بسمه تعالی

هفتمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران

کد مقاله: DNEQ165

نوع پذیرش : رزرو برای ارائه

# کاهش هزینه طرحهای روشنائی معابر با طراحی و ساخت چراغهای مناسب روشنائی معابر

ساسان گرجانی

شرکت مهندسین مشاور تدبیر نیرو

کلمات کلیدی:روشنائی معابر،چراغ خیابانی،منحنی پخش نور،calculux

**خلاصه:**

با افزایش روز افزون وسایل نقلیه موتوری،عبور ومرور عابرین در خیابانها، گسترش اتوبانها وبزرگراهها،ایجاد روشنائی مناسب در معابر جهت دید در شب وکاهش تصادفات وتلفات انسانی کاملاً ضروری به نظر می‌رسدو مستلزم آن طراحی ونصب یک سیستم روشنائی می‌باشد. اما سیستم‌های روشنائی معابر چه به لحاظ برقراری شبکه و چه به لحاظ بهره برداری جزء بخشهای پر هزینه شبکه توزیع می‌باشند.علاوه براین عدم توجه به طراحی وساخت چراغهای مناسب روشنائی معابر و عدم دقت طراحان شبکه‌های روشنائی در استفاده و معرفی چراغهای مناسب وبطور کلی بی‌توجهی به طرحهای روشنائی معابر باعث شده که هزینه این طرحها بیش از پیش افزایش یابد.

هدف ما در این مقاله بررسی ومقایسه انواع چراغهای خیابانی وچگونگی تأثیر آنها بر هزینه‌های یک طرح روشنائی وارائه یک چراغ نمونه با ویژگیهای مناسب که هزینه طرحهای روشنائی را کاهش می‌دهد می‌باشد.

## ۱-مقدمه:

زندگی امروزی ایجاب می‌کند که با پایان یافتن روز،فعالیتهای اجتماعی پایان نیافته وتا پاسی از شب نیز ادامه پیدا کند.لازمه این امر وجود روشنائی کافی در معابر و خیابانهاست. علاوه براین روشن ساختن معابر در شب باعث افزایش امنیت اجتماعی شده و از جرائم و تخلفاتی که تاریکی شب پوششی جهت ارتکاب آنهاست می‌کاهد.پس هدف از روشنائی معابر حفظ سلامت و راحتی رانندگان وعابرین پیاده می‌باشد.

## ۲-مشخصات روشنائی معابر:

یک سیستم روشنائی خوب باید دارای خصوصیات مطلوبی باشدکه به آنها اشاره می‌گردد.

### ۲-۱-ایجاد روشنائی کافی در سطح خیابان:

یک سیستم روشنائی معابر باید بتواند روشنائی مناسب با وضعیت محل،میزان عبورومرور،نوع فعالیت عابرین،سرعت و حجم ترافیک ایجاد کند به گونه‌ای که تمام اشیاء موجود در مسیر عبور ومرور وسایل نقلیه موتوری به وضوح دیده شود.انجمن مهندسین روشنائی آمریکا برای معابر مختلف با کاربردهای مختلف میزان روشنائی متوسطی پیشنهاد می‌کنند که در جدول۱ آورده شده است[۳].

جدول۱-روشنائی متوسط معابر توصیه انجمن مهندسان روشنائی آمریکا

| نوع معبر | وضعیت اطراف معبر | | |
|---|---|---|---|
| | تجاری | تجاری- مسکونی | مسکونی |
| | شدت روشنائی (لوکس) | شدت روشنائی (لوکس) | شدت‌روشنائی (لوکس) |
| آزاد راه | ٦ | ٦ | ٦ |
| بزرگراه | ٢٢ | ١٥ | ١١ |
| خیابان فرعی | ١٠ | ٦ | ٤ |
| کوچه اتومبیل‌رو | ٦ | ٤ | ٢ |
| پیاده رو | ١٠ | ٦ | ٢ |
| محل عبور عابر پیاده | ٢٢ | ١١ | ٥ |

(لوکس واحد شدت روشنائی می‌باشد)

### ۲-۲-یکنواختی روشنائی در سطح خیابان:

یک سیستم روشنائی معابر علاوه بر داشتن شدت روشنائی مناسب باید دارای یکنواختی قابل قبولی باشد.انجمن مهندسان روشنائی آمریکا معیار یکنواختی را نسبت حداقل به متوسط روشنائی در سطح خیابان قرار داده است اما بعضی مجامع روشنائی این نسبت را کافی ندانسته وعلاوه بر آن نسبت روشنائی حداقل به حداکثر را نیز مورد توجه قرار داده ومقادیری برای آن توصیه می‌کنند.در جدول ۲ مقررات مربوط به مقادیر یکنواختی در چند معبر مربوط به کشور آلمان آورده شده است. در این جدول $E_{min}$ مینیمم شدت روشنائی در سطح معبر، $E_{max}$ ماکزیمم شدت روشنائی در سطح معبر و $E_{ave}$ مقدار متوسط روشنائی است که واحد هر سه پارامتر، لوکس می‌باشد[۳].

