

بررسی نقش و عملکرد سیستم‌های سایه انداز در جهت بهینه سازی نور طبیعی در فضاهای آموزشی

تاریخ دریافت مقاله :

۱۴۰۳/۱۱/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله :

۱۴۰۴/۰۱/۰۴

محمد صابر حیدری^۱محمد رضا بمانیان^۲ (نویسنده مسئول)امیر شیردل^۳مهرانه شاکریان^۴

چکیده

نور روز به عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی در طراحی فضاهای آموزشی، تأثیر مستقیمی بر یادگیری کاربران، آسایش و بهره‌وری انرژی نیز دارد. استفاده از سیستم‌های سایه‌انداز بهینه می‌تواند کیفیت محیط‌های داخلی را از طریق بهبود توزیع نور، کاهش خیرگی و ارتقای آسایش بصری و حرارتی افزایش دهد. با وجود تحقیقات متعدد در حوزه نور روز، توجه کافی به نقش سیستم‌های سایه‌انداز تطبیقی و پویای خاص فضاهای آموزشی، به ویژه در کلاس‌های درس، نشده است. این پژوهش با هدف تحلیل جامع عملکرد سیستم‌های سایه‌انداز در بهبود کیفیت نور روز در تلاش است با ارائه راهکارهای عملی بهینه ترین حالت های ممکن جهت بهره گیری از نور روز را مشخص نماید تا معماران معاصر در طراحی فضاهای آموزشی از این راهبردها بهره گیرند. این پژوهش از لحاظ ماهیت کیفی است که نگارندگان با رویکرد توصیفی-تحلیلی و مرور جامع ادبیات پژوهش، تحقیق را آغاز، و با بررسی داده‌های نظری و مطالعات موردی موفقیت‌آمیز در استفاده از سیستم‌های سایه‌انداز در داخل و خارج از کشور به نتایج حاصل شده دست یافته‌اند. نتایج تحقیق گویای آن است که سیستم‌های سایه‌انداز اعم از ثابت، متحرک و پویا با کاهش وابستگی به نور مصنوعی، بهبود توزیع نور و کاهش مصرف انرژی، کیفیت یادگیری و آسایش کاربران را افزایش می‌دهند. همچنین، سیستم‌های سایه‌انداز پیشرفته می‌توانند راهکاری مؤثر برای ایجاد محیط‌های آموزشی پایدار و هوشمند باشند که موجب بهبود کیفیت فضایی می‌شوند. این پژوهش با ارائه راهبردهایی عملی در طراحی سیستم‌های سایه‌انداز، گامی در جهت ارتقای معماری پایدار و بهره‌برداری هوشمندانه از نور طبیعی در فضاهای آموزشی، برداشته است، لازم بذکر است بهره گیری از سیستم های سایه انداز و تکنولوژی‌های وابسته به آن، معماران را در هت رسیدن به فضاهای آموزشی پایدار و دوست دار محیط زیست، نزدیک می‌کند.

کلمات کلیدی: نور روز، سایه انداز، بهینه سازی مصرف انرژی، خیرگی، بهره‌وری انرژی، فضاهای آموزشی.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۲. استاد تمام، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. (پست الکترونیک: bemanian@modares.ac.ir)

۳. پژوهشگر معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

۴. دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشکده عمران، معماری و شهرسازی، دانشگاه سجاد، مشهد، ایران.

۱- مقدمه:

نور روز (Daylighting) یکی از محورهای اساسی در طراحی محیط‌های آموزشی است که تأثیر عمیقی بر رفاه، عملکرد شناختی و بهره‌وری دانش‌آموزان دارد. تلفیق نور طبیعی با طراحی معماری کلاس‌های درس، مزایایی از جمله بهبود خلق‌وخو، افزایش بهره‌وری ذهنی و کاهش وابستگی به نور مصنوعی را به همراه دارد. با این حال، دستیابی به شرایط بهینه نور روز چالشی چندبعدی محسوب می‌شود که شامل مقابله با مشکلاتی نظیر خیرگی، نابرابری توزیع نور و ناراحتی‌های حرارتی است. این پژوهش به بررسی نقش کلیدی سیستم‌های سایه‌انداز در ارتقای عملکرد نور روز می‌پردازد و تأثیر آن‌ها را بر بهبود کیفیت محیط داخلی و کارایی انرژی مورد تحلیل قرار می‌دهد.

ضرورت پرداختن به بهینه‌سازی نور روز در فضاهای آموزشی از تأثیر مستقیم آن بر کیفیت آموزشی و کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی نشأت می‌گیرد. اتکای بیش از حد بر روشنایی مصنوعی در بسیاری از مدارس و دانشگاه‌ها نه تنها مصرف انرژی را افزایش می‌دهد بلکه کیفیت تجربه کاربری دانش‌آموزان را نیز کاهش می‌دهد. طراحی نامناسب سیستم‌های نور روز می‌تواند به ایجاد شرایطی منجر شود که مانع تمرکز و یادگیری دانش‌آموزان باشد. در این میان، سیستم‌های سایه‌انداز به عنوان ابزاری استراتژیک در طراحی معماری مطرح می‌شوند که با مدیریت هوشمندانه نور طبیعی می‌توانند چالش‌هایی نظیر خیرگی و افزایش دمای داخلی را به طور مؤثر رفع کنند. با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در پژوهش‌های مرتبط با نور روز، هنوز شکاف‌های قابل توجهی در ادبیات علمی پیرامون کاربردهای اختصاصی سیستم‌های سایه‌انداز در کلاس‌های درس وجود دارد. بسیاری از مطالعات موجود بر راهبردهای عمومی متمرکز هستند و به نیازهای خاص فضاهای آموزشی از جمله جهت‌گیری بنا، الزامات برنامه‌های درسی، چیدمان فضا و نیاز به تطبیق‌پذیری نوری توجه کافی نکرده‌اند. این مقاله با ارائه تحلیلی جامع از این سیستم‌ها، تلاش دارد تا این شکاف علمی را پر کند و نیازهای خاص آموزشی را در طراحی سیستم‌های سایه‌انداز مد نظر قرار دهد. نوآوری اصلی این پژوهش در اتخاذ رویکردی چندوجهی است که دیدگاه‌های نظری و عملی را برای ارزیابی جامع عملکرد سیستم‌های سایه‌انداز تلفیق می‌کند. با استفاده از تحلیل میان‌رشته‌ای و بررسی کاربردهای عملی در محیط‌های واقعی، این مطالعه به شناسایی راهبردهایی نوین می‌پردازد که مزایای نور روز را به حداکثر رسانده و اثرات منفی آن را به حداقل می‌رساند. اهداف این تحقیق شامل برجسته‌سازی مزایای سیستم‌های سایه‌انداز تطبیقی و ارائه رهنمودهایی عملی برای اجرای موفقیت‌آمیز آن‌ها در طراحی کلاس‌های درس است.

ساختار این مقاله شامل بخش‌های مختلفی است که هر یک به بررسی جنبه‌ای از موضوع می‌پردازند. ابتدا در مقدمه به اهمیت نور روز و تأثیر آن بر یادگیری و بهره‌وری انرژی در کلاس‌های درس پرداخته شده است. سپس در بخش پیشینه پژوهش، مطالعات مرتبط با سیستم‌های سایه‌انداز و معیارهای بهینه‌سازی نور روز مرور می‌شوند. بخش مبانی نظری موضوع، مفاهیم اساسی مانند شاخص‌های نور روز و نقش سیستم‌های سایه‌انداز در مدیریت نور را توضیح می‌دهد. در ادامه، انواع سیستم‌های سایه‌انداز از جمله ثابت، متحرک و پویا تحلیل شده و ویژگی‌های هر یک بررسی می‌شود. روش تحقیق با رویکرد توصیفی-تحلیلی به مرور منابع علمی و بررسی مطالعات موردی اختصاص دارد. در نهایت، یافته‌ها و نتایج به نقش کلیدی سایه‌اندازهای پویا در بهبود توزیع نور، کاهش خیرگی و ارتقای بهره‌وری انرژی اشاره کرده و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده ارائه می‌شود.

۲- پرسش‌ها یا فرضیات پژوهش:

در این پژوهش پرسش‌های زیر قابل تعریف است:

نور روز چه تأثیری بر عملکرد انسان نیز دارد؟

راهکارهای عملی در جهت بهینه سازی نور روز در فضاهای آموزشی چیست؟

سیستم‌های نوین سایه اندازی چگونه می‌توانند در بهینه سازی مصرف انرژی موثر باشند؟

۳-پیشینه تحقیق:

پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که نور روز و سیستم‌های سایه‌انداز از موضوعات مورد توجه در معماری پایدار و طراحی فضاهای آموزشی بوده‌اند. مطالعات پیشین به بررسی انواع سایه‌اندازها از جمله ثابت، متحرک و پویا پرداخته‌اند و نقش آن‌ها را در بهبود توزیع نور، کاهش خیرگی، و افزایش بهره‌وری انرژی تحلیل کرده‌اند. همچنین، تحقیقات متعددی به بررسی پارامترهایی مانند زاویه و فاصله تیغه‌ها، ویژگی‌های شیشه، و سیستم‌های کنترل روشنایی اختصاص داشته است. یافته‌ها نشان می‌دهد که سیستم‌های سایه‌انداز پویا و تطبیقی عملکرد بهتری در بهینه‌سازی شرایط نوری و انرژی دارند و می‌توانند به ارتقای کیفیت یادگیری و آسایش کاربران کمک کنند. با این حال، شکاف‌هایی در زمینه بررسی جامع این سیستم‌ها در فضاهای آموزشی، به‌ویژه کلاس‌های درس، وجود دارد که این مطالعه تلاش دارد آن‌ها را پوشش دهد.

جدول ۱-بررسی پیشینه پژوهش، منبع: گردآوری شده و تحلیل توسط نگارندگان.

