

انطباق الگوریتم حرکتی سایبان هوشمند نمای ساختمان با الگوی رفتاری گیاه اگزالیس در راستای کنترل نور روز (نمونه موردی: شهر شیراز)

۱۴۰۲/۱۰/۱۲

تاریخ دریافت مقاله :

۱۴۰۲/۱۲/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله :

زهرا یارمحمودی*^۱ (نویسنده مسئول)طاهره نصر^۲حامد مضطرزاده^۳

چکیده

بیان مساله: با گسترش تکنولوژی، مصرف انرژی به خصوص در بخش ساختمان افزایش یافته است. امروزه طراحی سایبان هوشمند نما یکی از راه حل های ارائه شده در این زمینه محسوب می شود. با این وجود، طراحی بهترین سیستم های مدیریتی مبتنی بر قوانین که به طور هم زمان قرار گرفتن در معرض نور خورشید، گرمای بیش از حد و مصرف انرژی را بتواند به حداقل برساند، همواره موضوعی چالش برانگیز برای طراحان به شمار می آید. **اهمیت و ضرورت پژوهش:** جهت طراحی سایبان هوشمند، نیاز است که در ابتدا یک الگوی حرکتی مناسب و پاسخگو به عملکرد انتخابی طراحی شود. با توجه به اینکه طبیعت همواره منبع الهام انسان بوده و در طول زمان به صورت پایدار به فعالیت خود ادامه داده است، از این رو، گیاهان به عنوان منبع الهام جهت طراحی سایبان هوشمند در پژوهش حاضر انتخاب شدند. گیاهان، مانند ساختمان با ریشه در جای خود ثابت هستند، اما نسبت به تغییرات محیط پیرامون خود واکنش نشان می دهند. بنابراین دارای عملکرد رفتاری مشابه نمای ساختمان می باشند. زیرا نمای ساختمان مانند پوست گیاهان باید از محیط داخلی در برابر تغییرات محیط پیرامون محافظت کند. همین امر اهمیت بررسی منبع الهام گیاهی جهت رسیدن به الگوی فرمی و حرکتی مطلوب را نشان می دهد. علاوه بر آن، شهر شیراز با اقلیم گرم و نیمه خشک به عنوان نمونه انتخاب شده، زیرا دارای تابستان های گرم با تابش شدید خورشید در جبهه جنوبی ساختمان است که ضرورت استفاده از سایبان نما را به همراه دارد. **هدف تحقیق:** هدف از انجام پژوهش حاضر، طراحی سایبان هوشمند نمای ساختمان با الهام از الگوی رفتاری گیاه اگزالیس در جهت کنترل ورود نور خورشید به فضای داخلی ساختمان و حفظ شدت روشنایی در اقلیم گرم و نیمه خشک شیراز است. **روش تحقیق:** روش پژوهش حاضر به دو بخش تقسیم شده که بخش نظری با ماهیت کیفی، توصیفی-تحلیلی و بخش کمی، مدل سازی- شبیه سازی و از نرم افزار راینو ۶ و پلاگین گرس هاپر جهت مدل سازی سایبان و از افزونه لیدی باگ و هانی بی جهت تحلیل انرژی تابشی، میزان ورود نور روز و شدت روشنایی استفاده شده است. **نتیجه گیری:** نتایج حاصله حاکی از آن است که حرکت سایبان هوشمند در اقلیم شیراز متناسب با مسیر حرکت خورشید می تواند در حالت سایبان با پنل های بسته باعث کاهش ۳۰٪ انرژی تابشی جذب شده توسط سطح شفاف نما، میزان ورود نور روز به فضای داخلی و شدت روشنایی شود و این در حالی است که میزان کاهش برای سایبان با پنل های نیمه باز و باز به ترتیب شامل: ۵۰٪ و ۸۰٪ می باشد. همچنین شدت روشنایی در تمام حالت های سایبان در محدوده استاندارد قرار دارد. این نشان دهنده عملکرد مطلوب سایبان هوشمند نمای ساختمان متناسب با اقلیم شیراز است. در نهایت پیشنهاداتی جهت طراحی کاربردی تر سایبان نما ارائه شده که شامل: طراحی سایبان به صورت مدولار، گسترش پذیر، سازگار با محیط پیرامون و طراحی به روش دیجیتال جهت تولید دقیق تر محصول است.

کلمات کلیدی: سایبان هوشمند، انرژی تابشی، نور روز، شدت روشنایی، گیاه اگزالیس، شیراز.

۱. دانشجوی دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد شیراز. (پست الکترونیک: arc.mostofi@gmail.com)

۲. دانشیار، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد شیراز.

۳. استادیار، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد شیراز.

این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان «انطباق الگوریتم حرکتی گیاهان در راستای هوشمند سازی اقلیمی نمای ساختمان» به راهنمایی نگارنده دوم و مشاوره نگارنده سوم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز است.

۱- مقدمه

باتوجه به اینکه امروزه، بیشتر نمای ساختمان‌ها به صورت شفاف طراحی می‌شود، بنابراین ساختمان با مشکل ورود بیش از حد نور روز به فضای داخلی و افزایش دما، خیرگی، روشنایی و کاهش آسایش حرارتی روبه‌رو می‌شود [1] و [2]. به ویژه در مناطقی با اقلیم گرم و خشک ایران که باعث افزایش گرمای فضای داخل و افزایش قابل توجه بار سرمایش ساختمان می‌شود [3] و [4]. نور روز یک فاکتور اساسی جهت توسعه‌ی سازه‌های انرژی کارآمد است [5] و [6] و مزایای قابل توجهی از نظر مصرف انرژی ارائه می‌دهد [7] و [8]، به عنوان مثال، راحتی بصری سرنشینان را بهبود می‌بخشد و بهره‌وری را افزایش می‌دهد [9] و [10]. با توجه به اینکه در طبیعت همواره همه چیز در حال تغییر، تحول و حرکت هست و بیشتر مکانیسم‌های باز و بسته شونده و حرکتی در طبیعت (گیاهان، حیوانات، انسان‌ها) وجود دارد [11]، به همین دلیل در پژوهش حاضر مدل‌سازی سایبان هوشمند جهت کاهش ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان در اقلیم گرم و نیمه خشک (شیراز) به عنوان هدف کلان انتخاب شده است. علاوه بر آن، با در نظر گرفتن رفتار مشابه گیاهان با ساختمان که توسط ریشه در جای خود ثابت هستند و نسبت به تغییرات محیط پیرامون خود انعطاف‌پذیر می‌باشند، بنابراین، الگوی حرکتی گیاه اگزالیس به عنوان منبع الهام الگوریتم حرکتی سایبان هوشمند نمای ساختمان در اقلیم شیراز مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه تصویر ۱، نشان دهنده‌ی ساختار پژوهش حاضر است.



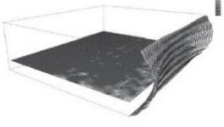

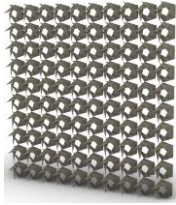



تصویر ۱: ساختار پژوهش

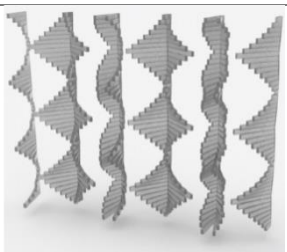

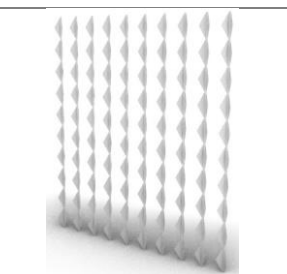

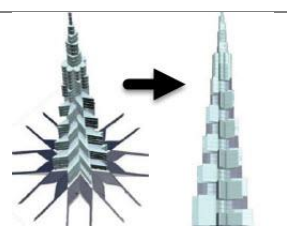

پیشینه‌ی پژوهش

تاکنون گیاهان خاص زیادی با رفتار حرکتی باز و بسته شونده به عنوان منبع الهام آثار معماری از نظر فرم، هندسه و عملکرد مورد مطالعه قرار گرفته‌اند؛ به عنوان مثال ذکری و همکاران در سال ۱۳۹۹ در پژوهشی از الگوی برگ گیاه فیلوتاکسی^۱ جهت طراحی ساختمان اداری بلندمرتبه در راستای افزایش بهره‌مندی فضاهای داخلی از نور طبیعی، الهام گرفتند. یارمحمودی و همکاران در سال ۱۴۰۲ به بررسی الگوی حرکتی پنج مرحله‌ای گل زنبق^۲ پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که سایبان الهام گرفته شده از مکانیزم حرکتی گل می‌تواند ۱۰ درصد از میزان حرارت جذب شده توسط سطح باز شو

کاسته و در نتیجه گرمای فضای داخل در فصول گرم سال کاهش یافته؛ علاوه بر آن روشنایی طبیعی نور روز برای فضاهای داخلی تامین کند. همچنین در پژوهشی دیگر الگوی رفتاری گیاه گوشت خوار را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه دست یافتند که گیاه در دو مرحله بسته شده و الهام گرفتن از مکانیزم حرکتی گیاه در راستای طراحی سایبان هوشمند نما می تواند باعث کاهش ۳۰ درصدی ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان شود. نصر و همکاران در سال ۱۳۹۹، الگوی حرکتی گیاه قهر و آشتی را مورد بررسی قرار داده و با حرکت متوالی برگ های گیاه به این نتیجه دست یافتند که سایبان با الگوی حرکتی مشابه دارای عملکرد مطلوب در اقلیم گرم و نیمه خشک شیراز است. در سال ۱۳۹۵، پژوهشگران رفتار باز و بسته شونده ی گل لیلیوم را در راستای رسیدن به سایبان هوشمند نما مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصله حاکی از آن است که گلبرگ های این گل در دمای پایین بسته بوده و با بالا رفتن دما باز می شود، بنابراین با تقلید فرم و رفتار گل و استفاده از متریا ل هوشمند مدلسازی سایبان نما صورت گرفته که باعث حفظ آسایش حرارتی فضای داخلی ساختمان شده است. حیدری در سال ۱۳۹۴ در پژوهشی به بررسی نماهای مطرح هوشمند با ایده های خلاقانه پرداخت. یکی از نمونه های تحلیل شده، نمای اکسپو ۲۰۱۲ کره جنوبی می باشد که با الهام از گل بهشتی طراحی شده است. در ادامه جدول یک قرار داده شده که نشان دهنده ی تصویر منبع الهام و مدل های ارائه شده ی پژوهشگران می باشد. با این حال، طبق جدول ۱، گیاه اگزالیس جهت طراحی سایبان هوشمند اقلیمی نمای ساختمان، مورد تجزیه و تحلیل قرار نگرفته است. بنابراین با توجه به اینکه الگوریتم ها توسط نویسندگان طراحی شده، پژوهش حاضر نوآرانه محسوب می شود.