جدول۲-نسبتهای یکنواختی حداقل در روشنائی معابر

| نوع خیابان | نسبت یکنواختی | |
|---|---|---|
| | $\frac{E_{min}}{E_{max}}$ | $\frac{E_{min}}{E_{ave}}$ |
| خیابان اصلی با حجم ترافیک ۱۰۰۰ وسیله در ساعت در هر طرف | ۱:۳ | ۱:٦ |
| خیابان اصلی با حجم ترافیک ٥٠٠ وسیله در ساعت در هر طرف | ۱:۳ | ۱:٦ |
| خیابانهای رابط بین نقاط مسکونی و خیابانهای اصلی | ۱:٤ | ۱:۸ |

### ۲-۳-خیره نبودن سیستم روشنائی:

هنگامی که اشعه مستقیم نور چراغ با شدت زیاد در محور دید رانندگان وعابرین قرار گیرد ایجاد چشم زدگی می کند. چشم زدگی یا خیرگی از مسائلی است که در طراحی روشنائی معابر باید جداً از آن دوری جست زیرا این امر سبب کم شدن دید وناراحتی رانندگان گشته و خطر تصادف را به دنبال خواهد داشت.پارامتری که بیانگر خیرگی یا چشم زدگی یک سیستم روشنائی معابر می‌باشد آستانه افزایش است که با $T_i$ نشان داده شده و به درصد بیان می‌گردد.مقدار $T_i$ برای روشنائی اتوبانها وبزرگراهها از ۱۰٪ وبرای روشنائی معابر فرعی از ۲۰٪ نباید تجاوز کند.یکی از روشهای کاهش خیرگی در سیستمهای روشنائی معابر افزایش ارتفاع نصب چراغ می‌باشد از این رو است که برخی مجامع روشنائی برای هر چراغ بسته به شار نورانی آن

یک ارتفاع نصب توصیه می‌کنند.در جدول ۳ ارتفاع نصب چراغها براساس شار نورانی آنها آورده است[۳].

جدول۳-ارتفاع نصب چراغ براساس شار نورانی

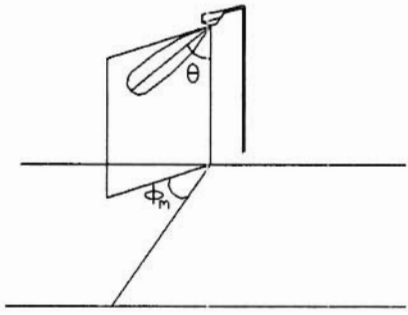
| شار نورانی لامپ(لومن) | ارتفاع نصب(متر) |
|---|---|
| ۲۰۰۰۰ | ۱۰/۵ |
| ۲۰۰۰۰تا۴۵۰۰۰ | ۱۰/۵تا۱۳/۵ |
| ۴۵۰۰۰تا۹۰۰۰۰ | ۱۳/۵تا۱۸ |

## ۳-مشخصات چراغهای مورد استفاده در معابر:

چراغهایی که در روشنائی معابر مورد استفاده قرار می‌گیرند به علت عدم تقارن خیابان نسبت به محل نصب چراغ ولزوم تابانیدن بیشتر شار نورانی لامپ به سطح خیابان اغلب دارای پخش نور نامتقارن هستند.لذا جهت نشان دادن چگونگی پخش نور آنها نمی‌توان به یک منحنی اکتفا نمود ولازم است از دو منحنی استفاده شود که در ذیل توضیح داده می‌شود.

### ۳-۱-منحنی پخش عمودی نور:

این منحنی قطبی چگونگی پخش نور چراغ را در صفحه عمودی خاصی که از زاویه افقی $\phi_m$ می گذرد نشان می‌دهد. $\phi_m$ زاویه ای است افقی که شدت نور ماکزیمم چراغ در آن اتفاق می افتد.شکل۱ منحنی پخش عمودی نور را نشان می دهد. منحنی پخش عمودی نور در واقع یک منحنی قطبی است که در یک زاویه خاص $\phi_m$ شدت درخشندگی یعنی I را در زوایای مختلف $\theta$نشان می‌دهد.
(I شدت درخشندگی برحسب کاندلا می‌باشد)




شکل۱-منحنی پخش عمودی نور

### ۳-۲-منحنی پخش افقی نور:

این منحنی، تغییرات شدت نور چراغ را در زاویه عمودی $\theta_m$و زوایای افقی ۰ تا ۳۶۰ درجه ( $\phi = 0$ تا $\phi = 360$ ) مشخص می‌سازد. $\theta_m$زاویه عمودی است که شدت نور ماکزیمم چراغ در آن اتفاق می افتد. به عبارت دیگر منحنی پخش افقی نور یک منحنی قطبی است که دریک زاویه خاص $\theta_m$شدت درخشندگی یعنی I را به صورت تابعی از $\phi$بیان می‌کند.

