

طرحی جدید برای اندازه‌گیری کامپیوتری منحنی پخش نور چراغ

محمد صالح مونسان، حسن ذاکری، سلمان محسنی

آزمایشگاه روشنایی دانشکده فنی دانشگاه تهران (www.eng.ut.ac.ir/lightlab)

s.moonesan@ece.ut.ac.ir, h.zakeri@ece.ut.ac.ir, Sal44@yahoo.com

چکیده- اندازه‌گیری جدول و منحنی پخش نور (Luminous intensity distribution) برای منابع روشنایی (Luminaire)، مطابق استاندارد بین‌المللی CIE با شماره CIE 121 1996 و استاندارد آلمان و استاندارد اروپا با شماره‌های 1999: DIN 5032-1 و EN 13032-1 با کمک دستگاهی انجام می‌شود که به آن فتوگونیومتر (Photo Gonio Meter) گفته می‌شود. این لفظ را می‌توان نورسنج زاویه‌ای یا نورسنج جهتی ترجمه نمود. نورسنج زاویه‌ای دستگاهی است که در آن چراغ یا لامپ در وضعیت نزدیک به حالت طبیعی خود نصب می‌شود و سنسور نوری یعنی لوکس متر (lux meter) نور خارج شده در زاویه یا جهت معین از چراغ را مشخص می‌نماید. چنین دستگاهی با روش ابتکاری و با در نظر گرفتن ابعاد سالن موجود، در آزمایشگاه روشنایی دانشکده فنی دانشگاه تهران ساخته شده است که در زیر شرح آن می‌آید. در این رابطه یک نکته بسیار مهم، تعیین دقیق محورهای مختصات آزمایشگاه با توجه به محل نصب چراغ است که برای این منظور نیز طرحی جدید با استفاده از اشعه لیزر خطی و اشعه لیزر پرده‌ای و آئینه و منشور تهیه و ساخته شده است و در رابطه با آن نیز بحث می‌شود.

1- مقدمه

دقیقت تعیین شود، نتیجه اندازه‌گیری دقیقتر است و در تکرار اندازه‌گیری، نتایج بیشتر به یکدیگر نزدیک هستند.

2- شرح دستگاه

در دستگاه نورسنج زاویه‌ای ساخته شده در آزمایشگاه روشنایی دانشکده فنی دانشگاه تهران - مطابق شکل 1 از مرجع [1] - چراغ حول محور اول خود توسط ربات گردان چرخانده می‌شود. در فواصل کوتاه زمانی، زاویه چرخش با نمایش 0/1 درجه و دقتی در همین محدوده (بسته به دقت تعیین محورهای مختصات) به کمک یک سنسور زاویه‌ای به صورت دیجیتال اندازه‌گیری می‌شود. این کمیت با کمک یک تقویت کننده الکترونیکی و از طریق امواج رادیویی به یک ربات سیار مخابره می‌شود. این ربات در کف سالن آزمایشگاه - بر روی سطح عمود بر محور اول چراغ - حرکت می‌کند. ربات سیار در امتداد تقاطع صفحه $C = 90^\circ$ و سطح کف آزمایشگاه در طول یک خط مستقیم حرکت می‌نماید. در محل‌هایی با زاویه معین نسبت به محور عمود بر مرکز چراغ (زاویه γ)، ربات می‌ایستد تا چراغ یک دور کامل بچرخد.

منحنی پخش نور چراغها و منابع روشنایی، به عنوان مبنای محاسبه روشنایی خیابانها، راهها، سالن‌ها، اطاقها و کلاس درس و مانند آن به کار می‌رود. بدون در دست داشتن این منحنی‌ها، طراحی علمی و صحیح روشنایی ممکن نیست. از طرف دیگر اندازه‌گیری منحنی‌های پخش نور چراغ و تعیین بازدهی آنها کمک بزرگی به صرفه‌جویی انرژی الکتریکی، کاهش آلودگی محیط، بهبود کیفیت چراغها و ایمنی راهها می‌نماید.

