

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و هفت، شماره دو، اردیبهشت ماه ۱۴۰۴ (۱۳۴-۱۱۹)

بررسی میزان کارایی پارامترهای هندسی قفسه نوری در صرفه جویی مصرف انرژی با توجه به عامل نور در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد: نمونه موردی ساختمان پنج طبقه شهر ایلام

الهام ابراهیمی^۱
محمد مهدی مولائی^{۲*}
m.moulaii@basu.ac.ir
پیمان پیله‌چی‌ها^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۲

چکیده

زمینه و هدف: میزان زیادی از انرژی در کشور در بخش ساختمان و به‌ویژه در ساختمان‌های مسکونی مصرف می‌شود. از میان انرژی‌های مصرفی در این ساختمان‌ها نیز انرژی الکتریکی بیشترین استفاده را دارد. این در حالی است که به‌کارگیری قفسه‌های نوری به دلیل قابلیت کنترل مقدار نور ورودی به فضا می‌تواند نقش مهمی در کاهش مصرف این نوع انرژی داشته باشد.

روش بررسی: با توجه به اهمیت این قفسه‌ها، پژوهش حاضر با هدف بررسی پارامترهای بهینه قفسه‌های نوری جهت استفاده حداکثری از نور روز در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد (نمونه موردی شهر ایلام) تدوین شده است. پژوهش تلاش دارد با شبیه‌سازی و تحلیل انواع حالت‌های قفسه نوری (زاویه‌دار و بدون زاویه، درونی و بیرونی) بهترین الگو را برای دستیابی به بیشترین خودمختاری نور روز (sDA) و کمترین تابش مزاحم سالانه (ASE) مشخص کند تا در نهایت راهکاری برای کاهش وابستگی به روشنایی مصنوعی و صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌های مسکونی ارائه دهد. بدین منظور، به کمک نرم‌افزار کلایمت استدیو حالت‌های مختلف قرارگیری قفسه‌های نوری به منظور حداکثرسازی استفاده از خودمختاری نور روز (sDA) و حداقل‌سازی قرار گرفتن در معرض نور خورشید سالانه (ASE) مورد بررسی قرار گرفته است.

یافته‌ها: نمونه‌های آزمایش شده به دو دسته کلی در جبهه جنوبی ساختمان تقسیم شده‌اند: دسته اول قفسه‌های نوری ترکیبی مسطح بدون زاویه و دسته دوم قفسه‌های نوری ترکیبی با زاویه‌های مختلف. هر کدام از این دسته‌ها خود شامل شش حالت بیرونی و چهار حالت درونی هستند. تعداد نمونه مورد بررسی در دسته با زاویه به‌طور کلی برابر با ۷۲ نمونه است. دسته بدون زاویه نیز دارای شش حالت بیرونی و چهار حالت درونی است که در مجموع شامل ۲۴ نمونه می‌شود. بنابراین، کل تعداد نمونه‌های مورد بررسی شامل ۹۶ حالت است.

۱- کارشناس ارشد معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲- استادیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۳- استادیار، موسسه آموزش عالی بصیر، تهران، ایران.

بحث و نتیجه گیری: نتایج حاکی از آن است که الگوی بهینه دارای ابعادی با طول قفسه نوری بیرونی ۱۰/۱ سانتی متر، طول قفسه نوری درونی ۵۰/۰ سانتی متر و بدون زاویه چرخشی نسبت به پنجره است. در این حالت، مقدار شاخص sDA برابر ۸۰/۲ درصد، شاخص ASE برابر با صفر درصد و شاخص AVG LUX برابر با ۷۷۹ لوکس است.

واژه‌های کلیدی: صرفه جوی مصرف انرژی، ساختمان های مسکونی، قفسه نور، اقلیم سرد، ایلام.

Investigating the efficiency of light shelf geometric parameters in saving energy consumption due to the light factor in cold climate residential buildings: the case study of a five -storey building in Ilam city

Elham Ebrahimi¹

Mohammadmehdi Moulaii^{2*}

s.vatandoust@gmail.com

Peiman Pilechiha³

Date of Acceptance: September 23, 2024

Date of Submission: January 2, 2022

Abstract

Background and Objective: A large amount of energy in the country is being consumed in the construction sector, especially in residential buildings. Among the energy consumed in these buildings, electrical energy is the most. However, the use of light shelves can play a significant role in reducing the consumption of this type of energy since it controls the amount of light entering the space.

Material and Methodology: As for the importance of these shelves, the study aimed to evaluate the optimal parameters of light shelves for maximum use of daylight in cold climate residential buildings (a case study of Ilam city). For this purpose, different modes of light shelf placement have been investigated in order to maximize the use of sun daylight autonomy (sDA) and minimize annual sun exposure (ASE) through using Climate Studio software.

Findings: The tested samples were divided into two general categories on the southern front of the building: the first group the flat composite light shelves had no angles and the second group with different angles. Each one included six external moods and four internal modes. The number of samples examined in the angle batch was generally equal to 72. The second category also had six outer modes and four inner modes, i.e., 24 specimens in total. Therefore, the total number of samples examined included 96 cases.

Discussion and Conclusion: The findings indicated the optimal model had dimensions with an outer light shelf of 1.10 cm long, an inner light shelf of 0.50 cm long and no rotational angle to the window. In this case, the value of sDA index was equal to 80.2%, ASE index equaled to zero percent and AVG LUX index was equal to 779 lux.

Keywords: Saving Energy, residential buildings, light shelves, cold climate, Ilam.

1- M.Sc. in Architecture, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. * (Corresponding Author)

3- Assistant Professor, Basir Institute of Higher Education, Tehran, Iran.

مقدمه

با وجود مشکلات ناشی از تغییرات اقلیمی در سراسر جهان به علت مصرف سوخت‌های فسیلی، در ایران نه تنها میزان مصرف انرژی بسیار بالاست، بلکه هر سال نیز روندی افزایشی دارد. مصرف گسترده سوخت‌های فسیلی همچنین سهم چشمگیری در تشدید آلودگی هوا، به‌ویژه در کلان‌شهرها، ایفا می‌کند. حدود ۹۷ درصد از کل انرژی مصرفی و ۹۸/۸ درصد انرژی مصرف شده توسط بخش ساختمان در ایران مشتق از سوخت فسیلی است که ساختمان‌های مسکونی و تجاری بیش از ۴۰ درصد از این مقدار را به خود اختصاص داده‌اند (۱).