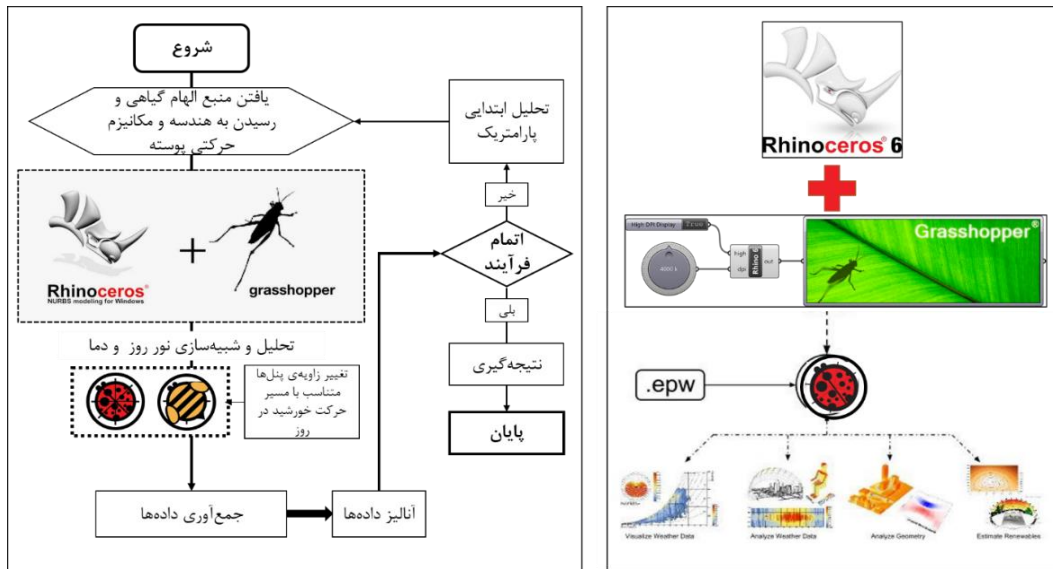
جدول ۱: انواع گیاهان بررسی شده در راستای طراحی سایبان هوشمند نما

منبع	نام گیاه	مدل	تصویر گیاه
[12]	گل لیلیوم		
[13]	گل زنبق بدبو		
[14]	گل بهشتی		

[15]	گیاه قهر و آشتی		
[16]	گیاه گوشت خوار		
[17]	فیلوتاکسی		

روش تحقیق

باتوجه به اینکه شیراز دارای اقلیم گرم و نیمه خشک است و در فصول گرم سال، نمای جنوبی ساختمان با تابش زیاد خورشید همراه می‌باشد، در نتیجه نیازمند سایبان است [18] و [19]. بنابراین هدف از انجام پژوهش حاضر، طراحی سایبان هوشمند ساختمان جهت کنترل ورود نور روز به فضای داخلی است. روش پژوهش به دو بخش تقسیم شده است. در گام اول با ماهیت کیفی و روش توصیفی-تحلیلی، رفتار حرکتی گیاه اگزالیس توسط مشاهده، عکس‌برداری و مطالعه‌ی اسناد، کتب و پژوهش‌های مربوط به گیاه مورد بررسی قرار گرفته است. در گام دوم، پس از بررسی مدل فرمی، هندسی و الگوی حرکتی باز و بسته شونده‌ی گیاه، الگوریتم حرکتی و فرم پوسته‌ی سایبان نما با ماهیت ترکیبی و روش مدلسازی-شبیه‌سازی^۱ تحلیل شده است. بنابراین به صورت مختصر، بعد از انجام برداشت‌های میدانی، از طریق نرم‌افزار راینو^۲ و افزونه‌ی گرس‌هاپر^۳، مدلسازی فرمی سایبان صورت گرفته است. در نهایت مکانیزم حرکتی گیاه در مدلسازی به صورت پارامتریک طراحی شده تا سایبان بتواند در طول تحلیل‌های نوری باز و بسته شود. مرحله‌ی بعد مربوط به بخش شبیه‌سازی میزان دریافت نور روز توسط سطح اتاق و شدت روشنایی می‌باشد که توسط افزونه‌ی هانی‌بی^۴ انجام شده و نمایش مسیر حرکت خورشید و میزان انرژی تابشی دریافتی توسط سطح شفاف نمای ساختمان توسط افزونه‌ی لیدی‌باگ^۵ بدست آمده است. لازم به ذکر است که موتور افزونه‌های مطرح شده انرژی پلاس است [20] و در سال ۲۰۱۱ توسط بخش انرژی آمریکا گسترش یافته و مورد تایید است [21]. بنابراین روش و ابزار پژوهش حاضر براساس پژوهش‌های پیشین دارای اعتبار است. در ادامه تصویر ۲، قرار دارد که نشان دهنده‌ی مراحل انجام پژوهش حاضر است.



تصویر ۲: مراحل انجام پژوهش

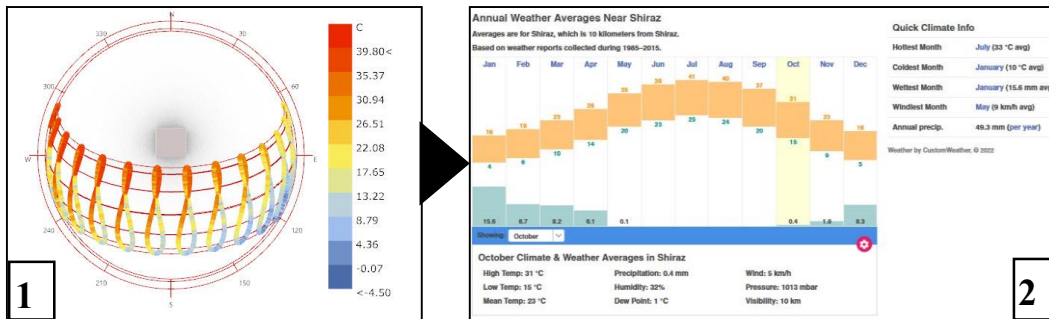
سایبان

در ایران، ۴۰ درصد مصرف انرژی مربوط به بخش ساختمان است [22]، علاوه بر آن، میانگین مصرف انرژی ۲/۵ برابر جهان است [23]. این امر بخش ساختمان را به یکی از منابع مهم آلودگی محیط زیست تبدیل کرده است [5]. امروزه یکی از بهینه‌ترین و آسان‌ترین راه برای کاهش مصرف انرژی ساختمان، طراحی نمای مناسب است [22] و [4]؛ زیرا نما، فضای داخل و خارج ساختمان را به هم متصل می‌کند و می‌تواند با شرایط محیطی و نیازهای کاربران سازگار شود [24] و [25]. یکی از راهکارهایی که برای طراحی مناسب نما ارائه می‌شود، استفاده از سایبان است. سایبان نما را می‌توان به صورت داخلی یا خارجی، متحرک یا ثابت، و اتوماتیک یا دستی اجرا کرد [11] و [26]. براساس تحقیقات، نتایج نشان می‌دهد که سایبان متحرک بهتر از ثابت عمل می‌کند، زیرا می‌تواند با توجه به شرایط محیطی تغییر کند [27] و [28]. با این وجود، سایبان ثابت اقتصادی‌تر است [29] و [30]. تاکنون ۲۹ نوع سایبان به دست آمده که در این میان سایبان هندسی بهترین عملکرد را در آب و هوای گرم و خشک دارد [31]. علاوه بر آن، سایبان خارجی عملکرد بهتری نسبت به داخلی دارد، اما اگر سایبان داخلی با کارایی بالا طراحی شود، طراح با هیچ محدودیتی در طراحی نما مواجه نمی‌شود [32] و [33]. سایبان نما می‌تواند ورود نور روز، آسایش بصری، آسایش حرارتی، کربن، بار سرمایش و گرمایش، خیرگی و غیره را کنترل کنند [16]. زیرا جلوگیری از ورود نور روز در آب و هوای گرم و خشک و فصول گرم سال، باعث کاهش دمای فضای داخل و بار سرمایشی شده و پس از آن کاهش مصرف انرژی را به همراه دارد [34] و [35]. بنابراین براساس نتایج و نکات مثبت و منفی حاصل از پژوهش‌های صورت گرفته، در تحقیق حاضر سایبان خارجی متحرک جهت مدلسازی انتخاب شده است.

وضعیت اقلیمی

به طور کلی، شرایط اقلیمی تاثیر زیادی بر فرم سایبان دارد [36]. بنابراین نیاز است که قبل از طراحی سایبان، وضعیت آب و هوایی منطقه تاحدودی بررسی شود. ایران بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی قرار دارد [37] و [38] و دارای سطح تابش خورشیدی بیشتری نسبت به میانگین جهانی است [39] و [40]. به همین دلیل در پژوهش حاضر، کنترل ورود نور خورشید به فضای داخلی ساختمان به عنوان مبنایی جهت کاهش مصرف انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از

تحقیقات اقلیمی حاکی از آن است که شیراز دارای اقلیم گرم و نیمه‌خشک است. به همین دلیل در ماه‌های گرم سال تابش حداکثری خورشید دریافت کرده و نمای ساختمان به سایبان منطبق با مسیر حرکت خورشید نیاز دارد.

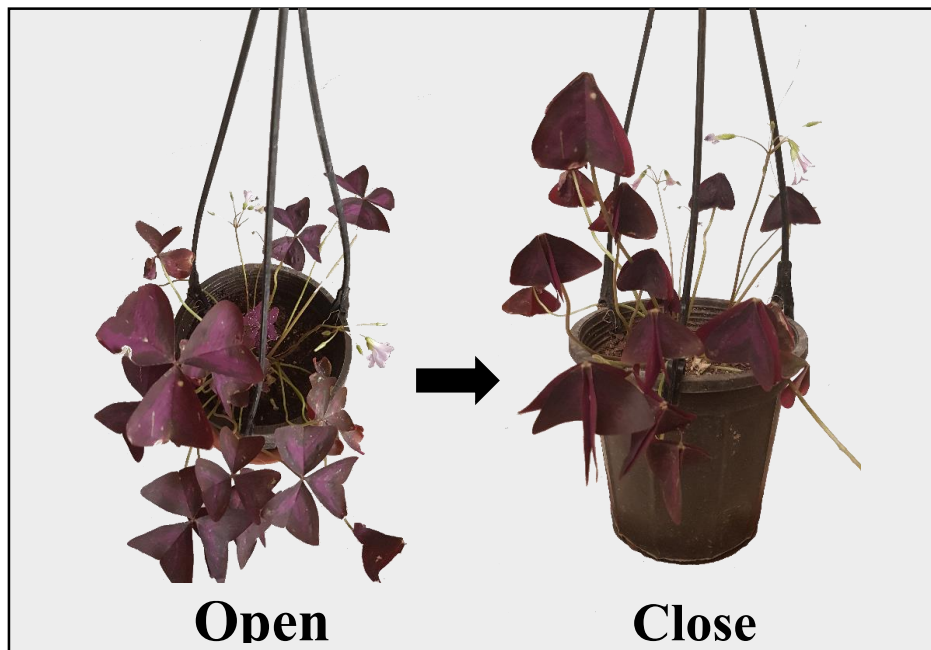


تصویر ۳: ۱- مسیر حرکت خورشید ۲- میانگین آب و هوا در شیراز [41]

شیراز مرکز استان فارس می‌باشد که در ۲۹ درجه عرض شمالی واقع شده است (تصویر ۳). میانگین دمای سالانه به ۲۳ درجه سانتیگراد و حداکثر دما در فصول گرم به ۳۱ درجه سانتیگراد و حداقل دما در فصول سرد به ۱۵ درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد. به همین دلیل کنترل نور خورشید توسط سایبان متحرک برای فصل تابستان در نمای جنوبی ساختمان، جهت کنترل نور خورشید، مورد نیاز است. براساس داده‌های اقلیمی ۱۵ مرداد به عنوان ماه گرم و ۱۵ بهمن به عنوان ماه سرد سال جهت ارزیابی عملکرد سایبان انتخاب شده است.

