۶	۱	۹.۳۴۵۱۷۹	۷۵.۸۵۸۷۵	۱۴.۷۹۵۷۱۴	شرقی	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	کرکره بازتابی افقی ثابت ۰ درجه
۹	۲	۵.۲۷۹۷۳۲	۷۳.۶۳۹۰۱۸	۲۱.۰۸۰۸۹۳	شرقی	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	کرکره بازتابی افقی ثابت ۱۵ درجه
۱۰	۳	۷.۷۵۲۰۵۴	۷۳.۶۱۲۷۶۸	۱۸.۶۳۵۱۷۹	شرقی	سه جداره شفاف (شکاف هوا)	کرکره بازتابی افقی ثابت ۰ درجه
۱۱	۴	۴.۰۱۴۱۰۷	۷۳.۵۷۳۳۹۳	۲۲.۴۱۳۱۲۵	شرقی	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	کرکره افقی ثابت ۰ درجه
۱۹	۵	۲۰.۹۰۴۹۱۱	۷۱.۱۰۳۹۲۹	۷.۹۹۰۷۱۴	شرقی	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	-

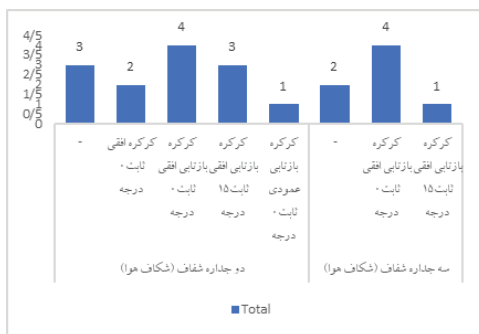
ج: جهت‌گیری؛ ر.ج: رتبه در جهت‌گیری؛ ر.ت.ج: رتبه در میان تمامی جهت‌گیری‌ها

سال را به همراه دارد. از سوی دیگر، با استناد به e-UDI معین می‌گردد دو جهت گیری مذکور با احتمال بروز خیرگی بیش تر و جهت گیری شمالی با کم ترین احتمال بروز خیرگی نسبت به جهت گیری های دیگر در بازه ای یک ساله مواجه اند.

### نتیجه گیری

پژوهش حاضر به کاوش پیرامون نحوه ی دستیابی به سطوح بصری بهینه در ساختمان های اداری در اقلیم گرم و خشک و به طور خاص شهر اصفهان پرداخته است. بدین منظور ترکیب های مختلفی از ترکیب سایه اندازهای کرکره ای با پیکربندی های متفاوت و یک حالت عدم استفاده از سایه انداز با ۲ گونه شیشه ی مختلف شامل شیشه ی دو جداره و سه جداره ی شفاف (شکاف هوا)، غربی، شمالی و شرقی مورد پژوهش قرار گرفته و در هر جهت گیری ۳۴ 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:

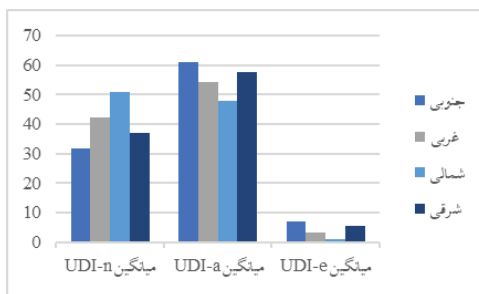
- در میان انواع سیستم های سایه اندازی مورد بررسی، کرکره ی بازتابی و به طور خاص کرکره ی بازتابی افقی در پیکربندی های مختلفش، عملکردی آشکارا برتر در بهره گیری حداکثری نور روز مفید خودسامان (UDI-a) در فضاهای داخلی دارد.
- یافته های به دست آمده نشانگر عملکرد نسبتاً مشابه شیشه های دو جداره ی و سه جداره ی 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



شکل شماره (۵): پرتکرارترین ترکیب ها در

### جهت گیری های مختلف

از سوی دیگر چنانچه در Error! Reference source not found. مشاهده می شود، مدل پایه که ترکیبی از شیشه ی دو جداره و عدم وجود سایه انداز است، به جز در جهت گیری جنوبی، در سایر جهت گیری ها یکی از گزینه های برتر است.



شکل شماره (۶): میانگین آستانه های حدی شبیه سازی

### روشنایی مفید نور روز در جهت گیری های مختلف

به دست آمده از آستانه های حدی شاخص UDI برای گزینه های مختلف طراحی در جهت گیری ها مورد بررسی را به تصویر کشیده است. مطابق این نگاه استفاده از ترکیب های مختلف از سیستم های سایه انداز و شیشه در جهت گیری های جنوبی و شرقی، بیش ترین میزان از روشنایی مفید نور روز خودسامان در طول

- بازتابی افقی و شیشه‌های دوجداره‌ی و سه‌جداره‌ی شفاف است.
- سنجش شاخص UDI-e در جهت‌گیری‌های مختلف بازگوکننده‌ی احتمال بروز خیرگی ناشی از حضور نور روز در فضاهای داخلی جبهه‌های جنوبی و شرقی است.
  - پژوهش حاضر توانسته با بررسی گزینه‌های مختلف طراحی، مؤثرترین سیستم‌های کنترل‌کننده‌ی نور روز برای جهت‌گیری‌های مختلفی از ساختمان‌های اداری شهر اصفهان به‌عنوان نماینده‌ای از شهرهای اقلیم گرم‌وخشک را به‌منظور بهره‌گیری حداکثری از نور روز مفید در فضاهای داخلی معرفی نماید. با این وجود ضروری می‌نماید در پژوهش‌های آتی، پژوهشگران با در نظرگیری سایر معیارهای معمارانه و بررسی انواع نیازهای کاربر به‌هنگام حضور در فضاهای داخلی، پژوهشی گسترده‌تر و چندبعدی در این زمینه صورت دهند. هم‌چنین لازم است تا با استفاده از شاخص‌های سنجش خیرگی، بررسی ژرف‌تری پیرامون احتمال وقوع خیرگی ناشی از نور روز در جهت‌گیری‌های مختلف صورت پذیرد.
- فهرست منابع**
- اخلاصی، ا، مفیدی شمیرانی م، عنبری روزبهانی ن. ۱۳۹۳. رویکرد طراحی الگوریتمیک و راهکارهای معماری بومی ایران در بهره‌گیری و کنترل نور روز: چگونگی بهره‌گیری از راهکارهای معماری گذشته در راستای طراحی نماهای شفاف معاصر. آرمانشهر، ۷: ۲۵-۳۵.
  - عرب انواری، ا، فیاض ر. ۱۳۹۶. شبیه‌سازی پارامتریک کارایی ساختمان در مراحل اولیه طراحی: ساختمان مسکونی میان‌مرتبه در اقلیم گرم و خشک. نامه معماری و شهرسازی، ۲۳: ۵-۲۸.
  - میری م، کمپانی سعید م. ۱۳۹۳. طراحی فرآیندی جهت نیل به روشنایی طبیعی مناسب برای یک فضای کاری اداری در شهر تهران از طریق محاسبه ابعاد بهینه‌ی پنجره، سایبان و عمق مفید اتاق. آرمانشهر، ۱۴: ۷۳-۸۹.
  - وزارت نیرو، ۱۳۹۶. معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی 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.job.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

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
- 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.