از کنار هم گذاشتن دو منحنی پخش افقی وعمودی نور یک منحنی به دست می‌آید که میزان I را در تمام زوایای فضائی نشان می‌دهد. $I = f(\theta,\phi_m)$

با توجه به اینکه لامپها با شارهای نوری متفاوت در یک چراغ با منحنی پخش نور یکسان استفاده می‌شوند منحنی‌های قطبی غالبا برای شار نوری ۱۰۰۰ لومن ترسیم می‌شوند وبرای یافتن توزیع واقعی لازم است نسبت شار نوری لامپ به ۱۰۰۰ لومن را در مقادیر منحنی ضرب کنیم.

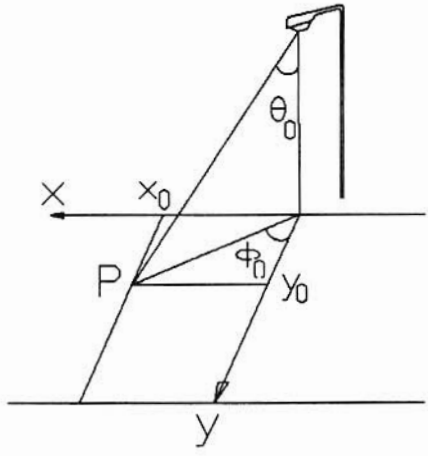
با داشتن منحنی پخش نور چراغ می‌توان شدت روشنائی را در هر نقطه از خیابان به دست آورد.در شکل ۲ نقطهP دارای مشخصات $(x_0, y_0)$ نسبت به تصویر چراغ در سطح خیابان می‌باشد.زاویه $\theta_0, \phi_0$ برای محاسبه I مطابق روابط ذیل محاسبه می‌گردد.

$$\phi_0 = \tan^{-1}\frac{x_0}{y_0} \qquad (۱)$$

$$R_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \qquad (۲)$$

$$\theta_0 = \tan^{-1}\frac{R_0}{h} \qquad (۳)$$

(h ارتفاع چراغ از کف خیابان است.)




شکل۲

با داشتن $\theta_0, \phi_0$ از روی منحنی پخش نور مقدار I برای ۱۰۰۰ لومن بدست می آید که طبق رابطه (٤)شدت روشنائی در نقطه P بدست می‌آید[۲].

$$E = \frac{I(\theta_0, \phi_0)}{h^2}\cos^3\theta_0 \qquad (٤)$$

اگر شار نورانی لامپ مورد استفاده به عنوان مثال ۲۷۰۰۰ لومن باشد مقدار Eبدست آمده از رابطه (٤) را باید در عدد $\frac{27000}{1000}$ضرب نمود.

### ۳-۳- منحنی پخش نور مناسب برای روشنائی معابر:

برای سیستم روشنائی معابر باید از چراغی استفاده نمود که بتواند مشخصات ذکر شده در بخش ۲ را که شامل روشنائی مناسب، یکنواختی وعدم خیرگی بود را تأمین نماید.بر همین اساس در کشورهای آلمان وانگلستان چراغهای خیابانی با توجه منحنی پخش عمودی نورشان، به سه دسته تقسیم می‌کنند[۳]:

الف- شدت نور ماکزیمم چراغ در زاویه $\theta = 65$درجه می‌باشد که به آن قطع شده (Cut off) گفته می‌شود.

ب- شدت نور ماکزیمم چراغ در زاویه $\theta = 75$درجه می‌باشد که به آن نیمه قطع شده(Semi cut off) گفته می‌شود.

ج- شدت نور ماکزیمم چراغ در زوایای نسبتا بزرگی قرار دارد و دارای چشم زدگی بالائی بوده و برای روشنائی خیابانهای خیلی خلوت و کوچه ها استفاده می‌شود[۳].

بدون در نظر گرفتن تقسیم‌بندی بالا،در چراغهای خیابانی به دلیل اینکه نیاز به اثر همپوشانی با چراغهای مجاور می‌باشد شدت نور ماکزیمم باید در زوایایی بالا بین (٦٠تا ۷۰درجه)قرار داشته باشد.اگر منحنی پخش نور چراغها چنین ویژگی نداشته باشدبرای روشنائی معابر مناسب نیستند.در شکل۳ منحنی پخش نور چهار چراغ خیابانی نشان داده شده است.چراغهای b,a دارای منحنی پخش نور خوب وچراغ c دارای منحنی پخش نور ضعیف وچراغ d دارای منحنی پخش نور بدی است.