برای اندازه‌گیری مشخصات پخش نور منابع روشنایی مانند چراغ، ممکن است چراغ حول یکی از سه محور اصلی خود بچرخد و سنسور نوری (لوکس متر) بر روی یکی از صفحات محورهای مختصات حرکت نماید. معمولاً چراغ در مرکز محورهای مختصات نصب می‌شود. به زبان دیگر مرکز چراغ، مرکز محورهای مختصات در نظر گرفته می‌شود. هرچه محورهای مختصات نسبت به مرکز نوری چراغ Potometric center of luminaire

این ربات موقعیت خود را با دقت 1 میلی‌متر از زیر چراغ نگه می‌دارد و همچنین قادر است مسیر خود را بوسیله یک پرتو لیزر که از انتهای سالن تابیده می‌شود تصحیح نماید.

مدار واسط این اطلاعات از طریق درگاه سریال RS232 قابل دریافت توسط کامپیوتر صنعتی می‌باشد.

آخرین وسیله قرار گرفته بر روی ربات، که به آن قبلا نیز اشاره شد، یک کامپیوتر صنعتی می‌باشد. این کامپیوتر صنعتی در واقع برنامه‌ریزی آزمایش را انجام می‌دهد. فرمان حرکت و ایست ربات از طریق برد اصلی مذکور توسط کامپیوتر صنعتی انجام می‌گیرد. این کامپیوتر صنعتی با دریافت اطلاعات زاویه چرخش چراغ و مسافت طی شده از برد اصلی و نیز دریافت شدت روشنایی از سنسور لوکس‌متر، داده‌های آزمایش را تهیه می‌کند.

بعد از جمع‌آوری داده‌های کافی، این داده‌ها از طریق یک شبکه بی‌سیم (wireless Lan) به یک کامپیوتر ثابت منتقل می‌شود و ربات با فرمان کامپیوتر صنعتی با یک برنامه نوشته شده به زبان C++ در محیط برنامه‌نویسی Visual C++ 6.0 پیاده‌سازی شده است و این برنامه با توجه به درخواست کاربر، اندازه‌گیری شدت روشنایی چراغ در زاویه‌های مطلوب را انجام می‌دهد.

4- ربات گردان

این دستگاه دارای یک میله (shaft) دوار است که حول محور قائم خود می‌چرخد. به این میله یک بازو وصل است و بر روی این بازو چراغ مورد آزمایش نصب می‌شود. چراغ همراه میله، حول محور اول (محور C) چراغ می‌چرخد. میله دوار، سوراخ شده است. در داخل این سوراخ یک دیود لیزری هم محور با میله دوار قرار دارد، به نحوی که محور دوران میله توسط پرتو این لیزر مشخص می‌شود. تقاطع این پرتو با کف سالن آزمایشگاه یک نقطه است. این نقطه باید با دوران میله، حرکت نکند و ثابت بماند.

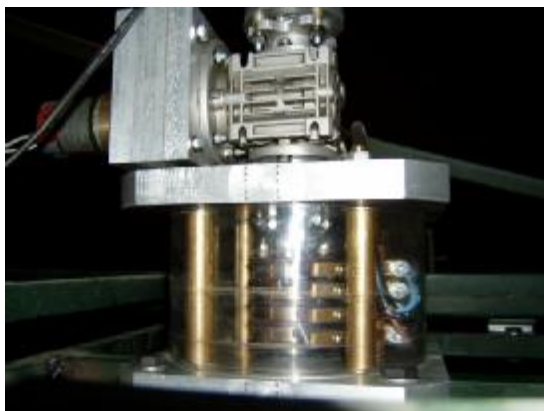
موازی با این دیود نقطه‌ای یک دیود خطی (Line Laser) به میله قائم وصل است. پرتو این دیود یک پرده یا صفحه روشن است. تقاطع این صفحه با کف سالن یک خط تشکیل می‌دهد. این دیود قابل تنظیم است و به نحوی تنظیم می‌شود که خط پرتو روشن دیود اول در صفحه روشن دیود دوم قرار گیرد. این دیود لیزری بر روی کف سالن آزمایشگاه یک خط رسم می‌نماید. این خط تقاطع صفحه یا پرده روشن با صفحه کف آزمایشگاه است. این خط زاویه محور مختصات استوانه‌ای (صفحه C) را مشخص می‌کند. در

اطلاع از آن به عنوان یک نکته منفی برای چراغ، مفید است. نور خارج شده با زاویه بیش از 75 درجه و حتی کمتر از این، باعث خیرگی چشم رانندگان در بزرگراه‌ها و راه‌ها می‌گردد و البته مطلوب نیست.