موضوع	منبع (نویسنده)	خلاصه و یافته پژوهش
سایه انداز ثابت	Balador and Gjerde	عملکرد دستگاه‌های سایه‌بان مختلف را از نظر آسایش بصری در یک ساختمان آموزشی تحلیل کرد. متغیرها شامل فاصله بین تیغه‌ها، موقعیت آن‌ها نسبت به سطح زمین و مواد استفاده‌شده بودند. لوورها در کاهش مصرف انرژی سرمایشی عملکرد مناسبی داشتند.
سایه انداز متحرک و تطبیقی	Kunwar et al. (2019)	ایجاد تعادل میان نور روز، آسایش بصری و مصرف انرژی برای کاربران به دلیل طبیعت ناپایدار و انتظارات متفاوت کاربران چالش‌برانگیز است. دستگاه‌های سایه‌بان تطبیقی می‌توانند این تعادل را برقرار کنند.
	Bazazzadeh et al. (2021)	مطالعه‌ای توسط Bazazzadeh و همکاران در مورد معماری Daylightophil نشان داد که از نظر بهره‌وری انرژی، آسایش بصری و کارایی، دستگاه‌های سایه‌بان تطبیقی در مقایسه با سایه‌بان‌های غیرتطبیقی عملکرد بهتری دارند. این تحقیق شبیه‌سازی‌های مختلفی انجام داد و نتایج را در فصول و بازه‌های زمانی مختلف مقایسه کرد.
زاویه و فاصله تیغه‌ها	Versa et al. (2017)	بهینه‌سازی سیستم‌های بازشو پیچیده غیرتطبیقی (CFS) بر اساس پارامترهایی مانند زاویه تیغه و فاصله بین لوورها پرداخت. نتایج نشان دادند که بهینه‌سازی برای آسایش بصری باعث کاهش انتقال نور روز می‌شود تا نیازها را برآورده کند و در نتیجه، به زاویه‌های پایین‌تر تیغه منجر می‌شود.
	Meresi (2016)	ادغام دستگاه‌های سایه‌بان با قفسه‌های نوری پرداخت و هدف اصلی آن تعیین زاویه تیغه‌های سایه‌بان بود. دستگاه‌های سایه‌بان خارجی و تطبیقی برای جلوگیری از گرمای بیش از حد و انطباق با تغییرات آب‌وهوا و نیازهای کاربران مورد بررسی قرار گرفتند.
ویژگی های ترکیبی سایه بان ها	Bayram and Kazanasmaz (2016)	طراحی روشنایی یک ساختمان آموزشی را با تمرکز بر بهره‌وری انرژی بررسی کرد. نتایج نشان داد استفاده از سایه‌بان‌های با زاویه تیغه ۶۰° و ۷۵° برای جلوگیری از نور مستقیم خورشید بهترین گزینه است، چرا که این دستگاه‌ها علاوه بر تامین آسایش بصری، بیشتر دید را مسدود می‌کنند. به همین دلیل، پیشنهاد می‌شود از سیستم‌های خودکار با حسگرهای نور روز برای بهینه‌سازی نتایج بدون مسدود کردن دید استفاده شود.
پیکربندی نما	Alwi et al. (2022)	ساختمان‌های مدرسه با کنترل اقلیمی می‌توانند هم یادگیری دانش‌آموزان را بهبود دهند و هم مصرف انرژی روشنایی و گرمایش-سرمایش را کاهش دهند. نتایج نشان داد که افزایش عمق سایبان‌ها و کاهش نسبت شیشه به دیوار (WWR) به ۳۰٪، جذب انرژی خورشیدی را ۶٪ کاهش داده و آسایش دانش‌آموزان را در کلاس‌ها بهبود می‌بخشد.
ویژگی شیشه و نما	Singh et al. (2024)	این مطالعه WWR، ASR و انواع شیشه را برای طراحی سایه‌بان‌های غلظتی کم‌مصرف در نماهای شیشه‌ای دفاتر بررسی کرد. ضریب مصرف انرژی در نماهای شرق-جنوب و شمال متغیر بود،

سیستم‌های کنترل	دستگاه سایه بان	Bazazzadeh et al. (2021)	دستگاه‌های سایه‌بان ثابت و دینامیک را برای نفوذ نور روز و آسایش بصری مقایسه کرد. سایه‌بان دینامیک با سیستم کنترل مبتنی بر حرکت خورشید عملکرد بهتری داشت و نشان داد که این رویکرد برای بهینه‌سازی آسایش حرارتی و بصری در محیط‌های مختلف قابل اجرا است.
	کنترل روشنایی مصنوعی	Kaminska and Ozadowicz (2018)	بر ارزیابی صرفه‌جویی انرژی در مراحل اولیه طراحی الگوریتم‌های کنترل روشنایی متمرکز بود. سیستم کنترلی مبتنی بر روشنایی نور روز و رابطه بین روشنایی خارجی و داخلی، کاهش قابل توجهی در مصرف انرژی روشنایی نشان داد.
	کنترل یکپارچه	Shen et al. (2014)	یک مدل دینامیک ایجاد کرد که هفت استراتژی کنترلی شامل سیستم‌های دستی، خودکار، و یکپارچه را بررسی کرد. این سناریوها از نظر بارهای روشنایی، گرمایش، سرمایش، و آسایش بصری ارزیابی شدند.
اهداف عملکردی	نور روز	Ingabo et al. (2021)	دستگاه‌های سایه‌بان افقی خارجی را در اقلیم گرمسیری برای کاهش نور روز شمالی بررسی کرد. با تمرکز بر بازشوهای جنوبی، صرفه‌جویی انرژی تیغه‌های افقی تطبیقی در نمای شمالی نیز ارزیابی شد، با توجه به اینکه این دستگاه‌ها در عرض‌های جغرافیایی بالاتر کمتر مطالعه شده‌اند.
	آسایش بصری	Nabil and Mardaljevic (2005)	شاخص UDI برای ارزیابی روشنایی سالانه در محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس در سطح کار معرفی شد. این شاخص بر اساس ترجیحات کاربران و دستگاه‌های سایه‌بان پاسخگو طراحی شده است.
	انرژی روشنایی	Uribe et al. (2019)	ترکیب sDA و DGP را برای ارزیابی آسایش بصری در چهار اقلیم مختلف بررسی کرد. برای نمای جنوبی، روش "کنترل مسدودکننده" یکی از بهینه‌ترین روش‌ها بود، در حالی که دستگاه‌های سایه‌بان غیرتطبیقی با زاویه تیغه ۶۰° برای نمای غربی عملکرد بهتری داشتند.
	معیارهای یکپارچه عملکرد	Balali and Valipour (2019)	مطالعه استراتژی‌های طراحی غیرفعال برای کاهش مصرف انرژی روشنایی و گرمایش را بررسی کرد. نتایج گروه‌بندی‌شده از مصاحبه با کاربران و مرور منابع، راه‌حل‌های غیرفعال برای طراحی مراکز بهداشتی ارائه داد. هدف کاهش مصرف انرژی و افزایش پایداری بود.
	معیارهای یکپارچه عملکرد	Elzeyadi and Abboushi (2019)	برای ارزیابی عملکرد روشنایی در کلاس‌های درس، معیارهای نور روز و آسایش بصری یکپارچه شدند. معیارهایی مانند روشنایی میانگین، sDA، DF، و DGI به‌کار گرفته شدند. نتایج نشان داد سطح روشنایی اندازه‌گیری‌شده از مقادیر شبیه‌سازی‌شده نور روز بیشتر بود.
	معیارهای یکپارچه عملکرد	Esquivias et al. (2016)	تأثیر دستگاه‌های سایه‌بان بر نور روز در دفاتر باز را با استفاده از معیارهای DA، DF، و UDI بررسی کرد. DA نشان‌دهنده درصد زمانی است که نور روز از حداقل آستانه فراتر می‌رود، و UDI مشخص می‌کند که سطح نور روز برای کاربران مفید است. روش‌های CBDM برای پیش‌بینی این اهداف عملکردی به‌کار گرفته شدند.

۴-روش تحقیق:

این پژوهش از لحاظ ماهیت کیفی است که به شیوه توصیفی-تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته است، در گام اول و با بهره‌گیری از مرور جامع منابع علمی اعم از مقالات و کتب علمی (داخلی و خارجی) در سایت‌های گوناگون، کلیدواژه‌هایی همچون نور روز، بهینه‌سازی مصرف انرژی، مدارس پایدار، فضاهای آموزشی، سایه‌انداز، سیستم‌های سایه‌انداز و غیره مورد جست و جو قرار گرفتند که بیش از ۱۰۰ منبع معتبر نیز یافته شد، در گام بعدی، داده‌های نظری مرتبط با نور روز و سیستم‌های سایه‌انداز در طراحی کلاس‌های درس مورد تحلیل قرار گرفت. که نگارندگان پژوهش حاضر با تمرکز بر ارزیابی مطالعات موردی موفق، استانداردهای طراحی، و تحلیل عملکرد انواع سیستم‌های سایه‌انداز، سعی در ارائه راهکارهای عملی برای بهینه‌سازی شرایط نوری و انرژی در فضاهای آموزشی داشته‌اند. انتخاب این روش به منظور ایجاد

ارتباطی میان یافته‌های نظری و کاربردهای عملی در طراحی معماری پایدار صورت گرفته است، تا راهبردهای معرفی شده، راهکاری در جهت رسیدن به فضاهای آموزشی پایدار باشد.

۵- چارچوب نظری پژوهش:

۵-۱- نور روز:

نور روز در معماری به بهره‌گیری هدفمند و سیستماتیک از نور طبیعی برای ارتقای کیفیت فضایی، پایداری انرژی، و افزایش زیبایی‌شناختی محیط‌های ساخته‌شده اشاره دارد. برخلاف روش‌های سنتی نورپردازی که به شدت به نور مصنوعی وابسته هستند، این رویکرد تلاش می‌کند تا از مزایای نور طبیعی، مانند کاهش هزینه‌های انرژی و ایجاد محیط‌های سالم‌تر، بهره‌برداری کند و تأثیرات منفی آن مانند تابش بیش از حد یا افزایش دما را کاهش دهد. این مفهوم، یکی از اصول بنیادی طراحی پایدار به شمار می‌آید که با بهبود راحتی بصری و کاهش مصرف انرژی، تأثیرات قابل‌توجهی بر رفاه کاربران دارد. به‌ویژه، استفاده از سیستم‌های مدیریت هوشمند نور طبیعی در ترکیب با منابع نور مصنوعی، شرایط نوری بهینه‌ای را برای کاربران فراهم می‌کند و کارایی انرژی را افزایش می‌دهد (Yu and Su, 2015).

طراحی معماری فرایندی پیچیده است که نیازمند یکپارچه‌سازی ساختمان، نیازهای کاربران، و شرایط محیطی است (Golabchi et al., 2016; Gharouni Jafari et al., 2020). این فرایند، به دلیل نقش کلیدی آن در ایجاد ساختمان‌های پایدار که نیازهای کاربران را برآورده می‌سازند، اهمیت ویژه‌ای دارد. در مورد ساختمان‌های آموزشی، طراحی مناسب می‌تواند تأثیر مستقیمی بر توانایی‌های یادگیری و بهره‌وری دانش‌آموزان داشته باشد (Noorzai and Bakmohammadi, 2020). مدارس باید به گونه‌ای طراحی شوند که هم نیازهای عملکردی معلمان و دانش‌آموزان را برآورده سازند و هم با کمترین مصرف انرژی ممکن، محیطی کارآمد ایجاد کنند (Zhang et al., 2017; Lee et al., 2017). ادغام نور طبیعی در طراحی معماری، علاوه بر کاهش استرس‌های روانی و فیزیولوژیکی، به خلق محیط‌هایی سالم‌تر و پویاتر کمک می‌کند (Pellegrino, 2015). مدیریت صحیح نور طبیعی در فضاها مستلزم شناخت دقیق تغییرات زمانی و طیفی آن است که می‌تواند بر کیفیت روشنایی در طول روز اثرگذار باشد. بهینه‌سازی روشنایی طبیعی برای هر کاربرد خاص، نیازمند تحلیل پارامترهایی همچون عملکرد موردنظر و الزامات فضایی است (Fernandez and Omar, 2023). در عین حال، چالش‌هایی مانند تابش خیره‌کننده و افزایش بیش‌ازحد دما ممکن است در صورت عدم کنترل مناسب ایجاد شود (Ismail, 2024).

