

بهینه سازی روشنایی الکتریکی در ساختمان

عباس جان قربانی^۱، مجتبی هراتیان^۱، رسول سلفیان^۱

۱- شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان، شرکت سامان انرژی، تلفن ۱۴-۲۶۵۸۳۱۱-۰۳۱۱، نمابر ۲۶۵۸۳۱۰

E-mail: a_janighorban@yahoo.com

۲- دانشگاه آزاد اسلامی واحد مجلسی، تلفن ۹۴-۵۴۵۲۲۹۱-۰۳۳۵

معمولاً روشنایی ساختمان بیش از ۲۵ درصد مصرف انرژی الکتریسیته را به خود اختصاص می دهد و اگر تکنولوژیها و طرحهای پیشرفته روشنایی اجرا شود، انرژی برق مصرفی در روشنایی بیش از ۵۰٪ و تقاضای انرژی برق به صورت چشمگیری کاهش می یابد. اهمیت موضوع زمانی روشن می شود که هزینه سه آلاینده CO_2 و SO_2 و NO_x به ازای تولید هر کیلووات ساعت برق مشخص شود. این هزینه به ازای تولید هر کیلووات ساعت برق در نیروگاهها، یعنی خسارات زیست محیطی که ایجاد می شود و برای رفع آنها بایستی هزینه شود، معادل ۱۸۸ ریال می باشد. این هزینه ها برای سال ۱۳۷۹ معادل ۲۱۷۳۵ میلیارد ریال برآورد شده است. با استفاده از روشهایی مانند نصب چراغهای با راندمان روشنایی بالا، جایگزین لامپ ها و بالاست ها با اجزای پیشرفته، نصب کنترل های هوشمند روشنایی و بهینه سازی کاربرد نور طبیعی، می توان چگالی توان روشنایی را از ۲/۵ وات در فوت مربع (که معمولاً برای بسیاری ساختمانهای اداری استفاده می شود) به ۱/۰ وات در فوت مربع و یا حتی کمتر در ساختمانهای جدید و نوسازی شده، رساند.

بهبود سیستم روشنایی، هرزمان که نوسازی ساختمان یا اضافه کردن قسمت جدیدی به آن در حال انجام باشد، باید در اولویت اول قرار گیرد. موقع تقسیم فضاهای کاری (پارتیشن بندی فضاها) یک فرصت مناسب برای ارتقای سیستم روشنایی سقف و بکار بستن اصول روشنایی بهینه است. انتخاب مناسب روشنایی می تواند به طور قابل ملاحظه ای باعث کاهش ظرفیت چیلرها شود، به طوری که حتی کل سرمایه گذاری برای توسعه سیستم روشنایی را برگشت دهد. از سوی دیگر استفاده از استراتژی های نور طبیعی در ساختمان جهت کاهش مصرف انرژی الکتریکی ضروری می باشد.

۱- مقدمه

معمولاً روشنایی ساختمان بیش از ۲۵ درصد مصرف انرژی الکتریسیته را به خود اختصاص می دهد و اگر تکنولوژیها و طرحهای پیشرفته روشنایی اجرا شود، انرژی برق مصرفی در روشنایی بیش از ۵۰٪ و تقاضای انرژی برق به صورت چشمگیری کاهش می یابد. اهمیت موضوع زمانی روشن می شود که هزینه سه آلاینده CO_2 و SO_2 و NO_x به ازای تولید هر کیلووات ساعت برق مشخص شود. این هزینه به ازای تولید هر کیلووات ساعت برق در نیروگاهها، یعنی خسارات زیست محیطی که ایجاد می شود و برای رفع آنها بایستی هزینه شود، معادل ۱۸۸ ریال می باشد. این هزینه ها برای سال ۱۳۷۹ معادل ۲۱۷۳۵ میلیارد ریال برآورد شده است [۱]. با استفاده از روشهای مناسب می توان چگالی توان روشنایی را از ۲/۵ وات در فوت مربع (که معمولاً برای بسیاری ساختمانهای اداری استفاده می شود) به ۱/۰ وات در فوت مربع و یا حتی کمتر در ساختمانهای جدید و نوسازی شده، رساند [۲].

