



Algorithmic Design of Building Intelligent Facade to Control the Daylight Inspired by the Rafflesia Flower Kinetic Pattern

ARTICLE INFO

Article Type

Analytic Study

Authors

Zahra Yarmahmoodi 1

Tahereh Nasr 2*

Hamed Moztarzadeh 3

How to cite this article

Yarmahmoodi Z , Nasr T, Moztarzadeh H. Algorithmic Design of Building Intelligent Facade to Control the Daylight Inspired by the Rafflesia Flower Kinetic Pattern , 2023 September 23;13(2):1-24. <https://doi.net/dor20.1001.1.23224991.1402.13.2.1.0>

1. Ph.D. Student, Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

2. Associate Professor, Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

*Correspondence

Address: Associate Professor, Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

Email: Tahereh.nasr@iau.ac.ir

Phone:

Article History

Received:2022/09/08

Accepted:2022/12/01

ePublished: 2023/06/22

ABSTRACT

Aims: One of the proposed solutions to reduce energy consumption is to use nature as a source of inspiration. Surveys show that a large part of energy consumption is related to buildings. Considering that the building facade is the boundary between the interior and exterior space, it should be well-designed to reduce energy consumption. One of the solutions is to use an intelligent shading device that controls the entry of daylight in a hot climate.

Methods: This research, with its quantitative nature and simulation-modeling research method, has designed a kinetic shell in a building inspired by the movement mechanism of the Rafflesia to control the daylight of the building in the Shiraz climate.

Findings: The research findings indicate that the petals of the Rafflesia performed their opening and closing pattern in five consecutive movements and can act as a kinetic pattern or as a source of inspiration for the movement of the intelligent shading device of the building facade.

Conclusion: In the current research, the petals are considered with triangle geometry, which opens and closes from zero to 45 degrees at the top. In addition, according to the sun's path from 7 AM to 7 PM, successive steps of opening and closing the flower take place, which can significantly absorb 20% of the radiation and 10% of sunlight hours. Therefore, the movement pattern of the Rafflesia in the hot and dry climate of Shiraz has reduced radiation, which shows the optimal performance of the kinetic shading device.

Keywords: Kinetic Algorithm, Intelligent Facade, Daylight Control, Radiation Analysis, New Technologies, Rafflesia, Shiraz Climate.

CITATION LINKS

- [1] Anzaniyan E, Alaghmandan M ... [2] Kim H-J, Yang C-S.... [3] Vazquez E, Duarte JP ... [4] Choi S-J, Lee D-S ... [5] Scavée A, Triantafyllidis G... [6] Kim M, Kim B... [7] Kizilorenli E, Tokuc A ... [8] Hosseini SM, Heidari S... [9] Dumais J, Forterre Y ... [10] Miran FD, Abdullah HK... [11] Matini M, Kakouee E... [12] Alotaibi F. The role of kinetic... [13] Hosseini SM, Mohammadi M ... [14] Nasr T, Yarmahmoodi Z ... [15] Le-Thanh L, Le-Duc T... [16] Custódio I, Quevedo T... [17] Al-Abdulkarim A, Al-Otaibi FS ... [18] Rasuli M, Shahbazi Y... [19] Velasco R, Brakke AP... [20] Kirimta A, Koyunbaba BK ... [21] Haldi F, Robinson D ... [22] Kirimta A, Tasgetiren MF ... [23] Atzeri A, Cappelletti F... [24] Shahdan MS, Ahmad SS ... [25] Omraný H, Marsono AK ... [26] Mangkuto RA, Dewi DK ... [27] Kusuma YW, Matsuo A ... [28] Molina J, Hazzouri KM ... [29] Renjana E, Astuti IP... [30] Raffles TS. Rafflesia ... [31] Wicaksono A, Raihandhany R ... [32] Diway B, Yasui Y ... [33] Samidjo GS, Oktavidiati E ... [34] Beaman RS, Decker PJ ... [35] Patiño S, Aalto T ... [36] Wicaksono A, Mursidawati S ... [37] Sofiyanti N, Mat-Salleh K ... [38] Asefi M, Foruzandeh A ... [39] Rafflesia flower opening ... [40] Renjana E, Astuti IP ... [41] De Bei R, Wang X... [42] Barzegar Z, Mirshamsi M ... [43] Kashfi FS, Ramavandi B... [44] Shiraz, Iran - Detailed ... [45] Flor J-F, Liu X, Sun Y ... [46] Hibikino K, Hui W ... [47] Xue Y, Liu W. A... [48] Bakmohammadi P, Noorzai E ... [49] Khidmat RP, Fukuda H... [50] Besbas S, Nocera F, Zemmouri N ... [51] Noorzai E, Bakmohammadi P... [52] De Loyola Ramos Garcia D ... [53] De Sousa Freitas J, ... [54] Peres AC, Calili R ... [55] Qingsong M, Fukuda H ... [56] Zani A, Andaloro M ... [57] Lavin C, Fiorito F ... [58] Ercan B, Elias-Ozkan ST ... [59] Freewan AAY ... [60] Aguilar-Carrasco MT... [61] Goharian A, Mahdavejad M ... [62] Saadatjoo P, Mahdavejad M ... [63] Fallahtafti R, Mahdavejad M... [64] Talaei M, Mahdavejad M ... [65] Mahdavejad M, Hosseini SA... [66] Mahdavejad M, Javanroodi K ... [67] Rahbar M, Mahdavejad M... [68] Mohtashami N, Mahdavejad M ... [69] Javadinodoh M, Shahcheraghi A... [70] Ahmadi J, Mahdavejad M ... [71] Eslamirad N, Kolbadinejad SM... [72] Goharian A, Mahdavejad M ... [73] Hadianpour M, Mahdavejad M... [74] Hadianpour M, Mahdavejad M... [75] Ahmadi J, Mahdavejad M... [76] Saadatjoo P, Mahdavejad M... [77] Alilou M, Mahdavejad M... [78] Talaei M, Mahdavejad M... [79] Shams G, Moshari M... [80] Shaeri J, Mahdavejad M... [81] Shaeri J, Mahdavejad M... [82] Taban M, Pourjafar M... [83] Javanroodi K, Nik VM... [84] Zafarmandi S, Mahdavejad M... [85] Goharian A, Daneshjoo K... [86] Rahbar M, Mahdavejad M ... [87] Heidari F, Mahdavejad M... [88] Mohamadzade R, Javanroudi K... [89] Talaei M, Mahdavejad M...

طراحی الگوریتمیک نمای هوشمند

ساختمان در جهت کنترل نور روز با الهام

از الگوی حرکتی گل زنبق

زهرا یارمحمودی^۱، طاهره نصر^{۲*}، حامد مضطرزاده^۳

۱- دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده هنر و

معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

۲- دانشیار، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد شیراز،

دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. (نویسنده مسئول)

۳- استادیار، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد

شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

چکیده

اهداف: باتوجه به پیشرفت تکنولوژی، مصرف انرژی افزایش یافته؛ بنابراین یکی از دغدغه‌های طراحان، یافتن راه‌حل جهت پاسخ به این مسئله جهانی است. یکی از راهکارهای پیشنهادی، بهره‌گیری از طبیعت به‌عنوان منبع الهام طرح‌های معماری است. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که بخش زیادی از مصرف انرژی مربوط به ساختمان است. به همین دلیل، باتوجه به اینکه نمای ساختمان مرز میان فضای داخل و خارج است، باید به‌خوبی در جهت کاهش مصرف انرژی طراحی شود.

ابزار و روش‌ها: پژوهش حاضر دارای ماهیت ترکیبی و روش تحقیق شبیه‌سازی-مدل‌سازی است که به طراحی نمای متحرک ساختمان با الهام از الگوی حرکتی گل زنبق در جهت کنترل ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان در اقلیم شیراز پرداخته است.

یافته‌ها: یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که گلبرگ‌های گل زنبق در پنج حرکت متوالی، الگوی باز و بسته شونده خود را انجام داده و می‌تواند به‌عنوان الگوی حرکتی یا منبع الهام حرکت سایبان هوشمند نمای ساختمان عمل کند.

نتیجه‌گیری: گلبرگ‌های گل زنبق با هندسه مثلث در نظر گرفته شده که در رأس از زاویه صفر تا زاویه ۴۵ درجه باز و بسته شده است. باتوجه به مسیر حرکت خورشید و زاویه تابش در ساعت ۷ صبح تا ۷ شب، مراحل متوالی باز و بسته شدن گل صورت گرفته که این امر می‌تواند ۲۰ درصد از میزان حرارت جذب شده توسط سطح باز شو و ۱۰ درصد از ساعت تابش نور خورشید را کاسته و در نتیجه گرمای فضای داخل در فصول گرم سال کاهش یافته؛ علاوه بر آن روشنایی طبیعی نور روز برای فضاهای داخلی تأمین شده است.

کلمات کلیدی: الگوریتم حرکتی، نمای هوشمند، کنترل نور روز، آنالیز انرژی تابشی، فناوری‌های نوین، گل زنبق بدبو، اقلیم شیراز.

مقدمه

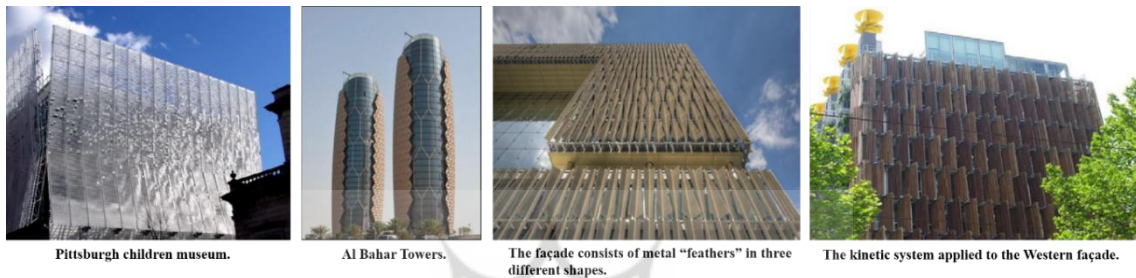
نور روز به‌عنوان یک منبع تأثیرگذار بر نیازهای انسان محسوب می‌شود [۱]. بنابراین طراحی نمای ساختمان باید به‌گونه‌ای باشد که هم نور طبیعی مورد نیاز ساکنان در ساختمان را تأمین کند و هم بتواند آسایش بصری (Visual Comfort)، به همراه داشته باشد [۲-۳] باتوجه به اینکه امروزه طراحان سعی دارند، نمای ساختمان را با حداکثر جداری شفاف طراحی کنند؛ بنابراین یکی از دغدغه‌های معماران، نحوه‌ی طراحی نما برای بهره‌برداری از نور روز و جلوگیری از ورود بیش از حد نور خورشید به فضای داخلی ساختمان است [۴]؛ زیرا در اثر ورود بیش از حد نور خورشید، فضای داخل ساختمان گرم شده و در اقلیم گرم و خشک یا نیمه‌خشک، مصرف انرژی سرمایشی افزایش می‌یابد [۵-۶] که این مسئله در راستای اهداف معماری پایدار نمی‌باشد. به‌همین دلیل ضرورت بهره‌مندی سایبان هوشمند خارجی نما که متناسب با اقلیم و مسیر حرکت خورشید است، مطرح می‌شود.

برای رسیدن به یک نمای متحرک، نیاز است که در ابتدا الگوی حرکت مشخصی مطرح شود که بتوان از آن به‌عنوان منبع الهام طراحی مکانیزم حرکتی سایبان نما بهره‌گرفت [۷]. بنابراین در پژوهش حاضر رویکرد بایونیک یا الهام از طبیعت جهت رسیدن به الگوریتم حرکتی سایبان خارجی هوشمند نما بهره‌گرفته شده است. طبیعت خود به دسته‌های مختلفی تقسیم شده که شامل: گیاهی، انسانی، جانوری و موجودات بی‌جان است [۸]. در این تحقیق گیاهان به‌عنوان منبع الهام مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

نتایج حاصل از بررسی خصوصیات گیاهان حاکی از آن است که گیاهان شباهت زیادی به ساختمان دارند. در حقیقت به‌دلیل نفوذ ریشه گیاهان در خاک، معمولاً در جای خود ثابت هستند [۹]، با این وجود نیاز است که به اتفاقات پیرامون خود عکس‌العمل نشان دهند [۱۰-۱۱]. در مقاله حاضر گل زنبق بدبو که الگوی حرکتی باز و بسته شدن گلبرگ‌های آن منحصربه‌فرد است، به‌عنوان منبع الهام

پژوهش‌های زیادی در زمینه اهمیت سایبان هوشمند نما مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است، به‌عنوان مثال الوتایی (۲۰۱۵) در مقاله‌ای، نقش پوسته‌های هوشمند در بهبود و کاهش مصرف انرژی ساختمان را مطرح کرده که در (شکل ۱) بخشی از ساختمان‌های مورد مطالعه، نشان داده شده است.

