فصلنامه معماری سبز
سال هشتم، شماره ۱ (پیاپی: ۲۸)، بهار ۱۴۰۱، جلد یک
ISSN:2476-5368

بررسی نقش سیستم‌های سایه‌اندازی تطبیق‌پذیر در مصرف انرژی و مکانیزم حرکتی آن‌ها*

سمیرا جعفری تبریزی[۱]، فرزین حق‌پرست[۲]*، آیدا ملکی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲
کد مقاله: ۴۶۵۰۰

چکـیده

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 نه‌تنها به عنوان عنصر فعال سیستم ساختمان بلکه به عنوان فیلتر محیط‌زیستی تعریف‌شده 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 بوده‌است. همچنین انواع مکانیزم‌های حرکتی در سایه‌بان‌های متحرک بررسی شده‌است تا مزایا و معایب هرکدام 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 بوده‌است و نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که نماهای تلفیقی در میزان بهره‌وری انرژی، نقش موثرتری ایفا می‌کنند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

واژگـان کلـیدی: 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 فراهم‌کردن 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 :۲۳۶). 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 بار سرمایش داخلی را تا ۳۰ درصد کاهش دهد و بسیار مؤثرتر 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 قابل‌قبول 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 نماها مطرح می‌شود. رفتار انطباقی برنامه‌های سایه‌اندازی پیشرفته مانند سیستم‌های پویا، معیارهای سازگاری را ارتقا داده‌است. 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(المسرانی و همکاران،۲۰۱۹).

رفتار انعطاف‌پذیر 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 هوا، نور طبیعی قابل انتشار و قابل تنظیم روشنایی روز را تداوم می‌بخشد. با این حال، بارهای گرمایش و سرمایش، متفاوت خواهدبود. 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 بیش‌ازحد نور خورشید به طور کلی ممکن است به بار سرمایشی زیاد منجر شود. در آب و هوای سرد و معتدل ثابت شده‌است که بارهای خنک‌کننده غالباً بیشتر از بارهای گرمایشی است، در حالی که نور خورشید می‌تواند به طور مثبت در گرم‌شدن غیرفعال در زمستان نقش داشته‌باشد. بنابراین، در آب و هوای متوسط یا سرد، سایه‌اندازی پویا می‌تواند به میزان قابل‌توجهی در کاهش انرژی بیش از حد و خنک‌کننده در تابستان کمک کند.(پرولر و بورگ، ۲۰۱۶). از طرف دیگر سایه‌اندازهای فعال 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 گونه ها را تحلیل کرده و سپس مکانیزم‌های حرکتی سیستم‌های فعال را با ذکر انواع نمونه‌های موردی به کار رفته بررسی می‌شود و همچنین مطالعاتی که در زمینه به کارگیری این سیستم‌ها و تأثیر آنها بر مصرف انرژی انجام شده‌است، 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 می‌بردند. در معماری مدرن، حرکت از این استراتژی از سال ۱۹۷۰ با بحران انرژی نقض شد و موجب ایجاد راه‌حل‌های جدید برای استراتژی‌های طراحی غیرفعال شد. سایه‌اندازهای غیرفعال به سه دسته سایه‌اندازهای داخلی و خارجی و میانی دسته‌بندی می‌شوند که از این میان سایه‌اندازهای خارجی ثابت به عنوان راه‌حل 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 فعال برای رفع این محدودیت‌ها و بهبود پوشش ساختمان‌ها در جهت بهینه‌کردن شرایط آسایش داخلی ضروری می‌باشد. این سایه‌اندازها با استفاده از سیستم شیشه‌های هوشمند، سیستم‌های کنترل و سنسورها و از طریق کاربرد سایه‌اندازهای پویای 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 شده‌است.(۲۹)

