

## بررسی نقش سیستم های سایه اندازی تطبیق پذیر در مصرف انرژی و مکانیزم حرکتی آن ها\*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲

کد مقاله: ۴۶۵۰۰

سمیرا جعفری تبریزی<sup>۱</sup>، فرزین حق پرست<sup>۲\*</sup>، آیدا ملکی<sup>۳</sup>

### چکیده

با توجه به بحران انرژی و استفاده از منابع انرژی تجدیدناپذیر در تأمین انرژی ساختمان‌ها، حدود ۴۰ درصد مصرف انرژی مربوط به ساختمان‌ها بوده که بخش قابل توجه این انرژی برای مقابله کردن با هدررفت یا دریافت انرژی از پوشش ساختمان می‌شود. پوشش ساختمان نه تنها به عنوان عنصر فعال سیستم ساختمان بلکه به عنوان فیلتر محیط‌زیستی تعریف شده در اطراف قاب ساختمان بوده و نقش اصلی در مدیریت میزان دریافت انرژی خورشیدی، کنترل بار حرارتی، نفوذ هوا و خروج آن، مدیریت رطوبت تهویه، مدیریت کیفیت هوا را بر عهده دارد. هدف این پژوهش بررسی انواع سیستم‌های سایه‌اندازی تطبیق‌پذیر و نقش آن‌ها در مصرف انرژی بوده است. همچنین انواع مکانیزم‌های حرکتی در سایه‌بان‌های متحرک بررسی شده است تا مزایا و معایب هر کدام بر اساس بازشوهای پنجره مشخص گردد. روش پژوهش حاضر توصیفی-تحلیلی بوده و روش گردآوری اطلاعات به صورت کتابخانه‌ای و استفاده از منابع معتبر و مقالات آکادمیک مکتوب و غیر مکتوب بوده است و نتایج به دست آمده حاکی از آن است که نماهای تلفیقی در میزان بهره‌وری انرژی، نقش موثرتری ایفا می‌کنند.

**واژگان کلیدی:** تطبیق‌پذیری، مصرف انرژی، نمای متحرک، سیستم‌های سایه‌اندازی فعال

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فناوری معماری دیجیتال دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران

۲- دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران (نویسنده مسئول)

f.haghparast@tabriziau.ac.ir

۳- استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران

## ۱- مقدمه

با پیشرفت تکنولوژی، دیوارهای پرده‌ای در ساختمان‌های بلندمرتبه به دو دلیل فراهم کردن محیط خارجی زیبا و همچنین به منظور سبکترشدن نماها ساخته می‌شوند. به دلیل افزایش هزینه‌های انرژی، ساختمان‌هایی که از ساختار دیوار پرده‌ای استفاده می‌کنند و با شیشه درزگیری می‌شوند، دارای مقاومت حرارتی بالا می‌باشند. اما به دلیل این که نسبت بالای شیشه و مقاومت حرارتی ضعیف آن، به تابش خورشیدی اجازه می‌دهد به فضای داخلی نفوذ کند، موجب می‌شود بار انرژی آنها افزایش یابد (مین کیم و همکاران، ۲۰۰۹: ۳۳۶). بنابراین لزوم کنترل دمای داخلی برای جلوگیری از ناراحتی حرارتی وجود دارد.

سایه‌اندازها نقش مهمی در جهت بهبود کارایی انرژی در ساختمان‌ها دارند. کاربرد سایه‌اندازها می‌تواند بر سرمایش داخلی را تا ۳۰ درصد کاهش دهد و بسیار مؤثر از استفاده از شیشه با عملکرد بالا می‌باشد. به علاوه استفاده از سایه‌اندازها در روزهای تابستان به عنوان مقیاس حفظ انرژی میسر می‌باشد (هو و همکاران، ۲۰۲۱). عملکرد محیطی سیستم‌های سایه‌اندازی شامل دو هدف اصلی است: (۱) عملکرد بصری، که فقط در مورد جلوگیری از تابش خیره‌کننده و حفظ روشنایی کافی در محیط داخلی است و (۲) فراهم‌آوردن شرایط گرمایی قابل قبول با کنترل افزایش گرمای خورشید همراه با پرتوهای خورشید مستقیم و پراکنده. از این رو با توجه به متغیر بودن شرایط محیطی و آب و هوایی، نیاز به سازگاری و تطبیق‌پذیری نمایها مطرح می‌شود. رفتار انطباقی برنامه‌های سایه‌اندازی پیشرفت‌هه مانند سیستم‌های پویا، معیارهای سازگاری را ارتقا داده است. بنابراین، عملکرد سایه‌اندازی پویا باید با اثربخشی کنترل سطح نورخورشید، به ویژه در زوایای مختلف خورشید که روزانه و سالانه به یک ساختمان نفوذ می‌کنند، تعیین شود (المیرانی و همکاران، ۲۰۱۹).

رفتار انطباق‌پذیر سیستم‌های سایه‌اندازی تطبیق‌پذیر اجازه کنترل قوی بر دستاوردهای خورشیدی را در فصول مختلف می‌دهد. پرولر و بورگ اظهار داشتند که تقریباً در تمام مناطق آب و هوای نور طبیعی قابل انتشار و قابل تنظیم روشناوری روز را تداوم می‌بخشد. با این حال، بارهای گرمایش و سرمایش، متفاوت خواهد بود. بنابراین، معیارهای انتخاب یک سیستم سایه‌اندازی مناسب باید براساس درک رفتار سیستم در آب و هوای مختلف ایجاد شود. در آب و هوای گرم، تابش بیش از حد نور خورشید به طور کلی ممکن است به بار سرمایشی زیاد منجر شود. در آب و هوای سرد و معتدل ثابت شده است که بارهای خنک‌کننده غالباً بیشتر از بارهای گرمایشی است، در حالی که نور خورشید می‌تواند به طور مثبت در گرمشدن غیرفعال در زمستان نقش داشته باشد. بنابراین، در آب و هوای متوسط یا سرد، سایه‌اندازی پویا می‌تواند به میزان قابل توجهی در کاهش انرژی بیش از حد و خنک‌کننده در تابستان کمک کند (پرولر و بورگ، ۲۰۱۶). از طرف دیگر سایه‌اندازهای فعل و پویا دارای گستره وسیعی از نظر فرم و مکانیزم‌های حرکتی می‌باشند که نیازمند بررسی همه جانبه و شناخت این سیستم‌ها و ویژگی‌های آنها متناسب با عملکرد می‌باشد.

## ۲- روش تحقیق

در این پژوهش با روش توصیفی-تحلیلی، روش گردآوری اطلاعات به صورت منابع کتابخانه‌ای و استفاده از منابع معتبر و مقالات آکادمیک مکتوب و غیر مکتوب به بررسی انواع سیستم‌های سایه‌اندازی می‌پردازد و مزایا و معایب هریک از گونه‌ها را تحلیل کرده و سپس مکانیزم‌های حرکتی سیستم‌های فعل را با ذکر انواع نمونه‌های موردنی به کار رفته بررسی می‌شود و همچنین مطالعاتی که در زمینه به کارگیری این سیستم‌ها و تأثیر آنها بر مصرف انرژی انجام شده است، اشاره می‌شود.

