دوفصلنامهٔ اندیشهٔ معماری، نشریهٔ علمی، سال سوم، شمارهٔ پنجم، بهار و تابستان ۱۳۹۸، صص ۲۱۴-۲۳۵

استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی چند هدفه لوورهای خارجی در ساختمان‌های اداری

محمدجواد مهدوی نژاد*[۱]، مژگان ارباب[۲] ، مریم ارباب [۲]

تاریخ دریافت مقاله : ۱۳۹۷/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۸/۰۳/۱۶

چکیده

بهبود آسایش و راحتی فضای داخلی با بهینه‌سازی سطح نور طبیعی، امروزه یکی از موضوعات مهم در بازسازی و بهسازی فضا به ویژه در ساختمان‌های اداری است. با افزایش مصرف انرژی ضرورت بهینه‌سازی چند هدفه و تلاش برای کاهش مصرف به خصوص در کشورهای در حال توسعه رو به افزایش است و این امر طراحان را به سمت معماری سرآمد و استفاده حداکثری از انرژی‌های تجدید پذیر سوق داده است استفاده بهینه از انرژی و روشنایی خورشید در طول روز نه تنها محیط مطلوبی را برای کاربران فراهم می‌نماید بلکه سبب کاهش مصرف انرژی به منظور سرمایش و گرمایش محیط می‌گردد. در نتیجه یکی از عوامل مهم برای بهبود بهره‌وری انرژی در ساختمان، کنترل میزان نور ورودی به فضا است و با توجه به اینکه تنها بخش از ساختمان که به طور مستقیم تابش خورشید را وارد فضا می‌کند پنجره است، بنابراین استفاده از لوورها جهت کنترل میزان نفوذ تابش خورشید به داخل فضا امری ضروری است. استفاده از نور روز در گستره وسیعی از شهرهای ایران ازجمله شهر تهران به علت موقعیت جغرافیایی مناسب و برخورداری از ساعات آفتابی زیاد در طول سال موردتوجه است. هدف از این پژوهش، کاربرد هوش مصنوعی و برنامه‌ریزی و برنامه‌دهی الگوریتمیک به منظور تخمین تناسبات و مشخصات فنی لوورهای خارجی و پیشنهاد الگویی جهت طراحی بازشوهای جنوبی فضای اداری در جهت بهره‌وری و مصرف هوشمندانه انرژی و فراهم نمودن سطح نور موردنیاز فضای داخلی است. روش تحقیق در این پژوهش شبیه‌سازی و استدلال منطقی است، از این رو با استفاده از شبیه‌سازی فضایی اداری، طراحی پارامتریک لوورها و بهینه‌سازی پارامترها (میزان چرخش، طول، فاصله از پنجره، میزان انعکاس و تعداد لوورها) با استفاده از الگوریتم ژنتیکی به طراحی پنجره جداره جنوب منطبق با شرایط تابش خورشیدی در تهران مورد تحلیل و بررسی قرار گفته است. نتایج حاکی از آن است که استفاده از لوورهای خارجی جهت کنترل و ارتقاء کیفیت روشنایی بسیار کارآمد است.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی چند هدفه، معماری دوست‌دار نور، هوش مصنوعی، سیستم کنترل نور، سیستم لوور، معماری سرآمد، الگوریتم ژنتیک.

۱.دانشیار، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران؛(نویسنده مسئول)، ایمیل: Mahdavinejad@modares.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی‌ارشد معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران؛ ایمیل: Mojgan.arbab@modares.ac.ir

۳. دانشجوی کارشناسی‌ارشد معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران؛ ایمیل: Maryam.arbab@modares.ac.ir

مقدمه

نور روز همواره یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در طراحی معماران و مهندسین بوده است. در سال‌های اخیر با افزایش بحران انرژی در کره زمین توجه همگان به‌ویژه طراحان به بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها جلب شده است که این امر سبب استفاده مجدد از نور گردید. یکی از رایج‌ترین راهکارها که در ابتدا به منظور تأمین نور مورد استفاده قرار گرفت افزایش سطح بازشوها و نورگیرها بود که این امر در صورت عدم بهینه‌سازی و هدفمند نمودن نور خود سبب افزایش مصرف انرژی در ساختمان‌ها می‌شود. از سوی دیگر افزایش سطوح شفاف در ساختمان، سبب عدم آسایش بصری از طریق خیرگی در نواحی نزدیک به پنجره (حیدری، ۱۳۹۳)و افزایش اثر گلخانه‌ای و در نتیجه آن افزایش مصرف انرژی می‌گردد. بهبود آسایش و راحتی فضای داخلی با بهینه‌سازی سطح نور طبیعی امروزه یکی از موضوعات مهم در بازسازی و بهسازی فضا به ویژه در ساختمان‌های اداری است که یکی از دلایل مهم آن کاهش مصرف انرژی به منظور کاهش حرارت حاصل از نور ورودی به ساختمان‌ها است. از این رو تخمین و بهینه کردن سطح روشنایی فضاهای اداری امری ضروری است. معماری دوستدار نور (Daylightophil Architecture) با جلوگیری از ورود اشعه خورشید به فضای داخلی از ساختمان در برابر نور روز محافظت می‌کند که سبب کاهش مصرف انرژی در زمان بهره‌وری می‌گردد. از این رو طراحی مبتنی بر عملکرد به منظور کنترل انتقال حرارت از داخل به خارج و کنترل میزان تابش خورشید است که بهترین کارایی را در استفاده از انرژی خورشید دارد (Talaei et al. 2017). یکی از راهکارهای مناسب به منظور کنترل نور ورودی استفاده از سیستم‌های سایه‌انداز و کنترل‌کننده نور مانند لوورها است. این پژوهش بر بهینه‌سازی فضای اداری با استفاده از سیستم سایه‌انداز لوور متمرکز است.

هدف از این پژوهش، کاربرد هوش مصنوعی و برنامه‌ریزی و برنامه‌دهی الگوریتمیک به منظور تخمین تناسبات و مشخصات فنی لوورهای خارجی و پیشنهاد الگویی جهت طراحی بازشوهای جنوبی فضای اداری در جهت بهره‌وری و مصرف هوشمندانه انرژی، و فراهم نمودن سطح نور موردنیاز فضای داخلی است.

به منظور رسیدن به این هدف، این پژوهش شامل سه مرحله اصلی است: گام نخست تجزیه و تحلیل پیشینه موضوع، گام دوم استخراج پارامترهای مؤثر و در آخر شبیه‌سازی و بهینه‌سازی پارامترها.

بیان مسئله

بررسی پژوهش‌های پیشین نشان‌دهنده تأثیر نصب لوورهای خارجی بر ارتقاء کیفیت روشنایی فضای داخلی است. در طراحی لوورهای خارجی چندین پارامتر مؤثر وجود دارد که در پژوهش‌های انجام شده به بررسی ۳-۴ پارامتر (عمق لوورها، زاویه لوورها، فاصله لوورها از پنجره و تعداد لوورها) پرداخته‌اند و فاکتور میزان انعکاس لوورها بررسی نگردیده است که در این پژوهش با توجه به رویکرد جامع‌گرایی پژوهش حاضر ۵ فاکتور اصلی در طراحی لوورها باید در کنار هم مورد بررسی قرار گیرند لازم به ذکر است که بررسی مؤلفه‌ها و پارامترهای لازم در طراحی لوورها باید با توجه به اینکه طراحی لوورها متأثر از موقعیت و عرض جغرافیایی است و مسئله اصلی این موضوع است که

تاکنون پژوهشی به منظور بررسی پارامترهای طراحی لوور در موقعیت شهرهای ایران صورت نگرفته است.

از این رو سؤالات اصلی پژوهش به شرح زیر هستند:

پرسش‌های تحقیق

این پروژه سعی دارد به این پرسش پاسخ دهد که:

پارامترهای مؤثر در طراحی لوورهای خارجی به منظور بهره‌وری و مصرف هوشمندانه انرژی کدامند؟

میزان تأثیر هر یک از پارامترهای مؤثر در طراحی لوورهای خارجی، چگونه توسط ابزارهای شبیه‌سازی محیط تعیین می‌گردد؟

در موقعیت جغرافیایی شهر تهران چگونه از لوورهای خارجی جهت بهره‌وری و مصرف هوشمندانه انرژی، و فراهم نمودن سطح نور موردنیاز فضای داخلی بهره گرفت؟ و ابعاد و تناسبات بهینه برای آن در تهران به چه صورت است؟

همبستگی بین پارامترهای مؤثر در طراحی لوورهای خارجی چگونه است؟ و این همبستگی چه مفهومی را نشان می‌دهد؟

پیشینه تحقیق

پیشینه موضوع پژوهش در دو بخش کلی تأثیر کنترل‌کننده‌های نوری بر میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها و تأثیر نور روز بر کاربران فضای اداری صورت گفته است. امروزه یکی از اساسی‌ترین دغدغه‌های طراحان و مهندسین کاهش مصرف انرژی و استفاده حداکثر از انرژی‌های تجدید پذیر است. در سال ۲۰۱۶ حدود ۴۰٪ از کل مصرف انرژی در ایالات‌متحده امریکا توسط بخش‌های مسکونی و تجاری مصرف‌شده است که حدوداً نیمی از آن صرف گرمایش و سرمایش محیط شده است. از سوی دیگر آمارها نشان می‌دهند که ۲۰ الی ۲۵ درصد از انرژی از طریق پنجره‌ها از بین می‌رود. بنابراین، پنجره یکی از مهمترین عناصر ساختمان است که نقش مهمی در بهبود شرایط فضای داخلی دارند(Mohamadjavad Mahdavinejad and Eslamirad 2018). از این رو مطالعات زیادی به منظور یافتن روش‌هایی برای کاهش بار انرژی مصرفی ساختمان‌های صورت گفته است. نتایج پژوهش‌ها نشان‌دهنده نقش مهم لوورها در آسایش بصری و حرارتی کاربران محیط است(Hernández et al. 2017) و مقایسه عملکرد حرارتی در طراحی با لوور با طراحی معمولی ثابت می‌کند که ساختمان با بهره‌گیری از این سیستم عملکرد بهتری دارند و میزان مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی ساختمان را کاهش می‌دهند(Choi et al. 2014)(Palmero-Marrero and Oliveira 2010). از این رو تحقیقات زیادی در جهت بهینه‌سازی سیستم لوور و بهبود عملکرد آن (Kim et al. 2015) و تلفیق آن با راهکارهای دیگر مانند شکل سقف(Freewan, Shao, and Riffat 2009) و رف نوری (مهدوی‌نژاد, و همکاران، ۱۳۹۵) و بررسی اشکال مختلف آن(K. Lee, Han, and Lee 2017) صورت گفته است.

