سال ۳۰، شماره ۱۳۶، صفحات ۱۳–۲۳، نوع مقاله: پژوهشی

مجله علمی مهندسی مکانیک

ISSN: 1605-9719

DOI: 10.30506/MMEP.2021.522753.1890

نقش حرارت و روشنایی در بهینه‌سازی پنجره‌های شمالی و جنوبی

طناز زینال‌زاده[۱]، نیلوفر نیکقدم[۲ و *]، ریما فیاض[۳]

[۱] دانشجوی دکتری معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

[۲] استادیار گروه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

[۳] دانشیار گروه علم و فناوری معماری، دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران

*مسئول مکاتبات: n_nikghadam@azad.ac.ir

◄ چکیده

بهینه‌سازی سطح پنجره در صرفه‌جویی مصرف انرژی بسیار مؤثر است. روشنایی طبیعی موجود در فضای نشیمن که یک فضای جمعی چندمنظوره است، باید پاسخگوی نیازهای گوناگون کاربران در این فضا باشد. هدف از این تحقیق بهینه‌یابی سطح پنجره شمالی و جنوبی در طبقات یک ساختمان مسکونی است که با توجه همزمان به عملکرد حرارتی و روشنایی صورت گرفته‌است. به همین منظور بهینه‌سازی پنجره برمبنای مدل‌سازی پارامتریک با استفاده از نرم‌افزار گرس‌هاپر و با هدف کمینه‌سازی مصرف انرژی حرارتی با موتور انرژی پلاس و روشنایی با موتور ردینس و دیسیم انجام شده است. عملیات بهینه‌سازی برای تمام حالات موجود با هدف کمینه‌سازی تابع هدف حرارتی و بیشینه‌سازی تابع هدف روشنایی انجام شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که سطح بهینه پنجره در هر طبقه و وجه ساختمان متفاوت است. با بهینه شدن سطح پنجره در طبقات واحد شمالی شاخص نور روز پویا از حدود ٪۵۰ به بالاتر از ٪۸۰ ارتقا پیدا کرده و درصد ارتقای شاخص نور پویا در طبقات واحد جنوبی بین ٪۲ تا ٪۹ بوده است. براساس نتایج این تحقیق طراحان می‌توانند در ساختمان‌های مشابه از گرمایش و روشنایی مطلوب در طول سال به همراه صرفه‌جویی در مصرف انرژی اطمینان حاصل نمایند.

◄ واژگان کلیدی

سطح‌بهینه
پنجره
حرارت
روشنایی
مسکونی

◄ تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۶

The simultaneous role of heat and light in optimizing north and south windows

Tanaz Zeinalzadeh[1], Niloufar Nikghadam[2], Rima Fayaz[3]

[1] *Ph.D. Graduated, Architecture Department, Faculty of Art and Architecture, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran*

[2] *Assistant Professor, Architecture Department, Faculty of Art and Architecture, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran*

[3] *Associate Professor, Architectural Technology Department, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Art, Tehran, Iran*

► Abstract

Optimizing the window surface is very effective in saving energy. The natural light in the living room, a multi-purpose collective space, must meet the users' different needs. This study aims to optimize the north and south windows' surface in a residential building's floors. Simulation steps have been done with simultaneous attention to thermal and lighting performance. For this purpose, window optimization based on parametric modeling has been done using Grass Hopper software to minimize thermal energy consumption with Energy Plus engine and lighting with Radiance and Daysim engine. Optimization operations have been performed for all available modes to minimize the thermal target function and maximize the lighting target function. The results show that the optimal window surface is different on each floor and face of the building. With the window optimization in the northern unit, the dynamic daylight index has increased from about 50% to more than 80%. The percentage of improvement of the dynamic light index in the southern unit floors has been between 2% to 9%. Based on results, designers can ensure optimal heating and lighting throughout the year in similar buildings while saving energy consumption.

► Keywords

Optimal surface
Window
Heat
Lighting
Residential

► Article history

Received: *09 Jan 2021*
Accepted: *06 Mar 2021*

۱ مقدمه

امروزه با افزایش روزافزون جمعیت در کلان‌شهرهایی مانند تهران، تقاضا برای مسکن افزایش یافته است. بسیاری از پروژه‌های مسکونی آپارتمانی تحت تأثیر عوامل متعددی از کیفیت مطلوبی برخوردار نیستند. یکی از این عوامل کیفی، توجه به نور روز است. مشاهده آثار معماری معاصر ایران نشان داده است که توجه مهندسان به صرفه‌جویی انرژی در بخش روشنایی ساختمان کم شده‌است [۱]. عدم توجه به شکل و تناسبات پنجره نسبت به جهات جغرافیایی با استفاده از پنجره‌های یکسان و تناسب نداشتن سطح پنجره با سطح فضای پشت آن غیر از مسئله محرمیت، از نظر اقلیمی و محیطی نیز مشکلاتی به همراه دارد. این مشکلات باعث شده که پنجره‌ها کارایی خود را به مثابه وسیله ارتباط محیط درون و بیرون از دست دهند و ساکنان برای رهایی از فقدان محرمیت و آفتاب ناخواسته به طور دائم از پرده‌های داخلی استفاده کنند. به این ترتیب پنجره تنها به نقطه ضعفی از نظر انتقال حرارت و صداهای ناخواسته از محیط بیرون تبدیل شده است و امکان ورود نور و هوای تازه را ندارد [۲]. تحقیقات نشان می‌دهد که میزان، شدت، نوع منبع، جهت و شیوه توزیع نور در محیط‌های متفاوت فعالیت‌های انسانی می‌تواند تا حدود زیادی بر رفتارها و بازدهی افراد تأثیر بگذارد [۳]. اهمیت نور روز در فضای مسکونی به این نکته بستگی دارد که از نظر سکونت چه نوع افرادی و در چه زمان‌هایی از این فضا استفاده می‌نمایند [۴]. فضاهایی مانند آشپزخانه و اتاق‌های نشیمن که مکرراً در روز مورد استفاده قرار می‌گیرند، گزینه‌های اصلی برای بیشترین استفاده از نور طبیعی هستند [۵]. روشنایی طبیعی موجود در فضای نشیمن می‌بایست با توجه به عملکردهای موجود در آن برنامه‌ریزی شود و پاسخگوی نیازهای کاربران در این فضا باشد [۶]. عدم وجود راهکار مناسب جهت بهینه‌سازی بازشوها و جداره‌های نور گذر ساختمان‌های موجود، یکی از نقاط ضعف فرایند بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان به شمار می‌رود. در این پژوهش هدف، یافتن سطح بهینه پنجره اتاق نشیمن در جبهه شمالی و جنوبی در طبقات ساختمان مسکونی متداول در شهر تهران است. این پژوهش جهت تأمین روشنایی طبیعی مطلوب در فضای نشیمن و کاهش سطح انرژی حرارتی و روشنایی انجام و تأثیر جهات و ترازهای مختلف پنجره بر دریافت نور کافی و کاهش مصرف انرژی مورد مقایسه قرار گرفته است. همچنین در عین توجه به مسئله روشنایی در طراحی معماری به لحاظ کاهش سطح مصرف انرژی، می‌توان به تأمین روشنایی طبیعی مطلوب در فضا براساس فعالیت های مرسوم کاربران در ساعات متفاوت روز و در فصل‌های متفاوت سال که سلامت، کیفیت و جذابیت را نیز در پی دارد، توجه داشت و راهکارهای توسعه محور به منظور ارتقا بهره نور طبیعی در ساختمان‌های مسکونی متناسب با شرایط اقلیمی منطقه را برای سازندگان و بهره‌برداران از فضاها ارائه داد.

۲ مرور ادبیات

درمورد پنجره‌ها و تأثیر آن‌ها در نور و حرارت تحقیقات بسیاری شامل مقاله‌های فارسی و لاتین، رساله‌ها، کتب و استانداردها صورت گرفته است. این تحقیقات در چند دسته اصلی که عبارتند از سطح بهینه پنجره از نظر دریافت تابش خورشید و اتلاف حرارت، طراحی صحیح پنجره‌ها به منظور دستیابی به میزان نور روز مناسب و بررسی میزان و نحوه تأثیر متغیرهای کالبدی پنجره بر بهره‌گیری مناسب از نور روز طبقه‌بندی شده‌اند.

در تحقیق صورت‌گرفته در رابطه با سطح بهینه پنجره‌ها از لحاظ نور و حرارت، پژوهشی توسط فیاض انجام شده که سطح بهینه پنجره جنوبی ساختمان‌های مسکونی در تهران و اردبیل برای دریافت حداکثر تابش خورشید است. مقدار آن برای اتاق با پنجره دوجداره ٪۱۰ سطح کف و پنجره تک‌جداره ٪۲۰ مشخص گردیده‌است [۷].

از جمله رساله‌های این حوزه، حیرانی‌پور به بهینه‌سازی ابعاد پنجره با توجه به عوامل نور و حرارت در ساختمان های مسکونی اقلیم سرد پرداخته است [۸]؛ و رساله منتصر کوهساری به ابعاد بهینه پنجره از دیدگاه حرارت و نور در ساختمان های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب در چهار جهت اصلی برای اتاق نشیمن پرداخته است. ابعاد پنجره حداکثر تا ٪۱۰ بر میزان مصرف انرژی تأثیر گذاشته و وابسته به نوع شیشه، میزان گرما و نور مرئی عبوری از شیشه پنجره، حجم فضای مورد بررسی و مکان قرارگیری پنجره است [۹].

