

روش هایی برای بهینه سازی مصرف انرژی و افزایش راندمان در روشنایی معابر

محمد علی عباسی ورده

محمد فرید حنیفی

حمید مصلحی

شرکت مهندسی مشاور روشنایی نورگستر
ایران

واژه های کلیدی: بهینه سازی، روشنایی معابر، چراغ خیابانی

خلاصه مقاله

و تهیه و تدوین استانداردهای مرتبط با سیستم های روشنایی و همچنین تجربیات بدست آمده طی قراردادهای مختلف یکی از شرکت های مهندسی مشاور روشنایی مورد تأیید سازمان توانیر، نقاط ضعف سیستم های روشنایی در نقاط مختلف کشور را از نظر رعایت استاندارد روشنایی، مصرف انرژی، کیفیت تجهیزات روشنایی مشخص نموده و امکان ارائه روش های علمی و عملی را در جهت دستیابی به صرفه جویی قابل ملاحظه ای در مصرف انرژی و هزینه های سیستم های روشنایی فراهم ساخته است.

در این مقاله با بررسی بهینه سازی سیستم های روشنایی جدیدالاحداث و قدیمی معابر سعی شده است راه کارهای عملی و اجرایی جهت نیل به اهداف استانداردهای بین المللی روشنایی ارائه و دستاوردهای ناشی از این حرکت ملی برای دست اندرکاران صنعت برق شفاف و نمایان گردد.

استفاده مطلوب از انرژی برق و بهینه کردن مصرف آن، هم به دلیل بالا بودن هزینه تولید و هم به دلیل محدودیت منابع و امکانات تولید از مسایل مهم انرژی در کشور است. استفاده بهینه از انرژی الکتریکی یعنی استفاده مؤثرتر از منابع محدود تولید و حصول بیشترین بازده و مصرف منطقی برق، به فراهم نمودن امکانات و اجرای مجموعه ای از اقدامات و سیاست ها نیازمند است.

روشنایی معابر با توجه به هزینه های بسیار بالای اجرای طرح های روشنایی به همراه هزینه های مصرف انرژی (۴۶۷۱ گیگا وات ساعت معادل ۴/۴٪ از کل شبکه) [۹] و تعمیر و نگهداری این سیستم ها، درصد قابل توجهی از هزینه های شرکت های برق منطقه ای را شامل می شود. بنابراین براساس مطالعات کاربردی مجلات، کتب و مقالات مختلف روشنایی

مقدمه

شتاب‌گیری توسعه در همه ابعاد و ازدیاد جمعیت موجب تسریع رشد کمی مؤلفه‌های مختلف مصرف انرژی الکتریکی گردیده است. یکی از بخش‌های قابل توجه تقاضای برق از نظر میزان قدرت دریافتی و مصرف انرژی مخصوصاً در ساعات پیک بار، روشنایی و از جمله روشنایی معابر است. بدین ترتیب افزایش بی‌رویه و نامتناسب مصرف روشنایی معابر به همراه سایر بارهای شبکه با توجه به مسئله کمبود ظرفیت‌های تولید و عدم توانایی لازم در تأمین کامل و مستمر تقاضای انرژی الکتریکی به خصوص در طی ساعات پیک بار مشکلات صنعت برق را تشدید می‌کند و بر این اساس بهینه سازی مصرف انرژی در سیستم‌های روشنایی معابر، می‌تواند در کاهش پیک بار و کاهش مصرف انرژی سالیانه مورد توجه قرار گیرد. در سال‌های گذشته با ابلاغ بخشنامه روشنایی توسط وزارت نیرو نسبت به جلوگیری از افزایش بی‌رویه مصرف انرژی و دست بالا بودن طرح‌های روشنایی اقدام شده است که با توجه به عدم نظارت کافی و مشکلات عدیده موجود در سیستم‌های روشنایی معابر این اقدام اثر قابل ملاحظه‌ای نداشته است. لذا توجه دقیق به کلیه مسایل و مشکلات موجود در روشنایی معابر و همچنین در صنعت روشنایی کشور و ارائه راه‌کارهای کوتاه مدت و میان مدت جهت دستیابی به کیفیت قابل قبول در روشنایی و تجهیزات مرتبط و رعایت استاندارد در کنار حمایت‌های منطقی از صنعت داخلی از اهداف ارائه این مقاله بوده است.

در این مقاله بهینه سازی از دو دیدگاه کلی مطرح می‌باشد:
۱- بهینه کردن طراحی‌های روشنایی جدیدالاحداث،
۲- بهینه سازی طرح‌های روشنایی قدیمی.
در ادامه هر یک از دو دیدگاه بالا به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱. بهینه کردن طراحی‌های روشنایی جدیدالاحداث

به طور مشخص می‌توان طراحی را مهمترین و اصولی‌ترین بخش در پروژه‌های مهندسی عنوان نمود، به طوری که در یک پروژه هر اندازه اصول فنی و مهندسی در بخش طراحی بیشتر

در نظر گرفته شود، در مراحل اجرایی طرح با روند مناسبتری به بهره‌برداری می‌رسد و در نهایت دستیابی به اهداف آن پروژه با دقت و کیفیت قابل قبول امکان پذیر خواهد بود.

