Karafan

Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University

Winter 2024, Vol. 20, No. 4, p. 279-296

Journal homepage: https://karafan.tvu.ac.ir/?lang=en

TVU

doi:10.48301/KSSA.2024.412349.2675

Comparative Evaluation of Ceiling Lighting Solutions to Improve Visual Comfort in Industrial Environments (Case Study: Industrial Unit in Kermanshah)

Parisa Masoudina[1], Maryam Azmoodeh[2*]

[1]Assistant Master of Architecture and Energy, Faculty of Architecture and Urbanism, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

[2]Assistant Professor and Faculty Member of the Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urbanism, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

ARTICLE INFO

Article type:
Original Research

Received: 08.21.2023
Revised: 01.01.2024
Accepted: 02.05.2024

Keyword:
Visual Comfort
Industrial Spaces
Annual Light Evaluation Index
Ceiling Lighting
Simulation

***Corresponding Author:**
Maryam Azmoodeh
Email: *azmoodeh@arc.ikiu.ac.ir*

ABSTRACT

Creating suitable environmental conditions for industrial spaces is very important due to the negative effects of lack of visual comfort on the productivity and performance of workers. The lack of light in such spaces reduces alertness and the level of performance of people. The purpose of this research was to provide suitable solutions to make more use of daylight and create visual comfort for workers in industrial space. In this research, field studies were carried out by measuring the illumination of the space with a lux meter device and then analyzing the illumination using the computer simulation method through the Honey Bee plugin. A case study was selected in the city of Kermanshah, and then by measuring the brightness of the desired points in the space using a lux meter device, the non-uniform distribution of light and the lack of light that caused the visual dissatisfaction of the users in the space were determined. To solve existing visual problems, different types of ceiling skylights were investigated and suitable solutions were presented. Finally, using the annual light indicators, the impact of these parameters was investigated to improve the visual comfort of the study sample environment. The results of the simulation show that due to the great depth of the space, the use of skylights in this space can help to distribute light evenly and improve visual comfort. Among the selected scenarios, the longitudinal skylight performed better than the other scenarios.

©2024 the authors. Published by Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commens Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

E-ISSN: 2538-4430
ISSN: 2382-9796

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Creating suitable environmental conditions for industrial spaces is very important due to the negative effects of lack of visual comfort on the productivity and performance of workers. The lack of light in such spaces reduces alertness and the level of performance of people. The purpose of this research was to provide suitable solutions to make more use of daylight and create visual comfort for workers in industrial space. This research was based on the general question of what factors affect visual comfort in industrial environments and how visual comfort in these environments can be improved. This study can contribute to creating a visually desirable workspace for users in industrial space. The goal of this article is to investigate the impact of physical parameters of the building skin, including types of ceiling lighting, on the visual comfort of users in the electrical cable production area in an industrial park in Kermanshah, with an average of 2870 hours of sunlight. Given that visual comfort in industrial spaces has not been thoroughly examined in Iran, this research can help create a visually pleasing environment for individuals working in such spaces. Additionally, by collecting data from users on-site through questionnaires, the level of user satisfaction with light distribution in industrial space was assessed. Furthermore, through modelling the industrial space environment using software such as Rhino and simulating it using the Honeybee plugin in Grasshopper, an analysis of the simulation results was conducted. This was followed by presenting solutions to improve the lighting conditions in industrial space.

Methodology

The purpose of this research was to provide suitable solutions to make more use of daylight and create visual comfort for workers in industrial space. In this research, field studies were carried out by measuring the illumination of the industrial space with a lux meter device and then analyzing the illumination using the computer simulation method through the Honey Bee plugin. A case study was selected in the city of Kermanshah, and then by measuring the brightness of the desired points in the space using a lux meter device, the non-uniform distribution of light and the lack of light that caused the visual dissatisfaction of the users in the space were determined. To solve existing visual problems, different types of ceiling skylights were investigated and suitable solutions were presented. Finally, using the annual light indicators, the impact of these parameters was investigated to improve the visual comfort of the study sample environment. In the present study, the factors influencing visual comfort in industrial environments were presented through literature reviews. Subsequently, a case study of an electrical cable production workshop in Kermanshah city was examined. Initially, field studies were conducted, including site visits, light measurements using a lux meter, and distribution of questionnaires among individuals to investigate the factors affecting visual comfort and user satisfaction with the environment's lighting. Then, the modelling of the case study was carried out in Rhino software. Following this, lighting simulations in the current state were performed using the Honeybee plugin in Grasshopper. The analysis of the simulation

results led to proposing strategies for improving visual comfort conditions, taking into consideration the physical parameters of the building skin, including ceiling lighting. Four types of ceiling lighting (longitudinal, transverse, pyramid, arched) were used in this research. After conducting simulations and analyzing the models, the best scenario for improving visual comfort for users, considering uniform light distribution and maximum daylight utilization, was presented using annual daylight metrics.

Results and discussion

Solution 1 (Longitudinal Lighting): The average values of the DA and sDA metrics increased by 34.78% and 36.77% respectively, compared to the existing state. The average value of UDIunderlit decreased by 19.42% compared to the existing state. The average value of UDIuseful increased by 18.73% compared to the base case. The average value of UDIoverlit increased by 0.65% compared to the base case.

Solution 2 (Transverse Lighting): The average values of DA and sDA metrics increased by 21.17% and 23.4% respectively, compared to the existing state. The average value of UDIunderlit decreased by 15.81% compared to the existing state. The average value of UDIuseful increased by 15.7% compared to the existing state. The average value of UDIoverlit decreased by 0.08% for the transverse lighting solution.

Solution 3 (Arched Lighting): The DA metric increased by 13.6% and the sDA metric increased by 17% when using this arched lighting solution compared to the existing state. The average value of UDIunderlit decreased by 17% compared to the existing state. UDIuseful increased by 13.17% compared to the existing state, and UDIoverlit increased by 2% compared to the existing state.

Solution 4 (Pyramid Lighting): In the fourth solution, the average value of the DA metric increased by 13.28% compared to the existing state. The sDA metric increased by 16.08%. The average value of UDIunderlit decreased by 15%. The average value of UDIuseful increased by 13.1%, and the average value of UDIoverlit increased by 2% compared to the existing state.

Conclusion

The results of the simulation show that due to the great depth of the space, the use of skylights in this space can help to distribute light evenly and improve visual comfort. Among the selected scenarios, the longitudinal skylight performed better than other scenarios, but due to economic issues, the implementation of the longitudinal skylight is expensive and difficult, and therefore the transverse skylight works better than the longitudinal skylight.

By comparing the four selected scenarios for ceiling lighting, longitudinal lighting presents the best option among the different types of lighting solutions. However, considering economic factors and the cost-intensive nature of implementing longitudinal skylights in the ceiling, their execution might pose challenges. In this study, one of the physical parameters of the shell that significantly contributed to improving visual comfort was addressed. Therefore, in future research, the focus could be extended to explore the impact of other parameters on enhancing the lighting quality in industrial spaces and their correlation with visual comfort indices.

