

نشریه علمی نامه معماری و شهرسازی، ۱۶(۴۱): ۷۳-۹۷

DOI: 10.30480/AUP.2022.4239.1922

نوع مقاله: پژوهشی

## بهینه‌سازی نورگیر سقفی با هدف تأمین روشنایی و کاهش مصرف انرژی در فضاهای یکپارچه فروشگاهی شهر تهران بررسی موردی: فروشگاه زنجیره‌ای شهروند\*

نگین توفیقی

کارشناس ارشد معماری و انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران  
(نویسنده مسئول مکاتبات)

E-mail: negintofighi@gmail.com

مجتبی مهدوی‌نیا

استادیار گروه علم و فناوری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران

شهریار حبیبی

استادیار گروه علم و فناوری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران

### چکیده

به‌کارگیری نورگیرهای سقفی در فروشگاه‌های بزرگ، با توجه به تقاضای بالای انرژی این کاربری و پتانسیل بهره‌مندی آن از نور طبیعی، می‌تواند باعث کاهش مصرف انرژی و انتقال نور روز به فضاهای عمیق‌تر شود. این پژوهش به بهینه‌سازی مشخصات نورگیر سقفی و جانبی با هدف تأمین روشنایی مناسب و کاهش مصرف انرژی در کاربری فروشگاه‌های و به‌طور خاص شعبه آل احمد فروشگاه شهروند در شهر تهران می‌پردازد. به منظور دستیابی به این هدف، پس از تعریف پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد انرژی و روشنایی در دو مدل دارای نورگیر سقفی و نورگیر جانبی به کمک فرایند بهینه‌سازی دو هدفه، مشخصات بهینه نورگیرها مشخص شد. در نهایت جهت بررسی میزان تأثیرگذاری متغیرهای بررسی شده بر خروجی، تحلیل حساسیت انجام شد. مطابق نتایج به دست آمده، نورگیر سقفی در نسبت مساحت سطح نورگذر خود به مساحت ساختمان در بازه ۹۷٪ تا ۰۹٪ با کمترین ارتفاع دیواره‌ها و شیشه دوجداره با ضریب گسیلندگی ۰/۱۰، و نورگیر جانبی با ارتفاع زیاد در جبهه شمالی و جنوبی و ارتفاع کم در جبهه شرقی و غربی با شیشه دوجداره با ضریب گسیلندگی ۰/۱۰ بهترین عملکرد را از نظر نور و انرژی داراست. همچنین نورگیر سقفی در مقایسه با نورگیر جانبی در شرایط یکسان، با ۳۵٪ سطح شیشه کمتر اما با ۱۲ کیلووات ساعت بر مترمربع شدت مصرف انرژی بیشتر، سطح مشابهی از نور روز با یکنواختی بیشتر فراهم می‌کند.

**کلیدواژه‌ها:** بهینه‌سازی، نور روز، طراحی پارامتریک، فروشگاه، نورگیر سقفی

\* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگین توفیقی با عنوان «بهینه‌سازی نورگیر سقفی با هدف تأمین روشنایی و کاهش مصرف انرژی در فضاهای یکپارچه فروشگاهی شهر تهران (نمونه موردی: فروشگاه زنجیره‌ای شهروند)» است که با راهنمایی دکتر مجتبی مهدوی‌نیا و دکتر شهریار حبیبی در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه هنر انجام شده است.

## مقدمه

به کارگیری راهکارهای غیرفعال و استفاده از منابع تجدیدپذیر در راستای طراحی پایدار به خصوص در بخش ساختمان یکی از راه‌های مقابله با عواقب بحران ناشی از محدود بودن سوخت‌های فسیلی و تولید گازهای گلخانه‌ای است. انرژی خورشیدی در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، نقش بسزایی در تأمین نیازهای ساختمان به‌ویژه روشنایی دارد. نور روز یکی از اجزای اساسی طراحی ساختمان خورشیدی غیرفعال است. بهره‌مندی از نور طبیعی در ساختمان منجر به بهبود خلق و خوی ساکنان و افزایش بهره‌وری در محل کار می‌شود (Al-Ashwal & Hassan, 2018). روشنایی روز سقفی<sup>۱</sup> که با اصطلاحات نورگیری از بالا<sup>۲</sup> و نورگیری از سقف<sup>۳</sup> نیز نام برده می‌شود، طبق تعریف راهبردی است که اجازه می‌دهد نور روز از بالا، از طریق یک دهانه دارای سطح نورگذر در سقف، که فضای داخلی را از باد و تغییرات جوی محافظت می‌کند، وارد فضا شود (Phillips, 2004). علاوه بر این، طیف گسترده‌ای از راهبردهای نورگیری از بالا به سیستم اجازه می‌دهد تا هم جهت زیبایی و هم از منظر مصرف انرژی مورد استفاده قرار گیرد (Gago et al., 2015). نورگیرهای سقفی می‌توانند شرایط نور روز یک فضا را بهبود بخشند زیرا در نورپردازی فضاها از سطوح نورگذر عمودی کارا تر هستند و به‌طور کلی سطح روشنایی بالاتری را فراهم می‌کنند (Johnsen et al., 2006). نورگیری از سقف می‌تواند بسیاری از مشکلات توزیع روشنایی نورگیرهای جانبی را برطرف کند و عمق طرح دیگر محدودیتی ندارد (Baker & Steemers, 2002). محدودیت اصلی نورگیرهای سقفی در مقایسه با فواید انرژی آن‌ها سطح بالایی از هزینه‌ها است. محدودیت‌های دیگر دانش و آگاهی ناکافی، نشت از نورگیرهای سقفی و عوارض سیستم‌های کنترل روشنایی الکتریکی است (Lawrence & Roth, 2008).

ساختمان‌های تجاری سهم بزرگی در مصرف انرژی الکتریکی در میان سایر کاربری‌ها دارند. با استفاده از نور روز به عنوان جایگزین نور الکتریکی برای روشنایی ساختمان‌ها، همه این مسائل می‌توانند به‌طرز مطلوبی تحت تأثیر قرار گیرند. استفاده از نورگیرهای سقفی در فروشگاه‌های بزرگ، با توجه به تقاضای بالای انرژی این کاربری در کشور ایران و همچنین پتانسیل بهره‌مندی آن از نور طبیعی، می‌تواند باعث کاهش مصرف انرژی و انتقال نور روز به فضاهای عمیق‌تر آن شود. بهره‌گیری از نور طبیعی در این کاربری علاوه بر تأثیر در مصرف انرژی و تأمین روشنایی طبیعی، منجر به افزایش قدرت فروش، ایجاد محیطی رضایت‌بخش و جذب‌کننده برای خریداران، افزایش ساعات وقت‌گذرانی آنان در فروشگاه، همچنین افزایش بازده کارکنان و ارتقاء سلامت روان آنان می‌شود (Nemri & Krarti, 2005; Okura et al., 2000).

انجام پژوهشی در زمینه استفاده از نورگیرهای سقفی در کاربری فروشگاه‌ها می‌تواند شرایط و امکان بهره‌مندی این ساختمان‌ها از روشنایی روز و تأثیر آن بر مصرف انرژی را ارزیابی کند. از این رو در پژوهش پیش رو طی روندی پارامتریک، به بررسی و مقایسه دو حالت نورگیری متداول در فروشگاه‌ها شامل نورگیری از سقف و نورگیری از نورگیرهای جانبی و بهینه‌سازی مشخصات کالبدی و حرارتی آن‌ها با هدف کاهش مصرف انرژی و تأمین نور روز کافی در یکی از شعب یک طبقه فروشگاه شهروند در شهر تهران پرداخته می‌شود. بررسی پنجره با انواع مشخصات حرارتی و روشنایی و استفاده از شاخص روشنایی فضایی مفید نور روز<sup>۴</sup> (sUDI) جهت ارزیابی نور روز بدون ایجاد خطر خیرگی از نوآوری‌های این پژوهش است. همچنین بهینه‌سازی در این زمینه برای اولین بار به کمک بهینه‌ساز والسی که از الگوریتم NSGA-II<sup>۵</sup> بهره می‌برد انجام می‌شود.

## پیشینه تحقیق

نورگیرها مدتی است در صنایع معماری و ساخت‌وساز مورد استفاده قرار گرفته‌اند و محققان پتانسیل آن‌ها را در طراحی پایدار ساختمان ارزیابی و تأیید کرده‌اند. یک ساختمان دارای نورگیر سقفی تنها در صورت استفاده

از سیستم کنترل روشنایی الکتریکی می‌تواند کل مصرف انرژی ساختمان را کاهش دهد و بدون آن مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی ساختمان از ساختمان بدون نورگیر سقفی بیشتر می‌شود. همچنین مقدار ضریب انتقال حرارت، ضریب سایه روشن<sup>۶</sup>، ضریب کسب گرمای خورشیدی<sup>۷</sup> و ابعاد دهانه از پارامترهای مهم سیستم نورگیرهای سقفی هستند (Yoon et al., 2008). به گفته آراسته (Arasteh, 1985) کاربرد نورگیر سقفی در مناطق با دمای بالا بسیار کم است و معمولاً با افزایش بار سرمایشی همراه است. جهت تعیین تأثیر سالانه یک سیستم نورگذر می‌بایست تأثیر سیستم بر بارهای گرمایش، سرمایش و روشنایی به‌طور هم‌زمان بررسی شود (Treado et al., 1984). استفاده از نور روز از طریق نورگیرهای سقفی می‌تواند به میزان قابل توجهی تقاضای انرژی برای روشنایی الکتریکی (Sather, 2014) و تقاضای سرمایش غیرمستقیم تولید شده توسط لامپ‌ها را کاهش دهد، به شرطی که اثر بیش‌گرمایش آن کنترل شود (Wang et al., 2013).

پژوهش‌های متعددی در زمینه ارزیابی صرفه‌جویی انرژی و عملکرد روشنایی مربوط به پیکربندی انواع نورگیرهای سقفی انجام شده است. ارلندسون (Erlendsson, 2014) استفاده از نورگیر سقفی با نسبت مساحت سطح نورگذر نورگیر به مساحت ساختمان<sup>۸</sup> برابر ۴ تا ۱۰ درصد را درصدی بهینه برای نور روز بدون کاهش انرژی توصیه کرده است. در پژوهشی دیگر یک طرح نورگیر سقفی با نسبت مساحت ۷٪ به مساحت ساختمان بر روی سقف یک فضای اداری بررسی شد. این طرح ثابت کرد که نور روز را در فضای زیرین خود افزایش می‌دهد و صرفه‌جویی در انرژی روشنایی بالاتری در نسبت‌های مختلف سطح نورگذر ایجاد می‌کند (Ghobad et al., 2012). فانگ و چو (Fang & Cho, 2018) به بررسی مؤثرترین عوامل طراحی نورگیر سقفی و نورگیر زیرسقفی بر عملکرد ساختمان به کمک شبیه‌سازی ساختمان به روش پارامتریک با استفاده از گرس‌هاپر<sup>۹</sup> و هانی‌بی<sup>۱۰</sup> پرداخته‌اند. طرح‌های موفق شامل نسبت نورگیر سقفی به مساحت ساختمان برابر ۳٪ و دور از محیط ساختمان، عمق کم ساختمان، درصد بالای نورگیر زیرسقفی در جهت شمالی و جنوبی و درصد پایین در جهت شرق و غرب است. دی‌لوکا و همکاران (De Luca et al., 2018) در یک فضای تجاری یک طبقه به ارزیابی عملکرد نورگیر سقفی پرداخته‌اند. آن‌ها ثابت کردند که تعبیه نورگیر سقفی می‌تواند ۱/۹٪ تا ۶/۵۸٪ صرفه‌جویی انرژی حاصل کند. نورگیرهای سقفی متداول در ترکیب با پنجره‌های جانبی منجر به افزایش مصرف انرژی می‌شود، اما استفاده از دیفیوزرها و شیشه پیشرفته در صرفه‌جویی بیشتر انرژی نقش دارد. در پژوهشی دیگر بر روی یک ساختمان اداری یک طبقه در سان‌فرانسیسکو، محققین به کمک شبیه‌سازی در هانی‌بی و کدنویسی در پایتون<sup>۱۱</sup> به بهینه‌سازی مساحت نورگیر سقفی پرداخته‌اند. طبق نتایج مساحت بهینه نورگیر سقفی به مساحت ساختمان ۶/۵-۵٪ است و باعث کاهش ۱۹ درصدی در مصرف انرژی کلی می‌شود (Motamedi & Liedl, 2017). در پژوهشی دیگر به کمک نرم‌افزار لایت‌اسکیپ<sup>۱۲</sup>، مناسب‌ترین فرم نورگیرهای یک‌طرفه با هدف دریافت بیشترین سطح روشنایی در اتاقی با سه مساحت متفاوت بررسی شد. از میان نورگیر یک‌طرفه با سه فرم منحنی، مستطیلی و دندان اره‌ای، فرم منحنی بالاترین فاکتور نور روز و فرم دندان اره‌ای پایین‌ترین میزان فاکتور نور روز را تأمین می‌کند (Acosta et al., 2013). در پژوهشی دیگر محققان به کمک شبیه‌سازی به بررسی نسبت‌های متفاوت مساحت نورگیر سقفی بر مساحت سقف ساختمان با هدف افزایش بازده انرژی روشنایی مصنوعی، افزایش سطح روشنایی نور روز در محیط داخلی و آسایش حرارتی ساکنین در یک انبار در مالزی پرداخته‌اند. منطقی‌ترین نسبت نورگیر سقفی با توجه اهداف مذکور بین ۲/۵ تا ۵٪ است. در این نسبت، مصرف انرژی می‌تواند بیش از ۵۰٪ نسبت به ساختمان فاقد نورگیر سقفی کاهش یابد (Lapisa et al., 2020).