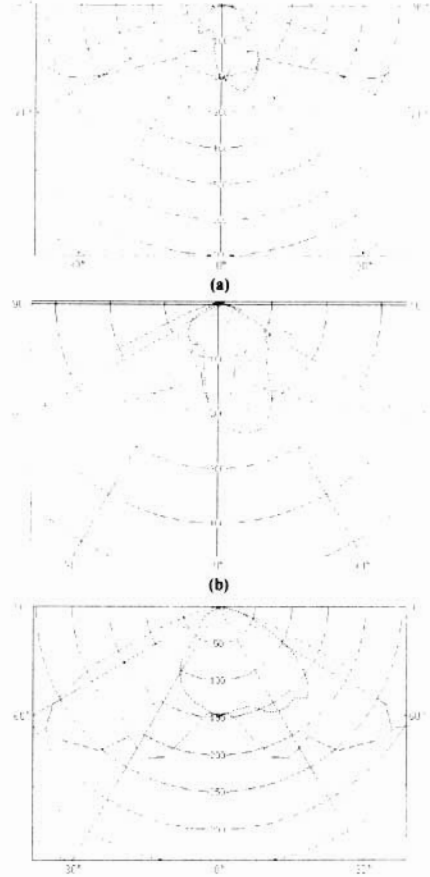
اگر منحنی پخش نور چراغ دارای ویژگی که در بالا اشاره شد نباشد برای رسیدن به سه مشخصه یک روشنائی خوب به خصوص برای داشتن یکنواختی بالا نیاز به کوچک کردن فاصله بین پایه‌های روشنائی می‌باشد.کوچک کردن این فاصله باافزایش تعداد چراغها وتجهیزات جانبی آنها مثل پایه، فونداسیون وغیره(در یک فاصله ثابت) وافزایش هزینه طرح روشنائی همراه خواهد بود.برای بررسی این مسئله چهار چراغی که منحنی پخش نور آنها در شکل ۳ آورده شد برای یک طرح نمونه تست ونتایج آن را بررسی می‌کنیم.

## ٤- شبیه سازی:

چراغهایی که منحنی آنـها در شـکل ۳ آورده شد برای یک خیابان که اطلاعات آن در جدول ۳ آورده شده بکار می‌بریم.

جدول۳-مشخصات خیابان

| نوع خیابان | منطقه تجاری که محل عبور ومرور عابر پیاده است |
|---|---|
| عرض معبر در هر طرف | ۱۲/۵ متر |
| عرض باغچه وسط خیابان | ۳ متر |
| نوع آسفالت | آسفالت سیاه با ضریب انعکاس ۰/۰۸ |
| طول مسیر | ۵۰۰۰ متر |



(a)

(b)

(c)

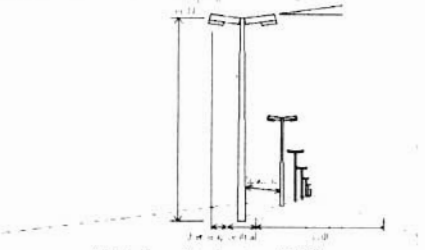
(d)

شکل۳-منحنی پخش نور چهار چراغ نمونه

همچنین مشخصات سیسـتم روشـنائی مطـابق جدول ٤ می‌باشد.

جدول ٤- مشخصات سیستم روشنائی

| نوع نصب | در وسط خیابان(Central)مانند شکل ٤ |
|---|---|
| فاصله پایه‌های روشنائی از یکدیگر | ٤٥ متر |
| ارتفاع چراغ از کف زمین | ١٤ متر |
| میزان پیش آمدگی چراغ در خیابان | صفر |
| زاویه چراغ با افق | ٥ درجه |
| نوع لامپ مورد استفاده در چراغها | لامپ ٤٠٠ وات با شار نوری ٤٦ کیلو لومن |
| ضریب نگه داری چراغها | ٠/٦ |



شکل٤-نحوه نصب پایه‌ها(در وسط خیابان )

برای محاسبات روشنائی از نرم افزار محاسبات روشنائی (calculux)استفاده می‌کنیم.اطلاعـات فوق را به نرم افزار فوق داده مقـادیر روشـنائی متوسط ($E_{ave}$)، روشنائی مینیمـم بـه روشـنائی متوسط ($\frac{E_{\min}}{E_{ave}}$)،روشنائی مینیمـم بـه روشـنائی

ماکزیمم ($\frac{E_{min}}{E_{max}}$) و درصد آستانه افزایش ($T_i$) را محاسبه می‌کنیم.نتایج این محاسبات در جدول ۵ آورده شده است.