کارفن
فصلنامه علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای
زمستان ۱۴۰۲، دوره ۲۰، شماره ٤، ۲۹۶-۲۷۹
آدرس نشریه: https://karafan.tvu.ac.ir/
doi:10.48301/KSSA.2024.412349.2675

ارزیابی مقایسه‌ای راهکارهای نورگیری از سقف برای بهبود آسایش بصری در محیط‌های صنعتی (مطالعهٔ موردی: واحد صنعتی در شهر کرمانشاه)[1]

پریسا مسعودی‌نیا[1]، مریم آزموده[2]*

۱- کارشناسی ارشد معماری و انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران.
۲- استادیار و عضو هیات علمی گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۳۰
بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۱۱
پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶

کلید واژگان:
آسایش بصری
فضاهای صنعتی
شاخص سالانهٔ ارزیابی نور
نورگیر سقفی
شبیه‌سازی

***نویسنده مسئول:** مریم آزموده
پست الکترونیکی:
azmoodeh@arc.ikiu.ac.ir

چکیده

ایجاد شرایط محیطی مناسب برای فضاهای صنعتی به‌دلیل اثرات منفی عدم آسایش بصری بر روی بهره‌وری و عملکرد کارگران از اهمیت زیادی برخوردار است. کمبود نور در چنین فضاهایی موجب کاهش هوشیاری و سطح عملکرد افراد می‌شود. هدف این پژوهش ارائه راهکارهای مناسب برای بهره‌گیری بیشتر از نور روز و ایجاد آسایش بصری برای کارگران در فضا است. در این پژوهش مطالعات میدانی از طریق اندازه‌گیری روشنایی فضا با دستگاه لوکس مترو در ادامهٔ تحلیل روشنایی از روش شبیه‌سازی رایانه‌ای از طریق افزونهٔ هانی‌بی انجام گرفت. مطالعهٔ موردی در شهر کرمانشاه انتخاب گردید و سپس با اندازه‌گیری روشنایی نقاط موردنظر در فضا به وسیلهٔ دستگاه لوکس متر، توزیع غیریکنواخت نور و کمبود نور که موجب نارضایتی بصری کاربران در فضا بود، مشخص گردید. در جهت رفع مشکلات بصری موجود، انواع نورگیر سقفی مورد بررسی قرار گرفت و راهکارهای مناسب ارائه گردید، در نهایت با استفاده از شاخص‌های سالانه نور به بررسی تأثیر این پارامترها برای بهبود آسایش بصری محیط نمونهٔ مطالعاتی پرداخته شد. نتایج شبیه‌سازی بیان می‌دارند که با توجه به عمق زیاد فضا استفاده از نورگیرسقفی در این فضا می‌تواند به توزیع یکنواخت نور و بهبود آسایش بصری کمک کند. در بین سناریوهای انتخابی نورگیر طولی نسبت به سایر سناریوها عملکرد بهتری دارد.

[1] مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول تحت عنوان "ارزیابی عوامل موثر بر بهبود آسایش بصری در محیط‌های صنعتی با تاکید بر تاثیر پارامترهای کالبدی پوسته (مطالعه موردی: واحدهای صنعتی شهرک صنعتی فرامان کرمانشاه)" در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی قزوین است.

شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰
شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

©2024 the authors. Published by Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commens Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

مقدمه

تحقیقات زیادی نقش حیاتی نور روز را در رفاه و آسایش بصری، احساسی و فیزیولوژیکی در محیط‌های کاری نشان داده است. ارائه نور روز مطلوب برای ساعات کاری طولانی در فضای کاری برای اطمینان از بهره‌وری، هوشیاری و تأثیرات مثبت بر سلامتی حائز اهمیت است. به طور معمول، ساختمان‌های صنعتی فرصت‌های بسیار خوبی برای دریافت نور روز را ارائه می‌دهند. این ساختمان‌ها معمولاً یک طبقه، با سقف‌های بلند هستند و موانع ساختمانی کمی دارند و امکان نورگیری از سقف برای آنها وجود دارد. استانداردهای فعلی برای روشنایی الکتریکی برای فعالیت‌های صنعتی بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ لوکس برای کار با کیفیت متوسط متغیر است [۱]. یکنواختی، توزیع روشنایی، رنگ نور و تابش خیره کننده از عواملی هستند که بر کیفیت نور تأثیر می گذارند [۲]. تاکنون شاخص‌های متعددی برای ارزیابی میزان نور و کیفیات آن برای بررسی‌های علمی معرفی شده‌اند. این شاخص‌ها به دو گروه ایستا و پویا تقسیم‌بندی می‌شوند. شاخص فاکتور نور (DF) روز یکی از شاخص‌های ایستا است و مقدار آن برابر با نسبت بین روشنایی در داخل فضا و در خارج از آن در محیط بدون مانع و در شرایط آسمان ابری است. شاخص‌های دینامیک با در نظر گرفتن پارامترهای طراحی، اقلیم و تغییرات وضعیت آسمان و به تبع آن تغییرات روشنایی بر اساس داده‌های هواشناسی، شرایط نوری فضا و آسایش بصری کاربران را در طول یک سال ارزیابی می‌کنند. شاخص روشنایی قابل استفاده نور روز (UDI) از جمله این شاخص‌هاست. این شاخص نسبتی از بازهٔ اشغال در زمان یک‌سال است که روشنایی افقی در یک نقطهٔ معین در محدوده مشخصی باشد [۳]. علاوه بر سنجه‌های مذکور، شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی خیرگی و عدم آسایش بصری نیز وجود دارد که مجدداً در گروه پویا و ایستا قابل تقسیم‌بندی است. شاخص احتمال خیرگی عدم آسایش (DGP) از جمله شاخص‌های ایستا برای تشخیص میزان آزاردهندگی خیرگی در یک لحظه مشخص و برای یک زاویه دید معین است. شاخص عدم آسایش بصری فضایی (SVD) یک شاخص پویا برای ارزیابی سالانه فضا از نظر خیرگی است و براساس DGP محاسبه می‌شود [۴].

در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی به کمک ارزیابی‌های میدانی و شبیه‌سازی رایانه‌ای به بررسی تأثیر پارامترهای کالبدی پوسته بر آسایش بصری پرداخته است. جوسلن و تنر[1] [۵] در مورد تأمین روشنایی مورد نیاز در یک کارخانه و این‌که کاربران چند بار از روشنایی اضافی استفاده می‌کنند، طبق نتایج دریافتند که محدوده‌ای از روشنایی اضافی به آنها کمک می‌کند عملکرد بهتری داشته باشند. کاربران به طور متوسط تنها در طول ۶.۵٪ از کل زمان کار از روشنایی اضافی استفاده کردند این روشنایی‌های افقی ترجیحی ارائه شده توسط لامپ‌ها از فردی به فرد دیگر با میانگین حدود ۶۰۰ لوکس متفاوت بود [۵]. کاتونسکای[2] و همکارانش [۶] پژوهشی را برای بررسی پتانسیل سیستم‌های روشنایی روز در ساختمان‌های صنعتی در اسلواکی انجام دادند. آنها مشاهده کردند که در طراحی ساختمان‌های صنعتی عمدتاً به نور روز توجه نمی‌شود و تعیین سطح روشنایی مورد نیاز در کارخانهٔ تولیدی امری دشوار است. بنابراین ضرورت وجود یک استاندارد و منابعی به عنوان راهنما برای این گونه از ساختمان را نشان می‌دهد [۶]. همان نویسندگان در پژوهش دیگری در سال۲۰۱۸ با هدف ایجاد شرایط بهینه برای روشنایی در یک محیط کاری با بررسی فواصل پنجره‌ها از هم و ارتفاع پنجره‌ها در سالن تولید تلاش کردند تا شرایط برای بهبود آسایش بصری به حداکثر برسد [۷]. در پژوهشی دیگر دالنیکاوا[3] و همکارانش [۸] به بررسی آسایش بصری در محیط‌های صنعتی بر اساس شرایط آسمان پرداختند و آسایش بصری با شرایط ترکیب نور روز و سیستم شیشه دارای شبکهٔ سیمی در شرایط آسمان صاف را بررسی کردند. در این تحقیق میزان خیرگی با شاخص (Guth VCP) که نشانی از درصد افرادی که در آن منطقه تابش خیره کنندهٔ لامپ را قابل

