

بسمه تعالی

پیشگفتار:

مهندسی روشنایی با استفاده از چراغ های برقی در جهان بیش از یک قرن سابقه دارد. مهندسی روشنایی دامنه گسترده ای دارد. علاوه بر مهندسی برق، بیولوژی، روان شناسی و زیبا شناسی را نیز شامل می شود و به این دلیل آمیخته ای از مهندسی و علوم هنر است بدیهی است که بررسی کامل موضوعی به این وسعت در چنین جزوه ای به راحتی ممکن نیست. لذا هدف از تهیه این جزوه آشنایی با اصول علمی مهندسی روشنایی است. در فصل اول این جزوه به بررسی تاریخچه ی پیدایش مهندسی روشنایی می پردازیم. در فصل دوم تعاریف و مفاهیم روشنایی، در فصل سوم به شرح ساختمان و طرز کار انواع لامپهای برقی و در فصل چهارم و پنجم، روش نقطه به نقطه و روش شار نوری را برای محاسبه ی روشنایی بررسی می کنیم.

لازم به ذکر است، این جزوه با تلاش و همکاری دانشجویان رشته برق صنعتی دانشکده فنی تبریز در نیمسال دوم ۹۲-۹۱ برای استفاده دانشجویان علاقه مند، تهیه گردیده است. با امید به اینکه، جزوه حاضر مفید واقع شود. با توجه به عدم فرصت کافی برای ویرایش کامل از دوستانی که این جزوه را مطالعه می نمایند خواهشمند است ضمن مطالعه دقیق لیست غلط های تایپی و دیگر خطاهای موجود را برای تصحیح به آدرس الکترونیکی A_KARIMPO2002@YAHOO.COM ارسال نمایند.

با تشکر کریم پور

بهار ۱۳۹۲



فصل اول

مقدمات:

۱-۱ لزوم آموزش مهندسی روشنایی:

بدون شک مهم ترین حس ما بینایی است. در دوران قدیم مردم بیشتر اوقات زندگی خود را در فضاهای باز می گذرانند و از نور خورشید استفاده می کردند. لذا اجزای دستگاه بینایی انسان طی سالیان دراز خود را با نور خورشید وفق داده است. اما امروزه شرایط فرق کرده است مردم بیشتر اوقات خود را در جاهایی می گذرانند که با نور مصنوعی روشن می شوند. متأسفانه دقت کافی در طرح روشنایی این محل ها به کار گرفته نمی شود که موجب گذاشتن اثرات بدی بر روی چشم استفاده کنندگان شده است.

روشنایی مناسب و رضایت بخش دارای خصوصیات زیر است:

- ۱) نور از نظر توزیع فرکانسها مطلوب است.
 - ۲) درخشندگی سطوح طوری است که سبب چشم زدگی نمی شود.
 - ۳) نور کافی است.
 - ۴) سایه های مزاحم وجود ندارد.
- روشنایی رضایت بخش و مطلوب به انسان کمک می کند، تا بازدهی کاری افزایش و همچنین با کاهش تصادف های ناشی از نور غیر کافی ، ایمنی را نیز بالا می برد.

۲-۱ ماهیت نور:

تاکنون تئوری های زیادی در باره ماهیت نور بین شده است که معروفترین آنها عبارتند از:

الف) تئوری ذره ای (corpuscular theory): این تئوری اصلاح شده نظریه یونانی های قدیم است که در ابتدا عقیده داشتند که نور از ذرات خیلی کوچک تشکیل شده است که از چشم خارج می شوند و در برخورد به اشیاء سبب رؤیت آنها می شوند. ارسطو این نظریه را اصلاح کرد که نور از اجسام گداخته ساطع می شود و در ورود به چشم، سبب بینایی می شود. بعدها نیوتون هم این نظریه را پذیرفت. بطور خلاصه این تئوری

۱. جسم نورانی انرژی تشعشعی را به صورت ذره از خود ساطع می کند.
۲. این ذرات به دنبال هم به شکل خط مستقیم پرتاب می شوند.
۳. این ذرات به شبکیه چشم اثر کرده و اعصاب بینایی را تحریک می کند و در نتیجه احساس نور پدید می آید.

ب) تئوری موجی (wave theory): در سال ۱۶۹۰، هایگنز این تئوری را ارائه داد که بر اصول زیر متکی است:

۱. نور از نوسانات و ارتعاشات مولکولی در جسم نورانی ناشی می شود.
۲. این ارتعاشات به صورت موجی می باشد (مانند امواج آب)
۳. نوسانات به صورت موج در اتر منتشر شده و در ورود به چشم به شبکیه چشم اثر کرده و اعصاب بینایی را تحریک می کند و در نتیجه احساس نور پدید آمده و سبب بینایی می گردد.

در سال ۱۸۸۸ با کشف امواج الکترومغناطیس توسط هرتز، امواج نورانی به صورت قسمت کوچکی از طیف وسیع امواج الکترومغناطیس شناخته شد.

در اوایل قرن حاضر برخی نتایج آزمایشی نظیر اثر فتوالکتریک بدست آمد که با تئوری موجی نور قابل توجیه نبود. لذا نظریه کوانتومی پیشنهاد گردید.

ج) تئوری کوانتومی (Quantum theory): این نظریه که توسط پلانک ارائه شده، بیان می کند که انرژی نورانی به صورت ذرات کوچک و مجزا به نام فوتون تولید یا جذب می شود. انرژی هر فوتون نور از رابطه $W=h\nu$ ، معین می شود. در این رابطه h عدد ثابت پلانک برابر 6.625×10^{-34} ژول ثانیه و ν (نو، فرکانس نور بر حسب سیکل بر ثانیه است. برای ساطع شدن انرژی در اثر فتوالکتریک فرکانس بایستی به حد کافی بالا باشد تا فوتون نور، انرژی کافی برای آزاد ساختن الکترون و دادن انرژی حرکتی به آن داشته باشد.

توضیح چگونگی تولید نور در این تئوری به این قرار است که الکترونها از مدارهای داخلی به مدارهای خارجی بر اثر اخذ انرژی جهش می کنند. این وضع ناپایدار است و در حدود 10^{-8} تا 10^{-7} ثانیه الکترونها به مدار خود برمی گردند. اگر الکترون در مدار بزرگتر قرار داشته باشد دارای انرژی W_2 و اگر در مدار کوچکتر قرار داشته باشد دارای انرژی W_1 است و در نتیجه

$$\nu = \frac{W_2 - W_1}{h}$$

فرکانس نور ساطع شده از فرمول زیر قابل محاسبه است:

به طوری که ملاحظه می کنید فرکانس نور ساطع شده، تنها به اختلاف انرژی الکترون در دو حالت بستگی دارد.

مثال ۱-۱: انرژی یک فوتون نور در طول موج 0.5 میکرون یا $10^{-6} \times 0.5$ متر، یا فرکانس $10^{14} \times 6$ هرتز (بین دو رنگ آبی و سبز) چقدر است؟ برای انتشار توان نورانی یک وات در این طول موج تعداد فوتونهایی که در یک ثانیه عبور می کنند، چقدر است؟

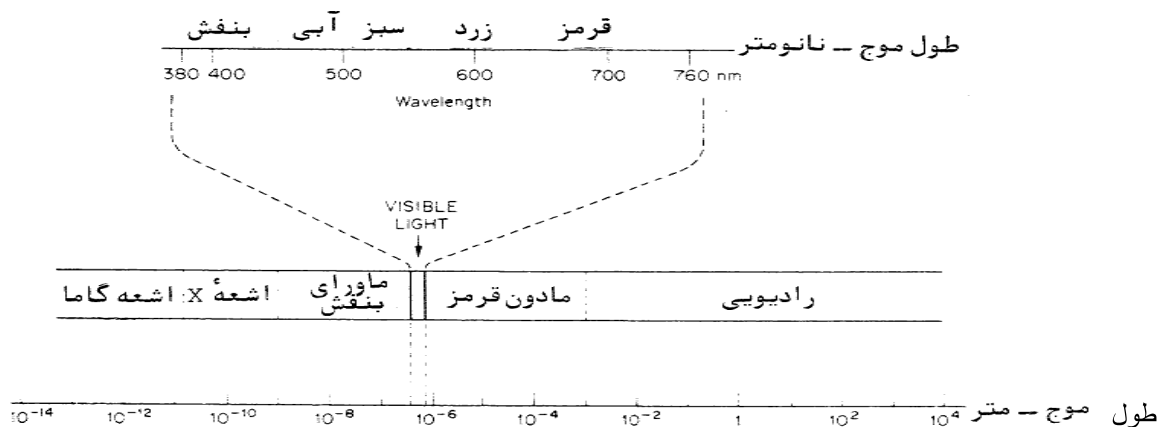
$$W = h \nu = 6.62 \times 10^{-34} \times 6 \times 10^{14} = 3.975 \times 10^{-19} \text{ ژول}$$

$$\frac{1}{3.975 \times 10^{-19}} = 2.516 \times 10^{18}$$

تعداد فوتونهای ساطع شده در ثانیه از این قرار است:

۳-۱ طیف امواج الکترومغناطیسی و نور مرئی:

چشم انسان فقط نورهای مرئی را تشخیص می دهد. این نورها دارای طول موج مشخص هستند که در نمودار زیر نشان داده شده اند.



شکل ۱ - ۱ طیف امواج الکترومغناطیسی

برای طول موج از واحد میکرون (10^{-6} متر)، یا نانومتر (10^{-9} متر)، یا آنگستروم (10^{-10} متر)، استفاده می شود. همان طور که ملاحظه می کنید طول موجهای بین 0.380 تا 0.760 میکرون نورهای مرئی را شامل می شود:

0.380	→	0.760 μm
380	→	760 nm
3800	→	7600 Å

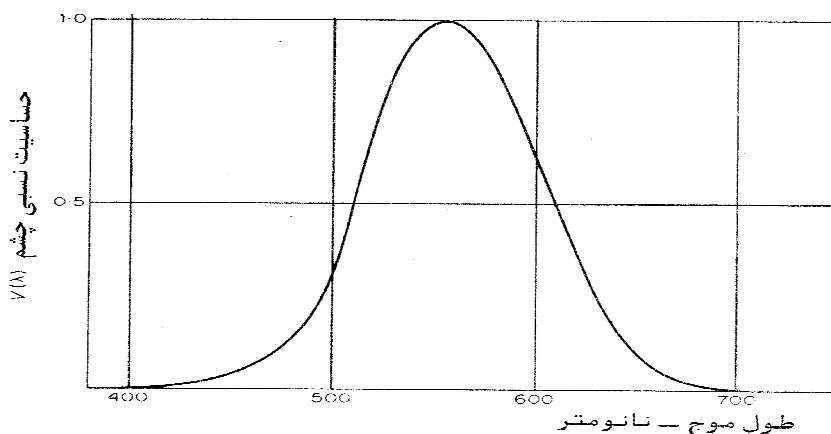
۴-۱ خواص تشعشعات مرئی: اشعه های مرئی دارای دو خاصیت مهم زیر هستند.

۱- قابل رویت (دیدن) می باشد.

۲- بسته به طول موج اشعه مرئی بصورت رنگی دیده می شوند.

۵-۱ حساسیت چشم انسان:

تشعشعات خورشید که طول موج آن ها از ۲۹/۰ میکرون کمتر است توسط لایه ازون و تشعشاتی که طول موجشان از ۱/۴ میکرون بیشتر است توسط بخار آب و گاز کربنیک هوا جذب می شود. با توجه به طیف نور مرئی و نمودار حساسیت چشم انسان که در شکل زیر نشان داده شده است . این حقیقت پیداست که چشم انسان طی قرون متمادی خود را با شرایط محیط زندگی تطبیق داده است.



شکل ۲ - ۱ منحنی حساسیت چشم انسان

همان طور که ملاحظه می کنید چشم انسان در طول موج ۰.۵۵۵ میکرون (رنگ زرد) بیشترین حساسیت را دارد و روشن تر از دیگر رنگ ها به نظر می رسد. البته لازم به ذکر است که امواج غیر قابل رویت نیز روی چشم انسان تاثیر دارند و در آن حرارت ایجاد می کنند و مضر هستند. به همین دلیل است که گفته میشود مثلاً "در مقابل آنتن موج بر نایستید".

از این منحنی برای محاسبه شار نور مرئی تولید شده توسط لامپ ، استفاده می شود.

۶-۱ انتشار نور:

در محیط های یکنواخت امواج نورانی در خط راست حرکت می کنند. در محیط های غیر هادی ($\sigma = 0$) انتشار موج بدون تضعیف صورت می گیرد. اما در محیط های هادی ($\sigma \neq 0$) انتشار با تضعیف دامنه موج

صورت می گیرد. سرعت انتشار موج در هر محیط بستگی به ضرایب نفوذ پذیری الکتریکی ϵ و نفوذ پذیری مغناطیسی μ و ضریب هدایت σ دارد. در محیط های غیر هادی سرعت انتشار با رابطه زیر بیان می شود:

$$V = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$$

در محیط خلاء: $\epsilon = \epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}$ فاراد بر متر $\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ هانری بر متر

در نتیجه سرعت انتشار نور در خلاء چنین است:

$$V = \frac{1}{\sqrt{4\pi \times 10^{-7} \times \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}}} = 3 \times 10^8 \text{ متر بر ثانیه}$$

در غالب محیط های عملی $\mu = \mu_0$ است بنا براین سرعت انتشار به صورت زیر کاهش می یابد:

$$V = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

رابطه ی طول موج و فرکانس نیز به قرار زیر است: $v = \lambda f$

در رابطه ی بالا λ طول موج که فاصله ای است که طی آن یک موج در حال انتشار یک سیکل کامل را طی می کند و f فرکانس است.

توجه: فرکانس موج توسط منبع نور تعیین می شود و در محیط های مختلف تغییر نمی کند.

مثال (۱-۲) نور قرمزی به طول موج ۷۵۰ میکرون در خلاء منتشر می شود فرکانس آن را تعیین کنید در صورتی که این نور وارد شیشه با ضریب نفوذ پذیری نسبی ۲/۲۵ گردد طول موج و فرکانس آن چگونه

$$V = \frac{v}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{0.75 \times 10^{-6}} = 4 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

تغییر می کند؟

$$v = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{2.25}} = 2 \times 10^8 \frac{m}{s}$$

در شیشه فرکانس تغییر نمی کند و سرعت به صورت زیر است:

$$\lambda = \frac{2 \times 10^8}{4 \times 10^{14}} = 0.5 \times 10^{-6} m$$

طول موج برابر است با:

۷-۱ انعکاس و انتقال نور در برخورد به سطح مشترک دو محیط مختلف:

در صورتی که نور به سطح مشترک کاملاً "صاف بین دو محیط مختلف (دارای پارامترهای متفاوت) بتابد، قسمتی از آن منعکس می شود و قسمتی دیگر از سطح مشترک عبور می کند و به محیط دوم منتقل می شود. میزان انتقال و انعکاس به پارامترهای دو محیط، زاویه ی تابش و پلاریزاسیون موج بستگی دارد. و آنچه در محاسبات روشنایی موثر است بخشی از نور است که در برخورد به سطوح سقف، دیوارها و کف به سطح کار بر می گردد پس ضریب انعکاس سقف، دیوارها و کف در محاسبات روشنایی موثر است .

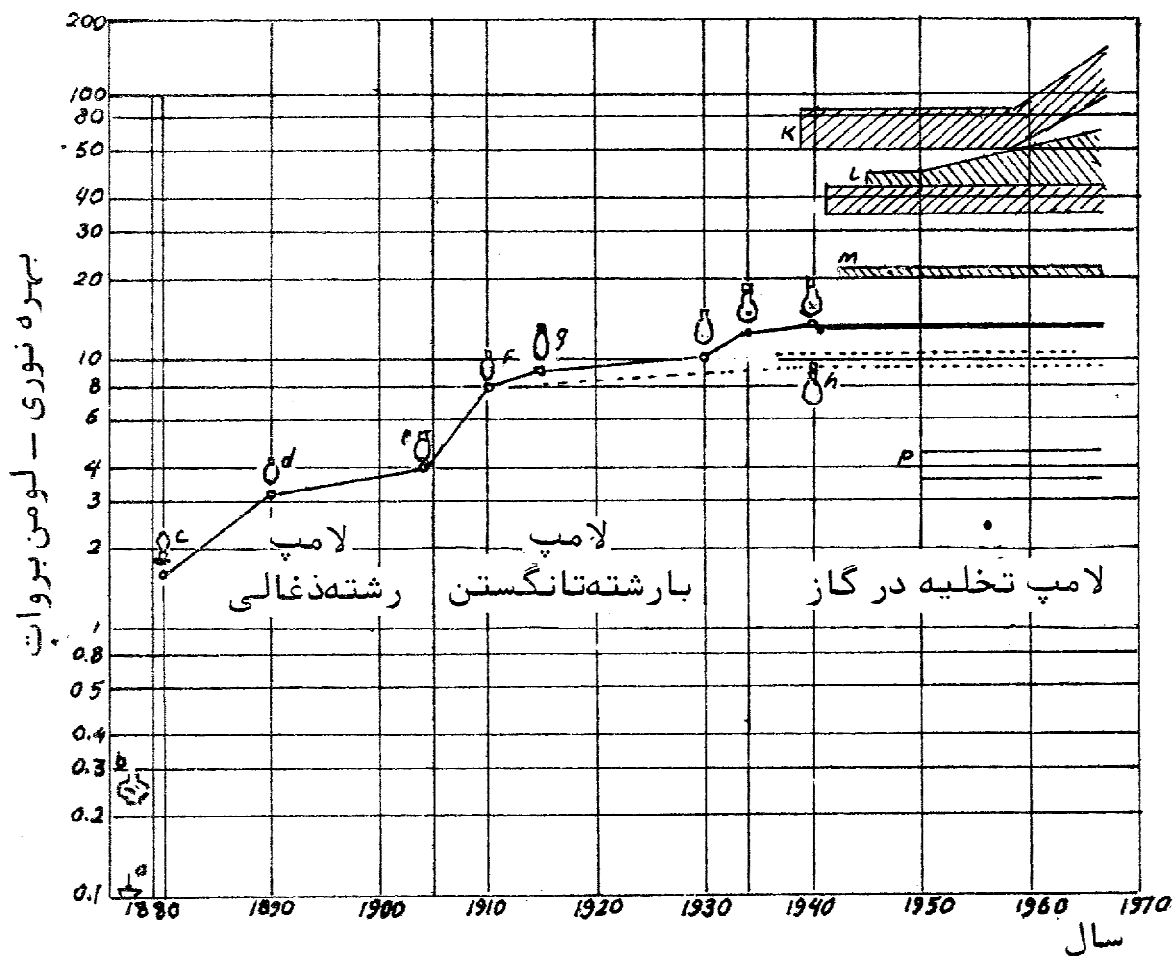
بنابراین در جدول ۱-۲ صفحه بعد درصد انعکاس سطوح مختلف آورده شده است.

سطح	درصد انعکاس	رنگ سطح رنگ شده	درصد انعکاس
گچ خشک (تازه)	۸۰	سفید	۸۰
گچ خشک (کهنه)	۶۵	زرد	۶۵
سیمان خشک (تازه)	۴۵	صورتی روشن	۵۰
سیمان خشک (کهنه)	۲۰	خاکستری روشن	۵۰
آجر قرمز	۱۰	آبی روشن	۴۵
آجر سفید	۲۵	سبز روشن	۴۵
آسفالت با اندود قیر	۱۲	قرمز روشن	۴۰
سنگ مرمر سفید	۸۰	خاکستری تیره	۱۵
آلومینیوم پرداخت شده	۷۵	آبی تیره	۱۵
آلومینیوم کدر	۵۵	سبز تیره	۱۵
کاشی سفید	۸۰	قرمز تیره	۱۵
شیشه روشن ۲ میلیمتری	۸	قهوه ای تیره	۱۵
شیشه مات ۳ میلیمتری	۱۲	سیاه	۵
شیشه شیری ۳ میلیمتری	۵۵		
آینه	۹۰		

جدول ۱ - ۲ ضرایب انعکاس توان m^2 برای سطوح مختلف (مقادیر میانگین)

۸-۱ تاریخچه ی پیدایش و پیشرفت مهندسی روشنایی:

نمودار زیر به طور خلاصه تاریخچه ی مهندسی روشنایی را نشان میدهد:



در شکل بالا: a شمع، b شمع پارافینی، c لامپ ادیسون، d لامپ با رشته ی زغالی، e لامپ با رشته ی زغالی با پوشش فلزی، f لامپ تنگستنی با رشته ی خطی در خلاء، g با رشته ی تنگستنی مارپیچ در گاز، h لامپ رشته ی تنگستن با رشته ی مارپیچ در خلاء، i لامپ با رشته ی تنگستنی مارپیچ مضاعف در گاز، j لامپ با بخار جیوه، k لامپ سدیم، L لامپ فلورسنت، m لامپ آمیخته ی رشته دار و بخار جیوه و n لامپ الکترو لومینانس است.

مشاهده می شود بهره ی منابع نوری در طی یک قرن پیوسته در حال افزایش بوده و از حدود ۱/۵ لومن بر وات به حدود ۱۵۰ لومن بر وات رسیده است.

۹-۱ عوامل اصلی در رؤیت و ارزیابی کمی آنها:

عوامل اصلی در رؤیت عبارت از چهار عامل هستند:

- عامل اول اندازه ی جسمی است که رؤیت می شود. هرچه جزئیات جسم کوچکتر و دقیق تر باشد و یا فاصله ی آن از چشم بیشتر شود رؤیت مشکل تر می شود.
- عامل دوم کنتراست که مربوط به اختلاف روشنی بین جسم و اطراف آن است و هرچه اختلاف آن کمتر شود رؤیت مشکل تر می شود.
- عامل سوم میزان روشنایی است.
- عامل چهارم نیز مدت زمان رؤیت است.

پرسش ها و سئوالات فصل اول:

۱. علت نیاز به مهندسی روشنایی چیست؟
۲. خصوصیات روشنایی رضایت بخش کدام است؟
۳. تئوری های ماهیت نور را نام برده و به طور خلاصه توضیح دهید.
۴. در نظریه کوانتم رابطه انرژی و فرکانس را بیان کنید.
۵. طیف امواج الکترو مغناطیس و امواج نور مرئی را رسم کنید.
۶. منحنی حساسیت چشم را رسم کنید و کاربرد آن را بیان کنید.
۷. سرعت انتشار نور در یک محیط به چه عواملی بستگی دارد؟ مقدار آن را در خلاء محاسبه نمائید.
۸. فرکانس موج به چه چیزی بستگی دارد؟
۹. اثر انعکاس نور در مهندسی روشنایی چیست؟
۱۰. عوامل موثر در رویت اشیاء توسط چشم کدامند؟ توضیح دهید.

فصل دوم:

تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

برای مطالعه روشنایی واحدهای کمی لازم است که در ادامه، به تعریف آنها می‌پردازیم.

۱-۲ جریان نور (شار نورانی): (Luminous flux)

مجموع کل امواج نورانی که در یک ثانیه از منبع نوری خارج می‌شود را جریان نور می‌گویند. از آنجائیکه انرژی بر ثانیه را توان می‌نامند، بنابراین جریان نورانی را توان نورانی نیز می‌گویند.

توان نورانی را با Φ نشان می‌دهند و واحد آن لومن (Lumen) است، که با Lm نشان داده می‌شود.