الگوی رفتاری گیاه اگزالیس

در این بخش، الگوی رفتاری گیاه اگزالیس مورد بررسی قرار گرفته است. در راس گلبرگ‌های گیاه اگزالیس، مفصلی قرار دارد که دارای ذخیره‌ای از یک نوع مایع می‌باشد. با پخش شدن این مایع در سطح گلبرگ‌ها، بخش میانی کم حجم شده و باعث حرکت گلبرگ‌ها به سمت پایین می‌شود [42].



تصویر ۴: رفتار حرکتی گیاه اگزالیس

اگزالیس^۸ با نام شیدر زینتی نیز شناخته می‌شود. علاوه بر آن، به دلیل شباهت برگ‌های گیاه به بال پروانه و رفتار باز شدن برگ گیاه در روز و بسته شدنش در شب، به گیاه پروانه‌ای نیز معروف است. اگزالیس سه برگ دارد که به صورت مثلثی به رنگ بنفش کنار هم قرار دارند، بنابراین شباهت زیادی به شیدر دارد. همین امر باعث شده که به اسم شیدر دروغین^۹ یا شیدر بنفش^{۱۰} نیز شناخته شود [43]. یکی از مهمترین مطالب شناخته شده از کتاب چارلز داروین^{۱۱} «کنترل حرکت در گیاهان»^{۱۲} [44]، واکنش حرکتی گیاه اگزالیس نسبت به تغییر نور محیط پیرامون است که توسط رشد نوسانی پیچیده اندام میانی گیاه انجام می‌شود. در تصویر ۵، رفتار حرکتی گیاه نشان داده شده است.

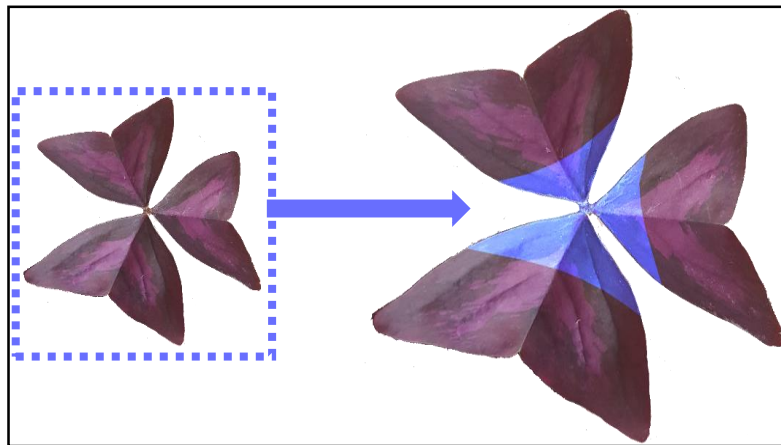


تصویر ۵: رفتار حرکتی هوشمند گیاه اگزالیس نسبت به نور روز

پژوهشگران متعدد با علاقه به رفتار روزانه و تکراری گیاه، حرکت خواب شبانه آن را مورد بررسی قرار دادند [45]. علاوه بر آن، اگزالیس دارای ساختاری ایستا و محکم از نظر سازه‌ی باز و بسته شونده و هوشمند است [46]. بنابراین در پژوهش حاضر گیاه اگزالیس از نظر هندسه، فرم، رفتار حرکتی و غیره جهت طراحی سایبان هوشمند نمای ساختمان انتخاب شده است.

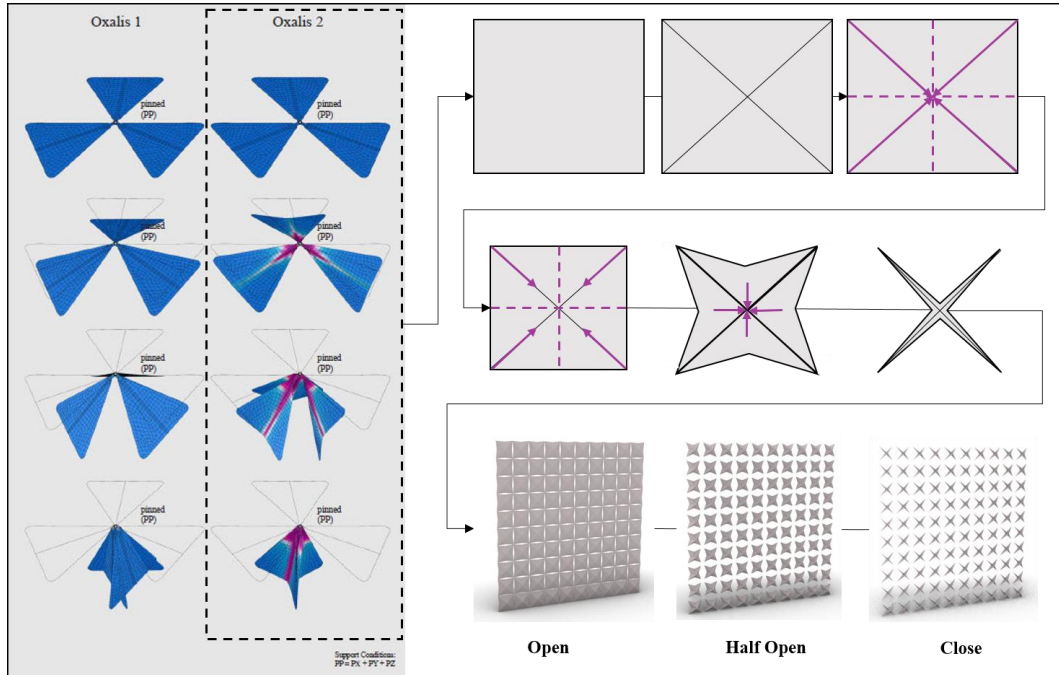
مدلسازی

گیاه اگزالیس از برگ‌های متناسب مثلثی شکل تشکیل شده که طول تقریباً ۲٫۵ سانتیمتر دارد و به ساقه‌ای با طول ۱۰ سانتیمتر متصل می‌شود. با توجه به تصویر ۶، محل اتصال هر برگ به ساقه ضخیم شده است که با رنگ آبی نشان داده شده است. در قسمت ضخیم، آب جمع شده که با خروج آن از این بخش، برگ‌های گیاه به سمت پایین حرکت می‌کند. این نوع حرکت پولوینوس^{۱۳} نام دارد. لازم به ذکر است که برگ‌های مثلثی شکل اگزالیس از وسط به دو بخش تقسیم شده که به صورت خطی چروک شده بر روی برگ نمایان است. پس از خروج مایع از بخش ضخیم و محل اتصال برگ به ساقه، قسمت چروک وسط برگ‌ها، منبسط شده و با این حرکت، وسط برگ‌ها به سمت هم حرکت می‌کند. بنابراین اگزالیس دارای دو حرکت باز و بسته شونده است که در حرکت اول، برگ‌ها به سمت پایین حرکت کرده و در مرحله دوم، اواسط برگ‌ها به سمت مرکز حرکت می‌کند [47].



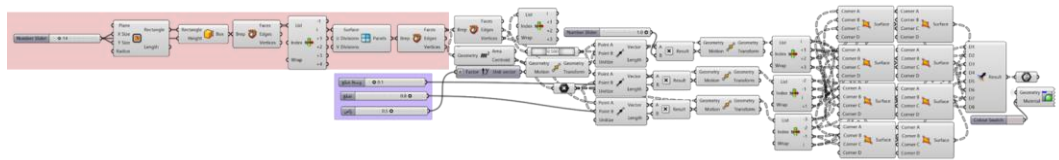
تصویر ۶: حرکت پولوینوس گیاه اگزالیس

باتوجه به مطالعات بخش ریخت‌شناسی اگزالیس، در نهایت سایبان نمای الهام گرفته از گیاه اگزالیس به صورت پارامتریک به مربع‌های کوچکتر تقسیم شده و هر مربع به دو مثلث تقسیم شده که باعث باز و بسته شدن پوسته‌ی هوشمند نما می‌شود. بنابراین براساس مکانیزم رفتار حرکتی گیاه اگزالیس، حرکت سایبان نیز در دو حالت انجام شده است.



تصویر ۷: مدلسازی سایبان هوشمند نمای الهام گرفته شده از الگوی حرکتی گیاه اگزالیس

حرکت اول شامل حرکت رو به پایین پنل‌ها و حرکت دوم شامل حرکت وسط پنل‌ها به سمت یکدیگر و مرکز است. در ادامه، الگوریتم حرکتی سایبان هوشمند نما در تصویر ۸، نشان داده شده است.



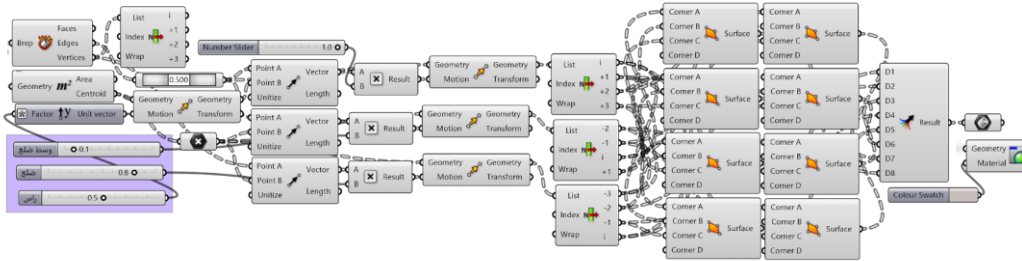
تصویر ۸: الگوریتم حرکتی سایبان هوشمند نمای ساختمان الهام گرفته شده از الگوی رفتاری گیاه اگزالیس

الگوریتم مدلسازی فرم و حرکت سایبان اقلیمی نمای ساختمان از سه قسمت تشکیل شده که در تصویر ۹، نشان داده شده است. قسمت اول شامل مدلسازی ساختمان و انتخاب نمای جنوبی طراحی سایبان است. قسمت دوم شامل تقسیم‌بندی سایبان به پنل‌های مربعی است.



تصویر ۹: مدلسازی ساختمان و طراحی سایبان بر روی نمای جنوبی

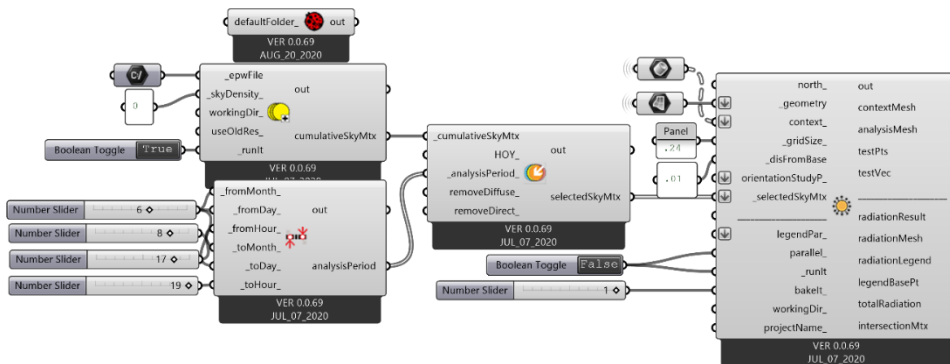
در قسمت سوم، نقاطی از پنل‌ها که برای باز و بسته شدن سایبان نیاز به جابه‌جایی دارد، مشخص شده و حرکت نقاط به صورت پارامتریک الگوریتیم نویسی شده است. با حرکت دادن نقاط، پنل‌ها باز و بسته شده که می‌تواند متناسب با مسیر حرکت خورشید در اقلیم شیراز منطبق شود.