## ۳- پیشینه پژوهش

سایهبان‌های ایستا و ثابت از دیرباز در معماری بومی برای پاسخ به شرایط محیطی از مصالح در دسترس چون رس، شاخه‌های درختان، بتن، قطعات چوب، بامبو و غیره بهره می‌برند. در معماری مدرن، حرکت از این استراتژی از سال ۱۹۷۰ با بحران انرژی نقض شد و موجب ایجاد راهلهای جدید برای استراتژی‌های طراحی غیرفعال شد. سایه‌اندازهای خارجی ثابت به عنوان راه حل مؤثر کنترل گرمایش و خیرگی در ساختمان‌ها و کاهش انرژی سرمایشی در مقایسه با سایه‌اندازهای داخلی می‌باشند. این سایه‌اندازهای ثابت محدودیت برای تطبیق با شرایط خارجی دارند و دید به بیرون را مسدود می‌کنند. بنابراین استفاده از استراتژی‌های فعل برای رفع این محدودیت‌ها و بهبود پوشش ساختمان‌ها در جهت بهینه‌کردن شرایط آسایش داخلی ضروری می‌باشد. این سایه‌اندازهای با استفاده از سیستم شیشه‌های هوشمند، سیستم‌های کنترل و سنسورها و از طریق کاربرد سایه‌اندازهای پویایی هوشمند به کار می‌روند. این سایه‌اندازها به عنوان سایه‌اندازهای پویا و متحرک شناخته شده و می‌توانند به یک یا چند شرایط محیطی از قبیل کنترل نور روز، کنترل میزان دریافت انرژی خورشیدی (روشنایی، حرارت)، کنترل تهویه و ... پاسخگو باشند. تحقیقات بسیاری در زمینه مطالعه سایه‌اندازهای پویا و نحوه پاسخگوی آنها انجام شده است (۲۹).

تراز، مقصومه؛ تقی، زاء، کتابون؛ عزیزی قهروندی، مهرزاد؛ (۱۳۹۴) پژوهش خود را با موضوع تحلیل انرژی و میزان کارآمدی یک نمونه نمای متحرک در شهر تهران پرداخته است. این پژوهش با استفاده از روش تجربی همراه با بهره‌گیری از شیشه‌سازی و مدل‌سازی در نرم‌افزارهایی مانند راینو و افزوونه گرس هاپر، سعی در استفاده از تکنولوژی موجود برای پیاده‌سازی هدف کاهش مصرف انرژی در ساختمان دارد. در نهایت آنالیز حرارتی و برودتی آن‌ها در افزونه دیوا برای طراحی یک نمای کاربردی با چندین

ویژگی به کار گرفته شد. نتیجه به دست آمده مؤید این مطلب است که با استفاده از این سیستم مدلولار در نمای ساختمان، امکان کنترل هوشمند نور ورودی به داخل ساختمان بر اساس تغییر فضول و صرفه جویی در میزان بهره وری انرژی امکان پذیر است. رازی، سمیرا؛ مظفری، فاطمه؛(۱۳۹۷) در مقاله پوسته های سازگار و انطباق پذیر ساختمان با الگوپذیری از گیاهان در طبیعت، راه حل هایی بین سازگاری زیست شناختی و معماری مطرح می نماید و هدف یافتن راهکاری جهت ایجاد نوآوری در طراحی نمای ساختمان هاست. این پژوهش مروری است بر تحقیقات انجام شده بر اساس تئوری ها، مفاهیم، موضوعات و جمع آوری اطلاعات از گیاهان سازگار و نقشه و برنامه هایی برای هدایت این اصول به منظور استفاده در طرح های معماری است. سوفیا احمدی ، ماریا کرد جمشیدی (۱۳۹۷)، مقاله بررسی عملکرد نمای های هوشمند در بهینه سازی مصرف انرژی در پی بررسی آن است تا با مروری بر نمای های متدالوی که هریک به گونه ای هوشمند شده اند و بررسی مکانیزم های رفتاری آنها، دریابیم که هر راهکار تا چه اندازه در کاهش مصرف انرژی و پاسخگویی به فاکتور های محیطی در شرایط متغیر کمک کننده است. کرمی، نگار؛ زال ، محمد حسن ظامدنزاد کریمی، مجید(۱۳۹۷) در مقاله نمای متحرک (هوشمند)، به بررسی مزایا و معایب نمای های متحرک هوشمند پرا داخته شده و همچنین انواع زمینه های کاربردی این نمایا که در ۴ دسته : نمای هوشمند متحرک و کنترل دما، نمای متحرک هوشمند و کنترل روش نایاب و دید، نمای متحرک هوشمند و تهیه طبیعی و نمای متحرک هوشمند و تولید انرژی تقسیم بندی شده اند.

#### ۴- مبانی نظری

##### ۴-۱- کنترل تابش خورشیدی از طریق سایه اندازها

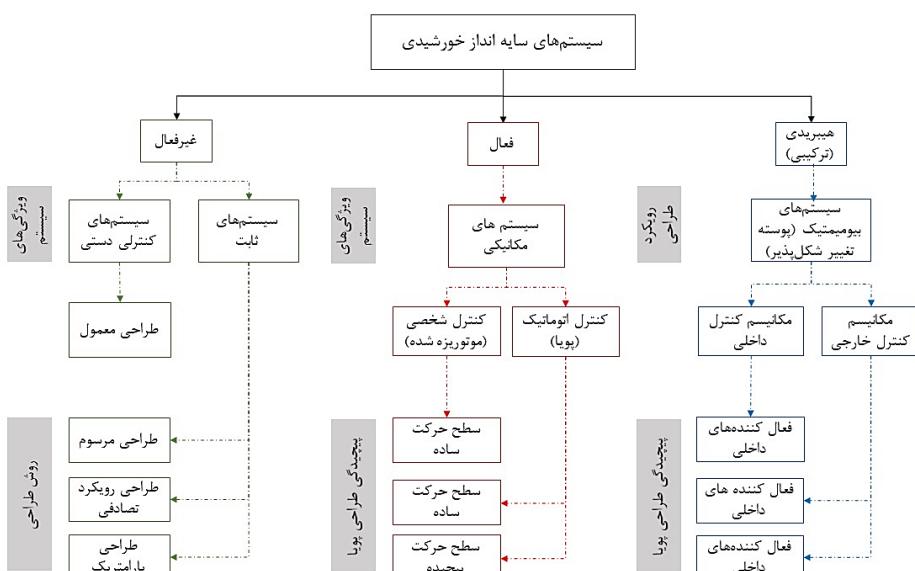
به طور کلی انواع مختلفی از سیستم سایه انداز خورشیدی را می توان در گروه ها و فناوری های مختلفی طبقه بندی کرد. گروه اول شامل سیستم های قابل حمل است که توسط کاربر هدایت می شود. گروه دوم شامل سیستم های قابل جایی است که به طور خودکار در پاسخ به شرایط فضای باز یا محیط داخلی قرار می گیرند. این سیستم ها، فناوری ها و اتomasیون فعال مانند سیستم های هوشمند پویا را اتخاذ می کنند. این گروه می تواند بیشتر بر اساس اقتدار کاربر در فرآیند پاسخ به چندین شکل مختلف تقسیم شود. مانند سیستم های پاسخگو که به تغییرات بیرونی واکنش نشان می دهند و کاربر را نادیده می گیرند. حالت دیگر سیستم های تعاملی که اجازه دخالت کاربر را می دهند. گروه سوم شامل سیستم های متحرک است که در آن ها پوسته از مواد تغییر پذیری ساخته می شود که اغلب در اثر فعال سازی توسط محرک های مختلف از جمله گرما، نور و میدان مغناطیسی، تحول برگشت پذیری را نشان می دهدن (المسرانی و همکاران، ۲۰۱۸).

سه طبقه اصلی سایه اندازی شامل منفعل، فعال و ترکیبی است (تصویر ۱) :

۱. سیستم های منفعل و بدون نیاز انرژی (ارائه شده توسط دستگاه های ثابت و دستی قابل تنظیم)

۲. سیستم های فعال (ارائه شده توسط دستگاه های مکانیکی که به انرژی فعال تکیه می کنند)

۳. سیستم های ترکیبی که بر اساس رویکردهای بیومیمتیکی می باشند و از سیستم های بیولوژیکی طبیعی و ویژگی های ذاتی مواد هوشمند آن استفاده می کنند، حاصل شده است (همان، ۲۰۱۸).