در دسته دوم در تحقیق صورت‌گرفته در رابطه با طراحی صحیح پنجره‌ها از لحاظ روشنایی، که به منظور دستیابی به میزان نور روز مناسب در خانه‌های آپارتمانی شهر تهران است، مقدار ٪۲/۸۴ کل سطوح داخلی اتاق و ٪۲۰ جداره نورگیر برای جبهه جنوبی مشخص شده‌است [۱۰]. همچنین تحقیقاتی در خارج از کشور صورت گرفته است، به این ترتیب که پژوهشی اهمیت استفاده از نور روز در فضا و راه‌های چگونه بهتر شدن آن را پیشنهاد داده است. نتایج حاصل از این مطالعات ٪۵۰ و ٪۲۵ سطح پنجره به سطح دیوار، ٪۱۷ و ٪۳۵ درصد پنجره به کف بیان شده‌است [۱۱]. پژوهش دیگری ارتباط میان نسبت سطح پنجره به سطح کف فضا (WFR[1]) در فراهم آوردن نور مناسب را بررسی کرده و نتایج نشان داده که اگر نسبت سطح پنجره به سطح کف اتاق از ٪۱۰ کمتر باشد نور روز مناسبی برای اتاق فراهم شده است [۱۲]. در استانداردهای موجود در رابطه با پنجره در مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ۱۳۹۴ میزان سطح جدار نور گذر خارجی برای دریافت تابش خورشید ۱/۹ زیربنای مفید و تا ٪۲۵ سطح دیوار خارجی پیشنهاد شده است [۱۳]. در مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان ۱۳۹۶ این‌گونه بیان شده است که در فضاهای اقامت سطح شیشه الزامی، حداقل یک هشتم سطح کف است، مگر آن که پنجره‌ها تنها در یک دیوار فضا تعبیه شده باشد و فاصله آن دیوار با دیوار مقابل در فضای مورد نظر بیش از ۴/۵۰ متر باشد که در این صورت یک هفتم سطح کف الزامی خواهد بود [۱۴].

در نهایت در دسته‌ای که به بررسی میزان و نحوه تأثیر متغیرهای کالبدی پنجره بر بهره‌گیری مناسب از نور روز طبقه‌بندی شده‌اند در مقاله‌ای در سال ۲۰۱۶ به هندسه و موقعیت پنجره در فضاهای مسکونی پرداخته شده است و بیان شده که مصرف انرژی به شکل پنجره بستگی ندارد اما موقعیت پنجره مؤثراست [۱۵]. همچنین رساله دکتری به مدل‌یابی میزان و نحوه تأثیر متغیرهای کالبدی پنجره بر بهره‌گیری مناسب از نور روز در کلاس‌های مدارس راهنمایی تهران در سال ۱۳۹۰ در جهت ارائه الگوی پنجره مطلوب از دیدگاه دانش‌آموزان پرداخته است [۱۶].

[1] window floor ratio

در مطالعات فوق، ارتباط پنجره با فضا مورد توجه قرار گرفته است به این ترتیب که در رابطه با نسبت سطح پنجره به سطح کف فضا و نسبت پنجره به دیوار تحقیقاتی انجام شده است. همچنین جهت قرارگیری پنجره بیشتر در جبهه جنوبی و در برخی موارد در چهار جهت اصلی بررسی شده است. آنچه اکنون نظر بسیاری از محققان را جلب کرده است، تفکر بهینه‌سازی در مصرف انرژی و در نتیجه کاهش نیاز گرمایش و روشنایی مصنوعی است.در مقاله حاضر پارامترهای اقلیم شهر مورد نظر، همسایگی، کاربری، طبقات و مصالح ساختمان تؤامان برای کل سال هم از لحاظ حرارتی و هم از لحاظ روشنایی در نظر گرفته شده و درصد هریک از پنجره‌ها نسبت به سطح کف برای طبقات ساختمان در واحدهایی با نورگیری شمالی و جنوبی پیشنهاد داده شده است و به مقایسه پنجره بهینه در این دو جهت و توزیع‌روشنایی در آن‌ها پرداخته شده است.

۳ روش تحقیق

مدل‌سازی پنجره ساختمان براساس مصرف انرژی از نظر نور و حرارت است. به منظور انجام مدل‌سازی و تغییر متغیرهای هندسی به صورت پارامتریک از نرم‌افزار گرس‌هاپر[۲] 0.9.0076 استفاده شد. دراین نرم‌افزار توسط الگوریتم مولد تمام‌حالات ممکن برای ایجاد فرم هندسی تعریف شده است. با هدف بهینه‌سازی و تغییر متغیرها به صورت پارامتریک و اتومات از افزونه هانی‌بی[۳] 0.0.64 و لیدی‌باگ[۴] 0.0.67 استفاده شد. این افزونه مدل پارامتریک را به موتورهای محاسباتی نور طبیعی (ردینس[۵] 5.1.0 و دیسیم[۶] 1.80) و انرژی حرارتی با موتور انرژی پلاس[۷] 8.8.0 متصل کرده و نتایج شبیه‌سازی را در خروجی دریافت کرده است. عملیات بهینه‌سازی برای تمام حالات موجود با هدف کمینه‌سازی تابع هدف حرارتی و بیشینه‌سازی تابع هدف روشنایی برای حالات مختلف از ابعاد پنجره در هریک از واحدهای شمالی و جنوبی برای اتاق نشیمن محاسبه و بهینه‌سازی شده است.

در مقاله حاضر ابعاد بهینه پنجره در جهت شمال و جنوب ساختمان مسکونی شهر تهران که طبق شاخص‌های طراحی نور روز، تعیین گردیده است تا طراحان بتوانند با استفاده از محدوده تعریف شده از بهترین عملکرد حرارتی و روشنایی در طول سال به همراه صرفه‌جویی در مصرف انرژی اطمینان حاصل نمایند. نتایج حاصل از مدل می‌تواند یک شمای کلی از محاسبات نور و حرارت برای ساختمان طراحی شده را در اختیار مخاطب قرار دهد.

۴ مشخصات نمونه مورد بررسی

نمونه مورد بررسی در مقاله حاضر ساختمانی ۶ طبقه در شهر تهران، منطقه ۵ و محله تهران‌پارس‌غربی است. این ساختمان از لحاظ شاخص‌های طراحی نور روز در خارج از بنا دارای بافت میانی، تراکم متوسط و دارای معبر فرعی شرقی و غربی است. ساختمان‌هایی که در همسایگی ساختمان مورد نظر قرار گرفته است شرایطی مشابه ساختمان مورد بررسی داشته‌اند. الگوی معبر این ساختمان ها شرقی غربی است و تراکم ساختمان متوسط (۴، ۵ و ۶ طبقه) است. با توجه به ویژگی ها، می توان به این نمونه به عنوان یک نمونه متداول در بافت مسکونی تهران پرداخت. فرایند شبیه‌سازی برای مطالعه محدوده بهینه سطح پنجره ها، در اتاق نشیمن در طبقات ۱ و ۶ این ساختمان مسکونی انجام شده است. در واحدهای شمالی ضلع شمال و واحدهای جنوبی ضلع جنوب آن با فضای خارج در تماس بوده و دارای پنجره در این ضلع ها است. مشخصات این نمونه در جدول ۱ قابل مشاهده است. همچنین مشخصات سقف، کف، دیوار و پنجره از لحاظ روشنایی در زیربخش ۱.۵ و از لحاظ حرارتی در زیربخش ۲.۵ ذکر شده است. بهینه‌سازی برای روشنایی مطلوب برای کاربری نشیمن و عملکردهای موجود در آن در نظر گرفته شده است. آشپزخانه‌ای که در این واحدها قراردارد در نظر گرفته نشده است. اما به دلیل اینکه آشپزخانه به صورت باز طراحی شده، بر روی روشنایی نشیمن تأثیر داشته است. به همین دلیل تأثیر پنجره آشپزخانه روی نشیمن‌دیده شده است.

براساس شاخص‌های مرتبط با طراحی نور روز در خارج نمونه موردی، بافت مسکونی دارای بافت نوساز و میانی، واقع در گذر فرعی شرقی و غربی و تراکم متوسط و زیاد که شامل شش طبقه چهار واحده است. به این ترتیب که دو واحد شمالی و دو واحد جنوبی دارد که به علت تشابه واحدهای شمالی با یکدیگر و همچنین واحدهای جنوبی، یک واحد شمالی و یک واحد جنوبی برای بررسی انتخاب شده است (جدول ۱).

طبق جدول ۱ فرم پلان در هر دو واحد شمالی و جنوبی L ـ شکل است. در واحد شمالی طول پلان اتاق نشیمن ۵/۳۵ متر و عمق پلان از پنجره های شمالی ۸/۳۰ متر و تناسب عمق به عرض در این پلان ۱/۵۵ است. همچنین در واحد جنوبی طول پلان اتاق نشیمن ۶/۳۵ متر و عمق پلان از پنجره های شمالی ۹/۱۰ متر و تناسب عمق به عرض در این پلان ۱/۴۳ است. در هر یک از واحدهای شمالی دو پنجره از سمت شمال و واحد جنوبی دو پنجره از سمت جنوب نور درجه اول را دریافت کرده‌اند. ابعاد هر یک از پنجره‌ها در واحدهای مذکور برابر است. به این ترتیب که طول پنجره ۱/۲۰ و ارتفاع آن ۱/۴۴ متر است و نسبت طول به عرض پنجره ۰/۸۳ است. جنس شیشه در هر دو واحد از نوع شیشه فلوت دوجداره است و سطح هر پنجره ۱/۷۳ متر مربع است. با توجه به اینکه در هر واحد شمالی و جنوبی دو پنجره قرار گرفته، مقدار ۳/۴۶ متر مربع از سطح دیوار پنجره است.

