مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و شش، شماره پنج، مردادماه ۱۴۰۳ (۱۲۷-۱۱۷)

ارائه مدل سایبان متحرک جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی با الهام از الگوریتم حرکتی گل آفتابگردان

زهرا یارمحمودی [۱*]

z.yarmahmoodi@iaushiraz.ac.ir

حامد مضطرزاده [۲]

تاریخ دریافت: ۹۹/۹/۱ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۱۹**

چکیده

زمینه و هدف: وجود ساختارهای هوشمند در جهت استفاده‌ی غیرفعال از سیستم‌های تعدیل‌کننده‌ی انرژی مصرفی ساختمان‌ها در عصر امروز در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی، یکی از دغدغه‌های استفاده‌کنندگان از بناهای حاضر است. الگوگیری از سیستم‌های حرکتی موجود در طبیعت، یکی از روش‌های کاهش مصرف انرژی در سیستم‌های غیرفعال می‌باشد که با کمترین میزان مصرف انرژی، بیشترین بازده را در برخواهد داشت. هدف از پژوهش حاضر، ارائه مدل سایبان متحرک، سازگار با اقلیم گرم و خشک در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی است. مکانیزم حرکتی گل آفتابگردان به‌عنوان منبع الهام این پژوهش مورد تحلیل قرار گرفته و باتوجه به خصوصیات حرکتی گل آفتابگردان، آلیاژ حافظه‌دار به عنوان مصالح اصلی سایبان انتخاب شده است.

روش و بررسی: روش تحقیق مدلسازی - شبیه‌سازی است که به ارائه مدل الگوی حرکتی مناسب با نرم‌افزار راینو۶ و افزونه‌ی گرس‌هاپر و تحلیل انرژی توسط افزونه‌ی لیدی‌باگ از ساعت ۷تا۱۹، ۱۵مردادماه در اقلیم شیراز پرداخته است.

یافته‌ها: یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که، به دلیل بهره‌گیری از مصالح هوشمند و عدم استفاده از سیستم داینامیک در روند حرکتی گل آفتابگردان، می‌توان علاوه‌بر کاهش مصرف انرژی، میزان دریافتی تابش را در ساعات پرتابش، کاهش و در ساعات تابشی کمتر، افزایش داد.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج حاصل حاکی از آن است که پوسته متحرک الهام گرفته شده از مکانیزم حرکتی گل آفتابگردان، می‌تواند در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی و کنترل ورود نور خورشید به عنوان سایبان یا پوسته‌ی نمای ساختمان در اقلیم‌های گرم و خشک یا گرم و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: سایبان متحرک، بهینه‌سازی مصرف انرژی، گل آفتابگردان، آلیاژ حافظه‌دار.

۱- پژوهشگر دکتری، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۲- استادیار، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 26, No. 5, August, 2024

Modeling Movable Shading Device in Shiraz Climate for Energy Consumption (Inspired by The Sunflower Movement Algorithm)

Zahra Yarmahmoodi[1*]
z.yarmahmoodi@iaushiraz.ac.ir
Hamed Moztarzadeh [2]

Admission Date:July 10, 2021 Date Received: November 21, 2020

Abstract

Background and Objectives: The existence of intelligent structures for the passive use of energy-regulating systems for energy consumption of buildings in today's era to optimize energy consumption, is one of the main concerns of users of existing buildings. Patterning of kinetic systems in nature is one of the best ways to reduce energy consumption in passive systems that will have the highest efficiency with the least amount of energy consumption. The aim of this research is modeling movable shading device that is compatible with Shiraz climate to optimize energy consumption. Sunflower has been selected as an inspiration source for this research and the plants movement mechanism has been analyzed.

Material& Methodlogy: The method of the study is simulation-modeling and kinetic facade performed parametrically in the Grasshopper and analysis of the objectives using the Ladybug plugins. The south facades shading device of a building in the Shiraz climate has been analyzed.

Findings: Due to the use of intelligent materials, the lack of dynamic system in shading device movement, in addition to reduce energy consumption, the amount of radiation receiving during launch hours can be reduced and increased during radiation hours. In research, in addition to analyzing the structure of the shading device during radiation hours, the amount of sunlight entering the window sill was also examined to determine the optimal opening of the shading device during launch hours.

Discussion and Conclusion: Modeled shading device can be used as a kinetic external sun shading device that can optimize energy consumption compatible with Shiraz climate.

