



Improving Daylight Quality and Energy Optimization in Different Climatic Conditions Using a Kinetic Façade Inspired by Traditional Iranian Orsi Windows

ARTICLE INFO

Article Type
Analytic Study

Authors

Mohammad Hossein Kariminejad¹
Morteza Rahbar^{2*}
Reyhaneh Sadat Tabatabaei Yeganeh³

How to cite this article

F....

ABSTRACT

Aims: Nowadays, the global energy crisis represents one of the most fundamental challenges within the construction industry, significantly increasing the necessity for implementing optimization strategies to ensure environmental protection and enhance occupant thermal comfort. In this regard, the strategic utilization of natural daylighting holds pivotal importance in architectural design due to its profound positive psycho-physiological impacts. Although kinetic facades are recognized as highly efficient solutions for light and energy management, many existing studies have overlooked their cultural dimensions and their specific performance across diverse climatic conditions. Therefore, this research aims to propose a kinetic facade model inspired by traditional Iranian Orsi patterns and investigates its daylighting performance and energy efficiency across four distinct climates: Tehran (temperate), Yazd (hot-arid), Tabriz (cold), and Bandar Abbas (hot-humid).

Methods: A courtyard-style building was modeled using Design Builder software, and the kinetic facade performance was analyzed across six specific configurations: full-glass, full-Orsi, vertical, horizontal, and 45-degree angled variations. After identifying the models with optimal daylighting performance, a comprehensive energy consumption analysis was conducted in the four selected climates and compared against a baseline model.

Findings: The results indicate that the proposed facade generally reduces energy consumption; specifically, reductions of 12% in Yazd, 10% in Bandar Abbas, 9% in Tehran, and 4% in site energy in Tabriz were recorded. However, in Tabriz, source energy consumption increased by 3%.

Conclusion: The Orsi-inspired kinetic facade demonstrates superior performance in warmer climates, offering a viable strategy for daylight control and energy optimization.

Keywords: Daylight Quality; Energy Efficiency; Kinetic Façade; Orsi Window; Design Builder; Climate

CITATION LINKS

1- M.Sc. in Architecture (Sustainability), Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
2,3-Assistant Professor of Architecture, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

*Correspondence

Address: Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
Email:
rahbarm@iust.ac.ir

Article History

Received:
Accepted:
Published:

[1] Kim JS, Song JY, Lee JK. Approach to the extraction of design features of interior....[2] Wohlfarth H, Gates KS. The effects of color-psychodynamic environmental...[3] Masoud S, Zamani Z. Behbud-e keyfiyat-e nur-e rooz-e kelas-e dars.. [4] Edwards L, Torcellini P. *A Literature Review of the Effects of Natural...*[5] Poirazis H. *Double Skin Façades for Office Buildings...*[6] Wu H, Zhang T. *Optimal design of complex dynamic...*[7] Tabatabaei SS, Fayaz R. *The effect of facade materials...*[8] Li H, Lu X, Yu G, Zhong K. *A new double-skin façade system...*[9] Meloni M, Zhang Q, Cai J, Lee DSH. *Origami-based adaptive...*[10] Rowe T, Poppe J, Buyle M, Belmans B, Audenaert A. *Is the...* [11] Wang M, Jia Z, Tao L, Xiang C. *Review of...*[12] Hosseini SM, Mohammadi M, Rosemann A, Schröder T, Lichtenber...[13] López M, Rubio R, Martín S, Croxford B. *How plants inspire façades...*[14] Verbrugghe N, Rubinacci E, Khan AZ. *Biomimicry in architecture...*[15] Sharif HR, Habibi A, Jamalabadi A. *Climatic function of Girih...*[16] Tabadkani A, Roetzel A, Li HX, Tsangrassoulis A. *Design approaches...*[17] Kahramanoğlu B, Çakıcı Alp N. *Enhancing visual comfort with...* [18] Kim MJ, Kim BG, Koh JS, Yi H. *Flexural biomimetic responsive...*[19] Dehwah AHA, Krarti M. *Energy performance of integrated adaptive...*[20] Mohaghegh H, Fallah Zavareh Z, Tarkashvand A, Faizi.. [21] Soliman ME, Bo S. *An innovative multifunctional biom...*[22] Sommese F, et al. *Light-responsive kinetic façade system inspired...*[23] Cruz E, et al. *Design processes and multi-regulation...*[24] Kuru A, Oldfield P, Bonser S, Fiorito F. *Biomimetic adaptive building...*[25] Yazdi Bahri S, Alier Forment M, Sanchez Riera A, Heiranipour M,.... [26] Yarmahmoodi Z, Nasr T, Moztarzadeh H. *Algorithmic design of building...*[27] Lin Z, Song Y, Chu Y. *Summer performance of a naturally ventilated double.....*



بهبود کیفیت نور روز و بهینه‌سازی انرژی در اقلیم‌های مختلف به وسیله نمای متحرک برگرفته شده از ارسی‌ها

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: تحقیق بنیادی

نویسندگان

محمد حسین کریمی نژاد^۱،
مرتضی رهبر^{۲*}،
ریحانه سادات طباطبایی یگانه^۳

اهداف: امروزه بحران انرژی یکی از چالش‌های بنیادین در صنعت ساختمان است که ضرورت اتخاذ راهکارهای بهینه‌سازی مصرف را جهت حفاظت از محیط‌زیست و ارتقای آسایش حرارتی دوچندان کرده است. در این راستا، بهره‌گیری از نور طبیعی به دلیل پیامدهای مثبت روان‌شناختی، اهمیتی کلیدی در طراحی دارد. اگرچه نماهای متحرک راهکاری کارآمد برای مدیریت نور و انرژی محسوب می‌شوند، با این حال، در بسیاری از پژوهش‌ها به جنبه‌های فرهنگی و نیز عملکرد این نماها در اقلیم‌های مختلف کمتر پرداخته شده است. در این پژوهش باهدف ارائه الگویی از نمای متحرک الهام‌گرفته از ارسی‌ها ایرانی، به بررسی عملکرد نور و انرژی آن در چهار اقلیم تهران (معتدل)، یزد (گرم و خشک)، تبریز (سرد) و بندرعباس (گرم و مرطوب) پرداخته است.

روش‌ها: ساختمانی با حیاط مرکزی در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر مدل‌سازی و رفتار نمای متحرک در شش وضعیت (تمام‌شیشه، تمام ارسی، عمودی، افقی، و زوایای ۴۵ درجه) تحلیل شد. پس از انتخاب مدل‌های با عملکرد نوری بهینه، تحلیل مصرف انرژی در ۴ اقلیم انجام و با مدل مبنا مقایسه گردید.

یافته‌ها: نمای پیشنهادی در اکثر اقلیم‌ها موجب کاهش مصرف انرژی شده است؛ به طوری که میزان این کاهش در یزد ۱۲ درصد، بندرعباس ۱۰ درصد، تهران ۹ درصد و در بخش انرژی سایت اقلیم تبریز ۴ درصد گزارش شد اما در اقلیم تبریز مصرف انرژی منابع ۳ درصد افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: الگوی نمای متحرک الهام‌گرفته از ارسی‌ها در اقلیم‌های گرم‌تر عملکرد بهتری داشت و در بیشتر مناطق، راهکار و الگویی مناسب برای کنترل نور طبیعی و بهینه‌سازی انرژی ساختمان محسوب می‌شود.

کلید واژگان: کیفیت نور و انرژی، نمای متحرک، ارسی، دیزاین‌بیلدر، اقلیم

نویسنده مسئول *

rahbarm@iust.ac.ir

تاریخ مقاله

تاریخ دریافت:

تاریخ پذیرش:

تاریخ انتشار:

ارجاع‌دهی

مقدمه

در دنیای امروز مصرف زیاد انرژی‌های فسیلی باعث شده هم ذخایر این منابع انرژی روبه‌کاهش باشد هم آلودگی‌های زیست‌محیطی مختلفی به محل زندگی ساکنان کروی زمین وارد شود از همین رو در سال‌های اخیر توجه‌ها به سمت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در جوامع زیاد شده است. یکی از صنایعی که مصرف انرژی در آن بالاست و به گفته‌ی آمار و ارقام نزدیک به ۴۰ درصد انرژی مصرفی جهان صرف آن می‌شود صنعت ساختمان است [۱]. به همین دلیل برای جلوگیری از پیشامدهای ذکر شده جوامع به سمتی رفته‌اند که ساختمان‌سازی را داشته باشند که در آن انرژی‌های فسیلی کمتری مصرف شود و همین‌طور با محیط‌زیست خود و انسان ساکن در خود تعامل بهتری داشته باشد. افزون بر مدیریت انرژی تحقیقات متعددی نشان می‌دهد که استفاده‌ی مناسب از نور روز در فضا می‌تواند موجب بهبود کیفیت نوری فضا، افزایش سطح سلامت جسمی و تأثیرات مثبت روحی و کاهش استرس برای افراد ساکن در ساختمان‌ها شود [۲ و ۳ و ۴]. بدین‌سان برای پاسخ به این مسائل، معماری به نام معماری پایدار شکل گرفته است و به‌عنوان پاسخی راهبردی به این نیازها ظهور کرده است؛ رویکردی که فراتر از تأکید بر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، با تلفیق ملاحظات زیست‌محیطی، آسایش کاربران و متغیرهای اقتصادی و فرهنگی، در پی دستیابی به تعادلی پایدار در عرصه معماری است. معماری پایدار برای پاسخ به مسائلی که ذکر شد از راهکارهای مختلفی استفاده می‌کند که یکی از مؤثرترین آنها

در بحث بهینه‌سازی نور و انرژی، نماهای متحرک هستند. نماهای متحرک درواقع نوعی پوست زنده هستند که قابلیت ابرازکردن، ارتباط با محیط خود و پاسخگویی متقابل را دارند به‌گونه‌ای که حتی در شرایط عدم حضور کاربر نیز با تطبیق هوشمندانه خود بیشترین کارایی را در ساختمان فراهم می‌نمایند از این‌رو آنها را نماهای با کارایی بالا نیز می‌نامند که برای کنترل و بهبود چهار متغیر عمده زیست‌محیطی در ساختمان به کار می‌رود. کنترل انرژی حرارتی خورشید، کنترل میزان نور خورشید، کنترل میزان تهویه، تولید انرژی [۵]. استفاده از نماهای متحرک به دلیل عملکرد چندهدفه و توانایی تطابق با محیط خود از جمله راهکارهای محبوب برای بهبود کیفیت نور و بهینه‌سازی انرژی در ساختمان هاست.

پیشینه‌ی پژوهش

با بررسی تحقیقات و پژوهش‌های مختلف در مورد نمای متحرک و آثار آن در مورد مسائل معماری پایدار مثل نور و انرژی به این نتایج می‌رسیم که پوسته ساختمان به‌عنوان تعیین‌کننده اصلی در مصرف انرژی، مسئول بیش از ۴۰٪ اتلاف حرارت در زمستان و داغ‌شدن بیش از حد در تابستان است. استفاده از راهکارهای طراحی غیرفعال در پوسته ساختمان می‌تواند مصرف انرژی را تا ۲۰ تا ۳۰ درصد کاهش دهد [۶]. علاوه بر این، نماهای با عملکرد بالا می‌توانند مشکلات زیست‌محیطی شهری مانند اثر جزیره گرمایی [۷]، کیفیت هوا [۸]، آلودگی نوری [۹] و آلودگی صوتی [۱۰] را نیز کاهش دهند.



شکل ۱: نمونه از نماهای متحرک در ساختمان‌های جهان به ترتیب از راست به چپ ساختمان Finance Center در چین، برج البحر در امارات، ساختمان Kiefer Technic Showroom در اتریش

باز یا بسته بودن آن را تنظیم می‌کند که منجر به بهبود آسایش بصری و کاهش مصرف انرژی می‌شود [۱۴]. در حال حاضر، معماران همچنان از حوزه‌های مختلفی مانند زیست الهام‌گیری، طراحی حرکتی و تکنیک‌های اوریگامی برای توسعه نماهای متنوع استفاده می‌کنند. طبق بررسی تحقیقات و پژوهش‌های متنوع و مختلف انواع نماهای متحرک ساختمان در جهت بهینه‌سازی نور و انرژی ساختمان در جدول ۱ به صورت دسته‌بندی شده آورده شده است.