#### ۱-۱-۴- دستگاه‌های سایه‌انداز غیرفعال

این سیستم‌ها دارای رویکرد غیرفعال برای کنترل افزایش گرما و تابش نور در ساختمان‌ها و کاهش انرژی خنک‌کننده و کاهش هزینه در شرایط مختلف آب و هوایی شناخته شده‌است. دستگاه‌های سایه‌انداز غیرفعال به دو دسته سایه‌اندازهای ثابت و قابل تنظیم طبقه‌بندی می‌شوند (المسانی و همکاران، ۲۰۱۸).

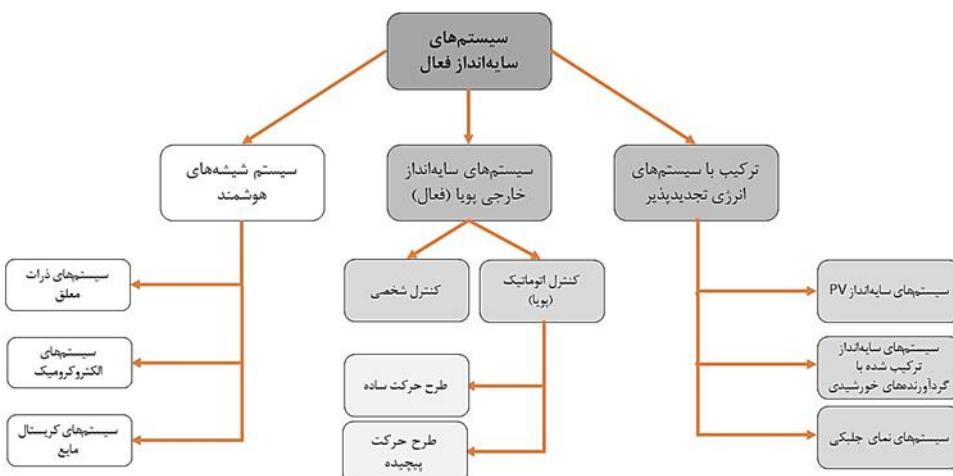
**الف- سایه‌اندازهای ثابت:** به دلیل هندسه، مصالح و پوشش‌های بصری می‌توانند تابش خورشید را کمتر کنند و می‌توانند مقادیر مناسب نوری‌خشن شده را به داخل هدایت کنند (اوبراين و همکاران، ۲۰۱۳). بر اساس روش طراحی به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- روش معمول: فرم‌های ساده طراحی را می‌پذیرند و می‌توانند بر روش تک متغیره بهینه می‌شوند. مانند سایه‌انداز آویخته افقی، لورهای افقی، لورهای عمودی، صفحات خورشیدی و پوسته‌های مشبک (چن و همکاران، ۲۰۱۵).
- روش تصادفی: نوع سایه‌انداز از طریق الگوهای تعیین شده به صورت رندوم توسعه می‌یابد. توسط روش‌های چندهدفه مبتنی بر الگوریتم‌های جستجو مثل الگوریتم‌های ژنتیک پیش‌بینی می‌شود (خوروشیتسوا و دیگران، ۲۰۱۶).
- طراحی پارامتریک: کاربرد هندسه‌های پیچیده، یک چالش برای معماران نه تنها در زمینه طراحی، بلکه در ارتقای عملکرد محیطی دارد. به علاوه پارامتری کردن در روند طراحی، می‌تواند نقش مهمی در تولید نهایی پاسخگوی اقلیمی داشته باشد. این طراحی از ریاضیات منشأ می‌گیرد و از متغیرها و پارامترها استفاده می‌کند و بر نتیجه معادله تأثیرگذارد (تاویل و یوهونگ، ۲۰۱۷).

**ب- سایه‌اندازهای قابل تنظیم با کنترل دستی:** به دلیل توانایی آن‌ها بر تغییر در شرایط خارجی، بر سایه‌اندازهای ثابت ترجیح دارند (یائو و همکاران، ۲۰۱۶). این سیستم‌ها در مقایسه با سایه‌اندازهای ثابت، می‌توانند گرمای ناشی از تابش خورشید، نور اضافی و خیرگی را در طول تابستان و زمستان کاهش دهند (اوبراين و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین این سیستم‌ها به کاربران این امکان را می‌دهند تا بتوانند محیطشان را کنترل کنند و حریم خصوصی خود را فراهم نمایند. سیستم‌های سایه‌اندازی با کنترل دستی توسط لوکریوزیه در اوایل سال ۱۹۳۳ در پروژه‌ای که اجرا نشد، ارائه شد. با این حال، آن‌ها برای اولین بار در ۱۹۴۳-۱۹۴۶ در ساختمان وزارت آموزش و پرورش در ریودوژانیرو اجرا شدند. این طرح نمای یک جعبه تخم مرغ با لورهای متحرک را ارائه می‌دهد که می‌تواند توسط کاربر تنظیم شود (روکس، ۲۰۰۴). در حال حاضر، سایه‌اندازهای قابل تنظیم به دلیل هزینه کم نصب آن‌ها در مقایسه با سیستم‌های خودکار بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند (یائو، ۲۰۱۴). با این حال، کنترل آن‌ها کاملاً بر ترجیحات کاربران متکی است (بورجن و برگر، ۲۰۰۸).

#### ۱-۲-۱-۴- دستگاه‌های سایه‌انداز فعال

ابزارهای متحرک مکانیکی که برای حرکت نیاز به انرژی دارند. سیستم‌های فعال می‌توانند در شیشه بازشوها یا به عنوان سیستم سایه‌اندازی خارجی باشند. به دلیل توانایی آنها در بهبود عمدتاً محیط ساختمان، کاهش مصرف انرژی و در برخی موارد تولید انرژی، می‌توانند به سه دسته تقسیم شوند (تصویر ۲): ۱) سیستم شیشه‌های هوشمند (۲) سیستم‌های سایه‌انداز خارجی پویا (فعال) (۳) ترکیب با سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر



تصویر ۲- طبقه‌بندی سیستم‌های سایه‌اندازی فعال (مأخذ: الداخیل و ثابت، ۲۰۱۷)

#### ۱-۲-۱-۴- سیستم شیشه‌های هوشمند

پنجره‌ها با مشخصات نوری پویا، حالتی از سایه‌اندازی ساختمان هستند. شیشه‌های هوشمند که همچنین پنجره‌های هوشمند نیز نامیده می‌شوند؛ شیشه‌ای می‌باشد که خواص انتقال نور در آن تغییر می‌یابد وقتی ولتاژ، نور یا گرما اعمال می‌شود که به حالت مات به شفاف درمی‌آید و می‌تواند برای مدیریت بار انرژی، نور و روشنایی و سطوح گرمایی را تنظیم کند<sup>(الداخلی و تابت اول، ۲۰۱۷)</sup>. فناوری های شیشه هوشمند شامل سیستم‌های ذرات معلق<sup>۱</sup>، سیستم‌های الکتروکرومیک<sup>۲</sup> و سیستم‌های کریستال مایع<sup>۳</sup> است. به علاوه شیشه‌های هوشمند از نور فرابنفش جلوگیری می‌کنند<sup>(همان)</sup>.

- هنگامی که ولتاژ اعمال می‌شود برای کنترل میزان نور، تابش خیره کننده و حرارت عموری، SPDها به سرعت از

حالت آبی مایل به سیاه به یک ظاهر خاکستری روش تغییر می‌کنند (باریوس و همکاران، ۲۰۱۵/۲۲۲).

- دستگاه های EC از فناوری استفاده می‌کنند که از ولتاژ الکتریکی برای کنترل مقدار نور عبوری از شیشه استفاده

می‌کنند (سوتیل، ۲۰۰۲). EC ها کنترل پویا و پاسخگو را ارائه می‌دهند که به شرایط در حال تغییر خارجی

پاسخ می‌دهد و گزنه‌های قابل مشاهده را کنترل می‌کنند، تابش نور را کاهش می‌دهند و محیط نور داخلی را در

مقایسه با شیشه‌های معمولی و کم E بهبود می‌بخشند. علاوه بر این، در مقایسه با دستگاه‌های سایه بان ثابت،

تابش خورشیدی دینامیکی ارائه می‌دهند و دید را مسدود نمی‌کنند<sup>(الی و همکاران، ۲۰۱۵/۲۲۴)</sup>.