بهبود سیستم روشنایی، هر زمان که نوسازی ساختمان یا اضافه کردن قسمت جدیدی به آن در حال انجام باشد، باید در اولویت اول قرار گیرد. موقع تقسیم فضاهای کاری (پارتیشن بندی فضاها) یک فرصت مناسب برای ارتقای سیستم روشنایی سقف و بکار بستن اصول روشنایی بهینه است. انتخاب مناسب روشنایی می تواند به طور قابل ملاحظه ای باعث کاهش ظرفیت چیلرها شود، به طوری که حتی کل سرمایه گذاری برای توسعه سیستم روشنایی را برگشت دهد. از سوی دیگر استفاده از استراتژی های نور طبیعی در ساختمان جهت کاهش مصرف انرژی الکتریکی ضروری می باشد.

جایگزین کردن روشنایی های رشته ای دیواری ، روشنایی های رو به پائین و لوستره های تزئینی و علائم و تابلوهای روشنایی خروجی با واحدهای CFL . (ویابرای تابلوها و علائم خروج، جایگزینی با دیودها و واحدهای نورانی LED) نه تنها مقدار قابل توجهی در صرفه جویی انرژی موثر است بلکه به طور قابل ملاحظه ای هزینه نیروی انسانی مربوط به تعویض لامپ ها را کاهش می دهد.

-
- 1- Incandescent wall sconces
 - 2- Downlights
 - 3- Decorative Pendants
 - 4- Compact Fluorescent Lamps
 - 5- [LED]- lit units

برخی از راهکارهای بهبود روشنایی عبارتند از:

- میزان روشنایی محیطی را می توان کاهش داد یا برای تامین آن بر نور طبیعی تکیه کرد و در عوض از تامین روشنایی مورد نیاز در محیط های کاری پشتیبانی شود.
- باید لوازم روشنایی (و چراغهایی) که راندمان روشنایی بالایی دارند و برای کاربردهای مختلف مناسب هستند را انتخاب کرد.
- بر اساس لوازم سقفی انتخاب شده، برخی تجهیزات روشنایی اضافی روی دیوارها و سقف ها ممکن است برای تامین روشنایی مناسب سطوح عمودی لازم باشد. این مسئله به خصوص در مورد لوازم سهمی وار مهم است. روشنایی دیوار و سقف می تواند توسط تجهیزاتی که قسمتی از نور آنها رو به بالاست مانند چراغهای دیوار کوب و یا توسط نور طبیعی تامین شود.
- از سیستم های کنترل روشنایی باید استفاده شود تا لامپ ها را زمانی که روشنایی الکتریکی نیاز نیست و افراد محیط را ترک کرده و یا نور طبیعی کافی است، کم نور یا خاموش کنند. همچنین کم نور کننده دستی^۱ به خصوص در دفاتر کار کوچک بایستی نصب شود.

() ، () ، () ، () ، () ، ()

روشنایی مهتابی بهترین منبع برای بسیاری از کاربردهای روشنایی است بدلیل اینکه راندمان روشنایی آن زیاد است و به سادگی می تواند کنترل و سوئیچ شود. لامپ های مهتابی خطی پیشرفته آشکار سازی رنگ خوبی دارند و در مدلهای بسیاری موجودند. لامپ ها بر اساس طول، شکل (مستقیم یا U شکل)، قطر لوله (T-5, T-8 و...)، توان، پیکربندی اتصالات، مشخصات الکتریکی (استارت لحظه ای یا سریع)، شاخص آشکار سازی رنگ (CRI)^۲، و دمای رنگ^۳ دسته بندی می شوند. در تعیین یک سیستم روشنایی باید مطمئن شد که لامپ و بالاست از نظر الکتریکی لامپ و لوازم نصب آن از نظر نوری هماهنگ باشند .

لامپ های مهتابی خطی متداول در جدول (۱) مقایسه شده اند؛ توجه کنید که راندمان روشنایی (لومن بروات) در لامپ های با قطر کوچک تر بیشتر است.