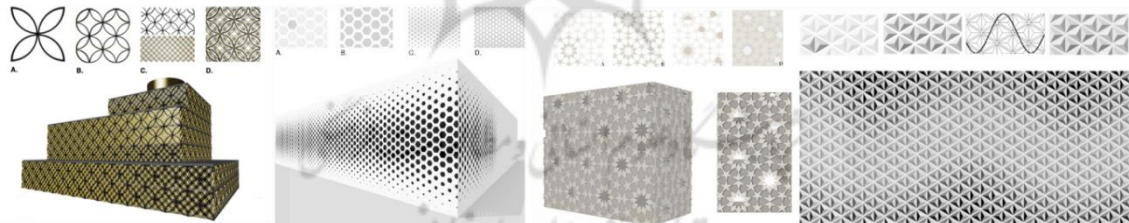
انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفته است. هدف از انجام پژوهش حاضر، رسیدن به الگوی حرکتی مطلوب جهت طراحی سایبان خارجی متحرک نما در راستای کنترل انرژی تابشی جذب شده و ساعت تابش نور روز توسط جداره‌ی شفاف جنوبی ساختمان در اقلیم گرم و نیمه‌خشک (شهر شیراز) است. پیشینه پژوهش بر اهمیت انرژی و فناوری‌های روزآمد و پیشرفته معماری و شهرسازی تأکید دارد. تاکنون



شکل ۱. نمونه‌های مورد بررسی جهت رسیدن به نقش پوسته‌های هوشمند در کاهش مصرف انرژی [۱۲]

الگوریتمی و با رویکرد پارامتریک در گرس‌هاپر ارائه داده‌اند. (شکل ۲)

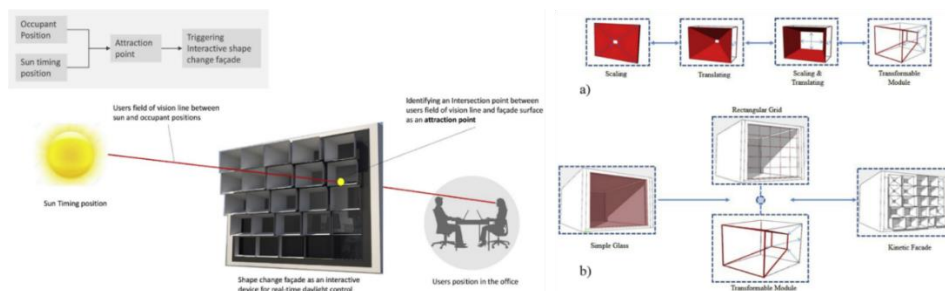
کاتانو و لایتو (۲۰۱۸) در پژوهشی دیگر با توجه به پیشرفت معماری دیجیتال، نماهای طراحی شده توسط داده‌های



شکل ۲. نمونه‌ی پوسته‌های هوشمند با رویکرد معماری دیجیتال [۱۲]

ارائه داده‌اند که در (شکل ۳)، مطرح شده است.

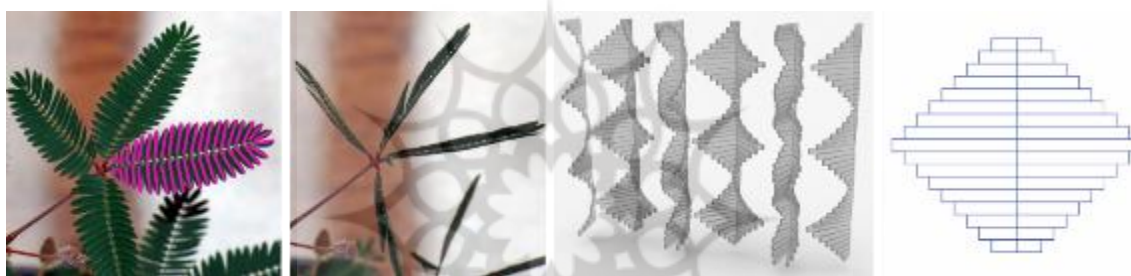
سینی و همکاران (۱۳۹۹)، الگوی نمای پارامتریک جهت کنترل نور روز برای رسیدن به آسایش بصری در ساختمان



شکل ۳. نمای طراحی شده برای کنترل نور روز و ایجاد آسایش بصری [۱۳]

متحرک با رویکرد کاهش مصرف انرژی در ساختمان پرداخته‌اند. (شکل ۴)، نشان‌دهنده پوسته‌ی طراحی شده است.

نصر و همکاران (۱۳۹۹)، در مقاله‌ای تحت عنوان «تأثیر هندسه پوسته متحرک بر بهینه‌سازی مصرف انرژی با الهام از الگوریتم حرکتی گیاه قهر و آشتی»، به بررسی مکانیزم حرکتی گیاه قهر و آشتی (*Mimosa Pudica*)، جهت طراحی پوسته



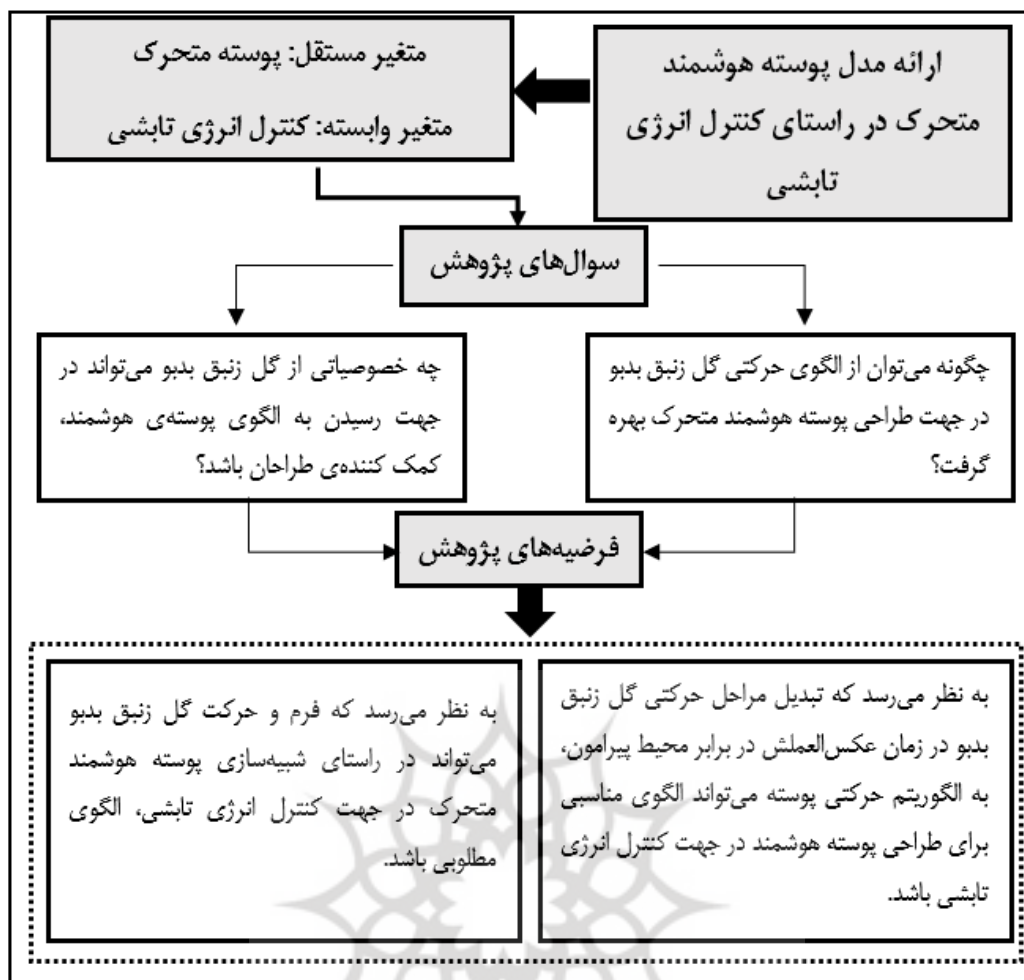
شکل ۴. پوسته‌ی الهام گرفته شده از مکانیزم حرکتی گیاه قهر و آشتی [۱۴]

شبیبه‌سازی قرار گرفته است. ابزار گردآوری اطلاعات برای بخش مبانی نظری به صورت کتابخانه‌ای و اسنادی و برای بخش تحلیل یافته‌ها توسط نرم‌افزار رایونو ۶ و افزونه گرس‌هاپر مدل‌سازی انجام گرفته و توسط افزونه لیدی‌باگ، آنالیز انرژی تابشی جهت رسیدن به نتایج پژوهش مورد تحلیل قرار گرفته است. در ادامه (شکل ۵) نشان‌دهنده متغیرها، سؤالات و فرضیه‌های پژوهش است.

باتوجه به بررسی‌های صورت گرفته در بخش پیشینه‌ی پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که پژوهش حاضر از نظر منبع الهام، کاملاً نوآورانه و تاکنون در پژوهشی، عملکرد و فرم این گل، برای طراحی پوسته‌ی هوشمند در جهت کنترل نور روز، مورد مطالعه قرار نگرفته است.

مواد و روش‌ها

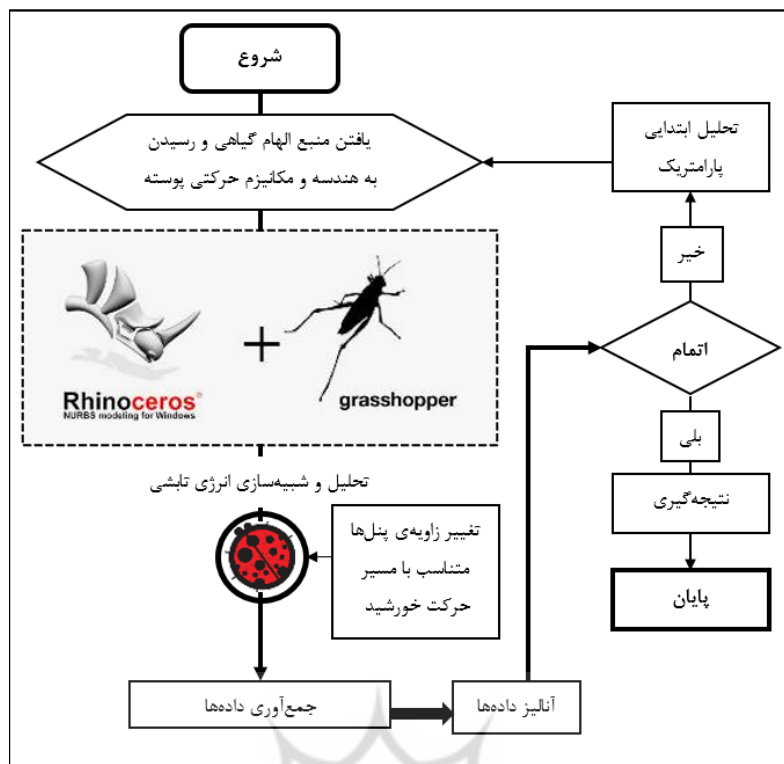
روش تحقیق پژوهش از نوع کاربردی و دارای ماهیت ترکیبی (کمی-کیفی) است و در دسته‌ی مدل‌سازی-



شکل ۵. کلیات پژوهش

حرکت پنل‌ها در ساعات مختلف روز و براساس مسیر حرکت خورشید در اقلیم شیراز، ارزیابی انرژی تابشی جذب شده توسط سطح شفاف نما بدست آمده است. در نهایت داده‌های بدست آمده مقایسه شده و عملکرد سایبان متحرک در اقلیم شیراز مشخص شده است. در ادامه (شکل ۶)، قرار دارد که نشان دهنده‌ی فرآیند رسیدن به مدل سایبان متحرک نما است.

شبیه‌سازی درحقیقت همان تقلید یک عملیات واقعی (موجود در طبیعت) در وضعیت کنترل شده است تا بتواند رفتار آن را در شرایط مختلف محیطی بسنجد [۱۵]. بنابراین فرآیند انجام بخش شبیه‌سازی به این صورت است که در ابتدا منبع الهام منتخب که توسط بایولوژیست‌ها مورد پژوهش قرار گرفته، بررسی شده و پس از آن الگوی حرکتی گیاه در افزونه گرس‌هاپر، الگوریتم‌نویسی شده، و بعد از این مرحله بخش‌های پارامتریک حرکت پوسته مشخص شده و با



شکل ۶. فرآیند رسیدن به مدل سایبان متحرک نما

نهایت براساس پیشینه‌ی پژوهش حاضر، داده‌های بدست آمده دارای اعتبار می‌باشد. در ادامه تحلیل‌ها (شکل ۷)، قرار دارد که نشان دهنده فرآیند طراحی سایبان متحرک الهام گرفته شده از یک منبع موجود در طبیعت به صورت کلی برای پژوهش‌های آتی است.