بحران تأمین انرژی به صورت هماهنگ با توسعه پایدار، از مهم‌ترین دغدغه‌های کشورها به شمار می‌رود. در حال حاضر روش‌های تأمین، تولید و مصرف انرژی به گونه‌ای است که حتی در میان‌مدت، امکان ادامه روند کنونی وجود ندارد. در خصوص ایران نگرانی بیشتری در این زمینه مطرح است. از آنجایی که بخش زیادی از انرژی در کشور در بخش ساختمان مصرف می‌شود و ۷۰ درصد ساختمان‌ها کاربری مسکونی دارند، بهینه‌سازی مصرف انرژی در این بخش از اهمیت خاصی برخوردار است (۲). در این خصوص توجه به این نکته ضروری است که از میان انرژی‌های مصرفی بخش ساختمان، انرژی الکتریکی (برق) جهت تأمین روشنایی و سرمایش ساختمان‌ها بیشترین استفاده را دارد. به همین دلیل تمرکز بر بهینه‌سازی مصرف این نوع انرژی حائز اهمیت است.

امروزه پیشرفت‌هایی که در تجهیزات کنترل نور رخ داده است، فرصت‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی الکتریکی را ممکن ساخته است. به نحوی که با استفاده از سیستم‌های کنترل‌کننده نور می‌توان برای کنترل نور روز جهت رساندن روشنایی به عمق فضا استفاده کرد. استفاده از نور روز طبیعی علاوه بر مفید واقع شدن در کاهش مصرف انرژی الکتریکی جهت روشنایی، منجر به کاهش بار سرمایش ساختمان از طریق مصرف انرژی الکتریکی نیز خواهد شد.

از میان روش‌های شناخته شده جهت دریافت نور روز می‌توان به چندین مورد از جمله سایبان‌ها، پرده کنترل‌کننده نور، سطوح جدا کننده و سیستم‌های پیشرفته نور روز (شامل

قفسه نور، اسکوپ‌های نور، لوورهای هدایت‌کننده نور، جمع‌کننده اشعه خورشیدی، داکت‌های انتقال نور و غیره) اشاره داشت. در این بین، سیستم‌های پیشرفته نور روز که قابلیت تغییر و متحرک بودن را دارند، در برابر تغییرات جوی کارآمدتر هستند. از میان سیستم‌های پیشرفته نور روز، «قفسه‌های نوری» از قابلیت کنترل مقدار نور ورودی به فضا برخوردار هستند. این قابلیت هم از طریق تأمین روشنایی عمق فضا و هم از طریق پخش یکنواخت نور در فضا باعث کاهش بار مصرف انرژی الکتریکی روشنایی و سرمایش می‌شود.

با توجه به اهمیت قفسه‌های نوری در کاهش میزان مصرف انرژی در بخش ساختمان، در پژوهش حاضر به بررسی ابعاد و جهت‌گیری‌های قفسه نور در تأثیر عملکرد نور روز بر مصرف بهینه انرژی در طول سال با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل کلایمت استدیو در یک فضای مسکونی در اقلیم سرد (نمونه موردی شهر ایلام) پرداخته می‌شود. این بررسی به دنبال یافتن پاسخ سوالات زیر است:

- زاویه چرخشی بیرونی قفسه نور نسبت به پنجره‌ها برای دستیابی به کم‌ترین مصرف انرژی چگونه است؟
- ابعاد بهینه قفسه‌های نوری داخلی و خارجی نسبت به پنجره‌ها برای دستیابی به کم‌ترین مصرف انرژی چگونه است؟
به منظور یافتن پاسخ سوالات فوق، در ادامه و در بخش دوم پیشینه تحقیق در خصوص قفسه‌های نوری مرور می‌شوند. بخش سوم به روش پژوهش و بخش چهارم به عملکرد ساختمان مورد بررسی اختصاص دارد. تحلیل و شبیه‌سازی در بخش پنجم ارائه شده و نتایج نیز در بخش ششم آورده می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

از آنجایی که قفسه نور یکی از ساده‌ترین سیستم‌ها را نشان می‌دهد که منجر به کاهش تابش خورشید و توزیع مجدد نور روز در فضای داخلی ساختمان می‌شود، مطالعات زیادی در تلاش برای بررسی همه پارامترهای مرتبط با عملکرد آن‌ها انجام شده است. البته کاملاً مشخص نیست که از چه زمانی

از انرژی نور روز بسیار محدود است زیرا عوامل زیادی بر عملکرد آن‌ها تأثیر می‌گذارد و همچنین طراحی آنها دشوار است (۱۳). مقدار زیادی انرژی برای روشنایی الکتریکی در طول ساعت ۸ صبح هدر می‌رود. تا ساعت ۶ بعد از ظهر، بیشتر آن به دلیل طراحی نامناسب پنجره‌ها است. پوشاندن ضلع نور خورشید ساختمان با شیشه، نور مستقیم روز را به فضاهای داخلی تضمین می‌کند، اما به دلیل انتقال گرما از طریق پوشش شیشه‌ای، آسایش حرارتی مردم را تضمین نمی‌کند (۱۴). سیستم‌های مختلفی برای روشنایی نور روز وجود دارد که می‌توان به چندین مورد از جمله سایبان‌ها، پرده کنترل کننده نور، سطوح جدا کننده و سیستم‌های پیشرفته نور روز (شامل قفسه نور، اسکوپ‌های نور، لوورهای هدایت کننده نور، جمع کننده اشعه خورشیدی، داکت‌های انتقال نور و غیره) اشاره داشت. لازم به ذکر است که بسیاری از این سیستم‌ها بیشتر مناسب فضاهای نسبتاً بزرگ هستند که در آن‌ها فضای کافی برای قرار دادن سیستم وجود دارد. اما در بین سیستم‌های موجود، یکی از سیستم‌هایی که به فضای نسبتاً کمی احتیاج دارد، قفسه نوری است.

قفسه نوری دستگاهی است که به‌طور خاص برای هدایت نور روز به عمق فضا طراحی شده است. این قفسه به عنوان یک دستگاه سایه زن در مسدود کردن (مستقیم) نور خورشید نیز عمل می‌کند (۱۵). قفسه نوری با سه عمل سایه‌اندازی روی پنجره، پخش نور و کاهش خیرگی موجب بهبود روشنایی و باعث یکنواختی نور در فضای داخلی می‌شود. قفسه نوری معمولاً بالاتر از ارتفاع چشم انسان قرار گرفته و پنجره را به دو بخش تقسیم می‌کند: یک بخش به منظور تامین دید و بخش دوم به عنوان فضایی جهت تابش نور به سقف و بازتابش آن به محیط داخلی. قفسه‌های نوری به‌طور میانگین می‌توانند تحت شرایط آسمان صاف در ساعاتی که نور خورشید وجود دارد، روی سطح کار به میزان ۲۰۰ لوکس نور ایجاد کنند (۱۶). لازم به ذکر است که کارکرد قفسه نوری بر اساس زاویه پرتوهای خورشید در فصول مختلف سال متفاوت است. این زاویه از یک سو در نحوه انعکاس پرتوها

