

آنالیز سیستم لوله نور خورشیدی در مدرسه به کمک مدل سازی اطلاعات ساختمان با رویکرد هزینه چرخه عمر ساختمان

امیرحسین فتحی^{۱*}، سید علی رضوی طباطبائی^۲، سینا محمدی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، گرایش مدیریت ساخت، دانشگاه علم و فرهنگ تهران، amirhoseinfathi7678@gmail.com

۲- استادیار، مهندسی عمران، گرایش سازه، دانشگاه علم و فرهنگ تهران، Arazavi@usc.ac.ir

۳- مدرس، مهندسی عمران، گرایش مدیریت ساخت، دانشگاه علم و فرهنگ تهران، sina_mohammadi@outlook.com

چکیده

در حال حاضر، با توجه به اهمیت بیشتر انرژی‌های تجدیدپذیر و نگرانی‌های مربوط به پایان رسیدن ذخایر انرژی‌های غیرقابل تجدید، صنایع مختلف در حال تلاش برای تأمین انرژی از منابع جایگزین مانند انرژی خورشیدی هستند. این موضوع به خصوص در صنعت ساختمان مورد توجه قرار گرفته است، جایی که از انواع مختلف منابع تجدیدپذیر برای رفع نیازهای مختلف استفاده می‌شود. یکی از این منابع، نور و روشنایی است. در صنعت ساختمان، که به‌عنوان یکی از بخش‌های مهم مصرف انرژی شناخته می‌شود، استفاده از انرژی و روشنایی امری بسیار حیاتی است. این صنعت مسئول بخش قابل توجهی از مصرف انرژی می‌باشد. در واقع، الکتریسیته تبدیل به رتبه اول در مصرف انرژی در این صنعت شده است. با توجه به این آمارها، توجه به استفاده هوشمندانه از انرژی، به‌ویژه نور طبیعی خورشید، در صنعت ساختمان ضروری به نظر می‌رسد. گرچه استفاده از نور طبیعی خورشید مورد توجه طراحان و سازندگان است، اما به دلیل محدودیت‌های فیزیکی، تنها در فضاهای خاصی که با فضای بیرونی ساختمان در ارتباط هستند، می‌توان از نور طبیعی استفاده کرد. لازم به ذکر است که بهره‌مندی از نور طبیعی یک عامل تعیین کننده در کیفیت ساختمان‌ها محسوب می‌شود. استفاده از سیستم لوله نور خورشیدی به دلیل قابلیت انتقال نور خورشید به نقاط تاریک ساختمان‌ها، یک راهکار نوآورانه است. ساختمان‌هایی که به دلیل موقعیت جغرافیایی خود نمی‌توانند به طور کامل از نور خورشید بهره‌مند شوند یا ساختمان‌هایی که فقط در طول روز مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توانند از این سیستم به عنوان یک راهکار مناسب جهت بهینه‌سازی و مدیریت بهتر نور محیطی استفاده کنند. این اقدام منجر به کاهش نیاز به نور مصنوعی می‌شود و در نتیجه به صرفه‌جویی در مصرف انرژی منجر خواهد شد. هدف اصلی این پژوهش ارزیابی عملکرد سیستم لوله نور خورشیدی در تأمین روشنایی ساختمان است. این به‌بهد به وسیله مدل‌سازی اطلاعات ساختمان با رویکرد هزینه چرخه عمر ساختمان انجام می‌شود. این سیستم نه تنها به بهبود محیط زندگی در داخل ساختمان کمک می‌کند بلکه با بهره‌گیری از انرژی خورشید، یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر و مهم، به بهترین شکل ممکن از این منبع بهره‌برداری می‌کند. در این پژوهش، سیستم لوله نور خورشیدی برای یک مدرسه مورد بررسی قرار گرفته است. طبق آنالیز انجام شده، این سیستم توانسته است میزان روشنایی قابل قبولی را برای فضاهای مدرسه فراهم کند. از نظر هزینه، در ابتدا این سیستم ممکن است سودآوری نداشته باشد، اما با توجه به کاهش مصرف انرژی و تورم زیاد در کشور ایران، در طول عمر ساختمان با سودآوری همراه خواهد شد.

واژگان کلیدی: سیستم لوله نور خورشیدی، آنالیز نور سیستم خورشیدی، مدل سازی اطلاعات ساختمان، هزینه چرخه عمر ساختمان.

۱- مقدمه

در صنعت ساختمان سازی، نور نقش اساسی در ایجاد شرایط بهتر راحتی بصری برای ساکنان دارد. روشنایی، جنبه های متعددی را در خصوص ارتقاء تجربه بصری افراد در داخل ساختمان شامل می شود. از یک سو، استفاده از استراتژی های صرفه جویی در انرژی به منظور بهبود عملکرد انرژی ساختمان، از منابع نور روز مانند پنجره ها و نورگیرها استفاده می کند تا نور طبیعی را به داخل فضاهای ساختمان منتقل کند. این رویکرد نه تنها به افزایش بهره وری انرژی کمک می کند بلکه از جنبه راحتی بصری ساکنان نیز مراقبت می نماید.

انرژی خورشیدی به عنوان یکی از منابع تامین انرژی پاک، رایگان و بدون اثرات مخرب زیست محیطی، تاریخچه ای بلند در استفاده انسان دارد. نور خورشید، اگرچه در بیرون جو، طیف گسترده ای از امواج الکترومغناطیس را شامل می شود، اما به دلیل جذب و پخش اتمسفر زمین، بیشترین انرژی را در ناحیه میان اشعه ماوراء بنفش و مادون قرمز دریافت می کند. نور خورشید، با توجه به اثرات مثبت آن بر سیستم های زنده، مانند ضد عفونی کننده بودن اشعه ماوراء بنفش یا تأثیرات مثبت بر سیستم فیزیولوژیک بدن انسان، با ساختار فیزیکی و روانی انسان سازگاری بالایی دارد. بیماری های تنفسی در محیط های کاری با نور ناکافی یا نور مصنوعی، به طور قابل توجهی بیشتر از محیط های دارای نور طبیعی رواج دارد.

استفاده از سیستم های روشنایی الکتریکی، علاوه بر هزینه های بالا، منجر به گرم شدن غیر ضروری فضا و خسارات جسمی و روانی، به ویژه بر روی چشم ها، می شود. [1] در مقابل، نور خورشید به عنوان یک منبع نور طبیعی، نه تنها موجب کاهش هزینه ها می شود بلکه در مقایسه با نور لامپ، خسارات جسمی (چشم) کمتری ایجاد می کند و حس خستگی را به حداقل می رساند. [1] با توجه به بحران انرژی، جایگزینی انرژی های فسیلی با منابع تجدید پذیر، به خصوص انرژی خورشیدی، در جهت صرفه جویی در مصرف انرژی، کنترل عرضه و تقاضای انرژی و کاهش انتشار گازهای آلاینده پیشنهادی حیاتی محسوب می شود. این رویکرد نه تنها به بهبود محیط زیست کمک می کند بلکه از لحاظ اقتصادی نیز مزایای قابل توجهی را به دنبال دارد.

