

مقایسه پیکربندی‌های لوور به‌منظور بهینه‌سازی نور روز و مصرف انرژی در شهرهای بندرعباس و تبریز

نریمان رفعتی^۱، هانیه صنایعیان^۲، محسن فیضی^۳

^۱ کارشناس ارشد معماری پایدار، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

^۲ استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

^۳ استاد گروه هنرهای کاربردی (منظر)، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۲۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۶/۱۹)

چکیده

افزایش عوامل مؤثر بر طراحی لوور، روند طراحی آنها را پیچیده‌تر از قبل کرده است. نه تنها عوامل مؤثر بر زیبایی لوور بلکه عوامل دیگری مانند مصرف انرژی و آسایش بصری نیز باید در روند طراحی لوور مورد نظر قرار گرفته شود. این تحقیق با در نظر گرفتن تأثیرگذارترین عوامل در طراحی لوور، گزینه‌های طراحی مناسب برای اقلیم‌های مورد مطالعه را نیز معرفی می‌کند تا بهترین گزینه‌های طراحی سازگار با هر اقلیم از نظر مصرف انرژی و دریافت نور روز را شناسایی کنیم. در این پژوهش میزان مصرف انرژی و آسایش بصری را بر اساس روش‌های کمی ارزیابی خواهیم کرد. به این منظور ابتدا پارامترهای متغیر عناصر تشکیل‌دهنده لوور را تعریف می‌کنیم و در قدم بعدی شهرهای بندرعباس و تبریز انتخاب شده‌اند تا شبیه‌سازی میزان مصرف انرژی و دریافت نور روز با در نظر گرفتن لوورها در این شهرها انجام بگیرد. نهایتاً با توجه به اینکه چندین پاسخ ممکن به دست آمده است، با استفاده از نمودار پار تو به بهترین جواب‌های گرفته‌شده از بهینه‌سازی که از الگوریتم ژنتیک بهره می‌برد، دست پیدا می‌کنیم. بنابراین، براساس طراحی‌های به دست آمده بهترین گزینه‌ی ممکن انتخاب می‌شود تا در شهر و اقلیم انتخاب‌شده به کار گرفته شود.

واژگان کلیدی

آسایش بصری، شاخص‌های روشنایی، لوور، طراحی پارامتریک، الگوریتم نخبه‌گرای مرتب‌سازی ژنتیکی غیرمغلوب^۲.

^{**} مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول، با عنوان: «طراحی مدرسه به منظور بهینه‌سازی نور و انرژی با تأکید بر عملکرد لوور (شهرهای تهران، تبریز و بندرعباس)» می‌باشد که با راهنمایی نگارندگان دوم و سوم ارائه شده است.

* نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۱۲۳۱۱۴۸، نمابر: ۰۲۱-۷۳۰۲۱۶۶۸، E-mail: mfaizi@iust.ac.ir

مقدمه

و طراحی مناسب سیستم‌های سایه‌انداز به انرژی کارابودن و آسایش بصری دست پیدا کنند.

براساس تحقیقات بلیا^۲ و همکاران (Bellia et al., 2014)، سیستم‌های سایه‌انداز از نظر موقعیت مکانی به دو دسته‌ی داخلی و خارجی دسته‌بندی می‌شوند. کرکره و پرده، سایه‌اندازهای داخلی هستند که در ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Kirimtat et al., 2016). از طرفی دیگر، سایه‌اندازهای خارجی در ساختمان به لوور، سایبان، طاقچه‌ی نوری، کرکره و پرده دسته‌بندی می‌شوند (Gago et al., 2015)، [۴]، [۱۴]. چن^۳ و همکاران (Chan and Tzempelikos, 2013) نشان دادند که کرکره به‌عنوان سیستمی که نور را به فضای داخل منعکس می‌کند مؤثر است و می‌تواند به‌عنوان یکی از بهترین گزینه‌های پخش نور روز مورد استفاده قرار بگیرد. همچنین، لوورها رایج‌ترین سیستم طراحی شده هستند که نور روز را دریافت و به عمق فضای داخلی منعکس می‌کنند [۲]. داتا^۴ (Datta, 2001) ثابت کرد که لوورهای خارجی در کم کردن بار سرمایش ساختمان در تابستان مؤثرند و باعث کاهش سالانه‌ی مصرف انرژی در ساختمان می‌شود. درحالی‌که این سیستم‌ها باید به شرایط آب‌وهوایی متفاوت و نیازهای ساکنین ساختمان پاسخگو باشند (Brembilla et al., 2019).

با توجه به کتاب راهنمای سازمان انرژی جهانی^۵ (IEA SHC, 2000)، عملکرد نور روز و سیستم‌های سایه‌انداز بستگی به شرایط اقلیمی و عرض جغرافیایی دارد. این وابستگی اهمیت در نظر گرفتن زمینه و نیازهای محلی را در طراحی لوورها افزایش می‌دهد (Kirimtat et al., 2016). انتظار می‌رود سایه‌اندازهایی که با توجه به شرایط آب‌وهوایی منطقه طراحی شده‌اند بتوانند نور روز مناسبی را از منظر کمیت، یکپارچگی، کنترل تابش مستقیم و کاهش خیرگی فراهم کنند (Yamín Garretón et al., 2021). باین‌حال طیف گسترده‌ای از سایه‌اندازهای از پیش ساخته‌شده‌ای در بازارها موجود است که بدون توجه به زمینه طراحی شده‌اند و به ناکارآمدی آنها منجر شده است.

دو مشکل اصلی که در طراحی لوورها دخیل است عبارت‌اند از:

۱. برخی از مناطق دستورالعمل مشخصی برای کمک به طراحان و معماران برای طراحی سایه‌اندازها در نظر نگرفته‌اند و آنها فقط نیازهای آسایش بصری و حرارتی را بدون تعیین روش‌های روشن برای رسیدن به این اهداف فراهم می‌کنند.

۲. در سایر مناطق دستورالعمل‌هایی که سیستم‌های سایه‌انداز را هم در برمی‌گیرند، از جنبه‌های عمومی مورد بررسی قرار گرفته‌اند (DiLaura et al., 2011) و شرایط آب‌وهوایی منطقه در آن دستورالعمل‌ها دخیل نیستند.

ساختمان‌ها تقریباً ۴۰٪ از مصرف سالانه‌ی انرژی در جهان را برعهده دارند (Omer, 2008). روشنایی مصنوعی، گرمایش و سرمایش منبع اصلی مصرف انرژی در ساختمان‌ها هستند (Ibid.). به‌صورت دقیق‌تر، ۳۵٪ از این انرژی به‌منظور تأمین روشنایی مصنوعی استفاده می‌شود که منجر به بار سرمایش اضافه و افزایش ۱۶٪ در قبض مربوط به آن می‌شود (Gago et al., 2015). نور روز، یکی از مقرون به‌صرفه‌ترین سرمایه‌گذاری‌ها برای انرژی، می‌تواند مصرف کل انرژی را ۲۵٪ تا ۳۰٪ کاهش دهد (Ibid.). باین‌حال، نفوذ بیش‌ازاندازه‌ی نور روز منجر به افزایش انرژی گرمایی می‌شود که مستقیماً باعث افزایش بار سرمایش و مصرف انرژی خواهد شد. جذب انرژی گرمایی خورشید، که نتیجه‌ی نفوذ تابش کنترل‌نشده‌ی خورشید از طریق جداره‌ی شفاف است، تأثیر مخربی بر دمای هوای داخل دارد (Bellia et al., 2014).

تابش بیش‌ازاندازه‌ی خورشید تنها محدود به افزایش گرما نیست و منجر به آسیب‌های بصری مانند خیرگی و بازتاب ناخواسته نیز می‌شود (Pauley, 2004)، (Zomorodian and Tahsildoost, 2019). ج. ا. کانر (O'Connor, 1997) اظهار دارد، فضاهای دلیپذیر با بهره‌وری مناسب از نور روز می‌تواند رضایت ساکنین را به همراه داشته باشد و باعث کارابودن آنها در فضا شود (Edwards and Torcellini, 2002). دستیابی به فضایی که آسایش بصری و حرارتی را فراهم می‌کند نیازمند به روشی از طراحی می‌باشد که نور روز و تابش خورشید را کنترل کند. این طراحی نیاز به استفاده از سیستم‌هایی دارد که روشنایی کافی در داخل فضا و انرژی کارابودن ساختمان را تضمین کند (Hviid, Nielsen, and Svendsen, 2008; Tzempelikos and Athienitis, 2007; Gago et al., 2015).

انتخاب یک سیستم مناسب نور روز می‌تواند با به حداقل رساندن روشنایی مصنوعی، کنترل مصرف انرژی و در نتیجه به کم کردن مصرف سیستم‌های تهویه کمک کند (Alrubaih et al. 2013). این مسئله زمانی بیشتر بحرانی می‌شود که متوجه می‌شویم نماهای ساختمان‌ها اغلب شیشه‌ای شده‌اند (Kirimtat et al., 2016). سیستم‌های انتقال نور روز در نماهای شیشه‌ای در زمینه‌های حفاظت از تابش خورشید (Ye et al. 2016)، جمع‌آوری نور روز (Konstantoglou and Tsangrassoulis, 2016) و افزایش گرمای داخلی (Nielsen, Svendsen, and Jensen, 2011) جلوگیری می‌کنند. همچنین آنها می‌توانند ورود نور روز را مسدود کنند و باعث نیاز به استفاده از روشنایی مصنوعی شویم و یا از تابش خورشید در زمستان جلوگیری کنند (Kirimtat et al., 2016). بنابراین اهمیت درست استفاده از سایه‌اندازهایی که نوع ابعاد درستی دارند بر اهمیت آنها تأکید می‌کند (Datta, 2001)، از این‌رو طراحان همواره در تلاش هستند تا با استفاده

روش پژوهش

روند بهینه‌سازی عملکرد ساختمان و نرم‌افزارهای مورد نیاز در تصویر (۱) نشان داده شده است. در این رویکرد سه مرحله‌ی اصلی وجود دارد. مرحله‌ی اول شناسایی متغیرهای طراحی به‌منظور بررسی است و سپس ساخت مدل طراحی پارامتریک است. مرحله‌ی دوم توسعه‌ی

مدل شبیه‌سازی روشنایی روز و انرژی است. مرحله‌ی سوم بهینه‌سازی چندهدفه می‌باشد. پس از اتمام آخرین مرحله که بهینه‌سازی است، نتایج، داده‌های به دست آمده و راه‌کارهای بهینه مورد بررسی و آنالیز قرار گرفته است.