خلا پژوهش: با بررسی پژوهش‌های پیشین و مختلف به این نتیجه می‌رسیم که علی‌رغم طراحی و بررسی طیف وسیعی از نماهای متحرک و ارزیابی ویژگی‌ها و تأثیرات آن‌ها، نبود یک دسته‌بندی و الگوی معرفی شده جامع که نماهای متحرک را بر اساس الگوهای معماری فرهنگی یک جامعه، با در نظر گرفتن اقلیم‌های متنوع و جهات مختلف ساختمان، مورد سنجش قرار دهد، مشهود است. این خلا تحقیقاتی، انگیزه اصلی این پژوهش را فراهم آورده است.

سؤالات و اهداف پژوهش: پرسش بنیادین این پژوهش آن است که چگونه می‌توان با طراحی یک نمای متحرک، علاوه بر بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی و نور طبیعی، مؤلفه‌های فرهنگ و معماری اصیل را با نیازهای اقلیمی همسو کرد. در واقع، نبود رویکردی جامع که بتواند برای جهت‌گیری‌های مختلف ساختمان در اقلیم‌های متفاوت، راهکارهای دقیق ارائه دهد، خلا اصلی در مسیر تحقق اهداف معماری پایدار است. در همین راستا، هدف اصلی این پژوهش، تدوین الگو و طرحی برای نمای متحرک با الهام از ارسی به عنوان یکی از نمادهای غنی معماری ایرانی است. این پژوهش ضمن تحلیل عملکردی این نما در چهار اقلیم متفاوت ایران، کارایی آن را برای شهرهای تهران (معتدل و کوهپایه‌ای)، یزد (گرم و خشک)، تبریز (سرد) و بندرعباس (گرم و مرطوب) به عنوان نماینده‌های شاخص این اقلیم‌ها مورد ارزیابی قرار می‌دهد تا از این طریق، الگویی کاربردی و بومی‌سازی‌شدن جهت ارتقای سطح معماری پایدار در صنعت ساختمان ارائه نماید.

نوآوری پژوهش: نوآوری اصلی این پژوهش آن است که یک الگوی نمای متحرک مبتنی بر ارسی ایرانی را ارائه کرده و عملکرد آن را از منظر نور روز و بهینه‌سازی انرژی به صورت مقایسه‌ای در اقلیم‌های مختلف ایران و در جهات مختلف

نماها به عنوان مرز فیزیکی و رابط میان شرایط محیطی بیرونی و نیازهای آسایش داخلی عمل می‌کنند. با توجه به ماهیت پویا و متغیر محیط، نماهای سنتی و ایستا توانایی مناسبی برای واکنش به تغییرات اقلیمی ندارند و در پاسخ به شرایط پویای محیط، دچار ناتوانی در بهینه‌سازی عملکرد می‌شوند. از این رو، سیستم‌های نمای پویا که قادرند ویژگی‌های خود را در واکنش به شرایط اقلیمی، تغییرات روزانه یا فصلی تغییر دهند، به منظور پاسخ‌گویی به نیازهای در حال تحول محیطی و کاربران توسعه یافته‌اند. این نماها باعث می‌شوند که کارایی ساختمان به صورت مداوم افزایش یابد [۱۱]؛ بنابراین، حرکت به سمت نماهای متحرک برای دستیابی به بهینه‌سازی بهتر نور و انرژی ضروری است. در طول تاریخ معماری، تکامل نماهای ساختمان‌ها مسیری از سادگی به پیچیدگی را طی کرده و با نیازهای متغیر محیط، جامعه و ساکنان همگام شده است. در ابتدا واژه نما تنها به وجه اصلی ساختمان که به خیابان یا فضای باز می‌نگرد، اشاره داشت. با پیشرفت فناوری، فرم و عملکرد نماها به تدریج پیچیده‌تر شدند. یکی از نقاط عطف مهم در تاریخ طراحی نمای پویا، «ویلا جیراسل» (Girasole Villa) بود که در دهه ۱۹۳۰ توسط اینورنتزی (Invernizzi) ساخته شد. این ویلا با الهام از گل آفتاب‌گردان طراحی شد و قابلیت چرخش مکانیکی بر روی ریل را داشت تا در راستای مسیر خورشید بچرخد. این طرح، گذار از نمای ایستا به نمای پویا را نشان می‌دهد [۱۲]. در دهه ۱۹۷۰ ویلیام زاک (William Zuk) معماری پویا را به عنوان شاخه‌ای معرفی کرد که در آن بخش‌هایی از ساختمان یا تمام آن توانایی انطباق پویا از طریق تغییرات برگشت‌پذیر، فرم‌پذیری، تنظیمات تدریجی یا حرکتی را دارند [۱۳]. با ورود به قرن ۲۱، تمرکز تحقیقات در زمینه پوسته ساختمان‌ها بر راهکارهای انطباق‌پذیر با محیط‌زیست برای افزایش عملکرد معماری، بهبود آسایش ساکنان و کاهش مصرف انرژی متمرکز شده است. یکی از نمونه‌های برجسته این رویکرد، ساختمان «مؤسسه دنیای عرب» (Institute du Monde Arabe) است که توسط ژان نوول (Jean Nouvel) در سال ۱۹۸۷ طراحی شد. این ساختمان دارای یک سیستم سایه‌اندازی در نمای جنوبی است که با استفاده از حسگرها به شدت نور پاسخ می‌دهد و میزان

چهار عنصر معرفی الگو مبتنی بر عنصر معماری ایرانی (ارسی)، تنوع اقلیمی، تنوع جهات ساختمانی و تنوع فاکتورهای نور مورد بررسی در آنالیز باعث به‌وجود آمدن پژوهشی متفاوت نسبت به سایر پژوهش‌ها شده است و با اثبات کارایی آن می‌تواند الگو و مبنایی برای طرح و پژوهش‌های دیگر نماهای متحرک و استفاده مناسب از آن متناسب با هر اقلیم و جهت ساختمانی بشود.

ساختمان ارزیابی می‌کند. برخلاف مطالعات پیشین که عمدتاً بر نماهای متحرک عمومی یا الگوهای هندسی اسلامی یا نماهای مبتنی بر الگوهای زیستی در یک اقلیم خاص تمرکز داشته‌اند، پژوهش حاضر یک الگوی نمای متحرک بومی‌شده و مبتنی بر فرهنگ جامعه ارائه می‌دهد که عملکرد نور روز و انرژی آن در اقلیم‌های معتدل، گرم و خشک، گرم و مرطوب و سرد به‌صورت مقایسه‌ای بررسی شده است. به عبارتی دیگر

جدول ۱: بررسی پژوهش‌های انجام شده در زمینه استفاده از نماهای متحرک در جهت اهداف معماری پایدار

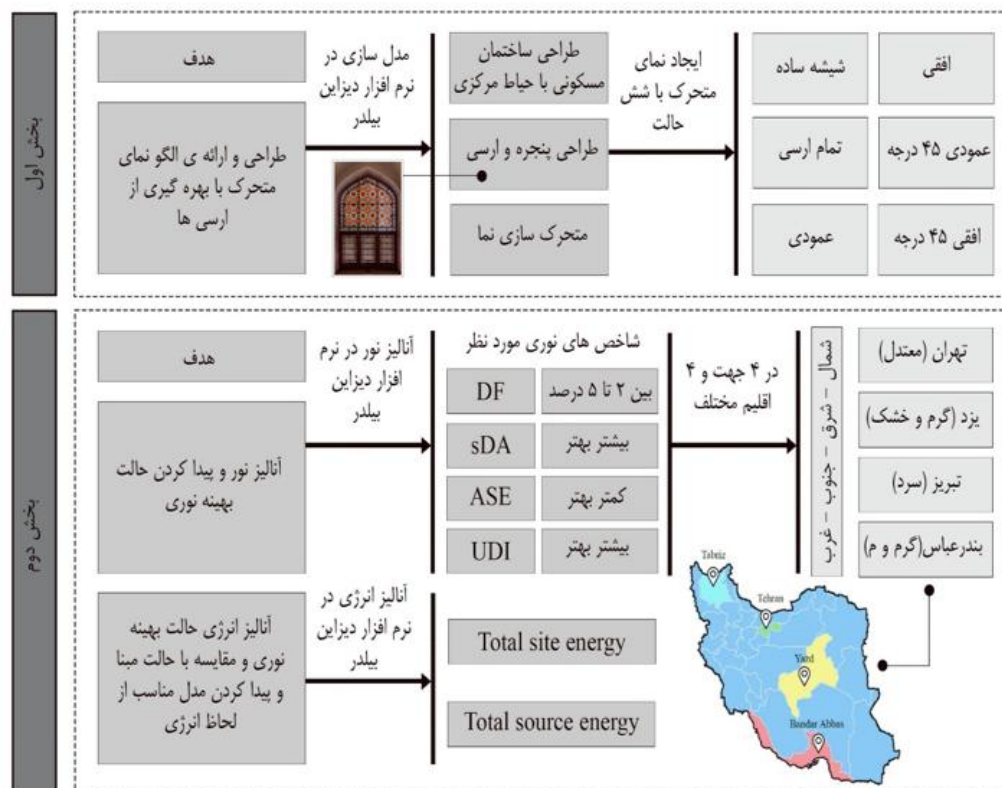
نوع نمای متحرک	توضیح	تکنولوژی و فناوری	اهداف	نمونه‌ها
تطبیقی (Adaptive Facade)	در برابر محرک‌های محیطی عناصر یا ویژگی‌های خود را به‌صورت غیرفعال یا فعال تغییر می‌دهد. [۱۵]	شیشه‌های هوشمند (ترموکرومیک - الکتروکرومیک - ترکیبی)	بهره‌وری انرژی آسایش حرارتی	در یک مطالعه در مراکش، استفاده از شیشه ترکیبی در اقلیم مدیترانه‌ای موجب افزایش بهره‌وری انرژی تا ۳۶٪ و کاهش هزینه‌ها تا ۱۸٪ شد [۸]
حرکتی (Kinetic Facade)	سیستم‌های پیچیده و متحرکی در سطح خارجی ساختمان گفته می‌شود که قابلیت حرکت، تغییر شکل، تا شدن یا چرخش دارند به‌صورت پویا و با شرایط محیطی [۱۶]	حسگرها و محرک‌ها - ساختارهای اریگامی محور - مواد حافظه‌دار - سیستم‌های سایه انداز دینامیکی مثل لوور ها - قوانین فولدینگ مثل مایاکاواساکی - پوسته‌های ثانویه - در اطراف پنجره‌ها [۱۷ و ۱۸ و ۱۹]	نورگیری نما کاهش خیرگی بهبود تهویه آسایش حرارتی	مقاله نقوش اسلامی با استفاده از اریگامی نتایج بدست آمده مدول ۱ با زاویه‌ی بردار ۷۲° و زاویه محرک بین ۳۰° تا ۳۳° بهترین عملکرد رو داره [۲۰]
نماهای زیست الهام گرفته یا بیومیمتیک (Biomimetic Facade)	اصول و ویژگی‌های رفتاری یا ساختاری موجودات زنده برای بهبود عملکرد ساختمان‌ها شبیه‌سازی می‌شود. [۲۱ و ۲۲] دو رویکرد اصلی در طراحی این نماها عبارتند از: یک شکل‌گیری بصری و فرمی از موجودات طبیعی دو الگوگیری از مکانیزم‌های عملکردی و فیزیولوژیکی آن‌ها در یک بررسی، از میان ۳۰ نمونه نمای زیستی، ۵۷٪ الهام‌گرفته از حیوانات، ۳۶٪ از گیاهان و ۷٪ از پروتوزوآها بودند [۲۳].	حسگرها و محرک‌ها ماژول‌های حافظه‌دار پلیمرهای حافظه‌دار و حساس به نور	بهینه‌سازی انرژی بهبود تهویه آسایش محیطی بهبود نور [۲۴]	پژوهش مربوط به گل گازانیا [۲۲]، پژوهش دیگری با الهام از حرکت برگ‌های گیاه Oxalis triangularis (عاشق نور) [۲۵]، پژوهش دیگری با الهام گرفتن از گل زنبق در یک ساختمان [۲۶]
نماهای غیرفعال (Passive Facade)	عدم استفاده از حرکت یا محرک‌های مکانیکی، از منابع طبیعی مانند نور خورشید و تهویه طبیعی برای کاهش وابستگی به سیستم‌های مکانیکی استفاده می‌کنند.	نمای دوبوخته (لایه‌ی خارجی شیشه، لایه‌ی داخلی کرکره دیوار) نمای دوبوخته ترکیبی مواد تعبیر فزاینده سلول‌های خورشیدی [۲۸]	بهبود نور تهویه‌ی مناسب بهبود انرژی	لین و همکاران یک سیستم DSF طراحی کردند که لایه بیرونی آن شیشه کرکره دار قابل تنظیم و لایه داخلی، دیواری مات با پنجره‌های بازشو است. و باعث آسایش حرارتی شد [۲۷].