در ایران، با در نظر گرفتن موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی، انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع قابل اعتماد و پاک، امکان استفاده فراوان در روشنایی ساختمان های مسکونی، اداری، تجاری و حتی صنعتی را فراهم می آورد. این رویکرد نه تنها میزان استفاده از نور طبیعی را افزایش می دهد، بلکه در تولید و مصرف برق صنعتی نیز به صرفه جویی کمک می کند. در شرایطی که میزان بارندگی در ایران به شدت کاهش یافته و کمبود آب به یک چالش جدی تبدیل شده است، استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع تجدید پذیر می تواند نقش مهمی در صنعت ساختمان ایفا کند. این رویکرد، علاوه بر صرفه جویی در مصرف انرژی، به حفظ منابع آبی کمک می کند و برای کشور با مشکل کم آبی، گزینه ای موثر و پایدار است. تولید برق صنعتی، علاوه بر مسائل کم آبی و خشکسالی، می تواند به مشکلات آلودگی هوا نیز بیافزاید.

برای بهره گیری از نور طبیعی خورشید، سیستم های مختلفی در سالیان قبل معرفی و مورد استفاده قرار گرفته شده است. یک مورد از این سیستم ها، سیستم لوله نور خورشیدی^۱ می باشد. این سیستم به سادگی امکان انتقال نور خورشید را به داخل ساختمان، فراهم می کند و به مکان هایی از ساختمان که از نور کافی برخوردار نیستند، روشنایی مطلوب را ارائه می دهد. علاوه بر موضوع روشنایی، بحث هزینه چرخه عمر ساختمان نیز مطرح است که با استفاده از فناوری مدل سازی اطلاعات ساختمان^۲، به بررسی و بهینه سازی هزینه های مرتبط با این سیستم ها در طول عمر ساختمان پرداخته خواهد شد.

در این پژوهش، روش مدل سازی به کار گرفته شده است. ابتدا، ساختمان های مورد بررسی با استفاده از نرم افزار رویت^۳ مدل سازی می شوند و سیستم لوله نور خورشیدی در پروژه مدرسه پیاده سازی می شود. سپس، این سیستم با استفاده از نرم افزار

¹ Solar light tube system or solar light pipe system

² Building information modeling

³ Revit

کامسول^۱ مدل سازی شده و تحلیل میزان خروجی نور خورشید در آن انجام می شود. همچنین، در نرم افزار دیالوکس^۲، میزان روشنایی فضاها با استفاده از سیستم لوله نور خورشیدی بررسی می شود.

پس از مدل سازی و تحلیل ها، با بهره گیری از مدل سازی اطلاعات ساختمان، به بررسی انواع هزینه های مربوط به این سیستم در چرخه عمر ساختمان پرداخته می شود. این اقدام به منظور ارزیابی کارایی و اقتصادی سیستم انتقال نور طبیعی خورشیدی صورت می گیرد و می تواند به بهبود تصمیم گیری در زمینه بهینه سازی استفاده از این سیستم در ساختمان ها کمک کند.

هدف این پژوهش، بررسی سیستم لوله نور خورشیدی در پروژه مدرسه می باشد. دلیل اصلی انتخاب محیط مدرسه، زمان استفاده از این مکان در طول روز و نیاز مداوم به نور طبیعی است. این پژوهش با هدف افزایش بهره وری از نور طبیعی روز برای ساکنین محیط مدرسه و بهبود روشنایی فضای آموزشی انجام شده است. همچنین، جنبه اقتصادی پژوهش نیز مورد بحث قرار خواهد گرفت تا ارزیابی شود که راه اندازی و نگهداری این سیستم در طول عمر ساختمان، مقرون به صرفه است یا خیر.

بررسی با استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان می تواند هزینه های تولید و نگهداری سیستم های روشنایی را بهبود بخشند و در نهایت، هزینه های چرخه عمر ساختمان را مورد ارزیابی قرار دهند. این هزینه ها شامل هزینه خود سیستم، هزینه راه اندازی، هزینه نگهداری، و مدیریت هزینه های روشنایی مصنوعی می شوند. از این طریق، می توان به بهترین نحو از نور طبیعی خورشید در ساختمان ها بهره برد و همچنین از نظر اقتصادی بهترین تصمیمات را اتخاذ کرد.

۲-مرور ادبیات

فعالیت های انسانی، به ویژه سوزاندن سوخت های فسیلی، باعث انتشار آلاینده هایی در اتمسفر می شود که منجر به گرمایش جهانی و تخریب لایه اوزون می گردد. برای بهبود وضعیت محیط زیست، ضروری است که مصرف انرژی و استفاده از سوخت های فسیلی کاهش یابد. [2] در این راستا، مدیریت مصرف انرژی در روشنایی ساختمان ها به عنوان یکی از راهکارهای اساسی به شمار می آید. مصرف انرژی برای روشنایی در ساختمان ها به عنوان یکی از عوامل اصلی انتشار کربن در نظر گرفته می شود و تا ۴۰ درصد از کل مصرف انرژی ساختمان ها را تشکیل می دهد. [3] این درصد قابل توجه نشان دهنده اهمیت کاهش مصرف انرژی در این بخش است. همچنین، حاصل از روشنایی مصرفی تأثیر مستقیمی بر بارهای گرمایش و سرمایش ساختمان ها دارد.

صنعت ساختمان، نه تنها ۴۰ درصد از انرژی مصرفی را به خود اختصاص می دهد، بلکه ۳۰ درصد از درآمد حاصل از فروش نفت نیز به آن مرتبط است. مصرف الکتریسیته نیز به عنوان اصلی ترین عامل مصرف انرژی در این صنعت محسوب می شود. با توجه به این واقعیت، جایگزینی مناسب و مدیریت صحیح مصرف انرژی در ساختمان ها می تواند به کاهش مصرف سوخت های فسیلی و کاهش اثرات منفی زیست محیطی کمک کند و به عنوان یک راهکار اساسی در کاهش آلاینده ها و گرمایش جهانی مطرح شود.

تأثیر بصری نور بر جلوه و زیبایی محیط زندگی یا کار بسیار حائز اهمیت است. هر چند هر ساختمان به علت عملکردهای مختلف، نیازهای متنوعی دارد، اما بهره گیری از نور روز به عنوان منبع نور اصلی یا فرعی باعث بهبود عوامل انرژی، بهره وری و سلامت می شود. [4] پیشرفت های اخیر در سیستم های روشنایی نوری فرصت های جدیدی را برای ایجاد منابع نور قابل اعتماد با کاربرد گسترده و کارایی بالا ارائه می دهد. با توجه به پیشرفت های مواد تجدیدپذیر، استفاده از سیستم های نوری برای کنترل روشنایی به نحوی ساده، قابل اعتماد و به صرفه ممکن است. [5]

نیاز به ساختمان های کارآمد انرژی و درک مزایای فیزیولوژیکی و روان شناختی نور طبیعی برای ساکنان، توسعه فناوری های نوآورانه روشنایی روز را ترویج کرده است. این فناوری ها به عنوان سیستم های هدایت نور روز شناخته می شوند [6] که می توانند

¹ Comsol
² DIALux

با افزایش سطوح نور طبیعی، مناطق بسیار عمیق‌تری را در ساختمان‌ها نسبت به آنچه معمولاً تنها با پنجره‌ها به دست می‌آید، روشن کنند. این سیستم‌ها به طور بالقوه می‌توانند مصرف انرژی کلی ساختمان را کاهش داده و در نتیجه بار خنک‌کننده ساختمان را کاهش دهند. از این رو، این سیستم‌ها تأثیر مستقیمی بر بهره‌وری انرژی و محیط زیست دارند و محیط‌های سالم‌تری را برای ساکنان ساختمان فراهم می‌کنند. نمونه‌هایی از این سیستم‌ها شامل لوله‌های نور، لوله‌های نور آینه‌ای، فیبر نوری، لنزها و غیره می‌باشند.