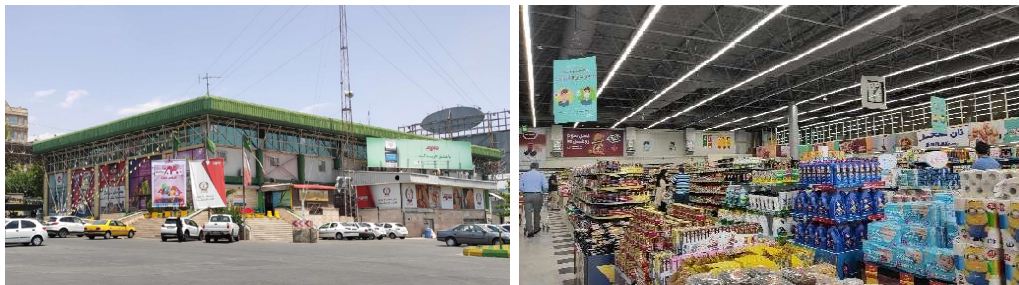
ابزارهای شبیه‌سازی انرژی و نور روز، موتورهای بهینه‌سازی سازگاری را معرفی کرده‌اند که طیفی از راه‌حل‌های مصالحه‌گر موفق را بین معیارهای عملکرد محیطی منفرد و چندگانه ارائه می‌کنند. زمانی که اهداف متناقضی مانند نور روز و تحلیل حرارتی مطرح باشد، فرایند بهینه‌سازی راهی برای تصمیم‌گیری فراهم می‌کند. در پژوهشی محققین به بررسی پژوهش‌های انجام گرفته در رابطه با انواع الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه

پرداخته‌اند. مطابق نتایج الگوریتم NSGA-II جهت بهینه‌سازی نور روز و انرژی مناسب‌ترین الگوریتم بوده است (رفعتی و دیگران، ۱۴۰۰). ژای (Zhai et al., 2019) در یک فضای اداری، متغیرهای طراحی پنجره را از نظر مصرف انرژی، آسایش حرارتی و عملکرد بصری در جهت‌گیری‌های مختلف با استفاده از الگوریتم NSGA-II در یک رویکرد چند هدفه تحلیل و بهینه‌سازی کرد. تجزیه و تحلیل نتایج به کمک نمودارهای جبهه پارتو<sup>۱۳</sup> انجام شد. مرزوق و همکاران (Marzouk et al., 2020) عملکرد نور روز عناصر هدایت‌کننده روشنایی را در یک نورگیر تاریخی بررسی کردند. با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک برای انجام بهینه‌سازی چند هدفه<sup>۱۴</sup>، آن‌ها به تنظیمات بهینه شکل نورگیر و پارامترهای طراحی عناصر هدایت‌کننده روشنایی از نظر کفایت نور روز و آسایش بصری رسیدند. ژانگ و هوانگ (Zhang et al., 2017) نسبت مساحت پنجره به دیوار<sup>۱۵</sup> و ویژگی‌های شیشه پنجره یک فضای آموزشی را از نظر آسایش حرارتی، مصرف انرژی و شرایط نور روز بهینه کردند. آن‌ها یک شمای کلی برای تأثیر هر متغیر بر هر یک از اهداف مورد نظر ارائه کردند.

از بررسی پژوهش‌های انجام شده در زمینه بررسی عملکرد انرژی و روشنایی نورگیرهای سقفی و فرایندهای بهینه‌سازی، مشخص شد این روند در سال‌های اخیر به سمت پارامتریک شدن حرکت کرده است و از ابزارهای پیشرفته‌تری مانند افزونه هانی‌بی و الگوریتم‌های بهینه‌ساز تکاملی در غالب افزونه اکتاپوس<sup>۱۶</sup> جهت انجام فرایند بهینه‌سازی دو یا سه هدفه استفاده شده است. تحقیقات اخیر ثابت کرده است که بهینه‌سازی چند هدفه به ویژه در مراحل اولیه طراحی یا ساخت‌وسازهای جدید مفید است. همچنین مطابق جمع‌بندی پیشینه پژوهش، به‌صورت کلی پارامترهای حائز اهمیت در طراحی پیکربندی انواع نورگیرهای سقفی شامل: جهت‌گیری، زاویه نورگیر نسبت به سطح افق، مساحت نورگیر (نسبت مساحت سطح نورگذر نورگیر سقفی بر مساحت ساختمان یا مساحت سقف)، نوع شیشه نورگیر سقفی (ضریب انتقال نور مرئی<sup>۱۷</sup> و ضریب کسب گرمای خورشیدی)، فاصله نورگیرها از یکدیگر و چیدمان آن‌ها بر روی سقف، جنس سطح نورگذر نورگیر (شیشه و پلاستیک)، هندسه و مصالح دیواره‌ی چاه نورگیر است. عوامل مهم دیگر که در کارکرد نورگیرها تأثیر دارند عبارت‌اند از: اقلیم و میزان ابرناکی آسمان، نوع و منطقه‌بندی سیستم کنترل روشنایی الکتریکی، نوع لامپ‌های مورد استفاده، نقطه تنظیم روشنایی<sup>۱۸</sup>، ارتفاع ساختمان، عمق سقف و ضریب انعکاس سقف و کف و سطوح داخلی.

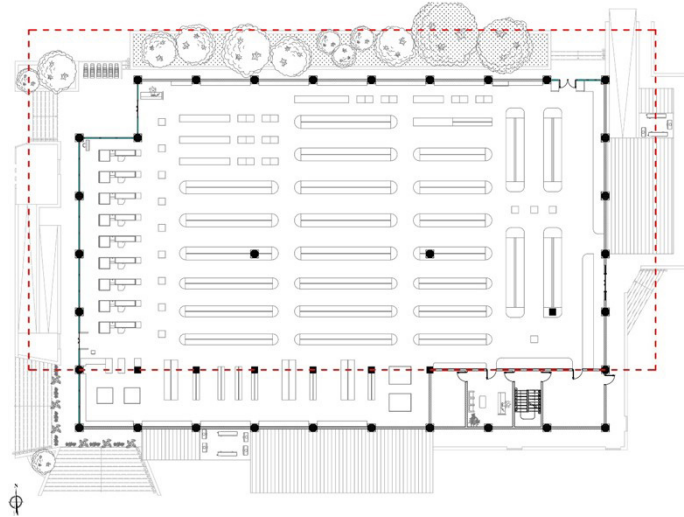
## روش‌شناسی تحقیق

در این مطالعه ابتدا به روش میدانی برخی اطلاعات مورد نیاز ساختمان مورد بررسی جمع‌آوری شد. با توجه به کاربرد نورگیرهای سقفی در ساختمان‌های یک طبقه و یا سقف طبقه آخر ساختمان‌های چند طبقه، شعبه آل احمد با توجه به مساحت مناسب و یک طبقه بودن آن به عنوان نمونه موردی انتخاب شد. سقف فعلی این فروشگاه فاقد نورگیر سقفی، از نوع سازه فضاکار (سیستم خریای سه بعدی)، دارای ۱۹ دهانه در محور شرقی-غربی و ۱۱ دهانه در محور شمالی-جنوبی به ابعاد دهانه ۲/۹\*۲/۹ مترمربع است. ارتفاع سقف از کف تمام شده تا زیر سازه فضاکار ۵/۷ متر و ارتفاع سازه فضاکار ۲ متر است. در شکل (۱) تصاویری از این فروشگاه مشاهده می‌شود.



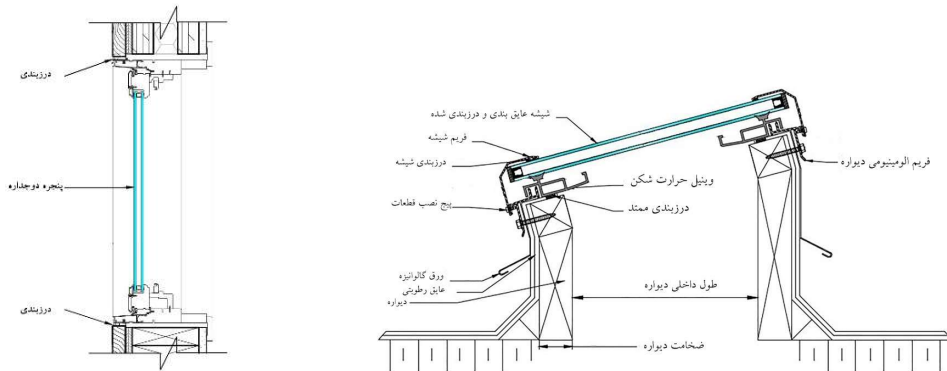
شکل ۱. تصویری از فضای داخلی (سمت راست) و نما (سمت چپ) فروشگاه شهروند، شعبه آل احمد

مدل ساختمان جهت انجام عملیات بهینه‌سازی تا حد ممکن ساده‌سازی شده است. بخشی از سالن فروش که مستقیماً زیر سقف قرار دارد که محدوده آن در شکل ۲ با خط چین قرمز رنگ مشخص شده مورد بررسی قرار گرفته است. ابعاد این بخش ساختمان ۵۲\*۲۹ مترمربع و مساحت آن ۱۵۰۸ مترمربع است.



شکل ۲. نقشه فروشگاه شهروند شعبه آل احمد

نورگیر سقفی مسطح مورد بررسی دارای دیواره است، به این معنی که شیشه آن بالاتر از سطح سقف قرار دارد. تصویر افقی نورگیرها بر روی سطح سقف به صورت مربع است در حالی که شیشه‌ها دارای زاویه و ابعاد مستطیل شکل هستند. ارتفاع دیواره نورگیرها در سمت جنوب و شمال به طور مستقل متغیر است، بنابراین جهت‌گیری شیشه می‌تواند به سمت شمال یا جنوب آسمان باشد. با توجه به ابعاد نورگیر و ارتفاع دیواره شمالی و جنوبی آن، نسبت نورگیر به مساحت ساختمان متغیر است. در حالت دوم چهار نمای ساختمان، نورگیر جانبی در ارتفاع بالا به طول کل نما دارد، در حالی که ارتفاع نورگیرها متفاوت است. محل قرارگیری نورگیرهای جانبی در بالا ثابت و دارای فاصله‌ای برابر ۲۰ سانتی‌متر از سقف است، بنابراین ارتفاع نورگیرهای جانبی به محل خط پایین آن‌ها بستگی دارد. در شکل (۳) جزئیات این نوع نورگیرها بر روی سقف نشان داده شده است.