- کریستال‌های مایع در پلیمر مایع حل می‌شوند و به نوبه خود جامد می‌شوند. کریستال‌های مایع به طور تصادفی در

قطرات چیده می‌شوند و در نتیجه نور هنگام عبور از مجموعه پنجره هوشمند پراکنده می‌شود و یک لایه شفاف

تشکیل می‌دهد (میاتاک و همکاران، ۲۰۱۶/۲۲۵).

#### ۱-۲-۲-۱-۴- سیستم‌های سایه‌اندازی خارجی پویا

سیستم‌های سایه‌اندازی جنبشی از همان مفهوم نمای پویا پیروی می‌کنند و برای برآوردن برخی از ویژگی‌های انرژی پوشش ساختمان معرفی شدند. آزمایشگاه ملی لارنس برکلی<sup>۴</sup> در ایالات متحده سیستم‌های سایه‌اندازی جنبشی (نمای پویا) را به عنوان سیستم‌هایی توصیف می‌کند که به ساختمان امکان می‌دهد بارهای روشنایی و سرمایش را کاهش دهد<sup>(الی، ۲۰۰۹)</sup>. توسعه این سیستم‌ها پاسخی به افزایش آگاهی در مورد کاهش انرژی در ساختمان‌ها بود. سازگاری آنها پتانسیل دستیابی به محیطی با صرفه جویی در انرژی، بهبود راحتی، متعادل کردن کیفیت محیط داخلی (IEQ) مانند کاهش تابش خیره کننده، دید به بیرون، حریم خصوصی، راحتی حرارتی و کیفیت هوا و افزایش رضایت و بهره وری سرتشنیان را ارائه می‌دهد. به علاوه هزینه انرژی و تاثیرات زیست محیطی را به حداقل می‌رساند (سلکوویتز و لی، ۲۰۰۵). این سیستم‌ها در پاسخ به محرك‌های مکانیکی، شیمیایی یا الکتریکی حرکت می‌کنند که در آن‌ها دستگاه‌های سایه‌زنی چین‌خوردگی، لغزش، انبساط، کوچک شدن و تغییر شکل می‌دهند (همان).

#### ۱-۲-۱-۴- سیستم‌های سایه‌انداز کنترل شده شخصی (موتوری)

در این گروه سطح پیشرفته‌ای از سیستم‌های سایه‌بان تنظیم شده دستی وجود دارد که در آن محرك‌های مکانیکی منفعل مانند سیم‌بندها، زنجیرها یا میله‌ها با موتورهای الکتریکی جایگزین می‌شوند و به صورت مستقیم توسط سویچ یا به طور غیرمستقیم با استفاده از فرستنده‌ها یا سایر وسایل بی‌سیم کار می‌کنند. با وجود ساختار پیشرفته، این سیستم‌ها در مقایسه با دستگاه‌های متحرک منفعل، طراحی آن‌ها محدود به مدل‌های معمولی با هندسه‌های ساده و چیدمان حرکت، مانند سایه‌بان‌های غلتکی می‌باشند. همچنین حرکت تک مسطح را با چرخش مصوری فردی نشان می‌دهند.

#### ۱-۲-۲-۱-۴- سیستم‌های سایه‌انداز کنترل اتوماتیک (پویا)

این دستگاه‌ها، حالت کنترل اتوماتیک را به عنوان ویژگی اصلی برای پاسخ به محیط با استفاده از فناوری‌های هوشمند اتخاذ می‌کنند (گیوونی و دیگران، ۲۰۱۵). اصطلاح دینامیک به یک فرآیند تغییر مداوم اشاره شده توسط محرك‌های متغیر، مانند نور و گرما در طراحی سایه‌انداز اشاره دارد. سیستم‌های سایه‌انداز دینامیکی می‌توانند عناصر خود را با توجه به حرکت خورشید تنظیم کنند. سایه پویایی فعال کاملاً به اتوماسیون متنکی است تا بتوانند این حرکات پاسخگو را بر اساس قوانین تعریف شده انجام دهند. بنابراین کاربرد آن‌ها شامل سه مؤلفه شبکه حسگر برای به دست‌آوردن داده‌ها، کنترل کننده برای تعیین یک عمل مناسب و چندین محرك مکانیکی است (ولیکوف و تون، ۲۰۱۳).

نقش سیستم کنترل (سنسورها و کنترل کننده) در فرآیند پویا دریافت داده‌های محیطی و سپس مدیریت و تعدیل سفارشات ارسال شده به عنوان سیگنال به محرك‌ها برای انجام حرکات طراحی شده است. علاوه بر معماری که مربوط به طراحی پوسته

1 Suspended particle devices (SPD)

2 Electrochromic devices (EC)

3 Liquid Crystal Devices (LCD)

4 Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)

سایه‌دار است، شکل هندسی آن به تنظیمات و حرکات احتمالی به نفع یک محیط داخلی راحت است. این بخش به طور جامع عمق یک سیستم متحرک را توصیف می‌کند که مجموع و پیچیدگی حرکات متقابل فردی موردنیاز برای تولید یک حرکت بزرگ را توصیف می‌کند (موغال، ۲۰۱۶). سیستم‌های متحرک، همان کانسپت نماهای پویا را دنبال می‌کنند و برای برآوردن بعضی از ویژگی‌های انرژی نمای ساختمان معرفی شده‌اند.

کتابخانه ملی لارنس برکلی<sup>۱</sup> در آمریکا، سیستم‌های سایه‌اندازی متحرک را به عنوان سیستم‌هایی که بارهای سرمایش و روشنایی ساختمان را کاهش می‌دهند، توصیف می‌شود. توسعه این سیستم‌ها، پاسخی به آگاهی رشدیافتنه از کاهش انرژی در ساختمان‌ها است. تطبیق‌بذری آنها، پتانسیلی را برای رسیدن به محیط با کارایی انرژی، افزایش آسایش می‌باشند و کیفیت محیط داخلی را به تعادل می‌رسانند مثل خبرگی کاهش یافته، دید به بیرون، امنیت، آسایش حرارتی و کیفیت هوا و افزایش رضایت و تولیدی کاربران (الدخلی و تابت اول، ۲۰۱۷). سیستم‌ها در پاسخ به محركات الکتریکی یا مکانیکی و شیمیایی حرکت می‌کنند. از طریق تاشدن، لغزشی، گسترش‌یافتن، کوچکشدن و تغییر فرم در سایه‌اندازهایی که وجود دارند. مکانیسم در سایه‌اندازهای پویا بستگی به مهندسی الکتریکی، مکانیکی و شیمیایی دارد که تاشوندگی، لغزشی، گسترش‌یافتن، کوچکشدن و تغییر فرم در آن رخ می‌دهند (الدخلی و تابت اول، ۲۰۱۷).

این مدل‌ها بر اساس پیچیدگی در طراحی جنبشی آن‌ها به راحتی به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

- مدل‌های سایه پویا معمولی با یک طراحی حرکت ساده مانند پرده‌های ونیزی، سایه‌اندازهای غلتکی و لوورها
- سیستم سایه‌انداز دینامیک جنبشی با مدل‌های خلاقانه‌تر و الگوهای حرکتی پیچیده مانند هندسه‌های پارامتری، اریگامی‌های تاشو و مدل‌های دیگر.