در کشور ما سیستم‌های روشنایی به دلایل مندرج در ذیل از نظر فنی و کیفی از وضعیت قابل قبول برخوردار نیستند:

- عدم رعایت اصول طراحی روشنایی توسط بسیاری از دستگاه‌های طراح و مجری سیستم‌های روشنایی،
- تفاوت‌های عمده بین طراحی و اجرا به خصوص در هنگام تهیه چراغ به طوری که در هنگام طراحی، یک چراغ مناسب انتخاب می‌شود ولی در هنگام تهیه، یک چراغ ارزان و معمولاً نامناسب برای طرح خریداری می‌شود،
- اجرای بخش عظیمی از طرح‌های روشنایی توسط ارگان‌هایی مانند وزارت راه و ترابری، شهرداری‌ها و . . . که در اکثر موارد این طرح‌ها به دلیل عدم نظر گرفتن اصول طراحی، مدیریت مصرف و به خصوص استانداردهای روشنایی مصوب، دارای روشنایی فراتر از حد مجاز و با کیفیت نامطلوب و همچنین کیفیت نامناسب تجهیزات می‌باشد،
- عدم وجود یک آزمایشگاه جامع و معتبر جهت سنجش روشنایی، تعیین جداول توزیع نور چراغ، اندازه‌گیری بهره نوری چراغ، انجام آزمون‌های درجه حفاظت IP، آزمون‌های مکانیکی و الکتریکی چراغ و تجهیزات جانبی و ...
- عدم وجود فرهنگ استفاده از یک سیستم بازرسی روشنایی مستمر که عهده‌دار نظارت بر اجرای استانداردهای روشنایی وزارت نیرو در نقاط مختلف کشور باشد.

نکات مذکور از عمده‌ترین مشکلات صنعت روشنایی کشور می‌باشد که در صورت عدم توجه به آنها، افزایش بی‌رویه مصرف انرژی الکتریکی و نصب سیستم‌های روشنایی با کیفیت نوری و مکانیکی نامناسب اجتناب ناپذیر خواهد بود.

در خصوص طراحی روشنایی و روش‌های بهینه کردن طرح‌ها راه حل‌های ذیل مورد پیشنهاد است.

۱-۱- دستیابی به داده‌های نوری واقعی چراغ

در طراحی روشنایی به جز مشخصه‌های فیزیکی معبر، مهمترین مشخصه تأثیر گذار در نتایج، انتخاب نوع چراغ در نرم افزارهای روشنایی می‌باشد. روال معمول جهت دستیابی به این اطلاعات به شرح ذیل می‌باشد:

الف - برخی شرکت‌های سازنده چراغ با استفاده از کاتالوگ‌ها و داده‌های نوری موجود در نرم افزار نمونه چراغ خارجی مشابه، نسبت به ارائه آن مشخصات جهت چراغ خود اقدام می‌نمایند که این عمل با استفاده از نرم افزارهای قدیمی و غیر معتبر معمول در کشور براحتی امکان‌پذیر می‌باشد. در نتیجه در انجام محاسبات نتایج مناسب حاصل می‌شود ولی در عمل مغایرت‌های عمده‌ای بین مشخصه‌های نوری اندازه‌گیری شده با مقادیر محاسبات حاصل خواهد شد.

ب - برخی شرکت‌های سازنده چراغ با ارسال نمونه چراغ خارجی مشابه، به یک آزمایشگاه و حصول نتایج مثبت و دریافت گواهی آزمون، اطلاعات آن چراغ خارجی را به عنوان چراغ تولیدی خود ارائه نموده و با توجه به تفاوت‌های عمده در کیفیت حباب، رفلکتور و تجهیزات جانبی تأثیر گذار مانند بالاست، نتایج بدست آمده بین طراحی و اجرا دارای تفاوت‌های عمده می‌باشند.

ج - برخی شرکت‌های سازنده چراغ با فراهم آوردن تجهیزات اولیه جهت نورسنجی چراغ نسبت به تهیه داده‌های نوری چراغ و ثبت در نرم افزار اقدام می‌نمایند. این امر به جهت اهمیت بخشی به کیفیت منحنی‌های توزیع نور قابل توجه می‌باشد، ولی نکته مهم کالیبره نبودن دستگاه‌های اندازه‌گیری و معتبر شناخته نشدن آنها توسط مراجعی مانند مؤسسه استاندارد ایران و یا آزمایشگاه‌های معتبر بین‌المللی است. لذا این تجهیزات صرفاً از دیدگاه کنترل روند تولید و یا بخش‌های تحقیق و توسعه حائز اهمیت است و با توجه به عدم دقت و کیفیت قابل قبول نمی‌تواند ملاک و مرجع برای انجام محاسبات روشنایی قرار گیرد.

برای دستیابی به داده‌های واقعی نوری چراغ راه حل اصولی موجود، الزام در ارائه گواهی آزمون نوعی توسط سازنده چراغ از یکی از آزمایشگاه‌های معتبر زیر مجموعه

IEC یا مؤسسه استاندارد ایران و تکرار آن پس از مدت انقضای مدت اعتبار به منظور حصول اطمینان از عدم تغییرات مؤثر در محاسبات می‌باشد.

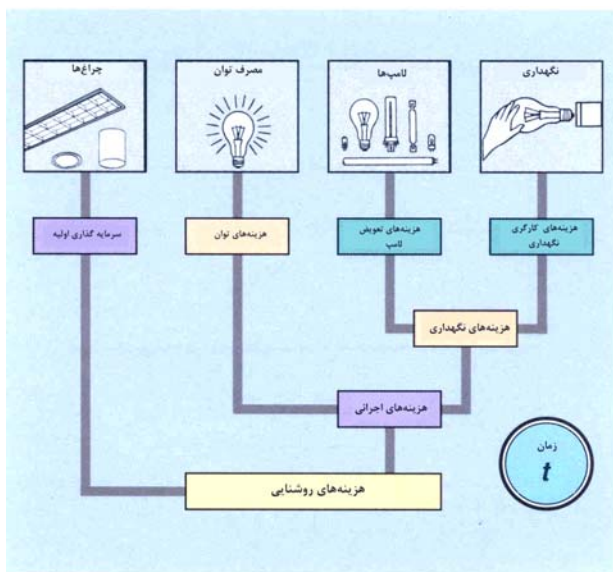
۲-۱- انتخاب چراغ با درجه حفاظت IP مناسب و

حصول اطمینان از صحت ادعای سازنده [۸]