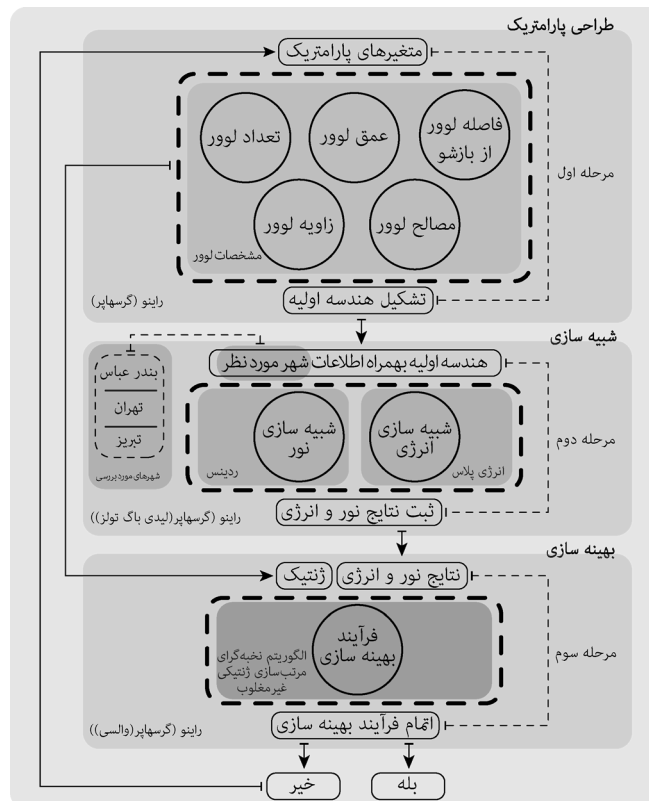
روند بهینه‌سازی در نرم‌افزار سه‌بعدی راینو (Associates, 2018) و

این بهینه‌ساز متصل می‌شوند و مقدار عددی شاخص مورد نظر برای آنالیز انرژی و نور به‌عنوان هدف به این بهینه‌ساز اتصال پیدا می‌کنند. دو هدفی که در این تحقیق مورد بهینه‌سازی قرار می‌گردد، بیشینه‌ی شاخص روشنایی (UDI) (Useful Daylight Illuminance) و (EUI) (Energy Use Intensity) می‌باشد که نمایانگر بهینه‌ی کارایی انرژی و روشنایی روز می‌باشد. جزییات این دو شاخص در بخش شبیه‌سازی مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. پس از بررسی اولیه‌ی نور روز و انرژی، موتور بهینه‌ساز نتایج شبیه‌سازی را ضبط می‌کند و تا زمانی که به بهترین جواب برسد این فرآیند ادامه خواهد داشت و گزینه‌های مختلف طراحی را مورد بررسی قرار می‌دهد. لوپ فرآیند بهینه‌سازی در تصویر (۱) نشان داده شده است.

پس از پایان یافتن بهینه‌سازی چندین مرحله برای بررسی نتایج مورد نیاز است. تمام نتایج ضبط‌شده در طول دوره‌ی بهینه‌سازی وارد نرم‌افزار اکسل شده تا مورد بررسی دقیق‌تر قرار گیرند. این نتایج به‌صورت چارت‌هایی به تصویر کشیده شده‌اند تا رابطه‌ی میان متغیرهای طراحی و نتایج حاصل از آنها مورد بررسی قرار گیرد. همه‌ی داده‌ها در نمودار پارتو به تصویر کشیده شده‌اند تا با توجه به مقادیر هدف آنها، مشخصات متغیرهای طراحی هر روشی که مورد بررسی قرار گرفت را بررسی کنیم. یک فضای اداری کوچک جهت بررسی نتایج و تأثیر پروسه‌ی بهینه‌سازی مدل‌سازی شده است. بررسی بهینه‌سازی موارد انتخاب‌شده بر روی این اتاق در دو شهر با دو اقلیم متفاوت انجام می‌شود. شرایط اقلیمی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و تأثیرگذارترین عوامل در مصرف انرژی حساب می‌شود و دلیل آن ارتباط مستقیم میان شرایط بیرونی و میزان بار سرمایش و گرمایش فضای درونی است. همچنین شرایط نور روز نیز شدت متأثر از دی‌گرام خورشیدی و عرض جغرافیایی می‌باشد. دو شهر

گرسه‌پا به‌عنوان افزونه‌ی طراحی پارامتریک آن آغاز می‌شود. هندسه‌ی ساختمان به همراه تمام متغیرهای موجود در آن که ارزش کمی آنها توسط اسلایدر کنترل می‌شود در محیط گرسه‌پا نوشته و ساخته می‌شوند. همچنین بازه‌ی تغییر هر متغیر براساس اطلاعات و ادبیات تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته توسط طراح مشخص می‌شود. مقدار اولیه‌ی هر متغیر طراحی به‌عنوان مقدار متوسط در بازه‌ی انتخاب‌شده تنظیم می‌شود که این مقدار در واقعیت نیز عددی مورد قبول است و بنابراین هندسه‌ی اولیه طرح تولید می‌شود. پلاگین‌های گرسه‌پا، لیدی‌باگ و هانی‌پی (Roudsari and Pak, 2013) پتانسیل بررسی عملکرد نور روز و انرژی را فراهم می‌کنند. در فرآیند مدل‌سازی روشنایی روز، هندسه‌ی پارامتریک ساختمان و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن به متریکال‌های موجود در نرم‌افزار ریدینس (LBNL, 2020) متصل شده تا تنظیمات شفافیت و بازتابندگی متریکال‌های مورد نظر اعمال شود. پس از آن اجزای تشکیل‌دهنده‌ی ساختمان و مدل برای شبیه‌سازی به همراه متریکال‌های اعمال‌شده به موتور شبیه‌سازی روشنایی روز متصل می‌شوند تا به همراه فایل آب‌وهوایی و سایر تنظیمات، شبیه‌سازی انجام گیرد. یک فایل شبیه‌سازی روشنایی توسط نرم‌افزار ریدینس با پسوند rad تولید می‌شود و پس از اتمام یافتن شبیه‌سازی، لیدی‌باگ نتایج شبیه‌سازی را به گرسه‌پا باز می‌گرداند و نتایج را براساس شاخص روشنایی روز مورد نظر بازخوانی می‌شوند و نتایج سالانه مانند یک جدول در دسترس قرار می‌گیرند.

این تحقیق از روش بهینه‌سازی چندهدفه نیز استفاده می‌کند. الگوریتم مورد استفاده در این نوع بهینه‌ساز NSGA-II می‌باشد که افزونه‌ی Wallacei در محیط گرسه‌پا اجازه‌ی استفاده از این نوع الگوریتم بهینه‌ساز را می‌دهد. متغیرهای طراحی به ژنتیک‌های ورودی



تصویر ۱- فرایند و ابزارهای بهینه‌سازی نور روز و انرژی.

نظر گرفته شود که همه‌ی آنها حالت بسته داشته باشند، لوورها بر روی یکدیگر همپوشانی دارند و این حالت، حالتی غیرممکن تلقی می‌شود اما مقادیر متغیرها با توجه به ادبیات تحقیق و مطالعات صورت گرفته به نحوی تنظیم شده‌اند تا هم از ایجاد حالت غیرممکن جلوگیری شود و هم بازه‌ی قابل اطمینانی برای دستیابی به بهترین جواب ممکن را پوشش دهند. این موارد می‌توانند از انجام محاسبات اشتباه که منجر به قطع شدن شبیه‌سازی نیز می‌شوند جلوگیری کند. همچنین مشخصات متریکال‌های مورد استفاده برای لوور نیز در جدول (۳) نشان داده شده است.

اشاره به این نکته حائز اهمیت است که تمامی فرآیندهای بهینه‌سازی در ۵۰ نسل انجام می‌گیرد و هر نسل دارای ۲۰ جمعیت می‌باشد. این بدین معنی است که تمامی فرآیندهای بهینه‌سازی در ۱۰۰۰ شبیه‌سازی انجام می‌شوند.

با توجه به تأثیرگذاری بیشتر برخی پارامترها نسبت به سایر پارامترها مانند نسبت تأثیر زاویه و تعداد لوورها به عمق آنها 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. مانند تعداد متغیرهای ۹ برای زاویه و تعداد لوور و ۵ برای عمق آن که طبق تحقیقات صورت گرفته بیشترین تأثیر را در بازدهی لوور را دارند.

شبیه‌سازی و مدل‌سازی نور روز و انرژی

بنا در مدل پارامتریک دارای سنسورهایی در ارتفاع ۰/۷۶ متر از سطح زمین جهت شبیه‌سازی نور روز است و ابعاد شبکه آنالیز به‌منظور شبیه‌سازی نور روز در فضایی به مساحت ۲۹/۵۲ مترمربع، یک متر می‌باشد. مدل و شبیه‌سازی نور و انرژی توسط الگوی ساختمان‌های آموزشی دپارتمان انرژی^۱ انجام شده است. این مدل از مصالح، بارهای داخلی، برنامه‌ی زمان‌بندی و تنظیمات ترموستات دمایی فضای آموزشی بهره می‌برد. مصالحی هم که در بخش تنظیمات مربوط به ری‌دینس

انتخاب شده به‌منظور بررسی شرایط نور و انرژی، شهرهای بندرعباس و تبریز با عرض‌های جغرافیایی ۲۷.۱۷ و ۳۶.۰۶ می‌باشند. هدف اصلی، بررسی راهکارهای بهینه میان این دو شهر با اقلیم‌های متفاوت می‌باشد تا علاوه بر مقایسه‌ی راهکارهای بهینه میان آنها، به این نتیجه برسیم که یک ساختمان با شرایط هندسی کاملاً مشابه چگونه می‌تواند از راه‌کارهای مختلف استفاده کنند تا به راه‌کارهای معماری پایدار دست پیدا کنند. هدف دیگر نیز بررسی رابطه و میزان تأثیرگذاری متغیرهای مختلف و کارایی آنها بر روی هدف‌های انتخاب شده است تا بتوان از نتایج آنها در طراحی‌های آینده استفاده کرد.

یک بنای تک‌واحدی با کشیدگی شمالی-جنوبی برای شبیه‌سازی انتخاب شده است که دارای مساحت ۲۹/۵۲ مترمربع است. این اتاق تک‌واحدی به جعبه‌ی کفش رینهارت^۲ شهرت دارد. این فضای نمونه به نمایندگی از کل فضاهاست و دارای نورگیری رو به جنوب می‌باشد و ساختمان‌های همسایه مانعی برای آن ندارند. ابعاد داخلی اتاق ۳/۶ متر عرض در ۸/۲ متر طول و ۲/۸ متر ارتفاع است (Reinhart, Jakubiec, and Ibarra, 2013). ۴ جداره‌ی خارجی دارد که شامل دیوارها به همراه کف و سقف می‌باشد و همه‌ی این جداره‌ها آدیباتیک^۳ در نظر گرفته شده‌اند و این موضوع به ما کمک می‌کند تا بتوانیم تمرکز تحقیق را بر روی طراحی لوورها و تأثیر آنها بر مصرف سالانه‌ی انرژی ساختمان و آسایش بصری بگذاریم که بر روی نمای جنوبی نصب می‌شوند.

