

تأثیر سیستم‌های کنترل‌کننده‌ی نور روز بر کاهش خیرگی (نمونه‌ی موردی: ساختمان‌های اداری شهر اصفهان)

علی کنگازیان^۱

کارشناسی‌ارشد رشته معماری و انرژی، دانشکده‌ی هنر و معماری، دانشگاه یزد

alikangazian@gmail.com

سید محمد مهدی میرممتاز

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

sm.mirmomtaz@gmail.com

چکیده

نورپردازی فضاهای داخلی ساختمان‌های اداری چنانچه به‌واسطه‌ی بهره‌گیری از نور روز باشد، با مزایای بسیاری برای ساختمان و کاربران آن همراه است. با این وجود سطوح بالای نور روز می‌توانند از طریق ایجاد کنتراست شدید و بازتاب‌های احتمالی بسیار، باعث ایجاد برخی ناراحتی‌های بصری در میان کاربران شوند که بارزترین آن‌ها خیرگی است. بدین ترتیب میزان حضور نور روز در فضا و چگونگی انتقال آن به کاربر، معرف کارآمدی بصری بوده و نیازمند توجه ویژه در حین طراحی جداری ساختمان و به‌طور ویژه، پنجره است. سیستم‌های کنترل‌کننده‌ی نور روز، چه به‌صورت سیستم سایه‌انداز، چه شیشه و چه ترکیبی از این دو، راهکاری معمارانه و ایستا جهت ممانعت از بروز ناراحتی‌های بصری و به‌طور خاص، خیرگی برای کاربران ساختمان‌های اداری است. این امر در اقلیم‌های چون اقلیم گرم و خشک که تابش شدید آفتاب از جمله مؤلفه‌های ذاتی آن‌ها است، شایسته‌ی مذاقه و بررسی ژرف است. بر این مبنا، پژوهش حاضر به دنبال یافتن بهینه‌ترین پیکربندی سیستم کنترل‌کننده‌ی نور روز بوسیله سایه‌اندازها برای ساختمان‌های اداری شهر اصفهان در چهار جهت‌گیری اصلی است. یافته‌های پژوهش بیانگر تأثیر چشم‌گیر شیشه‌ی دوجداره‌ی رنگی (سبز)، پیکربندی‌های مختلفی از سایه‌انداز شانه تخم‌مرغی و ترکیبی از این دو در جهت‌گیری‌های مختلف است.

واژگان کلیدی: سیستم سایه‌انداز، ساختمان اداری، آسایش بصری، خیرگی، اقلیم گرم و خشک، اصفهان

^۱ نویسنده‌ی مسئول

1- مقدمه

آسایش در معنای عام آن، تلاش در ایجاد محیطی مورد پسند انسان‌ها بوده که بر به‌زیستی ساکنین تأثیر مستقیم دارد. به‌طور خاص آسایش بصری را می‌توان به‌عنوان حالتی ذهنی تعریف کرد که معرف نیازها، ترجیحات و رضایت‌مندی کاربران از شرایط بصری محیط داخلی بوده و بر به‌زیستی و سلامت ذهنی و فیزیکی آن‌ها تأثیرگذار است. هرگونه استفاده نابه‌جا، کنترل نشده و ناخواسته، غیر ضروری و یا بیش از حد استاندارد و شدت نور اضافی، آلودگی نوری نامیده می‌شود، به علاوه فقدان روشنایی محیطی نیز آلودگی محسوب می‌گردد (ثقفی و احدی، 1394). بر این مبنای بهره‌گیری حداکثری از نور روز منجر به بالا رفتن احتمال بروز خیرگی ناشی از نور روز می‌شود. این امر موجب آن شده تا ایجاد تعادل میان گردآوری حداکثری نور روز و جلوگیری از بروز عدم آسایش بصری ناشی از خیرگی به‌صورت هم‌زمان، به چالشی بلندپروازانه برای معماران تبدیل شود (Ganesh, Sinha, Verma, & Dewangan, 2021; Tabadkani, Valinejad Shoubi, Soflaei, & Banihashemi, 2019). پژوهش پیش رو بر آن است تا در اقلیم گرم و خشک که تابش شدید آفتاب از جمله مؤلفه‌های ذاتی آن‌ها است، بهینه‌ترین پیکربندی سیستم کنترل‌کننده‌ی نور روز بوسیله سایه‌اندازها برای ساختمان‌های اداری شهر اصفهان در چهارجهت‌گیری اصلی ارائه نماید.

2- بیان مسأله

پژوهش‌های بسیاری تأثیر نور روز را بر روی بهره‌وری نور در کاربری‌های گوناگون از جمله فضاهای اداری مورد بررسی قرار داده‌اند. شرایط نورپردازی در انواع دفاتر اداری، نشان‌دهنده‌ی وجود یک رابطه‌ی قوی میان

روشنایی در سطح چشم و مؤلفه‌های مربوط به سلامتی و به‌طور دقیق‌تر، خستگی چشم است. تحقیقات هم‌چنین نشان‌دهنده‌ی وجود رابطه‌ای قابل توجه میان دمای رنگ نور با عملکرد و هوشیاری کارمندان دفاتر اداری است. نور روز نه تنها تأثیراتی مستقیم بر جسم کاربران که از نظر فیزیولوژیکی نیز عنصری اثرگذار بر بینایی و ساعت زیستی² انسان است. با وجود این، نور روز می‌تواند باعث ایجاد ناراحتی‌های بصری از طریق خیرگی و انحراف حواس باشد. بدین‌سان، میزان قابلیت بهره‌وری نور روز برای کارآمدی بصری به چگونگی انتقال آن به کاربر وابسته است. بر این اساس، دلیل توصیه می‌شود در فضاهایی که فعالیت بصری به‌طور خاص مورد نیاز است، از تابش مستقیم خورشید خودداری گردد. هم‌چنین در تحقیقات اثبات شده، دید و منظر که توسط پنجره‌ها فراهم می‌شود نیز بر عملکرد بصری و آسایش کارمندان تأثیرگذار است. اثرات مثبت یک دید دل‌پذیر یا جذاب در محیط کار شامل کاهش مرارت‌های جسمی و روانی، افزایش کیفیت خواب و سلامتی چشم و نیز افزایش رضایت شغلی است. (Pilechiha & et al, 2020)