تصویر ۱۰: الگوریتیم حرکتی سایبان هوشمند نمای ساختمان

تحلیل انرژی تابشی

برای انجام پژوهش حاضر، در ابتدا یک ساختمان با فرم مکعب و ابعاد ۱۴ متر مدلسازی شده و سپس الگویی از پوسته متحرک بر روی نمای جنوبی ساختمان با ابعاد ۱۴ در ۱۴ متر مربع ایجاد شده است. ساختار سایبان نما از ۱۰۰ مدول تکرار شونده، ۴۰۰ قسمت متحرک از نوع تاشونده و ۱۰۰ قطعه مرکزی به صورت ثابت و بدون تغییر تشکیل شده است (تعداد مدول‌ها براساس ابعاد نما و فرم سایبان تنظیم شده و در سایر پژوهش و طرح‌های اجرایی می‌تواند متفاوت باشد). توجه به اقلیم گرم و خشک شیراز و کاهش میزان دریافتی نور خورشید در ماه‌های گرم سال یکی از مهمترین مسئله‌ی پهنه‌سازی در مصرف انرژی است. بنابراین در گام نخست، میزان دریافت نور خورشید در ماه‌های مختلف شهر شیراز با استفاده از نرم‌افزار Climate Consultant بدست آمده و ماه مرداد به دلیل تابش زیاد نور خورشید، جهت تحلیل میزان انرژی تابشی توسط سطح شفاف نمای ساختمان انتخاب شده است. پس از بررسی صورت گرفته، داده‌های اقلیمی epw شیراز که یکی از خروجی‌های هواشناسی است، برای تحلیل سایبان نما به افزونه‌ی لیدی‌باگ معرفی شده است. در این روش با معرفی نمای جنوبی به نرم‌افزار، ساعات تابش مورد نظر تنظیم شده و مدل طراحی شده برای نرم‌افزار تعریف می‌شود. تصویر ۱۱، الگوریتیم تحلیل انرژی تابشی را نشان می‌دهد.

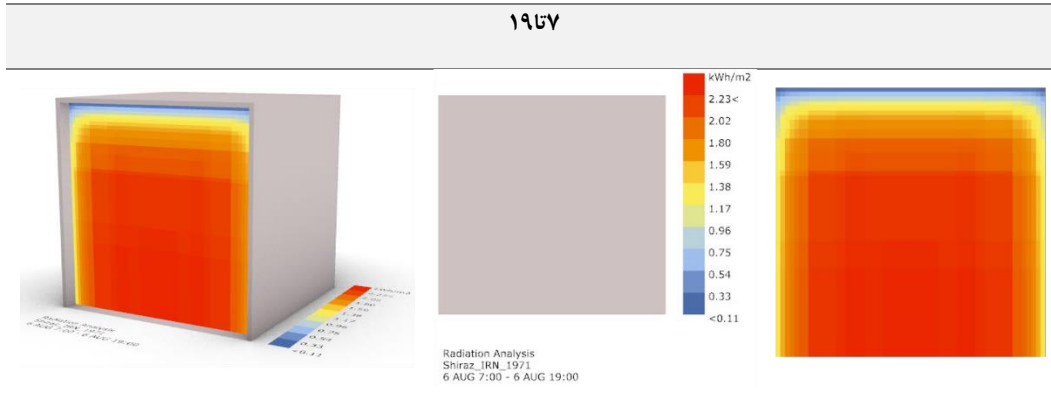


تصویر ۱۱: الگوریتیم شبیه‌سازی انرژی تابشی خورشید در اقلیم شیراز

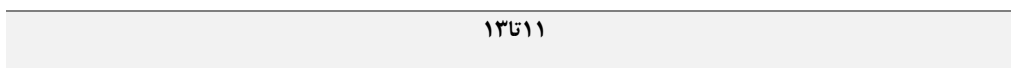
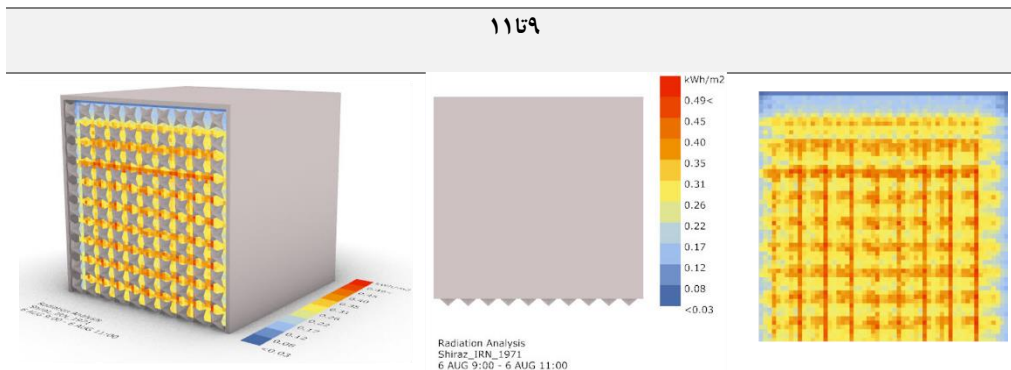
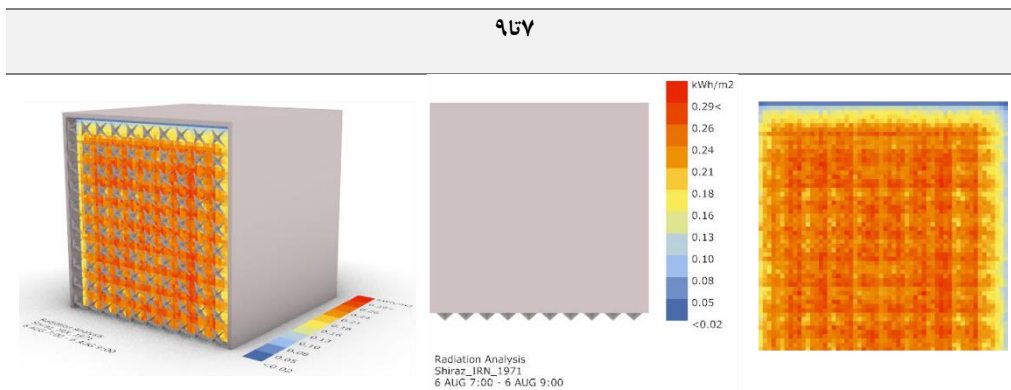
در ادامه نمای جنوبی ساختمان در اقلیم شیراز از نظر نور روز در دو حالت با سایبان و بدون سایبان مورد تحلیل قرار گرفته است. در جدول ۳، به ترتیب از چپ به راست، نحوه‌ی باز و بسته شدن سایبان، راهنمای رنگ‌ها به صورت پلان و میزان

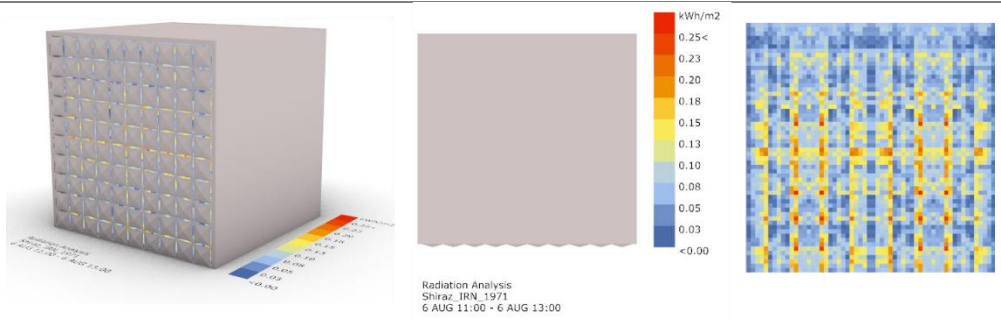
انرژی دریافتی توسط نما با واحد کیلو وات ساعت بر مترمربع قرار داده شده است. لازم به ذکر است که تحلیل‌ها در ۱۵ مرداد از ساعت ۷ صبح تا ۷ شب که نما می‌تواند از خورشید، نور دریافت کند، صورت گرفته است.

جدول ۲: آنالیز انرژی تابشی خورشید (واحد: کیلووات ساعت بر مترمربع) از ساعت ۷ تا ۱۹ در حالت نما بدون سایبان

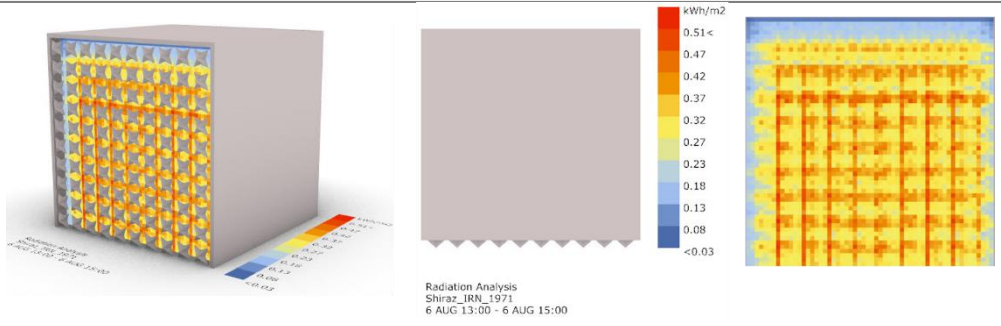


جدول ۳: آنالیز انرژی تابشی خورشید (واحد: کیلووات ساعت بر مترمربع) در بازه زمانی مختلف و نما با سایبان

