



ORIGINAL RESEARCH PAPER

A comparative study of the kinetic movement pattern of a triangular geometric facade regarding natural lighting in an office building in Tehran *

Fataneh Sangtarash ^{1,} , Niloufar Nikghadam ^{2,**} , Rima Fayaz ^{3,} , Mohammad Reza Matini ^{4,}

¹ Ph.D. in Architecture, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

² Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

³ Professor, Architectural Technology Department, Faculty of Architecture and Urban Planning, Tehran University of Art, Tehran, Iran.

⁴ Associate Professor, Architectural Technology Department, Faculty of Architecture and Urban Planning, Tehran University of Art, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received	2022/07/07
Revised	2022/11/19
Accepted	2023/02/09
Available Online	2023/12/27

Keywords:

Kinetic Pattern
Dynamic Daylight
Kinetic Facade
Office Building
Simulation

Use your device to scan
and read the article online



Number of References

54



Number of Figures

8



Number of Tables

6

© 2023, JIAU. All rights reserved.

Extended ABSTRACT

BACKGROUND AND OBJECTIVES: Since the reception of natural lighting in different places is different regarding the sun path and the different sky conditions during the day, season, and year, employing a kinetic facade allows for the adjustment and enhancement of interior natural lighting levels. The geometric pattern and the movement pattern are critical issues in the design of kinetic facades. One of the strategies use in this facade is the control of light entering the space. Another advantage of their efficacy in enhancing the quality of daylight is the improvement in visual quality, particularly in office and public areas. Hence, this present study explores natural lighting by employing two kinetic facades. These facades feature a comparable triangular geometric model but differ in their non-symmetrical folding and rotating kinetic design on the south wall of an office building in Tehran. Consequently, the dissimilarities in kinetic models are compared based on the utilization of natural lighting, and their similarities are identified and analyzed to determine the most suitable option.

METHODS: To assess natural lighting, the quantitative method and simulation tools utilized were Grasshopper and Honeybee Plus plugin version 06, along with Ladybug lbt version 1.5.0. Subsequently, the simulation results were scrutinized employing the comparative study method. Initially, the simulation involves defining the geometry of a room with specific dimensions: a width of 4 meters, a length of 6 meters, and a height of 3 meters, resulting in a total area of 24 square meters, intended for four employees. The simulated model is located in Tehran, with no shading obstacles. The facades will open and close with the position of the sun and the perpendicular vector on the triangular geometric model. The simulation is run for three days of the year: the 21st of March (spring equinox), the 21st of June (summer solstice), and the 21st of December (winter solstice) (due to the similarity of the autumn equinox with the spring equinox, the latter is not considered) and working hour is from 8 a.m. to 4 p.m.

FINDINGS: When comparing the facades, it is observed that the folding kinetic model presents a potential issue of glare and visual discomfort in the space during the months of June, March, and April. This concern is particularly notable at 12 noon in both June and March, coinciding with low light conditions in the space. However, the facade with a rotating kinetic model is only faced with the issue of insufficient light in the space. In order to address these issues, various parameters have been modified. To enhance UDI (Useful Daylight Illuminance) indices with a rotational kinetic model, adjustments were made to ASE (Annual Sunlight Exposure), sDA (Spatial Daylight Autonomy), and UDI indicators with a folding motion model. Variable parameters included alterations in facade size, modifications to the visual transmission coefficient of glass, adjustments to the reflection coefficient of interior walls (ceiling and wall), and changes in the angle or degree of openness for these indicators.

CONCLUSION: In conclusion, it can be said that a kinetic facade with a triangular geometric pattern and asynchronous motion patterns exhibit different performances in

<https://dx.doi.org/10.30475/isau.2023.360937.1976>

OPEN ACCESS

* This article is derived from the first author's doctoral thesis entitled "The explanation of the Geometric and movement pattern of the Kinetic facade for optimal response to natural light Case study: Office building in "hot and dry" climate of Tehran", supervised by the second and third authors and advised by the fourth, at Islamic Azad University, South Tehran Branch.

** Corresponding Author:

Email: n_nikghadam@azad.ac.ir

Phone: +98(912)1054122

Extended ABSTRACT

response to natural lighting, considering daylight performance indicators. The facade with a rotating pattern demonstrates a notable impact on the UDI (Useful Daylight Illuminance) daylight indicator, and this effect can be mitigated by adjusting the angle. However, in the kinetic facade, the fluctuation of ASE (Annual Sunlight Exposure) and UDI (Useful Daylight Illuminance) indicators is less influenced. This is attributed not only to the shifting position of the sun in relation to the facade but also to the simultaneous necessity of altering both the extent of the facade opening and the reflection coefficient of the window and glass. The response of both facades, influenced by the variable parameters, places greater emphasis on the degree of facade opening and its correlation with the sun's position, rather than on the reflection coefficient of the surfaces and the visual transmission coefficient of the glass. Finally, the rotational motion pattern performs better in response to natural lighting.

HIGHLIGHTS:

- Explain the kinetic facade and its effect on natural lighting.
- The effect of the kinematic and geometric model of the kinetic facade on the natural lighting in the office building in Tehran.
- The effect of optical and thermal properties on natural lighting analysis.

ACKNOWLEDGMENTS:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

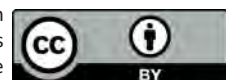
CONFLICT OF INTEREST:

The authors declared no conflicts of interest.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Journal of Iranian Architecture & Urbanism (JIAU). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**HOW TO CITE THIS ARTICLE**

Sangtarash, F.; Nikghadam, N.; Fayaz, R.; Matini, M.R., (2023). A comparative study of the kinetic movement pattern of a triangular geometric facade regarding natural lighting in an office building in Tehran. *Journal of Iranian Architecture & Urbanism.*, 14(2): 159-175.



<https://dx.doi.org/10.30475/isau.2023.360937.1976>



https://www.isau.ir/article_185113.html



مطالعه تطبیقی الگوی حرکتی نماهای کینتیک با الگوی هندسی مثلثی با توجه به دریافت روشنایی

طبیعی در ساختمان اداری در شهر تهران*

فتانه سنگتراش^۱، نیلوفر نیک‌قدم^{۲*}، ریما فیاض^۳، محمدرضا متینی^۴

۱. دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲. دانشیار، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳. استاد، گروه فناوری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران.

۴. دانشیار، گروه فناوری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران.

چکیده

مشخصات مقاله

از آنجایی که دریافت روشنایی طبیعی در مکان‌های مختلف با توجه به مسیر حرکت خورشید و شرایط مختلف آسمان در طول روز، فصل و سال متمایز است، می‌توان با استفاده از نمای کینتیک میزان روشنایی طبیعی در فضای داخل را متعادل و بهینه کرد. از این رو پژوهش حاضر بهره‌گیری از روشنایی طبیعی را با استفاده از دو نمای کینتیک با الگوی هندسی مثلثی همسان و الگوهای حرکتی تاشو و چرخش ناهمسان در جداره جنوبی یک ساختمان اداری در تهران بررسی می‌کند. با ارزیابی شاخص روشنایی در دو نمای کینتیک می‌توان دریافت که الگوی حرکتی نما چه تأثیری در روشنایی یک فضای اداری دارد. به منظور ارزیابی دریافت نور روز، شاخص‌های نور روز پویا و دو الگوی حرکتی نمای کینتیک با استفاده از روش کمی و ابزار شبیه‌سازی گرسه‌پا و پلاگین هانیبی پلاس نسخه ۰۶ و لیدی باگ البیتی نسخه ۱،۵،۰ مورد سنجش قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی با استفاده از روش مطالعه تطبیقی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. در این پژوهش ابتدا به معرفی نمای کینتیک و ساختارهای حرکتی نما، سپس شاخص‌های روشنایی نور روز و مقدار روشنایی مورد نیاز یک فضای اداری پرداخته شده است. با توجه به داده‌های موجود دو نمای برگرفته از برج البحر با الگوی حرکتی تاشو و دیوار کاپرا با الگوی حرکتی چرخشی مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است. در نهایت نتایج شبیه‌سازی مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفته و متناسب با داده‌ها پارامترهای متغیر برای بهبود وضعیت روشنایی در نظر گرفته شده است. در مقایسه نتایج نما، الگوی حرکتی تاشو مشخص شد که در هر سه ماه تیر، فروردین و دی احتمال خیرگی و عدم آسایش بصری در فضا ایجاد شده است همچنین در ساعت ۱۲ ظهر ماه‌های تیر و فروردین با نور کم در فضا مواجه است. اما نما با الگوی حرکتی چرخشی فقط با مسئله نور کم در فضا مواجه است. که این مقادیر در هر دو نما با تغییر پارامترها برطرف شده است. در نتیجه پارامترهای متغیر در درجه اول تغییر زاویه نما یا میزان گشودگی آن با عملکرد نما با موقعیت خورشید از اهمیت بیشتری نسبت به ضریب انعکاس سطوح و انتقال بصری شیشه برخوردار هستند، در نهایت الگوی حرکتی چرخشی نسبت به الگوی حرکتی تاشو در پاسخگویی به روشنایی طبیعی عملکرد بهتری دارد.

تاریخ ارسال	۱۴۰۱/۰۴/۱۶
تاریخ بازنگری	۱۴۰۱/۰۸/۲۸
تاریخ پذیرش	۱۴۰۱/۱۱/۲۰
تاریخ انتشار آنلاین	۱۴۰۲/۱۰/۰۶

واژگان کلیدی

الگوی حرکتی
نور روز پویا
نمای کینتیک
ساختمان اداری
شبیه‌سازی

نکات شاخص

- تبیین نمای کینتیک و تأثیر آن بر روشنایی طبیعی.
- تأثیر الگوی حرکتی و هندسی نمای کینتیک بر روشنایی طبیعی در ساختمان اداری تهران.
- تأثیر خواص نوری و حرارتی بر آنالیز روشنایی طبیعی.

نحوه ارجاع به مقاله

سنگتراش، فتانه؛ نیک‌قدم، نیلوفر؛ فیاض، ریما و متینی، محمدرضا. (۱۴۰۲). مطالعه تطبیقی الگوی حرکتی نماهای کینتیک با الگوی هندسی مثلثی با توجه به دریافت روشنایی طبیعی در ساختمان اداری در شهر تهران، نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران، ۱۴(۲)، ۱۷۵-۱۵۹.

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده نخست با عنوان «تبیین الگوی هندسی و حرکتی نمای کینتیک برای پاسخگویی بهینه به روشنایی طبیعی، نمونه موردی: ساختمان اداری در اقلیم گرم و خشک تهران» می‌باشد که به راهنمایی نویسنده دوم و سوم و مشاوره نویسنده چهارم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب انجام گرفته است.