۵ فرایند بهینه‌سازی

در فرایند بهینه‌سازی در این مقاله تمام حالات از نظر حرارتی و روشنایی بررسی شده و بهینه‌ترین حالت از بین همه حالات به‌دست آمده‌است. در بخش بهینه‌سازی ابعاد پنجره، متغیرها طول و عرض پنجره هستند و تابع هدف بهینه‌سازی ابعاد پنجره در دو گروه روشنایی و حرارتی در نظر گرفته شده است. در بهینه‌سازی پنجره با فرض ثابت نگه داشتن نقطه ثقل پنجره) به این علت که با تغییر ابعاد پنجره، حالت موجود هم به‌دست آورده شود تا بتوان مقایسه‌ای با حالت موجود انجام داد)، پنجره از چهار طرف (بالا، پایین، راست و چپ) شروع به کوچک و بزرگ شدن کرده است و در این فرایند طول پنجره از ۰/۱ طول دیوار (طول پنجره درصدی از طول دیوار) تا حداکثر طولی که به پنجره بعدی تداخل نکند و ارتفاع دیوار از حداقل ۰/۱

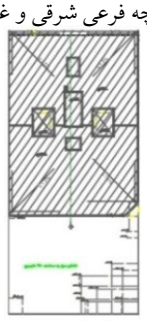
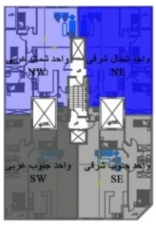
[۲]Grasshopper [۳]Honeybee [۴]Ladybug [۵]Radiance [۶]Daysim [۷]energy plus

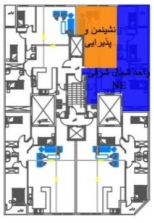
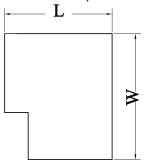
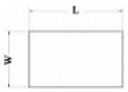
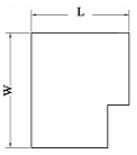
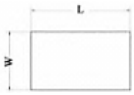
ارتفاع موجود تا حداکثر ۰/۹ ارتفاع کف تا سقف (ارتفاع پنجره درصدی از ارتفاع دیوار) تغییر کرده است.

عملیات بهینه‌سازی به صورت دوهدفه دنبال شد. برای این منظور تأثیر تغییر پارامترها در بخش حرارتی و روشنایی مورد ارزیابی قرار گرفت. از آن جایی که خروجی‌های بخش روشنایی و حرارتی قابل جمع شدن با یکدیگر نیستند (هم واحد نیستند یکی لوکس و دیگری وات است)، خروجی‌های بخش روشنایی و حرارتی بدون واحد شد. برای این کار خروجی‌های بخش روشنایی و حرارتی بر مقدار حداکثر خروجی روشنایی و حرارتی تقسیم شد و در نهایت این دو خروجی که اکنون بدون واحد شده‌اند را با هم جمع کرده و به عنوان تابع هدف بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. از آن‌جا که هدف از بهینه‌سازی در این تحقیق کمینه‌کردن خروجی‌های بخش حرارتی و بیشینه کردن توزیع روشنایی است، خروجی‌ها بدون واحد شده بخش روشنایی را معکوس و در نهایت با خروجی بخش حرارتی جمع کرده و این مجموع را به عنوان تابع هدف بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفت (معادله (۱)). از بین حالات به‌وجودآمده، حالتی که حداقل تابع هدف مذکور را به دنبال داشته به عنوان بهینه‌ترین حالت انتخاب شده است.

$$\text{تابع هدف بهینه‌سازی} = \frac{\text{خروجی روشنایی}}{\text{حداکثر خروجی روشنایی}} + \frac{\text{خروجی حرارتی}}{\text{حداکثر خروجی حرارتی}} \qquad (۱)$$

جدول ۱: مشخصات ساختمان شش‌طبقه براساس شاخص‌های طراحی نور روز

شاخص‌های طراحی نور روز در خارج بنا		
بافت	الگوی معابر	تراکم
نوساز و میانی	کوچه فرعی شرقی و غربی  Sc: ۱/۸۰۰	تراکم متوسط و زیاد ـ ساختمان ۶ طبقه  Sc: ۱/۵۰۰

شاخص‌های طراحی نور روز در داخل بنا								
جهت‌گیری	فضا				پنجره			
	پلان	فرم پلان	ابعاد و تناسبات (متر)	جهت	موقعیت پنجره	ابعاد و تناسبات (متر)	جنس	سطح (مترمربع)
واحد شمال شرقی NE	 Sc: ۱/۵۰۰	L ـ شکل	$W = ۸/۳۰$ $L = ۵/۳۵$ 	شمال	شمال نور درجه اول	$W = ۱/۴۴$ $L = ۱/۲۰$ 	شیشه فلوت دوجداره	دو پنجره، هر پنجره ۱/۷۳
واحد جنوب شرقی SE	Sc: ۱/۵۰۰	L ـ شکل	$W = ۹/۱۰$ $L = ۶/۳۵$ 	جنوب	جنوب نور درجه اول	$W = ۱/۴۴$ $L = ۱/۲۰$ 	شیشه فلوت دوجداره	دو پنجره، هر پنجره ۱/۷۳

۱.۵ محاسبات روشنایی و پارامترهای ورودی

در بررسی کیفیت روشنایی سالانه در این تحقیق از یکی از شاخص‌های نور روز پویا، sDA[۸] استفاده شده‌است. این واحد ارزیابی روشنایی، درصدی از سطح فضای کاری داخلی که به روشنایی طبیعی کافی دسترسی دارد را تعیین می‌نماید. براساس پیشنهاد جامعه مهندسان روشنایی[۹] به منظور تأمین روشنایی کافی در هر نقطه از سطح فضای کاری، حداقل اتونومی نور روز

[۸] spatial daylight autonom: روشنایی طبیعی در دسترس در ساختمان، در چه میزان از کل زمان‌های مورد اشغال آن مفید و قابل استفاده (بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس) بوده و نیز چه درصدی از آن خیلی تاریک (کمتر از ۱۰۰ لوکس) یا خیلی روشن (بیش از ۲۰۰۰ لوکس) است.

[۹] IES

٪۵۰ با حداقل روشنایی طبیعی مورد نیاز ۳۰۰ لوکس در زمان‌های کاری بین ۸ صبح تا ۶ بعد از ظهر تعریف شده است [۴]. هدف این تحقیق در بهینه‌سازی پنجره ها، دستیابی به روشنایی حداکثر نقاط فضا برای عملکردهای مرسوم در اتاق نشیمن با استفاده از نور طبیعی است.

با توجه به برنامه زمانی روشن و خاموش بودن لامپ‌ها، انرژی پلاس در خروجی میزان مصرف انرژی الکتریکی مربوط به روشنایی را نیز محاسبه کرده است. اما این خروجی وابسته به هندسه و مکان قرارگیری پنجره و فایل آب و هوایی نبوده و تنها با برنامه زمانی میزان مصرف روشنایی محاسبه شده است. برای وابسته کردن روشن و خاموش بودن لامپ‌ها به میزان روشنایی فضای داخل باید نرم‌افزار ردینس و دیسیم را به انرژی پلاس مرتبط کرده که ابتدا با نرم‌افزار دیسیم آنالیز روشنایی سالیانه برای ۸۷۶۰ ساعت سال برای نقاط مش‌بندی شده در ارتفاع ۷۰ سانتی‌متری از سطح کف برای کاربر نشسته بر صندلی انجام شده است. با توجه به مکان قرارگیری سنسورها و تعیین آستانه روشن و خاموش بودن لامپ‌ها (۳۰۰ لوکس) تعداد ساعات روشن بودن لامپ‌ها در کل سال مشخص شده است. ساعات روشن بودن لامپ‌ها با عدد یک و لحظه‌های خاموش با صفر در قالب یک برنامه زمانی تعریف و به نرم‌افزار انرژی پلاس فرستاده شده است. در بحث شبیه‌سازی نور، رنگ متریال در نظر گرفته شده است. در این مقاله این ضریب برای سقف ٪۹۵، دیوارها ٪۹۰ و برای کف ٪۸۰ است. در رابطه با پنجره نیز ضریب عبور نور٪۸۰ و ضریب زبری ٪۵ مشخص شده است.

۲.۵ محاسبات حرارتی و پارامترهای ورودی

برای محاسبه بار سرمایشی و گرمایشی از نرم‌افزار انرژی پلاس استفاده شده است. در این نرم‌افزار آستانه سرمایشی و گرمایشی؛ مصالح سقف، کف، دیوار و پنجره؛ نوع فعالیت و زمان حضور افراد و میزان نفوذ هوا (نرخ تهویه) برای نرم‌افزار مشخص شده است (جدول ۲). با توجه به فایل آب و هوایی شهر مورد نظر در دوره زمانی مشخص شده، میزان بار گرمایشی و سرمایشی محاسبه شده است.