استفاده از اصطلاح قفسه نوری رایج شده است. یک مطالعه اولیه برای استفاده از قفسه‌های نوری در بیمارستان‌ها توسط هاپکینسون^۱ در طول دهه ۱۹۵۰ انجام شده است (۳). با این حال، می‌توان گفت تحقیقات متمرکز در مورد عملکرد قفسه‌های نوری از دهه ۱۹۸۰ آغاز شده است. اگرچه تأثیر قفسه نور بر تعادل انرژی ساختمان (به ویژه در بارهای خنک‌کننده در تابستان) مهم است، در این بررسی، اصطلاح «عملکرد» به توزیع روشنایی و روشنایی ناشی از آن بر روی سطوح فضای مرتبط با آن مربوط می‌شود. این عملکرد با توجه به شرایط آسمان غالب متغیر است، زیرا قفسه‌های نور با توجه به هندسه قفسه و مواد مورد استفاده در سطح فوقانی، روشنایی پراکنده و مستقیم را کنترل می‌کنند. قفسه‌های روشنایی خارجی هدایت نور روز را همراه با سایه زدن پنجره پایینی ارائه می‌دهند. در حالی که فضای داخلی می‌تواند ناحیه آفتاب‌گیر را در سطح کار، به ویژه در زاویه‌های کم ارتفاع، به حداقل رسانده و توزیع روشنایی را بهبود می‌بخشد. بنابراین، بدیهی است که عمق قفسه‌های نوری می‌تواند بر میزان روشنایی تأثیر بسزایی بگذارد. در جدول زیر مروری بر برخی از مطالعات در زمینه قفسه‌های نوری می‌پردازیم.

۳- سیستم‌های پیشرفته نور روز

نور روز در مقایسه با سایر عوامل محیطی در دسترس‌ترین عامل برای تولید انرژی است. با افزایش تراکم جمعیت شهرها و ارتفاع ساختمان‌ها، سطوح عمودی ساختمان‌ها بیشترین ظرفیت استفاده از نور خورشید را دارند (۱۰). در زمینه طراحی ساختمان، نور روز جزء مهمی است که باید برای دستیابی به کارایی و پایداری انرژی مورد توجه جدی قرار گیرد (۱۱). با این حال، شرایط زیادی وجود دارد که در آن نور روز نمی‌تواند به‌طور موثر در ساختمان نفوذ کند، به ویژه در عمیق‌ترین قسمت‌های پلان (۱۲). کنترل نور روز با استفاده از استراتژی‌های مناسب عامل مهمی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و دستیابی به صرفه‌جویی در مصرف انرژی است. با این وجود، توسعه سیستم‌های کنترل نور روز برای افزایش استفاده

به فضای داخلی تاثیرگذار است و از سوی دیگر در میزان نفوذ نور از بخش پایینی پنجره به فضای داخلی اثر می‌گذارد (۱۷).

جدول ۱- پیشینه تحقیق

Table 1: Background

مطالعه	یافته‌ها
پلیس و همکاران ^۱ (۱۹۹۰)	عمق قفسه نور افقی خارجی باید بین ۱/۲۵ تا ۱/۵۰ برابر ارتفاع بخش بالای قفسه نوری از پنجره در جهت نمای جنوب باشد (۴).
عبدالمحسن و همکاران ^۲ (۱۹۹۴)	تأثیر عمق قفسه نور بر میزان روشنایی سطح کار در روز را بررسی کردند (۵).
لیتفیر و همکاران ^۳ (۱۹۹۵)	این پژوهشگران پیشنهاد کردند که سیستم‌های ثابت فقط در برخی شرایط کاملاً مشخص می‌توانند روشنایی اصلی را افزایش دهند (۶).
سولر و اوتیزا ^۴ (۱۹۹۶-۱۹۹۷)	کارایی سیستم همراه با ارتفاع خورشیدی تا یک نقطه افزایش و سپس کاهش می‌یابد. افزایش بیشتر در ارتفاع خورشیدی منجر به کاهش عملکرد قفسه نور می‌شود (۷).
براردی و آناراکي ^۵ (۲۰۱۶)	پنجره‌های باریک تمام قد در مقایسه با پنجره‌های کوتاه‌تر اما عریض‌تر، نور روز را بهتر ارائه می‌دهند و قفسه‌های سبک هنگام استفاده در پنجره‌هایی که رو به جنوب نیستند، فایده‌ای ندارند (۸).
نصیری و زرنندی (۱۳۹۹)	چنانچه رف در فاصله ۲۴۰ سانتی متری از کف باشد و موقعیت آن نیز در حالت میانی قرار گیرد، بهترین نتیجه از نظر یکنواختی و کاهش خیرگی بدست می‌آید (۹).

منبع: اقتباس از ۸-۴

- 1- Place et al
- 2- Abdulmohsen et al
- 3- Littlefair et al
- 4- Soler and Oteiza
- 5- Berardi and Anaraki

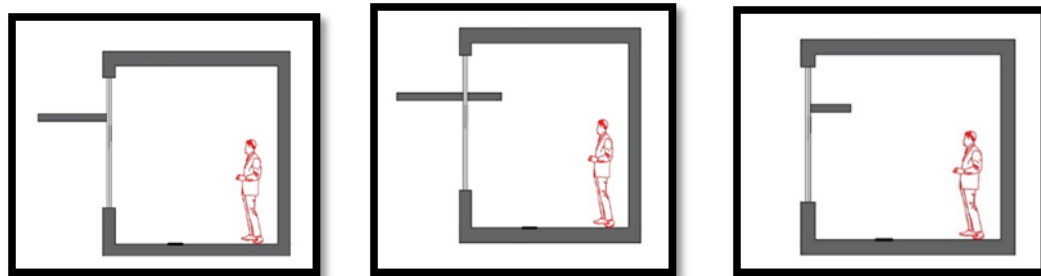


شکل ۱- موقعیت قرار گیری قفسه‌های نوری نسبت به پنجره

Figure 1. Situation of light shelves relative to the window

میانی (قسمتی از قفسه بیرون و قسمتی از آن داخل فضا قرار می‌گیرد) و بیرونی (۱۸).

قفسه‌های نوری را بر حسب محل قرارگیری آن‌ها روی پنجره به سه دسته می‌توان تقسیم کرد که هرکدام از کارایی ویژه‌ای متناسب با محل قرار گیری خود دارند: قفسه‌های نوری درونی،



شکل ۲- قفسه‌های نوری درونی، میانی (قسمتی از قفسه بیرون و قسمتی از آن داخل فضا قرار می‌گیرد) و بیرونی

Figure 2. Internal, Middle and external light shelves

مشخصات فنی قفسه‌های نوری انجام شود (۲۰). به عبارت دیگر، گونه‌شناسی قفسه‌های نوری و تمرکز بر مشخصات فنی آن‌ها برای تقسیم‌بندی میزان کارایی، مهم‌ترین متغیرهای آزمون مانند میزان شفافیت و ضریب انعکاس سطح قفسه نوری، مکان قرارگیری قفسه نوری، ابعاد و اندازه و نحوه تماس آن با نمونه آزمون را مورد تاکید قرار می‌دهد. در این میان، تخمین کارایی کانال‌های انتقال نور افقی در ساختمان، بخشی از اهداف مهم استفاده از قفسه‌های نوری و سامانه‌های مکمل، مانند متغیر یکنواختی روشنایی و پرهیز از خیرگی را معرفی می‌کند.