در این پژوهش ۵ متغیر به‌منظور بررسی حالات مختلف طراحی انتخاب شده است و هدف اصلی آن انتخاب لوور مناسب می‌باشد که شامل: زاویه، تعداد، عمق، فاصله از پنجره و مصالح مورد استفاده در لوور می‌باشد. تمامی متغیرهای طراحی به همراه تعداد حالات ممکن برای شبیه‌سازی و بازه‌ی تغییر متغیرها به همراه مقدار اولیه هر کدام در جدول (۲) مشخص شده‌اند که جمعاً ۱۳۵۲۰ حالت را تشکیل می‌دهند. بازه‌ی تغییرات متغیرها به‌گونه‌ای در نظر گرفته شده که همه‌ی حالات مورد بررسی در طراحی قابلیت اجرا داشته باشند، به‌عنوان مثال اگر طول لوورها از فاصله‌ی میان آنها بیشتر شده و زاویه‌ی لوورها به نحوی در

جدول ۱- مشخصات تعداد حالات در نظر گرفته شده برای متغیرهای لوور.

متغیر	بازه‌ی در نظر گرفته شده			توضیحات
	ارزش حداقل	ارزش حداکثر	حالات تعداد	
تعداد لوور (n)	۸	۲۰	۱۳	میزان جهش برابر ۱ می‌باشد
عمق لوور (dl)	۰/۰۵	۰/۲۵	۵	میزان جهش برابر ۰/۵ می‌باشد
فاصله لوور از بازو (dw)	۰/۰۰	۰/۱۵	۴	میزان جهش برابر ۰/۵ می‌باشد
زاویه لوور (a)	-۶۰	۶۰	۱۳	میزان جهش برابر ۱۰ می‌باشد
متریال لوور (m)	-	-	۴	مشخصات در جدول (۳) گفته شده
تعداد کل حالات	۱۳۵۲۰			

جدول ۲- مشخصات مصالح در نظر گرفته شده برای لوورها.

متریال	p	درخشندگی			سختی
		pr	pg	pb	
آلومینیوم	۰/۸۸۵	۰/۹۰۰	۰/۸۸۰	۰/۸۸۰	۰/۲۰
برنج	۰/۵۸۴	۰/۷۲۶	۰/۵۶۳	۰/۲۲۳	۰/۰۰
کروم	۰/۸۱۵	۰/۸۰۸	۰/۸۲۱	۰/۷۸۹	۰/۰۵
استیل	۰/۴۹۸	۰/۴۹۸	۰/۴۹۸	۰/۴۹۸	۰/۰۱

این دو شاخص هم‌زمان با یکدیگر ارزیابی می‌شوند تا گزینه‌های مختلف طراحی با توجه به میزان دریافت نور روز بالا و مصرف انرژی الکتریکی و حرارتی پایین مورد بررسی قرار گیرند.

بهینه‌سازی روشی برای یافتن مقدار حداقل یا حداکثر یک تابع با انتخاب تعدادی از متغیرها با تعدادی محدودیت است. تابع بهینه‌سازی، عملکرد هدف^{۱۳} نامیده می‌شود و معمولاً با استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی محاسبه می‌شود (Machairas, Tsangrassoulis and Axarli, 2014). بهینه‌سازی بر اساس تعداد اهداف می‌تواند تک‌هدف یا چندهدفه باشد. بهینه‌سازی چندهدفه دارای دو رویکرد متفاوت است: روش‌های کلاسیک و روش‌های غیر سنتی (Shukla, Deb, and Tiwari 2005; Machairas, Tsangrassoulis, and Axarli 2014).

۱. در رویکرد اول، از اصول ریاضی برای تبدیل بهینه‌سازی چندهدفه به یک مسئله تک‌هدفه مقیاس‌پذیر از روش وزن‌دهی برای هر هدف استفاده می‌شود (Marler and Arora, 2010). اهداف بهینه‌ساز چندهدفه با یک تابع وزنی به یک هدف واحد تبدیل می‌شوند (Mirjalili et al., 2018). هر یک از اهداف با عوامل وزنی مربوط به آنها تعریف می‌شوند تا تنها یک تابع تک‌هدفه به دست آید (Machairas, Tsangrassoulis, and Axarli, 2014). برای حل آن می‌توان از الگوریتم‌های بهینه‌سازی معمولی استفاده کرد، اما نمی‌توان اطلاعات مربوط به نحوه تداخل اهداف فرعی با یکدیگر را استخراج کرد و برای یافتن بهترین وزن‌ها باید با متخصص مشورت کرد (Mirjalili et al., 2018). آزمایش عوامل مختلف وزنی باعث افزایش تعداد مشکلات بهینه‌سازی می‌شود که به‌نوبه خود زمان پردازش بیشتری را می‌طلبد (Machairas, Tsangrassoulis and Axarli, 2014).

Minimize: $F(x) = w_1 f_1(x) + w_2 f_2(x) + \dots + w_n f_n(x)$
(number of equation)

($L_i \leq x_i \leq U_i, i = 1, 2, \dots, n$ (number of equation

جایی که w_1, w_2, w_3, \dots وزن اهداف، n تعداد متغیرها، o تعداد توابع هدف، و $[L_i, U_i]$ مرزهای متغیر i -th هستند (Mirjalili et al., 2018).

۲. یکی از مشکلات اصلی در یک فضای جستجوی چندهدفه این است که اهداف می‌توانند در تضاد باشند (Deb, Padhye, and Neema, 2007) و آنها یک فضای چندبُعدی را تشکیل می‌دهند (برخلاف بهینه‌سازی تک‌هدفه) (Bre, Roman, and Fachinotti, 2020). اگر اهداف متناقض نیستند، بهتر است از تکنیک مقیاس بندی برای ترکیب اهداف (Emmerich and Deutz, 2018) و یا استفاده از شیوه بهینه‌سازی تک‌هدفه استفاده شود. در غیر این صورت، در روش‌های غیر سنتی، روش تصادفی^{۱۴} برای یافتن مجموعه‌ای از

انجام می‌شود نیز در دو اقلیم مشابه است (استفاده از متریاال‌های متفاوت به‌عنوان یکی از متغیرها در بخش‌های مختلف شبیه‌سازی هدف این بخش نبوده است) و میزان بازتابش سطوح برای سقف، کف، دیوارهای داخلی و خارجی به ترتیب ۰/۸، ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۵ می‌باشد. مصالح مورد استفاده برای پنجره یک مصالح شفاف است که دارای ضریب شفافیت ۰/۶ است. تمام مشخصات مربوط به مصالح در جدول (۴) آمده است.

خروجی‌های شبیه‌سازی

خروجی انرژی برای شبیه‌سازی انجام‌شده میزان بار سالانه‌ی سرمایش و گرمایش در هر مترمربع می‌باشد. با توجه به اهداف این تحقیق میزان بار الکتریکی تجهیزات مورد استفاده و روشنایی مصنوعی در همه‌ی حالات ثابت است و مورد بررسی قرار نخواهند گرفت. شاخص مورد نظر برای ارزیابی انرژی در این تحقیق شدت استفاده از انرژی^{۱۱} می‌باشد. این شاخص یک معیار مصرف انرژی کل ساختمان است که از تقسیم کل بارهای انرژی سالانه (جمع سرمایش و گرمایش) بر مساحت خالص کف ساختمان به دست می‌آید (Borgstein, Lamberts, and Hensen, 2016). کارایی انرژی یک ساختمان توسط مقایسه‌ی شدت استفاده‌ی انرژی ساختمان‌ها در حالت‌های مختلف طراحی لوور قابل مقایسه و ارزیابی می‌باشد. میزان سرمایش و گرمایش ساختمان در هر گزینه‌ی طراحی لوور نیز به‌صورت جداگانه قابل بررسی است. بنابراین واحد مورد نظر برای محاسبه‌ی EUI کیلووات ساعت بر مترمربع در سال است که در ادامه‌ی پژوهش از تکرار آن خودداری می‌شود.

روشنایی مفید نور روز^{۱۲} بیانگر نسبت تعداد ساعات در هنگام ساعات روشنایی روز است که میزان نور روز در بازه‌ی تعریف شده قرار می‌گیرد به میزان کل ساعات اشغال فضا توسط کاربران در یک سال (Nabil and Mardaljevic, 2006) و فاقد واحد می‌باشد و آن را با یک عدد بین صفر تا صد نمایش می‌دهند که بیانگر درصد از زمانی می‌باشد که میزان نور به بازه‌ی مورد نظر رسیده است. هدف UDI تعیین سطح روشنایی روز است که نه خیلی تاریک باشد و نه خیلی روشن (Reinhart, Mardaljevic and Rogers, 2006) بازه‌ی روشنایی مفیدی که برای این شاخص در نظر گرفته شده است بین ۱۰۰ لوکس تا ۲۰۰۰ لوکس می‌باشد و مقادیری که پایین‌تر از این بازه قرار بگیرند خیلی تاریک و مقادیری که بالاتر از این بازه باشند خیلی روشن تلقی می‌شوند. از مقادیر UDI که در این تحقیق در بازه‌ی ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ قرار گیرد، UDI نام برده خواهد شد و این شاخص به‌عنوان شاخص هدف روشنایی روز انتخاب شده تا بهینه‌سازی شود.

برای یک طراحی بهینه با کارایی نور و انرژی متوازن هرچه میزان EUI کم‌تر (کمینه‌ی این مقدار به میزان تقاضای کم‌تر برای مصرف انرژی اشاره دارد) و میزان UDI (بیشینه‌ی این مقدار به دسترسی هرچه بیشتر ساختمان به نور روز مناسب اشاره دارد) بیشتر باشد بهتر است.

جدول ۳- مشخصات مصالح جدارها به‌منظور شبیه‌سازی روشنایی.

