سامانه روشنایی-حرارتی خورشیدی مجهز به ردیاب با دقت ۰.۱ درجه و سیستم خنک سازی آبی

علی ایلکا[۱]، محمد واحدی[۱]، روح الله احمدی[۲]

۱- دانشکده فیزیک دانشگاه علم و صنعت ایران
۲- دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده – بهره‌گیری حداکثری از نور طبیعی خورشید در ساختمان جهت روشنایی، یکی از اصول ساختمان سازی است. ولی به دلیل محدودیت برخی بخش‌های ساختمان امکان دسترسی مستقیم به نور طبیعی وجود ندارد. در این پژوهش، سیستمی مبتنی بر عدسی فرنل و فیبر نوری پلاستیکی جهت انتقال نور طبیعی خورشید طراحی و ساخته شده است که توانایی ردیابی خورشید با حداکثر دقت ۰.۱ درجه را دارد. همچنین با روشی جدید و با استفاده از یک سیستم گردش آب ساده و بدون استفاده از فیلتر مادون قرمز، آینه سرد یا آینه گرم از آسیب دیدن فیبرها توسط تشعشع متمرکز شده خورشید در کانون عدسی جلوگیری می شود. بازده شدت روشنایی ۲.۸ درصد و توان گرمایی ۱۸ وات با این روش جدید به دست آمد.

کلید واژه- ردیابی، فیبر پلاستیکی، گرمای خورشیدی

Solar heating and lighting system equipped with 0.1^0 tracker and novel water circulation system

A. Ilka[1], M. Vahedi[1], R. Ahmadi[2]

1- School of Physics, IUST, Tehran, Iran

2- School of New Technologies, IUST, Tehran, Iran

Abstract- Employment of natural light of sun in building for lightening is one of the fundamental bases of the building construction. However, owing to some constraints, the direct access to the sun light is impossible. In this paper, a solar daylighting system using a Fresnel lens and plastic optical fibers (POFs) is presented. A novel solution for preventing the POFs from overheating damage without using optical filter, cold or hot mirrors is proposed using a simple water cooling system. In addition, a solar tracker with maximum degree of accuracy of 0.1^o is utilized to concentrate the light on the bundle. Using this system, 18 watt heat power is absorbed by water and the maximum efficiency of 2.8% is achieved for light illumination.

Keywords: Solar tracking, Plastic optical fibers, Overheat damage

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

۱- مقدمه

سامانه های روشنایی روز (Solar Daylighting) برای انتقال مستقیم نور خورشید به داخل ساختمان و روشن‌سازی فضای داخلی ساختمان با نور خورشید و همچنین در بعضی موارد برای استفاده همزمان از گرمای خورشید استفاده می شوند. این سیستم ها نور خورشید را توسط آینه سهموی یا عدسی فرنل جمع‌آوری کرده و با استفاده از لوله های نوری یا فیبرهای نوری پلاستیکی (POF) به داخل ساختمان منتقل می کنند. هدف این سیستم ها انتقال بیشترین نور با کمترین هزینه به داخل ساختمان و استفاده همزمان از حرارت تولید شده است.

مزیت فیبرهای نوری پلاستیکی، انعطاف پذیری بالا و قیمت مناسب آنهاست. ولی برای استفاده‌ی عمده از این فیبرها باید مشکل حرارتی آنها حل شود [1]. به دلیل کانونی شدن نور در کانون کلکتور که می تواند آینه سهموی یا عدسی فرنل باشد، گرمای زیادی در کانون ایجاد می شود و موجب سوختن فیبرهای نوری پلاستیکی می شود.

در سال ۲۰۰۹ میلادی کاندیلی و همکارانش سیستمی با بازده ۵۹ درصدی ارائه دادند اما اشاره ای به روش محافظت از فیبرها نکردند ولی در بخش نتیجه گیری روش جدیدی پیشنهاد دادند: اتصال و کوپلینگ فیبر پلاستیکی و فیبر سیلیکا برای بهره‌مندی از هر دو ویژگی انعطاف پذیری و تحمل دمای بالاتر [2].

استفاده از فیبرهای شیشه ای یا سیلیکا سه مشکل عمده دارند: عدم انعطاف پذیری، قیمت بسیار زیاد و اتلاف زیاد نور به خاطر کوپلینگ و اتصال این فیبرها با فیبرهای پلاستیکی.

استفاده از آینه یا عدسی دوم (به همراه لایه نشانی فیلتر گرمایی)، یک راه برای کاهش مشکل حرارتی است ولی در این حالت نور خروجی غیر یکنواخت شده و بازده کاهش می یابد [3].