3- دستگاه ربات سیار

این دستگاه با کمک دو موتور الکتریکی بر روی کف سالن آزمایشگاه حرکت می‌کند. این دو موتور الکتریکی امکان حرکت و هدایت ربات را فراهم می‌سازند. یکی از چرخهای ربات یک انکودر طولی است و فاصله طی شده توسط ربات را با دقت یک میلی‌متر بدست می‌دهد و به کمک این داده و ارتفاع چراغ زاویه ۷۰ مورد نظر را محاسبه می‌کند. در جلو این ربات تعدادی سنسور حساس نوری کنار یکدیگر نصب شده‌اند. یک پرتو لیزری از انتهای سالن آزمایشگاه به این سنسورها تابانده می‌شود و ربات می‌بایست حرکت رو به جلوی خود را طوری تنظیم کند که این پرتو همواره در وسط سنسورها قرار بگیرد. به این ترتیب ربات می‌تواند یک حرکت به جلوی مستقیم‌الخط را انجام دهد. بر روی ربات سنسور تبدیل نور به جریان الکتریکی با توجه به حساسیت چشم انسان به طور موجهای مختلف و دستگاه اندازه‌گیری جریان الکتریکی نصب شده‌اند. خروجی این دستگاه شدت روشنایی با واحد لوکس می‌باشد. از طریق درگاه سریال RS232 قابل دستیابی است.

یکی از مهمترین قسمتهای نصب شده بر روی ربات یک برد اصلی می‌باشد که چند وظیفه برعهده دارد. اول اینکه با سنسورهای نوری در جلوی ربات مرتبط می‌باشد و در صورت انحراف ربات از مسیر خود با فرمان مناسب به موتورهای الکتریکی حرکت ربات را به حالت عادی باز می‌گرداند. دومین وظیفه این مدار، دریافت پالسهای ارسالی از انکودر طولی ربات و تبدیل آنها به مسافت طی شده و سپس ارسال این عدد از طریق درگاه سریال RS232 به کامپیوتر صنعتی می‌باشد. آخرین عملکرد این مدار، قرار گرفتن گیرنده مخابراتی بر روی آن می‌باشد که اطلاعات زاویه چرخش چراغ ارسال شده توسط دستگاه ربات گردان (که در قسمت بعدی توضیح داده خواهد شد) را دریافت می‌کند و از طریق تعدادی



شکل 3: قسمتی از ربات گردان که چهار حلقه لغزان را نشان می دهد.

ولتاژ بین دو سر لامپ با کمک یک تثبیت کننده ولتاژ، ثابت نگهداشته می شود. جریان لامپ و توان آن در طول زمان قابل اندازه گیری است.

5- پردازش داده ها و تعیین مشخصات چراغ

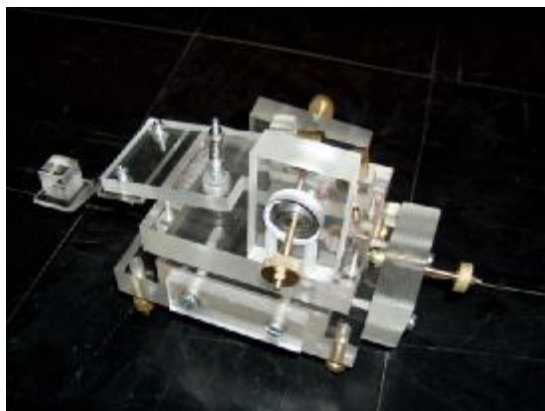
اطلاعات گرفته شده از ربات سیار با استفاده از شبکه بی سیم LAN به کامپیوتر ثابت منتقل می شود. این کامپیوتر مجهز به نرم افزاری دارای

GUI (Graphical User Interface) می باشد. این برنامه به زبان Visual C++ 6.0 نوشته شده است. کاربری که از این نرم افزار استفاده می کند تسلط نسبتاً کاملی بر روی انجام آزمایش دارد. از جمله توانایی های کاربر در کنترل آزمایش، فرمان شروع-پایان ربات سیار، مکان های توقف ربات سیار و زاویه های درخواستی جهت اندازه گیری شدت نور می باشد. همچنین کاربر به مرور داده های حاصل از اندازه گیری و پیام های خطا و پیام های اضطراری ارسال شده را مشاهده می کند. اطلاعات گرفته شده از ربات سیار ابتدا دسته بندی شده و سپس از اطلاعات موجود استفاده می شود و اطلاعات جدید که شامل Lomen در نقطه معین است، استخراج می شود.