درجه حفاظت IP در چراغ‌ها به علت تأثیر آن در ضریب نگهداری از اهمیت ویژه‌ای در طراحی برخوردار می‌باشد. هر چقدر درجه حفاظت چراغ بالاتر باشد کاهش نوری خروجی چراغ در دوره کارکردگی کمتر و در نتیجه سیستم روشنایی از نظر مصرف توان نیز بهینه خواهد بود. از سوی دیگر در صورتی که سازنده چراغ درجه حفاظت آن را بالا اعلام نماید و مقدار واقعی پایین‌تر باشد، افت قابل ملاحظه کیفیت روشنایی و افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و نظافت چراغ حاصل خواهد شد. لذا آزمون درجه حفاظت IP نیز باید اجباری و الزامی اعلام شده و سازندگان چراغ نسبت به ارائه گزارش‌های آزمون از یک مؤسسه معتبر اقدام نمایند. برای مشخص شدن اهمیت درجه حفاظت IP توجه به مثال ذیل مفید به نظر می‌رسد:

فرض می‌شود برای تأمین روشنایی یک مسیر ۱۰ کیلومتری، یک سیستم روشنایی با لامپ‌های بخار سدیم ۴۰۰ وات پیشنهاد شده است. این لامپ‌ها در چراغ‌هایی بکار گرفته شده است که طبق ادعای سازنده دارای درجه حفاظت IP54 می‌باشند. ولی در انجام آزمایشات مربوطه، درجه حفاظت چراغ IP42 تعیین شده است. این مسئله باعث می‌شود که عمر عملکردی لامپ در این چراغ، یک‌سوم عمر مفید عملکردی در چراغ با درجه حفاظت IP54 باشد ضمن اینکه زمان لازم برای تمیز کردن چراغ‌ها به نصف زمان معرفی شده از طرف سازنده کاهش یافته است. پایین بودن درجه حفاظت چراغ باعث نفوذ ذرات بسیار ریز قطرات آب به داخل چراغ روشنایی بخصوص در قسمت منبع نور و نشست آن بر روی سطح داخلی حباب و رفلکتور شده و به شدت میزان بهره‌نوری چراغ را کم کرده و سبب خوردگی در سطح رفلکتورهای نامرغوب می‌شود. وجود رطوبت در این بخش

عمر چراغ روشنایی بوجود می‌آورد. این امر باعث می‌شود که چراغ در مدت زمان کوتاه‌تری نیاز به شستشو و تمیزکردن داشته باشد که در مثال ذکر شده باعث دو برابر شدن هزینه تمیزکردن چراغ‌ها شده است. محاسبات بر اساس روش شکل ۱ و مشخصه‌های تعریف شده در جدول زیر انجام شده است [۱] و محاسبات نشان می‌دهد همین اختلاف بظاهر ناچیز بین طراحی و کارایی عملی، هزینه‌های کل سالانه را در حد قابل توجهی به میزان ۳۷۵،۰۰۰ ریال افزایش داده است.



که مطمئناً ناشی از نامناسب بودن درجه حفاظت چراغ در عمل می‌باشد، به همراه گرد و غبار نفوذی به فضای داخل چراغ، موجب ایجاد پوششی از گل در حباب، رفلکتور و سایر اجزاء چراغ می‌شود که علاوه بر کاهش ضریب بهره‌نوری چراغ، سبب بروز خوردگی و آلودگی در کلیه اجزاء چراغ و در نهایت باعث فرسایش زودرس آن خواهد شد. نشست این رسوبات در داخل چراغ و سرد و گرم شدن تناوبی چراغ باعث می‌گردد که لایه نسبتاً محکمی روی سطح لامپ پدید آید که تأثیر منفی مضاعفی در بازدهی نور و طول

$$K = n_1 \left[\frac{k_1}{100} \cdot K_1 + \frac{k_2}{100} \cdot K_2 \right] + n_1 \left[t_B \cdot a \cdot P \right] + n_1 \left[\frac{t_B}{t_L} (K_3 + K_4) + \frac{R}{n_2} \right]$$

هزینه‌های کلی
هزینه‌های انرژی
تعویض لامپ
نگهداری سیستم

این مثال نشان می‌دهد در صورت انتخاب درجه حفاظت IP مناسب هزینه‌های تعمیر و نگهداری به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

۳-۱ محدود کردن حداقل میزان بهره نوری چراغ^I

درصد بهره نوری در چراغ‌ها به معنای مقدار شار نوری خروجی از چراغ نسبت به شار نوری تولید شده توسط لامپ می‌باشد که هر چقدر این مقدار به ۱۰۰٪ نزدیک‌تر باشد، نشان دهنده کیفیت مناسب بخش اپتیک چراغ مانند رفلکتور و حباب و نوع طراحی این بخش در چراغ خواهد بود. میزان بهره نوری چراغ‌های نامرغوب گاهی به کمتر از ۵۰٪ می‌رسد و این موضوع به این معنی است که نیمی از توان مصرفی

K	هزینه های کل سالانه
K ₁	هزینه های یک چراغ
k ₁	نرخ بهره و استهلاک به درصد برای هزینه کلی K ₁
K ₂	هزینه های نصب یک چراغ و لوازم مربوطه
k ₂	نرخ بهره و استهلاک به درصد برای هزینه کلی K ₂
R	هزینه های سالانه تمیز کردن یک چراغ
n ₁	تعداد کل لامپ ها
n ₂	تعداد لامپ ها در یک چراغ
K ₃	قیمت یک لامپ
K ₄	هزینه های تعویض یک لامپ
P	توان مصرفی یک لامپ با بالاست بر حسب kW
a	بهای هر کیلووات ساعت انرژی
t _L	عمر مفید نامی لامپ بر حسب ساعت
t _B	ساعات کارکرد سالانه

1- Luminaire maintenance factor.