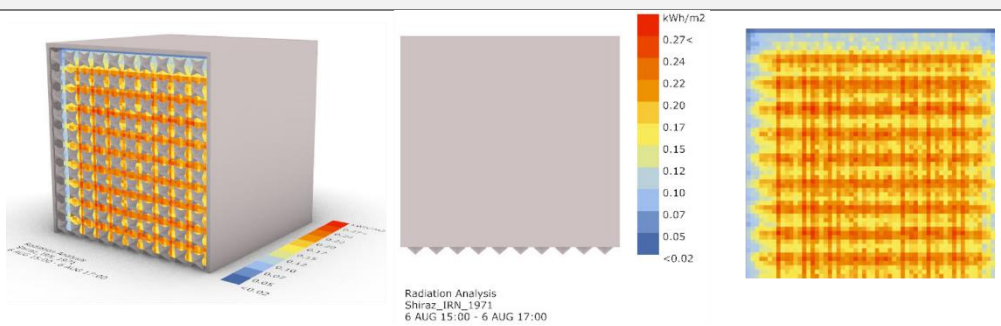




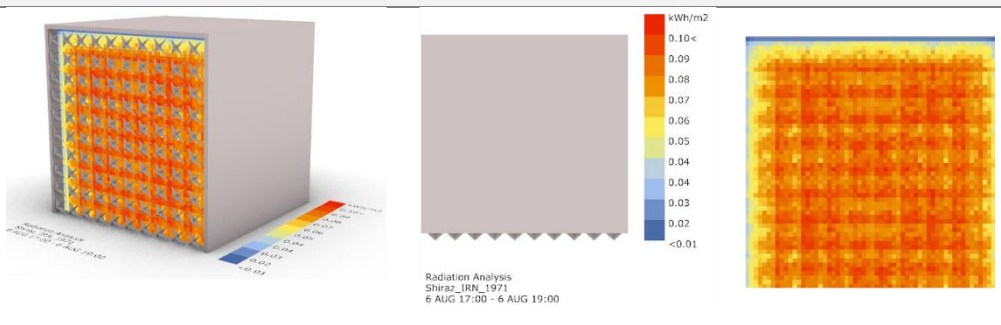
۱۵ تا ۱۳



۱۷ تا ۱۵



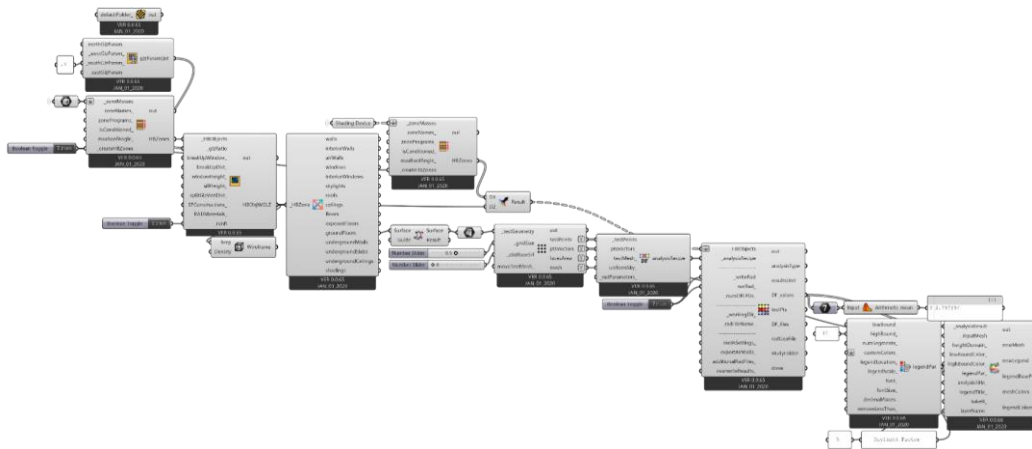
۱۹ تا ۱۷



نتایج حاصل از جدول ۳، حاکی از آن است که سایبان در حالت پنل‌های باز و نیمه‌باز می‌تواند برای ماه‌های گرم سال مناسب بوده و باعث کاهش حداکثری جذب انرژی تابشی توسط سطح شفاف نمای ساختمان شود و سایبان در حالت پنل‌های بسته که با جذب انرژی تابشی حداکثری به همراه است برای ماه‌های سرد سال دارای عملکرد مطلوب است.

تحلیل روشنایی

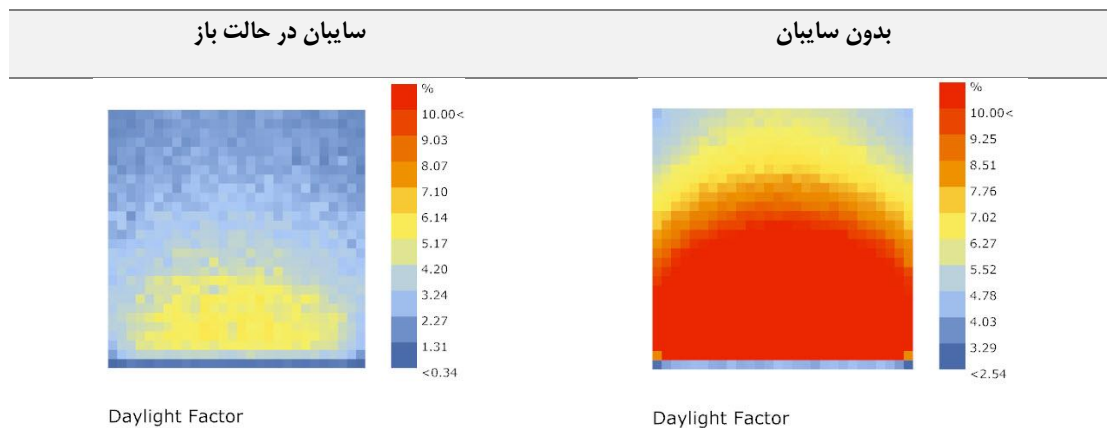
در این بخش درصد ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان توسط افزونه‌ی هانی‌بی مورد تحلیل قرار گرفته است. به این صورت که، در ابتدا زون حرارتی، ابعاد بازشو، سایبان و غیره به الگوریتم (تصویر ۱۲) تحلیل نور روز وارد شده به فضای داخلی ساختمان، داده می‌شود.

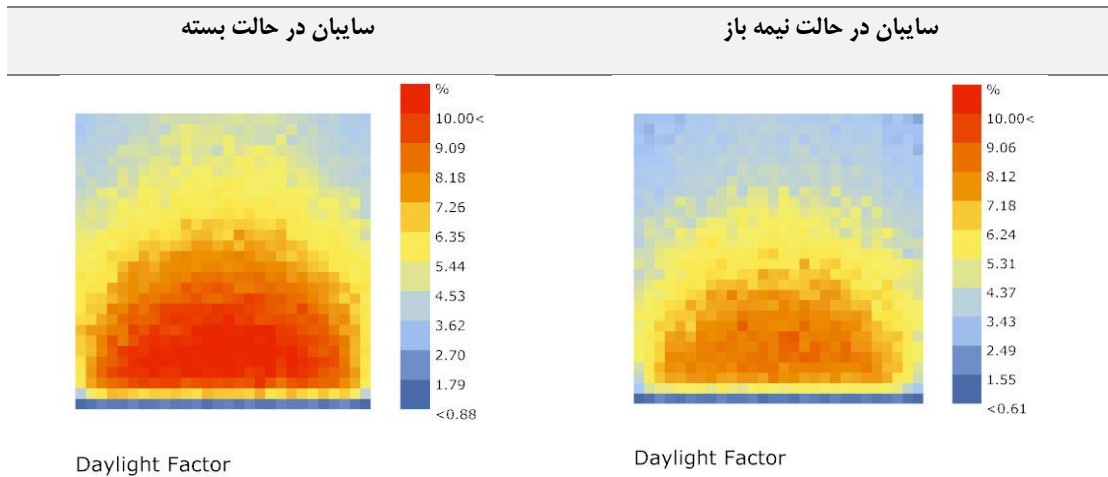


تصویر ۱۲: الگوریتم تحلیل نور روز وارد شده به فضای داخلی ساختمان

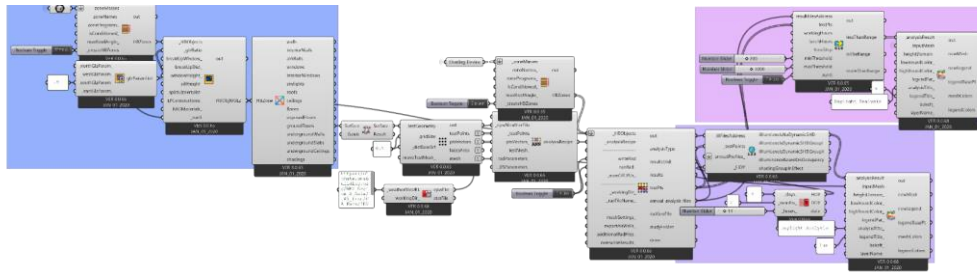
در ادامه جدول ۴، نشان دهنده‌ی درصد ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان در حالت‌های مختلف نما در سال است. نتایج حاصله حاکی از آن است که سایبان در حالت پنل‌های باز، تا حد زیادی از میزان ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان کاسته و سایبان در حالت نیمه‌باز، علاوه بر حفظ روشنایی باعث کنترل میزان ورود نور روز شده و سایبان در حالت بسته برای فصول سرد سال که نیاز به ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان می‌باشد، مناسب است.

جدول ۴: تحلیل نور روز وارد شده به فضای داخلی ساختمان در حالت‌های مختلف سایبان در سال به درصد





در ادامه شدت روشنایی فضای داخلی با وجود سایبان در حالت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین الگوریتم محاسبه شدت روشنایی به انتهای الگوریتم درصد ورود نور روز به فضای داخلی اضافه شده است. پس از آن الگوریتمی تنظیم شده که بازه‌ی ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس برای شدت روشنایی مشخص کرده و درصد شدت روشنایی در حالت‌های مختلف سایبان که در این بازه قرار دارد بدست آمده است.

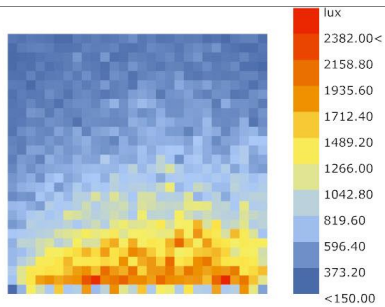


تصویر ۱۳: الگوریتم تحلیل شدت روشنایی فضای داخلی ساختمان

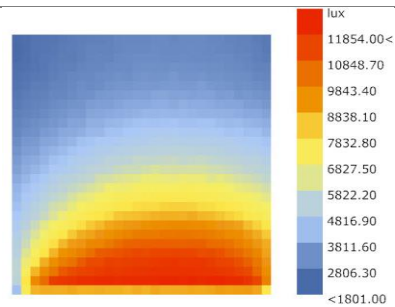
در ادامه جدول ۵، قرار دارد که نشان دهنده‌ی شدت روشنایی فضای داخلی ساختمان با واحد لوکس است. تحلیل‌ها در روز ۱۵ مرداد ساعت ۱۴، اقلیم شیراز جهت مقایسه‌ی بهتر به عنوان گرم‌ترین ماه سال انجام شده است.