در سال‌های اخیر نیز، موضوع خیرگی به دلیل تبدیل شدن به یک مسئله رایج در بسیاری از فضاهای ساختمانی، پژوهش‌های مربوط به آن افزایش یافته‌اند. بر این مبنای جهت سنجش ارزیابی نور روز برای فضاهایی از ساختمان که با نور روز روشن می‌شوند، ابزار شاخص خیرگی نور روز³ طراحی شده است. مهم‌ترین آلودگی بصری در فضاهای داخلی چشم زدگی و خیرگی می‌باشد (ثقفی و احدی، 1394). خیرگی زمانی رخ می‌دهد که تابش مستقیم با سطح کاری یا در نزدیکی آن یا مستقیماً با چشم ساکنین برخورد کند. هم‌چنین در صورتی که در

³ Daylight Glare Index : DGI

² Circadian Rhythm

3- روش‌شناسی

پژوهش پیش رو به‌منظور برخورد با مسئله‌ی مورد بررسی، رویه‌ای متشکل از سه رکن اصلی را در پیش گرفته‌است:

گام نخست: در فضای افزونه‌ی گرس‌هاپر^۴ مدلی پارامتریک ایجاد می‌گردد. طراحی پارامتریک یا الگوریتمیک به مثابه‌ی یک میان‌بر به مدل نهایی است که پروسه‌ی طراحی را از طریق یک پارچه‌سازی اجزای طراحی بهبود بخشیده و ایجاد اشکال پیچیده‌تر ساختمانی و اعمال تغییرات در آن را ممکن ساخته‌است. از سوی دیگر 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 فرمولی واحد که توسط کاربر تعریف شده متصل شده‌اند (Ayoub, 2019; Eltaweel & Su, 2017; Rashwan, El Gizawi, & Sheta, 2019).

گام دوم: انتقال اطلاعات مدل پارامتریک به فضای مدل‌سازی نور روز مبتنی بر اقلیم^۵ و آماده‌سازی پروسه‌ی شبیه‌سازی به‌وسیله اضافه‌کردن مشخصات هندسی و ساختاری سایه‌اندازها و شیشه‌های مورد بررسی به‌همراه برنامه‌ی زمانی و جزییات ساختاری مدل مرجع توسط افزونه‌ی لیدی‌باگ^۶ است. 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

میدان دید سطوحی با مقدار روشنایی زیاد وجود داشته باشند نیز امکان بروز خیرگی وجود دارد (Chan & Tzempelikos, 2013). به عبارت دیگر عدم آسایش ناشی از خیرگی، نتیجه‌ی کنتراست بالا و تغییرات در مقدار درخشندگی در میدان دید فرد است (Zomorodian & Tahsildoost, 2017).

همچنین توزیع نور و حضور منعکس‌کننده‌های نور، رابطه قوی با خیرگی دارند، بر این مبنای، در سالهای اخیر، خیرگی‌ها به چند دسته تقسیم شدند که شامل خیرگی نامطلوب، خیرگی بد بوده است. (پوراحمدی و همکاران- b, 1398). براین اساس، کنترل خیرگی در جهت ایجاد آسایش بصری کاربران مستلزم راهکارهای ویژه‌ای است که استفاده از سایه‌اندازها از جمله آنهاست. سایه‌اندازها نیز خود بر مبنای تنوع طراحی خود، توانمندی متفاوتی در کنترل نور روز و خیرگی دارند که مقایسه آنها می‌تواند به طراحان فرصت استفاده از راهکار بهینه را دست دهد.

از آنجایی که شهر اصفهان به دلیل قرارگیری در اقلیم گرم و خشک؛ و همچنین افزایش ساخت و سازهای شهری به ویژه ساختمان‌های اداری و نورگیری از سه جبهه جنوبی، شرقی و غربی، دچار معضل خیرگی در فضاهای اداری خود شده است. (پوراحمدی و همکاران- a, 1398). بر این مبنای پرداختن به حل این معضل در جهت بهره‌وری بهینه از نور روز و کاهش مصرف انرژی الکتریکی ناشی از روشنایی مصنوعی با کنترل خیرگی؛ و همچنین افزایش رضایت کاربران فضا دارای اهمیت و ضرورت ویژه‌ای در نیل به اصول سه گانه پایداری است.

⁶ Ladybug

⁴ Grasshopper

⁵ CBDM

به کاربران این اجازه را می‌دهد تا از موتورهای نرم‌افزارهای معتبر و شناخته‌شده انرژی و نور روز نظیر انرژی پلاس^۷، ریدینس^۸ و دی‌سیم^۹ استفاده کرده است. بر این مبنا، 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 (Eltaweel & Su, 2017; Eltaweel, Su, Lv, & Lv, 2020).