شدت روشنایی تنها در معابر محلی مطرح می‌باشد و مهمترین پارامتر نوری در معابر غیرمحلی درخشندگی (کاندلا بر متر مربع) است و اندازه‌گیری‌ها نیز باید با دستگاه مربوط به سنجش درخشندگی انجام پذیرد [۲]، [۳] و [۴]. همچنین شناخت دقیق معابر بر اساس استاندارد در تعیین حدود مورد نیاز برای روشنایی معابر بسیار تأثیر گذار است. به طور مثال یک آزاد راه بین شهری بر اساس استاندارد دارای حداقل مقادیر درخشندگی نسبت به سایر معابر می‌باشد (بیش از ۰/۵۵ کاندلا بر متر مربع)، در صورتی که اگر از مقادیر راه شریانی درجه ۱ بزرگراه تجاری استفاده شود این مقادیر به حدود ۰/۹-۱/۱۵ کاندلا بر متر مربع افزایش پیدا می‌کند. بنابراین در صورت عدم دقت در انتخاب نوع معبر و مقادیر مربوطه در استاندارد ممکن است میزان روشنایی و مصرف انرژی به دو برابر مقدار مورد نیاز افزایش می‌یابد که این موضوع به معنای افزایش هزینه‌های اجرا، بهره برداری و انرژی خواهد بود [۶].

۱-۵ لزوم توجه به دیدگاه مدیریت مصرف انرژی و انجام محاسبات هزینه‌های انرژی در کنار سایر هزینه‌ها
 در محاسبات هزینه‌های یک طرح روشنایی به طور معمول فقط هزینه سرمایه‌گذاری اولیه لحاظ می‌شود و حال آنکه این هزینه‌ها تنها هزینه‌های سیستم‌های روشنایی نیستند [۱۱].

در محاسبات هزینه طرح می‌باید هزینه‌های مصرف انرژی و تعمیر و نگهداری در یک بازه ۳۰ ساله عمر سیستم روشنایی نیز در کنار هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه لحاظ شوند و پس از آن طرح‌های بهینه انتخاب گردند که در این صورت استفاده از چراغ با لامپ‌های با توان پایین‌تر و بازده نوری بالاتر مورد توجه قرار خواهد گرفت و این مهم بیشترین تأثیر را در بهینه شدن مصرف انرژی خواهد داشت.

۱-۶- استفاده از شیوه مناقصات خرید روشنایی به جای خرید چراغ و پایه و پیرو آن انجام طراحی پس از تعیین نوع چراغ

یکی از مشکلات مهم طراحان و مجریان یک سیستم روشنایی معبر، مغایرت بین مشخصات نوری چراغی که

جهت تأمین روشنایی در این بخش از چراغ به هدر می‌رود. در چراغ‌های مرغوب میزان بهره نوری چراغ بالاتر از ۰/۸۰٪ است.

در این مشخصه توجه به دو نکته حائز اهمیت است، یکی تعیین حداقل میزان بهره نوری چراغ و دیگری تعریف کیفی و دقیق تجهیزات بخش اپتیک به منظور ماندگاری نسبی ضریب بهره نوری چراغ. چرا که به مرور زمان در صورت نامناسب بودن کیفیت رفلکتور چراغ، ضریب انعکاس رفلکتور به دلیل خوردگی، تغییر شکل و . . . کاهش می‌یابد. همچنین در صورتی که حباب از نوع پلی کربنات باشد و دارای ترکیبات مقاوم در برابر UV نباشد به تدریج شفافیت خود را از دست می‌دهد و ضریب گذر دهی نور آن کاهش می‌یابد.

از جمله موارد دیگری که در بالا رفتن بهره نوری چراغ مؤثر است استفاده از حباب‌های صاف به جای مشجر می‌باشد که این امر علاوه بر افزایش بهره نوری چراغ، به جهت نداشتن حفره‌ها و برآمدگی‌ها (مانند حباب مشجر)، چربی و گرد و غبار را جذب نکرده و در طول زمان بهره‌برداری نیز موجب ثابت ماندن نسبی بهره نوری چراغ می‌شود. تمامی موارد مذکور منجر به کاهش مصرف توان و به هدر نرفتن انرژی و نور حاصله خواهد شد [۷].

۱-۴ توجه به مسئله درخشندگی^۱ و شناخت دقیق سایر مشخصه‌های طراحی مانند نوع معبر، یکنواختی‌ها^۲ و TI^3 %

با وجود توصیه‌های استانداردهای روشنایی و ابلاغ بخشنامه‌ها و دستورالعمل‌ها توسط نهادهای مرتبط با روشنایی، معمولاً مشخصه‌های مهم نوری در معابر شریانی درجه ۱ و ۲ یعنی درخشندگی، یکنواختی‌ها و آستانه افزایش TI % مورد توجه قرار نمی‌گیرد و در برخی طراحی‌ها، مناقصات و اندازه‌گیری‌ها کماکان از مشخصه شدت روشنایی^۴ (لوکس) استفاده می‌شود. این در حالی است که

1- Luminance.

2- Overall uniformity (Uo), Longitudinal uniformity (Ul).

3- Threshold increment.

4- Illuminance.

نگهداری آن در اکثر موارد به عهده شرکت‌های برق و توزیع می‌باشد. در حال حاضر تنها مرجع رسمی موجود در خصوص روشنایی معابر نشریه ۱۹۵ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی می‌باشد که بر اساس بند ۱ ماده ۷ فصل سوم آئین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، رعایت کامل مفاد آن از طرف دستگاه‌های اجرایی و مهندسان مشاور و پیمانکاران و عوامل دیگر ضروری است. رعایت مقادیر مشخصه‌های نوری این نشریه در بخشنامه شماره ۱۰۰/۳۰۱۹۹۸۷ مورخ ۸۱/۴/۸ وزارت نیرو اجباری شده است. ولی در سایر دستگاه‌های اجرایی این مشخصه‌ها در نظر گرفته نمی‌شود به طور مثال در یک آزاد راه بر اساس نشریه ۱۹۵ مقدار حداقل درخشندگی متوسط ۰/۵۵ (کاندلا بر متر مربع) می‌باشد در حالی که در برخی موارد موجود، این مقدار تا چند برابر مقدار مذکور در نظر گرفته شده است که به معنای افزایش هزینه اجرا، مصرف توان و . . . می‌باشد. بنابراین لزوم هماهنگی بین ارگان‌های اجرایی و پیش‌بینی تمهیداتی جهت الزام دستگاه‌ها به رعایت استاندارد و در نتیجه بهینه شدن طراحی‌های روشنایی ضروری به نظر می‌رسد [۶].