تراز، معصومه؛ تقی زا، کتایون؛ عزیزی قهرودی، مهرزاد؛(۱۳۹۴) پژوهش خود را با موضوع تحلیل انرژی و میزان کارآمدی یک نمونه نمای متحرک در شهر تهران پرداخته‌است. این پژوهش با استفاده از روش تجربی همراه با بهره‌گیری از شبیه‌سازی و مدل‌سازی در نرم‌افزارهایی مانند راینو و افزونه 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 کارگرفته‌شد. نتیجه به دست‌آمده مؤید این مطلب است که با استفاده از این سیستم مدولار در نمای ساختمان، امکان کنترل هوشمند نور ورودی به داخل ساختمان بر اساس تغییر فصول و صرفه‌جویی در میزان بهره‌وری انرژی امکان‌پذیر است. رزازی، سمیرا؛ مظفری، فاطمه؛(۱۳۹۷) در مقاله پوسته‌های سازگار و انطباق‌پذیر ساختمان با الگوپذیری از گیاهان در طبیعت، راه‌حل‌هایی بین سازگاری زیست‌شناختی و معماری مطرح می‌نماید و هدف یافتن راهکاری جهت ایجاد نوآوری در طراحی نمای ساختمان‌هاست. این پژوهش مروری است بر تحقیقات انجام‌شده بر اساس تئوری‌ها، مفاهیم، موضوعات و جمع‌آوری اطلاعات از گیاهان سازگار و نقشه و برنامه‌هایی برای هدایت این اصول به منظور استفاده در طرح‌های معماری است. سوفیا احمدی ، ماریا کردجمشیدی (۱۳۹۷)، مقاله بررسی عملکرد نماهای هوشمند در بهینه‌سازی مصرف انرژی در پی بررسی آن است تا با مروری بر نماهای متداولی که هریک به گونه‌ای هوشمند شده‌اند و بررسی مکانیزم‌های رفتاری آنها، دریابیم که هر راهکار تا چه اندازه در کاهش مصرف انرژی و پاسخگویی به فاکتورهای محیطی در شرایط متغیر کمک‌کننده است. کرمی،نگار؛زال ، محمد حسن ؛احمدنژاد کریمی ،مجید(۱۳۹۷) در مقاله نمای متحرک(هوشمند)، به بررسی مزایا و معایب نماهای متحرک هوشمند پرداخته شده و همچنین انواع زمینه‌های کاربردی این نماها که در ۴ دسته : نمای هوشمند متحرک و کنترل دما، نمای متحرک هوشمند و کنترل روشنایی و دید، نمای متحرک هوشمند و تهویه طبیعی و نمای متحرک هوشمند و تولید انرژی تقسیم‌بندی شده‌اند.