با توجه به مقادیر حداقلی که برای پارامترهای روشنائی ذکر گردید چراغ اول تمام شرایط یک روشنائی ایده‌آل را تأمین می کند و مقادیر $E_{ave}$ و $\frac{E_{min}}{E_{max}}$ و $\frac{E_{min}}{E_{ave}}$ از مقادیر ذکر شده بزرگتر است.

جدول ۵- محاسبات روشنائی برای یک طرح نمونه با چهار نوع چراغ ٤٠٠ وات

| | | $E_{ave}$ | $\frac{E_{min}}{E_{max}}$ | $\frac{E_{min}}{E_{ave}}$ | $T_i(\%)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | چراغ‌پائین‌بخش نورشکل a -۳ | ۲٤ | ۰/۳۵ | ۰/٦۲ | ۸/۵ |
| ۲ | چراغ‌پائین‌بخش نورشکل b -۳ | ۲۲ | ۰/۳۳ | ۰/٦۲ | ٦/۸ |
| ۳ | چراغ‌پائین‌بخش نورشکل c- ۳ | ۱۸ | ۰/۱۲ | ۰/۳۰ | ۱/۷ |
| ٤ | چراغ‌پائین‌بخش نورشکل d- ۳ | ۳۰ | ۰/۰٤ | ۰/۱۲ | ۰/۷ |

($T_i$ در شرایط نمیزی چراغ حساب شده است)

چراغ دوم نیز شرایط یک روشنائی مناسب را ایجاد می‌کند ولی چراغ سوم بجزء خیرگی هیچ کدام از شرایط یک روشنائی مناسب را تأمین نمی‌کند.

چراغ چهارم یک روشنائی بسیار غیریکنواخت ایجاد می‌کند که مقدار مینیمم آن ۳/٦ لوکس و مقدار ماکزیمم ۹۰ لوکس است.با وجود اینکه مقدار متوسط روشنائی از مقدار اشاره شده در جدول ۱ بالاتر است ولی این سیستم روشنائی،بسیار نامناسب وغیریکنواخت است.با مقایسه جدول ۵ ومنحنی پخش نور ٤ چراغ می‌توان به این نتیجه رسید که منحنی پخش نور چراغهائی که شدت نور ماکزیمم آنها در زوایایی ۵۵ تا ۷۰ درجه قرار دارد ضرائب یکنواختی را بسیار بهتر از چراغهای دیگرکه ماکزیمم شدت نور آنها در زوایای کوچکتر قرار دارند ایجاد می‌کنند علاوه براین در چراغ شماره ۱باز هم می‌توان فاصله بین پایه‌ها را افزایش داد بدون اینکه پارامترهای روشنائی از مقادیر حداقل‌شان کمتر شوند در عوض در چراغهای شماره ۳و٤ لازم است که فاصله بین پایه‌ها را کاهش داد تا بتوان به حداقل پارامترهای روشنائی رسید.

حال با استفاده از چراغهای فوق فاصله بین پایه‌های روشنائی را بگونه‌ای تغییر می‌دهیم تا حداقل شرایط روشنائی را تامین نمایند. یعنی سیستم روشنائی هر چهار شرط ذیل را باهم ایجاد کند.

$$1) E_{ave} \geq 22[Lux]$$

$$2) \frac{E_{min}}{E_{max}} > \frac{1}{6}$$

$$3) \frac{E_{min}}{E_{ave}} > \frac{1}{3}$$

$$4) T_i \leq 10\%$$

در جدول ٦فاصله‌های جدید بین پایه‌های روشنائی که پارامترهای مربوطه را در مقدار حداقل آن تأمین می‌نمایند آورده شده است.سایر شرایط سیستم روشنائی که در جدول ٤ آورده شد بدون تغییر نگه می‌داریم.

جدول ٦- تأثیر تغییر فاصله بین پایه‌ها در پارامترهای روشنائی

| | فاصله جدید بین پایه‌ها (متر) | $E_{ave}$ (Lux) | $\frac{E_{min}}{E_{max}}$ | $\frac{E_{min}}{E_{ave}}$ | $T_i(\%)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۵۰ | ۲۲ | ۰/۳۳ | ۰/٦٤ | ۸/۸ |
| ۲ | ٤۵ | ۲۲ | ۰/۳۳ | ۰/٦۲ | ٦/۸ |
| ۳ | ۳٦ | ۲۳ | ۰/۱۷ | ۰/۳۳ | ۱/۵ |
| ٤ | ۲۸ | ٤۹ | ۰/۱۷ | ۰/۳۳ | ۰/۵ |

از جدول ٦ مشخص است که در چراغهای شماره ۳و٤ پارامترهای یکنواختی از افزایش فاصله بین پایه‌ها جلوگیری می‌کنند.همچنین در چراغهای شماره ۱و۲ نیز اگر مقدار متوسط روشنائی ۲۲ لوکس مد نظر نبود فاصله بین