۲- بهینه سازی سیستم‌های روشنایی قدیمی

بهینه سازی سیستم‌های روشنایی قدیمی به این علت که بخش عمده روشنایی معابر در سالهای گذشته بدون در نظر گرفتن برخی نکات فنی، مهندسی و اقتصادی احداث شده است دارای اهمیت می‌باشد. همچنین بخشی از سیستم‌های روشنایی قدیمی به دلیل فرسودگی و عدم کیفیت تجهیزات نیاز به اصلاح و بهینه‌سازی دارد. انجام بررسی‌ها و محاسبات مختلف نشان می‌دهد صرف هزینه‌هایی جهت بهینه‌سازی سیستم‌های روشنایی قدیمی با توجه به کاهش مصرف انرژی و لحاظ شدن کلیه ملاحظات استاندارد به مراتب باصرفه‌تر از نگهداری سیستم‌های قدیمی است و در بیشتر موارد هزینه‌های بهینه سازی پس از چند سال با صرفه جویی‌های مصرف انرژی مستهلک می‌شود. لذا توجه به این موضوع و شناخت روش‌های مختلف بهینه سازی روشنایی معابر قدیمی می‌تواند نقش مؤثری در کاهش هزینه‌های سیستم‌های

طراحی روشنایی با آن انجام شده و چراغ مورد استفاده در طرح اجرایی است. به طور مثال در یک طرح ممکن است طراحی با یک چراغ ۲۵۰ وات بخار سدیم با منحنی پخش نور Non cut off انجام شود ولی به دلیل صرفه جویی در هزینه‌های خرید، یک چراغ Cut off در سیستم نصب شود. نتیجه حاصل اختلاف عمده کیفیت روشنایی واقعی معبر پس از اندازه‌گیری با مقادیر محاسبه شده در طراحی خواهد بود. این موضوع موجب می‌شود که طراحان پیش‌بینی‌های لازم را در طرح لحاظ نمایند و طراحی را دست بالا در نظر بگیرند. در نتیجه طرح بهینه نخواهد شد یا طرح بهینه با اجرا تفاوت خواهد داشت [۱۱].

امروزه جهت تأمین روشنایی با کیفیت روشنایی قابل قبول و هزینه‌های حداقل، روش‌های جدیدی وجود دارد که مناسبترین آنها، مناقصات خرید روشنایی می‌باشد. در این روش میزان روشنایی معبر، مانند حداقل درخشندگی متوسط، یکنواختی‌ها و حداکثر TI % مورد نظر در اختیار ارائه دهنده پیشنهاد قرار می‌گیرد. پیشنهاد دهندگان طرح‌های مختلفی را با انواع چراغ‌ها جهت تأمین روشنایی مورد نظر بررسی می‌کنند و در نهایت طرح بهینه را ضمن رعایت استاندارد روشنایی با استفاده از چراغ‌های با منحنی توزیع نور مناسب، بازده نوری قابل قبول و همچنین فاصله بیشتر پایه‌ها انتخاب می‌کنند. نکته قابل توجه در این روش لزوم اندازه‌گیری مشخصه‌های روشنایی به منظور حصول اطمینان از صحت محاسبات روشنایی می‌باشد زیرا مناقصه بر اساس محاسبات روشنایی انجام شده و در صورت وجود خطا در داده‌های نوری چراغ و . . . این مهم باید با اندازه‌گیری روشنایی بررسی و اطمینان لازم حاصل شود. بر اساس تجربیات موجود، استفاده از این روش تأثیر بسزایی در کاهش توان مصرفی کل سیستم روشنایی داشته است و سیستم‌های روشنایی از نظر هزینه نیز بهینه می‌باشند [۷].

۱-۷- تعیین یک استاندارد و دستورالعمل مشترک

بین کلیه دستگاه‌های مجری سیستم‌های روشنایی معابر امروزه در کشور ارگان‌های مختلفی مانند شرکت‌های برق، ادارات راه و ترابری، شهرداری‌ها و . . . مجری سیستم‌های روشنایی هستند. این در حالی است که بهره‌برداری و تعمیر و

فرض می‌شود برای تأمین روشنایی یک مسیر ۱۰ کیلومتری از یک سیستم روشنایی با لامپ‌های بخار جیوه ۸۰ وات در چراغ‌های قارچی با شیشه شیری رنگ با منحنی پخش نور نامناسب و بهره نوری پایین استفاده شده است و در بهینه سازی این سیستم، لامپ‌های فلورسنت کم مصرف 2×18 وات در چراغ‌های با پذیرش بازو بصورت عمودی و با طراحی اپتیکی بهینه بکار رفته است. با فرض یکسان بودن تمام هزینه‌های مربوط به چراغ و نصب لوازم مربوطه و هزینه‌های تمیزکردن چراغ، انجام محاسبات اقتصادی بر اساس روش ذکر شده در بند ۱-۲ نشان می‌دهد که سیستم بهینه سازی شده به خاطر بهره‌گیری از تکنیک‌های پیشرفته در سیستم کنترل اپتیکی و بدست آوردن منحنی‌های پخش نور مناسب، مبلغی معادل ۰۰۰،۷۴۱،۲۵۰ ریال صرفه‌جویی سالانه نسبت به سیستم قبلی دارد. [۸] این مثال برای مسیر کوتاه ۱۰ کیلومتری بررسی شده و مسلماً در عمل که مسیرها خیلی طولانی‌تر هستند و با توجه به مدت زمان کارکرد سیستم روشنایی مبالغ صرفه‌جویی اقتصادی ناشی از کاربرد سیستم با فن‌آوری پیشرفته بسیار بالاتر خواهد بود.