بسیاری از ساختمان‌های عمومی و مدارس قدیمی از سیستم‌های نورپردازی غیربهینه مانند پنجره‌ها و نورگیرهایی با هدایت حرارتی بالا و عایق‌کاری ضعیف برخوردارند (Altomonte, 2008; Pinilla et al., 2016). نور طبیعی نه‌تنها به بهبود سلامت و تنظیم ریتم شبانه‌روزی کمک می‌کند، بلکه تأثیر بسزایی بر یادگیری و هوشیاری دانش‌آموزان دارد (Kaymaz, 2018). تحقیقات نشان داده است که کیفیت نور در کلاس‌های درس به طور مستقیم بر عملکرد یادگیری دانش‌آموزان و کیفیت تدریس معلمان اثرگذار است (Kruger and Zannin, 2004). با این حال، مصرف بالای انرژی در بسیاری از این ساختمان‌ها و نیاز به مقاوم‌سازی، چالش‌های قابل‌توجهی ایجاد کرده است (De Santoli, 2014). همچنین، تفاوت در نیازهای نوری معلمان و دانش‌آموزان بر اهمیت استفاده از سیستم‌های نورپردازی تطبیقی تأکید دارد (Ma'bdeh & Al-Khatatbeh, 2019). تحقیقات گسترده‌ای تأیید کرده‌اند که نور طبیعی تأثیرات عمیقی بر جنبه‌های بصری، روان‌شناختی و جسمی کاربران دارد (Edwards and Torcellini, 2002). با این حال، عدم وجود چارچوب‌های جامع برای ارزیابی دقیق اثرات نور روز، نیاز به تبادل دانش میان‌رشته‌ای را آشکار می‌سازد (Fernandez

(and Omar, 2023). تلفیق دانش در حوزه‌های مختلف می‌تواند ضمن ارتقای طراحی معماری، بهبود رفاه و کارایی کاربران را تضمین کند.

طراحی معماری مدارس باید با هدف بهره‌برداری هوشمندانه از نور طبیعی و کاهش اثرات منفی آن انجام شود. این اثرات منفی شامل تابش خیره‌کننده که ممکن است تمرکز دانش‌آموزان را مختل کند، افزایش دمای داخلی که می‌تواند منجر به ناراحتی حرارتی شود، و توزیع نامتعادل نور که باعث ایجاد سایه‌های مزاحم در فضا می‌شود، هستند. استفاده از رویکردهای معماری پایدار و به‌کارگیری استراتژی‌های مدیریت نور روز می‌تواند به افزایش بهره‌وری فضایی، کاهش مصرف انرژی و ارتقای کیفیت محیط‌های آموزشی کمک کند. توجه به این عوامل، مدارس را به محیط‌هایی تبدیل می‌کند که نه تنها از فرآیندهای یادگیری پشتیبانی می‌کنند، بلکه سلامت و رفاه کاربران را نیز ارتقا می‌بخشند.

۵-۲- استانداردهای نور روز:

عملکرد نور روز داخلی معمولاً با استفاده از شبیه‌سازی نرم‌افزاری و محاسبه مجموعه‌ای از شاخص‌ها ارزیابی می‌شود، مانند:

جدول ۲: استانداردها و شاخص‌های نور روز، منبع: نگارندگان.

شاخص	تعریف و ویژگی
روشنایی نور روز (Daylight Illuminance - DI)	DI متداول‌ترین معیار عملکرد نور روز است که میزان روشنایی نور روز در روشن کردن محیط داخلی را نشان می‌دهد. واحد DI لوکس (lx) است. سطح روشنایی توصیه‌شده بسته به کاربرد هر محیط متفاوت است: • بیش از ۵۰۰ لوکس برای یک دفتر کار پیشنهاد می‌شود. • محدوده ۲۰۰ تا ۵۰۰ لوکس برای کلاس‌های درس توصیه شده است.
ضریب نور روز (Daylight Factor - DF)	DF به‌عنوان نسبت روشنایی نور روز در یک نقطه داخلی به روشنایی همان نقطه در فضای باز تحت شرایط آسمان تعریف می‌شود. DF یک روش سنتی برای ارزیابی روشنایی نور روز در داخل ساختمان است و به دلیل سادگی، اغلب استفاده می‌شود. تأثیر نور مستقیم خورشید در این روش نادیده گرفته می‌شود.
ضریب نور روز (Daylight Coefficient - DC)	DC به‌عنوان یک روش کاربردی‌تر نسبت به DF توسعه داده شده است. DC تغییرات دینامیک در روشنایی عناصر آسمان را تحت شرایط مختلف آسمان و موقعیت‌های خورشید در نظر می‌گیرد. محاسبات این روش زمان‌بر و پیچیده است.
خودمختاری نور روز (Daylight Autonomy - DA)	DA که به‌عنوان یک معیار دینامیک نور روز نیز شناخته می‌شود، بر اساس آب‌وهوای منطقه و به‌صورت درصد ساعات روزانه سال تعریف می‌شود که در آن تنها با نور روز، یک آستانه روشنایی مشخص به دست می‌آید.
نوردهی سالانه خورشید (Annual Sun Exposure - ASE)	میزان خودکفایی سالانه محیط داخلی را از نظر مقدار نور روز دریافت‌شده نشان می‌دهد. این شاخص، نسبت فضایی از محیط تحلیل‌شده را نشان می‌دهد که حداقل روشنایی دریافت‌شده برای فعالیت موردنظر در ساعات کاری یک سال را تأمین می‌کند.

۵-۳- نقش سایه‌اندازها در بهبود عملکرد نور روز:

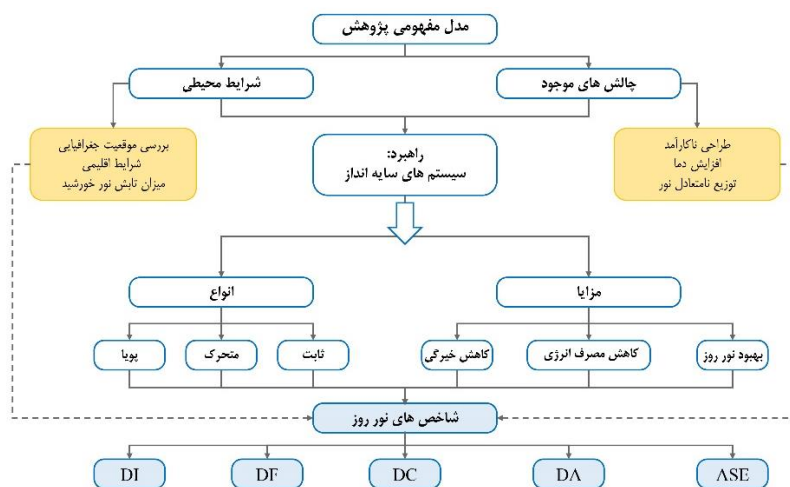
سیستم‌های سایه‌بان به‌عنوان ابزارهای حیاتی در مدیریت نور روز، نقشی فراتر از کنترل تابش خورشید دارند. این سیستم‌ها با کاهش تابش خیره‌کننده، بهبود توزیع نور طبیعی، و مدیریت حرارتی فضا، کیفیت محیط‌های داخلی را به میزان قابل توجهی ارتقا می‌دهند. در معماری پایدار، سایه‌بان‌ها به کاهش مصرف انرژی و بهبود آسایش بصری و حرارتی کاربران کمک می‌کنند. سایه‌بان‌های پویا، که قابلیت تنظیم بر اساس شرایط نوری متغیر را دارند، بهره‌وری انرژی و کیفیت روشنایی را به حداکثر می‌رسانند. کلاس‌های درس به‌عنوان محیط‌های یادگیری، نیازمند شرایط نوری متعادل و مطلوب هستند که همسو با اصول پایداری و بهره‌وری انرژی باشد.

سیستم‌های سایه‌بان در انواع مختلفی طراحی می‌شوند که هر کدام ویژگی‌ها و کاربردهای خاص خود را دارند. این انواع شامل سایه‌بان‌های ثابت، متحرک، و پویا می‌شوند. سایه‌بان‌های ثابت شامل سایبان‌ها، کرکره‌های ثابت، و لوورهای از پیش طراحی‌شده هستند که معمولاً برای مسدود کردن تابش مستقیم خورشید در یک جهت خاص به کار می‌روند. در مقابل، سایه‌بان‌های متحرک شامل پرده‌ها، کرکره‌های متحرک، و سیستم‌های موتوری هستند که امکان تنظیم دستی یا خودکار را دارند. سایه‌بان‌های پویا پیشرفته‌ترین نوع این سیستم‌ها محسوب می‌شوند که با استفاده از حسگرها و الگوریتم‌های هوشمند، شرایط نوری را در زمان واقعی بهینه می‌کنند. سیستم‌های سایه‌بان پویا با امکان تطبیق با شرایط نوری متغیر، می‌توانند وابستگی به نور مصنوعی را کاهش داده و کیفیت یادگیری را بهبود بخشند. این سیستم‌ها تعادلی میان آسایش بصری و حرارتی ایجاد کرده و مصرف انرژی را به حداقل می‌رسانند. درحالی‌که سایه‌بان‌های ثابت نظیر سایبان‌ها و کرکره‌ها می‌توانند تا حدی از تابش مستقیم خورشید جلوگیری کنند، محدودیت‌هایی مانند عدم انعطاف‌پذیری در تطبیق با شرایط مختلف نوری دارند. این محدودیت‌ها ممکن است در فصول مختلف سال به سایه‌زنی بیش‌ازحد یا ناکافی منجر شوند. در مقابل، سیستم‌های سایه‌بان پویا با قابلیت تنظیم دقیق، بهبود کیفیت روشنایی و کاهش نیاز به تهویه مطبوع، عملکرد بهتری ارائه می‌دهند. تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از سیستم‌های سایه‌بان پویا می‌تواند شاخص‌هایی مانند خودمختاری روشنایی فضایی (SDA) و میزان روشنایی مفید روزانه (UDI) را بهبود بخشد. این سیستم‌ها همچنین با کاهش وابستگی به نور مصنوعی و تهویه مطبوع، بهره‌وری انرژی را افزایش می‌دهند. سایه‌بان‌های متحرک، از طریق بهبود شرایط حرارتی داخلی، می‌توانند مصرف انرژی ساختمان‌های آموزشی را کاهش دهند. این سیستم‌ها، با مدیریت بهینه تابش خورشید، ساعات بیشتری از شرایط حرارتی راحت را فراهم کرده و نیاز به سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی را کاهش می‌دهند. به‌علاوه، پروژه‌های بهره‌وری انرژی نشان داده‌اند که نصب سایه‌بان‌ها می‌تواند مصرف برق را در مدارس به طور متوسط بین ۲ تا ۵ درصد کاهش دهد (Burlig and Wolfram, 2017).