[1] Juslén & Tenner
[2] Katunský
[3] Dolnikova

قبول می‌دانند ارزیابی شد که برای آسمان صاف ٪۱۰-۷۰ و آسمان ابری ٪۹۵ است [۸]. ماوریدو و دولوس[1] [۹] در پژوهش خود تأثیر انواع سقف را بر سطوح نور روز شبیه‌سازی کرده و یک روش بهینه‌سازی برای یافتن فاصلهٔ بهینه بین دهانه‌های سقف پیشنهاد شده است. روش بهینه‌سازی مبتنی بر رویکرد چند پارامتری است که شامل سه نوع چیدمان سقف با ویژگی هندسی متفاوت است. فاصلهٔ بهینه بین دهانه‌های سقف از ۱۰ تا ۱۳ متر متغیر است [۹]. چن[2] و همکارانش [۱۰] مطالعه‌ای از عملکرد نور روز در یک ساختمان صنعتی بزرگ ارائه می‌کنند. تحلیل پتانسیل صرفه جویی در انرژی روشنایی مصنوعی ادغام شده با نور روز و تأثیر کاهش نور مصنوعی بر مصرف انرژی گرمایشی در این کار بررسی شده است [۱۰]. آکوستا[3] و همکارانش در پژوهشی در سال ۲۰۱۵ به بررسی نورگیر سقفی طولی پرداختند که با توجه به نتایج بالاترین میانگین فاکتور نور روز برای نسبت ارتفاع به عرض ۱/۱ بوده است [۱۱].گورلیچ [4] و همکارانش در پژوهشی به بررسی عملکرد یک سقف غشایی همراه با عایق حرارتی شفاف پرداختند طبق نتایج در مقایسه با یک نمای شیشه‌ای، ساخت سقف غشایی شفاف و عایق حرارتی اضافی کفایت نور روز (DA_{700}) از ٪۰ به ٪ ۱.۵ و (CDA_{700}) از ۱۵ به ۳۸ درصد افزایش یافت [۱۲].

جدول ۱.خلاصه پژوهش‌های پیشین (نویسندگان).

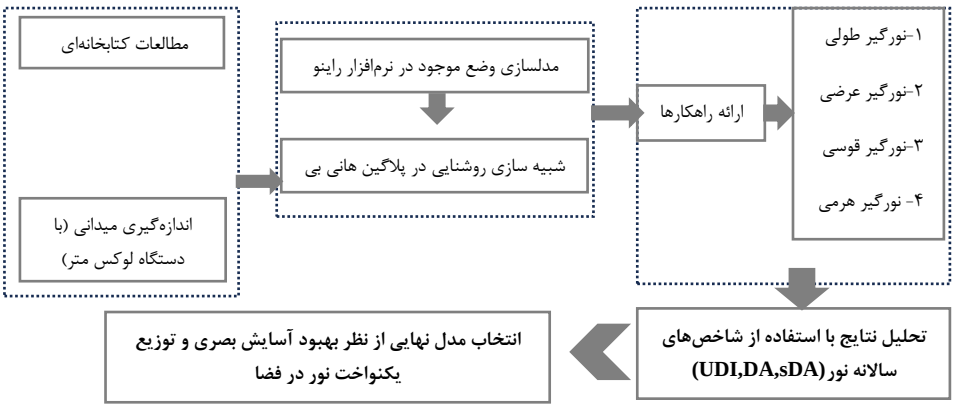
منبع	سال انجام پژوهش	مکان مورد بررسی	روش انجام تحقیق	پارامترهای بررسی شده در پژوهش	تعداد نمونه‌های بررسی‌شده	نام محقق
[۵]	۲۰۰۷	France	اندازه‌گیری میدانی، پرسش‌نامه	نور مصنوعی و نور روز	۶ نمونه	JUSLÉN and Tenner
[۶]	۲۰۱۷	Kosice, Slovakia	اندازه‌گیری میدانی، شبیه‌سازی با نرم‌افزار Radiance	ضخامت پنجره و نور روز	یک نمونه	Katunský et al.
[۷]	۲۰۱۸	Kosice, Slovakia	اندازه‌گیری میدانی وشبیه‌سازی با نرم‌افزار Radiance	اندازه و فواصل پنجره‌ها از یکدیگر	یک نمونه	Katunský et al.
[۸]	۲۰۲۲	Kosice, Slovakia	اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی با نرم‌افزار Radiance	نوع شیشه پنجره و متریال سطوح	یک نمونه	Dolnikova et al.
[۹]	۲۰۱۹	Greece	شبیه‌سازی با نرم‌افزار DIVA	ارتفاع و عرض نورگیر	سه نمونه	Mavridou and Doulos
[۱۰]	۲۰۱۴	China	اندازه‌گیری میدانی وشبیه‌سازی با نرم‌افزار Ecotect and Desktop Radiance	روشنایی مصنوعی،روشنایی طبیعی	یک نمونه	Chen et al.
[۱۱]	۲۰۱۵	Seville	شبیه‌سازی با نرم‌افزار Lightscape ۳.۲	روشنایی طبیعی	۳۶ نمونه	Acosta et al.
[۱۲]	۲۰۱۸	German	شبیه‌سازی با نرم‌افزار DIVA	روشنایی طبیعی	یک نمونه	Gürlich et al.

[1] Mavridou & Doulos
[2] Chen
[3] Acosta
[4] Gürlich

با توجه به این‌که پژوهش‌های پیشین در مورد روشنایی فضاهای صنعتی که با ارزیابی و مطالعات میدانی درشرایط آب و هوایی و موقعیت‌های جغرافیایی متفاوت و جامعهٔ آماری خاص، مورد بررسی قرار گرفته‌اند، ممکن است نتایج آنها با سایر اقلیم‌ها و شرایط متفاوت، مطابقت نداشته باشد. بنابراین لازم است شاخص‌های بصری طی بررسی‌های میدانی و شبیه‌سازی هر منطقه مورد بررسی قرار بگیرد. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر انواع نورگیر سقفی بر روی آسایش بصری کاربران در کارخانهٔ کابل برق در شهرک صنعتی در کرمانشاه با میانگین تعداد ساعات آفتابی ۲۸۷۰ ساعت است. با توجه به این‌که تاکنون مسئلهٔ آسایش بصری در فضاهای صنعتی در ایران مورد بررسی قرارنگرفته است. این پژوهش می‌تواند به ایجاد فضای مطلوب از نظر بصری برای کار کردن افراد حاضر در فضا کمک کند.

روش تحقیق

در فاز اول تحقیق، مطالعات میدانی به صورت بازدید واندازه‌گیری روشنایی محیط از طریق دستگاه لوکس متر صورت گرفته است. در فاز دوم تحقیق مدل‌سازی مورد مطالعاتی در نرم افزار راینو انجام شده است. سپس ارائه راهکارها به منظور بهبودی شرایط آسایش بصری و در نظر گرفتن پارامترهای کالبدی پوسته از جمله نورگیر سقفی انجام شد. در این پژوهش از ۴ نوع نورگیر سقفی (طولی، عرضی، هرمی، قوسی) استفاده شد. در ادامه شبیه‌سازی روشنایی توسط پلاگین هانی‌بی انجام می‌شود که پس از انجام شبیه‌سازی‌ها و تجزیه وتحلیل مدل‌ها به وسیلهٔ شاخص‌های سالانهٔ نور بهترین حالت با توجه به توزیع یکنواخت نور و حداکثر بهره از نور روز جهت بهبود آسایش بصری کاربران ارائه شد.



شکل ۱. چارت روند تحقیق (نویسندگان).