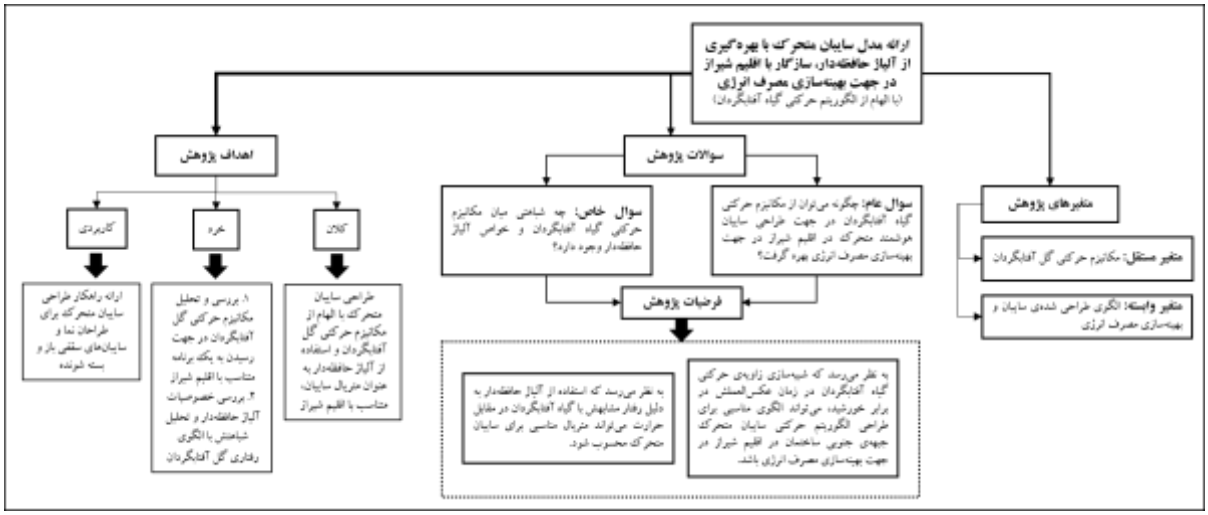
Keywords: Kinetic Shading Device, Energy Consumption, Sunflower, Algorithm, Memory Alloy.

1- Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran. ***(***Corresponding Author***)***
2- Assistant Professor, Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

مقدمه

امروزه حل بحران انرژی یکی از اساسی‌ترین مسائل است (۱)، علاوه‌برآن، صنعت ساختمان یکی از صنایع فعال در بخش اتلاف انرژی محسوب می‌شود (۲). نمای ساختمان باعث ایجاد ارتباط بین فضای بیرون و درون ساختمان و ورود بیش از حد نور خورشید از جداره‌های شفاف در فصول گرم سال، باعث افزایش انرژی گرمایی در ساختمان می‌شود (۳). بهره‌گیری از پوسته هوشمند متحرک به‌عنوان سایبان بر روی جداره‌ی بنا، می‌تواند تا حد زیادی باعث کاهش مصرف انرژی و بهینه‌سازی آن شود (۴و۵). به همین دلیل در پژوهش حاضر، ارائه‌ی مدل پوسته‌ی هوشمند متحرک در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی، به عنوان هدف اصلی مطرح شده است.

به‌طور کلی اکثر سازه‌های باز و بسته شونده و متحرک از مکانیزم حرکتی موجود در طبیعت (گیاهان، جانوران و انسان‌ها) بهره گرفتند. زیرا در طبیعت همه چیز همواره در حال تغییر، تحول و حرکت است (۶). رفتار گیاهان نسبت به سایر موجودات در طبیعت، مشابهت بیشتری برای الگوبرداری در نمای ساختمان دارد، زیرا گیاهان همانند ساختمان‌ها در جای خود ثابت هستند و متناسب با عوامل پدید آمده در محیط پیرامونشان، عکس‌العمل نشان می‌دهند. به همین دلیل در پژوهش حاضر، گل آفتابگردان به عنوان منبع الهام و آلیاژ حافظه‌دار که عکس‌العمل مناسبی متناسب با نیاز پوسته دارد، به‌عنوان متریال مورد استفاده در پوسته بررسی شده است. در ادامه (شکل۱) قرار دارد که نشان‌دهنده ساختار پژوهش حاضر است.



شکل۱- روند دستیابی به مدل پوسته هوشمند الهام گرفته شده از الگوریتم حرکتی گل آفتابگردان (منبع: نگارندگان)

Figure1. The process of achieving a smart shell model inspired by the sunflower algorithm.

روش پژوهش

نوع تحقیق کاربردی و دارای ماهیت کمی و روش پژوهش مدلسازی-شبیه‌سازی است. روش جمع‌آوری اطلاعات به صورت کتابخانه‌ای و اسنادی می‌باشد. در گام اول، مکانیزم حرکتی گل آفتابگردان مورد تحلیل قرار گرفته و توسط نرم‌افزار راینو۶ و افزونه گرس‌هاپر مدلسازی و شبیه‌سازی شده است. گام دوم، میزان دریافتی نور خوشید با استفاده از نرم افزار Climate Consultant و معرفی داده‌های اقلیمی شهر شیراز از ساعت ۷ تا ۱۹ در ۱۵مردادماه بررسی شده و در گام سوم، توسط افزونه‌ی لیدی‌باگ، تحلیل‌های انرژی سایبان بر روی جبهه‌ی جنوبی یک ساختمان بررسی شده است.