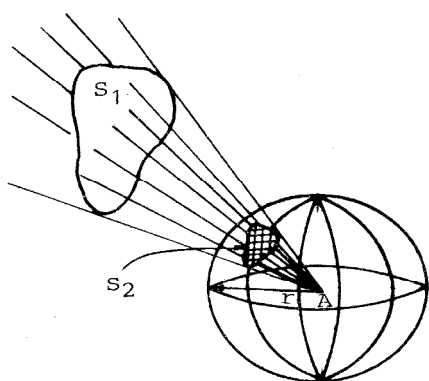
تعریف لومن: یک لومن عبارت است از شار نوری که از جسم کاملاً تیره (سیاه) به سطح مقطع 0.5805 میلی‌متر مربع، در درجه حرارت 2042°K ساطع می‌گردد.

یا به عبارت دیگر یک لومن برابر است با انرژی نورانی معادل $\frac{1}{680}$ انرژی الکتریکی که طول موجی با حداکثر حساسیت را بوجود آورد.

$$1\text{Lm} = \frac{1}{680} W \quad (\lambda = 5550 \text{ A}^\circ)$$

۲-۲ شدت نور (Luminous Intensity):

شدت نور، عبارت است از مقدار نوری که در یک جهت یا زاویه مشخص وجود دارد. و با حرف I نشان داده می‌شود.



شکل ۱-۲ تعیین زاویه فضایی سطح S_1 از نقطه A

جهت بررسی چگونگی پخش نور در زوایای مختلف احتیاج به تعریف زاویه فضایی داریم.

تعریف زاویه فضایی: زاویه ای است که توسط شعاع های کره با سطح آن ساخته می شود.

اندازه زاویه فضایی برابر نسبت سطح به مجذور شعاع یا مجذور فاصله سطح از مرکز کره است. واحد زاویه فضایی استرادیان می باشد.

تعریف استرادیان: برابر زاویه فضایی است که در سطح کره به شعاع یک متر، یک سطح یک متر مربع جدا می سازد. و آن را با St نشان می دهیم.

نکته ۱: سطح هر کره برابر 4π استرادیان می باشد.

نکته ۲: زاویه فضایی یک مخروط با زاویه راس α را اگر محاسبه کنیم ، خواهیم داشت :

$$\Omega = \frac{s}{a^2} = 4\pi \sin^2 \frac{\alpha}{2}$$

$$I = \frac{\phi}{\Omega} = \frac{Lm}{St}$$

رابطه شدت نور با شار نوری و زاویه فضایی:

واحد شدت نور: واحد شدت نور شمع است که با حروف cd نشان داده می شود.

واحدهای مختلف شدت نور، که به ترتیب زمانی تعریف شده اند عبارتند از:

- شمع : ابتدا شدت نور یک شمع استاندارد در صفحه افق به عنوان واحد شدت نور مورد استفاده

قرار گرفت که با k مشخص می شد

- شمع هفتر $HK(Hefner kerte)$: در سال های بعد ، شدت نور لامپ هفتر در صفحه افق به

عنوان واحد شدت نور مورد استفاده قرار گرفت که با Hk مشخص می شد (لامپ روغن سوز با

سوخت استات آمیل ساخته شده در سال ۱۸۸۴)

- شمع بین المللی (International cordek) lc: در سال ۱۹۱۹ شمع بین المللی مورد قبول واقع شد و بر اساس آن ، لامپ های استاندارد الکتریکی با رشته ذغالی ساخته شدند که شدت نور آنها ، در صفحه افق ، مضرب معینی از شمع بین المللی بود.
- کاندیلا (Candela): در سال ۱۹۴۸ واحد جدیدی به نام کاندیلا مورد قبول واقع شد که هنوز هم این استاندارد معمول است.

تعریف کاندیلا: هر گاه در زاویه فضایی واحد (یک استرادیان) جریان نوری برابر یک لومن داشته باشیم، شدت نور منبع یک شمع (کاندیلا) می باشد. به عبارت دیگر ، یک کاندیلا برابر $\frac{1}{60}$ شدت نور ساطع شده از یک سانتی متر جسم سیاه (کاملاً تیره) در درجه حرارت ۲۰۴۲ کلوین در جهت عمود بر سطح می باشد.

$$1\text{cd}=0.98\text{lc}=1.09\text{Hk} \quad \text{رابطه بین واحدهای مختلف شدت نور:}$$

اگر شدت نور یکنواخت نباشد و تابع زاویه فضایی یعنی $I(\Omega)$ کاندیلا باشد، شار نورانی؟ به این صورت

$$\Phi = \int I(\Omega) d\Omega \quad \text{محاسبه می شود:}$$

در رابطه بالا Ω زاویه فضایی است. این رابطه را به صورت مشتق نیز می توان نوشت:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

مثال (۱-۲) یک لامپ دارای شدت نور یکنواخت ۱۰۰ کاندیلاست. کل شار نورانی لامپ چقدر است؟

در صورتی که این لامپ به ازای هرواوت توان ۱۵/۵ لومن شار نورانی تولید کند، لامپ چند وات است؟

$$\Phi = \int_0^{4\pi} 100 d\Omega = 1256.64 \text{ لومن}$$

$$1256.64 \div 15.5 = 81.07 \text{ وات}$$

مثال ۲-۲) یک چراغ برق مجهز به منعکس کننده شدت نور برابر ۲۸۰ کاندیلا فقط در فضای مخروطی شکل با زاویه راس ۱۰ درجه تولید می کند. شار نوری این چراغ را حساب کنید ($\alpha = 5^\circ$)

$$\Omega = 4\pi \sin^2 \frac{\alpha}{2} = 0.0239 \quad \text{استرادیان}$$

$$\Phi = 280 \times 0.0239 = 6.7 \quad \text{لومن}$$

۳-۲ بهره نوری و بهره الکتریکی لامپ:

یک لامپ با دو انرژی سر و کار دارد:

(۱) انرژی مصرفی، انرژی الکتریکی بر حسب وات است و با P نشان می دهیم.

(۲) انرژی تولیدی (خروجی) که به آن انرژی نورانی می گویند و با Φ نشان دهند.

با توجه به این که در لامپ های الکتریکی از توان ورودی، مقدار قابل ملاحظه ای به حرارت و مقداری نیز به تشعشع الکترومغناطیسی تبدیل می شود $\Phi_e = \int_0^\infty \phi_e(\lambda) d\lambda$ و تنها بخش کوچکی از طیف الکترومغناطیسی مربوط به نور مرئی می باشد، لذا دو نوع بهره نوری و الکتریکی داریم.

تعریف بهره نوری: نسبت شار نورانی به توان ورودی لامپ را بهره نوری می نامیم و بر حسب لومن بر

$$\text{وات اندازه گیری می کنیم.} \quad \text{بهره نوری} = \frac{\text{انرژی تولیدی}}{\text{انرژی الکتریکی}}$$

$$\eta_l = \frac{\Phi}{P} \left[\frac{Lm}{W} \right]$$

لازم به ذکر است که حداکثر مقدار η_l برابر ۶۸۰ لومن بر وات است که از یک لامپ فرضی که هیچ گونه تلفات ندارد و همه تشعشعات آن در طول ۵۵۵ / ۰ میکرون صورت می گیرد به دست می آید.

تعریف بهره الکتریکی: بهره الکتریکی لامپ را به صورت نسبت توان نوری خروجی بر حسب وات بر توان ورودی الکتریکی بر حسب وات تعریف می کنیم. ارزش تبدیل را ۶۸۰ لومن بروات منظور می کنیم:

$$\text{بهره الکتریکی} = \frac{\text{انرژی نورانی معادل انرژی الکتریکی}}{\text{انرژی الکتریکی}} \times 100$$

$$\eta_e = \frac{\phi/680}{w} \times 100$$

مثال ۲-۴) در یک لامپ فرضی توان الکتریکی ورودی ۴۰ وات است که نیمی از آن به حرارت و نصف دیگر به نور مرئی در طول موج ۵۱۰/۵ میکرون تبدیل می شود. بهره نوری و بهره الکتریکی لامپ چقدر است؟

$$40 \div 2 = 20$$

$$V(\lambda=0.51)=0.5$$

از منحنی حساسیت چشم شکل ۲-۱

$$\phi = \phi_e \times V(\lambda) = 20 \times 0.5 \times 680 = 6800 \quad \text{لومن} \quad \text{شار نوری خروجی برابر است با:}$$

$$\eta_l = 6800 \div 40 = 170 \quad \text{لومن بر وات} \quad \text{بهره نوری برابر است با:}$$

$$\eta_e = \frac{6800/680}{40} 100 = 25\% \quad \text{بهره الکتریکی لامپ برابر است با:}$$

۲-۴ شدت روشنایی یا چگالی شار روشنایی (Illuminance (Eclairnement :

شدت روشنایی یا چگالی شار روشنایی یک سطح، میزان توان نورانی تابیده بر واحد سطح را نشان می دهد

و با حرف E مشخص می شود و واحد آن لومن بر متر مربع یا لوکس Lux است. واحد دیگر آن ft-cd

(فوت - کاندیلا) است که Ø بر حسب Lm و سطح بر حسب ft² باشد.

$$1 \text{ ft-cd} = 10.76 \text{ Lux} \approx 10 \text{ Lux}$$

$$E = \frac{\phi}{A} \quad \text{ومی توان از رابطه زیر آن را محاسبه کرد که در آن شار نوری و A سطح می باشد.}$$

در صورتی که روشنایی روی سطح یک نواخت نباشد. E به صورت $E = \frac{d\Phi}{dA}$ است.

شدت روشنایی از پارامترهای مهم محاسبات روشنایی و بینایی می باشد.

رابطه E : به شکل های زیر:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \theta = E = \frac{I}{h^2} \cos^3 \theta \quad \text{در صفحه افقی :}$$

$$E = \frac{I}{h^2} \cos^2 \theta \sin \theta \quad \text{در صفحه ی عمودی:}$$

$$E = \sum_K \frac{I_K \cos \theta_K}{r_K^2} \quad \text{اگر تعداد منابع بیش از یکی باشد :}$$

$$E = \int \frac{di \cos \theta}{r^2} \quad \text{اگر منبع به شکل گسترده باشد (نقطه ای نباشد)}$$

۵-۲ درخشندگی یا تراکم نور (Luminance Brightness) :

نسبت شدت نور ساطع شده از منبع در یک جهت به مؤلفه سطح منبع نورانی در آن جهت می باشد. واحد

درخشندگی کاندیلا بر متر مربع $\frac{cd}{m^2}$ است. که به نیت (NIT) هم معروف است. واحد دیگر درخشندگی

استیلب است که برابر یک کاندیلا بر سانتی متر مربع $\frac{cd}{cm^2}$ می باشد.

$$1 \text{ کاندیلا} = \frac{1}{cm^2} \text{ استیلب}, \quad 1 \text{ st} = 10^4 \text{ Nit}, \quad 1 \text{ Nit} = \frac{1}{m^2} \text{ کاندیلا}$$

در منابع متمرکز: $L = \frac{I}{S}$ و در منابع گسترده $E = \int L \cos \theta d\Omega$ می باشد.

درخشندگی مناسب برای چشم انسان از ۶۵ تا ۶۵۰۰ نیت است. اگر میزان درخشندگی بیش از حد باشد

باعث چشم زدگی و مشکل در دیدن جسم خواهد بود.

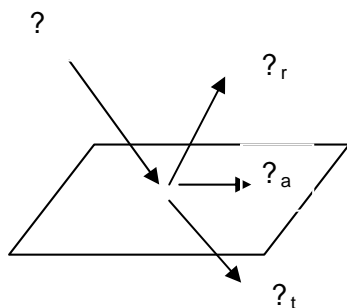
قانون لامبرت: منابعی که دارای درخشندگی یکسان در همه ی جهات هستند مطابق این قانون عمل می

$$I(\theta) = I_0 \cos \theta \quad \text{کنند و منابع با تشعشع پخش شده نامیده می شوند.}$$

I_0 = شدت نور در جهت عمود بر سطح

I_θ = شدت نور در زاویه θ

۶-۲ ضرایب روشنایی (ضریب انعکاس، جذب و عبور یا انتقال):



اگر بر سطح یک جسم شار نوری Φ تابیده شود، مقداری از آن منعکس

می شود (Φ_r) و مقداری جذب می شود (Φ_a) و مابقی عبور می کند (Φ_t)

پس رابطه زیر را خواهیم داشت:

$$\Phi = \Phi_r + \Phi_t + \Phi_a \rightarrow 1 = \frac{\Phi_r}{\Phi} + \frac{\Phi_t}{\Phi} + \frac{\Phi_a}{\Phi}$$

اگر نسبت های فوق را به صورت درصد بیان کنیم خواهیم داشت:

$$\rho_r = \frac{\Phi_r}{\Phi} \Rightarrow \rho_r \% = \frac{\Phi_r}{\Phi} \times 100 \quad \text{ضریب انعکاس:}$$

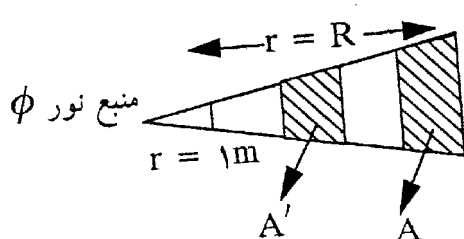
$$\rho_a = \frac{\Phi_a}{\Phi} \Rightarrow \rho_a \% = \frac{\Phi_a}{\Phi} \times 100 \quad \text{ضریب جذب:}$$

$$\rho_t = \frac{\Phi_t}{\Phi} \Rightarrow \rho_t \% = \frac{\Phi_t}{\Phi} \times 100 \quad \text{ضریب عبور یا انتقال:}$$

عوامل موثر در درصد مقادیر ضرایب فوق عبارتند از:

جنس، رنگ و سطح جسم و همچنین زاویه تابش و رنگ (طول موج) اشعه تابیده شده.

۷-۲ قوانین روشنایی:



(۱) **قانون فاصله:** در صورتیکه سطح A به فاصله R و سطح A' به فاصله یک متر از منبع نور در نظر گرفته شود:

$$\frac{A}{R^2} = \frac{A'}{r^2} = \frac{A'}{1} = A' = \Omega \rightarrow A = \Omega R^2$$

با توجه به تعریف زاویه فضایی داریم:

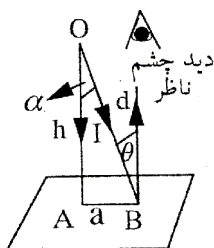
$$E = \frac{\phi}{A} = \frac{\Phi}{\Omega R^2} = \frac{\frac{\Phi}{R^2}}{R^2} = \frac{I}{R^2}$$

بنابراین:

مشاهده می شود شدت روشنایی با مجذور فاصله نسبت معکوس دارد.

(۲) قانون کسینوس ها:

(الف) تابش نور به صفحات افقی:



اگر نور تحت زاویه تابش مثلاً α بتابد، در این صورت در نقطه B

شدت نور منعکس شده بر چشم ناظر برابر است با: $I_B = I_\alpha \cos \theta$

و با توجه به اینکه زاویه تابش برابر زاویه انعکاس است یعنی $\alpha = \theta$

لذا داریم: $I_B = I_\alpha \cos \alpha$ و شدت روشنایی در نقطه B برابر است با: $E_B = \frac{I_B}{OB^2} = \frac{I_\alpha \cos \alpha}{d^2}$

$$E_B = \frac{I_\alpha}{h^2} \cos^3 \alpha$$

و چون $\cos \alpha = \frac{h}{d}$ پس خواهیم داشت:

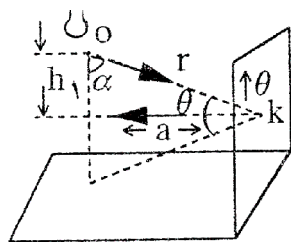
$$\cos \alpha = \frac{h}{d} = \frac{h}{\sqrt{h^2 + a^2}}$$

و با قراردادن

$$E_B = \frac{I_\alpha}{h^2} \times \frac{h^3}{(h^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} \rightarrow E_B = \frac{I_\alpha h}{(h^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}}$$

نهایتاً داریم:

از این فرمول ها در انجام محاسبات روشنایی استفاده خواهیم کرد.



(ب) تابش نور به صفحات عمودی :

اگر در نقطه K زاویه تابش α باشد و زاویه اشعه نسبت به سطح افق θ باشد،

$$E_K = \frac{I_K}{OK^2} \quad \text{و} \quad I_K = I_\alpha \cos \theta \quad \rightarrow \quad E_K = \frac{I_\alpha}{OK^2} \cos \theta$$

$$E_K = \frac{I_\alpha}{OK^2} \cos(90 - \alpha) = \frac{I_\alpha}{OK^2} \sin \alpha \quad \alpha + \theta = 90 \quad \text{پس خواهیم داشت:}$$

$$E_K = \frac{I_\alpha}{h_1^2} \cos^2 \alpha \sin \alpha$$

$$\text{و با جایگذاری } OK = \frac{h_1}{\cos \alpha} \quad \text{خواهیم داشت:}$$

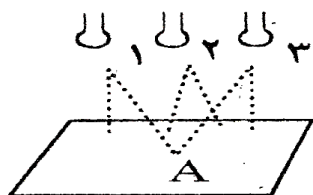
$$\cos \alpha = \frac{h_1}{r} = \frac{h_1}{\sqrt{a^2 + h_1^2}}, \quad \sin \alpha = \frac{a}{\sqrt{a^2 + h_1^2}} \quad \text{و با جایگذاری}$$

$$E_K = \frac{I_\alpha \times a}{(a^2 + h_1^2)^{\frac{3}{2}}}$$

خواهیم داشت :

(۳) قانون جمع :

اگر چند منبع نورانی داشته باشیم در این صورت اگر بخواهیم شدت روشنایی یک نقطه ای را که از تمام منابع نور متاثر می شود ، حساب کنیم ، لازم است شدت روشنایی هر منبع نور را در آن نقطه محاسبه و با هم جمع کنیم.



مثلا اگر سه منبع ۱ و ۲ و ۳ نقطه A را روشن کنند داریم:

$$E_A = E_{A_1} + E_{A_2} + E_{A_3}$$

$$E_A = \sum_{m=1}^n E_{A_m} \quad \text{و بطور کلی:}$$

۸-۲ منحنی های روشنایی:

به سه دسته تقسیم می شوند:

- منحنی های پخش نور بر حسب زاویه تابش یا $I=f(\alpha)$ که شدت نور در زوایای مختلف را نشان می دهد.

- منحنی شدت روشنایی بر حسب فاصله $E=f(a)$

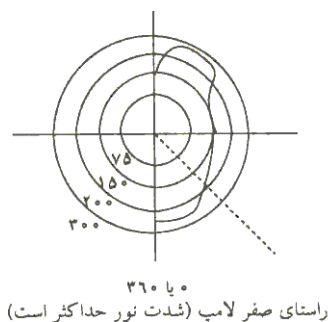
- منحنی ایزولوکس: از ترکیب دو منحنی ۱ و ۲ فوق یک منحنی دیگری به دست می آید که

چگونگی توزیع نور به نقاط هم پتانسیل را نشان می دهد و بنام منحنی ایزولوکس (Iso Lux) معروف می باشد.

۱ - توزیع شدت نور - منحنی پخش نور:

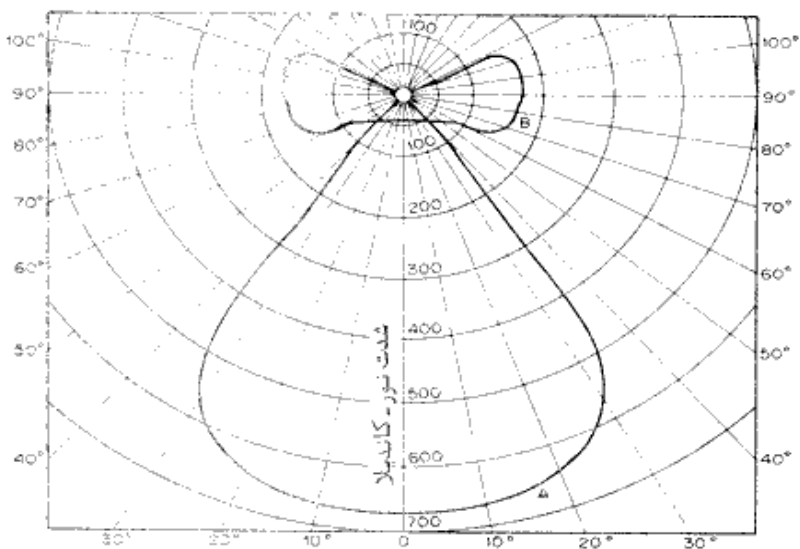
شدت نور عاملی است جهت دار و در جهات مختلف مقدار آن متفاوت است. منحنی پخش نور یک مولد نشان می دهد که در هر جهت چه مقدار شدت نور موجود است برای رسم منحنی پخش نور، مولد نور را از مرکز، توسط صفحه ای عمودی قطع می نمایم. سپس نسبت به این صفحه، در زوایای مختلف، شدت نور را بدست آورده و نقاط بدست آمده را بهم وصل می کنیم. برای نمایش پخش نور، روشهای مختلفی وجود دارد که منحنی های قطبی، یکی از معمول ترین روشهاست که در مثال زیر استفاده شده است.

مثال ۱: اگر در صفحه عمودی یاد شده مقادیر زیر را به دست آورده باشیم، میتوانیم منحنی پخش نور را مطابق شکل زیر رسم کنیم.



درجه α	شدت نور cd
۰	۳۰۰
۳۰	۲۷۰
۶۰	۲۰۰
۹۰	۱۳۰
۱۲۰	۱۷۰
۱۵۰	۱۲۰
۱۸۰	۸۰

یا در شکل زیر منحنی پخش نور برای دو لامپ نشان داده شده است:



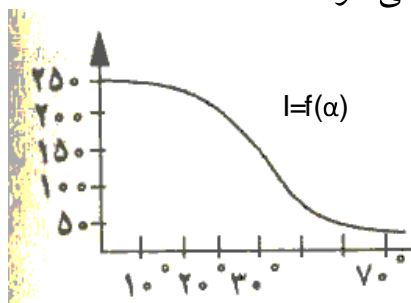
عیب منحنی های قطبی:

(۱) معیار درستی از شار نوری نمی باشد مثلاً در نمودار فوق شار نوری A خیلی بیشتر از B به نظر می رسد که واقعیت ندارد.

(۲) در زوایایی که شدت نور تغییرات سریع دارد، این منحنی دقت کافی به دست نمی دهد.

تذکره ۱: اگر چراغی تقارن محوری نداشته باشد، دو یا چند منحنی قطبی ترسیم می شود.

تذکره ۲: برای چراغ هایی که شعاع خیلی متمرکز دارند به منظور دقت بیشتر از مختصات مستطیلی استفاده می شود که در آن زاویه روی محور افقی و شدت نور روی محور قائم ترسیم می شود.



با توجه به معایب یاد شده، در بعضی کاتالوگ ها علاوه از منحنی

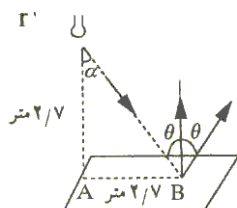
پخش نور به صورت قطبی، منحنی به صورت دکارتی نیز رسم می شود.

منحنی پخش نور برای اغلب لامپ های رشته ای و گازی بصورت قرینه می باشد و یک طرف آن رسم می شود و طرف دیگر قرینه آن می باشد. ولی در بعضی از لامپ ها که دارای طول و عرض متفاوت هستند، منحنی پخش نور در تمام جهات باید نقطه یابی شود و رسم گردد. همه منحنی ها برای جریان نور

$1000 = ?$ لومن رسم می شوند.