جداره	مصالح نوع	هارزش
داخلی دیوار	ریدینس مات مصالح	۰/۵ : بازتاب
داخلی سقف	ریدینس مات مصالح	۰/۸ : بازتاب
داخلی کف	ریدینس مات مصالح	۰/۲ : بازتاب
بازو	ریدینس شفاف مصالح	۰/۶ : شفافیت ضریب

جبهه‌های پارتو (Shukla, Deb and Tiwari, 2005) استفاده می‌شود زیرا هیچ راه حل ممکن دیگری وجود ندارد که بتواند بدون کاهش حداقل یک هدف، یک هدف دیگر را بهبود بخشد. وقتی مشکل از دو هدف تشکیل شده باشد، مرز پارتو را می‌توان به‌عنوان یک منحنی نشان داد (Machairas, Tsangrassoulis and Axarli, 2014). روش‌های غیرسنجی می‌توانند چندین پاسخ ممکن میان اهداف^{۱۵} با استفاده از یک بهینه‌سازی واحد ایجاد کنند و در مقایسه با روش‌های کلاسیک به یک فضای جستجو^{۱۶}ی بزرگ بپردازند (Zitzler, 1999). بنابراین روش غیرسنجی بهینه‌سازی چندهدفه معایب وزن‌دهی در روش کلاسیک را ندارد (Magnier and Haghghat, 2010).

از آنجا که بهینه‌سازی در این تحقیق شامل دو هدف با روابط متضاد است، تصمیم مناسب برای این بهینه‌سازی، رویکرد غیرسنجی است. این روش به ما اطمینان می‌دهد که به راه‌حل‌های طراحی برسیم که همه اهداف متناقض را پوشش می‌دهد. یک ابزار پارامتری با یک حل‌کننده بهینه‌سازی همراه است تا چندین هدف که در تعارض هستند را برطرف کند. بنابراین از الگوریتم تکاملی^{۱۷} در این فرایند استفاده می‌شود تا به بهترین گزینه‌های ممکن دست پیدا کنیم.

وجود بسیاری از عوامل مؤثر در طراحی معماری، روند طراحی را بسیار پیچیده می‌کند که این مورد فقط مربوط به داشتن فاکتورها و پارامترهای زیادی نیست بلکه ترکیب هر یک از آنها گزینه‌های متنوعی را ایجاد می‌کند. این پیچیدگی معماران را مجبور به استفاده از الگوریتم‌های تکاملی در حل مشکلات طراحی معماری می‌کند. برخی از این جنبه‌های عملکردی (مانند انرژی و نور روز) به معادلات غیرخطی نیاز دارند، که سطح پیچیدگی را افزایش می‌دهد (Ekici et al., 2019). با توجه به این فرایند چالش‌برانگیز، استفاده از روش تصمیم‌گیری صحیح در فرآیندهای طراحی معماری بسیار مهم است زیرا آنها بر عملکرد کلی و ظاهر ساختمان ساخته‌شده تأثیر می‌گذارند (Ekici et al., 2019). به‌صورت کلی تحقیقات بهینه‌سازی در معماری از سه روش برای حل مشکلات طراحی استفاده کرده است. با این حال، انتخاب هر یک از آنها چالش‌برانگیز است و بستگی زیادی به مشکل طراحی دارد. همان‌طور که توماس وورتمن^{۱۸} روش‌های مختلف بهینه‌سازی را به سه دسته‌ی: جستجوی مستقیم^{۱۹}، مدل جایگزین^{۲۰} و فرآیندکاری^{۲۱} طبقه‌بندی کرده است و الگوریتم‌های تکاملی در دسته‌ی فرآیندکاری قرار می‌گیرند. الگوریتم‌های تکاملی یک روش بهینه‌سازی اثبات‌شده برای حل مشکلات پیچیده شبیه‌سازی ساختمان به دلیل سهولت اجرا و توانایی کنترل جهت‌دهی به چندین هدف است. الگوریتم‌های تکاملی از عملیات الگوریتمی شبه تکاملی، مانند جهش^{۲۲} و لقاح^{۲۳} برای نمایش گزینه‌های جایگزین برای تقلید از «بقای قوی‌ترین» موجود در تکامل بیولوژیکی استفاده می‌کنند (Eiben and Smith, 2003). این الگوریتم‌ها نسبت به ناپیوستگی توابع هدف بسیار حساس نیستند و در بهینه‌ی محلی^{۲۴} به دام نمی‌افتند و برای پردازش موازی مناسب هستند. این مزایا آنها را به حل‌کننده‌های مطلوب برای سؤال‌های موجود در بهینه‌سازی عملکرد ساختمان تبدیل می‌کند (Ghaderian and Veysi, 2021). با این حال، آنها نمی‌توانند تضمین کنند که بهترین راه‌حل پس از تعداد محدودی از تکرارها حاصل می‌شود اما با این وجود، از آنها برای به دست آوردن راه‌حل‌های خوب در مدت‌زمان معقول استفاده می‌شود (Nguyen, 2017).

مبانی نظری پژوهش

لوورها و کرکرها سیستم‌هایی هستند که طراحی شده‌اند تا نور را در قسمت ابتدایی فضا دریافت و آن را به عمق‌های بیشتر انتقال بدهند تا بتوانند کمیت نور را در اعماق افزایش و در فضای نزدیک پنجره کاهش دهند (Gago et al., 2015). این نوع سیستم از تعداد زیادی صفحات عمودی و افقی تشکیل شده که پارامترهای متعددی ویژگی‌های آن را تشکیل می‌دهند (Tzempelikos 2008). آ.التوییل^{۲۵} در تحقیق خود (Eltaweel and Su, 2017) نشان داد استفاده از کرکره و فرم سقف

دریافت تابش بالایی دارند می‌توان صرفه‌جویی بیشتری در مصرف انرژی داشت. التویل و سو^{۴۳} در پژوهش خود (Eltaweel and Su, 2017) بر خورد دیگری با زاویه داشتند. آنها زاویه‌ی لوورها را به‌گونه‌ای در نظر گرفتند تا با توجه به زاویه‌ی تابش و فاصله‌ی بین آنها هیچ نور مستقیمی را وارد فضا نشود تا نور غیرمستقیم وارد شده را به سقف بازتابانند. آنها با این کار از ساکنین در برابر تابش مستقیم و گرمای جذب‌شده به جدارها محافظت کردند و کار آنها علاوه بر جلوگیری از خیرگی، منجر به افزایش یکنواختی توزیع نور در فضای داخلی نیز شد.

در ارتباط با تعداد و عمق لوور، تحقیقی (Wagdy and Fathy, 2015) با استفاده از سیستم پارامتریک حالات ممکن سایه‌انداز را بر روی نور روز بررسی کردند. آنها تعداد لوور را ۳ تا ۱۰ و نسبت عمق را ۰/۷۵ تا ۱/۵ متر در نظر گرفتند. با توجه به در نظر گرفتن تمام پارامترها به این نتیجه دست پیدا کردند که به‌طور کلی افزایش تعداد لوورها تأثیر قابل توجهی بر سطح روشنایی ندارد و برخلاف آن عمق لوورها که منجر به جلوگیری از نفوذ مستقیم نور می‌گردد، تأثیر مستقیم بر میزان سطح روشنایی دارد. احتمال داده می‌شود که تحقیق فتحی^{۴۴} و وگدی^{۴۴} (Wagdy and Fathy, 2015) به دلیل در نظر گرفتن همه‌ی پارامترها با یکدیگر و برای کم کردن زمان بهینه‌سازی بازه‌ی مناسبی را انتخاب نکرده که منجر به رسیدن آنها به نتایج با دقت پایین شده است زیرا، گنزالز^{۴۵} و فیوریتو^{۴۶} (González and Fiorito, 2015) در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که تعداد لوور و عمق آن تأثیر چشمگیری در دریافت نور روز و انرژی کارابودن دارد. همچنین تحقیقات دیگری نیز نشان‌دهنده‌ی اهمیت توازن و هماهنگی میان دو پارامتر زاویه و تعداد لوور می‌باشد که منجر به افزایش سطح یکنواختی توزیع نور در فضای داخلی و جلوگیری از خیرگی می‌شود (Eltaweel and Su, 2017).

در ارتباط با تأثیر متریک سایه‌انداز بر آسایش بصری منگوتو^{۴۷} و همکاران پارامترهای زاویه و متریک (Mangkuto et al., 2019) را در طراحی بهینه‌ی سایه‌انداز داخلی بررسی کردند. آنها میزان بازتابش، درخشندگی و ناهمواری متریک‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند. ناهمواری برای یک سطح کاملاً صیقلی نزدیک به صفر و برای سطحی که صیقل نشده باشد تا ۰/۲ افزایش پیدا می‌کند و از آنجاکه این عدد نیز نزدیک به صفر است، بهینه‌سازی در این مورد را مهم تلقی نکردند. برای سایه‌اندازهای افقی، میزان بازتابش را ۰/۸۸۵ تا ۰/۳۱۰ و درخشندگی را ۰/۹ تا ۰/۶ در نظر گرفتند که بازه‌ی درخشندگی در تحقیقات قبلی محدودتر در نظر گرفته شده بود. آنها به این نتیجه رسیدند که زاویه پارامتر تأثیرگذارتری نسبت به میزان درخشندگی متریک بر روی دریافت نور روز است و انتخاب متریک از اهمیت کم‌تری در طراحی برخوردار است اما نباید از آن چشم‌پوشی کرد.

هافمن^{۴۸} نیز در تحقیق خود (Hoffmann et al., 2016) ۱۲ لوور ساخته‌شده رایج در بازار را که مصالح متفاوتی دارند در دو سناریو: ۱. روشن بودم دائم روشنایی مصنوعی، و ۲. استفاده از سنسور کنترل نور روز با روشنایی مصنوعی برای محاسبه‌ی انتقال حرارت، نور روز و خیرگی مورد بررسی قرار داد. او نتیجه گرفت در حالتی که روشنایی مصنوعی به‌صورت دائم در نظر گرفته شود مصالح مختلف مصرف انرژی را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد اما، در صورتی که استفاده از سنسور کنترل نور روز با روشنایی مصنوعی اعمال شود، ویژگی‌های مصالح تأثیر

مناسب می‌تواند به کارایی بهینه‌ی آنها در توزیع کمی و کیفی نور منجر شود. محققان در مدل خود موفق شدند با استفاده از کرکره از ورود نور مستقیم به داخل فضا جلوگیری کنند و پرتوهای خورشید را به سقف بتابانند تا میزان توزیع نور را تا ۱۰٪ افزایش بدهند و میزان نور کافی روی سطوح فراهم کنند (Hashemi, 2014; Eltaweel and Su, 2017). در زمینه‌ی مصرف انرژی نیز داتا^{۴۹} ثابت کرد استفاده از لوور نه تنها میزان بار سرمایش را کاهش می‌دهد بلکه میزان مصرف انرژی سالیانه را هم می‌تواند کاهش دهد (Datta, 2001).