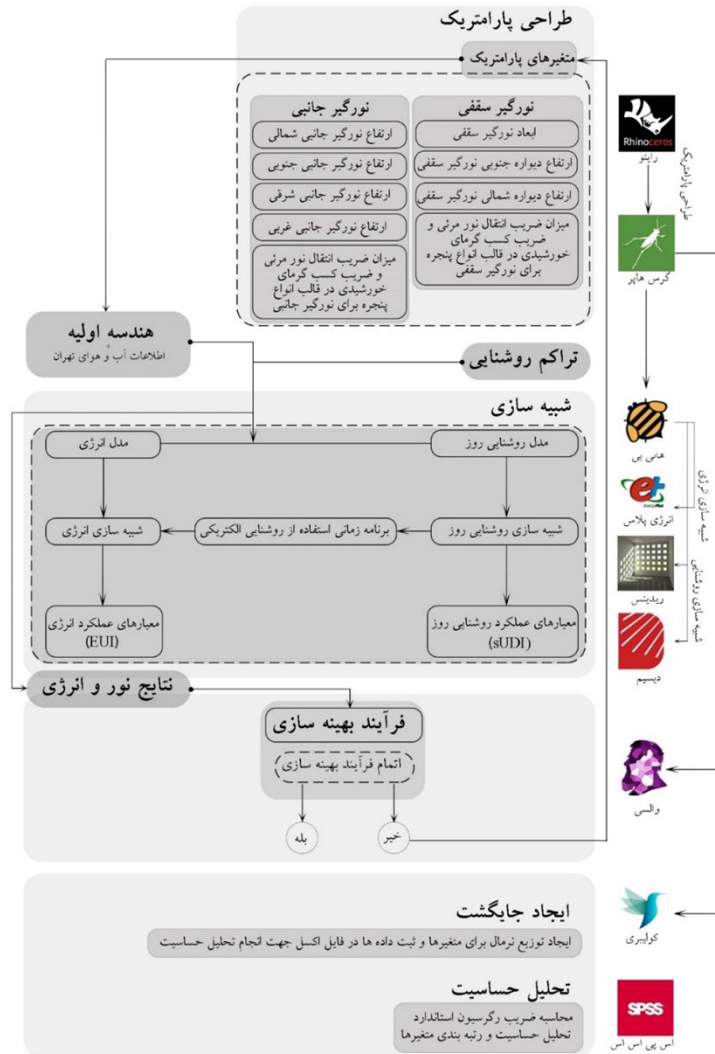


ب) جزئیات اجرایی نورگیر جانبی

الف) جزئیات اجرایی نورگیرسقفی دارای دیواره (artisticskylight, 2023)

شکل ۳. جزئیات اجرایی نورگیرسقفی دارای دیواره و نورگیر جانبی

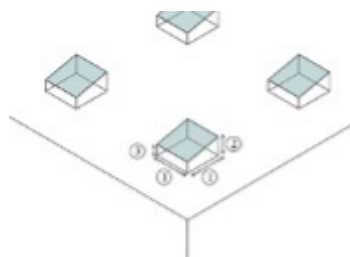
جهت ادامه روند تحقیق، از روش مدل‌سازی کامپیوتری در چهار مرحله استفاده می‌شود. شکل (۴) ساختار تحقیق این مطالعه و نرم‌افزارهای مورد نیاز را نشان می‌دهد.



شکل ۴. ساختار کلی تحقیق

در مرحله اول مدل پارامتریک به کمک نرم افزار راینو<sup>۱۹</sup> و گرس‌هاپر با تعریف متغیرهای طراحی توسط اسلایدرها تعریف می‌شود. مرحله دوم شامل شبیه‌سازی انرژی و روشنایی را به کمک ترکیبی از ابزارهای شبیه‌سازی ریدینس، روی گرس‌هاپر در راینو که شبیه‌سازی انرژی و روشنایی را به کمک ترکیبی از ابزارهای شبیه‌سازی ریدینس، دیسیم<sup>۲۱</sup> و انرژی پلاس ممکن می‌سازد، انتخاب شده است. بهره‌وری انرژی و تأمین روشنایی در سطحی مناسب، مهم‌ترین هدفی است که این مطالعه از طریق طراحی سیستم‌های روشنایی سقفی به دنبال آن است، از این رو در مرحله سوم به کمک بهینه‌سازی چندهدفه به کمک الگوریتم تکاملی NSGA-II در بهینه‌ساز والسی<sup>۲۲</sup> اهدافی شامل شدت مصرف انرژی<sup>۲۳</sup> (EUI) بر حسب کیلووات ساعت بر مترمربع مساحت ساختمان و روشنایی فضایی مفید نور روز بر حسب درصد به ترتیب جهت بررسی مصرف انرژی و سطح روشنایی، مورد

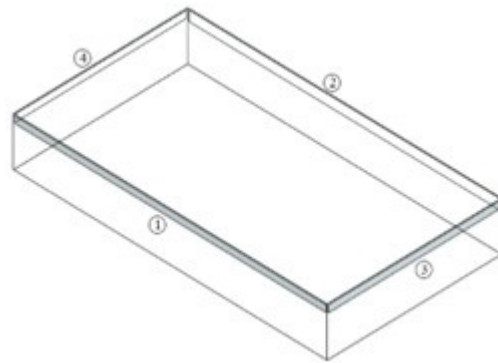
بررسی قرار می‌گیرند. پس از اتمام فرایند بهینه‌سازی و رسیدن به بهترین پاسخ، بهترین پاسخ‌ها در نموداری تحت عنوان جبهه پارتو رسم و مشخصات هر یک از متغیرها شرح داده می‌شود. قضاوت در مورد بهره‌وری انرژی بر اساس مقایسه مدل بهینه‌شده با نمونه اولیه است که بدون نورگیر سقفی طراحی شده است. در مرحله آخر نیز تحلیل حساسیت جهت بررسی میزان تأثیر متغیرها بر خروجی‌ها بررسی خواهد شد. شکل‌های (۵ و ۶) تصویری از هندسه ایجاد شده برای دو حالت ذکر شده و جدول‌های (۱ و ۲) متغیرهای مورد بررسی را به تفکیک دو حالت نشان می‌دهد. شکل (۵) بزرگنمایی گوشه جنوب شرقی ساختمان است و این نمونه به صورت تصادفی از میان ۱۰۰۰ گزینه طراحی انتخاب شده است. در این نمونه طول نورگیر سقفی برابر ۲/۴۰، ارتفاع دیواره شمالی و جنوبی به ترتیب برابر ۱/۳۵ و ۰/۷۵ متر و نوع شیشه نورگیر از نوع پنجره دوجداره دارای رنگ با ضریب کسیندگی ۰/۱ است. متغیرهای ذکر شده در هر حالت می‌تواند به طور مستقل متفاوت باشد و هر مقداری را در مقادیر ستون ارزش در گام‌های تعیین شده دریافت کند. همچنین با توجه به پیش‌بینی تأثیرگذاری بیشتر برخی پارامترها نسبت به سایر پارامترها مانند ابعاد نورگیرهای سقفی و ارتفاع نورگیرهای جانبی بهتر است پارامتری که تأثیرگذاری بیشتری دارد تعداد متغیرهای بیشتری داشته باشد تا با در دست داشتن حالات بیشتر در بازه‌ی تغییرات آن به جواب دقیق‌تری با توجه به تأثیرگذار بودن آن پارامتر دست پیدا کنیم. در شکل (۶) نیز نورگیرهای جانبی به صورت تصادفی از میان ۱۰۰۰ گزینه طراحی انتخاب شده است. در این نمونه نورگیرهای جانبی شمالی، جنوبی، شرقی و غربی به ترتیب ارتفاعی برابر ۱/۵۵، ۱/۲۵، ۱/۳۵ و ۰/۷۵ متر دارند و نوع شیشه نورگیر از نوع پنجره دوجداره معمولی است.



شکل ۵. متغیرهای مورد بررسی در حالت دارای نورگیر سقفی  
(نمونه بصورت تصادفی از میان ۱۰۰۰ گزینه طراحی انتخاب شده است)

جدول ۱. متغیرهای مدل دارای نورگیرسقفی

متغیر	بازه تغییرات (متر)	تعداد ارزش‌ها	گام (متر)
طول نورگیر سقفی	۲/۷۰-۲/۱۰	۳۱	۰/۰۲
ارتفاع دیواره شمالی	۱/۵۰-۰/۱۰	۲۵	۰/۰۵
ارتفاع دیواره جنوبی	۱/۵۰-۰/۱۰	۲۵	۰/۰۵
نوع شیشه نورگیر سقفی	-	۸	-



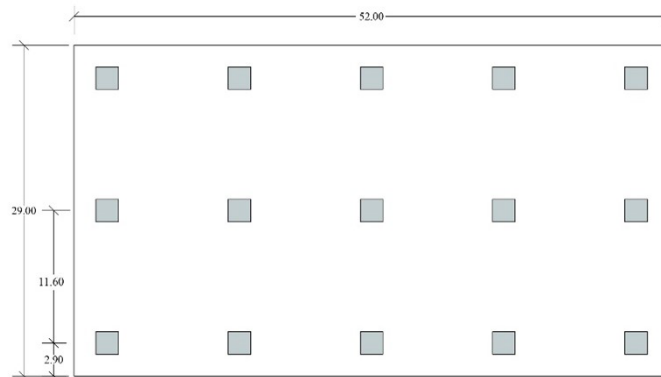
شکل ۶. متغیرهای مورد بررسی در حالت دارای نورگیر جانبی  
(نمونه بصورت تصادفی از میان ۱۴۰۰ گزینۀ طراحی انتخاب شده است)

جدول ۲. متغیرهای مدل دارای نورگیر جانبی

متغیر	بازه تغییرات (متر)	تعداد ارزش‌ها	گام (متر)
ارتفاع نورگیر جانبی جنوبی	۱٫۶۰-۰٫۲۰	۲۹	۰٫۰۵
ارتفاع نورگیر جانبی شمالی	۱٫۶۰-۰٫۲۰	۲۹	۰٫۰۵
ارتفاع نورگیر جانبی شرقی	۱٫۶۰-۰٫۲۰	۲۹	۰٫۰۵
ارتفاع نورگیر جانبی غربی	۱٫۶۰-۰٫۲۰	۲۹	۰٫۰۵

در توزیع نورگیرهای سقفی بر روی سقف بهتر است نورگیرهای حاشیه سقف نسبت به دیوار فاصله‌ای کمتر از فاصله نورگیرهای میانی از یکدیگر داشته باشند (Arasteh et al., 1984; Motamedi & Liedl, 2017). این امر به دلیل مشکل تاریک بودن حاشیه‌های ساختمان است. همچنین فاصله مناسب نورگیرهای سقفی از یکدیگر 1.5 برابر ارتفاع اتاق است. فاصله نورگیرهای سقفی برابر ارتفاع اتاق منجر به دستیابی به سطوح روشنایی بسیار بالاتر اما افزایش بار سرمایشی می‌شود (Beltran, 2005). در این پژوهش وضعیت مصرف انرژی و میزان دریافت روشنایی در حالتی دارای ۱۵ نورگیر سقفی در فاصله‌ای برابر ۱۱/۶۰ متر از یکدیگر و فاصله از دیواره‌ای جانبی برابر ۲/۹۰ متر در نظر گرفته شده است. در شکل ۷ توزیع نورگیرهای سقفی بر روی سقف ساختمان مشاهده می‌شود.

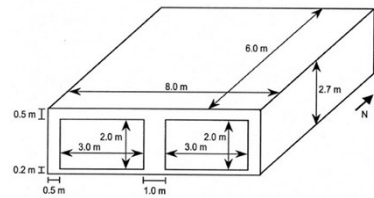




شکل ۷. توزیع نورگیرهای سقفی بر روی سقف ساختمان

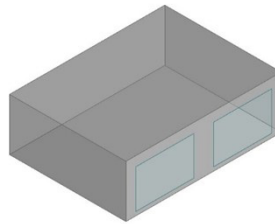
### اعتبارسنجی شبیه‌ساز عملکرد ساختمان

در این پژوهش جهت ارزیابی اعتبار نتایج، افزونه لیدی‌باگ تولز نسخه ۱/۳۰ با استفاده از موتور اپن استودیو<sup>۲۴</sup> برای شبیه‌سازی انرژی اعتبارسنجی شد تا دقت داده‌های آن و نتایج حاصل از آن با استفاده از روش مقایسه بررسی شود. اعتبارسنجی توسط مدلسازی مورد ۶۰۰ موجود در استاندارد ۱۴۰ اشری (ANSI/ASHRAE Standard 140-2017, 2017) انجام شده است. در شکل (۸) اطلاعات مورد ۶۰۰ در استاندارد اشری و در شکل (۹) مدل ایجاد شده در نرم‌افزار راینو نشان داده شده است. در شکل (۱۰) نیز الگوریتم نوشته شده در محیط هانی‌بی مشاهده می‌شود.

