Designing and Fabrication of a New Lighting System Using Light Sources with Collimated Beams and a Diffuser-Reflector System

N. Siahvashi*, R. Ghaffarpour

Abstract

Humans have always sought a solution to overcome the phenomenon of darkness and produce light in dark or low light environments. They have overcome this problem by inventing a variety of lights and lamps. In current lighting systems, the lighting source is located in the ceiling, which has advantages such as a relatively uniform distribution of light intensity in the entire environment centered on the location of the source and, of course, disadvantages such as the need for wiring in the ceiling. In places such as tunnels, buildings with high ceilings, very high arches, and such things, in addition to the high cost of wiring in the roof, if there is a need to repair or replace the lighting source, in addition to the great difficulty and risks, an additional fee should be considered for this purpose. In addition, the absence of a wire carrying electricity in the ceiling is one of the requirements in some places. In order to increase the safety of people and equipment and significantly reduce the cost, as well as not using the wire carrying electricity in the roof of some tunnels or buildings in order to comply with the principles of passive defense, a new lighting system has been proposed that uses LED light sources as lighting sources. The use of a collimated optical element, along with the use of a reflector-diffuser system, in addition to removing the electricity transmission wire from the ceiling and the possibility of easy repair or replacement of the light source, also provide the required lighting for that place. The results of the experimental setup conducted using two different geometries for the reflector-diffuser system indicate that the use of the proposed method not only does not reduce the measurement lux of the light scattered in the environment but also increases the brightness to a small value.

Key Words: *Lighting Source, Traditional Lamps, Collimated Element, Diffuser-Reflector System, Lux Meter*

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

*Ph.D, Department of Photonics, Faculty and Research Institute of Basic Science, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran (n-siahvashi@ihu.ac.ir)- Writer-in-Charge

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال چهاردهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲، (پیاپی ۵۶): صص ۱۹-۱۳

علمی - پژوهشی

طراحی و ساخت سامانه تأمین روشنایی جدید با بکارگیری منابع نوری با پرتوهای موازی و صفحات بازتابنده-پراکنده‌کننده

ناصر سیاهوشی[1*]، رضا غفارپور[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰

چکیده

انسان همواره به‌دنبال راه حلی برای غلبه بر پدیده تاریکی و تولید روشنایی در محیط‌های تاریک یا کم‌نور بوده است که با اختراع انواع چراغ‌ها و لامپ‌ها بر این مشکل غلبه کرده است. در وسایل روشنایی فعلی، منبع روشنایی در سقف قرار دارد که دارای مزایایی از جمله توزیع شدت نسبتاً یکنواخت نور در کل محیط به مرکزیت محل استقرار منبع و البته معایبی همچون نیاز به سیم‌کشی در سقف است. در مکان‌هایی از جمله تونل‌ها، ساختمان‌های با سقف بلند، طاق‌های بسیار بلند و مواردی از این قبیل، علاوه بر هزینه زیاد سیم‌کشی در سقف، در صورت نیاز به تعمیر یا تعویض منبع روشنایی، در کنار دشواری فراوان و مخاطرات جدی، هزینه مضاعفی باید برای این منظور در نظر گرفت. علاوه‌بر این، عدم وجود سیم حامل جریان الکتریکی در سقف، از الزامات برخی مکان‌ها محسوب می‌شود. در راستای افزایش ایمنی افراد و تجهیزات و کاهش قابل‌توجه هزینه، و نیز عدم استفاده از سیم حامل جریان الکتریکی در سقف برخی تونل‌ها یا ساختمان‌ها به‌عنوان رعایت اصول پدافند غیرعامل، سامانه روشنایی جدیدی پیشنهاد شده است. این سامانه با به‌کارگیری منابع نوری LED به‌عنوان چشمه‌های روشنایی، استفاده از قطعات اپتیکی موازی‌ساز، در کنار بکارگیری مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده، علاوه بر حذف سیم انتقال جریان الکتریکی از سقف و سهولت در تعمیر یا تعویض منبع نوری، روشنایی مورد نیاز آن محل را نیز تأمین نماید. نتایج آزمایش‌های انجام شده با به‌کارگیری دو هندسه مختلف برای مجموعه بازتابنده- پراکنده‌کننده نشان داد که بکارگیری روش پیشنهادی نه‌تنها موجب کاهش مقدار لوکس نور پراکنده شده در محیط نمی‌شود؛ بلکه درخشندگی را به مقدار اندکی افزایش هم می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: منبع روشنایی، لامپ‌های سنتی، قطعه موازی‌ساز، مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده، لوکس‌متر