سیستم‌های هدایت نور روز عمدتاً از سه بخش تشکیل شده‌اند. این بخش‌ها عبارتند از سیستم جمع‌آوری نور (که نور روز را جذب می‌کند)، بخش حمل‌ونقل/هدایت (که نور را در فواصل طولانی به داخل ساختمان منتقل می‌کند) و سیستمی برای توزیع نور و روشن کردن فضا می‌باشد. [7]

این فناوری‌های نوآورانه توجه گسترده‌ای از سوی محققان، طراحان، توسعه‌دهندگان محصول و صنعت ساختمان (توسعه‌دهندگان/سازندگان و غیره) را جلب کرده‌اند. کاربردهای آنها در ساختمان‌ها از سیستم‌های ساده مخصوص استفاده در خانه‌های کاربران، تا سیستم‌های پیشرفته مورد استفاده در ادارات، مراکز آموزشی، صنعتی و مراقبت‌های بهداشتی و حتی تاسیسات مختلفی که از سیستم‌های هدایت نور روز بهره می‌برند، شامل می‌شود. [8]

تحقیقات کنونی در مورد سیستم‌های هدایت نور روز شامل حوزه‌های زیر است:

- ۱- طراحی‌های جدید [9]
- ۲- بهینه‌سازی طراحی [10]
- ۳- نظارت بر عملکرد [11]
- ۴- مدل‌های پیش‌بینی [12]
- ۵- شبیه‌سازی [13]
- ۶- مطالعات مقایسه‌ای [14]
- ۷- نظارت بر کاربردهای واقعی ساختمان و تجزیه و تحلیل تابش خیره کننده [15]
- ۸- نگرش‌های کاربر و ادراک کاربر [16]
- ۹- ادغام با روشنایی الکتریکی (سیستم‌های هیبریدی) [17]
- ۱۰- تحلیل هزینه و چرخه عمر [18]

اکثر لوله‌های نور خورشیدی تجاری حاوی لوله‌های تو خالی هستند که امکان عبور نور از مسیرهای مستقیم و زاویه‌دار را فراهم می‌کنند. لوله‌ها با مواد منعکس‌کننده نور پوشش داده شده‌اند، و شرکت‌های مختلف از موادی مانند آلومینیوم آنادایز^۱ شده یا نقره برای ایجاد بازتاب نور با درصد حدود ۹۵ تا ۹۷ استفاده می‌کنند. این لوله‌ها همچنین باعث کاهش انتقال حرارت در فصل زمستان نسبت به پنجره‌های معمولی می‌شوند. [2]

از نظر تئوری، شبکه انتقال ممکن است پرتوهای نور جمع‌آوری شده را به صورت چهار تا هشت طبقه به پایین هدایت کند، که در هر طبقه توزیع می‌شود و تا ۱۵ متر به صورت افقی در بافت ساختمان از طریق دستگاه‌های انعکاسی یا نوری گسترش می‌یابد [19]. البته امروزه لوله‌های نوری توانایی رساندن نور را تا ۳۰ متر نیز دارند.

نخستین سیستم‌های نور خورشید آینه‌ای تجاری، در دهه ۱۸۵۰ با استفاده از طرح‌های مختلف آینه‌های زاویه‌دار، به بازار عرضه شدند. این مفهوم در سال ۱۹۹۱، زمانی که Solatube International یک سیستم روشنایی روز را معرفی کرد، مجدداً کشف شد و برای استفاده گسترده در حوزه مسکونی و تجاری به بازار عرضه شد.

¹ Anodized aluminum



شکل ۱. سیستم لوله نور خورشیدی

۳- معرفی و مدل سازی پروژه با نرم افزار Revit

پروژه مدرسه دارای دوطبقه که در طبقه اول سالن ورزشی، سالن آمفی تئاتر، انبار و موتورخانه و در طبقه دوم شش کلاس درس، چهار اتاق دارای، دو سالن غذاخوری، سالن کتابخانه و آبدارخانه می باشد. پروژه با نرم افزار Revit مدل سازی شده است.



شکل ۲. مدل سازی مدرسه

۴- جانمایی سیستم لوله نور خورشیدی در پروژه

در پروژه مدرسه، سیستم لوله ی نور خورشیدی برای طبقه اول به صورت مستقیم از کف بام وارد می شود، بدون خم ۹۰ درجه، و مستقیماً از سقف فضاهای مربوط به این طبقه تغذیه می گردد. اما برای فضاهای طبقه همکف، از نماهای ساختمان برای انتقال نور خورشید استفاده شده است. در این حالت، لوله های نور خورشیدی با یک خم ۹۰ درجه از داخل دیوارها وارد فضاها می شوند، که این روش برای ایجاد انعطاف و جلوگیری از مشکلات ممکن در ارتباط با ساختار دیوارها مورد استفاده قرار گرفته است.



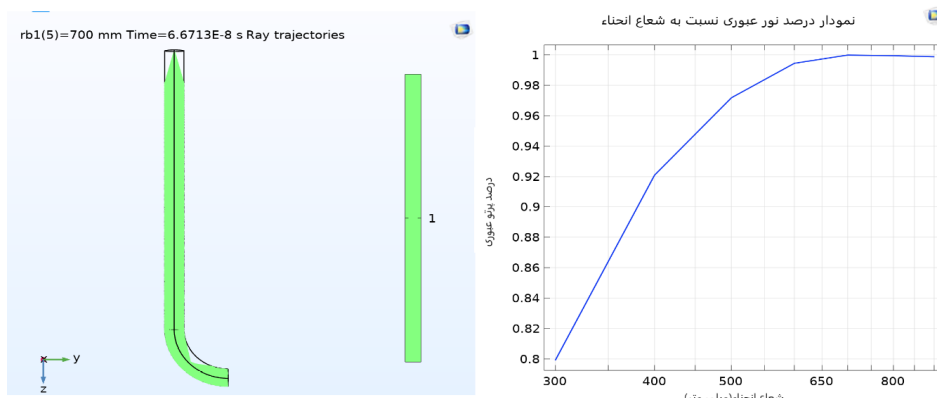
شکل ۳. جانمایی سیستم لوله نور خورشیدی در پروژه مدرسه

۵- آنالیز نور سیستم نور خورشیدی با نرم افزار Comsol

COMSOL Multiphysics یک نرم افزار قدرتمند مدلسازی است که برای شبیه سازی فرآیندهای فیزیکی با استفاده از معادلات دیفرانسیل جزئی^۱ به کار می رود. این نرم افزار با یک تحلیل گر مدرن تجهیز شده است که به سرعت و با دقت مشکلات پیچیده را حل می کند. همچنین از نظر طراحی، به صورت بصری ساختار یافته است تا استفاده از آن برای کاربران ساده و انعطاف پذیر باشد.

