

بررسی تأثیر نور روز بر کاهش مصرف انرژی در طراحی مدارس اقلیم سرد

ایوب مرادخانی^{۱*}، ژاله ساعدموچشی^۲، زیبا بهمنی^۳، وریا رشیدی^۴

۱- استادیار گروه معماری، واحد مریوان، دانشگاه آزاد اسلامی، مریوان، ایران (ayoob.moradkhani@iau.ac.ir)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران (zhale.saed@gmail.com)

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران (ziba.bahmani1@gmail.com)

۴- کارشناسی ارشد ریاضی، دانشکده علوم، دانشگاه کردستان، ایران (Worya.rashidi@gmail.com)

چکیده

ساختمان‌های آموزشی در اقلیم‌های سرد با چالش‌های متعددی مواجه هستند که عمدتاً شامل نیاز بالا به انرژی گرمایشی در زمستان، مشکلات مربوط به گرمای بیش از حد در تابستان و مسائل مربوط به آسایش بصری می‌باشد. در این پژوهش، از روش تحلیلی-توصیفی و بر مبنای مطالعات کتابخانه‌ای برای بررسی تأثیر طراحی غیرفعال ساختمان در کاهش مصرف انرژی، بهبود کیفیت روشنایی طبیعی و کاهش ناراحتی حرارتی تابستانی استفاده شده است. این تحقیق بر انواع مختلف پیکربندی‌های فضایی از جمله راهروهای یک‌طرفه باز، یک‌طرفه بسته و دوطرفه تمرکز دارد و تلاش می‌کند راهکارهایی ارائه دهد که بتواند به بهینه‌سازی شرایط حرارتی و روشنایی در ساختمان‌های آموزشی کمک کند. هدف اصلی این پژوهش تحلیل عواملی است که می‌توانند در کاهش مصرف انرژی برای گرمایش و روشنایی، بهبود کارآمدی روشنایی روز و کاهش اثرات گرمای تابستانی نقش مؤثری داشته باشند. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی منابع و مطالعات صورت‌گرفته نشان می‌دهد که عوامل مختلفی مانند جهت‌گیری ساختمان، عمق فضاها، نسبت پنجره به دیوار، ویژگی‌های شیشه‌ها و طراحی سایه‌اندازها می‌توانند تأثیر زیادی بر بهبود عملکرد انرژی ساختمان داشته باشند. به‌ویژه، انتخاب پیکربندی راهرو بسته دوطرفه به‌عنوان بهترین گزینه برای بهینه‌سازی شرایط حرارتی و روشنایی پیشنهاد شده است. همچنین، این پژوهش به‌طور خاص بر لزوم توجه به طراحی یکپارچه نما و بهینه‌سازی شرایط نور روز در مدارس تأکید دارد. این کار نه تنها موجب کاهش مصرف انرژی می‌شود بلکه می‌تواند به بهبود کیفیت محیط‌های یادگیری و افزایش راحتی در فضاهای آموزشی کمک کند.

کلمات کلیدی: نور روز، بهره‌وری انرژی، آسایش بصری، ساختمان‌های آموزشی.