مواد و روش ها

تحقیق حاضر از دو بخش اصلی تشکیل شده است بخش اول مربوط به طراحی و ارائه الگوی نمای متحرک با بهره‌گیری از ارسی‌هاست و در بخش دوم به آنالیز نور و انرژی این طراحی در اقلیم‌های مختلف می‌پردازیم این پژوهش از نوع طراحی محور و مبتنی بر مدل‌سازی است. در این رویکرد، ابتدا طرح موردنظر ارائه شده و سپس با استفاده از مدل‌سازی، اثرات و نتایج آن مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. ماهیت پژوهش حاضر کمی - تحلیلی بوده و استوار بر داده‌های کمی حاصل از فرآیند مدل‌سازی است. پس از انجام مدل‌سازی، آنالیز نور و انرژی طرح در چهار اقلیم مختلف ایران انجام خواهد شد. این اقلیم‌ها شامل تهران (با اقلیم معتدل)، یزد (با اقلیم گرم و خشک)، تبریز (با اقلیم سرد) و بندرعباس (با اقلیم گرم و مرطوب) هستند. در ادامه، انرژی حالت بهینه در بخش نور برای هر اقلیم استخراج و نتایج حاصل از تحلیل‌ها ارائه خواهد شد. نرم‌افزار مورد استفاده برای مدل‌سازی و انجام آنالیزهای نور و انرژی، نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر Design Builder است که از موتورهای Energy Plus و Radiance بهره می‌برد.

طرح مورد مطالعه، نمای متحرکی است که با الهام از معماری سنتی ارسی‌ها طراحی شده است. این نما قابلیت تغییر حالت در شش وضعیت مختلف را دارد: شیشه ساده، تمام ارسی، عمودی، افقی، عمودی ۴۵ درجه و افقی ۴۵ درجه.

- طراحی و مدل‌سازی: طراحی و مدل‌سازی ساختمان مسکونی دارای حیاط مرکزی: پیش‌زمینه و انتخاب کاربری: باتوجه به اثرات مثبت ارسی‌ها در کنترل نور و انرژی و همچنین اهمیت فرهنگی آن‌ها، این پژوهش بر طراحی نماهای متحرک با الهام از ارسی تمرکز دارد. بررسی‌ها نشان داد که ارسی‌ها عمدتاً در فضاهای مسکونی و داخلی خانه‌ها به کار رفته‌اند، هرچند نمونه‌هایی از کاربرد آن‌ها در نمای بیرونی نیز مشاهده می‌شود. براین اساس، کاربری انتخاب شده برای طراحی نمای متحرک این پژوهش، حیاط مرکزی در یک فضای مسکونی در نظر گرفته شد. مشخصات هندسی و چیدمان فضا: حیاط مرکزی مورد مطالعه دارای ابعاد مکعب بیرونی ۱۵×۱۵ متر است. فضای خالی مرکزی که حیاط را تشکیل می‌دهد، ابعادی معادل ۱۰×۱۰ متر دارد و ارتفاع آن ۳.۵ متر در نظر گرفته شده است.

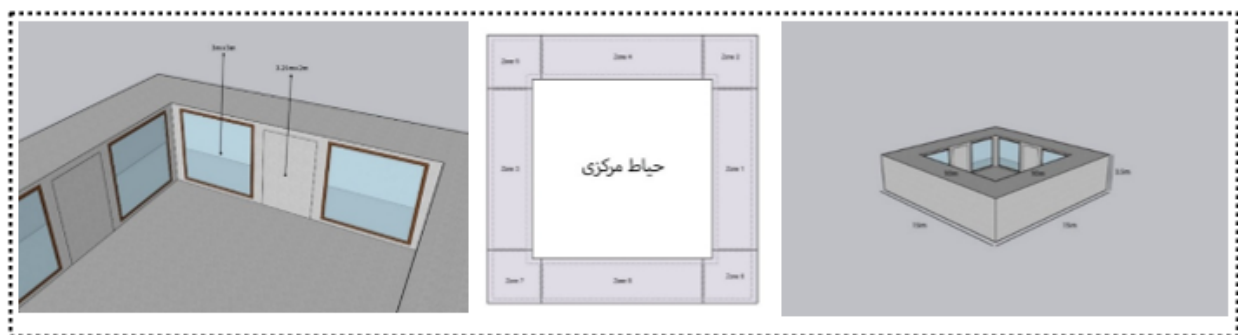


شکل ۲: روند انجام پژوهش در دو بخش اصلی

مدل‌سازی هندسی و متریال این اجزا خواهد بود. مدل‌سازی پنجره: پنجره‌های استاندارد مورد استفاده در این طرح، دارای ابعاد 3×3 متر بوده و از متریال شیشه معمول ساختمانی بهره می‌برند. مدل‌سازی این پنجره‌ها با توجه به ابعاد ذکر شده انجام گرفته است. مدل‌سازی ارسی: فرآیند مدل‌سازی ارسی با تعریف یک مدول پایه 1×1 متری آغاز شد. سپس، این مدول‌ها در قالب پنل‌های 3×3 متری سازماندهی شدند تا جایگزین پنجره‌های استاندارد گردند. هر پنل 3×3 متری، از ترکیب ۹ مدول ارسی 1×1 متری تشکیل شده است. در طراحی نمای مورد نظر، سه پنل 3×3 متری برای هر پنجره در نظر گرفته شده است. مدل‌سازی جزئیات هندسی ارسی‌ها بر اساس تصاویر ارسی‌های اصلی صورت پذیرفته است. ابتدا، در صفحه 1×1 متری، خطوطی نقاط میانی اضلاع مربع را به یکدیگر متصل کرده و سپس، این پاره‌خط‌های حاصل نیز به هم وصل شدند. اشکال چندضلعی موجود در ساختار ارسی که در دو اندازه بزرگ و کوچک مشاهده می‌شدند، به صورت شش‌ضلعی مدل‌سازی شدند. این ساده‌سازی هندسی، با هدف تسهیل فرآیند مدل‌سازی و حفظ شباهت ظاهری ارسی، بدون تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر نتایج آنالیزهای نور انجام پذیرفت. ابعاد شش‌ضلعی‌ها به این صورت تعیین گردید: شش‌ضلعی بزرگ: دارای قطر ۳۰ سانتی‌متر، شش‌ضلعی کوچک: دارای قطر ۲۰ سانتی‌متر، این ابعاد با در نظر گرفتن این منطق انتخاب شدند که در هر یک از پاره‌خط‌های اتصال دهنده اضلاع مربع ارسی، دو قطر شش‌ضلعی بزرگ و دو قطر شش‌ضلعی کوچک قرار می‌گیرند، به گونه‌ای که مجموع این قطرها برابر با ۱۰۰ سانتی‌متر (۱ متر) گردد.

در این مدل‌سازی، از قراردادن اشیاء اضافی در داخل حیاط مرکزی خودداری شده است تا از تأثیرات ناخواسته بر نتایج شبیه‌سازی نور و انرژی جلوگیری شود. پلان داخلی این واحد مسکونی با حیاط مرکزی، به منظور تسهیل شبیه‌سازی نور و انرژی، به صورت ساده طراحی شده است. هر جبهه و سمت ساختمان به عنوان یک زون مجزا تعریف شده و راه‌های ارتباطی بین این زون‌ها نیز به صورت یک زون مجزا در نظر گرفته شده‌اند. این زون‌های ارتباطی فاقد پنجره به سمت حیاط مرکزی هستند. در نمای حیاط مرکزی، در هر جهت، دو پنجره با ابعاد 3×3 متر و یک در با ابعاد 3.25×2 متر در وسط قرار گرفته است که جزئیات بیشتر در بخش مربوط به نما و پنجره ارائه خواهد شد. متریال‌شناسی: به منظور انجام شبیه‌سازی در چهار اقلیم مختلف، از متریال عمومی سیمان سفید برای سطوح حیاط مرکزی استفاده شده است، زیرا این متریال تأثیر قابل توجهی بر محاسبات نور ندارد. جزئیات متریال پنجره‌ها در بخش مربوط به تفصیل شرح داده خواهد شد، اما برای درهای ورودی حیاط مرکزی، متریال چوب در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که در بحث شبیه‌سازی نور، اهمیت متریال و نوع پنجره‌ها به مراتب بیشتر از متریال به کاررفته در سطوح حیاط مرکزی است.

مدل‌سازی پنجره و ارسی در نمای حیاط مرکزی: نمای حیاط مرکزی این پژوهش، متشکل از پنجره‌های استاندارد با ابعاد 3×3 متر و ارسی‌های متحرک است. با توجه به عملکرد دینامیک نما، این پنجره‌ها و ارسی‌ها قابلیت جابجایی دارند که جزئیات مکانیکی و حرکتی آن‌ها در بخش متحرک‌سازی نما این مقاله تشریح خواهد شد. در این قسمت، تمرکز بر