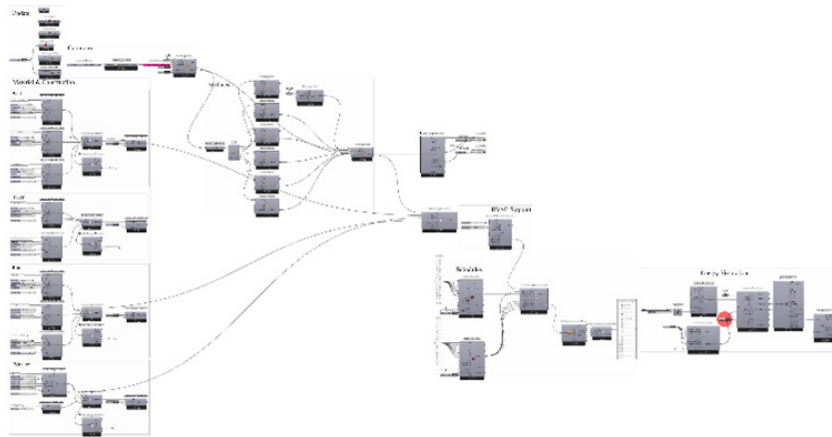


شکل ۸. مورد ۶۰۰ در استاندارد ۱۴۰ اشری

منبع: ANSI/ASHRAE Standard 140-2017, 2017

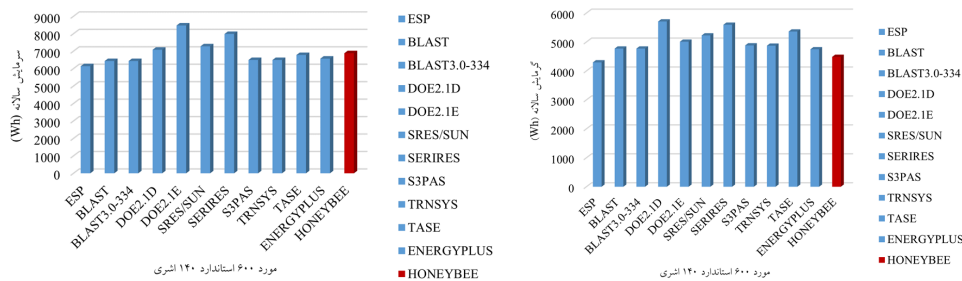


شکل ۹. مدل مورد ۶۰۰ در فضای راینو

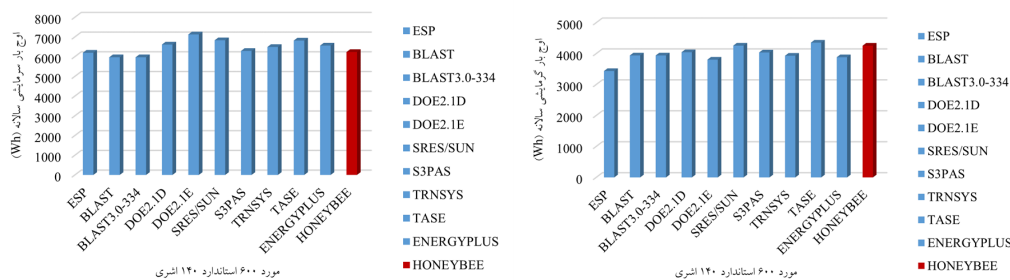


شکل ۱۰. الگوریتم نوشته شده مورد ۶۰۰ با افزونه هانی بی

همان طور که در شکل های (۱۱ و ۱۲) مشاهده می شود، بار گرمایشی، سرمایشی، اوج بار گرمایشی و اوج بار سرمایشی سالانه برای مدل شبیه سازی شده توسط هانی بی به ترتیب برابر ۴۴۰۵، ۶۹۱۲، ۴۱۲۵ و ۶۰۵۳ وات ساعت است. بار گرمایشی، سرمایشی، اوج بار گرمایشی و اوج بار سرمایشی سالانه در مدل شبیه سازی شده با نرم افزار انرژی پلاس به ترتیب برابر ۴۶۷۳، ۶۷۹۲، ۳۸۳۸ و ۶۶۶۴ است. با مقایسه نتایج شبیه ساز انرژی هانی بی با خروجی های نرم افزار انرژی پلاس به روش همبستگی، ۵۵/۹۶٪ همبستگی وجود دارد و می توان استنباط کرد که هانی بی می تواند اعتبار مورد ۶۰۰ را دریافت کند که دقت نتایج شبیه سازی را نشان می دهد.



شکل ۱۱. نمودار بار گرمایشی سالانه (سمت راست) و بار سرمایشی (سمت چپ) مورد ۶۰۰ استاندارد ۱۴۰ اشری



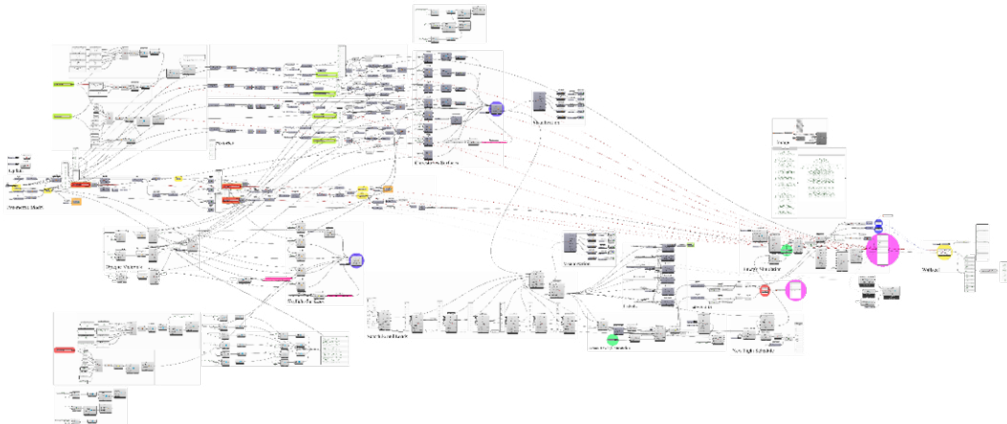
شکل ۱۲. نمودار اوج بار گرمایشی سالانه (سمت راست) و اوج بار سرمایشی سالانه (سمت چپ) مورد ۶۰۰ استاندارد ۱۴۰ اشری

## خروجی‌های شبیه‌سازی

شدت مصرف انرژی (EUI) بر حسب کیلووات ساعت بر مترمربع مساحت ساختمان و روشنایی فضایی مفید نور روز (sUDI) بر حسب درصد، از اهداف مورد بررسی در این پژوهش هستند که به ترتیب جهت ارزیابی مصرف انرژی و سطح روشنایی بررسی می‌شوند. جهت به‌دست آوردن شاخص روشنایی فضایی مفید نور روز، الگوریتم کوتاهی در افزونه‌های بی‌نوشته شد. دلیل انتخاب این شاخص که شاخصی منطقه‌ای به شمار می‌آید، شامل بودن دو بازه‌ی بالا و پایین است که به طراحی یک فضای دارای آسایش بصری بدون تابش خیره‌کننده، (در محدود ۳۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس) کمک شایانی می‌کند. شاخص‌هایی مانند روشنایی مفید نور روز که معیاری محدوده‌ای است، برای بررسی سطح روشنایی یک ساختمان روند مناسبی نیست، زیرا جهت بررسی به میانگین مقادیر آن برای هر حسگر روشنایی نیاز است که خود به دلیل عملیات میانگین‌گیری روشنایی میان نقاطی از فضا که احتمال دارد تعدادی از آن‌ها روشنایی بسیار کم و تعدادی روشنایی بالایی دریافت کرده باشند، از دقت مناسبی برخوردار نیستند. با توجه به اهداف این تحقیق میزان بار الکتریکی تجهیزات مورد استفاده در همه حالات ثابت است، از این رو بررسی نخواهد شد و تنها مجموع بارهای گرمایش، سرمایش و روشنایی الکتریکی تقسیم بر مساحت خالص ساختمان در قالب شدت مصرف انرژی بررسی می‌شود. برای یک طراحی بهینه با کارایی نور و انرژی متوازن هرچه میزان شاخص مصرف انرژی کمتر و میزان شاخص روشنایی فضایی مفید نور روز بیشتر باشد، بهتر است. این دو شاخص هم‌زمان با یکدیگر ارزیابی می‌شود تا گزینه‌های مختلف طراحی با توجه به میزان دریافت نور روز بالا و مصرف انرژی الکتریکی و حرارتی پایین مورد بررسی قرار گیرد.

## مدل‌سازی نور و انرژی

پس از ساخت هندسه پارامتریک ساختمان، لیدی‌باگ تولز برای مدل‌سازی نور روز و انرژی استفاده شد. در شکل (۱۳) الگوریتم نوشته شده جهت شبیه‌سازی نور روز و انرژی در افزونه‌های بی‌نوشته شده است.



شکل ۱۳. الگوریتم نوشته شده در هانی‌بی جهت شبیه‌سازی نور و انرژی و انجام فرایند بهینه‌سازی

مطابق جدول موجود در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ایران ویرایش سوم، ساختمانی با کاربری فروشگاه‌های با توجه به شهر و مساحت در گروه سه مصرف انرژی قرار دارد که جزئیات آن در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳. مشخصات حرارتی و خصوصیات انعکاسی جداره‌های ساختمان جهت استفاده در شبیه‌سازی نور و انرژی

سطح	مقاومت حرارتی بر حسب مترمربع در کلوبین بر وات	ضریب بازتاب	سطح
کف	بدون انتقال حرارت	۰٫۲	کف
دیوار	۴٫۷	۰٫۵	دیوار
سقف	۱٫۷	۰٫۸	سقف
دیواره‌های نورگیر سقفی	۴٫۷	۰٫۵	دیواره‌های نورگیر سقفی

منبع: دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۸

انواع پنجره‌های مورد بررسی از استاندارد ۹۰ اشری به تفکیک پنجره‌های نورگیر سقفی و پنجره‌های نورگیر عمودی انتخاب شده است. پنجره‌ها همگی دوجداره و دارای ۶ میلی‌متر فضای میانی پر شده از هوا هستند. در جدول (۴) مشخصات حرارتی و روشنایی این پنجره‌ها دارای فریم از جنس وینیل آورده شده است.

جدول ۴. پنجره‌های دوجداره مورد استفاده در بهینه‌سازی مدل‌های دارای نورگیر سقفی و نورگیر جانبی

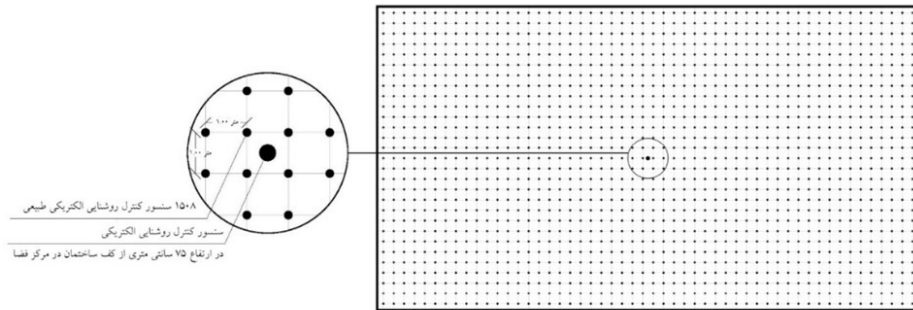
نوع پنجره	ضریب انتقال حرارت بر حسب وات بر مترمربع در درجه کلوبین (U-Value) نورگیر سقفی	ضریب انتقال حرارت بر حسب وات بر مترمربع در درجه کلوبین (U-Value) نورگیر عمودی	ضریب عبور نور مرئی (VT)	ضریب بهره گرمایی خورشیدی (SHGC)
معمولی	۴٫۷۹	۳٫۴۰	۰٫۶۴	۰٫۵۹
ضریب گسیلندگی ۰٫۴	۴٫۴۴	۳٫۱۵	۰٫۶۳	۰٫۶۲
ضریب گسیلندگی ۰٫۲	۴٫۱۹	۲٫۹۷	۰٫۵۹	۰٫۵۷
ضریب گسیلندگی ۰٫۱	۴٫۰۹	۲٫۹۰	۰٫۶۱	۰٫۵۱
معمولی دارای رنگ	۴٫۷۹	۳٫۴۰	۰٫۳۹	۰٫۴۲
دارای رنگ با ضریب گسیلندگی ۰٫۴	۴٫۴۴	۳٫۱۵	۰٫۴۸	۰٫۵۰
دارای رنگ با ضریب گسیلندگی ۰٫۲	۴٫۱۹	۲٫۹۷	۰٫۳۶	۰٫۳۹
دارای رنگ با ضریب گسیلندگی ۰٫۱	۴٫۰۹	۲٫۹۰	۰٫۳۷	۰٫۳۵

منبع: ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2016, 2016

نقطه تنظیم گرمایش و سرمایش به ترتیب برابر ۲۰ و ۲۸ درجه سانتیگراد، تراکم روشنایی الکتریکی برابر ۷٫۳ وات بر متر مربع (دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۸) و نقطه تنظیم روشنایی برابر ۳۰۰ لوکس در نظر گرفته شد (IESNA, 1990). همچنین ساعات کار ساختمان از ۹ تا صبح الی ۱۱ شب و سیستم کنترل روشنایی الکتریکی از نوع دیمردی‌پیوسته بدون خاموش شدن در نظر گرفته شد. به منظور محاسبه میزان سرمایش و گرمایش سالانه ساختمان با اعمال نورگیرها از سیستم مکانیکی فرضی Ideal Air Load استفاده

شده است. این سیستم مکانیکی که یک سیستم فرضی است، تلاش می‌کند دمای فضا را به عددی برساند که برای فصول گرم و سرد سال تعریف شده است.