نکته مهم با توجه به موارد مذکور بررسی دقیق سیستم روشنایی موجود و تعیین نوع اصلاحات می‌باشد که برخی از روش‌ها و معیارهای اصلاحی به شرح ذیل عنوان می‌شود:

۲-۱-۲-۱- جایگزینی لامپ

در صورت قابل قبول بودن کیفیت چراغ و پایه می‌توان در چراغ‌های با لامپ ۲۵۰ و ۴۰۰ وات بخار جیوه بدون تغییر در مدار الکتریکی و بالاست، از لامپ‌های بخار سدیم ویژه‌ای که جهت این جایگزینی با توان کمتر طراحی شده‌اند (NAVE210 , NAVE350) استفاده نمود [۵]. لازم به ذکر است که با توجه به بالاتر بودن شار نوری لامپ‌های بخار سدیم جایگزینی، باید دقت شود که مقدار روشنایی در معبر (درخشندگی یا شدت روشنایی متوسط) افزایش بیش از حد مجاز نداشته باشد.

۲-۲-۲- جایگزینی بالاست

در برخی سیستم‌های روشنایی، کیفیت روشنایی، چراغ و سایر تجهیزات به جز بالاست مناسب است و بالاست به دلیل نامرغوب بودن، توان تلفاتی بسیار بالاتر از حدود معمول دارد.

روشنایی داشته باشد. روش‌های ارائه شده در ذیل می‌تواند به عنوان برخی از راه‌های دستیابی به این هدف موردنظر قرار گیرد.

۲-۱-۲- حذف لامپ‌های رشته‌ای و بخار جیوه و جایگزینی با لامپ‌های بخار سدیم

بخش عظیمی از شبکه روشنایی معابر در کشور را معابر محلی و شریانی درجه ۲ فرعی تشکیل می‌دهند که به طور معمول در این معابر از لامپ‌های رشته‌ای و بخار جیوه ۱۲۵ و ۲۵۰ وات استفاده شده است و متأسفانه این روال کماکان ادامه دارد. با توجه به مقدار حداقل شدت روشنایی استاندارد برای راه‌های محلی (۸-۴ لوکس) و یکنواختی‌های آن، استفاده از لامپ‌های رشته‌ای به شیوه معمول حداقل‌های استاندارد را برآورده نمی‌سازد و با توجه به بازده نوری بسیار پایین این نوع لامپ‌ها، حذف لامپ‌های رشته‌ای مورد تأکید می‌باشد. همچنین به دلایل زیست محیطی و آثار سوء لامپ‌های بخار جیوه روی انسان‌ها و محیط زیست و بازده نوری پایین، این نوع لامپ‌ها سالهاست از رده خارج شده‌اند. بهترین جایگزین مناسب برای این نوع لامپ‌ها استفاده از چراغ‌هایی با کیفیت و منحنی پخش نور مناسب با لامپ‌های بخار سدیم پر فشار با توان ۵۰، ۷۰ و ۱۵۰ وات می‌باشد (استفاده از لامپ‌های ۳۵ وات بخار سدیم بدلیل شار نوری و بازده نوری پایین و همچنین حذف از فهرست تولیدات تولیدکنندگان معتبر جهانی لامپ توصیه نمی‌شود) [۵]. لازم به ذکر است در این نوع چراغ‌ها توجه به کیفیت بالاست از نظر توان تلفاتی و جهت تأمین جریان لازم برای لامپ‌ها ضروری است. موارد فوق‌الذکر تأثیر بسزایی در کاهش توان مصرفی شبکه روشنایی و بهینه شدن روشنایی معابر محلی و شریانی درجه ۲ فرعی خواهد داشت.

۲-۲-۲- بهینه سازی سیستم روشنایی پس از بررسی

دقیق وضعیت موجود و تعیین نوع تغییرات و اصلاحات

در ابتدا با ذکر یک مثال اهمیت اصلاح در سیستم روشنایی به منظور بهینه سازی سیستم روشنایی را بررسی می‌کنیم.

از حد سطح روشنایی در اکثر طرح‌های اجرا شده [۱۰]، در صورت نیاز می‌توان نسبت به تعویض و اصلاح سیستم ۴ چراغ به ۲ چراغ، اقدام نمود که این مهم در مصرف انرژی و هزینه‌های تعمیر و نگهداری نقش عمده‌ای خواهد داشت.

۲-۲-۵- تعویض و اصلاح کل سیستم روشنایی

در برخی موارد تجدید کل سیستم روشنایی به علت فرسودگی بیش از حد آن از نظر اقتصادی و فنی مقرون به صرفه می‌باشد. در چنین مواردی قبل از انجام هر گونه اصلاح مطابق یکی از روش‌های مذکور، بایستی بررسی فنی و اقتصادی اصلاحات به طور کامل انجام شده و سپس به اجرای موارد اصلاحی اقدام گردد.

۲-۳- لزوم تعمیر و نگهداری به موقع و صحیح

دوره تعمیر و نگهداری و شستشوی چراغ‌های خیابانی از پارامترهای مهم در تعیین ضریب نگهداری سیستم می‌باشد. به طور مثال بر اساس جدول ۳-۱ نشریه ۱۹۵ برای یک چراغ با درجه حفاظت IP5X در صورتی که در محیط با آلودگی زیاد فاصله تمیز کردن چراغ ۱۲ ماه و ۳۶ ماه انتخاب شود، مقدار ضریب نگهداری بر اساس محاسبات زیر برابر ۰/۸۰۱ و ۰/۶۸۴ بدست می‌آید:

ضریب نگهداری چراغ × ضریب نگهداری شارلامپ = ضریب نگهداری

$$\rightarrow 0/801 = 0/89 \times 0/9 \times 12 \text{ ماه}$$

$$\rightarrow 0/684 = 0/76 \times 0/9 \times 36 \text{ ماه}$$

به این معنی که تفاوت در دوره زمانی تمیز کردن چراغ موجب افزایش ۱۷٪ راندمان نوری سیستم روشنایی می‌شود حال آنکه بر اساس تجربیات بدست آمده در شرکت‌های مختلف طراح روشنایی، با این توجه که چراغ‌ها تا زمانی که معیوب نشوند تمیز نمی‌شوند و در این حالت کثیفی بیش از حد موجب کاهش روشنایی معبر خواهد شد مقدار ضریب نگهداری گاهی تا حد ۰/۵-۰/۶ لحاظ می‌شود.