#### الف) طرح حرکت ساده (دستگاه سایه‌انداز پویا معمولی)

سیستم‌های دینامیکی متعارف با طراحی جنبشی ساده آن‌ها مشخص می‌شوند. اشكال هندسی آن‌ها ممکن است شامل یک عنصر متحرک مانند یک سایه‌انداز غلتکی با حرکت تک‌مسطح (سیستم سایه‌اندازی دو بعدی) یا یک دستگاه با چندین عنصر یکسان مانند پرده، تیغه‌های بلند و لوورهای دارای چرخش محوری (سیستم سایه‌بان سه بعدی) باشند. حالت چرخشی و تاشوندگی بسیار رایج هستند (تسپلیکوس و آتیاپیس، ۲۰۰۷).

#### ۱-۲-۲-۲-۱-۴- سیستم‌های سایه‌انداز چرخشی

این سیستم‌ها از شیشه، فلز، پارچه یا چوب ساخته شده‌است و طراحی شده‌است و طراحی شده‌است تا حول محور عمودی یا افقی، بسته به موقعیت المان‌ها بچرخدن. اجزا لامل شیشه‌ای از نور روز نسبت به سایر سیستم‌ها، استفاده بهتری دارد. حرکت چرخشی نماهای جنبشی، پاسخ‌های آهسته‌ای را در هر صفحه از نمای ساختمان ایجاد می‌کنند که از سروصدای حواس‌پرتی کاربران ساختمان در طول روز جلوگیری می‌کنند. در مطالعه‌ای، تأثیر لوورهای پویای خارجی با استراتژی‌های کم نور در یک ساختمان اداری در آب و هوای گرم و مرطوب در ابوظبی، امارات متحده عربی بررسی شده‌است. نتایج نشان داده است، لوورهای پویا با زاویه تمایل ۲۰ درجه برای جنوب، ۳۰ تا ۳۱ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی دارند. در حالی که با زاویه تمایل ۲۰ درجه برای جهت شرقی و غربی تا حد ۳۴,۰۲ و ۲۸,۵۷ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر به طور مشابه یک نمای دوپوسته با لوورهای سایه‌انداز یکپارچه متحرک مورد بررسی قرار گرفته است و نشان داده است که در طول کل سال، نمای پیشنهادی رفتار انرژی ساختمان را به طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد خصوصاً وقتی پیکربندی زمستانی اجرای در نظر گرفته شده است. میزان صرفه‌جویی انرژی گرمایشی و سرمایشی از ۴ نوع سیستم‌های متحرک نما، آویخته، تا شونده، لوور افقی و لوور عمودی توسط (هاونسانووات و کنسک، ۲۰۱۱)، در اقلیم گرم کالیفرنیا در آمریکا بررسی شده است و سایه‌اندازهای آویخته و افقی، بسیار بهینه نتیجه‌گیری شده است. به علاوه این سایه‌اندازها قادر به چرخش ۹۰ درجه بودند و میزان مصرف انرژی را تا ۳۳ درصد برای سرمایش و ۳۰ درصد برای گرمایش کاهش داده‌اند.

#### کاربرد مصالح سیستم‌های سایه‌انداز چرخشی

سایه‌اندازهای چرخشی از مواد مختلفی ساخته می‌شوند اما عمدها از ۱) لوورهای شیشه‌ای ۲) لوورهای فلزی ۳) لوورهای آلومینیوم آندازی شده، استفاده می‌کنند (الدخلی و تابت اول، ۲۰۱۷). (جدول ۱)

جدول ۱- سیستم‌های سایهانداز چرخشی (منبع: <https://www.coltinfo.co.uk/files/pdf/UK>)

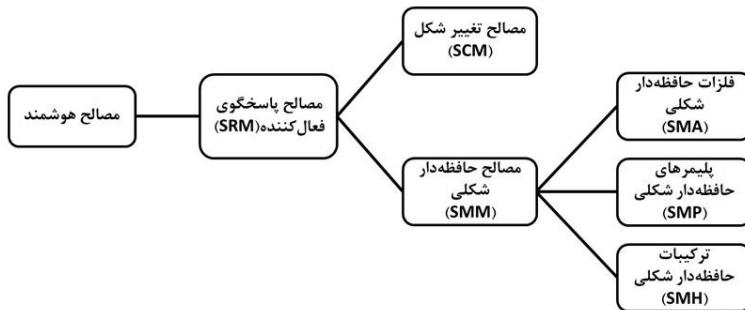
سیستم سایهانداز چرخشی			
نمونه موردی	مزایا	توصیف سیستم	مصالح
  مقر کمیسیون اروپا، بروسل	<ol style="list-style-type: none"> <li>۱) کاهش گرمای خورشیدی و بارهای سرمایش</li> <li>۲) کاهش مصرف انرژی اولیه ساختمان به ۵۰ درصد دید و منظر در دسترس</li> <li>۳) استفاده در ساختمان‌های مسکونی و خانه‌سازی اینبوه</li> </ol>	<p>نما با استفاده از سیستم‌های چرخشی شیشه‌ای بازسازی شده است و به تغییرات شدت نور و دما پاسخ می‌دهند. به علاوه شیشه کنترل شده خورشیدی با پوشش‌های بازتابش بالا است</p>	سیستم سایهانداز چرخشی شیشه‌ای
 فرودگاه زوریخ، سوئیس	<ol style="list-style-type: none"> <li>۱) کاهش در بار سرمایش و خیرگی</li> <li>۲) استفاده در ساختمان‌های مسکونی و خانه‌سازی اینبوه</li> </ol>	<p>- کاهش استفاده گستردگی شیشه در ناحیه بزرگ و جلوگیری از گرمای خورشیدی اضافی در ساختمان - اعمال سیستم در پاسخ به شرایط متغیر اقلیمی و نور روز در دسترس</p>	سیستم سایهانداز چرخشی فلزی
 دانشگاه پاتسدام، آلمان	<ol style="list-style-type: none"> <li>۱) پویا و متغیر طبق موقعیت آب و هوا</li> <li>۲) ظاهر زیبای متحرک برای ساختمان</li> <li>۳) کاهش در انرژی سرمایش و خیرگی</li> </ol>	<p>باز و بسته شدن کرکره‌های تاشونده عمودی مبنی بر موقعیت خورشید</p>	سیستم سایهانداز چرخشی آلومینیوم آنودایز شده

#### ۱-۴-۲-۲-۲- سیستم سایهانداز تاشونده

یک نوع مؤثر از سیستم‌های سایهانداز، سیستم تашو یا دستگاه سایهبان اوریگامی نامیده می‌شود. این نوع سایهانداز در چندین زمینه مهندسی، در سازه‌های قابل تنظیم مجدد استفاده شده است. در هنگام نصب آن‌ها دارای انواع مختلف حرکت حرکت گامند جایه‌جایی، چرخش و مقیاس هستند، در جایی که نیروهای خارجی لازم باشد. روندهای اینی در طراحی سایهاندازها، سعی در جایگزینی سیستم‌های مکانیکی سنتی با محرک‌های یکپارچه چندمنظوره و هوشمند داشته و وظیفه حرکت یا کنترل مکانیسم را بر عهده دارند. معمولاً سنسورها قادر به تغییر و فعل سازی یک محرک خارجی هستند و اطلاعات را به محرک منتقل می‌کنند که ساختار را با تغییر در یکی از خواص آن فراهم می‌کنند. استفاده از سایهانداز خورشیدی در ساختمان‌ها به معیارهای زیر بستگی دارد که برای شناسایی و تجزیه و تحلیل دقیق‌ترین و مناسب‌ترین مواد هوشمند در نظر گرفته شده‌اند: مقاومت در برابر خوردگی- دوام(چرخه عمر اثر حافظه شکلی / شکل هوشمند)- پاسخگویی محرک(تابش خورشیدی، دمای هوای بیرون، محرک برقی)- قابلیت کار(فرآیند و سازگاری)- حرکات قابل دستیابی- نیروی مؤثر

#### کاربرد مصالح در سیستم‌های سایهانداز تاشونده

به تازگی، هیچ دستگاه سایهبان خورشیدی وجود ندارد که به دلیل خواص و هزینه مواد کاملاً از مواد هوشمند ساخته شده باشد. بنابراین، هنوز از مواد هوشمند یا به عنوان حسگر یا به عنوان محرک استفاده می‌شود. انواع مواد هوشمند سیستم‌های سایهاندازی تашو (حسگرها یا محرک‌ها) در تصویر ۳ نشان داده شده است(فیوریتی و دیگران، ۲۰۱۶).