۶ یافته‌های تحقیق

طی فرایند بهینه‌سازی، تمام حالات برای نسبت سطح پنجره به سطح کف فضا (WFR) و مقدار تابع هدف مجموع حرارتی و روشنایی در طبقات اول و ششم در واحدهای شمالی و جنوبی ساختمان مورد نظر انجام شده است. دامنه درصدهای شبیه‌سازی به این صورت تعریف شده است که بازه تغییر ابعاد پنجره به ابعاد دیوار وابسته است. مقادیر روشنایی و حرارتی به‌دست‌آمده طی عملیات بهینه‌سازی و در حالت موجود در جدول ۳ نمایش داده شده است.

از مقایسه مقادیر موجود در جدول ۳ در واحدهای شمالی و جنوبی ساختمان مورد نظر در طبقات اول و ششم می‌توان مشاهده کرد که طول پنجره‌ها در واحد شمالی در طبقات اول و ششم در حالت بهینه از۱/۲۰ متر به ۱/۲۶ متر و ۱/۰۶ متر تغییر کرده است (تصاویر ۱الف تا ۲ب).

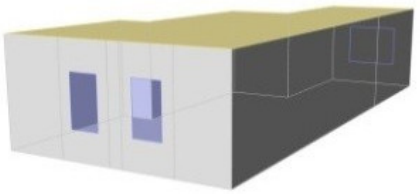
در حالی که طول پنجره‌ها در واحد جنوبی در طبقه اول و ششم به ترتیب از ۱/۲۰ متر به ۰/۷۷ متر و ۰/۶۲ متر تغییر کرده‌است(تصاویر ۳الف تا ۴ب). بنابراین واحدهای جنوبی در حالت بهینه از لحاظ عملکرد حرارتی و روشنایی دارای پنجره با ابعاد کوچک‌تری نسبت به واحدهای شمالی هستند زیرا که نور جنوب روشنایی بیشتری نسبت به نور شمال دارد و با ابعاد کوچک‌تر حالت بهینه را فراهم کرده‌است.

جدول ۲: مقادیر پارامترهای حرارتی حالت موجود در ساختمان شش طبقه در واحد شمالی و جنوبی

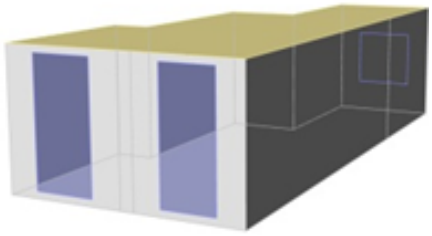
ردیف	پارامترهای ورودی بخش حرارتی	
۱	محدوده آسایش حرارتی	با توجه به کاربری فضای نشیمن؛ آستانه سرمایشی و گرمایشی: ۲۱ °C – ۲۴ °C
۲	مصالح سقف	۲۰۰ mm بتن سبک، ۱۰۰ mm لایه هوا و ۱۰۰ mm لایه آکوستیکی؛ ضریب انتقال حرارت: ۱/۴۴ W/m²K و مقاومت حرارتی: ۰/۶۹ m²K/W.
۳	مصالح کف	۵۰ mm میلی‌متر عایق حرارتی، ۲۰۰ mm بتن و ۲۰ mm کاشی؛ ضریب انتقال حرارت: ۰/۵۵ W/m²K و مقاومت حرارتی: ۱/۹۷ m²K/W
۴	مصالح دیوار	۱۹ mm گچ، ۵۰ mm عایق حرارتی و ۲۰۰ mm آجر (دو لایه آجر)؛ ضریب انتقال حرارت: ۰/۴۹ W/m²K و مقاومت حرارتی: ۲/۰۴ m²K/W
۵	مصالح پنجره	۳ mm شیشه شفاف، ۱۳ mm گاز آرگون و ۳ mm شیشه شفاف. ضریب انتقال حرارت: ۲/۳۶ W/m²K؛ مقاومت حرارتی: ۲/۰۴ m²K/W
۶	نوع فعالیت	فضای نشیمن: فضای چندعملکردی دارای فعالیت‌هایی از قبیل غذا خوردن، تماشای تلویزیون و خواندن روزنامه
۷	میزان نفوذ هوا	نرخ تهویه در کاربری مذکور: ۰/۴۲ m³ در دقیقه
۸	زمان حضور افراد	با توجه به کاربری مسکونی، ۲۴ ساعت

جدول ۳: مقادیر روشنایی و حرارتی حالت موجود و حالت بهینه ساختمان شش طبقه در واحد شمالی و جنوبی در طبقات اول و ششم.

واحد	طبقه	حالت	طول پنجره	ارتفاع پنجره	مجموع طول پنجره	نسبت سطح پنجره به سطح کف	تابع هدف حرارتی	تابع هدف روشنایی	تابع هدف مجموع حرارتی و روشنایی
شمالی	اول	موجود	۱/۲۰	۱/۴۴	۲/۴۰	٪۷/۵	۷۷/۴۱	−۰/۷	۲/۸۹
		بهینه	۱/۲۶	۲/۷۰	۲/۵۲	٪۱۳/۶	۸۵/۵۳	−۱/۰۰	−۱۴/۴۷
	ششم	موجود	۱/۲۰	۱/۴۴	۲/۴۰	٪۷/۵	۷۷/۴۱	−۰/۷	۲/۸۹
		بهینه	۱/۰۶	۲/۷۰	۲/۰۲	٪۱۰/۸۵	۷۷/۶۰	−۱/۰۰	−۲۲/۲۹
جنوبی	اول	موجود	۱/۲۰	۱/۴۴	۲/۴۰	٪۶/۸	۶۱/۱۰	−۶۵/۷۹	−۴/۷۰
		بهینه	۰/۷۷	۲/۷۰	۳/۲۰	٪۱۵/۳	۷۳/۶۶	−۹۷/۶۲	−۲۳/۹۵
	ششم	موجود	۱/۲۰	۱/۴۴	۲/۴۰	٪۶/۸	۵۸/۰۶	−۶۸/۷۱	−۱۰/۶۴
		بهینه	۰/۶۲	۲/۱۰	۲/۴۰	٪۹/۵	۶۱/۴۵	−۹۸/۶۵	−۳۷/۲۰

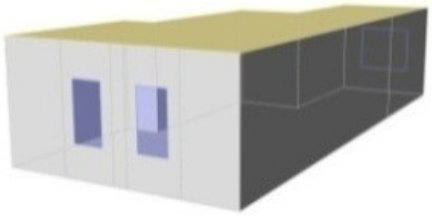


(الف)

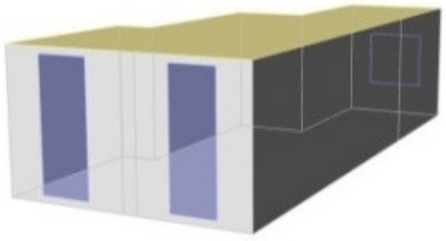


(ب)

شکل ۱: پنجره شمالی طبقه ۱ (الف) موجود، (ب) بهینه.

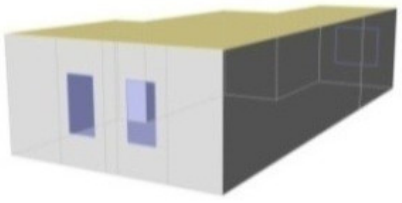


(الف)

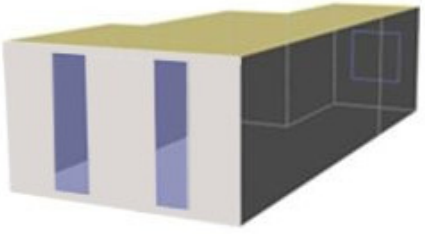


(ب)

شکل ۲: پنجره شمالی طبقه ۶ (الف) موجود، (ب) بهینه.

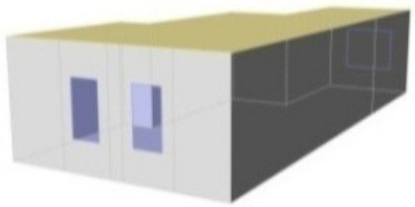


(الف)

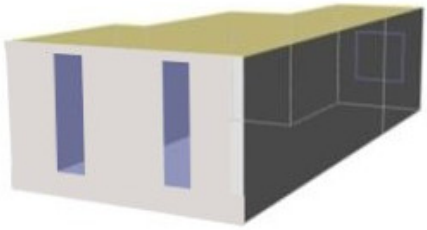


(ب)

شکل ۳: پنجره جنوبی طبقه ۱ (الف) موجود، (ب) بهینه.



(الف)



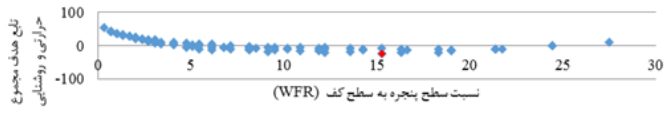
(ب)

شکل ۴: پنجره جنوبی طبقه ۶ (الف) موجود، (ب) بهینه.

همچنین ارتفاع پنجره‌ها در واحدهای شمالی در طبقات اول و ششم در حالت بهینه به ۲/۷۰ متر و در واحدهای جنوبی در طبقه اول به ۲/۷۰ متر و در طبقه ششم به ۲/۱۰ متر رسیده است. این افزایش ارتفاع برای عمق نفوذ نور در اتاق نشیمن با توجه به عمق اتاق‌ها در حالت بهینه صورت گرفته است و مشاهده می شود که ارتفاع پنجره در طبقه ششم واحد جنوبی مقدار ۲/۱۰ متر است و با ارتفاع پنجره در طبقه اول همین ساختمان و پنجره‌های موجود در طبقه اول و ششم واحد شمالی که ۲/۷۰ متر است متفاوت است. پنجره واحد جنوبی در طبقه آخر با ارتفاع کمتر، روشنایی و حرارت لازم برای اتاق نشیمن را فراهم کرده است. و این تفاوت نشان می‌دهد که دو فاکتور جهت قرارگیری پنجره و ارتفاع آن در این حالت بر میزان روشنایی و حرارت تأثیر داشته است.