جدول ۵: تحلیل روشنایی (واحد: لوکس) فضای داخلی ساختمان در حالت‌های مختلف سایبان (مرداد)

ساعت ۱۴، روز ۱۵ مرداد، اقلیم شیراز، واحد لوکس	
سایبان در حالت باز	بدون سایبان



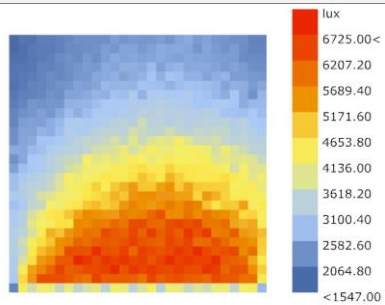
Daylight Analysis



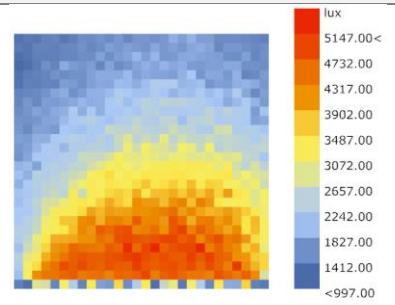
Daylight Analysis

سایبان در حالت بسته

سایبان در حالت نیمه باز



Daylight Analysis

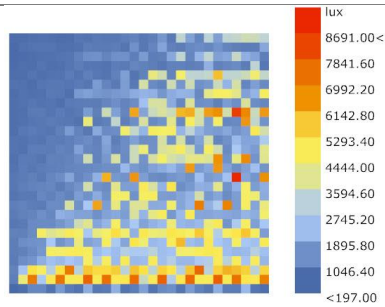


Daylight Analysis

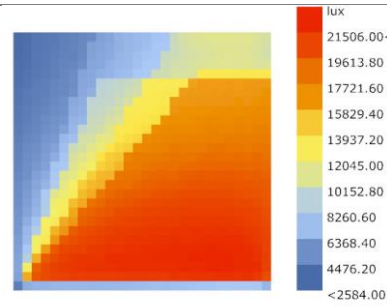
استاندارد شدت روشنایی با واحد لوکس متناسب با کاربری و ابعاد فضاها متفاوت است. باتوجه به اینکه هدف از انجام پژوهش حاضر رسیدن به الگوی حرکتی با الهام از رفتار حرکتی گیاه اگزالیس می باشد، در نتیجه کاربری و ابعاد دقیقی برای نمونه‌ی مورد آزمایش انتخاب نشده است. با این وجود، نتایج حاصله حاکی از آن است که میزان روشنایی در تمام حالت‌های سایبان به زیر ۱۰۰ لوکس (فضای مسکونی ۱۰۰ تا ۳۰۰ لوکس [48]، فضای آموزشی: ۳۰۰ تا ۵۰۰ لوکس [49]، فضای اداری: ۵۰۰ تا ۷۵۰ لوکس [50]) نرسیده و استفاده از سایبان در تمام فصول سال باعث نیاز به افزایش بهره‌مندی از نور مصنوعی نشده است. در ادامه جدول ۶ قرار دارد که نشان دهنده‌ی تحلیل‌های شدت روشنایی برای سردترین ماه سال در روز ۱۵ بهمن ماه ساعت ۱۴ با واحد لوکس است.

جدول ۶: تحلیل روشنایی (واحد لوکس) فضای داخلی ساختمان در حالت‌های مختلف سایبان (بهمن)

ساعت ۱۴، روز ۱۵ بهمن، اقلیم شیراز، واحد لوکس	
سایبان در حالت باز	حالت بدون سایبان

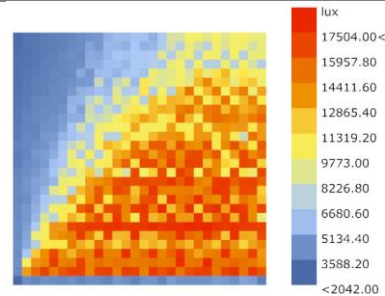


Daylight Analysis



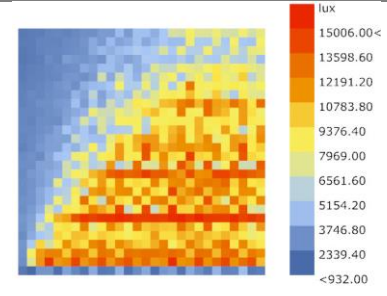
Daylight Analysis

سایبان در حالت بسته



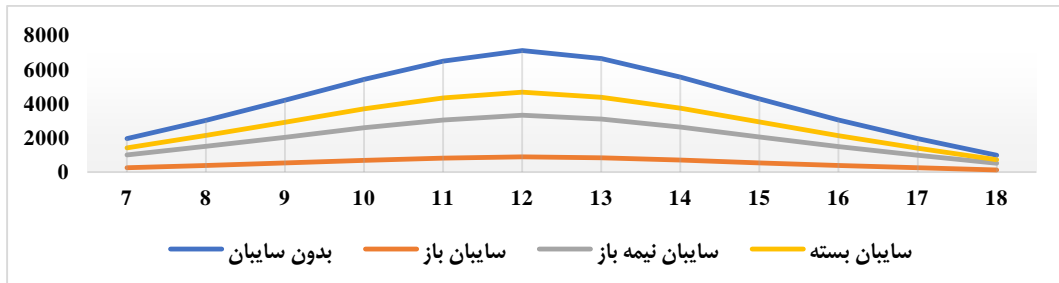
Daylight Analysis

سایبان در حالت نیمه باز

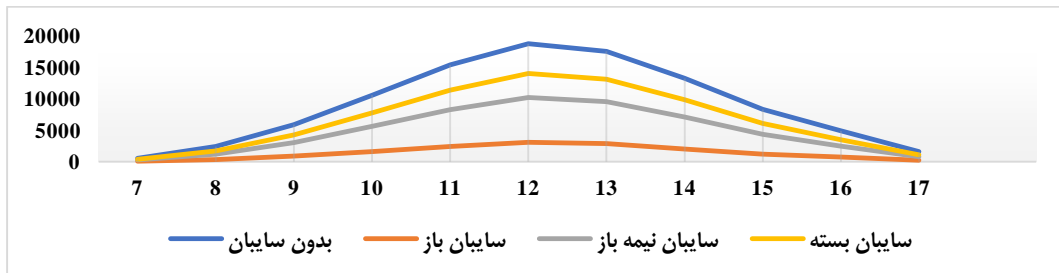


Daylight Analysis

علاوه بر جداول کیفی مطرح شده که شدت روشنایی فضای داخلی ساختمان در ساعت ۱۴ را نشان می‌دهد، در ادامه تصویر ۱۵ و ۱۶ نشان دهنده میانگین شدت روشنایی فضای داخلی ساختمان در بازه زمانی ۷ صبح تا ۱۸ در حالت‌های مختلف نما با سایبان و بدون سایبان در ۱۵ مرداد است.



تصویر ۱۵: مقایسه‌ی شدت روشنایی (واحد لوکس) فضای داخلی از ساعت ۷ تا ۱۸، ۱۵ مرداد، شهر شیراز در حالت با و بدون سایبان در ادامه آنالیز شدت روشنایی فضای داخلی ساختمان برای بازه زمانی ۷ تا ۱۷، روز ۱۵ بهمن، اقلیم شیراز مطرح شده که نشان دهنده‌ی مطلوبیت لوکس نوری و عملکرد مناسب سایبان است.

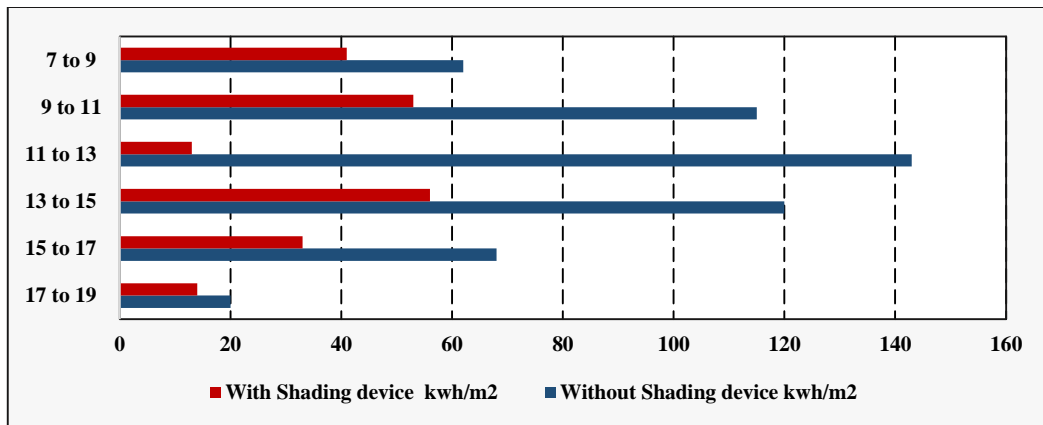


تصویر ۱۶: مقایسه‌ی شدت روشنایی (واحد لوکس) فضای داخلی از ساعت ۷ تا ۱۷، ۱۵ بهمن، شهر شیراز در حالت با و بدون سایبان

نتایج حاصل از بخش بازه لوکس نوری از ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ برای فصل تابستان و زمستان حاکی از آن است که شدت روشنایی فضای داخلی ساختمان در حالت سایبان با پنل‌های باز: ۸۲ درصد، پنل‌های نیمه‌باز: ۵۴٪، پنل‌های بسته: ۳۵٪ و نمای بدون سایبان: ۲۳٪ در بازه‌ی انتخاب شده قرار دارد.

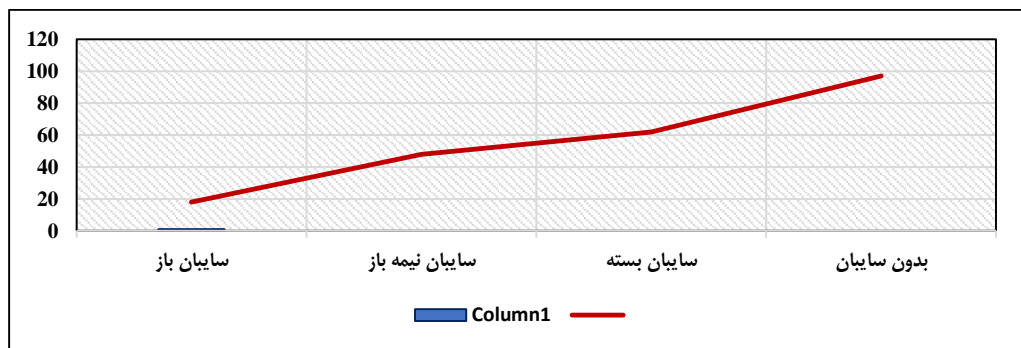
یافته‌های تحقیق

نتایج حاصله از جدول ۳ حاکی از آن است که، از ساعت ۷ تا ۹ صبح، سایبان به حالت بسته تمایل دارد، از ساعت ۹ تا ۱۱، پوسته بازتر شده و بین ساعت ۱۱ تا ۱۳ به طور کامل باز شده است. پس از آن تمام روند به صورت برعکس تکرار شده است. به این معنا که در ساعت ۱۳ تا ۱۵ پوسته به سمت بسته شدن تمایل دارد، ساعت ۱۵ تا ۱۷ پوسته بسته‌تر شده و در ساعت ۱۷ تا ۱۹، پوسته به طور کامل بسته شده است. با توجه به رنگ‌های روی نما که نشان دهنده‌ی میزان جذب انرژی تابشی توسط نما است، کاهش ورود نور خورشید به درون ساختمان قابل مشاهده است. همین امر نشان دهنده‌ی عملکرد مناسب سایبان است. در ادامه تصویر ۱۶، نشان دهنده‌ی نمودار مقایسه‌ای بین میزان جذب انرژی تابشی در حالت با و بدون سایبان توسط جداره‌ی شفاف ساختمان است.