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

© نویسندگان

[1] دکتری تخصصی دانشکده شهید فخری زاده (علوم پایه)، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران (n-siahvashi@ihu.ac.ir)- نویسنده مسئول

[2] استادیار دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

۱- مقدمه

انسان به‌عنوان یکی از مخلوقات الهی، از بدو تولد آدم ابوالبشر تاکنون همواره با پدیده‌ای به نام تاریکی روبرو بوده است. یقیناً شب ملموس‌ترین و طبیعی‌ترین مثال از بروز این پدیده است. شب را می‌توان بازه‌ای زمانی در نظر گرفت که در آن بازه، نور خورشید به ما نمی‌رسد. البته در کنار این تاریکی طبیعی که ناشی از گردش سیارات در مدارهای مشخص است، بشر همواره با دست‌کاری در طبیعت، تاریکی‌هایی را نیز خود ایجاد کرده است. در واقع عدم وجود نور به منزله تاریکی است، لذا ایجاد ساختمان‌های زیر زمینی، تونل‌ها، متروها و واحدهای ساختمانی که در طول روز نیازمند تأمین نور هستند، همه از جمله این موارد خواهند بود. در هر دو حالت، انسان همواره به دنبال راه‌حلی برای غلبه بر پدیده تاریکی و تولید روشنایی در محیط‌های تاریک یا کم‌نور بوده است. به‌منظور رفع این نیاز در دوره‌های مختلف روش‌های متعددی به‌کارگرفته شده است. شاید بتوان روشن کردن آتش را اولین مرحله در دستیابی به روشنایی توصیف کرد. در ادامه پیشرفت بشر و اختراع شمع در کنار چراغ‌های روغنی، گامی بزرگ در حوزه روشنایی محسوب می‌شود[۱،۲]. پس از کشف سوخت‌های فسیلی و استفاده از آن‌ها در کنار توانایی بشر در فرآیندهای شیشه‌گری و تولید انواع شیشه‌ها و چراغ‌ها سیر تکامل این حوزه سرعت بخشیده است[۳،۴]. یقیناً می‌توان تولید الکتریسیته را انقلابی در حوزه روشنایی در نظر گرفت. سابقه وسایل روشنایی الکتریکی به میانه قرن نوزدهم می‌رسد. در سال (۱۸۵۴) هاینریش گوبل نخستین لامپ الکتریکی را اختراع کرد که حدود چهارصد ساعت نور می‌داد اما آن را ثبت نکرد. پس از وی جیمز وودوارد، ویلیام سایر، متیو ایوانز (۱۸۷۵) و جوزف سوان (۱۸۷۸) مدل‌های دیگر چراغ الکتریکی را پیشنهاد دادند[۵]. کمی پیش از آنکه ادیسون وارد این عرصه شود، والیس، صنعتگر آمریکایی نوعی چراغ‌برق را روانه بازار کرده بود که نمونه‌ای از آن به دست ادیسون رسید (۱۸۷۸). دستگاه والیس از چارچوبی با یک حباب دو میله فلزی متحرک که به هر کدام تکه زغالی متصل بود تشکیل می‌شد. این چراغ الکتریکی بازده کمی داشت؛ مصرف برق آن زیاد و عمر زغال‌هایش کم بود. با این‌حال، ادیسون که به اهمیت اختراع والیس پی‌برده بود، تصمیم گرفت آن را اصلاح کند و به‌جای زغال ماده مناسب‌تری بیابد که با برق کمتر، مدت طولانی‌تری روشنایی ایجاد کند و باگذشت زمان از بین نرود. پس از یک سال تلاش و آزمایش صدها ماده گوناگون، ادیسون و همکارانش توانستند با خالی‌کردن