گام سوم: و در نهایت و به‌عنوان آخرین مرحله شبیه‌سازی احتمال بروز خیرگی ناشی از نور روز است. شاخص‌های فراوانی به‌منظور سنجش خیرگی ارائه شده‌اند. در غالب ریاضی، این شاخص‌ها چندین متغیر را که بر خیرگی تأثیر گذار است مد نظر قرار می‌دهند. بسیاری از شاخص‌ها از جمله شاخص بریتانیایی خیرگی (BGI)، پیشامد وقوع آسایش بصری (VCP) و ... در تطابق با فرم ساده شده‌ی معادله‌ی خیرگی‌اند. با این‌وجود به‌دلیل آن‌که این شاخص‌ها اغلب برای منابع پراکنده‌ی مختلفی در نظر گرفته نشده‌اند، منتهی به نتایجی دقیق نشده و همین امر علت به‌کارگیری شاخص‌های پیشرفته‌تری از جمله DGP است. (Ayoub, 2019). وینولد و کریستوفرسن^{۱۰} در سال 2006 شاخص پیشامد وقوع خیرگی (DGP) را ارائه دادند. پیشامد وقوع خیرگی شاخصی کوتاه‌مدت، محلی و تک‌دامنه است. DGP بیان‌گر احتمال ایجاد مزاحمت برای یک شخص توسط تابش خیره‌کننده است. شاخص‌های پیش از DGP تنها بر نسبت کنتراست بین میانگین درخشندگی پس‌زمینه و درخشندگی منبع نور متمرکز بودند اما DGP علاوه بر موارد پیش ارزیابی میزان روشنایی که توسط ناظر دریافت می‌شود روشنایی عمودی (E_v) را نیز دخیل می‌کند. به‌همین دلیل DGP ارتباطی قوی‌تر

با ادراک کاربر نسبت به‌خیرگی نشان می‌دهد (Carlucci, Causone, De Rosa, & Pagliano, 2015; Uribe, Vera, Bustamante, McNeil, & Flamant, 2019). به بیان دیگر ترکیبی از روشنایی عمودی در سطح چشم و درخشندگی منبع روشنایی، ارزیابی شده در همان نقطه است که ارتباط محکم‌تری با عدم آسایش ناشی از خیرگی را نشان می‌دهد. همانند سایر شاخص‌ها، لازمه‌ی یافتن مقدار DGP به درخشندگی منبع، اندازه و موقعیت نسبی آن است (Ayoub, 2019). خیرگی توسط DGP به چهار دسته قابل تفکیک است؛ نامحسوس (کم‌تر از 0.35)، محسوس (بین 0.35 و 0.40)، آزاردهنده (بین 0.40 تا 0.45) و غیر قابل تحمل (بیش‌تر از 0.45) (Yu, Wennersten, & Leng, 2020a; Zomorodian & Tahsildoost, 2017). شاخص DGP توسط داده‌های تجربی و با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده از شرایطی که فضاهای اداری با استفاده از نور روز روشنایی یافته‌اند توسعه یافته و ثابت شده است که بهترین عملکرد را در میان شاخص‌های مختلف خیرگی از خود نشان می‌دهد چراکه: الف) بسیار در ارتباط با پاسخ کاربر در رابطه با درک وی از خیرگی است؛ ب) با در نظرگیری روشنایی عمودی در سطح چشم، روشنایی موجود در کل صحنه را در نظر می‌گیرد و نه فقط کنتراست میان منبع خیرگی و پس‌زمینه‌ی آن و؛ ج) برخلاف سایر شاخص‌های خیرگی نارضایتی ناظر را به‌وسیله‌ی بیان داشتن میزان خیرگی برحسب درصد ناظرانی که در شرایط درخشندگی معین احساس عدم آسایش می‌کنند (Carlucci et al., 2015; Huang, Fan, & Zhai, 2021; Zomorodian & Tahsildoost, 2017).

⁹ DAYSIM

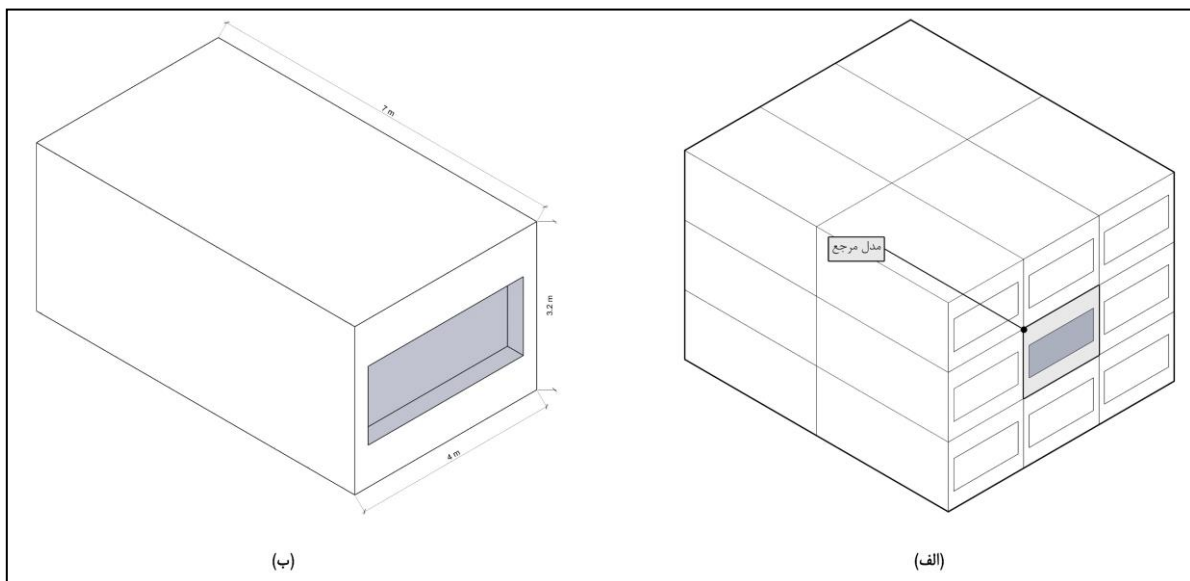
⁷ EnergyPlus

⁸ Radiance

3-1 مدل مرجع

فرض بر آن است که اتاق اداری مرجع، در شهر اصفهان در یکی از طبقات میانی ساختمانی چندطبقه واقع شده و پیرامون 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, Wennersten, & Leng, 2020b)، 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 [نگارنده]

3-1-1 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 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.