۳. پیشینه پژوهش

امروزه بهینه‌سازی مصرف انرژی یکی از اساسی‌ترین دغدغه‌های طراحان محسوب می‌شود که توسط معماری انعطاف‌پذیر و هوشمند می‌تواند تحقق یابد (۷و۸و۹). به همین دلیل پژوهش‌های زیادی در این زمینه صورت گرفته و در این قسمت بخشی از مدارکی که در زمینه‌ی سایبان‌های خارجی نمای ساختمان‌ها انجام گرفته به طور مختصر مطرح شده است. گنجی‌خیبری و همکاران از طراحی الگوریتمیک در جهت افزایش بهره‌مندی از نور روز در ساختمان استفاده کردند (۱۰). مهدوی‌نژاد و شهری در تحقیق تحت عنوان "معاصرسازی الگوی مسکن بومی تهران با کاربرد روش‌های مقداری" به ارائه الگوهای مسکن توسط روش‌های الگوریتمی پرداختند (۱۱). جعفری و همکاران نمای دو پوسته در اقلیم شیراز در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی را در قالب پژوهشی مورد بررسی قرار دادند (۱۲). رسولی و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان "عملکرد سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی و قائم متحرک در نمای دوپوسته ساختمان‌های اداری؛ ارزیابی و شبیه‌سازی پارامتریک" با استفاده از روش تحقیق شبیه‌سازی و مدل‌سازی به تحلیل حرارتی هر دو گونه سایبان پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش نشان‌دهنده‌ی آن است که سایبان افقی برای جبهه‌ی جنوبی عملکرد بهتری در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی نسبت به سایبان قائم دارد (۱۳). نصر و همکاران در پژوهشی با عنوان "تاثیر هندسه پوسته متحرک بر بهینه‌سازی مصرف انرژی با الهام از الگوریتم حرکتی گیاه قهر و آشتی" به این نتیجه دست یافتند که الگوریتم حرکتی فیتوکرم گیاه قهر و آشتی می‌تواند به عنوان منبع الهام باز و بسته شدن پوسته متحرک سازگار با اقلیم شیراز باشد (۱۴). همانطور که اشاره شد، تاکنون مدلی از پوسته‌ی متحرک با الهام از گل آفتابگردان و بهره‌گیری از آلیاژ حافظه‌دار به عنوان سایبان نمای ساختمان سازگار با اقلیم شیراز در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی انجام نگرفته است. بنابراین پژوهش حاضر از نظر موضوع و متغیرهای تحقیق کاملا نوآورانه است.

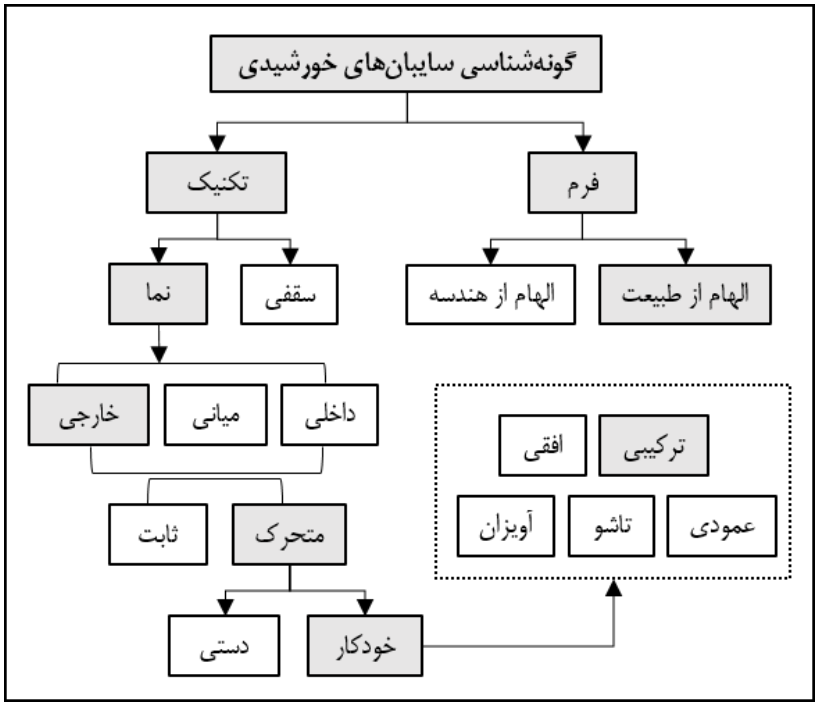
۴. ادبیات پژوهش

۴-۱. اقلیم شیراز

طراحی اقلیمی مناسب‌ترین روش برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان است. کشور ایران در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی قرار دارد و بالاتر از سطح متوسط جهانی میزان دریافت تابش خورشید را داراست (۱۵). به همین دلیل بهره‌گیری از تابش خورشید، مبنای بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌باشد (۱۶). نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه‌ی اقلیم شیراز نشان می‌دهد که دارای آب و هوای گرم و نیمه‌خشک است. به همین دلیل انرژی خورشیدی مطلوبی را دریافت می‌کند و همچنین نیاز به کنترل نور خورشید برای فصول گرم سال را مشخص می‌کند. شهر شیراز مرکز استان فارس است که در ۲۹ درجه عرض شمالی قرار گرفته است. متوسط درجه‌ی حرارت سالانه ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد و حداکثر درجه‌ی حرارت به ۴۳/۲ درجه سانتی‌گراد در فصول گرم و حداقل درجه‌ی حرارت به ۱۴- درجه‌ی سانتی‌گراد در فصول سرد سال کاهش می‌یابد. براین‌اساس کنترل تابش آفتاب برای فصل تابستان توسط سایبان فقط در جبهه‌ی جنوبی کافی است (۱۷).