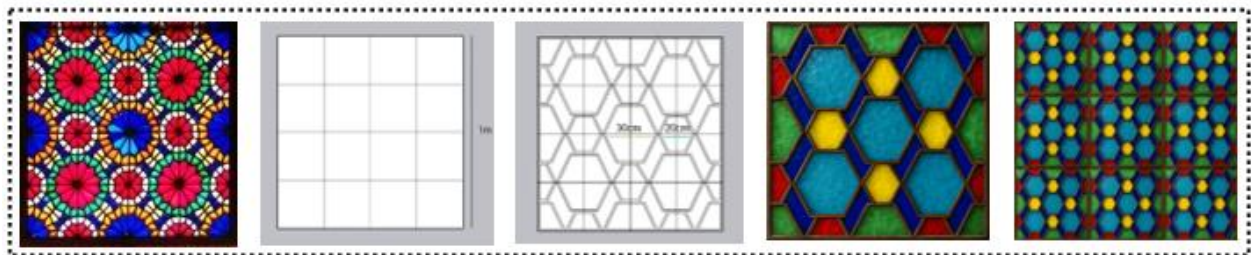


شکل ۳: طراحی ساختمان مسکونی و حیاط مرکزی

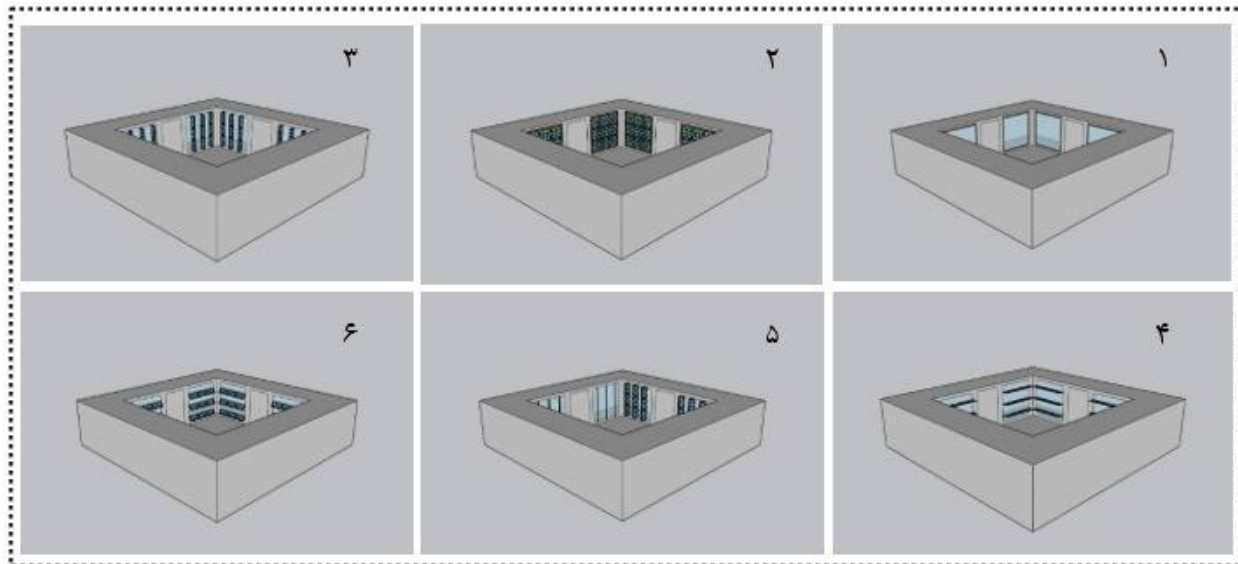
متحرک‌سازی نمای خود را بیان کردیم یعنی حالت شیشه ساده و حالت ارسی. از اینجا به بعد حالتی که در آن همان‌طور که قبل‌تر گفته شده ارسی‌ها تبدیل به سایبان شده و در حالات مختلف می‌توانند جمع و باز شوند این جمع‌شدن آنها به این صورت است که در هر مدول ۱ در ۱ در ۴ حالت می‌تواند حرکت داشته باشد که در ادامه به آن اشاره می‌کنیم در واقع ما از روش اریگامی برای تغییر شکل به ارسی مان استفاده می‌کنیم. اما قبل از بیان انواع حالت‌ها باید گفت که هر مدول که روی هم تا می‌شود توسط پیستون‌هایی برقی می‌تواند جمع شود و هر مدول در واقع به ۴ مربع مساوی تقسیم شده که بتوان این حرکت را روی آنها پیاده کرد یعنی یک مدول ۱ در ۱ که یک به علاوه روی آن وجود دارد و در واقع انگار که یک خط تا می‌باشد. حالا باتوجه به این نکته اولین حالتی که ارسی ما می‌تواند کسب کند این است به صورت عمودی رو هم تا شود و تبدیل به یک سایبان عمودی شود. حالت دیگری که وجود دارد این است که این بار به طور افقی روی هم جمع شوند و تبدیل به سایبان افقی شوند. این پیستون‌ها و بازوها که باعث جمع‌شدن ارسی‌ها می‌شود در انتهای خود که به پنجره می‌رسد لولا دارند که باعث حرکت دورانی سایبان می‌شود و سایبان می‌تواند با زاویه بایستد به این وسیله ما می‌توانیم حالت‌های نیمه‌باز هم در نظر بگیریم یعنی حالت ۴۵ درجه در پلان و حالت ۴۵ درجه در مقطع که می‌شود سایبان عمودی ۴۵ درجه و همین‌طور سایبان افقی ۴۵ درجه. پس باتوجه به این موارد ما شش حالت متحرک برای نمای خود ایجاد کرده و در ادامه به بررسی موارد نور و انرژی در مورد این نمای متحرک می‌پردازیم

شش‌ضلعی‌ها ابتدا در پاره‌خط‌های مرکزی اضلاع مربع جانمایی شده و سپس الگو برای سایر ردیف‌ها تکرار گردید تا مدول نهایی ۱×۱ متری ارسی تکمیل شود. در این مدول، فضاهای شش‌ضلعی با متریلال شیشه رنگی و نواحی بین شش‌ضلعی‌ها با متریلال چوب پر شده است. لازم به ذکر است که متریلال چوب در محاسبات و آنالیز نور تأثیرگذار نخواهد بود.

متحرک‌سازی نما: حال به بررسی نحوه متحرک بودن نما و حالت‌های مختلفی که دارد می‌پردازیم: در ابتدا باید بگوییم که پنجره‌هایی که ما در نما تعریف کردیم به صورت پنل‌هایی کشویی در رفت‌وآمد هستند و این پنجره‌ها شامل سه لایه می‌شوند یک لایه خود پنجره‌های با شیشه‌ی ساده هستند که در حالت اول ما را در این نمای متحرک تشکیل می‌دهند یعنی پنجره با شیشه‌ی ساده، لایه‌ی بعد پنجره‌های ارسی هستند که در قسمت قبل طراحی آنها توضیح داده شد پنل ارسی‌ها شامل ۹ تا از مدول ارسی که در قسمت قبل توضیح داده شد می‌شود که در یک مربع ۳ در ۳ قرار می‌گیرند و حالتی که پنل پنجره‌ی ارسی می‌آید حالت دوم نمای متحرک ما می‌شود آمدن این لایه‌های کشویی هم دستی امکان‌پذیر است و هم به صورت برقی لایه‌ی بعدی یک صفحه‌ی مقوایی شکل است که پشت ارسی قرار می‌گیرد و این زمانی است که ارسی بخواهد جمع شود و به صورت سایبان در بیاید این لایه به کار اضافه می‌شود که حالت‌های جمع‌شدن ارسی در ادامه بیان می‌شود. نکته‌ای دیگری که می‌توان در مورد این لایه‌ها اشاره کرد آن است که در مواقعی که لایه‌ها وجود ندارد در قسمت دیوار داخلی قرار می‌گیرد و اندازه‌ی آن در فضای داخلی تعبیه شده است. تا به اینجا دو حالت از حالت‌های



شکل ۴: روند طراحی پنجره و ارسی به ترتیب از چپ به راست



شکل ۵: انواع حالات نمای متحرک (۱: شیشه ساده ۲: تمام ارسی ۳: عمودی ۴: افقی ۵: عمودی ۴۵ درجه ۶: افقی ۴۵ درجه)

- بخش آنالیز نور و انرژی: در این بخش بعد از مدل‌سازی طرح در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر، ابتدا برای هر جهت‌نمای ساختمان در ۶ حالت نمای متحرک آنالیز نور را با شاخص‌های UDI ، ASE ، sDA ، DF در ۴ اقلیم مختلف در شهرهای تهران، یزد، بندرعباس، تبریز انجام می‌دهیم پس در واقع ما برای آنالیز نور خود $4 \times 4 \times 6$ که می‌شود ۳۸۴ حالت و عدد داریم و سپس طبق استانداردهایی که در ادامه خواهد آمد حالت بهینه نما برای هر جهت در هر اقلیم را بدست می‌آوریم و سپس در هر اقلیم بعد از آنکه حالت بهینه در هر ۴ جهت ساختمان مشخص شد آنالیز انرژی گرفته و انرژی آن را با انرژی یک حالت مبنا که در آن طرح ما وجود ندارد و حالت شیشه‌ی معمولی در نما هست مقایسه می‌کنیم و نتایجی از آن استخراج می‌کنیم.

- تعاریف شاخص‌های نور و بررسی استانداردهای آن: (۱) فاکتور نور روز (Daylight Factor یا DF): فاکتور نور روز (DF) یکی از شاخص‌های استاتیک نورسنجی است. این شاخص به‌صورت نسبت روشنایی داخل فضا به روشنایی خارج از فضا، تحت شرایط آسمان ابری و بدون مانع، تعریف می‌شود و برای هر نقطه از سطح کار به‌صورت مجزا محاسبه می‌گردد [۳۴].
با این حال، معمولاً با میانگین‌گیری از مقادیر نقاط مختلف، یک مقدار کلی برای ارزیابی عملکرد نور روز در کل فضا ارائه می‌شود. مقدار آستانه‌ی این شاخص، بسته به نوع فعالیت و کاربری فضا، معمولاً بین ۲ تا ۵ درصد در نظر گرفته می‌شود

(۲) کفایت خودمختاری نور روز (Spatial Daylight Autonomy یا sDA): شاخص sDA از جمله شاخص‌های دینامیک نورسنجی است که میزان کفایت نور طبیعی در فضای داخلی را نشان می‌دهد. این شاخص بیانگر درصدی از زمان اشغال سالانه‌ی فضا است که طی آن، میزان روشنایی موردنیاز در یک نقطه‌ی مشخص تنها از طریق نور طبیعی تأمین می‌شود [۳۰]. انجمن مهندسی روشنایی (IES) پیشنهاد می‌کند درصدی از سطح فضا که حداقل ۳۰۰ لوکس روشنایی را در حداقل ۵۰ درصد ساعات اشغال سالانه (معمولاً از ساعت ۸ تا ۱۸) دریافت می‌کند، به‌عنوان معیار ارزیابی در نظر گرفته شود. نقاطی که شرایط مذکور را داشته باشند «نقاط روشن» و سایر نقاط «نقاط تاریک» نامیده می‌شوند؛ بنابراین فضا را می‌توان به نواحی روشن و تاریک تقسیم کرد [۳۱]. استاندارد ساختمان سبز لید (LEED v4) نیز تعریفی مشابه برای این شاخص ارائه می‌دهد.
(۳) روشنایی مفید نور روز (Useful Daylight Illuminance یا UDI): شاخص UDI نیز در دسته‌ی شاخص‌های دینامیک قرار می‌گیرد و بیانگر نسبت زمان اشغال سالانه‌ی فضا است که در آن، میزان روشنایی افقی در یک نقطه‌ی مشخص در محدوده‌ای قابل‌قبول قرار دارد [۳۲]. این شاخص با در نظر گرفتن حد پایین و بالای روشنایی، بازه‌ی زمانی ارزیابی را به سه دسته تقسیم می‌کند: زمان‌هایی که

اعتماد کرد و از آن‌ها برای ارزیابی عملکرد نور روز بهره گرفت. در این پژوهش نیز این شاخص‌ها به عنوان معیارهای اصلی ارزیابی نور طبیعی مورد استفاده قرار خواهند گرفت. شاخص‌های نور روز در استاندارد LEED v5: در جدیدترین نسخه‌ی استاندارد ساختمان سبز لید (LEED v5)، تأکید اصلی بر کیفیت محیط نوری و استفاده از شبیه‌سازی‌های دینامیک اقلیمی است. در این نسخه، تنها شاخصی که مستقیماً برای آن امتیاز در نظر گرفته شده، شاخص SDA است. نحوه‌ی امتیازدهی این شاخص مطابق جداول ارائه شده در استاندارد انجام می‌شود. در LEED v5، شاخص SDA به صورت درصدی از فضای داخلی تعریف می‌شود که حداقل ۳۰۰ لوکس نور طبیعی را برای حداقل ۵۰ درصد ساعات کاری سالانه دریافت می‌کند. البته برای برخی فضاها که نیاز نوری و بصری ویژه‌ای ندارند، مانند راهروها یا انباری‌ها، حداقل روشنایی ۱۵۰ لوکس نیز قابل قبول در نظر گرفته شده است. علاوه بر SDA، شاخص دیگری نیز در این استاندارد اهمیت دارد که اگرچه به طور مستقیم امتیازی به آن تعلق نمی‌گیرد، اما نقش هشداردهنده و محدودکننده دارد. این شاخص با عنوان مواجهه‌ی سالانه با نور خورشید (Annual Sunlight Exposure یا ASE) شناخته می‌شود. شاخص ASE بیان می‌کند چه درصدی از فضای مورد بررسی، در طول یک سال، بیش از ۲۵۰ ساعت در معرض تابش مستقیم خورشید با شدت روشنایی بیش از ۱۰۰۰ لوکس قرار دارد. هدف این شاخص، شناسایی نواحی مستعد خیرگی، افزایش بیش از حد دما و ناراضیاتی کاربران است. در زیر، جداول ضوابط مربوط به شاخص‌های نور در استاندارد ساختمان سبز لید آورده شده است:

میزان روشنایی ناشی از نور روز کمتر از حد مطلوب است (UDI underlit)، زمان‌هایی که روشنایی در محدوده‌ی مطلوب قرار دارد (UDI useful) و زمان‌هایی که شدت روشنایی بیش از حد بوده و می‌تواند موجب خیرگی و کاهش آسایش بصری شود (UDIOverlit). مقادیر حد پایین و بالای این شاخص در منابع مختلف متفاوت است، اما به طور معمول بازه‌ی ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس به عنوان محدوده‌ی مطلوب روشنایی در نظر گرفته می‌شود [۳۳]. اعتبار شاخص‌های نور روز: یکی از موضوعات مهم در استفاده از شاخص‌های نور روز، بررسی میزان اعتبار و تطابق آن‌ها با ادراک کاربران است. در پژوهشی که باهدف ارزیابی کارآمدترین شاخص‌های سنجش کفایت نور روز و میزان هماهنگی آن‌ها با ارزیابی ذهنی کاربران انجام شد، ۳۸۶ دانشجوی معماری در ۲۰ آتلیه‌ی آموزشی در شهر تهران مورد بررسی قرار گرفتند [۳۰]. نتایج این پژوهش نشان داد که از دید کاربران، شدت روشنایی ۱۲۵ لوکس مرز بین فضای «تاریک» و «نسبتاً روشن» و مقدار ۳۵۰ لوکس مرز بین فضای «نسبتاً روشن» و «روشن» تلقی می‌شود. همچنین در خصوص شاخص DF، مقادیر بیشتر از ۲ درصد با احساس روشنایی مطلوب همخوانی بیشتری داشتند. در میان شاخص‌های دینامیک مبتنی بر اقلیم نیز شاخص SDA با در نظر گرفتن حد پایین ۳۰۰ لوکس، بیشترین تطابق را با ارزیابی کاربران نشان داد. در مورد شاخص UDI، نتایج در برخی شرایط با ارزیابی کاربران همخوانی نداشت، اما در برخی موارد، از جمله پیش‌بینی نواحی روشن در فضاها با توزیع نور غیریکنواخت، تطابق مناسبی مشاهده شد [۳۲]. در مجموع، بر اساس مطالعات انجام شده می‌توان تا حد قابل قبولی به شاخص‌های SDA، DF و در برخی موارد UDI

جدول (۲) ضوابط مربوط به شاخص‌های نور در استاندارد ساختمان سبز لید

شاخص	سیستم ارزیابی	شرح ضابطه
فاکتور نور روز (DF)	لید ۲	در حداقل ۷۵ درصد از مساحت فضا، فاکتور نور روز بیش از ۲ درصد باشد
مقدار روشنایی (E)	لید ۴	حداقل ۷۵ درصد از فضا، در اعتدال پاییزی در ساعات ۹ صبح و ۳ بعدازظهر، تحت شرایط آسمان صاف، روشنایی بین ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس دریافت کند
کفایت نور روز فضایی (sDA)	لید ۴	درصدی از فضا که مقدار روشنایی حداقل ۳۰۰ لوکس را برای زمان حداقل ۵۰ درصد از زمان اشغال فضا در یک سال (با احتساب ۱۰ ساعت اشغال در هر روز) دریافت کند، ۵۵ درصد یا بیشتر باشد

جدول (۳) نحوه‌ی امتیازدهی فاکتور نور طبیعی در لید ۵

امتیاز	SDA300/50% یا در بعضی فضاها SDA150/50%
۱	$\geq 40\%$
۲	$\geq 55\%$
۳	$\geq 65\%$
۴	$\geq 75\%$

سایبان افقی که نشان‌دهنده‌ی مناسب بودن این نوع سایبان برای این اقلیم است.

باتوجه به امتیازات بدست آمده در این اقلیم در سه جهت سایبان افقی و در یک جهت سایبان افقی ۴۵ درجه و نشان می‌دهد سایبان افقی طبق فاکتورهای نور آورده شده حتی در اقلیم سرد هم بهترین جواب‌ها بودند.

باتوجه به امتیازات کسب شده در این اقلیم هم بهترین جواب‌ها سایبان افقی درجه ۴۵ و سایبان افقی بودند.

به‌طور کلی بعد از آنالیز نور متوجه شدیم در همه نوع اقلیمی و در اکثر جهات باتوجه به این فاکتورهای سنجش نور طبق امتیازات سایبان افقی ۴۵ و یا سایبان افقی به‌عنوان حالت بهینه بدست آمدند البته اگر فاکتور DF را که فاکتور استاتیک هست حذف می‌کردیم در مواردی حالت بهینه از سایبان‌های عمودی ۴۵ درجه و سایبان عمودی بدست می‌آمد اما به‌رحال طبق فاکتورهای آورده شده و استفاده شده در این پژوهش به این نتایج رسیدیم که در ادامه‌ی پژوهش انرژی محاسبه شده حالت بهینه در قسمت منابع و سایت را برای هر اقلیم آورده و آن را با مدل مبنا که حالت بدون استفاده از طرح ما هست یعنی حالت شیشه ساده مقایسه می‌کنیم.

نتایج آنالیز انرژی: در جدول زیر نتایج آنالیز انرژی مدل بهینه از لحاظ نور و مدل مبنا در دو قسمت مجموع انرژی سایت و منابع در چهار اقلیم مختلف به‌صورت مقایسه‌ای با هم آورده شده است. همان‌طور که در نتایج مشاهده می‌شود در همه‌ی اقلیم‌ها و همه‌ی حالات مدل بهینه انرژی کمتری نسبت به مدل مبنا مصرف می‌کند و این نشان می‌دهد که طرح و الگوی ارائه شده در کاهش انرژی مصرفی ساختمان موفق عملکرد است البته به جز در یک مورد در اقلیم سرد در شهر تبریز و در بخش منابع که در آنجا کاهش انرژی نداشته‌ایم و دلیل این امر را می‌توان در ماهیت اقلیمی و ضرورت بهره‌گیری حداکثری از تابش خورشیدی در این مناطق جست‌وجو کرد.

نحوه امتیازدهی: طبق مطالب گفته شده معیار ما برای بررسی فاکتورهای نور روز به این صورت شد که فاکتور DF بین ۲ تا ۵ درصد مناسب است، درصد فاکتور SDA هرچه بیشتر باشد بهتر است، درصد فاکتور ASE هر چه کمتر باشد بهتر است و درصد فاکتور UDI هر چه بیشتر باشد مناسب‌تر است. به هر کدام از حالت‌ها و در مورد هر فاکتور امتیازی از ۱ تا ۶ به حالت‌ها می‌دهیم به این صورت که حالتی که بهترین عدد برای آن فاکتور را دارد امتیاز ۶ و نامناسب‌ترین عدد امتیاز ۱ را دریافت می‌کند. برای راحت‌تر شدن کار هم هر کدام از حالت‌ها را شماره می‌دهیم به این ترتیب که حالت شیشه ساده حالت ۱، حالت ارسی حالت ۲، حالت سایبان عمودی حالت ۳، حالت سایبان افقی حالت ۴، حالت سایبان عمودی ۴۵ درجه حالت ۵، حالت سایبان افقی ۴۵ درجه حالت ۶ هستند و سپس امتیاز هر کدام از فاکتورها را برای هر حالت جمع می‌زنیم و حالتی که بیشترین امتیاز را دریافت کند حالت بهینه‌ی ما برای این جهت در این اقلیم می‌شود.

یافته‌ها

نتایج آنالیز نور: ابتدا از اقلیم شهر تهران شروع کرده و سپس به ترتیب یزد، تبریز و بندرعباس و هر کدام از اضلاع را بررسی کرده و حالت بهینه‌ی آن را از لحاظ فاکتورهای نور با لیل اعلام می‌کنیم.

باتوجه به نتایج بدست آمده در این شهر در جهت شرق نیاز به استفاده از این نمای متحرک وجود ندارد و حالت شیشه ساده بهتر است، نکته بعد اینکه خیرگی در سمت شمال از همه‌جا بیشتر است و حالت بهینه برای شمال و جنوب طبق امتیازات سایبان افقی ۴۵ بدست آمد در جهت غرب هم بهترین حالت سایبان افقی شد پس در مجموع سایبان‌های افقی در این اقلیم به‌خوبی جوابگو بودند.

باتوجه به نتایج بدست آمده در این شهر هم بهترین حالت در سه جهت سایبان افقی ۴۵ درجه بدست آمد و در یک جهت

جدول (۴) آنالیز نور شهر تهران

حالت بهینه	نمودار فاکتور های نور برای شش حالت نما های متحرک	جدول فاکتور های نور برای شش حالت نمای متحرک	جهت			
سایبان افقی ۴۵		حالت ها	DF	sDA	ASE	UDI
		فقط شیشه	۱۰۵۱۴	۱۰۰	۱۹۰۷۵	۳۴.۲۷۷
		ارسی	۰۵۸۷	۶۲.۴۲۸	۱۰۰	۹۳۰۶۴
		سایبان عمودی	۸.۲۲۸	۹۱.۳۲۹	۲۶.۰۱۲	۳۱.۷۹۲
		سایبان افقی	۶.۱۳۷	۸۲۰۰۸۱	۲۹.۴۸	۳۶.۴۱۶
		سایبان عمودی ۴۵	۶.۹۸۷	۱۰۰	۲۷.۱۶۸	۲۳.۱۲۱
		سایبان افقی ۴۵	۴.۳۰۹	۱۰۰	۳۵۸۴	۲۸.۹۰۲
شیشه ساده		حالت ها	DF	sDA	ASE	UDI
		فقط شیشه	۹.۷۷۸	۹۵.۹۵۴	۵۲.۶۰۱	۵۶.۰۶۹
		ارسی	۰.۶	۱۲.۷۱۷	۱۰۰	۷۵.۷۲۳
		سایبان عمودی	۷.۸۷۴	۹۳.۰۶۴	۵۸.۹۶	۳۵.۲۶
		سایبان افقی	۵.۹۹۸	۹۳.۶۴۲	۷۹.۷۶۹	۴۲.۷۷۵
		سایبان عمودی ۴۵	۶.۵۴۷	۹۰.۷۵۱	۶۰.۱۱۶	۴۷.۳۹۹
		سایبان افقی ۴۵	۴.۳۷۷	۸۷.۸۶۱	۸۹.۵۹۵	۷۸.۶۱۳
سایبان افقی ۴۵		حالت ها	DF	sDA	ASE	UDI
		فقط شیشه	۹.۷۵۵	۱۰۰	۱۰۰	۳۵.۲۶
		ارسی	۰.۶۰۱	۵.۲۰۲	۱۰۰	۷۴.۵۶۶
		سایبان عمودی	۷.۸۹	۹۸.۲۶۶	۱۰۰	۴۷.۹۷۷
		سایبان افقی	۶.۰۴۴	۹۹.۴۲۲	۱۰۰	۶۱.۲۷۲
		سایبان عمودی ۴۵	۶.۷۷	۹۶.۵۳۲	۱۰۰	۶۶.۴۷۴
		سایبان افقی ۴۵	۴.۴۱۷	۹۷.۱۱	۱۰۰	۹۸.۸۴۴
سایبان افقی		حالت ها	DF	sDA	ASE	UDI
		فقط شیشه	۱۰.۲۸۲	۶۹.۹۴۲	۲۸.۳۲۴	۲۰.۳۳۱
		ارسی	۰.۵۹۳	۳۶.۹۹۴	۱۰۰	۸۲.۰۸۱
		سایبان عمودی	۸.۰۵۲	۷۵.۱۴۵	۳۲.۹۴۸	۲۷.۱۶۸
		سایبان افقی	۵.۹۵۸	۹۲.۴۸۶	۳۴.۶۸۲	۳۰.۰۵۸
		سایبان عمودی ۴۵	۷.۱۴۷	۶۹.۹۴۲	۳۶.۹۹۴	۳۳.۵۲۶
		سایبان افقی ۴۵	۴.۳۱۳	۵۷.۸۰۳	۴۷.۹۷۷	۴۷.۳۹۹