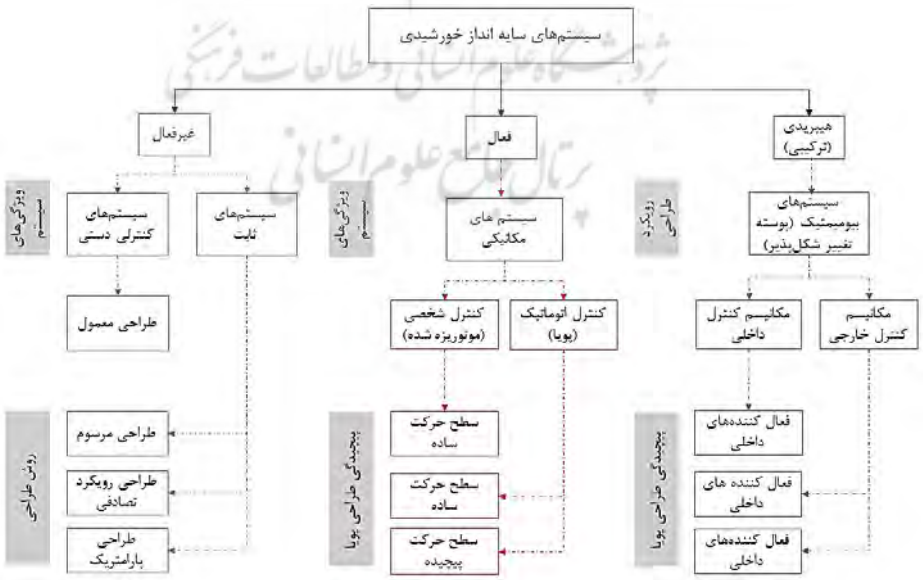
۴- مبانی نظری

۴-۱- کنترل تابش خورشیدی از طریق سایه‌اندازها

به طور کلی انواع مختلفی از سیستم سایه‌انداز خورشیدی را می‌توان در گروه‌ها و فناوری‌های مختلفی طبقه‌بندی کرد. گروه اول شامل سیستم‌های قابل حمل است که توسط کاربر هدایت می‌شود. گروه دوم شامل سیستم‌های قابل جابه‌جایی است که به طور خودکار در پاسخ به شرایط فضای باز یا محیط داخلی قرار می‌گیرند. این سیستم‌ها، فناوری‌ها و اتوماسیون فعال مانند سیستم‌های هوشمند پویا را اتخاذ می‌کنند. این گروه می‌تواند بیشتر بر اساس اقتدار کاربر در فرآیند پاسخ به چندین شکل مختلف تقسیم شود. مانند سیستم‌های پاسخگو که به تغییرات بیرونی واکنش نشان می‌دهند و کاربر را نادیده می‌گیرند. حالت دیگر سیستم‌های تعاملی که اجازه دخالت کاربر را می‌دهند. گروه سوم شامل سیستم‌های متحرک است که در آن‌ها پوسته از مواد تغییرپذیری ساخته می‌شود که اغلب در اثر فعال‌سازی توسط محرک‌های مختلف از جمله گرما، نور و میدان مغناطیسی، تحول برگشت‌پذیری را نشان می‌دهند(المسرانی و همکاران، ۲۰۱۸).

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

۱. سیستم‌های منفعل و بدون نیاز انرژی (ارائه شده توسط دستگاه‌های ثابت و دستی قابل تنظیم)
۲. سیستم‌های فعال (ارائه شده توسط دستگاه‌های مکانیکی که به انرژی فعال تکیه می‌کنند)
۳. سیستم‌های ترکیبی که بر اساس رویکردهای بیومیمتیکی می‌باشند و از سیستم‌های بیولوژیکی طبیعی و ویژگی‌های ذاتی مواد هوشمند آن استفاده می‌کنند، حاصل شده‌است(همان، ۲۰۱۸).



تصویر ۱- طبقه‌بندی سیستم‌های سایه‌اندازی خورشیدی (مأخذ: المسرانی و همکاران، ۲۰۱۸)

۴-۱-۱- 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(المسرانی و همکاران، ۲۰۱۸).

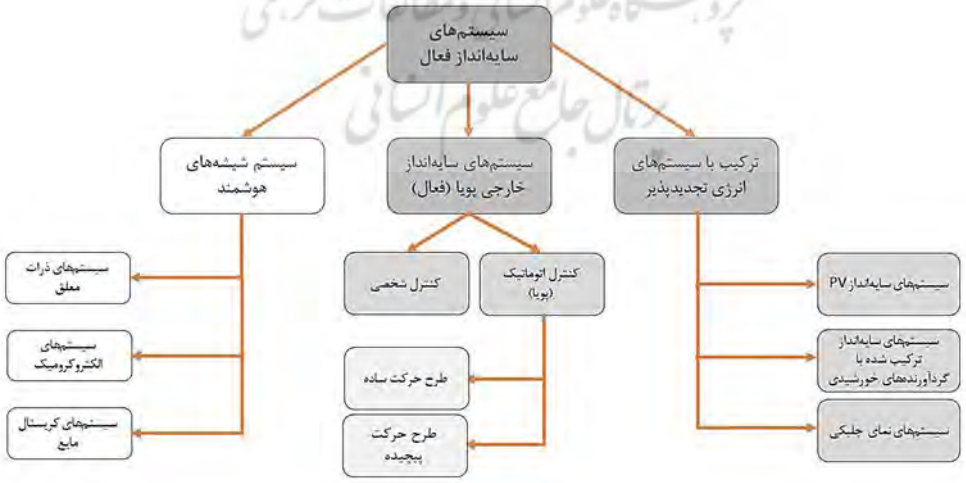
الف- سایه‌اندازهای ثابت: به دلیل هندسه، مصالح و ویژگی‌های بصری می‌توانند تابش خورشید را کمتر کنند و می‌توانند مقادیر متناسب نورپخش‌شده را به داخل هدایت کنند(اوبراین و همکاران، ۲۰۱۳). بر اساس روش طراحی به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- روش معمول: فرم‌های ساده طراحی را می‌پذیرند و مبتنی بر روش تک متغیره بهینه می‌شوند. مانند سایه‌انداز آویخته افقی، لوورهای افقی، لوورهای عمودی، صفحات خورشیدی و پوسته‌های مشبک(چن و همکاران، ۲۰۱۵).
- روش تصادفی: نوع سایه‌انداز از طریق الگوهای تعیین‌شده به صورت رندوم توسعه می‌یابد. توسط روش‌های چندهدفه مبتنی بر الگوریتم‌های جستجو مثل الگوریتم‌های ژنتیک پیش‌بینی می‌شود(خوروشیلتسوا 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 پارامتری‌کردن در روند طراحی، می‌تواند نقش مهمی در تولید نماهای پاسخگوی اقلیمی داشته‌باشد. این طراحی از ریاضیات منشأ می‌گیرد و از متغیرها و پارامترها استفاده می‌کند و بر نتیجه معادله تأثیر می‌گذارد(التاویل و یوهونگ، ۲۰۱۷).