نسبت سطح پنجره به سطح کف فضا (WFR) در طبقات اول و ششم واحدهای شمالی و جنوبی در شکل‌های ۵الف تا ۶ب برای کمترین مقدار تابع هدف حرارتی و روشنایی یا به عبارتی بهینه‌ترین حالت طبق هدف بهینه‌سازی در این تحقیق، نشان داده شده است. در شکل‌های ۵الف تا ۶ب محور افقی مربوط به نسبت سطح پنجره به سطح کف فضا (WFR) که با درصد بیان شده است و محور عمودی مقدار تابع هدف مجموع حرارتی و روشنایی را نشان داده است که با توجه به توضیحات بخش ۵ خروجی‌های بخش روشنایی و حرارتی به عنوان تابع هدف بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است.

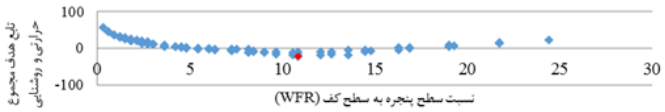
(الف) شمالی



(ب) جنوبی

شکل ۵: تمام حالات نسبت سطح پنجره به سطح کف در طبقه اول واحد.

در شکل‌های ۵الف و ۵ب سطح بهینه پنجره در طبقه اول در هر دو واحد شمالی و جنوبی ساختمان مورد بررسی مشخص شده است. در شکل ۵الف نسبت سطح پنجره به سطح کف در حالت بهینه در طبقه اول در واحد شمالی ٪۱۳/۶ و در شکل ۵ب این نسبت در طبقه اول واحد جنوبی ٪۱۵/۳ است.



(الف) شمالی

(ب) جنوبی

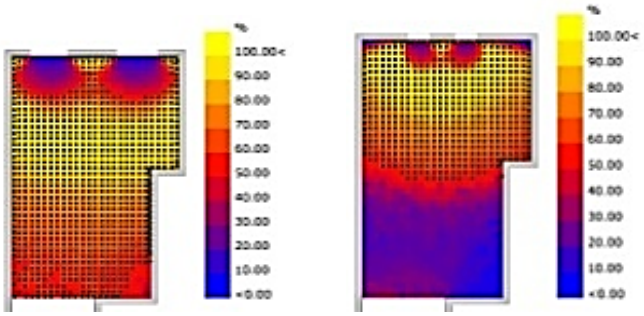
شکل ۶: تمام حالات نسبت سطح پنجره به سطح کف در طبقه ششم واحد.

همچنین سطح بهینه پنجره در طبقه ششم واحدهای شمالی و جنوبی بررسی شده است. در شکل ۶الف سطح بهینه پنجره در طبقه ششم واحد شمالی ٪۱۰/۸۵ و در نهایت شکل ۶ب نسبت ٪۹/۵ را برای طبقه ششم واحد جنوبی نشان داده است. با توجه به یافته‌های به دست آمده، پنجره‌ها در طبقات بالاتر درصد کمتر و میزان روشنایی بیشتری دارند. در طبقات بالاتر تأثیر سایه‌اندازی روی پنجره کمتر و زاویه دید به آسمان بیشتر شده است و پنجره‌ها با ابعاد کوچک‌تر روشنایی مطلوب را ایجاد کرده‌اند. پنجره‌ها در طبقات پایین درصد بیشتری دارند به علت اینکه در طبقات پایین سایه‌اندازی ساختمان‌های اطراف (ساختمان‌ها با تراکم متوسط ۴ و ۵ و ۶ طبقه و با متریال مشابه نمونه مورد بررسی) بیشتر و زاویه دید به آسمان کمتر است. همچنین با کاهش طول پنجره مقدار بار حرارتی نسبت به حالت موجود در هریک از طبقات کاهش و با افزایش ارتفاع مقدار بار روشنایی، عمق نفوذ نور و توزیع روشنایی افزایش یافته است. در مرحله بعد مقدار توزیع روشنایی و عمق نفوذ نور در طبقه اول و ششم در واحدهای شمالی و جنوبی ساختمان مورد نظر توسط شاخص sDA (اتونومی نور روز) نشان داده شده و با حالت موجود مقایسه شده است (تصاویر ۷الف تا ۱۰ب).

در تصاویر ۷الف تا ۱۰ب شبکه آنالیز روشنایی با طیف رنگی بیانگر درصدی از نقاط فضا است که شدت روشنایی فضا در بازه ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس است. به این ترتیب که قسمت‌هایی از فضا که به رنگ زرد مشخص شده‌اند ٪۱۰۰ از نقاط فضا در این بازه و قسمت‌هایی که با رنگ قرمز مشخص شده‌اند ٪۵۰ از نقاط فضا در این بازه است. همچنین قسمت‌هایی که با رنگ آبی مشخص شده‌اند، شدت روشنایی در آن‌ها در بازه ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس واقع نشده است. به این معنا که قسمت‌های نزدیک پنجره و به رنگ آبی دارای شدت روشنایی بیشتر از ۲۰۰۰ لوکس و قسمت‌های انتهایی پلان که از پنجره دور هستند و با رنگ آبی مشخص شده‌اند دارای شدت روشنایی کمتر از ۱۰۰ لوکس هستند و روشنایی مطلوبی در بازه مورد نظر (۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس) دریافت نکرده‌اند. به همین ترتیب با طیف رنگی و درصد، مقادیر روشنایی سالانه تعیین شده‌اند. طبق استاندارد جامع معماری داخلی، حداقل شدت روشنایی لازم برای فعالیت‌های مختلف در فضای داخلی بر حسب لوکس در جدول ۴ مشخص شده است. اتاق نشیمن فضایی است که افراد خانواده در کنار یکدیگر به دور هم و به فعالیت‌هایی نظیر گفت وگو، تماشای تلویزیون، مطالعه روزنامه، بازی و غیره می‌پردازند [۱۷]. بنابراین محدوده روشنایی برای این فعالیت‌ها از جدول ۴ استخراج شده است.

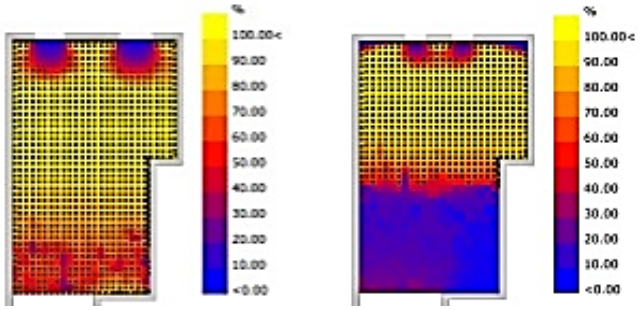
جدول ۴: حداقل شدت روشنایی لازم برای فعالیت‌های مختلف در فضای داخلی بر حسب لوکس [۱۸].

ردیف	نوع کار	شدت روشنایی (لوکس)
۱	کارهایی که برای آن‌ها به دید طبیعی نیاز است.	۷۷۷
۲	کارهایی که نیازمند به دید دقیق هستند.	۱۷۷۷
۳	کارهایی که برای انجامشان به دید خیلی قوی نیاز هست.	۱۵۷۷
۴	مطالعه	۷۷۷
۵	غذاخوردن	۱۵۷
۶	اتوکشیدن لباس‌ها	۵۷۷
۷	خواندن روزنامه و مجله	۲۷۷
۸	خیاطی پارچه‌های روشن	۵۷۷
۹	خیاطی پارچه‌های دارای رنگ معمولی	۱۷۷۷



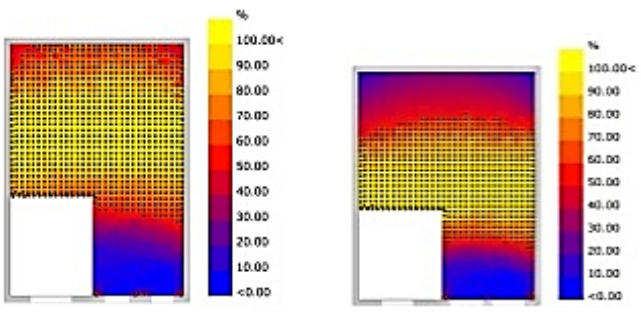
(ب) (الف)

شکل ۷: توزیع روشنایی پنجره شمالی طبقه ۱ (الف) موجود، (ب) بهینه.



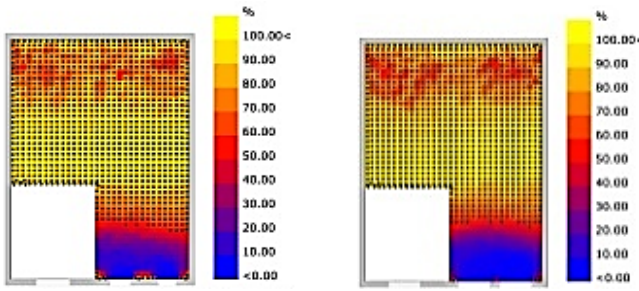
(ب) (الف)

شکل ۸: توزیع روشنایی پنجره شمالی طبقه ۶ (الف) موجود، (ب) بهینه.