مورد مطالعه

مورد مطالعه در این پژوهش، شرکت کابل باختر واقع در اطراف شهر کرمانشاه است. از دلایل انتخاب این مورد می‌توان به داشتن نورگیر سقفی، بزرگی سالن اصلی، بالا بودن تعداد کارگران مشغول به کار در آن و دسترسی نویسندگان به ساختمان برای اندازه‌گیری اشاره کرد. هندسه و مشخصات این نمونه با بیشتر فضاهای صنعتی کشور مشابهت دارد. لذا نتایج این تحقیق می‌تواند در سایر نمونه‌ها نیز مورد توجه قرار گیرد. این سالن تولید از دو طرف توسط فضاهای اداری بسته و نورگیری آن از طریق پنجره‌هایی که در دو طرف دیگر این فضا قرار گرفته‌اند و نورگیر سقفی تأمین می‌شود. سالن تولید مورد نظر دارای نورگیری از سقف و نورگیری جانبی (دیواری) می‌باشد. مساحت سالن تولید ۷۶۵۳ مترمربع می‌باشد، درصد جداره شفاف به کدر یا WWR در آن ۳۵٪ است. نسبت جدارهٔ شفاف

به مساحت کف یا WFR در آن ۳.۵٪ است، ارتفاع کف پنجره‌ها ۳.۲۰متر و ارتفاع بالای پنجره‌ها ۰.۵ متر است. در اطراف سالن تولید مانع فضایی که موجب سایه‌اندازی و سد نمودن تابش خورشید شود، وجود ندارد. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است نورگیری از طریق سقف و پنجره‌های جانبی انجام می‌شود.۴ نورگیر به عرض ۱ مترو طول ۳۱متر با فاصلهٔ ۱۱.۵ متراز هم قرار گرفته‌اند.

شکل ۲. از راست به چپ: موقعیت مکانی سالن تولید در نقشهٔ هوایی، نورگیر سقفی سالن تولید، فضای داخلی نمونهٔ مطالعاتی (نویسندگان).

مطالعات میدانی

اندازه‌گیری‌ها و مطالعات میدانی در روزهای ۲۷،۲۸،۲۹ شهریور و از ساعت ۱۰ تا ۱۵ که تعداد بیشتری از کارگران در سالن حضور داشتند انجام گرفت. طبق مبحث ۱۹ ارتفاع سطح کار برای سنجش شدت نور ارتفاع ۸۵ سانتی‌متری از کف در نظر گرفته شده است و میزان روشنایی لحظه‌ای برای بازهٔ زمانی تعیین شده به‌صورت هر یک ساعت یک بار اندازه‌گیری شد برای هر ساعت روشنایی خارج هم اندازه‌گیری شد.

جدول ۱. جزییات نمونهٔ مطالعاتی بررسی شده (نویسندگان).

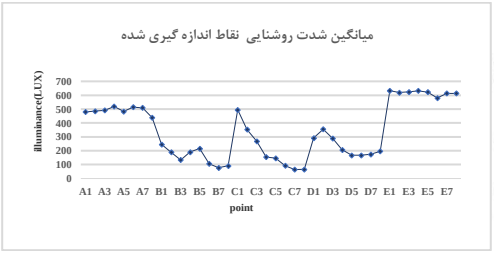
نمونهٔ مطالعاتی	سال ساخت	ساعات کاری	موقعیت پنجره‌ها	مصالح سطوح داخلی	جهت گیری ساختمان
کابل باخترکرمانشاه	۱۳۶۲	شبانه روزی	جبههٔ شرقی و غربی سالن تولید پنجرهٔ پیوسته به طول ۱۳۰متر، ارتفاع ۲.۱۰متر، OKB ۳.۲۰	۱- دیوار: سیمان ۲- سقف: پشم شیشه ۳- ستون: اهن ۴- کف: بتن	۳۰ درجه شمال شرقی -جنوب غربی)

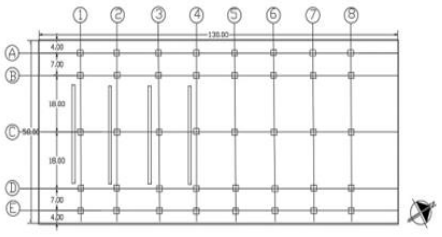
اندازه‌گیری نور این فضا با استفاده از دستگاه لوکس‌متر (BENETECH GM ۱۰۲۰) انجام می‌شود. برای اندازه‌گیری با دستگاه نورسنج آن را روی یک سطح ثابت بدون تغییر شرایط محیط اطراف و ایجاد سایه یا نیم سایه، دستگاه را روی سطح بدون زاویه قرار می‌دهیم. مشخصات دستگاه نورسنج مورد استفاده در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. مشخصات دستگاه نور سنج مورد استفاده (نویسندگان).

مدل دستگاه	BENETECH GM 1020	
بازهٔ اندازه‌گیری	Illuminance Measuring Range: Total measuring range: ۰-۲۰۰۰۰۰ Lux x۱: ۰-۱۹۹.۹ Lux – x۱۰: ۲۰۰-۱۹۹۹.۹ Lux – x۱۰۰: ۲۰۰۰-۱۹۹۹۹.۹ Lux – x۱۰۰۰: ۲۰۰۰۰-۲۰۰۰۰۰ Lux –	
دقت اندازه‌گیری	Illuminance accuracy: +-۳%rdg (below ۱۰۰۰۰ Lux); +-۴%rdg (above ۱۰۰۰۰ Lux)	
شرایط کارکرد	RH۹۰٪～۱۰، ℃۴۰～۰	

درابتدا مطالعات میدانی با توجه به شکل ۳ شدت روشنایی در ۴۰ نقطه از فضا از ساعت ۱۰-۱۵ اندازه‌گیری شده است. اندازه‌گیری در شرایط نور طبیعی و بدون روشن شدن لامپ‌ها انجام گرفت. شکل ۴ رابطهٔ فاصله از پنجره با میانگین شدت روشنایی نقاط اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد که با فاصله گرفتن از پنجره میانگین روشنایی دریافتی کاهش پیدا کرده است و برای نقاط مرکزی که نزدیک به نورگیر سقفی است افزایش یافته است.





شکل ۳. از راست به چپ: پلان شبکه‌بندی شدهٔ سالن تولید، میانگین شدت روشنایی نقاط اندازه‌گیری شده (نویسندگان).

بخش شبیه‌سازی

در این بخش از نسخهٔ ششم نرم‌افزار راینو[1] برای تهیهٔ مدل سه بعدی کارگاه تولیدی منتخب و نسخهٔ ۰.۰.۶۶ پلاگین هانی بی[2] برای گرسهاپر[3] که برای محاسبات از موتور رادیانس[4] ودی سیم[5] استفاده می‌کند، برای انجام ارزیابی‌های لحظه‌ای و سالانهٔ نور روز انتخاب گردید. برای شبیه‌سازی آسمان از اطلاعات آب و هوایی نزدیکترین ایستگاه هواشناسی موجود (فرودگاه شهید اشرفی اصفهانی کرمانشاه) استفاده شد. داده‌های روشنایی در شبکه‌بندی ۳۰*۳۰ در ارتفاع ۸۵ سانتی‌متری از کف محاسبه گردید. داده‌های ورودی به نرم افزار جهت انجام شبیه‌سازی و اعتبارسنجی در جدول ۳ آمده است.

[1] Rhinoceros 6
[2] Honeybee
[3] Grasshopper
[4] Radiance
[5] Daysim

جدول ۳. داده‌های ورودی به نرم‌افزار (نویسندگان).