از سوی دیگر مطالعات نشان می‌دهد که عامل نور و روشنایی در کاهش استرس و بهبود عملکرد کارمندان و آسایش بصری(مهدوی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۱) نقش مـؤثری دارنـد.

قنبران و همکاران در پژوهشی به بررسی نقش نور طبیعی در کاهش استرس کارمندان در فضای اداری پرداخته‌اند که نتایج آن حاکی از این امر است که سه

فاکتور نور و روشنایی، دید و منظر در کاهش استرس کارمندان نقش مؤثری دارند. این پژوهش پیشـنهاد می‌کند که طراحان با در نظر گرفتن این سه عامل، محیط‌های فاقد استرس، پویا و خوشایندی را برای کارمندان خلق نمایند(قنبران و همکاران، ۱۳۹۶).

در سال ۱۳۹۱ مهدوی نژاد و همکاران تحقیقی را با عنوان تخمین کارایی کانال‌های انتقال نور افقی در ساختمان‌های عمیق انجام دادند که در این پژوهش به شناسایی و تخمین کارایی یکی از سیستم‌های پیشرفته نور روز بنام کانال انتقال نور افقی پرداخته شده است تا جایی که بتواند برآورده کننده نیازهای کمی و کیفی روشنایی در اتاقی اداری با پلان عمیق باشد. نتایج حاکی از افزایش کمیت و کیفیت روشنایی در اتاق مورد مطالعه برای اکثر ماه‌های سال در صورت استفاده از این سیستم است(مهدوی نژاد و همکاران، ۱۳۹۱). در پژوهشی که توسط فائزه زارع و شاهین حیدری در سال ۱۳۹۳ با عنوان طراحی معماری با بهره‌گیری از روشنایی طبیعی رویکردی در طراحی کتابخانه برای شهر تهران صورت گرفته است. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده اهمیت کنترل و استفاده بهینه از روشنایی روز است و در نهایت برای افزایش طول زمان استفاده از نور روز، نوعی سیستم روشنایی هماهنگ با مسیر گردش خورشید در بام استفاده شده است (زارع و حیدری، ۱۳۹۳).

مهدوی نژاد و همکاران در سال ۱۳۹۵ تحقیقی با عنوان بهینه‌سازی تناسبات و نحوه استفاده از رف نور در معماری کلاس‌های آموزشی انجام داده‌اند که نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از سامانه‌های ترکیبی از طریق تلفیق رف نوری به همراه سایبان می‌تواند نوری یکنواخت با میانگین شدت روشنایی ۳۰۰ لوکس در سطح کار در فضای مورد آزمایش ایجاد کند (مهدوی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۵). مهدوی‌نژاد و اسلامی‌راد در پژوهش دیگری میزان اهمیت بهینه‌سازی نور ورودی به فضا به منظور ارتقا کارایی فضا را نشان می‌دهند. (Mohamadjavad and Eslamirad, 2018).

در سال ۲۰۱۰ پژوهشی با عنوان تأثیر سیستم سایه‌انداز لوور بر میزان انرژی مصرفی ساختمان صورت گفته است که به بررسی میزان تأثیر نصب لوورهای خارجی بر میزان مصرف انرژی می‌پردازد (Palmero-Marrero and Oliveira 2010)

این پژوهش نشان می‌دهد که ادغام سیستم سایه‌انداز لوور در ساختمان منجر به بهبود شرایط حرارتی در فضای داخلی می‌گردد و سبب کاهش مصرف انرژی در مقایسه با یک ساختمان معمولی می‌شود.

در سال ۲۰۱۴ پژوهشی با عنوان طراحی بهینه لوورها صورت گرفت (Ryu, Yook, and Lee 2014) در این پژوهش از معادله Suga–Aoki به منظور طراح بهینه لوورها با خطای کم استفاده شده است. این پژوهش نشان‌دهنده میزان اهمیت و تاثیر استفاده از لوورها در طراحی بهینه فضای داخلی است.

در سال ۲۰۱۵ پژوهشی با عنوان استفاده از سیستم‌های سایه‌انداز خارجی به منظور کاهش بار سرمایشی و بهبود نور روز در ساختمان اداری صورت گفته است (Kim et al. 2015) که نتایج آن نشان‌دهنده این موضوع است که بار سرمایشی با توجه به دستگاه سایه‌انداز ۳۵٪ کاهش می‌یابد و UDI ۵۰۰–۲،۰۰۰ لوکس افزایش یافته است.

در سال ۲۰۱۷ پژوهشی با عنوان پارامترهای طراحی لوورها بر اساس عملکرد مستقیم کنترل تابش خورشید انجام گردید که هدف این آن یافتن بهترین

شکل لوور برای هر یک از دو نمای اصلی ساختمان بوده است (Choi et al. 2014). در این مطالعه، بهترین عملکرد حرارتی در طراحی لوور با طراحی معمولی با استفاده از نرم‌افزار Ecotect Analysis 2011، مقایسه شده است. تجزیه و تحلیل حرارتی Ecotect ثابت می‌کند که شکل‌های پیشنهاد شده لوور بهتر عمل می‌کنند و بارهای گرم و خنک‌کننده ساختمان را کاهش می‌دهند.

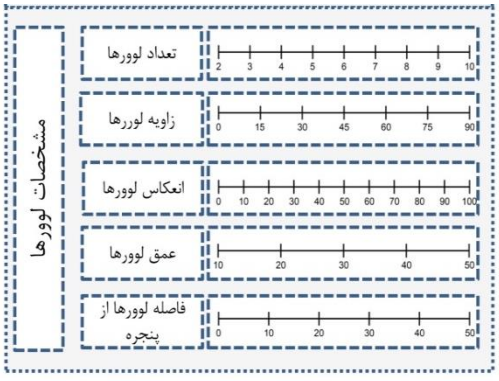
از سوی دیگر پژوهشی با موضوع تأثیر سیستم لوورها بر آسایش بصری و کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری در سال ۲۰۱۷ انجام گردیده است (Hernández et al. 2017) که نتایج آن نشان‌دهنده نقش مهم لوورها در آسایش بصری و حرارتی کاربران است.

پژوهشی با عنوان رابطه بین لوورها و شکل سقف به منظور به حداکثر رساندن بهره‌وری روشنایی روز صورت گفته است که نتایج آن با داده‌های مدل فیزیکی به دست آمده در یک آسمان آبی و تابش بالای نور خورشید مطابقت دارد. عملکرد نوری لوورها توسط چرخش آن‌ها به سمت پایین کاهش می‌یابد(Awwad, Mohamed, and Fatouh 2017). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بهترین شکل سقف در جلو و عقب اتاق به صورت شیروانی بوده است. تحقیقی با موضوع تأثیر انواع سایه‌بان‌ها و چرخش آزیموت بر روشنایی روز در یک فضای آموزشی با تمرکز بر اثربخشی سایه‌انداز نما صورت گرفته است(K. Lee, Han, and Lee 2017) که نتایج آن حاکی از آن است که استفاده از انواع سایه‌بان‌ها باعث افزایش قابل‌توجهی در ارزش‌های UDI می‌شوند. همچنین نشان می‌دهد که با چرخش و نصب انواع سایه‌اندازها میزان DA (Daylight Autonom) و UDI (Useful Daylight Illuminance)دچار تغییرات عمده‌ای می‌گردد. با اینکه در تمامیِ موارد نتایج نشان‌دهنده کاهش DA و افزایش UDI است.

روش تحقیق

مروری بر ادبیات تخصصی موضوع نشان‌دهنده آن است که لوورها از تنوع زیادی برخوردارند. از این رو لازم است که طراحی و استفاده از آن‌ها بر اساس گونه‌شناسی انواع و مشخصات فنی(Mohamad javad Mahdavinejad and Eslamirad 2018) صورت گیرد. به عبارت دیگر این پژوهش گونه‌شناسی لوورها و مشخصات فنی آن‌ها را برای تقسیم‌بندی و مشخص نمودن میزان کارایی مهمترین متغیرهای مستقل آزمون: تعداد لوورها، زاویه لوورها نسبت به سطح افق، ضریب انعکاس آن‌ها، ابعاد و میزان فاصله لوورها از پنجره را مورد تأکید قرار می‌دهد. تخمین کارایی لوورهای خارجی در ساختمان با سنجش یکی از پارامترهای مهم استفاده از لوورهای خارجی یعنی بهینه‌سازی میانگین سطح روشنایی(متغیر وابسته) صورت می‌گیرد. بازه تغییرات متغیرهای مستقل در شکل۱ نشان داده شده است.

هدف پژوهش: هدف از این پژوهش، کاربرد هوش مصنوعی و برنامه‌ریزی و برنامه‌دهی الگوریتمیک به منظور تخمین تناسبات و مشخصات فنی لوورهای خارجی و پیشنهاد الگویی جهت طراحی بازشوهای جنوبی فضای اداری در جهت بهره‌وری و مصرف هوشمندانه انرژی، و فراهم نمودن سطح نور موردنیاز فضای داخلی است.

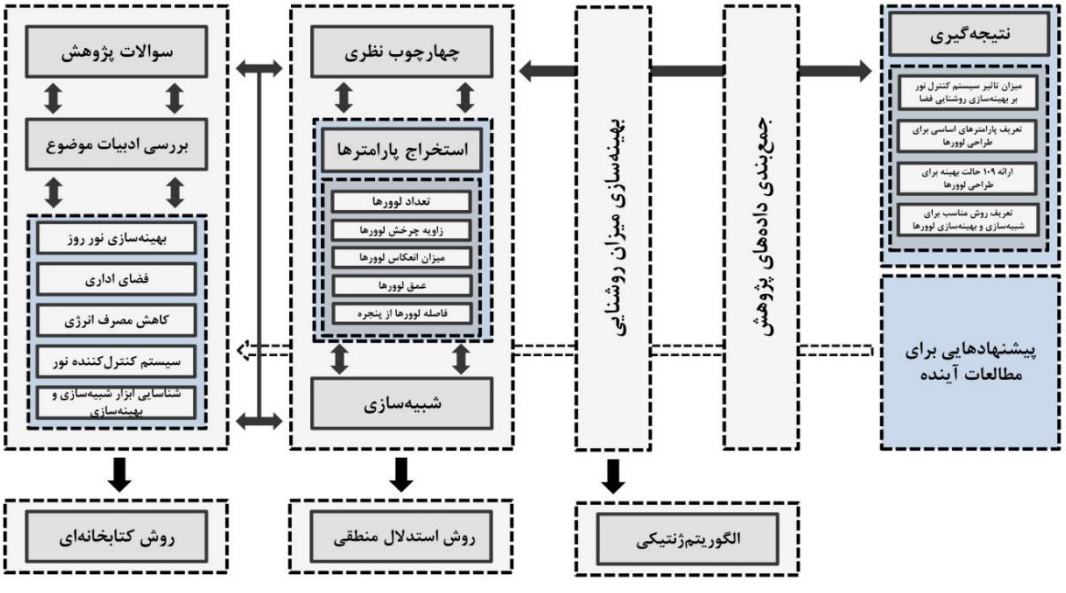


شکل۱ – بازه تغییر متغیرهای مستقل (منبع: نگارندگان)

سؤالات پژوهش: در موقعیت جغرافیایی شهر تهران چگونه از لوورهای خارجی جهت بهره‌وری و مصرف هوشمندانه انرژی، و فراهم نمودن سطح نور موردنیاز فضای داخلی بهره گرفت؟ و ابعاد و تناسبات بهینه برای آن در تهران به چه صورت است؟

شیوه انجام پژوهش: در این پژوهش، روش تحلیل داده‌ها استدلال منطقی است. بر اساس تعریف، استدلال منطقی سعی بر آن دارد که یک مورد کاملاً تعریف شده را به‌گونه‌ای که توان تشریح یا سودمندسازی تمام نمونه‌های آن مورد را داشته باشد در چهارچوبی سامان‌یافته تدوین نماید(مهدوی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین از نرم‌افزارهای متداول معماری و یا نرم‌افزارهای الگوریتمیک جهت مدل‌سازی و تحلیل نور روز استفاده گردیده است.