(ب) (الف)

شکل ۹: توزیع روشنایی پنجره جنوبی طبقه ۱ (الف) موجود، (ب) بهینه.



(ب) (الف)

شکل ۱۰: توزیع روشنایی پنجره جنوبی طبقه ۶ (الف) موجود، (ب) بهینه.

با استفاده از استانداردهای موجود محدوده فعالیت‌های متفاوت برای فضای نشیمن مشخص شده است. به این صورت که شدت روشنایی مناسب برای فعالیت غذاخوردن ۲۰۰ – ۱۰۰ لوکس، خواندن روزنامه و مجله ۳۰۰ – ۲۰۰ لوکس، مطالعه ۸۰۰ – ۵۰۰ لوکس، خیاطی ۱۸۰۰ – ۵۰۰ لوکس و کارهای دقیق ۱۸۰۰ – ۱۵۰۰ لوکس در نظر گرفته شده است (جدول ۴).

طبق تصاویر ۷الف تا ۸ب توزیع روشنایی و عمق نفوذ نور در طبقات اول و ششم واحد شمالی در حالت موجود و بهینه (مقدار بهینه سطح پنجره به سطح کف)، مقایسه شده است. در طبقه اول در حالت موجود مقدار اتونومی نور روز sDA از ٪۵۰/۱۴ به ٪۸۲/۳۲ در حالت بهینه رسیده است. به این معنا که طبق تصویر ۷الف در حالت موجود فقط ٪۵۰/۱۴ از فضای نشیمن که با رنگ زرد مشخص شده دارای روشنایی در بازه ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس بوده است و لذا طبق جدول ۴ در وضع موجود فقط نیمی از فضای اتاق نشیمن امکان انجام فعالیت‌هایی مانند غذاخوردن، مطالعه و کارهای دقیق بوده و قسمت‌های آبی رنگ در انتهای پلان شدت روشنایی کمتر از ۱۰۰ لوکس داشته و برای عملکردهای موجود در اتاق نشیمن مناسب نیست. اما در حالت بهینه همان طور که در تصویر ۷ب مشخص شده حدود ٪۸۲/۳۲ از فضا دارای روشنایی در بازه ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس است. تقریباً بیشتر قسمت‌های پلان با رنگ زرد مشخص شده‌اند و دارای روشنایی مطلوب برای فعالیت‌های فضای نشیمن هستند و توزیع روشنایی به درستی در این اتاق صورت گرفته است.

در طبقه ششم واحد شمالی طبق تصاویر ۸الف و ۸ب مقدار اتونومی نور روز sDA از ٪۵۳/۹۷ در حالت موجود به ٪۸۸/۳۳ در حالت بهینه افزایش یافته‌است؛ و لذا طبق جدول ۴ در وضع موجود فقط نیمی از فضای اتاق نشیمن امکان انجام فعالیت‌هایی مانند غذاخوردن، مطالعه وکارهای دقیق بوده و قسمت‌های آبی رنگ در انتهای پلان شدت روشنایی کمتر از ۱۰۰ لوکس داشته و برای عملکردهای موجود در اتاق نشیمن مناسب نبوده است. اما عمق نفوذ نور از حالت موجود به حالت بهینه افزایش یافته است. همان طور که در تصویر ۸ب مشخص شده است ٪۸۸/۳۳ از فضای نشیمن به رنگ زرد و دارای روشنایی مطلوب بوده و فعالیت‌های موجود در فضای نشیمن به راحتی در آن صورت می‌گیرد.

با افزایش این مقدار، عمق نفوذ نور از حالت موجود به حالت بهینه افزایش یافته است. طبق تصویر ۸ب توزیع روشنایی پنجره در طبقه ششم بیشتر از طبقه اول (تصویر ۸الف) بوده و قسمت‌های بیشتری از پلان با رنگ زرد (شدت روشنایی مناسب برای فضای نشیمن) مشخص شده است.

همچنین در تصاویر ۹الف تا ۱۰ب در واحد جنوبی در طبقات اول و ششم به مقایسه توزیع روشنایی و عمق نفوذ نور از حالت موجود به حالت بهینه پرداخته شده است. طبق تصویر ۹ب اتونومی نور روز sDA در طبقه اول واحد جنوبی از مقدار ٪۵۶/۹۷ به ٪۶۵/۹۴ در حالت بهینه رسیده است. در حالت موجود فقط قسمت میانی پلان به رنگ زرد است و روشنایی مطلوب در حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس داشته است. قسمت‌هایی که با رنگ قرمز مشخص شده‌اند ٪۵۰ از نقاط فضا در این بازه است و قسمت‌های انتهایی پلان که از پنجره دور هستند و با رنگ آبی مشخص شده‌اند دارای شدت روشنایی کمتر از ۱۰۰ لوکس است. این اتاق در حالت موجود روشنایی مطلوبی برای فعالیت‌های موجود در فضای نشیمن ندارد. اما در حالت بهینه در تصویر ۹ب محدوده بیشتری از پلان و حدود ٪۶۶ به رنگ زرد است و عملکردهای اتاق نشیمن در آن قابل انجام است.

در تصاویر ۱۰الف و ۱۰ب نیز توزیع روشنایی و عمق نفوذ نور از حالت موجود به حالت بهینه در واحد جنوبی در طبقه ششم مشخص شده است. اتونومی نور روز sDA از مقدار ٪۷۰/۶۱ در حالت موجود به مقدار ٪۷۲/۸۵ در حالت بهینه رسیده است.

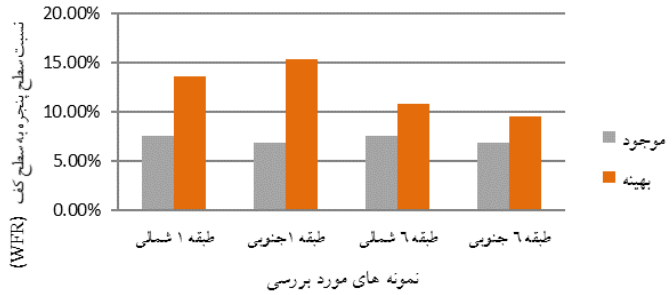
در نهایت مطابق با مقادیر اتونومی نور روز فضایی، عمق نفوذ نور و توزیع روشنایی با استفاده از ابعاد بهینه پنجره در هریک از طبقات اول و ششم در واحدهای شمالی و جنوبی نسبت به حالت موجود افزایش یافته است. مشاهده می شود که این مقادیر در طبقات بالایی در هر دو واحد بیشتر از طبقات پایین بوده است. همچنین مقادیر اتونومی نور روز در واحدهای شمالی بیشتر از جنوبی است به این دلیل که بحث بهینه‌سازی در این پژوهش هم از لحاظ حرارتی و هم از لحاظ روشنایی بررسی شده و چون نور جنوب شدت بیشتری نسبت به نور شمال دارد پنجره‌های جنوبی کوچک‌تر در نظر گرفته شده تا پارامتر حرارتی کنترل شود. به همین علت توزیع روشنایی در واحدهای شمالی بهتر از واحدهای جنوبی بوده است. در واحد جنوبی فضاهای نزدیک پنجره با میزان شدت تابش بالاتر از ۲۰۰۰ لوکس قابل استفاده برای فعالیت‌های مرسوم در اتاق نشیمن نیستند. بعد از بهینه شدن سطح پنجره لازم است که روشنایی نزدیک پنجره با در نظر گرفتن سایه‌بان‌های مناسب تعدیل شود.

۷ بحث و تحلیل

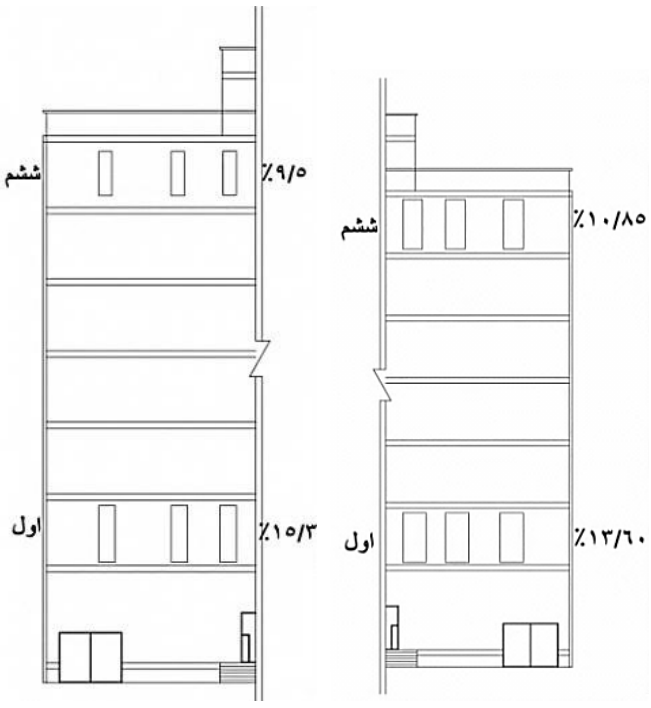
با توجه به یافته‌های به‌دست‌آمده، نسبت سطح پنجره به سطح کف فضا (WFR) در حالت بهینه در طبقه اول واحدهای شمالی و جنوبی به ترتیب از مقدار ٪۷/۵ به ٪۱۳/۶ و از ٪۶/۸ به ٪۱۵/۳ اما در طبقه ششم واحدهای مذکور از مقدار ٪۷/۵ به ٪۱۰/۸۵ و از ٪۶/۸ به ٪۹/۵ تغییر یافته است. مقادیر سطح بهینه پنجره در واحدهای شمالی و جنوبی در طبقات ساختمان مورد بررسی با هم متفاوت است. به این صورت که در طبقه پایین سطح بهینه پنجره بیشتر از طبقات بالاتر بوده و سطح پنجره در طبقات بالا مقادیر کمتری داشته است (شکل ۱۱).