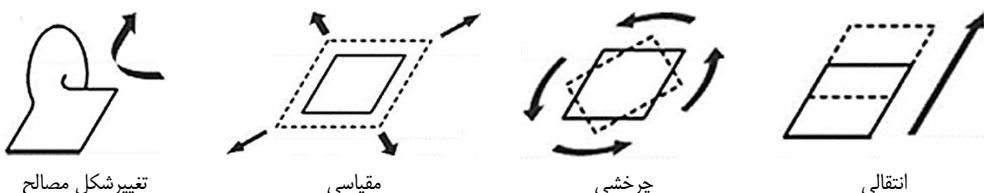
تصویر ۳- انواع صالح هوشمند برای سیستم‌های سایه‌انداز تاشونده (مأخذ: فیوریتی و دیگران، ۲۰۱۶)

#### ب) طرح حرکت پیچیده (دستگاه سایه‌بان دینامیک جنبشی)

این گروه شامل مدل‌های نواواره با پیدمان حرکت پیچیده و طراحی مکانیکی پیشرفتۀ مطابق قوانین سینتیک است که در فرهنگ لغت مریام و بستر<sup>۱</sup> به عنوان شاخه‌ای از مکانیک مربوط به تأثیر نیروها بر حرکت جسم یا سیستم اجسام تعریف شده‌است. به ویژه نیروهایی که از درون خود سیستم سرچشمۀ نمی‌گیرند. در زمینه فیزیک، سینتیک به رابطه‌ای احاطه‌ای می‌شود که گروهی از حرکت‌ها را تنظیم می‌کند. به طور خاص، به رابطه بین حرکات و منابع آن‌ها (نیروها و گشتاورها) اشاره دارد.

چهار حرکت جنبشی اولیه را می‌توان به شرح زیر متمایز کرد(تصویر<sup>۴</sup>) : (۱) حرکت انتقالی<sup>۲</sup> در جهت خطی صفحه‌ای، (۲) حرکت چرخشی<sup>۳</sup> حول یک محور (۳) حرکت مقیاس<sup>۴</sup> که جمع‌شدگی و گسترش یافتن اندازه یک مدول و (۴) تغییر شکل در شرایط صالح<sup>۵</sup>(مولونی، ۲۰۱۱).

حرکات متعدد فردی یک الگوی حرکت ایجاد می‌کند و یک طرح سیستم ممکن است در یک الگو محدود شود یا بین الگوهای بیشتر تغییر کند(مولونی، ۲۰۱۱). ادغام انواع مختلف حرکات می‌تواند منجر به حرکات پیچیده‌ای شود، مانند انتقالی، پیچشی یا چرخشی(مولونی ، ۲۰۰۹). در نتیجه منجر به ترکیبات غنی و متنوعی می‌شود. دستگاه‌های چندواحدی، که در آن مدل از واحدهای متعددی تشکیل شده‌است و هر واحد می‌تواند شامل عناصر متحرك منفرد یا چندگانه باشد و در آن، دو روش ترکیبی می‌تواند دنبال شود (۱) تکرار افقی یا عمودی عناصر، مانند پرده‌های ونیزی، لوورها (۲) همانندسازی بر اساس شبکه، که ممکن است از آرایه‌هایی از واحدهای تک‌عنصر مانند روکش فلزی جنبشی. (۳) از آرایه‌های واحدهای چند‌عنصر تشکیل شده باشد، مانند صفحه‌های اریگامی.



تصویر ۴- حرکات هندسی پایه در فضا(مأخذ: مولونی، ۲۰۱۱)

#### ۴-۲-۱-۴- ترکیب با سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر

#### ۴-۲-۱-۳- سیستم‌های ترکیب شده با فوتوفولتایک

ادغام مواد PV در سیستم‌های سایه‌اندازی در سال ۱۹۹۸ معرفی شد(یو و همکاران، ۱۹۹۸). ادغام تولید انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند به طرزی بسیار مؤثر در دستگاه‌های سایه‌اندازی به کار گرفته شود، که دو مزیت را با هم ترکیب می‌کند: سایه‌اندازی و تولید برق. تحقیقات مختلف در مورد ادغام PV در ساختمان به عنوان دستگاه‌های سایه‌انداز انجام شده است، نتایج نشان داده است که استفاده از سیستم‌های ترکیب شده با فوتوفولتایک<sup>۶</sup> به عنوان دستگاه‌های سایه‌انداز خارجی خورشیدی باعث تولید برق در محل می‌شود و بارهای خنک کننده را ۱۰ و ۹,۲ درصد در ساختمان کاهش می‌دهد(یو و همکاران، ۲۰۰۲). در مطالعه دیگری، نمونه اولیه یک دستگاه سایه‌انداز یکپارچه با PV روی لوورها ساخته و نظارت شد، جایی که هر لوور از یک سطح استاتیک شیشه‌ای و از سلول‌های خورشیدی دو سطحی سیلیکون کربستالی تشکیل شده‌بود. نتیجه نشان داد که بازده سلول‌های

1 Merriam-Webster's Dictionary

2 Translational motion

3 Rotational motion

4 Scaling motion

5 Deformation in material condition

6 Building integrated PV systems (BIPV)

فوتوولتاییک تا ۸۵ درصد بهبود یافته است و نتیجه بسیار خوبی برای کاربردهای نمای ساختمان دارد (الانسو و همکاران، ۲۰۰۲). سیستم‌های فوتوولتاییک یکپارچه می‌توانند در پوشش ساختمان مانند سقف، سایه پنجره‌ها، پنجره‌های نیمه شفاف و نما ادغام شوند. علاوه بر این، آنها می‌توانند استفاده از مصالح ساختمانی و هزینه برق، کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای تخریب‌کننده از نرا کاهش دهند (السید، ۲۰۱۶).

#### ۴-۳-۲-۱-۴- سایه‌اندازهای ترکیب‌شده با کلکتورهای خورشیدی

از کلکتورهای خورشیدی در ساختمان‌ها برای کاهش مصرف انرژی و انتشار کربن استفاده می‌شود (فروزنیک و همکاران، ۲۰۱۲). آنها معمولاً بر روی نمای ساختمان، سقف، بالکن، سایبان و فضاهای بیرونی نصب می‌شوند که به آنها سیستم‌های حرارتی خورشیدی یکپارچه ساختمان<sup>۱</sup> می‌گویند (پروسپت و دیگران، ۲۰۰۷). ادغام جمع‌کننده‌های خورشیدی با دستگاه‌های سایه‌اندازی بیرونی می‌تواند تاثیر خورشید را کاهش داده و در عین حال گرمای تولید کند. در مطالعه‌ای یک دستگاه سایه‌انداز با یک سیستم حرارتی خورشیدی برای گرمایش آب یکپارچه شده و سیستم را در ساختمان‌های در شرایط آب و هوایی متعدد و مدیترانه‌ای پرتابل و اسپانیا تجزیه و تحلیل کرده است (پالمر و همکاران، ۲۰۰۶). سایه‌اندازها انرژی منتقل شده را برای شیب ۱۵ درجه در سطح افقی ۷ درصد، برای شیب ۳۰ درجه ۱۲ درصد و برای شیب ۴۵ درجه ۱۷ درصد کاهش می‌دهند. برای حالت ایده‌آل، زاویه مطلوب ۲۵ درجه بود. دوره بازپرداخت ۶,۵ سال و در صرفه‌جویی اکسید کربن، ۸,۷ تن بود (همان).