پایه‌ها را بیشتراز ۵۰ متر (برای چراغ اول) و ٤٥ متر (برای چراغ دوم)می‌توانستیم قرار دهیم.اگر در چراغ شماره ۱فاصله پایه‌ها را به ۷۷ متر برسانیم پارامترهای روشنائی مطابق اعداد ذیل می‌شوند.

| $E_{ave}$ (Lux) | $\frac{E_{min}}{E_{max}}$ | $\frac{E_{min}}{E_{ave}}$ | $T_i$ (%) |
|---|---|---|---|
| ١٤ | ٠/١٧ | ٠/٤٦ | ١١/٢ |

همچنین در چراغ شماره ۲ اگر فاصله بین پایه‌ها را به ٦٥ متر برسانیم پارامترهای روشنائی مطابق اعداد ذیل می‌شوند.

| $E_{ave}$ (Lux) | $\frac{E_{min}}{E_{max}}$ | $\frac{E_{min}}{E_{ave}}$ | $T_i$ (%) |
|---|---|---|---|
| ١٥ | ٠/١٨ | ٠/٤٦ | ٨/٤ |

اعداد فوق نشان می‌دهند که بدون در نظر گرفتن میزان متوسط شدت روشنائی وخیرگی، فاصله پایه‌ها را در چراغ اول تا ۷۷ متر،در چراغ دوم تا ٦٥ متر،در چراغ سوم تا ۳٦ مترو در چراغ چهارم تا ۲۸ متر می‌توان افزایش داد بدون اینکه ضرائب یکنواختی از مقادیر مرزی پایین‌تر بیایند.

بطور کلی چراغهایی که منحنی پخش نور آنها در دسته اول چراغها یعنی قطع شده (Cutoff) قرار دارند می‌توانند در فاصله‌های بزرگ شرایط یکنواختی را بخوبی فراهم آورند.

**محاسبه هزینه طرح روشنائی:**

در محاسبه هزینه طرح‌های روشنائی فقط قیمت چراغ ،پایه و فونداسیون را در نظر می‌گیریم و از سایر هزینه ها مثل کابل یا سیستم زمین و غیره صرف نظر می‌کنیم.

برای محاسبه هزینه طرح‌های روشنائی از اعداد به دست آمده در جدول ٦ استفاده می‌کنیم چرا که با این اعداد تمام شرایط یک روشنائی استاندارد فراهم می‌شود.همچنین قیمت هر یک از چهار چراغ مورد استفاده در این طرح را مطابق جدول ۷ و قیمت مجموع پایه و فونداسیون را ۲۸۰ واحد می‌گیریم.

جدول ۷ – قیمت چراغ های مورد استفاده در طرح

| شماره چراغ | قیمت چراغ |
|---|---|
| ۱ | ۸٥ |
| ۲ | ۸۲ |
| ۳ | ۸۰ |
| ٤ | ۷۸ |

به دلیل اینکه سیستم روشنائی بصورت نصب در وسط خیابان است برروی هر پایه ۲ چراغ قرار می‌گیرد همچنین تعداد کل پایه‌ها براساس اینکه طول مسیر ٥۰۰۰ متر و ممتد است محاسبه گردیده است.

یک چراغ ٤۰۰ وات به همراه وسایل کنترلی و راه انداز حدودا ٤٤۰ وات توان مصرف می‌کند و توان کل مصرفی چراغها با فرض اینکه در شبانه روز بطور متوسط ۱۰ ساعت روشن باشند محاسبه می‌گردد.

جدول ۸- هزینه وتوان مصرفی در طرح نمونه برای هرکدام ازچراغهای شماره۱ تا ٤

| | قیمت کل پایه وچراغ | تعداد کل پایه و چراغ مورد نیاز | قیمت کل طرح | کل توان مصرفی شبکه روشنائی (kw) | انرژی مصرفی شبکه روشنائی در سال (MWh) | انرژی مصرفی شبکه روشنائی در ۲۰ سال (MWh) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ٤٥۰ | ۱۰۰ | ٤٥۰۰۰ | ۸۸ | ۳۲۱/۲۰۰ | ٦٤۲٤ |
| ۲ | ٤٤٤ | ۱۱۱ | ٤۹۲۸٤ | ۹۷/٦۸ | ۳٥٦/٥۳۲ | ۷۱۳۰/٦٤ |
| ۳ | ٤٤۰ | ۱۳۹ | ٦۱۱٦۰ | ۱۲۲/۳۲ | ٤٤٦/٤٦۸ | ۸۹۲۹/۳٦ |
| ٤ | ٤۳٦ | ۱۷۸ | ۷۷٦۰۸ | ۱٥٦/٠٤ | ٥۷۱/۷۳٦ | ۱۱٤۳٤/۷۳ |