استفاده از الگوهای مدل سازی از پیش تعریف شده، به کاربر این امکان را می دهد که به راحتی بیشتر پدیده ها را به مدل تبدیل کرده و سریعاً با پیش فرض ها و تنظیمات اولیه آشنا شود. همچنین، اگر نیاز به اصلاح و تنظیمات دقیق تر باشد، در برنامه های خاص، از طریق قابلیت های مدل سازی مبتنی بر معادله، این اصلاحات امکان پذیر است. این امکان به کاربران این اطمینان را می دهد که می توانند به سادگی مدل های پیچیده تر را ایجاد کنند و در نتیجه به تحلیل دقیق تر پدیده های مورد مطالعه بپردازند.

برای آنالیز سیستم لوله نور خورشیدی در این نرم افزار، از فیزیک اپتیک و مطالعه ردیابی پرتوهای نوری استفاده می شود. ابتدا، لوله با مشخصات دلخواه در نرم افزار رسم می شود. سپس، جزئیاتی نظیر جنس لوله، نوع شبکه بندی و سایر مشخصات برای آنالیز تعیین می شوند. در شکل ۴، نمونه ای از آنالیز انجام شده در این نرم افزار نمایش داده شده است. جدول ۱ نیز مشخصات و نتایج به دست آمده از آنالیز این سیستم را نشان می دهد.



شکل ۴. نمونه آنالیز لوله در نرم افزار کامسول

^۱ PDE: Partial Differential Equations

جدول ۱. آنالیز سیستم لوله نور خورشیدی در نرم افزار کامسول برای پروژه مدرسه

عنوان	طبقه	ارتفاع (متر)	قطر (متر)	شعاع خم (متر)	خم ۹۰ درجه	جنس	درصد نور عبوری
سیستم لوله نور خورشیدی	طبقه همکف	۲/۴	۰/۲۵	۰/۸	۱	پلی متیل متاکریلات	۱۰۰
	طبقه اول	۶	۰/۲۵		۰		۱۰۰

برای محاسبه میزان نور خروجی از لوله، می توان ابتدا میزان درصد عبوری پرتوها که در جدول ۱ بیان شده است را با میزان تابش خورشید در ساعت مورد نظر ضرب کرد. میزان تابش خورشید به ازای یک متر مربع است، بنابراین برای محاسبه تابش خورشید بر اساس سطح مقطع لوله، می توان سطح مقطع لوله را به متر مربع تبدیل کرده و سپس آن را در میزان تابش خورشید ضرب کرد.

تابش خورشید در ساعات مختلف روز به واحد وات بر متر مربع اندازه گیری می شود. برای محاسبه میزان نوردهی در دیالوکس (که در بخش بعدی توضیح داده خواهد شد)، نیاز به تبدیل واحد اندازه گیری از وات بر متر مربع به لوکس داریم. به طور تقریبی، هر یک وات بر متر مربع تقریباً معادل با ۱۱۶ لوکس است [20]. این تبدیل واحد اهمیت زیادی در ارتباط با تحلیل میزان نوردهی و تأثیرات آن در دیالوکس دارد.

برای آنالیز، روز میانی هر فصل در ساعات مختلف در نظر گرفته شده است که میزان تابش خورشید در این روزها در ساعات مختلف در جدول ۲ و جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲. میزان تابش خورشید در روزهای مورد نظر بر حسب وات بر متر مربع [21]

روز	میزان تابش در ساعات مختلف (وات بر متر مربع)		
	ساعت ۹:۰۰	ساعت ۱۲:۰۰	ساعت ۱۵:۰۰
۱۵ اردیبهشت	۳۷۱	۵۳۱	۴۲۳
۱۵ مرداد	۴۱۰	۵۷۴	۴۶۲
۱۵ آبان	۳۴۹	۴۸۶	۳۸۴
۱۵ بهمن	۲۸۱	۳۹۱	۳۵۹

جدول ۳. میزان تابش خورشید در روزهای مورد نظر بر حسب لوکس

روز	میزان تابش در ساعات مختلف (لوکس)		
	ساعت ۹:۰۰	ساعت ۱۲:۰۰	ساعت ۱۵:۰۰
۱۵ اردیبهشت	۴۳,۰۳۶	۶۱,۵۹۶	۴۹,۰۶۸
۱۵ مرداد	۴۷,۵۶۰	۶۶,۵۸۴	۵۳,۵۹۲
۱۵ آبان	۴۰,۴۸۴	۵۶,۳۷۶	۴۴,۵۴۴
۱۵ بهمن	۳۲,۵۹۶	۴۵,۳۵۶	۴۱,۶۴۴

۶- میزان نوردهی در فضاها با نرم افزار DIALux evo

در حال حاضر، نرم افزارهای روشنایی در فرآیند طراحی پروژه های روشنایی به شدت مورد استفاده قرار می گیرند. طراحان با بهره گیری از این نرم افزارها به سرعت و با دقت، سیستم های روشنایی را طراحی و اجرا می کنند. یکی از نرم افزارهای بسیار محبوب و مورد توجه در زمینه محاسبات روشنایی و نورپردازی، DIALux و DIALux evo می باشد. این نرم افزارها امکانات گسترده ای برای تحلیل و بهینه سازی نظام های روشنایی فراهم کرده و به طراحان کمک می کنند تا بهترین نتایج را در طراحی روشنایی پروژه ها به دست آورند.

با وارد کردن اطلاعات معماری فضا، از قبیل ابعاد اتاق، جنس، رنگ، و بافت محیط، و مشخص کردن کاربری فضا مانند فضاهای اداری، تجاری و غیره، می توان با استفاده از نرم افزارهای طراحی روشنایی، محاسبات روشنایی را با توجه به فاکتورهای نوع چراغ، دمای رنگ چراغ، زاویه پخش نور و بر اساس چیدمان المان های معماری انجام داد. بسیاری از شرکت های تولیدکننده محصولات روشنایی اطلاعات فنی چراغ های خود را بر اساس منحنی پخش نور هر چراغ، به صورت فایل هایی که افزونه^۱ نامیده می شود، ارائه می دهند. به همین دلیل، استفاده از این نرم افزارها در ایران به صورت گسترده انجام می شود.

در ابتدا، ابعاد اتاق یا فضایی که قرار است آنالیز آن گرفته شود، شامل طول، عرض و ارتفاع فضا تعیین می شود. میزان انعکاس دیوارها، سقف و کف نیز با توجه به جنسی که به آنها اختصاص داده می شود، تعیین می گردد. سپس، انواع مبلمان مخصوص آن فضا و نوع چیدمان آنها انتخاب و جانمایی می شود. وقتی که فضا یا اتاق به صورت کاملاً طبیعی آماده شد، از کاتالوگ های شرکت های مختلف در حوزه طراحی نورهای مصنوعی یک شرکت، یک محصول که پخش نور آن نزدیک به پخش نور سیستم معرفی شده، انتخاب می شود. این انتخاب از محصولات مختلف شرکت ها بر اساس نیازها و مشخصات فضا صورت می گیرد، و همچنین تأکید بر تطابق پخش نور این چراغ ها با نیازهای سیستم طراحی شده در فضا دارد.