3-1-2 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 بعد از ظهر 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.

3-1-3 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 داده‌های اقلیمی پایگاه هوایی بدر اصفهان، از نوع «نمونه سال هواشناختی ایران^{۱۰}» 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 1 آورده شده است.

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

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	20٪
	سقف	70٪
	دیوار داخلی	50٪
نسبت پنجره به دیوار		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

2-3 تنظیمات شبیه‌سازی

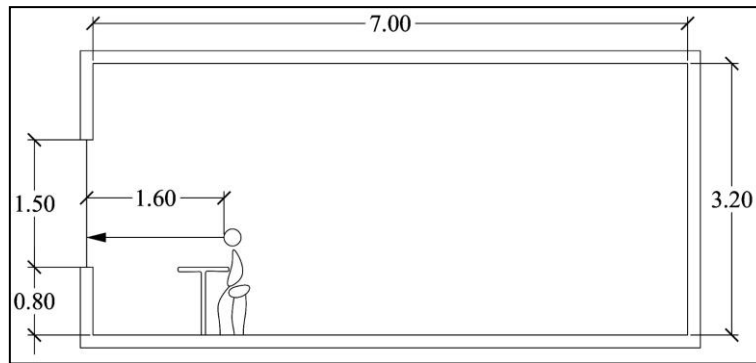
شبیه‌سازی احتمال بروز خیرگی ناشی از نور روز (DGP) نوعی شبیه‌سازی لحظه‌ای است. بنابراین لازم است در هر جهت‌گیری بدترین حالت ممکن به لحاظ وقوع خیرگی ناشی از نور روز، یعنی حالتی که احتمال نفوذ نور خورشید به داخل ساختمان در بالاترین حد ممکن قرار دارد، شبیه‌سازی شود. بدین منظور با اتکا به نتایج به دست آمده از (Reffat & Ahmad, 2020) و مورد آزمون قرار دادن آن‌ها توسط نگارنده، بدترین حالت ممکن برای هر جهت‌گیری تعیین شده است (جدول 2). از سوی دیگر در شبیه‌سازی احتمال بروز خیرگی ناشی از نور روز تعیین موقعیت قرارگیری کاربر، ارتفاع چشمان و سوی دید او ضروری است. در این

حالت نیز، تعیین بدترین شرایط ممکن به جهت احتمال وقوع خیرگی حائز اهمیت است. بدین ترتیب فرض می‌شود کاربر در فاصله‌ی نزدیک به پنجره (1.6 متری از پنجره) نشسته است و میز کاری به ارتفاع 80 سانتی‌متر روبه‌روی او قرار گرفته باشد. در این حالت ارتفاع چشمان برابر با 115 سانتی‌متر فرض شده و سوی دید کاربر به‌طور مستقیم رو به پنجره است.

جدول 2 محتمل‌ترین حالت وقوع خیرگی مطابق با هر جهت‌گیری (نگارنده با اتکا به (Reffat & Ahmad, 2020))

جهت‌گیری	تاریخ	زمان
جنوبی	21 دسامبر	12:00 ظهر
غربی	21 دسامبر	15:00 بعدازظهر
شمالی	21 ژوئن	15:00 بعدازظهر
شرقی	21 دسامبر	09:00 صبح

¹⁰ Iran Typical Meteorological Year (ITMY)



نگاره 2 موقعیت و سوی دید کاربر در شبیه‌سازی احتمال بروز خیرگی [نگارنده]

3-3 گزینه‌های مورد بررسی طراحی

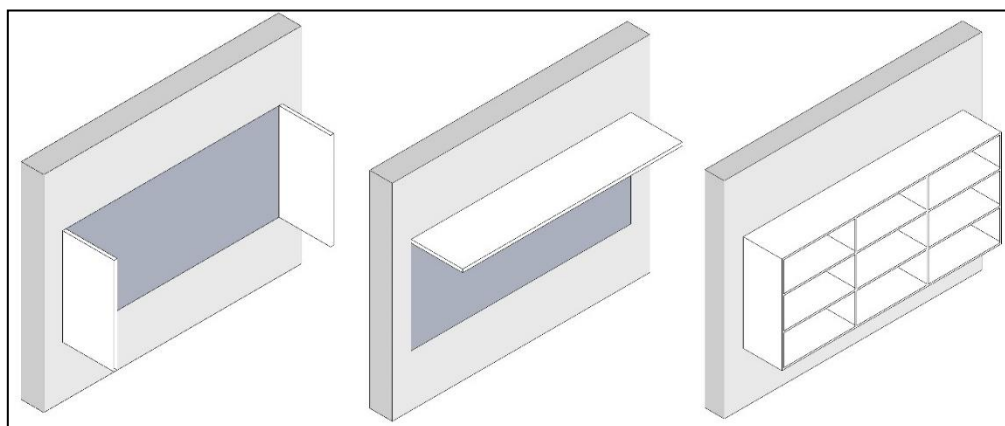
در این پژوهش دو مؤلفه به‌عنوان متغیرهای اصلی طراحی یا به‌عبارت دیگر گزینه‌های مورد بررسی طراحی در نظر گرفته شده‌اند؛ سیستم‌های سایه‌انداز و شیشه. شایان ذکر است به‌دلیل آن‌که نتایج حاصل از ترکیب سیستم‌های مختلف سایه‌انداز و شیشه در هر جهت‌گیری تنها با خود قابل قیاس است، متغیر جهت‌گیری به‌عنوان یک متغیر فرعی طراحی به‌شمار 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 بوده‌ است. بدین‌ترتیب علاوه‌بر حالت پایه (بدون سایه‌انداز)، دو سایه‌اندازهای شانه تخم‌مرغی، پیش‌آمده‌ی عمودی و