برای دستیابی به این امر، فرآیند پردازش طرح به چند مرحله تقسیم شده است که در شکل ۲ نمایش داده‌شده است. ابتدا با بررسی پیشینه موضوع به روش کتابخانه‌ای داده‌های اصلی در رابطه با ویژگی‌های کیفیت و کمیت نور روز در فضاهای اداری، سیستم‌های کنترل‌کننده نور، نقش این نوع سیستم‌ها در کاهش مصرف انرژی و روش‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی استخراج می‌گردند. در گام دوم برای رسیدن به اهداف پژوهش از روش تحقیق بر اساس استدلال منطقی استفاده گردیده است. در این مرحله با توجه به داده‌های گردآوری شده چهارچوب نظری پژوهش شکل می‌گیرد. نتیجه نهایی با توجه به کاربری و ابعاد فضای داخلی و



شکل ۲– ساختار کلی و روش تحقیق پژوهش (منبع: نگارندگان)

مقدار نور موردنیاز فضا به دست می‌آید و این پژوهش سیستم پیشنهادی را در مورد ساختمان‌های اداری در شهر تهران ارائه می‌دهد. در این روش نتیجه هر مرحله به صورت داده اولیه مرحله بعدی در نظر گرفته می‌شود و سبب پیوستگی در سراسر تحقیق می‌گردد.

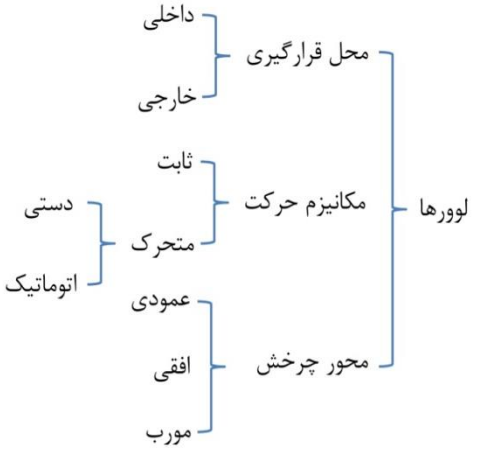
با توجه اینکه نمونه در شرایط آزمایشگاهی و مبتنی بر استانداردهای تأکید شده در ضوابط ASHRAE شبیه‌سازی شده است، نتایج آن قابلیت تعمیم‌پذیری (generalization) به ساختمان‌های اداری مشابه را دارد. بر اساس استانداردهای ASHRAE (که مبتنی بر تعداد بی‌شماری پژوهش مشابه است) ابزار انتخاب‌شده اصل روایی یا اعتبار (validity) کافی برای سنجش سؤال تحقیق برخوردار است. نتایج تحقیق در آزمون مجدد (validation) مورد تائید قرار گرفت است با عنایت به تائید نتایج در باز آزمایی (test-retest) نشان‌دهنده پایایی (reliability) پژوهش است و نتایج آن می‌توانند در نمونه‌های مشابه مورد استناد قرار بگیرد.

مبانی نظری

۵-۱ کیفیت نور در فضای اداری

انسان‌ها بیشتر وقت خود را در ادارات و سازمان‌ها صرف می‌کنند، از این رو محیط اداری باید دارای نور مناسب و سایر نیازهای اساسی انسان باشد. بنابراین در طراحی فضاهای اداری توجه به نور طبیعی بسیار اهمیت دارد. از سوی دیگر، تلاش به منظور کاهش تولید گاز گلخانه‌ای و حفظ محیط طبیعی سبب کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های عمومی، تجاری و اداری شده است(مهدوی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۱). بخش عمده‌ای از فعالیت‌های اداری در طول روز (در حدود ۲۵۰۰ ساعت در سال) صورت می‌گیرد. بنابراین، بخش عمده‌ای از انرژی موردنیاز می‌تواند از نور خورشید تأمین گردد. مطالعات نشان می‌دهند که اوج مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری ساعت ۱۲ روز اول تیرماه یعنی انقلاب تابستانی است (Leslie, Radetsky, and Smith 2012) در نتیجه بیشترین استفاده از انرژی معمولاً در ظهر اول تابستان آفتابی است که بیشترین تابش نور خورشید صورت می‌گیرد و با زمانی که سیستم‌های تهویه مطبوع با حداکثر ظرفیت خود کار می‌کنند برابر است. در نتیجه استفاده بهینه از نور خورشید می‌تواند سبب کاهش ۴۰ درصدی مصرف انرژی گرمایشی گردد.

(Leslie, Radetsky, & Smith, 2012)



شکل ۳- دسته‌بندی لوورها (منبع:

یکی از استراتژی‌ها به منظور کنترل مصرف انرژی، کنترل نور ورودی به فضا است. سیستم لوور یکی از سیستم‌های کنترل‌کننده است که می‌تواند علاوه بر بهینه‌سازی میزان روشنایی فضا سبب کاهش مصرف انرژی گردد. با توجه به فعالیت‌های کاربران در فضای اداری، مطابق با آیین نامه‌ها به صورت استاندارد ۳۰۰ - ۵۰۰ لوکس موردنیاز است

(مهدوی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۵). از این رو تابع هدف در الگوریتم ژنتیکی در این پژوهش این بازه از روشنایی در نظر گرفته شده است.

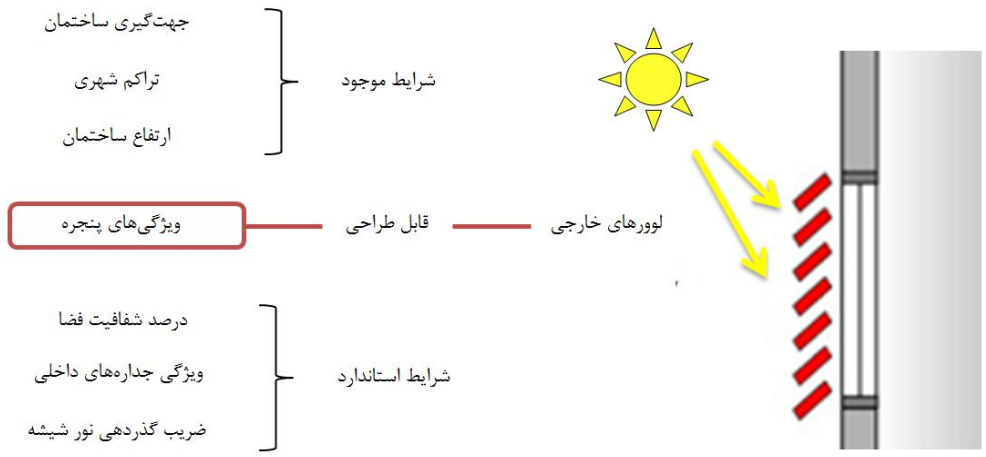
۵-۲ تأثیر سیستم کنترل نور لوور بر فضای داخلی

عناصر کنترل‌کننده تابش آفتاب، همواره یکی از عناصر مهم و شکل‌دهنده معماری ایران بوده که در طول سال‌ها معماران ایرانی از آن بهره برده‌اند و در معماری خانه‌های دوره پهلوی در شهر تهران نیز پوشش‌های محافظ پنجره چوبی با کرکره ثابت مشاهده می‌شود (Mohammadjavad Mahdavinejad et al. 2012). ولی امروزه به دلیل عدم آگاهی معماران از چگونگی تأثیر این نوع سیستم در عملکرد حرارتی و روشنایی و جنبه‌های زیباشناسی آن به فراموشی سپرده شده است.

سیستم سایه‌انداز اساساً اتصالی بین نور روز و عملکرد حرارتی فضا است. عملکرد اصلی سیستم سایه‌انداز، حفاظت بخش شفاف ساختمان از اشعه خورشید در شرایط تابستان است. بنابراین جلوگیری از گرمای بیش از حد به وسیله مسدود کردن دسترسی جریان ناخواسته انرژی به ساختمان امری ضروری است. سایه‌اندازهای خارجی نسبت به سایه‌اندازهای داخلی دارای عملکرد بهتری هستند. زیرا این نوع سایه‌انداز از تابش نور خورشید قبل از ورود به فضا و ایجاد اثر گلخانه جلوگیری می‌نماید. راه‌حل‌های محافظت در برابر اشعه خورشید ارزش‌افزوده بسیاری از لحاظ معماری و عملکرد اقتصادی به ارمغان می‌آورد(Rungta and Singh 2011) سایه‌اندازهای داخلی همانند سایه‌اندازی خارجی مانع از ورود نور خورشید می‌گردد اما مانع ورود حرارت خورشید نمی‌شود.