پس از اتمام مدلسازی انرژی، به تعریف ورودی‌های مورد نیاز جهت شبیه‌سازی روشنایی پرداخته می‌شود. شکل (۱۴) نقشه روشنایی را با ۱۵۰۸ حسگر اندازه‌گیری سطح روشنایی روز و یک حسگر نوری کنترل‌کننده روشنایی الکتریکی نشان می‌دهد که به ترتیب در مدل شبیه‌سازی برای ارزیابی کیفی نور روز و کنترل روشنایی مصنوعی گنجانده شده است. تعداد نقاط اندازه‌گیری سطح روشنایی بر اساس فاصله کافی بین دیوارهای جانبی و نقاط اندازه‌گیری (۵/۰ متر) و فاصله بین دو نقطه اندازه‌گیری متوالی (۱ متر) برای ارزیابی کیفی نور روز محاسبه شده است (Nabil & Mardaljevic, 2006). این حسگرها در ارتفاعی برابر ۰/۷۵ متر از سطح زمین در نظر گرفته شده‌اند. برای کنترل ۱۰۰ درصد نور مصنوعی فضا از سیستم کنترل دیمپ‌پذیر پیوسته بدون خاموش شدن استفاده شده است. با افزایش روشنایی نور روز دریافتی در حسگر کنترلی نور روز، روشنایی لامپ‌ها به طور مداوم و خطی از حداکثر به حداقل توان ورودی کاسته می‌شود.



شکل ۱۴. نقشه روشنایی شامل چینش سنسورهای دریافت نور روز و کنترل روشنایی مصنوعی

## اطلاعات ورودی تا این مرحله به همراه فایل آب‌وهوایی

شهر تهران در فرمت epw (Climate.Onebuilding, 2022)، سنسورهای نور روز و سایر تنظیمات شبیه‌سازی جهت محاسبه سطح روشنایی در قالب شاخص روشنایی فضایی مفید نور روز در موقعیت حسگرهای روشنایی در هر ساعت در سال به جزء شبیه‌ساز نور روز متصل می‌شوند. یک فایل با پسوند rad تولید می‌شود و شبیه‌سازی نور روز در ریدینس اجرا می‌شود. درصد معینی از نور مصنوعی بسته به در دسترس بودن نور روز کم نور می‌شود. معیارهای عملکرد نور روز را می‌خواند و یک برنامه روشنایی سالانه جدید ایجاد می‌کند. فایل نتیجه شبیه‌سازی روشنایی توسط لیدی‌باگ برای شبیه‌سازی انرژی به مدل انرژی وارد می‌شود. یک فایل با پسوند idf تولید می‌شود و شبیه‌سازی انرژی در انرژی پلاس اجرا می‌شود. لیدی‌باگ نتیجه شبیه‌سازی انرژی را به گرس‌هاپر برمی‌گرداند و معیارهای عملکرد انرژی را می‌خواند. در شبیه‌سازی روشنایی، پارامتر ab که بیانگر حداکثر تعداد بازتاب پراکنده بین سطوح است برابر ۲ و ad که بیانگر تعداد اشعه‌های ساطع شده از سطوح است برابر ۵۰۰۰ در نظر گرفته شده است.

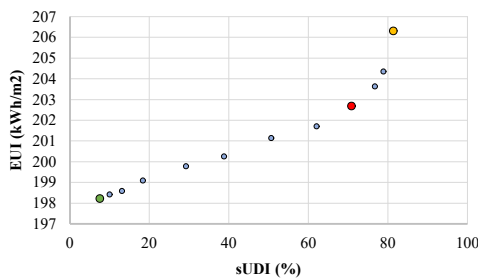
## فرایند بهینه‌سازی

فرایند بهینه‌سازی در این پژوهش به کمک والسی، افزونه‌ای در محیط گرس‌هاپر انجام می‌شود. این بهینه‌ساز قابلیت بهینه‌سازی چندهدفه را به کمک الگوریتم تکاملی NSGA-II فراهم می‌کند. Objectives و Genes

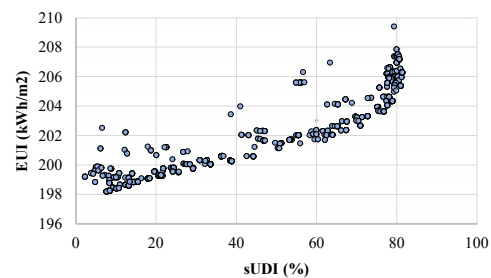
دو ورودی اصلی این بهینه‌ساز است. به ورودی Genes متغیرهای طراحی در قالب اسلایدر شامل ارزش‌های مورد بررسی و به ورودی Objectives اهداف شامل شاخص شدت مصرف انرژی و شاخص روشنایی فضایی مفید نور روز که از نتایج شبیه‌سازی انرژی و نور به دست می‌آیند متصل می‌شود. ابزارهای بهینه‌ساز چند هدفه تمایل به کاهش حداکثری مقادیر اهداف دارند بنابراین مقادیر روشنایی پیش از اتصال به بهینه‌ساز معکوس می‌شوند تا بهینه‌ساز آن را به سمت حداکثر خود بهینه‌سازی کند. هرچه اندازه جمعیت بزرگ‌تر باشد، احتمال یافتن راه‌حلی بهینه و در نتیجه افزایش زمان بهینه‌سازی بیشتر است (Gogoi, 2016). در حالت اول که تنها نورگیرهای سقفی بررسی می‌شوند بهینه‌سازی در ۵۰ نسل و هر نسل ۲۰ جمعیت در کل ۱۰۰۰ حالت و در حالت دوم که شامل بررسی نورگیرهای جانبی به صورت مجزا است بهینه‌سازی در ۷۰ نسل و هر نسل ۲۰ جمعیت در کل ۱۴۰۰ حالت انجام می‌شود.

## تحلیل نتایج

جهت بررسی پاسخ‌های بهینه در هر یک از دو حالت نورگیر مورد بررسی، به دلیل دو هدفه بودن بهینه‌سازی و مهم‌تر از آن در تضاد بودن پاسخ‌های بهینه آن‌ها با یکدیگر، بهترین روش، بررسی راه‌حل‌های ایجاد شده توسط بهینه‌ساز در بیرونی‌ترین لایه نمودار پارتو است. در ادامه نمودار پارتو دو بعدی شامل کل راه‌حل‌های ایجاد شده توسط بهینه‌ساز و نموداری شامل بیرونی‌ترین لایه نمودار پارتو که اصطلاحاً به آن جبهه پارتو می‌گویند برای نمونه دارای نورگیر سقفی و نورگیر جانبی در شکل‌های (۱۷ و ۱۵) آورده شده است. در نمودارهای ذکر شده محور X نشان‌دهنده مقادیر شاخص روشنایی فضایی مفید نور روز (sUDI) و محور Y نشان‌دهنده مقادیر شاخص شدت مصرف انرژی (EUI) است. نقاطی که کمترین فاصله را از محور X داشته باشند، بهترین راه‌حل از نظر دارا بودن کمترین مصرف انرژی و نقاطی که بیشترین فاصله را از محور Y داشته باشند، بهترین راه‌حل از نظر بهره‌مندی حداکثری از نور روز هستند. در هر یک از نمودارهای دارای راه‌حل‌های جبهه پارتو، بهترین راه‌حل روشنایی با رنگ زرد و بهترین راه‌حل انرژی با رنگ سبز نشان داده شده است. همچنین راه‌حلی که از نظر بهره‌مندی از نور روز و مصرف انرژی در حالت میانه و متوازی قرار دارد نیز با رنگ قرمز مشخص شده است. لازم به ذکر است که آن‌ها بهترین و بدترین گزینه‌های مطلق طراحی نیستند، بلکه دو مورد انتخاب شده از میان تعداد گزینه‌های بررسی شده در بهینه‌ساز هستند که با توجه به دو معیار نور و انرژی، عملکرد نسبتاً خوب یا بدی دارند.



ب) حالات موجود در جبهه پارتو در بهینه‌سازی در حالت دارای نورگیر سقفی



الف) تمامی حالات بررسی شده در بهینه‌سازی در حالت دارای نورگیر سقفی

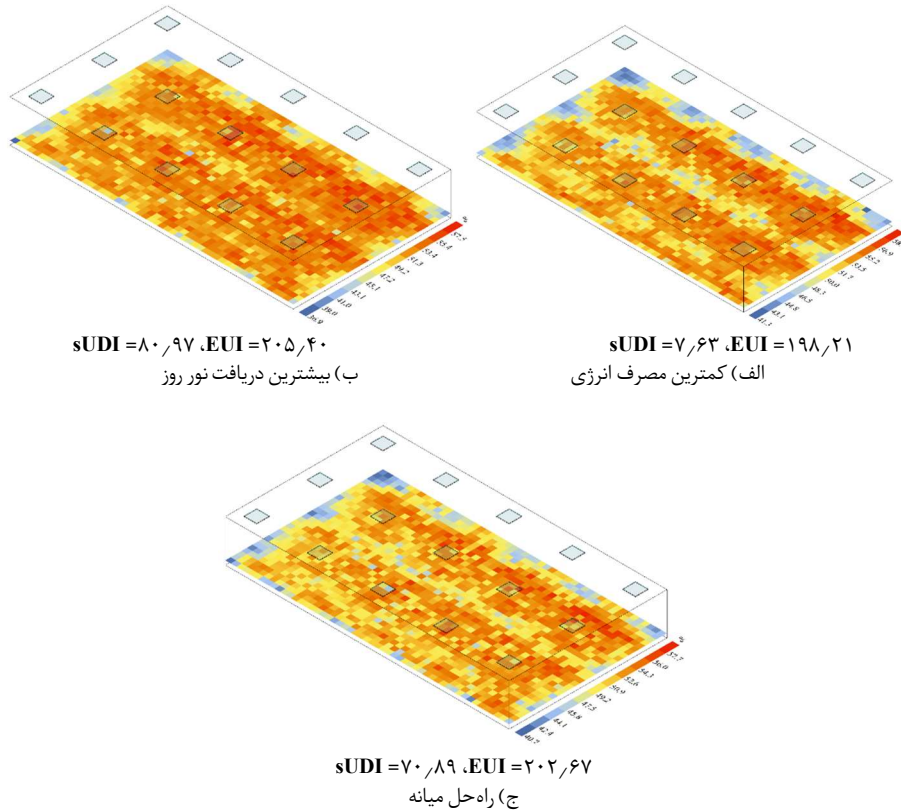
شکل ۱۵. تمامی حالات بررسی شده و حالات موجود در جبهه پارتو در بهینه‌سازی شامل عملکرد انرژی، بهترین عملکرد روشنایی و راه‌حل انتخابی در مدل دارای نورگیر سقفی

در ادامه، جزئیات راه‌حل‌های بهینه دارای بیشترین دریافت نور روز و کمترین مصرف انرژی، همچنین راه‌حل انتخابی که از نظر بهره‌مندی از نور روز و مصرف انرژی در جایگاه مناسبی قرار دارد برای حالت دارای نورگیرسقفی در جدول (۵) و برای حالت دارای نورگیر جانبی در جدول (۶) آورده شده است.