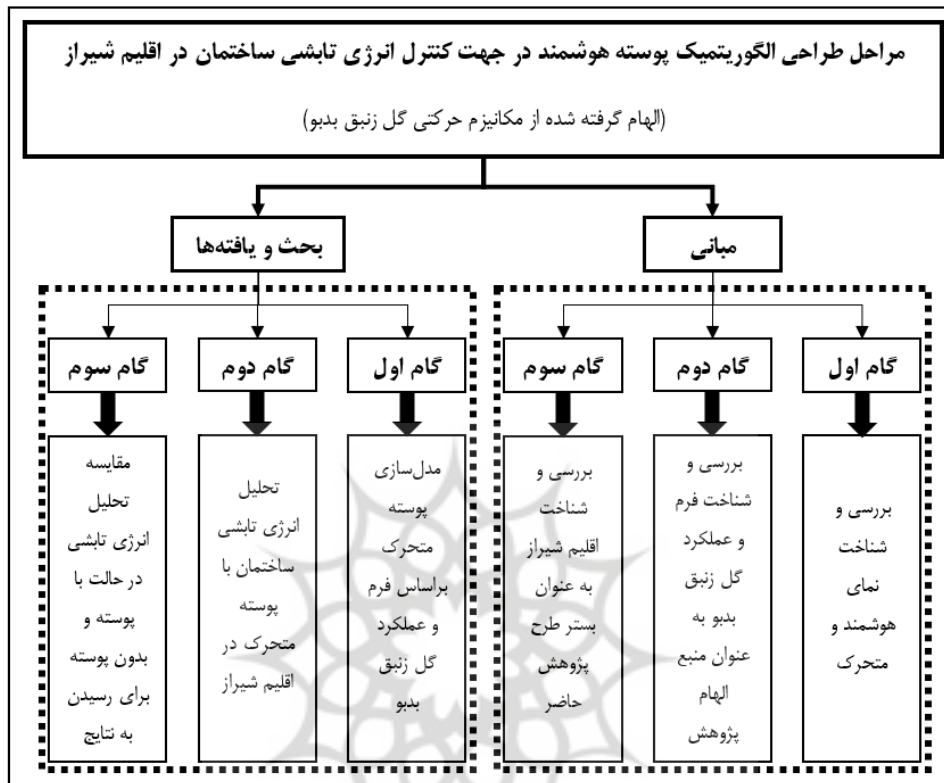
جهت اعتبارسنجی نرم‌افزار در بخش مواد و روش (جدول ۱) قرار داده شده که نشان دهنده‌ی پژوهش‌های ده سال اخیر است که از نرم‌افزار راینو و افزونه لیدی‌باگ جهت تحلیل انرژی تابشی بهره گرفته و نتایج بدست آمده را یا به صورت عملی یا توسط انجام مراحل با یک نرم‌افزار تحلیل انرژی دیگر، مقایسه شده و اعتبار نرم‌افزار آزموده شده است.



شکل ۷. فرآیند کلی طراحی سایبان متحرک با منبع الهام موجود در طبیعت

و در گام سوم، اقلیم شیراز از نظر تابش خورشید و دما در فصول مختلف مورد بررسی قرار گیرد، تا اطلاعات مورد نیاز جهت مدل‌سازی-شبیه‌سازی گل کسب شود. در ادامه (شکل ۸) نشان دهنده مراحل انجام پژوهش است.

مبانی نظری موضوع بخشی از روش‌شناسی پژوهش است. برای انجام پژوهش حاضر در گام اول باید سایبان یا پوسته هوشمند متحرک که متناسب با اقلیم‌های گوناگون، انعطاف‌پذیر است، در گام دوم، گل زنبق از نظر فرم و عملکرد



شکل ۸. مراحل طراحی پوسته الهام گرفته شده از گل زنبق

خارجی تقسیم شده‌اند. این دسته‌بندی‌ها براساس محل به‌کار برده شده‌ی سایه‌بان، انجام گرفته است. دسته‌بندی دیگری که برای پوسته‌ها انجام گرفته از نظر نحوه‌ی باز و بسته شدن فرم آن‌ها است [۲۲]. به‌عنوان مثال: نحوه باز و بسته شدن می‌تواند به‌صورت افقی، عمودی، مورب، ترکیبی و غیره [۲۳-۲۴] از نظر فرمی می‌تواند بایونیک، پارامتریک و غیره باشد [۲۵-۲۶]. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در حیطه‌ی پوسته‌ی متحرک، سایبان خارجی نمای پژوهش حاضر از نوع بایونیک با الهام فرمی و عملکردی از گل زنبق بدبو است.

گل زنبق بدبو (*Rafflesia*) (شکل ۹) بزرگ‌ترین گل جهان است [۲۷] و یکی از سه گل ملی کشور اندونزی به شمار می‌رود [۲۸]. این گل در سال ۱۸۱۸ میلادی برای اولین بار

سایبان هوشمند تأثیر مهمی بر نمای ساختمان‌ها دارد. سایبان نما به دو دسته‌ی ثابت و متحرک تقسیم می‌شود [۱۶] که نتایج حاصل از مطالعه‌ی پژوهش‌های صورت گرفته حاکی از آن است که سایبان متحرک به‌دلیل خصوصیت انطباق‌پذیری [۱۷]، عملکرد بهتری نسبت به سایبان ثابت در زمینه‌ی بهینه‌سازی مصرف انرژی دارند [۱۸-۱۹] بنابراین در پژوهش حاضر سایبان متحرک (هوشمند) به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های کنترل انرژی تابشی دریافتی جداره توسط تابش نور روز در ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است.

هدف اصلی طراحی پوسته‌های هوشمند، محافظت کردن از جداره‌های شفاف بنا در مقابل نفوذ بیش از حد نور خورشید به فضای داخل ساختمان است [۲۰-۲۱]. این نوع پوسته‌ها، سایبان نما نیز نامیده می‌شوند و به دو دسته‌ی کلی، داخلی و

می‌کند که باعث انجام عمل گرده افشانی گل می‌شود [۳۵]. گل زنبق بدبو درحقیقت نوعی انگل است و از سایر گیاهان تغذیه می‌کند [۳۶]. این گل هیچ برگی ندارد [۳۷].

یافت شد [۲۹]. قطر آن ۱.۵ متر و وزنش ۱۰ کیلوگرم است [۳۰-۳۱]. عمر گل ۵ تا ۷ روز [۳۲] و به رنگ قرمز یا نارنجی تیره است [۳۳]. این گل، بوی نامطبوعی دارد که حتی نام دیگر آن، جسد است [۳۴] و حشرات را به سمت خود جذب



شکل ۹. الهام از ساختار گل زنبق بدبو [۳۸]

تقسیم می‌شود؛ به این صورت که برای باز شدن گلبرگ‌ها در گام نخست، دو گلبرگ روبه‌روی هم که در ابتدا قرار دارند، باز شده و پس از آن گلبرگ شماره ۵ (شکل ۱۱) که در مقابل آن گلبرگی نیست باز می‌شود و در نهایت دو گلبرگ روبه‌روی هم نهایی باز شده و گل در حالت کاملاً باز قرار می‌گیرد. برای بسته شدن گل نیز همین روند به‌صورت برعکس انجام می‌شود.

باتوجه به (شکل ۹) تنها در یک پژوهش، ساختار گل جهت مدل‌سازی سازه‌ی باز و بسته شونده، به‌عنوان منبع الهام، مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل "الگوریتم حرکتی" بسیار مهم است. گل زنبق دارای ۵ گلبرگ است که مانند سایر گل‌ها در اثر واکنش به محیط پیرامونش باز و بسته می‌شود. همان‌طور که در (شکل ۱۰) نشان داده شده است، الگوی حرکتی گلبرگ‌ها به ۵ مرحله



شکل ۱۰. الگوی باز شدن گل زنبق بدبو [۳۹]

بر الگوبرداری از مکانیزم حرکتی گل، از فرم هندسی آن نیز در راستای طراحی پوسته به‌عنوان منبع الهام استفاده شود.

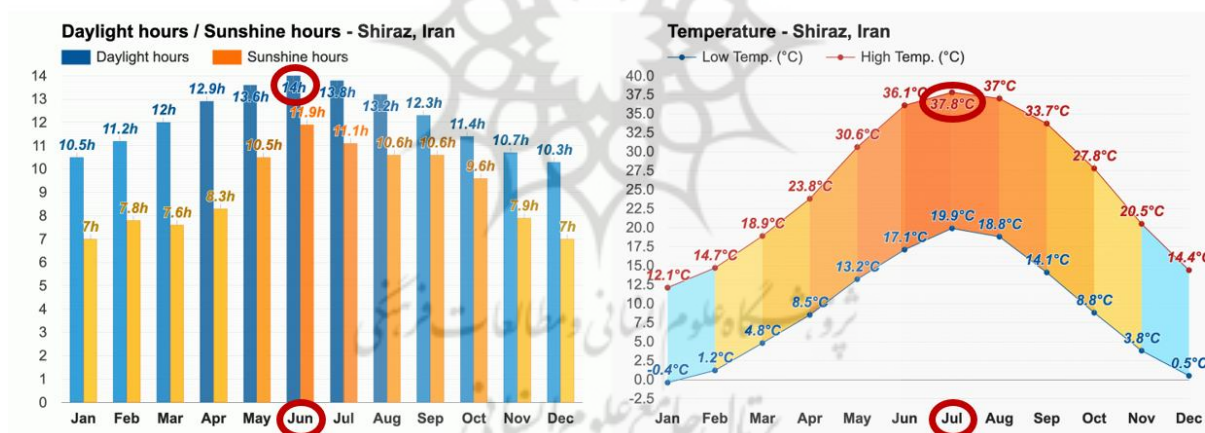
در (شکل ۱۱) جهت باز و بسته شدن گل زنبق به‌خوبی نشان داده شده است. شکل ساده شده‌ی گل از نظر هندسی، به پنج ضلعی نزدیک است. در پژوهش حاضر سعی شده که علاوه



شکل ۱۱. هندسه و الگوی باز شدن گل زنبق بدبو [۴۰]

مسیر حرکت خورشید در نمای جنوبی خود، نیاز به سایبان خارجی دارند؛ تا بتواند میزان ورود نور خورشید به فضاهای داخلی ساختمان را کنترل کند. در ادامه (شکل ۱۲) قرار دارد که نشان دهنده ساعات تابش خورشید و دما در فصول مختلف سال شهر شیراز است.

شیراز به عنوان مرکز استان فارس در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۵ دقیقه و طول جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۹ دقیقه قرار دارد [۴۱]. همچنین از نظر اقلیمی در تقسیم بندی کوپن، گرم و نیمه خشک است [۴۲]. باتوجه به نمودارهای هواشناسی، حداکثر دما در ماه تیر شامل ۳۷٫۸ درجه سانتی گراد است [۴۳]. به همین دلیل ساختمان باتوجه به



شکل ۱۲. به ترتیب از راست به چپ، درجه حرارت و ساعات‌های آفتابی در اقلیم شیراز، فارس، ایران [۴۴]

می‌شود. در افزونه گرس‌هاپر می‌توان توسط افزونه لیدی‌باگ و هانی‌بی تحلیل‌های حرارتی و نوری را انجام داد. برای آنالیز انرژی تابشی بر روی جداری شفاف از لیدی‌باگ و جهت آنالیز نور روز بر روی کف طبقات یا سطحی از اتاق از هانی‌بی استفاده می‌شود. در ادامه جهت ارزیابی میزان اعتبار نرم‌افزار و ابزار تحقیق، ده مقاله مربوط به سال‌های اخیر مورد بررسی قرار گرفته است.

