

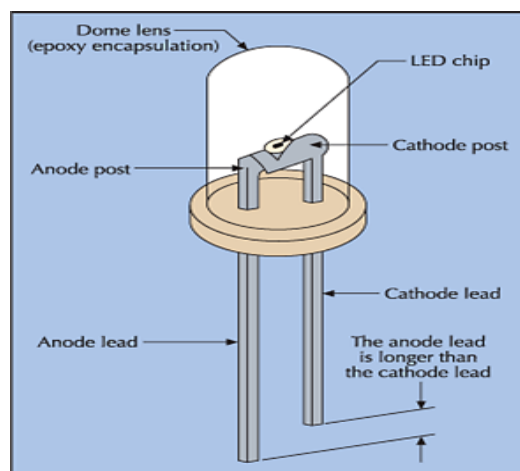
## ارزیابی فنی و اقتصادی جایگزینی لامپ‌های LED بجای لامپ‌های هالوژن

### مقدمه

محدودیت منابع انرژی و رشد نیازهای بشر، توجه وی را به یافتن راه‌کارهای جدید در زمینه صرفه‌جویی در مصرف انرژی معطوف داشته است. علی‌رغم وجود بعضی مزایا در منابع روشنایی کنونی، معایبی نظیر تولید اشعه ماوراء بنفش مضر، بزرگ‌بودن حباب، عدم امکان کمسوکردن آنها، سمی‌بودن جیوه موجود در تیوب و . . . باعث روی کار آمدن تکنولوژی جدیدی به بازار صنعت روشنایی جهان گردیده است. لامپ‌های LED دارای پتانسیل قابل توجهی در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی بوده و معایب ذکر شده در بالا را ندارند. در این گزارش ضمن درج مشخصات فنی لامپ‌های LED، به بررسی فنی و اقتصادی جایگزینی این لامپ‌ها به جای لامپ‌های هالوژن پرداخته شده است.

### تکنولوژی ساخت LED

LEDها، نیمه‌رساناهای حالت جامد هستند که انرژی الکتریکی را به نورانی تبدیل می‌کنند. هنگامی که عناصر معینی در پیکربندی خاص با یکدیگر ترکیب شده و جریان الکتریکی از میان آنها عبور کند، فوتون و گرما تولید می‌شود. قسمت اصلی LED که Chip نامیده می‌شود از دو لایه نیمه‌رسانا تشکیل شده است: لایه نوع n (برای الکترون‌ها) و لایه نوع p (برای حفره‌ها)، به طوری که الکترون‌ها درون حفره‌ها جای می‌گیرند. اتصال واقعی لایه‌ها (که اتصال p-n نامیده می‌شود) در محلی است که الکترون‌ها و حفره‌ها در میانه ناحیه فعال به یکدیگر برخورد می‌کنند. هنگامی که الکترون‌ها و حفره‌ها دوباره با یکدیگر ترکیب می‌شوند، فوتون تولید می‌شود.