ب- سایه‌اندازهای قابل‌تنظیم 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(اوبراین 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 لوکوربوزیه در اوایل سال ۱۹۳۳ در پروژه‌ای که اجرا نشد، ارائه شد. با این حال، آن‌ها برای اولین بار در ۱۹۳۶-۱۹۴۳ در ساختمان وزارت آموزش و پرورش در ریودوژانیرو اجرا شدند. این طرح نمای یک جعبه تخم‌مرغ با لوورهای 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(بورجسن و براگر، ۲۰۰۸).

۴-۱-۲- 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 تابت، ۲۰۱۷)

۴-۱-۲-۱- سیستم شیشه‌های هوشمند

پنجره‌ها با مشخصات نوری پویا، حالتی از سایه‌اندازی ساختمان هستند. شیشه‌های هوشمند که همچنین پنجره‌های هوشمند نیز نامیده می‌شوند؛ شیشه‌ای می‌باشند 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(الداخیل و تابت اول، ۲۰۱۷). فناوری های شیشه هوشمند شامل سیستم‌های ذرات معلق[1]، سیستم‌های الکتروکرومیک[2] و سیستم‌های کریستال مایع[3] است. به علاوه شیشه‌های هوشمند از ۹۹,۴ درصد از نور فرابنفش جلوگیری می‌کنند(همان).

- هنگامی که ولتاژ اعمال می‌شود برای کنترل میزان نور، تابش خیره کننده و حرارت عبوری، SPDها به سرعت از حالت آبی مایل به سیاه به یک ظاهر خاکستری روشن 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 می‌کند(سوتیل، ۲۰۰۲).(۲۲۳) EC ها کنترل پویا و پاسخگو را ارائه می‌دهند که به شرایط در حال تغییر خارجی پاسخ می‌دهد و گذردهی قابل مشاهده را کنترل می‌کند، 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(لی و همکاران، ۲۰۱۵) (۲۲۴).
- کریستال‌های مایع در پلیمر مایع حل می‌شوند و به نوبه خود جامد می‌شوند. کریستال‌های مایع به‌طور 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).

۴-۱-۲-۲- 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[4] 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(لی، ۲۰۰۹). 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 سرنشینان را ارائه می‌دهد. به علاوه هزینه انرژی و تاثیرات زیست محیطی را به حداقل می‌رساند(سلکوویتز و لی، ۲۰۰۵). این سیستم‌ها در پاسخ به محرک‌های مکانیکی، شیمیایی یا الکتریکی حرکت می‌کنند که در آن‌ها دستگاه‌های سایه‌زنی چین‌خوردگی، لغزش ، انبساط ، کوچک شدن و تغییر شکل می دهند (همان).

۴-۱-۲-۲-۱- سیستم‌های سایه‌انداز کنترل‌شده شخصی(موتوری)

در این گروه سطح پیشرفته‌ای از سیستم‌های سایه‌بان تنظیم‌شده دستی وجود دارد که در آن محرک‌های 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.