طراحی و ادغام سایه‌بان‌های متحرک در برنامه‌های معماری پایدار، امکان تعادل میان نور روز و راحتی حرارتی را فراهم می‌کند. شبیه‌سازی‌های عملکردی نشان داده‌اند که این سیستم‌ها می‌توانند معیارهای بهینه‌سازی نور روز را برآورده کرده و نیازهای خاص کاربران، مانند تنظیم دستی یا خودکار نور، را پاسخ دهند (Al-Arja and Awadallah, 2016). استفاده از سیستم‌های سایه‌بان متحرک و پویا در طراحی کلاس‌های درس، تأثیر عمیقی بر بهینه‌سازی نور روز، آسایش کاربران، و کاهش مصرف انرژی دارد. این سیستم‌ها با فراهم کردن شرایط نوری مطلوب و کاهش وابستگی به منابع انرژی غیرپایدار، مدارس را به محیط‌هایی هوشمندتر و پایدارتر تبدیل می‌کنند. با توجه به تأثیر مستقیم این اقدامات بر عملکرد یادگیری و رفاه کاربران، توسعه و به‌کارگیری سایه‌بان‌های پیشرفته می‌تواند راهگشای تحول در طراحی ساختمان‌های آموزشی باشد.

تأثیر نور بر یادگیری را به اندازه ای می دانند که در فرایند یادگیری ۸۳ درصد از یادگیری به وسیله حس بینایی صورت می گیرد. بنابراین، اگر عمل دیدن با اشکال روبه رو شود، افت در یادگیری ایجاد می شود. استفاده از نور مطلوب که بتواند دید دانش آموزان را در کلاس و به هنگام مطالعه و استفاده از تخته کلاس به راحتی تأمین کند، یکی از مسایل مهم ساختمان مدرسه است که باید در این زمینه از هر نوع امکاناتی به نحو مطلوب بهره برد(بردی حق نیا و بردی حق نیا، ۱۳۹۵). نور کلاس ها باید طوری تنظیم شود که دانش آموزان علاوه بر دید خوب روی میز خود بتوانند از فاصله معین تخته کلاس را به خوبی ببینند و نور باعث چشم زدگی و خیرگی نشود. بنابراین، بهترین نور، استفاده از نور طبیعی خورشید است. در غیر این صورت، می توان از نور مصنوعی نیز استفاده کرد(خالصی، ۱۳۸۲).

پژوهش ها گویای آن است که در کلاس های درسی که نور کم دارند کودکان قدرت یادگیریشان کاهش می یابد و این عامل به بینایی آن ها آسیب خواهد زد، بنابراین معماران باید در طراحی های خود به ایجاد نور مناسب دقت کافی داشته باشند چراکه نور نامناسب هم عاملی جهت ایجاد استرس و بار روانی منفی در کودکان خواهد شد، همچنین نور مناسب باعث بهبود عملکرد دانش آموزان، خلق یک محیط داخلی سالم تر، افزایش تلاش در دانش آموزان و معلمان، جلوگیری از یکنواختی محیط با تغییرات مناسب نور، تاثیرات فیزیکی که باعث بالابردن کارایی و فعالیت بدنی تنها می شود، ایجاد سرزندگی و شادابی و تاثیر مثبت بر جنبه بهداشتی(جسمی و روانی) دانش آموزان می شود (مهدی نژاد و شیردل، ۱۴۰۱). همچنین باید دقت کرد نور طبیعی در الویت باشد چراکه این نور دارای ویتامین D برای بدن انسان است و تعبیه مناسب پنجره ها می تواند انسان را از این نور بهره مند کند(حافظی، ۱۳۹۶)، نور طبیعی منشا آرامش است و می تواند حس خواب الودگی، خستگی را علی الخصوص در ابتدای صبح از کودکان بگیرد و حس نشاط و سرزندگی را القا کند(ترکمان و همکاران، ۱۳۹۵).



تصویر ۱: مدل مفهومی پژوهش، منبع: نگارندگان.

۵-۵- تأثیرات نور طبیعی بر انسان:

در زندگی روزمره، دسترسی به نور روز به دلیل محدودیت های طراحی ساختمان ها و بازشوهای آن ها کاهش یافته است. طراحی مناسب روشنایی روز، همراه با در نظر گرفتن دما و شرایط آب و هوایی که بر استفاده از فضاهای بیرونی تأثیر می گذارند، امری پیچیده است. همچنین، عوامل جغرافیایی، فرهنگی و استانداردهای اجتماعی نقش مهمی در تعیین رفتارهای افراد در فضاهای داخلی و خارجی ایفا می کنند.

نور طبیعی روز یکی از عناصر بنیادی و چندبعدی در تأثیرگذاری بر روان و سلامت انسان است. این عامل نه تنها به عنوان منبعی برای ادراک محیطی و فعالیت‌های روزمره عمل می‌کند، بلکه از منظر روان‌شناختی و فیزیولوژیکی نقشی کلیدی در تنظیم ریتم‌های شبانه‌روزی، خلق‌وخو، و سلامت عمومی ایفا می‌کند. نورپردازی درون فضا، بازتاب تصاویری است که در ذهن استفاده‌کنندگان از آن نقش می‌بندد؛ به گونه‌ای که هر فرد تحت تأثیر آن، فضا را با ویژگی‌های بصری خاص آن شناسایی کرده و خاطراتی مرتبط با آن در ذهن خود حفظ می‌کند (رنجبر ۱۳۹۵، ۳). نور طبیعی به عنوان نشانگر محیطی برای تنظیم ساعت بیولوژیکی و ریتم‌های شبانه‌روزی شناخته می‌شود. این ریتم‌ها، که مسئول فرآیندهای متعددی از جمله خواب، بیداری، و تعادل هورمونی هستند، با قرار گرفتن در معرض نور روز بهینه‌سازی می‌شوند. نور طبیعی صبحگاهی، از طریق فعال‌سازی سلول‌های گانگلیونی شبکه‌ای حساس به نور (IpRGCs)، ترشح ملاتونین را کاهش و هماهنگی شبانه‌روزی را افزایش می‌دهد (Bertani et al., 2021). در ادامه به مهمترین تأثیرات نور روز بر انسان می‌پردازیم:

جدول ۳- تأثیرات نور روز بر انسان، منبع: نگارندگان

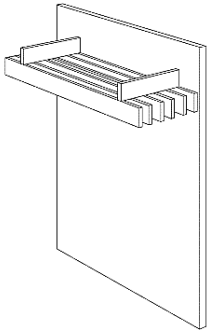
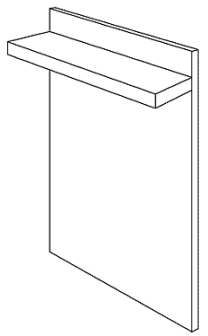
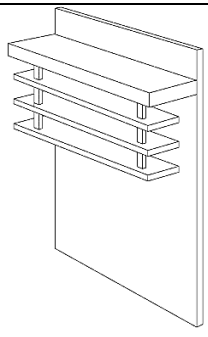
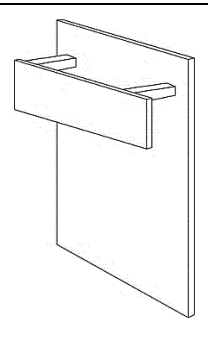
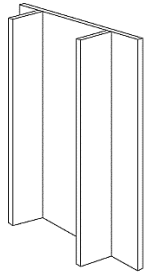
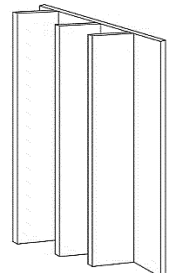
ردیف	تأثیرات نور روز بر انسان
۱	تأثیر نور بر تنظیم سطوح سروتونین و کاهش ترشح هورمون‌های استرس‌زا.
۲	ارتباط مستقیم نور طبیعی روز با کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های روانی و جسمی مانند استرس و اختلال عاطفی فصلی.
۳	دارای ویتامین D
۴	کیفیت نور در محیط‌های کاری و مسکونی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر بهره‌وری، تمرکز، و حتی تعاملات اجتماعی افراد تأثیر بگذارد.
۵	افزایش حس تعلق به مکان
۶	نور روز، به‌ویژه در صبح، کیفیت خواب شبانه و ریتم‌های کورتیزول را بهبود می‌بخشد.
۷	نور طبیعی روز تأثیر مستقیمی بر بهبود خلق‌وخو و سلامت روانی دارد.
۸	قرارگیری منظم در معرض نور، به‌ویژه در ساعات اولیه صبح، با کاهش علائم افسردگی و اضطراب و بهبود نمرات شاخص‌های روانی مانند WHO-5 و PHQ-9 همراه است.

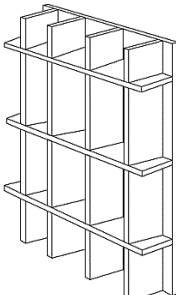
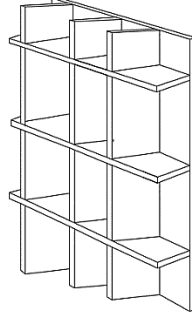
۶- بحث و یافته‌ها:

۶-۱- رابطه بین سایه‌اندازی و جهت‌گیری آنها در ساختمان:

قوانین اساسی و مهمی در رابطه با جهت‌گیری و هندسه سایه‌اندازها وجود دارد. برای پنجره‌های جنوبی، سایه‌اندازها با تیغه‌های افقی یک راه‌حل بسیار مؤثر جهت محافظت ساختمان در برابر تابش خورشید در تابستان می‌باشد. تیغه‌های افقی بهترین راه‌حل برای کنترل تابش خورشید در جهت‌های شرقی، جنوب شرقی، جنوب غربی و غربی ساختمان می‌باشد. در آب و هوای گرم به دلیل کم بودن زاویه ارتفاع حرکت خورشید در سمت شمال، تیغه‌های عمودی می‌توانند در کاهش دمای هوای داخلی مؤثر باشند. برای جهت شرقی و غربی تیغه‌های عمودی و افقی عملکرد بهتری دارند. ابعاد و هندسه دقیق سایه‌اندازها با توجه به عرض جغرافیایی و نمودار مسیر خورشید مشخص می‌شود (Lechner, 2001).

