طراحی سیستم تولید انرژی و هدایت گر نورخورشید جهت روشنایی در ساختمان

علی رمضانی
دانشکده مهندسی برق
دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
تهران،ایران
Ali.Ramezani@aut.ac.ir

احمد مظاهری شادباد
بازرسی و ممیزی انرژی
شرکت بازرسی بین المللی آذرستاویز
تبریز،ایران

چکیده

در عصر حاضر به دلیل افزایش شهرنشینی و محدودیت های زمین،ساخت ساختمان های حجیم رو به افزایش است،عدم بهره مندی فضاهای داخلی از نور طبیعی یکی از مشکلات عمده این بناها به شمار می رود که موجب افزایش استفاده از نور مصنوعی می شود.ساکنان این فضاها علاوه بر محرومیت از مزایای نور طبیعی،در معرض مضررات نور مصنوعی قرار می گیرند.در این مقاله ابتدا به بررسی راهکارهای موجود و سیستم های مورد استفاده جهت هدایت نور خورشید همچون سیستم های لایت تیوب،هیماواری،پاران و HSL پرداخته شده است و نقاط ضعف و قوت این سیستم ها مقایسه گردیده است. سپس به شرح سیستمی ابتکاری می پردازیم که سعی در هدایت نور بدون استفاده از قسمت هدایت کننده همانند فیبر نوری و یا لایت پایپ دارد. همچنین ایجاد ارزش افزوده برای طراحان،پیمانکاران و کاربران در بخش های تجمیع کننده و پخش کننده مانند امکان تولید ذخیره سازی انرژی از نور خورشید در این سیستم از اهداف طراحی اختراع مذکور می باشد.

واژه های کلیدی

انرژی- ساختمان حجیم – سیستم هدایت نور – نور خورشید

۱.مقدمه

اغلب انسان ها بیش از ۹۰ درصد زمان خود را در فضاهای بسته(ساختمان‌ها) سپری می کنند.[۱-۳] از این رو توجه به کیفیت محیط های داخلی از اهمیت خاصی برخوردار است. کیفیت محیط داخل شامل چهاربخش، آسایش حرارتی،آسایش سمعی،کیفیت هوای داخل و آسایش بصری می باشد[۴-۷] که عدم تامین هرکدام از این موارد موجب عدم آسایش ساکنین و کاهش بهره وری می-گردد. در سال های اخیر با طراحی و ساخت ساختمان‌های بزرگ و حجیم علی رغم سرشکنی هزینه های ساخت و زمین،موجب بروز مشکلاتی شده اند که از جمله آنها عدم بهره‌گیری از نور طبیعی در فضاهای داخلی در طول روز و استفاده از منابع نور مصنوعی می باشد که باعث کاهش آسایش بصری این محیط ها می‌گردد. بر اساس تحقیقات انجام شده نور خورشید دارای مزایای پزشکی و بهداشتی بوده که از جمله آنها بهبود ۲۰ درصدی عملکرد دانش آموزان و کارمندانی می باشد [۸] که به جای نور مصنوعی در مقابل نور طبیعی قرار گرفته اند.از طرفی استفاده از نور مصنوعی موجب بروز افسردگی،بیماری های بینایی و سایر بیماری ها گشته و موجب کاهش بازدهی ساکنین می گردد. علاوه بر برتری های که در بهره‌گیری از نور طبیعی بجای نور مصنوعی اشاره شد، کاهش مصرف انرژی و تاثیرات زیست محیطی و نهایتا کاهش هزینه های اقتصادی از آثار بهره گیری از این منبع پاک و دردسترس می باشد.

۲. پیشینه

تکنیک‌های طراحی اغلب در پلان‌های معماری و در ساختمان‌های جدید الاحداث مورد استفاده قرار می‌گیرد.از جمله این تکنیک‌ها طراحی فضاهای عمودی بین طبقات جهت هدایت نور خوشید و همچنین بهبود بعد روانی می باشد که این فضاها در ساختمان کوچک با عنوان پاسیو و در ساختمان‌های بزرگ با عنوان آتریوم شناخته می شود.این روش به دلیل اشغال فضای زیربنای ساختمان چندان توجیه اقتصادی ندارد ولی اغلب استفاده از آن غیر قابل اجتناب است. از جمله تکنیک های دیگر در این راستا، طراحی پلان‌های طولی، پنجره‌های بزرگ و پلان‌های باز بویژه در ادارات می باشد. هر کدام از این روش‌ها معایب خود را دارند که شرح و بررسی آن ها در مجال این مقاله نیست.