هوای داخل حباب و استفاده از نخ معمولی زغال‌اندود (کربنیزه) لامپی بسازند که می‌توانست تا چهل ساعت نور بدهد. این موفقیت اولیه موجب شد تا آن‌ها با پشتکار بیشتری بکار خود ادامه دهند و وقتی توانستند عمر متوسط چراغ تولیدی را به پانصد ساعت برسانند، از آن رونمایی کردند (۱۸۸۰). [۶-۸]. به‌تدریج تغییر فناوری از لامپ‌های رشته‌ای به لامپ‌های فلوئورسنت، دریچه‌ای دیگر بر روی بشر ایجاد کرد. سه دانشمند آلمانی به نام‌های اف میر، اچ، اسپنروای جرمر توانستند در ولتاژ پائین با گرمایش قبلی الکترودها، جرقه لازم را ایجاد کنند و به‌طور هم‌زمان اشعه فرابنفش را نیز به‌وسیله پوشاندن لوله‌ها با یک پودر فلوئورسنت به نور قابل رویت تبدیل کنند به این‌ترتیب، اولین لامپ فلئورسنت بر پایه این یافته‌ها به وجود آمده و توسط آندره کلود، به ثبت رسید[۹،۱۰]. اولین لامپ‌های فلئورسنت در اروپا در سال ۱۹۳۶ میلادی به‌وسیله شرکت اسرام تولید و به بازار عرضه شد. درنهایت فناوری دیودهای نور گسیل[1] (LED) را می‌توان به‌عنوان آخرین دستاورد بشر در حوزه تولید روشنایی بیان نمود[۱۱]. LEDها در واقع جزء خانواده دیودها هستند که زیرگروه نیمه هادی‌ها به‌شمار می‌آیند. خاصیتی که LEDها را از سایر نیمه‌هادی‌ها متمایز می‌کند این است که با گذر جریان الکتریکی از آن‌ها مقداری انرژی به صورت نور از آن‌ها گسیل می‌شود[۱۲]. لامپ‌های LED کارایی، طول عمر و بازده انرژی بالا (چند برابر لامپ‌های رشته‌ای و فلئورسنت) دارند. اهمیت این کشف جدید به حدی بود که جایزه نوبل فیزیک سال ۲۰۱۴ به ایسامو آکاساکی، هیروشی آمانو و شوجی ناکامورا به واسطه تلاش در حوزه ساخت LED اهدا شد [۱۳]. آنچه در همه لامپ‌های مذکور اعم از رشته‌ای، فلئورسنت و حتی LED ها به منظور تامین روشنایی مشترک است، قرار گیری منبع نور در یک نقطه و انتشار پرتوهای آن از محل استقرار به همه نقاط اطراف است. با توجه به اینکه محل نصب لامپ‌ها معمولا در سقف ساختمان است، می‌توان بیان نمود که نور از محل قرارگیری منبع تقریباً در زاویه فضایی به اندازه 2π استرادیان منتشر می‌شود [۱۴]. استقرار لامپ در سقف دارای مزایایی از جمله توزیع شدت نسبتاً یکنواخت نور در کل محیط به مرکزیت محل نصب لامپ و معایبی همچون نیاز به سیم‌کشی در سقف است. در بسیاری از مکان‌ها مانند تونل‌ها، ساختمان‌های با سقف بلند، طاق‌های بسیار بلند و گاهاً تا ارتفاع ۵۰ متر و مواردی از این قبیل، علاوه‌بر هزینه زیاد سیم‌کشی در سقف، در صورت نیاز به تعمیر یا تعویض منبع روشنایی، علاوه بر دشواری فراوان و مخاطرات جدی، هزینه مضاعفی باید برای این منظور در نظر گرفت. در کنار موارد مذکور، در برخی مکان‌ها امکان سیم‌کشی در سقف وجود ندارد. به‌عبارتی عدم وجود سیم حامل جریان الکتریکی در سقف، از الزامات آن مکان‌ها محسوب می‌شود [۱۵]. ضرورت عدم استفاده