جدول ۳: نمونه سایه‌اندازها با توجه به جهت ساختمان و تیغه‌های گوناگون (لنچر، ۲۰۰۱).

			
نوع سایه انداز	صفحات افقی پیش آمده	نوع سایه انداز	پیش آمدگی افقی بر روی صفحات افقی
جهت گیری	جنوب، شرق، غرب	جهت گیری	جنوب، شرق، غرب
توضیحات	کنترل گرما جهت انتقال به فضای داخل	توضیحات	گردش هوای آزاد مقیاس کوچک هزینه کم
			
نوع سایه انداز	پیش آمدگی افقی بر روی صفحات عمودی	نوع سایه انداز	صفحات عمودی پیش آمده
جهت گیری	جنوب، شرق، غرب	جهت گیری	جنوب، شرق، غرب
توضیحات	کاهش طول تیغه‌ها کاهش دید بصری	توضیحات	گردش هوای آزاد کاهش دید بصری
			
نوع سایه انداز	تیغه‌های عمودی	نوع سایه انداز	تیغه‌های عمودی مورب

جهت گیری	شمال، شرق، غرب	جهت گیری	شرق، غرب
توضیحات	کاهش دید بصری تنها برای نماهای شمالی در اقلیم گرم	توضیحات	مورب به سمت شمال کاهش دید بصری قابل توجه
			
نوع سایه انداز	تنبه‌های مشبک	نوع سایه انداز	تنبه‌های مشبک با جهت گیری مورب
جهت گیری	شرق، غرب	جهت گیری	شرق، غرب
توضیحات	برای اقلیم بسیار گرم کاهش دید بصری قابل توجه کنترل گرما جهت انتقال به فضای داخل	توضیحات	مورب به سمت شمال برای اقلیم گرم کاهش دید بصری قابل توجه کنترل گرما جهت انتقال به فضای داخل

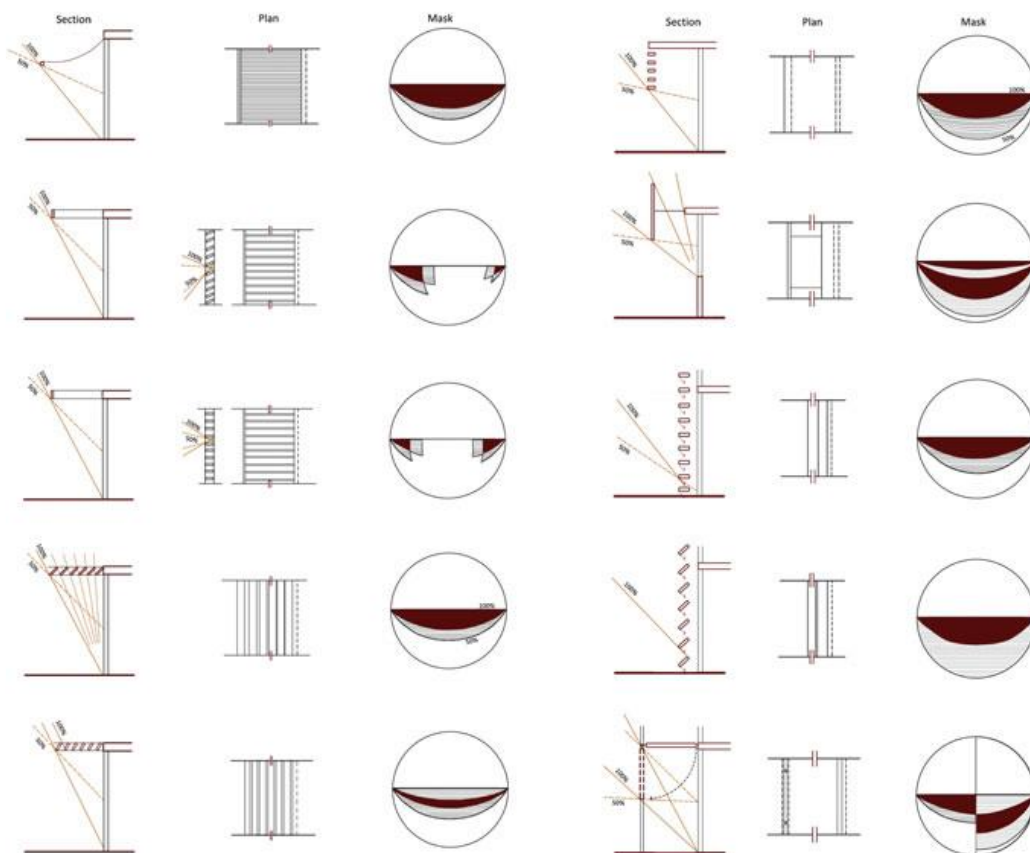
۶-۲- انواع سیستم‌های سایه اندازی در نمای ساختمان:

پنجره‌ها تأثیر جدی بر افزایش دمای داخلی ساختمان‌ها دارد. افزایش حرارت از طریق عناصر شفاف به مراتب بیشتر از طریق دیوارها هستند و این تفاوت بستگی به ضریب حرارتی آنها دارد. سایه‌اندازها بارهای حرارتی خورشید که به نمای ساختمان برخورد می‌کند را به یک پنجم میزان خود می‌رساند. هنگامی که سایه‌اندازها در نمای ساختمان اعمال شوند، حرارتی داخلی به میزان چشمگیری تغییر می‌کند. از راه‌های کنترل نور و تابش خورشیدی طراحی سایه‌اندازها در نمای ساختمان، جهت‌گیری مناسب و عرض جغرافیایی خاص ساختمان می‌باشد. آنها می‌توانند ثابت، قابل تنظیم (متحرک) و در اشکال مختلف معماری و هندسی در دسترس باشند (Fabbri et al., 2020).

۶-۲-۱- سایه‌اندازهای ثابت:

سایه‌اندازهای ثابت را می‌توان در بیرون یا داخل پنجره‌های ساختمان نصب کرد. سایه‌اندازهای ثابت خارجی هم برای کنترل اشعه خورشیدی و هم صرفه‌جویی در مصرف انرژی استفاده می‌شود. از طرف دیگر، سایه‌اندازها می‌توانند تابش مستقیم نور خورشید را مسدود کنند و نیاز به نور مصنوعی را کاهش دهند و تابش نور مورد نیاز خورشید در زمستان را فراهم کنند (Mandalaki et al., 2012). در نتیجه استفاده از نوع مناسب از سایه‌انداز جهت تأمین این نیازها در مکان و زمان صحیح از نظر در دسترس بودن نور روز، آسایش حرارتی و بصری بسیار مهم است. سایه‌اندازهای ثابت بارهای حرارتی را در تابستان کاهش می‌دهند (Salwa, et al., 2018). از سایه‌اندازهای ثابت مخصوصا در نمای جنوبی برای

کاهش تشعشع خورشید استفاده می‌شود. با این وجود، استفاده از سایه‌اندازهای ثابت می‌تواند موجب شکل‌گیری مشکلات تعادل بین کاهش بارهای سرمایشی در دوره سرد سال و افزایش نامطلوب بارهای گرمایشی در دوره گرم شود (Liu et al., 2018). از معایب سایه‌اندازهای ثابت معمول این است که به دلیل ایستا بودن و عدم تغییر با شرایط متغیر محیطی، دوره بهره‌گیری پنجره از خورشید تابع دما نبوده بلکه صرفاً تابع زمان و موقعیت خورشید در آسمان می‌باشد با وجود این، سایه‌اندازهای ثابت به علت هزینه نصب و نگهداری پایین هنوز مورد توجه زیادی هستند و کاربرد آنها بخصوص در ساختمان‌های ارزان و یا در اقلیم‌هایی که به دلیل شرایط نامساعد جوی سیستم‌های متحرک دوام چندان ندارند توصیه می‌شود (مهدی نژاد گودرزی، ۱۴۰۱).

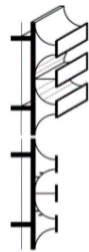
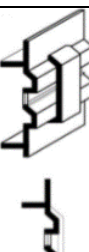
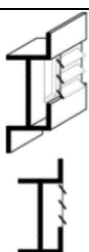
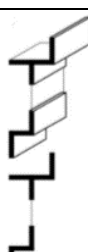
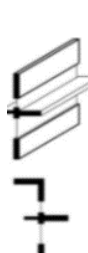


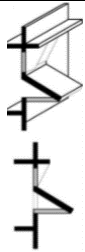
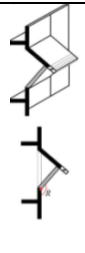
تصویر ۲: انواع مختلف سایه‌انداز بیرونی ثابت، منبع: (کاپلوتو، ۲۰۰۳).

۶-۲-۲- نماهای خود سایه‌انداز:

نماهای خود سایه‌انداز علاوه بر عملکرد کاربردی خود جهت کنترل نور و گرمای خورشید به عنوان پوسته‌ی زیبایی شناختی یک ساختمان نیز محسوب می‌شوند. هدف نماهای خود سایه‌انداز کاهش عایقکاری و سطوح شیشه‌ای در نمای ساختمان در طی یک دوره مورد نیاز می‌باشد. کاهش گرما در نمای ساختمان می‌تواند تقاضای انرژی را کاهش دهد. طرح‌های ساده‌ای وجود دارد که در مسدود کردن نور و گرمای خورشید در طول ظهر و سایر طرح‌های پیچیده‌تر که قادر به محافظت بین صبح زود و بعدازظهر مؤثر است.

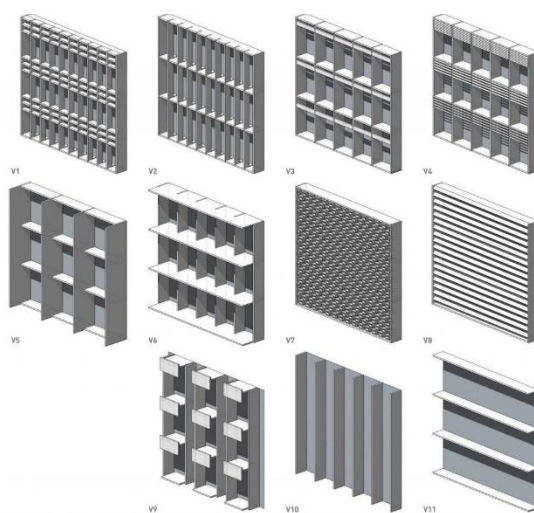
جدول ۴: سایه‌انداز نما با الگوی طراحی ساده و پیچیده، منبع: مهدی نژاد گودرزی، ۱۴۰۱.