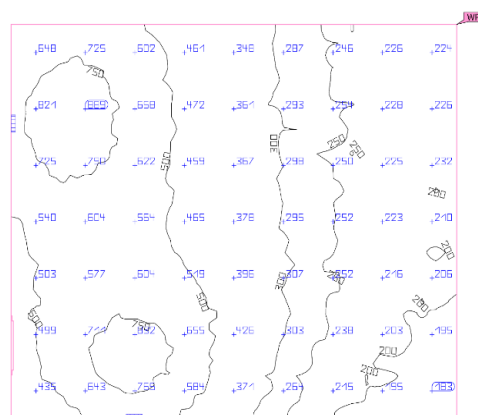
لازم به ذکر است که دلیل انتخاب این محصول این است که این نرم افزار امکان طراحی سیستم روشنایی جدید را نمی دهد، اما می توان یک محصول موجود را انتخاب و موارد مختلف آن اعم از نام محصول، میزان شار نوری و ... را تغییر داد و تبدیل به یک محصول جدید کرد. بعد از این مراحل، جانمایی دقیق این سیستم که بر روی سقف یا دیوار نصب می شود، انجام می شود. میزان شار نوری با توجه به آنالیز لوله در COMSOL Multiphysics و میزان نور روز در ساعت مورد نظر از جدول ۳ باید تعیین می شود. توجه شود که میزان نور در جدول ۳ بر اساس یک متر مربع سطح مقطع می باشد و باید بر اساس سطح مقطع لوله، این میزان مشخص شود.

در مرحله آخر، با اتمام انجام مراحل فوق، فضا آماده برای آنالیز گرفته می شود. پس از اجرای آنالیز، انواع خروجی ها برای فضا ایجاد می شود و این خروجی ها امکان انجام بررسی های مختلف را برای فضا فراهم می کند.

نمونه آنالیز گرفته شده در نرم افزار DIALux evo در شکل ۵ نمایش داده شده است. در جداول ۴ تا ۷ میزان نور خروجی از لوله در ساعات مختلف برای هر ماه نشان داده و در شکل های ۶ تا ۹ نمودار میزان روشنایی فضاها برحسب لوکس نشان داده شده است. آنالیزهای این سیستم را با توجه به جدول ۸ که میزان روشنایی هر فضا با توجه به نوع کاربری آن بر اساس استاندارد روشنایی ایران می باشد، مقایسه و مورد بررسی قرار داده شده است.

لازم به ذکر است که با توجه به یکسان بودن نوع کاربری فضاها و مساحت آنها، چهار فضا که عبارتند از کلاس درس، اتاق اداری، کتابخانه و سالن آمفی تئاتر به عنوان فضاهای مورد آنالیز انتخاب شده است.

^۱ Plug-in



شکل ۵. نمونه آنالیز سیستم لوله نور خورشیدی در پروژه مدرسه

جدول ۴. میزان شار نوری لوله نور خورشیدی در ساعات مختلف در ماه اردیبهشت

میزان نور خروجی (لومن)			میزان نور روز (لوکس)			درصد نور عبوری از لوله	سطح مقطع لوله (متر مربع)	نام فضا
۱۵:۰۰	۱۲:۰۰	۹:۰۰	۱۵:۰۰	۱۲:۰۰	۹:۰۰			
۹,۸۱۳	۱۲,۳۱۹	۸,۶۰۷	۴۹,۰۶۸	۶۱,۵۹۶	۴۳,۰۳۶	۱۰۰	۰/۲	کلاس درس
								اتاق اداری
								کتابخانه
								سالن آمفی تئاتر

جدول ۵. میزان شار نوری لوله نور خورشیدی در ساعات مختلف در ماه مرداد

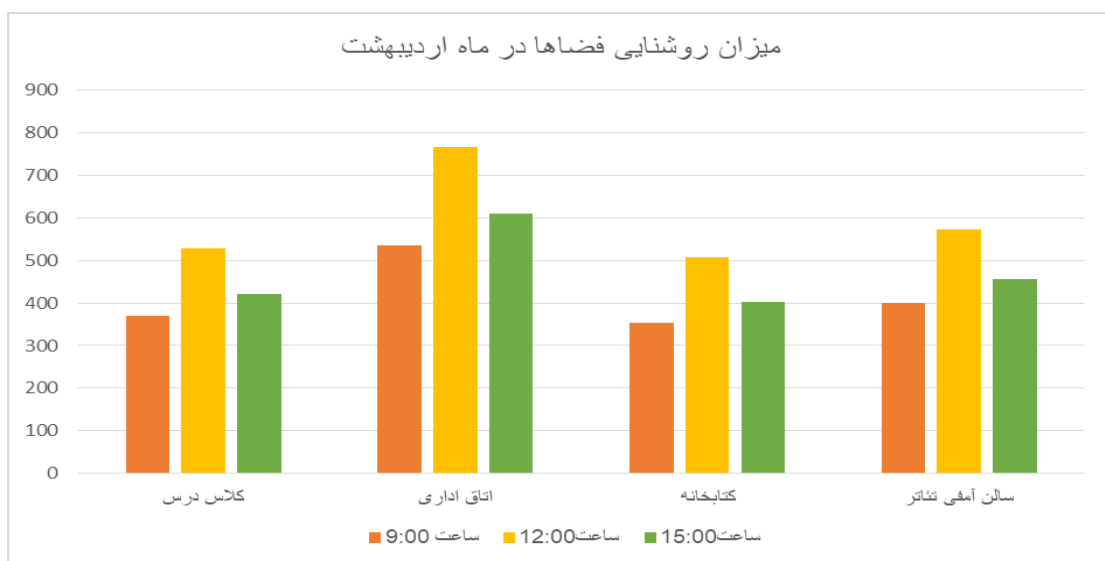
میزان نور خروجی (لومن)			میزان نور روز (لوکس)			درصد نور عبوری از لوله	سطح مقطع لوله (متر مربع)	نام فضا
۱۵:۰۰	۱۲:۰۰	۹:۰۰	۱۵:۰۰	۱۲:۰۰	۹:۰۰			
۱۰,۷۱۸	۱۳,۳۱۶	۹,۵۱۲	۵۳,۵۹۲	۶۶,۵۸۴	۴۷,۵۶۰	۱۰۰	۰/۲	کلاس درس
								اتاق اداری
								کتابخانه
								سالن آمفی تئاتر