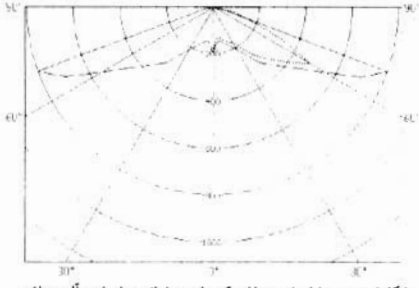
جدول فوق نشان می‌دهد که در صورت استفاده از چراغ دوم به جای چراغ اول ۱۱ درصد افزایش مصرف انرژی خواهیم داشت با وجود اینکه منحنی پخش نور این دو چراغ بسیار به هم نزدیک است ولی این تفاوت اندک باعث می‌شود که علاوه بر هزینه اولیه طرح،در میزان انرژی مصرفی نیز صرفه جوئی گردد.همچنین کاهش تعداد چراغها به هنگام استفاده از چراغ اول،هزینه های بهره برداری از

سیستم روشنائی مانند تعمیر،تعویض وشستشوی چراغها را نیز کاهش می‌دهد.
به هنگام استفاده از چراغ سوم ۳۹ درصد افزایش مصرف انرژی نسبت به چراغ اول خواهیم داشت همچنین هزینه اولیه طرح نیز نسبت به چراغ اول ۳۶ درصد افزایش می‌یابد با وجود اینکه چراغ سوم از چراغ اول ارزانتر است.در چراغ چهارم ۷۸ درصد افزایش مصرف انرژی و۷۲ درصد افزایش هزینه اولیه طرح نسبت به چراغ اول خواهیم داشت.
از روی این مقایسه می‌توان به این نتیجه رسید که چراغ اول بسیار اقتصادی ترو کم هزینه‌تر نسبت به سه چراغ دیگر است.
اگر قیمت یک کیلو وات ساعت انرژی را۰/۰۱۵ واحد با نرخ تورم ۵٪ در سال در نظر بگیریم کل هزینه‌ای که هر سیستم روشنائی در طول ۲۰ سال به آن نیازمند است(با فرض اینکه به تعمیر،تعویض وشستشو چراغ نیاز ندارد)برابر مقادیر ذیل برای هرکدام از چراغهای فوق می‌باشد.

جدول۹

| | |
|---|---|
| چراغ اول | ۱۹۲۱۳۷ |
| چراغ دوم | ۲۱۲۶۰۶ |
| چراغ سوم | ۲۶۵۶۸۰ |
| چراغ چهارم | ۳۳۹۵۱۱ |

**۵- منحنی پخش نور چراغ نمونه:**
با توجه به مطالبی که بیان شد چراغی برای روشنائی معابر مناسب است که بتواند با بزرگ شدن فاصله بین پایه‌ها تمام شرایط یک روشنائی مناسب را تأمین نماید.با بزرگ شدن فاصله بین پایه‌ها، تجهیزات لازم برای سیستم روشنائی کم شده ودر نتیجه هزینه شبکه روشنائی وهمچنین انرژی مصرفی آن کم می‌شود.بر همین اساس بدنبال منحنی پخش نوری هستیم که بتواند در فاصله‌های بزرگ،روشنائی مناسبی را ایجاد نماید.منحنی پخش نوری چنین ویژگی خواهد داشت که شبیه به منحنی نوع cut off باشد وشدت ماکزیمم نور در زوایای ۵۵ تا ۷۰ درجه اتفاق بیفتد.با توجه به رابطه٤ می‌توان برای شدت نور یعنیI تابعی بر حسب $\theta$و $\phi$یافت که درزوایای مورد نظر ماکزیمم شدت نوررا داشته باشد.با فرض اینکه چراغ مورد نظر در ارتفاع ١٤متری نصب شود ولامپ آن باشارنورانی ٤٦ کیلولومن مقدار روشنائی متوسطی ایجاد کند مقادیرI برحسب $\theta$و $\phi$بدست می‌آید.این اعداد را به نرم افزارcalculux به عنوان یک چراغ جدید اضافه می‌کنیم که منحنی شکل ۵ بدست می‌آید.
البته طراحی وساخت چنین چراغی که بتواند در زاویه ۷۰درجه شدت نوری برابر۸۰۰ کاندلا را ایجاد کند نیاز به تکنولوژی روز در پرداخت سطح فلزات وساخت رفلکتور دارد.



شکل۵-منحنی پخش نور چراغی که برای روشنائی معابر ایده آل می‌باشد.

## تست چراغ:

چراغ فوق را در طرح نمونه که مشخصات آن در جداول۳و٤آورده شد استفاده می‌کنیم البته با این تفاوت که زاویه چراغ با افق راصفر می‌گیریم.مقادیر $E_{ave}$ و $\frac{E_{min}}{E_{max}}$ و $\frac{E_{min}}{E_{ave}}$ و $T_i$رابرای فاصله‌های مختلف پایه‌های روشنائی از هم محاسبه می‌کنیم.این مقادیر در جدول۱۰ نشان داده شده است.