سیستم‌های سایه‌انداز مانند لوورها به صورت معمول در نماها به منظور کنترل تابش اشعه خورشید به فضای داخلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بهینه‌سازی نور ورودی به فضا سبب کاهش مصرف نور مصنوعی (Tzempelikos and Athienitis 2007) و کاهش مصرف انرژی حاصل از گرمایش و سرمایش (Shen, Hu, and Patel 2014) می‌گردد. یکی دیگر از مزایای استفاده از سیستم‌های سایه‌انداز تأثیر آن‌ها در افزایش کیفیت نور روز، بهبود کیفیت دید، به خصوص در فضاهای اداری و عمومی، جایی که کیفیت فضای داخلی تأثیر زیادی در بهبود عملکرد ساکنین و کاربران دارد (Koo, Yeo, and Kim 2010). بنابراین توجه به نصب و کنترل لوورها می‌توان به صورت قابل توجهی عملکرد فضا را بهبود بخشید (Hu and Olbina 2011). برای تعیین نوع و مشخصات سیستم لوورها، مکان و جهت‌گیری ساختمان، عملکرد ساختمان دستگاه و میزان نور موردنیاز باید در نظر گرفته شود. همواره محققان در جستجوی راه‌حل‌هایی به منظور ایجاد شرایط بهینه و آسایش ساکنان و کاربران از طریق استفاده از سیستم‌های کنترل نور بوده‌اند (Raimondi et al. 2016) شرایطی که نه تنها تضمینی بر کاهش مصرف انرژی است بلکه سبب افزایش آسایش بصری کاربران نیز می‌گردد.

در پژوهش‌های پیشین، سایه‌اندازها به ۴ دسته زیر تقسیم شده‌اند: ثابت، متحرک، پرده‌ها و غلطان(Cellai et al. 2014). از سوی دیگر با توجه به شکل ۳ می‌توان لوورها را با توجه به محل قرارگیری، مکانیسم حرکتی و محور چرخش به صورت زیر دسته‌بندی نمود. در نمونه آزمایشی در این پژوهش، لوور داخلی، ثابت و افقی است.



شکل ۴- متغیرهای تعیین‌کننده میزان نور روز در فضا (منبع: نگارندگان)

با توجه به شکل ۴ فاکتورهایی که تعیین‌کننده سطح روشنایی طبیعی هستند را می‌توان در سه سطح بررسی نمود:

در سطح شهری: عرض جغرافیایی، احتمال تابش خورشید، تراکم ساختمان‌ها، طرح کلی ساختمان.

در سطح یک اتاق: تعداد و ابعاد روزنه‌ها، نسبت ارتفاع به عمق.

در سطح پنجره: نسبت سطح شیشه به قاب، میزان نور گذر بودن شیشه، سیستم کنترل‌کننده نور.

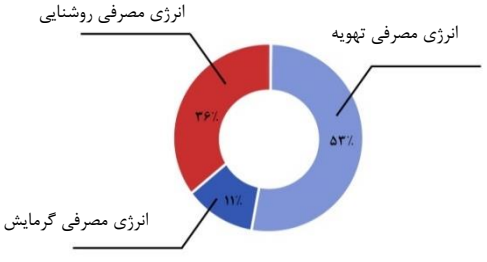
انواع مختلف سیستم‌های کنترل نور به منظور ایجاد شرایط بهینه و مطلوب فضاهای داخلی وجود دارند. یکی از روش‌های مؤثر در طراحی این نوع سیستم به شرایط آب و هوایی و وضعیت خورشید و میزان تقاضا و نیاز نور با توجه به کاربری فضا است. پارامترهای مختلفی در طراحی لوورها دخیل هستند، که در این مقاله ۵ پارامتر به منظور طراحی بهینه لوورها در نظر گرفته شده است که شامل میزان چرخش، طول، فاصله از پنجره، میزان انعکاس و تعداد لوورها است که در ادامه به صورت مفصل توضیح داده می‌شوند.

3-5 نقش سیستم‌های کنترل نور در کاهش مصرف انرژی

در بسیاری از کشورها فعالیت‌های تکمیلی به منظور بهسازی و بهینه‌سازی ساختمان در بخش ساخت و ساز در طی دو دهه اخیر افزایش چشم‌گیری داشته است (Mohammadjavad Mahdavinejad et al. 2014). امروزه تعداد زیادی از ساختمان‌ها به دلایل زیادی بهسازی و بازسازی می‌شوند، یکی از این دلایل را می‌توان بهبود شرایط آسایشی محیط (تهویه هوا، ویژگی‌های بصری محیط و غیره) و کاهش مصرف انرژی دانست. در ساختمان‌های موجود مصرف انرژی حاصل از روشنایی مصنوعی به عنوان یک اولویت در نظر گرفته نمی‌شود زیرا در مقایسه با مصرف انرژی حاصل از تهویه مطبوع، گرمایش و سرمایش میزان بسیار کمی را به خورد اختصاص داده است(Raimondi et al. 2016) (Brandi 2012). در شکل۵ نشان داده شده است که در ساختمان‌های میزان مصرف انرژی گرمایشی در حدود ۳۶٪ و مصرف انرژی برای تهویه مطلوب

۵۳٪. مطالعات نشان می‌دهند(Hörner, Bagherian, and Jedek 2014). از این رو یکی از اقدامات قابل توجه به منظور کنترل نور ورودی به فضا و بهینه‌سازی سطح روشنایی و مصرف انرژی را می‌توان نصب لوورها خارجی بر روی نما دانست که نه تنها می‌تواند در ابتدای مرحله طراحی موردتوجه قرار گیرد بلکه امکان بازسازی بهینه محیط را نیز می‌دهد. همان‌طور که گفته شد یکی از مهمترین عواملی که نقش مهمی در توسعه پایداری ساختمان‌ها و کنترل مصرف انرژی دارد کنترل نور روز توسط سیستم‌های کنترل نور است (Krigger and Dorsi 2004)(Baek and Park 2016). بنابراین بهینه‌سازی مصرف انرژی خورشیدی نقش مهمی در طراحی پایدار ساختمان‌ها دارد (Fallahtafti and Mahdavinejad 2015) (Wong and Istiadji 2004).نور روز بخش مهمی از عوامل محیطی را شامل می‌شود از این رو می‌تواند میزان انرژی مصرفی جهت گرمایش، تهویه و سرمایش (Crawley et al. 2001)(J.-W. Lee et al. 2013) و آسایش و سلامت ساکنین (Boubekri 2008) را تحت تأثیر قرار دهد. مطالعه و بررسی پارامترهای مؤثر بر مصرف بهینه انرژی و ارتقا عملکرد روزانه ساختمان به منظور طراحی سامانمند و جامع امری ضروری است (Lam and Li 1999). تحقیق و مطالعه در رابطه با تأثیرات طراحی بهینه نور روز به صورت روزافزونی در حال گسترش است. به‌طور مثال ارتباط بین نور روز و آسایش انسان (Heschong, Wright, and Okura 2002) عملکرد انسان (Boubekri, Hull, and Boyer 1991) تعامل بین سیستم کنترل نور در نما و هندسه سقف (Freewan, Shao, and Riffat 2009). به منظور استفاده بهینه از نور روز صورت گفته است که نیازمند توجه به ملاحظاتی برای به حداقل رساندن مصرف انرژی گرمایشی و تهویه مطبوع و همچنین به حداکثر رساندن مصرف بهینه انرژی خورشید است (Sullivan, Lee, and Selkowitz 1992). ترکیب لوورهای خارجی به عنوان سیستم کنترل نور با نمای ساختمان یکی از روش‌های مهم در بهینه‌سازی نور روز است (Wong and Istiadji 2004). لوور یکی از سیستم‌های کنترل نور خورشیدی است که به صورت عمده به منظور کسب تابش مناسب خورشید و کنترل روشنایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. راه‌های زیادی برای تحلیل و طراحی نمای بیرونی ساختمان و سیستم‌های پنجره وجود دارد که تفاوت در نحوه طراحی و مصالح تأثیر بسزایی در آسایش ساکنین و زیبایی نمای خارجی ساختمان دارد. تحقیقات متعددی در رابطه با تأثیرات اولیه نصب لوورها و حداکثر عملکرد بصری با نصب دستگاه‌های پیشرفته روی نما صورت گفته است (ASHRAE 1997)(Datta 2001). به‌علاوه با نصب سیستم‌های کنترل نور خارجی در سطح نما می‌توان از مشکل گرمایش (Kuhn, Bühler, and Platzer 2001) و خیرگی حاصل از تابش (J.-H. Lee, Moon, and

(Kim 2014) را رفع نمود. به طور معمول، لوورهای نما یا به صورت تجربی توسط کاربران یا بر اساس تجارب و دانش علمی طراحی می‌گردند. در حال حاضر، روش‌های جدید طراحی با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی محیط صورت می‌گیرد که توانایی انتخاب بهترین گزینه‌ها و راه‌حل‌ها ازنظر عملکرد روزانه و شرایط محیطی دارند (Park, Augenbroe, and Messadi 2003). یکی از اهداف این پژوهش تعریف روشی علمی و کاربردی به منظور شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سیستم‌های لوور خارجی است که بخش بعدی به بررسی ویژگی‌های این روش می‌پردازد.



شکل ۵- متغیرهای تعیین کننده میزان نور روز در فضا

(منبع: Raimondi et al. 2016)

۶- شبیه‌سازی

تمامی شبیه‌سازی‌ها برای تمامی روزهای سال و در بازه زمانی ۸-۱۶ بعدازظهر برای حالات مختلف متغیرها در بازه مشخص (شکل ۱) انجام شده است. شبیه‌سازی‌هایی در نهایت مورد تحلیل قرار می‌گیرند که دارای نتیجه مطلوب باشند. لازم به ذکر است که میزان روشنایی در شبیه‌سازی‌ها نیز زوی سطحی به ارتفاع ۹۰ سانتیمتر (ارتفاع سطح کار در ادارات) و در شرایط آب و هوایی شهر تهران و برحسب لوکس اندازه‌گیری می‌شود.

۶-۱ مشخصات فضای شبیه‌سازی‌شده

جهت انجام شبیه‌سازی در نرم‌افزار Rhino، فضای اداری با ابعاد ۶۰۰ ×۳۵۰ سانتیمتر و ارتفاع ۳۰۰ سانتیمتر و پنجره‌ای با ابعاد ۱۷۰×۲۵۰ سانتیمتر (۴۰٪ از مساحت دیوار طبق پژوهش‌های پیشین) که از کف ۹۰ سانتیمتر فاصله دارد، روی جداره جنوبی در نظر گرفته شده است (شکل ۶). ابعاد پنجره به دیوار خارجی که در پژوهش‌های سابق نگارنده برای شهر تهران ۳۰٪ تا ۴۰٪ تخمین زده‌شده (مهدوی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۵)، در نظر گرفته شده است. در این حالت پنجره می‌تواند در کنار تأمین نور کافی، تبادل انرژی را به حداقل برساند(Mohammadjavad Mahdavinejad et al. 2012). بر این اساس مساحت پنجره ۴۰٪ مساحت دیوار در نظر گرفته شده است. جنس جداره‌های داخلی و سقف، با مصالحی که از نظر بافت بسیار به گچ دیوار و به رنگ کرم بود و کف فضا نیز با مصالحی نزدیک به سرامیک و به رنگ سفید باشد، شبیه‌سازی می‌شود. ضریب انعکاس سطوح داخلی این اتاق به شرح (جدول۱) است.