۴-۱-۲-۲-۲- 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 اشاره‌شده توسط محرک‌های 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 پویای فعال کاملاً به اتوماسیون متکی است تا بتوانند این حرکات پاسخگو را بر اساس قوانین تعریف‌شده انجام دهند. بنابراین کاربرد آن‌ها شامل سه مؤلفه شبکه حسگر برای به دست‌آوردن داده‌ها، کنترل‌کننده برای تعیین یک عمل مناسب و چندین محرک مکانیکی است(ولیکوف و تون، ۲۰۱۳).

نقش سیستم کنترل (سنسورها و کنترل‌کننده) در فرآیند پویا دریافت داده‌های محیطی و سپس مدیریت و تعدیل سفارشات ارسال‌شده به عنوان سیگنال به محرک‌ها برای انجام حرکات طراحی‌شده‌است. 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[1] 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 رشدیافته از کاهش انرژی در ساختمان‌ها است. تطبیق‌پذیری آنها، پتانسیلی را برای رسیدن به محیط با کارایی انرژی، افزایش آسایش می‌باشند و کیفیت محیط داخلی را به تعادل می‌رسانند مثل خیرگی کاهش یافته، دید به بیرون، امنیت، آسایش حرارتی و کیفیت هوا و افزایش رضایت و تولیدی کاربران(الدخیل و تابت اول، ۲۰۱۷). سیستم‌ها در پاسخ به محرکات 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 (الدخیل 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. اشکال هندسی آن‌ها ممکن است شامل یک عنصر متحرک مانند یک سایه‌انداز غلتکی با حرکت تک‌مسطح (سیستم سایه‌اندازی دوبعدی) یا یک دستگاه با چندین عنصر یکسان مانند پرده، تیغه‌های بلند و لوورهای دارای چرخش محوری(سیستم سایه‌بان سه‌بعدی) باشند. حالت چرخشی و تاشوندگی بسیار رایج هستند (تسپلیکوس و آتینایتیس، ۲۰۰۷).

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

این سیستم‌ها از شیشه، فلز، پارچه یا چوب ساخته شده‌است و طراحی شده‌اند تا حول محور عمودی یا افقی، بسته به موقعیت المان‌ها بچرخند. 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 سروصدا یا حواس‌پرتی کاربران ساختمان در طول روز جلوگیری می‌کنند. در مطالعه‌ای، تأثیر لوورهای پویای خارجی با استراتژی‌های کم نور در یک ساختمان اداری در آب وهوای گرم و مرطوب در ابوظبی، امارات متحده عربی بررسی شده‌است. نتایج نشان داده‌است، لوورهای پویا با زاویه تمایل ۲۰ درجه برای جنوب، ۳۰ تا ۳۱ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی دارند. درحالی 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 گرفته‌است و نشان داده‌است که در طول کل سال، نمای پیشنهادی رفتار انرژی ساختمان را به طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد خصوصا وقتی پیکربندی زمستانی اجباری در نظر گرفته‌شده‌است .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 شده‌است و سایه‌اندازهای آویخته و افقی، بسیار بهینه نتیجه‌گیری شده‌است. 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 عمدتاً از ۱) لوورهای شیشه‌ای ۲) لوورهای فلزی ۳) لوورهای آلومینیوم آنودایزشده، استفاده می‌کنند(الدخیل و تابت اول، ۲۰۱۷).(جدول ۱)