به طور کلی برای دستیابی به بهینه‌ترین حالت از لحاظ عملکرد هم زمان روشنایی و حرارتی، واحدهای جنوبی دارای پنجره با ابعاد کوچک‌تری نسبت

به واحدهای شمالی هستند. زیرا که نور جنوب روشنایی بیشتری نسبت به نور شمال دارد و با ابعاد کوچک‌تر حالت بهینه از لحاظ روشنایی و حرارتی را فراهم کرده است (شکل ۱۲).

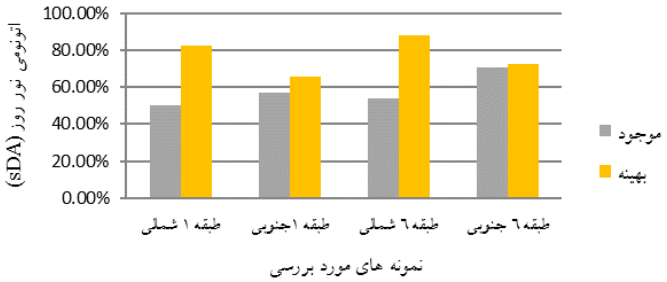


شکل ۱۱: نسبت سطح پنجره به سطح کف در حالت بهینه ساختمان شش طبقه در واحد شمالی و جنوبی در طبقات اول و ششم.



شکل ۱۲: بهینه‌سازی پنجره فضای جمعی در ساختمان شش طبقه در واحد شمالی و جنوبی در طبقات اول و ششم.

همچنین مشاهده می‌شود که با مقایسه اتونومی نور روز فضایی درحالت موجود و بهینه، عمق نفوذ نور و توزیع روشنایی با استفاده از ابعاد بهینه پنجره در هریک از طبقات نسبت به حالت موجود افزایش یافته است. به این ترتیب که در واحد شمالی در طبقه اول مقدار sDA از مقدار ٪۵۰/۱۴ به ٪۸۲/۳۲ و در طبقه ششم از مقدار ٪۵۳/۹۷ به ٪۸۸/۳۳، همچنین در واحد جنوبی در طبقه اول از مقدار ٪۵۶/۹۷ به ٪۶۵/۹۴ و در طبقه ششم از مقدار ٪۷۰/۶۱ به ٪۷۲/۸۵ تغییر یافته است. مقدار توزیع روشنایی در طبقات پایین نسبت به طبقات بالاتر بیشتر بوده زیرا که سطح بهینه پنجره‌ها در این طبقات بیشتر است (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: توزیع روشنایی در حالت بهینه در ساختمان شش طبقه در واحد شمالی و جنوبی در طبقات اول و ششم.

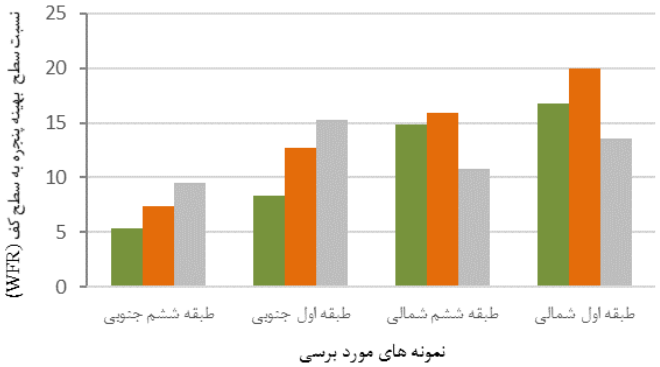
همچنین مقادیر اتونومی نور روز در واحدهای شمالی همان‌طور که در شکل ۱۳ مشخص شده، بیشتر از جنوبی است. عمق نفوذ نور و توزیع روشنایی با استفاده از ابعاد بهینه پنجره در هریک از طبقات نسبت به حالت موجود افزایش یافته است. در نتیجه حالت بهینه هر یک از طبقات وضعیت مطلوبی نسبت به حالت موجود آن طبقه داشته است.

در جدول ۵ سطح بهینه پنجره‌ها و مساحت وضع موجود کف و نسبت سطح بهینه پنجره به سطح کف موجود محاسبه شده است (ستون شماره ۱). سپس با کمک درصد فضای با کفایت نور روز (بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس)، مساحت مفید وضع موجود برای فعالیت های مرسوم در اتاق نشیمن محاسبه و مجدداً درصد سطح پنجره به سطح کف مفید محاسبه شده است (ستون شماره ۲). در انتها درصد بهینه سطح پنجره به سطح کف که توسط نرم‌افزار با در نظر گرفتن کلیه شرایط مصالح و شاخص‌های مرتبط با نور روز درونی و بیرونی به منظور بهینه‌سازی بر اساس عملکرد همزمان نور و روشنایی محاسبه شده، آمده است. این سه پارامتر در شکل ۱۴ نمایش و مقایسه شده‌اند.

جدول ۵: مقایسه سطح پنجره مفید به کف موجود، کف مفید و کف بهینه

اتاق نشیمن	ارتفاع بهینه پنجره (m)	عرض بهینه پنجره (m)	مجموع مساحت دو پنجره (m^2)	مساحت کف وضع موجود (m^2)	۱ نسبت سطح پنجره به کل مساحت کف وضع موجود (٪)	درصد فضا با کفایت نور روز sDA	۲ مساحت مفید کف مناسب برای فعالیت ها (m^2)	۳ نسبت مساحت پنجره به سطح مفید کف (٪)	درصد بهینه سطح پنجره به سطح کف (خروجی نرم‌افزار) wtf
طبقه اول شمالی	۲/۷	۱/۲۶	۶/۸۰۴	۴۰/۶	۱۶/۷۵	۸۲/۳	۳۳/۴	۲۰	۱۳/۶
طبقه ششم شمالی	۲/۷	۱/۰۶	۵/۷۲۴	۴۰/۶	۱۴/۹	۸۸/۳	۳۵/۵	۱۵/۹	۱۰/۸
طبقه اول جنوبی	۲/۷	۰/۷۷	۴/۰۷۹	۴۸/۶۳	۸/۳۸	۶۵/۹	۳۲/۰۴	۱۲/۷	۱۵/۳
طبقه ششم جنوبی	۲/۱	۰/۶۲	۲/۶۰۴	۴۸/۶۳	۵/۳۵	۷۲/۸۵	۳۵/۴	۷/۳۵	۹/۵

شکل ۱۴ نسبت سطح پنجره بهینه‌شده به کف (WRF) را در سه حالت مذکور نشان می‌دهد. در حالت شماره ۱ با میله‌های سبز نسبت سطح پنجره به سطح کف موجود نمایش داده شده است. در حالت دوم میله‌های نارنجی درصد نسبت سطح پنجره بهینه به سطح مفید کف (مفید از نظر متناسب بودن از نظر نور برای کاربری‌ها) را نشان می‌دهد. حالت شماره ۳ با میله‌های خاکستری نسبت سطح پنجره به کف را در حالت بهینه که خروجی نرم‌افزار است نشان می‌دهد. مقایسه این مقادیر نشان می‌دهد که نسبت سطح کف به پنجره بهینه که توسط نرم‌افزار محاسبه شده در پنجره های شمالی کمتر از دو حالت وضع موجود و وضع مفید است در حالی که این مقدار در پنجره‌های جنوبی بیشتر از دو حالت وضع موجود و وضع مفید است. این تفاوت در پنجره‌های جنوبی مربوط به نیاز به نصب سایه‌بان در پنجره‌های جنوبی برای تعدیل نور بیشتر از ۲۰۰۰ لوکس در فضای نزدیک به پنجره‌ها است که با فرض تأمین سایه‌بان‌ها درصد سطح پنجره به کف می‌تواند به مقادیر مورد اشاره افزایش یابد. این تفاوت در پنجره های شمالی مرتبط با عملکرد همزمان نور و حرارت و با توجه به عدم وجود انرژی تابشی در وجه شمالی ساختمان است.



شکل ۱۴: مقایسه سطح پنجره مفید به کف موجود، کف مفید و کف بهینه

در جدول ۶ نتایج این پژوهش با تحقیقات انجام‌شده در خصوص سطح بهینه پنجره در شهر تهران مقایسه شده است. در جدول ۶ مشاهده می‌شود که مقادیر پنجره در پژوهش‌های اخیر به صورت کلی و بدون در نظر گرفتن مقدار و در عین حال در قسمت استانداردها مقدار پنجره عدد ثابتی فرض شده که به صورت کلی و بدون در نظر گرفتن شرایط ساختمان بیان شده است. به این صورت که مقادیر پنجره ساختمان در مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان یک هشتم سطح کف و در مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ۱/۹ زیربنای مفید و معادل ٪۲۵ سطح دیوار است. اما در نتایج این پژوهش مشاهده شده است که مقدار سطح بهینه پنجره در ساختمان مورد بررسی عدد ثابتی نبوده و متناسب با شرایط ساختمان حتی در طبقات ساختمان نیز یکسان نیست. به این صورت که نسبت سطح پنجره به سطح کف (WFR) در طبقات اول و ششم واحد شمالی مقادیری کمتر از طبقات اول و ششم واحد جنوبی به است. بنابراین سطح بهینه پنجره در این نمونه در شرایط ثابت با توجه به این که هر دو واحد در یک ساختمان قرار دارند اما به علت ارتفاع طبقات و جهت نورگیری مقادیری متفاوتی داشته است. به صورت کلی در شرایط متفاوت مقادیر ثابت نیست و به شرایط آن ساختمان و عوامل تأثیرگذار آن بستگی دارد و نمی توان مقدار ثابتی را برای تمام ساختمان‌ها در نظر گرفت.