شکل ۱: ساختار یک LED

## مشخصات مهم LEDها

- مصرف توان کم: توان مصرفی LEDها بسیار پایین است، بنابراین باعث کاهش هزینه‌های انرژی و نیز کاهش صورتحساب برق مصرفی می‌گردند.
- طول عمر طولانی: سازندگان LED ادعا می‌کنند که LEDها دارای طول عمر بیش از ۵۰ هزار ساعت هستند. با توجه به این که LEDها هیچ فیلامانی ندارند، نور خروجی یک LED در طول زمان کاهش می‌یابد. این اثر که منجر به کاهش شار نوری LED می‌گردد بدون این که قابل توجه باشد در طول هزاران سال اتفاق می‌افتد. در واقع سوختن کامل یک LED (نظیر سایر وسایل روشنایی دیگر) بی‌معناست. بنابراین طول عمر لامپ به صورت «مدت زمان لازم برای رسیدن شارنوری LED به درصد معینی از شار نوری اولیه آن» که معمولاً ۷۰٪ می‌باشد تعریف می‌گردد.
- ضریب وضوح رنگ: LEDها در ایجاد نوری که رنگ طبیعی اشیاء را با دقت بسیار زیاد نشان دهد دارای توانایی فوق‌العاده‌ای هستند.
- اندازه کوچک: اندازه کوچک LEDها، امکان ترکیب رنگ‌های مختلف را در بخش‌های کوچک، برای تأمین نیازمندی‌های روشنایی خاص میسر نموده است.
- دوام و قابلیت اطمینان بالا: LEDها دارای هیچ فیلامان یا تیوبی برای آسیب دیدن یا شکستن (در صورت افتادن آنها) نیستند.
- کنترل نوری: LEDها به دلیل دارا بودن اندازه کوچک و حتی انتخاب بسته‌بندی، دارای مزایای کنترل نوری فوق‌العاده‌ای هستند. با توجه به پتانسیل بالای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، استفاده از LEDهای با زاویه تابش تعریف شده، مطلوب و منطقی خواهد بود. مزایای دیگر LEDها عبارتند از:
- نوع بسته‌بندی LED امکان تمرکز و قابلیت هدایتگری عالی نور را فراهم می‌کند در حالی که منابع نوری رشته‌ای و فلورسنت به منظور جمع‌آوری نور و هدایت آن در وضعیت دلخواه، به رفلکتور خارجی نیاز دارند.
- LEDها به دلیل تولید گرمای ناچیز به عنوان منابع نوری سرد مطرح هستند.
- هنگام استفاده از دیمر، هیچ‌گونه تغییری در رنگ نور LED حاصل نمی‌شود، برخلاف لامپ‌های رشته‌ای که به رنگ زرد گرایش می‌یابد.
- LEDها برای بکارگیری در محل‌هایی که نیاز به دفعات روشن و خاموشی دارد وسایل ایده‌آلی محسوب می‌شوند، در حالی که تعداد دفعات زیاد روشن - خاموش شدن، تأثیر زیادی در سوختن زودهنگام لامپ‌های فلورسنت دارد. در خصوص لامپ‌های HID نیز مدت زمانی طول می‌کشد تا لامپ روشن گردد.
- برخلاف لامپ‌های رشته‌ای و فلورسنت، اعمال شوک‌های خارجی باعث آسیب رساندن به LED نمی‌شود.
- LEDها به سرعت به حداکثر شارنوری خود می‌رسند.
- LEDها برخلاف لامپ‌های فلورسنت فشرده به جیوه نیاز ندارند.

## مزایای LEDها

- کاهش انتشار CO<sub>2</sub> که تأثیر بسزایی در تولید گازهای گلخانه‌ای دارد.
- کاهش آلودگی نور
- کاهش مقدار انرژی الکتریکی مورد استفاده در روشنایی جهان
- فراهم نمودن روشنایی با کیفیت بالا
- ایجاد صنایع و مشاغل جدید
- عدم تولید اشعه ماوراءبنفش مضر

## ارزیابی جایگزینی لامپ‌های LED به جای لامپ‌های هالوژن

در حال حاضر مهم‌ترین کاربرد لامپ‌های LED را می‌توان جایگزین نمودن آن‌ها به جای لامپ‌های هالوژن دانست. لامپ‌های هالوژن به عنوان زیر مجموعه‌ای از لامپ‌های التهابی پر مصرف، در انواع توان‌های ۵ الی ۲,۰۰۰ وات (با شار نوری ۶۰ تا ۴۴,۰۰۰ لومن) موجود هستند، اما از گستره توان ذکر شده، تنها لامپ‌های ۵۰ وات دارای بیشترین کاربرد و بالاترین نرخ فروش در بخش روشنایی دکوراتیو و تزئینی به شمار می‌روند. شایان ذکر است که توان‌های ۲۰ و ۳۵ وات نیز دارای مشتریان خاص خود می‌باشند.