[1] Light emitting diode

از سیم برق در سقف برخی تونل‌ها یا ساختمان‌ها به‌عنوان رعایت یکی از اصول پدافند غیرعامل، در کنار افزایش ایمنی افراد و تجهیزات و نیز کاهش قابل‌توجه هزینه، ایجاب می‌کند که در راستای تکامل این حوزه با به‌کارگیری هر چه بیشتر علم فوتونیک در رفع نیازهای بشر اقدام شود. در پژوهش حاضر، تلاش می‌شود با به‌کارگیری منابع نوری LED، و با استفاده از ادوات اپتیکی در کنار فیزیک حاکم بر آن‌ها، ایده‌ی استفاده از سامانه روشنایی جدیدی پیشنهاد شود که در کنار مزایای منابع نوری متداول، تا حدودی معایب آن‌ها را نیز برطرف کرده و علاوه بر حذف سیم انتقال جریان برق از سقف و امکان سهولت در تعمیر یا تعویض منبع نوری، روشنایی موردنیاز آن محل را نیز تأمین نماید.

۲- اصول، مبانی و معادلات

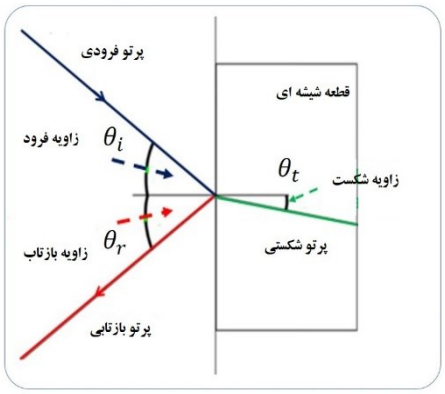
هنگامی‌که پرتوهای منتشر شده از منبع نوری به فصل مشترک دو محیط با ضرایب شکست n_1 و n_2 برخورد می‌کنند؛ بخشی از آن‌ها بازتاب شده و بخشی دیگر عبور خواهند کرد. مطابق شکل (۱)، پرتوهایی که با زاویه θ_i بر فصل مشترک دو محیط فرود آیند، طبق اصل بازتاب با همان زاویه، بازتابیده خواهند شد [۱۶]:

$$\theta_i = \theta_r \qquad (۱)$$

بخش دیگر نور با عبور از محیط اول و ورود به محیط دوم، طبق قانون اسنل با زاویه شکست θ_t، شکسته می‌شود [۱۷]:

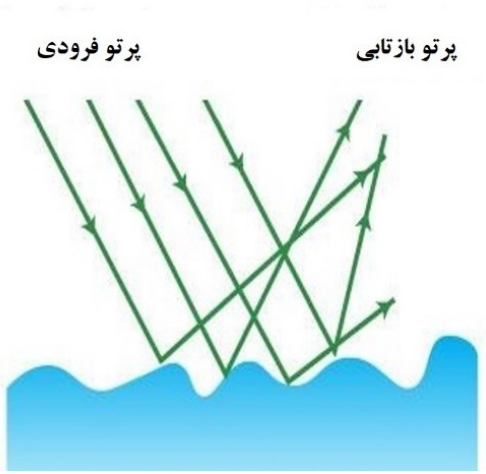
$$n_i \sin(\theta_i) = n_t \sin(\theta_t) \qquad (۲)$$

که اگر $n_2 \rangle n_1$ باشد؛ زاویه شکست θ_t به‌گونه‌ای است که پرتو شکسته شده به خط عمود بر سطح نزدیک‌تر می‌شود و اگر $n_2 \langle n_1$ باشد؛ پرتو شکسته شده از خط عمود بر سطح دورتر می‌شود.



شکل (۱): بازتاب و شکست در مرز بین دو محیط نوری [۱۴]

البته باید توجه داشت درصورتی‌که سطح، مات و غیر صیقلی باشد نور هیچ ارجحیتی در زاویه بازتاب نداشته و در این حالت نور اصطلاحاً پخشیده (پراکنده) خواهد شد. شکل (۲) طرح‌واره نور بازتابی پخش شده را نشان می‌دهد.



شکل (۲): طرح‌واره بازتاب نور از سطوح غیر صیقلی (بازتاب پخشیده)

باتوجه‌به قوانین بازتاب و شکست نور، عدسی‌های اپتیکی با هندسه‌های مختلف تخت- منحنی و دو سمت منحنی به‌صورت محدب و مقعر، به‌عنوان ابزاری که نور پس از عبور از آن‌ها شکسته شده و همگرا یا واگرا می‌شود، شناخته می‌شوند. رابطه حاکم بر عدسی‌ها به‌صورت رابطه (۳) است[۱۸].

$$\frac{1}{P}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f} \qquad (۳)$$

دراین رابطه P نشان‌دهنده فاصله محل جسم، q فاصله محل تصویر و f فاصله کانونی عدسی است. با استفاده از رابطه (۳) می‌توان بیان نمود که اگر جسمی در کانون عدسی قرار بگیرد تصویر آن در بینهایت تشکیل خواهد شد، یا به‌عبارتی می‌توان انتظار داشت در این حالت، پرتوهای خروجی از عدسی موازی باشند.

۳- چیدمان آزمایشگاهی و نتایج

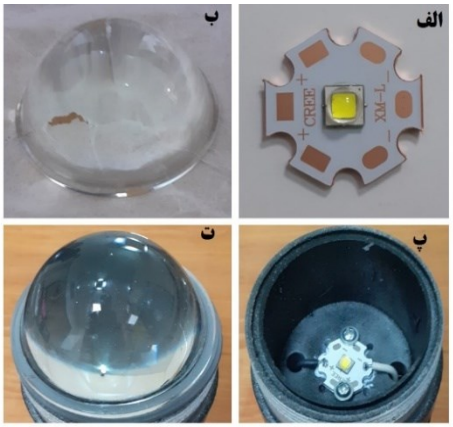
با توجه به الزامات و محدودیت‌های اشاره شده در مقدمه و با استفاده از قوانین فیزیکی حاکم بر سامانه‌های اپتیکی، روشی پیشنهاد می‌شود که از یک منبع نور، یک قطعه اپتیکی موازی‌ساز با قابلیت هدایت نور با واگرایی کم و یک مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده، به‌منظور تأمین نور محیط استفاده گردد. در ادامه ابتدا به تشریح روش پیشنهادی پرداخته و سپس چیدمان آزمایشگاهی مورد استفاده برای منبع نوری ارائه می‌شود. پس از آن چیدمان‌های مختلف مورد آزمایش با این روش، بررسی و ارزیابی خواهد شد.