داده‌های آب و هوایی	۴۷	Longtitude
	۳۴	Latitude
	Sunny with sun	Sky type
ضریب عبور نور روز شیشه	پنجرهٔ تک جداره	٪۷۶
	نورگیر سقفی	٪۴۰
ضریب بازتاب سطوح	دیوار	٪۲۱
	کف	٪۲۱
	سقف	٪۲۱
	آسفالت	٪۱۰
	ماشین و ابزارآلات	٪۳۵
	ستون و خرپاها	٪۳۵

متغیرهای تحقیق

در این پژوهش از شاخص‌های پویا که برای تعیین میزان نور روز کافی که وارد فضا می‌شود استفاده شد. دلیل استفاده از این شاخص‌ها این است که ارزیابی انجام گرفته توسط شاخص‌های استاتیک تنها برای یک برههٔ زمانی کوتاه بوده و محاسبات برای یک وضعیت ثابت انجام می‌گیرد. اما شاخص‌های دینامیک آسایش بصری کاربران را در طول یک سال ارزیابی می‌کنند و نتایج جامع‌تری را ارائه می‌دهند. تحلیل نور روز به صورت سالانه انجام گرفته است. شاخص‌های منتخب برای ارزیابی مقدار نور روز در جدول ۴ قابل مشاهده است. درشاخص UDI مقادیری به عنوان حد پایین و حد بالای روشنایی، محدودهٔ زمانی ارزیابی شده را به سه قسمت تقسیم می‌کند: مدت زمانی که روشنایی ناشی از نور روز بسیار کم (کمتر از ۳۰۰ لوکس) است (UDIunderlit) ، در محدوده (۳۰۰۰-۳۰۰ لوکس) مقدار مناسبی دارد (UDIuseful) یا در حالتی که روشنایی مفید نور روز بالاتر از۳۰۰۰ لوکس است (UDIoverlit) که منجر به عدم آسایش بصری می شود [۱۳]. حداقل روشنایی مفید نور روز برای این کارگاه با توجه به نوع کار ۵۰۰ لوکس می‌باشد. در نرم افزار هانی‌بی حداکثر روشنایی مفید نور روز ۲۰۰۰ لوکس را در نظر گرفته است که بیش از این مقدار موجب خیرگی می‌شود.

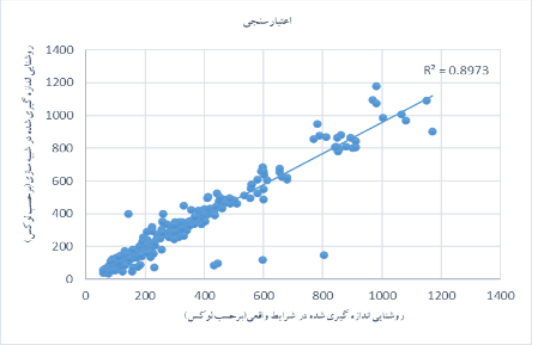
با توجه به موارد فوق شاخص‌های پویای ذکر شده در جدول ۴، متغیرهای وابسته و فرم نورگیرهای سقفی در قالب فرم‌های طولی، عرضی، قوسی و هرمی متغیرهای مستقل این پژوهش هستند.

جدول۴. شاخص‌های پویا در ارزیابی نور روز.

نوع	شاخص	تعریف
دینامیک	DA	درصدی از دورهٔ زمانی اشغال فضا در طول یک سال که در آن، مقدار روشنایی مورد نیاز در نقطه‌ای معین از فضا به تنهایی توسط روشنایی طبیعی قابل تأمین باشد.
	sDA	درصدی از نقاط سطح که روشنایی بیش از ۳۰۰ لوکس را در حداقل ۵۰ ٪از زمان اشغال از ساعت ۸ تا ۱۸ دریافت می‌کنند و حداقل مقدار قابل قبول برای آن برابر با ۵۵ ٪ است.
	UDI	عبارت است از نسبتی از دورهٔ اشغال در طول یک سال که روشنایی افقی در یک نقطه مشخص، در محدودهٔ معینی باشد.

اعتبار سنجی نرم‌افزار

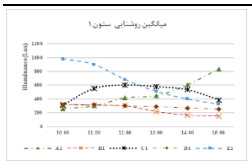
در شبیه‌سازی لحظه‌ای شرایط نوری کارگاه به وسیلهٔ نرم افزار هانی‌بی، با در نظر گرفتن زاویهٔ خورشید طبق تاریخ و ساعات مشخص شد و شرایط آسمان مشابه شرایط واقعی در نظر گرفته شد برای اطمینان از درست بودن نتایج ۴۰ نقطه از فضا که در شرایط واقعی اندازه‌گیری شده بود، با شبیه‌سازی لحظه‌ای مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این مقایسه در نمودار ۱ نشان داده شده است. میزان همبستگی بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری واقعی ۸۹.۷۳ ٪ بوده است.

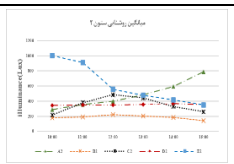
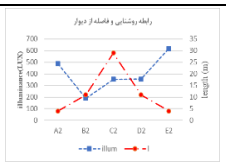


نمودار ۱. مقدار همبستگی میان روشنایی اندازه‌گیری شده در شرایط واقعی و شبیه‌سازی (نویسندگان).

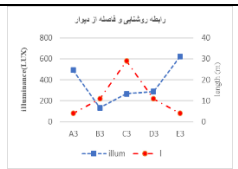
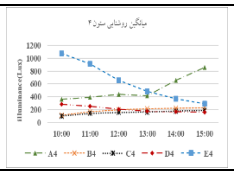
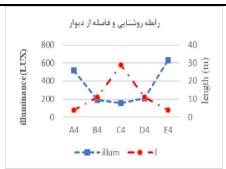
یافته‌ها

خروجی‌های شبیه‌سازی در قالب نمودار ۲ قابل مشاهده است. با توجه به نمودار ۲ با فاصله گرفتن از نورگیرهای سقفی میانگین شدت نوری که به این نقاط می‌رسد کمتر شد . نقاطی که نزدیک به دیوارهای خارجی پنجره‌ها که در ستون A,E هستند میزان میانگین روشنایی بیشتری (بیش از ۵۰۰ لوکس) را به خود اختصاص داده‌اند. نقاط میانی فضا به دلیل فاصله از پنجره و عواملی مثل سایه‌اندازی دستگاه‌های موجود درفضا و انعکاس سطوح میزان کمتری ازلوکس را به خود اختصاص داده‌اند. شدت روشنایی نقاط ستون A که در قسمت نزدیک پنجره قرارگرفته‌اند میزان لوکس بیشتری (۱۰۰۰-۲۰۰ لوکس) را دارند. نقاط ستونB که از نورگیر سقفی فاصله دارند شدت روشنایی کمتر از۱۰۰لوکس را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به نمودار تعداد بیشتری از نقاط ستون C از طریق نور سقفی نور بیشتری را دریافت می‌کنند و این مقدار بیش از ۳۰۰ لوکس بود. شدت روشنایی نقاط ستون D که از نورگیر سقفی فاصله دارند با گذشت زمان در طول روز رو به کاهش است ومقدار به ۱۰۰لوکس می‌رسد. شدت روشنایی نقاط ستون E نزدیک پنجره در جبههٔ شمال شرقی قرار گرفته‌اند با گذشت زمان در طول روز شدت روشنایی این نقاط رو به کاهش است و به ۲۰۰ لوکس کاهش می‌یابد.