به منظور تخمین میزان صرفه‌جویی حاصله از جایگزینی لامپ‌های LED بجای لامپ‌های هالوژن برای یک مشترک تجاری، فرضیات زیر را در نظر می‌گیریم:

- ۱- هر مشترک به طور متوسط از ۱۵ لامپ هالوژن ۵۰ وات استفاده می‌کند.  
(شایان ذکر است که براساس محاسبات و اندازه‌گیری‌های مهندسی، به منظور ایجاد سطح روشنایی یکسان ناشی از تعویض لامپ‌های هالوژن با لامپ‌های LED، لازم است بجای هر ۲ عدد لامپ هالوژن از ۳ لامپ LED پر توان ۳ وات استفاده گردد. بنابراین فرض می‌کنیم تنها ۱۰ لامپ هالوژن با لامپ LED تعویض گردد و مابقی لامپ‌های هالوژن در محل خود باقی بمانند.)
- ۲- هر لامپ روزانه به طور متوسط به مدت ۱۲ ساعت روشن است.
- ۳- تعداد روزهای کاری در سال معادل ۳۰۰ روز فرض می‌شود.
- ۴- هزینه خرید هر واحد لامپ هالوژن و لامپ LED به ترتیب معادل ۱۵,۰۰۰ ریال و ۱۰۰,۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.
- ۵- بهای مصرف برق به ازای هر کیلووات ساعت معادل ۸۳۲ ریال فرض شده است. (تعرفه جدید سال ۱۳۸۹)
- ۶- طول عمر متوسط هر واحد لامپ هالوژن و لامپ LED به ترتیب به میزان ۱,۰۰۰ ساعت و ۲۰,۰۰۰ ساعت در نظر گرفته شده است.

---

. قیمت لامپ‌های LED به دلیل تولید روزافزون در جهان در حال کاهش چشمگیری می‌باشد؛ به طوری که هم‌اکنون در برخی موارد به ۸۵,۰۰۰ ریال و کمتر نیز تقلیل یافته است. بدیهی است این امر اقتصادی بودن استفاده از این نوع لامپ‌ها را توجیه‌پذیرتر می‌نماید.

جدول شماره ۱، بیانگر مقایسه میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی و هزینه‌های مربوطه برای سیستم فعلی با استفاده از لامپ هالوژن و سیستم جدید با ترکیبی از لامپ‌های هالوژن و LED می‌باشد.

جدول شماره ۱: مقایسه سیستم جدید با سیستم فعلی از نقطه‌نظر مصرف انرژی و هزینه در سال اول

سیستم جدید	سیستم قدیم	شرح
۱۰ لامپ LED + ۵ لامپ هالوژن	۱۵ لامپ هالوژن	تعداد لامپ مورد استفاده
۲۸۰	۷۵۰	توان مصرفی کل سیستم (W)
۱۲	۱۲	تعداد ساعات کارکرد در شبانه‌روز
۳۰۰	۳۰۰	تعداد روزهای کارکرد در سال
۱,۰۰۸	۲,۷۰۰	میزان انرژی مصرفی در سال (KWh)
۸۳۲	۸۳۲	بهای هر کیلووات‌ساعت برق (ریال)
۸۳۸,۶۵۶	۲,۲۴۶,۴۰۰	هزینه انرژی مصرفی سالیانه هر مشترک (ریال)
۱,۶۹۲		میزان صرفه‌جویی در انرژی مصرفی سالیانه (KWh)
۱,۴۰۷,۷۴۴		میزان صرفه‌جویی در هزینه انرژی مصرفی سالیانه (ریال)
۱۵,۰۰۰ ریال برای هر شعله لامپ هالوژن و ۱۰۰,۰۰۰ ریال برای هر شعله لامپ LED		هزینه خرید هر لامپ (ریال)
۱۰ لامپ LED + ۲۰ لامپ هالوژن	۶۰ لامپ هالوژن	تعداد لامپ موردنیاز هر مشترک در طول یک سال
۲,۳۰۰,۰۰۰	۹۰۰,۰۰۰	هزینه خرید لامپ‌ها در سال اول (ریال)
۲,۱۳۸,۶۵۶	۳,۱۴۶,۴۰۰	هزینه کل سالیانه شامل هزینه خرید + هزینه انرژی مصرفی (ریال)
حدود ۸ ماه		میزان بازگشت سرمایه

همان‌طور که از جدول فوق مشخص است، در صورت جایگزینی لامپ‌های LED بجای لامپ‌های هالوژن به میزان ۱۶۹۲ کیلووات‌ساعت در مصرف انرژی سالیانه و ۱,۴۰۷,۷۴۴ ریال در هزینه انرژی مصرفی هر مشترک صرفه‌جویی خواهد شد. بدیهی است با توجه به طول عمر بالای لامپ‌های LED در مقایسه با لامپ‌های هالوژن (حدود ۲۰ برابر)، استفاده از این نوع لامپ‌ها از توجیه اقتصادی بالاتری برخوردار خواهد بود. لذا در جدول شماره ۲ به بررسی این مطلب می‌پردازیم.