جدول ۶. میزان شار نوری لوله نور خورشیدی در ساعات مختلف در ماه آبان

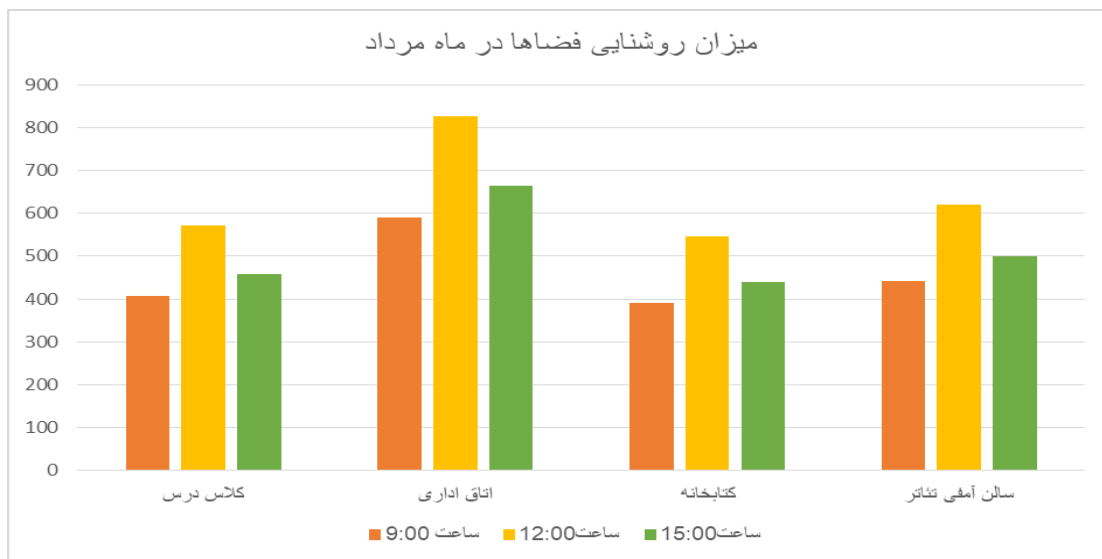
نام فضا	سطح مقطع لوله (متر مربع)	درصد نور عبوری از لوله	میزان نور روز (لوکس)			میزان نور خروجی (لومن)		
			۹:۰۰	۱۲:۰۰	۱۵:۰۰	۹:۰۰	۱۲:۰۰	۱۵:۰۰
کلاس درس	۰/۲	۱۰۰	۴۰,۴۸۴	۵۶,۳۷۶	۴۴,۵۴۴	۸,۰۹۶	۱۱,۲۷۵	۸,۹۰۸
اتاق اداری								
کتابخانه								
سالن آمفی تئاتر								

جدول ۷. میزان شار نوری لوله نور خورشیدی در ساعات مختلف در ماه بهمن

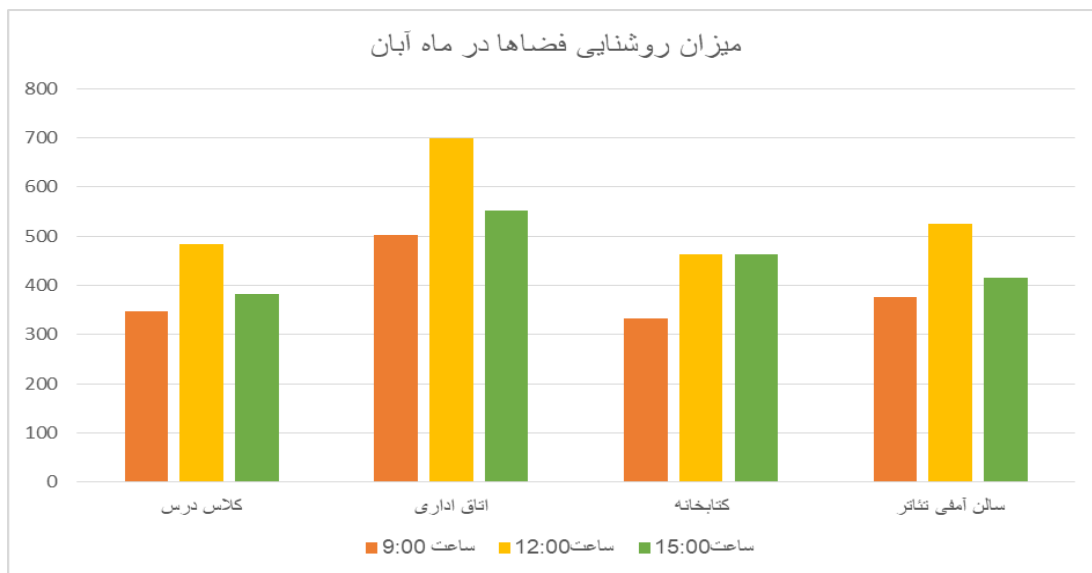
نام فضا	سطح مقطع لوله (متر مربع)	درصد نور عبوری از لوله	میزان نور روز (لوکس)			میزان نور خروجی (لومن)		
			۹:۰۰	۱۲:۰۰	۱۵:۰۰	۹:۰۰	۱۲:۰۰	۱۵:۰۰
کلاس درس	۰/۲	۱۰۰	۳۲,۵۹۶	۴۵,۳۵۶	۴۱,۶۴۴	۶,۵۱۹	۹,۰۷۱	۸,۳۲۸
اتاق اداری								
کتابخانه								
سالن آمفی تئاتر								



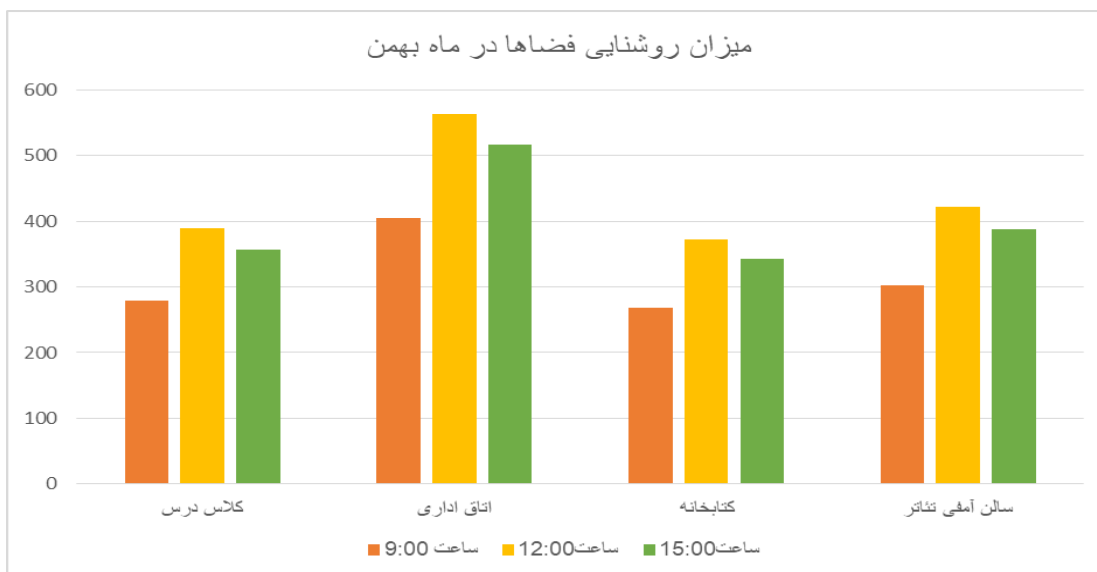
شکل ۶. نمودار میزان روشنایی سیستم لوله نور خورشیدی در ماه اردیبهشت