روش تحقیق

به صورت کلی دو دیدگاه در زمینه قفسه‌های نوری وجود دارد: در دیدگاه اول با استفاده از مدل فیزیکی و بر اساس مطالعات تجربی و در دیدگاه دوم بر اساس شبیه‌سازی با

طراحی قفسه‌های سبک و ارزیابی عملکرد توسط بسیاری از محققان مورد بحث قرار گرفته است. یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در طراحی قفسه‌های سبک، تعیین پارامتر بهینه برای اطمینان از حداکثر عملکرد است. با این وجود، اکثر مطالعات قبلی مقادیر مربوطه را با استفاده از طرح فاکتوریل یا یک به یک در بهینه‌سازی پارامتر ارزیابی کرده‌اند. البته کورتای و اسن^۱ (۱۹) به تناوب از منحنی مرجع برای مکان‌های مختلف بر اساس عرض جغرافیایی انتخاب شده، استفاده کرده‌اند. امروزه استفاده از مدل‌سازی پارامتری و بهینه‌سازی از طریق محاسبات تکاملی برای تعیین راه حل‌های بهینه در طراحی ساختمان از محبوبیت بیشتری برخوردار شده است.

قفسه‌های نوری از تنوع بالایی برخوردار هستند. از این‌رو لازم است طراحی و استفاده از آن‌ها بر اساس گونه‌شناسی انواع و

1- Kurtay and Esen

نرم افزارهای مربوطه می باشد. روش تحقیق در پژوهش حاضر، روش شبیه سازی، به صورت توصیفی و تحلیلی اطلاعات را استخراج و استنتاج شده اند.

با توجه به عملکرد قفسه نوری متغیرهای مختلفی مورد بررسی قرار می گیرند. با توجه به تحقیقات انجام شده تعدادی از متغیرها ثابت در نظر گرفته شده اند و از میان انواع متغیرها به بررسی ابعاد هندسی قفسه های نوری پرداخته می شود. به منظور انجام این مطالعه، با استفاده از نرم افزار مدل سازی راینو و پلاگین کلایمت استدیو، به بررسی ابعاد هندسی بهینه قفسه نوری در اقلیم سرد بر اساس تحلیل شبیه سازی نور پویا پرداخته شده است. نمونه موردی اقلیم سرد در این پژوهش یک ساختمان مسکونی موجود در شهر

ایلام است. در پایان و پس از مشخص شدن الگوی بهینه، نتایج به دست آمده با وضعیت موجود ساختمان پایه مقایسه شده است.

۵- عملکرد ساختمان

در این بخش نوع کاربری ساختمان مشخص شده است تا در زمان آنالیز داده ها، نوع و میزان کار و فعالیت انجام شده، مطابق کاربری تعیین شده انجام گیرد. برای مثال، در ساختمان های مسکونی میزان نور مورد نیاز ۳۰۰ لوکس اعمال می شود. در نرم افزار بعد از انتخاب گزینه آنالیز نور روز (Daylight Avalibity)، در قسمت add areas بعد از اضافه کردن زون ها در پنجره باز شده در قسمت occupancy، کاربری مسکونی را انتخاب می کنیم.



شکل ۳- مدل سازی ساختمان موجود پس از نصب قفسه های نوری

Figure 3. Modeling of an existing building after the installation of light shelves

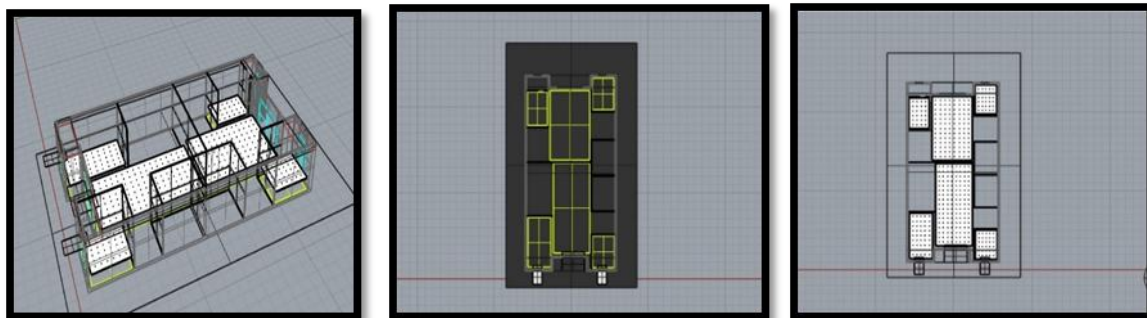
۵-۱- برنامه زمان بندی

برای مشخص کردن برنامه زمان بندی لازم است در نرم افزار بخش occupancy، گزینه lights Residential را انتخاب کرده تا اطلاعات مربوط به ساعات روشنایی در ساختمان مسکونی بر اساس ماه و روزهای هفته برای انجام آنالیز مشخص شود.

در ساختمان سازی در بخش اجرایی شهر ایلام است. عمده مصالح مصرفی شامل بلوک های بتنی در بخش خارجی دیوارها و سطوح نازک گچ کاری در فضاهای داخلی ساختمان است. در واقع اجرای ساختمان سازی به دو بخش سفت کاری (بخش سخت و سنگین) در بیرون و نازک کاری (بخش سبک) در قسمت داخلی در نظر گرفته شده است.

۶- تحلیل و شبیه سازی

نوع مصالح سطوح مختلف، در بخش لایه ها و از قسمت متریاال های معین شده انتخاب شده است. به طور کلی مصالح ساختمانی به کار رفته در این شبیه سازی مشابه مصالح رایج



شکل ۴- تعیین زون‌ها در نرم‌افزار کلایمت استدیو

Figure 4. Determining zones in Climate Studio software

جدول ۲- شاخص‌های اندازه‌گیری عملکرد سالانه نور روز

Table 2. Measurement indicators of annual daylight performance

شرح ضابطه	سیستم ارزیابی	شاخص
درصدی از فضا که مقدار روشنایی حداقل ۳۰۰ لوکس را برای زمان حداقل ۵۰ درصد از زمان اشغال فضا در یک سال (با احتساب ۱۰ ساعت اشغال در هر روز) دریافت کند، ۵۵ درصد یا بیشتر باشد.	لیید ۴	کفایت نور روز فضایی (sDA)
نشان می‌دهد که کل مساحت فضای مورد نظر از ارزش شبیه‌سازی شده ۱۰۰۰ لوکس برای حداقل ۲۵۰ ساعت در سال فراتر می‌رود.	لیید ۴	قرار گرفتن در معرض سالانه نور خورشید (ASE)

منبع: اقتباس از ۲۱

۱-۶- شاخص‌های نور روز

به منظور بررسی ابعاد و جهت‌گیری‌های قفسه نور در تاثیر عملکرد نور روز بر مصرف بهینه انرژی در طول سال باید از بین فهرست استانداردهای موجود در نرم‌افزار یک استاندارد انتخاب شود. استاندارد انتخابی در این مطالعه نسخه ۴,۱ استاندارد لیید (LEED v4.1) است. این استاندارد نوعی سیستم رتبه بندی ساختمان است که معیارهایی را برای چندین ویژگی اصلی طراحی پایدار از جمله نور روز در نظر می‌گیرد. شاخص‌های اندازه‌گیری عملکرد سالانه نور روز در این استاندارد شامل دو شاخص کفایت نور روز فضایی^۱ (sDA) و قرار گرفتن در معرض سالانه نور خورشید^۲ (ASE) است.