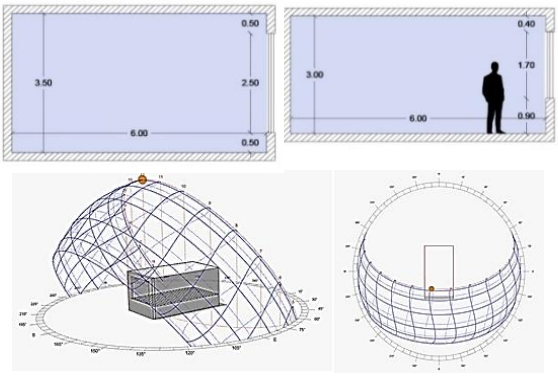
جدول ۱- مشخصات سطوح اتاق شبیه‌سازی‌شده (منبع: نگارندگان)

اجزای مدل فرضی	ضریب انعکاس
سقف	۰/۸۰
دیوار	۰/۵۰
کف	۰/۴۰

اطلاعات آب و هوایی شهر تهران در سایت دفتر بهره‌وری از انرژی و انرژی‌های تجدید پذیر در دسترس است که برای شبیه‌سازی مورداستفاده قرارگرفته است. محل قرارگیری کرکره در حالت خارجی و میزان روشنایی موردنیاز در فضاها با کاربری‌های مختلف میزان روشنایی در فضا ۳۰۰- ۵۰۰ لوکس در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است نوع تنظیم کرکره بر اساس اقلیم متفاوت است. در این پژوهش اقلیم تهران با طول جغرافیایی ۵۱/۲۰ و عرض جغرافیایی ۳۵/۴۱ مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که ساعت کاری در ادارات تهران از ۸ الی ۱۶ است، در شبیه‌سازی نیز همین محدوده زمانی برای ساعت کاری در نظر گرفته شده است. از این رو در الگوریتم ژنتیکی تابع هدف (میزان روشنایی) با توجه به کاربری اداری فضا ۳۰۰–۵۰۰ لوکس در سطح افقی ۹۰ سانتیمتر بالاتر از سطح کف (سطح کار) (Brandi 2012) در نظر گرفته شده است. این سطح به مربع‌های ۳۰ در ۳۰ سانتیمتر تقسیم شده است. هدف یافتن میزان بهینه متغیرها برای طراحی لوورها است که در ۷۰٪ از زمان بهره‌وری سطح میز و کار دارای سطح روشنایی ۳۰۰–۵۰۰ لوکس باشد.

۶-۲ مشخصات سیستم لوور شبیه‌سازی‌شده

پس از انجام آزمون میزان حساسیت پارامترها، ۵ پارامتر اصلی استخراج شده‌اند که شامل زاویه چرخش، تعداد، عمق، فاصله لوورها از پنجره (Choi et al. 2014) و میزان انعکاس لوورها است.



شکل ۶- مشخصات فضای شبیه‌سازی‌شده (منبع: نگارندگان)

این ۵ پارامتر، یک الگوریتم طراحی را تشکیل می‌دهد که در آن شکل لوور همراه با تغییر پارامترها تغییر می‌کند. پارامترها و بازه تغییرات آن‌ها به شرح زیر تعریف‌شده است (شکل۷):

فاصله لوورها از سطح شیشه (a) که در این پژوهش بازه‌ای بین ۰–۵۰ سانتیمتر با فواصل ۱۰ سانتیمتر تغییر می‌نمایند. عمق لوورها (x) که در این پژوهش با توجه به میزان هم‌پوشانی لوورها بین ۱۰–۵۰ سانتیمتر با فواصل ۱۰ سانتیمتر تعریف شده است.

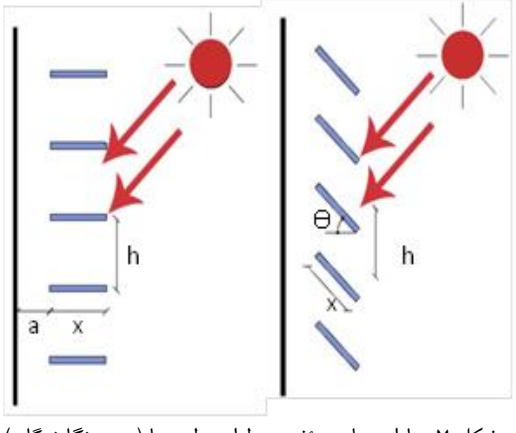
زاویه چرخش لوورها (Θ) بین ۰–۹۰ درجه با فواصل ۱۵ درجه متغیر است که در حالت ۰ درجه صفحات کاملاً افقی است که از ورود نور جلوگیری می‌نماید و در حالت ۹۰ درجه کاملاً عمودی هستند.

تعداد لوورها (n) در این پژوهش با توجه به ابعاد پنجره بین ۲ تا ۱۰ عدد تعریف شده است که این عدد تعیین‌کننده فاصله بین لوورها (h) نیز است.

انعکاس لوورها (R) در بازه‌ای بین ۰–۱۰۰ درصد متغیر است.

۶-۳ بهینه‌سازی به وسیله الگوریتم ژنتیکی

الگوریتم ژنتیکی می‌تواند یک سری از شبیه‌سازی‌ها را در فضای مطالعاتی چندبعدی به منظور یافتن ارتباط بین پارامترها انجام و بررسی نماید. از این رو الگوریتم ژنتیکی می‌تواند به عنوان یک مطالعه تکمیلی پارامتریک، ابزاری برای بهینه‌سازی در نظر گرفته شود. در پژوهش حاضر، به‌منظور کاهش زمان محاسبه، بازه مشخصی برای متغیرها و همچنین محدود مشخصی از تابع هدف مورد بررسی قرار گرفته شده است. به منظور رسیدن به جواب مطلوب در نسل‌های کمتر، انتخاب نخبگان مطلق در هر نسل مورد استفاده قرارگرفته است و میزان جمعیت به ۲۰ نفر محدود شده است. با توجه به الگوریتم ژنتیکی می‌توان ژن‌های مطلوب در هر نسل را به دست آورد. با توجه به متغیرها و بازه آن‌ها تنها یک جواب مطلوب وجود ندارد.



شکل ۷- پارامترهای مؤثر در طراحی لوورها (منبع: نگارندگان)

در ادامه بحث به شرح مختصری از واژه‌نامه معمول الگوریتم ژنتیکی پرداخته‌شده است:

ژن: حاوی یک خصوصیت یا یک متغیر است، مانند زاویه چرخش لوورها.

کروموزوم یا عضو: مجموعه ژن‌ها و تغییرها است که یک حالت را تشکیل می‌دهند.

جمعیت: مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها.

والدین: کاندیدای تولید نسل بعدی.

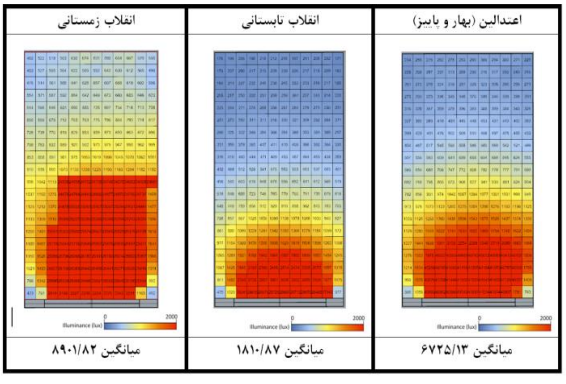
تولیدمثل: اعمال عملگر تقاطع و جهش بر والدین و ایجاد کروموزوم جدید.

تابع هدف: درواقع هدف ما از بهینه‌سازی یک یا چند پارامتر است که در این پژوهش مقدار روشنایی فضا برحسب لوکس است.

۶-۴ روند شبیه‌سازی

ابتدا پنجره بدون لوور به عنوان حالت پایه آزمایش شده سپس ابعاد و زوایای مختلف لوورها در شرایط مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مرحله ابتدا فضای شبیه‌سازی بدون اعمال سیستم کنترل نور لوور به عنوان حالت پایه آزمایش و شبیه‌سازی می‌گردد و میزان روشنایی فضا را در سطح کار (۹۰ سانتیمتر بالاتر از سطح زمین) در انقلاب تابستانی، انقلاب زمستانی و اعتدالین مشخص گردیده است. (شکل ۸) مؤید این مطلب است که در تمامیِ موارد نور بیش از حد نیاز وارد فضا می‌شود که علاوه بر خیرگی سبب گرمای فضا نیز می‌شود این مسئله در حالی است که نقاطی از فضا روشنایی کافی برخوردار نیستند. این روند برای تمامی فصول سال شبیه‌سازی شده و نتیجه مشابهی ازنظر کیفیت نور (ایجاد خیرگی و کمبود روشنایی در برخی نقاط فضا) را در فضا نشان داد. در ادامه راهکار نصب لوورها به شبیه‌سازی افزوده شده و تناسبات مختلف

آن مورد آزمایش قرار گرفت. از این رو، در ابتدا فضای مورد آزمایش را در محیط Rhino بدون در نظر گرفتن سیستم لوورها به عنوان حالت پایه شبیه‌سازی شده است. در ادامه حجم شبیه‌سازی به منظور طراحی پارامتریک لوورها و تعیین پارامترهای تعریف شده در افزونهGrasshopper بارگذاری می‌گردد.



شکل ۸- میانگین روشنایی نمونه شبیه‌سازی شده در فصول مختلف (منبع: نگارندگان)

در این بخش برای هر یک از متغیرها بازه مشخصی تعریف می‌شود (شکل ۲) که با تغییر آن شکل و میزان تأثیر لوورها تغییر می‌کند. با اضافه شدن افزونه Diva به الگوریتم طراحی‌شده امکان مشاهده میزان روشنایی هر یک مربع‌های ۳۰ در ۳۰ سانتیمتر مشخص شده در سطح کار (۹۰ سانتیمتر) صورت می‌گردد.در ادامه به منظور بهینه‌سازی متغیرهای تعریف شده افزونه Galapagos به الگوریتم اضافه می‌گردد که با استفاده از محاسبات تکاملی روابط بهینه بین متغیرها را کشف می‌نماید. در شکل ۹ به اختصار روند شبیه‌سازی و بهینه‌سازی را نمایش داده است.