* نویسنده مسئول

تلفن: ۰۰۹۸۹۱۲۱۰۵۴۱۲۲

پست الکترونیک: n_nikghadam@azad.ac.ir

مقدمه

طبیعی با استفاده از دو نمای کینتیک با الگوی هندسی مثلثی همسان و الگوهای حرکتی تاشو و چرخش ناهمسان در جداره جنوبی یک ساختمان اداری در تهران است. به گونه‌ای که الگوهای حرکتی ناهمسان با توجه به بهره‌گیری روشنایی طبیعی با هم مقایسه و شباهت‌های آن مورد شناسایی و تحلیل قرار می‌گیرد تا بتوان پاسخ مناسب را دریافت. با توجه به هدف سوالات زیر مطرح می‌شود:

الگوهای حرکتی در نمای کینتیک چه تاثیری در بهره‌گیری از روشنایی طبیعی در یک ساختمان اداری در تهران دارد؟ کدام یک از الگوهای حرکتی پاسخگویی بیشتری به میزان دریافت روشنایی طبیعی در یک ساختمان اداری در تهران دارد؟ پارامترهای متغیر تا چه میزان بر شاخص‌های نور روز پویا تاثیر می‌گذارد؟

پیشینه تحقیق

باتوجه به مرور ادبیات موضوع در پیشینه مورد پژوهش کتب و مقالات متعددی در ایران پیرامون مبحث نمای کینتیک انجام نشده است و بیشتر منابع در خارج از ایران صورت گرفته است. اصطلاح کینتیک صفتی است که به هر محصولی که با حرکت تولید می‌شود، اشاره دارد. واژه معماری اسمی است که به طراحی، سبک ساختمان اشاره دارد (Hornby, 2010). زمانی که این دو واژه با هم ترکیب شوند، واژه معماری کینتیک به طراحی ساختمان‌هایی اشاره دارد که با حرکت تولید می‌شود. وانگ (Wang, 2012) اصطلاح «کینتیک سازگار» را «پوششی با تمایل به خود سازگاری با روش بازگشت پذیری، افزایشی و سیار» تعریف کرد. متحرک‌سازی کل یک ساختمان و هر یک از اجزای آن با توجه به شرایط محیطی در حال تغییر، امروزه از موضوعات بسیار پر اهمیت در حوزه فناوری است. ساختمان‌های ساکن و ایستا نمی‌توانند پاسخگوی شرایط متغیر باشند (Loonen, 2013). ساختمان‌های متحرک دارای قابلیت تغییر و تطبیق با شرایط محیطی هستند و به کاربران این فرصت را می‌دهند که از تغییر شرایط محیط پیرامون خود به طور بهینه بهره‌برند (Bastanfard, Hedayat Nazari & Bani Ansari, 2012).

در پژوهشی از بن بچها و بوربیا (Ben bacha & Bourbia, 2016) اثر و عملکرد نماهای هوشمند در زمینه آسایش حرارتی داخلی و بازده انرژی بررسی و ارزیابی شد. مطالعه موردی ساختمان اداری مرجع با نمای پنجره نمای شیشه‌ای ثابت در منطقه خشک آب و هوای خشک در الجزایر، به ویژه شهر بیسکرا اعمال شده است. نتایج بدست آمده از شبیه سازی، با استفاده از نرم‌افزار جی اکو و گرسه‌پار نشان داد که نمای جنبشی مجهز به ماژول‌های فتوولتائیک به شدت تحت تاثیر سطح بر دمای هوای داخلی، سطح آسایش حرارتی و بصری قرار گرفته‌اند. در پژوهشی دیگر از کنسک و هانسانوات (Kensek & Hansanuwat, 2011) ذکر کردند که هدف اصلی پوسته ساختمان

از نظر زیست محیطی، نمای ساختمان می‌تواند نقش عمده‌ای در کاهش مصرف انرژی و دستیابی به فضاهای راحت در محیط داخلی را برای ساکنان فراهم آورد. نمای کینتیک وضعیت و ساختار بنا را با شرایط متغیر خارجی وفق می‌دهد، بدین معنا که با کنترل و تنظیم شرایط محیطی فضای داخلی در جهت پاسخگویی به شرایط نامعین خارجی، تغییر حالت یافته از وضعیتی به وضعیت دیگر در می‌آید تا از این طریق همواره شرایط آسایش را در فضای داخلی تامین کند. یکی از راهبردهای این نما کنترل نور ورودی به فضای داخلی است. از دیگر مزایا تاثیر آن‌ها در افزایش کیفیت نور روز، بهبود کیفیت دید، به خصوص در فضاهای اداری و عمومی است. تحقیقات نشان داده است که شرایط نوری یک محیط می‌تواند بر آسایش بصری، رضایت، آسایش حرارتی، سلامت، خلق و خو، انگیزه، عملکرد و بهره‌وری ساکنان تاثیر بگذارد.

شرایط نوری ضعیف که با مقررات ضروری مطابقت نداشته باشد، نیازهای روشنایی فعالیت‌های مختلف را تأمین نمی‌کند و لامپ‌های روشنایی ناکافی منجر به نور نامناسب در فضاهای کاری می‌شود (Katabaro & Yonghong, 2019: 1-12). همچنین، نور ناکافی باعث خستگی جسمی و ذهنی، کاهش سطح تمرکز (Pauley, 2004: 588) کاهش سرزندگی، خواب آلودگی در ساعات روز، افزایش تصادفات، ناراحتی و نارضایتی از کار می‌شود (Jusl'en & Tenner, 2005: 843). افرادی که در محیط‌های اداری تاریک و شلوغ کار می‌کنند ممکن است رضایت شغلی کمتری نشان دهند (Oldham & Rotchford, 1983: 542). رضایت از روشنایی، تهویه و حریم خصوصی بر رضایت از محیط محل کار تاثیر می‌گذارد و به نوبه خود به طور متوسط با رضایت شغلی مرتبط است. رضایت از شرایط نوری مربوط به سطح روشنایی روی میز، میزان نور منعکس شده روی صفحه کامپیوتر، سطح روشنایی برای مطالعات کامپیوتری، دسترسی به نمای بیرونی و کیفیت کلی نور در محیط کار است (Veitch, Farley, & Newsham, 2002). استانداردهای اروپایی (BS EN-12464-1, 2021) حداقل نیازهای روشنایی یک منطقه کاری واقعی را به جای کل اتاق برجسته می‌کند. طبق استاندارد برای یک محل کار اداری معمولی به روشنایی ۵۰۰ لوکس نیاز است. همچنین مطابق مبحث ۱۳ مقررات ملی ساختمان ایران (National Building Regulations Office, 2017) میزان روشنایی برای دفتر کار معمولی ۵۰۰ لوکس در نظر گرفته شده است. در پژوهش دیگر شدت روشنایی مطلوب در فضاهای اداری ۶۰۰ تا ۶۵۰ لوکس است و شدت روشنایی بین ۶۰۰ تا ۵۵۰ لوکس نیز شرایط آسایش را فراهم می‌کند. شدت روشنایی کمتر از ۵۵۰ لوکس برای کاربران مطلوب نیست. هدف از این پژوهش بهره‌گیری از روشنایی



شانگهای شبیه سازی شده است. طبق نتایج نماهای تطبیقی طول، عرض و ارتفاع اتاق نسبت به جهت قرارگیری و زاویه آن تاثیر بیشتری بر میزان خیرگی و نور روز پویا دارد. رسولی و همکاران (Rasouli, Shah- (bazi & Matini, 2018) در پژوهشی عملکرد سالیانه نماهای دوپوسته برای یک اتاق اداری در تهران را با حضور سایه اندازهای کرکره‌ای افقی و قائم ثابت و متحرک بررسی کردند. حجم در نرم افزار رابنو و مدل پارامتریک سایه اندازها در پلاگین گرسه‌پایر ایجاد شد. طبق نتایج سایه اندازهای متحرک بهینه‌تر از حالت ثابت خود و سایه انداز کرکره افقی متحرک نیز بهینه‌ترین گزینه است. رستم‌زاده و همکاران (Rostamzadeh et al., 2021) در پژوهشی بهره‌وری روشنایی یک پوسته متحرک با طرح اسلیمی مورد بررسی قرار دادند. الگوی هندسی شش ضلعی‌های این طرح به عنوان بازشو در نظر گرفته شده‌اند و حرکت آن‌ها وابسته به موقعیت خورشید می‌باشد. نتایج تحلیل‌های روشنایی سالانه نشان داد که اعمال پوسته متحرک، نقش قابل توجهی در افزایش بهره‌وری روشنایی دارد و با معیارهای آسایش بصری سیستم ارزشیابی لیید مطابقت می‌کند و در اغلب ساعاتی که آنالیز خیرگی صورت گرفته، میزان خیرگی در حد نامحسوس است. در پژوهش دیگری (Mohaghegh et al., 2021) با ایجاد چند الگوی اوریگامی مبتنی بر الگوهای هندسی اسلامی و تطبیق آن‌ها با نور روز در ایام مختلف سال، الگوی هندسه‌ی بهینه و زاویه‌ی محرک مناسب اوریگامی استخراج شود. یافته‌های این پژوهش چند محور اصلی را شامل می‌شود. نخست آنکه هندسه‌ی نقوش اسلامی، قابلیت بازتولید توسط الگوهای پارامتریک را دارا هستند. دیگر آنکه این نقوش می‌توانند به ساختارهای سه بعدی تاشونده تبدیل شوند. همچنین مدل هندسی مبتنی بر زاویه‌ی مولد ۷۲ درجه، بهترین عملکرد را در خصوص دریافت نور روز داراست.

مبانی نظری

الگوی هندسی و ساختار حرکتی نمای کینتیک

الگوی هندسی و الگوی حرکتی یکی از مسائل مهم در طراحی نمای کینتیک است. الگوی هندسی و حرکتی در باز شناخت نحوه باز و بسته شدن نما، کنترل کننده، مصالح و پایداری سازه نقش موثری دارد. تحرک در نما (یا مدول‌های آن)، مستلزم قابلیت هندسی اجزای آن در حفظ ساختار و پیوستگی خود، در تغییر شکل است (Sharaidin, 2014). طراحی یک نمای متحرک برخلاف نمای ایستا نیازمند یک فرآیند طراحی تعاملی از طریق انتخاب هندسه و تحلیل حرکت آن، ساخت مدل دیجیتال و فیزیکی تا انتخاب طراحی اتصالات و مصالح مورد نیاز با در نظر گرفتن مکانیسم حرکت است. با توجه به اینکه محققان بسیاری در ایران (Ros- Mohaghegh et al., 2021; Moloney, 2011; tamzadeh et al., 2021) و جهان (Korkmaz, 2004; Elghazi, Wagdy & Abdalwahab,