در سال ۲۰۱۳ میلادی سپیا سیستمی با رفلکتوری که از چندین آینه سرد ساخته شده بود پیشنهاد داد [4]. در این سیستم، آینه سرد اشعه مادون قرمز را عبور داده و نور مرئی را به داخل فیبر منعکس می کرد. از مادون قرمز نیز برای تولید برق به وسیله پنل و ذخیره و مصرف در شب استفاده می‌شد. استفاده از آینه سرد برای حل مشکل حرارتی روشی امیدبخش بود اما میزان و سطح فیلرینگ و مشخصات نوری آینه سرد بر اساس سطح تمرکز نور تغییر می کند. مشکل دیگر این روش ایجاد سایه در قسمت مرکزی فیبر توسط رفلکتور بود که سبب غیر یکنواختی نور می شد.

در روش های مرسوم از فیلترهای مادون قرمز و گاهی چند فیلتر برای حذف گرما و محافظت از فیبرها استفاده می شود. برای توزیع و انتقال یکنواخت نور با استفاده از عدسی یا آینه دوم، پرتوهای نور را موازی می کنند که البته این کار فیبرها را نسبت به حرارت نیز مقاوم‌تر می کند. این مقاله، بر روی اثر گرمای زیاد کانون کلکتور بحث کرده و روشی برای حل این مشکل و جلوگیری از آسیب به فیبرهای پلاستیکی ارائه می دهد. در اینجا به فاکتورهای یکنواختی نور پرداخته نمی شود.

در این پژوهش، نور با استفاده از عدسی فرنل جمع‌آوری و کانونی می‌شود. برای انتقال نور از ۲۶۰ تار نوری به ضخامت ۰.۸۵ میلیمتر استفاده شده که در مجموع قطر باندل آنها در حدود ۱۴ میلیمتر و طول باندل در حدود ۸ متر است.

سیستم ردیابی طراحی شده قادر به ردیابی با دقت ۰.۱ درجه و در حد نیاز می باشد. بدون استفاده از فیلترهای مادون قرمز روشی برای محافظت فیبرهای نوری از ذوب شدن ارائه می شود.

۲- سیستم ردیابی خورشیدی

برای ردیابی از ۴ عدد مقاومت نوری (LDR) که بین آنها ۲ تیغه ۲۰ سانتیمتری قرار داده شده، استفاده شده است.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]



شکل ۱- مدار کنترل و حسگر سامانه ردیاب

مقاومت سنسورها بر حسب شدت نوری فرودی بر آنها و در نتیجه ولتاژ دو سر آنها تغییر می‌کند. آردوینو (برد کنترل) با مقایسه مقادیر سنسورها موتورها را به گونه ای حرکت می دهد که ولتاژ تمام سنسورها با هم برابر شود. در این حالت سیستم دقیقا مقابل خورشید قرار دارد.

عدسی بر روی یک سامانه مکانیکی با دو درجه آزادی (زاویه سمت و زاویه ارتفاع) قرار داده شده است. برای هر جهت حرکت، از یک موتور گیربکس‌دار DC استفاده شده است (در شکل ۲، زاویه سمت توسط موتور اول و زاویه ارتفاع توسط موتور دوم تنظیم می‌شود).



شکل ۲- ساختار مکانیکی ردیاب

زمانی که اختلاف ولتاژ سنسورها کم شود (سیستم به نقطه مقابل خورشید نزدیک‌تر شود)، آردوینو سرعت چرخش موتورها را کاهش می‌دهد. به این صورت دقت ردیابی بسیار افزایش می‌یابد.

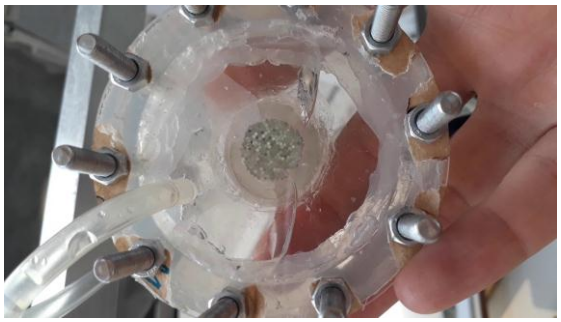
۳- روشی جدید برای حل مشکل حرارتی

فیبرهای نوری پلاستیکی (POF) در طول موج‌های مادون قرمز، اتلاف و جذب بالایی دارند. هرچند بخشی از طیف مادون قرمز توسط فیبر منتقل می شود ولی حتی مقدار جذب شده کم هم کافی است تا فیبرها ذوب شوند.

در این سامانه، برای محافظت از فیبرها، آنها را تا فاصله ی حدودی ۸ سانتیمتر از ابتدای دسته فیبرها در آب قرار داده ایم. آب توسط پمپ در چرخش است.