شکل ۷. نمودار میزان روشنایی سیستم لوله نور خورشیدی در ماه مرداد



شکل ۸. نمودار میزان روشنایی سیستم لوله نور خورشیدی در ماه آبان



شکل ۹. نمودار میزان روشنایی سیستم لوله نور خورشیدی در ماه بهمن

جدول ۸. میزان روشنایی فضاها بر اساس استاندارد ایران

عنوان	حداقل میزان نور (لوکس)	حداکثر میزان نور (لوکس)
راهرو های تردد	۵۰	۱۵۰
انبارها	۵۰	۱۰۰
اتاق نشیمن - پذیرائی	۷۰	۲۰۰
رستوران	۱۰۰	۲۰۰
سالن های عمومی	۱۰۰	۲۰۰
کتابخانه	۲۰۰	۵۰۰
اتاق خواب	۵۰	۵۰۰
سرویس بهداشتی	۵۰	۱۰۰
کلاس درس	۲۰۰	۵۰۰
اتاق اداری	۲۰۰	۵۰۰
آزمایشگاه	۴۰۰	۶۵۰
اتاق انتظار و لابی	۱۵۰	۳۵۰

با توجه به جدول ۸ تمامی فضاها در روزها و ساعات مختلف، میزان نور استاندارد را با سیستم لوله نور خورشیدی در اختیار دارند. لذا، کاربران می توانند بدون نیاز به مصرف برق و استفاده از سیستم های روشنایی مصنوعی، از روشنایی کافی بهره مند شوند.

۷- مدیریت هزینه در چرخه عمر ساختمان

سیستم نور مصنوعی پروژه مدرسه از چراغ‌های ۶۰×۶۰ مدل الگانس شرکت مازی نور می‌باشد. سیستم لوله نور خورشیدی از شرکت Solar Tube Systems کشور آمریکا در نظر گرفته شده است. با توجه به واردات این سیستم، هزینه‌های مرتبط با این سیستم شامل هزینه‌های گمرک نیز می‌باشد.

در جدول ۸، لیست خرید سیستم لوله نور خورشیدی ارائه شده و در جدول ۹، لیست خرید نورهای مصنوعی که با توجه به حذف این سیستم از مدرسه، تأثیرگذار بر هزینه‌های چرخه عمر ساختمان می‌باشد، آورده شده است. در جدول ۱۰، میزان کاهش مصرف برق و هزینه‌های مرتبط با آن نشان داده شده و در نهایت، در جدول ۱۱، میزان برآورد سودآوری این پروژه بررسی شده است.

شایان ذکر است که هزینه برق مصنوعی با توجه به اهمیت انرژی‌های تجدیدناپذیر و نگاه ملی به این موضوع به صورت آزاد محاسبه شده است و از تعلق گرفتن یارانه‌ها صرف نظر شده است. همچنین، از اثر تورم بر قیمت‌ها در طول عمر ساختمان نیز صرف نظر شده است.

در جدول ۱۱، تمامی هزینه‌ها با رنگ قرمز و درآمدها با رنگ سبز نشان داده شده‌اند.

جدول ۸. لیست خرید سیستم لوله نور خورشیدی برای پروژه مدرسه

لیست خرید سیستم لوله نور خورشیدی (پروژه مدرسه)			
عنوان	تعداد	قیمت واحد (دلار)	جمع (دلار)
لوله با قطر ۲۵ و طول ۶۰ سانتی متری	۲۶۴	\$۹۰	\$۲۳,۷۶۰
جمع کننده	۴۵	\$۹۷	\$۴,۳۶۵
درپوش جمع کننده	۴۵	\$۱۲۴	\$۵,۵۸۰
لوله با خم ۴۵ درجه	۲۸	\$۱۱۴	\$۳,۱۹۲
پخش کننده	۴۵	\$۱۰۴	\$۴,۶۸۰
اتصالات	۴۵	\$۲۰۰	\$۹,۰۰۰
جمع کل به دلار			\$۵۰,۵۷۷
جمع کل به تومان			\$۵۰,۵۷۷ × ۵۰,۰۰۰ = ۲,۵۲۸,۸۵۰,۰۰۰ تومان
جمع کل با احتساب هزینه گمرک			۲,۵۲۸,۸۵۰,۰۰۰ × ۰.۲۴ = ۳,۱۳۵,۷۷۴,۰۰۰ تومان

جدول ۹. لیست خرید نورهای مصنوعی پروژه مدرسه

لیست خرید نور مصنوعی پروژه مدرسه				
عنوان	تعداد	قیمت واحد (تومان)	طول عمر	تعداد دوره تجدید
چراغ توکار الگانس (۶۰×۶۰) مازی نور	۱۶۰	۲,۴۷۵,۰۰۰	۱۰	۵
جمع کل (تومان)				
				۱,۹۸۰,۰۰۰,۰۰۰ - ۳۹۶,۰۰۰,۰۰۰ = ۱,۵۸۴,۰۰۰,۰۰۰

سیستم نور مصنوعی را به دلیل وجود روزهای ابری در سال و نبود نور طبیعی کافی، نمی‌توان کامل حذف کرد اما با وجود سیستم لوله نور خورشیدی می‌توان میزان استفاده از آن را به طور قابل توجهی کاهش داد. به همین منظور، در طول عمر ساختمان یک بار خرید این سیستم در نظر گرفته خواهد شد و این هزینه از جمع کل در جدول ۹ کاسته خواهد شد. جمع کل حاصل شده در جدول ۹، به عنوان یک بخش از درآمد در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۱۰. هزینه برق مصرفی پروژه مدرسه

هزینه برق مصرفی پروژه مدرسه								
عنوان	تعداد	توان مصرفی (w)	ساعات روشنایی	تعداد روز	تعداد سال	قیمت واحد (تومان)	توان مصرفی کل (kwh)	جمع (تومان)
چراغ توکار الگاس ۶۰×۶۰	۱۶۰	۳۸	۸	۲۷۰	۵۰	۳۱۰۰	۶۵۶,۶۴۰	۲,۰۳۵,۵۸۴,۰۰۰

جدول ۱۱. برآورد میزان سودآوری سیستم لوله نور خورشیدی در پروژه مدرسه

سود آوری	
عنوان	مبلغ (تومان)
هزینه خرید سیستم لوله نور خورشیدی	۳,۱۳۵,۷۷۴,۰۰۰
هزینه نگهداری سیستم لوله نور خورشیدی	۰
هزینه خرید نورهای مصنوعی	۱,۵۸۴,۰۰۰,۰۰۰
هزینه برق مصرفی	۲,۰۳۵,۵۸۴,۰۰۰
سود آوری	۴۸۳,۸۱۰,۰۰۰

با توجه به جدول ۱۱ استفاده از سیستم لوله نور خورشیدی در این پروژه، با سودآوری مثبت همراه بوده است. نرخ سود، برابر ۴۸۳,۸۱۰,۰۰۰ تومان و میزان صرفه جویی برق در طول عمر ساختمان، ۶۵۶,۶۴۰ کیلووات ساعت می باشد. نرخ سود نسبت به سرمایه نیز برابر ۰/۱۵ یا ۱۵٪ درصد می باشد.