موارد دیگر باعث کاهش انرژی شده است یعنی در اقلیم شهرهای تهران، یزد و بندرعباس ما کاهش انرژی داشتیم اما در اقلیم شهر تبریز در قسمت انرژی سایت کاهش داشتیم اما در قسمت انرژی منابع افزایش انرژی داشتیم و این افزایش به این دلیل است که چون اقلیم شهر تبریز سرد به حساب می آید و طراحی که ما ارائه کردیم مربوط به سایبان و به طور کلی کنترل و بهینه سازی نور ورودی به ساختمان است ولی در اقلیم سرد ما هر چه بیشتر بتوانیم نور خورشید را دریافت کنیم برایمان بهتر است و می تواند برای بخش گرم کردن خانه به ما کمک کند اما طرح ما نور ورودی که باعث گرما می شود را کنترل می کند پس مقداری انرژی صرف جایگزین کردن گرم کردنی که توسط نور خورشید انجام می شد صرف می شود پس به همین دلیل مصرف انرژی در قسمت منابع بالاتر می رود پس به طور کلی طرح ما در اقلیم های گرم و معتدل در قسمت انرژی جواب بهتری می دهد.

در اقلیم های سرد، اولویت اصلی در طراحی، دریافت بیشینه انرژی حرارتی از طریق تابش مستقیم نور خورشید برای جبران بار گرمایشی ساختمان است. استفاده از سایبان در این شرایط، علی رغم مدیریت بهینه نور، مانع از ورود بخشی از انرژی گرمایی تابشی به فضای داخلی شده و در نتیجه، تعادل انرژی را در مقایسه با مدل مبنا تغییر داده است. با این وجود، به استثنای این مورد خاص، طرح پیشنهادی در سایر شرایط اقلیمی، در کاهش تقاضای انرژی ساختمان موفق عمل کرده است.

بحث و نتیجه گیری

نتایجی که از داده های بدست آمده از جداول و نمودار می توان بدست آورد به شرح زیر است:

(۱) در هر چهار اقلیم که بررسی کردیم طراحی که ارائه شده به غیر از یک اقلیم آن هم در بخش انرژی منابع در همی

جدول (۶) آنالیز نور شهر تبریز

حالت بهینه	نمودار فاکتور های نور برای شش حالت نما های متحرک	جدول فاکتور های نور برای شش حالت نمای متحرک	جهت																																			
سایبان افقی ۴۵		<table><tr><th>حالت ها</th><th>DF</th><th>sDA</th><th>ASE</th><th>UDI</th></tr><tr><td>فقط شیشه</td><td>۱۰.۳۶۲</td><td>۱۰۰</td><td>۱۹.۰۷۵</td><td>۱۹.۶۵۳</td></tr><tr><td>ارسی</td><td>۰.۵۷۹</td><td>۵۲.۰۲۳</td><td>۱۰۰</td><td>۹۰.۷۵۱</td></tr><tr><td>سایبان عمودی</td><td>۸.۰۶۷</td><td>۱۰۰</td><td>۲۶.۵۹</td><td>۲۶.۰۱۲</td></tr><tr><td>سایبان افقی</td><td>۵.۹۱۵</td><td>۱۰۰</td><td>۲۸.۹۰۲</td><td>۲۸.۳۲۴</td></tr><tr><td>سایبان عمودی ۴۵</td><td>۶.۹۰۲</td><td>۱۰۰</td><td>۲۷.۱۶۸</td><td>۳۰.۰۵۸</td></tr><tr><td>سایبان افقی ۴۵</td><td>۴.۳۸۷</td><td>۱۰۰</td><td>۳۵.۸۳۸</td><td>۳۸.۷۲۸</td></tr></table>	حالت ها	DF	sDA	ASE	UDI	فقط شیشه	۱۰.۳۶۲	۱۰۰	۱۹.۰۷۵	۱۹.۶۵۳	ارسی	۰.۵۷۹	۵۲.۰۲۳	۱۰۰	۹۰.۷۵۱	سایبان عمودی	۸.۰۶۷	۱۰۰	۲۶.۵۹	۲۶.۰۱۲	سایبان افقی	۵.۹۱۵	۱۰۰	۲۸.۹۰۲	۲۸.۳۲۴	سایبان عمودی ۴۵	۶.۹۰۲	۱۰۰	۲۷.۱۶۸	۳۰.۰۵۸	سایبان افقی ۴۵	۴.۳۸۷	۱۰۰	۳۵.۸۳۸	۳۸.۷۲۸	S
	حالت ها	DF	sDA	ASE	UDI																																	
	فقط شیشه	۱۰.۳۶۲	۱۰۰	۱۹.۰۷۵	۱۹.۶۵۳																																	
	ارسی	۰.۵۷۹	۵۲.۰۲۳	۱۰۰	۹۰.۷۵۱																																	
	سایبان عمودی	۸.۰۶۷	۱۰۰	۲۶.۵۹	۲۶.۰۱۲																																	
	سایبان افقی	۵.۹۱۵	۱۰۰	۲۸.۹۰۲	۲۸.۳۲۴																																	
	سایبان عمودی ۴۵	۶.۹۰۲	۱۰۰	۲۷.۱۶۸	۳۰.۰۵۸																																	
سایبان افقی ۴۵	۴.۳۸۷	۱۰۰	۳۵.۸۳۸	۳۸.۷۲۸																																		
سایبان افقی		<table><tr><th>حالت ها</th><th>DF</th><th>sDA</th><th>ASE</th><th>UDI</th></tr><tr><td>فقط شیشه</td><td>۹.۸۰۷</td><td>۹۴.۲۲</td><td>۴۵.۶۶۵</td><td>۳۲.۹۴۸</td></tr><tr><td>ارسی</td><td>۰.۵۹</td><td>۴.۶۲۴</td><td>۱۰۰</td><td>۷۳.۴۱</td></tr><tr><td>سایبان عمودی</td><td>۷.۹۱۵</td><td>۸۶.۷۰۵</td><td>۵۲.۶۰۱</td><td>۴۷.۳۳۹</td></tr><tr><td>سایبان افقی</td><td>۵.۹۹۶</td><td>۸۹.۵۹۵</td><td>۷۲.۲۵۴</td><td>۶۲.۴۲۸</td></tr><tr><td>سایبان عمودی ۴۵</td><td>۶.۶۰۱</td><td>۸۳.۲۳۷</td><td>۵۷.۸۰۳</td><td>۵۸.۹۶</td></tr><tr><td>سایبان افقی ۴۵</td><td>۴.۴۲۲</td><td>۷۹.۱۹۱</td><td>۸۶.۱۲۷</td><td>۹۳.۶۴۲</td></tr></table>	حالت ها	DF	sDA	ASE	UDI	فقط شیشه	۹.۸۰۷	۹۴.۲۲	۴۵.۶۶۵	۳۲.۹۴۸	ارسی	۰.۵۹	۴.۶۲۴	۱۰۰	۷۳.۴۱	سایبان عمودی	۷.۹۱۵	۸۶.۷۰۵	۵۲.۶۰۱	۴۷.۳۳۹	سایبان افقی	۵.۹۹۶	۸۹.۵۹۵	۷۲.۲۵۴	۶۲.۴۲۸	سایبان عمودی ۴۵	۶.۶۰۱	۸۳.۲۳۷	۵۷.۸۰۳	۵۸.۹۶	سایبان افقی ۴۵	۴.۴۲۲	۷۹.۱۹۱	۸۶.۱۲۷	۹۳.۶۴۲	E
	حالت ها	DF	sDA	ASE	UDI																																	
	فقط شیشه	۹.۸۰۷	۹۴.۲۲	۴۵.۶۶۵	۳۲.۹۴۸																																	
	ارسی	۰.۵۹	۴.۶۲۴	۱۰۰	۷۳.۴۱																																	
	سایبان عمودی	۷.۹۱۵	۸۶.۷۰۵	۵۲.۶۰۱	۴۷.۳۳۹																																	
	سایبان افقی	۵.۹۹۶	۸۹.۵۹۵	۷۲.۲۵۴	۶۲.۴۲۸																																	
	سایبان عمودی ۴۵	۶.۶۰۱	۸۳.۲۳۷	۵۷.۸۰۳	۵۸.۹۶																																	
سایبان افقی ۴۵	۴.۴۲۲	۷۹.۱۹۱	۸۶.۱۲۷	۹۳.۶۴۲																																		
سایبان افقی		<table><tr><th>حالت ها</th><th>DF</th><th>sDA</th><th>ASE</th><th>UDI</th></tr><tr><td>فقط شیشه</td><td>۹.۷۲۴</td><td>۱۰۰</td><td>۱۰۰</td><td>۴۹.۱۳۳</td></tr><tr><td>ارسی</td><td>۰.۶۰۶</td><td>۶.۴۲۸</td><td>۱۰۰</td><td>۷۲.۸۳۲</td></tr><tr><td>سایبان عمودی</td><td>۷.۸۸۹</td><td>۹۵.۹۵۴</td><td>۱۰۰</td><td>۶۶.۴۷۴</td></tr><tr><td>سایبان افقی</td><td>۶.۰۰۹</td><td>۹۷.۶۸۸</td><td>۱۰۰</td><td>۹۴.۲۲</td></tr><tr><td>سایبان عمودی ۴۵</td><td>۶.۸۳۵</td><td>۹۶.۵۳۲</td><td>۱۰۰</td><td>۸۰.۹۲۵</td></tr><tr><td>سایبان افقی ۴۵</td><td>۴.۴۲۲</td><td>۹۵.۳۷۶</td><td>۱۰۰</td><td>۱۰۰</td></tr></table>	حالت ها	DF	sDA	ASE	UDI	فقط شیشه	۹.۷۲۴	۱۰۰	۱۰۰	۴۹.۱۳۳	ارسی	۰.۶۰۶	۶.۴۲۸	۱۰۰	۷۲.۸۳۲	سایبان عمودی	۷.۸۸۹	۹۵.۹۵۴	۱۰۰	۶۶.۴۷۴	سایبان افقی	۶.۰۰۹	۹۷.۶۸۸	۱۰۰	۹۴.۲۲	سایبان عمودی ۴۵	۶.۸۳۵	۹۶.۵۳۲	۱۰۰	۸۰.۹۲۵	سایبان افقی ۴۵	۴.۴۲۲	۹۵.۳۷۶	۱۰۰	۱۰۰	N
	حالت ها	DF	sDA	ASE	UDI																																	
	فقط شیشه	۹.۷۲۴	۱۰۰	۱۰۰	۴۹.۱۳۳																																	
	ارسی	۰.۶۰۶	۶.۴۲۸	۱۰۰	۷۲.۸۳۲																																	
	سایبان عمودی	۷.۸۸۹	۹۵.۹۵۴	۱۰۰	۶۶.۴۷۴																																	
	سایبان افقی	۶.۰۰۹	۹۷.۶۸۸	۱۰۰	۹۴.۲۲																																	
	سایبان عمودی ۴۵	۶.۸۳۵	۹۶.۵۳۲	۱۰۰	۸۰.۹۲۵																																	
سایبان افقی ۴۵	۴.۴۲۲	۹۵.۳۷۶	۱۰۰	۱۰۰																																		
سایبان افقی		<table><tr><th>حالت ها</th><th>DF</th><th>sDA</th><th>ASE</th><th>UDI</th></tr><tr><td>فقط شیشه</td><td>۱۰.۲۷۶</td><td>۸۴.۹۷۱</td><td>۲۸.۹۰۲</td><td>۲۸.۳۲۴</td></tr><tr><td>ارسی</td><td>۰.۵۹۵</td><td>۲۲.۵۴۳</td><td>۱۰۰</td><td>۷۹.۱۹۱</td></tr><tr><td>سایبان عمودی</td><td>۸.۰۵۲</td><td>۸۱.۵۰۳</td><td>۳۳.۵۲۶</td><td>۳۳.۵۲۶</td></tr><tr><td>سایبان افقی</td><td>۵.۹۱۱</td><td>۸۸.۴۳۹</td><td>۳۵.۲۶</td><td>۴۲.۷۷۵</td></tr><tr><td>سایبان عمودی ۴۵</td><td>۷.۱۲۷</td><td>۷۸.۰۳۵</td><td>۳۸.۱۵</td><td>۴۵.۰۸۷</td></tr><tr><td>سایبان افقی ۴۵</td><td>۴.۳۳۳</td><td>۶۹.۳۶۴</td><td>۴۹.۷۱۱</td><td>۷۶.۸۷۹</td></tr></table>	حالت ها	DF	sDA	ASE	UDI	فقط شیشه	۱۰.۲۷۶	۸۴.۹۷۱	۲۸.۹۰۲	۲۸.۳۲۴	ارسی	۰.۵۹۵	۲۲.۵۴۳	۱۰۰	۷۹.۱۹۱	سایبان عمودی	۸.۰۵۲	۸۱.۵۰۳	۳۳.۵۲۶	۳۳.۵۲۶	سایبان افقی	۵.۹۱۱	۸۸.۴۳۹	۳۵.۲۶	۴۲.۷۷۵	سایبان عمودی ۴۵	۷.۱۲۷	۷۸.۰۳۵	۳۸.۱۵	۴۵.۰۸۷	سایبان افقی ۴۵	۴.۳۳۳	۶۹.۳۶۴	۴۹.۷۱۱	۷۶.۸۷۹	W
	حالت ها	DF	sDA	ASE	UDI																																	
	فقط شیشه	۱۰.۲۷۶	۸۴.۹۷۱	۲۸.۹۰۲	۲۸.۳۲۴																																	
	ارسی	۰.۵۹۵	۲۲.۵۴۳	۱۰۰	۷۹.۱۹۱																																	
	سایبان عمودی	۸.۰۵۲	۸۱.۵۰۳	۳۳.۵۲۶	۳۳.۵۲۶																																	
	سایبان افقی	۵.۹۱۱	۸۸.۴۳۹	۳۵.۲۶	۴۲.۷۷۵																																	
	سایبان عمودی ۴۵	۷.۱۲۷	۷۸.۰۳۵	۳۸.۱۵	۴۵.۰۸۷																																	
سایبان افقی ۴۵	۴.۳۳۳	۶۹.۳۶۴	۴۹.۷۱۱	۷۶.۸۷۹																																		