این موضوع به این معنی است که ۳۰٪ روشنایی معابر و انرژی مصرفی به دلیل عدم شستشو و تعمیر و نگهداری به

به طور مثال در مواردی به خصوص در لامپ‌های توان پایین دیده شده است که به دلایل نامرغوب بودن هسته آهنی و عدم تناسب تعداد دور و نوع سیم پیچ، بالاست نه تنها جریان لازم برای لامپ تأمین نمی‌کند بلکه تقریباً معادل توان لامپ مصرف توان دارد. با شناسایی دقیق این نوع موارد می‌توان با انتخاب بالاست مناسب نسبت به بهینه کردن مصرف توان و بالا بردن راندمان نوری سیستم روشنایی اقدام نمود.

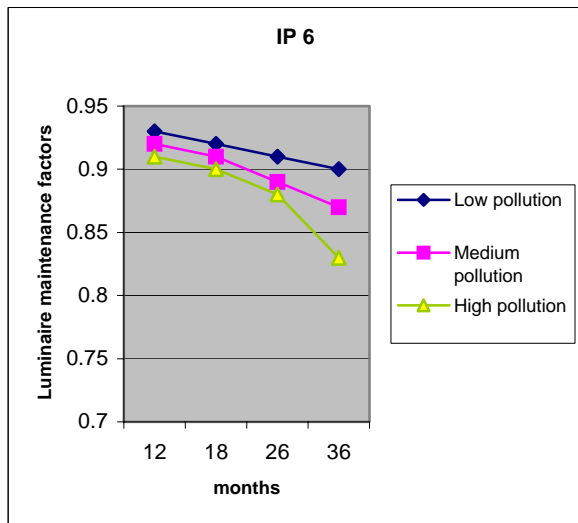
۲-۲-۳- جایگزینی لامپ و بالاست

در صورت مناسب بودن کیفیت چراغ و پایه از نظر مشخصه‌های نوری و مکانیکی و نامناسب بودن روشنایی معبر از نظر مصرف توان (مانند چراغ‌های با لامپ ۴۰۰ وات بخار جیوه) و یا دست بالا بودن مشخصه‌های نوری معبر می‌توان نسبت به تعویض لامپ و بالاست در هر چراغ اقدام نمود (به طور مثال تبدیل لامپ ۴۰۰ وات بخار سدیم به لامپ ۲۵۰ وات بخار سدیم در چراغ). این مهم می‌تواند با پیش‌بینی تمهیداتی با سهولت و سرعت بالا صورت پذیرد. در برخی موارد خاص نیز جایگزینی لامپ و رفلکتور منجر به دستیابی نتایج مثبت در کیفیت نور خروجی چراغ خواهد شد.

۲-۲-۴- جایگزینی چراغ

در صورت نامناسب بودن مشخصات نوری معبر به دلیل کیفیت نامناسب چراغ از نظر توزیع نور، بازده نوری، بخش مکانیکی و در مقابل مناسب بودن کیفیت و مشخصات پایه روشنایی، می‌توان پس از محاسبات روشنایی نسبت به تعویض چراغ اقدام نمود که به این ترتیب علاوه بر دستیابی به روشنایی استاندارد، می‌توان ملاحظات بهینه‌سازی مصرف توان را نیز لحاظ نمود.

همچنین با توجه به منسوخ شدن سیستم‌های ۴ چراغ به دلیل نداشتن توجیه اقتصادی و فنی، مانند عدم توجیه استفاده از ۴ چراغ به جای ۲ چراغ با توان بالاتر، هزینه‌های ۲ برابر شده خرید چراغ و تعمیر نگهداری و همچنین بالا بودن بیش



شکل ۳- نمودار ضریب نگهداری چراغ با IP 6

۴-۲- لزوم توجه به اتصالات سیستم تغذیه جهت کاهش تلفات

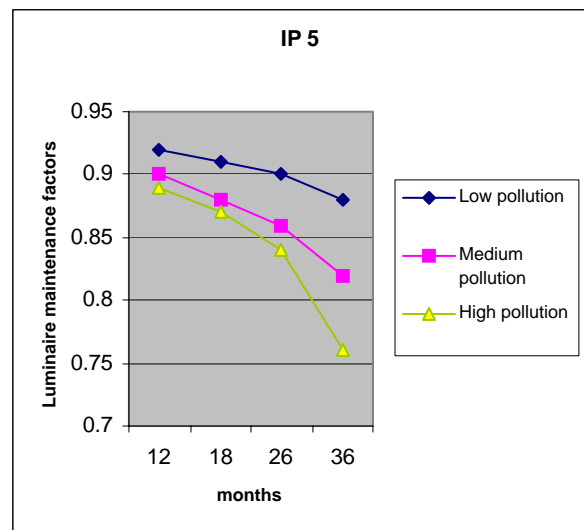
با توجه به مندرجات بند ۱۴-۶-۹-۱۹۵، نیازی به قطع کردن کابل جهت بستن زیر ترمینال مربوط نمی‌باشد که این امر با توجه به کیفیت نامناسب اتصالات و حرارت ایجاد شده در ترمینال و تلفات انرژی مورد تأکید است. همچنین توجه به کیفیت مناسب ترمینال و دقت در اتصالات در کاهش تلفات مؤثر می‌باشد [۶].