تاکنون کنترل نور روز توسط سایبان خارجی یا پوسته نما با نرم‌افزارهای متعددی تحلیل شده است. این نرم‌افزارها بین آنالیز سایبان متحرک و ثابت متغیر است. نتایج حاصل از بررسی پژوهش‌هایی با روش تحقیق مشابه حاکی از آن است که برای بررسی میزان کنترل نور روز توسط سایبان خارجی متحرک و پارامتریک در نما، بهتر است که از افزونه گرس‌هاپر بهره گرفته شود. افزونه گرس‌هاپر در محیط راینو اجرا

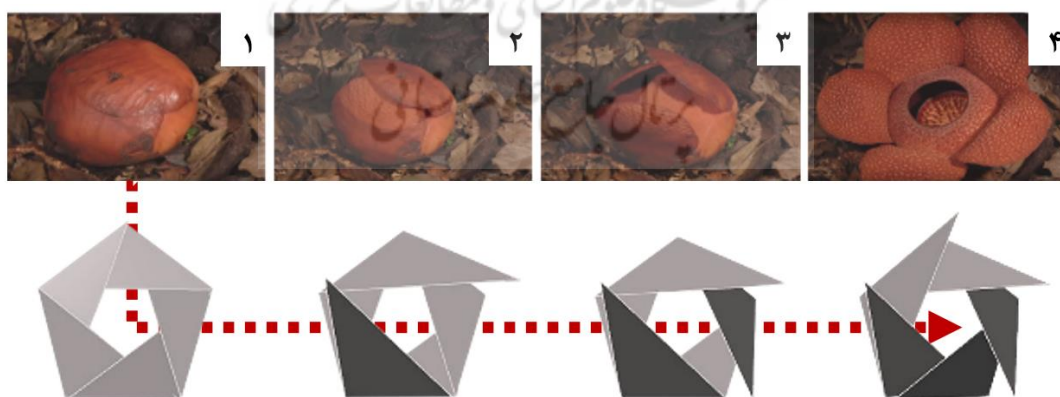
جدول ۱. پیشینه پژوهش ابزار مدل‌سازی و آنالیز داده‌ها

منبع	ابزار آنالیز	ابزار مدل‌سازی	رویکرد پژوهش
[45]	هانی‌بی و لیدی باگ	راینو - گرس‌هاپر	کنترل ورود نور روز توسط سایبان خارجی
[46]	هانی‌بی و لیدی باگ	راینو - گرس‌هاپر	کنترل نور روز و روشنایی
[47]	لیدی باگ	راینو - گرس‌هاپر	بهینه‌سازی انرژی
[48]	لیدی باگ	راینو - گرس‌هاپر	بهینه‌سازی انرژی
[49]	لیدی باگ	راینو - گرس‌هاپر	بهینه‌سازی نور روز
[50]	هانی‌بی و لیدی باگ	راینو - گرس‌هاپر	بهبود عملکرد نور روز
[51]	هانی‌بی و لیدی باگ	راینو - گرس‌هاپر	بهبود عملکرد نور روز
[52]	دیوا	راینو - گرس‌هاپر	کنترل ورود نور روز توسط سایبان داخلی
[53]	لیدی باگ	راینو - گرس‌هاپر	بهینه‌سازی انرژی
[54]	هانی‌بی و لیدی باگ	راینو - گرس‌هاپر	کاهش بار گرمایی ساختمان
[55]	لیدی باگ	راینو - گرس‌هاپر	کنترل میزان تابش و حرارت نور روز
[56]	انرژی پلاس	راینو - گرس‌هاپر	بهبود عملکرد نور روز
[57]	هانی‌بی و لیدی باگ	راینو - گرس‌هاپر	بهبود عملکرد نور روز
[58]	دیوا	راینو - گرس‌هاپر	کنترل میزان تابش و حرارت نور روز
[59]	لیدی باگ	راینو - گرس‌هاپر	بهینه‌سازی حرارتی و نور روز
[60]	لیدی باگ	راینو - گرس‌هاپر	کنترل انرژی تابشی

فرآیند تحلیل و مدل‌سازی

به (شکل ۱۳)، هندسه‌ی پنج ضلعی به‌عنوان مبنای پوسته انتخاب شده و گلبرگ‌ها با هندسه مثلثی حول آن باز و بسته می‌شود. میزان باز شدن گلبرگ‌ها برای جلوگیری از برخورد با هم با زاویه ۴۵ درجه است. اضلاع پنج ضلعی دارای طولی معادل ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. پس از آن براساس باز شدن گلبرگ‌ها، پنل‌ها شبیه‌سازی شده است.

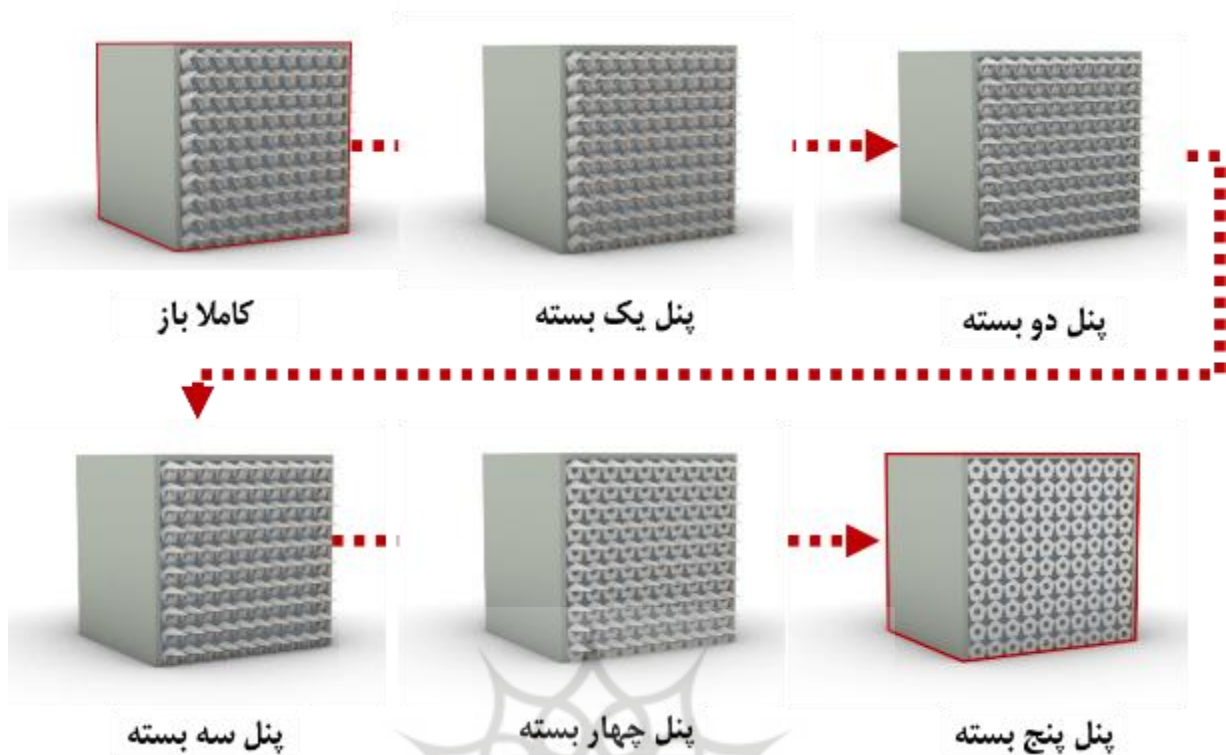
در پژوهش حاضر جبهه‌ی جنوبی یک اتاق با ابعاد فرضی ۵ در ۵ متر و ارتفاع ۵ به‌صورت مکعب در اقلیم شیراز برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی نور روز انتخاب شده و نمای جنوبی به‌طور کاملاً شفاف در نظر گرفته شده است. در ابتدا با توجه



شکل ۱۳. مراحل تشکیل فرم پوسته الهام گرفته شده از گل زنبق

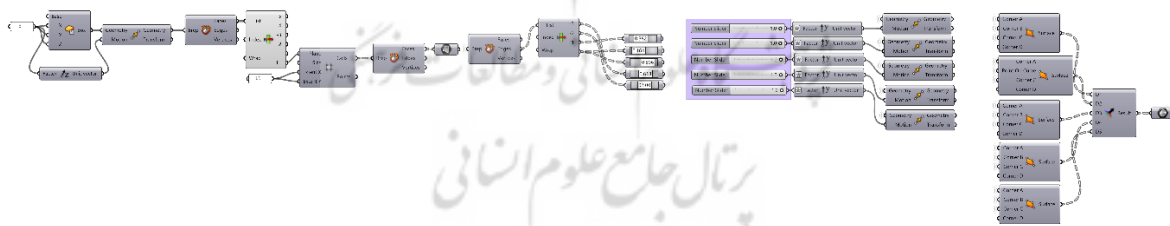
اتاق است. پوسته‌ی کاملاً باز و بسته با خطوط قرمز مشخص شده است.

در ادامه فرآیند پژوهش (شکل ۱۴) نشان دهنده نحوه باز و بسته شدن پنل‌ها براساس گلبرگ‌های گل بر روی نمای



شکل ۱۴. مراحل مکانیزم حرکتی پوسته الهام گرفته شده از گل زنبق بدبو

در این بخش الگوریتم فرمی و حرکتی شبیه‌سازی شده گل در نرم‌افزار راینو ۶ و افزونه گرس‌هاپر مطرح شده است. قسمت پارامتریک پوسته که باعث باز و بسته شدن پنل‌ها می‌شود توسط مربع بنفش رنگ مشخص شده است.



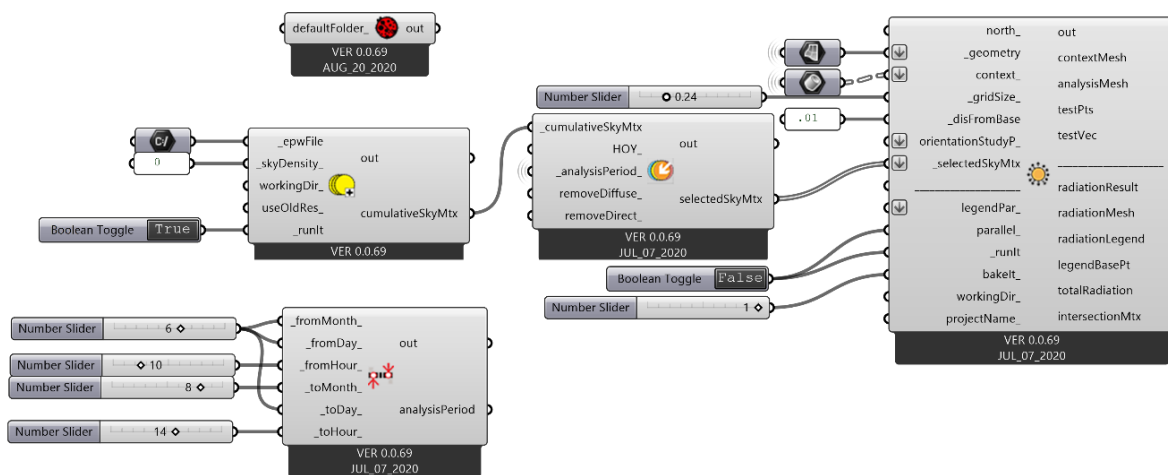
شکل ۱۵. الگوریتم حرکتی پوسته الهام گرفته شده از گل زنبق بدبو

یافته‌ها

نتایج "آنالیز انرژی تابشی" دستاوردهای مهمی دارد. در ابتدا برای انجام تحلیل‌های انرژی تابشی حاصل از نور خورشید، داده‌های اقلیمی شهر شیراز به افزونه لیدی‌باگ داده شده (شکل ۱۶)، پس از آن بازه زمانی تحلیل مشخص و براساس آن تحلیل‌های انرژی تابشی انجام شده است. یافته‌های پژوهش به خوبی پیشینه مرتبط [۶۱-۸۹] را تأیید می‌کند.

در ادامه آنالیز انرژی تابشی جداری شفاف نما مورد بررسی قرار گرفته است. به این صورت که در دو مرحله انرژی تابشی توسط سطح شفاف نما و ساعت تابش نور بر آن سنجیده شده و با حالت بدون سایبان خارجی مقایسه شده است. در نهایت میزان کاهش حرارت حاصل از جذب انرژی تابشی توسط جداری شفاف به درصد مطرح شده است که خود نشان دهنده‌ی عملکرد مطلوب سایبان است.

به عبارت دیگر، یافته‌های پژوهش را می‌توان در امتداد پیشینه پژوهش و تکمیل‌کننده آن‌ها معرفی کرد.