مقادیر sDA می‌تواند از صفر تا ۱۰۰ درصد مساحت مورد نظر متغیر باشد. مقادیر ASE از صفر تا ۱۰۰ درصد متغیر است. بنابراین، برای کاهش پتانسیل تابش نور و تنش حرارتی، طراحان باید مقادیر ASE پایین را هدف قرار دهند.

1- Spatial Daylight Autonom
2- Annual Sunlight Exposure

جدول ۳- مقادیر و میزان کفایت شاخص‌های اندازه‌گیری عملکرد سالانه نور روز

Table 3. Amounts and adequacy of indicators for measuring annual day light performance

شاخص	مقادیر	میزان کفایت
sDA	۷۵ درصد	نشان دهنده فضایی است که در آن نور روز توسط ساکنان ترجیح داده می‌شود، یعنی ساکنان بدون استفاده از هیچ چراغ برقی در آن کار می‌کنند و نور را کافی می‌دانند.
	بین ۷۵ تا ۷۵ درصد	نور روز توسط ساکنان به طور اسمی پذیرفته می‌شود.
	کمتر از ۴۰ درصد	نور روز توسط ساکنان ناکافی شناخته می‌شود، یعنی ساکنان با استفاده از چراغ برقی در آن کار می‌کنند و نور را کافی نمی‌دانند.
ASE	بیش از ۱۰ درصد	فضاهایی با مقادیر بیش از ۱۰ درصد احتمالاً باعث ناراحتی بینایی می‌شود.

منبع: اقتباس از ۲۰

با توجه به بازه‌های استاندارد ارائه شده برای هر یک از شاخص‌های عملکرد سالانه نور روز در جدول فوق، در ادامه به بررسی داده‌های حاصل از شبیه‌سازی پرداخته می‌شود (۲۱)

۷- خروجی‌های کلایمت استدیو

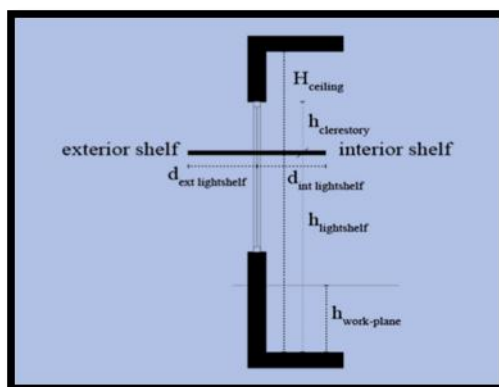
۷-۱- تحلیل نور روز با قرار دادن قفسه‌های نوری در

جبهه جنوبی بنا

پنجره به عنوان یکی از عناصر معماری به منظور تامین نور و حرارت در ساختمان محسوب می‌شود. به منظور بهره‌وری بیشتر از نور روز از روش‌های ایستا و پویای مختلفی استفاده می‌شود. قفسه‌های نوری یکی از راهکارهای دستیابی به نور روز برای هدایت نور به عمق فضا و ایجاد محیط یکپارچه داخلی از نظر روشنایی است. بنابراین لازم است جهت به حداقل رساندن مصرف انرژی در هر شرایط آب و هوایی، ویژگی‌های اصلی مرتبط با این عنصر ساختمانی در جبهه‌های مختلف مد نظر تعیین شود.

نمونه‌های آزمایش شده به دو دسته کلی در جبهه جنوبی ساختمان تقسیم شده‌اند: دسته اول قفسه‌های نوری ترکیبی مسطح بدون زاویه و دسته دوم قفسه‌های نوری ترکیبی با زاویه‌های مختلف. هر کدام از این دسته‌ها خود شامل شش حالت بیرونی و چهار حالت درونی هستند.

دسته زاویه‌دار دارای سه حالت مختلف شامل زاویه‌های ۱۰، ۱۷ و ۲۰ درجه است. بنابراین با در نظر گرفتن شش حالت بیرونی و چهار حالت درونی در ترکیب با زاویه‌های مذکور، تعداد نمونه مورد بررسی در این دسته به‌طور کلی برابر با ۷۲ نمونه است. دسته بدون زاویه نیز دارای شش حالت بیرونی و چهار حالت درونی است که در مجموع شامل ۲۴ نمونه می‌شود. بنابراین، کل تعداد نمونه‌های مورد بررسی شامل ۹۶ حالت است. شکل زیر فیگور کلی از پنجره با قفسه‌های نوری ترکیبی (بیرونی و داخلی) برای معرفی متغیرها را نشان می‌دهد. در تمامی نمونه‌های آزمایش‌شده، ارتفاع قفسه‌های نوری ترکیبی از کف ($h_{lightshelf}$) ۱/۸۰ سانتی‌متر، ارتفاع قسمت بالای قفسه نوری ($h_{celestory}$) ۰/۵۰ سانتی‌متر، ارتفاع صفحه کار (h_{work_plane}) ۰/۶۰ سانتی‌متر، طول قفسه‌های نوری بیرونی ($d_{ext\ lightshelf}$) متغیر و از ۱/۱۰ تا ۱/۶۰ سانتی‌متر و طول قفسه‌های نوری درونی ($d_{int\ lightshelf}$) متغیر و از ۰/۵۰ تا ۰/۸۰ سانتی‌متر است.



شکل ۵- فیگور کلی از پنجره با قفسه‌های نوری ترکیبی در نرم افزار کلایمت استودیو

Figure 5. General figure of the window with combined light shelves in Climate Studio software

بودند. در مرحله بعد، این ۳۳ حالت بر اساس شاخص SDA (از زیاد به کم) مرتب شده و از بین آن‌ها حالت‌هایی که میزان SDA آن‌ها از ۷۵ درصد به بالا بودند، مشخص شدند. این حالت‌ها شامل ۱۱ حالت به شرح جدول زیر هستند.