جدول ۵. جزئیات طراحی نورگیر سقفی برای حالات بهینه دارای کمترین مصرف انرژی و بیشترین دریافت نور روز و حالت میانه

sUDI (%)	EUI (kWh/m <sup>2</sup> )	نوع شیشه	ارتفاع دیواره شمالی (متر)	ارتفاع دیواره جنوبی (متر)	طول نورگیر سقفی (متر)	SFR (%) و مساحت سطح کل نورگیرها (مترمربع)	
۷٫۶۳	۱۹۸٫۲۱	دوجداره با ضریب گسیلندگی ۰٫۱	۰٫۱۰	۰٫۱۰	۲٫۰۰۲٫۰۰	۶۰٫۰۰-۳٫۹۶	کمترین مصرف انرژی
۸۰٫۹۷	۲۰۵٫۴۰	دوجداره با ضریب گسیلندگی ۰٫۱	۰٫۱۰	۰٫۱۰	۲٫۴۸۲٫۴۸	۹۲٫۲۵-۶٫۰۹	بیشترین دریافت نور روز
۷۰٫۸۹	۲۰۲٫۶۷	دوجداره با ضریب گسیلندگی ۰٫۱	۰٫۱۰	۰٫۱۰	۲٫۳۴۲٫۳۴	۸۲٫۱۳-۵٫۴۲	دارای نور روز و انرژی میانه

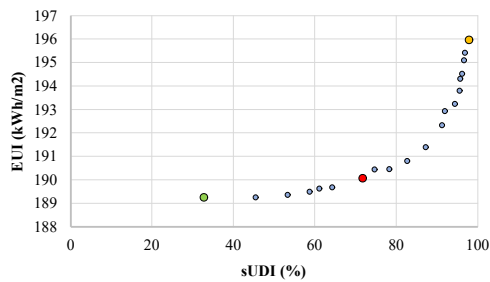
در شکل‌های (۱۶ و ۱۸) هندسه ساختمان شامل جزئیات طراحی نورگیرها به همراه نقشه روشنایی برای هر یک از حالات ذکر شده در جداول مربوطه، آورده شده است.



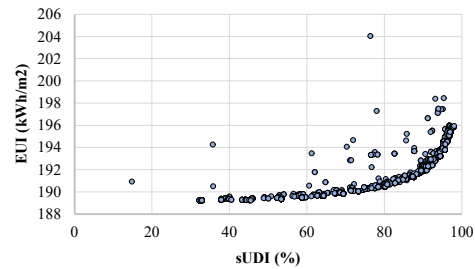
شکل ۱۶. نقشه روشنایی و جزئیات طراحی نورگیرسقفی برای حالات بهینه دارای کمترین مصرف انرژی، بیشترین دریافت نور روز و حالت میانه

جدول ۶. جزئیات طراحی نورگیر جانبی برای حالات بهینه دارای کمترین مصرف انرژی و بیشترین دریافت نور روز و حالت میانه

sUDI (%)	EUI (kWh/m <sup>2</sup> )	نوع شیشه	ارتفاع دیواره شمالی (متر)	ارتفاع دیواره جنوبی (متر)	طول نورگیر سقفی (متر)	مساحت سطوح نورگذر (مترمربع)	حالت
۳۲٫۸۲	۱۸۹٫۲۴	دوجداره با ضریب گسیلندگی ۰٫۱	۰٫۲۰	۰٫۷۰	۰٫۷۰	۱۰۱٫۱۲	کمترین مصرف انرژی
۹۷٫۹۴	۱۹۵٫۹۶	دوجداره با ضریب گسیلندگی ۰٫۱	۰٫۷۰	۱٫۶۰	۱٫۱۰	۲۲۵٫۶۶	بیشترین دریافت نور روز
۷۱٫۸۱	۱۹۰٫۰۶	دوجداره با ضریب گسیلندگی ۰٫۱	۰٫۲۰	۰٫۹۰	۱٫۰۰	۱۲۷٫۰۲	دارای نور روز و انرژی میانه



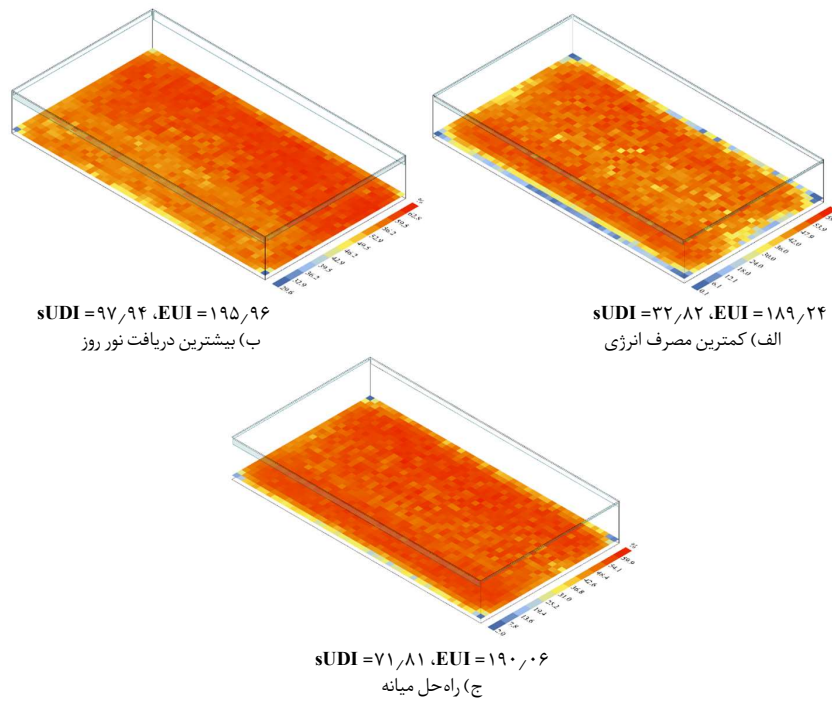
ب) حالات موجود در جبهه پارتو در بهینه‌سازی در حالت دارای نورگیر جانبی



الف) تمامی حالات بررسی شده در بهینه‌سازی در حالت دارای نورگیر جانبی

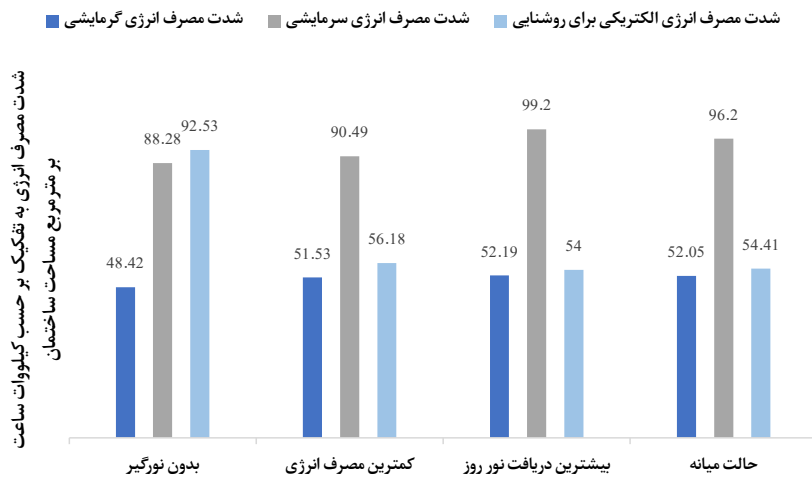
شکل ۱۷. تمامی حالات بررسی شده و حالات موجود در جبهه پارتو در بهینه‌سازی شامل بهترین عملکرد انرژی، بهترین عملکرد روشنایی و راه‌حل انتخابی در مدل دارای نورگیر جانبی



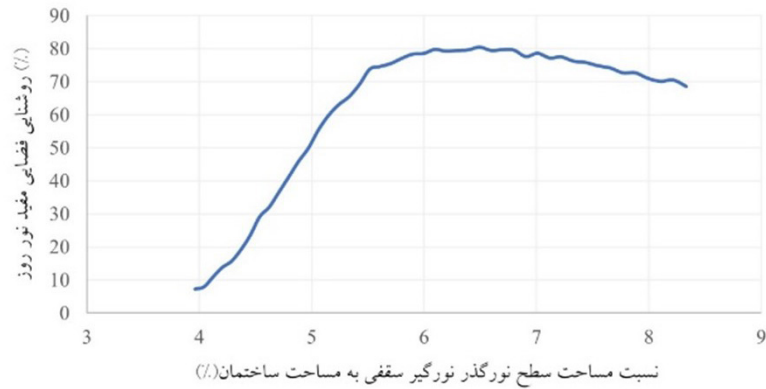


شکل ۱۸. نقشه روشنایی و جزئیات طراحی نورگیر جانبی برای حالات بهینه دارای کمترین مصرف انرژی و بیشترین دریافت نور روز و حالت میانه

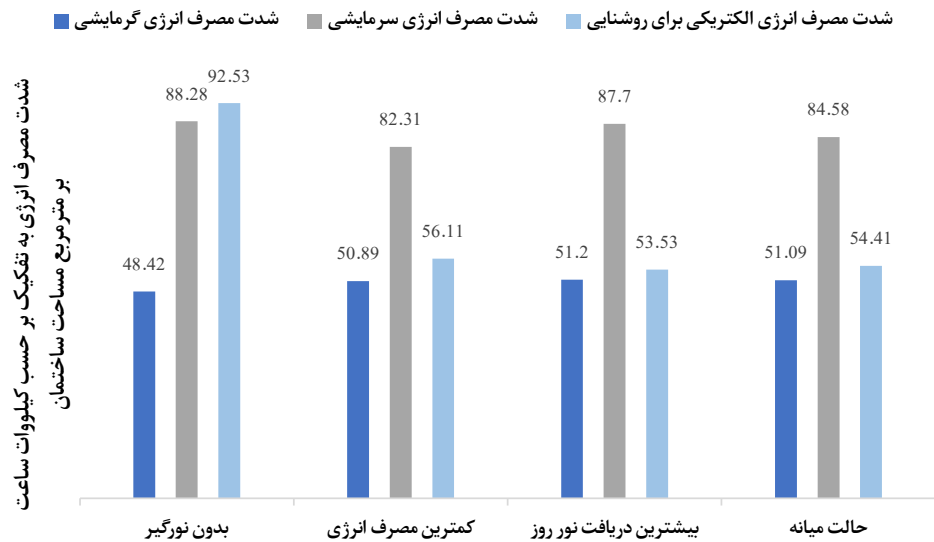
شدت مصرف انرژی در شکل‌های (۱۹ و ۲۱) به تفکیک شدت انرژی مصرفی گرمایش، سرمایش و روشنایی الکتریکی به ترتیب برای مدل دارای نورگیر سقفی و مدل دارای نورگیر جانبی در نموداری ارائه بررسی شده است.



شکل ۱۹. شدت مصرف انرژی به تفکیک انرژی گرمایشی، سرمایشی و روشنایی الکتریکی برای هر یک از سه راه حل بهینه و حالت بدون نورگیر بر حسب کیلووات ساعت بر مترمربع مساحت ساختمان در حالت دارای نورگیر سقفی



شکل ۲۰. روند تغییر شاخص روشنایی فضایی مفید نور روز با افزایش مساحت نورگیر سقفی



شکل ۲۱. شدت مصرف انرژی به تفکیک انرژی گرمایشی، سرمایشی و روشنایی الکتریکی برای هر یک از سه راه حل بهینه و حالت بدون نورگیر بر حسب کیلووات ساعت بر مترمربع مساحت ساختمان در حالت دارای نورگیر جانبی

در جدول (۷) میزان تغییرات حاصل شده در شدت مصرف انرژی به واسطه به‌کارگیری نورگیر برای حالات متوازی که برای هر یک از دو حالت نورگیری انتخاب شده است به تفکیک شدت مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی و روشنایی الکتریکی و مساحت شیشه استفاده شده برای دو حالت نورگیر با نمونه بدون نورگیر بررسی و مقایسه شده است.

جدول ۷. تغییرات حاصل شده در شدت مصرف انرژی به تفکیک شدت مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی و روشنایی برای دو مدل نورگیری برای راه‌حل‌های میانه نسبت به حالت بدون نورگیر

درصد تغییر شدت مصرف انرژی	حالت دارای نورگیر سقفی	حالت دارای نورگیر جانبی
درصد تغییر شدت مصرف انرژی گرمایشی	+۷/۵۰	+۵/۵۲
درصد تغییر شدت مصرف انرژی سرمایشی	+۸/۹۷	-۴/۲۰
درصد تغییر شدت مصرف انرژی روشنایی	-۴۱/۱۹	-۴۱/۲۰
مساحت شیشه استفاده شده	۸۲/۱۳	۱۲۷/۰۲

یافته‌های بررسی مدل دارای نورگیر سقفی به شرح زیر است:

شیشه‌ای که در تمامی حالات موجود در جبهه پارتو وجود دارد شیشه دوجداره شفاف دارای ضریب گسیلندگی ۰/۱۰ است. این شیشه ضریب عبور نور مرئی برابر ۰/۶۱ و بهره گرمای خورشیدی برابر ۰/۵۱ دارد که بهترین گزینه از نظر ایجاد تعادل میان مصرف انرژی، دریافت نور روز و توزیع روشنایی از جانب بهینه‌ساز انتخاب شده است.