۴-۲. سایبان خورشیدی

سایبان‌ها مانند پوسته‌ای هستند که بر روی سطوح شفاف نما قرار می‌گیرند و با بهره‌گیری از تفاوت فصلی زاویه‌ی حرکت خورشید، قابلیت سایه‌اندازی در فصول گرم و عبور نور خورشید به فضای داخلی در فصول سرد سال را دارد (۱۸). سایبان‌ها به چند دسته تقسیم می‌شوند که نوع سایبان پژوهش حاضر با رنگ خاکستری در (شکل۲)، مشخص شده است.

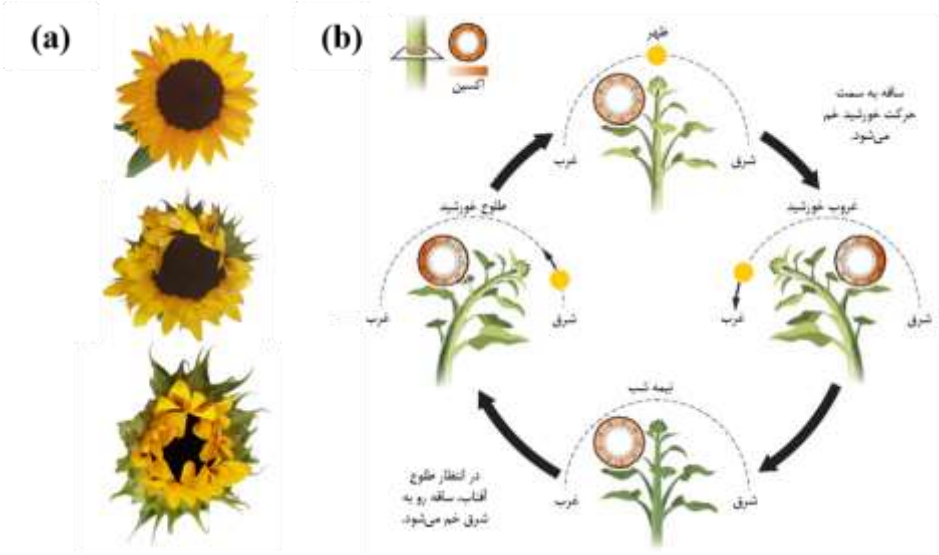


شکل۲- گونه‌شناسی سایبان‌های خورشیدی از نظر تکنیک و فرم (منبع: نگارندگان)

Figure 2. Typology of variable materials

۴-۳. گل آفتابگردان

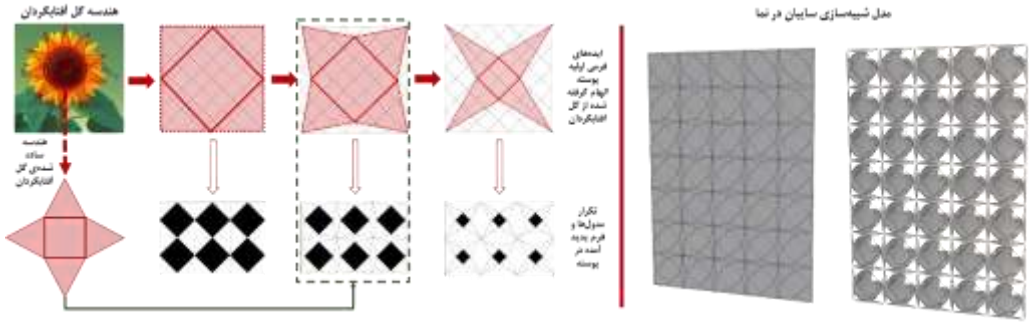
گل آفتابگردان دو نوع مکانیزم حرکتی دارد که اولی شامل باز و بسته شدن گلبرگ‌های گل است که با توجه به (شکل۳) در هنگام صبح باز شده و با رفتن خورشید از آسمان، بسته می‌شود و این رفتار پیوسته ادامه دارد. این نوع الگوی حرکتی فیتوکروم (Phytochrome) نام دارد که درواقع ریتم شبانه‌روزی گل است. مکانیزم حرکت دوم گل، چرخش آن (طلوع خورشید) از سمت شرق به غرب (غروب خورشید) است که الگوی حرکتی پولوینوس (Polynesian) نام دارد.



شکل۳- سمت راست، الگوی حرکتی پولوینوس (۱۹)، سمت چپ، الگوی حرکتی فیتوکروم (منبع: نگارندگان)

Figure 3. (a) Phytochrome movement (b) Polynesian movement (19)