طبق مطالعات گسترده‌ای که س. ال-مسرانی و همکاران^{۴۷} در سال ۲۰۱۸ انجام دادند توانستند سیستم‌های سایه‌انداز را از منظر مصرف انرژی به سه دسته‌ی ایستا^{۴۸}، پویا^{۴۹} و هیبرید^{۴۰} تقسیم‌بندی کنند که سیستم‌های ایستا، خود به دو دسته‌ی ثابت و متحرک (دستی)^{۴۱} تقسیم می‌شود (Al-Masrani et al., 2018).

لوورها از تعداد زیادی صفحات افقی، عمودی یا شیب‌دار تشکیل شده‌اند. خصوصیات لوور را ویژگی‌های پیچیده و پارامترهای مختلف مانند: زاویه‌ی چرخش، شکل، اندازه، پیکربندی و رنگ آنها در بر می‌گیرد که همه‌ی آنها بر روی آسایش بصری و انرژی کارابودن ساختمان تأثیرگذارند (Tzempelikos, 2008). هدف این بخش بررسی پارامترهای تشکیل‌دهنده‌ی لوور است که مشخصات هر کدام از این پارامترها تأثیر بسزایی در کارایی لوور و پیکربندی آن‌ها دارد.

تحقیقاتی متعددی بر روی پارامترهای تشکیل‌دهنده‌ی لوور انجام شده و از زاویه به‌عنوان تأثیرگذارترین پارامتر نام برده می‌شود. داتا در تحقیقش (Datta, 2001) به بررسی تأثیر لوورهای ثابت بر آسایش حرارتی پرداخت که زاویه‌ی لوور را در ۴ حالت ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ (بسته) بررسی کرد و به این نتیجه دست یافت که زاویه به‌عنوان یک پارامتر وابسته به پارامترهای دیگر، متناسب با شرایط تابش مختلف عرض‌های جغرافیایی، متغیر است و انتخاب درست آن از اهمیت بالایی برخوردار است. پژوهش‌های دیگری (Wagdy and Fathy, 2015) که به بررسی پارامتریک یک سیستم سایه‌انداز بر روی نور روز و خیرگی پرداخته بود بازه‌ی مورد نظر برای تغییر زاویه را ۲۰- تا ۲۰ در نظر گرفته بود در حالی که بازه‌ی جامعی برای این پارامتر، به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر در بحث لوور به‌حساب نمی‌آید زیرا تحقیقی (Sjarifudin and Justina, 2014) به این نتیجه رسید که برای دستیابی به آسایش بصری زاویه‌ی لوورها در شهر جاکارتا باید در بازه‌ی ۱۵ تا ۷۵ درجه تعریف شود. تحقیقات دیگری که بازه‌ی زاویه‌ی لوورها را ۶- تا ۶۰ و ۷۵ تا ۷۵ در نظر گرفته بودند به این نتیجه رسیدند که بهترین زاویه لوور در جبهه‌ی جنوبی به‌منظور بهره‌وری مناسب از تابش، نور و انرژی کارابودن می‌تواند از ۳۰ درجه تا ۴۵- متغیر باشد (Toutou, Fikry and Mohamed, 2014; Choi et al., 2018). علاوه بر اینکه تحقیقات مختلفی بازه‌ی بهینه عددی برای زاویه لوور در نظر گرفته‌اند، عرض جغرافیایی می‌تواند تأثیر مستقیم بر انتخاب زاویه بهینه داشته باشد. زیرا پژوهشی (Palmero-Marrero and Oliveira, 2010) که به بررسی تأثیر لوور به‌عنوان یک سیستم سایه‌انداز بر مصرف انرژی در ۵ شهر نیمکره‌ی شمالی پرداخته بود، زاویه‌های مورد نظر لوور در نمای جنوبی هر شهر را برابر با عرض جغرافیایی هر شهر در نظر گرفت و نتیجه گرفت که زاویه یک پارامتر تأثیرگذار بر مصرف انرژی می‌باشد و در شهرهایی که میزان

چشم‌گیری در مصرف انرژی دارند.

در ارتباط با فاصله لوور از جداره اصلی ساختمان تحقیقات متعددی صورت گرفته است. به‌طور مثال، (Manzan, 2014) منزن ۴۹ بازه‌ی ۴ تا ۰ متر را برای آن در نظر گرفت که بازه‌ی بزرگی است همچنین تحقیق دیگری (Choi et al., 2014) بازه‌ای که برای این فاصله در نظر گرفته بود ۰.۱ تا ۰ متر بود و تحقیقی که به بررسی همرفت گرما و رابطه‌ی آن با فاصله‌ی لوور از نما پرداخته بود (Jiang et al., 2020) بازه‌ی فاصله لوور از نما را ۰/۰۸ تا ۰/۰۲۵ در نظر گرفت و به این نتیجه رسیدند که هرچه فاصله لوور از نما بیشتر باشد، میزان همرفت در نما بیشتر است و دلیل آن را این‌طور بیان کردند که افزایش فاصله از نما منجر به کاهش سایه‌اندازی لوور بر نما شده که این امر منجر به افزایش سرعت جریان هوا در اطراف نما و لوور می‌شود.

تحلیل داده‌ها

این بخش نتایج شبیه‌سازی را مورد بررسی قرار می‌دهد تا به نتایج و اهداف مورد اشاره در تحقیق دست پیدا کند. پنج پارامتر تعداد لوور (N)، عمق لوور (DI)، فاصله لوور از بازو (Dw)، زاویه (A) و متریکال لوور (M) به‌عنوان پارامترهای تأثیرگذار بر مصرف نور روز و انرژی انتخاب شده‌اند. متغیرها با بازه‌ای که به آنها اختصاص داده شده توسط الگوریتم نخبه‌گرایی مرتب‌سازی ژنتیکی غیرمغلوب (NSGA-II) مورد ارزیابی و بهینه‌سازی قرار گرفتند تا بهترین گزینه‌ها برای دستیابی به کمینه‌ی

مصرف انرژی براساس مجموع انرژی مورد نیاز برای سرمایش و گرمایش (EUI) و همچنین بیشینه‌ی نور روز براساس شاخص UDI در دو شهر بندرعباس و تبریز انتخاب شوند. این اطلاعات به معماران در طراحی بازشوهایی به همراه لوور کارآمد برای مطالعات موردی مشابه کمک می‌کند.

پس از اتمام فرآیند بهینه‌سازی، نمودارهای پارتویی برای هر شهر تشکیل داده شده. هر کدام از نقاط در این نمودارها نمایانگر یک راه‌کار طراحی می‌باشد که شامل همه‌ی گزینه‌های طراحی و همچنین بهترین آنها است بنابراین در این نمودار علاوه بر یافتن بهترین جواب‌های مربوط به هر شهر مورد بررسی، بهترین گزینه‌های طراحی آنها بعد از بهینه‌سازی توسط NSGA-II در ۱۰۰۰ آنالیز (۵۰ نسل و هر نسل ۲۰ جمعیت) با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نمودار پارتو دو شهر بندرعباس و تبریز در تصویرهای زیر نشان داده شده است.

فرآیند بهینه‌سازی در این مسأله با اکثر فرآیندهای بهینه‌سازی دیگر چندهدفه متفاوت است و دلیل آن نحوه‌ی ارتباط دو هدف نور و انرژی با یکدیگر است. به‌عبارت‌دیگر، گزینه‌های مناسب برای این طراحی تمایل به عملکرد خوب هم‌زمان برای نور روز و مصرف انرژی را دارند درحالی‌که بهینه‌بودن یکی از این اهداف ذاتاً بهینه‌بودن دیگر را تضمین نمی‌کند، بنابراین این دو هدف همواره با یکدیگر در تضاد هستند. بهترین راه‌حل‌ها در نمودار پارتو راه‌حلی هستند که در بیرونی‌ترین لایه‌ی نمودار پارتو^۵ وجود دارند. بنابراین ما با یک جواب بهینه روبه‌رو نیستیم. نمایش

جدول ۴- بررسی متغیرهای طراحی لوورهایی که تحقیقات مختلف بر روی آنها کار کرده‌اند.

متغیرهای لوور

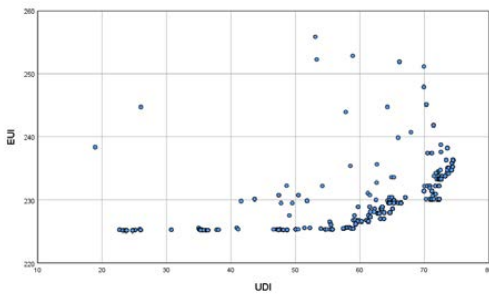
منبع (اقلیم)	هندسه			فاصله از پنجره			جانمایی		نوع قرارگیری		نوع حرکت	
	شکل	صفحه‌ای		عمق	مصلح	شکل	شکل	شکل	شکل	شکل	شکل	شکل
		طول	عمق									
(Fang and Cho 2019) Am, Cfa, Dfa		•	•					•	•	•		
(González and Fiorito 2015) Cfa	•	•	•	•				•	•	•		
(Manzan 2014) Cfb, Csa			•	•	•	•		•	•	•		
(Eltaweel and Su 2017) BWh	•			•	•		•	•	•	•		•
(Mangkuto et al. 2019) Af				•		•	•	•	•	•		•
(Wagdy and Fathy 2015) BWh	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•
(Kirimtat et al. 2019) Csa		•	•	•	•		•	•	•	•		•
(Palmero-Marrero and Oliveira 2010) Cwb, BWh, Csa	•	•		•	•			•	•	•		•
(Hoffmann et al. 2016) Csb, Csa	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•
(Toutou, Fikry, and Mohamed 2018) BWh	•	•	•	•				•	•	•		•

با توجه به نمودار پارتو، سه گزینه‌ی طراحی که منجر به بیشترین دریافت نور روز، کم‌ترین مصرف انرژی و متوازن‌ترین جواب در میان تمام گزینه‌های طراحی شدند، برای هر شهر انتخاب شده است و هندسه‌ی آنها به همراه مقادیر EUI و UDI در تصویر (۳) نشان داده شده. جزییات طراحی متغیرهای این گزینه‌های طراحی به همراه مقادیر UDI و EUI آنها در جدول (۵) برای هر شهر ارائه شده است.

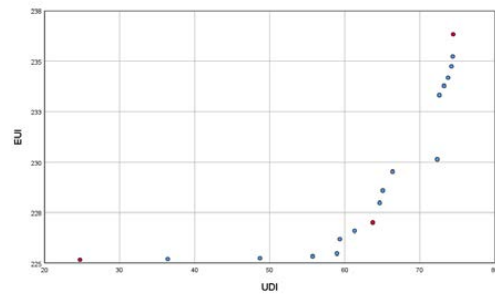
همان‌طور که در نمودار پارتوی شهرهای مختلف مشاهده شد، سه گزینه‌ی بهینه‌ی طراحی در هر شهر در جبهه‌ی نمودار پارتو متمرکز نیستند و خوشه‌ای هستند، بنابراین هندسه‌ی آنها نیز مانند رفتار مقادیر بهینه مشابه نیستند.