در پایان آزمایش، داده های بدست آمده در فایلی ذخیره می شود که در این فایل دنباله ای از زاویه های خاص لامپ، فاصله سنسور از محور عمودی چراغ و شدت روشنایی که در یک لحظه خاص توسط سنسور ثبت شده وجود دارد. در واقع این فایل خروجی نهایی برنامه می باشد. این فایل به یک نرم افزار که توانایی محاسبه نمودار پخش نور چراغ را داراست، داده می شود. این برنامه نمودار نهایی را به دست

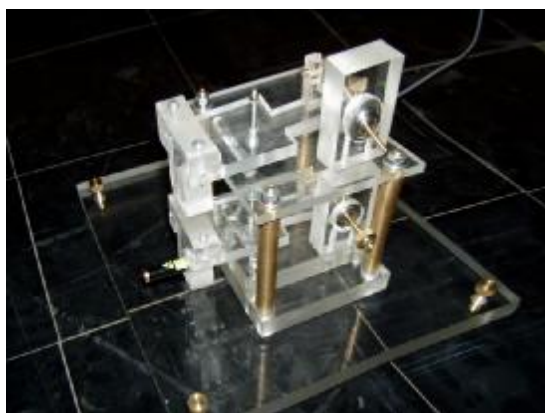
حالی که محور دوران میله قائم محور مختصات Z و صفحه کف آزمایشگاه یا سطحی موازی آن $z=0$ در این محور مختصات است. میله قائم توسط یک بلبرینگ در بالا و یک رولر برینگ مخروطی در پایین به دو قاب یا ورقه آلومینیومی وصل است. ورقه آلومینیومی پایین، نگهدارنده دستگاه گردان است و بر روی پایه ها به صورت قابل تنظیم نصب شده است، به نحوی که محور میله قائم و همراه آن پرتو نور لیزر به صورت قائم تنظیم می شود. ارتفاع پایه ها نیز قابل تغییر است. در بالای این محور یک انکودر (Encoder) زاویه ای با دقت 0/1 درجه، برای اندازه گیری نسبی زاویه دوران میله قرار دارد. موقعیت زاویه ای میله قائم با کمک یک میکروکنترلر از روی پالس های دریافتی از انکودر زاویه ای مشخص می شود و با کمک یک فرستنده رادیویی به کامپیوتر صنعتی نصب شده بر روی ربات سیار ارسال می گردد. مبنای زاویه، یعنی زاویه $C = 0$ توسط پرتوهای لیزری ارسال شده از سه منبع نور لیزری تنظیم می شود. در صورتی که پرتو دو لیزر نقطه ای در صفحه لیزر خطی قرار گیرد، زاویه C برابر صفر است و در میکروکنترلر برابر با صفر قرار داده می شود. میله قائم از داخل سوراخ یک جعبه دنده حلزونی (Helix Gear Box) با نسبت تبدیل 1 به 60 عبور کرده و با محور این جعبه دنده درگیر است. محور دیگر این جعبه دنده به یک موتور الکتریکی جریان دائم وصل می باشد. این موتور نیز دارای یک جعبه دنده است و با سرعت ثابت می چرخد. در نتیجه، میله قائم نیز با سرعت ثابت می چرخد. سرعت موتور در صورت نیاز توسط ولتاژ تغذیه قابل تنظیم است. بر روی میله قائم چهار حلقه لغزان (Slip Rings) نصب است که دو حلقه برای انتقال جریان به لامپ و دو حلقه برای اندازه گیری ولتاژ دو سر لامپ در نظر گرفته شده است (شکل 3). جریان از طریق یک دو شاخه ثابت به دو ذغال (جاروبک) و در نتیجه دو حلقه لغزان وصل می شود و ولتاژ از طریق دو ذغال و دو حلقه لغزان به یک پریز ثابت منتقل می شود. برای عبور دادن کابل رابط بین لامپ و حلقه های لغزان، در محل قرار گرفتن رولربرینگ مخروطی، از سوراخ وسط میله گردان استفاده می شود.