محافظت از ساکنان در مقابل محیط خارج است و نشان دادند یک سامانه جنبشی می‌تواند بار حرارتی خورشیدی، تهویه مطبوع، تهویه و تولید انرژی را برای نماهای خارجی معمولی در ساختمان‌های اداری بهبود بخشد و می‌تواند به روش ساده و کارآمد عمل کند. احمد بها الدبعه (Ahmed Bahaa El-Dabaa, 2016) در پژوهشی به بررسی اثر پیکربندی لوورها برای دستیابی به یک نقطه تعادل بین سطح روشنایی کافی و یکنواختی نور در فضا، برای تعیین الگوی ساعتی بهینه برای حرکت لوورها پرداختند. اوئاناس و همکاران (Wanas et al., 2015) مطالعه ارزیابی تاثیر پیکربندی دریچه‌ها بر دستیابی به یک نقطه تعادل بین سطح روشنایی کافی و یکنواختی نور در فضای انتخاب شده پرداختند. همچنین هدف را تعیین الگوی بهینه ساعتی برای این حرکت تعیین کردند. شبیه‌سازی بر روی یک مدل از فضای کاری در اقلیم گرم و خشک قاهره، مصر انجام شد. در پژوهشی از حسینی و همکاران (Hosseini, Mohammadi & Hosseini, 2019) به مطالعه نمای تعاملی برای کنترل نور روز فضای داخلی و خیرگی با استفاده از روش شبیه‌سازی پرداخته‌اند. نمونه شبیه‌سازی شده در اقلیم گرم و خشک قرار دارد و نما با الگوی مربع و سایبان سه بعدی در اطراف مطابق با حرکت خورشید و محل قرارگیری ساکنان باز و بسته می‌شود. نتایج نشان داد که این نما خیرگی محسوس و نامحسوس دارد. حسینی و همکاران (Hosseini, Hosseini & HeiraniPour, 2020) در پژوهشی به بررسی فرم‌های هندسی الگوهای اورووسی برای بهبود راحتی بصری و نور روز داخلی پرداخته است. از طریق روش میدانی و شبیه‌سازی ۱۲ ساختمان با نمای جنوبی و غربی را در اقلیم گرم خشک یزد، کاشان، اصفهان و شیراز مورد سنجش قرار داده است. طبق نتایج ۶ الگوهای هندسی اسلامی مشخص شده است که الگوی ستاره ۸ نقطه‌ای با ضخامت نما ۵، ۱۵ و ۱۰ سانتی‌متر بر میزان کنترل روشنایی نور روز به فضای داخلی در ضلع جنوبی نما تاثیر دارد. ولی تبار و همکاران (Valitabar & GhaffarianHoseini, 2022) به مطالعه سیستم‌های سایه‌زنی نما در یک ساختمان اداری پیش فرض در تهران پرداخته‌اند، که نما با توجه به دریافت نور روز و خیرگی در سه حال باز و بسته می‌شود. در این پژوهش از نرم افزارهای هانیبی پلاس، لیدی باگ استفاده شده است. نتایج نشان داد که این نما تا ۴۴ درصد به نور روز پاسخگو است. در پژوهشی از لی و همکاران (Li et al., 2022) تاثیر عوامل مختلف نمای تطبیقی بر نور داخلی یک ساختمان اداری پیش فرض را با استفاده از نرم افزار لیدی باگ و هانی بی سنجیده، سپس برای بهینه سازی چند هدفه از پلاگین والاسی ایکس^۱ و ماشین یادگیری اکس جی بوست^۲ برای تغییرات محیطی نور استفاده شده است. نما با سه الگوی هندسی مثلث، مستطیل و شش ضلعی و الگوی حرکتی افقی و عمودی با اندازه و زاویه‌ی متفاوت در آب و هوای



اما به طور مستقل و با توجه به شرایط کل بزرگتر عمل می‌کند. در یک مطالعه تحلیلی از پتانسیل‌های طراحی در معماری جنبشی، طبقه‌بندی کاملی از ساختارهای پویا ارائه می‌دهد از جمله: ساختمان‌های فرم نرم (ظرفیت جنبشی از طریق غشاهای کشیده یا ساختارهای پنوماتیک شبکه کابل) و ساختمان‌های فرم صلب (ظرفیت جنبشی از طریق قابلیت توسعه، تاشو، انبساط یا چرخش و کشویی با مواد سفت و سخت و اتصالات مشترک) (Korkmaz, 2004). در سال ۲۰۱۱ طبقه‌بندی سامانه‌های جنبشی در معماری با توجه به تغییر هندسی سامانه معرفی شد (Moloney, 2011). در سال ۲۰۱۴، مولفه‌های معماری متحرک واقعی را طبقه‌بندی کرد: ساختار، ارتباطات، عملگرها، مواد و سامانه‌های کنترل (Elkhatay, 2014).

(ب) شیوه کنترل تغییرات: اهمیت شیوه کنترل تغییرات فقط محدود به توانایی حس تغییر در محیط نیست بلکه به توانایی کنترل برای پاسخ به تغییر نیز بستگی دارد. محاسبات نهان ترکیبی از پردازنده‌های محاسباتی و اطلاعات مانند حسگر، دوربین و میکروفن‌های محاسباتی است. گرایش‌های محاسبات تعبیه‌شده، سطح مکانیزم کنترل ماشین‌ها و انواع کنترل‌کننده‌های فضا در جدول ۱ نشان داده شده است.

از الگوهای هندسی و حرکتی متنوعی استفاده کرده‌اند الگوی هندسی در حد الگوی مثلثی محدود شده است و تمرکز این مقاله بر روی الگوی حرکتی قرار گرفته است. برای رسیدن به طراحی کینتیک هوشمند در معماری، برخی اصول مکانیکی و فنی باید ذکر و توضیح داده شوند. این اصول به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند که عبارتند از: جنبه‌های ساخت و مصالح، شیوه کنترل تغییرات و الگوی حرکتی.

(الف) جنبه‌های ساخت و مصالح: در ساخت سامانه‌های کینتیک، برای بهترین راه حل ساختاری، روش‌ها (لغزشی، گسترشی، تاشو تغییر شکل در ابعاد و اندازه)، ابزارها (پنوماتیک، مغناطیسی، شیمیایی، طبیعی و مکانی) و مواد (سرامیک، پلیمر و ژل، مواد نانو و ترکیبات فلزی و کامپوزیت) به شدت مورد توجه قرار دارند. ساختارهای کینتیک از نظر فاکس (Fox, 2009) به سه دسته: تعبیه شده، قابل گسترش و ساختار حرکتی پویا تقسیم می‌شوند. ساختار حرکتی تعبیه شده: سامانه‌هایی که به عنوان یک کل در مجموعه‌ای بزرگتر در یک مکان ثابت قرار گرفته‌اند. قابل گسترش: ساختارها حرکتی قابل گسترش به طور معمول در مکان موقتی قرار دارند و به راحتی قابل حمل هستند. ساختار حرکتی پویا: ساختار جنبشی پویا در یک کل بزرگتر وجود دارد.

Table 1. Controllers in kinetic facade

Embedded Computation	Description
Trends in Embedded Computation	Active Control Research: Active control is the most applied research in the design of intelligent systems, which focuses on structural behaviors dependent on variable demand. Changes in buildings may include: wind load, seismic conditions, light, temperature and live mechanical load. Active control systems are defined as structures that are influenced by an active external force to change the response (Fox, 2009).
	Adaptive control: Adaptive control system is a computer-controlled automation whereby an architectural control system is programmed by observing user needs and changing environmental conditions. These systems have the ability to learn (Fox, 2009).
	Home automation systems: There are systems that focus on changes in human action, adaptation to the way of using the architectural space and response to their behaviors. Home automation systems have become affordable enough to reach a mainstream audience (Mohamed Abd El-Hady Fouad, 2012).
The level of the control mechanism of machines	Singly variable-man control: Single-variable individual control was the first instance of human development and instrument expansion (Zuk, 1970). This group of machines was designed to perform a repetitive operation. Acceleration and slowdown, which also controlled the start and stop of these machines by humans.
	Multivariable-man control: This group of machines is more developed than univariate control and has the ability to perform multiple tasks simultaneously, but are still controlled by humans.
	Multivariable automatic control: These machines are different from full control or multivariable control. sensors are essential in this category of machines, they help in identifying tangible and intangible factors of these machines such as: speed, acceleration, light, heat, pressure, sound, weight, voltage, magnetism, length and size (Moloney, 2011).
Types of space controllers	Multivariable heuristic control: This group of machines is not only multivariate and automatic, but also has the exploratory ability to learn. These types of machines are known as robot machines (Zuk, 1970).
	Internal Control: Systems such as the ability to rotate and slide motion and the ability to move according to their structure are considered internal control that includes mechanical movement along the construction path. Such systems do not include any type of control device or mechanism (Moutiris, 2011).
	Direct Control: In this type of control, the change of information directly becomes the result. Direct control involves exchanging information that is usually in "on" or "off" mode.
	In-Direct Control: This type of change control includes a decision-making level embedded in the system itself. In indirect control systems, there is a sensor to detect change and then send messages to the control device, which transmits an on/off operating order to an energy source to stimulate movement (Fox & p.yeh, 2012).
	Responsive In-Direct Control: The control device receives input information from multiple sensors and then makes an optimal decision to send to the energy source to stimulate movement for a single object (Fox & p.yeh, 2012).
	Ubiquitous Responsive In-Direct Control: This system depends on a large number of sensors and motors (actuators) that act as a whole network for mobility.
	Heuristic Responsive In-Direct Control: Such a system can use the information gathered to respond accurately to changing weather patterns while learning, the most effective response for individual parts of the system it is made up of (Mohamed Abd El-Hady Fouad, 2012).



و تاشو طبقه‌بندی می‌شود. بسته به طراحی مکانیزم، انواع مختلفی از حرکت می‌تواند در همان ساختار ساخته شود. برای مثال، یک نوع تاشدن نهایی با اتصال دو عضو ساختاری به گونه‌ای شکل می‌گیرد، که دو عضو سازه‌ای از یک طرف به طرف دیگر حرکت می‌کنند و انتهای حاصل از عناصر به شکل قیچی محدود می‌شوند (Başar, 2014). در همین حال، مواد و عناصری که این جنبش از آن به دست می‌آید به یکدیگر مرتبط هستند. برای طبقه‌بندی عمومی، مواد مورد استفاده می‌توانند به عنوان عناصر صلب و تغییر شکل پذیر طبقه‌بندی شوند و عناصر کینتیک نیز می‌توانند به عنوان عناصر سطحی و حجمی طبقه‌بندی شوند (Schu-macher M. S., 2010). شوماخر و همکاران (Schu-macher et al., 2019) ساختار حرکتی کینتیک را به دو گونه‌بندی تغییر مکان جزئی و تغییر مکان کلی تقسیم‌بندی کردند. هرتزوگ و همکاران (Herzog, Krippner & Lang, 2017)، ساختار حرکتی نما و پنجره را به تخت عمودی، زاویه‌دار، مسطح عمودی و افقی، منحنی افقی، منحنی عمودی و ترکیبی از افقی و عمودی تقسیم کرده‌اند.