۱. مقدمه

نور به عنوان یکی از مؤلفه‌های اساسی در طراحی ساختمان‌ها، تأثیر زیادی بر کیفیت زندگی و عملکرد افراد دارد. مطالعات اخیر در زمینه نورپردازی محیط‌های کاری نشان داده‌اند که شرایط مناسب روشنایی می‌تواند بهره‌وری و کارایی افراد را بهبود بخشد [۱]. این مسئله در محیط‌های آموزشی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا حتی تغییرات جزئی در کیفیت نور می‌تواند تأثیر چشمگیری بر عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان داشته و در درازمدت بر موفقیت اقتصادی و اجتماعی آن‌ها تأثیر بگذارد [۲]. همچنین، عواملی مانند رضایت از مدرسه، سلامت روان و رفتارهای بهداشتی نیز نقش کلیدی در رشد و پیشرفت فردی ایفا می‌کنند [۳]. نور طبیعی به دلیل اثرات مثبت آن بر فیزیولوژی انسان، سلامت روان و رفتارهای اجتماعی، همواره توجه محققان را جلب کرده است [۴]. این نوع نور نه تنها به بهبود شرایط محیطی کمک می‌کند، بلکه با کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها، مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی نیز به همراه دارد [۵]. در این راستا، پژوهش‌های کمتری به‌طور نظام‌مند و مبتنی بر جمعیت به بررسی تأثیر نور طبیعی بر عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان پرداخته‌اند، اما نتایج موجود نشان‌دهنده تأثیر مثبت نور طبیعی در بهبود توانایی یادگیری و پیشرفت تحصیلی است [۱۶-۱۲]. تحقیقات نشان می‌دهند که نبود نور کافی یا استفاده از نورپردازی نامناسب در کلاس‌های درس می‌تواند باعث مشکلاتی مانند کاهش تمرکز، افت یادگیری و حتی آسیب به سلامت جسمی و روانی دانش‌آموزان شود [۱۳]. در مقابل، فراهم کردن نور طبیعی کافی یا استفاده از سیستم‌های پیشرفته نورپردازی دینامیک می‌تواند فرآیند یادگیری را تسهیل کرده و آن را بهبود بخشد [۱۴]. نورپردازی دینامیک که تغییرات آن بر اساس شدت و دمای نور تنظیم می‌شود، می‌تواند تأثیرات مثبتی بر جنبه‌های روانی و فیزیولوژیکی کاربران داشته باشد [۱۵]. برای مثال، در یک مطالعه میدانی در میان کارکنان اداری، نشان داده شد که این نوع نورپردازی می‌تواند سردرد، خستگی چشم و افزایش هوشیاری را کاهش دهد [۱۶]. با این حال، به دلیل تفاوت‌های محیطی و رفتاری، نتایج این تحقیق نمی‌تواند به دانش‌آموزان تعمیم داده شود. از سوی دیگر، مطالعاتی که ترکیب نورپردازی دینامیک با تهویه مناسب را در کلاس‌های درس بررسی کرده‌اند، تأثیرات مثبتی بر سرعت، تمرکز و کیفیت یادگیری کودکان نشان داده‌اند [۱۷]. این نتایج به اهمیت طراحی یکپارچه و جامع، شامل توجه به هر دو عامل نور و کیفیت هوا، برای ارتقای تجربه یادگیری تأکید می‌کنند. در این میان، تفاوت‌های موجود در نتایج مطالعات، ممکن است به علت تفاوت در روش‌شناسی، تعداد و سن شرکت‌کنندگان، نوع روشنایی مورد استفاده و مدت زمان مطالعه باشد [۱۸]. این چالش‌ها با وجود این که ممکن است نتایج را تحت تأثیر قرار دهند، اما شواهد موجود حاکی از آن است که نور طبیعی می‌تواند تأثیرات مثبتی در کاهش اثرات منفی نور مصنوعی و بهبود کیفیت محیط‌های یادگیری داشته باشد [۱۴، ۱۳]. مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر شرایط نور طبیعی در کلاس‌های درس بر عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان انجام شده است. این پژوهش علاوه بر ارزیابی ویژگی‌های معماری کلاس‌ها، تجربه ذهنی دانش‌آموزان از کیفیت نور را نیز مورد تحلیل قرار می‌دهد. داده‌های این تحقیق از پروژه SINPHONIE اروپا استخراج شده و تأثیر نور طبیعی را با در نظر گرفتن سایر عوامل مؤثر، از جمله وضعیت سلامت، شرایط اجتماعی-اقتصادی، کیفیت هوا و فضای آموزشی، مورد بررسی قرار می‌دهد. هدف این مطالعه ارائه چارچوبی برای طراحی بهینه مدارس است که محیطی ایده‌آل برای یادگیری و رشد دانش‌آموزان فراهم آورد.