مثال ۲: اگر منحنی پخش نور یک لامپ ، مطابق منحنی پخش نور مثال ۱ باشد ، اگر یک لامپ ۱۵۰ واتي داشته باشیم که در ارتفاع ۲/۷ متری قرار گرفته باشد، مطابق شکل می خواهیم شدت روشنایی E_A و E_B را

دست آوریم.



منحنی پخش نور
 $E = \frac{I_A}{r^2} \quad \alpha = 0$ در راستای لامپ $\rightarrow 300 \text{ cd}$

با توجه به لومن لامپ ۱۵۰ وات که ۱۹۴۰ می باشد داریم:

۱۰۰۰ Lm

۳۰۰ cd

۱۹۴۰ Lm

$$X = \frac{1940 \times 300}{1000} = 582 \text{ cd}$$

$$E_A = \frac{582}{(2.7)^2} = 79.83 \text{ Lux}$$

$$E_B = \frac{I_{\alpha}}{d^2} \cos \alpha \quad \cos \alpha = \frac{h}{d} = \frac{2.7}{\sqrt{2.7^2 + 2.7^2}} = 0.707 \rightarrow \alpha = \text{Arc Cos } \alpha = \text{Arc Cos } 0.707 = 45^\circ$$

چون زاویه تابش با زاویه انعکاس برابر است $\alpha = \theta$ بنابراین از روی منحنی پخش نور برای زاویه 45°

۱۰۰۰ Lm

۲۲۵ cd

داریم: $I = 225 \text{ cd}$ پس خواهیم داشت:

۱۹۴۰ Lm

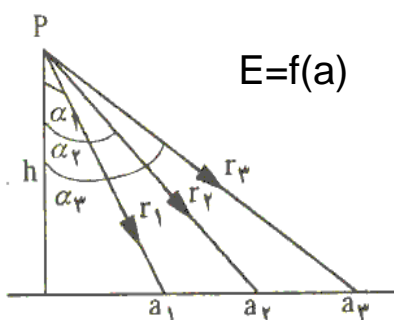
$$X = \frac{1940 \times 225}{1000} = 436.5 \text{ cd}$$

شدت نور در زاویه 45° :

$$E_B = \frac{436.5}{14.58} \times \cos 45^\circ = \frac{436.5}{14.58} \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 21.16 \text{ Lux}$$

۲- منحنی شدت روشنایی بر حسب فاصله: $E=f(a)$

با زیاد شدن فاصله محل روشن شده تا پای لامپ ، مقدار شدت روشنایی کاهش می یابد و با توجه به شکل زیر داریم:



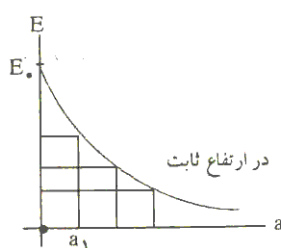
$$\tan \alpha = \frac{a}{h} \rightarrow \alpha = \text{Arctg } \frac{a}{h}$$

اگر شدت نور برای زاویه α را I' بدست آوریم و چون منحنی پخش نور برای ۱۰۰۰ لومن می باشد داریم:

$$\frac{I'}{I} = \frac{1000 \text{ Lm}}{?} \longrightarrow I = \frac{I' \times \varnothing}{1000}$$

بنابراین چون لومن (شار نوری) مشخص می باشد. بنابراین I مشخص می شود. (قانون کسینوس)

$$E = \frac{I_{\alpha} \times h}{(a^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}} \quad \text{یا} \quad E = \frac{I_{\alpha}}{h^2} \cos^3 \alpha$$



که برای مقادیر مختلف a_1 و a_2 و.... انجام گرفته و منحنی زیر

بدست می آید.

و همچنین اگر منحنی $E=f(a)$ مشخص باشد. با داشتن ارتفاع لامپ

(h) بازای مقادیر a از روی منحنی E می توان شدت نور را در زوایای مختلف بدست آورد. و منحنی

پخش نور را رسم کرد. یعنی اگر منحنی $E=f(a)$ را داشته باشیم و ارتفاع لامپ هم معلوم باشد می توان

منحنی پخش نور $I=f(\alpha)$ را به کمک فرمول های زیر رسم کرد.

$$\text{tg } \alpha = \frac{a}{h} \rightarrow \alpha = \text{Arctg } \frac{a}{h} \quad E = \frac{I_{\alpha}}{h^2} \cos^3 \alpha \Rightarrow I_{\alpha} = \frac{E h^2}{\cos^3 \alpha}$$

۳ - منحنی ایزولوکس (Isolux):

منحنی ایزولوکس مکان هندسی نقاطی است که شدت روشنایی آنها با هم برابر است. این منحنی برای حالاتی مانند زمین های فوتبال، خیابان ها و سالن های ورزشی که محیط از چندین منبع نور روشنایی دریافت می دارد، رسم می شود. کاربرد منحنی های ایزولوکس در محاسبات روشنایی خارجی است.

بنابراین منحنی ایزولوکس مکان هندسی تمام نقاطی است که دارای یک شدت روشنایی باشد.

مانند شکل زیر:



(منحنی ایزولوکس برای چهار لامپ)

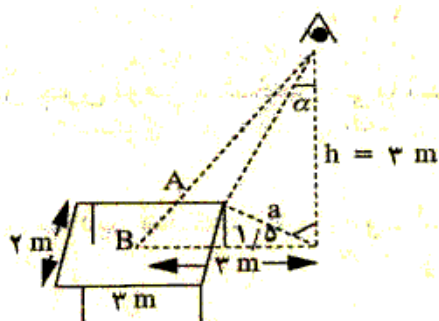
اصولا در کاتالوگ ها منحنی ایزولوکس برای $h=30ft$

و جریان نور برای ۱۰۰۰ لومن رسم می شود.

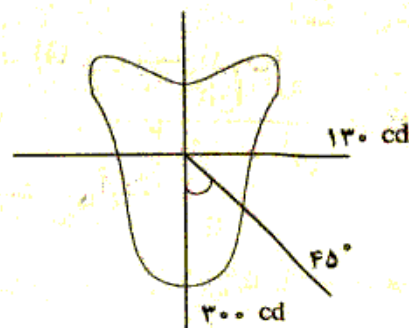
مثال ۱: یک لامپ ۵۰۰ واتی ۸۷۰۰ لومن نور تولید می کند و میزی به ارتفاع یک متر از زمین قرار دارد.

ارتفاع این لامپ از زمین ۴ متر است (شکل زیر) شدت روشنایی را در وسط میز و گوشه A محاسبه نمایید.

منحنی پخش نور لامپ برای $1000Lm = ?$ داده شده است.



α	I (cd)
۰	۳۰۰
۳۰	۲۷۰
۶۰	۲۰۰
۹۰	۱۳۰
۱۲۰	۱۷۰
۱۵۰	۱۲۰
۱۸۰	۸۰



الف) شدت روشنایی در وسط میز:

$$\left\{ \begin{array}{l} h=3 \text{ m} \\ a=3 \text{ m} \end{array} \right. \Rightarrow \tan \alpha = \frac{a}{h} = \frac{3}{3} = 1 \Rightarrow \alpha = 45^\circ \xrightarrow{\text{منحنی پخش نور}} I' = 235 \quad ? = 1000 \text{ Lm برای}$$

پس: $I_B = 235 \times \frac{8700}{1000} = 2044.5 \rightarrow E_B = \frac{I_B}{h^2} \cos^3 \alpha \Rightarrow E_B = \frac{2044.5}{3^2} \times \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^3 = 80.3 \text{ Lux}$

ب) در نقطه A ابتدا فاصله پای عمودی لامپ تا نقطه A یعنی a را بدست می آوریم.

$$a = \sqrt{1^2 + 1.5^2} = \sqrt{3.25} \quad \tan \alpha = \frac{a}{h} = \frac{\sqrt{3.25}}{3} \approx \frac{\sqrt{3}}{3} \Rightarrow \alpha = 30^\circ \xrightarrow{\text{منحنی پخش نور}} I'_A = 270 \text{ cd}$$

$$I_A = 270 \times \frac{8700}{1000} = 2349 \text{ cd} \quad E_A = \frac{I_A}{h^2} \cos^3 30 = 169.5 \text{ Lux}$$

مثال ۲: یک لامپ رشته ای با قدرت ۱۵۰ W و جریان نور ۱۹۴۰ Lm = 1940 ? مطابق شکل زیر به نقاط A و B و C نور می تاباند.

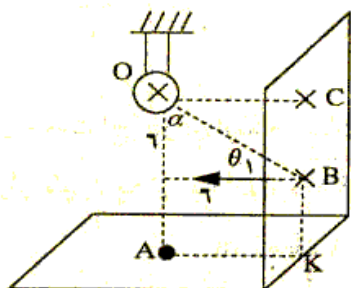


الف) شدت روشنایی نقاط A و B و C را محاسبه کنید.

ب) بهره نوری لامپ و راندمان الکتریکی آن را بدست آورید.

ج) اگر بخواهیم شدت روشنایی نقطه C ماکزیمم شود باید لامپ فوق در چه وضعیتی حول تکیه گاه خود نسبت به نقطه O قرار گیرد و ماکزیمم روشنایی را بدست آورید.

د) اگر لامپ فوق در داخل یک جباب با ضریب $\rho_a = 5\%$ و ضریب انعکاسی $\rho_r = 25\%$ قرار گیرد. چه تغییری در شدت روشنایی نقطه A پدید آید.



درجه α	۰	۳۰°	۴۵°	۶۰°	۹۰°	۱۲۰°	۱۵۰°	۱۸۰°
I (cd)	۳۰۰	۲۷۰	۲۲۵	۲۰۰	۱۳۰	۱۷۰	۱۲۰	۸۰

(جدول برای $\phi = 1000 \text{ Lm}$)

$$OC = BC = BK = AK = 6 \text{ m}$$

حل: برای نقطه A

$$A = \begin{cases} \alpha = 0 & \text{در راستای صفر لامپ} \\ \theta = 0 & \text{زاویه بین شعاع تابش و خط} \end{cases}$$

$$E_A = \frac{I_A}{OA^2} \cos \theta$$

$$E_A = \frac{I_A}{OA^2} \times 1$$

$$R = OA = 12 \text{ m}$$

منحنی پخش نور

$$\alpha = 0 \longrightarrow I_A = 300 \text{ cd} \quad \text{برای } 1940 \text{ لومن} \quad I_A = 300 \times \frac{1940}{1000} = 582 \text{ cd}$$

$$E_A = \frac{582}{12^2} =$$

برای نقطه B داریم: $OB = \sqrt{6^2 + 6^2}$ و $\alpha = \theta = 45^\circ$ پس:

$$I_B = 225 \times \frac{1940}{1000} = 455.9cd \quad E_B = \frac{455.9}{72} \cos 45 = 4.49Lux$$

برای نقطه C داریم: $OC = 6$ و $\theta = 0^\circ$ و $\alpha = 90^\circ$ پس

$$I_C = 130 \times \frac{1940}{1000} = 252.2cd \quad E_C = \frac{252.2}{6^2} \cos 0 = 7Lux$$

$$\eta_l = \frac{\phi}{P} = \frac{1940}{150} = 12.9 \frac{Lm}{W} \quad \text{بهره نوری لامپ:}$$

$$\eta_e = \frac{\phi \times \frac{1}{680}}{P} = \frac{1940 \times \frac{1}{680}}{150} = 1.9\% \quad \text{راندمان الکتریکی لامپ:}$$

در حالت (ج) برای اینکه شدت روشنایی در نقطه C ماکزیمم شود، بایستی لامپ در راستای صفر قرار گیرد. یعنی به

اندازه ۹۰ درجه چرخانده شود. پس بعد از چرخش $r = OC = 6$ و $\theta = 0^\circ$ و $\alpha = 0$

از منحنی پخش نور برای $\alpha = 0$ داریم $I = 300cd$ (در ۱۰۰۰ لومن) پس خواهیم داشت:

$$I_C = 300$$

در حالت (د): $\rho_t = 1 - (\rho_a + \rho_r) = 1 - (5\% + 25\%) = 70\%$ عبور ضریب

$$\rho_t = \frac{\phi_t}{\phi} \Rightarrow \phi_t = \phi \rho_t = 70\% \times 1940 = 1358Lm$$

و چون $\alpha = \theta = 0$ و $OA = 12$ پس از منحنی پخش نور داریم: $I = 300cd$ (در ۱۰۰۰ لومن) بنابراین:

$$I_A = 300$$

۲-۷-۲) تقسیم بندی چراغ ها بر اساس پخش:

با توجه به اینکه مقدار شار نوری که به سطح کار می رسد می تواند بصورت مستقیم یا غیر مستقیم از طریق انعکاس سقف یا دیوارها باشد (منحنی پخش نور ای مسئله را نشان می دهد) و این پارامتر در فرمول های محاسبات روشنایی موثر است، لذا چراغ ها از نظر پخش نور به صورت زیر تقسیم بندی می شوند:

مشخصه چراغ	درصد شار نوری نیمکره ی پایین	درصد شار نوری نیمکره ی بالا
مستقیم	۹۰-۱۰۰	۰-۱۰
نیمه مستقیم	۶۰-۹۰	۱۰-۴۰
پخش یکسان	۴۰-۶۰	۴۰-۶۰
نیمه غیر مستقیم	۱۰-۴۰	۶۰-۹۰
غیر مستقیم	۰-۱۰	۹۰-۱۰۰

۲-۹ اندازه گیری کمیت های روشنایی (فوتومتري):

اندازه گیری کمیت های نوری فوتومتري نامیده می شود و به دو طریق امکان پذیر است:

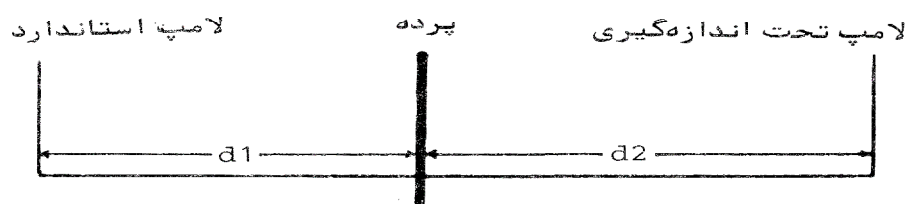
- (۱) توسط چشم انسان: چون چشم انسان قادر به اندازه گیری مطلق نیست ، تنها می تواند از طریق مقایسه ی دو کمیت یکی معلوم (استاندارد) و دیگری مجهول ، کمیت مجهول را معین کند مانند مثال ۱-۲-۸
- (۲) روش فیزیکی: در این روش، کمیت های نوری را به طور مطلق اندازه می گیرند مثل نورسنج که شدت روشنایی روی یک سطح را از طریق اندازه گیری جریان برقی که در سلول فوتوالکتریک برقرار می کند، اندازه گیری می کند.

الف) اندازه گیری شدت نور لامپ ها:

شدت نور یک لامپ را از طریق مقایسه با یک لامپ استاندارد که دارای شدت نور معلوم است بدست می آورند. برای این کار از فوتومتر مطابق شکل زیر استفاده می شود.

لامپ استاندارد دارای شدت نور معلوم I_1 است و می خواهیم شدت نور لامپ تحت اندازه گیری را که مجهول است و آن را I_2 می نامیم معین کنیم. پرده ی متحرک را روی ریل آنقدر حرکت می دهیم که شدت روشنائی روی دو سطح آن به تشخیص چشم یا وسیله ی فیزیکی برابر شود در این حالت از فرمول

$$\frac{I_1}{d_1^2} = \frac{I_2}{d_2^2} \quad \text{زیر } I_2 \text{ قابل محاسبه است:}$$



شکل ۲-۲ فوتومتر برای اندازه گیری شدت نور لامپ

ب) اندازه گیری شار نوری یک لامپ:

برای اندازه گیری شار نوری یک لامپ از کره ی اولبریخت استفاده می کنیم.

این فوتومتر از یک کره ی بزرگ توخالی تشکیل می شود که سطح داخلی آن با رنگ سفید پوشیده شده است و نور را کامل پخش می کند. لامپ تحت آزمایش را در داخل کره می آویزیم و با قرار دادن مانعی از تشعشع مستقیم نور لامپ به قسمت کوچکی از سطح داخلی کره ممانعت می کنیم. در این حالت می توان نشان داد که شدت روشنائی که از طریق انعکاس از سطح داخلی کره به این قسمت می رسد با شار نوری

لامپ متناسب است و با اندازه گیری این شدت روشنایی می توان کل شار نوری را محاسبه کرد. این اندازه گیری را هم می توان به سهولت از طریق مقایسه با لامپ استاندارد انجام داد.

می توان از فرمول زیر شار نوری را بدست آورد که در آن ϕ شار نور لامپ تحت آزمایش و R شعاع کره می باشد:

$$E = \frac{\phi}{4\pi R^2}$$

ج) اندازه گیری شدت روشنایی:

شدت روشنایی را با استفاده از سلول فتو الکتریک اندازه گیری می کنیم. در این وسایل نور تابیده شده بر سطح سلول ، جریانی برقرار می کند که مقدار آن تابع شدت روشنایی است و با اندازه گیری جریان ، شدت روشنایی را مشخص می کنیم.

نمونه سؤالات فصل دوم:

۱. شدت نور را تعریف کنید. واحدهای مختلف آن را نام برده و ارتباط آن ها را بنویسید.
۲. میزان نور یا شار نوری چیست و واحد آن کدام است؟
۳. زاویه فضایی چیست و واحد آن کدام است؟
۴. رابطه شدت نور و شار نوری چیست؟
۵. بهره نوری چیست و نحوه محاسبه آن چگونه است؟
۶. بهره الکتریکی چیست و نحوه محاسبه آن چگونه است؟
۷. شدت روشنایی چیست؟ رابطه آن را در حالت یکنواخت و غیر یکنواخت بنویسید.
۸. درخشندگی چیست؟
۹. واحد شدت نور را بر اساس درخشندگی تعریف کنید.
۱۰. قانون لامبرت چیست؟
۱۱. رابطه بین شدت روشنایی حاصل از یک منبع گسترده نور و درخشندگی آن را بنویسید.
۱۲. منحنی پخش نور چیست؟
۱۳. منحنی های ایزولوکس چه چیزی را نشان می دهند؟
۱۴. نحوه محاسبه شار نوری از منحنی پخش نور را بیان کنید.
۱۵. تقسیم بندی چراغ ها از نظر پخش نور کدامند؟ و چه اهمیتی دارند؟
۱۶. روش اندازه گیری شدت نور لامپ ها را توضیح دهید.
۱۷. یک روش اندازه گیری شدت روشنایی را بیان کنید.
۱۸. اثر انعکاس نور از سطح را در شدت روشایی توضیح دهید.
۱۹. یک روش برای اندازه گیری شار نوری بیان کنید.

تمرین های فصل دوم:

۱ - جدول پخش نور یک لامپ با ۸۷۰۰ لومن جریان نور (شار نوری) ، که در ارتفاع ۴ متری از سطح زمین قرار دارد مطابق زیر است .

α درجه	I (cd)
۰	۳۰۰
۳۰	۲۷۰
۶۰	۲۰۰
۹۰	۱۳۰
۱۲۰	۱۷۰
۱۵۰	۱۲۰
۱۸۰	۸۰

الف) شدت روشنایی در پای لامپ را محاسبه کنید. (جدول برای ۱۰۰۰ لومن می باشد).

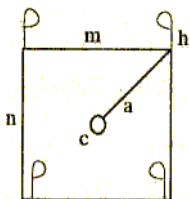
ب) تغییرات $E=f(a)$ (شدت روشنایی بر حسب فاصله از پای لامپ) را در ارتفاع ثابت ۴ متر رسم کنید.

۲ - در زمینی به ابعاد ۶x۶ متر مربع چهار پروژکتور نصب شده است ارتفاع پروژکتورها برابر ۱۰ m و جریان نور دو پروژکتور ۵۰۰۰۰ لومن است و منحنی پخش نور بصورت زیر است.

α درجه	I (cd)
۰	۱۰
۱۰	۲۰
۳۰	۳۰
۴۵	۶۰
۶۰	۳۰
۸۰	۲۰
۹۰	۰

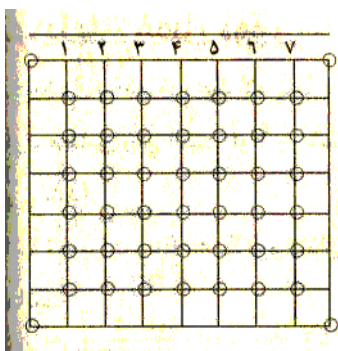
الف) شدت روشنایی در وسط زمین را بدست آورید.

ب) منحنی ایزولوکس زمین حاصل از چهار منبع نور را بدست آورید.

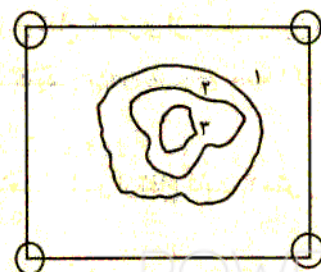


راهنمایی برای قسمت ب:

مقادیر شدت روشنایی برای نقاط جدول داده شده زیر را محاسبه نموده و نقاطی را که شدت روشنایی یکسان دارند به هم وصل کنید.



نقاط	E_1	E_2	E_3	E_4	ΣE
۱					
۲					



شکل منحنی ایزولوکس

۳- یک لامپ رشته دار ، جریان ۰/۴۲ آمپر در ولتاژ ۲۲۰ ولت می گیرد و ۱۱۲۰ لومن نور تولید می کند.
بهره نوری لامپ و شدت نور متوسط آن را حساب کنید.

۴- سطح مؤثر رشته یک لامپ رشته ای وقتی که از پایین رؤیت می شود ۲۰ سانتی متر مربع است و شدت نور لامپ در جهت پایین ۱۵۳ کاندیلا است. درخشندگی لامپ را وقتی از پایین رویت می شود حساب کنید.

۵- طول لوله یک لامپ فلورسنت ۱۴۶۰ میلی متر و قطر آن ۳۸ میلی متر است. اگر شدت نور در جهت شعاعی ۳۴۰ کاندیلا باشد درخشندگی لامپ چقدر است؟

۶- یک لامپ با شدت نور متوسط ۸۰ کاندیلا، ۷۰ درصد نور خود را روی صفحه دایره شکل به قطر ۳ متر می تاباند. شدت روشنایی متوسط روس صفحه را حساب کنید.