سایه‌انداز نما با الگوی طراحی پیچیده					سایه‌انداز نما با الگوی طراحی ساده						
	پانل‌های بیرونی افقی با لوور و نمای کامل نمای	۷		لوور افقی	۱		تخت با بازشو مستطیلی	۷		بازشوها یا پانل‌های افقی	۱
	بازشوهای افقی	۸		باله‌های افقی یا پانل‌های عمودی	۲		تخت با بازشو بافت و مربع	۸		لوورهای افقی	۲
	بازشوها با پانل‌های کج و عمودی	۹		پانل افقی و لولاهای عمودی	۳		باز شو مستطیل	۹		پانل خارجی عمودی	۳
	پانل‌های مثلی و باز شوهای مستطیل	۱۰		پانل‌های عمودی و لولاهای افقی	۴		آبشاری با بازشو مستطیلی	۱۰		قفسه نوری افقی	۴

۵	تیغه‌های چندگانه یا پانل افقی	۱۱	شانه تخم مرغی با محفظه و نمای کامل	۵	پانل‌های عمودی و لولا‌های افقی	۱۱	کمر بند سقفی با پانل کج	
۶	پانل‌ها پر شده	۱۲	بالکن زیگزاگ با نمای کامل	۶	مجموعه صفحات کج	۱۲	کمر بند سقفی با پانل کج	

۶-۲-۳- سایه‌اندازهای مشبک در ساختمان:

سایه‌اندازهای مشبک میزان فراوانی از نور و تابش خورشید را مسدود می‌کند. این سایه‌انداز از نظر عملکردی تلفیقی از سایه‌اندازهای عمودی و سایه‌اندازهای افقی است که تابش خیره‌کننده خورشید را به میزان زیادی کنترل می‌کند. تیغه‌ها با اجزای افقی متحرک اجازه کنترل سایه‌اندازها جهت تأمین نور مورد نیاز فضای داخلی را می‌دهند و تیغه‌های عمودی سایه‌ای متقارن ایجاد می‌کنند که نفوذ نور را به فضای داخل سخت می‌کند و این سایه‌اندازی در زمستان وضعیت بحرانی را ایجاد می‌کند. سایه‌اندازهای مشبک دارای راندمان سایه‌زنی بالایی هستند به خصوص در مناطق آب و هوایی گرم سایه بهینه را فراهم می‌کنند. از طرفی، نور طبیعی روز، منظره و میزان تابش خورشید در زمستان را مسدود می‌کند. این تیغه‌ها همچنان که مانع گرم شدن بیش از اندازه فضای داخلی و تابش مستقیم آفتاب به درون ساختمان می‌شوند، اجازه می‌دهند که نور و تهویه و دید از طریق پنجره فراهم شود. سایه‌اندازهای جعبه تخم مرغی عنصری برجسته در معماری مدرن در نواحی گرمسیری است (Sheng Liu et al, 2019).



تصویر ۳: انواع مختلف سایه‌انداز در نمای ساختمان، منبع: (Sheng Liu et al, 2019).

۶-۲-۴- سایه‌اندازهای متحرک در ساختمان:

سایه‌اندازهای متحرک در ساختمان‌ها به عنوان یکی از راهکارهای مهم برای کنترل نور طبیعی و دما در فضاهای داخلی شناخته می‌شوند. این سیستم‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که می‌توانند بر اساس شرایط آب و هوایی و نیازهای کاربران تنظیم شوند. سایه‌اندازهای متحرک می‌توانند شامل پرده‌های برقی، سایه‌بان‌های جمع‌شونده و سیستم‌های لولایی باشند. این نوع سایه‌بان‌ها به کاربر این امکان را می‌دهند که در زمان‌های مختلف روز و فصل‌های مختلف سال، میزان نور ورودی به داخل ساختمان را تنظیم کند. استفاده از سایه‌اندازهای متحرک می‌تواند منجر به کاهش مصرف انرژی در سیستم‌های گرمایش و سرمایش گردد و به بهبود راحتی و کیفیت زندگی در فضاهای داخلی کمک کند. همچنین، این سیستم‌ها می‌توانند به عنوان یک عنصر طراحی معماری جذاب به کار روند و زیبایی نمای ساختمان را افزایش دهند. با توجه به پیشرفت‌های تکنولوژیکی، بسیاری از این سیستم‌ها به صورت هوشمند طراحی شده‌اند و می‌توانند به صورت خودکار و بر اساس حسگرهای نور و دما عمل کنند. این ویژگی‌ها باعث می‌شود که سایه‌اندازهای متحرک به یک راهکار کارآمد و موثر در معماری پایدار تبدیل شوند (Khedari, & Chiras, 2000).

۶-۲-۵- سایه‌اندازهای غلتکی در ساختمان:

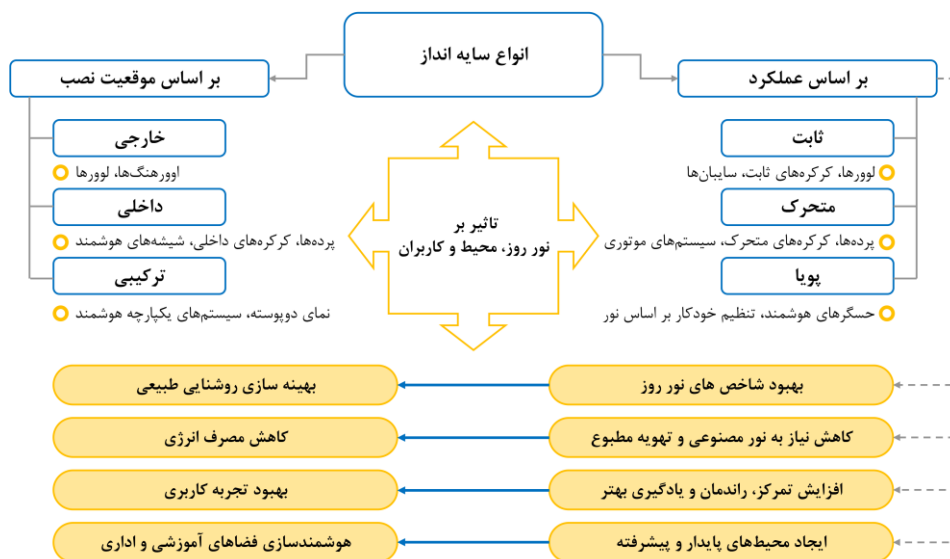
سایه‌اندازهای غلتکی یکی از انواع سیستم‌های سایه‌اندازی متحرک هستند که به طور گسترده‌ای در ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع سایه‌اندازها به دلیل طراحی ساده و کارآمد خود، امکان کنترل نور طبیعی و حفظ حریم خصوصی را فراهم می‌کنند (Boubekri, 2014). سایه‌اندازهای غلتکی معمولاً از یکپارچه‌ای از پارچه یا مواد دیگر ساخته می‌شوند که به دور یک محور غلتکی پیچیده می‌شوند. کاربران می‌توانند به راحتی با استفاده از یک زنجیر، دکمه یا حتی به صورت خودکار، این سایه‌بان‌ها را بالا و پایین کنند. یکی از مزایای اصلی این سیستم‌ها، قابلیت تنظیم میزان نور ورودی به فضا است که به بهبود کیفیت زندگی و راحتی در محیط‌های داخلی کمک می‌کند. علاوه بر این، سایه‌اندازهای غلتکی می‌توانند به کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها کمک کنند، زیرا می‌توانند از ورود گرمای اضافی در تابستان جلوگیری کرده و در عین حال در زمستان به حفظ حرارت کمک کنند (Hakkarainen, 2017).

۶-۲-۶- سایه‌اندازهای کنترل شونده شخصی (موتوری):

سایه‌اندازهای کنترل شونده شخصی (موتوری) به عنوان یکی از پیشرفته‌ترین سیستم‌های سایه‌اندازی در ساختمان‌ها شناخته می‌شوند که به کاربران این امکان را می‌دهند تا به راحتی و با استفاده از یک کنترل از راه دور یا اپلیکیشن موبایل، میزان نور ورودی را تنظیم کنند. این سیستم‌ها معمولاً شامل پارچه‌های مخصوصی هستند که بر روی یک محور موتوری قرار می‌گیرند و می‌توانند به صورت خودکار یا دستی بالا و پایین شوند. (Wang et al., 2019) یکی از مزایای اصلی این سایه‌بان‌ها، انعطاف‌پذیری آنها در پاسخ به تغییرات نور و دما است که به بهبود راحتی و کیفیت محیط داخلی کمک می‌کند (Schmidt et al., 2020). علاوه بر این، سایه‌اندازهای موتوری می‌توانند به سیستم‌های هوشمند ساختمان متصل شوند و به طور خودکار با توجه به شرایط محیطی عمل کنند. (Kumar & Jain, 2021) این ویژگی‌ها باعث می‌شود که این نوع سایه‌اندازها نه تنها در صرفه‌جویی انرژی مؤثر باشند، بلکه به کاربران این امکان را می‌دهند که تجربه‌ای راحت و دلپذیر از فضاهای داخلی داشته باشند.

۶-۲-۷- سایه اندازهای کنترل شونده خودکار (پویا)

سایه‌اندازهای کنترل شونده خودکار (پویا) به عنوان یک راهکار نوین در مدیریت نور و دما در ساختمان‌ها شناخته می‌شوند که به طور خودکار بر اساس شرایط محیطی عمل می‌کنند. این سیستم‌ها معمولاً از حسگرهای نور و دما استفاده می‌کنند تا به طور خودکار میزان باز و بسته شدن سایه‌بان‌ها را تنظیم کنند و به این ترتیب از ورود نور اضافی و گرما به فضای داخلی جلوگیری کنند. (Kalogirou, 2020) سایه‌اندازهای پویا می‌توانند به بهبود کیفیت انرژی و راحتی کاربران کمک کنند و در نتیجه موجب کاهش هزینه‌های انرژی شوند. (Khedari et al., 2021) این سیستم‌ها به طور معمول با سیستم‌های هوشمند ساختمان ادغام می‌شوند، که امکان کنترل مرکزی و مدیریت یکپارچه را فراهم می‌آورند. (Zhou et al., 2019) مزیت دیگر این سایه‌اندازها، افزایش عمر مفید تجهیزات داخلی ساختمان است، زیرا از قرارگیری مستقیم آنها در معرض نور خورشید جلوگیری می‌کنند. (Ibrahim et al., 2021) به طور کلی، سایه‌اندازهای کنترل شونده خودکار به عنوان یک راهکار موثر در راستای معماری پایدار و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند. در ادامه می‌توان جهت جمع بندی مطالب به مدل مفهومی زیر اشاره کرد:



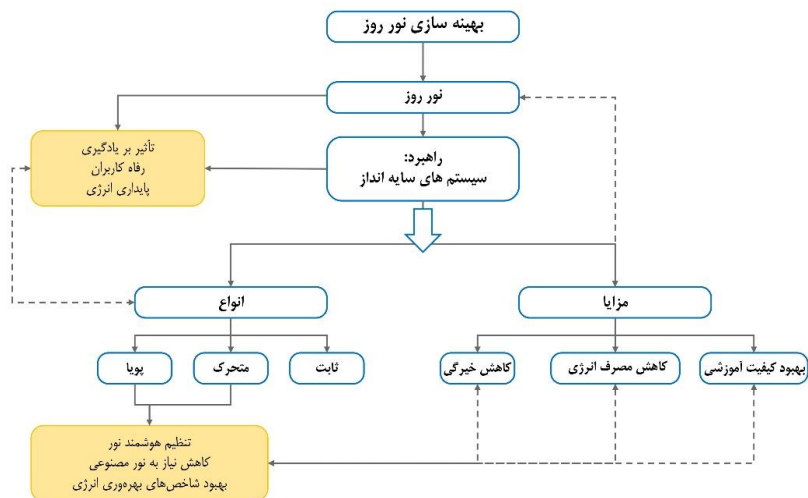
تصویر ۴: مدل مفهومی از اهمیت سیستم های سایه انداز، منبع: نگارندگان.