۸- نتیجه گیری

امروزه با توجه به اهمیت انرژی های تجدیدناپذیر و نگرانی های موجود در مورد رو به پایان بودن ذخایر آنها، صنایع مختلف به دنبال تامین انرژی از منابع جایگزین مانند انرژی خورشیدی هستند. از این رو در صنعت ساختمان نیز این مسئله مورد توجه قرار گرفته است که برای مصرف انواع انرژی می توان از آن استفاده کرد.

نور خورشید، با توجه به اثرات مثبت آن بر سیستم های زنده، مانند ضد عفونی کننده بودن اشعه ماوراء بنفش یا تأثیرات مثبت بر سیستم فیزیولوژیک بدن انسان، با ساختار فیزیکی و روانی انسان سازگاری بالایی دارد. بیماری های تنفسی در محیط های کاری با نور ناکافی یا نور مصنوعی، به طور قابل توجهی بیشتر از محیط های دارای نور طبیعی رواج دارد.

سیستم های هدایت نور روز این امکان را فراهم می کنند تا نقاط تاریک و فاقد روشنایی کافی در ساختمان از نور خورشید بهره مند شوند. پروژه مدرسه با توجه به استفاده آن در زمان روز، مورد توجه این پژوهش قرار گرفته است.

در این پژوهش، استفاده از سیستم لوله نور خورشیدی در مدرسه با استفاده از فناوری مدل سازی اطلاعات ساختمان مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. این فناوری دارای ابعاد مختلف است، اما بعد هزینه و بعد انرژی، که جزء ابعاد اصلی و حیاتی آن محسوب می شوند، در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته اند. نتایج نشان می دهد که سیستم لوله نور خورشیدی قادر است میزان روشنایی مورد نیاز برای فضاهای مدرسه را فراهم کند. لذا، کاربران می توانند بدون نیاز به مصرف برق و استفاده از سیستم های روشنایی مصنوعی، از روشنایی کافی بهره مند شوند. در عین حال، طی دوره عمر ساختمان، می تواند منجر به

صرفه جویی بالغ بر ۶۵۶,۶۴۰ کیلووات ساعت انرژی برق شود. از نظر هزینه نیز، این سیستم با ارزش سودآوری به مبلغ ۴۸۳,۸۱۰,۰۰۰ تومان برای مدرسه همراه است و نرخ سود نسبت به سرمایه آن برابر با ۰/۱۵ یا ۱۵٪ درصد است.

۹- منابع و مآخذ

- [1] فیروزآبادی، روح الله و عالم رجبی، علی اکبر. ۱۳۹۲. "تحلیل انرژی سیستم انتقال نور خورشید توسط فیبر نوری". پنجمین کنفرانس انرژیهای تجدیدپذیر، پاک و کارآمد
- [2] Oakley, G., Riffat, S.B. and Shao, L., 2000. Daylight performance of lightpipes. *Solar energy*, 69(2), pp.89-98.
- [3] Guide F. 1999. Energy efficiency in buildings. Chartered Institute of Building Services Engineers;.
- [4] Rosemann, A. and Kaase, H., 2005. Lightpipe applications for daylighting systems. *Solar energy*, 78(6), pp.772-780.
- [5] Kim, J.T. and Kim, G., 2010. Overview and new developments in optical daylighting systems for building a healthy indoor environment. *Building and environment*, 45(2), pp.256-269.
- [6] Garcia-Hansen, V. and Edmonds, I., 2015. Methods for the illumination of multilevel buildings with vertical light pipes. *Solar Energy*, 117, pp.74-88.
- [7] Garcia Hansen, V., Edmonds, I., et al., 2001. The use of light pipes for deep plan office buildings: a case study of Ken Yeang's bioclimatic skyscraper proposal for KLCC, Malaysia. In: 35th Annual Conference of the Australian and New Zealand Architectural Science Association. ANZAsCA 2001. Wellington, New Zealand.
- [8] Al Marwae, M., Carter, D.J., 2006. A field study of tubular daylight guidance installation. *Light. Res. Technol.* 38 (3), 241–258.
- [9] Garcia-Hansen, V.R., 2006. Innovative Daylighting Systems for DeepPlan Commercial Buildings Thesis (Ph D), Queensland University of Technology
- [10] Garcia-Hansen, V., Edmonds, I.R., et al., 2009. Improving daylighting performance of mirrored light pipes: passive vs active collection systems. In: Architecture Energy and the Occupant's Perspective – The 26th International Conference on Passive and Low Energy Architecture. C. Demers and A. Potvin. 22–24 June 2009. Canada, Quebec City, Les Presses de l'Université Laval (PUL): 308–313.
- [11] Paroncini, M., Calcagni, B., et al., 2007. Monitoring of a light-pipe system. *Sol. Energy* 81 (9), 1180–1186.
- [12] Lo Verso, V.R.M., Pellegrino, A., et al., 2011. Light transmission efficiency of daylight guidance systems: an assessment approach based on simulations and measurement in a sun/sky simulator. *Sol. Energy* 85, 2789–2801.
- [13] Kwok, C., Chung, T., 2008. Computer simulation study of a horizontal light pipe integrated with laser cut panels in a dense urban environment. *Light. Res. Technol.* 40 (4), 287–305.
- [14] Oh, S.J., Chun, W., et al., 2013. Computational analysis on the enhancement of daylight penetration into dimly lit spaces: light tube vs. fiber optic dish concentrator. *Build. Environ.* 59, 261–274.
- [15] Isoardi, G., Garcia-Hansen, V, et al., 2012. Evaluation of the luminous environment in open-plan offices with skylights. In: Proceedings for the World Renewable Energy Forum 2012, vol. 5, Denver CO, pp. 3818– 3825.



**9th.International Congress on Civil Engineering , Architecture
and Urban Development / 20-22 February. 2024,Tehran , Iran**

In cooperation with Shiraz University, maraghe University
And University of Science and Technology of Iran



جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شماره مجوز کنگره از وزارت علوم: ۷۲۶۴۰۳۸

- [16] Carter, D.J., Al Marwaee, M., 2009. User attitudes toward tubular daylight guidance systems. *Light. Res. Technol.* 41 (1), 71–88.
- [17] Mayhoub, M.S., Carter, D.J., 2010. Towards hybrid lighting systems: a review. *Light. Res. Technol.* 42, 51–71.
- [18] Carter, D.J., 2008. Tubular guidance system for daylight: UK case study. *Build. Res. Inform.* 36 (5), 520–535.
- [19] Mirkovich, D.N., 1993. Assessment of beam lighting systems for interior core illumination in multi-story commercial buildings. *Transactions-American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, 99, pp.1106-1106.
- [20] Michael, P.R., Johnston, D.E. and Moreno, W., 2020. A conversion guide: Solar irradiance and lux illuminance. *Journal of Measurements in Engineering*, 8(4), pp.153-166.
- [21] (www.tutiempo.net/solar-radiation/tehran.html)