۳-۱- تشریح روش

در این روش، منبع روشنایی که از یک LED نوری و یک اپتیک موازی‌ساز تشکیل شده است، در یک نقطه و مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده در نقطه‌ای دیگر و در فاصله‌ای دور از محل منبع قرار می‌گیرند. پرتوهای نوری تولید شده توسط LED از طریق سامانه موازی‌کننده از منبع به سمت صفحه مذکور منتشر می‌شوند. در این روش محل استقرار مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده همان محل استقرار لامپ‌های سنتی در مکان موردنظر است در حالی که منبع نور در هر محل دیگری که محدودیتی برای نصب نداشته باشد، قرار خواهد گرفت. به‌کارگیری منبع نور در محلی غیر از محل مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده سبب می‌شود علاوه‌بر تامین نور محل، الزامات و محدودیت‌های اشاره شده رفع شود.

۳-۲- منبع نوری با پرتوهای موازی

به‌منظور بررسی روش پیشنهادی از یک LED تک با توان ۱۰وات به‌عنوان منبع نور سفید استفاده شده است. عدسی محدب ضخیم تخت-کروی به‌عنوان یک قطعه اپتیکی نقش موازی‌سازی پرتو نوری تولید شده توسط LED را بر عهده دارد. به‌منظور عملکرد صحیح موازی‌ساز، LED مورداستفاده توسط یک وسیله اپتومکانیکی به‌گونه‌ای به عدسی متصل شده است که در محل کانون عدسی قرار گیرد. این وسیله اپتومکانیکی از جنس آلومینیوم انتخاب شده است تا هم‌زمان نقش خنک‌ساز منبع نور را نیز ایفا کند؛ زیرا منابع نوری تک LED درصورتی‌که خنک نشوند آسیب خواهند دید. لذا سوارکردن آن بر روی واسط آلومینیومی موجب می‌شود که گرمای تولیدی به‌سرعت به محیط انتقال‌داده‌شده و مانع از آسیب منبع نوری گردد. شکل (۳) بخش‌های مختلف منبع نوری با پرتوهای موازی را نشان می‌دهد.



شکل (۳): اجزای بکار رفته در منبع نوری با پرتوهای موازی. الف: تک LED ب: عدسی تخت-کروی ضخیم پ: اپتومکانیک واسط ت: منبع نوری کامل

شکل (۳- الف) منبع نوری تک LED با توان ۱۰ وات، که توسط آداپتور DC روشن می‌شود را نشان می‌دهد. عدسی تخت-کروی ضخیم (۳-ب) به‌عنوان قطعه اپتیکی موازی‌ساز پرتوهای نور گسیلی از LED مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل (۳-پ) واسط اپتومکانیکی بین عدسی و منبع نور را نشان می‌دهد که منبع نور داخل این قطعه تعبیه شده است. شکل (۳-ت) منبع نور مورد استفاده با پرتوهای موازی شده را نشان می‌دهد.

۳-۳- مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده

به‌منظور پخش نور تولید شده توسط منبع در محیط از یک مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده استفاده شده است. این مجموعه از یک قطعه بازتابنده، یک قطعه پخش‌کننده براق و یک قطعه پخش‌کننده کدر تشکیل شده است که بسته به نوع چیدمان مورد استفاده، این قطعات توسط یک نگهدارنده روی‌هم قرار می‌گیرند. شکل (۴) قطعات این مجموعه را نشان می‌دهد. مطابق شکل قطعه پخش‌کننده کدر (شکل ۴-الف) به‌منظور پراکنده نمودن نور ارسالی از منبع و بازتابی از صفحه بازتابنده را بر عهده دارد. قطعه پخش‌کننده براق (شکل ۴-ب) به‌منظور بالابردن بازدهی مجموعه مورداستفاده قرار گرفته است. قطعه بازتابنده (شکل ۴-پ) نقش بازتابش نور انتشاریافته از منبع و عبوری از صفحات پخش‌کننده را برعهده دارد. در این‌صورت هیچ پرتو نوری خارج از مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده نخواهد بود. این قطعات روی‌هم قرار گرفته و توسط یک نگهدارنده مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده را تشکیل می‌دهند (شکل ۴-ت).