پیش‌آمده‌ی افقی به‌همراه شیشه‌های دوجداره‌ی شفاف و دوجداره‌ی رنگی (سبز) برای پروسه‌ی شبیه‌سازی انتخاب شده‌اند.

3-3-1 سیستم‌های سایه‌انداز

انتخاب مشخصه‌های هندسی سیستم‌های سایه‌انداز مورد بررسی با بررسی کاتالوگ‌های فنی - معمارانه‌ی شرکت‌های تولیدکننده و پژوهش‌های پیشین انتخاب شده‌ است. شبیه‌سازی هر سه نوع سایه‌انداز مورد بررسی در چهار پیکربندی با عمق‌های 0.4 متر، 0.6 متر، 0.8 متر و 1 متر صورت پذیرفته‌است. لازم به ذکر است به‌منظور قیاس صحیح میان گزینه‌های طراحی مشخصه‌های ساختاری تمامی سایه‌اندازهای مورد بررسی یک‌سان در نظر گرفته شده‌است.



نگاره 3 ترسیم ایزومتریک سایه‌اندازهای مورد بررسی پژوهش به‌ترتیب از چپ؛ سایه‌انداز پیش‌آمده‌ی عمودی، سایه‌انداز پیش‌آمده‌ی افقی و سایه‌انداز شانه تخم‌مرغی [نگارنده]

3-2-3 شیشه‌ها

چنانچه پیش‌تر ذکر آن رفت، نسبت پنجره به دیوار از عوامل اساسی در میزان دریافت نور در فضاهای داخلی و بالتبع احتمال افزایش خیرگی ناشی از نور روز است. بدین ترتیب مطابق با فرضیات مسئله و به عنوان 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.

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}	
2.142	U-Factor (W/m ² ·K)	شیشه‌ی دو جداره‌ی رنگی (سبز) شکاف هوا - (DGR)
0.361	SHGC	
0.443	T _{vis}	

4- یافته‌ها و گفتمان

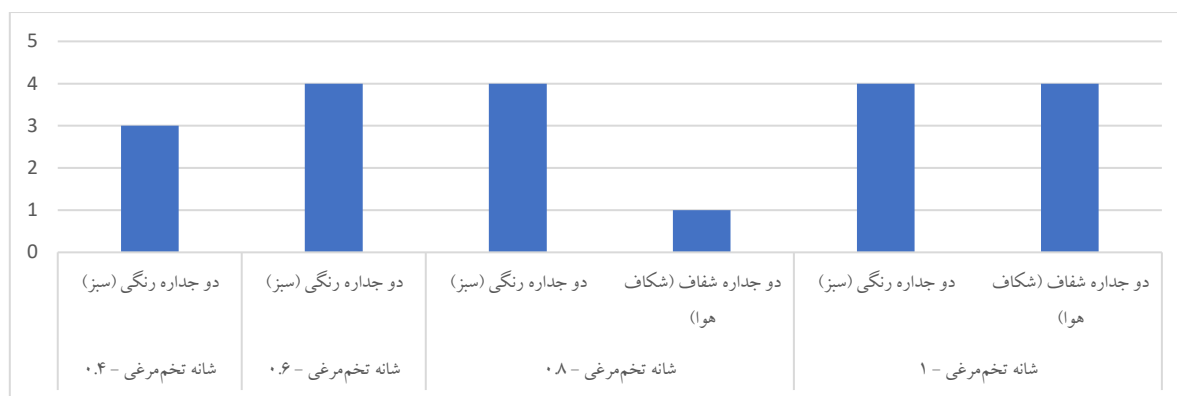
در این پژوهش، 26 گزینه‌ی طراحی منحصر به فرد، در چهار جهت‌گیری مختلف، از نظر میزان احتمال خیرگی ناشی از نور روز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پنج گزینه‌ی برتر طراحی در هر جهت‌گیری در جدول 4 آورده شده است.

جدول 4 گزینه‌های برتر طراحی، بدترین گزینه‌ی طراحی و اختلاف آن‌ها در جهت‌گیری‌های مورد بررسی [نگارنده]