شکل ۳- فیبرها به همراه ردیاب



شکل ۴- فیبرهای پلاستیکی در داخل آب

۴- نتایج

توان گرمایی دریافتی توسط آب ۱۶ وات به دست آمد. در صورتی که توان گرمایی جذب شده مهم باشد می‌توان بدنه محفظه آب را با اسپری فوم عایق حرارتی کرد تا اتلاف گرما کاهش یابد. در غیر این صورت می توان

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

محفظه را از مواد رسانای گرما ساخت تا دمای فیبرها کاهش یابد.

با نور خروجی به دست آمده در این آزمایش می‌توان سطحی به مساحت ۳.۵ متر مربع را در فاصله ی ۳ متری از منبع نور با شدت روشنایی ۱۰۸ لوکس روشن کرد (این شدت روشنایی استاندارد محیط آشپزخانه است).

در شدت روشنایی بیرونی ۴۳۰۰۰ لوکس، شدت روشنایی در فضای تاریک در فاصله ی ۳۰ سانتیمتری از فیبرها ۹۲۰۰ لوکس به دست آمد.

در بهترین حالت بازده شدت روشنایی ۲/۸ درصد به دست آمد که قابل مقایسه با بازده به دست آمده در مرجع [1] می باشد.

نور به دلیل عبور از آب و صفحه پلکسی گلاس بخشی از توان خود را از دست می دهد و بازده کاهش می یابد. ضریب گذردهی پلکسی گلاس ۹۳ درصد است و ۷ درصد از نور در اینجا بازتاب می‌شود.

با کاهش ضخامت پلکسی گلاس و فضای بین ابتدای دسته فیبر و پلکسی گلاس که توسط آب پر می‌شود می‌توان بازده را افزایش داد.

با وجود عدم استفاده از فیلتر اپتیکی این روش قابل مقایسه با روش‌های دیگر است و می‌توان از آن به عنوان روش مناسب و استاندارد برای حل مشکل حرارتی فیبرها استفاده کرد.

جدول۱-شدت روشنایی به دست آمده در زمان‌های مختلف

بازده شدت روشنایی (درصد)	شدت نور در فاصله ۳۰ سانتیمتری از فیبر (lux)	شدت روشنایی خورشید (*10^3lux)	دمای آب داخل مخزن (^oC)	زمان اندازه گیری (دقیقه)
۱.۸۷	۹۳۳۰	۶۴.۷۶	۲۰.۷	۰۰
۲.۳	۹۲۴۰	۵۲.۱۷	۲۶.۱	۳۳
۲.۷	۹۲۰۰	۴۳.۶۳	۲۷.۸	۴۵
۲.۸	۸۷۵۰	۳۹.۷۵	۲۹.۲	۶۰
۲.۲	۶۲۰۰	۳۶.۵۸	۲۹.۹	۷۵

۵- جمع بندی

مشاهده می شود که با افزایش دمای آب، افزایش دما کندتر می شود که این مسأله باعث می شود دما به یک مقدار حدی برسد و از داغ شدن بیش از حد فیبرها جلوگیری شود.

این مسأله به بهای این است که عبور نور از محفظه شیشه‌ای (پلکسی گلاس) و همچنین آب باعث کاهش بازده نوری شود. بازده به طور متوسط ۲.۷ درصد به دست آمده که با بازده سِدکی و معروفی (۲.۹ درصد) قابل مقایسه است [1].

مزیت روش استفاده شده این است که بدون استفاده از فیلترهای مادون قرمز یا المان اپتیکی دیگر تنها با استفاده از آب، از آسیب رسیدن به فیبرها جلوگیری شده است.

از توان گرمایی دریافتی توسط آب (به طور متوسط ۱۶ وات) می توان برای سیستم گرمایشی ساختمان استفاده کرد که بازده کلی را بالاتر می برد. البته می توان بدنه تانک آب را تیره و غیر شفاف ساخت تا انرژی گرمایی بیشتری جذب شود.

مراجع

[1] M. M. Laila Sedki, "Design of parabolic solar daylighting systems based on fiber opticwires: A new heat filtering device", p. 8, 2017.

[2] C. Kandilli, K. Ulgen, "Review and modelling the systems of transmission concentrated solar energy via optical fibres", Renew. Sustain. Energy Rev., 13 (2009), pp. 67-84

[3] I. Ullah, S. Shin, "Development of optical fiber-based daylighting system with uniform illumination", J. Opt. Soc. Korea, 16 (2012), pp. 247-255

[4] C. Sapia, "Daylighting in buildings: developments of sunlight addressing by optical fiber", Sol. Energy, 89 (2013), pp. 113-121

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]