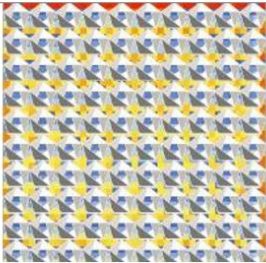
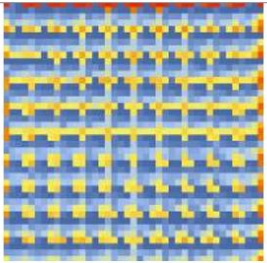

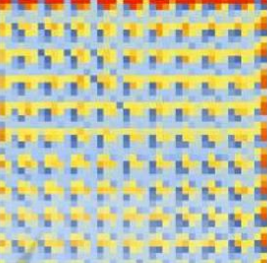
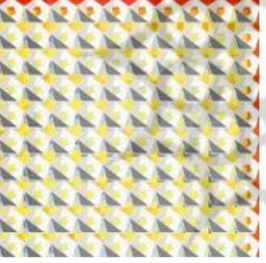
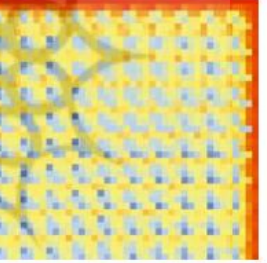
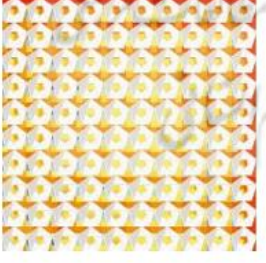
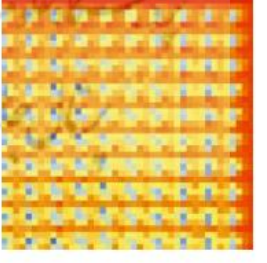
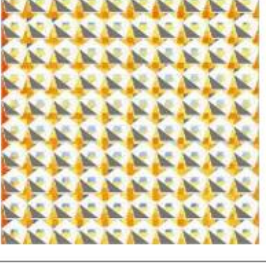
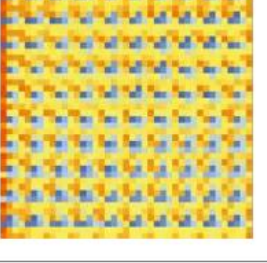


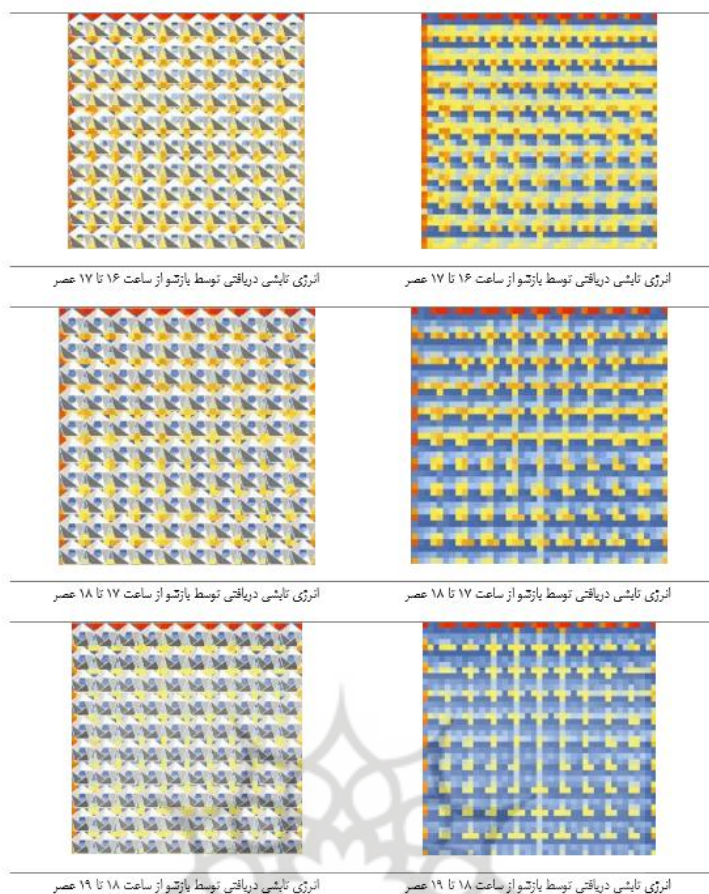
شکل ۱۶. الگوریتم آنالیز انرژی تابشی سایبان الهام گرفته شده از گل زنبق بدبو

پوسته الهام گرفته شده از گل زنبق دارای ۵ حرکت است که در بخش تحلیل الگوریتم حرکتی گل بررسی شده و در بین ساعات‌های مختلف، حرکات متناسب با زاویه و مسیر حرکت خورشید در اقلیم شیراز تنظیم شده است. به این صورت که در ساعت ۷ تا ۹ متناسب با (شکل ۱۱) مرحله یک صورت گرفته، در ساعت ۹ تا ۱۳ مرحله دو و سه با هم انجام می‌شود و پوسته کاملاً بسته شده و با توجه به فرآیند (شکل ۱۰) در حالت یک قرار می‌گیرد. در ساعت ۱۳ تا ۱۶ مرحله یک (شکل ۱۱)، ساعت ۱۶ تا ۱۹ نیز مرحله دو و سه فرآیند (شکل ۱۱) انجام شده و در نهایت پوسته به حالت ۵ (شکل ۱۱) می‌رسد.

نتایج حاصل از بررسی بخش تحلیل اقلیم شیراز حاکی از آن است که ۱۲ خرداد تا ۱۰ تیر دارای بیشترین ساعت و حداکثر تابش خورشید و ۱۱ تیر تا ۱۰ مرداد دارای بیشترین درجه‌ی دمایی است، بنابراین در پژوهش حاضر باتوجه به هدف پژوهش که کنترل نفوذ نور روز به فضای داخلی ساختمان است، ۱۵ خرداد تا ۱۵ مرداد که بیشترین ساعات آفتابی در روز فراهم است، مورد تحلیل از نظر میزان دریافت انرژی تابشی توسط جداره‌ی شفاف ساختمان قرار گرفته تا بتوان میزان بهینه عمل کردن سایبان خارجی نمای طراحی شده را بدست آورد. به همین دلیل از ساعت ۷ صبح تا ۱۹ تحلیل‌های حرارتی انجام شده که شامل بازه زمانی: ۷ تا ۸، ۸ تا ۹، ۹ تا ۱۰، ۱۰ تا ۱۴، ۱۴ تا ۱۵ و ۱۵ تا ۱۶، ۱۶ تا ۱۷، ۱۷ تا ۱۸، ۱۸ تا ۱۹ است.

جدول ۲. آنالیز انرژی تابشی نمای شفاف جنوبی با وجود سایبان خارجی

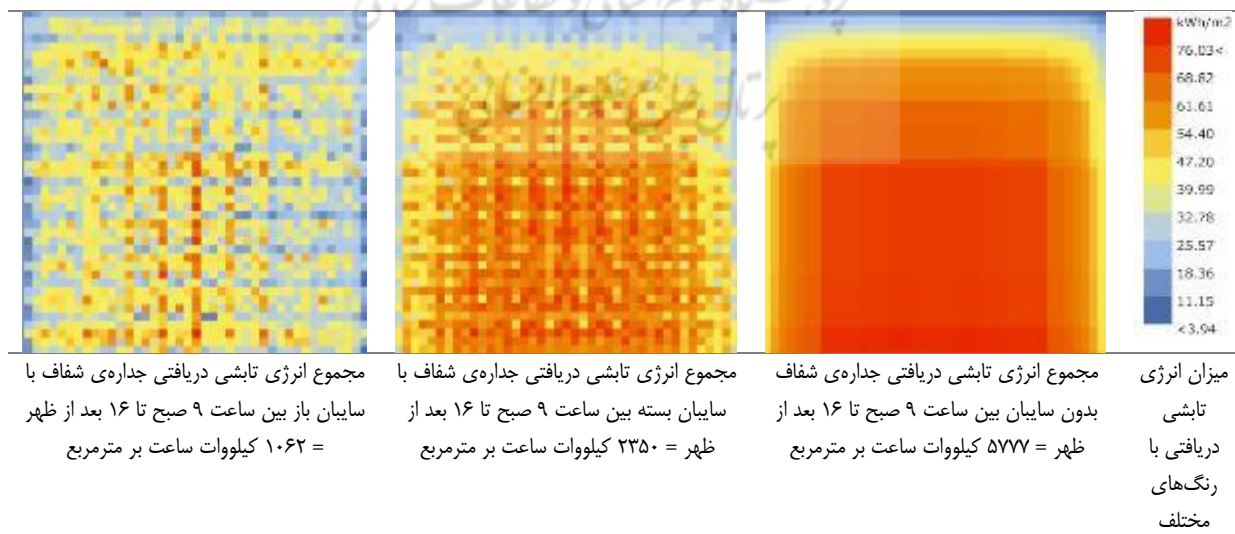
تصویر بازشو با نمایش سایبان	تصویر بازشو بدون نمایش سایبان
	
انرژی تابشی دریافتی توسط بازشو از ساعت ۷ تا ۸ صبح	انرژی تابشی دریافتی توسط بازشو از ساعت ۷ تا ۸ صبح
	
انرژی تابشی دریافتی توسط بازشو از ساعت ۸ تا ۹ صبح	انرژی تابشی دریافتی توسط بازشو از ساعت ۸ تا ۹ صبح
	
انرژی تابشی دریافتی توسط بازشو از ساعت ۹ تا ۱۰ صبح	انرژی تابشی دریافتی توسط بازشو از ساعت ۹ تا ۱۰ صبح
	
انرژی تابشی دریافتی توسط بازشو از ساعت ۱۰ تا ۱۴ ظهر	انرژی تابشی دریافتی توسط بازشو از ساعت ۱۰ تا ۱۴ ظهر
	
انرژی تابشی دریافتی توسط بازشو از ساعت ۱۴ تا ۱۶ بعد از ظهر	انرژی تابشی دریافتی توسط بازشو از ساعت ۱۴ تا ۱۶ بعد از ظهر



شفاف بین ساعت ۹ صبح تا ۱۶ بعد از ظهر در سه حالت بدون سایبان، با سایبان (پنل‌های باز و بسته) مقایسه کرده است.

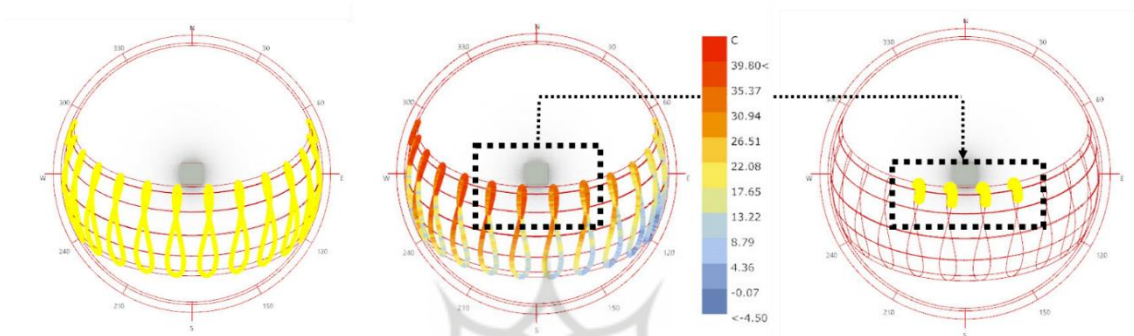
نتایج حاصله از فرآیند (جدول ۲) نشان دهنده عملکرد مطلوب سایبان در اقلیم گرم و نیمه‌خشک شیراز است. ادامه فرآیند (جدول ۳) قرار دارد که آنالیز انرژی تابشی نمای

جدول ۳. مقایسه‌ی انرژی تابشی جذب شده توسط نمای جنوبی اتاق در سه حالت بدون سایبان، سایبان باز، سایبان بسته



۱۵ خرداد تا ۱۵ تیر، نور روز دریافت می‌کند، مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه (شکل ۱۷) قرار دارد که به ترتیب از چپ به راست نشان دهنده‌ی مسیر حرکت خورشید در تمام ماه‌های سال، حرارت خورشید در تمام ماه‌ها و در نهایت ماه‌های برگزیده جهت تحلیل است. باتوجه به دستاوردها (شکل ۱۷) در ماه‌های انتخاب شده جهت تحلیل، خورشید در گرم‌ترین حالت خود قرار دارد.

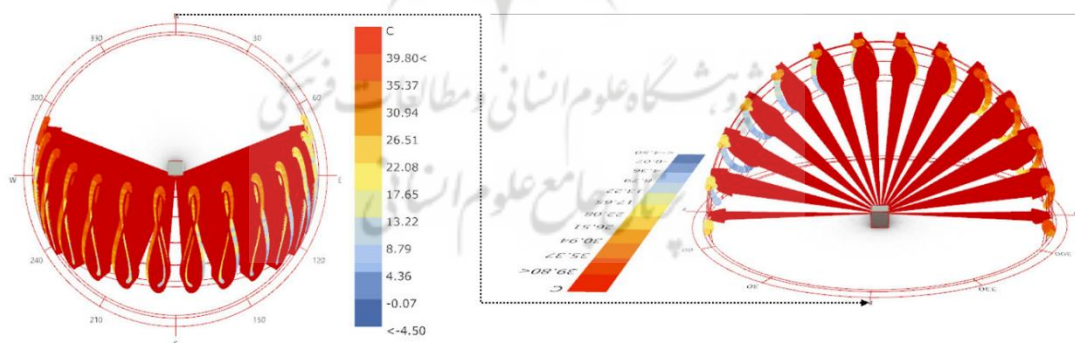
نتایج حاصل از مقایسه‌ی سه حالت (جدول ۳) حاکی از آن است که سایبان در حالت باز عملکرد مطلوب‌تری نسبت به سایبان در حالت بسته دارد. به‌همین دلیل از سایبان در حالت باز می‌توان برای فصول گرم سال و از سایبان در حالت بسته در فصول سرد سال بهره گرفت. آنالیز ساعات تابش نور خورشید بالایی دارد. در این بخش مجموع ساعتی که نمای شفاف جنوبی در بازه زمانی



شکل ۱۷. مسیر حرکت خورشید در شهر شیراز

نما بررسی و تایید شده و براساس آن، تحلیل‌ها صورت گرفته است.