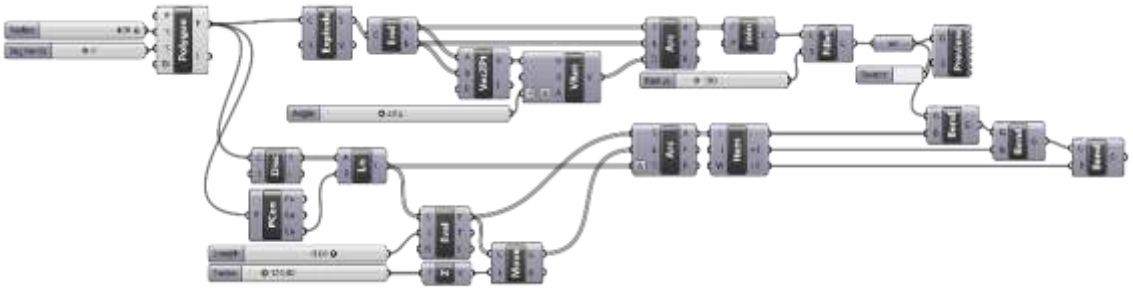
در این پژوهش از الگوریتم حرکتی فیتوکروم گل آفتابگردان به عنوان منبع الهام مکانیزم حرکتی سایبان متحرک بهره گرفته شده است که در پژوهش‌های آتی می‌توان از الگوریتم حرکتی پولوینوس این گل نیز بهره گرفت. فرم کلی پوسته نیز از هندسه فرمی خود گل آفتابگردان الهام گرفته شده است که در (شکل۴) نشان داده شده است.



شکل۴- مدل فرمی پوسته الهام گرفته شده از فرم و مکانیزم باز و بسته شدن گل آفتابگردان (منبع: نگارندگان)

Figure 4. model of shell inspired by the form and Phytochrome movement pattern of sunflower

از ویژگی‌های الگوریتم پوسته هوشمند با آلیاژ حافظه‌دار، تغییرات آنی فرم نسبت به تابش دریافتی مدل است که هرچقدر میزان تابش دریافتی بیشتر باشد، خم‌شدگی مدول‌ها افزایش می‌یابد. (شکل۵) نشان‌دهنده‌ی پویایی فرم در الگوریتم حرکتی پوسته است.

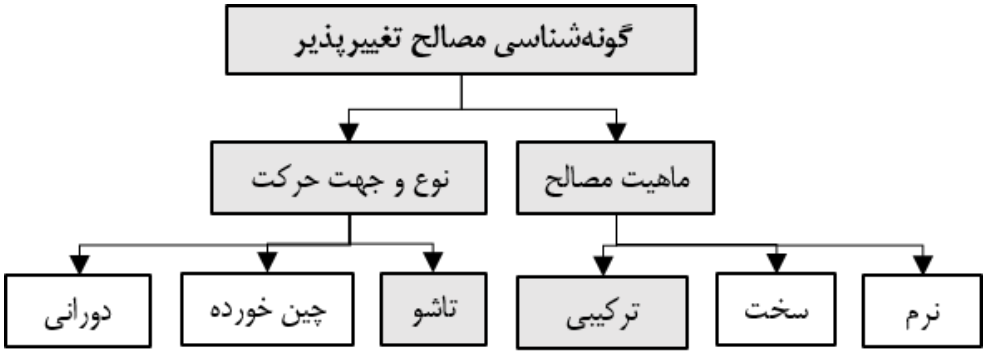


شکل۵- الگوریتم پوسته هوشمند متحرک سازگار با اقلیم شیراز، الهام گرفته شده از مکانیزم حرکتی گل آفتابگردان (منبع: نگارندگان)

Figure 5. Shell’s simulation kinetic algorithm, inspired by sunflower movement mechanism.

۴-۴. آلیاژ حافظه‌دار

تغییر فصول در سال باعث شده که در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی و معماری همساز با اقلیم منطقه، معماری تغییرپذیر مورد توجه طراحان قرار گیرد که خود شامل مصالح، فرم، سازه و عملکرد انعطاف‌پذیر است (۲۰). مصالح انعطاف‌پذیر دارای ساختارهای تغییرپذیر است که به طور کلی از مصالح سخت، نرم یا ترکیبی استفاده می‌شود. امروزه توسعه‌ی مصالح در حوزه‌ی معماری امکان استفاده از مصالح انعطاف‌پذیر و خم‌شو را فراهم کرده است. این‌گونه مصالح خم‌شو فوایدی در صنعت ساختمان دارند، از جمله: سادگی، سبکی، نیاز به اجزای الحاقی کمتر و قابلیت بازگشت‌پذیری به فرم اولیه (۲۱). در (شکل۶)، گونه‌شناسی مصالح و نوع آلیاژ حافظه‌دار با رنگ خاکستری نشان داده شده است.