^۱ - Manual dimming

^۲ - Color Rendering Index

^۳ - Color Temperature

جدول (۱) مقایسه لامپهای مهتابی [۳]

نوع لامپ	T-12	T-12 ES	T-8	T-5 *
وات مصرفی	۴۰	۳۴	۳۲	۵۴
مقدار لومن اولیه	۳۲۰۰	۲۸۵۰	۲۸۵۰	۵/۰۰۰
بهره نوری (lm/w)		۸۴	۸۹	۹۳
میران کاهش لومن**	٪۱۰	٪۱۰	٪۵	٪۵
T-5* با خروجی بالا در واحد طول ** تغییر از "مقدار لومن اولیه" به "مقدار لومن طراحی"				

آشکار سازی رنگ لامپ های مهتابی بسیار مهم است. شاخص آشکار سازی رنگ بیانگر این است که یک منبع روشنایی چگونه در شرایط استاندارد یک مجموعه تکه های رنگی استاندارد شده را تحت تأثیر قرار داده و آنها را چگونه نشان می دهد. یک لامپ با CRI شماره ۱۰۰ نمایش تکه های رنگی را در مقایسه با یک لامپ استاندارد تحریف نمی کند، در حالی که یک لامپ با CRI شماره ۵۰ به طور قابل ملاحظه ای رنگها را تحریف می کند. لامپ های T-5 و T-8 تنها با فسفرهای با کیفیت بالا موجود هستند که CRI های بالاتر از ۸۰ دارند. حداقل CRI قابل قبول برای بیشتر کاربردهای فضاها داخلی ۷۰ است؛ البته مقادیر بالاتر از ۸۰ توصیه می شود.

دمای رنگ ظاهر اتاق و احساس عمومی در محیط را تحت تأثیر قرار می دهد. دمای رنگ پائین (به عنوان مثال ۲۷۰۰K) یک احساس گرما شبیه نور لامپ های رشته ای ایجاد می کند؛ ۳۵۰۰K یک رنگ متعادل است؛ و ۴۱۰۰ K رنگ با روشنایی آبی رنگ منتشر می کند. استاندارد کردن دمای رنگ تمام لامپ ها در یک اتاق یا وسیله توصیه می شود.

از بالاست های الکترونیکی برای تمام روشنایی های مهتابی خطی می توان استفاده نمود. راندمان انرژی بالاستهای الکترونیکی به طور قابل ملاحظه ای از بالاست های مغناطیسی بیشتر است و صدای هوم و سوسوزدن همراه با روشنایی مهتابی قدیمی را حذف می کند. همچنین بالاست های الکترونیکی کم نور کننده^۱ نیز به طور وسیعی در دسترس هستند.

^۱-Dimming

۳- بالاست های الکترونیکی

بالات های الکترونیکی (که بعضی مواقع بالاست های حالت جامد نامیده می شود) جایگزین کارآمدی برای بالاست های مغناطیسی استاندارد هستند. از آنجا که لامپ و بالاست یک سیستم را تشکیل می دهند، لامپ ها معمولاً همزمان با تغییر بالاست ها ارتقاء پیدا می کنند. همراه با لامپ های مهتابی مناسب، استفاده از بالاست های الکترونیکی یک روشنایی خوب همراه با صرفه جویی انرژی فراهم می کند، در حالیکه سوسوزدن^۱ نور، صدای هوم، و آشکار سازی رنگ ضعیف^۲ مهتابی های قدیمی را برطرف می کند. بالاست های الکترونیکی با ظرفیت تحریک^۳ تا چهار لامپ موجودند. این بالاست ها می توانند حتی پس از خرابی یکی از لامپ ها به تحریک سه لامپ دیگر ادامه دهند. هم چنین برخی بالاست های الکترونیکی می توانند بصورت یک کم نور کننده نیز عمل کنند، اگرچه در این حالت معمولاً به یک مدار کنترل ولتاژ پایین نیاز دارند.

بهره وری بالاست های الکترونیکی استارت لحظه ای از بالاست های استارت سریع کمی بیشتر است. اما آنها منجر به کاهش عمر لامپ می شوند (عملکرد استارت لحظه ای معمولاً عمر لامپ را حدود ۲۵٪ کاهش می دهد یعنی به طور نمونه یک عمر ۱۵۰۰۰ ساعت به جای ۲۰۰۰۰ ساعت حاصل می شود). عملکرد استارت سریع معمولاً برای بالاست های با خروجی کاهش یافته و بالاست های کم نور کننده لازم است. اگر یک لامپ در یک مدار با یک بالاست موازی خراب شود، سایر لامپ ها می توانند به کار خود ادامه دهند. برخلاف عملکرد سری، که هیچیک از لامپها در صورت خرابی یکی از آنها نمی تواند کار کند.