پس از به دست آمدن نتایج شبیه‌سازی‌ها در نرم‌افزار، با توجه به توضیحات قبلی در مورد شاخص‌های SDA و ASE، ابتدا نمونه‌هایی که در آن‌ها میزان ASE کمتر از ۱۰ و نزدیک به صفر درصد بود، مشخص شدند. از بین ۹۶ حالت مورد بررسی، تعداد ۳۳ حالت دارای کمترین مقدار ASE (صفر درصد)

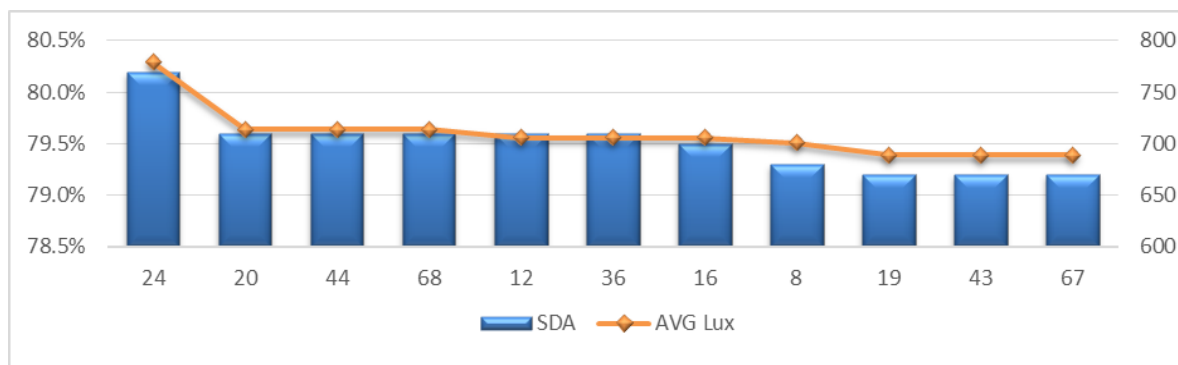
جدول ۴- نتایج بعد از رتبه‌بندی براساس ASE، SDA و AVG

Table 4. Results followed by ranking by ASE, SDA and AVG

	ASE	SDA	AVG Lux	$D_{ex}(cm)$	$D_{in}(cm)$	Rotation
۲۴	٪۰/۰	٪۸۰/۲	۷۷۹	۱/۱۰	۵۰/۰	۰
۲۰	٪۰/۰	٪۷۹/۶	۷۱۴	۱/۲۰	۵۰/۰	۰
۴۴	٪۰/۰	٪۷۹/۶	۷۱۴	۱/۲۰	۵۰/۰	۱۰
۶۸	٪۰/۰	٪۷۹/۶	۷۱۴	۱/۲۰	۵۰/۰	۱۷
۱۲	٪۰/۰	٪۷۹/۶	۷۰۶	۱/۴۰	۵۰/۰	۰
۳۶	٪۰/۰	٪۷۹/۶	۷۰۶	۱/۴۰	۵۰/۰	۱۰
۱۶	٪۰/۰	٪۷۹/۵	۷۰۶	۱/۳۰	۵۰/۰	۰
۸	٪۰/۰	٪۷۹/۳	۷۰۱	۱/۵۰	۵۰/۰	۰
۱۹	٪۰/۰	٪۷۹/۲	۶۸۹	۱/۲۰	۶۰/۰	۰
۴۳	٪۰/۰	٪۷۹/۲	۶۸۹	۱/۲۰	۶۰/۰	۱۰
۶۷	٪۰/۰	٪۷۹/۲	۶۸۹	۱/۲۰	۶۰/۰	۱۷

منبع: نگارنده

نمودار (۱) شاخص‌های مربوط به ۱۱ حالت بهینه را به صورت یکجا نشان می‌دهد.



نمودار ۱- نتایج نهایی بعد از رتبه‌بندی بر اساس ASE, SDA و AVG

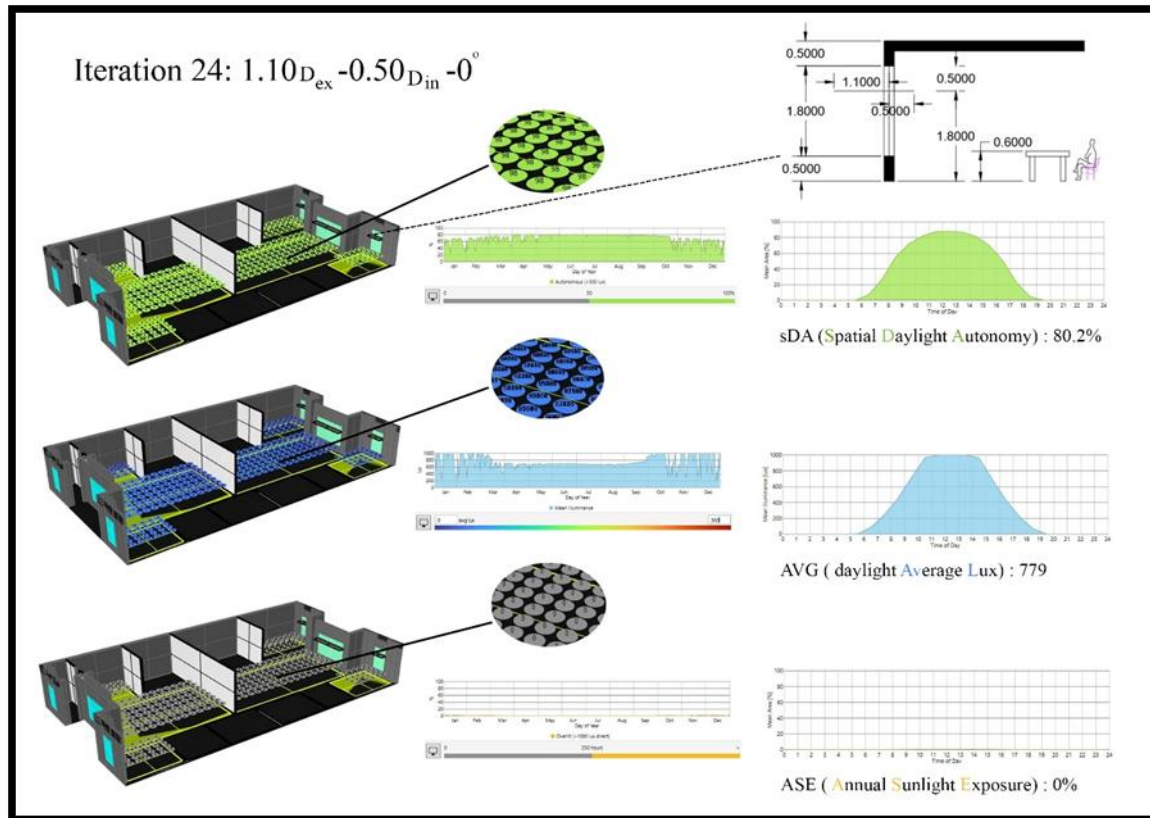
Diagram 1. Final findings followed by rankings based on ASE, SDA and AVG

شایان ذکر است که حالت اول به عنوان حالت بهینه پذیرفته می‌شود. زیرا این حالت از بین حالت‌های موجود، دارای بیشترین میزان شاخص SDA برابر با ۸۰٫۲ درصد و کمترین میزان شاخص ASE معادل صفر درصد است. این نتایج در پنبلی از نمودارها و مقاطع‌ها که به ترتیب از راست به چپ نشان‌دهنده شاخص‌های ASE, SDA و AVG LUX هستند، در شکل شماره (۴) نمایش داده شده است.