۷- نتیجه گیری:

نور روز یکی از عوامل اساسی در طراحی کلاس‌های درس است که تأثیر مستقیمی بر یادگیری، رفاه و پایداری انرژی دارد. این پژوهش با هدف تحلیل نقش سیستم‌های سایه‌انداز در بهبود بهره‌برداری از نور طبیعی در فضاهای آموزشی، نشان داد که استفاده از این سیستم‌ها می‌تواند به بهبود توزیع نور، کاهش خیرگی و ارتقای آسایش بصری و حرارتی کمک کند. یافته‌های این تحقیق نشان داد که سیستم‌های سایه‌انداز پویا و تطبیقی در مقایسه با انواع ثابت، عملکرد بهتری در بهینه‌سازی شرایط نوری دارند. این سیستم‌ها، با تنظیم هوشمند شرایط نور، وابستگی به منابع نور مصنوعی را کاهش داده و بهره‌وری انرژی را افزایش می‌دهند. شاخص‌هایی نظیر خودمختاری روشنایی (DA) و بهره‌وری انرژی نیز در این سیستم‌ها بهبود یافته‌اند. علاوه بر این، سایه‌اندازهای پویا به جلوگیری از تابش خیره‌کننده، توزیع بهتر نور و ارتقای کیفیت

محیط آموزشی منجر شده‌اند. یافته‌های این پژوهش با مطالعات پیشین مانند (Yao et al, 2016) هم‌راستا است که به مزایای سیستم‌های پویا در بهبود بهره‌وری انرژی و کیفیت نور اشاره کرده‌اند. برخلاف پژوهش‌هایی که بیشتر به طراحی‌های کلی پرداخته‌اند، این مطالعه بر نیازهای خاص کلاس‌های درس مانند جلوگیری از خیرگی تخته و توزیع یکنواخت نور تأکید داشته است.

این تحقیق محدودیت‌هایی نیز داشته است، از جمله عدم ارزیابی مستقیم تأثیر سایه‌اندازها در شرایط اقلیمی مختلف و نبود داده‌های کمی دقیق درباره عملکرد بلندمدت این سیستم‌ها. همچنین، دسترسی محدود به شبیه‌سازی‌های پیشرفته برای بررسی جامع‌تر عملکرد سایه‌اندازها از جمله چالش‌های این پژوهش بوده است. نتایج این تحقیق اهمیت به‌کارگیری سیستم‌های سایه‌انداز پیشرفته را در طراحی فضاهای آموزشی نشان می‌دهد. این سیستم‌ها علاوه بر کاهش وابستگی به منابع انرژی غیرپایدار، کیفیت یادگیری و آسایش کاربران را نیز بهبود می‌بخشند. پیامدهای عملی این پژوهش می‌تواند الهام‌بخش طراحی فضاهای آموزشی پایدارتر باشد که همگام با اصول معماری سبز و بهره‌وری انرژی هستند. یافته‌های اصلی نشان داده است که سایه‌اندازهای تطبیقی و پویا می‌توانند از تابش خیره‌کننده جلوگیری کرده و توزیع نور یکنواختی ایجاد کنند، که به بهبود کیفیت یادگیری منجر می‌شود. در زمینه گسترده‌تر، این نتایج می‌توانند الهام‌بخش طراحی‌های پایدارتر و هوشمندانه‌تر در معماری مدارس باشند. پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آتی، تأثیر سایه‌اندازها در شرایط اقلیمی مختلف و همچنین ترکیب آن‌ها با فناوری‌های هوشمند بررسی شود.



تصویر ۵: مدل مفهومی نتیجه گیری پژوهش، منبع: نگارندگان.

ماخذ:

- بردی حق نیا، ح و بردی حق نیا، ر، (۱۳۹۵) راهکارهای بهینه سازی فضاهای آموزشی مدارس کشور، فصلنامه مطالعات علوم اجتماعی، دوره ۲، شماره ۲، ۵۰-۵۵.
- ترکمان، م، جلالیان، س، دژدار، ا (۱۳۹۵) نقش معماری و عوامل کالبدی محیط آموزشی بر تسهیل یادگیری کودکان، ماهنامه شباک (شبکه اطلاعات کنفرانس های کشور)، سال دوم- شماره ۱۱.
- حافظی، ا (۱۳۹۶) مدیریت رنگ ونور برای فضای آموزشی، اولین همایش بین المللی و سومین همایش ملی پژوهش های مدیریت و علوم انسانی، تهران، ایران.

- خالصی، ع. (۱۳۸۲). بهداشت محیط، ایمنی و ارگونومی در مدارس، چاپ دوم، تهران، وراى دانش.
- مهدی نژاد گودرزی، زهرا. (۱۴۰۱). رساله دکتری، تبیین اصول راهبردی طراحی جهت کاهش تضاضای بار سرمایشی مبتنی بر مورفولوژی نماهای معماری مسکونی بومی در اقلیم گرم و مرطوب (نمونه مورد مطالعه: شهر بوشهر)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری.
- مهدی نژاد، جمال الدین و شیردل، امیرحسین. (۱۴۰۱). بررسی تاثیرات نور بر یادگیری دانش آموزان در فضاهای آموزشی، نهمین همایش ملی مطالعات و تحقیقات نوین در حوزه علوم جغرافیا، معماری و شهرسازی ایران، تهران.
- Al-Arja, O., & Awadallah, T. S. (2016). Energy consumption optimization in schools sector in Jordan. *Architectural Science Review*, 59(5), 400-412. <https://doi.org/10.1080/00038628.2015.1051564>
- Al-Masrania, S. M., Al-Obaidi, K. M., Zalin, N. A., & Isma, M. I. A. (2018). Design optimisation of solar shading systems for tropical office buildings: Challenges and future trends. *Solar Energy*, 170, 849–872. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.05.035>
- Altomonte, S. (2008). Daylight for energy savings and psycho-physiological well-being in sustainable built environments. *Journal of Sustainable Development*, 1(3), 3-16. <https://doi.org/10.5539/jsd.v1n3p3>
- Alwi, N. M., Flor, J. F., Anuar, N. H., Mohamad, J., Hanafi, N. N. H., Muhammad, N. H., Zain, M. H. K. M., & Nasir, M. R. M. (2022). Retrofitting measures for climate resilience: Enhancing the solar performance of Malaysian school buildings with passive design concepts. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1067(1), 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1067/1/012028>
- Bakmohammadi, P., & Noorzai, E. (2020). Optimization of the design of the primary school classrooms in terms of energy and daylight performance considering occupants' thermal and visual comfort. *Energy Reports*, 6, 1590-1607. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.06.012>
- Balador, Z., & Gjerde, M. (n.d.). *Evaluation of different shading devices for a Tehran primary school classroom*. Unpublished manuscript.
- Balali, A., & Valipour, A. (2021). Prioritization of passive measures for energy optimization designing of sustainable hospitals and health centres. *Journal of Building Engineering*, 35, 102029. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102029>
- Bayram, G., & Kazanasmaz, T. (2016). *Simulation-Based Retrofitting Of An Educational Building In Terms Of Optimum Shading Device And Energy Efficient Artificial Lighting Criteria*. [Conference Paper]. Bazazzadeh, H., Świt-Jankowska, B., Fazeli, N., Nadolny, A., Najar, B. S. A., Safaei, S. S. H., & Mahdavejad, M. (2021). Efficient shading device as an important part of daylightophil architecture; a designerly framework of high-performance architecture for an office building in Tehran. *Energies*, 14(20), 6649. <https://doi.org/10.3390/en14206649>
- Bertani, D., De Novellis, A. M. P., Farina, R., Latella, E., Meloni, M., Scala, C., Valeo, L., Galeazzi, G. M., & Ferrari, S. (2021). "Shedding Light on Light": A Review on the Effects on Mental Health of Exposure to

- Optical Radiation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1670. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041670>
- Boubekri, M., & Cheung, D. A. (2014). The impact of daylighting on building energy performance: A review. *Energy and Buildings*, 70, 353-362. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.055>
 - De Santoli, L., Fraticelli, F., Fornari, F., & Calice, C. (2014). Energy performance assessment and a retrofit strategies in public school buildings in Rome. *Energy and Buildings*, 68, 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.09.020>
 - Dubois, M.-C. (2003). Shading devices and daylight quality: An evaluation based on simple performance indicators. *Lighting Research & Technology*, 35(1), 61–76. <https://doi.org/10.1191/1365782803li059oa>
 - Edwards, L., & Torcellini, P. (2002). *A literature review of the effects of natural light on building occupants*. National Renewable Energy Laboratory. <https://doi.org/10.2172/15000841>
 - Elzeyadi, I., & Abboushi, B. (2019). Daylighting Performance In Schools Between Simulation Predictions And Field Verifications – A Factor of Reality Analysis. In *Proceedings of the 2019 Building Performance Analysis Conference and SimBuild* (pp. 4361–4368). ASHRAE.
 - Esquivias, P. M., Muñoz, C. M., Acosta, I., Moreno, D., & Navarro, J. (2016). Climate-based daylight analysis of fixed shading devices in an open-plan office. *Lighting Research & Technology*, 48(4), 482–501. <https://doi.org/10.1177/1477153515576136>
 - Fabbri, K., & Costanzo, V. (2020). Drone-assisted infrared thermography for calibration of outdoor microclimate simulation models. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101855. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101855>
 - Garcia-Fernandez, B., & Omar, O. (2023). Sustainable performance in public buildings supported by daylighting technology. *Solar Energy*, 264, 112068. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.112068>
 - Gharouni Jafari, K., Ghazi Sharyatpanahi, N. S., & Noorzai, E. (2020). BIM-based integrated solution for analysis and management of mismatches during construction. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 18(6), 1633-1653. <https://doi.org/10.1108/JEDT-01-2020-0010>
 - Golabchi, M., Noorzai, E., Golabchi, A., & Gharouni Jafari, K. (2016). *Building Information Modeling*. Tehran University Press.
 - Hakkarainen, T., & Kokko, K. (2017). Roller blinds as shading devices: A study of thermal performance. *Building and Environment*, 112, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.020>
 - Heschong, L., Wymelenberg, V. D., Andersen, M., Digert, N., Fernandes, L., Keller, A., et al. (2012). *Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)*. Illuminating Engineering Society