کم نور کردن به عنوان یک انتخاب برای بعضی بالاست های الکترونیکی موجود است. اینها همیشه از نوع استارت سریع هستند، و بالاست های کم نور کننده معمولاً دو سیم اضافی برای یک سیگنال کنترل ولتاژ پایین دارند (به طور نمونه VDC ۱۰-۰). با وصل کردن یک پتانسیومتر ساده دیواری به سیم های (ولتاژ پایین) کنترل، یک استفاده کننده می تواند سطح روشنایی را بین ۱۰٪ (بسته به نوع محصول) و ۱۰۰٪ ماکزیمم روشنایی خروجی کنترل کند. روش جایگزین دیگر اینکه، سیم های کنترل می تواند به یک فتوسل سقفی وصل شود تا روشنایی الکتریکی را به عنوان مکمل نور طبیعی تنظیم کند، که منجر به صرفه جویی انرژی می شود.

ضریب بالاست قابلیت تولید نور لامپ های مهتابی را بر مبنای وابستگی به یک بالاست مرجع آزمایشگاهی به صورت کمی بیان می کند. برای بالاست های الکترونیکی، ضریب بالاست (BF) از ۰/۷ تا ۱/۵ می تواند تغییر کند و بطور حسی معمولاً بین ۰/۸۵ تا ۱/۰ انتخاب می شود تا روشنایی

^۱ - Flicker

^۲ - Poor color rendering

^۳ - Driving

خروجی از یک ترکیب معین لامپ و بالاست، بدون تحریک اضافی لامپ (که می تواند عمر لامپ را کاهش دهد) ماکزیمم شود. یک بالاست ممکن است برای لامپ های استاندارد یک ضریب و برای لامپ های با بهره وری انرژی یک ضریب بالاست دیگر داشته باشد.

یک راه برای کاهش قابل ملاحظه هزینه انرژی برای فضاهاى بیش از حد روشن^۱ جایگزینی بالاست های مغناطیسی با بالاست های الکترونیکی T-8 با خروجی کاهش یافته (با ضریب بالاست، ۰/۷) و جایگزینی لامپ های T-8 است. اگر چه خروجی لامپ T-8، ۳۰٪ از مقدار نامی آن کاسته می شود، ولی سطح جدید بسیار مناسبتر است و انرژی بیشتری در مقایسه با بالاست های با ضریب بالاست معمولی ذخیره می شود.

ضریب بهره نوری بالاست عبارتست از نسبت روشنایی خروجی لامپ هایی که روی یک بالاست کار می کنند (برحسب لومن) به توان ورودی به بالاست. ضریب بهره نوری بالاست برای مقایسه بین بالاست ها برای یک سیستم روشنایی داده شده، مفید می باشد.

:

- (BF) : / /
- % :
- (THD) : %

.

,

,

.

- []

.

() .

,

,

,

¹ - Overlit

² - Prismatic lens

(CFL) -

,

,

[] CFL ,

)