1Lawrence Berkeley

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

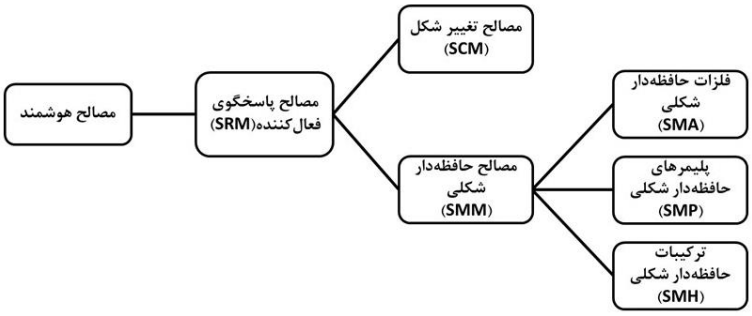
سیستم سایه‌انداز چرخشی			
مصالح	توصیف سیستم	مزایا	نمونه موردی
سیستم سایه‌انداز چرخشی شیشه‌ای	نما با استفاده از سیستم‌های چرخشی شیشه‌ای بازسازی شده‌است و به تغییرات شدت نور و دما پاسخ می‌دهند. به علاوه شیشه کنترل‌شده خورشیدی با پوشش‌های بازتابش بالا است	۱) کاهش گرمای خورشیدی و بارهای سرمایش ۲) کاهش مصرف انرژی اولیه ساختمان به ۵۰ درصد دید و منظر در دسترس ۳) استفاده در ساختمان‌های مسکونی و خانه‌سازی انبوه	 مقر کمیسیون اروپا، بروسل
سیستم سایه‌انداز چرخشی فلزی	- کاهش استفاده گسترده 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	۱) کاهش در بار سرمایش و خیرگی ۲) استفاده در ساختمان‌های مسکونی و خانه‌سازی انبوه	 فرودگاه زوریخ، سوئیس
سیستم سایه‌انداز چرخشی آلومینیوم آنودایز شده	باز و بسته شدن کرکره‌های تاشونده عمودی مبنی بر موقعیت خورشید	۱) پویا و متغیر طبق موقعیت آب و هوا ۲) ظاهر زیبای متحرک برای ساختمان ۳) کاهش در انرژی سرمایش و خیرگی	 دانشگاه پاتسدام، آلمان

۴-۱-۲-۲-۲-۲- سیستم سایه‌انداز تاشونده

یک نوع مؤثر از سیستم‌های سایه‌انداز ، سیستم تاشو یا دستگاه سایه‌بان اوریگامی نامیده می‌شود. این نوع سایه‌انداز در چندین زمینه مهندسی، در سازه‌های قابل تنظیم مجدد استفاده شده‌است. در هنگام نصب آن‌ها دارای انواع مختلف حرکت مانند جابه‌جایی، چرخش و مقیاس هستند، در جایی که نیروهای خارجی لازم باشد. روندهای اخیر 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 فعال‌سازی 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 شده‌باشد. بنابراین، هنوز از مواد هوشمند یا به عنوان حسگر یا به عنوان محرک استفاده می‌شود. انواع مواد هوشمند سیستم‌های سایه‌اندازی تاشو (حسگرها یا محرک‌ها) در تصویر ۳ نشان داده‌شده‌است(فیوریتی و دیگران، ۲۰۱۶).



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

ب) طرح حرکت پیچیده (دستگاه سایه‌بان دینامیک جنبشی)

این گروه شامل مدل‌های نوآورانه با چیدمان حرکت پیچیده و طراحی مکانیکی پیشرفته مطابق قوانین سینتیک است که در فرهنگ لغت مریام وبستر[1] 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 سرچشمه نمی‌گیرند. در زمینه فیزیک، سینتیک به رابطه‌ای اطلاق می‌شود که گروهی از حرکت‌ها را تنظیم می‌کند. به طورخاص، به رابطه بین حرکات و منابع آن‌ها (نیروها و گشتاورها) اشاره دارد.

چهار حرکت جنبشی اولیه را می‌توان به شرح زیر متمایز کرد(تصویر۴) : (۱) حرکت انتقالی[2] در جهت خطی صفحه‌ای، (۲) حرکت چرخشی[3] حول یک محور (۳) حرکت مقیاس[4] که جمع‌شدگی و گسترش‌یافتن اندازه یک مدول و (۴) تغییر شکل در شرایط مصالح[5] (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 متغیر می‌شود. دستگاه‌های چندواحدی، که در آن مدل از واحدهای متعددی تشکیل شده‌است و هر واحد می‌تواند شامل عناصر متحرک 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 چند عنصر تشکیل شده‌باشد، مانند صفحه‌های اریگامی.