در این میان استفاده از سیستم های روشنایی خورشیدی به عنوان سیستمی که در پشت بام و یا در نمای ساختمان نصب می شوند بعنوان راهکاری جهت حل این مشکل بکار گرفته می شود.این سیستم ها به دو دسته "هدایت گر نور خورشید" و "منعکس کننده نور" تقسیم می شوند.

۲,۱. منعکس کننده ها

منعکس کننده ها در بالای پنجره جنوبی نصب می شوند و بصورت غیر فعال می باشند. بازدهی بالایی ندارند و عملکرد آنها تحت تاثیر زاویه و جهت نور خورشید است.استفاده از سیستم های منعکس کننده فقط در پلان های باز و فضاهای یکپارچه بزرگ مفید می باشد.

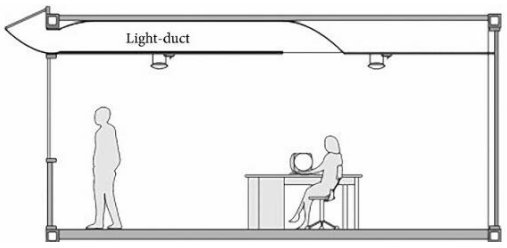
۲,۲. هدایت کننده ها

هدایت کننده ها اغلب برای هدایت نور به فضاهایی که فاصله بیشتری با جداره خارجی دارند استفاده می شود و از سه بخش تجمیع کننده، هدایت کننده و پخش کننده تشکیل شده اند. بخش تجمیع کننده سیستم های هدایت گر نور خورشید به دو گروه فعال و غیر فعال تقسیم می گردند.

2,2,1 هدایت کننده های غیرفعال

این هدایت کننده ها بدون مصرف انرژی می باشند و تمامی بخش ها حالت ثابتی دارند در ذیل چند مورد از جدیدترین سیستم های ارائه شده در این گروه را مورد بررسی قرار می دهیم:

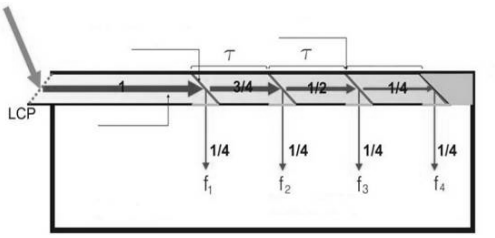
کلکتور ترکیبی سهموی(**Collector Parabolic Compound**): سیستمی با تجمیع کننده‌ای به شکل منعکس‌کننده سهموی است که نور بعد از عبور از آن،وارد تیوبی با ضریب انعکاس بالا شده و به سمت فضای مورد نظر هدایت می‌شود(تصویر ۱)



تصویر ۱: شماتیک تجمیع کننده ترکیبی سهموی

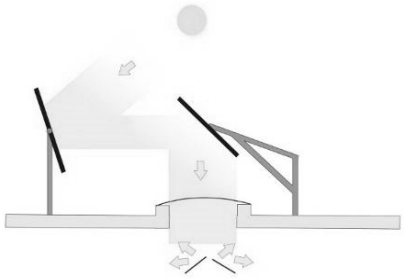
صفحات برش لیزری(**Laser Cut Panels**): صفحات برش لیزری به دلیل طرز ساختشان با دستگاه برش لیزری، به این نام خوانده می

شوند.کلکتور این صفحات از آینه‌هایی تشکیل می‌شود که به‌صورت موازی در جهت مشخص قرار می‌گیرد و نور را به لایت پایپ‌های مخصوص آن انتقال می دهد. بخش پخش‌کننده این سیستم نیز شامل آینه‌هایی در جهت عکس آینه‌های تجمیع کننده است[۹]. از ویژگی‌های این سیستم امکان استفاده از چندین پخش‌کننده در طول یک مسیر است(تصویر۲).