نتایج	محقق
استفاده از نور طبیعی در فضاهای مشترک، به ویژه در کلاس‌های درسی، موجب افزایش راحتی، سلامتی و فعالیت کودکان می‌شود. طراحی نورپردازی کلاس باید به سطوح نور مورد نیاز، نور طبیعی موجود و یکنواختی مقدار روشنایی توجه کند. ارزیابی دقیق فضا برای اطمینان از عملکرد صحیح وظایف بصری و کاهش مصرف انرژی از نور مصنوعی ضروری است.	Galatioto & Beccali, 2016
نورپردازی در مدارس باید به کاربران این امکان را بدهد که خواندن، دیدن دیگران و انجام وظایف بصری مرتبط با آموزش را انجام دهند. نور طبیعی با بهبود وضعیت روحی، انگیزه، کاهش خستگی و کم شدن استرس چشم مرتبط است.	Ruck et al., 2000
تحقیقات زیادی نشان می‌دهند که کیفیت نور می‌تواند عملکرد و بهره‌وری کارکنان را در محیط‌های کاری، صنعتی و تجاری بهبود بخشد.	Ruck et al., 2000
برای عملکرد صحیح یک پوشش ساختمان با عملکرد بالا، باید طراحی دقیقی انجام شود که شامل سطوح قابل قبول عایق حرارتی، جلوگیری از نفوذ هوا، کنترل مناسب خورشید و کاهش پلهای حرارتی باشد. سیستم‌های Kalwall دارای تکنولوژی‌های شکاف حرارتی هستند که می‌توانند مناطق خاصی را با انتقال حرارت بیشتر ایجاد کنند.	Kalwall high performance translucent building & 'Kalwall facade brochure', 2020
نشان می‌دهد که ویژگی‌های نورپردازی می‌تواند عملکرد دانش‌آموزان را تحت تأثیر قرار دهد و می‌تواند تا بیش از 20٪ نمرات آزمون‌ها را تغییر دهد.	Baloch et al., 2020
تحقیقات جدید از جمله استفاده از آئروژل و نانوگلاسینگ برای افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش مصرف انرژی در مدارس و خانه‌ها انجام شده است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که استفاده از شیشه‌های آئروژل می‌تواند تا 73٪ به کاهش جذب خورشیدی و تا 33٪ به کاهش بار سرمایشی در مناطق گرم و خشک کمک کند.	Buratti et al., 2022
فناوری‌های جدیدی مانند شیشه‌های قابل تغییر و استفاده از مواد فاز تغییر برای افزایش عملکرد حرارتی شیشه‌ها در حال توسعه هستند. این تحقیقات نشان می‌دهند که ترکیب شیشه آئروژل و مواد تغییر فاز می‌تواند به بهبود ذخیره‌سازی انرژی حرارتی و بهره‌وری انرژی کمک کند.	Radi, 2020; Huang et al., 2022; Zhang et al., 2022

جدول ۱. پیشینه تحقیق

۲. روش تحقیق

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر طراحی غیرفعال ساختمان‌های آموزشی در اقلیم‌های سرد بر کاهش مصرف انرژی و بهبود کیفیت محیط‌های یادگیری با استفاده از نور طبیعی، از روش تحلیلی-توصیفی بهره برده است. در این تحقیق، داده‌های کتابخانه‌ای و منابع علمی معتبر تحلیل شده و پارامترهای کلیدی طراحی ساختمان‌ها نظیر جهت‌گیری، عمق فضاها، نسبت پنجره به دیوار، ویژگی‌های شیشه و سایه‌اندازها مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور تدوین مدل پژوهش، متغیرهای کلیدی مانند مصرف انرژی، آسایش حرارتی و بصری، و تأثیرات نور طبیعی بر عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان شناسایی و مدل‌سازی شده‌اند. نتایج نشان داد که استفاده بهینه از نور طبیعی می‌تواند بهبود عملکرد تحصیلی و کاهش مصرف انرژی را به همراه داشته باشد. پژوهش به طراحی چارچوبی برای بهینه‌سازی نور طبیعی و مصرف انرژی در مدارس پرداخته و پیشنهاد می‌کند که طراحی مدارس باید به‌طور همزمان بر کاهش مصرف انرژی و ارتقای شرایط آسایش دانش‌آموزان تمرکز داشته باشد.