۸ نتیجه‌گیری

با پیش‌فرض این که ساختمان ۶ طبقه و در بافت میانی از لحاظ قدمت، در محل با تراکم متوسط ۴ تا ۶ طبقه و معبر شرقی و غربی باشد؛ در مطالعه پنجره اتاق‌های نشیمن به عنوان یک فضای چندمنظوره مسکونی در جهت شمال و جنوب، نسبت سطح پنجره به سطح کف اتاق در طبقات اول و ششم واحد شمالی به ترتیب ٪۱۳/۶۰، ٪۱۰/۸۵ و در طبقات اول و ششم واحد جنوبی به ترتیب ٪۱۵/۳۰ و ٪۹/۵۰ بهینه است.

جدول ۶: مقایسه هر یک از مقادیر ذکرشده در مبانی نظری با نتایج ساختمان مورد بررسی

منابع			سطح بهینه پنجره	پارامترهای در نظر گرفته‌شده					
				اقلیم شهر	همسایگی ساختمان	کاربری ساختمان	طبقات ساختمان	مصالح ساختمان	عملکرد
									حرارتی / روشنایی
پژوهش‌های اخیر	استاندارد	مبحث چهارم، ۱۳۹۶	یک هشتم سطح کف	×	×	×	×	×	× / ×
		مبحث نوزدهم، ۱۳۹۴	۱/۹ زیربنای مفید ٪۲۵ سطح دیوار	×	×	×	×	×	× / ×
	مقالات و کتب	حیدری، ۱۳۹۱	خصوصیات پنجره و سایبان	×	×	✓	×	✓	× / ✓
		قیابکلو، ۱۳۹۲	ابعاد پنجره، محل، جهت‌گیری پنجره و ضریب انعکاس مصالح	×	×	×	×	✓	× / ×
		طاهباز، ۱۳۹۶	توزیع نور، فرم، جهت	✓	✓	✓	×	×	× / ✓
مقاله حاضر			طبقات اول و ششم واحد شمالی به ترتیب ٪۱۳/۶۰، ٪۱۰/۸۵؛ طبقات اول و ششم واحد جنوبی به ترتیب ٪۱۵/۳۰ و ٪۹/۵۰	✓	✓	✓	✓	✓	✓ / ✓

با رعایت این مقادیر، بار حرارتی نسبت به حالت موجود در هر یک از طبقات کاهش و مقدار بار روشنایی افزایش و در نهایت مقدار تابع هدف مجموع حرارتی و روشنایی کاهش می‌یابد و لذا در مصرف انرژی صرفه‌جویی به عمل خواهد آمد.

در طبقه اول واحد شمالی درصد فضا با نور کافی از مقدار ٪۵۰/۱۴ به ٪۸۲/۳۲ و در طبقه ششم از مقدار ٪۵۳/۹۷ به ٪۸۸/۳۳ افزایش یافته، به این معنی که در واحدهای شمالی با بهینه شدن پنجره بر اساس تابع هدف، درصد فضاهای با نور مناسب برای عملکردهای مرسوم در اتاق نشیمن از حدود نصف به بیش از ٪۸۰ افزایش یافته است.

در طبقه اول واحد جنوبی درصد فضا با نور کافی از مقدار ٪۵۶/۹۷ به ٪۶۵/۹۴ و در طبقه ششم از مقدار ٪۷۰/۶۱ به ٪۷۲/۸۵ تغییر یافته است، به این معنی که در واحدهای جنوبی با بهینه شدن پنجره بر اساس تابع هدف، درصد فضاهای با نور مناسب برای عملکردهای مرسوم در اتاق نشیمن در طبقه اول ٪۹ و در طبقه ششم تنها ٪۲ افزایش یافته است.

نسبت عمق به عرض اتاق در واحد شمالی ۱/۵۵ و در واحد جنوبی ۱/۴۳ است که نسبت‌های تقریباً نزدیکی را نشان می دهد با این حال درصد بهبود شاخص نور پویا در اتاق رو به شمال نسبت به اتاق رو به جنوب بیشتر بوده که ناشی از اختصاص فضای اتاق رو به جنوب به روشنایی بیشتر از ۲۰۰۰ لوکس است. طراحی سایه‌بان‌های مناسب برای این پنجره‌های این اتاق برای دستیابی به مقدار بالاتر از شاخص نور روز پویا توصیه می‌شود.

مقادیر به دست آمده برای این ساختمان و شرایط موجود آن است. بدیهی است که با تغییر هر یک از پارامترهای در نظر گرفته‌شده از جمله نحوه همسایگی، ابعاد فضا، کاربری و موارد دیگر که بر میزان مصرف انرژی تأثیر خواهند داشت، مقادیر پیشنهادشده تغییر خواهند کرد.

با توجه به اینکه مدل کاربردی در این پژوهش پارامتریک بوده لذا در آینده و در طی تحقیقات دیگر میتوان با تغییر مقادیر به نتایج مطلوب دسترسی پیدا کرد.

مراجع

[۱] حیدری، شاهین. *معماری و روشنایی*. انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۲.

[۲] طاهباز، منصوره. *دانش اقلیمی: طراحی معماری*. دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۹۷.

[۳] شهپرنیا، مهسا و نیکقدم، نیلوفر. سامانه‌های نوری طبیعی ارگونومیک در موزه‌های هنری. *نشریه معماری و شهرسازی آرمانشهر*، ۲۹(۱۲):۶۵—۸۰، ۱۳۹۸.

[۴] میری، مجید و کمپانی سعید، محسن. عارضه‌یابی مقررات ملی ساختمان در حوزه بهره‌مندی از نور روز در شهر قزوین. *نشریه معماری و شهرسازی آرمانشهر*، ۷(اولین ویژه‌نامه نورپردازی):۱۰۹—۱۲۱، ۱۳۹۳.

[۵] قیابکلو، زهرا. *مبانی فیزیک ساختمان ۵: نور روز*. جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۵.

[۶] حبیبی، عباس، نامداری، محمدرضا، و باقی، حدیثه. *نورپردازی در معماری داخلی*. سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی، ۱۳۹۵.

[7] Fayaz, R. Optimal window level of residential buildings in ardabil and tehran. *Journal of Architecture and Urban Planning*, 5(10):105–119, 2012.

[8] Heiranipour, M. Optimization of window dimensions according to light and heat factors in cold climate residential buildings case study: Ilam city. Master's thesis, Tehran University of Arts, 2015.

[9] Montaser Kouhsari, A. Optimal dimensions of windows from the perspective of heat and light in residential buildings of temperate and humid climate. Master's thesis, Tehran Unviersity of Arts, 2014.

[۱۰] احدی، امین‌اله، مسعودی‌نژاد، مصطفی، و پیریایی، آرمین. طراحی صحیح پنجره ها به منظور دستیابی به میزان نور روز مناسب در خانه های آپارتمانی شهر تهران. *نشریه هویت شهر*، ۱۰(۱):۴۱—۵۰، ۱۳۹۵.

[11] Sharifah Fairuz, SF., Adel, A., and Wan Mariah Maulin, W. The impact of varied orientation and wall window ratio (wwr) to daylight distribution in residental rooms. in *International Symposium in Developing Economies: Commonalities Among, Diversities*, pp. 478–486, Iran, 2013. International Symposium in Developing Economies: Commonalities Among, Diversities.

[12] Acosta, I., Campano, M., and Molina, J. Relationship between window-to-floor area ratio and single- point daylight factor in varied residential rooms in malaysia. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(33):1–8, 2016.

[13] Iranian National Building Regulations, Nineteenth, Energy Saving, 2015.

[14] Iranian National Building Regulations, Chapter Four, Energy Saving, 2017.

[15] Acosta, I., Campano, M., and Molina, J. Window design in architecture: Analysis of energy savings for lighting and visual comfort in residential spaces. *Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción. Universidad de Sevilla*, 10(168):493–506, 2016.

[۱۶] پورناصری، شهناز. *مدل‌یابی تأثیر متغیرهای کالبدی پنجره جهت دستیابی به الگوی پنجره مطلوب کلاس از دیدگاه دانش‌آموزان مدارس راهنمایی تهران*. پایان‌نامه دکترا، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۹۱.

[۱۷] صادقی‌پی، ناهید. *طرح معماری: طراحی خانه مسکونی*. فاطمی، ۱۳۹۰.

[۱۸] زلنیک، مارتین، پانرو، جولیوس، و دی‌کیارا، جوزف. *استانداردهای جامع معماری داخلی و طراحی فضا*. ترجمه‌ی سیفی، امیرحسین و بیات، محمدرضا. شهرآب، ۱۳۸۹.