سایه‌انداز	شیشه	ج.ج.	DGP	ΔDGP (%)	ر.ت.ج.	ج.ج.
شانه تخم‌مرغی - 1	دو جداره رنگی (سبز)	جنوبی	۰.۳۵۴۳۸۷	۰.۶۴۵۶۱۳	۳۰	۱
شانه تخم‌مرغی - 0.8	دو جداره رنگی (سبز)	جنوبی	۰.۳۹۳۳۴۲	۰.۶۰۶۶۵۸	۳۷	۲
شانه تخم‌مرغی - 1	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	جنوبی	۰.۴۳۵۴۹۵	۰.۵۶۴۵۰۵	۵۵	۳
شانه تخم‌مرغی - 0.6	دو جداره رنگی (سبز)	جنوبی	۰.۴۳۹۵۴۵	۰.۵۶۰۴۵۵	۵۸	۴
شانه تخم‌مرغی - 0.8	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	جنوبی	۰.۴۹۶۴۹۲	۰.۵۰۳۵۰۸	۶۴	۵
-	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	جنوبی	1	-	103	26
شانه تخم‌مرغی - 1	دو جداره رنگی (سبز)	غربی	۰.۲۷۶۹۷۸	۰.۷۲۳۰۲۲	۳	۱
شانه تخم‌مرغی - 0.8	دو جداره رنگی (سبز)	غربی	۰.۲۸۸۸۲۹	۰.۷۱۱۱۷۱	۵	۲
شانه تخم‌مرغی - 0.6	دو جداره رنگی (سبز)	غربی	۰.۳۰۰۱	۰.۶۹۹۹	۹	۳
شانه تخم‌مرغی - 1	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	غربی	۰.۳۱۱۱۹۹	۰.۶۸۸۸۰۱	۱۱	۴
شانه تخم‌مرغی - 0.4	دو جداره رنگی (سبز)	غربی	۰.۳۱۹۵۲	۰.۶۸۰۴۸	۱۵	۵
پیش‌آمده افقی - 0.4	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	غربی	1	-	104	26
شانه تخم‌مرغی - 1	دو جداره رنگی (سبز)	شمالی	۰.۲۶۱۷۳۷	۰.۱۸۱۹۸۸	۱	۱
شانه تخم‌مرغی - 0.8	دو جداره رنگی (سبز)	شمالی	۰.۲۷۱۲۵۴	۰.۱۷۲۴۷۱	۲	۲
شانه تخم‌مرغی - 0.6	دو جداره رنگی (سبز)	شمالی	۰.۲۷۸۳۵۳	۰.۱۶۵۳۷۲	۴	۳
شانه تخم‌مرغی - 0.4	دو جداره رنگی (سبز)	شمالی	۰.۲۹۱۸۳۲	۰.۱۵۱۸۹۳	۷	۴
شانه تخم‌مرغی - 1	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	شمالی	۰.۲۹۷۶۵۵	۰.۱۴۶۰۷	۸	۵
-	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	شمالی	۰.۴۴۳۷۲۵	-	59	26
شانه تخم‌مرغی - 1	دو جداره رنگی (سبز)	شرقی	۰.۲۹۰۷۲۶	۰.۳۵۲۳۶۱	۶	۱
شانه تخم‌مرغی - 0.8	دو جداره رنگی (سبز)	شرقی	۰.۳۰۹۰۷۸	۰.۳۳۴۰۰۹	۱۰	۲
شانه تخم‌مرغی - 0.6	دو جداره رنگی (سبز)	شرقی	۰.۳۲۷۱۵۲	۰.۳۱۵۹۳۵	۲۰	۳
شانه تخم‌مرغی - 1	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	شرقی	۰.۳۳۳۸۴۷	۰.۳۰۹۲۴	۲۵	۴
شانه تخم‌مرغی - 0.4	دو جداره رنگی (سبز)	شرقی	۰.۳۵۷۵۰۴	۰.۲۸۵۵۸۳	۳۲	۵
-	دو جداره شفاف (شکاف هوا)	شرقی	۰.۶۴۳۰۸۷	-	79	26

چنانچه از مذاقه در جدول 4 و نگاره 4 بر می آید، در میان گزینه‌های برتر در جهت‌گیری‌های مختلف تنها سایه‌انداز شانه تخم‌مرغی استفاده شده است. در این میان سایه‌انداز شانه تخم‌مرغی با عمق 1 متر با 8 بار تکرار، سایه‌انداز شانه تخم‌مرغی با عمق 0.8 متر با 5 بار تکرار، سایه‌انداز شانه تخم‌مرغی با عمق 0.6 متر با 4 بار تکرار و سایه‌انداز شانه

تخم‌مرغی با عمق 0.4 متر با 3 بار تکرار به ترتیب بیش‌ترین تکرار را در میان سایه‌اندازهای مختلف داشته‌اند. از سوی دیگر در میان گزینه‌های برتر جهت‌گیری‌های مختلف، شیشه‌های دوجداره‌ی شفاف و دوجداره‌ی رنگی (سبز) به ترتیب 5 بار و 15 بار تکرار شده‌اند.

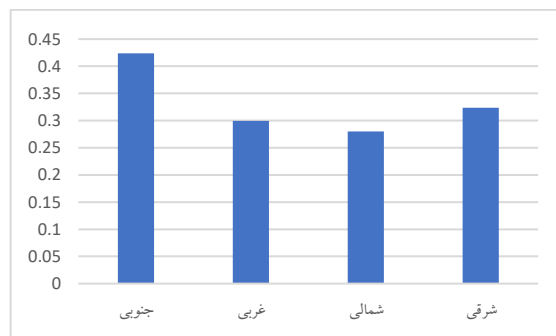


نگاره 4 پر تکرارترین ترکیب‌ها در جهت‌گیری‌های مختلف [نگارنده]