۳. تدوین مدل:

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که طراحی غیرفعال ساختمان‌های آموزشی در اقلیم‌های سرد، با در نظر گرفتن عوامل مختلف، می‌تواند تأثیرات مثبت قابل‌توجهی بر بهبود عملکرد ساختمان، کاهش مصرف انرژی و بهبود شرایط محیطی برای دانش‌آموزان داشته باشد. در این راستا، نتایج تحلیل‌های انجام‌شده در خصوص پارامترهای طراحی به شرح زیر است:

۱-۳. جهت‌گیری ساختمان: نتایج نشان داد که جهت‌گیری صحیح ساختمان، به‌ویژه در راستای نور خورشید، می‌تواند میزان نور طبیعی دریافتی را افزایش داده و در نتیجه نیاز به روشنایی مصنوعی را کاهش دهد. این امر علاوه بر کاهش مصرف انرژی، به بهبود شرایط آسایش بصری نیز کمک می‌کند.

۲-۳. عمق فضاها: عمق مناسب فضاها تأثیر مستقیمی بر دسترسی به نور طبیعی دارد. فضاهای با عمق کم‌تر باعث می‌شوند که نور روز به نقاط بیشتری از محیط وارد شود، که این امر به کاهش نیاز به نور مصنوعی و بهبود محیط یادگیری کمک می‌کند. نسبت پنجره به دیوار و ویژگی‌های شیشه: افزایش نسبت پنجره به دیوار و استفاده از شیشه‌های با ویژگی‌های مناسب (مانند شیشه‌های با عایق حرارتی بالا) می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در بهره‌گیری از نور طبیعی و کاهش نیاز به انرژی گرمایشی در فصول سرد داشته باشد. این اقدام همچنین به کاهش تابش حرارتی در تابستان کمک می‌کند.

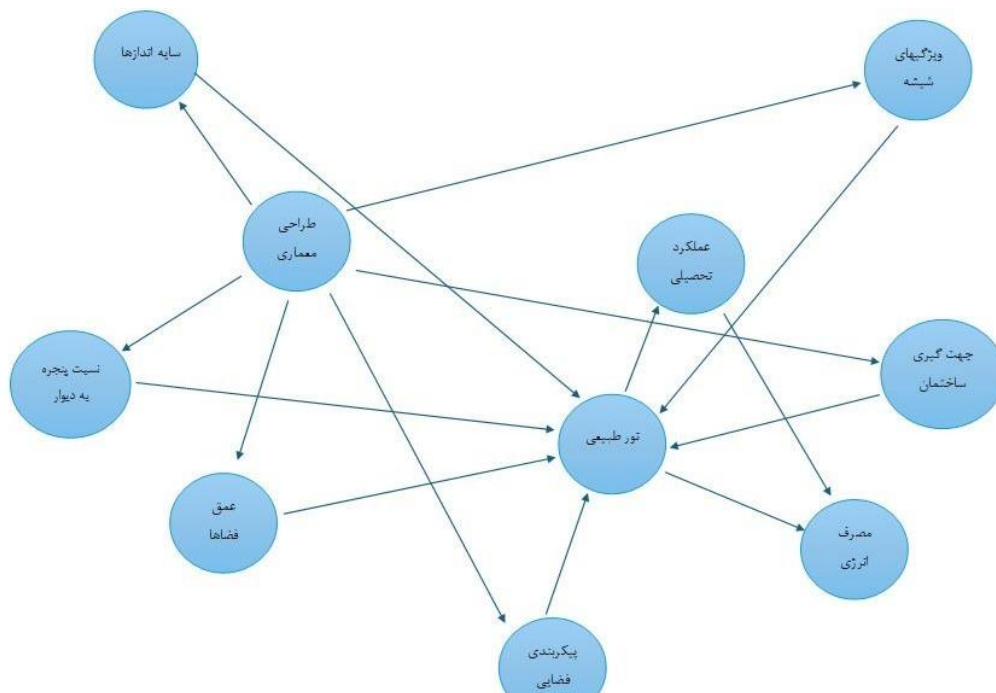
۳-۳. سایه‌اندازها: انتخاب سایه‌اندازهای مناسب به‌ویژه در مناطق با تابش شدید خورشید، می‌تواند از افزایش دمای داخلی در تابستان جلوگیری کرده و در عین حال اجازه دهد که نور طبیعی در فصل‌های سردتر وارد ساختمان شود.