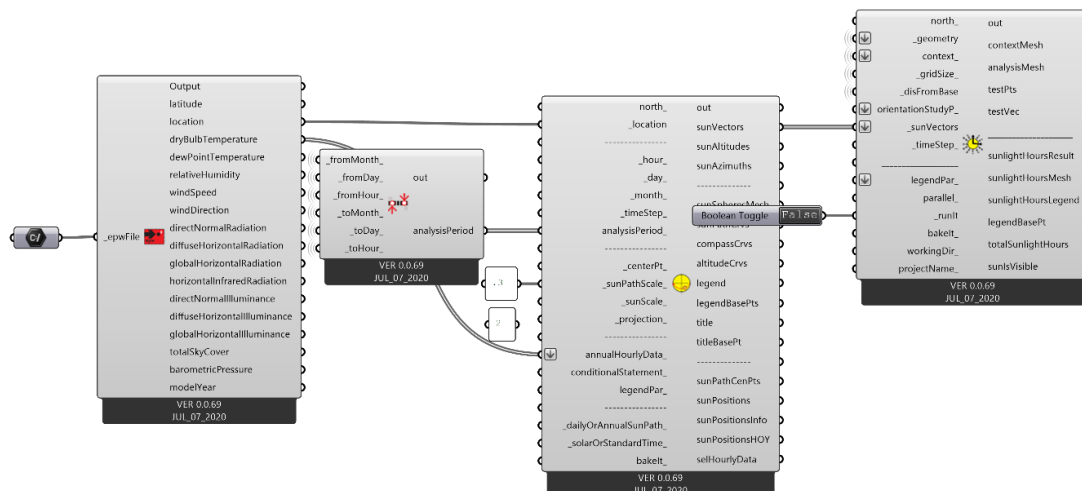
پس از وارد کردن داده‌های اقلیمی شهر شیراز به نرم‌افزار، اطلاعات مربوط به بازه زمانی تحلیل ساعات نور روز مشخص شده و در نهایت جهت تابش نور خورشید به سمت



شکل ۱۸. جهت تابش خورشید به سمت نمای جنوبی

۹ صبح تا ۱۶ بعد از ظهر مطرح شده است.

در ادامه الگوریتم آنالیز ساعات تابش نور روز توسط نمای شفاف جنوبی در بازه زمانی ۱۵ خرداد تا ۱۵ تیر و ساعت

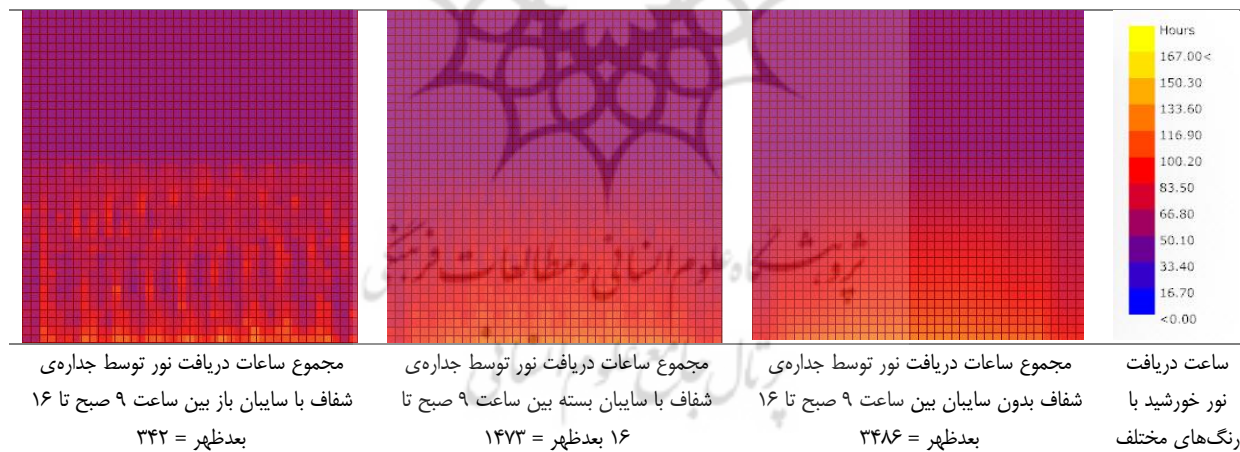


شکل ۱۹. الگوریتم آنالیز ساعت‌های تابش نور روز

کنترل ورود نور خورشید در اقلیم شیراز را دارا است. علاوه بر آن، پوسته در حالت باز، ده درصد از ساعت تابش نور خورشید به نمای جنوبی را کاسته و در نتیجه بار گرمایی فضای داخل را کاهش می‌دهد.

در ادامه یافته‌ها (جدول ۴) قرار دارد که نشان دهنده‌ی ساعات تابش نور خورشید توسط نمای جنوبی است. نتایج حاصله حاکی از آن است که سایبان خارجی در حالت باز عملکرد مطلوب‌تری نسبت به حالت بسته دارد و به‌طور کلی توانایی

جدول ۴. آنالیز ساعت‌های دریافت نور خورشید توسط جداره‌ی شفاف



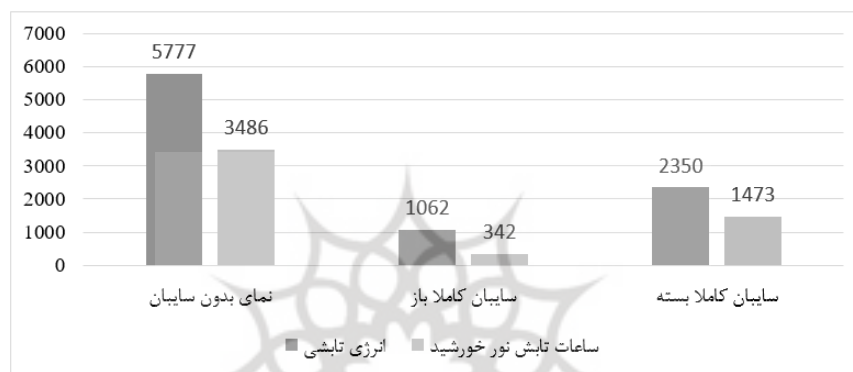
بحث و نتیجه‌گیری

زیرا پژوهشگران آتی می‌توانند از روند پژوهش برای طراحی مدل‌های الهام گرفته شده از طبیعت بهره‌گیرند و سیستم‌های مهندسی نوین در راستای معماری پایدار و بایونیک ارائه دهند. نتایج حاصل از بررسی آنالیز انرژی تابشی ساختمان توسط سایبان هوشمند خارجی الهام گرفته شده از گل زنبق در اقلیم شیراز حاکی از آن است که قرارگیری سایبان خارجی

باتوجه به مطالب بدست آمده از بخش‌های پیشین پژوهش حاضر، سایبان هوشمند الهام گرفته شده از فرم و عملکرد گل زنبق کاملاً نوآورانه است؛ زیرا الگوی حرکتی گل توسط طراح بررسی شده و الگوریتم فرم و حرکت توسط طراح به نرم‌افزار داده شده است؛ بنابراین داده‌ها به‌صورت پیش‌فرض نمی‌باشد. علاوه بر آن، پژوهش حاضر از نوع کاربردی است؛

تابشی جذب شده توسط جداره‌ی شفاف ساختمان کاسته و تا ده درصد از میزان تابش خورشید به سطح نمای جنوبی را کم کند، همین امر باعث کاهش بار گرمایی ساختمان در فصول گرم سال شده و در نتیجه کاهش مصرف انرژی در ساختمان را به همراه دارد. در ادامه نمودار آنالیز انرژی تابشی (خاکستری پررنگ) با واحد کیلو واحد ساعت بر مترمربع و ساعات تابش نور خورشید (خاکستری کم‌رنگ) بر سطح نمای جنوبی مطرح شده است.

هوشمند، می‌تواند درصد قابل توجهی از جذب انرژی تابشی توسط نمای ساختمان را کاهش داده و روشنایی مورد نیاز فضاهای داخلی را تأمین کند. همچنین، سایبان در حالت کاملاً باز از حالت پنل‌های بسته، بازده عملکردی بالاتری دارد. نکته حائز اهمیت دیگر این است که انرژی تابشی بالای دریافتی جداره‌ی شفاف در ساعات بین ۱۰ صبح تا ۱۴ ظهر، بین حالت بدون سایبان، با سایبان (حالت باز پنل‌ها و پنل‌های بسته)، مقایسه شده و نتایج نشان می‌دهد که سایبان الهام گرفته شده از الگوی حرکتی گل زنبق می‌تواند تا بیست درصد از انرژی



نمودار ۱. مقایسه‌ی دو فاکتور آنالیز انرژی تابشی و ساعات تابش نور خورشید

کنند. (جدول ۵) به صورت اهداف و راهکار طراحی، دسته‌بندی شده است.

در ادامه تحلیل یافته‌ها (جدول ۵) شامل پیشنهادات جهت رسیدن به کارایی بالاتر پوسته است که پژوهشگران در آینده با مطالعات بیشتر می‌توانند، عوامل جدید به جدول اضافه

جدول ۵. پیشنهادات طراحی سایبان متحرک نما

اهداف	راهکار طراحی
سهولت اجرا	- بهتر است که از روش‌های ساخت دیجیتال برای تولید دقیق سایبان بهره گرفته شود تا سیستم ساخته شده با کیفیت طراحی منطبق باشد.
	- استفاده از قطعات مدولار و اتصالات ساده، مونتاژ سازه را حتی بدون استفاده از کارگران مجرب آسان کرده است.
	- با توجه به امکانات و تجهیزات موجود در مقصد می‌توان از روش‌ها و تکنیک‌های مختلف اتصال استفاده کرد.
کاهش هزینه	- با استفاده از مصالح هوشمند مانند آلیاژهای حافظه‌دار می‌توان باز و بسته شدن پوسته را بدون به کار بردن سازه خاص، اجرا کرد.
	- قابلیت انتقال پذیری پوسته، ساختار را قابل استفاده مجدد می‌کند و این به نوبه خود هزینه‌های استفاده‌های بعدی را کاهش می‌دهد.
	- طراحی انعطاف‌پذیر باعث سازگاری اجزای پوسته و امکان استفاده از آن در شرایط اقلیمی و نماهای مختلف را فراهم می‌کند.
زیبایی و کارایی	- طراحی مدولار هزینه‌های ساخت را کاهش می‌دهد.
	- این گونه از پوسته‌های هوشمند، علاوه بر زیبایی و کارایی با استفاده از المان‌های مدولار و قابلیت تغییر شکل دارد و همچنین می‌تواند با فرم‌های مختلف مطابق با نیاز و انتظارات کاربر سازگار شود.

- بهره‌گیری از هندسه‌ی موجود در طبیعت و ترکیب ارائه آن با نرم‌افزارهای موجود می‌تواند اشکال بی‌شماری را خلق کند که باعث عدم تکراری شدن پروژه‌ها می‌شود.	
- هندسه‌ی سطح مقطع پوسته‌های الهام گرفته شده از گیاهان متناسب با هندسه و فرم نما قابل تغییر است.	مقیاس
- ابعاد طراحی پنل‌ها متناسب با مصالح مصرفی و نما قابل تغییر است.	
- سایبان متحرک می‌بایست قابلیت الحاق و توسعه، تغییر و چندکارگی داشته باشد.	انعطاف‌پذیری
- امکان استفاده از سایبان به صورت دستی و خودکار (این کار باعث می‌شود که در صورت ایجاد مشکل در یک عضو، سایر اعضا قابل حرکت و تغییر باشند.	
- طراحی پارامتریک به‌گونه‌ای که با تغییر یک پارامتر، تمام اعضا تغییر کند.	
- تغییر فرم‌هایی که در اثر وارد شدن نیرو یا ضربه، تغییر رطوبت، گرما و یا عواملی از این قبیل ایجاد می‌شود، توسط استفاده از مصالح هوشمند در طراحی سایبان نما.	تطبيق پذیری
- تغییرات فرمی سایبان با دریافت داده‌های محیطی از طریق حسگرها پردازش شده و میزان عبور نور، هوا و غیره توسط باز و بسته شدن پنل‌های سایبان کنترل می‌شود.	
- گیاهان در اثر عوامل خارجی نمونه‌های زیاد و متنوعی از الگوهای خمشی را ارائه می‌کنند که از این الگوها می‌توان در طراحی سایبان هوشمند بهره گرفت.	
- اجزای مدولار و اتصالات قابل تنظیم، امکان درک اشکال، پیکربندی و مقیاس‌های مختلف را فراهم می‌کند.	حمل و نقل آسان
- استفاده از مصالح نوین باعث کاهش وزن مدول‌ها می‌شود.	
- قطعات آسیب دیده و معیوب به دلیل سهولت اتصالات و مدولاریته پوسته به راحتی قابل تعمیر یا تعویض هستند.	قابل تعمیر و نگهداری

دوم (عهده‌دار مکاتبات و نویسنده مسئول) و مشاوره نگارنده سوم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز است.