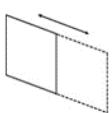
#### ۴-۳-۲-۳- سیستم‌های نمای جلبکی

سیستم‌های نمای جلبکها به منظور تولید گرما و الکتریسیته، جلبکهای ریز رشد می‌کنند و به عنوان عناصر روکش خارجی و دستگاه‌های سایه‌اندازی پویا مورد استفاده قرار می‌گیرند (کیم و همکاران، ۲۰۱۳). نمای دو پوسته به منظور محافظت از دیوارهای پرده‌ای در برابر نور خورشید ایجاد شده است. چندین فناوری نمای شفاف در ساختمان‌ها مانند واحد شیشه‌ای عایق (IGU) و دستگاه سایه‌اندازی (مانند فلز کشیده، سرامیک، فیلم معلق) در ساختمان‌ها معرفی شده است (ماروی و دیگران، ۲۰۱۷). استفاده از این فناوری‌ها در ساختمان‌ها برای محافظت در برابر افزایش گرمای بیش از حد و بهبود عملکرد ساختمان است. با این حال، این حاصل شود. مانند سیستم‌های حرارتی فتوولتاییک و کلکتورهای خورشیدی.

#### ۵- یافته‌ها

با توجه به الگوهای حرکتی مولونی که در بخش مبانی نظری اشاره شد، در جدول (۲) این الگوها با مکانیزم حرکتی، مزایا و معایب و نمونه استفاده شده بررسی شده است. در این جدول الگوهای انتقالی و چرخشی و حالت ترکیبی آنها یعنی تاشونده تحلیل شده است. این به دلیل استفاده رایج آنها در ساختمان‌ها می‌باشد. حالت‌های مقیاسی و تغییر شکل مصالح برای سایه‌اندازهای با مصالح هوشمند و تغییر شکل پذیر می‌باشد که به دلیل هزینه و خواص مواد، تاکنون هیچ سایه‌اندازی از این مصالح ساخته نشده است و بیشتر به عنوان سنسور یا محرك استفاده می‌شود.

جدول ۲- دسته بندی انواع سایه‌اندازهای با الگوی حرکت مولونی و ویژگی‌های آن‌ها (مأخذ: نگارندگان)

دیاگرام حرکت	نوع حرکت	سیستم مکانیزم	نمونه موردی استفاده شده عملی	مزایا	معایب
	انتقالی افقی (slide ) (parallel)			پوشش کامل پنجره برای سایه‌اندازی انتقالی برای جابه‌جایی	محدودیت در استفاده برای پنجره‌های لولایی وجود آستانه و تورفتگی پنجره و فریم‌های نمایان در نما برای عملکرد آن‌ها عدم امکان استفاده برای ساختمان‌های بلندمرتبه

معایب	مرايا	نمونه موردی استفاده شده عملی	سيستم مکانیزم	نوع حرکت	دیاگرام حرکت
مختص استفاده از پنجره‌های کشویی نیاز به فضای اضافی برای حرکت به سمت بالا عدم ایجاد سایه‌اندازی‌های متغیر به موقعیت خورشید	پوشش کامل پنجره برای سایه‌اندازی		غلتكی (Rolle shade) سيستم‌های طنابی	انتقالی عمودی slide ) (parallel	
وجود آستانه یا تورفتگی در بازشو تا بتواند داخل آن قرار بگیرد در ساختمان بلند لزوم وجود نمای دوپوسته برای قرارگرفتن داخل حفره یا سازه الحقی در بیرون از نمای شیشه‌ای	ایجاد سایه‌اندازی متغیر بسته به موقعیت خورشید		محوري	محور عمودی Swivel ) (alternately	
وجود آستانه یا تورفتگی در بازشو تا بتواند داخل آن قرار بگیرد وجود سازه الحقی به نمای اولیه	ایجاد سایه‌اندازی متغیر بسته به موقعیت خورشید		محوري	محور افقی Swivel ) (alternately	
عدم امکان ایجاد سایه‌اندازی متغیر بسته به موقعیت خورشید	امكان ایجاد انواع بازشو پنجره		هیدروليكي - توسط پیستون Only one	حالات آویخته چرخشی (Flap)	
عدم امکان دید به بیرون در هنگام بسته شدن نمایان بودن ریل ها موقع بازشدن سایه‌اندازها	امكان ایجاد انواع حرکت چرخشی و انتقالی مناسب برای انواع بازشو پنجره امكان نصب برای تمام نماهای شیشه‌ای و نماهای معمولی		لولایی و ریلی	حالات چرخشی و انتقالی عمودی (Fold)	
- عدم امکان استفاده برای انواع بازشوهاي پنجرهها به خصوص لولایي	امكان ایجاد انواع حرکت چرخشی و انتقالی امكان نصب برای تمام نماهای شیشه‌ای و نماهای معمولی		لولایی و ریلی	حالات چرخشی و انتقالی افقی (Fold)	

## ۶- نتیجه‌گیری

با توجه به بحران انرژی و استفاده از منابع انرژی ساختمان‌ها، تقاضای انرژی برای ساختمان‌ها تقریباً ۴۰٪ از کل انرژی اولیه مصرف شده در کشور را تشکیل می‌دهد. بخش قابل توجه این انرژی، برای مقابله کردن با هدر رفت یا دریافت انرژی از پوشش ساختمان می‌شود. از طرف دیگر با پیشرفت تکنولوژی، دیوارهای پرده‌ای در ساختمان‌ها به خصوص ساختمان‌های بلند مرتبه افزایش پیدا کرده‌اند و به دلیل افزایش هزینه‌های انرژی، ساختمان‌هایی که از ساختار دیوار پرده‌ای استفاده می‌کنند و با شبیهه درزگیری می‌شوند، دارای مقاومت حرارتی بالا می‌باشند. اما به دلیل این که نسبت بالای شیشه و مقاومت حرارتی ضعیف آن، به تابش خورشیدی اجازه نمود کند و موجب می‌شود بار انرژی آنها افزایش یابد. بنابراین لزوم کنترل دمای داخلی برای جلوگیری از ناراحتی حرارتی وجود دارد. سایه‌اندازها نقش مهمی در جهت بهبود کارایی انرژی در ساختمان‌ها دارند. رفتار انعطاف‌پذیر سیستم‌های سایه‌اندازی طبقی پذیر اجازه کنترل قوی بر دستاوردهای خورشیدی را در فضول مختلف می‌دهد. عملکرد محیطی سیستم‌های سایه‌اندازی شامل دو هدف اصلی است:

(۱) عملکرد بصری، که فقط در مورد جلوگیری از تابش خیره‌کننده و حفظ روشنایی کافی در محیط داخلی است و (۲) فراهم‌آوردن شرایط گرمایی قابل قبول با کنترل افزایش گرمای خورشید همراه با پرتوهای خورشید مستقیم و پراکنده. رفتار انطباقی برنامه‌های سایه‌اندازی پیشرفت‌های پویا، معیارهای سازگاری را ارتفا داده است. بنابراین، عملکرد سایه‌اندازی پویا باید با اثربخشی کنترل سطح نورخورشید، به ویژه در زوایای مختلف خورشید که روزانه و سالانه به یک ساختمان نفوذ می‌کنند، تعیین شود. به طور کلی سایه‌اندازها به سه دسته غیرفعال، فعل، هیبریدی یا ترکیبی تقسیم‌بندی می‌شوند. هر کدام از این سایه‌اندازها دارای انواع تقسیم‌بندی، ویژگی‌های به خصوص و مصالح طراحی ویژه می‌باشند. در این تحقیق با توجه به گسترده‌گی استفاده از سیستم‌های غیرفعال و فعل، این سیستم‌ها بررسی شده‌اند. و در نهایت با توجه به الگوهای حرکت بیان شده توسط مولونی، سه دست الگوی حرکتی، انتقالی، چرخشی و ترکیبی از این دو به دلیل سهولت اجرای آن‌ها تحلیل شده‌اند و مزایا و معایب آن‌ها در بازشوهای پنجراه‌های گوناگون بررسی شده‌اند.