.(

·

() ,

·

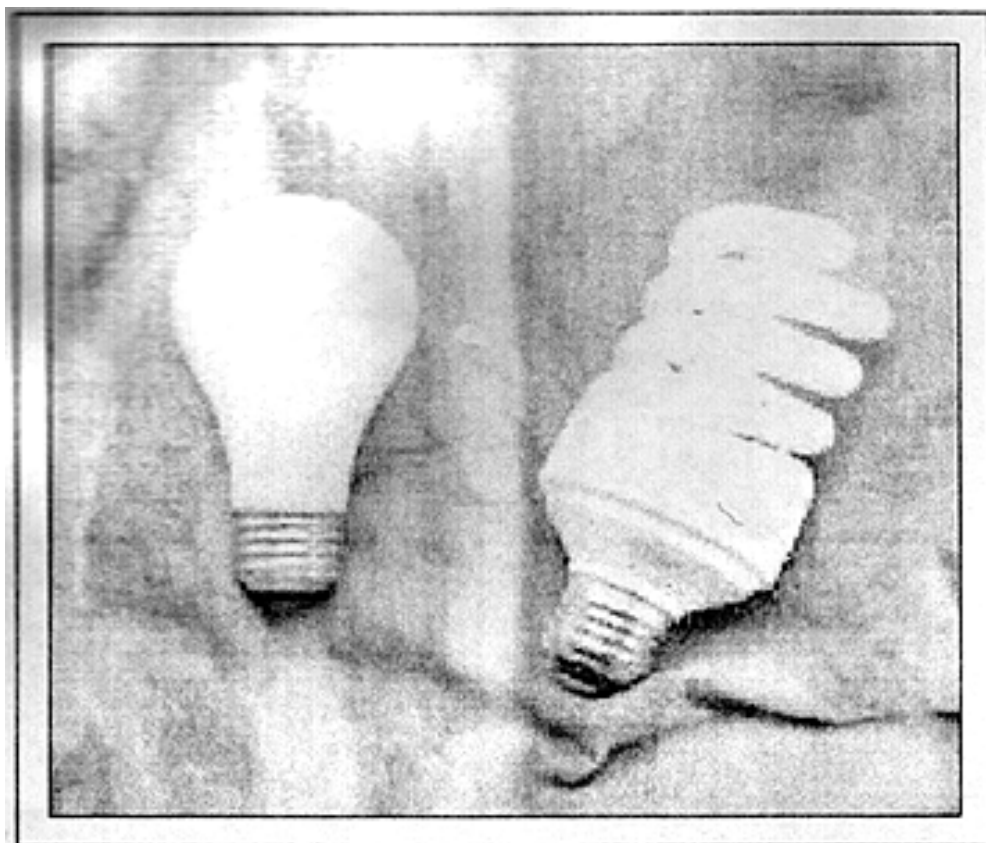
· []

,

CFL

· ,

¹ Compact Fluorescent Lighting



Source: Pacific Northwest National Laboratory

The new twisted-tube compact fluorescent lamps are nearly as small as standard lightbulbs.

شکل ۱- لامپ های مهتابی فشرده لوله - پیچ دار که از نظر کوچکی نزدیک به لامپ های استاندارد است [۳]

به طور معمول جایگزینی لوازم نصب لامپهای رشته ای با لوازم نصب مهتابی فشرده با ۳۵٪ برگشت سرمایه سالیانه همراه است.

موارد عمده کاربرد لامپهای مهتابی فشرده عبارتند از:

- کریدورهای درونی و بیرونی و پیاده روها موقعیت های بسیار خوبی هستند که جایگزینی با CFL ها را به خاطر مدت زمان زیاد روشنایی از نظر هزینه، توجیه پذیر می کنند. دیوار کوب های شامل CFL ها لوازم نصب بسیار خوبی برای این کاربرد هستند. مطمئن شوید که لامپ زیر این چراغها به درازا قرار نمی گیرد.
- قوانین الکتریکی استفاده از لوازم نصب لامپهای رشته ای را در کمد های لباس و دیگر مکانهایی که به خاطر حرارت لامپ های رشته ای احتمال آتش سوزی باشد را ممنوع می کند. CFL ها می تواند در بسیاری از این کاربردها، به خاطر تولید گرمای پائین آنها استفاده شوند.
- موارد عدم کاربرد لامپهای مهتابی فشرده و راهکارهای مناسب آنها در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲) مواردی که کاربرد لامپهای مهتابی فشرده مناسب نیست [۳].