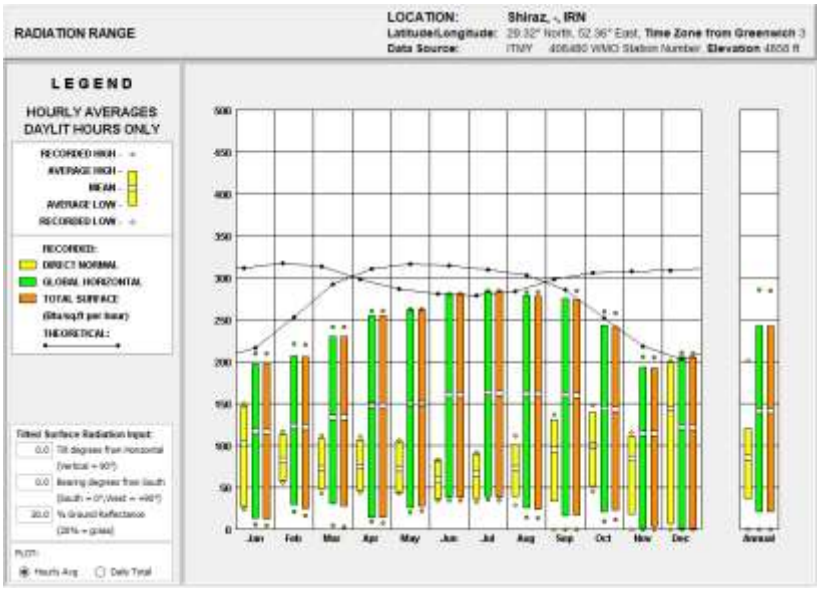
شکل۶- گونه‌شناسی مصالح تغییرپذیر (منبع: نگارندگان برگرفته از (۲۱))

Figure 6. Typology of variable materials

آلیاژ حافظه‌دار نام دسته‌ای از مواد محرک است که دارای خواص متمایزی نسبت به سایر آلیاژها است. یک آلیاژ معمولی اگر در اثر بار خارجی بیش از حد الاستیک قرار گیرد، تغییرشکل می‌دهد، اما آلیاژ حافظه‌دار در دمای پایین تغییر شکل پلاستیک چند درصدی را تحمل می‌کند و در دماهای بالا به حالت اولیه‌ی خود بازمی‌گردد و در برگشت به حالت اولیه می‌تواند، نیروی زیادی تولید کند. زمانی که این مواد در برابر حرارت قرار می‌گیرند، به شکل یا اندازه مشخصی بازمی‌گردند. مهمترین آلیاژ دارای این خاصیت نیکل تیتانیوم است که اصطلاحا نایتینول نام دارد و دارای دمای حلقه‌ی بین ۲۵ تا ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است (۲۲).

۵. یافته‌های پژوهش

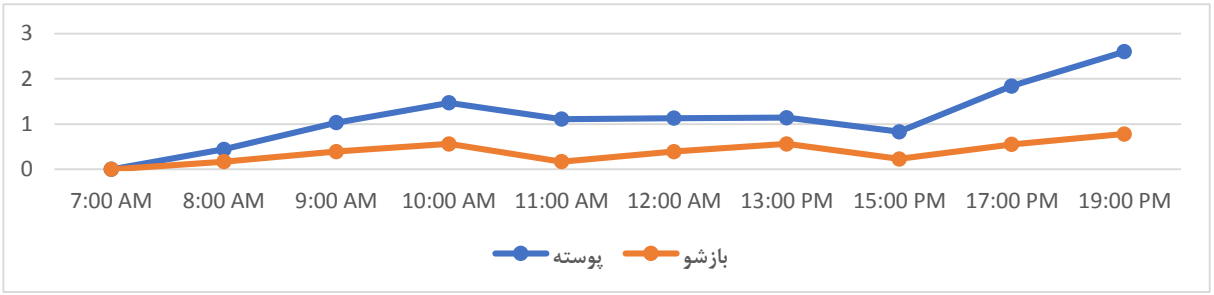
برای انجام این پژوهش ابتدا یک نمای ساختمانی به‌صورت مجزا از سایر اجزای ساختمانی را ۱۱ در ۱۵ متر با یک گشودگی ۱۰ در ۱۴ متر طراحی و مدل‌سازی شده و سپس به ایجاد الگوی سایبان متحرک پرداخته شده است. با توجه به اینکه ساختار سایبان متشکل از ۳۵ عدد مدول تکرار شونده و۱۴۰قطعه متحرک از نوع خمشی و با متریال آلیاژ هوشمند، تعریف شده که ۳۵ قطعه مرکزی به‌صورت ثابت و بدون تغییر طراحی گشته است. باتوجه به موقعیت گرم و نیمه‌خشک شهر شیراز به لحاظ اقلیمی و با توجه به اینکه کم کردن میزان دریافتی انرژی خورشیدی در ماه‌های گرم سال یکی از مهم‌ترین مسائل بهینه‌سازی انرژی است، ابتدا باید میزان دریافتی نور خوشید را بررسی کرد. با استفاده از نرم افزار Climate Consultant و معرفی داده‌های اقلیمی شهر شیراز میزان رنج دریافتی تابش خورشید مورد واکاوی قرار گرفت، باتوجه به (شکل ۷)، میزان تابش خورشید در ماه‌های فصل تابستان به بیشترین حالت خود نسبت به سایر ماه‌های سال می‌رسد، ماه مرداد برای تحلیل و بررسی در این پژوهش انتخاب شده است.