. با توجه به طولانی‌بودن طول عمر لامپ‌های LED (حداقل به میزان ۵ سال)، هزینه خرید این نوع لامپ‌ها فقط در سال اول به مشترک تحمیل می‌گردد و در ۴ سال بعدی فقط بایستی هزینه تعویض لامپ‌های هالوژن پرداخت شود.

جدول شماره ۲: بررسی اقتصادی استفاده از لامپ‌های LED در طول عمر مفید این نوع لامپ‌ها

سیستم جدید	سیستم قدیم	شرح
۱۰ لامپ LED + ۵ لامپ هالوژن	۱۵ لامپ هالوژن	تعداد لامپ مورد استفاده
۱,۰۰۰ ساعت برای لامپ هالوژن و ۲۰,۰۰۰ ساعت برای لامپ LED		طول عمر لامپ
۱۰ لامپ LED + ۹۰ لامپ هالوژن	۲۷۰	تعداد لامپ موردنیاز در طول عمر مفید لامپ LED (حداقل ۵ سال)
۲,۳۵۰,۰۰۰	۴,۰۵۰,۰۰۰	هزینه خرید لامپ‌ها در طول عمر مفید لامپ LED (ریال)
۱,۰۰۸	۲,۷۰۰	میزان انرژی مصرفی در سال (KWh)
۵,۰۴۰	۱۳,۵۰۰	میزان انرژی مصرفی در طول عمر مفید لامپ LED (KWh)
۴,۱۹۳,۲۸۰	۱۱,۲۳۲,۰۰۰	حداقل هزینه انرژی مصرفی در طول عمر مفید لامپ LED (ریال)
۶,۵۴۳,۲۸۰	۱۵,۲۸۲,۰۰۰	هزینه کل شامل هزینه خرید لامپ + هزینه انرژی مصرفی (ریال)

با توجه به جدول فوق، در صورت جایگزینی لامپ‌های LED بجای لامپ‌های هالوژن، هزینه‌های کل یک مشترک (شامل هزینه خرید لامپ + هزینه انرژی مصرفی) در طول عمر مفید لامپ‌های LED حداقل به میزان ۵۷٪ کاهش خواهد یافت.

ارزیابی اقتصادی جایگزینی لامپ‌های LED به جای لامپ‌های هالوژن از دیدگاه وزارت نیرو و محیط زیست براساس اطلاعات مندرج در ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷ که از طرف دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو منتشر شده است، تعداد کل مشترکین تجاری در حدود ۲/۸۱۵ میلیون مشترک می‌باشد. با توجه به مصرف انرژی سالیانه هر مشترک (به میزان ۲۷۰۰ کیلووات‌ساعت)، می‌توان عنوان نمود این میزان برای کل مشترکین معادل ۷۶۰۰ گیگاوات‌ساعت خواهد بود.

چنانچه لامپ‌های LED جایگزین لامپ‌های هالوژن گردند، مصرف انرژی سالیانه هر مشترک به رقم ۱۰۰۸ کیلووات‌ساعت تقلیل می‌یابد. این میزان برای کل مشترکین معادل ۲۸۳۷ گیگاوات‌ساعت خواهد بود. بنابراین سالیانه به میزان ۴۷۶۳ گیگاوات‌ساعت در مصرف انرژی کل مشترکین صرفه‌جویی خواهد شد.