تأییدیه اخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان: نویسنده اول، نگارنده اصلی مقاله، پژوهشگر اصلی، توسعه ساختار تحقیق، مدل‌سازی و ترسیم اجزا (۳۵٪)؛ نویسنده دوم: پژوهشگر اصلی مقاله، توسعه ایده پژوهش و کنترل فرآیند، ایده پردازی و ساختار تحقیق (۳۵٪) و نویسنده سوم، کنترل نتایج، مرور اصلاحات و کنترل نتایج پژوهش (۳۰٪).

منابع مالی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

1. Anzaniyan E, Alaghmandan M, Montaser Koohsari A. Design, fabrication and computational simulation of a bio-kinetic façade inspired by the mechanism of the Lupinus Succulentus plant for daylight and energy efficiency. *Sci Technol Built Environ*. 2022;28(10):1456–71.

در نهایت نتایج حاصل از (جدول ۵) حاکی از آن است که جهت سهولت حمل‌ونقل، ساخت و اجرا و غیره، قطعات پوسته بهتر است که به صورت سبک و مدولار طراحی شود. یکی از نکات حائز اهمیت دیگر، قابلیت انعطاف‌پذیری و سازگاری پوسته با محیط است که در کل هدف کلان طراحی پوسته نیز محسوب می‌شود. با رعایت نکات مطرح شده، سایر اهداف نیز به دنبال آن محقق می‌شود.

پژوهشگران در آینده می‌توانند پوسته‌ی مدل‌سازی شده را از نظر آسایش بصری، حرارتی، کنترل نفوذ نور روز، کاهش مصرف انرژی، کاهش بار گرمایش و سرمایش ساختمان و غیره در اقلیم‌ها، کاربری‌ها و جبهه‌های مختلف ساختمان بررسی کنند و نتایج را به صورت الگوریتم‌ها و داده‌های کمی و کیفی ارائه دهند تا پوسته‌های طراحی شده برای معماران و طراحان کاربردی‌تر شده و نحوه‌ی بهره‌گیری از مدل‌های بدست آمده را تسهیل کنند.

تشکر و قدردانی: این مقاله برگرفته از رساله دکتری نگارنده اول تحت عنوان «انطباق الگوریتم حرکتی گیاهان در راستای هوشمندسازی اقلیمی نمای ساختمان» به راهنمایی نگارنده

- <https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-120710-101200>
10. Miran FD, Abdullah HK. Evaluation of the Optimal Solar Shading Devices for Enhancing Daylight Performance of School Building, A case study semi-arid Clim city). ZANCO J Pure Appl Sci. 2016;28:580–98. <https://doi.org/10.3390/buildings11080348>
 11. Matini M, Kakouee E. Compliant Mechanisms; an Approach Leading to Functional Deficiencies Reduction in Kinetic Skins. Honar-Ha-Ye-Ziba Memary Va ShahrSazi. 2019;24(2):39–48. [Persian] <https://doi.org/10.22059/jfaup.2019.258891.672029>
 12. Alotaibi F. The role of kinetic envelopes to improve energy performance in buildings. J Arch Eng Tech. 2015;4(149):2. <https://doi.org/10.4172/2168-9717.1000149>
 13. Hosseini SM, Mohammadi M, Guerra-Santin O. Interactive kinetic façade: Improving visual comfort based on dynamic daylight and occupant's positions by 2D and 3D shape changes. Build Environ. 2019;165:106396. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106396>
 14. Nasr T, Yarmahmoodi Z, Ahmadi SM. The Effect of Kinetic Shell's Geometry on Energy Efficiency Optimization Inspired by Kinetic Algorithm of Mimosa pudic. Naqshejahan-Basic Stud New Technol Archit Plan. 2020;10(3):219–30. [Persian] <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1399.10.3.3.3>
 15. Le-Thanh L, Le-Duc T, Ngo-Minh H, Nguyen Q-H, Nguyen-Xuan H. Optimal design of an Origami-inspired kinetic façade by balancing composite motion optimization for improving daylight performance and energy efficiency. Energy. 2021;219:119557. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119557>
 16. Custódio I, Quevedo T, Melo AP, Rüther R. A holistic approach for assessing architectural integration quality of solar photovoltaic rooftops and shading devices. Sol Energy. 2022;237:432–46. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.02.019>
 17. Al-Abdulkarim A, Al-Otaibi FS. Assessment of the efficiency of using kinetic facades in response to dynamic daylighting. J Civ Eng <https://doi.org/10.1080/23744731.2022.2122675>
 2. Kim H-J, Yang C-S, Moon HJ. A Study on Multi-Objective Parametric Design Tool for Surround-Type Movable Shading Device. Sustainability. 2019;11(24):7096. <https://doi.org/10.3390/su11247096>
 3. Vazquez E, Duarte JP. Bistable kinetic shades actuated with shape memory alloys: prototype development and daylight performance evaluation. Smart Mater Struct. 2022;31(3):34001. <https://doi.org/10.1088/1361-665X/ac5014>
 4. Choi S-J, Lee D-S, Jo J-H. Lighting and cooling energy assessment of multi-purpose control strategies for external movable shading devices by using shaded fraction. Energy Build. 2017;150:328–38. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.030>
 5. Scavée A, Triantafyllidis G, Palamas G. Biomimetic Approaches to Kinetic Facades: A Design Proposal for a Light-Responsive Facade Module. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2022. p. 12005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1099/1/012005>
 6. Kim M, Kim B, Koh J, Yi H. Flexural biomimetic responsive building façade using a hybrid soft robot actuator and fabric membrane. Autom Constr. 2023;145:104660. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104660>
 7. Kizilorenli E, Tokuc A. Parametric optimization of a responsive façade system for daylight performance. J Archit Sci Appl. 2022;7(1):72–81. <https://doi.org/10.30785/mbud.1038768>
 8. Hosseini SM, Heidari S. General morphological analysis of Orosi windows and morpho butterfly wing's principles for improving occupant's daylight performance through interactive kinetic façade. J Build Eng. 2022;59:105027. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.105027>
 9. [9] Dumais J, Forterre Y. “Vegetable Dynamicks”: The Role of Water in Plant Movements. Annu Rev Fluid Mech. 2012;44(1):453–78.

- design strategies. *Curr J Appl Sci Technol*. 2016;1-16.
<https://doi.org/10.9734/BJAST/2016/23116>
26. Mangkuto RA, Dewi DK, Herwandani AA, Koerniawan MD. Design optimisation of internal shading device in multiple scenarios: Case study in Bandung, Indonesia. *Journal of Building Engineering*. 2019 Jul 1;24:100745.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100745>
 27. Kusuma YW, Matsuo A, Suyama Y, Wanke S, Isagi Y. Conservation genetics of three *Rafflesia* species in Java Island, Indonesia using SNP markers obtained from MIG-seq. *Conservation Genetics*. 2022 Sep 7:1-4.
<https://doi.org/10.1007/s10592-022-01470-6>
 28. Molina J, Hazzouri KM, Nickrent D, Geisler M, Meyer RS, Pentony MM, et al. Possible loss of the chloroplast genome in the parasitic flowering plant *Rafflesia lagascae* (Rafflesiaceae). *Mol Biol Evol*. 2014;31(4):793-803.
<https://doi.org/10.1093/molbev/msu051>
 29. Renjana E, Astuti IP, Munawaroh E, Mursidawati S, Witono JR, Fijridiyanto IA, Raharjo PD, Solihah SM, Robiansyah I, Cropper Jr WP, Yudaputra A. Assessing potential habitat suitability of parasitic plant: A case study of *Rafflesia arnoldii* and its host plants. *Global Ecology and Conservation*. 2022 Apr 1;34:e02063.
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02063>
 30. Raffles TS. *Rafflesia*. In: *In the Name of Plants 2022* Nov 2 (pp. 120-125). University of Chicago Press.
<https://doi.org/10.7208/chicago/9780226824314-022>
 31. Wicaksono A, Raihandhany R, Zen TV, da Silva JA, Agatha A, Cristy GP, Ramadhan AT, Parikesit AA. Screening *Rafflesia* and *Sapria* Metabolites Using a Bioinformatics Approach to Assess Their Potential as Drugs. *Philippine Journal of Science*. 2022 Oct;151(5):1771-91.
<https://doi.org/10.56899/151.05.20>
 32. Diway B, Yasui Y, Innan H, Takeuchi Y. New locality and bud growth of the world biggest flower, *Rafflesia tuan-mudae*, in Naha Jaley, Sarawak, Malaysia. *Tropics*. Urban Plan. 2019;1(1):11-6.
<https://doi.org/10.23977/jceup.2019.11002>
 18. Rasuli M, Shahbazi Y, Matini M. Horizontal and Vertical Movable Drop-Down Shades Performance in Double Skin Facade of Office Buildings; Evaluation and Parametric Simulation. *Naqshejahan-Basic Stud New Technol Archit Plan*. 2019;9(2):135-44. [Persian]
<https://doi.org/10.23224991.1398.9.2.7.8>
 19. Velasco R, Brakke AP, Chavarro D. Dynamic façades and computation: Towards an inclusive categorization of high performance kinetic façade systems. In: *International Conference on Computer-Aided Architectural Design Futures*. Springer; 2015. p. 172-91.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-47386-3_10
 20. Kiritmat A, Koyunbaba BK, Chatzikonstantinou I, Sariyildiz S. Review of simulation modeling for shading devices in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016 Jan 1;53:23-49.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.020>
 21. Haldi F, Robinson D. Adaptive actions on shading devices in response to local visual stimuli. *Journal of Building Performance Simulation*. 2010 Jun 1;3(2):135-53.
<https://doi.org/10.1080/19401490903580759>
 22. Kiritmat A, Tasgetiren MF, Brida P, Krejcar O. Control of PV integrated shading devices in buildings: A review. *Building and Environment*. 2022 Mar 2:108961.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108961>
 23. Atzeri A, Cappelletti F, Gasparella A. Internal versus external shading devices performance in office buildings. *Energy Procedia*. 2014 Jan 1;45:463-72.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.050>
 24. Shahdan MS, Ahmad SS, Hussin MA. External shading devices for energy efficient building. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018 Feb 1. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/117/1/012034>
 25. Omrany H, Marsono AK. Optimization of building energy performance through passive

- Conserv. 2022;34:e02063.
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02063>
- 2022 Mar 1;30(4):71-82.
<https://doi.org/10.3759/tropics.MS21-14>
41. De Bei R, Wang X, Papagiannis L, Collins C. Assessment of bunch thinning as a management technique for Semillon and Shiraz in a hot Australian climate. *OENO One*. 2022;56(1):161–74.
<https://doi.org/10.20870/oenone.2022.56.1.4835>
33. Samidjo GS, Oktavidiati E. Ecophysiology Identification and Flower Morphology of *Rafflesia arnoldii* at Forest Ecosystem of Bengkulu Province. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022 Feb 1; 985(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/985/1/012014>
42. Barzegar Z, Mirshamsi M. Drawing the Timetable of Climatic Need by Means of Determining the Olgay Method Thermal Comfort Zone in Shiraz Semi Arid Climate in Iran. In: ICSAUD 2014: International Conference on Sustainable Architecture and Urban Design to be held in Istanbul, Turkey, July. 2014: 30–1.
<https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.09.019>
34. Beaman RS, Decker PJ, Beaman JH. Pollination of *Rafflesia* (Rafflesiaceae). *American Journal of Botany*. 1988 Aug;75(8):1148-62.
<https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1988.tb08828.x>
43. Kashfi FS, Ramavandi B, Arfaeinia H, Mohammadi A, Saeedi R, De-la-Torre GE, et al. Occurrence and exposure assessment of microplastics in indoor dusts of buildings with different applications in Bushehr and Shiraz cities, Iran. *Sci Total Environ*. 2022;829:154651.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154651>
35. Patiño S, Aalto T, Edwards AA, Grace J. Is *Rafflesia* an endothermic flower?. *New Phytologist*. 2002 May;154(2):429-37.
<https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00396.x>
44. Shiraz, Iran - Detailed climate information and monthly weather forecast | Weather Atlas [Internet]. [cited 2020 Dec 7]. Available from: https://www.weather-atlas.com/en/iran/shiraz-climate#daylight_sunshine
36. Wicaksono A, Mursidawati S, Molina J. A plant within a plant: insights on the development of the *Rafflesia* endophyte within its host. *The Botanical Review*. 2021 Jun;87(2):233-42.
<https://doi.org/10.1007/s12229-020-09236-w>
45. Flor J-F, Liu X, Sun Y, Beccarelli P, Chilton J, Wu Y. Switching daylight: Performance prediction of climate adaptive ETFE foil façades. *Build Environ*. 2022;209:108650.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108650>
37. Sofiyanti N, Mat-Salleh K, Mahmud K, Mazlan NZ, Hasein MR, Burslem DF. *Rafflesia parvimaclata* (Rafflesiaceae), a new species of *Rafflesia* from Peninsular Malaysia. *Phytotaxa*. 2016 Mar 29;253(3):207-13.
<https://doi.org/10.11646/phytotaxa.253.3.4>
46. Hibikino K, Hui W. Comparison of Daylight Performance in Three Different Sky Conditions for Various Window Shading Types. IOP Conf. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1058/1/012010>
38. Asefi M, Foruzandeh A. Nature and kinetic architecture: The development of a new type of transformable structure for temporary applications. *J Civ Eng Archit*. 2011;5(6).
<https://doi.org/10.17265/1934-7359/2011.06.005>
47. Xue Y, Liu W. A Study on Parametric Design Method for Optimization of Daylight in Commercial Building's Atrium in Cold Regions. *Sustainability*. 2022;14(13):7667.
<https://doi.org/10.3390/su14137667>
39. *Rafflesia* flower opening - YouTube [Internet]. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=WBSM2JvFqKM&feature=youtu.be>
48. Bakmohammadi P, Noorzai E. Investigating the optimization potential of daylight, energy
40. Renjana E, Astuti IP, Munawaroh E, Mursidawati S, Witono JR, Fijridiyanto IA. Assessing potential habitat suitability of parasitic plant: A case study of *Rafflesia arnoldii* and its host plants. *Glob Ecol*