۷- در یک فوتومتر یک لامپ رشته دار در فاصله ۵۰ سانتی متری پرده قرار دارد و یک لامپ استاندارد ۶۰ کاندیلا در فاصله ۳۵ سانتی متری از پرده ، شدت روشنایی برابر روی پرده ایجاد می کند. شدت نور لامپ تحت آزمایش چقدر است؟

۸- دو لامپ ۱۶ و ۲۴ کاندیلا در فاصله ۲ متری از یکدیگر قرار دارند. پرده ای بین آنها و فاصله ۰/۸ متر از لامپ ۱۶ کاندیلا قرار دارد. شدت روشنایی دو طرف پرده را حساب کنید. پرده را در چه فاصله ای باید قرار داد تا شدت روشنایی دو طرف آن برابر شود؟

۹- به سطحی که از یک منبع نقطه ای به فاصله ۲ متر زاویه فضایی ۲ استرادیان تشکیل می دهد یک لومن شار نوری می رسد:

الف) شدت نور متوسط سطح چقدر است؟

ب) شدت روشنایی متوسط سطح چقدر است؟

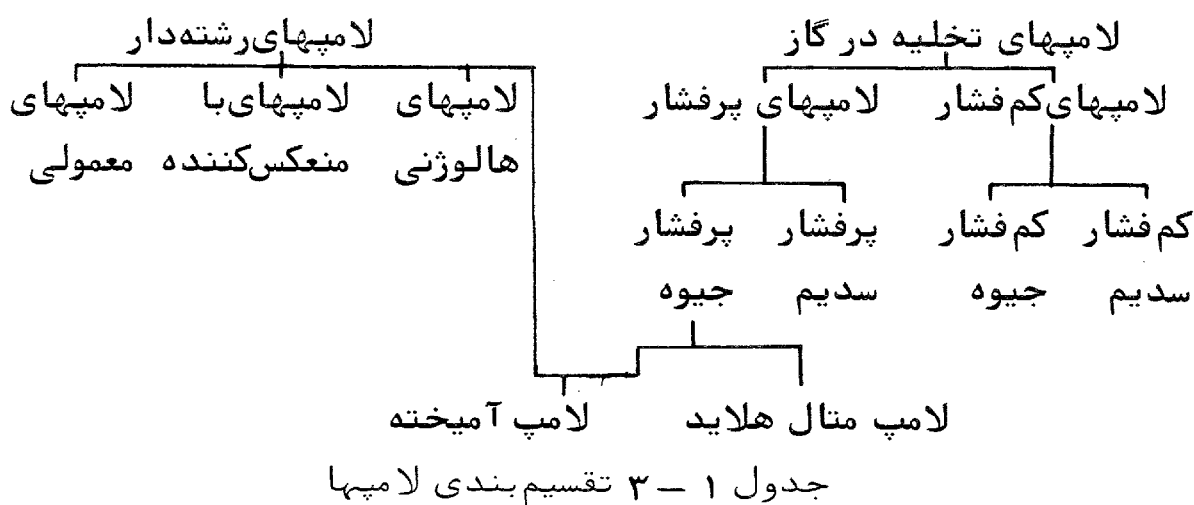
۱۰- سطحی دارای درخشندگی $342/6$ کاندیلا بر مترمربع است. اگر ضریب انعکاس سطح 10% باشد، شدت روشنایی متوسط سطح چقدر است.

۱۱- یک منبع نقطه ای به شدت نور 100 کاندیلا به فاصله 5 متر از نقطه ح واقع است. اگر منبع را به 10 متری نقطه P ببریم، شدت نور منبع چقدر باید باشد تا شدت نور در نقطه P ثابت بماند.

فصل سوم:

منابع نور:

منبع طبیعی نور همان نور خورشید می باشد و از منابع مصنوعی نور، لامپ ها الکتریکی را می توان نام برد، که شامل لامپ های الکتریکی رشته دار یا التهابی، تخلیه در گاز، آمیخته (تلفیق رشته دار و تخلیه در گاز) و البته لامپ های جدیدی مانند دیود های نوری می باشند و در ادامه این فصل مورد بررسی قرار خواهند گرفت.



مشخصات اصلی لامپ ها:

الف) شار نوری بر حسب لومن

ب) بهره نوری بر حسب لومن بر وات

پ) عمر لامپ بر حسب ساعات کارکرد قبل از اینکه شار نوری خروجی آن به درصد معینی از شار نوری اولیه برسد اندازه گیری میشود. گاهی نیز عمر لامپ را بر اساس ساعات کارکرد که طی آن

درصد معینی از لامپ ها می سوزد اندازه گرفته می شود (در جدول ، ۵۰ درصد در نظر گرفته شده است)

ت) درخشندگی لامپ که بر حسب کاندیلا بر متر مربع اندازه گیری می شود.

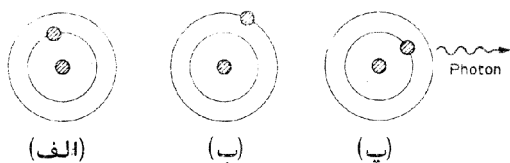
ث) رنگ دهی که عبارت از نشان دادن رنگ حقیقی اجسام رنگی در نور لامپ است. اگر طیف نور لامپ مناسب باشد رنگ ها به طور طبیعی دیده می شود و در غیر اینصورت تغییر می کند برای اندازه گیری کمی رنگ دهی میزان نسبی نور در هر قسمت طیف اندازه گیری و با نور سفید طبیعی مقایسه می شود عدد ۱۰۰ معرف رنگ دهی کامل است.

نوع لامپ	بهره نوری (با احتساب راه انداز)	رنگ دهی	درخشندگی	عمر لامپ
رشته دار ۱۰۰ وات ، شیشه	۱۴	۱۰۰	۷۰۰	۱۰۰۰
رشته دار ۱۰۰ وات ، شیری	۱۳	۱۰۰	۳	۱۰۰۰
رشته دار هالوژنی ، شیشه	۳۰	۱۰۰	۱۵۰۰	۳۰۰۰
جیوه پرفشار ۴۰۰ وات پودر فلورسنت	۵۴	۴۰	۱۲	۲۴۰۰۰
جیوه پرفشار ۴۰۰ وات ، شیشه	۴۹	۲۰	۴۶۰	۲۴۰۰۰
سدیم پرفشار ۴۰۰ وات ، شیشه	۱۱۰	۲۵	۶۰۰	۲۴۰۰۰
سدیم پرفشار ۴۰۰ وات پودر فلورسنت	۱۰۷	۲۵	۲۵	۲۴۰۰۰
سدیم کم فشار ۸۰ وات	۱۵۰	۵	۱۰	۲۴۰۰۰
متال هالاید ۴۰۰ وات پودر فلورسنت	۷۵	۶۵	۱۴	۳۴۰۰۰
فلورسنت ۳۶/۸۴ وات	۷۵	۸۶	۱/۲	۹۰۰۰
فلورسنت ۳۶/۳۳ وات	۶۷	۶۶	۱/۱	۶۰۰۰
فلورسنت ۴۰/۳۷ وات	۳۵	۹۶	۰/۴	۶۰۰۰

جدول ۲ - ۳ مشخصات اصلی لامپها

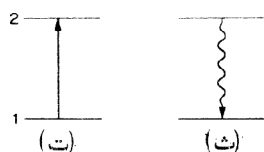
۱-۳ اصول تبدیل انرژی به انرژی نورانی :

منابع نور، نوعی انرژی را به انرژی نور تبدیل می کنند. شواهد آزمایش نشان می دهد که انرژی ورودی به هر



شکلی که باشد می تواند سبب تحریک اتمها با مولکولهای موجود در منبع نور شود و الکترونها را به سطوح بالاتر انرژی منتقل کند، این وضعیت جدید پایدار نیست و اتمها و الکترونها در بازگشت به

حالت اولیه انرژی دریافتی را به صورت نور پس می دهد شکل ۱-۳ مراحل تحریک و تولید نور را در حالت ساده ای نشان می دهد.



فرکانس نور تولید شده با معادله $W=h\nu$ معین می شود اتمهای واقعی شکل ۱ - ۳ مراحل تحریک و تولید نور

دارای سطوح انرژی متعدد هستند و نور با فرکانس های مختلف تولید می کنند. در مایعات و جامدات سطوح انرژی متعددی وجود دارد که بهم فشرده و متصل هستند و نور تولید شده دارای طیف پیوسته می شود.

انواع انرژی ورودی به منبع نورانی می تواند انرژی حرارتی ، الکتریکی ، شیمیایی با هسته ای باشد.

انرژی حرارتی : سبب ازدیاد انرژی حرکتی اتمها یا مولکول های موجود و این ذرات در اثر برخورد شدید با یکدیگر سبب تحریک هم و متعاقباً بازگشت به وضعیت اولیه و تولید نور می شوند.

انرژی الکتریکی : اعمال ولتاژ به دو سر مقاومت و یا به دو الکترود یک لامپ گازی و حرکت الکترونها و برقراری جریان و برخورد الکترونها در حال حرکت به اتمها و تحریک آنها می شود.

انرژی شیمیایی : به دو روش یکی ایجاد حرارت و التهاب و دیگری به وسیله تحریک مستقیم اتمها باعث ایجاد نور می شود.

انرژی هسته ای : به وسیله ایجاد حرارت ، نور تولید می کند.

خورشید: تبدیل هیدروژن به هلیوم که در خورشید اتفاق می افتد با تولید انرژی حرارتی زیادی همراه است که در اثر التهاب تولید نور می کند.

۲-۳ تولید نور توسط اجسام سیاه ملتهب:

حالت التهاب: اگر تعداد برخوردهای اتم ها به یکدیگر خیلی زیاد شود و حرارت زیاد تولید شود، چنین جسمی را در حال التهاب نامند.

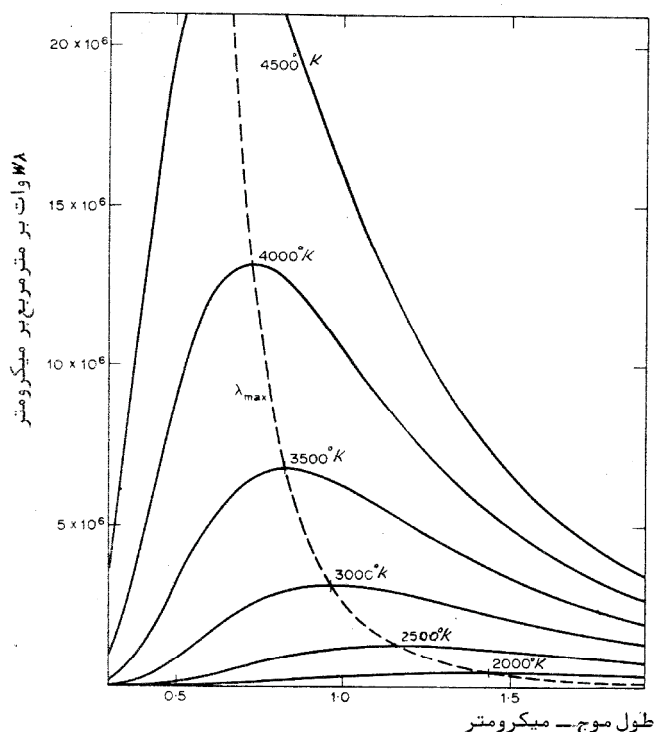
جسم سیاه: جسمی فرضی که همه تشعشعاتی که رویش تابیده می شود را کاملاً جذب می کند و هیچ مقداری از آن را منعکس یا منتقل نمی کند.

توان تشعشی جسم سیاه به طور آزمایشی تعیین شده و به قانون پلانک معروف است.

$$W_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 [e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1]}$$

در رابطه بالا W_{λ} توان تشعشی از هر متر گداخته به ازای هر متر طول موج بر حسب وات بر متر مکعب، λ طول موج بر حسب متر، T درجه حرارت جسم بر حسب درجه کلوین، $C_1 = 3.7415 \times 10^{-16}$ بر حسب وات بر متر مربع و $C_2 = 1.4388 \times 10^{-2}$ متر درجه کلوین است.

نمایش تغییرات توان تشعشی جسم سیاه با طول موج:



ملاحظه می شود با افزایش دما، انرژی تشعشی افزایش می یابد. به همین دلیل جنس رشته ی لامپ های رشته ای را از فلزات با درجه حرارت بالاتر انتخاب می کنند.

همچنین مشاهده می شود، در هر درجه حرارت میزان تشعشع با طول موج فرق میکند و در طول موج معینی

تشعشع به حداکثر خود می رسد و در درجه حرارت های بالاتر این نقطه ماکزیمم به سمت فرکانس های بالاتر و طول موج های کوتاهتر (نور مرئی) میل می کند.

در درجه حرارت های پایین $570K$ ، مادون قرمز سپس قرمز تیره و قرمز روشن، نارنجی، زرد و بالاخره سفید تولید می شود.

قانون تشعشع استفن – بولتزمن :

با استفاده از قانون پلانک و محاسبه کل توان تشعشعی یک جسم سیاه به رابطه: $W = \sigma T^4$ می رسم که در این معادله، W توان تشعشعی از واحد سطح گداخته بر حسب وات بر متر مربع، T درجه حرارت بر حسب درجه کلوین و σ ضریب بولتزمن برابر 5.7445×10^{-8} وات بر متر مربع بر توان چهارم درجه حرارت کلوین است

از این رابطه در طراحی رشته لامپ ها استفاده می شود.

۳-۳ تولید نور توسط اجسام ملتهب :

تشعشع کننده های عملی مانند تنگستن، تشعشعی کمتر از جسم سیاه در همان درجه دارند و این کاهش را با ضریب E_{λ} نشان می دهیم. E_{λ} متغیر بوده و تابعی از طول موج می باشد، ولی در درجه حرارت 3000 درجه کلوین برای طیف نور مرئی، مقدار متوسط آن حدود 0.44 است، یعنی به اندازه 0.44 جسم سیاه تشعشع می کند.

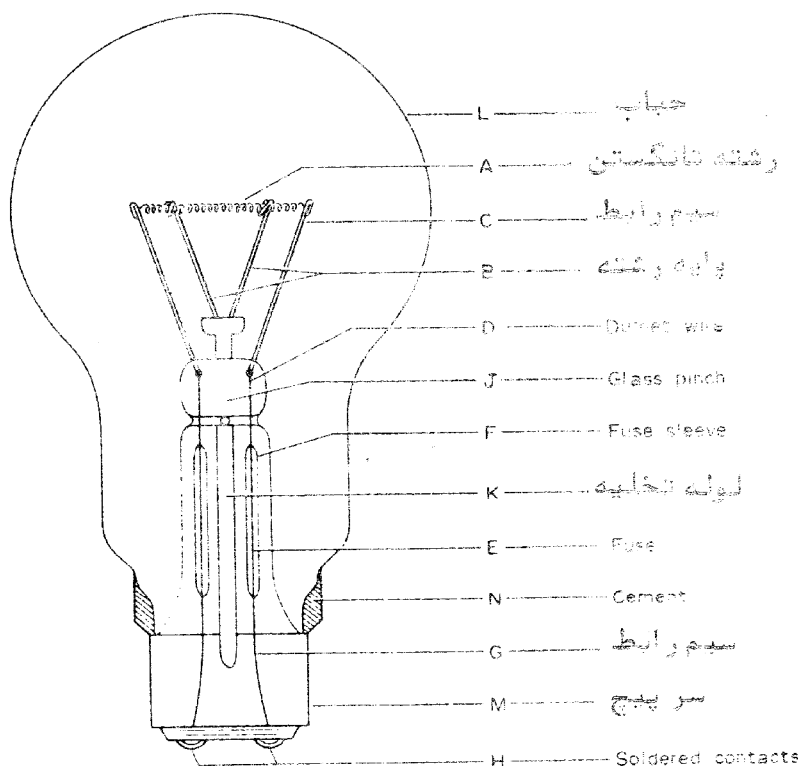
۴-۳ لامپ های رشته دار:

اساس کار این لامپ ها تشعشع فلزات در اثر عبور جریان برق می باشد. زیرا فلزات در اثر عبور جریان برق و ایجاد حرارت، ملتهب شده و تشعشع می کنند. طیف نوری حاصله تابع گاز داخل لامپ و نوع رشته فلزی می باشد.

امتیاز اصلی این لامپ رنگ دهی عالی ، کوچکی اندازه، قیمت کم و عدم نیاز به راه انداز می باشد و عیب آن بهره نوری پایین و مصرف بیشتر انرژی الکتریکی می باشد.

۳-۴-۱ اجزای لامپ های رشته ای (ساختمان عمومی لامپ های رشته دار):

شکل ۳-۳ ساختمان یک لامپ رشته دار با رشته فلزی به شکل مارپیچ را نشان می دهد.



شکل ۳-۴ ساختمان لامپ رشته دار

۳-۴-۲ سر پیچ:

قسمتی از لامپ می باشد که توسط آن انرژی الکتریکی به داخل لامپ منتقل می شود و تحمل وزن لامپ را به عهده دارد دارای ضخامت ۰/۲ میلیمتر و از جنس آلومینیم می باشد و دو نوع می باشد:

میخی: برای تعویض سریع لامپ ها مناسب است مثل لامپ های خودرو ها

پیچی: E (ادیسون) استحکام بیشتر و اتصال الکتریکی بهتری ایجاد می کند.

۳-۴-۳ حباب ها:

شیشه یا حباب لامپ ها به شکل های مختلفی ساخته می شوند که از حروف برای نامگذاری استفاده می شود و حروف تعیین کننده نوع شکل نیز می باشد. مثلاً A برای نوع ماده، P و PS گلابی شکل و ... می باشد.

حباب اغلب لامپ ها از شیشه ساخته می شود ولی شیشه لامپ های توان بالا و لامپ هایی که در معرض باران و برف قرار می گیرند از شیشه سخت که مقاومت کافی دارد ساخته می شود. لامپ های رنگی را با رنگ زدن سطح داخلی یا خارجی شیشه می سازند. داخل شیشه را از سیلیس می پوشانند که سبب کاهش چشم زدگی، می شود.

۳-۴-۴ گاز داخل حباب:

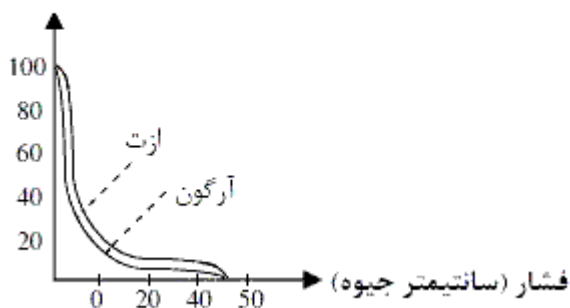
ابتدا برای جلوگیری از اکسید شدن رشته، هوای حباب را خارج می کردند. اما وجود خلاء باعث تسریع تبخیر سطحی رشته می شد و برای ممانعت از تبخیر رشته در درجه حرارت های بیشتر از ۲۵۰۰ درجه سانتی گراد، شیشه را از گاز های خنثی پر می کنند. ابتدا از ازت، بعد ها برای کاهش انتقال حرارت از آرگون و درصد کمی ازت (جهت جلوگیری از جرقه زدن بین سیم های درونی) استفاده کردند. گاز کریپتون و گزنون بعلاوه مشکل تهیه و کمیاب بودن کمتر استفاده می شود و از گاز کریپتون در لامپ های مخصوص کلاه معدنچیان برای افزایش بهره نوری و طول عمر باطری ها استفاده می شود.

۳-۴-۵ ساختمان رشته:

در لامپ های اولیه به ترتیب از ذغال، اوسیوم، تانتالوم و بالاخره تنگستن استفاده شده است. دو خصوصیت مهم تنگستن، نقطه ذوب بالا (۳۶۵۵ درجه کلوین) و تبخیر کم بعلاوه کم بودن فشار بخار آن است. بهره نوری ۵۳ لومن بروت، در درجه حرارت ذوب آن، دارد. اما برای جلوگیری از تبخیر سریع و طولانی

کردن عمر کارکرد آن ، در درجه حرارت کمتر ، البته با بهره نوری کمتر استفاده می شود.
مقدار تبخیر سطحی تنگستن ، شدیداً تابع درجه حرارت و فشار گاز داخل حباب می باشد .

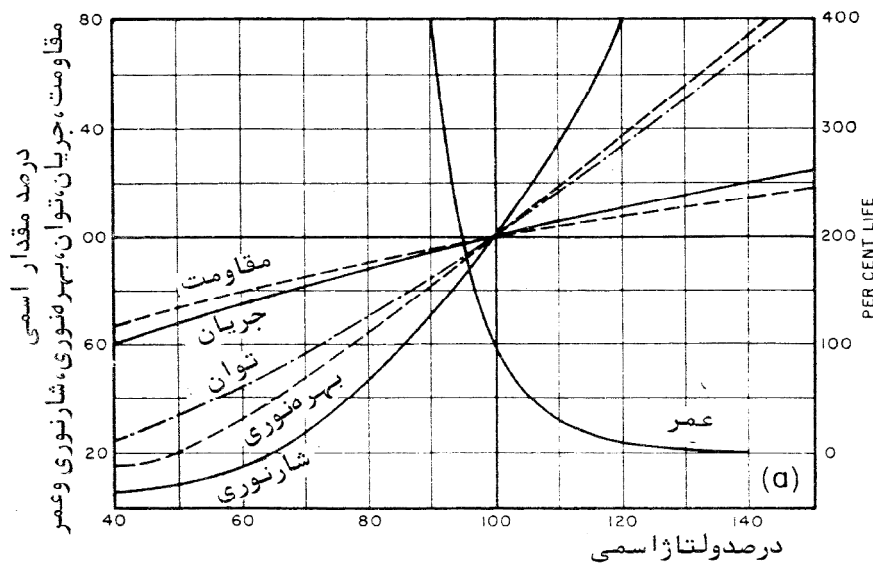
تبخیر سطحی
(مقادیر نسبی)



همانطوریکه در منحنی های مربوط به ازت و آرگن نیز مشاهده می شود مقدار تبخیر در فشارهای کم ، خیلی زیاد است ولی در فشارهای حدود یک اتمسفر (۷۶ سانتیمتر جیوه) میزان تبخیر خیلی کم است، بنابراین فشار گاز داخل را طوری در نظر می گیرند که در حرارت کار لامپ حدود یک اتمسفر باشد. تبخیر سطحی تنگستن را با δ نشان می دهیم و با واحد کیلوگرم بر متر مربع سطح در ثانیه اندازه می گیریم.

۳-۴-۶ اثر تغییر ولتاژ در لامپ های رشته دار:

همانطوریکه در شکل زیر مشاهده می شود، در اثر کاهش ولتاژ اعمال به لامپ از مقدار اسمی، جریان کاهش یافته و حرارت کم می شود و در نتیجه شار نوری، بهره نوری ، مقاومت و توان کمتر می شود ولی عمر لامپ افزایش می یابد. و برعکس اگر ولتاژ اعمالی بیشتر از ولتاژ اسمی گردد، همه پارامترها



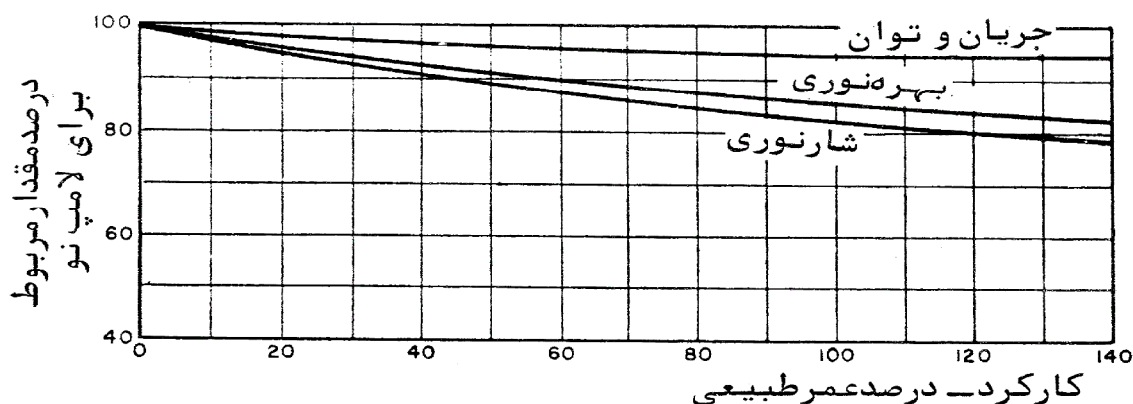
شکل ۸-۳ اثر تغییر ولتاژ در لامپ های رشته ای

افزایش می یابند ولی بعلا افزایش تبخیر سطحی رشته، عمر لامپ کاهش می یابد.

مشاهده می شود، در ۹۰٪ ولتاژ نامی بیشترین طول عمر، در ۹۵٪ ولتاژ نامی، در ۶۰٪ ولتاژ نامی عمر اسمی و بالاخره حدود ۱۴۰٪ ولتاژ نامی کمترین طول عمر را خواهد داشت. البته می توان به صورت فرمول های ریاضی نیز این مطالب را بیان نمود. و این مقادیر به گاز داخل لامپ نیز وابسته هستند.