تصویر ٤- حرکات هندسی پایه در فضا(مأخذ: مولونی، ۲۰۱۱)

۴-۱-۲-۳- ترکیب با سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر

۴-۱-۲-۳-۱- سیستم‌های ترکیب شده با فوتوولتاییک

ادغام مواد PV در سیستم های سایه‌اندازی در سال ۱۹۹۸ معرفی شد(یو و همکاران، ۱۹۹۸). ادغام تولید انرژی های تجدیدپذیر می‌تواند به طرزی بسیار مؤثر در دستگاه‌های سایه‌اندازی به کار گرفته‌شود، که دو مزیت را با هم ترکیب می‌کند: سایه‌اندازی و تولید برق. تحقیقات مختلف در مورد ادغام PV در ساختمان به عنوان سایه‌انداز انجام شده است، نتایج نشان داده‌است که استفاده از سیستم‌های ترکیب‌شده با فوتوولتاییک[6] 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 کریستالی 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 یافته‌است و نتیجه بسیار خوبی برای کاربردهای نمای ساختمان دارد (الانسو و همکاران، ۲۰۰۲). سیستم‌های فوتوولتاییک یکپارچه می‌توانند در پوشش ساختمان مانند سقف، سایه پنجره ها، 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 ازن را کاهش دهند(السید، ۲۰۱۶).

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

از کلکتورهای خورشیدی در ساختمان‌ها برای کاهش مصرف انرژی و انتشار کربن استفاده می‌شود(فرونزیک 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[1] می‌گویند(پروبست و دیگران، ۲۰۰۷). ادغام جمع‌کننده‌های خورشیدی با دستگاه‌های سایه‌اندازی بیرونی می‌تواند تابش خورشید را کاهش داده و در عین حال گرما 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 معتدل و مدیترانه‌ای پرتغال و اسپانیا تجزیه و تحلیل کرده‌است(پالمرو 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 می‌دهد. برای حالت ایده‌آل، زاویه مطلوب ۲۵ درجه بود. دوره بازپرداخت ۶٫۵ سال و در صرفه‌جویی اکسید کربن، ۸٫۶ تن بود(همان).

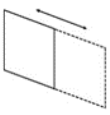
۴-۱-۲-۳-۳- سیستم‌های نمای جلبکی

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 شده‌است. چندین فناوری نمای شفاف در ساختمان‌ها مانند واحد شیشه‌ای عایق (IGU) و دستگاه سایه‌اندازی(مانند فلز کشیده، سرامیک، فیلم معلق) در ساختمان‌ها معرفی شده‌است(ماروی و دیگران، ۲۰۱۷). استفاده از این فناوری ها در ساختمان‌ها برای محافظت در برابر افزایش گرمای بیش از حد و بهبود عملکرد ساختمان است. با این حال، این فناوری‌ها برای دستیابی به ساختمان با کارایی بالا کافی نیست. برای انجام این کار ، تولید انرژی باید از ادغام این فناوری ها حاصل شود .مانند سیستم های حرارتی فتوولتائیک و کلکتورهای خورشیدی.

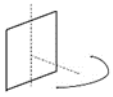
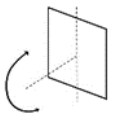
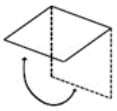
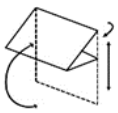
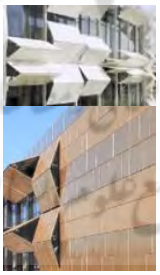
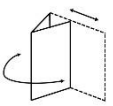
۵- یافته ها

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 شده‌است. در این جدول الگوهای انتقالی و چرخشی و حالت ترکیبی آنها یعنی تاشونده تحلیل شده‌است. 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 نشده‌است و بیشتر به عنوان سنسور یا محرک استفاده می‌شود.