۷- یافته‌های تحقیق

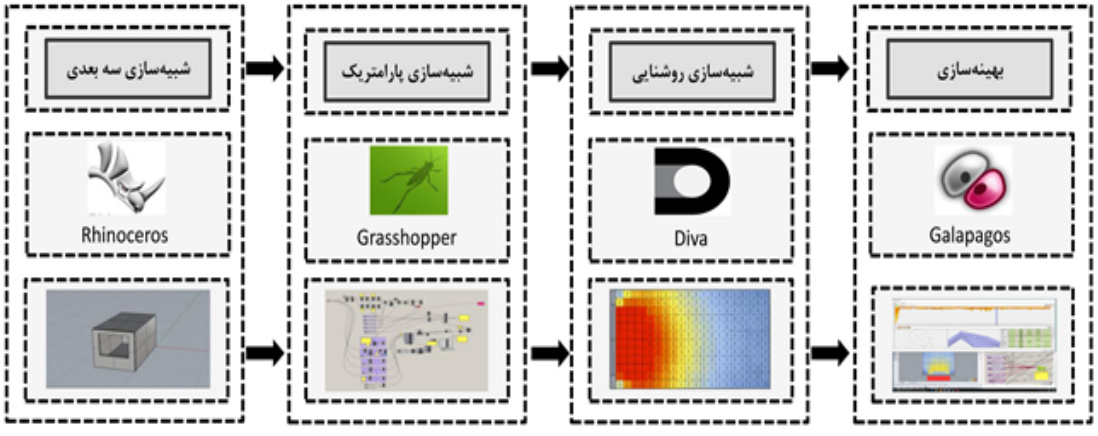
هدف این پژوهش بهینه‌سازی سیستم کنترل نور روز (لوور) و همچنین تعیین الزامات طراحی این نوع سیستم با کمک شبیه‌سازی پارامتریک نور روز و بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر با استفاده از الگوریتم ژنتیک بوده است. از این رو چندین پارامتر مجزا به طور هم‌زمان تغییر می‌کنند و نتایج به عنوان مکمل مطالعات پیشین مورد استفاده قرار می‌گیرند. که در نهایت هدف از بهینه‌سازی این نوع سیستم صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بهینه‌سازی میزان نفوذ نور روز مطلوب است. نتایج نشان‌دهنده یک همگام‌سازی سریع در ابتدا (نسل ۲-۳) و بهبود در نسل‌های بعدی است. آزمایش روی ۱۰۰ نسل نشان‌دهنده تشابه تکامل و سازگاری نتایج است با توجه به این موضوع می‌توان گفت که الگوریتم ژنتیکی می‌تواند به طور مؤثر در طراحی بهینه نمای خارجی بنا به توجه به عملکرد نور روز کارایی داشته باشد. شبیه‌سازی پارامتریک امکان بررسی عملکرد نور روز با تغییر پارامترها را می‌دهد اگرچه با توجه به تعداد متغیرها و تعداد زیاد حالات، امکان بررسی تمام ترکیبات در یک تابع چند متغیره وجود ندارد. در این پژوهش با بررسی ۱۰۰ نسل و ۲۰۶۷ حالت متفاوت شبیه‌سازی شده است که از این بین ۱۰۹ حالت مطلوب به دست آمده است.

حاصل بهینه‌سازی فضای شبیه‌سازی‌شده نموداری است که در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. میزان روشنایی در بین حالات بررسی شده بین ۰- ۲۰۰۰۰

لوکس بوده است که با توجه به کاربری فضای شبیه‌سازی شده بازه‌ای بین ۳۰۰–۵۰۰ به عنوان شرایط مطلوب انتخاب گردیده است که به منظور دستیابی به بهینه‌ترین حالت‌ها بازه‌ای بین ۳۸۰–۴۲۰ شامل ۵۳ حالت به عنوان نتیجه نهایی مشخص‌شده است که در شکل ۱۱ شبیه‌سازی آن نمایش داده شده است (پیوست ۱). در تارنمای زیر تمامیِ حالات شبیه‌سازی شده قابل مشاهده است.

https://ttacm.github.io/DesignExplorer/?ID=apVXpJ

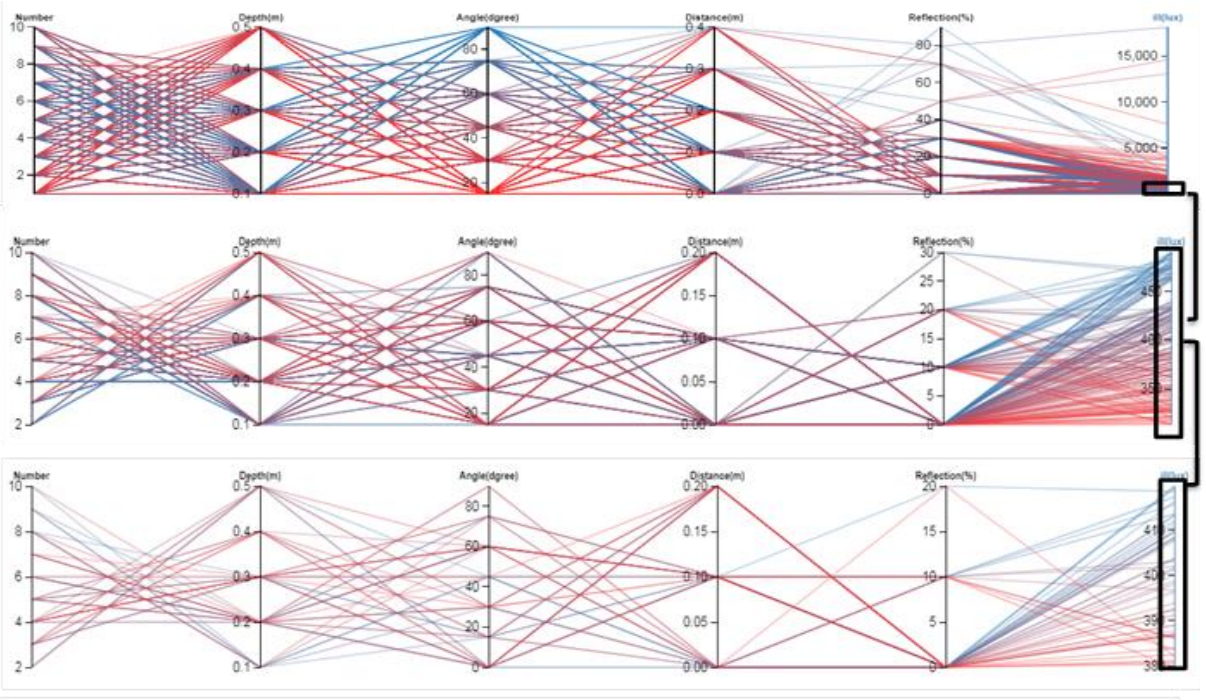
عمق لوورها (x) که در این پژوهش با توجه به میزان هم‌پوشانی لوورها بین ۱۰– ۵۰ سانتیمتر با فواصل ۱۰ سانتیمتر تعریف شده است. در بین ۵۳ نمونه بهینه نهایی، در ۳۳/۹ درصد از موارد عمق لوورها ۲۰ سانتیمتر، در ۳۰/۱ درصد ۳۰ سانتیمتر، در ۱۳/۲ درصد ۱۰ سانتیمتر، در ۱۱/۳ درصد ۴۰ سانتیمتر و در ۱۱/۳ درصد ۵۰ سانتیمتر ثبت گردیده است.



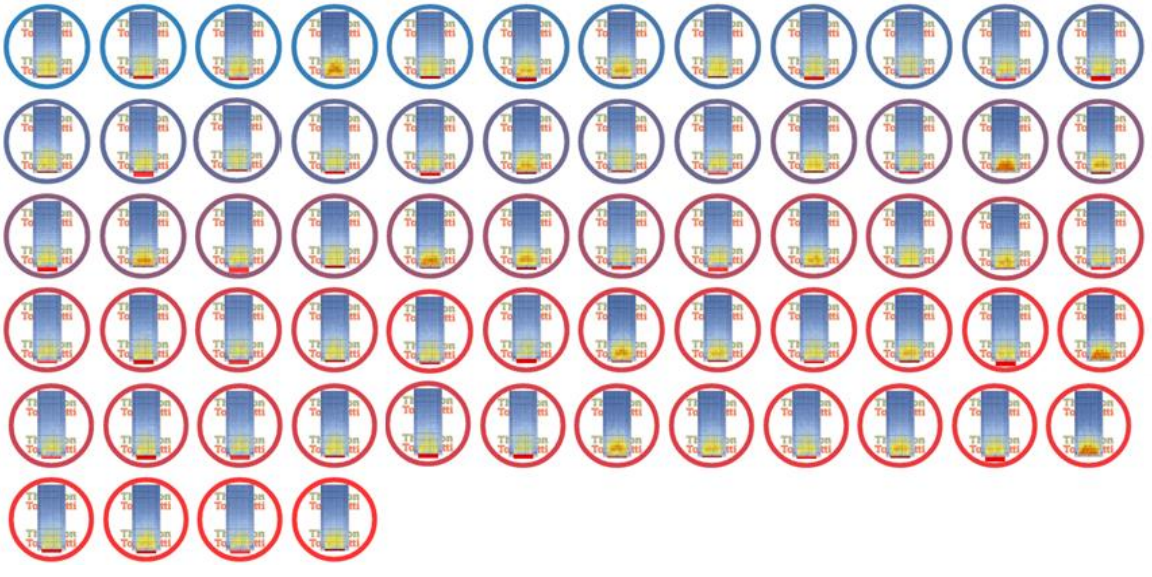
شکل ۹- نمایش روند و ابزارهای مختلف شبیه‌سازی و بهینه‌سازی (منبع: نگارندگان)

فاصله لوورها از سطح شیشه (a) که در شبیه‌سازی انجام شده در بازه‌ای بین ۰–۵۰ سانتیمتر با فواصل ۱۰ سانتیمتر تغییر نموده است. در بین ۵۳ نمونه بهینه نهایی، میزان فاصله لوورها از پنجره در ۳۵/۸ درصد از موارد برابر ۰ و در ۳۹/۶ درصد برابر ۱۰ سانتیمتر و در ۲۴/۵ درصد از نمونه‌ها برابر ۲۰ سانتیمتر بوده است. در هیچ یک از موارد مطلوب فاصله ۴۰ و ۵۰ سانتیمتر ثبت نگردیده است.