تصویر ۲: شماتیک سیستم صفحات برش لیزری

هلیاس(**Heliobus Sun Collector**): بخش انتقال‌دهنده سیستم هلیاس نیز لایت پایپ‌ها هستند با این تفاوت که به‌صورت عمودی نصب‌شده‌اند و نور را از بام ساختمان به داخل آن هدایت می‌کند. سیستم کلکتوری از دو آینه که یکی متحرک و دیگری ثابت است تشکیل شده که نور را به داخل آن هدایت می‌کند(تصویر ۳)



تصویر ۳: شماتیک هلیاس

لایت تیوب(**Light tube**): این سیستم که کلکتور آن در پشت‌بام نصب می‌شود، نور را از طریق لایت تیوب انتقال می‌دهد. سیستم لایت تیوب بصورت امروزی از سال ۱۹۸۶ تولید و مورد استفاده قرار گرفته است.حداکثر طول قابل انتقال در این سیستم‌ها نزدیک به ۱۵ متر می باشد(تصویر ۴).

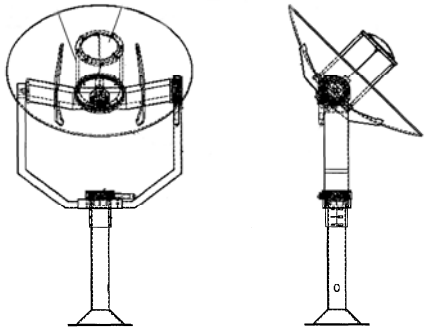
تصویر ۴: شماتیک لایت تیوب

2,2,2 هدایت کننده های فعال

در سیستم‌های فعال، بخش انتقال‌دهنده کابل نوری است و تجمیع کننده یک ردیاب خورشیدی(**sun tracker**) می باشد. سیستم‌های فعال در چند نوع از جمله هیماواری، روشنایی خورشیدی دوگانه و پاران ساخته می‌شوند.

سیستم هیماواری(**Himawari**): در این سیستم ژاپنی، بخش تجمیع-کننده از تعداد زیادی فرنال لنز(**Fresnel lens**) کوچک تشکیل می‌شود که نور را به داخل کابل نوری هدایت می‌کند. سیستم هیماواری از دهه هفتاد میلادی طراحی و تولید می شود.این سیستم بسته به تعداد فرنال لنزها و کابل های موجود در آن عملکرد های متفاوتی دارد.

سیستم روشنایی خورشیدی دوگانه(**Hybrid Solar Lighting**): سیستم آمریکایی که توسط مرکز تحقیقاتی دانشگاه برکلی و با استفاده از آینه‌ای به شکل دیش طراحی شده، نور را به آینه دومی می‌تاباند و سپس نور به داخل کابل نوری هدایت می‌شود[۱۰]. در قسمت پخش‌کننده، سیستم روشنایی مصنوعی تعبیه شده است که در زمان‌هایی که میزان نور طبیعی کم است فعال می‌شود. این سیستم از سال ۲۰۰۷ وارد بازار شده است(تصویر ۵).



تصویر ۵: شماتیک روشنایی خورشیدی دوگانه

سیستم پاران(**Paran**): این سیستم اروپایی که از سال ۲۰۰۴ عرضه گردید عملکردی همانند سیستم هیماواری دارد و در ایالات متحده با نام هووکو (**Huvco**) عرضه می گردد.سیستم پاران در دو نوع تولید می شود در مدل **sp1** ،کل تجمیع کننده با مقطع مستطیل حرکت می کند ولی در مدل **sp2** فقط فرنال لنزهای داخل کلکتور حرکت می کنند(تصویر ۶).