حالت‌ها به ترتیب حالت سایبان افقی، ارسی، سایبان عمودی

۴۵، سایبان عمودی و حالت شیشه ساده بودند.

(۴) در مورد فاکتور SDA بیشترین امتیاز را در همه‌ی آنالیزها حالت سایبان افقی داشته است بعد به ترتیب، حالت شیشه ساده، حالت سایبان عمودی، حالت سایبان عمودی ۴۵، حالت سایبان افقی ۴۵، حالت ارسی داشته است.

(۵) در مورد فاکتور ASE بیشترین امتیاز را در همه‌ی آنالیزها حالت شیشه‌ی ساده دریافت کرده است بعد از آن به ترتیب حالت سایبان عمودی، حالت عمودی ۴۵ درجه، حالت افقی، حالت افقی ۴۵ درجه و حالت ارسی دریافت کردند.

(۲) بیشترین کاهش مصرف انرژی را طرح ما در اقلیم شهر یزد داشت که حدود ۱۲ درصد انرژی کاهش پیدا کرد بعد در اقلیم شهر بندرعباس بود که حدود ۱۰ درصد و بعد اقلیم شهر تهران بود که حدود ۹ درصد کاهش مصرف انرژی داشتیم برای تبریز هم در بخش سایت حدود ۴ درصد کاهش مصرف انرژی داشتیم. پس می‌توان گفت هر چه اقلیم ما گرم‌تر بود این طرح در آن بهتر جواب داده است.

(۳) در مورد فاکتور DF در همه‌ی جهات و در همه‌ی اقلیم‌ها حالت سایبان افقی ۴۵ درجه بهترین جواب را می‌داد و بقیه‌ی

جدول (۷) آنالیز نور شهر بندرعباس

حالت بهینه	نمودار فاکتور های نور برای شش حالت نما های متحرک	جدول فاکتور های نور برای شش حالت نمای متحرک	جهت			
سایبان افقی ۴۵		UDI	ASE	sDA	DF	حالت ها
		۱۲.۱۳۹	۱۸.۴۹۷	۱۰۰	۱۰.۳۷۲	فقط شیشه
		۸۹.۰۱۷	۱۰۰	۵۶.۰۶۹	۰.۵۸۱	ارسی
		۲۳.۷	۲۷.۷۴۶	۱۰۰	۸.۰۸۱	سایبان عمودی
		۲۴.۲۷۷	۴۳.۳۵۳	۱۰۰	۵.۹۱۷	سایبان افقی
		۲۵.۴۳۴	۳۱.۷۹۲	۱۰۰	۶.۸۸۷	سایبان عمودی ۴۵
		۳۲.۲۷	۶۸.۲۰۸	۱۰۰	۴.۳۶۴	سایبان افقی ۴۵
سایبان افقی		UDI	ASE	sDA	DF	حالت ها
		۲۳.۶۹۹	۵۶.۰۶۹	۹.۶۸۸	۹.۸۰۴	فقط شیشه
		۷۹.۱۹۱	۱۰۰	۳۳.۵۲۶	۰.۵۹۱	ارسی
		۲۹.۴۸	۶۵.۸۹۶	۹۳.۰۶۴	۷.۸۸۱	سایبان عمودی
		۳۳.۵۲۶	۹۰.۱۷۳	۹۴.۷۹۸	۶.۰۰۴	سایبان افقی
		۳۶.۴۱۶	۶۴.۱۶۲	۹۰.۷۵۱	۶.۵۸۷	سایبان عمودی ۴۵
		۵۷.۸۰۳	۹۸.۲۶۶	۹۰.۱۷۳	۴.۴۱۹	سایبان افقی ۴۵
سایبان افقی ۴۵		UDI	ASE	sDA	DF	حالت ها
		۳۰.۰۵۸	۱۰۰	۱۰۰	۹.۷۱۲	فقط شیشه
		۷۵.۱۴۵	۱۰۰	۱۸.۴۹۷	۰.۶۰۶	ارسی
		۳۶.۹۹۴	۱۰۰	۱۰۰	۷.۹۱۳	سایبان عمودی
		۴۵.۶۶۵	۱۰۰	۱۰۰	۶.۰۶۴	سایبان افقی
		۵۰.۲۸۹	۹۸.۸۴۴	۱۰۰	۶.۸۶۷	سایبان عمودی ۴۵
		۸۶.۷۰۵	۹۸.۲۶۶	۱۰۰	۴.۴۰۴	سایبان افقی ۴۵
سایبان افقی		UDI	ASE	sDA	DF	حالت ها
		۱۸.۴۹۷	۲۳.۶۹۹	۵۱.۴۴۵	۱۰.۲۴	فقط شیشه
		۹۱.۹۰۸	۱۰۰	۵۶.۰۶۹	۰.۵۸۷	ارسی
		۲۶.۰۱۲	۲۸.۹۰۲	۴۰.۴۶۹	۸.۰۷۹	سایبان عمودی
		۲۷.۱۶۸	۳۱.۲۱۴	۷۶.۳۰۱	۵.۹۳۷	سایبان افقی
		۳۰.۰۵۸	۳۴.۶۸۲	۲۰.۲۳۱	۷.۱۴۳	سایبان عمودی ۴۵
		۳۷.۵۷۲	۴۳.۳۵۳	۶۹.۹۴۲	۴.۳۶۳	سایبان افقی ۴۵

نتایج این پژوهش نشان داد که سایبان‌های افقی و افقی ۴۵ درجه در اغلب اقلیم‌ها و جهات مورد بررسی عملکرد بهتری نسبت به سایر حالت‌های نما داشته‌اند. این یافته با نتایج پژوهش‌های مربوط به نماهای متحرک و سامانه‌های سایه‌انداز تطبیقی همخوانی دارد که نقش مؤثر عناصر افقی را در کنترل تابش مستقیم خورشید و بهبود شرایط نوری گزارش کرده‌اند. باین حال، پژوهش حاضر با تمرکز بر الگوی بومی ارسای ایرانی و ارزیابی هم‌زمان نور روز و انرژی در چهار اقلیم متفاوت، گامی فراتر از مطالعات پیشین برداشته و قابلیت کاربرد این الگو را در معماری معاصر ایران نشان می‌دهد.

۶) از نتیجه‌ی قبلی می‌توان به این نتیجه رسید که سایبان‌ها لزوماً جلوگیری از خیرگی نمی‌کنند بلکه در مواقعی به‌خاطر انعکاس‌ها و در برخی دیگر از مواقع به‌خاطر متمرکز کردن نور در نقاطی باعث ایجاد خیرگی نیز می‌شوند.

۷) در مورد فاکتور UDI بیشترین امتیاز را در همه‌ی آنالیزها حالت ارسای گرفته است بعد به ترتیب حالت سایبان افقی ۴۵ درجه، بعد حالت سایبان عمودی ۴۵، حالت سایبان افقی، حالت سایبان عمودی و بعد حالت شیشه ساده بوده است. قابل‌ذکر است که تمامی مدل‌سازی و داده‌ها با استفاده از آنالیزهای گرفته شده در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر می‌باشد.

جدول ۸: مقدار انرژی و مقایسه انرژی مدل بهینه در هر اقلیم با مدل مبنا



ساخت، اجرا و استهلاك تجهيزات مکانیکی در طول چرخه عمر بنا.

۷) بررسی تأثیر محل قرارگیری بازشوها: تکرار الگوی طراحی حاضر بر روی پنجره‌های خارجی ساختمان و مقایسه نتایج عملکردی آن با بازشوهای داخلی.

اهمیت و کاربرد نتایج در حوزه‌ی معماری: یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از نمای متحرک الهام‌گرفته از ارسی می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد طراحی اقلیم‌پاسخ و هویت‌محور در معماری معاصر ایران به کار رود. این پژوهش خلأ موجود میان حفظ عناصر بومی معماری ایرانی و نیاز به بهینه‌سازی انرژی و نور در ساختمان‌های امروز را تا حدی پوشش می‌دهد و می‌تواند برای معماران، طراحان نما و پژوهشگران حوزه معماری پایدار به‌عنوان یک الگوی طراحی قابل‌توسعه مورد استفاده قرار گیرد.

جمع‌بندی: نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده‌ی آن است که الگوی پیشنهادی، با پاسخ‌گویی به پرسش‌های تحقیق، توانسته است عملکرد مطلوبی در زمینه کنترل نور روز، بهینه‌سازی مصرف انرژی و حفظ هویت فرهنگی ارائه دهد. یافته‌ها نشان می‌دهد که طراحی مذکور با رویکرد پاسخ‌گویی اقلیمی، از کارایی قابل‌قبولی برخوردار است و می‌تواند به‌عنوان الگویی مرجع در مطالعات آتی مورد استفاده قرار گیرد. در نهایت، این پژوهش اثبات می‌کند که بهره‌گیری از نماهای متحرک، بستری راهبردی و کارآمد برای تحقق اهداف کلان معماری پایدار فراهم می‌آورد.