شکل (۴): قطعات بکار رفته در مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده. الف: قطعه پخش‌کننده کدر ب: قطعه پخش‌کننده براق پ: قطعه بازتابنده ت: مجموعه کامل با نگهدارنده

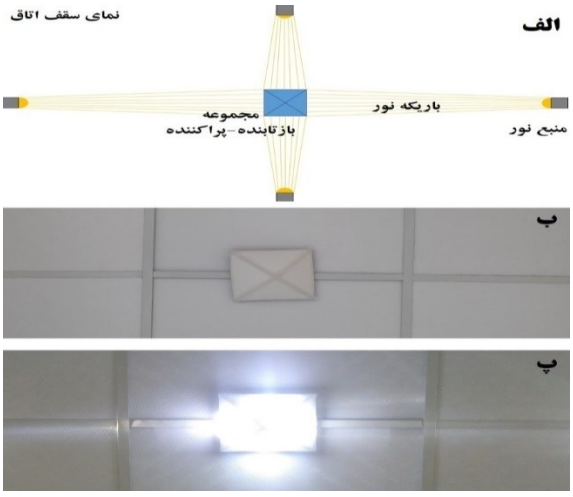
باید توجه داشت که انتخاب پارامترهای عدسی و نیز ابعاد مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده مبتنی بر فاصله منبع روشنایی تا محل استقرار مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده بوده و این

پارامترها به‌هم وابسته هستند. علت این امر به اندازه لکه تولیدی توسط عدسی و واگرایی باریکه تولیدی برمی‌گردد. در این‌صورت بسته به فاصله، می‌توان ابعاد مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده را تغییر داد؛ از طرفی با داشتن ابعاد آن و فاصله، می‌توان از قطعه موازی‌سازی استفاده کرد که اندازه لکه مناسبی برای آن مجموعه داشته باشد.

۳-۴- سامانه‌های روشنایی پیاده‌سازی شده مبتنی بر روش پیشنهادی

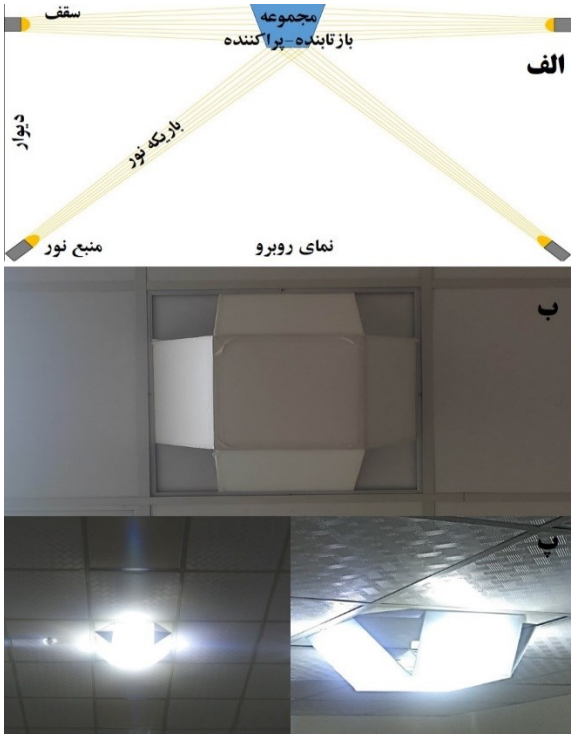
به‌منظور بررسی عملکرد روش پیشنهادی، در چند مکان مختلف با منابع نوری متعدد و نیز مجموعه‌های بازتابنده-پراکنده‌کننده با هندسه‌های مختلف چیدمان روشنایی برپا شده و میزان روشنایی ایجاد شده، اندازه‌گیری گردید. به‌منظور ارزیابی عملکرد سامانه پیشنهادی میزان روشنایی حاصله با سامانه‌های روشنایی سنتی مقایسه شده است.

آزمایش اول با بکارگیری یک سامانه روشنایی مبتنی بر استفاده از ۴ منبع نوری با پرتوهای موازی (شکل ۳-ت) و مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده با هندسه هرم چهاروجهی مورداستفاده قرار گرفت. شکل (۵-الف) طرحواره منابع نوری قرار گرفته بر روی دیوار را نشان می‌دهد. شکل (۵-ب) مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده نصب شده در سقف اتاق را نشان می‌دهد. انتشار پرتوهای موازی از منابع نوری و بازتاب پخشیده توسط مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده سبب می‌شود، مطابق شکل (۵-پ) به نظر برسد که یک منبع نوری در آن مکان قرار گرفته است.