ج) الگوی حرکتی نمای کینتیک: در سال ۱۹۷۰، در یکی از اولین کتاب‌هایی که جنبش در معماری معرفی و طبقه‌بندی شد، زوک توضیح دادند که «هیچ چیز دائمی نیست، طراحی یک فرآیند مستمر است که بعد از برپایی ساختمان ادامه خواهد داشت» شکل معماری می‌تواند ذاتاً تغییر شکل، تغییر مکان، قابل ارتقا یا قابلیت حرکت جنبشی داشته باشد (Zuk, 1970). با توسعه مواد و سامانه‌های مورد استفاده در این طرح‌های متحرک، تاثیر بصری و زیبایی‌شناسی در ساخت و ساز مهم شد و انعطاف‌پذیری در ساخت و ساز افزایش یافت. معماری کینتیک، حوزه‌ای تحقیقی است که مفهوم حرکت را به عنوان ورودی طراحی می‌پذیرد. در طراحی مکانیسم حرکتی الگوگیری از طبیعت، مانند جهت‌گیری گیاهان به سمت خورشید، سامانه‌های اسکلتی انسانی و حیوانی در طراحی مکانیزم‌های حرکتی الهام بخش بوده‌اند (Gezer, 2012). ساختار کینتیک می‌تواند بسته به نوع حرکت و مواد مورد استفاده و نوع عناصر ساختمان جنبشی طبقه‌بندی شود. مطابق با شکل ۱، عمدتاً نوع حرکت به طور کلی به عنوان لغزش، چرخش، باز و بسته شدن

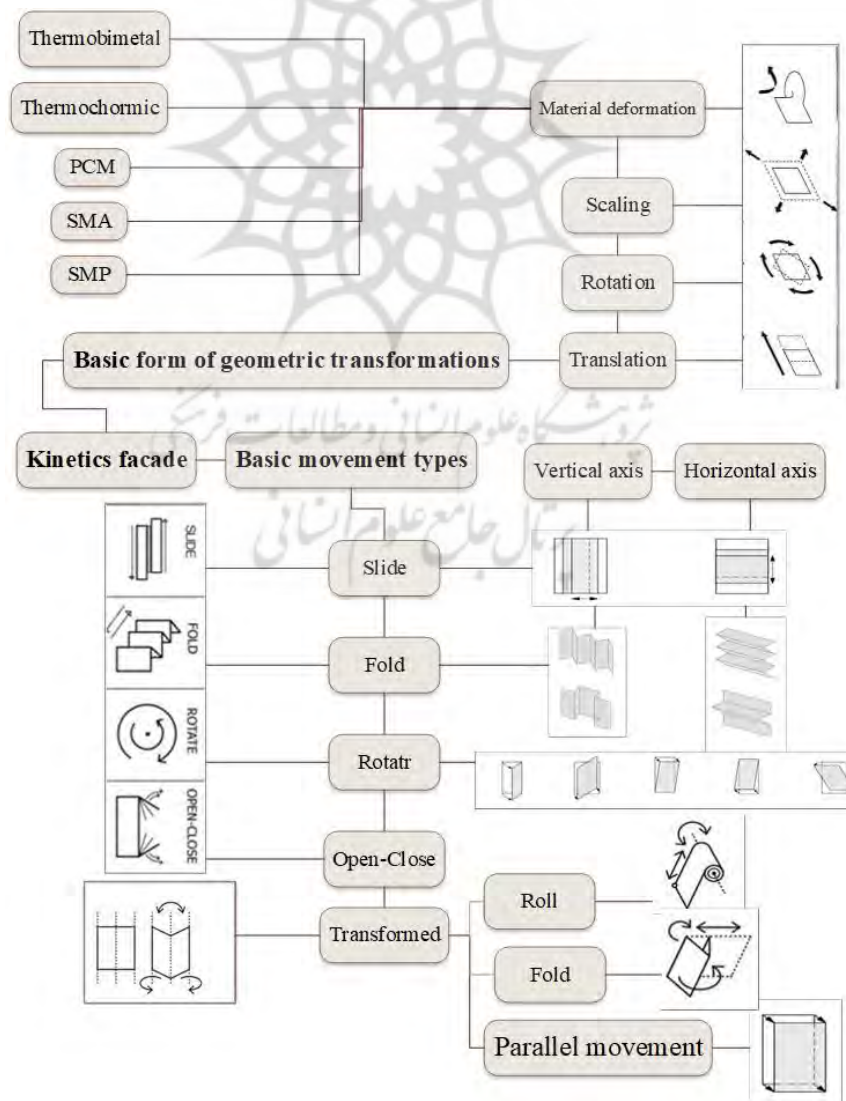


Fig. 1. Motion structure of the kinetic facade

نور روز

برای ارزیابی نور روز در فضای داخلی (کفایت نور روز، خیرگی، توزیع نور) شاخص‌های متعددی عرضه شده است. شاخص‌های نورسنجی در این حوزه به دو گروه استاتیک و دینامیک تقسیم‌بندی می‌شوند.

الف): شاخص استاتیک: با شاخص‌های استاتیک ارزیابی برای یک وضعیت ثابت تحت شرایط آسمان ابری انجام می‌شود و شاخص «فاکتور نور روز» از جمله آن‌ها است (Pourahmadi, Khan Mohamma- di & Muzaffar, 2019).

ب): شاخص دینامیک یا پویا: به دلیل محدودیت‌های رویکرد استاتیک، شاخص‌های دینامیک معرفی شدند که به سبب در نظر گرفتن پارامترهای طراحی، اقلیم و تغییرات وضعیت آسمان و به تبع آن تغییرات روشنایی بر اساس داده‌های هواشناسی، ارزیابی شرایط نوری فضا و آسایش بصری کاربران را در طول سال امکان پذیر می‌کنند.

- روشنایی قابل استفاده نور روز (UDI): این شاخص نسبتی از دوره اشغال در طول یک سال است که روشنایی افقی در یک نقطه مشخص، در محدوده معینی باشد. مقادیر تعیین شده حد بالا و پایین برای این شاخص در منابع مختلف متفاوت است، اما عموماً مقدار ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس با عنوان محدوده کفایت نور پیشنهاد می‌شود. با در نظر گرفتن مقادیر حد پایین و حد بالای روشنایی، محدوده زمانی ارزیابی شده به سه قسمت تقسیم می‌شود: مدت زمانی که روشنایی ناشی از نور روز بسیار کم است، مقدار مناسبی دارد و یا به قدری زیاد است که منجر به نبود آسایش بصری می‌شود (Nabil & Mardaljevic, 2006).

- کفایت نور روز (DA): شاخص دینامیک دیگری است که کافی بودن نور روز در فضای داخلی را نشان می‌دهد و برابر است با درصدی از دوره 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. قدیمی‌ترین معیار دینامیک نور روز است که توسط انجمن سوئیس در سال ۱۹۸۹ پیشنهاد شده و توسط کریستوف رینهارت بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ بهبود یافته است (Reinhart C. F., 2006). این شاخص استفاده از اطلاعات آب و هوای خاص موقعیت جغرافیایی را به صورت سالانه در نظر می‌گیرد. یک عیب اصلی این است که، از آنجایی که این شاخص حد بالایی از روشنایی نور روز را ندارد، مسائل مربوط به راحتی بصری را که ممکن است به عنوان مثال در اثر نور بیش از حد خورشید ایجاد شود، در نظر نمی‌گیرد (Reinhart & Walkenhorst, 2001).

- کفایت نور روز پیوسته: روش کفایت نور روز پیوسته به وسیله تعدیل روش کفایت نور روز به

دست می‌آید که نشان‌دهنده اندازه‌گیری درصد یک منطقه یا فضایی است که مقدار کفایت نور روز را برای یک دوره مشخص فراهم می‌کند (Rogers, 2006).

- نور روز فضایی (sDA): ارزیابی می‌کند که آیا یک فضا نور روز کافی را بر روی یک صفحه کاری در طول ساعات کار استاندارد به صورت سالانه دریافت می‌کند یا خیر (Hosseini & HeiraniPour, 2020). انجمن مهندسی روشنایی آمریکا $sDA/50/300$ را برای تحلیل کفایت نور پیشنهاد می‌کند، یعنی درصدی از نقاط سطح که روشنایی بیش از ۳۰۰ لوکس را در حداقل ۵۰٪ زمان اشغال (از ساعت ۸ الی ۱۸) دریافت می‌کنند (Fedai Ardestani, 2018). این برنامه افزودنی همچنین نشانگر مرتبط قرار گرفتن در معرض نور خورشید سالانه را محاسبه می‌کند. از آنجایی که کفایت نور روز فضایی حد بالایی را در سطح نور روز مشخص نمی‌کند، شاخص ASE برای تعیین مقدار فضایی که در معرض نور مستقیم بیش از حد خورشید قرار دارد معرفی شده است (Elghazi et al., 2014) و احتمالاً به منبع ناراحتی بصری یا خیرگی تبدیل می‌شود. به عنوان درصدی از منطقه تجزیه و تحلیل شده تعریف می‌شود که سطح روشنایی مستقیم نور خورشید (۱۰۰۰ لوکس) را برای بیش از تعداد مشخصی ساعت (۲۵۰ ساعت) دریافت می‌کند (Erlendsson, 2014). بر اساس استاندارد آی.ای.اس (IES)، زمانی که نور روز فضایی ۳۰۰ لوکس $50\% < 55\%$ ، فضا «قابل قبول» در نظر گرفته می‌شود و زمانی که نور روز فضایی ۳۰۰ لوکس $75\% < 50\%$ ، فضا «مطلوب» در نظر گرفته می‌شود (LM-83-12, 2012).

- خیرگی (DGP): از شاخص‌های رایج در ارزیابی خیرگی در فضا محسوب می‌گردد که در آن میزان روشنایی در برخورد با چشم، با توجه به زمان محاسبه می‌شود. در این شاخص مقادیر $0/4 - 0/35$ قابل درک، $0/35 >$ غیر قابل درک، $0/4 - 0/45$ آزار دهنده و $0/45 <$ غیر قابل تحمل مشخص شده است (Suk, 2016).

روش پژوهش

پژوهش حاضر از لحاظ هدف، پژوهشی کاربردی است و از لحاظ ماهیت آمیخته است. در روش کیفی از روش مطالعه تطبیقی و در روش کمی از شبیه‌سازی استفاده شده است. در ابتدای تحقیق یک بررسی نظری صورت خواهد پذیرفت. سپس ارزیابی الگوی هندسی مثلثی همسان با الگوهای حرکتی تاشو و چرخشی ناهمسان به شیوه مقایسه تطبیقی صورت خواهد گرفت. بر این اساس پژوهش تحقیق مطالعه تطبیقی خواهد بود. روش گردآوری داده‌ها، در حوزه معماری کینتیک و روشنایی نور طبیعی به تبیین تعاریف، مطالعات کتابخانه‌ای، و منابع اینترنتی، در این زمینه پرداخته شده است. مطابق با شکل ۲،



این پژوهش در گام نخست دو نمونه از نمای کینتیک با الگوی هندسی مثلثی همسان و الگوهای حرکتی تاشو و چرخشی ناهمسان برگزیده و سپس در محیط گرسهپار الگوریتم نویسی کرده است. با توجه به فایل آب و هوایی تهران هندسه خورشیدی با افزونه لیدی باگ نسخه ۱,۵,۰ شیبه‌سازی شد. نما مطابق با بردار نرمال سطح و حرکت خورشید باز و بسته می‌شود به این گونه که نسبت به قرارگیری خورشید نما بسته و به تدریج باز می‌شوند. در گام دوم یک نمونه اتاق اداری با پلان باز پیش فرض با نسبت سطح پنجره به دیوار (Resolution of the Supreme Administrative Council, 2011; Office of technical affairs and compilation of budget program organization criteria, 1998; Christoph F, Alstan Jakubiec & Ibarra, 2013). با توجه به پیشینه‌ی تحقیق در محیط گرسهپار با استفاده از افزونه لیدی باگ و هانیبی پلاس نسخه ۰,۰,۰۶ به نمای شیبه‌سازی شده اضافه شده است. در نهایت داده‌های شیبه‌سازی در محیط نرم‌افزار اکسل ۲۰۲۲ قرار می‌گیرند و داده‌های حاصل از نتایج دو نما با روش تطبیقی با هم مقایسه و تحلیل می‌شوند. سپس با توجه به عملکرد فضای داخلی هر نما نسبت به دریافت روشنایی طبیعی به تغییر پارامترهای شیبه‌سازی می‌پردازیم تا وضعیت روشنایی فضا بهبود یابد در نهایت مناسب‌ترین الگوی حرکتی نما پیشنهاد می‌شود.