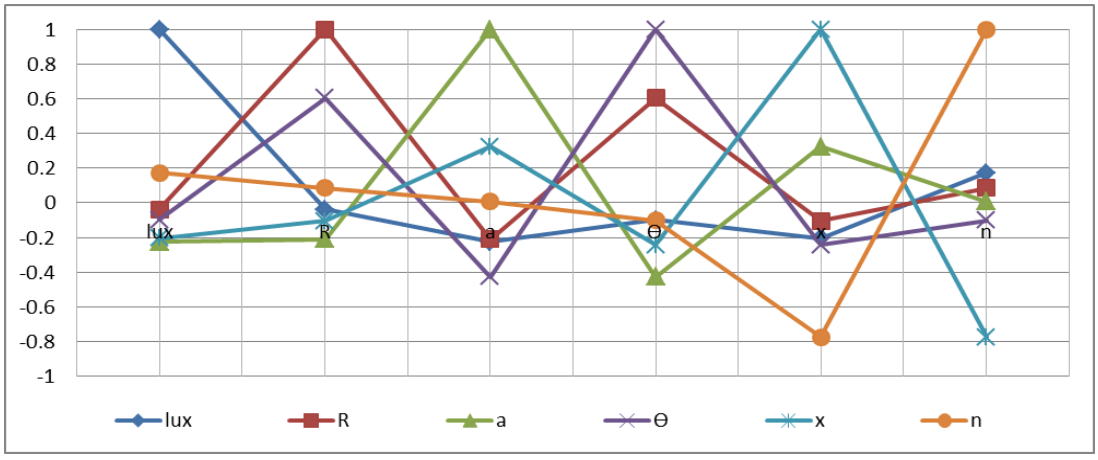
زاویه چرخش لوورها (Θ) در شبیه‌سازی بین ۰–۹۰ درجه با فواصل ۱۵ درجه متغیر بوده است که نتایج حاصل از تحلیل ۵۳ شرایط مطلوب شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد در ۲۲/۶ درصد از موارد زاویه لوورها ۰ درجه، در ۲۰/۷ درصد از موارد ۶۰ درجه، در ۱۵ درصد ۴۵ درجه، در ۱۵ درصد ۳۰ درجه و در ۱۳/۲ درصد از موارد ۱۵ درجه ثبت شده است، سایر زوایا در کمتر از ۱۰ نمونه تکرار شده‌اند.



شکل ۱۰- نمودار رابطه بین متغیرهای مستقل و تأثیر آن‌ها بر میانگین روشنایی فضای شبیه‌سازی شده (منبع: نگارندگان)



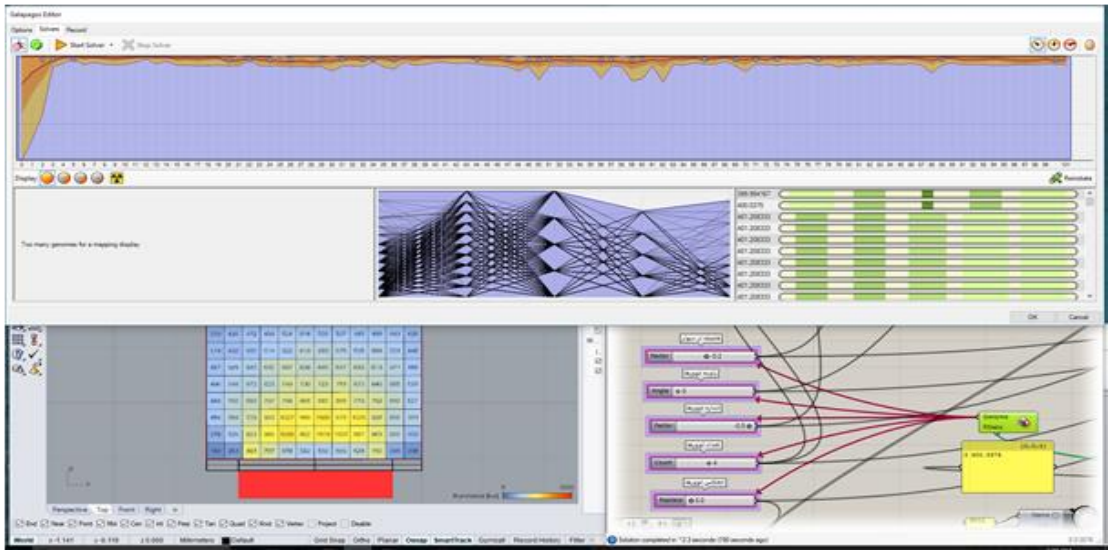
شکل ۱۱- نتایج میزان روشنایی بهینه‌سازی شده نمونه شبیه‌سازی شده (منبع: نگارندگان)



شکل ۱۲- نتایج میزان روشنایی بهینه‌سازی شده نمونه شبیه‌سازی شده (منبع: نگارندگان)

تعداد لوورها (n) با توجه به ابعاد پنجره بین ۲ تا ۱۰ عدد تعریف شده است. نتایج حاصل از تحلیل ۵۳ شرایط مطلوب شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد که در ۲۰/۷ درصد از موارد تعداد لوورها ۴ عدد، در ۱۶/۹ درصد از موارد ۵ عدد، در ۱۳/۲ درصد از موارد ۶ عدد، در ۱۳/۲ درصد از موارد ۳ عدد و سایر موارد میزان کمی را به خود اختصاص می‌دهند. ضریب انعکاس لوورها (R) در بازه‌ای بین ۰-۱۰۰ درصد متغیر است. نتایج حاصل از تحلیل ۵۳ شرایط مطلوب شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد که در ۷۷/۳ درصد از موارد ۰ درصد، در ۱۸/۸ درصد از موارد ۱۰ درصد و در ۳/۷ درصد از موارد میزان انعکاس ۲۰ درصد ثبت گردیده است. در هیچ یک از موارد میزان انعکاس ۳۰ تا ۱۰۰ درصد ثبت نگردیده است. در شکل ۱۲ میزان همبستگی ۵ متغیر مستقل و متغیر وابسته با بهره‌گیری از آزمون کندال تاو نشان داده شده است. بیشترین میزان همبستگی مربوط به دو متغیر مستقل ضریب انعکاس لوورها (R) و زاویه چرخش لوورها (Θ) با ضریب اطمینان ۰/۹۹ و ضریب همبستگی مستقیم ۰/۶ است. بین دو متغیر مستقل عمق لوورها (x) و فاصله لوورها از پنجره (a) با ضریب اطمینان ۰/۹۹، ضریب همبستگی مستقیم ۰/۴۸ ثبت شده است. بین دو متغیر مستقل فاصله لوورها از پنجره (a) و زاویه چرخش لوورها (Θ) ضریب همبستگی ۰/۲۳ به صورت غیرمستقیم با ضریب اطمینان ۰/۹۹، ثبت شده است و بین دو متغیر مستقل عمق لوورها (x) و زاویه چرخش لوورها (Θ) با ضریب اطمینان ۰/۹۹، ضریب همبستگی ۰/۲ به صورت غیرمستقیم ثبت شده است.

در رابطه با میزان همبستگی متغیرهای مستقل و متغیر وابسته شکل ۱۱ نشان دهنده این موضوع است که میزان همبستگی میانگین سطح روشنایی برحسب لوکس (متغیر وابسته) با تعداد لوورها (n) دارای ضریب همبستگی ۰/۱۷ و رابطه مستقیم، با متغیر عمق لوورها (x) ضریب همبستگی ۰/۲ و رابطه غیرمستقیم و با فاصله لوورها از پنجره (a) ضریب همبستگی ۰/۲۲ و رابطه غیرمستقیم است.



شکل۱۳- نمایش محیط نرم‌افزار شبیه‌سازی و بهینه‌سازی (منبع: نگارندگان)

شکل ۱۳ محیط نرم‌افزار شبیه‌سازی و بهینه‌سازی را نمایش می‌دهد.

۸- نتیجه‌گیری

با توجه به شبیه‌سازی صورت گرفته در انقلاب تابستانی و زمستانی و همچنین در اعتدالین بهار و پاییز، در موقعیت شهر تهران، میزان سطح روشنایی بیشتر از حد موردنیاز در فضای اداری (۴۰۰-) لوکس بوده است. این امر سبب افزایش مصرف انرژی به منظور سرمایش محیط می‌گردد. از این رو استفاده از سیستم‌های کنترل‌کننده نور مانند لوورها نقش بسزایی در کنترل و بهبود کیفیت نور محیط داخلی دارد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی و نصب لوورهای خارجی نشان می‌دهد که نصب این سیستم در جداره جنوبی در موقعیت شهر تهران تأثیر بسزایی در کنترل میزان نور ورودی و سطح روشنایی فضای اداری در جهت بهره‌وری و مصرف هوشمندانه انرژی، و فراهم نمودن سطح نور موردنیاز فضای داخلی نقش بسزایی دارد.

دستاوردهای این پژوهش نشان دهنده آن است که در طراحی لوورهای خارجی ۵ فاکتور تعداد لوورها، عمق لوورها، زاویه چرخش لوورها، فاصله لوورها از پنجره و ضریب انعکاس لوورها نقش اساسی در طراحی لوورهای خارجی دارند. با توجه به بررسی ۲۰۶۷ حالت شبیه‌سازی شده در موقعیت شهر تهران نتایج نشان‌دهنده این موضوع است که بهترین میزان انعکاس لوورها بین ۰ الی ۲۰ درصد و بهینه‌ترین فاصله بین لوورها و پنجره در بازه ۰ الی ۲۰ سانتیمتر هستند.