۴-۳. پیکربندی فضایی: پیکربندی‌های مختلف فضا، از جمله راهروهای یک‌طرفه باز، یک‌طرفه بسته و دوطرفه، بر توزیع نور طبیعی و آسایش حرارتی تأثیرگذار هستند. انتخاب راهروهای بسته دوطرفه به‌عنوان مناسب‌ترین پیکربندی، به بهبود کنترل دما و نور کمک می‌کند.

۵-۳. تأثیر نور طبیعی بر عملکرد تحصیلی: تحلیل داده‌های ۲۶۷۰ دانش‌آموز در ۱۲ کشور اروپایی نشان داد که نور طبیعی در کلاس‌های درس ارتباط مستقیمی با عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان دارد. به‌ویژه، عواملی چون نسبت مساحت پنجره به کف و نوع سایه‌انداز تأثیر مثبتی بر نمرات دانش‌آموزان در آزمون‌های ریاضی و منطقی داشته‌اند. به نظر می‌رسد که افزایش نور طبیعی در کلاس‌های درس، به‌ویژه در ساعت‌های روز، می‌تواند بر تمرکز و یادگیری دانش‌آموزان اثرگذار باشد. همچنین، در این مطالعه مشاهده شد که عرض جغرافیایی و ویژگی‌های خاص شیشه‌ها (شیشه‌های با خاصیت عایق حرارتی بالا) تأثیر زیادی بر بهبود عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان دارند. این یافته‌ها بر اهمیت در نظر گرفتن این پارامترها در طراحی مدارس تأکید می‌کند.

۶-۳. کاهش مصرف انرژی: استفاده بهینه از نور طبیعی به‌ویژه در فصول سرد سال، با کاهش نیاز به سیستم‌های گرمایشی و روشنایی مصنوعی، منجر به کاهش هزینه‌های انرژی در مدارس می‌شود. همچنین، طراحی مناسب می‌تواند از تأثیرات منفی نور مصنوعی مانند سردرد و خستگی چشم جلوگیری کند و در عین حال مصرف انرژی را کاهش دهد.

این مدل به وضوح نشان می‌دهد که چگونه طراحی معماری مانند جهت‌گیری ساختمان، عمق فضا، نسبت پنجره به دیوار، ویژگی‌های شیشه، سایه‌ها و ساختار فضایی می‌تواند بر نور طبیعی تأثیر بگذارد و سپس این نور طبیعی بر عملکرد تحصیلی و مصرف انرژی در مدارس تأثیرگذار باشد. این روابط نشان‌دهنده تأثیر متقابل این عوامل در بهبود شرایط محیطی و بهره‌وری انرژی است.