شیبه‌سازی

برای آنالیز روشنایی طبیعی از روش شیبه‌سازی استفاده شده است که در گام اول برای بدست آوردن هندسه‌ی اتاق از مراجع ضوابط و مقررات ساختمان اداری در ایران (Office of technical affairs and compilation of budget program or-

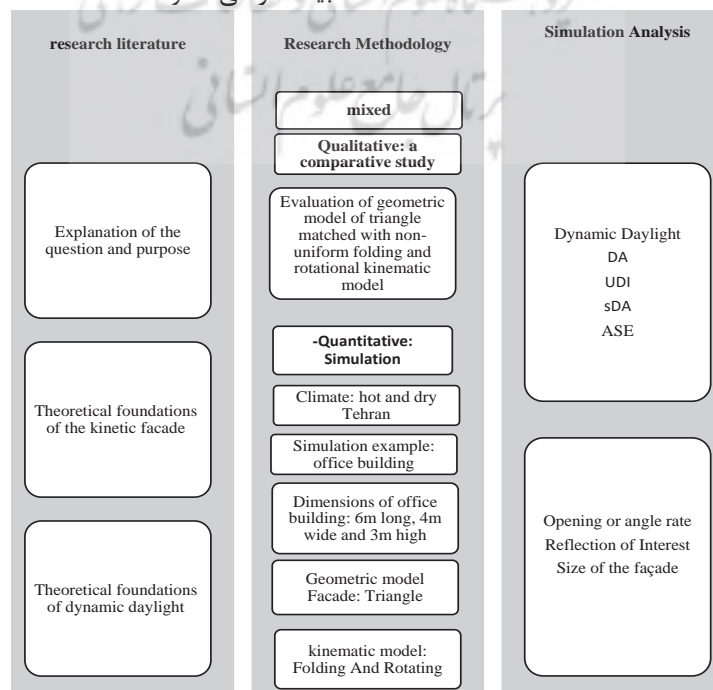
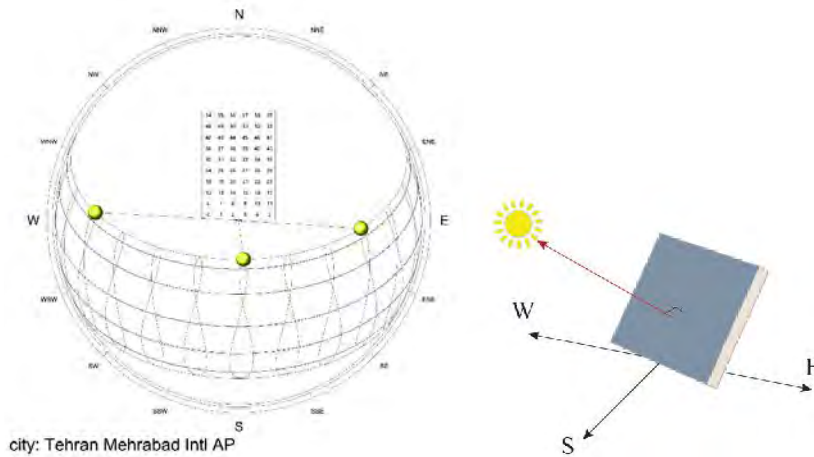


Fig. 2. Research process



city: Tehran Mehrabad Intl AP
Fig. 3. Diagram of the Sun's path for latitude 35.69 degrees and normal vector

در فضای اداری فرضی است. در محاسبات ساعت کاری کارکنان تعطیلات در روز پنجشنبه و جمعه در نظر گرفته شده است. فرضیات کلیدی پارامترهای رادینس مطابق جدول ۳ است.

Table 3. Radiance parameters for daylight availability metric

Ambient Divisions	Ambient bounces
512	2

یافته‌ها

پس از شبیه‌سازی دو نمای برگرفته از برج البحر و دیوار کاپرا در روز اول ماه های تیر، فروردین و دی در ساعت‌های ۹، ۱۲ و ۱۶ مطابق جدول ۴، مقایسه‌ای بین دو نما صورت گرفته که در مدل پایه مقادیر نور روز و خواص نوری و حرارتی مدل مطابق با جدول ۲، برای دو نما به صورت یکسان در نظر گرفته شده است. اندازه هر مثلث ۰/۵ متر و نما نسبت به موقعیت خورشید بسته می‌شود.

الف) الگوی حرکتی تاشو

نمای برج البحر با الگوی حرکتی تاشو مقدار باز شدن نما از کاملاً بسته تا باز، در اول هر سه ماه تیر، فروردین و دی به شرح زیر است:

- در تمام ساعات کفایت نور روز یعنی ۵۰٪ زمان اشغال فضا نور مناسب ۵۰۰ لوکس را دریافت می‌کند.

- مقدار نور مفید روز نیز در این سه ماه مناسب است و نقاط جلوی پنجره نور مفید را دریافت می‌کنند.

- نور مفید روز بیشتر از ۲۰۰۰ لوکس (UDI more) در ساعت ۹ صبح هر سه ماه تیر، فروردین و دی در نقاط جلوی پنجره یعنی نقطه ۰ و ۱، در ساعت

Table 2. Optical and thermal properties of common office buildings in Tehran

Roof reflection	80%
Wall reflection	50%
Floor reflection	20%
Glass visual transmission coefficient	95%

Elghazi, Wagdy & Abdalwahab, 2015

سپس طبق شکل ۴، دو نمونه از نمای کینتیک برگرفته از برج البحر و دیوار کاپرا را به علت داشتن الگوی هندسی مثلثی همسان و الگوهای حرکتی تاشو و چرخشی ناهمسان برگزیده تا میزان پاسخگویی این الگوی هندسی و حرکتی در ایران نیز بررسی شود. میزان گشودگی نماها در سه حالت قابل تعریف است الف) کاملاً بسته - کاملاً باز؛ ب) کاملاً بسته - نیمه باز و ج) نیمه بسته - باز. مطابق شکل ۵، نماها با موقعیت قرارگیری خورشید و بردار نرمال بر روی الگوی هندسی مثلثی باز و بسته می‌شود. در نرم‌افزار گرسه‌پار موقعیت قرارگیری خورشید با نما به دو حالت الف) نما نسبت به موقعیت قرارگیری خورشید باز شود. ب) نما نسبت به موقعیت قرارگیری خورشید بسته شود، کدنویسی شده است.

در شکل ۶، روند شبیه‌سازی و پارامترهای متغیر نشان داده شده است، تغییر پارامترها در بهبود مدل پایه با توجه به عملکرد فضای داخلی هر نما نسبت به دریافت روشنایی طبیعی تاثیر می‌گذارد.

نمونه‌ای که عملکرد نور روز بر روی آن شبیه‌سازی شده است، حاوی ۵۹ نقطه اندازه‌گیری در یک شبکه ۰/۶ × ۰/۶ متر است. در این مطالعه یک صفحه مرجع در ارتفاع ۰/۷۶ متر بالاتر از کف اتاق (LEED v4, 2019) انتخاب شد. این نشان‌دهنده میانگین ارتفاع‌های مختلف کار ممکن

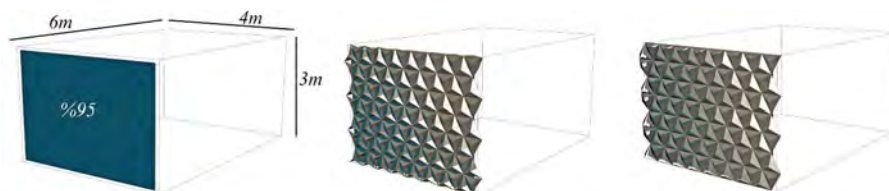


Fig. 4. Simulated sample of the wall of Cupra and the Burj al-Bahr

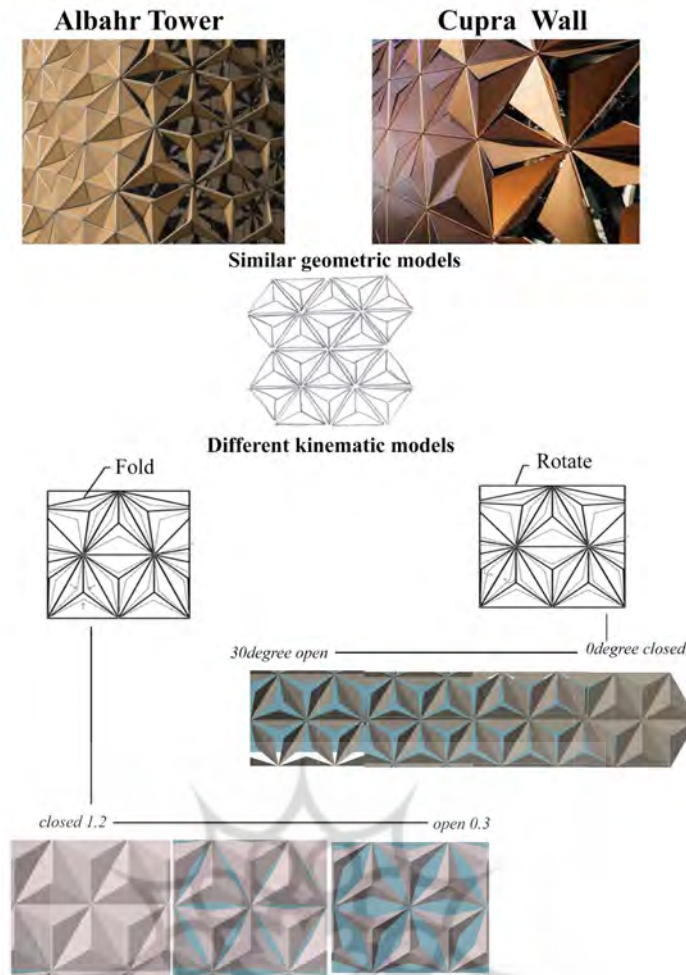


Fig. 5. Two examples of kinetics in the base model on the right side of the Cupra wall and the left side of the Al-Bahr Tower