به‌منظور توسعه دستاوردهای این پژوهش و رفع محدودیت‌های موجود، محورهای زیر برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌گردد:

۱) توسعه و به‌کارگیری شاخص‌های ارزیابی نور: باوجود استفاده از شاخص‌های معتبر در این پژوهش، تحقیقات آینده می‌تواند بر تدوین شاخص‌های جامع‌تری تمرکز کند که تحلیل دقیق‌تر و واقع‌گرایانه‌تری از عملکرد نور در محیط‌های داخلی ارائه دهند.

۲) بهینه‌سازی هندسی مبتنی بر اریگامی: بررسی امکان تغییر فرم نمای متحرک طراحی‌شده به الگوهای اریگامی مختلف، به‌منظور دستیابی به راهکارهای کارآمدتر در کنترل نور روز و کاهش بیشینه مصرف انرژی.

۳) تحلیل پارامتریک زوایای سایبان: ارزیابی عملکرد سایبان‌های افقی و عمودی در زوایای فراتر از ۴۵ درجه؛ جهت سنجش میزان ارتقای بهره‌وری انرژی در مقایسه با نتایج حاصل از پژوهش حاضر.

۴) انطباق‌پذیری نما با اقلیم‌های سرد: بازطراحی و ارتقای الگوی نمای ارائه‌شده باهدف دستیابی به عملکرد بهینه در اقلیم‌های سرد.

۵) توسعه الگوهای معماری ایرانی: گسترش دامنه مطالعات بر پایه سایر الگوهای بومی معماری ایران (فراتر از ارسی‌ها) و بررسی قابلیت متحرک‌سازی و کارایی انرژی آن‌ها.

۶) تحلیل اقتصادی و مدیریت نگهداری: واکاوی چالش‌های اقتصادی مرتبط با نماهای متحرک، با تمرکز بر هزینه‌های

تشکر و قدرانی: تشکر از استاد گرامی سرکار خانم دکتر صناعیان بابت راهنمایی‌های اولیه در انتخاب موضوع پژوهش
تأییدیه‌های اخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان: محمدحسین کریمی نژاد: نگارش متن و محتوا، مدل‌سازی و گرفتن آنالیز نور و انرژی و ارائه‌ی نتایج حاصل، سهم ۵۰ درصد. مرتضی رهبر: اصلاح نگارش و مدیریت روند انجام پژوهش، سهم ۲۵ درصد. ریحانه سادات طباطبایی یگانه: اصلاح نگارش و مدیریت روند انجام پژوهش، سهم ۲۵ درصد.

منابع مالی / حمایت‌ها: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

[1] Kim JS, Song JY, Lee JK. Approach to the extraction of design features of interior design elements using image recognition technique. In: *Proceedings of the 23rd International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2018)*. 2018. doi:10.52842/conf.caadria.2018.2.287. Available from: <https://doi.org/10.52842/conf.caadria.2018.2.287>

[2] Wohlfarth H, Gates KS. The effects of color-psychodynamic environmental color and lighting modification of elementary schools on blood pressure and mood: A controlled study. *Int J Biosoc Res*. 1985;7:9-16. Available from: <https://archive.org/details/colorlighteffect00wohl>

[3] Masoud S, Zamani Z. Behbud-e keyfiyat-e nur-e rooz-e kelas-e dars dar arz-haye mokhtalef-e joghrafiyaei az tariq-e taqcheh-ye noori. *Naqsh-e Jahan: Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2025;15(2):1-16. doi:10.48311/bsnt.2025.1019. Available from: <https://doi.org/10.48311/bsnt.2025.1019>

[4] Edwards L, Torcellini P. *A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants*. Golden (CO): National Renewable Energy Laboratory (NREL); 2002. doi:10.2172/15000841. Available from: <https://doi.org/10.2172/15000841>

[5] Poirazis H. *Double Skin Façades for Office Buildings: Literature Review*. Lund: Lund Institute of Technology; 2004. Available from: https://www.ebd.lth.se/fileadmin/energi_byggnadsdes_ign/images/Publikationer/EBD-R3.pdf

[6] Wu H, Zhang T. Optimal design of complex dynamic shadings: Towards sustainable built environment. *Sustain Cities Soc*. 2022;86:104109.

doi:10.1016/j.scs.2022.104109. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104109>

[7] Tabatabaei SS, Fayaz R. The effect of facade materials and coatings on urban heat island mitigation and outdoor thermal comfort in hot semi-arid climate. *Build Environ*. 2023;243:110701. doi:10.1016/j.buildenv.2023.110701. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110701>

[8] Li H, Lu X, Yu G, Zhong K. A new double-skin façade system integrated with polyurethane sponges and TiO₂ plates for removing indoor PM and BTEX. *Build Environ*. 2024;252:111237. doi:10.1016/j.buildenv.2024.111237. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111237>

[9] Meloni M, Zhang Q, Cai J, Lee DSH. Origami-based adaptive facade for reducing reflected solar radiation in outdoor urban environments. *Sustain Cities Soc*. 2023;97:104740. doi:10.1016/j.scs.2023.104740. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104740>

[10] Rowe T, Poppe J, Buyle M, Belmans B, Audenaert A. Is the sustainability potential of vertical greening systems deeply rooted? Establishing uniform outlines for environmental impact assessment of VGS. *Renew Sustain Energy Rev*. 2022;166:112414. doi:10.1016/j.rser.2022.112414. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112414>

[11] Wang M, Jia Z, Tao L, Xiang C. Review of dynamic façade typologies, physical performance and control methods: Towards smarter and cleaner zero-energy buildings. *J Build Eng*. 2024;98:111310. doi:10.1016/j.job.2024.111310. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.111310>

[12] Hosseini SM, Mohammadi M, Rosemann A, Schröder T, Lichtenberg J. A morphological approach

for kinetic façade design process to improve visual and thermal comfort: Review. *Build Environ.* 2019;153:186-204.

doi:10.1016/j.buildenv.2019.02.040. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.040>

[13] López M, Rubio R, Martín S, Croxford B. How plants inspire façades: From plants to architecture—Biomimetic principles for the development of adaptive architectural envelopes. *Renew Sustain Energy Rev.* 2017;67:692-703. doi:10.1016/j.rser.2016.09.018. Available from:

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.018>

[14] Verbrugghe N, Rubinacci E, Khan AZ. Biomimicry in architecture: A review of definitions, case studies, and design methods. *Biomimetics.* 2023;8(1):107. doi:10.3390/biomimetics8010107. Available from:

<https://doi.org/10.3390/biomimetics8010107>

[15] Sharif HR, Habibi A, Jamalabadi A. Climatic function of Garih art in Islamic architecture: Case study of residential buildings from the Qajar era in Shiraz. *J Res Islam Archit.* 2017;4(4). Available from: <http://jria.iust.ac.ir/article-1-617-fa.html>

[16] Tabadkani A, Roetzel A, Li HX, Tsangrassoulis A. Design approaches and typologies of adaptive facades: A review. *Autom Constr.* 2021;121:103450. doi:10.1016/j.autcon.2020.103450. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103450>

[17] Kahramanoğlu B, Çakıcı Alp N. Enhancing visual comfort with Miura-ori-based responsive facade model. *J Build Eng.* 2023;69:106241. doi:10.1016/j.job.2023.106241. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106241>

[18] Kim MJ, Kim BG, Koh JS, Yi H. Flexural biomimetic responsive building façade using a hybrid soft robot actuator and fabric membrane. *Autom Constr.* 2023;145:104660. doi:10.1016/j.autcon.2022.104660. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104660>

[19] Dehwah AHA, Krarti M. Energy performance of integrated adaptive envelope systems for residential buildings. *Energy.* 2021;233:121165. doi:10.1016/j.energy.2021.121165. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121165>

[20] Mohaghegh H, Fallah Zavareh Z, Tarkashvand A, Faizi M. Application of Islamic geometric patterns in improving the performance of daylighting in kinetic façades. *J Res Islam Archit.* 2021;9(3):2. doi:10.52547/jria.9.3.2. Available from: <https://doi.org/10.52547/jria.9.3.2>

[21] Soliman ME, Bo S. An innovative multifunctional biomimetic adaptive building envelope based on a novel integrated methodology of merging biological mechanisms. *J Build Eng.* 2023;76:106995. doi:10.1016/j.job.2023.106995. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106995>

[22] Sommese F, et al. Light-responsive kinetic façade system inspired by the *Gazania* flower: A biomimetic approach in parametric design for daylighting. *Build Environ.* 2024;247:111052. doi:10.1016/j.buildenv.2023.111052. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.111052>

[23] Cruz E, et al. Design processes and multi-regulation of biomimetic building skins: A comparative analysis. *Energy Build.* 2021;246:111034. doi:10.1016/j.enbuild.2021.111034. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111034>

[24] Kuru A, Oldfield P, Bonser S, Fiorito F. Biomimetic adaptive building skins: Energy and environmental regulation in buildings. *Energy Build.* 2019;205:109544. doi:10.1016/j.enbuild.2019.109544. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109544>

[25] Yazdi Bahri S, Alier Forment M, Sanchez Riera A, Heiranipour M, Hosseini SN. Kinetic facades as a solution for educational buildings: A multi-objective optimization simulation-based study. *Energy Rep.* 2025;13:3915-3928. doi:10.1016/j.egyr.2025.03.021. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.03.021>

[26] Yarmahmoodi Z, Nasr T, Moztaazadeh H. Algorithmic design of building intelligent facade to control daylight inspired by the *Rafflesia* flower kinetic pattern. *Naqsh-e Jahan: Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning.* 2023;13(2). Available from: <http://bsnt.modares.ac.ir/article-2-64746-en.html>

[27] Lin Z, Song Y, Chu Y. Summer performance of a naturally ventilated double-skin facade with adjustable glazed louvers for building energy retrofiting. *Energy Build.* 2022;267:112163.

doi:10.1016/j.enbuild.2022.112163. Available from:

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112163>

[28] Shafaghat A, Keyvanfar A. Dynamic façades design typologies, technologies, measurement techniques, and physical performances across thermal, optical, ventilation, and electricity generation outlooks. *Renew Sustain Energy Rev.* 2022;167:112647. doi:10.1016/j.rser.2022.112647.

Available from:

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112647>

[29] Nabil A, Mardaljevic J. Useful daylight illuminance: A new paradigm for assessing daylight in buildings. *Light Res Technol.* 2005;37(1):41-57. doi:10.1191/1365782805li128oa. Available from:

<https://doi.org/10.1191/1365782805li128oa>

[30] Shafavi Moghaddam N, Zomorodian ZS, Tahsildoost M. Ability of daylight indicators in estimating adequate lighting in space based on user assessments: Case study of architecture design studios in Tehran. *Soffeh.* 2019;29(3):37-56.

doi:10.29252/soffeh.29.3.37. Available from:

<https://doi.org/10.29252/soffeh.29.3.37>

[31] Reinhart CF, Weissman DA. The daylight area: Correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics. *Build Environ.* 2012;50:155-164.

doi:10.1016/j.buildenv.2011.10.024. Available from:

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.024>

[32] Nabil A, Mardaljevic J. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy Build.* 2006;38(7):905-913.

doi:10.1016/j.enbuild.2006.03.013. Available from:

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.013>

[33] Jakubiec JA. *The Use of Visual Comfort Metrics in the Design of Daylit Spaces* [dissertation]. Cambridge (MA): Massachusetts Institute of Technology; 2014. Available from:

<https://dissertation.com/abstract/2038083>

[34] Reinhart CF, Mardaljevic J, Rogers Z. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *LEUKOS.* 2006;3(1):7-31.

doi:10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001. Available from:

<https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001>