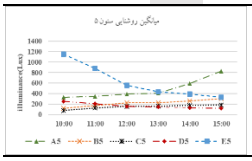
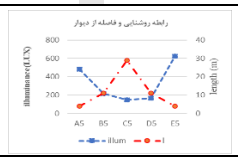


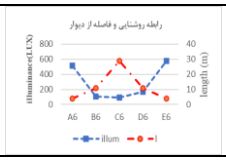



ردیف: A1, B1, C1, D1, E1 ردیف: A2, B2, C2, D2, E2

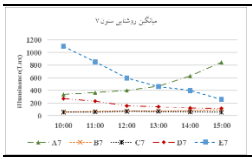
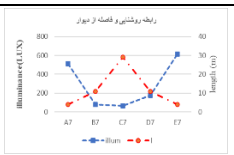




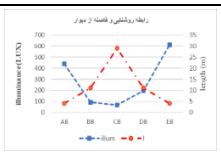
ردیف: A3, B3, C3, D3, E3 ردیف: A4, B4, C4, D4, E4



ردیف: A5, B5, C5, D5, E5 ردیف: A6, B6, C6, D6, E6

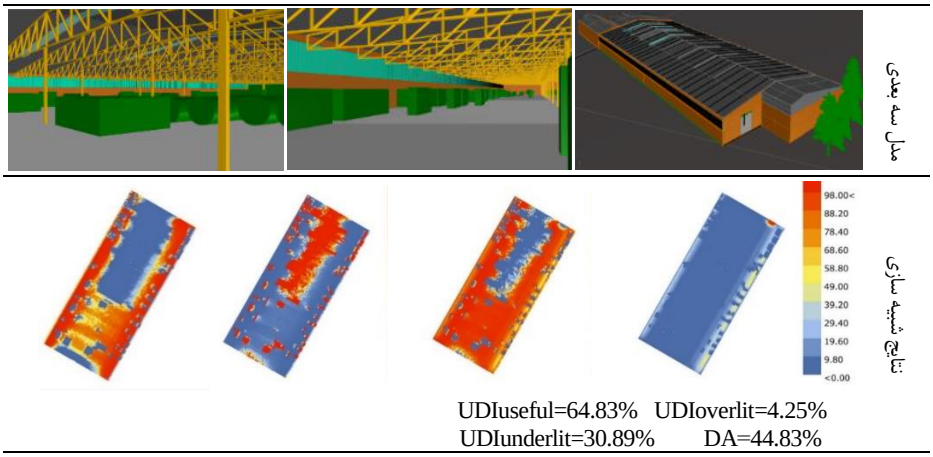





ردیف: A7, B7, C7, D7, E7 ردیف: A8, B8, C8, D8, E8

نمودار ۱. رابطهٔ میزان روشنایی با فاصله از پنجره (نویسندگان).

پس از انجام مدل‌سازی و شبیه‌سازی روشنایی، شبیه‌سازی‌ها در حالت وضع موجود و تغییر متغیرهای مختلف، یافته‌های پژوهش به صورت زیر حاصل شد (شکل ۴). با توجه به نتایج شبیه‌سازی شاخص (UDIunderlit) بخش‌های ابتدایی و میانی که از نورگیرهای سقفی و پنجره‌های جانبی نور دریافت نمی‌کنند، درصد کمتری از سال روشنایی کمتر از ۱۰۰ لوکس را دریافت می‌کنند. با توجه به طور میانگین ۳۰.۸۹ درصد از سال را فضا روشنایی کمتر از ۱۰۰ لوکس را دریافت می‌کنند. با توجه به نتایج (UDIuseful) در حالت وضع موجود قسمت‌هایی که مجاور پنجره هستند و بخش‌های میانی از فضا که از نورگیر سقفی استفاده می‌کنند درصد بیشتری از سال بین محدودهٔ ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس را دریافت می‌کنند. به طور میانگین فضا ۶۴.۸۳ درصد از سال را روشنایی بین ۱۰۰تا۲۰۰۰ لوکس را دریافت می‌کند. در نتایج شاخص (UDIoverlit) در بخش‌هایی که نزدیک پنجره هستند و نقاطی از فضا که از نورگیر سقفی نور دریافت می‌کنند درصد بیشتری از سال را روشنایی بالای ۲۰۰۰ لوکس دریافت می‌کنند. این کارگاه به طور میانگین ۴.۲۵ درصد از سال روشنایی بالای ۲۰۰۰ لوکس را دریافت می‌کند. با توجه به این‌که sDA، درصدی از نقاط سطح که روشنایی بیش از ۳۰۰ لوکس را در حداقل ۵۰ ٪ از زمان اشغال را دریافت می‌کنند، طبق همین ضابطه فضای کارگاه در شرایط نوری مناسبی نیست واین مقدار برابر با ۴۹.۱۸ است که از مقدار حد مجاز که ۵۵ درصد است کمتر می‌باشد. شاخص دینامیک DA که کفایت نور روز در فضای داخلی را نشان می‌دهد با توجه نتایج شبیه‌سازی میانگین مقدار آن ۴۴.۸۳ درصد می‌باشد. که با توجه به نمودار ۳۴ تنها در بخشی از قسمت‌های میانی و نزدیک پنجره دارای درصد قابل قبولی از نظرتأمین نور می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴. نمودارزبالا به پایین مدل سه بعدی کارگاه از دید پرنده، فضای داخلی کارگاه DA، (UDIunderlit)، (UDIuseful)،(UDIoverlit)، در شرایط وضع موجود (نویسندگان).

مساحت روزنه‌های سقفی معمولاً ۵ الی ۱۰ درصد مساحت سقف در نظر گرفته می‌شود. اگر در طراحی ساختمان ازپنجرهٔ دیواری استفاده شود، روزنه‌های سقفی می‌توانند فاصلهٔ بیشتری از دیوارهای جانبی بگیرند [۱۴]. نورگیرهای عرضی در حالت وضع موجود به عرض ۱ متر با طول ۳۱ متر در فواصل ۱۱.۵ متری از هم قرارگرفته‌اند. نورگیرهای بخش‌های میانی و ابتدای سالن تولید به دلیل کدر شدن بیش از حد نور را از خود عبور نمی‌دهند. در این بخش از شبیه‌سازی نورگیر از جنس ورق پلی کربنات قرار گرفته‌اند به نورگیرهای موجود در سقف اضافه شده‌اند. که در جدول ۵ مشخصات ورودی به نرم‌افزار هانی‌بی آورده شده است.

جدول ۵. مشخصات ورق پلی کربنات وارد شده در نرم‌افزار (نویسندگان).

تعریف	Cr,Cb,Cg	۰.۲
Diffuse Reflectance (Cr) Color (black = min ۰, white = max ۱)	Rs	۰.۰۶
Diffuse Reflectance (Cg) Color (black = min ۰, white = max ۱)	Sr	۰
Diffuse Reflectance (Cb) Color (black = min ۰, white = max ۱)	Td	۰.۲۵
Reflected Specularity (Rs) Matte = min ۰, Satin = suggested max ۰.۰۷	Ts	۰
Surface Roughness (Sr) Polished = ۰, Low gloss = suggested max ۰.۰۲		
Diffuse Transmission (Td) Opaque = ۰, Transparent = ۱		
Specular Transmission (Ts) Diffuse = ۰, Clear = ۱		