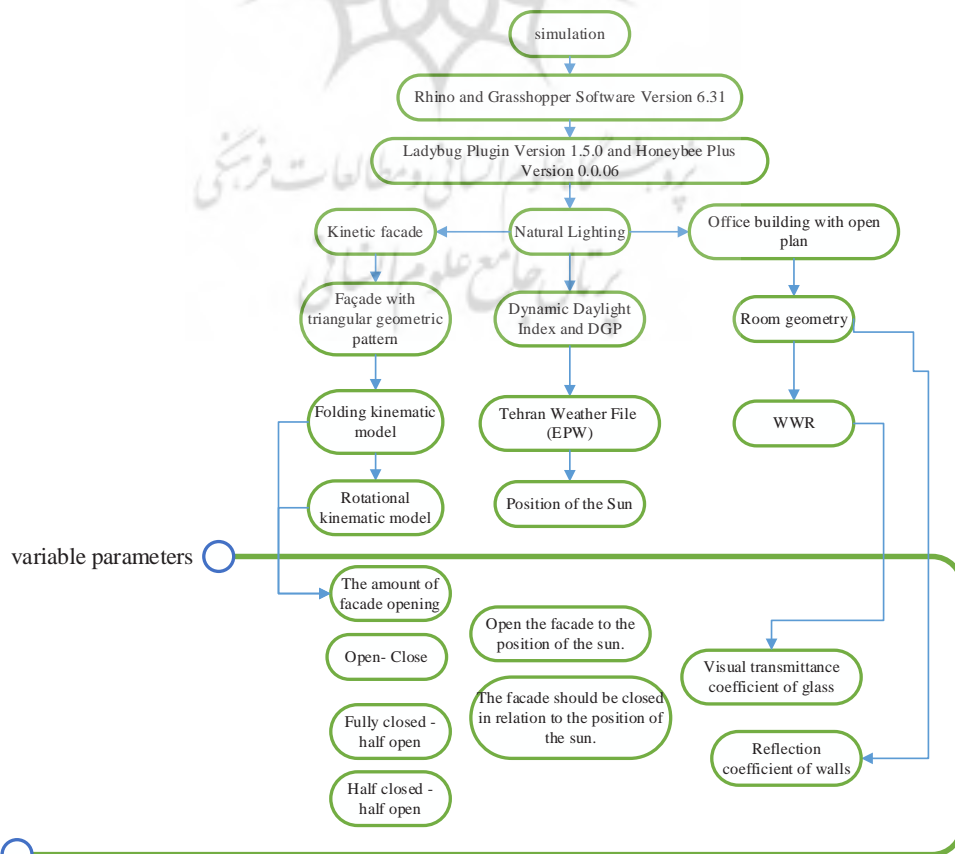


Fig. 6. Simulation process and variable parameters

- نور مفید روز بیشتر از ۲۰۰۰ لوکس در ساعت ۹ صبح هر سه ماه تیر، فروردین و دی در نقاط جلوی پنجره یعنی نقطه ۰ و ۱، در ساعت ۱۲ ظهر نقطه ۱،۲،۳،۴ و در ساعت ۱۶ بعد از ظهر در نقطه ۴ و ۵ نور روز بالای ۲۰۰۰ لوکس را در فاصله ۶۰ سانتی‌متری از پنجره دریافت می‌کند.

- نور مفید کمتر از ۵۰۰ لوکس در هر دو ماه تیر و فروردین در قسمت انتهایی اتاق یعنی ۱۸۰ سانتی متری انتهایی در بیشتر مواقع ۱۰۰ درصد نور کمتر از ۵۰۰ لوکس را دریافت می‌کند. در ماه دسامبر فقط در ساعت ۱۲ ظهر نور کم دریافت می‌کند.

- مقدار نور روز فضایی در هر سه ماه نور روز فضایی بین ۶۰ تا ۷۸ درصد از فضا مطلوب داده می‌شود.

- میزان خیرگی در هر سه ماه کمتر از ۱۰ درصد فضایی بوده است که این مقدار نشان می‌دهد که در بازه کمتر از ۱۰٪ فضا نور روز بیش از ۱۰۰۰ لوکس در بیشتر از ۲۵۰ ساعت کاری دریافت می‌کند.

یافته‌های حاصل از جدول ۴ نشان می‌دهد که نما با الگوی حرکتی تاشو در ساختمان اداری تهران میزان خیرگی در هر سه ماه در بیش از ۱۰ درصد است. در ساعت ۱۲ دو ماه فروردین و تیر مقدار نور مفید کمتر از ۵۰۰ لوکس به ۱۰۰ درصد رسیده است به این معنا که در این ساعت قسمت انتهایی اتاق نور کم را دریافت می‌کند و همچنین مقدار نور روز فضایی در بازه ۴۸ تا ۵۶ درصد است.

نما با الگوی حرکتی چرخشی در ماه‌های تیر و فروردین و در ساعاتی ۹ و ۱۲ مقدار نور مفید

۱۲ ظهر نقطه ۱،۲،۳،۴ و در ساعت ۱۶ بعد از ظهر در نقطه ۴ و ۵ نور روز بالای ۲۰۰۰ لوکس را در فاصله ۶۰ سانتی‌متری از پنجره دریافت می‌کند.

- نور مفید کمتر از ۵۰۰ لوکس (UDI less) در ماه‌های تیر و فروردین در قسمت انتهایی اتاق کمتر از ۵۰۰ لوکس را دریافت می‌کند.

- مقدار نور روز فضایی به ترتیب در روز اول ماه تیر ساعت ۱۲ به ۵۶٪، روز اول و ماه فروردین ساعت ۱۲ به ۴۸/۳۳٪ رسیده است. این میزان نشان دهنده این است که فضا قابل قبول است اما در بقیه ساعات و ماه‌ها نور روز فضایی بین ۶۶ تا ۷۰ درصد از فضا مطلوب داده می‌شود.

- میزان خیرگی (ASE) در هر سه ماه در بازه ۱۳ تا ۱۶ درصد است. این مقدار نشان می‌دهد که در بازه بالای ۱۰٪ از فضا نور روز بیش از ۱۰۰۰ لوکس در بیشتر از ۲۵۰ ساعت کاری دریافت می‌کند که نشان می‌دهد در نقاط جلوی پنجره یعنی ۶۰ سانتی‌متری ممکن است خیرگی و عدم آسایش بصری را ایجاد کند.

ب) الگوی حرکتی چرخشی

نمای دیوار کاپرا با الگوی حرکتی چرخشی مقدار باز شدن از کاملاً بسته تا باز در اول هر سه ماه تیر، دی و فروردین در تمام ساعات به شرح زیر است.

- کفایت نور روز یعنی ۵۰ درصد زمان اشغال فضا نور مناسب ۵۰۰ لوکس را دریافت می‌کند.

- مقدار نور مفید روز نیز در این سه ماه مناسب است و نقاط جلوی پنجره نور مفید را دریافت می‌کنند.

Table 4. Comparison of the findings of folding and rotating kinematic models

		Folding kinematic model					
Months	Time	Metric					
		DA	UDI	UDI more	UDI less	sDA	ASE
June	9	100 %	85.87 %	93.49 %	96.34 %	70 %	13.33%
	12	99.69%	82.73 %	82.68 %	100 %	56.66 %	16.66%
	16	100 %	83.83 %	92.73 %	97.75 %	71.66 %	15%
March	9	100 %	82.52 %	94.19 %	98.53 %	70 %	15%
	12	99.63 %	81.89 %	75.61 %	100 %	48.33 %	15%
	16	100 %	83.99 %	92.46 %	93.93 %	71.66 %	15%
December	9	100 %	84.77 %	95.66 %	85.24 %	95 %	11.66%
	12	99.58%	82.89 %	68.45 %	98.06 %	65 %	10%
	16	100 %	85.19 %	96.44 %	81.95 %	98.33 %	13.33%
		Rotary kinematic model					
Months	Time	Metric					
		DA	UDI	UDI more	UDI less	sDA	ASE
June	9	99.48 %	84.96 %	75.14 %	100 %	78.33 %	10%
	12	98.80 %	81.27 %	47.36 %	100 %	61.66 %	8.33 %
	16	99.01 %	86.87 %	60.54 %	95.55 %	75 %	8.33 %
March	9	99.48 %	84.25 %	71.17 %	100 %	73.33 %	8.33 %
	12	98.33 %	81.21 %	44.01 %	100 %	60 %	6.66 %
	16	99.32 %	81.21 %	63.68 %	99.27 %	70 %	8.33 %
December	9	99.48 %	85.77 %	82.68 %	90.27 %	98.33 %	8.33 %
	12	99.27 %	86.55 %	56.20 %	100 %	68.33 %	3.33 %
	16	99.69 %	86.71 %	87.81 %	88.33 %	100 %	10 %



به طور ثابت ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است. با تغییر زاویه نما به صورت نیمه بسته- نیمه باز (زاویه ۱۰-۲۵ درجه)، تغییر ضریب انتقال بصری شیشه از ۸۰٪ به ۹۰٪ و تغییر ضریب بازتاب جداره‌های داخلی (سقف و دیوار) در صورتی که نما نسبت به موقعیت قرارگیری خورشید بسته شود، مشکل UDI less در هر سه ماه رفع می‌شود.

در مرحله دوم شاخص ASE در نما با الگوی حرکتی تاشو ارزیابی شد و مقدار این شاخص با DGP مورد ارزیابی قرار گرفته است. شبیه‌سازی خیرگی مدل پایه در روز اول ماه تیر ساعت ۱۲ ظهر که بیشترین مقدار ASE برابر است با ۱۶/۶۶٪ ارزیابی شده است. شکل ۷ نشان می‌دهد که این مقدار خیرگی در مدل پایه قابل درک است و مشکل اصلی در این نما مقدار UDI less و sDA در ساعت ۱۲ ظهر دو ماه تیر و فروردین است.

زمانی که در مدل پایه ضریب انتقال بصری شیشه از ۸۰٪ به ۹۰٪ افزایش یافت مقدار sDA از

کمتر از ۵۰۰ لوکس به ۱۰۰ درصد رسیده است به این معنا که در تمام این ساعت‌ها قسمت انتهایی اتاق نور کم را دریافت می‌کند.

پارامترهای متغیر

برای بهبود شاخص‌های UDI less با الگوی حرکتی چرخشی و شاخص‌های sDA، ASE و UDI less با الگوی حرکتی تاشو در جدول ۵ پارامترهای متغیر برای این شاخص‌ها تغییر داده شدند. لازم به ذکر است که هر یک از پارامترها تا رسیدن به جواب در بازه‌های ۱۰ تایی شبیه‌سازی شده‌اند.