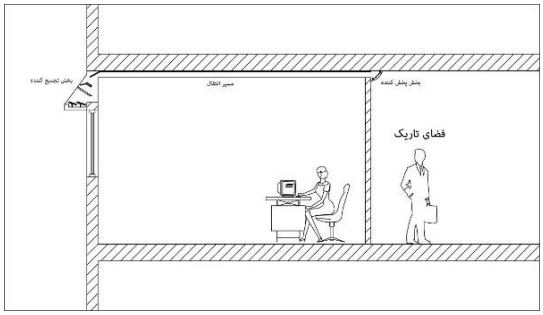
تصویر ۶: سیستم روشنایی پاران

بر اساس تحقیقات انجام شده استفاده از سیستم های فیبر نوری فقط در آسمان های آفتابی بازدهی بهتری دارند در صورتی که استفاده از هدایت کننده های دارای لایت تیوب در شرایط جوی مختلف، می تواند استفاده شود.در این میان سیستم هایی که در پشت بام نصب می شوند بدلیل فاصله با طبقات پایین تر، نسبت به سیستم های نصب شده در نما کاربرد کمتری دارند.مهمترین عامل در شرایط حاضر در انتخاب سیستم ها، قیمت نهایی آن می باشد که نسبت به هزینه انرژی چندان مورد توجه کاربران قرار نمی گیرد.

۳.سیستم هدایت نور طراحی شده

سیستم پیشنهادی که به عنوان اختراع در مرکز مالکیت معنوی کشور ثبت گردیده است در یازدهمین دوره جشنواره ایده های برتر کشور نیز جزو ایده های برتر انتخاب شد و مورد تقدیر وزیر علوم وقت قرار گرفت.

در اختراع ارائه شده،سعی شده است در بخش‌های مختلف با ایجاد ارزش افزوده توجیه پذیری اقتصادی و عملیاتی بیشتری برای نصب و استفاده از این سیستم ها را برای سرمایه گذاران، طراحان ،پیمانکاران و کاربران ایجاد نماید. سیستم از سه قسمت تجمیع کننده، هدایت کننده و پخش کننده شکل گرفته است(شکل ۷)



تصویر ۷: شماتیک کلی سیستم

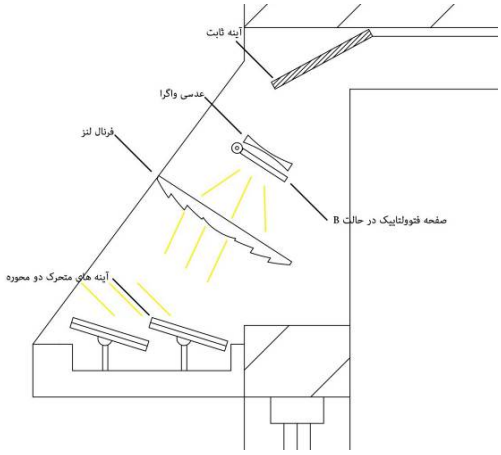
بخش تجمیع کننده

با توجه به این مطلب که در ساختمان‌های بلند مرتبه بدلیل فاصله ی زیاد پشت بام و طبقات پایین تر امکان هدایت نور از کلکتور به این طبقات وجود ندارد ، از این رو سیستم بصورتی طراحی گردیده است که امکان نصب کلکتور سیستم در نمای ساختمان را داشته باشد.جهت ارزش افزوده در قرار گیری کلکتور در نما و همچنین بدلایل فنی و اجرایی، کلکتور به عنوان سایه بان در بالای پنجره نصب می گردد تا هم فاصله کمتری با فضاهای تاریک طبقات داشته باشد و هم به عنوان سایه بان پنجره عاملی غیر مستقیم در کاهش مصرف انرژی باشد.