## منابع

۱. احمدی، سوفیا؛ کردجمشیدی، ماریا. "بررسی عملکرد نماهای هوشمند در بهینه سازی مصرف انرژی." کنگره بین المللی معماری و شهرسازی معاصر پیشرو در کشور های اسلامی، ۱۳۹۷.
۲. تراز، معصومه؛ تقی زاده، کتابون؛ عزیزی قهرودی، مهرزاد. "تحلیل انرژی و میزان کارآمدی یک نمونه نمای متحرک در شهر تهران." نقش جهان- مطالعات نظری و فناوری های نوین معماری و شهرسازی، شماره ۲ (۱۳۹۴): ۵۴-۵۵.
۳. رزا زی، سمیرا؛ مظفری، فاطمه. "پوسته های سازگار و انطباق پذیر ساختمان با الگوپذیری از گیاهان در طبیعت." معماری سبز ۱۱، شماره ۴ (۱۳۹۷): ۵۰-۵۱.
۴. کرمی، نگار؛ زال ، محمدحسن؛ احمدزاده‌کریمی، مجید. "نمای متحرک(هوشمند)." کنفرانس بین المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران، ۱۳۹۷.
5. Kim, Yu-Min, Soo-Young Kim, Sung-Woo Shin, and Jang-Yeul Sohn. "Contribution of Natural Ventilation in a Double Skin Envelope to Heating Load Reduction in Winter." Building and Environment 44, no. 11 (2009/11/01/ 2009): 2236-44. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.02.013>.
6. Huo, Huiimin, Wei Xu, Angui Li, Yanjie Lv, and Changping Liu. "Analysis and Optimization of External Venetian Blind Shading for Nearly Zero-Energy Buildings in Different Climate Regions of China." Solar Energy 223 (2021): 54-71.
7. Al-Masrani, Salwa M, and Karam M Al-Obaidi. "Dynamic Shading Systems: A Review of Design Parameters, Platforms and Evaluation Strategies." Automation in construction 102 (2019): 195-216.
8. Borg, Simon Paul, Eve Farrugia, and Vincent Buhagiar. "A Comparative Study of the Energetic Performance of Climate Adaptive Facades Compared to Static Façade Design in a Mediterranean Climate.(۲۰۱۶)".
9. Al-Masrani, Salwa M, Karam M Al-Obaidi, Nor Azizah Zalin, and MI Aida Isma. "Design Optimisation of Solar Shading Systems for Tropical Office Buildings: Challenges and Future Trends." Solar Energy 170 (2018): 849-72.
10. O'Brien, William, Konstantinos Kapsis, and Andreas K Athienitis. "Manually-Operated Window Shade Patterns in Office Buildings: A Critical Review." Building and Environment 60 (2013): 319-38.
11. Chen, Xi, Hongxing Yang, and Lin Lu. "A Comprehensive Review on Passive Design Approaches in Green Building Rating Tools." Renewable and Sustainable Energy Reviews 50 (2015): 14-25.
12. Khoroshiltseva, Marina, Debora Slanzi, and Irene Poli. "A Pareto-Based Multi-Objective Optimization Algorithm to Design Energy-Efficient Shading Devices." Applied energy 184 (2016): 1400-10.

13. Eltawee, Ahmad, and SU Yuehong. "Parametric Design and Daylighting: A Literature Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73 (2017): 1086-103.
14. Yao, Jian, David Hou Chi Chow, and Yu-Wei Chi. "Impact of Manually Controlled Solar Shades on Indoor Visual Comfort." *Sustainability* 8, no. 8 (2016): 727.
15. Roux, Hannah Le. "Building on the Boundary—Modern Architecture in the Tropics." *Social Identities* 10, no. 4 (2004): 439-53.
16. Yao, Jian. "An Investigation into the Impact of Movable Solar Shades on Energy, Indoor Thermal and Visual Comfort Improvements." *Building and Environment* 71 (2014): 24-32.
17. Borgeson, Sam, and Gail Brager. "Occupant Control of Windows: Accounting for Human Behavior in Building Simulation.(۲۰۰۸) ".
18. Al Dakheel, Joud, and Kheira Tabet Aoul. "Building Applications, Opportunities and Challenges of Active Shading Systems: A State-of-the-Art Review." *Energies* 10, no. 10 (2017): 1672.
19. Lee, Eleanor, and Stephen Selkowitz. High Performance Building Facade Solutions-Pier Final Project Report. Lawrence Berkeley National Lab.(LBNL), Berkeley, CA (United States) (2009).
20. Selkowitz, S, and E Lee. "Field Testing of Dynamic Façade Controls in Highly Glazed Buildings for Energy Efficiency and Comfort." Paper presented at the GLASS PROCESSING DAYS, 2005.
21. Velikov, Kathy, and Geoffrey Thün. "Responsive Building Envelopes: Characteristics and Evolving Paradigms." Trubiano, F., *Design and Construction of High Performance Homes* (2013): 75-92.
22. Mughal, Asif Mahmood. "Introduction to Control Systems." In *Real Time Modeling, Simulation and Control of Dynamical Systems*, 143-5 :Springer, 2016.
23. Tzempelikos, Athanassios, Andreas K Athienitis, and Panagiota Karava. "Simulation of Façade and Envelope Design Options for a New Institutional Building." *Solar Energy* 81, no. 9 (2007): 1088-103.
24. Kensek, Karen, and Ryan Hansanuwat. "Environment Control Systems for Sustainable Design: A Methodology for Testing, Simulating and Comparing Kinetic Façade Systems." *Journal of Creative Sustainable Architecture & Built Environment* 1, no. 11 (2011): 27.
25. Fiorito, Francesco, Michele Sauchelli, Diego Arroyo, Marco Pesenti, Marco Imperadori, Gabriele Masera, and Gianluca Ranzi. "Shape Morphing Solar Shadings: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 55 (2016): 863-84.
26. Moloney, J., 2011. *Designing Kinetics for Architectural Facades: State Change*. Taylor & Francis
27. Moloney, J., 2009. *A Morphology of Pattern for Kinetic Facades*. University of Melbourne, Melbourne School of design
28. Yoo, Seung-Ho, Eun-Tack Lee, and Jong-Keuk Lee. "Building Integrated Photovoltaics: A Korean Case Study." *Solar energy* 64, no. 4-6 (1998): 151-61.
29. Yoo, Seung-Ho, and Eun-Tack Lee. "Efficiency Characteristic of Building Integrated Photovoltaics as a Shading Device." *Building and Environment* 37, no. 6 (2002): 615-23
30. Alonso, J, V Diaz, M Hernandez, F Bercero, C Canizo, I Pou, R Mohedano, et al. "A New Static Concentrator Pv Module with Bifacial Cells for Integration on Facades: The Pv Venetian Store." Paper presented at the Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2002., 2002.
31. ElSayed, MS. "Optimizing Thermal Performance of Building-Integrated Photovoltaics for Upgrading Informal Urbanization." *Energy and Buildings* 116 (2016): 232-48.
32. Probst, MariaCristina Munari, and Christian Roecker. "Towards an Improved Architectural Quality of Building Integrated Solar Thermal Systems (Bist)." *Solar energy* 81, no. 9 (2007): 1104-16.]
33. Palmero-Marrero, Ana I, and Armando C Oliveira. "Evaluation of a Solar Thermal System Using Building Louvre Shading Devices." *Solar energy* 80, no. 5 (2006): 545-54.
34. Kim, Kyoung-Hee. "Beyond Green: Growing Algae Façade." Paper presented at the ARCC Conference Repository, 2013.
35. Maroy, Katrien, Kim Carbonez, Marijke Steeman, and Nathan Van Den Bossche. "Assessing the Thermal Performance of Insulating Glass Units with Infrared Thermography: Potential and Limitations." *Energy and Buildings* 138 (2017): 175-92.