هر یک از این پارامترها در شبیه‌سازی برای دو نمای پیشنهادی اعمال شده است که برای درک بهتر مدل پایه و تاثیر پارامترها ابتدا شاخص UDI less در نما با الگوی حرکتی چرخشی ارزیابی شده و سپس بقیه شاخص‌ها مطابق با این شاخص دوباره مورد ارزیابی قرار گرفته است. در جدول ۶ مقایسه‌ای بین مدل پایه و تاثیر پارامترها صورت گرفته است. شایان ذکر است که احتمال بروز خیرگی در این نما

Table 5. Variable parameters

Parameter	Parameter Code	Description
Resize the facade triangular model	A	From 0.5 to 0.8 m
Sun radiation	B	B1 Closed in contact with facade B2 Opens in contact with facade
Change its angle or degree of openness	C	C1 Fully Closed - Fully Open C2 Fully closed - half open C3 Half closed - half open
Change the visual transmission coefficient of glass	D	80% to 100%
Changing the reflection coefficient of interior walls (ceiling, wall)	F	Wall 50% to 70% Ceiling from 80% to 90%

Table 6. The Impact of Solutions on the Basic Model

Facade	Metric	Basic Model Problem	Parameters	Metric	Parameter Results
Cupra wall	UDI less	Low light (100% in June and March)	C3-B1-D-F	UDI less	64%-78%
Albahr Tower	ASE	16percent at 12:00 June	C2-C1-B2-B1	ASE	8%-6%
	UDI less	Low light (12:00 o'clock in June and March 100%)	C1-B2-B1	UDI less	88%-78%
	sDA	12:00 June and March 48 to 56%	F-D	sDA	90%

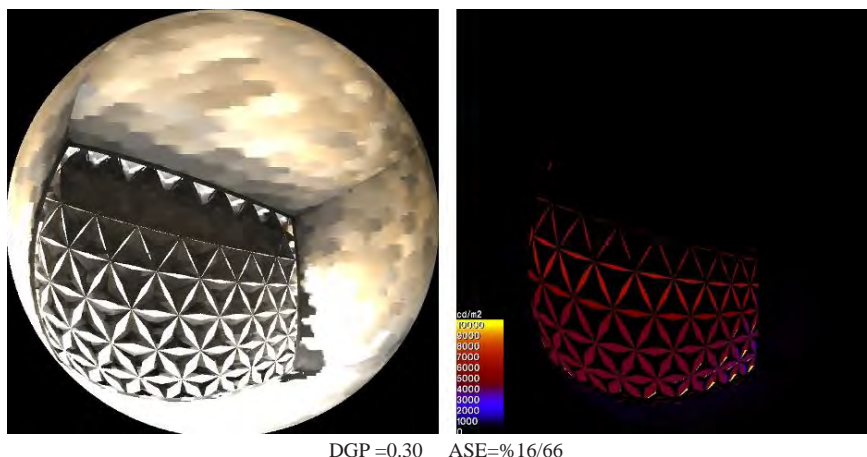


Fig. 7. DGP on the right in candela and the left in terms of luminescence

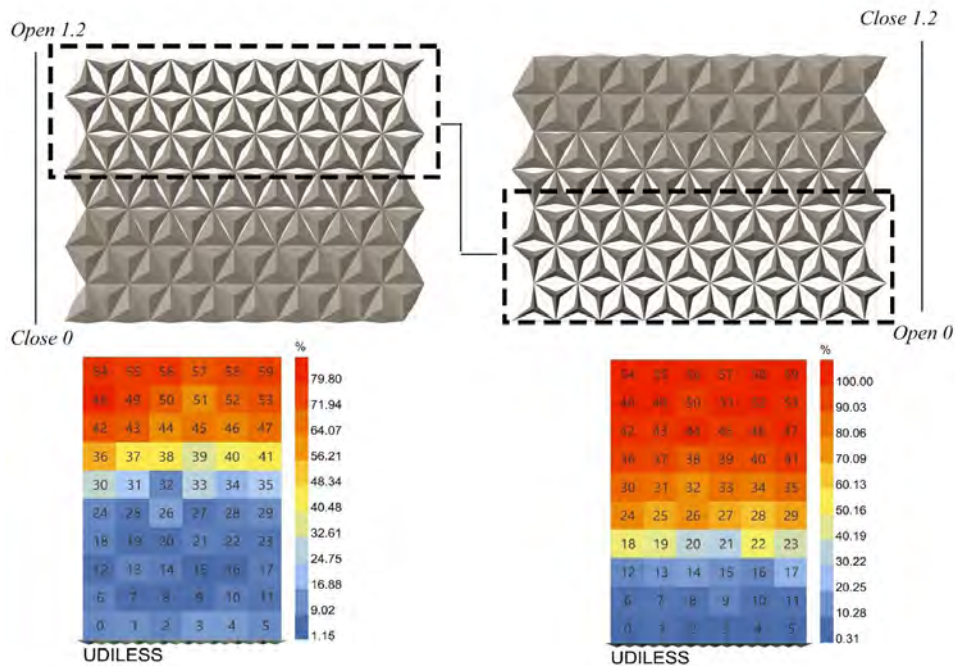


Fig. 8. Sunlight in the collision with the facade at 12:00 pm the right image of the base model and the left image of the effect of parameters

تاشو شاخص‌های ASE، sDA، ASE و UDI less با مشکل مواجه شده‌اند به گونه‌ای که در هر سه ماه (تیر، فروردین، دی) شاخص احتمال خیرگی بین ۱۶ تا ۱۳ درصد را نشان می‌دهد به این معنا که ممکن است فضا احتمال خیرگی و آسایش بصری را داشته باشد و مقدار UDI less در ساعت ۱۲ ظهر دو ماه فروردین و دی ۱۰۰ درصد است در واقع قسمت انتهایی اتاق در فاصله یک متری از انتها نور کمتر از ۵۰۰ لوکس را دریافت می‌کند. شاخص نور روز فضایی در ساعت ۱۲ ظهر این دو ماه بین ۴۸ تا ۵۶ درصد است فضا قابل قبول در نظر گرفته می‌شود.

در نما با الگوی چرخشی فقط شاخص UDI less در هر دو ماه تیر و فروردین در ساعت ۹ و ۱۲ به ۱۰۰ درصد رسیده است به این معنا که در قسمت انتهایی اتاق نور کمتر از ۵۰۰ لوکس را دریافت می‌کند.

در گام بعدی به منظور پاسخگویی بیشتر نماها پارامترهای متغیر پیشنهاد شده است. با توجه به تغییر پارامترها می‌توان گفت که در مدل پایه نمای با الگوی حرکتی تاشو ضریب انعکاس دیوار و سقف و میزان انتقال بصری شیشه بر روی شاخص نور روز فضایی تاثیرگذار است. تغییر زاویه نما یا میزان گشودگی آن و عملکرد الگوی حرکتی با موقعیت خورشید بر شاخص UDI less و ASE تاثیرگذار است همچنین مقدار خیرگی با توجه به شاخص ASE ارزیابی شد زمانی که این شاخص بین ۱۰ تا ۱۶/۶۶ درصد قرار می‌گیرد خیرگی قابل درک است اما اگر بالای ۱۶/۶۶ درصد قرار گیرد، خیرگی قابل درک نیست.

اگر از پارامتر B2 و C2 به طور همزمان استفاده شود یعنی نما نسبت به موقعیت قرارگیری خورشید باز شود، همچنین درجه‌ی گشودگی نما نیز از ۰/۳

به ۰/۵۶/۶۶ رسیده است. اما مقدار UDI less و ASE ثابت باقی ماند. زمانی که ضریب انعکاس دیوار از ۰/۵۰ به ۰/۷۰ افزایش یافت مقدار sDA به ۰/۷۸/۳۳ رسید. ضریب انعکاس سقف از ۰/۸۰ به ۰/۹۰ افزایش یافت مقدار sDA به ۰/۷۵ می‌رسد. تغییر اندازه الگوی هندسی نما از ۰/۵ به ۰/۸ متر در مقدار ASE و sDA تاثیر دارد مقدار هر دو شاخص با افزایش اندازه الگوی هندسی مثلی کاهش یافت اما مقدار UDI less تغییری نکرد.

برای این منظور در ساعت ۱۲ ظهر دو ماه تیر و فروردین پارامتر B2 و C3 پاسخ داد. در شکل ۸ الگوی حرکتی به این گونه است که فقط در ساعت ۱۲ ظهر دو ماه تیر و فروردین نما نسبت به موقعیت قرارگیری خورشید باز شود. همچنین درجه‌ی گشودگی نما نیز از ۰/۳ در مدل پایه به ۰/۵ تغییر یافته یعنی نما بسته‌تر شده است. برای بهبود بیشتر پاسخگویی نما پارامترهای F و D همزمان با دو پارامتر قبلی دوباره در همه‌ی ساعات و هر سه ماه مورد ارزیابی قرار گرفت. استفاده همزمان از پارامترها موجب بهبود کارایی این نما شد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بهره‌گیری از روشنایی طبیعی با استفاده از دو نمای کینتیک با الگوی هندسی مثلی همسان و دو الگوی حرکتی تاشو و چرخش ناهمسان در نمای جنوبی یک ساختمان اداری در تهران انجام شده است. به این منظور ابتدا هر دو نمای برگرفته از الگوی هندسی و حرکتی برج البحر (تاشو) و دیوار کاپرا (چرخشی) با شرایط یکسان برای تحلیل روشنایی طبیعی، شبیه‌سازی و مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاکی از شبیه‌سازی نشان دهنده این است که در نما با الگوی حرکتی



پی‌نوشت

1. Wallacei X
2. XGBoost

تشکر و قدردانی

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافی برای ایشان وجود نداشته است.

تأییدیه‌های اخلاقی

نویسندگان متعهد می‌شوند که کلیه اصول اخلاقی انتشار اثر علمی را براساس اصول اخلاقی COPE رعایت کرده‌اند و در صورت احراز هر یک از موارد تخطی از اصول اخلاقی، حتی پس از انتشار مقاله، حق حذف مقاله و پیگیری مورد را به مجله می‌دهند.

منابع مالی / حمایت‌ها

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

مشارکت و مسئولیت نویسندگان

نویسندگان اعلام می‌دارند به‌طور مستقیم در مراحل انجام پژوهش و نگارش مقاله مشارکت فعال داشته و به‌طور برابر مسئولیت تمام محتویات و مطالب گفته‌شده در مقاله را می‌پذیرند.

References

1. Ahmed Bahaa El-Dabaa, R. (2016). *The Use of Kinetic Facades in Enhancing Daylight Performance for Office Buildings*. Cairo Campus: master of science, Faculty of Engineering and Technology Department of Architectural Engineering and Environmental Design.
2. Başar, C. (2014). *Topolojik Ve Deneyimsel Bağlamlar Üzerinden İncelenmesi*. İstanbul, Turkey: Master Thesis, İstanbul Technical University.
3. Ben bacha, C., & Bourbia, F. (2016). Effect of kinetic façades on energy efficiency in office buildings - hot dry climates. <https://www.researchgate.net/publication/310883656>.
4. BS EN-12464-1. (2021). *Light and lighting. Lighting of work places Indoor work places*. BSI standards.
5. Baştan fard, M., Hedayat nazari, F., & Bani ansari, H. (2012). The potential of kinetic architecture in creating new forms of space. The first national conference of new ideas and technologies in architecture, Tabriz. (In Persian)
6. Compilation and promotion of national building regulations. (2017). Iran's national building regulations, topic 13, design and implementation of electrical installations of buildings. Tehran: Iran Development Publishing. (In Persian)
7. Christoph F, R., Alştan Jakubiec, J., & Ibarra, D. (2013). Definition of a reference office for standardized evaluations of dynamic façade and lighting technologies. *13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France*, 26-28.
8. Elkhayat, Y. (2014). Interactive Movement In Kinetic Architecture. *Journal of Engineering Sciences Assiut University Faculty of Engineering*, 816-845.
9. Ernst, and Peter Neufert. (2011). Neufert architectural information. (Hossein Mozafari Tarshizi, Al-Martermoun) Tehran: Azadeh Publications. (In Persian)
10. Elghazi, Y., Wagdy, A., & Abdalwahab, S. (2015). Simulation driven design for kinetic system; optimize kaleidocycle façade configuration for daylighting adequacy in hot arid climates. *14th Conference of International Building Performance Simulation Association, Hyderabad, India*, 7-9.
11. Elghazi, Y., Wagdy, A., Mohamed, S., & Hassan, A. (2014). Daylighting driven design: optimizing

در مدل پایه به ۰/۵ تغییر یافته یعنی نما بسته‌تر شود، نما پاسخگوتر است در این صورت اگر چهار پارامتر C2-B2-D-F همزمان استفاده شود مقدار UDI less به ۷۸٪ تا ۸۸٪ در همه‌ی ساعات و در هر سه ماه می‌رسد. همچنین مقدار احتمال خیرگی به ۸ تا ۱۰ درصد کاهش می‌یابد.