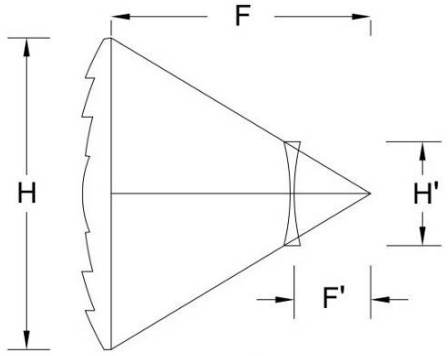
عملکرد تجمیع کننده به این صورت می باشد که با استفاده از سیستم سانترکر موقعیت خورشید مشخص می گردد و بر اساس فرمول ریاضی استخراج شده، آینه متحرک را در زاویه مناسب قرار می دهد تا همواره نور را با زاویه ثابت به لنز مورب تعبیه شده بتاباند(تصویر ۸).این لنز که بصورت همگرا می باشد نور خورشید تابیده شده را در یک کانون متمرکز می کند در مسیر این پرتو ها،قبل از تمرکز در نقطه کانونی، یک لنز واگرا قرار گرفته است تا مجددا این پرتوها با برخورد با آن در مقطعی کوچکتر، موازی گردند. نسبت فاصله کانونی به ابعاد لنز باید برای هر دو لنز بکار گرفته شده یکی باشد تا کمترین تلفات را در همگرایی مجدد پرتوها داشته باشم یا به عبارتی(تصویر ۹):

$$H \cdot F' = F \cdot H'$$

سپس پرتوهای نوری پس از اصلاح مسیر توسط یک آینه کوچک وارد بخش هدایت کننده می شوند.



تصویر ۸: بخش تجمیع کننده نور طبیعی



تصویر ۹: لنز ها و نسبت ها بین انها

بخش هدایت کننده

بدلیل موازی بودن پرتوها در این سیستم نیاز به بخش هدایت کننده نمی باشد با این وجود، جهت ایمنی بیشتر محافظی برای مسیر هدایت نور مورد استفاده می گردد. این محافظ می تواند از مواد با ضریب انعکاس بالا استفاده شود تا پرتوهای ناموازی که ممکن است در مسیر های طولانی ایجاد شود را نیز به سمت پخش کننده هدایت کند. در طول مسیر انتقال نیز در صورت نیاز به تغییر مسیر از حالت خطی راست، می توان از آینه‌های ۴۵ یا دیگر زوایای مورد نیاز جهت هدایت نور استفاده نمود.

در محل ورود پرتوهای نور به داخل هدایت کننده سیستمی تعبیه گردیده تا در زمان‌هایی که کاربران نیازی به روشنایی ندارند ،مسیر انتقال را قطع می کند. قطع انتقال پرتوها با استفاده از یک صفحه فتوولتاییک متمرکز انجام می گیرد که با بازدهی ۴۰ درصدی ، موجب تولید انرژی الکتریکی گردیده و آن را در باطری تعبیه شده ذخیره می نماید.مورد یاد شده ارزش افزوده دیگری برای این سیستم می باشد که علاوه بر انتقال نور طبیعی ، تولید انرژی و ذخیره سازی آن را موجب می گردد.

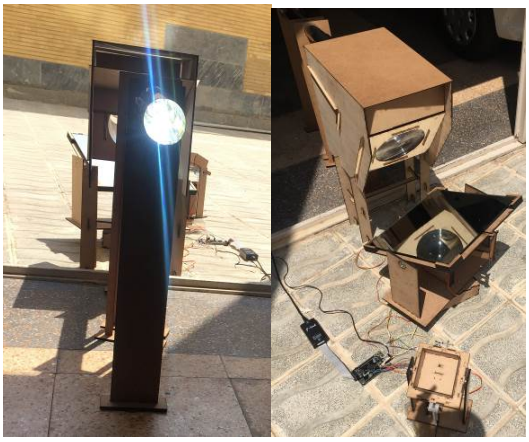
بخش پخش کننده

پرتوهای نوری پس از عبور از بخش هدایت کننده، با برخورد با یک لنز همگرا که کانون آن به سمت پرتوهای نوری انتقالی است، در محیط پخش می گردد،جهت ایجاد ارزش جدید و توجیه پذیری اقتصادی

بیشتر، بخش پخش کننده نور طبیعی با سیستم روشنایی مصنوعی ترکیب می گردد. در این بخش، سیستم در طول روز و زمان هایی که کاربر به روشنایی نیاز ندارد و کلید روشنایی خاموش است همچنان فعال می باشد و مسیر انتقال نور توسط صفحه فتوولتاییک متمرکز قطع گردیده است و در حال تولید انرژی الکتریکی و ذخیره سازی آن در باطری می باشد.در طول روز زمانی که کاربر نیاز به روشنایی محیط دارد و کلید را به حالت روشن قرار می دهد، مسیر انتقال باز می باشد و نور طبیعی به داخل محیط تابیده می شود چنانچه امکان انتقال نور طبیعی به دلایلی مانند هوای ابری یا شب بودن،وجود نداشته باشد،سیستم روشنایی مصنوعی با استفاده از انرژی ذخیره شده در باطری سیستم اقدام به روشن کردن محیط می کند و یا از برق شبکه استفاده می نماید.