نکته قابل توجه در خصوص حالت بهینه این است که با به کارگیری قفسه‌های نوری با مشخصات این حالت، مقادیر شاخص‌های نور روز در ساختمان پایه بهبود می‌یابد. زیرا مقادیر شاخص‌های ASE و SDA در ساختمان پایه به ترتیب برابر با ۷۰ درصد و ۱۲ درصد است.

به‌منظور جلوگیری از طولانی شدن بحث، از بین ۱۱ حالت انتخابی، نتایج مربوط به ۵ حالت اول شرح داده می‌شوند:

۱. حالت اول: طول قفسه نوری بیرونی ۱۰/۱ سانتی‌متر، طول قفسه داخلی ۵۰/۰ سانتی‌متر و بدون چرخش نسبت به پنجره.
۲. حالت دوم: طول قفسه نوری بیرونی ۱/۲۰ سانتی‌متر، طول قفسه داخلی ۵۰/۰ سانتی‌متر و بدون زاویه نسبت به پنجره.
۳. حالت سوم: طول قفسه نوری بیرونی ۱/۲۰ سانتی‌متر، طول قفسه داخلی ۵۰/۰ سانتی‌متر و زاویه نسبت به پنجره مثبت ۱۰ درجه.
۴. حالت چهارم: طول قفسه نوری بیرونی ۱/۲۰ سانتی‌متر، طول قفسه داخلی ۵۰/۰ سانتی‌متر و زاویه نسبت به پنجره مثبت ۲۰ درجه.
۵. حالت پنجم: طول قفسه نوری بیرونی ۱/۴۰ سانتی‌متر، طول قفسه داخلی ۵۰/۰ سانتی‌متر، بدون زاویه چرخشی نسبت به پنجره.



شکل ۶- پنل نتایج شبیه سازی حالت اول

Figure 6. The panel of first mode simulation findings

نتیجه گیری

از شبیه سازی ها به منظور دستیابی به مدل بهینه در مدل پایه به صورت زیر است:

• نتایج حاصل از افزایش طول با در نظر گرفتن

زاویه چرخش: مقادیر شاخص های سالانه نور روز با در نظر گرفتن سه زاویه چرخش ۱۰، ۱۷ و ۲۰ درجه نسبت به پنجره و تغییر طول قفسه های نوری بیرونی از ۱۰/۱ تا ۱/۶۰ سانتی متر و طول قفسه های نوری درونی از ۵۰/۰ تا ۰/۸۰ سانتی متر مورد بررسی قرار گرفت (در مجموع ۲۴ حالت). بر اساس نتایج ثبت شده از سنسورها میزان کفایت نور (sDA) در اکثر حالت ها به ۸۰ درصد، میزان نور دریافتی (AVG Lux) نیز به ۸۰۰ لوکس می رسید که در اکثر حالت ها میزان خیرگی (ASE) افزایش یافته و نزدیک به ۱۰ درصد می شد. البته اگرچه در نظر گرفتن زاویه چرخش

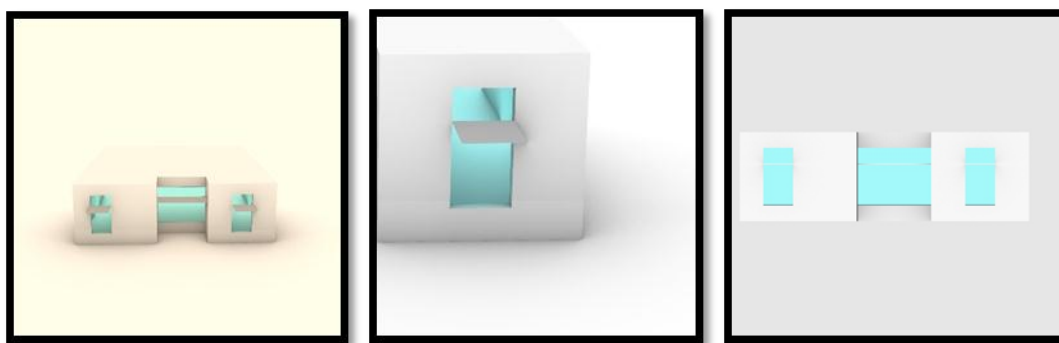
در این پژوهش به منظور بررسی میزان کارایی پارامترهای هندسی قفسه نوری در صرفه جویی مصرف انرژی با توجه به عامل نور در ساختمان های مسکونی اقلیم سرد (نمونه موردی ساختمان پنج طبقه شهر ایلام) از نرم افزار راینو برای مدل سازی و از پلاگین کلایمت استدیو برای محاسبه دقیق شاخص های نور روز از استاندارد لید (LEED v4.1) استفاده شد. شبیه سازی های مورد استفاده نیز بر اساس داده های آب و هوایی محلی (epw) طی دوره ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ از سایت climate.one Building.org انجام شد. (۲۱)

در این بررسی، ابتدا ساختمان مسکونی موجود بر اساس مدارک جمع آوری شده (پلان، نما و برش) شبیه سازی شد. سپس، حالت های مختلف از قفسه های نوری ترکیبی (بیرونی و درونی) بر روی پنجره های جبهه جنوبی قرار داده شده و مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج شبیه سازی در هر کدام از حالت ها، عملکرد مخصوص به خود را دارند. خلاصه نتایج به دست آمده

نظر به دست آمد. این الگو، مدل شماره ۲۴ یعنی قفسه نوری با طول بیرونی ۱۰/۱ سانتی‌متر و طول درونی ۵۰/۰ سانتی‌متر بدون زاویه چرخش نسبت به پنجره با میانگین دریافتی نور روز (AVG LAUX) ۷۷۹ لوکس، میزان کفایت نور (sDA) برابر با ۸۰/۲ درصد و میزان خیرگی (ASE) معادل صفر درصد است.

نسبت به پنجره منجر به دریافت نور حداکثری می‌شد، اما خیرگی بیشتری نسبت به حالت‌های بدون زاویه چرخش نسبت به پنجره را به دنبال داشت.