اما در نما با الگوی چرخشی انعکاس دیوار و سقف و میزان انتقال بصری شیشه زمانی تاثیر دارد که با تغییر زاویه نما همراه باشد. بدین گونه تاثیرگذاری بیشتری بر شاخص‌های UDI less و sDA خواهیم داشت. لازم به ذکر است که نما باید نسبت به موقعیت قرارگیری خورشید بسته شود. در نتیجه‌ی پارامترهای متغیر در درجه اول تغییر زاویه نما یا میزان گشودگی آن با عملکرد نما نسبت به موقعیت قرارگیری خورشید از اهمیت بیشتری نسبت به ضریب انعکاس جداره‌ها و انتقال بصری شیشه برخوردار هستند. در نهایت می‌توان گفت که نمای کینتیک با الگوی هندسی مثلثی همسان و الگوهای حرکتی ناهمسان در پاسخ به روشنایی طبیعی با توجه به شاخص‌های نور روز عملکرد متفاوتی دارند. در نما با الگوی چرخشی شاخص نور روز UDI less تاثیر دارد که با تغییر زاویه برطرف شده اما در نما با الگوی حرکتی شاخص‌های ASE و UDI less تاثیر دارد که نه تنها موقعیت قرارگیری خورشید نسبت به نما تغییر می‌کند بلکه میزان گشودگی نما و ضریب انعکاس جداره و شیشه هم به‌طور همزمان باید تغییر کند. بنابراین نما با الگوی حرکتی چرخشی عملکرد بهتری نسبت به الگوی حرکتی تاشو در بهره‌گیری از روشنایی طبیعی دارد.

- kaleidocycle facade for hot arid climate. *Fifth German-Austrian IBPSA Conference RWTH Aachen University*, 314-321.
12. Erlendsson, Ö. (2014). *Daylight Optimization-A Parametric Study of Atrium Design: Early Stage Design Guidelines of Atria for Optimization of Daylight Autonomy*. Sweden: School of Architecture and the Built Environment.
 13. Fox. (2009). *Interactive Architecture*. New York,: Princeton Architectural Press.
 14. Fox, M., & p.yeh, B. (2012). intelligent kinetic systems. *kinetic design group*, <http://kdg.mit.edu>, 5-6.
 15. Fedai Ardestani, M. A., Naseri Mubarak, H., Ayatollahi, M., & Zamardian, Z. S. (2018). Evaluation of daylight and glare in classrooms using dynamic index, case study: Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University. *Scientific and Research Quarterly of Architecture and Urban Planning*, Year 28, Number 83, 25-40. (In Persian)
 16. Gezer, H. (2012). "The Contribution of Potential Forces of Materials to Architecture",. *Istanbul Commerce University Journal of Science*, 97-118.
 17. Herzog, T., Krippner, R., & Lang, W. (2017). *Facade Construction MANUAL*. Munich: DETAIL Business Information GmbH.
 18. Hornby. (2010). In: *Weheier (ed.) Oxford Advanced Learner's Dictionary. 7th ed.* oxford: oxford university press.
 19. Hosseini, N., & HeiraniPour, M. (2020). The Role of Orosi's Islamic Geometric Patterns in the Building Façade Design for Improving Occupants' Daylight Performance. *Published by solarlits.com. This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)*, 201-221.
 20. Hosseini, S., Hosseini, S., & HeiraniPour, M. (2020). The Role of Orosi's Islamic Geometric Patterns in the Building Façade Design for Improving Occupants' Daylight Performance. *Journal of Daylighting*, 201-221. Retrieved from <https://solarlits.com/jd>
 21. Hosseini, S., Mohammadi, M., & Guerra-Santin, O. (2019). Interactive kinetic façade: Improving visual comfort based on dynamic daylight and occupant's positions by 2D and 3D shape changes. *Building and Environment* 165, 106396. Retrieved from www.elsevier.com/locate/buildenv
 22. Jusl'en, H., & Tenner, A. (2005). Mechanisms Involved in Enhancing Human Performance by Changing the Lighting in the Industrial Workplace. *International Journal of Industrial Ergonomics* 35, 843-855.
 23. Kataro, J., & Yonghong, Y. (2019). Effects of Lighting Quality on Working Efficiency of Workers in Office Building in Tanzania. *Journal of Environmental and Public Health*, 1-12.
 24. Kensek, K., & Hansanuwat, R. (2011). Environment Control Systems for Sustainable Design: A Methodology for Testing, Simulating and Comparing Kinetic Facade Systems. *Journal of Creative Sustainable Architecture & Built Environment, CSABE Vol. 1*, <https://www.researchgate.net/publication/266421560>, 27-46.
 25. Korkmaz, K. (2004). *An Analytical Study of the Design Potentials in Kinetic Architecture*. Istanbul. İzmir : Institute of Technology.
 26. LEED v4. (2019). *LEED v4 Building Design and Construction Addenda*.
 27. Li, Y., Chenyu, H., Gengjia, Z., & Yao, J. (2022). Machine Learning Modeling And Genetic Optimization Of Adaptive Building Facade Towards The Light Environment. *Proceedings of the 27th International Conference of the Association for ComputerAided Architectural Design Research in Asia (CAADRRIA)*, 141-150.
 28. LM-83-12, I. (2012). *Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)*. North America: the Illuminating Engineering Society .
 29. Loonen, R. T. (2013). Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 483-493.
 30. Mohaghegh, H., Falah Zavareh, Z., Turkashund, A., & Faizi, M. (2021). The application of the geometry of Islamic motifs in improving the function of light in moving scenes. *Islamic Architecture Research Quarterly / Number 32 / Autumn / Year 9*, 171-192. (In Persian)
 31. Mohamed Abd El-Hady Fouad, S. (2012). *Design Methodology: Kinetic Architecture*. Alexandria University In Partial Fulfillment : A THESIS Presented to the Graduate School, Master of Science in Architectural Engineering.
 32. Moloney, J. (2011). Designing kinetics for architectural facades: state change. *USA: Taylor & Francis*, 7-8.
 33. Moutiris, V. (2011). *Interactive Architecture through Kinetic systems & Computation*". University of Nicosia Architecture Research Center.
 34. Nabil, A., & Mardaljevic, J. (2006). Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy Build.*, 38, 905-913.
 35. Office of technical affairs and compilation of budget program organization criteria. (1998). *Design criteria for office buildings*. tehran: Zahul edition Institute. (In Persian)
 36. Oldham, G., & Rotchford, N. (1983). Relationships between Office Characteristics and Employee Reactions: A Study of the Physical Environment. *Administrative Science Quarterly* 28, 542-556.
 37. Pauley, S. (2004). Lighting for the Human Circadian Clock: Recent Research Indicates That Lighting Has Become a Public Health Issue. *Medical Hypotheses* 63, 588-596.
 38. Pourahmadi, M., Khan Mohammadi, M. A., & Muzaffar, F. (2020). Analytical investigation of the effect of the physical parameters of the shell in creating visual comfort in the traditional houses of the hot and dry climate of Iran (case ex-



- ample: five-door rooms in the traditional houses of Yazd). *Architectural Thought Quarterly, Scientific Journal*, 4th year, 8th issue., 153-135. (In Persian)
39. Reinhart, C. F. (2006). *Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. Leukos*, 3(1), 7-31.
 40. Reinhart, C., & Walkenhorst, O. (2001). Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. *Energy Build*, 683-697.
 41. Roostamzadeh, S., Faizi, M., Sanyayan, H., & Khakzand, M. (2021). Parametric design of moving facade with the aim of improving lighting efficiency and visual comfort, case study: office buildings in Tehran. *Architecture and Urbanism Letter*, 13th year, number 31, 85- 100. (In Persian)
 42. Rasouli, M., Shahbazi, Y., & Matini, M. (2019). The performance of horizontal and vertical mobile shutter shades in the twolayer façade of office buildings; evaluation and parametric simulation. *Naqsh Jahan Scientific-Research Quarterly, Volume 9, Number 1*, 24-31. (In Persian)
 43. Resolution of the Supreme Administrative Council. (2011). Organization of the administrative spaces of the executive bodies of the country. Deputy for compiling, revising and publishing laws and regulations. (In Persian)
 44. Rogers, Z. (2006). Daylighting Metric Development Using Daylight Autonomy Calculations in the Sensor Placement Optimization Tool; *Archit. Energy Corp.: Boulder, CO, USA Available online: http://www.daylightinginnovations.com/system/public_assets/original/SPOT_Daylight%20Autonomy%20Report.pdf (accessed on 8 March 2022).*
 45. Schumacher, M. S. (2010). *Move: Architecture in motion-Dynamic Components and Elements*. Basel: Birkhduser.
 46. Schumacher, M., Marcus, M., Luis A, V., & Krumme, C. (2019). *Architektur in Bewegung – Neue dynamische Komponenten und Bauteile*. German: Birkhäuser.
 47. Sharaidin, K. (2014). *Kinetic facades: towards design for environmental performance*. RMIT University: Thesis Doctor of Philosophy (PhD).
 48. Suk, J. Y. (2016). Investigation of existing discomfort glare indices using human subject study data. *Building and Environment, Sol Energy*78,, 15-28.
 49. Valitabar, M., & GhaffarianHoseini, A. (2022). Advanced control strategy to maximize view and control discomforting glare: a complex adaptive façade. *Architectural Engineering and Design Management*. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/loi/taem20>
 50. Veitch, J., Farley , K., & Newsham, G. (2002). Environmental Satisfaction in Open-plan Environments: 1. Scale Validation and Method. *NRC/ IRC Research Report IR-844, National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, Ottawa, Ontario, Canada*.
 51. Wanas, A., Aly, S., Farghal, A., & EL-dabaa, R. (2015). Use of kinetic facades to enhance daylight performance in office buildings with emphasis on egypt climate. *Journal of Engineering and Applied Science*, 2-23.
 52. Wang, J. L. (2012). From Statc to Kinetc: A Review of Acclimated Kinetc Building Envelopes. *in Proceedings for American Solar Energy Society, vol. 2012*, 1-8.
 53. Zuk, w. (1970). *Kinetic Architecture*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
 54. [climate.onebuilding.org: https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_2_Asia/IRN_Iran/index.html](https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_2_Asia/IRN_Iran/index.html), at march, 2022; 16:30 pm.



فصلنامه علمی

معماری و شهرسازی ایران