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

دیاگرام حرکت	نوع حرکت	سیستم مکانیزم	نمونه موردی استفاده شده عملی	مزایا	معایب
	انتقالی افقی slide) (parallel	کشویی و ریلی		پوشش کامل پنجره برای سایه‌اندازی انعطاف‌پذیری 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

1 Building-integrated solar thermal (BIST) systems

دیاگرام حرکت	نوع حرکت	سیستم مکانیزم	نمونه موردی استفاده شده عملی	مزایا	معایب
	انتقالی عمودی slide) (parallel	غلتکی (Rolle shade) سیستم‌های طنابی		پوشش کامل پنجره برای سایه‌اندازی	مختص استفاده از پنجره‌های کشویی نیاز به فضای اضافی برای حرکت به سمت بالا عدم ایجاد سایه‌اندازی‌های متغیر به موقعیت خورشید
	چرخش حول محور عمودی Swivel) (alternately	محوری		ایجاد سایه‌اندازی متغیر بسته به موقعیت خورشید	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 الحاقی در بیرون از نمای شیشه‌ای
	چرخش حول محور افقی Swivel) (alternately	محوری		ایجاد سایه‌اندازی متغیر بسته به موقعیت خورشید	وجود آستانه یا تورفتگی در بازشو تا بتواند داخل آن قرار بگیرد وجود سازه الحاقی به نمای اولیه
	حالت آویخته چرخشی (Flap)	هیدرولیکی – توسط پیستون		امکان ایجاد انواع بازشو پنجره	عدم امکان ایجاد سایه‌اندازی متغیر بسته به موقعیت خورشید
	حالت چرخشی و انتقالی عمودی (Fold)	لولایی و ریلی		امکان ایجاد انواع حرکت چرخشی و انتقالی مناسب برای انواع بازشو پنجره امکان نصب برای نماهای تمام شیشه‌ای و نماهای معمولی	عدم امکان دید به بیرون در هنگام بسته شدن نمایان بودن ریل ها موقع بازشدن سایه‌اندازها
	حالت چرخشی و انتقالی افقی (Fold)	لولایی و ریلی		امکان ایجاد انواع حرکت چرخشی و انتقالی امکان نصب برای نماهای تمام شیشه‌ای و نماهای معمولی	- عدم امکان استفاده برای انواع بازشوهای پنجره‌ها به خصوص لولایی

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به بحران انرژی و استفاده از منابع انرژی تجدیدناپذیر در تأمین انرژی ساختمان‌ها، تقاضای انرژی برای ساختمان‌ها تقریباً ۴۰٪ از کل انرژی اولیه مصرف‌شده در کشور را تشکیل می‌دهد. بخش قابل‌توجه این انرژی، برای مقابله‌کردن با هدررفت یا دریافت انرژی از پوشش ساختمان می‌شود. از طرف دیگر با پیشرفت تکنولوژی، دیوارهای پرده‌ای در ساختمان‌ها به خصوص ساختمان‌های بلندمرتبه افزایش پیدا کرده‌اند و 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 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 تطبیق‌پذیر اجازه کنترل قوی بر دستاوردهای خورشیدی را در فصول 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) فراهم-آوردن شرایط گرمایی قابل‌قبول با کنترل افزایش گرمای خورشید همراه با پرتوهای خورشید مستقیم و پراکنده. رفتار انطباقی برنامه‌های سایه‌اندازی پیشرفته مانند سیستم‌های پویا، معیارهای سازگاری را ارتقا داده‌است. 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، فعال، هیبریدی یا ترکیبی تقسیم‌بندی می‌شوند. هرکدام از این سایه‌اندازها دارای انواع تقسیم‌بندی، ویژگی‌های به خصوص و مصالح طراحی ویژه می‌باشند. در این تحقیق با توجه به گستردگی استفاده از سیستم‌های غیرفعال و فعال، 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 پنجره‌های 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، کتایون؛ عزیزی قهرودی، مهرزاد. "تحلیلِ 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): ۵۵-۶۴

۳. رزازی، سمیرا؛ مظفری، فاطمه. "پوسته های سازگار و انطباق پذیر ساختمان با الگوپذیری از گیاهان در طبیعت." معماری سبز ۱۱، شماره ۴ (۱۳۹۷): ۱-۲۰

۴. کرمی، نگار؛ زال ، محمدحسن؛ احمدنژادکریمی، 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, Huimin, 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 Facade 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. Eltaweel, 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 :۹Springer, 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 Facade 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 Facade." 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.