۳-۴-۷ اثر کارکرد روی شار نوری، بهره نوری و جریان و توان لامپ:

همانطوریکه در شکل ملاحظه می شود در اثر کارکرد و تبخیر رشته و کاهش قطر آن، مقاومت افزایش و در نتیجه جریان، توان و نور تولیدی کاهش می یابد. طول عمر لامپ های رشته ای حدود ۱۰۰۰ ساعت در نظر گرفته می شود و نور خروجی در نیمه عمر لامپ نزدیک ۹۰٪ نور لامپ می باشد.



شکل ۳-۹ تغییرات جریان، توان، نور و بهره نوری در اثر فرسودگی

۳-۴-۸ مقاومت اولیه:

مقاومت الکتریکی لامپ تابع طول، سطح مقطع و جنس ماده (فلز) می باشد $R = \rho \frac{L}{A}$ و علاوه از آنها به

حرارت نیز وابسته است (t_1 دمای اولیه و t_2 دمای ثانویه) $R_{t1} = R_{t1} [1 + \alpha (t_2 - t_1)]$

در لحظه اول (مقاومت سرد) مقدار مقاومت کم می باشد و با روشن شدن لامپ افزایش دما مقاومت افزایش می یابد.

۳-۴-۹ جریان راه اندازی:

باتوجه به کم بودن مقاومت فلزات در دمای عادی (حالت سرد)، جریان راه اندازی طبق رابطه $I = \frac{V}{R}$ زیاد بوده و با روشن شدن لامپ و افزایش دما، مقاومت افزایش یافته و جریان کاهش می یابد.

۳-۴-۱۰ ولتاژ اقتصادی برای لامپ های رشته دار:

ولتاژی است که هزینه تعویض لامپ های سوخته و هزینه جاری برق مصرفی را به ازای واحد شار نوری تولی شده به حداقل برساند. بسته به هزینه برق مصرفی و قیمت لامپ، ولتاژ اقتصادی لزوماً با ولتاژ اسمی برابر نیست.

$$V = V_o \left(\frac{0.819bW_o}{c} \right)^{0.087}$$

V_o = ولتاژ اسمی

b = هزینه هر کیلووات مصرفی

c = هزینه تعویض لامپ

W_o = توان اسمی لامپ

۳-۴-۱۰ انواع لامپ های رشته دار:

معمولی: در خانه ها مورد استفاده قرار می گیرد.

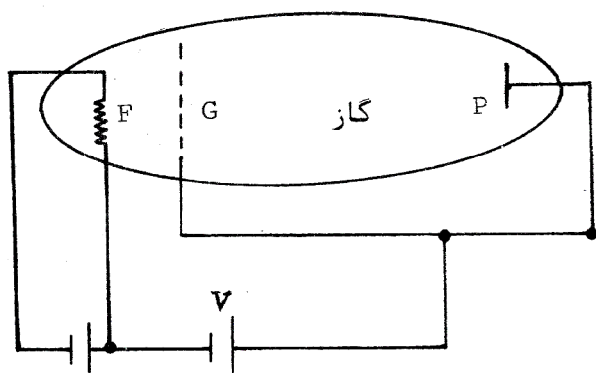
با منعکس کننده: به منعکس کننده داخلی مجهز هستند که شار را در جهت معینی افزایش می دهند.

هالوژنی: برای توان های بیشتر از ۱۵۰۰ وات، که درجه حرارت افزایش می یابد، جهت کاهش تبخیر سطحی مقدار کمی از گازهای هالوژنی مثل ید یا برم به گاز داخل حباب اضافه می کنند. در مجاورت حباب لامپ که درجه حرارت کمتر (حدود ۲۵۰ درجه سانتیگراد) است، تنگستن تبخیر شده باید ترکیب می شود و یدور تنگستن تولید می کند. در حوالی رشته که درجه حرارت بیشتر است، یدور تنگستن تجزیه می شود و تنگستن روی رشته می نشیند.

در این لامپ ها درجه حرارت بالاتر و توان تا ۱۰ کیلووات و بهره نوری حدود ۳۵ لومن بر وات و عمری حدود ۲ برابر لامپ های رشته دار معمولی است و در نورافکن ها استفاده می شود.

لامپ های تخلیه در گاز:

۵-۳ تولید نور در اثر عبور جریان برق در گازها (تخلیه الکتریکی در گازها):



شکل ۱۰-۳ لوله محتوی گاز

گازها در حالت عادی الکترون آزاد ندارند و هادی الکتریسیته نیستند. یک روش ساده برای تحریک اتم های گاز و تولید نور، عبور دادن الکترونهاى پراثری از داخل گاز است که در برخورد به اتمهای خنثای گاز سبب تحریک آنها می شوند.

بنابراین لامپ تخلیه در گاز شامل یک حباب یا

دو الکتروود داخل و گازی که بایستی یونیزه شود، می باشد و به دو نوع تقسیم می شود.

لامپ با کاتد گرم: از یکی از الکتروودها جریان می گذرانند تا گرم شده و الکترون ساطع کند و در این حالت اختلاف ولتاژ اعمالی به دو الکتروود باعث یونیزه شدن گاز و حرکت الکترون ها در گاز و باعث تحریک آنها و تولید نور می شود.

لامپ با کاتد سرد: در اینجا عامل گرم کننده کاتد و ساطع کردن الکترون وجود ندارد، بلکه با اعمال اختلاف ولتاژ زیاد بین دو الکتروود باعث جرقه زدن و یونیزه شدن گاز می گردد.

طیف تشعشع تابع نوع گاز، فشار حرارت آن و شرایط الکتریکی آن می باشد.

تا بحال از بخار جیوه، سدیم، کادمیوم، نئون و گاز کربنیک استفاده شده است. اگر فشار گاز خیلی کم باشد (در حدود یک میلی متر جیوه) الکترونها به پایین ترین سطح انرژی تحریک می شوند که در جیوه طول موج نامرئی ۲۵۳۷/۰ میکرومتر و در سدیم طول موج های امواج زرد ۵۸۹۰/۰ و ۵۸۹۶/۰ میکرومتر تولید می کند در فشارهای بالاتر تحریک در سطح بالاتر نیز انجام می شود و فرکانس های متعددی تولید می کند. مثلاً لامپ سدیم در فشار ۲۵ سانتی متر جیوه نور تقریباً سفید، تولید می کند و لامپ جیوه ای در فشار ۲۰۰ سانتی متر جیوه، نور سفید مایل به سبز و در فشار ۷۶۰ سانتی متر جیوه، نور شبیه به نور لامپ های التهابی تولید می کند.

اثر فشار در کم کردن مقاومت گاز می باشد و با انجام یونیزاسیون مقاومت الکتریکی لامپ کاهش می یابد که موجب افزایش بیشتر جریان و یونیزاسیون می شود و اگر از لامپ محافظت نشود در مدت کمتر از یک ثانیه از بین می رود به همین خاطر در ولتاژ dc از یک مقاومت و در ولتاژ AC از یک امپدانس متوالی که به جوک یا بالاست معروف استفاده می کنند تا جریان را محدود نماید تلفات در مقاومت بیشتر از امپدانس است.

لامپ های تخلیه در گاز به دو دسته تقسیم می شوند.

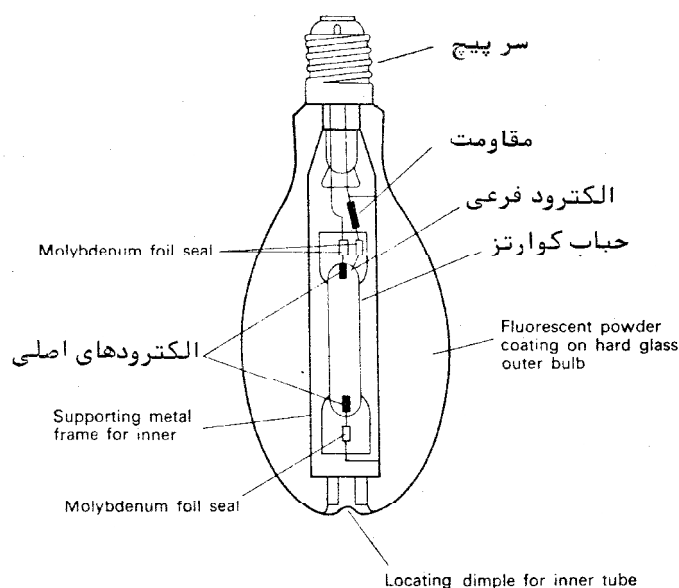
✓ لامپ هایی که در اثر عبور جریان نور مرئی تولید می کنند مثل لامپ بخار جیوه و لامپ بخار سدیم.

✓ آنهایی که در اثر عبور جریان نور نامرئی تولید می کنند و با تحریک یک جسم فلورسنت نور مرئی تولید می کنند مثل لامپ های فلورسنت.

۳-۶ لامپ بخار جیوه

۳-۶-۱ ساختمان عمومی لامپ بخار جیوه :

ساختمان عمومی یک لامپ بخار جیوه در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است به طوری که ملاحظه می کنید لامپ دارای دو حباب داخلی و خارجی است حباب داخلی از کوارتز ساخته می شود تا بتواند فشارهای تا حدود ۳ اتمسفر و درجه حرارت های حدود ۱۰۰۰ درجه کلوین را تحمل کند. این حباب در دو انتها به حباب



خارجی متصل است حباب داخلی ابتدا تخلیه می شود و سپس مقداری جیوه و کمی گاز آرگون برای کمک به راه اندازی به آن وارد می کنند. الکتروودها از رشته مارپیچ تنگستن که روی میله ای از مولیبدنوم پیچیده شده است ساخته می شود و روی آن از اکسید باریوم یا توریوم که به سهولت الکترون صادر می کنند پوشیده شده است. در نزدیکی یکی از الکتروودهای اصلی یک الکتروود کمکی قرار دارد که برای راه اندازی مورد استفاده

قرار می گیرد حباب خارجی استوانه ای یا بیضوی است و غالباً سطح داخلی آن از فسفر پوشانده می شود که به عنوان صافی که بعضی از طول موج های موجود را جذب می کند عمل می کند. این حباب همچنین حفاظت حباب داخلی را علیه عوامل جوی مثل تغییر درجه حرارت، باد و غیره به عهده دارد فاصله بین دو حباب از مقداری گاز خنثی مثل ازت پر می شود تا از اکسید شدن قسمتهای داخلی جلوگیری شود.

۳-۶-۲ طرز راه اندازی کار لامپ بخار جیوه:

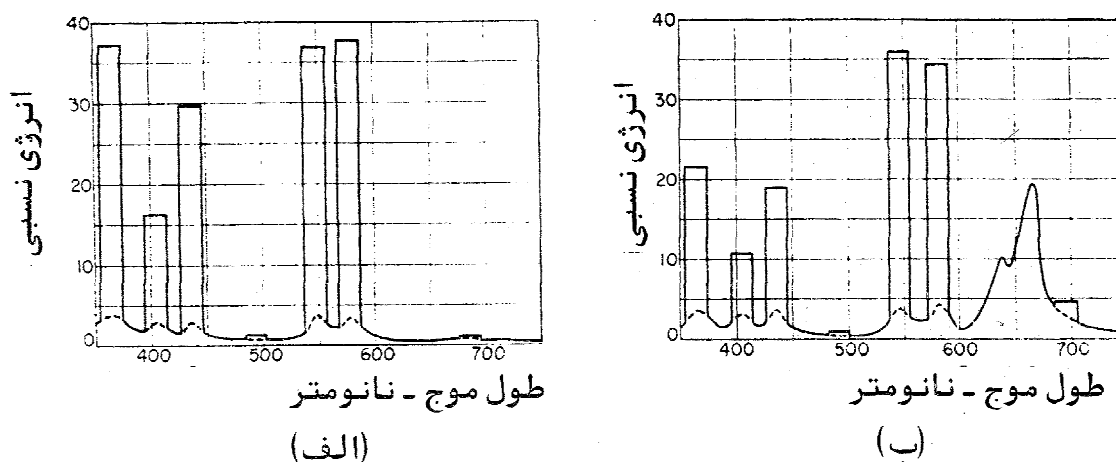
وقتی کلید مدار لامپ وصل می شود ولتاژ ۲۲۰ ولت بین الکتروود اصلی و الکتروود فرعی مجاور آن برقرار می شود که برای ایجاد جرقه کافی است. حرارت ایجاد شده سبب یونیزه شدن گاز آرگون می شود و در نتیجه قوس بین دو الکتروود اصلی برقرار می شود، در این حالت به علت مقاومت زیادی (۱۰ تا ۳۰ کیلو اهم) که با الکتروود فرعی به طور متوالی قرار دارد جریانی از آن نمی گذرد، در ابتدا به علت فشار کم جیوه، نور آبی کم رنگ ناشی از آرگون دیده می شود لیکن رفته رفته نور سبز جیوه ظاهر می شود در ظرف حدود ۳ تا ۵ دقیقه همه جیوه بخار می شود و فشار آن بالا می رود و رنگ نور به حالت طبیعی نزدیک می شود در صورتی که به علتی جریان برق قطع گردد لامپ خاموش می شود و با وصل مجدد برق لامپ روشن نخواهد شد زیرا فشار گاز خیلی زیاد است و امکان برقرار کردن جرقه در آن وجود ندارد. معمولاً ۵ تا ۷ دقیقه طول خواهد کشید تا لامپ به حد کافی خنک شود و فشار داخل پایین آید تا مجدداً جرقه برقرار شود.

۳-۶-۳ عمر ، بهره نوری و کاهش نور در اثر فرسودگی در لامپ بخار جیوه

عمر اسمی لامپهای جیوه ای دراز و در حدود ۲۴۰۰۰ ساعت است. در لامپهای قدیمی تر که از الکتروودهای پوشیده از اکسیدباریوم استفاده می شد هر بار روشن شدن لامپ، باعث از دست رفتن مقداری از اکسیدباریوم می شد که به عمر لامپ لطمه زیادی می زد. در لامپهای جدید با الکتروود از جنس توریوم عمر لامپ افزایش یافته است. بهره نوری این لامپها ۵۰ تا ۶۰ لومن بر وات است کاهش نسبی نور لامپ جیوه به علت جیوه به علت کارکرد و فرسودگی در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده است همان طوری که ملاحظه می کنید میزان کاهش نور لامپ پس از ۵۰۰۰ ساعت نسبت به لامپ نو در حدود ۱۰ درصد است.

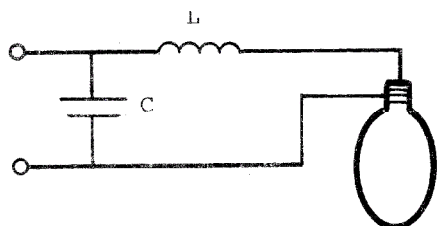
۳-۶-۴ طیف نور لامپ بخار جیوه

همانطوریکه از شکل الف پیداست نیمی از تشعشع لامپ بخار جیوه در ناحیه ماوراء بنفش است و مقداری نیز در محدوده نور زرد می باشد و مقدار کافی از نور قرمز ندارد. لذا در روی سطح داخلی حباب خارجی از فسفر مخصوص استفاده می کنند که نور مرئی را به نور قرمز تبدیل کند (شکل ب) که در نتیجه نور لامپ به نور سفید یا نور خورشید نزدیک تر است.



نکته: با توجه به کم بودن نور قرمز در این لامپ و روشن شدن مجدد آن با تأخیر حدود ۷ دقیقه ای، در تاسیسات روشنایی از تعدادی لامپ رشته ای همراه با لامپ های جیوه استفاده می کنند.

۳-۶-۵ وسائل کمکی لامپ بخار جیوه:



از مدار روبرو استفاده می شود که L برای محدود کردن جریان و C برای تصحیح ضریب توان به کار گرفته می شود.

شکل ۱۴-۳ مدار تغذیه لامپ بخار جیوه

۷-۳ لامپ های متال هالاید :

لامپهای متال هالاید از نظر ساختمان مانند لامپهای جیوه پر فشار هستند تفاوت اصلی آنها با لامپهای جیوه پر فشار در این است که در حباب داخلی آنها علاوه بر جیوه مقدار کمی از نمکهای هالوژنی وارد می کنند. نمکهای معمول یدور سدیم، یدور ایندیوم و یدور تالیوم است وقتی لامپ در ظرف ۵ تا ۷ دقیقه به درجه حرارت کار خود می رسد، یدورها تبخیر می شوند و به فلز مربوط و ید تجزیه می شوند و در نتیجه در طول موج مخصوص خود تشعشع می کنند به این ترتیب طیف لامپ بهتر می شود و بهره نوری آن هم به علت تولید نور زرد که ارزش بینایی بیشتری دارد افزایش می یابد و در لامپ ۴۰۰ وات به حدود ۸۰ لومن بر وات می رسد این لامپها امروزه در اندازه های ۲۵۰ تا ۲۰۰۰ وات ساخته می شوند و در کاربردهایی نظیر روشنایی میدانی ورزشی و نورتابی به جبهه ساختمانهای بزرگ مورد استفاده قرار می گیرند در سالهای اخیر این لامپها برای روشنایی داخلی هم مورد استفاده قرار گرفته اند.

۸-۳ لامپ های بخار سدیم:

لامپهای سدیم از نظر ساختمان شبیه لامپهای بخار جیوه هستند در این لامپها سدیم به عوض جیوه و گاز نئون به جای آرگون مورد استفاده قرار می گیرد راه افتادن کامل این لامپ ۱۵ تا ۲۰ دقیقه طول می کشد لیکن در صورت قطع لحظه ای برق این لامپ بدون تأخیر روشن می شود این لامپها در فشار کم و زیاد عمل می کنند در لامپ سدیم کم فشار ، طول موج نور ۵۸۹۰ و ۵۸۹۶ میکرون است که زرد رنگ است نظر به اینکه این طول موجها خیلی نزدیک حداکثر منحنی حساسیت است این لامپها بهره نوری بالا تا حدود ۷۰ لومن بر وات دارند به رغم بالا بودن بهره نوری به علت زرد بودن نور این لامپها، این لامپها بیشتر برای روشن کردن خیابانها و معابر و محلهای مشابهی که رنگ، اهمیت چندانی ندارد مورد استفاده قرار می گیرند. در لامپهای سدیم پرفشار طیف نور تولیدی وسیعتر می شود و رنگهای غیر از زرد هم تولید می شوند

و نور لامپ طلایی رنگ می شود فشار گاز این لامپها در حدود نیم اتمسفر و درجه حرارت آنها تا حدود ۱۶۰۰ درجه سانتیگراد است.

لامپ های تخلیه در گاز دو نوع می باشد: لامپ با کاتد گرم و لامپ با کاتد سرد

✓ در لامپ با کاتد گرم، کاتد در اثر گرم شدن الکترون ساطع می کند که بالاخره به یونیزاسیون گاز می انجامد.

✓ در لامپ با کاتد سرد، از کاتد ساطع کننده خبری نیست و از ولتاژ زیادی برای برقرار نمودن جرقه و یونیزاسیون استفاده می شود.

۹-۳ لامپ های نئون:

جزء لامپ های تخلیه در گاز الکتروود سرد می باشد و از گاز نئون استفاده می شود جزء لامپ های تزئینی می باشد و در طول های مختلفی ساخته می شود و چون حرارت اولیه توسط الکتروود ها ایجاد نمی شود لذا برای تحریک گاز با فشار بالا استفاده می نمائیم به همین منظور برای هر متر لوله لامپ نئون حدوداً ۱۰۰۰ ولت فشار الکتریکی لازم است برای روشن کردن یک مجموعه لامپ نئون باید به نسبت طول مورد استفاده، از یک ترانسفورماتور افزاینده استفاده می نمایند و برای تغییر رنگ نور لامپ نئون، رنگ گاز نئون را تغییر می دهند.

عمر آن ۷ الی ۸ هزار ساعت عمر دارد.

فشار مورد نیاز وابسته به قطر لوله و طول لوله می باشد که معمولاً قطر لوله لامپ های نئون بین ۵ تا ۲۵ میلی متر می باشد. و طول ساخته شده آنها ۲ الی ۶ متر می باشد که در دو انتهای آن دو تا الکتروود فلزی از جنس فولاد صیقل شده می باشد.

۳-۱۰ عوامل موثر در تخلیه گاز:

- ۱- نوع گاز (بستگی به نوع لامپ مورد نیاز)
- ۲- نوع الکتروود (بسته به فلزی که بتواند الکترون آزاد کند)
- ۳- طول لامپ (هر چه قدر طول بیشتر باشد به ولتاژ و انرژی بیشتری نیاز است)
- ۴- قطر لوله (قطر لوله هر چه بیشتر باشد به ولتاژ بیشتری نیاز خواهیم داشت)
- ۵- نوع الکتروود (شکل الکتروود): هر چقدر نوک تیزتر باشد پرتاب الکترون بیشتر است)
- ۶- فشار گاز (هر چقدر فشار گاز بیشتر باشد به ولتاژ بیشتر و یا تحریک کننده های کمکی نیاز داریم)

۳-۱۱ لامپ فلورسنت:

جزء لامپ های تخلیه در گاز با الکتروود گرم بوده و از یک لوله بلند با قطر کم (استوانه ای) ساخته می شوند و سطح داخلی لوله از ماده فلورسنت پوشیده شده است فلورسنت به موادی گفته می شود که نور را در طول موجی غالباً نامرئی جذب می کند و نور در طول موج دیگری که غالباً مرئی است پس می دهند در هر انتهای لوله یک الکتروود (E در شکل های ۱۵-۳ تا ۱۷-۳) قرار دارد که از رشته تنگستنی درست شده و از اکسیدهای باریوم و استرانسیم که به راحتی الکترون ساطع می کنند پوشیده شده است هریک از الکتروودها به دو صفحه کوچک در دو انتهای الکتروود متصل است که در نیم سیکلی که الکتروود مثبت است کار آنرا انجام داده و الکترونها را دریافت می کند در نیم سیکل بعدی الکتروود منفی بوده و کار کاتد را انجام می دهد یعنی الکترون ساطع می کند در یکی از الکتروودها یک لوله تخلیه وجود دارد که پس از ساخته شدن ، از طریق این لوله هوای داخلی آن را خارج نموده و مقدار کمی گاز آرگون و جیوه وارد کرده و سپس لوله را مسدود می نمایند و توسط دو شاخک الکتروودها به بیرون هدایت می شوند.

مواد فلورسنت معمول در طول موج حدود ۲۵۳۷/۰ میکرون بالاترین راندمان تبدیل نور غیر مرئی به مرئی را دارند و قبلاً دیدیم این طول موج را بوسیله لامپ جیوه ای با فشار خیلی کم (در حدود ۰/۰۰۴ اتمسفر) تولید نمود و علت استفاده از جیوه در لامپ های فلورسنت همین حقیقت است.

برای محدود کردن فشار جیوه به مقدار یاد شده، درجه حرارت جیوه محدود باشد و لذا در طراحی لامپ باید توجه نمود که درجه حرارت حباب از حدود ۴۰ تا ۴۵ درجه سانتی گراد متجاوز نشود. به این دلیل است که با توجه به درجه حرارت محیط و توان لامپ باید سطح جانبی حباب را بزرگ اختیار نمود که انتقال حرارت به خارج طوری انجام پذیرد که درجه حرارت حباب از این حد بیشتر نشود.