مواردی که از کاربرد CFL باید پرهیز کرد	راه حل های مناسب
کاربردهایی که کنترل شعاع دقیق مورد نیاز است	روشنایی را با لامپ وات پائین هالوژن با منعکس کننده فراهم کنید.
روشنایی محوطه و فضای باز در نواحی خیلی سرد	بسیاری از بالاست های CFL نمی توانند در دمای کمتر از ۳۲ °F (0°C) کار کنند. حتی وقتی که از بالاست های با دمای پائین استفاده می شود، لامپها برای چندین دقیقه نمی توانند به روشنایی کامل خود در هوای سرد برسند.
روشنایی سوله های با ارتفاع زیاد سقف های با ارتفاع بیش از ۲۰ ft (۶ m)	از لامپ های مهتابی خطی استفاده کنید، که شامل قاب مهتابی های high-bay می شود که از لامپ های T-5 کنار هم فشرده شده استفاده می کند.
روشنایی سوله های متوسط و سقف های با ارتفاع ۱۲ تا ۲۰ ft (۳/۷ تا ۶ متر)	از ترکیب روشنایی مستقیم و غیر مستقیم با لامپهای مهتابی خطی استفاده کنید.
کاربرد لامپهای بدون حباب با CFL های وات بالا	CFL های وات بالا اگر بدون حباب باشند بسیار درخشان هستند؛ بنابراین از نوعی محافظ و حباب برای آنها استفاده کنید.
جایی که قطع و وصل مکرر لازم است، مانند مکانهایی که از سنسورهای حرکتی استفاده می شود.	قطع و وصل مکرر، عمر لامپ های CFL را کاهش می دهد. لامپ های رشته ای (که لامپهای هالوژن را هم شامل می شود) ممکن است انتخاب بهتری باشد.
روشنایی علائم خروج	لامپ های رشته ای یا لامپ های مهتابی را با LED های بهبود یافته جایگزین کنید. یا علائم خروجی را با مدلهای LED جایگزین کنید.

-

یک سیستم کنترل روشنایی با طراحی خوب قادر است انرژی مصرفی روشنایی را ۳۰ تا ۵۰ درصد کاهش دهد. کنترل روشنایی الکتریکی می تواند بوسیله کنترل دستی توسط ساکنین برای روشنایی شخصی آنها، یا بوسیله کنترل اتوماتیک سطح روشنایی بر مبنای سطوح روشنایی نور طبیعی یا بر مبنای حضور افراد، یا بوسیله ترکیبی از این استراتژیها انجام شود. حسگرهای حضور افراد می توانند زمانی که کسی در ناحیه مورد نظر حضور ندارد روشنایی را خاموش کنند. کنترلرهای

بر مبنای نور طبیعی، بهتر است با کم نور کننده ها^۱ به کار برده شوند تا اینکه از کلیدهای قطع و وصل (ON/Off) استفاده کنند.

- کم نور کننده دستی،

کم نور کننده های اتوماتیک بر مبنای نور طبیعی یک استراتژی کنترل روشنایی مهم در فضاهایی است که مقدار زیادی نور طبیعی وجود دارد، اما خاموش کردن کامل روشنایی الکتریکی مناسب نیست. بنابراین، یک استراتژی مفید برای نواحی پیرامونی دفاتر کار باز وسیع، فضای سالن ها و محل استراحت کارکنان استفاده از این نوع کنترلرها می باشد.

حسگرهای حضور (مادون قرمز، آلتراسونیک^۳ و ترکیبی) وقتی کسی در ناحیه مورد نظر حضور ندارد، یک روش ایده آل برای خاموش کردن روشنایی‌ها هستند به خاطر پرهیز از آزار افراد باید مطمئن شد که حس گر حضور افراد برای نوع ناحیه و کاربرد مورد نظر مناسب می باشد. مشاوره با سازندگان حسگرهای حضور لازم است تا اینکه از تعداد، نوع و نحوه نصب صحیح حسگرهای حضور به گونه ای که پوشش مناسب و کنترل بهینه ای را فراهم کنند، اطمینان حاصل شود: انواع مختلف حسگرهای حضور عبارتند از :

*

,

,

,

.

.

;

;

*

,

,

,

,

,

.

.

;

;

*

,

.

,

/

-

.

.

(

)

-

.

,

,

.

,

.

.

.

-

.

,

. %

■

■

■

)

■

.(T-5

■

■

■

,

.

.[]

[2]. Advanced Lighting Guidelines. Report Number DOE/EE-0008, NTIS Order Number DE94005264. U.S.Department of Energy. Washington, DC, 1993

[3]. “*Greening Federal Facilities*, U.S.Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy Management Program ” . 2ndEd., may 2001.

[4] www.eren.doe.gov/femp/

[5]. Electric Utility Guide to Marketing Efficient Lighting (ref. Contract DEAC65-86WA00467) , Western Area Power Administration, Golden, Co, 1990.

[6]. The National Lighting Product Information program (NLIPP), www.lrc.rpi.edu.