• **انتخاب مدل بهینه:** بر اساس نتایج فوق و پس از انجام تجزیه و تحلیل‌های لازم بر اساس شاخص‌های نور روز مبتنی بر استاندارد لیید (LEED 4.1)، از بین ۹۶ حالت موجود (۷۲ حالت بدون زاویه چرخش و ۲۴ حالت با زاویه چرخش) الگوی بهینه برای اقلیم مد



شکل ۷- الحاق قفسه نوری بهینه بر روی پنجره‌های ساختمان

Figure 7. Use of optimal light shelves on building windows

اهداف مشخص شده در فصل یک در طی مراحل این مطالعه محقق شده و سوال‌های مربوط به ارزیابی عملکرد کارایی ابعاد هندسی قفسه‌های نوری در ساختمان‌های مسکونی به شرح زیر پاسخ داده شد:

لازم به ذکر است که با به کارگیری قفسه‌های نوری با مشخصات این حالت، مقادیر شاخص‌های نور روز در ساختمان پایه بهبود می‌یابد. زیرا مقادیر شاخص‌های sDA و ASE در ساختمان پایه به ترتیب برابر با ۷۰ درصد و ۱۲ درصد است.

جدول ۵- نتایج پژوهش

Table 5. Conclusion

ابعاد بهینه قفسه‌های نوری داخلی و خارجی نسبت به پنجره‌ها برای دست‌یابی به حداکثر استفاده از نور روز (حداقل مصرف انرژی) چگونه است؟		زاویه چرخشی بیرونی قفسه نور نسبت به پنجره‌ها برای دست‌یابی به حداکثر استفاده از نور روز (حداقل مصرف انرژی) چگونه است؟	
sDA	ASE	sDA	ASE
افزایش	کاهش	افزایش	افزایش
با طول بیرونی ۱/۱۰ سانتی‌متر و طول درونی ۵۰ سانتی‌متر		بدون زاویه چرخش نسبت به پنجره	

نتایج محاسباتی آن مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج محاسبات هر بخش از برنامه با محاسبات دستی مسائل ساده، تمرینات حل شده در مراجع و نتایج حاصل از محاسبات با یک برنامه

اعتبارسنجی نرم افزاری تهیه شده در دو بخش مورد مطالعه قرار گرفت. در بخش نخست اطلاعات ورودی تهیه شده مورد بررسی قرار گرفت. در دومین بخش از اعتبارسنجی برنامه،

8. Berardi U, Anaraki HK. The benefits of light shelves over the daylight illuminance in office buildings in Toronto. *Indoor and Built Environment*. 2018 Feb; 27(2):244-62.
9. Kianpoor N, Bayati N, Yousefi M, Hajizadeh A, Soltani M. Net-Zero Energy Buildings: Modeling, Real-Time Operation, and Protection. *Food-Energy-Water Nexus Resilience and Sustainable Development*. 2020 Mar 28:141-79. (In Persian)
10. Nasiri, Bahareh Sadat, Mahmoudi Zarandi. Achieving the principles of designing high-performance optical racks in educational buildings. *Quarterly Journal of Environmental Science and Technology*. 2020 Apr 20; 22 (2): 359-69.
11. Yun GY, Hwang T, Kim JT. Performance prediction by modelling of a light-pipe system used under the climate conditions of Korea. *Indoor and Built Environment*. 2010 Feb; 19(1):137-44.
12. Reinhart CF, Weissman DA. The daylit area—Correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics. *Building and environment*. 2012 Apr 1; 50:155-64.
13. Yousefi M, Hajizadeh A, Soltani MN. A comparison study on stochastic modeling methods for home energy management systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2019 Apr 1; 15(8):4799-808. (In Persian)
14. Li D, Menassa CC, Kamat VR. Non-intrusive interpretation of human thermal comfort through analysis of facial infrared thermography. *Energy and Buildings*. 2018 Oct 1; 176:246-61.
15. Xue P, Mak CM, Cheung HD. The effects of daylighting and human behavior on luminous comfort in residential buildings: A questionnaire

اعتباربخشی شده مقایسه گردید. چنانچه از نرم‌افزارهای مشابه جهت شبیه‌سازی انرژی استفاده شود، نتایج به‌دست آمده مشابه نتایج حاصل پژوهش حاضر می‌باشد.

با توجه به الگوی بهینه به دست آمده در این پژوهش می‌توان گفت در اقلیم مورد بررسی جهت کاهش مصرف انرژی بهتر است از قفسه‌های نوری استفاده شود. از طرفی با علم به گسترده بودن ابعاد هندسی قفسه‌های نوری، پیشنهاد می‌شود از ابعاد بهینه به دست آمده استفاده شود.

References

1. Nasrollahi F. Climate and Energy Responsive Housing in Continental Climates: The Suitability of Passive Houses for Iran's Dry and Cold Climate. *Univerlag tuberlin*; 2009. (Persian)
2. Fazeli A, Heidari S. Optimization of energy consumption in residential areas of Tehran, using the rotterdam energy planning approach (REAP). *Energy Planning and Policy Research*. 2013; 1(3):83-96. (In Persian)
3. Hopkinson RG. Daylighting a hospital ward. *Archit. J*. 1952; 115:255-9.
4. Place W, Howard TC. Daylighting Multistory Office Buildings. 1990.
5. Abdulmohsen A, Boyer LL, Degelman LO. Evaluation of light shelf daylighting systems for office buildings in hot climates.
6. Littlefair PJ. Light shelves: computer assessment of daylighting performance. *International Journal of Lighting Research and Technology*. 1995 Jun; 27(2):79-91.
7. Soler A, Oteiza P. Dependence on solar elevation of the performance of a light shelf as a potential daylighting device. *Renewable energy*. 1996 May 1; 8(1-4):198-201. Berardi, U., & Anaraki, H. K. (2018). The benefits of light shelves over the daylight illuminance in office buildings in Toronto. *Indoor and Built Environment*, 27(2), 244-262.

- Environmental Science and Technology. 2020 Apr 20; 22(2):359-69. (In Persian)
19. Kurtay C, Esen O. A new method for light shelf design according to latitudes: CUN-OKAY light shelf curves. Journal of Building Engineering. 2017 Mar 1; 10:140-8.
 20. Typology 1394 Mahdavi Nejad, Mohammad Javad and Motazedian, Fahimeh (.) 1 (7, Armanshahr architecture and urban planning, types and technical characteristics of optical shelves, USGBC, L. (2012). V4 for building design and construction. 5th Public Comment Draft, 158. (In Persian)
 21. Council UG. LEED v4. 1-Interior Design and Construction survey. Building and Environment. 2014 Nov 1; 81:51-9.
 16. Mahdavi Nejad, M. J, Tahabaz, & Dolatabadi. (2016). Optimization of proportions and how to use the light rack in the architecture of educational classes. Journal of Fine Arts-Architecture and Urbanism, 21 (2), pp. 81-92. (In Persian)
 17. Freewan AA. Maximizing the lightshelf performance by interaction between lightshelf geometries and a curved ceiling. Energy Conversion and Management. 2010 Aug 1; 51(8):1600-4.
 18. Nasiri BS, Mahmoody Zarandi M. Achieving the Principles of High Performance of Light Shelves Design in Educational Buildings. Journal of