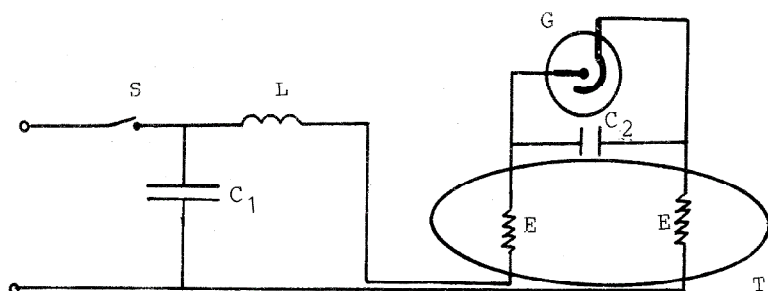
بهره نوری این لامپ ها در حدود ۵۰ لومن بروات و درخشندگی آنها برابر ۹۰۰۰ کاندیلا بر متر مربع است طول عمر این لامپ ها ۵۰۰۰ ساعت است.

برای سادگی جایگزین کردن لامپ های فلورسنت به جای لامپ های رشته دار، لامپ های فلورسنتی ساخته شده است که راه انداز و وسائل اضافی آن در داخل حباب قرار میگیرد و حباب خارجی آنها به شکل لامپ های رشته دار ساخته می شود و سرپیچی مشابه لامپ های رشته دار دارند.

۱۲-۳ مدارهای راه اندازی لامپ های فلورسنت:

لامپ های فلورسنت برای راه اندازی و حفاظت حین کار به کلید راه انداز و چوک محدود کننده جریان مجهز هستند. کلیدهای راه انداز انواع مختلف دارند که براساس ولتاژ و دیگری براساس جریان عمل می کنند و از همه معمول ترند.

۱-۱۲-۳ کلید راه انداز عمل کننده بر اساس ولتاژ

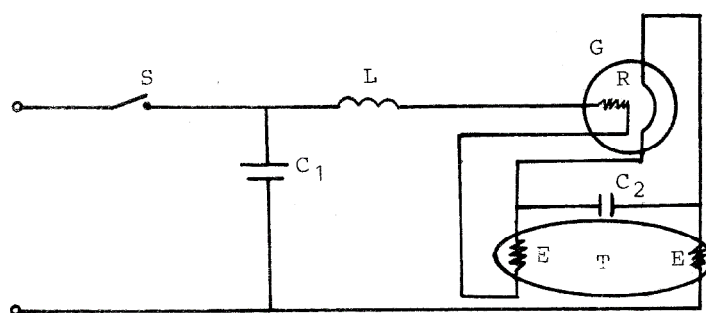


با اعمال ولتاژ ۲۲۰ ولت برق شهر به ورودی مدار این ولتاژ از طریق دو الکتروود لامپ E به دو سر کلید راه انداز

G همان **Starter** اعمال می شود و باعث یونیزه شدن گاز داخل (هیدروژن و هلیوم) آن و برقراری تخلیه الکتریکی در آن می شود. حرارت ناشی از این عمل، باعث گرم شدن بی متال داخل آن و اتصال به جزء ثابت و در نتیجه برقراری جریان از طریق دو رشته تنگستن الکترودها **E** می گردد. این جریان باعث به التهاب در آوردن الکترودها و یونیزه شدن گاز اطراف آنها می شود. بعد از یک تا دو ثانیه، بی متال داخل کلید **G** سرد شده و مدار را قطع می کند. قطع ناگهانی مدار شامل خودالقا **L**، موجب القای ولتاژ بزرگی در حدود ۸۰۰ الی ۱۰۰۰ ولت شده و این ولتاژ برای برقرار کردن قوس الکتریکی بین دو الکترودها **E** در داخل لامپ کافی است. حرارت تولید شده در اثر عبور جریان از لامپ سبب تبخیر جیوه می شود و با تبخیر کامل جیوه و رسیدن فشار داخل لوله به حدود ۰/۰۱ میلی متر جیوه، ولتاژ دو سر لامپ به ۱۰۰ تا ۱۱۰ ولت کاهش می یابد. البته این ولتاژ در دو سر کلید راه انداز هم موجود است اما برای برقراری تخلیه الکتریکی کافی نیست و ای کلید باز می ماند. بدیهی است که مقاومت طاهری چوک **L** باید به اندازه ای باشد که باقیمانده ولتاژ ورودی در دو سر آن افت کند بدون اینکه جریان از حداکثر مقدار مجاز متجاوز گردد.

لازم به ذکر است خازن **C₂** به منظور جلوگیری از ایجاد پارازیت های رادیویی به کار گرفته می شود و در حدود ۰/۲۰ میکروفاراد است. و خازن **C₁** برای بالا بردن ضریب توان مدار استفاده می شود و ظرفیت آن طوری انتخاب می شود تا ضریب توان مدار را که در حدود ۰/۵ تاخیری است به ۰/۹ برساند.

۳-۱۲-۲ کلید راه انداز عمل کننده براساس جریان



تفاوت این مدار با قبلی در آن است که در این مدار با بستن کلید **S**، از طریق دو رشته تنگستن الکترودهای **E** لامپ، در المان گرم کننده **R** کلید راه انداز **G**، جریان برقرار می شود که موجب به التهاب در آمده الکترودهای لامپ و یونیزه شدن گاز اطراف آنها و

شکل ۱۶-۳ مدار کنترل لامپ فلورسنت با کلید راه انداز که با جریان عمل می کند

نیز گرم شدن R داخل کلید G گشته و در ادامه گاز داخل کپسول راه انداز، گرم و باعث عملکرد بی متال و قطع ناگهانی اتصال و القای ولتاژ زیاد در خود القای L شده و همان فرایند مدار قبلی تکرار می شود. فقط بایستی توجه نمود که در این مدار زمانی که لامپ روشن است، گرم کن R دارای جریان است و گرمای ناشی از آن کلید G را باز نگه می دارد. و با این دلیل می گوییم کلید با جریان عمل می کند.

۳-۱۳ لامپ های فلورسنت بدون راه انداز:

این لامپ ها فاقد کلید راه انداز بوده و لامپ فلورسنت بدون راه انداز یا با راه انداز فوری نامیده می شوند.

۳-۱۴ لامپ های فلور سنت با کاند سرد:

در این لامپ ها الکترودها از آهن یانیکل به شکل استوانه ساخته می شود و برای ساطع کردن الکترون گرم نمی شوند و برای راه اندازی آنها به ناچار باید از ولتاژ بیشتری که بتواند در لامپ تخلیه شروع کند، استفاده می شود. برای این منظور از ترانسفورماتورهای که دارای راکتانس نشی بزرگ هستند، استفاده میشود.

۳-۱۵ اثر استروبو سکوپ:

لامپ های تخلیه دوبار در هر سیکل و ۱۰۰ بار در ثانیه خاموش می شوند که البته برای چشم انسان قابل تشخیص نیست و اگر وسائل دوار، در این نور رویت شوند، بسته به سرعت آنها ممکن است ساکن به نظر رسیده و خطراتی ایجاد می کند.

برای رفع این مشکل از چراغ های ۲ تا ۳ لامپی استفاده می شود، که بین جریان های آنها با اضافه کردن خازن، اختلاف فاز ایجاد می کنند.

در روش دیگر می توان چراغ های سه لامپی را از فاز های مختلف سیستم سه فاز تغذیه نمود که به علت هزینه بیشتر سیمکشی ومشکلات ایمنی، بیشتر مورد استفاده قرار نمی گیرد.

در کارگاههایی که چندردیف لامپ فلورسنت استفاده می شود، هر ردیف را از یک فاز تغذیه می کنند که ضمن رفع اثر استروبو سکوپ، هزینه اضافی زیادی را ایجاد نمی کند.

۳-۱۶ لامپ های آمیخته:

از نوع جیوه ای پرفشار هستند که دارای رشته تنگستن هم می باشند که نقش محدود کننده جریان را ایفا می کند. سطح داخلی حباب خارجی آن هم از فسفر های مخصوص پوشانده می شود. این لامپ ها با استفاده از خاصیت فلورسانس وبهره گیری از تشعشع رشته نور بسیار مناسبی با بهره نوری قابل ملاحظه تولید می کنند. بعضی از انواع این لامپ ها دارای سر پیچ مشابه لامپ های رشته دار نیز هستند که می توان به جای لامپ های رشته دار از آنها استفاده نمود.

بهره نوری این لامپ ها دو برابر لامپ های رشته دار و عمری پنج برابر آنها دارند.

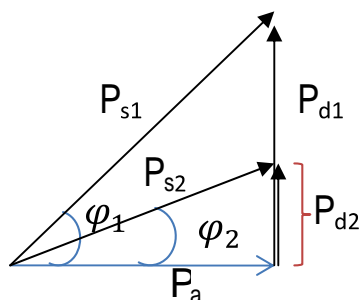
۳-۱۷ تغییر رنگ در لامپ های فلورسنت:

تغییر رنگ لامپ های فلورسنت چون همشون با گاز بخار جیوه کار می کنند لذا با تغییر رنگ گاز ممکن نبوده، بلکه باترکیبات ماده فلورسانس امکان پذیر می باشد. به رنگ های زرد، سبز، آبی، بنفش و آفتابی می باشد.

۳-۱۸ تصحیح ضریب قدرت:

می دانیم به علت وجود بارهای سلفی مخصوصا در محیط های صنعتی علاوه از توان اکتیو ($VICos\phi$)، که توسط مشتری، از شبکه دریافت می شود، توان راکتیوی ($VISin\phi$) نیز از شبکه کشیده میشود که برای مصرف کننده مفید نبوده ولی مجبور به پرداخت هزینه آن می باشد و برای خود شبکه نیز مضر می باشد،

لذا برای کم کردن این توان راکتیو در مدارهای مصرف کننده ها، از خازن هایی استفاده می کنند که بتوانند این توان راکتیو را جبران نمایند.



بدون خازن: توان اکتیو P_a ، توان راکتیو P_{d1} و توان نامی P_{s1}
و با خازن: توان اکتیو P_a ، توان راکتیو P_{d2} و توان نامی P_{s2}

$$P_{d1} - P_{dc} = P_{d2} \quad \text{داریم:}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_{dc} = P_{d1} - P_{d2} \\ P_{d1} = P_a \tan \varphi_1 \\ P_{d2} = P_a \tan \varphi_2 \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_{dc} = P_a \tan \varphi_1 - P_a \tan \varphi_2 = P_a (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \\ \rightarrow P_{dc} = Q_c = \frac{V^2}{X_c} = \frac{V^2}{1/C\omega} = V^2 C \omega \end{array}$$

$$\Rightarrow V^2 \cdot C \cdot \omega = P_a (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad \Rightarrow \quad C = \frac{P_a (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)}{V^2 \cdot \omega}, \quad \omega = 2\pi f$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \cos \varphi_1 = \frac{P_a}{P_{s1}} \\ \cos \varphi_2 = \frac{P_a}{P_{s2}} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \varphi_1 = \arccos \left(\frac{P_a}{P_{s1}} \right) \\ \varphi_2 = \arccos \left(\frac{P_a}{P_{s2}} \right) \end{array} \right.$$

تذکر: در مورد چک لامپهای فلورسنت:

توان مصرفی چوک + توان لامپ P_a

مثال 1 - یک لامپ فلور سنت ۴۰ وات که قدرت سلف آن ۱۰ وات می باشد، و در ولتاژ ۲۲۰ ولت ۰.۴ آمپر جریان می کشد؛

مطلوبست محاسبه ظرفیت خازن برای اصلاح ضریب قدرت به واحد (یک).

$$P_a = 40 \text{ w}$$

$$P_l = 10 \text{ w}$$

$$V = 220 \text{ v}$$

$$I = 0.4 \text{ A}$$

$$\cos \varphi_1 = ?$$

$$\cos \varphi_2 = ?$$

$$C = ?$$

$$\Rightarrow \Phi_1 = \text{Arc cos } (0.56) \Rightarrow \varphi = 56^\circ$$

$$C = \frac{Pa(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)}{v^2 \omega} = \frac{50(1.48 - 0)}{220^2 \cdot 2\pi \cdot 50} = 4.86 \mu f \Rightarrow C = 4.86 \mu f$$

$$I_2 = \frac{Pa}{P_{s1}} \Rightarrow I_2 = \frac{50}{220 \times 1} \Rightarrow I_2 = 0.22 \text{ A}$$

با توجه به نتایج بالا مشاهده می شود که در این حالت جریان کاهش می یابد.

مثال ۲- در یک چراغ فلور سنت سه لامپی که قدرت هر لامپ ۴۰ وات و قدرت چوک هر کدام از آنها ۱۰ وات و ضریب قدرت هر سلف ۰/۵ می باشد.

مطلوبست: ظرفیت خازن مورد نیاز برای اصلاح ضریب قدرت به مقدار ۰/۹۵

$$P_a = 40 \text{ w}$$

$$P_l = 10 \text{ w}$$

$$V = 220 \text{ v}$$

$$\cos \varphi_1 = 0.5$$

$$\cos \varphi_2 = 0.95$$

$$C = ?$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{Pa}{P_{s1}}, \quad 0.5 = \frac{40+10}{P_{s1}} \rightarrow P_{s1} = 100 \text{ w}$$

$$I_1 = \frac{Pa}{V \cos \varphi_1}, \quad I_1 = \frac{50}{220 \times 0.5} \rightarrow I_1 = 0.454 \text{ A}$$

$$\tan \varphi_1 = \frac{\sin \varphi_1}{\cos \varphi_1} = \frac{0.86}{0.5} = 1.73$$

$$\tan \varphi_2 = \frac{\sin \varphi_2}{\cos \varphi_2} = \frac{0.31}{0.95} = 0.32$$

$$C = \frac{P_a(\tan\phi_1 - \tan\phi_2)}{V_c^2 \cdot \omega} = \frac{50(1.73 - 0.32)}{220^2 \times 50 \times \pi} \cong 4.6 \mu f$$

$$I_2 = \frac{50}{220 \times 0.95} = 0.24 A$$

نمونه سؤالات فصل سوم:

- (۱) انواع لامپ ها را نام ببرید.
- (۲) مشخصات اصلی لامپ ها کدامند؟
- (۳) علت ساطع شدن نور چیست؟
- (۴) ارتباط سطوح مختلف انرژی با فرکانس نور تولید شده چیست؟
- (۵) نور تولید شده در جسم ملتهب به چه عواملی بستگی دارد؟
- (۶) قانون پلانک و ارتباط آن با قانون تشعشع وین کدام است؟ (رابطه ها را بنویسید)
- (۷) قانون تشعشع استفن - بولتزمن را بیان کنید.
- (۸) ارتباط بین شار نوری حاصل جسم ملتهب و جسم سیاه را بنویسید.
- (۹) نحوه محاسبه شار نوری و بهره نوری یک جسم ملتهب را توضیح دهید.
- (۱۰) مزایا و معایب لامپ های رشته ای کدام است؟
- (۱۱) اجزای لامپ های رشته ای را نام ببرید.
- (۱۲) از چه موادی برای رشته لامپ استفاده شده است؟ مزایای تنگستن چیست؟
- (۱۳) جریان راه اندازی لامپ چیست؟ و چه اثری دارد؟
- (۱۴) شکل رشته چه تاثیری دارد و چرا؟
- (۱۵) نقش حباب لامپ چیست؟
- (۱۶) انواع سریچ و مزایای آنها را بنویسید.
- (۱۷) علت تخلیه لامپ و پر کردن با گاز را توضیح دهید.
- (۱۸) نقش نوع گاز در چیست؟
- (۱۹) اثر فشار در تبخیر رشته چیست؟

۲۰) اثر تغییر ولتاژ لامپ روی مقاومت، جریان، توان، درج حرارت، شار نوری، بهره نوری و بالاخره عمر لامپ چیست؟

۲۱) ولتاژ اقتصادی لامپ چیست؟ (مثال ۳-۳)

۲۲) انواع لامپ های رشته دار کدام است؟

۲۳) مزیت لامپ هالوژنی چیست و چرا؟

۲۴) علت تولید نور در لامپ های گازی چیست؟

۲۵) نقش محدود کننده چیست و نوع آن کدام است؟

۲۶) دو نوع لامپ تخلیه در گاز را توضیح دهید.

۲۷) مراحل تولید نور در لامپ بخار جیوه کدام است؟

۲۸) نقش حباب داخلی و خارجی لامپ بخار جیوه چیست؟

۲۹) اثر فشار در لامپ بخار جیوه چیست؟

۳۰) اثر فرسودگی در عمر، بهره نوری و شار نوری لامپ بخار جیوه چیست؟

۳۱) چرا تشخیص رنگ در نور لامپ بخار جیوه ممکن نیست؟ و راه حل پیشنهادی چیست؟

۳۲) نقش سلف و خازن در مدار لامپ بخار جیوه چیست؟

۳۳) تفاوت لامپ متال هالاید با لامپ بخار جیوه چیست؟

۳۴) لامپ بخار سدیم را با لامپ بخار جیوه مقایسه نمایید؟

۳۵) لامپ نئون را توضیح دهید.

۳۶) عوامل موثر در تخلیه گاز چیست؟

۳۷) مواد فلورسنت چه موادی هستند؟ بالاترین راندمان آنها در چه شرایطی است؟

۳۸) اجزا لامپ فلورسنت کدامند؟

۳۹) چرا در لامپ فلورسنت درجه حرارت باید پایین باشد؟

۴۰) انواع مدار کنترل لامپ فلورسنت از نظر نوع کلید راه انداز کدام است؟ و نحوه عملکرد هر کدام چیست؟

۴۱) نقش چوک را توضیح دهید.

۴۲) نقش خازن و نحوه محاسبه آن را بنویسید.

۴۳) نحوه تغییر رنگ در لامپ های فلورسنت را توضیح دهید.

۴۴) نحوه کارکرد لامپ های فلورسنت بدون راه انداز چگونه است؟

۴۵) نحوه کارکرد لامپ های فلورسنت با کاتد سرد چگونه است؟

۴۶) اثر استروبوسکوپ چیست و روش حل مشکل کدام است؟

مسائل فصل سوم:

۱ - یک تشعشع کننده سیاه در درجه حرارت ۱۹۹۹ درجه کلوین از سوراخی به سطح ۰/۱ سانتی مترمربع تشعشع می کند.

الف - توان تشعشعی آنرا حساب کنید.

ب - بهره نوری آن را تعیین کنید.

۲ - قیمت لامپ های رشته دار ۲۰۰ وات ۲۲۰ ولت با عمر ۱۰۰۰ ساعت با هزینه نصب ۱۰۰۰۰ ریال است. قیمت برق مصرفی کیلووات ۵۰۰ ریال است. ولتاژ اقتصادی برای این لامپ چقدر است؟

۳ - یک لامپ فلورسنت ۲۲۰ ولت ، ۵۰ هرترز، ۴۰ وات و بامصرف چوک ۱۱ وات دارای ضریب توان ۰/۵ است.

الف - برای افزایش ضریب توان به ۰/۹ تاخیری چه خازنی لازم است؟

ب - چرا غالباً ضریب توان را به ۱ افزایش نمی دهند؟

فصل چهارم:

روش های انجام محاسبات روشنایی (روش های طراحی روشنایی)

- روش نقطه به نقطه
- روش شار نوری (روش لومن)

روش نقطه به نقطه :

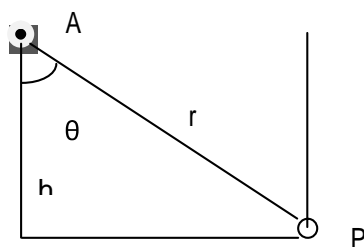
از این روش برای محاسبه شدت نور حاصل از منابع در یک نقطه مورد نظر استفاده می شود و روش خیلی دقیقی است.

ولی مناسب محاسبات روشنایی فضای بسته نمی باشد زیرا که بایستی شدت نور حاصل از انعکاس ها را نیز بایستی محاسبه نمود که سخت خواهد بود.

در فضای خارجی (غیر بسته) مانند روشنایی معابر می تواند استفاده شود.

شدت روشنایی ناشی از منابع نقطه ای :

اگر اندازه فیزیکی منابع نوری از فاصله بین منبع و نقطه محاسبه خیلی کوچک باشد منبع نقطه ای نامیده می شود. با فرض منبع نقطه ای A با شدت نوری به صورت $I(\theta)$ ، شدت روشنایی در نقطه P بصورت زیر محاسبه می شود.



$$E_h = \frac{I(\theta)}{r^2} \times \cos\theta = \frac{I(\theta)}{h^2} \times \cos^3\theta \quad \text{روی صفحه افقی در نقطه P:}$$

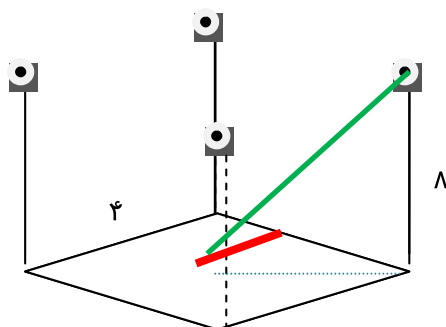
$$E_v = \frac{I(\theta)}{r^2} \times \sin\theta = \frac{I(\theta)}{h^2} \times \cos^2\theta \sin\theta \quad \text{روی صفحه عمودی در نقطه P:}$$

مثال ۱-۴:

چهار لامپ در ارتفاع ۸ متری زمین در چهار گوشه یک سطح مربع به ضلع ۴ متر قرار دارند. هر لامپ دارای شدت نور ۲۵۰ کاندیلا در نیم فضای پایین و صفر در نیم فضای بالا است.

الف - شدت روشنایی زیر یک چراغ و در وسط مربع را روی سطح زمین محاسبه و مقایسه کنید.

ب - اگر این محوطه را به صورت اتاقی با سقف و دیوارهای منعکس کننده کامل درآوریم، شدت روشنایی متوسط کف اتاق چقدر است؟



الف:

زیر یک چراغ داریم:

$$E_h = \frac{250}{8^2} \times 1 + 2 \times \frac{250}{8^2+4^2} \times \frac{8}{\sqrt{8^2+4^2}} + \frac{250}{8^2+4^2+4^2} \times \frac{8}{\sqrt{8^2+4^2+4^2}} =$$

لوکس 11.62

در وسط اتاق داریم:

$$E_h = 4 \times \frac{250}{8^2+2^2+2^2} \times \frac{8}{\sqrt{8^2+2^2+2^2}} = 13.09 \text{ لوکس}$$

ب: اگر سقف و دیوارها منعکس کننده کامل باشند همه نور بالاخره به کف اتاق می رسد، لذا شدت روشنایی متوسط با خارج قسمت کل شار نوری بر سطح برابر می شود.

$$E_h = \frac{4 \times 250 \times 2\pi}{4 \times 4} = 392.70 \text{ لوکس}$$

از این مثال به خوبی به سختی روشن کردن فضاهای باز نسبت به محیط های بسته پی می برید.

تذکره ۱: اگر تعداد منابع بیش از یکی باشد بایستی شدت روشنایی ناشی از هر کدام را جمع نمود.

توجه: اگر منبع گسترده باشد بایستی از روش انتگرال گیری برای محاسبه En استفاده نمود که فعلا بحث نمی کنیم.

تذکره ۲: در صورتی که منحنی پخش نور متقارن نباشد باید منحنی های متعددی داده شود تا اطلاعات کافی موجود باشد. و از منحنی ها برای استخراج شدت نور استفاده کرد.

فصل پنجم :

محاسبات روشنایی - روش شار نوری یا روش لومن :

محدودیت این روش آن است که تغییرات شدت روشنایی از یک نقطه به نقطه دیگر را به دست نمی دهد و امتیاز اصلی آن سادگی آن است.