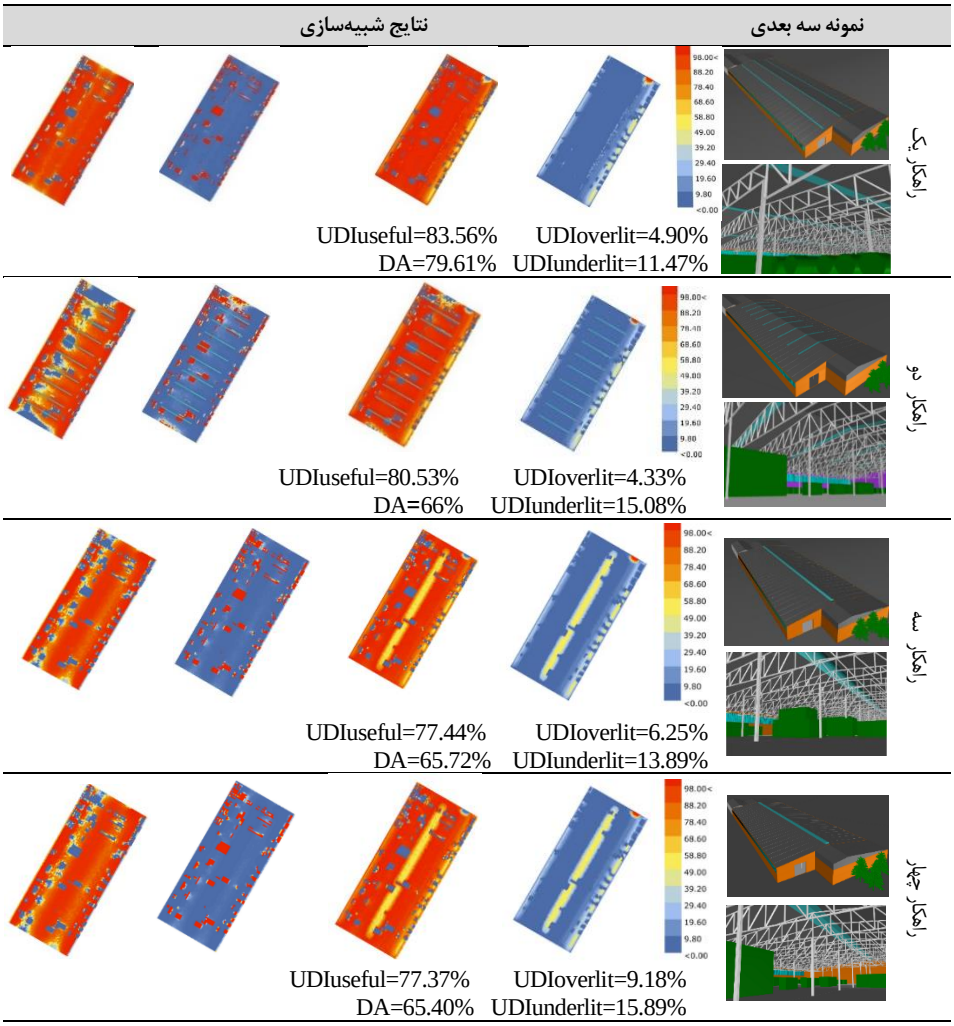
بحث

در این پژوهش ۴ راهکار ارائه شد. طبق شکل ۵ در راهکار یک نورگیرها به صورت طولی با عرض ۱متر و طول ۱۲۶متر در امتداد سقف قرار گرفته‌اند. در راهکار سه نورگیرقوسی به صورت طولی در مرکز فضا با عرض۱.۵ متر و طول ۱۲۶ متر وارتفاع ۰.۵ متر و از جنس ورق پلی کربنات می‌باشد. در راهکار چهارم نوع هرمی نورگیر با طول ۱۲۶ متر و عرض ۱.۵ متر و ارتفاع ۰.۵ متر بررسی شد، پس از مدل‌سازی نتایج شبیه‌سازی به صورت جدول ۶ می‌باشد.

جدول ۶. خلاصه نتایج شبیه‌سازی راهکارها (نویسندگان).

شاخص	مدل مرجع	راهکار ۱	راهکار ۲	راهکار ۳	راهکار ۴	تغییرات (٪)	
sDA(٪)	۴۹.۱۸	۸۵.۹۵	۷۲.۵۸	۶۹.۶۸	۶۹.۶۸	۱	۳۶.۷۸+
						۲	۲۳.۴+
						۳	۱۷+
						۴	۱۶.۰۸+
DA(٪)	۴۴.۸۳	۷۹.۶۱	۶۶	۶۵.۷۲	۶۵.۴۰	۱	۳۴.۷۸+
						۲	۲۱.۱۷+
						۳	۱۳.۶+
						۴	۱۳.۲۸+
$UDI_{underlit}$(٪)	۳۰.۸۹	۱۱.۴۷	۱۵.۰۸	۱۳.۸۹	۱۵.۸۹	۱	۱۹.۴۲-
						۲	۱۵.۸۱-
						۳	۱۷-
						۴	۱۵-
UDI_{useful}(٪)	۶۴.۸۳	۸۳.۵۶	۸۰.۵۳	۷۷.۴۴	۷۷.۳۷	۱	۱۸.۷۳+
						۲	۱۵.۷+
						۳	۱۳.۱۷+
						۴	۱۳.۱+
$UDI_{overlit}$(٪)	۴.۲۵	۴.۹۰	۴.۲۳	۶.۲۵	۹.۱۸	۱	۰۶۵+
						۲	۰.۰۸-
						۳	۲+
						۴	۴.۹۳+

در راهکار اول میانگین مقدار شاخص DA ۷۹.۶۱ درصد است که نسبت به وضع موجود ۳۴.۷۸ درصد افزایش پیدا کرده است. در راهکار دو نورگیرهای عرضی مدنظر قرارگرفته‌اند. نورگیرهای بخش‌های میانی و ابتدای سالن تولید به دلیل کدر شدن بیش از حد نور را از خود عبور نمی‌دهند. در این بخش از شبیه‌سازی ۵ نورگیر با فواصل ۱۱.۵ متری به نورگیرهای موجود در سقف اضافه شده‌اند. پس از انجام شبیه‌سازی میانگین شاخص DA ۶۶ درصد است. در راهکار سه نورگیرقوسی برای شاخص (DA) در حالت استفاده از این نورگیر برابر با ۶۵.۷۲ درصد می‌باشد که در مقایسه با حالت وضع موجود ۱۳.۶درصد افزایش یافته است. در راهکار چهارم نوع هرمی مقدار میانگین شاخص DA ۶۵.۴۰ درصد می‌باشدکه نسبت به وضع موجود ۱۳.۲۸ درصد افزایش یافته است. مقدار میانگین شاخص UDIoverlit ۹.۱۸ درصد است که نسبت به حالت وضع موجود مقدار آن ۲ درصد افزایش داشته است (شکل۵).



شکل ۴. نمودار از راست به چپ، مدل سه بعدی کارگاه از دید پرنده، فضای داخلی کارگاه، DA، (UDIunderlit)، (UDIuseful)، (UDIoverlit)، شرایط راهکارها (نویسندگان).

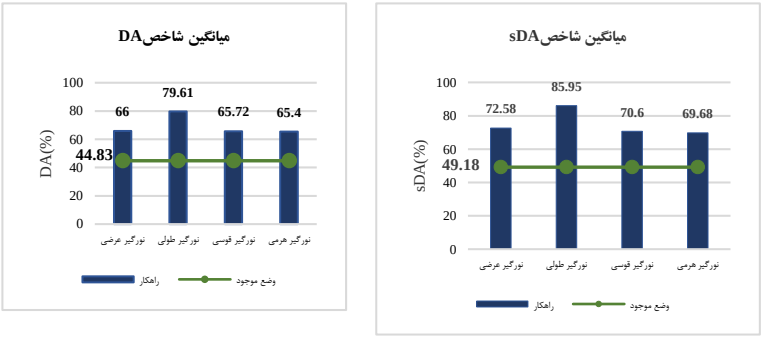
یافته‌های حاصل از این پژوهش قابل مقایسه با پژوهش‌های مشابهی هستند که در حوزه‌های مختلف به انجام رسیده‌اند. به‌عنوان مثال در پژوهشی در سال ۲۰۱۹، ارزیابی انواع سقف در مورد نور روز در ساختمان‌های صنعتی به انجام رسید. در این پژوهش ۳ سقف با مشخصات هندسی متفاوت بررسی شده است. اگرچه در این پژوهش نهایتاً نورگیر دندانه دار به‌عنوان بهترین گزینه معرفی شده است ولی اعداد مربوط به کفایت نور روز نورگیرهای طولی، مشابه مقاله حاضر است. کفایت نور روز در این مقاله برای نورگیر طولی ۸۳ است که با عدد ۸۵.۹۵ در این پژوهش فاصلهٔ کمی دارد. تفاوت اقلیم مورد بررسی در مقالهٔ مذکور که شهر آتن است و تفاوت جزیی اختلاف ارتفاع نورگیرها از جمله دلایل احتمالی اختلاف یاد شده است [۹]. در پژوهش دیگری در سال ۲۰۲۱، سه نوع نورگیر سقفیِ طولی با هم مقایسه شدند.