تصویر ۱۶: مقایسه‌ی انرژی تابشی جذب شده توسط سطح شفاف نمای ساختمان در حالت با و بدون سایبان (۱۵ مرداد)

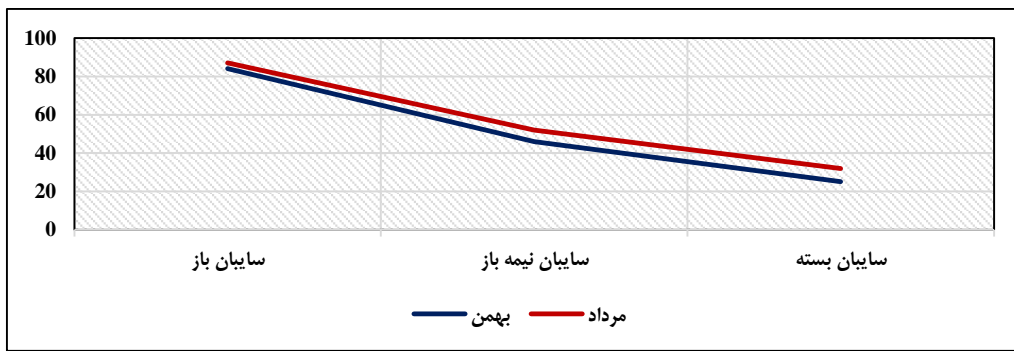
نتایج حاصله از تصویر ۱۶، حاکی از آن است که سایبان در حالت باز می‌تواند تا ۹۰ درصد از انرژی تابشی جذب شده توسط سطح شفاف نمای ساختمان کاسته و در حالت پنل‌های نیمه‌باز و بسته به ترتیب ۵۲ و ۳۵ درصد این کاهش صورت گرفته است. در ادامه تصویر ۱۷، نشان دهنده‌ی درصد ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان در حالت با و بدون سایبان است.



تصویر ۱۷: مقایسه‌ی درصد ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان در حالت با و بدون سایبان در سال

باتوجه به تصویر ۱۷، سایبان در حالت باز می‌تواند باعث کاهش ۸۱ درصدی ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان در اقلیم گرم و نیمه‌خشک شیراز شود. سایبان در حالت نیمه‌باز و بسته به ترتیب می‌تواند ۵۰٪ و ۳۶٪ باعث کاهش ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان شود. بنابراین، سایبان طراحی شده در تمام فصول سال متناسب با میزان نیاز به تابش خورشید و وضعیت آب و هوایی قابل انطباق است و عملکردده مطلوبی دارد.

علاوه‌برآن، نتایج حاصل از بخش تحلیل شدت روشنایی (تصویر ۱۸) حاکی از آن است که سایبان الهام گرفته شده از الگوی حرکتی گیاه اگزالیس متناسب با مسیر حرکت خورشید، تغییر حالت داده و در ماه‌های گرم سال، شدت روشنایی را تا یک دوم کاهش داده است. همین امر باعث کاهش بار سرمایشی و در نهایت کاهش مصرف انرژی ساختمان می‌شود. لازم به ذکر است که میزان شدت روشنایی (لوکس) در فصول گرم و سرد سال نیز به استاندارد کاربری‌های مختلف (بین ۳۰۰ تا ۳۰۰۰) نزدیک است. همچنین در فصل سرد سال سایبان در حالت کاملاً بسته قرار گرفته و اجازه ورود حداکثری نور خورشید به فضای داخلی بنا فراهم است.



تصویر ۱۸: مقایسه‌ی درصد کاهش شدت روشنایی فضای داخلی ساختمان در حالت با و بدون سایبان در ماه مرداد و بهمن

بحث و نتیجه‌گیری

سایبان‌های خارجی هوشمند معمولاً جهت کنترل ورود نور خورشید به فضای داخلی ساختمان و تامین آسایش ساکنین مورد استفاده قرار می‌گیرند. به این صورت که در فصول گرم سال که تابش خورشید زیاد است، با حرکت خود متناسب با مسیر نور خورشید، باعث کاهش ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان شده و علاوه‌برآن، روشنایی فضای داخلی را نیز حفظ می‌کند. این عامل باعث کاهش دمای فضای داخل شده و همین امر استفاده از سیستم سرمایشی را کاهش می‌دهد که در نهایت باعث کاهش مصرف انرژی در ساختمان می‌شود. این مسئله برای فصول سرد سال نیز انجام می‌شود. به این صورت که پنل‌های سایبان می‌تواند به‌گونه‌ای تنظیم شود که باعث ورود حداکثر نور خورشید به فضای داخلی شود که در این مرحله، جلوگیری از ایجاد خیرگی نیز حائز اهمیت است. همین امر باعث افزایش دمای فضای داخل و در ادامه کاهش استفاده از سیستم گرمایش و کاهش مصرف انرژی ساختمان می‌شود.

بنابراین باتوجه به میزان اهمیت سایبان خارجی برای نمای ساختمان، هدف کلان پژوهش حاضر، انطباق الگوریتم حرکتی سایبان هوشمند نما با الگوی رفتاری گیاه اگزالیس می‌باشد. باتوجه به نتایج حاصله، با وجود سایبان در نمای جنوبی ساختمان در اقلیم گرم و نیمه‌خشک شیراز، سایبان در حالت باز حدود ۸۰ درصد، در حالت نیمه‌باز حدود ۵۰ درصد، در حالت بسته حدود ۳۰ درصد از انرژی تابشی جذب شده توسط سطح شفاف نمای ساختمان، ورود نور روز به فضای داخلی و شدت روشنایی کاسته است. علاوه‌بر آن شدت استاندارد روشنایی برای فضای داخلی حفظ شده و اهداف کاهش مصرف انرژی ساختمان در فصول گرم و سرد سال محقق شده است. در نهایت پیشنهاد می‌شود که در ماه‌های گرم سال سایبان در حالت پنل‌های باز قرار گیرد که ۸۰ درصد نور روز و انرژی تابشی و شدت روشنایی کاسته شده و در نهایت کاهش بار سرمایش را

به همراه داشته باشد و در ماه‌های سرد سال، سایبان در حالت پنل‌های بسته قرار گیرد که کاهش ۳۰ درصدی را به همراه داشته و ورود حداکثری نور روز به فضای داخلی ساختمان حاصل شود. بنابراین انطباق الگوی حرکتی گیاه اگزالیس با الگوریتم حرکتی سایبان نما دارای عملکرد مطلوب است و در کنترل ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان کاربردی است. در ادامه چند پیشنهاد برای طراحی سایبان با بازده عملکردی بالا مطرح شده است:

- جهت تولید دقیق‌تر سایبان هوشمند براساس طرح داده شده، بهتر است که از روش ساخت دیجیتال استفاده شود.
- بهره‌گیری از قطعات به صورت مدولار می‌تواند باعث سهولت در ساخت و اجرای سایبان هوشمند شود. علاوه بر آن، باعث کاهش هزینه و افزایش زیبایی و کارایی سایبان می‌شود. همچنین اگر قطعه‌ای آسیب ببیند به راحتی تعمیر و تعویض می‌شود و باعث خرابی سایر قطعات نمی‌شود.
- می‌توان از مصالح هوشمند یا آلیاژهای حافظه‌دار که با گرمای خورشید تغییر حالت می‌دهند در طراحی پنل‌های سایبان متحرک استفاده کرد که باعث باز و بسته شدن پنل‌ها به صورت خودکار توسط نور خورشید می‌شود.
- بهتر است که سایبان نما به صورت دستی و خودکار با قابلیت گسترش پذیری و سازگاری با محیط طراحی شود.

در پژوهش‌های آتی، محققان می‌توانند پوسته مدل شده را از نظر آسایش بصری، آسایش حرارتی، کاهش خیرگی، کاهش مصرف انرژی، کاهش بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان و غیره بررسی کنند. همچنین پیشنهاداتی برای معماران و طراحان جهت طراحی کاربردی‌تر سایبان ارائه کنند.

پی‌نوشت‌ها

1. Phyllotaxy
2. Rafflesia
3. Modeling-Simulation
4. Rhinoceros
5. Grasshopper
6. Honeybee Plugin
7. Ladybug Plugin
8. Oxalis (Oxalidaceae)
9. False Shamrock
10. Purple Shamrock
11. Charles Darwin
12. The Control of Movement in Plants
13. Pulvinus

منابع

- [1] S. Jain, C. Karmann, and J. Wienold, "Behind electrochromic glazing: Assessing user's perception of glare from the sun in a controlled environment," *Energy Build.*, vol. 256, p. 111738, 2022.
- [2] X. Su, L. Zhang, Y. Luo, and Z. Liu, "Energy performance of a reversible window integrated with photovoltaic blinds in Harbin," *Build. Environ.*, vol. 213, p. 108861, 2022.
- [3] S. Liu *et al.*, "Energy-saving potential prediction models for large-scale building: A state-of-the-art review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 156, p. 111992, 2022.
- [4] S. Rostamzad, M. Khakzand, M. Faizi, and H. Sanaeian, "Daylight performance of toplighting: An overview," *Sp. Ontol. Int. J.*, vol. 10, no. 4, pp. 47-65, 2021, doi: 10.22094/soij.2021.1924761.1407.
- [5] S. Razazi, F. Mozaffari Ghadikolaei, and R. Rostami, "The effect of external and internal shading devices on energy consumption and co2 emissions of residential buildings in temperate climate," *Sp. Ontol. Int. J.*, vol. 11, no. 1, pp. 75-89, 2022, doi:

- 10.22094/soij.2022.1950918.1476.
- [6] M. Rastegari, S. Pournaseri, and H. Sanaieian, "Analysis of daylight metrics based on the daylight autonomy (DLA) and lux illuminance in a real office building atrium in Tehran," *Energy*, vol. 263, p. 125707, 2023.
- [7] F. Motazedian, M. Mahdavejad, F. Habib, and D. Diba, "Classroom lighting control systems and level of energy consumption, Tehran, Iran," 2016.
- [8] S. H. Tabibian, F. Habib, and S. A. H. Garakani, "The Role of Daylight within the Vault of Shahrak-e-Gharb Jame Mosque in Tehran," *Int. J. Archit. Urban Dev.*, vol. 10, no. 3, pp. 41–46, 2020.
- [9] Z. Kong, R. Zhang, J. Ni, P. Ning, X. Kong, and J. Wang, "Towards an integration of visual comfort and lighting impression: A field study within higher educational buildings," *Build. Environ.*, vol. 216, p. 108989, 2022.
- [10] C. Tian, T. Chen, and T. Chung, "Experimental and simulating examination of computer tools, Radlink and DOE2, for daylighting and energy simulation with venetian blinds," *Appl. Energy*, vol. 124, pp. 130–139, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.03.002>.
- [11] E. Noorzai, P. Bakmohammadi, and M. A. Garmaroudi, "Optimizing daylight, energy and occupant comfort performance of classrooms with photovoltaic integrated vertical shading devices," *Archit. Eng. Des. Manag.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–25, 2022, doi: 10.1080/17452007.2022.2080173.
- [12] {Isak Worre} and Anke Pasold Foged, "Performative Responsive Architecture Powered by Climate," *ACADIA 2010 Life Inf.*, pp. 243–249, 2010.
- [13] Z. Yarmahmoodi, T. Nasr, and H. Moztarzadeh, "Algorithmic Design of Building Intelligent Facade to Control the Daylight Inspired by the Rafflesia Flower Kinetic Pattern," *Naqshejahan-Basic Stud. New Technol. Archit. Plan.*, pp. 1–24, 2023.
- [14] H. Haidari, "Decisive design aspects for designing a kinetic façade." Eindhoven University of Technology, 2015.
- [15] T. Nasr, Z. Yarmahmoodi, and S. M. Ahmadi, "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.*, vol. 10, no. 3, pp. 219–230, 2020.
- [16] H. M. Zahra Yarmahmoodi, Tahereh Nasr, "Modeling a Kinetic Smart Shell to Optimize Daylight Inspired by the Movement Algorithm of Carnivorous Plant," *Life Sp. J.*, vol. 3, no. 1, 2023, [Online]. Available: 10.22094/ljsj.2023.704902.
- [17] A. Zekri, R. Fayaz, and M. Golabchi, "Harvesting Daylight in High-rise Office Buildings Using Phyllotaxis Model," *Int. J. Archit. URBAN Dev.*, vol. 11, no. 3, p. 41, 2021.
- [18] R. De Bei, X. Wang, L. Papagiannis, and C. Collins, "Assessment of bunch thinning as a management technique for Semillon and Shiraz in a hot Australian climate," *OENO One*, vol. 56, no. 1, pp. 161–174, 2022.
- [19] J. Shaeri and M. Mahdavejad, "Prediction Indoor Thermal Comfort in Traditional Houses of Shiraz with PMV/PPD model," *Int. J. Ambient Energy*, pp. 1–19, 2022.
- [20] F. Bano and V. Sehgal, "Finding the gaps and methodology of passive features of building envelope optimization and its requirement for office buildings in India," *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 9, pp. 66–93, 2019.
- [21] P. C. Tabares-Velasco, C. Christensen, and M. Bianchi, "Verification and validation of EnergyPlus phase change material model for opaque wall assemblies," *Build. Environ.*, vol. 54, pp. 186–196, 2012.
- [22] H. Aibaghi Esfahani, K. Momeni, and F. Hassan Pour, "Finding the Best Orientation of the Educational Buildings in Hot Arid Regions in Iran, in order to achieve the Optimum Annual Energy Consumption, Using Computer Simulation (Case Study: a Double Class School in Zahedan)," *Sp. Ontol. Int. J.*, vol. 9, no. 1, pp. 13–36, 2020, [Online]. Available: https://soij.qazvin.iau.ir/article_673425.html.
- [23] S. H. Sedigh Ziabari, H. Zolfagharzadeh, F. Asadi Malek Jahan, and S. M. Salavatian, "Comparative Study on the Influence of Window To Wall Ratio on Energy Consumption and Ventilation Performance in Office Building of Temperate Humid Climate: a Case Study in Rash," *Sp. Ontol. Int. J.*, vol. 8, no. 2, pp. 33–42, 2019, [Online]. Available: https://soij.qazvin.iau.ir/article_667317.html.

- [24] N. Fazeli, M. Mahdavinejad, and M. R. Bemaniyan, "Dynamic Envelope and Control Shading Pattern for Office Buildings Visual Comfort in Tehran," *Sp. Ontol. Int. J.*, vol. 8, no. 3, pp. 31–40, 2019.
- [25] A. Mohammed *et al.*, "Reducing the Cooling Loads of Buildings Using Shading Devices: A Case Study in Darwin," *Sustainability*, vol. 14, no. 7, p. 3775, 2022.
- [26] A. Vilaboa Díaz and P. M. Bello Bugallo, "Study of the Influence of Solar Shading Devices in the Solar Inputs in Buildings," in *Sustainable Energy Development and Innovation*, Springer, 2022, pp. 431–437.
- [27] A. Kiritmat, M. F. Tasgetiren, P. Brida, and O. Krejcar, "Control of PV integrated shading devices in buildings: A review," *Build. Environ.*, p. 108961, 2022.
- [28] D. Berkouk, T. A. K. Bouziri, S. Mazouz, S. Boucherit, and N. Mokhtari, "Studying the influence of shading devices on indoor thermal comfort in desert and Mediterranean climates," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 992, no. 1, p. 12004.
- [29] A. Mohammed, "Study of Shading Device Parameters of the Mixed-Mode Ventilation on Energy Performance of an Office Building: Simulation Analysis for Evaluating Energy Performance in Egypt," in *Advances in Architecture, Engineering and Technology*, Springer, 2022, pp. 285–297.
- [30] S. M. Ponda, "Trends of Sun-shading Devices in Nairobi Since 1900." University of Nairobi, 2022.
- [31] V. M. Gnecco and L. Pajek, "Analysis of Fixed Shading Devices in Brazilian Elementary Schools Regarding Cooling Energy Demand and Daylighting."
- [32] W. F. M. Yusoff, M. I. Shaharil, M. F. Mohamed, M. R. M. Rasani, A. R. Sapian, and N. D. Dahlan, "Review of openings with shading devices at naturally ventilated buildings," *Archit. Eng. Des. Manag.*, pp. 1–17, 2022.
- [33] S. Zhao, Q. Pan, D. Gao, and J. Cheng, "Integrating internet of things and mixed reality to teach performance-based architectural design: a case study of shading devices," *Educ. Inf. Technol.*, pp. 1–19, 2022.
- [34] X. Hong, J. Lin, X. Yang, S. Wang, and F. Shi, "Comparative Analysis of the Daylight and Building-Energy Performance of a Double-Skin Facade System with Multisectional Shading Devices of Different Control Strategies," *J. Energy Eng.*, vol. 148, no. 3, p. 5022001, 2022.
- [35] J. Xue, Y. Fan, Z. Dong, X. Hu, and J. Yue, "Improving Visual Comfort and Health through the Design of a Local Shading Device," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, no. 7, p. 4406, 2022.
- [36] A. Krstić-Furundžić and T. Kosić, "Assessment of energy and environmental performance of office building models: A case study," *Energy Build.*, vol. 115, pp. 11–22, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.050>.
- [37] S. Barter, T. Siebert, R. Bramley, M. Herderich, and M. Krstic, "Better late than never: the formation of distinctive pepper aromas in cool-climate Shiraz," *WINE Vitic. J.*, p. V37N1, 2022.
- [38] R. Gh, M. Kameni Nematchoua, V. Mohammad Nejad, and R. Yousefi, "Regional simulation model of the meteorological effects of Maharlu Lake on the human climate health of Shiraz in Iran. 2017; 5 (3): 1-16 Original Article [DOI: 10.29252/jhs. 5.3. 1][Downloaded from jhs. mazums. ac. ir on 2022-04-16] 1/16," *Meteorol. Eff. Maharlu Lake Hum. Clim. Heal. Gh. Roshan. al*, p. 2.
- [39] M. Mahmoudi and S. Nivi, "Improving of Climatic Technology According to Sustainable Development," *Naqshejahan-Basic Stud. New Technol. Archit. Plan.*, vol. 1, no. 1, pp. 35–52, 2011.
- [40] S. M. Molayzahedi and M. A. Abdoli, "A New Sustainable Approach to Integrated Solid Waste Management in Shiraz, Iran," *Pollution*, vol. 8, no. 1, pp. 303–314, 2022.
- [41] "Climate & Weather Averages in Shiraz, Iran." <https://www.timeanddate.com/weather/iran/shiraz/climate>.
- [42] A. Zarkesh, H. Mahyari, and M. Mahdavinejad, "An intelligent adaptive skin from a biomimetic approach for energy consumption reduction," *Hoviatsshahr*, 2022.

- [43] E. Chen, G. Lu, L. Barnik, and D. Correa, "Fast and Reversible Bistable Hygroscopic Actuators for Architectural Applications based on Plant Movement Strategies."
- [44] F. Darwin, C., Darwin, *The power of movement in plants*. John Murray, 1880.
- [45] A. W. Galston and P. J. Davies, "Control mechanisms in plant development.," *Control Mech. plant Dev.*, 1970.
- [46] N. Nakanishi, F., Nakazawa, M., Katayama, "Opening and closing of Oxalis leaves in response to light stimuli," *J. Biol. Educ.*, vol. 39, no. 2, pp. 87–91, 2005.
- [47] S. Schleicher, *Bio-inspired compliant mechanisms for architectural design: transferring bending and folding principles of plant leaves to flexible kinetic structures*. 2015.
- [48] Z. Javani and S. F. Mousavinia, "Identifying and treating unobserved heterogeneity with FIMIX-PLS in effect of Daylight metric(sDA) on happiness in a residential complex," *J. Archit. Thought*, vol. 5, no. 10, pp. 237–256, 2021, doi: 10.30479/at.2020.10904.1245.
- [49] M. M. Ghazikhanlo Sani K, Habibipour R, "Measurement of the illumination in official and educational places in the universities of Hamadan and comparison with international standards," *Pajouhan Sci J*, vol. 11, no. 4, pp. 29–35, 2013, [Online]. Available: <http://psj.umsha.ac.ir/article-1-55-en.html>.
- [50] M. F. R. F. M. Mehravar, "The acceptable illumination level for office occupants in Tehran," *JIAU*, vol. 12, no. 1, pp. 79–92, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.30475/isau.2020.195247.1263>.

Adapting the Motion Algorithm of a Smart Building Facade Shade to the Behavioral Pattern of Oxalis Plant for Daylight Control (Case Study: Shiraz City)

Abstract:

Zahra Yarmahmoodi¹(corresponding author)

Tahereh Nasr²

Hamed Mozterzadeh³

With the advancement of technology, energy consumption, particularly in the building sector, has significantly increased. Nowadays, designing smart facade shades is considered one of the proposed solutions in this field. However, designing optimal rule-based management systems that simultaneously minimize sunlight exposure, overheating, and energy consumption remains a challenging task for designers. To design a smart shade, it is necessary to first develop an appropriate and responsive motion pattern for the chosen performance. Considering that nature has always been a source of inspiration for humans and has sustainably operated over time, plants were selected as the inspiration source for designing the smart shade in this study. Plants, like buildings, are rooted and stationary yet respond to changes in their surrounding environment. Hence, they exhibit behavioral functions similar to building facades. This similarity arises from the fact that building facades, like plant skins, must protect the internal environment from external environmental changes. This highlights the importance of exploring plant-inspired sources to achieve desirable motion and form patterns. Additionally, Shiraz, characterized by a hot and semi-arid climate, was chosen as the case study due to its hot summers and intense sunlight on southern building facades, which necessitates the use of facade shades. The findings indicate that the movement of the smart facade shade in Shiraz's climate, aligned with the sun's path, can result in a 30% reduction in absorbed solar radiation on the transparent facade surface, as well as decreased daylight penetration and lighting intensity when the shade panels are fully closed. For shades with semi-open and open panels, the reductions were 50% and 80%, respectively. Furthermore, the lighting intensity in all shade states remained within standard ranges, demonstrating the efficient performance of the smart facade shade in Shiraz's climate. Finally, recommendations were made to enhance the practicality of facade shade design, including modular and expandable designs, adaptability to the surrounding environment, and digital methods for more precise product manufacturing.

Keywords: Smart shade, solar radiation, daylight, lighting intensity, Oxalis plant, Shiraz.

¹ Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran (email: arc.mostofi@gmail.com)

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

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