در حالات بهینه مشخص شده، دیواره جنوبی و شمالی نورگیر سقفی در کمترین حالت خود، برابر ۱۰ سانتی‌متر قرار دارند. می‌توان نتیجه گرفت که افزایش ارتفاع نورگیر سقفی باعث کاهش عملکرد انرژی و روشنایی می‌شود. اما افزایش ارتفاع دیواره شمالی به همراه افزایش ابعاد نورگیر سقفی می‌تواند یکنواختی توزیع روشنایی را در فضا بهبود بخشد.

نسبت مساحت نورگیرهای سقفی به مساحت ساختمان در بازه ۴/۹۷٪ تا ۶/۰۹٪ با ارتفاع دیواره شمالی و جنوبی در کمترین حالت خود یعنی برابر ۱۰ سانتی‌متر در بازه مناسبی از نظر بهره‌وری انرژی و دریافت نور روز قرار دارد.

نورگیری با ابعاد ۲/۳۴ در ۲/۳۴ مترمربع، دیواره شمالی و جنوبی به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر و پنجره دوجداره با ضریب گسیلندگی ۰/۱ برای ساختمان مورد بررسی از نظر مصرف انرژی و دریافت نور روز حالت بهینه است. این حالت با ۸۲/۱۳ متر مربع سطح شیشه و شدت مصرف انرژی برابر ۲۰۲/۶۷ کیلووات ساعت بر مترمربع، روشنایی فضایی مفید نور روز برابر ۷۰/۸۹٪ فراهم می‌کند. نسبت مساحت سطح نورگذر به مساحت ساختمان در این حالت برابر ۵/۴۳٪ است.

میزان شاخص روشنایی مفید نور روز تا نسبت مساحت سطح نورگذر نورگیر به مساحت ساختمان برابر ۶/۳۹٪ با دیواره‌های ۱۰ سانتی‌متری روند صعودی دارد و پس از آن به دلیل افزایش سطح روشنایی به بیش از ۲۰۰۰ لوکس، شاخص روشنایی مفید نور روز نیز در فضا کاهش می‌یابد و خطر بیش گرمایش و خیرگی و افزایش بار سرمایشی ساختمان افزایش می‌یابد.

در حالت بهینه شدت مصرف انرژی گرمایشی و شدت مصرف انرژی سرمایشی و شدت مصرف انرژی روشنایی کاهش چشمگیری داشته که به دلیل ورود نور روز و استفاده از لامپ‌های دیم‌پذیر است.

در اقلیم تهران و ساختمانی با گسترده‌گی افقی، به کارگیری نورگیر سقفی منجر به افزایش ناچیزی در شدت مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی و کاهش چشمگیری در مصرف انرژی روشنایی می‌شود. به صورت کلی

بهره‌مندی ساختمان از نورگیرهای سقفی منجر به افزایش صرفه‌جویی شدت مصرف انرژی کلی ساختمان، افزایش یکنواختی در توزیع روشنایی و ایجاد محیطی سالم‌تر می‌شود.

یافته‌های بررسی مدل دارای نورگیر جانبی به شرح زیر است:

در مدل دارای نورگیر جانبی در چهار وجه ساختمان، به طول کل نما، حالتی با ارتفاع نورگیر جنوبی، شمالی، شرقی و غربی به ترتیب برابر ۱۰۰، ۹۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر حالت متوازی از نظر مصرف انرژی و دریافت نور روز است. در واقع ساختمان دارای درصد بالای نورگیر جانبی در ضلع شمالی و جنوبی و درصد پایین در ضلع غربی و شرقی حالتی بهینه است.

راه حل متوازن انتخاب شده با سطح شیشه برابر  $۱۲۷/۰۲$  مترمربع از نوع پنجره دوجداره با ضریب گسیلندگی  $۰/۱۰$ ، با شدت مصرف انرژی برابر  $۱۹۰/۰۶$  کیلووات ساعت بر مترمربع، روشنایی فضایی مفید نور روز برابر  $۷۱/۸۱\%$  دریافت می‌کند.

در حالت بهینه شدت مصرف انرژی گرمایشی افزایش، شدت مصرف انرژی سرمایشی کاهش جزئی و شدت مصرف انرژی روشنایی کاهش چشمگیری داشته که به دلیل ورود نور روز و استفاده از لامپ‌های دیمپرپذیر است.

در اقلیم تهران و ساختمانی با گستردگی افقی، به‌کارگیری نورگیر جانبی منجر به افزایش ناچیزی در شدت مصرف انرژی گرمایشی، کاهش اندک شدت مصرف انرژی سرمایشی و کاهش چشمگیری در مصرف انرژی روشنایی می‌شود.

## تحلیل حساسیت

آنالیز حساسیت برای تعیین سهم هر متغیر ورودی در واریانس خروجی‌های عملکرد ساختمان انجام می‌شود. روش رگرسیون پرکاربردترین روش برای تحلیل حساسیت در تحلیل انرژی ساختمان است (Tian, ۲۰۱۳). شاخص تجزیه و تحلیل حساسیت برای این مطالعه ضریب رگرسیون استاندارد (SRC) است. مقدار مطلق بیشتر این ضریب، نشان‌دهنده تأثیر بیشتر بر شاخص عملکرد است. ضریب رگرسیون استاندارد مثبت نشان‌دهنده تأثیر مثبت بر شاخص عملکرد و ضریب رگرسیون استاندارد منفی نشان‌دهنده تأثیر منفی است. تحلیل حساسیت برای هر یک از دو سناریوی نورگیری انجام شده است. متغیر انواع شیشه پنجره که در فرایند بهینه‌سازی بررسی شد به دلیل متفاوت بودن آن از دیگر متغیرها و نداشتن روندی خاص از تحلیل حساسیت حذف شده است.

از نتایج به‌دست آمده در بهینه‌سازی نمی‌توان برای تحلیل حساسیت استفاده کرد. این امر به دلیل ماهیت بهینه‌سازی تکاملی است که هر حالت بهینه را در نسل‌های بعد تکرار می‌کند که خود موجب برهم خوردن توزیع نرمال داده‌های ورودی می‌شود. بنابراین جهت آماده‌سازی داده‌ها برای تحلیل حساسیت، در نمونه دارای نورگیر سقفی سه متغیر و در هر متغیر هشت ارزش و نمونه دارای نورگیر جانبی چهار متغیر و در هر متغیر پنج ارزش در طول بازه تغییرات آن انتخاب شد. در نتیجه در مدل دارای نورگیر سقفی ۵۱۲ حالت و در مدل دارای نورگیر جانبی ۶۲۵ حالت مجموعه داده جدید جهت بررسی رگرسیون خطی و تحلیل حساسیت تولید شد. نتایج تحلیل حساسیت برای دو نمونه مورد بررسی در جدول (۸ و ۹) مشاهده می‌شود.

جدول ۸. مقادیر ضریب رگرسیون استاندارد و رتبه‌بندی متغیرها با توجه به تأثیر بر شاخص مصرف انرژی (EUI) و روشنایی فضایی مفید نور روز (sUDI) در نمونه دارای نورگیر سقفی

متغیر	ضریب رگرسیون استاندارد (SRC) مربوط به EUI	رتبه‌بندی مربوط به EUI	ضریب رگرسیون استاندارد (SRC) مربوط به sUDI	رتبه‌بندی مربوط به sUDI
ابعاد نورگیر سقفی	۰٫۹۲	۱	۰٫۹۴	۱
ارتفاع دیواره جنوبی	۰٫۱۵	۳	-۰٫۱۹	۲
ارتفاع دیواره شمالی	۰٫۲۸	۲	-۰٫۰۹	۳

جدول ۹. مقادیر ضریب رگرسیون استاندارد و رتبه‌بندی متغیرها با توجه به تأثیر بر شاخص مصرف انرژی (EUI) و روشنایی فضایی مفید نور روز (sUDI) در نمونه دارای نورگیر جانبی

متغیر	ضریب رگرسیون استاندارد (SRC) مربوط به EUI	رتبه‌بندی مربوط به EUI	ضریب رگرسیون استاندارد (SRC) مربوط به sUDI	رتبه‌بندی مربوط به sUDI
ارتفاع نورگیر جنوبی	۰٫۴۵	۱	۰٫۶۴	۱
ارتفاع نورگیر شمالی	۰٫۳۱	۳	۰٫۴۱	۲
ارتفاع نورگیر شرقی	۰٫۳۹	۲	۰٫۱۹	۴
ارتفاع نورگیر غربی	۰٫۳۹	۲	۰٫۳۰	۳

مطابق نتایج تحلیل حساسیت در مدل دارای نورگیر سقفی، همان‌طور که انتظار می‌رفت ابعاد نورگیر بیشترین میزان تأثیرگذاری را بر دریافت نور روز و مصرف انرژی دارد و با افزایش ابعاد نورگیر سقفی دریافت روشنایی و شدت مصرف انرژی افزایش می‌یابد. دو متغیر ارتفاع دیواره شمالی و جنوبی نورگیر سقفی در مقایسه با تأثیر طول نورگیر سقفی، تأثیر کمتری بر شاخص مصرف انرژی و دریافت روشنایی دارند و تأثیرگذاری آن‌ها بر این دو شاخص عکس یکدیگر است. افزایش ارتفاع دیواره شمالی و جنوبی باعث افزایش مصرف انرژی و هم‌زمان نیز منجر به کاهش دریافت نور روز می‌شود که در این میان افزایش ارتفاع دیواره شمالی تأثیر بیشتری بر افزایش شدت مصرف انرژی دارد و افزایش ارتفاع دیواره جنوبی نیز تأثیر بیشتری بر کاهش دریافت روشنایی دارد. در مدل دارای نورگیر جانبی، ارتفاع نورگیر جنوبی بیشترین میزان تأثیرگذاری را بر افزایش شدت مصرف انرژی دارد. در رتبه‌های بعد نورگیر شرقی و غربی و سپس نورگیر شمالی قرار دارد. همچنین ارتفاع نورگیر جنوبی بیشترین میزان تأثیرگذاری را بر افزایش شاخص روشنایی فضایی مفید نور روز دارد. در رتبه‌های بعد نورگیر شمالی و غربی و سپس نورگیر شرقی قرار دارند. از بررسی نتایج تحلیل حساسیت دریافت می‌شود که تأثیرپذیری دو معیار شاخص شدت مصرف انرژی و شاخص روشنایی فضایی مفید نور روز نسبت به متغیر ارتفاع نورگیر جانبی جنوبی تأثیرپذیری بیشتری دارند و افزایش ارتفاع نورگیر جانبی جنوبی باعث افزایش سریع‌تر شدت مصرف انرژی و افزایش سریع‌تر روشنایی می‌شود که خود بیانگر ضرورت بهینه‌سازی متغیرهای طراحی نورگیر جانبی است.