- <https://doi.org/10.1109/PVSC45281.2020.9300488>
55. Qingsong M, Fukuda H. Parametric office building for daylight and energy analysis in the early design stages. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2016 Jan 6;216:818-28. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.079>
 56. Zani A, Andaloro M, Deblasio L, Ruttico P, Mainini AG. Computational Design and Parametric Optimization Approach with Genetic Algorithms of an Innovative Concrete Shading Device System. *Procedia Eng*. 2017;180:1473–83. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.310>
 57. Lavin C, Fiorito F. Optimization of an External Perforated Screen for Improved Daylighting and Thermal Performance of an Office Space. *Procedia Eng*. 2017;180:571–81. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.216>
 58. Ercan B, Elias-Ozkan ST. Performance-based parametric design explorations: A method for generating appropriate building components. *Des Stud*. 2015;38:33–53. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2015.01.001>
 59. Freewan AAY. Impact of external shading devices on thermal and daylighting performance of offices in hot climate regions. *Sol Energy*. 2014;102:14–30. <https://dx.doi.org/10.15627/jd.2021.15>
 60. Aguilar-Carrasco MT, Díaz-Borrego J, Acosta I, Campano MÁ, Domínguez-Amarillo S. Validation of lighting parametric workflow tools of Ladybug and Solemma using CIE test cases. *J Build Eng*. 2022;105608. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105608>
 61. Goharian A, Mahdavejad M, Bemanian M, Daneshjoo K. Designerly optimization of devices (as reflectors) to improve daylight and scrutiny of the light-well's configuration. *Building Simulation*. 2021 Oct 9 (pp. 1-24). Tsinghua University Press. <https://doi.org/10.1007/s12273-021-0839-y>
 62. Saadatjoo P, Mahdavejad M, Zhang G, Vali K. Influence of permeability ratio on wind-driven ventilation and cooling load of mid-rise buildings. *Sustainable Cities and* and occupant satisfaction performance in classrooms using innovative photovoltaic integrated light shelf systems. *Sci Technol Built Environ*. 2022;28(4):467–82. <https://doi.org/10.1080/23744731.2021.2014247>
 49. Khidmat RP, Fukuda H, Sari AA. Comparison of Daylight Performance in Three Different Sky Conditions for Various Window Shading Types. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing; 2022: 12010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1058/1/012010>
 50. Besbas S, Nocera F, Zemmouri N, Khadraoui MA, Besbas A. Parametric-Based Multi-Objective Optimization Workflow: Daylight and Energy Performance Study of Hospital Building in Algeria. *Sustainability*. 2022;14(19):12652. <https://doi.org/10.3390/su141912652>
 51. Noorzai E, Bakmohammadi P, Garmaroudi MA. Optimizing daylight, energy and occupant comfort performance of classrooms with photovoltaic integrated vertical shading devices. *Archit Eng Des Manag*. 2022;0(0):1–25. <https://doi.org/10.1080/17452007.2022.2080173>
 52. De Loyola Ramos Garcia D, Ruttkay Pereira FO. Method application and analyses of visual and thermal-energy performance prediction in offices buildings with internal shading devices. *Build Environ*. 2021;198:107912. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107912>
 53. De Sousa Freitas J, Cronemberger J, Soares RM, Amorim CND. Modeling and assessing BIPV envelopes using parametric Rhinoceros plugins Grasshopper and Ladybug. *Renew Energy*. 2020;160:1468–79. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.137>
 54. Peres AC, Calili R, Louzada D. Impacts of photovoltaic shading devices on energy generation and cooling demand. In: *2020 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*. 2020. p. 1186–91.

- <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.140.0.11.1.2.5>
70. Ahmadi J, Mahdaveinejad M, Asadi S. Folded double-skin façade (DSF): in-depth evaluation of fold influence on the thermal and flow performance in naturally ventilated channels. *International Journal of Sustainable Energy*. 2021 Jun 16:1-30. <https://doi.org/10.1080/14786451.2021.1941019>
 71. Eslamirad N, Kolbadinejad SM, Mahdaveinejad M, Mehranrad M. Thermal comfort prediction by applying supervised machine learning in green sidewalks of Tehran. *Smart and Sustainable Built Environment*. 2020 Apr 28; 9(4):361-374. <https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2019-0028>
 72. Goharian A, Mahdaveinejad M. A novel approach to multi-apertures and multi-aspects ratio light pipe. *Journal of Daylighting*. 2020 Sep 16;7(2):186-200. <https://doi.org/10.15627/jd.2020.17>
 73. Hadianpour M, Mahdaveinejad M, Bemanian M, Haghshenas M, Kordjamshidi M. Effects of windward and leeward wind directions on outdoor thermal and wind sensation in Tehran. *Building and Environment*. 2019 Mar 1;150:164-180. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.053>
 74. Hadianpour M, Mahdaveinejad M, Bemanian M, Nasrollahi F. Seasonal differences of subjective thermal sensation and neutral temperature in an outdoor shaded space in Tehran, Iran. *Sustainable Cities and Society*, 2018 May 1; 39: 751-64. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.03.003>
 75. Ahmadi J, Mahdaveinejad M, Larsen OK, Zhang C, Zarkesh A, Asadi S. Evaluating the different boundary conditions to simulate airflow and heat transfer in Double-Skin Facade. In *Building Simulation 2022* May;15(5):799-815. Tsinghua University Press. <https://doi.org/10.1007/s12273-021-0824-5>
 76. Saadatjoo P, Mahdaveinejad M, Zhang G. A study on terraced apartments and their natural ventilation performance in hot and humid regions. *Building Simulation*. 2018 Apr Society. 2021 Jul 1;70:102894. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102894>
 63. Fallahtafti R, Mahdaveinejad M. Window geometry impact on a room's wind comfort. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2021 Mar 24;28(9):2381-2410. <https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2020-0075>
 64. Talaei M, Mahdaveinejad M, Azari R, Haghghi HM, Atashdast A. Thermal and energy performance of a user-responsive microalgae bioreactive façade for climate adaptability. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2022 Aug 1;52:101894. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101894>
 65. Mahdaveinejad M, Hosseini SA. Data mining and content analysis of the jury citations of the Pritzker Architecture prize (1977–2017). *Journal of Architecture and Urbanism*. 2019 Feb 1;43(1):71-90. <https://doi.org/10.3846/jau.2019.5209>
 66. Mahdaveinejad M, Javanroodi K. Natural ventilation performance of ancient wind catchers, an experimental and analytical study—case studies: one-sided, two-sided and four-sided wind catchers. *International journal of energy technology and policy*, 2014 Jan 1;10(1):36-60. <https://doi.org/10.1504/IJETP.2014.065036>
 67. Rahbar M, Mahdaveinejad M, Bemanian M, Davaie Markazi AH, Hovestadt L. Generating Synthetic Space Allocation Probability Layouts Based on Trained Conditional-GANs. *Applied Artificial Intelligence*. 2019 Jul 3;33(8):689-705. <https://doi.org/10.1080/08839514.2019.1592919>
 68. Mohtashami N, Mahdaveinejad M, Bemanian M. Contribution of city prosperity to decisions on healthy building design: A case study of Tehran. *Frontiers of Architectural Research*. 2016 Sep 1;5(3):319-31. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.06.001>
 69. Javadinodeh M, Shahcheraghi A, Andalib A. An Evaluation of the Ecological Architecture Influenced by the Interaction Between Structural Environment and Nature in Cold Areas; Case Study: Two Traditional Houses in Ardabil. *Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2020 Dec 10;11(1):15-36. [Persian]

- Sustainable Cities and Society. 2019; 49:101597.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101597>
84. Zafarmandi S, Mahdavinejad M, Norford L, Matzarakis A. Analyzing Thermal Comfort Sensations in Semi-Outdoor Space on a University Campus: On-Site Measurements in Tehran's Hot and Cold Seasons. *Atmosphere*. 2022 Jun 22;13, 1034.
<https://doi.org/10.3390/atmos13071034>
85. Goharian A, Daneshjoo K, Mahdavinejad M, Yeganeh M. Voronoi geometry for building facade to manage direct sunbeams. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*. 2022 Oct 26;31(2):109-24.
<https://doi.org/10.5755/j01.sace.31.2.30800>
86. Rahbar M, Mahdavinejad M, Markazi A.H.D., Bemanian M. Architectural layout design through deep learning and agent-based modeling: A hybrid approach. *Journal of Building Engineering*. 2022 April15; 47, 103822.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103822>
87. Heidari F, Mahdavinejad M, Werner LC, Roohabadi M, Sarmadi H. Biocomputational Architecture Based on Particle Physics. *Front. Energy Res*. 2021 July 08;9:620127.
<https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.620127>
88. Mohamadzade R, Javanroudi K. Redesign of Collective and Private Spaces of Public Apartments to Enhancing Social Health in Iranian-Islamic Structure; Case study: Baharestan 2 complex, Sanandaj. *Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2016 Sep 10;6(2):36-47. [Persian]
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1395.6.2.7.7>
89. Talaei M, Mahdavinejad M, Azari R, Prieto A, Sangin H. Multi-objective optimization of building-integrated microalgae photobioreactors for energy and daylighting performance. *Journal of Building Engineering*. 2021 Jun 5:102832.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102832>
- 1;11(2):359-372. Tsinghua University Press.
<https://doi.org/10.1007/s12273-017-0407-7>
77. Alilou M, Mahdavinejad M. The Effect of CCT on Vitality and Population Absorption in Urban Area: Case Study of the Safavi Bridge Urban Area in Karaj, Iran. *Light & Engineering (Svetotekhnika)*, Moscow. 2022 Sep 1;30(5): 81-91. Available from: <https://le-journal.com/en/journals/light-engineering-30-5/light-engineering-30-5-2022-paper-version/>
78. Talaei M, Mahdavinejad M, Azari R. Thermal and energy performance of algae bioreactive façades: A review. *Journal of Building Engineering*. 2020 Mar 1;28:101011.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101011>
79. Shams G, Moshari M. Health and Post-Corona: Air Filtration through Building Skins as Biological Membranes. *Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2022 Jan 10;11(4):44-59. [Persian]
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1400.11.4.3.2>
80. Shaeri J, Mahdavinejad M. Prediction Indoor Thermal Comfort in Traditional Houses of Shiraz with PMV/PPD model. *International Journal of Ambient Energy*. 2022 Jun 21.
<https://doi.org/10.1080/01430750.2022.2092774>
81. Shaeri J, Mahdavinejad M, Pourghasemian MH. A new design to create natural ventilation in buildings: Wind chimney. *Journal of Building Engineering*. 2022 Aug 22:105041.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105041>
82. Taban M, Pourjafar M, Bemanian M, Heidari S. Climate Impact on Architectural Ornament Analyzing the Shadow of Khavoons in Dezful Historical Context with the Use of Image Processing. *Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2012 Oct 10;2(2):79-90. [Persian]
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1391.2.2.1.3>
83. Javanroodi K, Nik VM, Mahdavinejad M. A novel design-based optimization framework for enhancing the energy efficiency of high-rise office buildings in urban areas.