شکل۷- تحلیل اقلیم شیراز، بررسی میزان تابش در شهر شیراز با توجه به داده‌های هواشناسی (منبع: نگارندگان)

Figure 7. Climate analysis of Shiraz, the study of radiation in Shiraz according to meteorological data

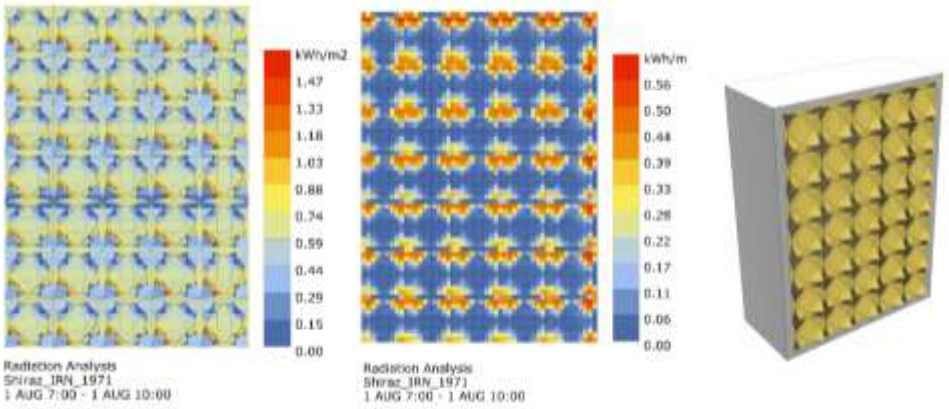
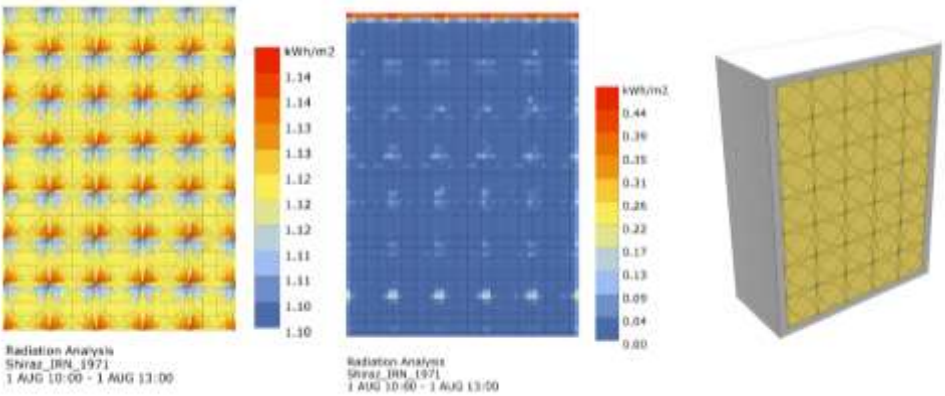
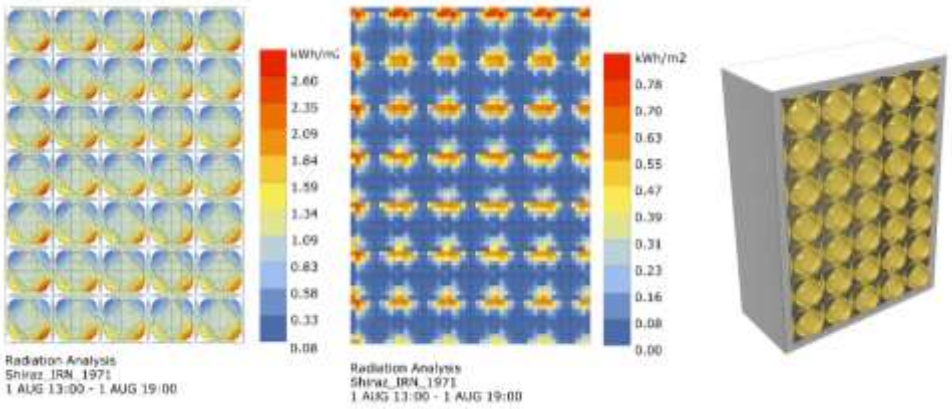
با توجه به (نمودار۱)، هر چهار ساعت میزان دریافت تـابش در سایبان و درگاه ورودی پنجره مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.



نمودار۱- تحلیل اقلیمی درگاه پنجره و پوسته هوشمند از ساعت ۷تا۱۹ (منبع :نگارندگان)

Diagram. 1 Climate analysis diagram of facade and smart shell from 7 to 19 o'clock

براساس (نمودار۱) تحلیل پوسته بین ساعت ۷ تا ۱۹ نشان داده شده است. در ادامه (شکل ۸) مدل حرکتی پوسته متناسب با میزان تابش نور خورشید را نشان می‌دهد.

ساعت (مردادماه)	مدل حرکتی پوسته متناسب با میزان تابش نور خورشید
۷-۱۰	
۱۰-۱۳	
۱۳-۱۹	

شکل۸- مدل حرکتی پوسته متناسب با میزان تابش نور خورشید (منبع: نگارندگان)

Figure. 8 A kinetic shading device model that adjusts to the amount of solar radiation

نتیجه‌گیری

در پـژوهش حاضـر سـایبان بـا الهـام از الگـوی حرکتـی گـل آفتابگردان، طراحی و در نرم‌افزار راینو۶ و افرونـه‌ی گـرس‌هـاپر مدلسازی پارامتریک و الگوریتمیک حاصل شده اسـت. پـس از آن شبیه‌سازی انرژی توسط افرونه‌ی لیـدی بـاگ انجـام شـده است. رویکرد این پژوهش خلاقانه بوده و داده‌ها توسط طراح به سیسـتم محاسـبه اقلیمـی ارائـه شـده اسـت. در رویـه‌هـای