اگرچه شاخص مورد بررسی در این تحقیق، فاکتور نور روز بود، اما کارآیی مشابهی از نورگیرهای مشابه حاصل شد. براساس این پژوهش نورگیرهای طولی که در طرفین سقف قرار می‌گیرند کارآیی بالاتری دارند [۱۵].

نتیجه‌گیری

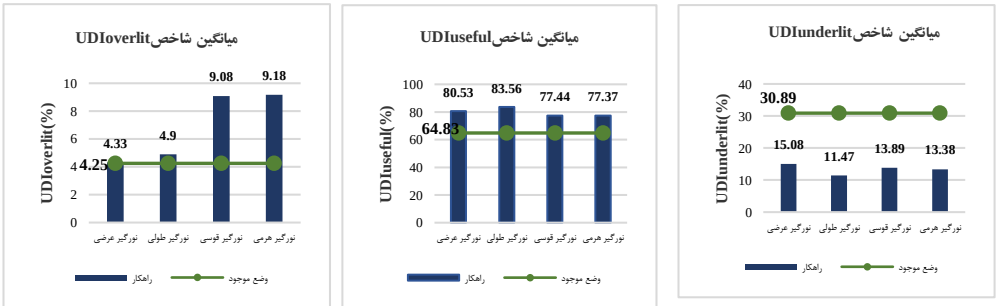
این پژوهش به منظور بررسی شرایط آسایش بصری در محیط‌های صنعتی و ارتقای شرایط روشنایی با بهره‌گیری از انواع نورگیر سقفی در یک کارخانه در شهر کرمانشاه انجام شد. در ابتدا تأثیر نورگیرهای سقفی در این فضا از لحاظ توزیع نور بررسی شد و سپس با مقایسهٔ ۴ حالت مختلف از این نورگیرها عملکرد آنها در هر نوع مورد توجه قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که با توجه به عمق زیاد فضا استفاده از نورگیرسقفی در این فضا می‌تواند به توزیع یکنواخت نور و بهبود آسایش بصری کمک کند.

علاوه برآن، شکل ۵ نشان می‌دهد که از بین سناریوهای انتخاب شده برای نورگیر سقفی، نورگیر طولی بهترین حالت را نسبت به دیگر انواع نورگیر دارد. نورگیر طولی شاخص DA را ۳۴.۷۸ درصد افزایش و شاخص یکنواختی فضایی نور روز (sDA) را ۳۶.۷۷ درصد افزایش داده است.



شکل ۵. نمودار مقایسه شاخص‌ها در راهکارها (نویسندگان).

شاخص UDIuseful در نورگیر طولی به مقدار ۱۸.۷۳ درصد افزایش پیدا کرده است و میزان UDIunderlit در نورگیر طولی ۱۹.۴۲ درصد کاهش داشته است که نشان دهندهٔ این است درصد زمانی که روشنایی کمتر از حد مجاز است در این سناریو کاهش پیدا کرده است. شاخص UDIoverlit که مقدار آن نشان دهندهٔ عدم آسایش بصری در فضا است که در نورگیر طولی به مقدار ۰.۶۵ درصد افزایش پیدا کرده است که مقدار ناچیزی است (شکل۶).



شکل ۶. نمودار مقایسه شاخص‌ها در راهکارها (نویسندگان).

در پایان لازم به ذکر است در کنار مسائل مربوط به تأمین روشنایی از طریق نورگیرهای سقفی، توجه به ضعف حرارتی این نورگیرها، امری ضروری است. پیشنهاد می‌شود با توجه به این که رفتار حرارتی این نوع از نورگیرها در پژوهش‌های دیگری بررسی شده است برای پژوهش‌های آتی رفتار سیستم‌های جدیدتر مانند لوله‌های نوری و سامانه‌های دندانه‌ای با انواع متداول مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد.

References

[1] Pham, K-M., Garcia Hansen, V., & Isoardi, G. (2016). Appraisal of the visual environment in an industrial factory: a case study in subtropical climates. *Journal of Daylighting*, *3*(2), 12-26. https://doi.org/10.15627/jd.2016.4

[2] Kralikova, R., Piňosová, M., & Hricová, B. (2016). Lighting quality and its effects on productivity and human healts. *International Journal Of Interdisciplinarity In Theory And Practice*, *10*, 8-12. https://www.researchgate.net/publication/308032041_Lighting_Quality_and_its_Effects_on_Productivity_and_Human_Healts

[3] Shafavi Moqaddam, N., Tahsildoust, M., & Zomorrodiyan, Z. (2022). Evaluating the Effectiveness of Daylight Performance Metrics in Predicting Visual Comfort Case Study: Educational Architecture Design Studios in Tehran. *Journal of Iranian Architecture Studies*, *8*(16), 205-228. https://doi.org/10.22052/1.16.205

[4] Shafavi Moghaddam, N., Zomorodian, Z. S., & Tahsildoost, M. (2019). Ability of daylight Indicators in estimating adequate lighting in space based on user assessments Case study: Architecture design studios in Tehran. *Soffeh*, *29*(3), 37-56. https://doi.org/10.29252/soffeh.29.3.37

[5] Juslen, H., & Tenner, A. (2007). The Use of Task Lighting in an Industrial Work Area Provided with Daylight. *Journal of Light & Visual Environment*, *31*(1), 25-31. https://doi.org/10.2150/jlve.31.25

[6] Katunský, D., Dolníková, E., & Doroudiani, S. (2017). Integrated Lighting Efficiency Analysis in Large Industrial Buildings to Enhance Indoor Environmental Quality. *Buildings*, *7*(2), 47. https://doi.org/10.3390/buildings7020047

[7] Katunský, D., Dolníková, E., & Dolník, B. (2018). Daytime Lighting Assessment in Textile Factories Using Connected Windows in Slovakia: A Case Study. *Sustainability*, *10*(3), 655. https://doi.org/10.3390/su10030655

[8] Dolnikova, E., Katunsky, D., & Lopusniak, M. (2022, June 6-8). *Evaluation of daylight comfort in industrial building.* Materials Science and Engineering 2022, Košice, Slovakia. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1252/1/012031

[9] Mavridou, T., & Doulos, L. T. (2019). Evaluation of Different Roof Types Concerning Daylight in Industrial Buildings during the Initial Design Phase: Methodology and Case Study. *Buildings*, *9*(7), 170. https://doi.org/10.3390/buildings9070170

[10] Chen, Y., Liu, J., Pei, J., Cao, X., Chen, Q., & Jiang, Y. (2014). Experimental and simulation study on the performance of daylighting in an industrial building and its energy saving potential. *Energy and Buildings*, *73*, 184-191. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.01.030

[11] Acosta, I., Navarro, J., & Sendra, J. J. (2015). Towards an analysis of the performance of monitor skylights under overcast sky conditions. *Energy and Buildings*, *88*, 248-261. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.011

[12] Gürlich, D., Reber, A., Biesinger, A., & Eicker, U. (2018). Daylight Performance of a Translucent Textile Membrane Roof with Thermal Insulation. *Buildings*, *8*(9), 118. https://doi.org/10.3390/buildings8090118

[13] Mardaljevic, J., Andersen, M., Roy, N., & Christoffersen, J. (2012). *Daylighting, Artificial Lighting and Non-Visual Effects Study for a Residential Building*. Loughborough United kingdom. https://infoscience.epfl.ch/record/181055?v=pdf

[14] Qiyabaklo, Z. (2013). *Basics of building physics 5: daylight*. Academic Jihad of Amir Kabir University of Technology. https://www.gisoom.com/book/1981205

[15] Mandala, A., Sutanto, E. H., & Santoso, A. R. (2021). The effectiveness of dayligting through the toplighting design in large-volume building models. *Jurnal Teknik Arsitektur*, *6*(2), 223-234. https://doi.org/10.30822/arteks.v6i2.698