- Ibrahim, M., Shafique, M. U., & Khan, A. (2021). The impact of automated shading on indoor comfort and energy consumption: A review. *Journal of Building Performance*, 12 .
- Ismail, M. M. R., Nessim, A., & Fathy, F. (2024). Daylighting and energy consumption in museums and bridging the gap by multi-objective optimization. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(10), 102944. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102944>
- Kalogirou, S. A. (2020). *Solar Energy Engineering: Processes and Systems* (2nd ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-03264-5>
- Kaminska, A., & Ozadowicz, A. (2018). Lighting control including daylight and energy efficiency improvements analysis. *Energies*, 11(11), 3169. <https://doi.org/10.3390/en11113169>
- KAYMAZ, E. (n.d.). *A STUDY OF THE DAYLIGHT ANALYSIS AND SHADING DEVICE PROPOSAL FOR RETROFITTING A CLASSROOM*. [Manuscript].
- Khedari, J., & Chiras, J. (2000). Energy-saving potential of adjustable shading devices. *Solar Energy*, 68(1), 57-66. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(99\)00057-7](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(99)00057-7)
- Khedari, J., Chiras, J., & Hirunlabh, S. (2001). Energy-efficient building design using automated shading systems. *Energy and Buildings*, 33(4), 369-376. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00095-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00095-7)
- Knittel, C., Burlig, F., Rapson, D., Reguant, M., & Wolfram, C. (2017). *Machine learning from schools about energy efficiency*. National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w23932>
- Krüger, E. L., & Dorigo, A. L. (2008). Daylighting analysis in a public school in Curitiba Brazil. *Renewable Energy*, 33(7), 1695–1702. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.09.002>
- Kruger, E. L., & Zannin, P. H. T. (2004). Acoustic, thermal and luminous comfort in classrooms. *Building and Environment*, 39(9), 1055–1063. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.01.030>
- Kumar, A., & Jain, A. (2021). Integration of smart shading devices with building management systems for energy efficiency. *Energy and Buildings*, 235, 110758. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110758>
- Kunwar, N., Cetin, K. S., Passe, U., Zhou, X., & Li, Y. (2019). Full-scale experimental testing of integrated dynamically-operated roller shades and lighting in perimeter office spaces. *Solar Energy*, 186, 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.083>
- Lechner, N. (2001). *Heating, cooling, lighting: Design methods for architects*. John Wiley & Sons.
- Lee, K. S., Han, K. J., & Lee, J. W. (2017). The impact of shading type and Azimuth orientation on the daylighting in a classroom—focusing on effectiveness of Façade shading, comparing the results of DA and UDI. *Energies*, 10(5), 635. <https://doi.org/10.3390/en10050635>

- Li, D. H. W., Lau, C. C. S., & Lam, J. C. (2004). Predicting daylight illuminance by computer simulation techniques. *Lighting Research & Technology*, 36(2), 113–128. <https://doi.org/10.1191/1365782804li108oa>
- Liu, M., Wittchen, K. B., & Heiselberg, P. K. (2015). Control strategies for intelligent glazed façade and their influence on energy and comfort performance of office buildings in Denmark. *Applied Energy*, 145, 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.02.007>
- Ma'bdeh, S. N., & Al-Khatatbeh, B. (2019). Daylighting retrofit methods as a tool for enhancing daylight provision in existing educational spaces—A case study. *Buildings*, 9(7), 159. <https://doi.org/10.3390/buildings9070159>
- Mandalaki, M., Zervas, K., Tsoutsos, T., & Vazakas, A. (2012). Assessment of fixed shading devices with integrated PV for efficient energy use. *Solar Energy*, 86(9), 2561–2575. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.05.029>
- Mardaljevic, J. (2000). Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance. *Lighting Research & Technology*, 32(3), 111–118. <https://doi.org/10.1177/136578280003200307>
- Meresi, A. (2016). Evaluating daylight performance of light shelves combined with external blinds in south-facing classrooms in Athens, Greece. *Energy and Buildings*, 116, 190–205. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.006>
- Nabil, A., & Mardaljevic, J. (2005). Useful daylight illuminance: A new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research & Technology*, 37(1), 41–59. <https://doi.org/10.1191/1365782805li128oa>
- Nyambaka Ingabo, S., Chirarattananon, S., & Chaiwiwatworakul, P. (2021). Application of external horizontal shading slats for daylighting through north-facing windows. *Journal of Building Engineering*, 42, 102454. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102454>
- Pellegrino, A., Cammarano, S., & Savio, V. (2015). Daylighting for Green schools: A resource for indoor quality and energy efficiency in educational environments. *Energy Procedia*, 78, 3162–3167. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.774>
- Pilechiha, P., Mahdavinejad, M., Rahimian, F. P., Carnemolla, P., & Seyedzadeh, S. (2020). Multi-objective optimisation framework for designing office windows: quality of view, daylight and energy efficiency. *Applied Energy*, 261, 114356. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114356>
- Pinilla, S. M., Moliní, D. V., Fernández-Balbuena, Á. A., Raboso, G. H., Herráez, J. A., Azcutia, M., & Botella, Á. G. (2016). Advanced daylighting evaluation applied to cultural heritage buildings and museums: Application to the cloister of Santa María El Paular. *Renewable Energy*, 85, 1247-1260. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.086>
- Reinhart, C. F., & Walkenhorst, O. (2001). Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external

blinds. *Energy and Buildings*, 33(7), 683–697.

[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00058-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00058-5)

- Schmidt, M., Becker, K., & Herkel, S. (2020). The role of automated shading systems in energy-efficient buildings. *Energy Reports*, 6, 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.10.046>
- Shen, E., Hu, J., & Patel, M. (2014). Energy and visual comfort analysis of lighting and daylight control strategies. *Building and Environment*, 78, 155–170. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.010>
- Singh, R., Buddhi, D., Thapa, S., Prakash, C., Singh, R., Sharma, A., Sheoran, S., & Saxena, K. K. (2022). Sensitivity Analysis for Decisive Design Parameters for Energy and Indoor Visual Performances of a Glazed Façade Office Building. *Sustainability*, 14(19), 12519. <https://doi.org/10.3390/su141912519>
- Stazi, F., Marinelli, S., Di Perna, C., & Munafò, P. (2014). Comparison on solar shadings: Monitoring of the thermo-physical behaviour, assessment of the energy saving, thermal comfort, natural lighting and environmental impact. *Solar Energy*, 105, 512–528. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.03.040>
- Uribe, D., Vera, S., Bustamante, W., McNeil, A., & Flamant, G. (2019). Impact of different control strategies of perforated curved louvers on the visual comfort and energy consumption of office buildings in different climates. *Solar Energy*, 190, 495–510. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.053>
- Vera, S., Uribe, D., Bustamante, W., & Molina, G. (2017). Optimization of a fixed exterior complex fenestration system considering visual comfort and energy performance criteria. *Building and Environment*, 113, 163-174. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.029>
- Walsh, J. W. T. (1951). The early years of illuminating engineering in Great Britain. *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, 16(3), 49–60. <https://doi.org/10.1177/147715355101600301>
- Wang, L., Zhang, Y., & Liu, Y. (2019). Smart shading systems: A review of applications and technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 712-723. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.036>
- Yu, X., & Su, Y. (2015). Daylight availability assessment and its potential energy saving estimation—A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 494–503. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.125>
- Yu, X., Su, Y., & Chen, X. (2014). Application of RELUX simulation to investigate energy saving potential from daylighting in a new educational building in UK. *Energy and Buildings*, 74, 191-202. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.01.045>
- Zhang, A., Bokel, R., van den Dobbelsteen, A., Sun, Y., Huang, Q., & Zhang, Q. (2017). Optimization of thermal and daylight performance of school buildings based on a multi-objective genetic algorithm in the cold climate of China. *Energy and Buildings*, 139, 371–384. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.042>

- Zhou, X., Li, Y., & Zhang, D. (2019). Smart shading strategies for energy-saving in buildings. *Renewable Energy*, 139, 1003-1011.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.016>

Investigating the role and performance of shading systems in order to optimize natural light in educational spaces

Mohammad Saber Heydari¹

MohammadReza Bemanian²(corresponding author)

Amir Hossein Shirdel³

Mehrane Shakarian⁴

Abstract:

As one of the main components in the design of educational spaces, daylight has a direct effect on user learning, comfort and energy efficiency. Using optimal shading systems can increase the quality of indoor environments by improving light distribution, reducing glare, and improving visual and thermal comfort. Despite numerous researches in the field of daylight, not enough attention has been paid to the role of adaptive and dynamic shading systems specific to educational spaces, especially in classrooms. With the aim of comprehensively analyzing the performance of shading systems in improving the quality of daylight, this research is trying to determine the most optimal possible modes for using daylight by providing practical solutions so that contemporary architects can use these strategies in the design of educational spaces. This research is qualitative in nature. The authors have started the research with a descriptive-analytical approach and a comprehensive review of the research literature, and by examining the theoretical data and successful case studies in the use of shading systems inside and outside the country, they have achieved the results. The results of the research show that fixed, mobile and dynamic shading systems increase the quality of learning and the comfort of users by reducing dependence on artificial light, improving light distribution and reducing energy consumption. Also, advanced shading systems can be an effective solution for creating sustainable and intelligent educational environments which, while reducing energy consumption, help to improve spatial quality and learning. By presenting practical strategies in the design of shading systems, this research has taken a step towards promoting sustainable architecture and intelligent use of natural light in educational spaces. They approach sustainable and environmentally friendly schools.

Keywords: Daylight, shading, optimization of energy consumption, glare, energy efficiency, educational spaces.

1 Master of Architecture student, Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (email: Heidari_m@modares.ac.ir)

2 Professor, Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3 Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran.

4 Master of Architecture student, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Urban Planning, Sajjad University, Mashhad, Iran.