الگوریتمیک، پارامترهای موثر حرکتی تعریف گردیده تا بنا به تغییرات تابشی، مدل طراحی شده نیز، دچار تغییرات ساختاری گردد. در این تحقیق میزان کمینه و بیشینه انرژی دریافتی به سطوح سایبان الهام گرفته شده از گل آفتابگردان استخراج شده است. علاوه‌برآن، با استفاده از مواد هوشمند و آلیاژ حافظه‌دار تغییر شکل هر یک از مدول‌های کنترلی تعریف شده است. ساختار حاصل شده با استفاده از آلیاژ هوشمند، دیگر نیاز به مولفه‌های کنترل خارجی مانند: موتورهای حرکتی نبوده و خود باعث کمتر کردن میزان مصرف انرژی در دراز مدت می‌شود. نتایج حاصل حاکی از آن است که می‌توان با تغییرات فرمی در هر یک از مدول‌های مثلثی سایبان، به‌صورت هوشمند به کمترین اتلاف انرژی و دریافت تابش خورشید در گرم‌ترین ماه سال دست یافت.

References

1. Nasr T, Yarmahmoodi Z. Comparison of the Fixed External Sun Shading Devices Performance in order to Daylight Control (Case Study: Southern Facade in Yazd Climate). J. Env. Sci. Tech. 2023;24(5).
2. Yarmahmoodi Z, Nasr T, Moztarzadeh H. Modeling a Kinetic Smart Shell to Optimize Daylight in a Hot and Semi-Arid Climate (Inspired by the Movement Algorithm of Carnivorous Plant). Life Space Journal. 2023;1(3).
3. Heidari A, Taghipour M, Yarmahmoodi Z. The effect of fixed external shading devices on daylighting and thermal comfort in residential building. Journal of Daylighting. 2021;8(2):165-80.
4. Yarmahmoodi Z, Nasr T. Designing Convertible Structure for building façade to control daylight (Case study: Snaspdragon). Journal of Sustainable Architecture & Environment (JSAE). 2023;1(1).
5. Hosseini SM, Mohammadi M, Rosemann A, Schröder T, Lichtenberg J. A morphological approach for kinetic façade design process to improve visual and thermal comfort. Build Environ. 2019;153:186–204.
6. Hammer A. Climate Adaptive Building Shells for Plus-Energy-Buildings, Designed on Bionic Principles. Int J Archit Environ Eng. 2016;10(2):202–13.
7. Al Dakheel J, Tabet Aoul K. Building Applications, opportunities and challenges of active shading systems: A state-of-the-art review. Energies. 2017;10(10):1672.
8. Rahbar M, Mahdavinejad M, Bemanian M, Davaie Markazi AH, Hovestadt L. Generating Synthetic Space Allocation Probability Layouts Based on Trained Conditional-GANs. Appl Artif Intell. 2019;33(8):689–705.
9. Santos RA, Flores-Colen I, Simões NV, Silvestre JD. Auto-responsive technologies for thermal renovation of opaque facades. Energy Build. 2020;109968.
10. Ghaffari A. Evaluation of Visual Comfort Variables Affecting Educational Spaces (Case Study: Polytechnic University of Shahrood). Naqshejahan-Basic Stud New Technol Archit Plan. 2020;10(3).
11. Mahdavinejad M, Shahri S. Contemporization of Tehran Traditional Architecture by Parametric Algorithm. Hoviatshahr. 2015;8(20):35–48.
12. Jafari L, Khyrossadat A, Mirhosseini SM. Performance Assessment of Double Skin Façade in Optimizing Building Energy Consumption (Case Study in Shiraz). Int J Appl Arts Stud. 2017;2(3).

13. 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.
14. Nasr T, Yarmahmoodi Z. The Effect of Kinetic Shell's Geometry on Energy Efficiency Optimization Inspired by Kinetic Algorithm of Mimosa Pudica. Naqshejahan-Basic Stud New Technol Archit Plan. 2020;10(3).
15. Karimpour A, Diba D, Etessam I. Economic Analysis and Assessing Energy Performance of Simulation-Powered Optimal Window Type and Window to Wall Ratio for Residential Buildings in Tehran. Hoviatshahr. 2017;11(2):17–30.
16. Elzeyadi I. The impacts of dynamic façade shading typologies on building energy performance and occupant's multi-comfort. Archit Sci Rev. 2017;60(4):316–24.
17. Moghani Rahimi B, Porbar Z. Climate and architecture of Shiraz. Sci Res Q Geogr Data. 2013;22(87):64–7.
18. Al-Masrani SM, Al-Obaidi KM. Dynamic shading systems: A review of design parameters, platforms and evaluation strategies. Autom Constr. 2019;102:195–216.
19. Briggs WR. How do sunflowers follow the Sun—and to what end? Science (80). 2016;353(6299):541–2.
20. 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.
21. Matini mr. Pliable Convertible Structures in Architecture Inspired by Natural Role Models. 2015.
22. Rezvani Tavakol M. Behavior and mechanical properties of shape memory alloys in smart materials and its application in various industries. J Mech Eng Vib. 2014;5(3):35–40.