بحث و گفت‌وگوی پیش رو بر روی مشخصه‌های عمومی این

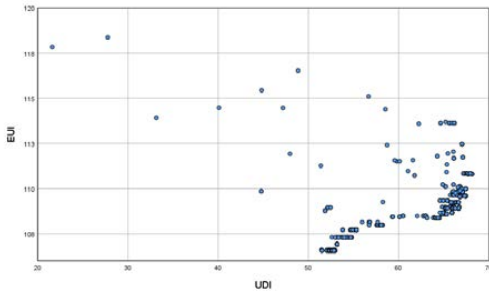
تمام جواب‌های بهینه در نمودار پارتو که مربوط به شهرهای بندرعباس و تبریز هستند، انتخاب شده‌اند تا رو به روی نمایش پارتو هر شهر، نمودار دیگری نیز داشته باشیم که به بررسی جواب‌هایی می‌پردازد که از نظر ریاضی با یکدیگر هم ارزش هستند (تصویر ۲). در این نمودارها راه‌حل‌های بهترین مصرف انرژی، روشنایی روز و همچنین متوازن‌ترین راه‌حل با رنگ قرمز نشان داده شده است. در این نمودارها محور افقی بیانگر مقادیر شاخص روشنایی UDI و محور عمودی بیانگر شاخص مصرف انرژی سالانه برحسب EUI است. نزدیکی این مقادیر در راستای محور Y به نمودار به معنای بهینه‌تر شدن میزان مصرف انرژی می‌باشد. همچنین محور X بیانگر مقادیر مربوط به شاخص UDI است و هرچه مقادیر در این نمودار بیشتر شوند روشنایی روز بهتری خواهیم داشت.



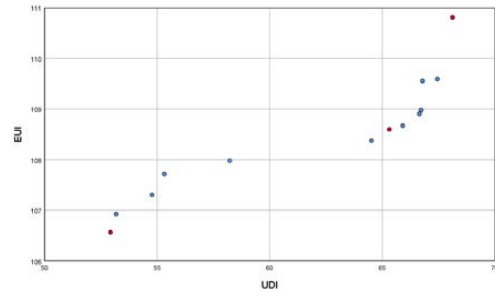
تمام حالت‌های موجود در بهینه‌سازی بندرعباس



جواب‌های جبهه‌ی پارتو در بهینه‌سازی بندرعباس



تمام حالت‌های موجود در بهینه‌سازی تبریز

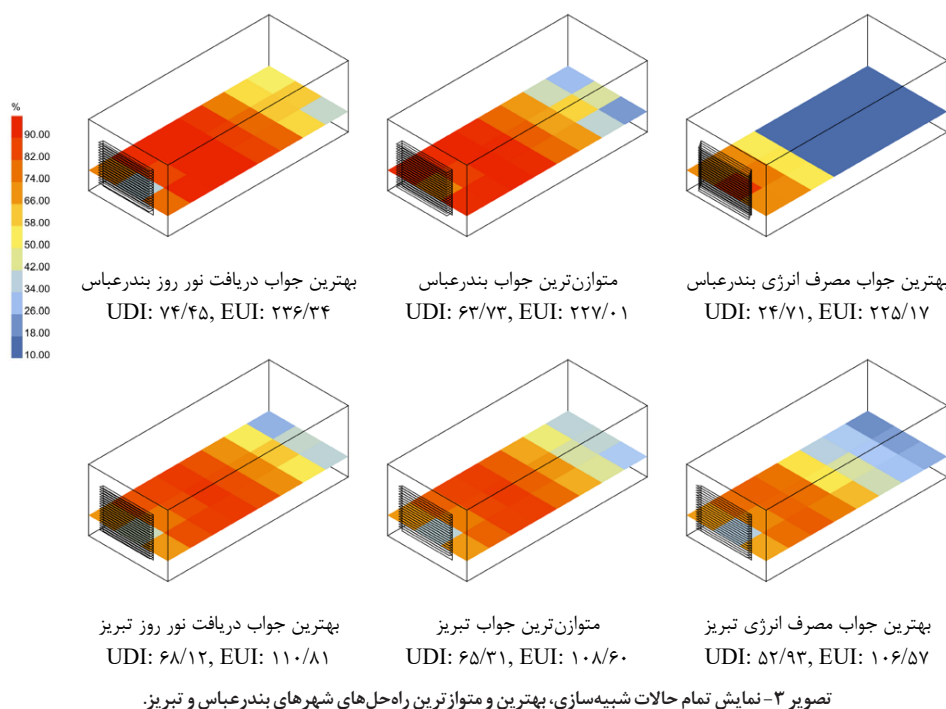


جواب‌های جبهه‌ی پارتو در بهینه‌سازی تبریز

تصویر ۲- نمایش تمام حالات شبیه‌سازی، بهترین و متوازن‌ترین راه‌حل‌های شهرهای بندرعباس و تبریز.

جدول ۵- بهترین جواب دریافت نور روز، مصرف انرژی و متوازن‌ترین جواب برای دو شهر بندرعباس و تبریز.

	بندرعباس			تبریز		
	بهترین دریافت نور روز	متوازن‌ترین جواب	بهترین مصرف انرژی	بهترین دریافت نور روز	متوازن‌ترین جواب	بهترین مصرف انرژی
تعداد	۱۸	۱۹	۱۹	۱۹	۱۸	۱۹
عمق	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۲۵
فاصله از بازشو	۰	۰	۰	۰	۰	۰
زاویه	۱۰	۶۰	۴۰	-۱۰	-۲۰	-۳۰
متریال	آلومینیوم	آلومینیوم	آلومینیوم	آلومینیوم	آلومینیوم	آلومینیوم
اهداف	نور روز	۷۴/۴۵	۶۳/۷۳	۲۴/۷۱	۶۵/۳۱	۵۲/۹۳
	انرژی	۲۳۶/۳۴	۲۲۷/۰۱	۲۲۵/۱۷	۱۱۰/۸۱	۱۰۸/۶۰



اقلیم مورد شبیه سازی، بازه‌ی مناسبی برای آن تعریف کرد تا بتوان به بهترین پاسخ ممکن دست یافت. در متوازن ترین جواب‌ها عدد این پارامتر در شهرهای سردسیر مانند تبریز منفی و در شهرهای گرمسیر مانند بندرعباس مثبت شده است. این مورد به معنای نیاز به هر دو عامل نور روز و انرژی تابشی خورشید به صورت مستقیم در شهرهای سردسیر است اما در شهرهای گرمسیر نیاز به سایه‌اندازی لوورها به زاویه‌گیری مثبت وجود دارد تا با زاویه‌گیری مناسب و بازتابش اشعه‌های خورشید به فضای داخلی نور روز را به این فضا انتقال دهند.

۵. تعداد همه‌ی لوورها در هر سه جواب بهترین دریافت نور روز، بهترین مصرف انرژی و متوازن ترین جواب ۱۸ یا ۱۹ است و با توجه به بازه‌ی در نظر گرفته شده برای این پارامتر که بین ۸ تا ۲۰ بوده، نتایج نشان می‌دهد انتخاب تعداد بالای لوور توسط الگوریتم بهینه‌ساز همواره در اولویت بوده است تا توسط آنها بتواند کنترل بهتری بر سایر متغیرهای تشکیل دهنده‌ی لوور به منظور دریافت نور روز و مصرف انرژی داشته باشد.

۶. همان‌طور که در مرور ادبیات بررسی شد، با توجه به اینکه مصالح لوورها تأثیری بر مصرف سرمایش و گرمایش ندارد، همواره انتخاب الگوریتم بهینه‌ساز مصالح با بالاترین میزان بازتابش، یعنی آلومینیوم بوده است.

گزینه‌های طراحی از دو منظر تمرکز دارد. در این قسمت ویژگی‌های طراحی جالبی مختص هر اقلیم با نتایج مصرف انرژی و دریافت روشنایی روز خاص وجود دارد که در ادامه به مقایسه‌ی جواب‌های دو شهر بندرعباس و تبریز می‌پردازیم.

این نتایج در موارد زیر خلاصه می‌شوند:

۱. عامل اصلی تفاوت میان لوورها در جواب‌های متوازن شهرهای مختلف، عمق و زاویه‌ی لوورها است و بقیه‌ی متغیرها شرایط مشابهی دارند.

۲. هر سه جواب بهترین مصرف انرژی، نور روز و متوازن ترین جواب در هر دو شهر، فاصله‌ی لوور به عنوان سیستم انتقال دهنده‌ی نور روز از بازشو در حداقلی ترین فاصله‌ی خود یعنی صفر قرار گرفته است.

۳. در هر دو شهر تبریز و بندرعباس در سه حالت بهترین دریافت نور روز، متوازن ترین جواب و بهترین مصرف انرژی دارای مقدار ثابتی برای ۳ متغیر تعداد، مصالح و فاصله‌ی لوور از بازشو دارند اما زاویه و عمق لوور آنها با یکدیگر متفاوت است. این موضوع بیانگر اهمیت متغیر زاویه و عمق به عنوان تأثیرگذارترین متغیرها بر روی میزان دریافت نور روز و مصرف انرژی است.

۴. زاویه یکی دیگر از پارامترهای به شدت تأثیرگذار در فرآیند بهینه‌سازی دریافت نور روز و مصرف انرژی است که باید با توجه به

نتیجه

پرداخت و پس از شناخت این عوامل به بررسی و بهینه‌سازی دریافت نور روز و مصرف انرژی با توجه به لوورهای متشکل از متغیرهای آن پرداخت. این پژوهش در دو شهر بندرعباس و تبریز که دارای شرایط آب‌وهوایی متفاوت هستند، مورد بررسی قرار گرفت تا علاوه بر شناخت بهترین پارامترهای تشکیل دهنده‌ی لوور در هر شهر به مقایسه‌ی نتایج ناشی از آنها نیز برسد.