جدول۱۰-پارامترهای روشنائی بدست آمده از چراغ نمونه برای طرح نمونه

| فاصله‌پایه‌ها از هم(متر) | $E_{ave}$ (Lux) | $\frac{E_{min}}{E_{max}}$ | $\frac{E_{min}}{E_{ave}}$ | $T_l$ (%) |
|---|---|---|---|---|
| ٤٠ | ٢٣ | ٠/٥٧ | ٠/٨٥ | ٦/٩ |
| ٤٥ | ٢١ | ٠/٦١ | ٠/٨٤ | ٧/٤ |
| ٥٠ | ١٩ | ٠/٦٠ | ٠/٨١ | ٨ |
| ٥٥ | ١٧ | ٠/٥٦ | ٠/٨٠ | ٨/٦ |
| ٦٠ | ١٥ | ٠/٤٩ | /٧٥ | ٩/٢ |
| ٦٥ | ١٤ | ٠/٤٣ | /٧١ | ٩/٧ |
| ٧٠ | ١٣ | ٠/٣٥ | ٠/٦٢ | ١٠/٣ |
| ٧٥ | ١٢ | ٠/٢٨ | ٠/٥٤ | ١٠/٩ |
| ٨٠ | ١٢ | ٠/١٩ | ٠/٣٩ | ١١/٤ |
| ٨٢ | ١١ | ٠/١٧ | ٠/٣٦ | ١١/٦ |

همانطور که از جدول۱۰مشخص است این چراغ تا ۸۲مترنیز می‌تواند پارامترهای یکنواختی را در حداقل مقادیرشان ایجاد کند ولی مقدار خیرگی از ۱۰درصد بالا بوده ومقدار متوسط روشنائی کم است.برای حل این دو مشکل می‌توان از لامپی با شار نورانی بالا مثلا ۹۰ کیلو لومن برای افزایش مقدار متوسط روشنائی وبالا بردن ارتفاع نصب چراغ برای کاهش خیرگی استفاده نمود.البته با تغییر دادن حباب چراغ نیز می‌توان از میزان خیرگی سیستم روشنایی کاست.سیستم روشنائی که با این چراغ برقرار گردد بدلیل بالا بودن فاصله بین پایه‌های روشنائی هزینه بسیار کمی به همراه خواهد داشت.متأسفانه به دلیل در اختیار نداشتن قیمت چراغی مشابه با این چراغ وپایه‌هایی با ارتفاع بالاتر، قادر به محاسبه هزینه سیستم روشنائی که با استفاده از این چراغ برقرار می‌گردد نیستیم.اما به دلیل اینکه فاصله پایه‌ها تقریبا ٦٠٪ نسبت به چراغ شماره ۱ افزایش داشته استفاده از چنین چراغی بسیار با صرفه‌تر و کم هزینه‌تر خواهد بود.

## ٦-نتیجه‌گیری:

در این مقاله نشان دادیم چراغی را برای روشنائی معابر باید استفاده نمود که منحنی پخش نور آن دارای ویژگیهای خاصی باشد. متأسفانه عدم توجه به این مسأله باعث شده که طراحان وسازندگان چراغ اقدام به ساخت چراغهایی نمایند که هیچ تناسبی برای استفاده در سیستم‌های روشنائی معابر ندارد.مسلما وقتی چراغهای ساخته شده توسط سازندگان ویژگیهای لازم یک چراغ خیابانی را نداشته باشد و متولیان سیسنم‌های روشنائی نیز چنین توصیه‌ای به سازندگان ننمایند شرکتهای توزیع ناگزیر به استفاده از چراغهای نامناسب برای روشنائی معابر می‌شوند وبرای رسیدن به یک روشنائی استاندارد مجبور می‌شوند که هزینه بسیار بالائی پرداخت نمایند.چرا که یا باید فاصله بین پایه‌های روشنائی را کاهش داد یا تعداد چراغ برروی پایه‌های روشنائی را افزایش داد که هر دو راه حل با افزایش هزینه طرح روشنائی وافزایش انرژی مصرفی در سیستم روشنائی همراه خواهد بود.این مسئله لزوم انجام تحقیقات ومطالعات وسیع‌تری برروی ساخت چراغهای مناسب روشنائی معابر را نشان می‌دهد.

## ۷-مراجع:


1)R.H.Simons,A.R.Bean,"Lighting engineering, Applied calculation", Architectural Press, An imprint of Butterworth-Heinmann. Jordan Hill, Oxford,2001

2)C.R.Bayliss "Transmission and distribution electrical engineering", Jordan Hill, Oxford, second edition,1999

۳) دکتر حسن کلهر،"مهندسی روشنائی"، چاپ یازدهم،۱۳۷۸