۵-۲- توجه به استفاده مناسب از کاهنده‌های نور

با توجه به اینکه مقادیر استاندارد روشنایی مقادیر حداقل هستند و کمتر شدن مقادیر از این حدود غیر مجاز می‌باشد استفاده از کاهنده‌های نوری در نیمه‌های شب در معابر توصیه نمی‌شود زیرا در نیمه شب با وجود کم شدن رفت و آمد، سرعت تردد و احتمال بروز تصادف افزایش می‌یابد. لذا استفاده از کاهنده‌های نور تنها در صورتی امکان‌پذیر است که سطح روشنایی در یک معبر بسیار بالاتر از حد مجاز باشد و استفاده از کاهنده‌ها جهت تمام طول شب و زمان روشن بودن چراغ‌ها اقتصادی‌تر از سایر پیشنهادات اصلاحی تشخیص داده شود. همچنین استفاده از روش‌هایی که در هنگام غروب به تدریج سیستم روشنایی را وارد شبکه و در زمان طلوع به تدریج از شبکه خارج نمایند نیز قابل بررسی است.

موقع هدر می‌رود. علاوه بر این پس از پایان طول عمر نامی لامپ کلیه لامپ‌ها باید تعویض شوند زیرا کاهش میزان شار نوری پس از طول عمر نامی به بیش از ۰/۹ خواهد رسید و این مهم به موارد فوق‌الذکر اضافه می‌گردد.

در نتیجه برای بهینه شدن مصرف انرژی و هزینه‌های اجرای طرح باید چراغ‌های با درجه حفاظت بالا (مثلاً IP6X) انتخاب شده و بر اساس ضریبی از طول عمر نامی لامپ، دوره تمیز کردن و تعمیر و نگهداری سیستم تعریف و اجرا شود و در پایان طول عمر نامی لامپ علاوه بر شستشو، کلیه لامپ‌ها تعویض گردند. در صورت نیاز به محاسبه دقیق زمان تعمیر و نگهداری و یا تعیین ضرایب نگهداری چراغ با فواصل زمانی غیر از زمان‌های ارائه شده در استاندارد، می‌توان از نمودارهای زیر که از استاندارد BS 5489-3 منتج شده است استفاده نمود. همچنین در صورت استفاده از این نوع چراغ‌ها به دلیل پیش بینی تمهیدات لازم در چراغ، شست و شوی چراغ بدون استفاده از بالابر و بدون انسداد راه با کمترین هزینه انجام خواهد شد که کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری را به دنبال خواهد داشت [۶] و [۳].



شکل ۲- نمودار ضریب نگهداری چراغ با IP 5

فهرست مراجع

- 1- Lighting with Artifical light 1: F dergemeinschaft Gutes Licht.
- 2- Good lighting for safety on Roads, Paths and Squares 3: F dergemeinschaft Gutes Licht.
- 3- BS 5489 Road lighting.
- 4- Illuminating engineering society of North America 2000.
- 5- Indoor and outdoor lighting 2003/2004 OSRAM.

- ۶- نشریه ۱۹۵ سازمان مدیریت و برنامه ریزی.
- ۷- استاندارد کردن چراغ و پایه (جلد ۱ تا ۴): مهندسين مشاور روشنایی نورگستر ۱۳۸۰.
- ۸- طرح توجیهی تأسیس آزمایشگاه نورسنجی: مهندسين مشاور روشنایی نورگستر: ۱۳۸۰.
- ۹- آمار تفصیلی صنعت برق سال ۱۳۸۱.
- ۱۰- نتایج گزارشات اندازه‌گیری روشنایی معابر و بازرسی روشنایی: مهندسين مشاور روشنایی نورگستر. ۱۳۸۰-۱۳۸۳.
- ۱۱- نتایج گزارشات نظارت و بررسی طرح‌های روشنایی محدوده برق منطقه‌ای تهران: مهندسين مشاور روشنایی نورگستر. ۱۳۸۳-۱۳۸۱.

نتیجه‌گیری

روشنایی معابر امروزه با توجه به نقش فزاینده‌ای که در رشد فرهنگی و اقتصادی و امنیت مناطق دارد جزء مهمترین اجزای شبکه‌های توزیع محسوب می‌شود. بنابراین با توجه به نقاط ضعف فراوان در شیوه مصرف انرژی، کیفیت روشنایی و انتخاب تجهیزات، دستیابی به صرفه‌جویی قابل ملاحظه در مصرف انرژی، بهینه‌سازی سیستم‌های روشنایی و کاهش هزینه‌های سیستم‌های روشنایی معابر از دو دیدگاه مطرح می‌باشد:

۱- بهینه کردن طرح‌های روشنایی جدیدالاحداث که

روش‌های مندرج زیر را شامل می‌شود:

- دستیابی به داده‌های واقعی نوری چراغ
- انتخاب چراغ با درجه حفاظت مناسب در طراحی و حصول اطمینان از صحت ادعای سازنده
- محدود کردن حداقل میزان بهره نوری چراغ
- توجه به مشخصه درخشندگی و شناخت دقیق سایر مشخصه‌های طراحی مانند نوع معبر، یکنواختی و %TI
- لزوم توجه به دیدگاه مدیریت مصرف انرژی و انجام محاسبات هزینه‌های انرژی در کنار سایر هزینه‌ها
- استفاده از شیوه مناقصات خرید روشنایی به جای خرید چراغ و پایه پس از تعیین نوع چراغ
- تعیین یک استاندارد و دستورالعمل مشترک بین کلیه دستگاه‌های مجری سیستم‌های روشنایی معابر

۲- بهینه‌سازی سیستم‌های روشنایی قدیمی که

شامل روش‌های ذیل می‌باشد:

- حذف لامپ‌های رشته‌ای و بخار جیوه و جایگزینی با لامپ‌های بخار سدیم
- بهینه‌سازی سیستم روشنایی پس از بررسی دقیق وضعیت موجود و تعیین نوع تغییرات و اصلاحات
- لزوم تعمیر و نگهداری به موقع و صحیح
- لزوم استفاده از ترمینال‌های مقاوم در برابر حرارت و عدم قطع نشدن کابل جهت کاهش تلفات
- توجه به استفاده مناسب از کاهنده‌های نور