این پژوهش شامل فرآیند بهینه‌سازی، طراحی پارامتریک، شبیه‌سازی نور روز، شبیه‌سازی انرژی و الگوریتم‌های ژنتیک است. این روش می‌تواند به‌طور خودکار جایگشت‌های شرایط طراحی‌های احتمالی ساختمان را بررسی کند، که به‌طور هم‌زمان نور روز و عملکرد انرژی را نیز مورد ارزیابی قرار بدهد و گزینه‌های طراحی با عملکرد بهینه را بیابد. این پژوهش در ابتدا به بررسی عوامل تأثیرگذار در شکل‌گیری لوور

می‌باشد اما عمق و زاویه لوورها عامل متغیر در هر دو شهر است. از سوی دیگر منفی بودن نتایج زاویه لوور در بهینه‌ترین مصرف انرژی و متوازن‌ترین جواب شهر تبریز نشان‌دهنده‌ی این است که این شهر علاوه بر استفاده از میزان روشنایی نور روز، به استفاده‌ی مستقیم از انرژی تابشی نیاز حیاتی دارد و دلیل آن شرایط آب‌وهوایی سرد اقلیم این شهر است. بنابراین تعیین زاویه‌ی لوور نقش بسیار مهمی در میزان مصرف انرژی در این شهر دارد.

کارهای آینده بر روی اهداف بهینه‌سازی توسعه یافته مورد نیاز است. شامل هزینه، آسایش حرارتی، آسایش بصری، تولید انرژی، عملکرد چرخه عمر ساختمان، و غیره می‌باشد. همچنین استفاده از فرآیند بهینه‌سازی در پروژه‌های طراحی پیچیده‌تر است، جایی که متغیرها محدودیت‌های طراحی بیشتری وجود دارد.

کاربرد و اثربخشی این رویکرد آزمایش شده است و از طریق بهینه‌سازی یک ساختمان اداری کوچک در آب‌وهوای گرم، معتدل و سرد، شامل شهرهای نماینده بندرعباس با عرض جغرافیایی ۲۷.۱۷ و تبریز با عرض جغرافیایی ۳۸.۰۶ هستند. متغیرهای طراحی مورد بررسی عبارت‌اند از: تعداد لوور، عمق لوور، زاویه لوور، فاصله‌ی لوور از بازو و مصالح لوور. راه‌حل‌های طراحی با بهبود عملکرد قابل توجه با استفاده از ترکیب این متغیرها یافت می‌شوند. بهینه‌سازی بر روی میزان دریافت نور روز و مصرف انرژی با توجه به متغیرهای طراحی لوور به‌عنوان سیستم سایه‌انداز و انتقال‌دهنده‌ی نور روز در این دو شهر انجام گرفت. حالتی که کم‌ترین میزان مصرف انرژی، بیشترین میزان دریافت نور روز و متوازن‌ترین جواب را شامل می‌شد در این شهرها معرفی شدند. تعداد، مصالح و فاصله‌ی لوورها از بازو در هر دو شهر یکسان

پی‌نوشت‌ها

Future Trends.” *Solar Energy*, 170 (April): 849–72. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.04.047>.

Alrubaih, M. S., M. F.M. Zain, M. A. Alghoul, N. L.N. Ibrahim, M. A. Shameri, and Omkalthum Elayeb. (2013), “Research and Development on Aspects of Daylighting Fundamentals.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21: 494–505. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.057>.

Associates, Robert McNeel . (2018), “Rhinoceros.”

Bellia, Laura, Concetta Marino, Francesco Minichiello, and Alessia Pedace. (2014), “An Overview on Solar Shading Systems for Buildings.” *Energy Procedia*, 62: 309–17. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.392>.

Borgstein, E. H., R. Lamberts, and J. L.M. Hensen. (2016), “Evaluating Energy Performance in Non-Domestic Buildings: A Review.” *Energy and Buildings*, 128: 734–55. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.018>.

Bre, Facundo, Nadia Roman, and Victor D. Fachinotti. 2020. “An Efficient Metamodel-Based Method to Carry out Multi-Objective Building Performance Optimizations.” *Energy and Buildings* 206: 109576. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109576>.

Brembilla, E., D. A. Chi, C. J. Hopfe, and J. Mardaljevic. (2018), “Evaluation of Climate-Based Daylighting Techniques for Complex Fenestration and Shading Systems.” *Energy and Buildings*, 203: 109454. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109454>.

Brownlee, Alexander E I, Jonathan A Wright, and Monjur M Mourshed. 2011. “A Multi-Objective Window Optimisation Problem.” In *Proceedings of the 13th Annual Conference Companion on Genetic and Evolutionary Computation*, 89–90.

Caldas, Luisa, and Luis Santos. (2016), “Painting with Light: An Interactive Evolutionary System for Daylighting Design.” *Building and Environment*, 109: 154–74.

Chan, Ying Chieh, and Athanasios Tzempelikos. (2013), “Efficient Venetian Blind Control Strategies Considering Daylight Utilization and Glare Protection.” *Solar Energy*, 98 (PC): 241–

1. Visual Comfort.
2. Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm 2 (NSGA-II)
3. J.O. Conner.
4. Bellia.
5. Chen.
6. Datta.
7. International Energy Agency (IEA).
8. Reinhart.
9. Adiabatic.
10. Department of Energy (DOE).
11. Energy Use Intensity (EUI).
12. Useful Daylight Illuminance (UDI).
13. Objective/Fitness.
14. Stochastic.
15. Trade-off.
16. Search Space.
17. Evolutionary algorithms.
18. Thomas Wortmann.
19. Direct Research.
20. Surrogate Model.
21. Metaheuristic.
22. Mutation.
23. Crossover.
24. Local optimum.
25. Strength Evolutionary Algorithm (SPEA).
26. Zitzler.
27. Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA).
28. Deb.
29. Pareto.
30. Wright.
31. Luisa Caldas.
32. Luis Santos.
33. Local minima
34. Hypervolume Indicator.
35. A. Eltaweel.
36. Datta.
37. S. Al-Masrani et al.
38. Passive.
39. Active.
40. Hybrid.
41. Manually.
42. Su.
43. Fathy.
44. Wagdy.
45. Gonzalez.
46. Fiorito.
47. Mangkuto.
48. Hoffman.
49. Manzan.
50. Pareto front.

فهرست منابع

Al-Masrani, Salwa M., Karam M. Al-Obaidi, Nor Azizah Zalin, and M. I. Aida Isma. (2018), “Design Optimisation of Solar Shading Systems for Tropical Office Buildings: Challenges and

Engineering, 41: 102440.

González, Javier, and Francesco Fiorito. (2015), "Daylight Design of Office Buildings: Optimisation of External Solar Shadings by Using Combined Simulation Methods." *Buildings*, 5 (2): 560–80. <https://doi.org/10.3390/buildings5020560>.

Hashemi, Arman. (2014), "Daylighting and Solar Shading Performances of an Innovative Automated Reflective Louvre System." *Energy and Buildings*, 82: 607–20. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.086>.

Hiroyasu, Tomoyuki, Seiichi Nakayama, and Mitsunori Miki. (2005), "Comparison Study of SPEA2+, SPEA2, and NSGA-II in Diesel Engine Emissions and Fuel Economy Problem." In 2005 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 1:236–42. IEEE.

Hoffmann, Sabine, Eleanor S. Lee, Andrew McNeil, Luis Fernandes, Dragan Vidanovic, and Anothai Thanachareonkit. (2016), "Balancing Daylight, Glare, and Energy-Efficiency Goals: An Evaluation of Exterior Coplanar Shading Systems Using Complex Fenestration Modeling Tools." *Energy and Buildings*, 112: 279–98. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.009>.

Holland, John Henry. (1992), *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. MIT press.

Hviid, Christian Anker, Toke Rammer Nielsen, and Svend Svendsen. (2008), "Simple Tool to Evaluate the Impact of Daylight on Building Energy Consumption." *Solar Energy*, 82 (9): 787–98. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.03.001>.

IEA SHC. (2000), "Daylight in Buildings - a Source Book on Daylighting Systems and Components." *IEA SHC Task 21 - ECBCS Anexo*, 29, 262.

Jiang, Fujian, Yanping Yuan, Zhengrong Li, Qun Zhao, and Kaiming Zhao. (2020), "Correlations for the Forced Convective Heat Transfer at a Windward Building Façade with Exterior Louver Blinds." *Solar Energy*, 209 (July): 709–23. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.014>.

Kirimtat, Ayca, Basak Kundakci Koyunbaba, Ioannis Chatzikonstantinou, and Sevil Sariyildiz. (2016), "Review of Simulation Modeling for Shading Devices in Buildings." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53: 23–49. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.020>.

Kirimtat, Ayca, Ondrej Krejcar, Berk Ekici, and M. Fatih Tasgetiren. (2019), "Multi-Objective Energy and Daylight Optimization of Amorphous Shading Devices in Buildings." *Solar Energy*, 185 (July 2018): 100–111. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.048>.

Konstantoglou, Maria, and Aris Tsangrassoulis. (2016), "Dynamic Operation of Daylighting and Shading Systems: A Literature Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60: 268–83. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.246>.

LBNL. 2020. "Radiance."

Machairas, Vasileios, Aris Tsangrassoulis, and Kleo Axarli. (2014), "Algorithms for Optimization of Building Design: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31

54. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.10.005>.

Choi, Jaepil, Taekyoung Lee, Euisoon Ahn, and Gensong Piao. (2014), "Parametric Louver Design System Based on Direct Solar Radiation Control Performance." *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 13 (1): 57–62. <https://doi.org/10.3130/jaabe.13.57>.

Chołodowicz, Ewelina, and Przemyslaw Orłowski. (2018), "Comparison of SPEA2 and NSGA-II Applied to Automatic Inventory Control System Using Hypervolume Indicator." *Studies in Informatics and Control*, 26 (1): 67–74. <https://doi.org/10.24846/v26i1y201708>.

Datta, Gouri. (2001), "Effect of Fixed Horizontal Louver Shading Devices on Thermal Performance of Building by TRNSYS Simulation." *Renewable Energy*, 23 (3–4): 497–507. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00131-2](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00131-2).

Deb, Kalyanmoy, Nikhil Padhye, and Ganesh Neema. (2007), "Multiobjective Evolutionary Optimization-Interplanetary Trajectory Optimization with Swing-Bys Using Evolutionary Multi-Objective Optimization." *Lecture Notes in Computer Science*, 4683: 26–35.

DiLaura, David L, Kevin Houser, Richard Mistrick and Gary R. Steffy. (2018), "*The Lighting Handbook: Reference and Application*."

Edwards, L, and P Torcellini. (2002), "A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants." *Contract*, no. July: 55.

Eiben, Agoston E, and James E Smith. (200), *Introduction to Evolutionary Computing*. Vol. 53. Springer.

Ekici, Berk, Cemre Cubukcuoglu, Michela Turrin, and I Sevil Sariyildiz. (2019), "Performative Computational Architecture Using Swarm and Evolutionary Optimisation: A Review." *Building and Environment*, 147: 356–71. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.023>.