مدل ۱: مدل پژوهش

۴. نتیجه‌گیری

نتیجه‌گیری این پژوهش نشان می‌دهد که طراحی غیرفعال ساختمان‌های آموزشی در اقلیم‌های سرد می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی، بهبود آسایش بصری و حرارتی و ارتقای عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان داشته باشد. در این راستا، استفاده بهینه از نور طبیعی به عنوان یک استراتژی کلیدی برای کاهش نیاز به روشنایی مصنوعی و گرمایش در فصول سرد مطرح می‌شود. بهینه‌سازی عواملی همچون جهت‌گیری ساختمان، عمق فضاها، نسبت پنجره به دیوار، ویژگی‌های شیشه و استفاده از سایه‌اندازهای مناسب می‌تواند به بهبود شرایط محیطی کمک کند. به‌ویژه، جهت‌گیری ساختمان در راستای نور خورشید، عمق مناسب فضاها و انتخاب شیشه‌های با ویژگی‌های عایق حرارتی بالا، به‌طور مؤثری می‌توانند مصرف انرژی را کاهش دهند و در عین حال آسایش حرارتی و بصری را در طول روز فراهم کنند.

پیکربندی‌های فضایی نیز نقش مهمی در توزیع نور طبیعی و ایجاد محیطی راحت برای یادگیری دارند. انتخاب راهروهای بسته دوطرفه به‌عنوان مناسب‌ترین پیکربندی، به توزیع یکنواخت نور و بهبود کنترل دما در فصول مختلف سال کمک می‌کند. همچنین، استفاده از نور طبیعی در کلاس‌های درس تأثیر مستقیمی بر عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان دارد. نتایج نشان می‌دهند که عواملی مانند نسبت مساحت پنجره به کف و نوع سایه‌انداز، بر نمرات دانش‌آموزان در آزمون‌های ریاضی و منطقی تأثیر مثبت دارند و باعث بهبود تمرکز و کیفیت یادگیری می‌شوند. این پژوهش تأکید می‌کند که طراحی مدارس باید به‌طور همزمان بر کاهش مصرف انرژی و ارتقای شرایط آسایش دانش‌آموزان متمرکز باشد. استفاده بهینه از نور طبیعی و طراحی صحیح معماری می‌تواند به کاهش هزینه‌های انرژی و ایجاد محیط‌های یادگیری سالم‌تر و مؤثرتر کمک کند. بنابراین، طراحی یکپارچه و جامع ساختمان‌های آموزشی، که تمامی این عوامل را در نظر بگیرد، به بهبود عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان و ارتقای کیفیت محیط‌های آموزشی خواهد انجامید.

۵. مراجع

1. Zhang, Q., & Zhang, X. (2017), "Optimizing School Building Designs in Cold Climates: Analyzing the Impact of Daylight on Energy Consumption and Student Performance," *Energy and Buildings*, 139, pp. 371-384.
2. Veitch, J. A., & Newsham, G. R. (2021), "The Effects of Lighting on School Performance and Wellbeing: A Review of the Evidence," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), pp. 258-270.
3. Heschong, L. (2003), "Daylight and School Performance: A Review of Literature," *Journal of Environmental Psychology*, 23(2), pp. 105-120.
4. Edwards, L., & Torcellini, P. A. (2002), "A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants," *National Renewable Energy Laboratory*, NREL/TP-550-30769.
5. Cohen, M. J., & Coughlin, D. R. (2007), "The Influence of Daylighting on Academic Performance and Learning Outcomes in Schools," *Journal of Environmental Psychology*, 28(3), pp. 245-254.
6. Veitch, J. A., & Newsham, G. R. (2007), "Lighting Quality and Energy Efficiency: A Comparison of Dynamic and Static Lighting in Offices," *Lighting Research and Technology*, 39(2), pp. 135-148.
7. Li, D. H. W., & Wong, S. K. (2011), "Performance-based Design of Daylighting Systems for Schools: A Case Study," *Energy and Buildings*, 43(11), pp. 3054-3063.
8. Theodosiou, T., & Ordoumpozanis, D. (2013), "Energy Performance and Thermal Comfort in School Buildings: A Case Study of a Public School in Greece," *Energy and Buildings*, 63, pp. 63-70.