## نتیجه‌گیری

مشابه پژوهش‌های انجام شده در زمینه بررسی تأثیر تعبیه نورگیر سقفی و جانبی بر مصرف انرژی و تأمین نور روز مشخص شد سهم بزرگی از مصرف انرژی برای روشنایی الکتریکی یک ساختمان یک طبقه دارای کاربری فروشگاه می‌تواند با تعبیه درصد بهینه‌ای از نورگیر سقفی و نورگیر جانبی جایگزین شود. مصرف انرژی جهت گرمایش ساختمان در مقایسه با مصرف انرژی جهت روشنایی و سرمایش از حساسیت کمتری نسبت به تغییر سطح نورگیرها برخوردار است و از نظر صرفه‌جویی در انرژی قابل چشم‌پوشی است. در پژوهش‌های مشابه میزان تأثیرگذاری نورگیر سقفی بر مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی متفاوت بوده است که از دلایل آن می‌توان به میزان ابرناکی آسمان و اقلیم اشاره کرد. با افزایش مساحت نورگیر سقفی، صرفه‌جویی بیشتری در انرژی الکتریکی جهت روشنایی حاصل می‌شود، اما باید در نظر داشت با این افزایش ضمن کاهش دریافت بار گرمایی ناشی از روشنایی الکتریکی، ورود انرژی گرمایی خورشید افزایش می‌یابد که در واقع تفاوت این دو در بار سرمایشی اثرگذار است و این موضوع اهمیت تعبیه نورگیری با مساحت بهینه را آشکارتر می‌کند. بار سرمایش و گرمایش ساختمان در حالت دارای نورگیر سقفی از نورگیرهای جانبی بیشتر است. نورگیر سقفی با ۲۵٪ سطح نورگیر کمتر نسبت به حالت دارای نورگیر جانبی اما با ۱۲٫۶ کیلووات ساعت بر مترمربع شدت مصرف انرژی بیشتر، سطح یکسانی از روشنایی فضایی مفید نور روز (۷۱٪) را دریافت می‌کند. تحقیقات بیشتر در این حیطه مانند تحقیقات در زمینه منافع اقتصادی و هزینه تمام شده جهت تهیه و اجرای سیستم‌های نورگیری از بالا جهت بررسی دقیق‌تر صرفه‌جویی انرژی این سیستم‌ها، تحقیقات در زمینه به‌کارگیری نورگیرهای سقفی در ساختمان‌های دارای سقف کاذب، همچنین بررسی تدابیری مانند تعبیه شیشه‌های پخش‌کننده نور خورشید و یا صفحاتی جهت کنترل ورود تابش مستقیم خورشید به داخل فضا جهت افزایش بیشتر یکنواختی در توزیع روشنایی ایجاد شده توسط سیستم‌های نورگیری از بالا پیشنهاد می‌شود.

## پی‌نوشت‌ها

1. Roof daylighting
2. Toplighting
3. Rooflighting
4. Spatial Useful Daylight Illuminance
5. Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm 2
6. Shading Coefficient
7. Solar Heat Gain Coefficient
8. Skylight to Floor Ratio (SFR)
9. Grasshopper
10. Honeybee
11. Python
12. Lights cape
13. Pareto Front
14. Multi Optimization
15. Window to Wall Ratio (WWR)
16. Octopus
17. Visible Light Transmittance
18. Lighting Setpoint

19. Rhino
20. Ladybug Tools
21. Daysim
22. Wallacei
23. Energy Use Intensity
24. Openstudio

## فهرست منابع

- دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان. (۱۳۹۸). مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، صرفه‌جویی در مصرف انرژی. تهران: نشر توسعه ایران.
- رفعتی، نریمان، صنایعیان، هانیه، و فیضی، محسن (۱۴۰۰). مقایسه پیکربندی‌های لوور به‌منظور بهینه‌سازی نور روز و مصرف انرژی در شهرهای بندرعباس و تبریز. نشریه هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی، ۲۶(۳)، ۷۱-۸۴.
- Acosta, I., Navarro, J., & Sendra, J. J. (2013). Daylighting design with lightscoop skylights: Towards an optimization of shape under overcast sky conditions. *Energy and buildings*, 60, 232-238.
- Al-Ashwal, N. T., & Hassan, A. S. (2018). The Impact of Daylighting-Artificial Lighting Integration on Building Occupant's Health and Performance. *International Journal Transaction Journal of Engineering Management & Applied Sciences & Technologies*, 9, 97-105.
- ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2016. (2016). *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*.
- ANSI/ASHRAE Standard 140-2017. (2017). *Standard Method of Test for The Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*.
- Arasteh, D. (1985). Cooling energy and cost savings with daylighting in a hot and humid climate. *Lawrence Berkeley Laboratory*, University of California, Applied Science Division.
- Arasteh, D., Johnson, R., & Selkowitz, S. (1984). The effects of skylight parameters on daylighting energy savings. *Lawrence Berkeley Laboratory*, University of California, Applied Science Division.
- Artisticskylight (2023). *professional resources*. Retrieved 14 December, 2023 from <https://artisticskylight.com/professional/professional-resources/full-product-binder/>.
- Baker, N., & Steemers, K. (2002). *Daylight design of buildings* (1st Editio). London: James & James.
- Beltran, L.O. (2005). Toplighting for the Tropics. *22nd International Conference, PLEA*.
- De Luca, F., Simson, R., Voll, H., & Kurnitski, J. (2018). Daylighting and energy performance design for single floor commercial hall buildings. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 29(4), 722-739.
- Erendsson, Ö. (2014). Daylight Optimization-A Parametric Study of Atrium Design: Early Stage Design Guidelines of Atria for Optimization of Daylight Autonomy. Ph. D thesis, KTH University.
- Fang, Y., & Cho, S. (2018). Sensitivity analysis of skylight and clerestory design on energy and daylight performance of retail building. *In Proceedings of 2018 Building performance analysis conference and SimBuild coorganized by ASHRAE and IBPSA-USA, Chicago, IL*,

- September (26-28).
- Gago, E. J., Muneer, T., Knez, M., & Köster, H. (2015). Natural light controls and guides in buildings. Energy saving for electrical lighting, reduction of cooling load. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1-13.
  - Ghobad, L., Place, W., & Hu, J. (2012). The Impact of Systems Integration on the Daylighting Performance of Skylights in Offices. *Proceedings of SimBuild*, 5(1), 577-584.
  - Gogoi, T. K. (2016). Estimation of operating parameters of a water-LiBr vapor absorption refrigeration system through inverse analysis. *Journal of Energy Resources Technology*, 138(2), 022002.
  - IESNA. (1990). *The IESNA lighting handbook: Reference and application* (Ninth Edition). New York: Illuminating Engineering Society of North America.
  - Johnsen, K., Dubois, M.-C., & Sørensen, K. G. (2006). Assessment of daylight quality in simple rooms: Impact of three window configurations on daylight conditions, Phase 2. Statens Byggeforskningsinstitut, SBI Danish Building Research Institute.
  - Lapisa, R., Karudin, A., Martias, M., Krismadinata, K., Ambiyar, A., Romani, Z., & Salagnac, P. (2020). Effect of skylight-roof ratio on warehouse building energy balance and thermal-visual comfort in hot-humid climate area. *Asian Journal of Civil Engineering*, 21(5), 915-923.
  - Lawrence, T., & Roth, K. W. (2008). *Commercial building toplighting: energy saving potential and potential paths forward*. Washington, DC (United States): EERE Publication and Product Library.
  - Marzouk, M., Eissa, A., & ElSharkawy, M. (2020). Influence of light redirecting control element on daylight performance: a case of Egyptian heritage palace skylight. *Journal of Building Engineering*, 31, 101309.
  - Motamedi, S., & Liedl, P. (2017). Integrative algorithm to optimize skylights considering fully impacts of daylight on energy. *Energy and Buildings*, 138, 655-665.
  - Nabil, A., & Mardaljevic, J. (2006). Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy and Buildings*, 38(7), 905-913.
  - Nemri, A., & Krarti, M. (2005). Analysis of electrical energy savings from daylighting through skylights. *International Solar Energy Conference*, 47373, 51-57.
  - Okura, S., Heschong, L., & Wright, R. (2000). Skylighting and Retail Sales. *Conference Proceedings ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*.
  - Climate.Onebuilding. (2022). *Asia-Region 2*. Retrieved 13 January, 2022 from [https://climate.onebuilding.org/WMO\\_Region\\_2\\_Asia/IRN\\_Iran/TE\\_Tehran/IRN\\_TE\\_Tehran.Mehrabad.Intl.AP.407540\\_ITMY.zip](https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_2_Asia/IRN_Iran/TE_Tehran/IRN_TE_Tehran.Mehrabad.Intl.AP.407540_ITMY.zip).
  - Phillips, D. (2004). *Daylighting: Natural Light in Architecture* (1st Editio). New York: Architectural Press.
  - Sather, M. (2014). *The Importance of a Daylighting System*. Edc, 18-21.
  - Tian, W. (2013). A review of sensitivity analysis methods in building energy analysis. *Renewable and sustainable energy reviews*, 20, 411-419.
  - Treado, S., Gillette, G., & Kusuda, T. (1984). Daylighting with windows, skylights, and clerestories. *Energy and Buildings*, 6(4), 319-330.



- Wang, X., Kendrick, C., Ogden, R., Walliman, N., & Baiche, B. (2013). A case study on energy consumption and overheating for a UK industrial building with rooflights. *Applied Energy*, 104, 337-344.
- Yoon, Y. J., Moeck, M., Mistrick, R. G., & Bahnfleth, W. P. (2008). How much energy do different toplighting strategies save? *Journal of Architectural Engineering*, 14(4), 101-110.
- Zhai, Y., Wang, Y., Huang, Y., & Meng, X. (2019). A multi-objective optimization methodology for window design considering energy consumption, thermal environment and visual performance. *Renewable Energy* 1190-1199, 134, .
- Zhang, A., Huang, Q., Sun, Y., & Zhang, Q. (2017). Multi-objective window optimization of school buildings for thermal and daylight performance in the cold climate of China. *PLEA 2017 PROCEEDINGS- DESIGN TO THRIVE*, 3, 4461-4468.

### COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Architecture and Urban Planning. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



### نحوه ارجاع به این مقاله

توفیقی، نگین؛ مهدوی‌نیا، مجتبی و حبیبی، شهریار (۱۴۰۲). بهینه‌سازی نورگیر سقفی با هدف تأمین روشنایی و کاهش مصرف انرژی در فضاهای یکپارچه فروشگاهی شهر تهران؛ بررسی موردی: فروشگاه زنجیره‌ای شهروند. نشریه علمی نامه معماری و شهرسازی، ۱۶(۴۱)، ۷۳-۹۷.



DOI: 10.30480/AUP.2022.4239.1922  
URL: [http://aup.journal.art.ac.ir/article\\_1078.html](http://aup.journal.art.ac.ir/article_1078.html)

## Optimization of Skylights to Provide Lighting and Reduce Energy Consumption in Integrated Store Spaces in Tehran Case Study: Shahrvand Chain Store

**Negin Tofighi**

M.A. in Architecture and Energy, Department of Architecture and Energy, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Art, Tehran, Iran (Corresponding Author)

**Mojtaba Mahdavinia**

Assistant Professor, Department of Architecture and Energy, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Art, Tehran, Iran

**Shahryar Habibi**

Assistant Professor, Department of Architecture and Energy, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Art, Tehran, Iran

### Abstract

Due to demographic changes and the growing trend of urbanization and the consequent increase in energy demand in recent decades, energy supply has become one of the main concerns of human societies. The use of passive solutions and renewable resources for sustainable design, especially in the construction sector, is one of the ways to deal with the consequences of the crisis due to limited fossil fuels and greenhouse gas emissions. Among renewable energy, solar energy plays an important role in meeting the needs of the building, especially lighting. Daylight is one of the basic components of a passive solar building design. Proper integration of daylight with architectural design is considered one of the most effective means of reducing energy and the environmental problems and improve the quality of visual comfort and health. Among the various daylight systems available today, toplighting is used because of its ability to provide uniform daylight in spaces without facades or in deep rooms. The use of skylights in large stores, due to the high energy demand of this type of building and also the potential of using natural light, can reduce energy consumption and introduce daylight to deeper spaces. The purpose of this study is primarily to investigate the thermal and lighting performance of the installation of skylights in store buildings and in particular the Shahrvand Al-Ahmad branch store in Tehran. To achieve this goal, after defining the parameters affecting energy and light performance, the process of simulating daylight and energy was done in two stages: 1) skylight, and 2) clerestory. Models with parameters including the dimensions of the skylight, the height of the north and south curb, the type of glass in the model with skylights, and the height and type of glass in the model with clerestory were simulated, so that an appropriate solution in terms of light and energy can be achieved with the help of multi-objective optimization process. The objectives are energy use intensity (EUI) and spatial useful daylight illuminance (sUDI), which were evaluated after the optimization process with the help of Pareto front diagrams. Finally, in the two mentioned models, sensitivity analysis was performed to evaluate the effect of the studied variables on the outputs. According to the results, the skylights with SFR of 4.97% to 6.09% with the lowest curb height and double glazing with 0.10 emission coefficient, and high clerestories on the north and south walls and low clerestories on the east and west walls with double glazing with 0.10 emission coefficient have the best performance in terms of daylight and energy. Also, the skylight provides the same level of daylight with more uniformity compared to the clerestory in the same conditions, with 35% less glass area but with 12 kWh/m<sup>2</sup> of higher energy consumption. According to the results of sensitivity analysis, the dimensions of the skylight and the height of the southern clerestory have the greatest impact on daylight and energy use in the model with skylights and clerestories, respectively.

**Keywords:** Optimization, daylight, parametric design, store, skylight