شکل(۵): سامانه روشنایی پیاده‌سازی شده با استفاده از ۴ منبع نور. الف: شماتیک محل قرارگیری منابع نوری بر روی دیوار ب: مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده با هندسه هرم پ: نور پخش شده توسط این مجموعه

آزمایش دوم با بکارگیری یک سامانه روشنایی مبتنی‌بر استفاده از ۶ منبع نوری با پرتوهای موازی (شکل ۳-ت) مورداستفاده قرار گرفت. شکل (۶-الف) طرحواره محل قرارگیری منابع نوری و مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده را از نمای روبرو نشان می‌دهد. شکل (۶-ب) مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده قرار گرفته در سقف اتاق را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است، هندسه به‌کاررفته مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده شامل چهار وجه مربعی در اطراف و یک وجه مربعی در قسمت پایین ساختار است. چهار منبع نوری بر روی دیوار نصب شده‌اند که نور حاصل از آن‌ها به چهار وجه کناری تابیده می‌شود. همچنین دو منبع نوری بر روی کف اتاق و در کنار دیوار نصب شده‌اند که نور آن‌ها به وجه پایینی ساختار تابانده می‌شود. انتشار پرتوهای موازی از منابع نوری و بازتاب پخشیده توسط مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده سبب شده است که مطابق شکل (۶-پ) به نظر برسد که یک منبع نوری در آن مکان قرار گرفته است.



شکل (۶): سامانه روشنایی پیاده‌سازی شده با استفاده از ۶ منبع نور. الف: طرحواره محل قرار گیری منابع نوری. ب: مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده. پ: نور پخش شده توسط این مجموعه

در ادامه به‌منظور مقایسه عملکرد سامانه روشنایی پیشنهادی با سامانه‌های سنتی، از یک لامپ LED سقفی با توان ۴۰ وات که برابر با مجموع توان ۴ منبع نوری مورد استفاده در آزمایش اول و یک لامپ با توان ۶۰ وات، برابر با مجموع توان ۶ منبع نوری

مورداستفاده در آزمایش دوم، در سقف همان مکان‌ها استفاده شد. به‌منظور بررسی مقدار نور پراکنده شده، ناشی از این دو روش در مکان مورد آزمایش، از یک دستگاه لوکس‌متر استفاده شد. برای هر آزمایش میزان لوکس نور تولیدی توسط سامانه روشنایی پیشنهادی و لامپ‌های LED سقفی اندازه‌گیری و مقایسه شد. شکل (۷) دستگاه لوکس‌متر مورد استفاده به‌منظور اندازه‌گیری میزان نور پراکنده شده در محیط را نشان می‌دهد.

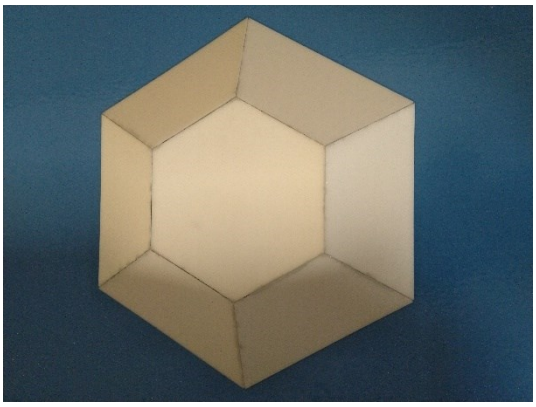
شکل(۷): اندازه‌گیری لوکس نور پراکنده شده با استفاده از لوکس‌متر

جدول (۱) میزان روشنایی حاصل از به‌کارگیری لامپ LED معمولی و نیز روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. نتایج حاصله، حاکی از آن است که با به‌کارگیری روش پیشنهادی، نه‌تنها میزان نور پراکنده شده در محیط کاهش نیافته، بلکه به مقدار جزئی (۴ لوکس در آزمایش اول و ۵ لوکس در آزمایش دوم) آن را نیز افزایش داده است. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری لوکس نور در پنج نقطه مختلف در اتاق (۴ گوشه و مرکز اتاق) انجام شد تا بتوان از میزان یکنواختی پراکندگی نور نیز اطمینان حاصل نمود. در اندازه‌گیری‌های انجام شده، نتایج تقریباً برابری حاصل شد.