کاربرد : برای محاسبات روشنایی داخلی استفاده می شود و برای بعضی محاسبات روشنایی خارجی مثل روشنایی خیابان ها استفاده می شود.

در این روش ، از مقادیر شدت روشنایی متوسط استاندارد تعیین شده، برای اماکن مختلف، استفاده کرده و تعداد چراغ های لازم و محل نصب آنها را طوری انتخاب می کنیم که شدت روشنایی مورد نظر تامین گردد.

از مسائل مهم انتخاب نوع چراغ و طراحی روشنایی یک محیط عبارتند از:

- زیبایی ظاهر
- تناسب چراغ با محل نصب
- هزینه اولیه
- هزینه جاری نگه داری چراغ ها
- عدم خیرگی چشم از نور انعکاس سطوح (رعایت درخشندگی در سطوح منعکس کننده)

۵-۱ شدت روشنایی لازم برای اماکن مختلف:

تجربه نشان داده است که بهره و کیفیت انجام بسیاری از کارها مخصوصا کارهای ظریف با افزایش شدت روشنایی روی سطح کار بالا می رود. عامل محدود کننده در شدت روشنایی، هزینه بیشتر لازم برای آن، می باشد. لذا در انتخاب شدت روشنایی باید هم به راحتی و بهره کاری بیشتر کارکنان ، و هم به هزینه مربوطه توجه شود.

شدت روشنایی استاندارد هر کشور توسط تشکیلات سازمانی مهندسان روشنایی آن کشور تعیین می شود که متناسب با سطوح زندگی مردم آن کشور می باشد. در جدول ۳-۵ کتاب مهندسی روشنایی دکتر کلهر،

مقدار کمینه و پیشنهادی شدت روشنایی برای اماکن مختلف آورده شده که در طراحی روشنایی بایستی در نظر گرفته شود.

۱-۵ محاسبه روشنایی ...
و پیشنهادی داده است که به منظور کامل بودن در جدول ۳-۵ آمده است. مراجع: مقادیر
کمینه اجباری است و استفاده از مقادیر پیشنهادی توصیه شده است. این مقادیر با شدت
روشنایی توصیه شده توسط کمینه بین المللی روشنایی تطابق دارد. در سون آخر این
جدول شدت روشنایی توصیه شده توسط جامعه مهندسان روشنایی آمریکا کتاب اس ای ای
گرفته شده است جهت مقایسه داده شده است. به طوریکه ملاحظه می کنید ارقام توصیه شده
توسط جامعه مهندسان روشنایی آمریکا بالاتر از ارقام ایران است.

جدول ۳-۵ شدت روشنایی توصیه کمینه ملی روشنایی ایران و جامعه
مهندسان روشنایی آمریکا برحسب لوکس

محل	ایران		مجموع مهندسان روشنایی آمریکا
	کمینه	پیشنهادی	
۱- محل های مسکونی			
۱-۱- اتاق نشیمن و پذیرایی	۷۰	۲۰۰	۱۶۰
۱-۲- اتاق مطالعه (نوشتن و خواندن کتاب و مجله روزنامه)	۱۵۰	۵۰۰	۳۲۰
۱-۳- آشپزخانه (ظرفشویی اجاق و میز کار)	۱۰۰	۲۰۰	۵۲۰
۱-۴- اتاق خواب:			
۱-۴-۱- روشنایی عمومی	۵۰	۱۰۰	
۱-۴-۲- روشنایی تخت خواب و میز نالت	۲۰۰	۵۰۰	
۱-۵- حمام:			
۱-۵-۱- روشنایی عمومی	۵۰	۱۰۰	
۱-۵-۲- آئینه (برای اصلاح صورت)	۲۰۰	۵۰۰	
۱-۶- بلدکان	۱۰۰	۱۵۰	
۱-۷- راهرو، سرسرا و آسانسور	۵۰	۱۵۰	
۲- دفاتر و ادارها			
۲-۱- تمام کارهای عمومی	۲۰۰	۵۰۰	۱۶۰۰

1-Illumination Engineering Society(IES)Handbook,Third edition,1962

۱-۶ ...
توصیه شده است. جامعه مهندسان روشنایی آمریکا و انجمن مهندسان روشنایی انگلستان
این دو روش را برای مقایسه ارائه کرده است. ملاحظه می کنید که مقادیر توصیه شده در دو
نشر جهانی تفاوت بسیار نا سطح زندگی آنها از زمان نزدیک دارند.

شدت روشنایی - لوکس بر مبنای جامعه مهندسان روشنایی آمریکا	شدت روشنایی - لوکس بر مبنای انجمن مهندسان روشنایی انگلستان	مکان
۳۰	۳۰۰	اتاق نشیمن
۳۰ تا ۷۰	۱۰۰	میز کار، آشپزخانه
۱۵ تا ۳۰	۳۰۰ تا ۵۰۰	اتاق خواب
۱۰	۷۰	الاس دروس
۱۵ تا ۳۰	۱۰۰ تا ۳۰۰	رستوران
	۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰	مزرعه

جدول ۱-۵ مقایسه شدت روشنایی توصیه شده در آمریکا و انگلستان

به صورت خیلی کلی، شدت روشنایی روی سطوح کار را برای فعالیتهای مختلف می توان
به این جدول ۲-۵ خلاصه کرد.

نوع فعالیت	شدت روشنایی روی میز کار - لوکس
حمل و نقل (جابجایی کردن)	۱۰۰ تا ۵۰۰
کار دقیق و غیر دقیق	۲۵۰ تا ۱۲۵
کارهای نیمه دقیق	۵۰۰ تا ۲۵۰
کارهای دقیق	۱۰۰۰ تا ۵۰۰
کارهای خیلی دقیق	۱۰۰۰ و بیشتر

جدول ۲-۵ توصیه های کلی برای شدت روشنایی

کمینه ملی روشنایی موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران برای غالب اماکن
بازد، محل های مسکونی، تجاری و صنعتی مقادیری برای شدت روشنایی حداقل یا کمینه

۲-۵ روش لومن برای محاسبه روشنایی :

در این روش از رابطه $E_{av} = \frac{\Phi}{A} \times CU$ استفاده می شود که در آن A سطح مورد نظر برای محاسبه
روشنایی می باشد، ؟ شار نوری حاصل از لامپ یا لامپ ها می باشد و CU ضریب بهره نشان دهنده نسبت
شار نوری مفید که به سطح کار روشنایی می بخشد، به کل شار نوری تولید شده در لامپ ها می باشد. در
حالت ایده آل (که هیچ جذبی سطوح سقف و دیوارها انجام نمی شود و کف اتاق کل شار نوری را جذب
می کند و در سطوح خود چراغ نیز جذبی اتفاق نمی افتد.) مقدار ضریب بهره یک می باشد. ولی در عمل
به پارامترهایی بستگی دارد که در روش های محاسبه زیر توضیح داده می شود.

۵-۲-۱ روش لومن مبنی بر آزمایش های اولیه

در کارهای اولیه هریسون و آندرسون CU با روش های آزمایش تعیین شد که شرایط آزمایش ها شامل چراغ با بخش نورهای مختلف، اتاق های آزمایش با اندازه های مختلف بوده، که از نتایج آزمایش ها در محاسبات روشنایی استفاده می شد که البته به علت قدیمی بودن و عدم استفاده عملی، جزئیات آن بررسی نمی شود.

۵-۲-۲ روش لومن مبتنی بر آزمایش و محاسبه

در این روش نتایج مبتنی بر آزمایش و محاسبه که از دقت بیشتری برخوردار است در جداول کاملی برای انواع چراغ ها و اندازه های مختلف اتاقها داده شده که در محاسبات روشنایی استفاده می شود. ضریب بهره به عوامل مختلفی مثل جذب نور در چراغ، منحنی پخش نور چراغ، ارتفاع نصب چراغ ها، طول و عرض و ارتفاع اتاق، ضرایب انعکاس سقف، دیوارها و کف بستگی دارد این عوامل در جدول ۴-۵ و ۶-۵ کتاب دکتر کلهر، برای هر نوع چراغ درج شده است که نحوه استفاده از آنها را در دو روش زیر توضیح خواهیم داد.

۵-۲-۲-۲ روش لومن با استفاده از شاخص فضا

در این روش از شاخص فضا یا ضریب اتاق K_r که به صورت زیر تعریف می شود :

$$K = \frac{LW}{h(L+W)}$$

در مورد نورمستقیم، نیمه مستقیم و پخش یکسان

$$K = 1.5 \frac{LW}{H(L+W)}$$

در مورد نور غیر مستقیم و نیمه غیر مستقیم

L طول اتاق، W عرض اتاق، h ارتفاع نصب چراغ ها از سطح کار و H ارتفاع سقف از سطح کار است. ملاحظه می شود که افزایش ضریب بهره با شاخص فضا در مقدار ۵، متوقف و بعد از آن ثابت است یعنی مقادیر بیشتر از ۵، تاثیری در ضریب ندارد. در این روش از جدول ۴-۵ کتاب دکتر کلهر، استفاده می شود، بنابراین قبل از بیان روش محاسبه در مورد جدول ۴-۵ توضیح هاتی داده می شود.

- در ستون اول سمت چپ منحنی پخش نور چراغ رسم شده و درصد شار نوری آن به طرف بالا و پایین داده شده است که از این درصد ها و جدول ۴-۲ (تقسیم بندی چراغ ها)، نوع سیستم روشنایی را تعیین و در محاسبه شاخص فضا K_r استفاده می گردد. همچنین در این ستون حداکثر فاصله مجاز بین دو چراغ متوالی داده شده است که بر حسب ارتفاع نصب آنها از کف اتاق (MH) داده شده و در چیدمان چراغ ها در مرحله آخر طراحی استفاده خواهیم کرد.
- در ستون دوم از سمت چپ، شاخص فضا که 0.6 تا 5 آمده است (در سال های گذشته بجای اعداد از حروف استفاده می گردید) .
- در ۱۲ ستون بعدی ضریب بهره برای مقادیر انعکاس سقف (ρ_c) از 0.8 تا صفر و برای مقادیر ضرایب انعکاس دیوار (ρ_w) از 0.5 تا صفر داده شده است. پس با در نظر گرفتن مقادیر ρ_c و ρ_w ، ضریب بهره به دست می آید البته این ضریب بهره برای ارتفاع سطح کار از کف 30 اینچ (80 سانتی متر) و ضریب انعکاس کف (ρ_f) 0.1 محاسبه شده اند. اگر مقدار ضریب انعکاس کف غیر از 0.1 باشد ضریب تصحیح را از آخر جدول ۴-۵ بدست می آوریم.
- در ستون آخر از سمت چپ جدول، شکل ظاهری چراغ و ضریب نگهداری یا ضریب بهره برداری (MF) داده شده است. این ضریب بستگی به نوع چراغ و پاکیزگی محل دارد و سه مقدار مختلف برای حالات نگه داری خوب، متوسط و بد داده شده است. و نشان می دهد بهر حال در اثر کارکرد مقدار شار نوری مفید کاهش خواهد یافت.

❖ مراحل انجام محاسبات روشنایی :

- (۱) مقادیر طول L ، عرض W ، ارتفاع اتاق و ارتفاع نصب چراغ ها از سطوح کار (h) و یا ارتفاع سقف از سطح کار (H) را از صورت مسئله استخراج می کنیم.

۲) سیستم روشنایی و نوع چراغ را انتخاب می کنیم (از ستون اول چراغ مورد نظر در جدول ۴-۵ و جدول ۴-۲ و سیستم روشنایی را از لحاظ پخش نور تعیین می کنیم) .
مقدار شاخص فضا را به شکل زیر تعیین می کنیم.

$$K = \frac{LW}{h(L+W)} \quad \text{برای نور مستقیم، نیمه مستقیم و پخش یکسان}$$

$$K = 1.5 \frac{LW}{H(L+W)} \quad \text{برای نور غیر مستقیم و نیمه غیر مستقیم}$$

۳) از ستون سوم تا چهاردهم ، با توجه به ضرایب انعکاس سقف (pc) دیوار (pw) و شاخص فضای محاسبه شده در بند سه، ضریب بهره را تعیین می کنیم. و اگر pf ، برابر ۰/۱ نباشد، از صفحه آخر جدول ۴-۵، ضریب تصحیح را اگر به دست می آوریم. و خواهیم داشت:

$$CU = \text{تصحیح ضریب} \times \text{بهره ضریب}$$

۴) از ستون آخر جدول ضریب نگهداری (MF) را با توجه نوع محیط از نظر نگه داری تعیین می کنیم .

۵) از جدول ۳-۵ شدت روشنایی متوسط مورد نیاز را استخراج و طبق رابطه زیر مقدار شار

$$E_{av} = \frac{\phi}{A} \times CU \times MF \quad \text{نوری کلی را محاسبه می کنیم.}$$

۶) با توجه به روابط زیر تعداد لامپ ها و با توجه به نوع چراغ، که ممکن است چند لامپ

داشته باشد، تعداد چراغ ها را تعیین می کنیم:

$$\text{تعداد چراغ} = \frac{\text{تعداد لامپ ها}}{\text{تعداد لامپ های یک چراغ}} \quad \text{کل شار نوری} \quad \text{تعداد لامپ ها} = \frac{\text{شار نوری یک لامپ}}{\text{شار نوری یک لامپ}}$$

۷) چیدمان لامپ ها را با توجه به حداکثر فاصله مجاز چراغ ها که از ستون اول جدول ۴-۵ به

دست می آوریم، تعیین می کنیم. اگر تعداد چراغ ها را n و فاصله آنها را از یکدیگر X

فرض کنیم، خواهیم داشت :

$$\frac{L}{X} \times \frac{W}{X} = n \rightarrow X = \sqrt{\frac{LW}{n}}$$

بایستی فاصله بدست آمده را با ضریب فاصله مجاز چراغ مقایسه کنیم که بایستی کمتر از آن باشد و در نهایت برای یکنواختی بیشتر در نصب چراغ ها فاصله بین چراغ و دیوار را نصف فاصله بین چراغ های مجاور در نظر می گیریم.

$$\text{فاصله بین چراغ و دیوار} = \frac{X}{2} \quad \text{یعنی:}$$

مثال ۵-۱:

یک دفتر کار دارای طول ۸ متر، عرض ۶ متر و ارتفاع ۳ متر است. ضرایب انعکاس سقف ۰/۷، دیوارها ۰/۵ و کف ۰/۳ است. شدت روشنایی لازم روی سطح کار در ارتفاع ۸۰ سانتیمتر از کف ۵۰۰ لوکس است. با استفاده از چراغ شماره ۲ جدول ۴-۵ که با دو لامپ ۵۰۰۰ لومن شار نوری تولید می کند، تعداد چراغ های لازم و وضعیت نصب آنها را معین کنید.

راه حل:

$$K_r = \frac{8 \times 6}{(3-0.8)(8+6)} = 1.56 \quad \text{چون نور چراغ ها مستقیم است داریم:}$$

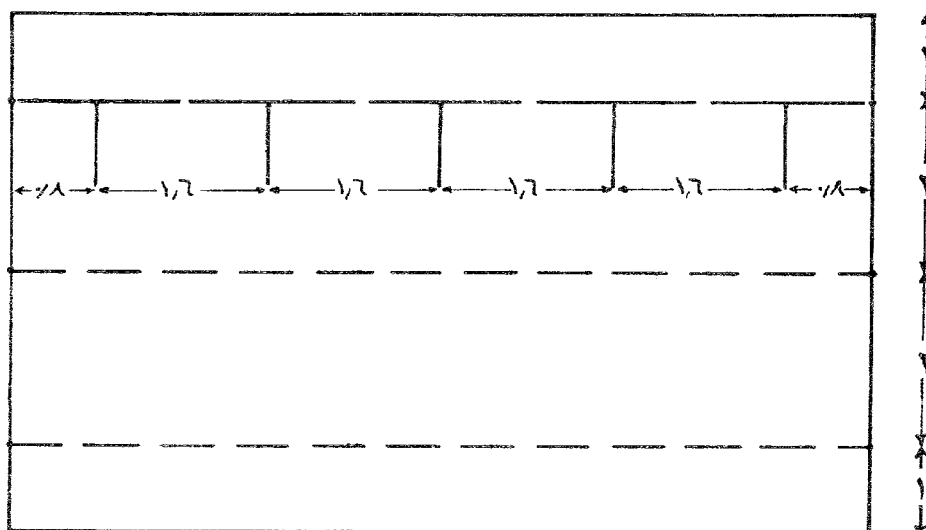
برای چراغ شماره ۲ با شاخص فضای ۱/۵، $\rho_c = 0.7$ و $\rho_w = 0.5$ و $\rho_f = 0.1$ ضریب بهره ۰/۴۲ است. برای $\rho_f = 0.3$ از آخر جدول ۴-۵ ضریب تصحیح ۱/۰۷ را به دست می آوریم. با فرض محیط تمیز، ضریب نگه داری را ۰/۷ در نظر می گیریم:

$$500 = \frac{\phi}{8 \times 6} \times 0.42 \times 1.07 \times 0.7 \rightarrow \phi = 76190.47 \quad \text{لومن}$$

$$n = \frac{76190.47}{5000} = 15.24 \quad \text{تعداد چراغ ها برابر است با:}$$

$$\frac{8}{X} \times \frac{6}{X} = 15 \rightarrow X = 1.79 \text{ متر} \quad \text{فاصله چراغ ها برابر است با:}$$

مشاهده می شود مقدار X ، از فاصله مجاز $2/4$ متر ($0.8 \times 0.3 = 2.4$) کوچکتر است. حال در نصب چراغ ها برای داشتن یکنواختی بیشتر فاصله بین ردیف اول و دیوار را نصف فاصله بین ردیف های مجاور مطابق شکل زیر در نظر می گیریم.



شکل ۶-۵ نصب چراغها در مثال ۱-۵

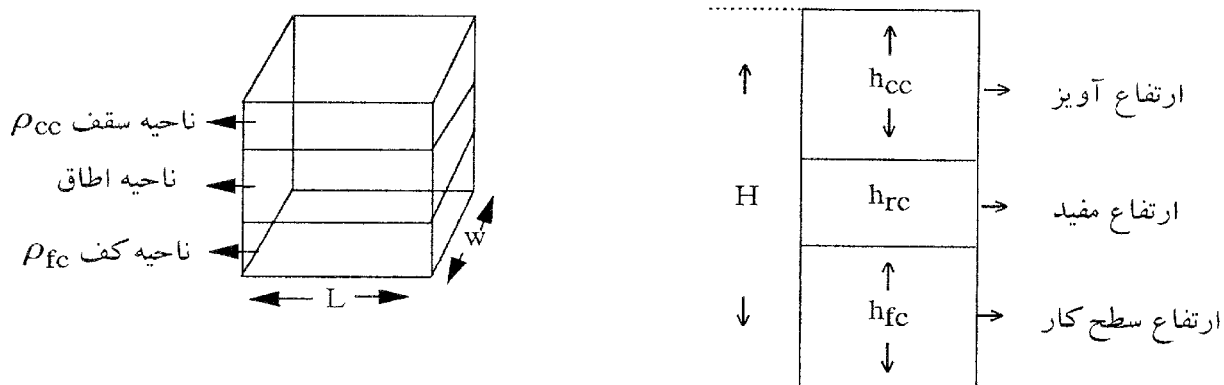
بدیهی است که با استفاده از ۱۵ چراغ شدت روشنایی در زمان نصب و در نیمه عمر به ترتیب زیر

$$E_{av} = \frac{5000 \times 15 \times 0.45}{8 \times 6} = 703.13 \text{ لوکس} \quad \text{است:}$$

$$E_{av} = \frac{5000 \times 15 \times 0.45 \times 0.7}{8 \times 6} = 492.19 \text{ لوکس}$$

۵-۲-۲-۵ روش لومن با استفاده از تقسیم ناحیه ای:

در این روش فضای اتاق به سه ناحیه تقسیم می شود:



$$CCR = 5h_{cc} \frac{L+W}{LW} \quad \text{ضریب ناحیه سقف:}$$

$$RCR = 5h_{rc} \frac{L+W}{LW} \quad \text{ضریب ناحیه اتاق:}$$

$$FCR = 5h_{fc} \frac{L+W}{LW} \quad \text{ضریب ناحیه کف:}$$

L : طول اتاق W : عرض اتاق h_{rc} : ارتفاع محل نصب چراغ ها از سطح کار

h_{fc} : ارتفاع سطح کار h_{cc} : فاصله محل نصب چراغ ها از سقف

در این روش ناحیه سقف و ناحیه کف را با سقف و کف معادلی با ضرایب انعکاس موثر سقف ρ_{cc} و ضریب انعکاس موثر کف ρ_{fc} جانشین می کنیم.

ضریب انعکاس ρ_{cc} را از ضریب انعکاس سقف ρ_c و دیوارها ρ_w و CCR از جدول ۵-۵ بدست می آوریم.

ضریب انعکاس ρ_{fc} را از ضریب انعکاس کف ρ_f و دیوارها ρ_w و FCR از جدول ۵-۵ کتاب دکتر کلهر بدست می آوریم.

با داشتن ρ_{cc} ، ρ_{fc} ، RCR و نوع چراغ ضریب بهره را از جدول ۵-۶ به دست می آوریم.

توضیح راجع به جدول ۵-۶:

در ستون اول این جدول شکل ظاهری چراغ آمده است.

در ستون دوم منحنی پخش نور چراغ، تقسیم بندی چراغ از نظر نگهداری (نوع اطاق) و حداکثر فاصله مجاز بین چراغ های مجاور بر حسب ارتفاع نصب چراغ ها از سطح کار آمده است.

در ستون سوم RCR آمده است که از صفر تا ۱۰ متغیر است.

در ۱۶ ستون فرعی بعدی ضریب بهره برای ρ_{cc} از ۰/۸ تا صفر و برای ρ_w از ۰/۵ تا صفر برای ρ_{fc} برابر ۰/۲ آمده است.

در صفحه بعد ضرایب درخشندگی دیوارها (WLC) و ضرایب درخشندگی ناحیه سقف (CCLC) برای مقادیر مختلف ρ_{cc} و ρ_w و $\rho_{fc} = 20$ آمده است. این ضرایب در حقیقت قسمتی از ضریب بهره است که از انعکاس دیوارها و سقف نتیجه می شود و به عبارت دیگر مولفه غیر مستقیم ضریب بهره است.

نکاتی راجع به جدول ۵-۶:

با افزایش RCR یعنی با کوچک شدن اطاق ضریب بهره کاهش می یابد. چون نور کمتری بطور مستقیم به سطح کار می رسد. و مولفه غیر مستقیم ضریب بهره کاهش می یابد.

با افزایش ضریب انعکاس سقف ضریب بهره افزایش می یابد. مولفه غیر مستقیم ضریب بهره نیز از همین قاعده تبعیت می کند.

با افزایش ضریب انعکاس دیوارها، هم ضریب بهره و هم مولفه غیر مستقیم آن افزایش می یابد.

برای ρ_{fc} های برابر صفر، ۰/۱ و ۰/۳ ضرایب تصحیح در جدول ۵-۷ کتاب دکتر کلهر داده شده است.

❖ در روش جدید ضریب بهره برداری یا ضریب نگهداری را ضریب کل کاهش نور یا آنرا TLLF (Total Light Loss Factor) می نامند:

$$TLLF = RSDDF * LDDF * LLDF * LSDF * LATF * VF * BF * LBF$$

حال به بررسی عوامل فوق می پردازیم:

ضریب کاهش نور به علت کثیف شدن سطوح اطاق :

RSDDF (Room Surface Dirt Depreciaton Factor)

این کاهش به علت کم شدن ضریب انعکاس سطوح اطاق به علت جمع شدن گرد و غبار روی آنهاست و از جدول ۵-۸ به روش زیر بدست می آید.