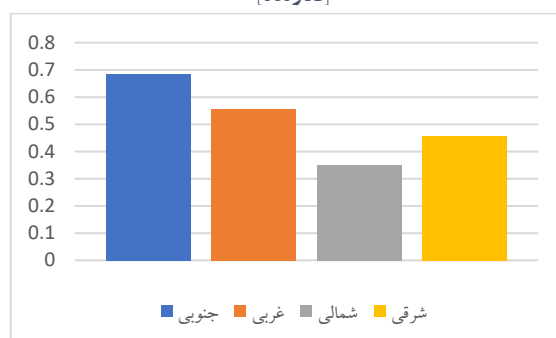
از سوی دیگر مقایسه‌ی گزینه‌های برتر طراحی با بدترین گزینه‌ی طراحی در هر جهت‌گیری در جدول 4 آورده شده است. بدترین گزینه‌ی طراحی در هر جهت‌گیری، گزینه‌ای است که بیش‌ترین مقدار عددی از شاخص DGP در آن جهت‌گیری را به خود اختصاص داده باشد. بدین ترتیب معین می‌گردد در جهت‌گیری‌های جنوبی، شمالی و شرقی ترکیب شیشه‌ی دوجداره‌ی شفاف و عدم وجود سایه‌انداز و در جهت‌گیری غربی ترکیب سایه‌انداز پیش‌آمده‌ی افقی 0.4 متری با شیشه‌ی دوجداره‌ی شفاف، بدترین گزینه‌ی طراحی است. قیاس گزینه‌های برتر طراحی با حالت پایه نشان‌دهنده‌ی کاهش قابل توجه احتمال بروز خیرگی ناشی از نور روز در جهت‌گیری‌های جنوبی و غربی است. به صورت مشابه در جهت‌گیری‌های شمالی و شرقی نیز احتمال بروز خیرگی ناشی از نور روز کاهش یافته است اما این مقدار به صورت محسوسی پایین‌تر از ارقام مشابه در جهت‌گیری‌های جنوبی و غربی است.

نگاره 5 و نگاره 6 به ترتیب معرف میانگین به دست آمده از سنجش شاخص DGP در میان گزینه‌های برتر طراحی و میانگین به دست آمده از سنجش شاخص DGP در میان تمامی گزینه‌های ممکن طراحی هر جهت‌گیری است. به عبارت دیگر نگاره‌ی مقدم به عملکرد گزینه‌های برتر طراحی در کنترل خیرگی ناشی از نور روز و نگاره‌ی مؤخر به عملکرد هر یک از جهت‌گیری‌ها در رابطه با خیرگی ناشی از نور روز پرداخته‌اند. بررسی نگاره 5 نشان‌گر آن است که بهترین عملکرد گزینه‌های برتر طراحی در مواجهه با نور روز و کاهش احتمال بروز خیرگی ناشی از آن به ترتیب مربوط به جهت‌گیری‌های شمالی، غربی، شرقی و جنوبی می‌شود. از طرف دیگر بررسی نگاره 6 روشن می‌سازد چالش‌برانگیزترین جهت‌گیری‌ها از نظر مواجهه با خیرگی ناشی از نور روز به ترتیب جهت‌گیری‌های جنوبی، غربی، شرقی و شمالی هستند. از سوی دیگر با مقایسه‌ی نگاره‌های مذکور هویدا می‌گردد گزینه‌های برتر طراحی موفق به کاهش احتمال بروز خیرگی به میزان 26 درصد در جبهه‌ی

جنوبی، 25.5 درصد در جبهه‌ی غربی، 6 درصد در جبهه‌ی شمالی و 13 درصد در جبهه‌ی شرقی شده‌اند.



نگاره 5 میانگین شاخص DGP در میان گزینه‌های برتر طراحی [نگارنده]



نگاره 6 میانگین شاخص DGP در میان تمامی گزینه‌های طراحی [نگارنده]

5- نتیجه‌گیری

پژوهش پیش رو به منظور بررسی تأثیر سیستم‌های کنترل‌کننده‌ی نور روز بر کاهش پیشامد رخداد خیرگی در ساختمان‌های اداری شهر اصفهان به‌عنوان نماینده‌ی از شهرهای اقلیم گرم‌وخشک، با هدف کاهش سطح صورت گرفته‌است. بدین‌منظور ترکیب‌های مختلفی از ترکیب سه سایه‌انداز و یک‌حالت عدم استفاده از سایه‌انداز با 2 گونه شیشه‌ی مختلف در چهار جهت‌گیری اصلی مورد پژوهش قرار گرفته و در هر جهت‌گیری 26 سیستم کنترل‌کننده‌ی نور روز منحصر به فرد مورد بررسی قرار گرفته‌است. یافته‌های به‌دست‌آمده از تحلیل نتایج بیان‌گر آنند که؛

- استفاده از شیشه‌ی دوجداره‌ی رنگی (سبز) در ساختمان‌های اداری شهرهای اقلیم گرم‌وخشک

آشکارا می‌تواند پیشامد رخداد خیرگی در فضاها را کاهش دهد.

- در میان انواع سیستم‌های سایه‌اندازی مورد بررسی، سیستم سایه‌انداز شانه تخم‌مرغی در پیکربندی‌های مختلفش، نسبت به سایر سیستم‌های سایه‌اندازی، آشکارا عملکرد بهتری در بهبود شرایط آسایش بصری فضاها را داخلی به‌لحاظ کاهش پیشامد رخداد خیرگی دارد.

- مؤثرترین ترکیب از سیستم‌های سایه‌انداز و شیشه‌های مورد بررسی به‌لحاظ کاهش پیشامد رخداد خیرگی ناشی از نور روز، ترکیب پیکربندی‌های مختلف سایه‌انداز شانه تخم‌مرغی و شیشه‌ی دوجداره‌ی رنگی (سبز) است.

- مقایسه‌ی گزینه‌های برتر طراحی، عملکرد برتر و نسبتاً مشابه سیستم‌های کنترل‌کننده‌ی نور روز برتر جهت‌گیری‌های جنوبی و غربی را نسبت به سایر جهت‌گیری‌ها از نگاه کاهش پیشامد رخداد خیرگی ناشی از نور روز هویدا می‌سازد.