این سیستم که طبق تصاویر ۱۰ و ۱۱ به صورت نمونه اولیه ساخته شده است ، در انتقال نور طبیعی کاملا موفق بوده است و در حال حاضر در حال انجام آزمایشات تکمیلی می باشد.

تصویر ۱۰: نمونه اولیه ساخته شده از سیستم پیشنهادی



تصویر ۱۱: نمونه اولیه ساخته شده از سیستم پیشنهادی،بخش تجمیع کننده و بخش هدایت کننده

۴.نتیجه گیری

سیستم های هدایت نور خورشید موجود در حال حاضر به دلیل هزینه های بالا و صرف تک عملکردی بودن چندان مورد استفاده قرار نمی گیرند در صورتی که اختراع ارائه شده علاوه بر انتقال نور طبیعی به فضاهای تاریک و برخورداری این محیطها از مزایای نور طبیعی و همچنین ممانعت از مضرات نور مصنوعی توانسته است تنها سیستم هدایت نور خورشید باشد که انرژی الکتریکی تولید و ذخیره سازی می نماید.همچنین با ایجاد سایه‌بان بر روی پنجره جنوبی، بصورت غیر مستقیم در مصرف انرژی ساختمان تاثیر بگذارد از طرفی با تلفیق با سیستم روشنایی مصنوعی هزینه اقتصادی بسیار کمتری را در خرید و نصب آن موجب می شود.

به نظر می رسد توسعه و آزمایشات گسترده و تجاری سازی محصولات در این زمینه می تواند گام مهمی در کاهش مصرف انرژی ساختمان و همچنین داشتن محیط‌های با کیفیت‌تر در ساختمان ها را موجب گردد.

منابع

[1] Klepeis NE, NelsonWC, OttWR, Robinson JP, Tsang AM, Switzer P, et al. The national human activity pattern survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. J Expo Analysis Environ Epidemiol 2001;11:231-52.

[2] Leech JA, Nelson WC, Burnett RT, Aaron S, Raizenne ME. It's about time: a comparison of Canadian and American time-activity patterns. J Expo Analysis Environ Epidemiol 2002;12:427-32.

[3] Schweizer C, Edwards RD, Bayer-Oglesby L, Gauderman WJ, Ilacqua V,Jantunen MJ, et al. Indoor time emicro environmente activity patterns in seven regions of Europe. J Expo Sci Environ Epidemiol 2006;17:170-81.

[4] G. Clausen, D.P. Wyon, The combined effects of many different indoor environmental factors on acceptability and office work performance, HVAC&R Research 14 (1) (2008) 103–113.

[5] L.T. Wong, K.W. Mui, P.S. Hui, A multivariate-logistic model of acceptance for indoor environment quality (IEQ) in offices, Building and Environment 43 (1) (2008) 1–6.

[6] Portney LG, Watkins MP. Foundations of clinical research application to practice, 2nd edition. Upper Saddle River, NJ:Prentice-Hall Health; 2000, 07458.

[7] Lai, A. C. K., Mui, K. W., Wong, L. T., & Law, L. Y. (2009). An evaluation model for indoor environmental quality (IEQ) acceptance in residential buildings. Energy and Buildings, 41(9), 930-936.

[8] Heschong, L. (2002). Daylighting and human performance. ASHRAE journal, 44(6), 65.

[9] Edmonds, I. R. (1993). Performance of laser cut light deflecting panels in daylighting applications. Solar Energy Materials and Solar Cells, 29(1), 1-26.

[10] Muhs, J. D. (2001). Design and analysis of hybrid solar lighting and full-spectrum solar energy systems (No. P00-106523). Oak Ridge National Lab., TN (US).