Eltaweel, Ahmad, and Yuehong Su. (2017), "Controlling Venetian Blinds Based on Parametric Design; via Implementing Grasshopper's Plugins: A Case Study of an Office Building in Cairo." *Energy and Buildings*, 139: 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.075>.

Emmerich, Michael T M, and André H Deutz. (2018), "A Tutorial on Multiobjective Optimization: Fundamentals and Evolutionary Methods." *Natural Computing*, 17 (3): 585–609.

Fang, Yuan, and Soolyeon Cho. (2019), "Design Optimization of Building Geometry and Fenestration for Daylighting and Energy Performance." *Solar Energy*, 191 (July): 7–18. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.039>.

Gago, E. J., T. Muneer, M. Knez, and H. Köster. (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. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.002>.

Ghaderian, Mohammadamin, and Farzad Veysi. (2021), "Multi-Objective Optimization of Energy Efficiency and Thermal Comfort in an Existing Office Building Using NSGA-II with Fitness Approximation: A Case Study." *Journal of Building*

- Reinhart, Christoph F., J. Alstan Jakubiec, and Diego Ibarra. (2013), "Definition of a Reference Office for Standardized Evaluations of Dynamic Façade and Lighting Technologies." Proceedings of BS 2013: 13th Conference of the International Building Performance Simulation Association, 3645–52.
- Reinhart, Christoph F., John Mardaljevic, and Zack Rogers. (2006), "Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design." Leukos, *Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 3 (1): 7–31. <https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001>.
- Roudsari, Mostapha Sadeghipour, and Michelle Pak. (2013), "Ladybug: A Parametric Environmental Plugin for Grasshopper to Help Designers Create an Environmentally-Conscious Design." Proceedings of BS 2013: 13th Conference of the International Building Performance Simulation Association, 3128–35.
- Shi, Long, and Michael Yit Lin Chew. (2012), "A Review on Sustainable Design of Renewable Energy Systems." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (1): 192–207. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.147>.
- Shukla, Pradyumn Kumar, Kalyanmoy Deb, and Santosh Tiwari. (2010), "Comparing Classical Generating Methods with an Evolutionary Multi-Objective Optimization Method." In *International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization*, 311–25. Springer.
- Sjarifudin, Firza Utama, and Laurensia Justina. (2014), "Daylight Adaptive Shading Using Parametric Camshaft Mechanism for SOHO in Jakarta." *EPJ Web of Conferences*, 68. <https://doi.org/10.1051/epjconf/20146800037>.
- Toutou, Ahmed, Mohamed Fikry, and Waleed Mohamed. 2018. "The Parametric Based Optimization Framework Daylighting and Energy Performance in Residential Buildings in Hot Arid Zone." *Alexandria Engineering Journal*, 57 (4): 3595–3608. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.04.006>.
- Tzempelikos, Athanassios. (2008), "The Impact of Venetian Blind Geometry and Tilt Angle on View, Direct Light Transmission and Interior Illuminance." *Solar Energy*, 82 (12): 1172–91. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.05.014>.
- Tzempelikos, Athanassios, and Andreas K. Athienitis. (2007), "The Impact of Shading Design and Control on Building Cooling and Lighting Demand." *Solar Energy* 81 (3): 369–82. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.06.015>.
- Wagdy, Ayman, and Fatma Fathy. (2015), "A Parametric Approach for Achieving Optimum Daylighting Performance through Solar Screens in Desert Climates." *Journal of Building Engineering*, 3: 155–70. <https://doi.org/10.1016/j.job.2015.07.007>.
- Yamín Garretón, Julieta, Ayelén María Villalba, Roberto Germán Rodríguez, and Andrea Pattini. (2016), "Roller Blinds Characterization Assessing Discomfort Glare, View Outside and Useful Daylight Illuminance with the Sun in the Field of View." *Solar Energy*, 213 (April 2020): 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.11.027>.
- Ye, Yunyang, Peng Xu, Jiachen Mao, and Ying Ji. (2016), "Experimental Study on the Effectiveness of Internal Shad (1364): 101–12. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.036>.
- Magnier, Laurent, and Fariborz Haghighat. (2010), "Multiobjective Optimization of Building Design Using TRNSYS Simulations, Genetic Algorithm, and Artificial Neural Network." *Building and Environment*, 45 (3): 739–46.
- Mangkuto, Rizki A., Deasty Kusuma Dewi, Annisa Azalia Herwandani, Mochamad Donny Koerniawan, and Faridah. (2019), "Design Optimisation of Internal Shading Device in Multiple Scenarios: Case Study in Bandung, Indonesia." *Journal of Building Engineering*, 24 (November 2018): 100745. <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100745>.
- Manzan, Marco. (2014), "Genetic Optimization of External Fixed Shading Devices." *Energy and Buildings*, 72: 431–40. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.01.007>.
- Marler, R Timothy and Jasbir S Arora. (2010), "The Weighted Sum Method for Multi-Objective Optimization: New Insights." *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 41 (6): 853–62.
- Mirjalili, Seyedeh Zahra, Seyedali Mirjalili, Shahrzad Saremi, Hossam Faris and Ibrahim Aljarah. (2018), "Grasshopper Optimization Algorithm for Multi-Objective Optimization Problems." *Applied Intelligence*, 48 (4): 805–20. <https://doi.org/10.1007/s10489-017-1019-8>.
- Nabil, Azza, and John Mardaljevic. 2006. "Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors." *Energy and Buildings*, 38 (7): 905–13. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.013>.
- Nguyen, Anh Tuan, Sigrid Reiter, and Philippe Rigo. (2014), "A Review on Simulation-Based Optimization Methods Applied to Building Performance Analysis." *Applied Energy*, 113: 1043–58. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.061>.
- Nielsen, Martin Vraa, Svend Svendsen, and Lotte Bjerregaard Jensen. (2011), "Quantifying the Potential of Automated Dynamic Solar Shading in Office Buildings through Integrated Simulations of Energy and Daylight." *Solar Energy*, 85 (5): 757–68. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.01.010>.
- Nondy, J. and T K Gogoi. (2021), "Performance Comparison of Multi-Objective Evolutionary Algorithms for Exergetic and Exergoenvironmental Optimization of a Benchmark Combined Heat and Power System." *Energy*, 121135.
- O'Connor, Jennifer. (1997), "Tips for Daylighting With Windows," 1–107. <http://windows.lbl.gov/daylighting/designguide/dlg.pdf>.
- Omer, Abdeen Mustafa. (2008), "Energy, Environment and Sustainable Development." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12 (9): 2265–2300. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.05.001>.
- Palmero-Marrero, Ana I. and Armando C. Oliveira. (2010), "Effect of Louver Shading Devices on Building Energy Requirements." *Applied Energy*, 87 (6): 2040–49. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.11.020>.
- Pauley, Stephen M. (2004), "Lighting for the Human Circadian Clock: Recent Research Indicates That Lighting Has Become a Public Health Issue." *Medical Hypotheses*, 63 (4): 588–96. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2004.03.020>.

Zomorodian, Zahra S., and Mohammad Tahsildoost. (2019), "Assessing the Effectiveness of Dynamic Metrics in Predicting Daylight Availability and Visual Comfort in Classrooms." *Renewable Energy*, 134: 669–80. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.11.072>.

ing Devices." *Energy and Buildings*, 111: 154–63. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.040>.

Zitzler, Eckart. (1999), *Evolutionary Algorithms for Multiobjective Optimization: Methods and Applications*. Vol. 63. Cite-seer.

Comparison of Different Louver Configurations for Daylight and Energy Optimization in Bandar Abbas and Tabriz*

*Nariman Rafati¹, Hanieh Sanaeian², Mohsen Faizi^{**3}*

¹Master of Sustainable Architecture, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

²Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

³Professor, Department of Applied Arts (Landscape), Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

(Received: 19 Nov 2020, Accepted: 10 Sep 2021)

Selecting a proper daylighting system can help minimize artificial lighting, control energy consumption and, consequently downsize air-conditioning systems. This issue becomes more critical when building facades are mainly glazed. In fully glazed facade, daylighting systems perform sufficiently enough in terms of solar protection, daylighting harvesting, and interior heat gain. Simultaneously, they can block the daylight entity, cause the need for artificial light and prevent the winter solar radiation. Increasing the number of influential factors in louvre design will complicate their design processes. Louvres are made up of numerous horizontal, vertical or sloping slats. Louvre properties with complex features and several parameters, such as tilt angle and solar angle of incidence rotation angle, shape, size, configuration, and color of slats, all impact glare and visibility and build energy efficiency. Not only several parameters of the louvre device but also the variety of analyzing factors such as energy performance and visual comfort affect the design process. Overlooking each setting has a significant effect on optimization results. Due to this complexity, most research in this domain narrowed to a limited range of variables. Besides, since the focus of most research in this field has been on multi optimization, the final step of them has been the attainment of optimizing results. Optimization is the procedure of finding the minimum or maximum value of a function by choosing a number of variables subject to a number of constraints. The optimization function is called cost or fitness or objective function and is usually calculated using simulation tools. Yet, the further level, which is proposing proper design alternatives for each climate, has been neglected. This research not only proposed a workflow to optimize building louvres by considering the most promising influential factors but also proposed design alternatives in understudied climate zones.

These alternatives will be proposed by categorizing the results from Pareto Front GA optimization. We will come up with specific louvre features which compatible with a specific climate. These design alternatives assessed by energy performance, visual and thermal comfort in the mentioned climates. The research will be carried on by a mixed-method research approach. We will evaluate energy, visual, and thermal comfort based on the quantitative methods, and then try to categorize obtained cases by climate based on the quantitative method. To do that, Firstly, we define variable parameters of louvre forms and their position on building façades. Secondly, we set three different climate zones based on the Koppen classification. We will analyze energy performance, thermal and visual comfort of incorporating louvres in these climates. Thirdly, since several possible solutions will be gained, we employ Pareto chart to reach optimized outcomes. Furthermore, Finally, based on the achieved design alternative, we will use qualitative research on categorizing results in each climate zone. The results show significant change between louver parameters in Bandar Abbas and Tabriz in depth and angles. Since louver materials doesn't affect energy consumption for heating and cooling, optimization algorithm has been benefitted from material with high reflectance.

Keywords

Visual Comfort, Daylight Metrics, Louver, Parametric Design, Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm.

*This article is extracted from the first author's master thesis, entitled: "Designing of school for daylight and energy optimization based on Louver function (Tehran, Tabriz, Bandar Abbas)" under the supervision of second and third authors.

**Corresponding Author: Tel: (+98-919) 1231148, Fax:(+98-21) 73021668, E-mail: mfaizi@iust.ac.ir