پژوهش حاضر توانسته با بررسی گزینه‌های مختلف طراحی، مؤثرترین سیستم‌های کنترل‌کننده‌ی نور روز برای ساختمان‌های اداری اقلیم گرم‌وخشک را به‌منظور کنترل پیشامد رخداد خیرگی ناشی از نور روز معرفی نماید. با این‌وجود ضروری می‌نماید در پژوهش‌های آتی با در نظرگیری سایر معیارهای معمارانه و بررسی انواع نیازهای کاربر به‌هنگام حضور در فضاها داخلی، پژوهشی گسترده‌تر و چندبعدی در این زمینه صورت پذیرد.

Environment, 204, 108146.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108146>

- Huang, L., Fan, C., & Zhai, Z. (2021). A graphical multi-objective performance evaluation method with architect-friendly mode. *Frontiers of Architectural Research*, 10(2), 420-431. doi:10.1016/j.foar.2020.12.004

- Pilechiha P., Mahdaveinejad M., Pour Rahimian F., Carnemolla P., Seyedzadeh S. (2020). Multi-objective optimisation framework for designing office windows: quality of view, daylight and energy efficiency, *Applied Energy* 261.

- Rashwan, A., El Gizawi, L., & Sheta, S. (2019). Evaluation of the effect of integrating building envelopes with parametric patterns on daylighting performance in office spaces in hot-dry climate. *Alexandria Engineering Journal*, 58(2), 551-557. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.05.007>

- Reffat, R. M., & Ahmad, R. M. (2020). Determination of optimal energy-efficient integrated daylighting systems into building windows. *Solar Energy*, 209, 258-277. doi:<https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.086>

Tabadkani, A., Valinejad Shoubi, M., Soflaei, F., & Banihashemi, S. (2019). Integrated parametric design of adaptive facades for user's visual comfort. *Automation in Construction*, 106. doi:10.1016/j.autcon.2019.102857.

- Uribe, D., Vera, S., Bustamante, W., McNeil, A., & Flamant, G. (2019). Impact of different control strategies of perforated curved louvers on the visual comfort and energy consumption of office buildings in different climates. *Solar Energy*, 190, 495-510. doi:10.1016/j.solener.2019.07.027

- 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

- Yu, F., Wennersten, R., & Leng, J. (2020a). A state-of-art review on concepts, criteria, methods and factors for reaching 'thermal-daylighting balance'. *Building and Environment*, 186. doi:10.1016/j.buildenv.2020.107330

- Yu, F., Wennersten, R., & Leng, J. (2020b). 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>

- Zomorodian, Z. S., & Tahsildoost, M. (2017). Assessment of window performance in classrooms by long term spatial comfort metrics. *Energy and Buildings*, 134, 80-93. doi:10.1016/j.enbuild.2016.10.018

6- منابع

- ثقفی، محمودرضا و احدی، امین الله، (1394) طراحی معماری بر مبنای تحلیل روشنایی طبیعی با نرم افزارهای اکوتکت، رادیانس و دیسیم، جهاد دانشگاهی واحد اصفهان

- پوراحمدی م، پوراحمدی م.ع، مظفر ف. 1398. ارزیابی شاخصه‌های خیرگی در ساختمان‌های آموزشی اقلیم گرم و خشک ایران. نامه معماری و شهرسازی، 23: 29-49.

- پوراحمدی م.ع، پوراحمدی م، مظفر ف. 1398. بهینه‌سازی بازشوهای ساختمانی بر اساس عملکرد خیرگی در ساختمان‌های آموزشی اقلیم گرم و خشک ایران. معماری و شهرسازی پایدار، 13: 113-128.

- 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

Carlucci, S., Causone, F., De Rosa, F., & Pagliano, L. (2015). A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 1016-1033. doi:10.1016/j.rser.2015.03.062

- Chan, Y.-C., & Tzempelikos, A. (2013). Efficient venetian blind control strategies considering daylight utilization and glare protection. *Solar Energy*, 98, 241-254. doi:10.1016/j.solener.2013.10.005

- Chan Y.C, Tzempelikos A. 2015. Daylighting and energy analysis of multi-sectional facades. *Energy Procedia* 78, 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015, pp: 189 – 194.

- Eltaweel, A., & Su, Y. (2017). Parametric design and daylighting: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1086-1103. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.011>

- Eltaweel, A., Su, Y., Lv, Q., & Lv, H. (2020). Advanced parametric louver systems with bi-axis and two-layer designs for an extensive daylighting coverage in a deep-plan office room. *Solar Energy*, 206, 596-613. doi:<https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.06.035>

- Ganesh, G. A., Sinha, S. L., Verma, T. N., & Dewangan, S. K. (2021). Investigation of indoor environment quality and factors affecting human comfort: A critical review. *Building and*

The effect of daylight control systems on reducing glare in office buildings: A case study of Isfahan

Abstract

Daylighting brings many advantages for both building and its users. However, by achieving high levels of daylight users may experience visual discomfort as they are now in a high-contrast space with many possible reflections from different surface. Therefore, the amount of daylight in the interior space and how it affects the users indicates visual efficiency. This requires special attention during the design stage for the building facade and especially the window system. Daylight control systems, whether in the form of shading systems, glazings or a combination of them, are an architectural and passive solution to prevent visual discomfort and, in particular, glare for the office buildings users. This may have more impact in climates such as hot and dry climates, where intense sunlight is one of their inherent components. The presented study seeks to find the most optimal configuration of the daylight control system for the office buildings of Isfahan in the cardinal orientations. Findings show the impressive effect of green double glazing, different configurations of the egg-shaped shade and a combination of the two in different orientations.

Keywords: Shading system, Office buildings, Visual comfort, glare, Hot-Arid Climate, Isfahan