منابع

- حیدری، شـــاهین، ۱۳۹۳، ســـازگاری حرارتی در معماری نخستین قدم در صرفه‌جویی مصرف انرژی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- زارع, فائزه و شاهین حیدری، ۱۳۹۵، طراحی معماری با رویکرد بهره‌گیری از روشنایی طبیعی رویکردی در طراحی کتابخانه برای شهر تهران، هویت شهر ۹(۲۴): ۵۵–۶۴.
- قنبران، عبدالحمید، رضا ابراهیم‌پور و پگاه پایه‌دار اردکانی و مریم توحیدی مقدم، ۱۳۹۶، بررسی نقش نور طبیعی، دید و منظر بر کاهش استرس کارمندان در فضاهای اداری با استفاده از روش روان–فیزیک، سلامت کار ایران، ۱۴(۶): ۱۳۵–۱۴۷.
- کسمایی، مرتضی، ۱۳۸۲، اقلیم و معماری، تهران: نشر خاک.
- مهدوی نژاد، محمدجواد، بمانیان، محمدرضا و سها مطور، ۱۳۹۱، تخمین کارایی کانال‌های انتقال نور افقی در ساختمان‌های عمیق نمونه: بناهای اداری تهران، نشریه هنرهای زیبا معماری و شهرسازی ۱۷(۴): ۱–۱۵
- مهدوی نژاد، محمدجواد، منصوره طاهباز و مهناز دولت‌آبادی، ۱۳۹۵، بهینه‌سازی تناسبات و نحوه استفاده از رف نور در معماری کلاس‌های آموزشی، نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی. ۲۱(۲): ۸۱–۹۲.
- ASHRAE, ASHRAE Handbook. 1997. “Fundamentals, American Society of Heating.” Refrigeration and Air-conditioning Engineers, Atlanta, GA, USA.
- Awwad, Ahmed, Mohamed H Mohamed, and Mohamed Fatouh. 2017. “Optimal Design of a Louver Face Ceiling Diffuser Using CFD to Improve Occupant’s Thermal Comfort.” Journal of Building Engineering 11: 134–57.
- Baek, Sanghoon, and Jin Chul Park. 2016. “Fundamental Study on the Optimal Design of a Folding Shading Device: Solar Radiation Model & Potential Cooling Load Saving.” Journal of Asian Architecture and Building Engineering 15(2): 335–41.
- Boubekri, Mohamed. 2008. Daylighting, Architecture and Health. Routledge.
- Boubekri, Mohamed, Robert B Hull, and Lester L Boyer. 1991. “Impact of Window Size and Sunlight Penetration on Office Workers’ Mood and Satisfaction: A Novel Way of Assessing Sunlight.” Environment and Behavior 23(4): 474 –93.
- Brandi, Ulrike. 2012. Lighting Design: Principles, Implementation, Case Studies. Walter de Gruyter. BOOK.
- Cellai, G, C Carletti, F Sciurpi, and S Secchi. 2014. “Transparent Building Envelope: Windows and Shading Devices Typologies for Energy Efficiency Refurbishments.” In Building Refurbishment for Energy Performance, Springer, 61–118.
- Choi, Jaepil, Taekyoung Lee, Euisoon Ahn, and Gensong Piao. 2014. “Parametric Louver Design System Based on Direct Solar Radiation Control Performance.” Journal of Asian

of Split Blinds." Building and Environment 46(3): 786–96.

- Kim, Minseok, Seung-Bok Leigh, Taeyeon Kim, and Sooyoun Cho. 2015. "A Study on External Shading Devices for Reducing Cooling Loads and Improving Daylighting in Office Buildings." Journal of Asian Architecture and Building Engineering 14(3): 687–94.
- Koo, So Young, Myoung Souk Yeo, and Kwang Woo Kim. 2010. "Automated Blind Control to Maximize the Benefits of Daylight in Buildings." Building and Environment 45(6): 1508–20.
- Krigger, John, and Chris Dorsi. 2004. "Residential Energy: Cost Savings and Comfort for Existing Buildings. Helena, MT: Saturn Resource Management."
- Kuhn, Tilmann E, Christopher Bühler, and Werner J Platzer. 2001. "Evaluation of Overheating Protection with Sun-Shading Systems." Solar Energy 69: 59–74.
- Lam, Joseph C, and Danny H W Li. 1999. "An Analysis of Daylighting and Solar Heat for Cooling-Dominated Office Buildings." Solar Energy 65(4): 251–62.
- Lee, Jae-Wook et al. 2013. "Optimization of Building Window System in Asian Regions by Analyzing Solar Heat Gain and Daylighting Elements." Renewable energy 50: 522–31.
- Lee, Ji-Hyun, Jin Woo Moon, and Sooyoung Kim. 2014. "Analysis of Occupants' Visual Perception to Refine Indoor Lighting Environment for Office Tasks." Energies 7(7): 4116–39.
- Lee, Kyung, Ki Han, and Jae Lee. 2017. "The Impact of Shading Type and Azimuth Orientation on the Daylighting Architecture and Building Engineering 13(1): 57–62.
- Crawley, Drury B et al. 2001. "EnergyPlus: Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program." Energy and buildings 33(4): 319–31.
- Datta, Gouri. 2001. "Effect of Fixed Horizontal Louver Shading Devices on Thermal Perfomance of Building by TRNSYS Simulation." Renewable energy 23(3–4): 497–507.
- Fallahtafti, Reza, and Mohammadjavad Mahdavinejad. 2015. "Optimisation of Building Shape and Orientation for Better Energy Efficient Architecture." International Journal of Energy sector management 9(4): 593–618.
- Freewan, Ahmed A, Li Shao, and Saffa Riffat. 2009. "Interactions between Louvers and Ceiling Geometry for Maximum Daylighting Performance." Renewable energy 34(1): 223–32.
- Hernández, Francisco Fernández et al. 2017. "Effects of Louvers Shading Devices on Visual Comfort and Energy Demand of an Office Building. A Case of Study." Energy Procedia 140: 207–16.
- Heschong, Lisa, Roger L Wright, and Stacia Okura. 2002. "Daylighting Impacts on Human Performance in School." Journal of the Illuminating Engineering Society 31(2): 101–14.
- Hörner, Michael, Behrooz Bagherian, and Christoph Jedek. 2014. Teilenergiekennwerte von Nichtwohngebäuden:(TEK); Querschnittsanalyse Der Ergebnisse Der Feldphase. IWU. BOOK.
- Hu, Jia, and Svetlana Olbina. 2011. "Illuminance-Based Slat Angle Selection Model for Automated Control

- Raimondi, Alberto, Daniele Santucci, Simone Bevilacqua, and Alessandro Corso. 2016. "Daylight Autonomy as a Driver for Office Building Retrofitting." Energy Procedia 96: 180–89.
- Rungta, Shaily, and V Singh. 2011. "Design Guide: Horizontal Shading Devices and Light Shelves." Vipul Singh, Assignment 3.
- Ryu, Kijung, Se-Jin Yook, and Kwan-Soo Lee. 2014. "Optimal Design of a Corrugated Louvered Fin." Applied thermal engineering 68(1–2): 76–79.
- Shen, Eric, Jia Hu, and Maulin Patel. 2014. "Energy and Visual Comfort Analysis of Lighting and Daylight Control Strategies." Building and Environment 78: 155–70.
- Sullivan, R, E S Lee, and S E Selkowitz. 1992. "A Method of Optimizing Solar Control and Daylighting Performance in Commercial Office Buildings."
- 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.
- Wong, Nyuk Hien, and Agustinus Djoko Istiadji. 2004. "Effect of External Shading Devices on Daylighting Penetration in Residential Buildings." Lighting Research & Technology 36(4): 317–30.

in a Classroom–Focusing on Effectiveness of Façade Shading, Comparing the Results of DA and UDI." Energies 10(5): 635.

- Leslie, Russ P, L C Radetsky, and A M Smith. 2012. "Conceptual Design Metrics for Daylighting." Lighting Research & Technology 44(3): 277–90.
- Mahdavinejad, Mohamadjavad, and nasim Eslamirad. 2018. "External Shadings Effect on Operating Energy Based on LCEA, Case Study: A Residential Building in Tehran." In Building Performance Analysis Conference and SimBuild Co-Organized by ASHRAE and IBPSA-USA, 495–501.
- Mahdavinejad, Mohammadjavad et al. 2014. "Dilemma of Green and Pseudo Green Architecture Based on LEED Norms in Case of Developing Countries." International journal of sustainable built environment 3(2): 235–46.
- Mahdavinejad, Mohammadjavad, Soha Matoor, Neda Feyzmand, and Amene Doroodgar. 2012. "Horizontal Distribution of Illuminance with Reference to Window Wall Ratio (Wwr) in Office Buildings in Hot and Dry Climate, Case of Iran, Tehran." In Applied Mechanics and Materials, Trans Tech Publ, 72–76.
- Palmero-Marrero, Ana I, and Armando C Oliveira. 2010. "Effect of Louver Shading Devices on Building Energy Requirements." Applied Energy 87(6): 2040–49.
- Park, Cheol-Soo, Godfried Augenbroe, and Tahar Messadi. 2003. "Daylighting Optimization in Smart Facade Systems." In Proceedings of the Eighth International IBPSA Conference,.

پیوست

	lux	R	a	Θ	x	n
۱	419.6667	0	0	45	0.1	8
۲	419.5458	0	0	0	0.3	4
۳	419.0833	0	0.2	30	0.2	6
٤	418.5333	20	0.1	75	0.2	7
٥	417.2833	10	0	45	0.3	8
٦	416.2083	0	0.1	45	0.5	2
۷	415.625	10	0.1	60	0.2	6
۸	413.5333	10	0	60	0.2	5
۹	413.2375	0	0.1	15	0.3	4
۱۰	413.1875	0	0	15	0.1	10
۱۱	412.1	0	0.2	0	0.3	6
۱۲	411.4333	0	0	30	0.5	2
۱۳	410.6	0	0.1	45	0.1	9
۱٤	409.8083	0	0.1	0	0.5	3
۱٥	409.5917	0	0	0	0.2	6
۱٦	409.4208	0	0.1	15	0.2	6
۱۷	408.4792	0	0.2	15	0.3	5
۱۸	408.1167	0	0.1	60	0.3	3
۱۹	408.1083	0	0	30	0.1	9
۲۰	419.6667	0	0	45	0.1	8
۲۱	407.5833	0	0.2	0	0.2	9
۲۲	403.7375	0	0	60	0.2	4
۲۳	403.6458	0	0.1	0	0.2	7
۲٤	403.0333	10	0	90	0.2	5
۲٥	401.9167	10	0.1	60	0.3	5
۲٦	401.6125	0	0.2	15	0.4	4
۲۷	401.2083	0	0	75	0.2	4
۲۸	399.9542	0	0.2	0	0.5	4
۲۹	398.7333	0	0	45	0.3	3
۳۰	398.0833	0	0.1	75	0.3	3
۳۱	396.6917	10	0.1	60	0.4	5
۳۲	396.3625	0	0.1	0	0.3	5
۳۳	393.9167	0	0.2	0	0.4	5
۳٤	392.5625	0	0	75	0.1	8
۳٥	392.4208	0	0	60	0.1	8
۳٦	391.2875	0	0	30	0.2	5
۳۷	389.0583	0	0.2	15	0.2	8
۳۸	389.0542	0	0.2	0	0.2	10
۳۹	387.8125	0	0.1	30	0.4	3
٤۰	387.1208	0	0.1	0	0.4	4
٤۱	387.1	0	0.1	45	0.2	5
٤۲	386.825	0	0.1	60	0.5	2
٤۳	386.6917	0	0	15	0.4	3
٤٤	386.3417	10	0.1	75	0.3	4
٤٥	386.1583	10	0.1	60	0.2	7
٤٦	383.9625	0	0.2	30	0.2	7
٤۷	383.675	10	0.1	60	0.3	6
٤۸	382.5333	0	0.2	30	0.5	3
٤۹	382.275	20	0	90	0.2	6
٥۰	381.2208	0	0.1	30	0.3	4
٥۰	380.8875	0	0.2	45	0.3	4
٥۲	380.4625	0	0.2	0	0.3	7
٥۳	۳۸۰.۰625	10	0	60	0.3	4