همانطور که مشخص است، در صورت جایگزینی لامپ LED پرتوان ۳ وات با یک لامپ هالوژن ۵۰ وات (با لحاظ نمودن ایجاد سطح روشنایی یکسان)، به میزان ۴۵/۵ وات در مصرف توان صرفه‌جویی خواهد شد. بنابراین با جایگزینی کامل لامپ‌های LED به جای لامپ‌های هالوژن، صرفه‌جویی ۱۲۸۱ مگاوات را در مصرف توان خواهیم داشت:

$$45/5 \times 10 \times 2815000 = 1281 \text{ MW}$$

با در نظر گرفتن سهم تلفات شبکه که به میزان ۱۷/۵٪ به شبکه توزیع مربوط می‌شود، این میزان کاهش توان (۱۲۸۱ MW) به معنای صرفه‌جویی در تولید ناویژه برق در نیروگاه‌ها به میزان ۱۵۵۳ MW می‌باشد.

اکنون به بررسی سهم لامپ‌های LED در حفاظت از محیط زیست می‌پردازیم:

بر اساس جدول ۲۰-۸ مندرج در ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷، شاخص انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای از بخش نیروگاهی کشور به ازای هر کیلووات ساعت انرژی،  $677/826$  گرم  $CO_2$ ،  $3/058$  گرم  $SO_2$  و  $2/552$  گرم  $NO_x$  می‌باشد. همچنین طبق جدول ۸-۸، هزینه‌های اجتماعی گازهای نشر یافته از بخش‌های مصرف‌کننده انرژی (گازهای  $CO_2$ ،  $SO_2$  و  $NO_x$ ) معادل ۲۲,۹۴۲ میلیارد ریال می‌باشد. با توجه به تولید ۲۱۴,۵۳۰ میلیون کیلووات ساعت برق توسط نیروگاه‌ها، هزینه اجتماعی ناشی از نشر گازهای گلخانه‌ای برای تولید هر کیلووات ساعت معادل ۱۰۷ ریال می‌باشد. بنابراین صرفه‌جویی ۴۷۶۳ گیگاوات ساعت در مصرف انرژی سالیانه، از ورود ۳/۲۲۸ میلیون تن  $CO_2$ ، ۱۴/۵۶۵ هزار تن  $SO_2$  و ۱۲/۱۵۵ هزار تن  $NO_x$  به محیط زیست جلوگیری نموده و هزینه‌های اجتماعی ناشی از نشر گازهای گلخانه‌ای را به میزان ۵۰۹/۶۴ میلیارد ریال کاهش خواهد داد. بدیهی است با توجه به کاربرد رو به افزایش لامپ‌های هالوژن در بخش مسکونی و با عنایت به تعداد کل مشترکین به میزان ۱۸/۶ میلیون مشترک حتی با در نظر گرفتن درصد کوچکی از استفاده از این نوع لامپ‌ها، صرفه‌جویی قابل توجهی حاصل خواهد شد که در این بخش صرفه‌نظر گردیده است.

### نتیجه‌گیری

در کنار پیشرفت‌های قابل توجهی که در وسایل روشنایی متداول امروزی حاصل شده است، نوع جدیدی از لامپ‌های پربازده تحت عنوان لامپ‌های LED در حال پیدا کردن جایگاه خود در بخش روشنایی عمومی می‌باشند. ارزیابی‌های فنی و اقتصادی صورت گرفته نشان می‌دهند که LEDهای کنونی به دلیل دارا بودن پتانسیل بالای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و هزینه‌های تمام‌شده، جایگزین مناسبی برای لامپ‌های هالوژن می‌باشند. با توجه به روند رو به افزایش استفاده از لامپ هالوژن در بخش خانگی و تجاری، لزوم فرهنگ‌سازی، آگاه‌سازی و ترغیب مشترکین نسبت به بکارگیری لامپ LED به جای لامپ هالوژن بیش از پیش نمایان می‌گردد. اگرچه قیمت خرید اولیه بالای LED ممکن است به عنوان یک عامل بازدارنده مطرح باشد، توجه به مزایای دیگر LEDها نظیر مصرف توان پایین، طول عمر طولانی و به دنبال آن بازگشت سرمایه در زمان کوتاه، در پیشبرد هدف مذکور مثمرتر خواهد بود. بدیهی است نمی‌توان نقش مهم ارگان‌های مربوطه را در زمینه فرهنگ‌سازی و ترغیب مشترکین به بکارگیری این لامپ به جای لامپ هالوژن نادیده انگاشت.