است تا بتوان سطح بالای آن را به صورت افقی در محل معین و در ارتفاع معین قرار داد.



شکل 4: دستگاه تنظیم کننده منشور

قسمت سوم- از قسمت‌های مشخص کننده محور مختصات، یکی دیود لیزری است که در انتهای سالن آزمایشگاه قرار دارد (شکل 5). این منبع پرتو لیزری نیز می‌تواند تنظیم شود. از جمله ارتفاع پرتو لیزری قابل تنظیم است تا این پرتو لیزری هم ارتفاع منشور قرار گیرد. جهت پرتو لیزری نیز در جهت افقی قابل تنظیم است. این پرتو به سطح قائم منشور تابانده می‌شود. در بالای این دیود لیزری، دیود لیزری دیگری قرار دارد که آن نیز مستقل از دیود لیزری قبلی قابل تنظیم می‌باشد. با تنظیم دیود لیزری دوم پرتو آن موازی با پرتو لیزر پائینی تنظیم می‌شود. هدف از این لیزر ارسال نور به سنسورهای حساس بر روی ربات سیار است تا ربات سیار این پرتو لیزری را دنبال کند. از آنجا که دو پرتو لیزری موازی هستند، ربات در عمل هر دو پرتو را دنبال می‌نماید. برای این دو پرتو زاویه برابر صفر است.



شکل 5: دستگاه نگهدارنده دو لیزر افقی

می‌دهد. برنامه‌های موجود مانند Relux مستقیماً از این داده‌ها استفاده و علاوه بر رسم منحنی پخش نور، طراحی روشنایی را نیز انجام می‌دهند.

6- تعیین محور مختصات آزمایشگاه توسط پرتوهای لیزری

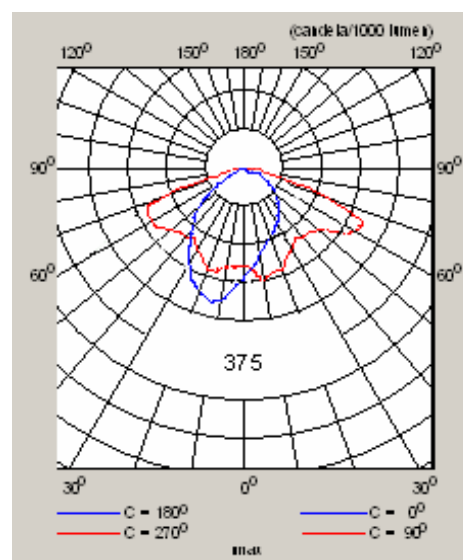
اندازه‌گیری دقیق پخش نور منابع روشنایی، زمانی ممکن است که محور مختصات کاملاً دقیق تعریف شود. بدون امکان تعیین دقیق محور مختصات، نتیجه اندازه‌گیری برای یک چراغ در موارد مختلف متفاوت می‌باشد. برای تعیین دقیق محور مختصات از سه پرتو لیزری و یک منشور 45 درجه استفاده می‌شود. مشخص کننده محور مختصات آزمایشگاه دارای سه قسمت است.

قسمت اول- شامل دو منبع پرتو لیزری است که بر روی ربات‌گردان نصب هستند. توضیح این دو منبع لیزری در شرح ربات‌گردان آورده شد. یک منبع لیزری محور Z را تشکیل می‌دهد. تقاطع این لیزر بر روی کف آزمایشگاه یک نقطه است. منبع دیگر (Line Generator) یک صفحه یا پرده روشن تولید می‌کند که تقاطع این پرتو بر روی کف آزمایشگاه یک خط است. با چرخش میله قائم، محور قائم Z تغییر نمی‌کند و نقطه روشن ثابت می‌ماند. صفحه C حول محور Z می‌چرخد. خط روشن لیزر خطی البته شامل نقطه روشن لیزر نقطه‌ای می‌باشد. سطح کف آزمایشگاه صفحه افقی $z = \text{constant}$ را تشکیل می‌دهد. صفحه افقی $z = 0$ در ارتفاع معین (برابر ارتفاع سطح سنسور نوری از کف آزمایشگاه) از این سطح قرار دارد.