جدول (۱): لوکس نور اندازه‌گیری شده برای دو آزمایش قبلی و در دو حالت روش پیشنهادی و لامپ LED معمولی

نتایج اندازه گیری	آزمایش اول	آزمایش دوم	واحد اندازه گیری
روش پیشنهادی	۱۵۶	۱۵۲	LUX
لامپ LED معمولی	۲۳۲	۲۲۷	LUX

همان‌طور که از شکل‌های (۵ و ۶-ب) و نیز نتایج نشان داده‌شده در جدول (۱) مشخص است، استفاده از هندسه‌های متفاوت تأثیری بر عملکرد سامانه روشنایی پیشنهادی نداشته و در هر دو حالت سامانه روشنایی نور مورد نیاز محیط را تأمین می‌نماید. لذا بسته به نوع محل مورد استفاده می‌توان سامانه بازتابنده-پراکنده‌کننده با هندسه قابل‌تطبیق با آن محیط را طراحی نموده و ساخت. به‌عنوان نمونه شکل (۸) یک سامانه بازتابنده-پراکنده‌کننده ساخته شده با هندسه هرم شش‌وجهی البته با برش قسمت نوک هرم را نشان می‌دهد. این سامانه قابلیت تطابق کامل با مکان‌هایی با قاعده شش‌ضلعی و دایروی را داراست. البته در سایر مکان‌ها نیز قابل استفاده است.



شکل(۸): مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده با قاعده شش‌ضلعی

۴- نتیجه‌گیری

به‌منظور غلبه بر محدودیت‌ها و رعایت الزامات خاص برخی مکان‌ها، همچنین سهولت دسترسی به سامانه تأمین روشنایی در سقف‌ها و طاق‌های مرتفع، سامانه روشنایی جدیدی مبتنی بر به‌کارگیری منبع نوری با پرتوهای موازی شده و مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده ارائه گردید. در این روش نور حاصل از منبع LED پس از عبور از قطعه موازی‌ساز به مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده برخورد کرده و در محیط پراکنده شده و موجب ایجاد روشنایی یکنواخت می‌گردد. این روش با دو هندسه مختلف برای مجموعه بازتابنده-پراکنده‌کننده مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج حاصل از اندازه‌گیری لوکس نور پراکنده شده در محیط برای هر دو حالت، حاکی از برابری نسبی درخشندگی در مقایسه با لامپ‌های معمولی است.

۵- مراجع

[1] W. Franz and H. Rudolf, “Candles,” Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Weinheim, Wiley-VCH, 2000.

[2] T. Patricia, “Exploring Candle Magick: Candle Spells, Charms, Rituals, and Divinations,” Career Press. p. 10, 2001.

[3] https://www.energystar.gov/products/lightingfans/light bulbs/learn about led bulbs

[4] https://www.bulbs.com/learning/history.aspx

[5] A. Bernanose, M. Comte, and P. Vouaux, “A new method of light emission by certain organic compounds,” Journal de Chimie Physique, vol. 50, 1953.

[6] S. Anna, “Thomas Alva Edison: The World’s Greatest Inventor,” Woodbridge, CT: Blackbirch Press, 2000.

[7] N. Baldwin, “Edison: Inventing the Century,” Hyperion. pp. 3–5, 1995.

[8] R. Friedel, "Edison's Electric Light: Biography of an Invention," Rutgers University Press. pp. 115–117, 1987.
[9] M. A. Laughton, "Electrical Engineer's Reference Book Sixteenth Edition," Newnes, pp. 21-12, 2003.
[10] G. John, "The Scientists, A History of Science Told Through the Lives of Its Greatest Inventors," Random House, pp. 424–432, 2004.
[11] I. Moreno, M. Avendano and I. T.Rumen Tzonchev, "Designing light-emitting diode arrays for uniform near-field irradiance," Appl. Optics, vol. 45, pp. 2265–227, 2006. https://doi.org/10.1364/AO.45.002265.
[12] I. Moreno and U. Contreras, "Color distribution from multicolor LED arrays," Opt. Express, vol. 15 pp. 3607, 2007. https://doi.org/10.1364/OE.15.003607.
[13] www.nobelprize.org/prizes/physics/
[14] Authors, "Basics and rules of lighting design and lighting engineering," Affairs of the technical system of the vice president's strategic supervision, 1392 (In Persian).
[15] H. Radmard and M. R. Kheir Andish, "Considerations of Designing the Ventilation of Defensive Underground Structures," Passive Defense Quarterly, vol. 5, no. 1, pp. 61-71, 1393 (In Persian).
[16] E. Hecht, "Optics 4th edition," 2001.
[17] F. L. Pedrotti, L. M. Pedrotti, and L. S. Pedrotti, "Introduction to optics," Cambridge University Press, 2017.
[18] B. E. A Saleh and M. C. Teich, "Fundamentals of Photonics," John Wiley & Sons, 1991.