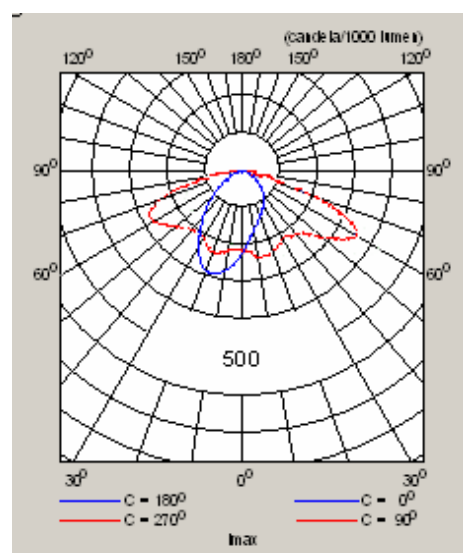
قسمت دوم- یکی از قسمت‌های مشخص کننده محور مختصات یک منشور است که بر روی پایه‌ای نصب شده است (شکل 4). این پایه به نحوی ساخته شده است که منشور می‌تواند در دو جهت افقی (جلو و عقب، چپ و راست) حرکت کند. با این دو حرکت منشور می‌تواند کاملاً دقیق زیر محور Z قرار گیرد. این منشور می‌تواند در جهت Z نیز جابجا شود. همچنین امکان تغییر شیب سطح بالای منشور وجود دارد تا این سطح به صورت افقی قرار گیرد. در ضمن امکان چرخاندن منشور حول محور نیز وجود دارد. یعنی منشور دارای آزادی کامل

7- نتایج آزمایش

در شکل 6، منحنی پخش نور یک چراغ 400 واتی ساخت شرکت فجر، که تماماً توسط دستگاه نورسنج زاویه ای مورد بحث در این مقاله بدست آمده است، ملاحظه می شود. منحنی پخش نور همین چراغ، بدست آمده توسط دستگاه ساخت شرکت آلمانی نیز در شکل 7 مشاهده می شود که نتایج کاملاً مشابه می باشد. این دو منحنی با داده های ورودی از دستگاه های مذکور در برنامه Calculux رسم شده اند.



شکل 6: منحنی پخش نور چراغ 400 وات شرکت فجر اندازه گیری شده توسط دستگاه مورد بحث در مقاله.



شکل 7: منحنی پخش نور چراغ 400 وات شرکت فجر اندازه گیری شده توسط دستگاه نورسنج زاویه ای ساخت آلمان.

8- نتیجه گیری

در این مقاله نحوه عملکرد دستگاه نورسنج زاویه ای، طراحی و ساخته شده در آزمایشگاه روشنایی دانشکده فنی، شرح داده شد. این دستگاه علاوه بر برآورده ساختن استانداردهای بین المللی و نتایج دقیق نسبت به موارد مشابه خارجی، از نظر اقتصادی نیز به صرفه می باشد.

سپاسگزاری: از اساتید و همکاران دانشکده فنی دانشگاه تهران که ما را در طراحی و ساخت دستگاه فتوگونیمتر از نظر علمی و فنی کمک کرده اند، سرپرست آزمایشگاه روشنایی دکتر محسنی، همچنین از مقام ریاست دانشگاه تهران، ریاست دانشکده فنی، ریاست دانشکده برق و کامپیوتر جناب آقای دکتر جبه دار مارالانی، بدلیل کمک مادی و معنوی کمال تشکر را داریم.

از جناب آقای مهندس پرویز فتاح وزیر محترم نیرو، جناب آقای دکتر احمدیان، جناب آقای مهندس حجت، جناب آقای مهندس مسعودی، جناب آقای مهندس جنتیان، جناب آقای مهندس حائری و جناب آقای مهندس احمدی یزدی جناب آقای مهندس رجبی بدلیل بازدید از فعالیت ما در حین ساخت و تشویق مادی و معنوی تشکر می کنیم.

مراجع:

- [1] CIE 121 1996 The Photometry and Goniophotometry of Luminaires.
- [2]UDC:532,241,427,628,94,681,785,4,81,786
- [3] DIN EN 13032-1, Measurement and Presentation of Photometric data of lamps, October 2004.
- [4]International Commission on Illumination CIE 121, photometry and Goniophotometry of Luminaires.