الف - از شکل بالای جدول که درصد کاهش نور بر حسب تعداد ماه های فواصل گرد گیری سطوح اطاق برای پنج محیط خیلی تمیز (Very clean) ، تمیز (Clean) ، متوسط (Medium) ، کثیف (Dirty) (و خیلی کثیف (Very Dirty) رسم شده است ، درصد کاهش مورد انتظار را بدست می آوریم.

ب - در جدول ۵-۸ بر حسب نوع پخش نور (سیستم روشنایی) و درصد به دست آمده از بند الف و مقدار RCR ، از ۲۰ ستون جدول، مقدار RSDDF را بدست می آوریم.

ضریب کاهش نور به علت کثیف شدن چراغ :

LDDF (Luminaire Dirt Depreciaton Factor)

این کاهش به علت کثیف شدن سطوح چراغ می باشد که از منحنی های شکل ۵-۸ به دست می آید. برای این منظور اول دسته بندی چراغ (نوع یا گروه آن) از ستون دوم جدول ۵-۶ تعیین و سپس با در نظر گرفتن فاصله گرد گیری چراغ بر حسب ماه و همچنین نوع محیط از نظر درجه تمیزی ، مقدار ضریب را به دست می آوریم.

ضریب کاهش نور لامپ : LLDF (Depreciation Factor)

این کاهش به علت کارکرد لامپ می باشد که معمولاً مقدار آن را در وسط عمر لامپ از روی منحنی عمر لامپ (مانند منحنی شکل ۹-۳ کتاب کلهر) تعیین می کنند.

ضریب کاهش نور به علت کمتر شدن سطوح چراغ :

LSDF (Laminaire Surface Depreciation Factor)

این ضریب برای سطوح فلزی یک ، برای سطوح پلاستیکی در حدود ۰/۹۹ و برای سطوح رنگ شده در حدود ۰/۹۸ در نظر گرفته می شود.

ضریب کاهش نور به علت درجه حرارت محیط :

LATF (Luminaire Ambient Temperature Factor)

درجه حرارت محیط روی کار چراغ ها مخصوصاً چراغ های فلورسنت موثر است این چراغ ها معمولاً برای کار در محیط ۲۵ درجه سانتیگراد ساخته می شوند. در حرارت های بالا تر و پائین تر به علت تغییر فشار گاز طول موج نور تولید شده تغییر می کند و بهره نوری کاهش می یابد.

ضریب کاهش ولتاژ : VF (Voltage Factor)

کاهش ولتاژ از مقدار اسمی موجب کاهش نور تولید شده می شود. این کاهش برای لامپ های مختلف متفاوت است.

ضریب چوک (بالاست) : BF (Ballast Factor)

اگر در چراغ های فلورسنت یا چراغ های گازی دیگر ، اگر از چوک دیگری به غیر از نوعی که برای آن در نظر گرفته شده است استفاده شود، موجب کاهش نور چراغ می شود.

ضریب لامپ های سوخته یا LBF (Lamp Burned Factor)

گاهی اوقات در یک محل لامپ های سوخته به فوریت تعویض نمی شوند و در هر زمان به علت سوخته بودن تعدادی از لامپ ها ، نور از مقدار اسمی طراحی شده کمتر خواهد بود.

❖ مراحل طراحی و محاسبات روشنایی به روش تقسیم ناحیه ای :

- (۱) قدم اول انتخاب سیستم روشنایی (پخش نور) و نوع چراغ
- (۲) استخراج روشنایی متوسط از جدول ۳-۵ متناسب با محیط
- (۳) استخراج اطلاعات مربوط به محیط L (طول)، W (عرض)، H (ارتفاع)، h_{fc} (ارتفاع سطح کار)، h_{cc} (فاصله نصب چراغ ها از سقف)
- (۴) محاسبه h_{rc} ، RCR، CCR و FCR :

$$h_{cc} = H - (h_{fc} + h_{cc})$$

$$RCR = 5h_{rc} \frac{L+W}{LW}$$

$$CCR = 5h_{cc} \frac{L+W}{LW}$$

$$FCR = 5h_{fc} \frac{L+W}{LW}$$



- (۵) استخراج ρ_{cc} ، ρ_{fc} از جدول ۵-۵
- (۶) استخراج ضریب بهره از جدول ۵-۶ با توجه به مقادیر ρ_{cc} ، ρ_{fc} ، RCR و نوع چراغ
- (۷) استخراج ضریب تصحیح برای ρ_{fc} برابر با صفر، ۰/۱ یا ۰/۳ از جدول ۵-۷
- (۸) محاسبه ضریب بهره از مقادیر به دست آمده در بند ۵ و ۶

$$CU = \text{ضریب تصحیح (بند ۷)} * \text{ضریب بهره (بند ۶)}$$

۹) محاسبه ضریب نگه داری یا ضریب بهره برداری

$$TLLF = RSDDF * LDDF * LLDF * LSDF * LATF * VF * BF * LBF$$

۹/۱ - RSDDF: با توجه به درجه تمیزی محیط فاصله گرد گیری و نوع سیستم روشنایی از جدول

۵-۸ به دست می آوریم.

۹/۲ - LDDF: را با توجه به نوع یا گروه چراغ، تمیزی محیط و فاصله گرد گیری از شکل ۵-۸

استخراج می کنیم.

۹/۳ - LLDF: را از روی منحنی کار کرد لامپ حدود نصف عمر تعیین می کنیم (یا صورت

مسئله خواهد بود).

۹/۴ - LSDF: را با توجه به نوع سطوح چراغ (فلزی یک، پلاستیک ۰/۹۹ و رنگ شده ۰/۹۸)

تعیین می کنیم.

توجه: نوع سطوح یا توسط صورت مسئله یا از جدول ۵-۶ ستون اول به دست می آوریم.

۹/۵ - LATF: برای درجه حرارت محیط ۲۵ درجه سانتی گراد مقدار یک و برای دماهای دیگر،

توسط صورت مسئله مشخص می کند.

۹/۶ - VF: برای ولتاژ اسمی یک و برای مقادیر دیگر بسته به نوع لامپ مشخص می گردد و یا

توسط صورت مسئله مشخص می کند.

۹/۷ - BF: برای چوک خود لامپ (چوک مناسب) یک و برای نوع دیگر (نا مناسب) اگر

استفاده شود بسته به نوع لامپ مشخص می گردد و یا توسط صورت مسئله مشخص می کند.

۹/۸ - LBF: با توجه به تعداد لامپ های سوخته توسط صورت مسئله یا بررسی محیط می توان تعیین

کرد.

۱۰) از روابط زیر کل شار نوری را به دست می آوریم:

$$E_{av} = \frac{\phi}{L \times W} \times CU \times TLLF \rightarrow \phi = \frac{E_{av} \times L \times W}{CU \times TLLF}$$

۱۱) تعداد چراغ ها از رابطه های زیر به دست می آوریم:

$$\text{تعداد چراغ} = \frac{\text{شار نوری کل}}{\text{شار نوری یک چراغ}} = \frac{\text{تعداد لامپ ها}}{\text{تعداد لامپ های یک چراغ}} \quad \text{و} \quad \phi_{\text{کل}} = \frac{\text{تعداد لامپ ها}}{\text{یک لامپ}}$$

۱۲) چیدمان لامپ ها را با توجه به حداکثر فاصله مجاز چراغ ها که از ستون اول جدول ۶-۵ به دست می آوریم، تعیین می کنیم: اگر تعداد چراغ ها را n و فاصله آنها را از یکدیگر X فرض کنیم، خواهیم داشت:

$$\frac{L}{X} \times \frac{W}{X} = n \rightarrow X = \sqrt{\frac{LW}{n}}$$

بایستی فاصله بدست آمده را با فاصله مجاز چراغ که از ستون دوم جدول به دست آمده است، مقایسه کنیم که بایستی کمتر از آن باشد.

۱۳) در نصب چراغ ها به منظور داشتن یکنواختی بیشتر فاصله بین ردیف اول و دیوار را نصف فاصله بین ردیف های مجاور در نظر می گیریم. یعنی:

$$\text{فاصله بین چراغ و دیوار} = \frac{X}{2}$$

مثال ۵-۲:

مثال ۵-۱ را با روش تقسیم ناحیه ای حل کنید و جواب ها را مقایسه کنید. درجه بندی هوای دفتر از گرد و غبار متوسط و گردگیری کلی هر سال یک بار انجام می شود. درجه حرارت محیط ۲۵ درجه سانتی گراد است. ولتاژ کاهش ندارد و لامپ های سوخته ۳ درصد کل لامپ هاست و از چوک مناسب استفاده به عمل می آید. و لامپ ها به سقف نصب شده اند.

راه حل:

(۱) چون لامپ ها به سقف نصب می شوند. پس: $h_{cc}=0$

و چون میز کار در ارتفاع ۸۰ سانتی متری است، پس: $h_{fc}=0.80$

پس داریم: $h_{rc}=3-0.8=0.22$ متر

$$RCR = 5h_{rc} \frac{L+W}{LW} = 5 \times 2.2 \times \frac{8+6}{8 \times 6} = 3.21$$

$$CCR = 5h_{cc} \frac{L+W}{LW} = 0$$

$$FCR = 5h_{fc} \frac{L+W}{LW} = 5 \times 0.8 \times \frac{8+6}{8 \times 6}$$

(۲) با استفاده از جدول ضرایب انعکاس موثر (۵-۵)، ρ_{cc} برابر ۰/۷ و ρ_{fc} برابر ۰/۲۷ به دست می آید.

(۳) در محاسبات از چراغ شماره ۳۳ که منحنی نور مشابه چراغ مثال ۱-۵ دارد با این تفاوت که کل نور خروجی آن به عوض ۵۰ درصد، ۴۶ درصد است استفاده می کنیم.

برای $RCR=3.21$ و $\rho_{cc}=0.7$ و $\rho_w=0.7$ از جدول ۶-۵ ضریب بهره ۰/۳۸۵ را به دست می آوریم. برای

$\rho_{fc}=0.27$ ضریب تصحیح از جدول ۷-۵ برابر ۱/۰۳ تخمین زده می شود. پس $CU=1.03 \times 0.386$

(۴) از منحنی بالای جدول (۵-۸) ضریب کثیفی ۰/۱۷ به دست می آید. با استفاده از جدول ۸-۵ برای

$RCR=3.21$ داریم: $RSDDF=0.96$

(۵) با استفاده از منحنی های شکل (۸-۵) برای چراغ دسته چهارم ، آلودگی متوسط و فاصله یکساله

گرددگیرها: $LDDF=0.82$

(۶) $LLDF$ را برابر ۰/۹۷ و $LSDF$ را ۰/۹۸ فرض می کنیم. و با توجه به صورت مسئله داریم:

$LATF=1$ و $VF=1$ و $BF=1$ و $LBF=1$

(۷) با توجه به مقادیر بالا داریم:

$$TLLF=0.96 \times 0.82 \times 0.97 \times 0.98 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.97 = 0.73$$

(۸) کل شار نوری برابر است با:

$$\Phi = \frac{E_{av} \times A}{TLLF \times CU} = \frac{500 \times (8 \times 6)}{0.73 \times 0.40} = 82191.78$$

(۹) و لذا تعداد چراغ ها برابر است با:

$$82191.78 \div 5000 = 16.4 \approx 16$$

در مقایسه با مثال ۱-۵ تعداد چراغ ها یکی بیشتر است که بعلا اختلاف کم بین شار روشنایی خروجی در چراغ های دو مثال است.

(۱۰) چیدمان را همانند مثال ۵-۱ انجام می دهیم.

ضمیمه ۱:

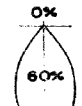

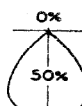
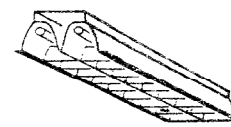
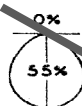
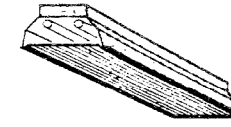
راهنمایی در مورد روش درونیایی خطی در مورد نحوه استخراج اطلاعات از جداول:

مثلا استخراج ضریب بهره از جدول ۴-۵:

از سطراول ضریب انعکاس سقف، از سطردوم ضریب انعکاس دیوارها و از ستون دوم K_r (ضریب اطلاق یا شاخص فضا) را انتخاب میکنیم.

مثال ۱: اگر $p_w=0.50$ و $p_c=0.70$ و $K_r=1$ و نوع چراغ ۳ باشد ضریب بهره ۰.۳۷ بدست می آید.

جدول ۴-۵ ضریب بهره در روش استفاده از شاخص فضا

TYPICAL DISTRIBUTION AND MAXIMUM SPACING*	CEILING (%)	70			50			30			0			TYPICAL LUMINAIRE AND ESTIMATED MAINTENANCE FACTORS
	WALLS (%)	70			50			30			0			
	ROOM RATIO (Index)	COEFFICIENTS OF UTILIZATION (ZONAL METHOD) FOR 10% FLOOR REFLECTANCE (See end for 30% Floor Multipliers)												
1  0% 60% Max. Spacing 0.8xMH	0.6 (J)	.30	.26	.25	.29	.26	.23	.29	.26	.23	.25	.23	.22	 Single lamp aluminum troffer with baffles Maint. Good .75 Factor Med. .70 Poor .65
	0.8 (I)	.36	.32	.29	.35	.32	.29	.35	.31	.29	.31	.29	.27	
	1.0 (H)	.43	.40	.37	.43	.40	.37	.42	.39	.37	.39	.37	.36	
	1.25 (G)	.47	.44	.42	.47	.44	.41	.46	.43	.41	.43	.41	.40	
	1.5 (F)	.50	.47	.44	.50	.47	.44	.49	.46	.44	.46	.44	.43	
	2.0 (E)	.53	.50	.49	.53	.50	.48	.51	.50	.48	.49	.47	.46	
	2.5 (D)	.55	.53	.51	.55	.53	.51	.54	.52	.50	.51	.50	.49	
	3.0 (C)	.57	.54	.53	.56	.54	.52	.55	.53	.51	.52	.51	.50	
	4.0 (B)	.59	.57	.55	.58	.56	.55	.56	.55	.54	.54	.53	.52	
	5.0 (A)	.60	.58	.57	.59	.57	.56	.57	.56	.56	.56	.54	.53	
2  0% 50% Max. Spacing 0.8xMH	0.6 (J)	.27	.24	.21	.27	.23	.21	.27	.23	.21	.23	.21	.20	 Two lamp aluminum troffer with louvers Maint. Good .75 Factor Med. .70 Poor .65
	0.8 (I)	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.32	.28	.26	.28	.26	.25	
	1.0 (H)	.36	.33	.30	.36	.33	.30	.35	.32	.30	.32	.30	.29	
	1.25 (G)	.40	.36	.34	.39	.36	.34	.38	.36	.34	.36	.34	.33	
	1.5 (F)	.42	.39	.37	.42	.39	.37	.41	.38	.36	.38	.36	.35	
	2.0 (E)	.45	.42	.40	.44	.42	.40	.44	.42	.40	.41	.40	.39	
	2.5 (D)	.47	.44	.43	.46	.44	.42	.45	.44	.42	.43	.42	.41	
	3.0 (C)	.48	.46	.44	.47	.46	.44	.47	.45	.44	.44	.43	.42	
	4.0 (B)	.50	.48	.46	.49	.48	.46	.48	.47	.46	.46	.45	.44	
	5.0 (A)	.50	.49	.48	.50	.49	.48	.49	.48	.47	.47	.46	.45	
3  0% 55% Max. Spacing 0.9xMH	0.6 (J)	.26	.23	.20	.26	.22	.20	.25	.22	.20	.22	.20	.19	 Two lamp 12"-wide troffer glass, plastic, or 30° louver Maint. Good .75 Factor Med. .70 Poor .65
	0.8 (I)	.32	.29	.26	.32	.29	.26	.31	.29	.26	.28	.26	.25	
	1.0 (H)	.37	.34	.31	.37	.33	.30	.36	.32	.30	.32	.30	.29	
	1.25 (G)	.41	.37	.35	.41	.37	.35	.40	.37	.34	.36	.34	.33	
	1.5 (F)	.44	.40	.37	.43	.40	.37	.42	.40	.37	.39	.37	.36	
	2.0 (E)	.47	.44	.42	.47	.44	.41	.46	.43	.41	.42	.41	.40	
	2.5 (D)	.50	.47	.45	.49	.47	.45	.48	.46	.44	.45	.43	.42	
	3.0 (C)	.51	.49	.47	.51	.48	.46	.50	.47	.46	.47	.45	.44	
	4.0 (B)	.53	.51	.49	.53	.51	.49	.51	.50	.48	.49	.47	.46	
	5.0 (A)	.55	.53	.52	.54	.53	.51	.53	.52	.51	.51	.50	.48	

مثال ۲: اگر $p_c=0.70$ و $p_w=0.30$ و $K_r=1$ و نوع چراغ 3 باشد ضریب بهره 0.33 بدست می آید

توجه: زمانی که ضریب بهره متناظر با شرایط تعیین شده ما در جدول موجود نباشد، بایستی از داده های موجود و روش درون یابی خطی استفاده کنیم.

مثال ۳: اگر $p_c=0.70$ و $p_w=0.34$ و $K_r=1$ و نوع چراغ 3 باشد ضریب بهره بطور مستقیم در جدول وجود ندارد، بنابراین، بایستی از روش درون یابی خطی استفاده کنیم.

$$\left. \begin{array}{l} \rho_{w1} = 0.5 \rightarrow CU_1 = 0.37 \\ \rho_{w2} = 0.3 \rightarrow CU_2 = 0.33 \\ \rho_{w3} = 0.5 \rightarrow CU_3 = ? \end{array} \right\} \frac{\rho_{w1}-\rho_{w2}}{CU_1-CU_2} = \frac{\rho_{w1}-\rho_{w3}}{CU_1-CU_3}$$

$$\frac{0.50-0.30}{0.37-0.34} = \frac{0.50-0.34}{0.37-cu} \rightarrow \frac{0.20}{0.03} = \frac{0.16}{0.37-CU}$$

$$\rightarrow 0.37 - cu = \frac{16 \times 0.03}{20} \rightarrow 0.37 - cu = \frac{0.48}{20} = 0.024$$

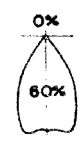
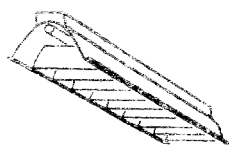
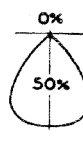
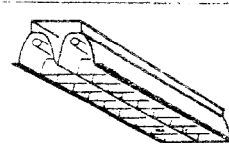
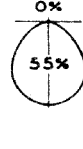
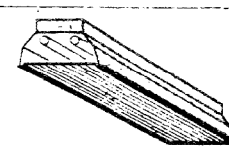
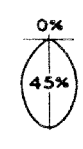
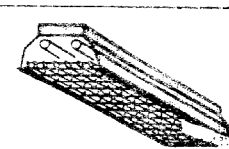
$$CU_3 = 0.37 - 0.024 = 0.346 \rightarrow CU_3 = 0.346$$

ضمیمه ۲: نمونه هایی از جداول لازم:

مهندسی روشنایی

۱۳۰

جدول ۴ - ۵ ضریب بهره در روش استفاده از شاخص فضا

TYPICAL DISTRIBUTION AND MAXIMUM SPACING*	CEILING (%)	80			70			50			30			0			TYPICAL LUMINAIRE AND ESTIMATED MAINTENANCE FACTORS
	WALLS (%)	50			30			10			50			30			
	ROOM RATIO (Index)	COEFFICIENTS OF UTILIZATION (ZONAL METHOD) FOR 10% FLOOR REFLECTANCE (See end for 30% Floor Multipliers)															
1  Max. Spacing 0.8xMH	0.6 (J)	.30	.26	.25	.29	.26	.23	.29	.26	.23	.25	.23	.22				 Single lamp aluminum troffer with baffles Maint. Good .75 Factor Med. .70 Poor .65
	0.8 (I)	.36	.32	.29	.35	.32	.29	.35	.31	.29	.31	.29	.27				
	1.0 (H)	.43	.40	.37	.43	.40	.37	.42	.39	.37	.39	.37	.36				
	1.25 (G)	.47	.44	.42	.47	.44	.41	.46	.43	.41	.43	.41	.40				
	1.5 (F)	.50	.47	.44	.50	.47	.44	.49	.46	.44	.46	.44	.43				
	2.0 (E)	.53	.50	.49	.53	.50	.48	.51	.50	.48	.49	.47	.46				
	2.5 (D)	.55	.53	.51	.55	.53	.51	.54	.52	.50	.51	.50	.49				
	3.0 (C)	.57	.54	.53	.56	.54	.52	.55	.53	.51	.52	.51	.50				
	4.0 (B)	.59	.57	.55	.58	.56	.55	.56	.55	.54	.54	.53	.52				
	5.0 (A)	.60	.58	.57	.59	.57	.56	.57	.56	.56	.56	.54	.53				
2  Max. Spacing 0.8xMH	0.6 (J)	.27	.24	.21	.27	.23	.21	.27	.23	.21	.23	.21	.20				 Two lamp aluminum troffer with louvers Maint. Good .75 Factor Med. .70 Poor .65
	0.8 (I)	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.32	.28	.26	.28	.26	.25				
	1.0 (H)	.36	.33	.30	.36	.33	.30	.35	.32	.30	.32	.30	.29				
	1.25 (G)	.40	.36	.34	.39	.36	.34	.38	.36	.34	.36	.34	.33				
	1.5 (F)	.42	.39	.37	.42	.39	.37	.41	.38	.36	.38	.36	.35				
	2.0 (E)	.45	.42	.40	.44	.42	.40	.44	.42	.40	.41	.40	.39				
	2.5 (D)	.47	.44	.43	.46	.44	.42	.45	.44	.42	.43	.42	.41				
	3.0 (C)	.48	.46	.44	.47	.46	.44	.47	.45	.44	.44	.43	.42				
	4.0 (B)	.50	.48	.46	.49	.48	.46	.48	.47	.46	.46	.45	.44				
	5.0 (A)	.50	.49	.48	.50	.49	.48	.49	.48	.47	.47	.46	.45				
3  Max. Spacing 0.9xMH	0.6 (J)	.26	.23	.20	.26	.22	.20	.25	.22	.20	.22	.20	.19				 Two lamp 12"-wide troffer glass, plastic, or 30° louver Maint. Good .75 Factor Med. .70 Poor .65
	0.8 (I)	.32	.29	.26	.32	.29	.26	.31	.29	.26	.28	.26	.25				
	1.0 (H)	.37	.34	.31	.37	.33	.30	.36	.32	.30	.32	.30	.29				
	1.25 (G)	.41	.37	.35	.41	.37	.35	.40	.37	.34	.36	.34	.33				
	1.5 (F)	.44	.40	.37	.43	.40	.37	.42	.40	.37	.39	.37	.36				
	2.0 (E)	.47	.44	.42	.47	.44	.41	.46	.43	.41	.42	.41	.40				
	2.5 (D)	.50	.47	.45	.49	.47	.45	.48	.46	.44	.45	.43	.42				
	3.0 (C)	.51	.49	.47	.51	.48	.46	.50	.47	.46	.47	.45	.44				
	4.0 (B)	.53	.51	.49	.53	.51	.49	.51	.50	.48	.49	.47	.46				
	5.0 (A)	.55	.53	.52	.54	.53	.51	.53	.52	.51	.51	.50	.48				
4  Max. Spacing 0.6xMH	0.6 (J)	.24	.21	.19	.24	.21	.19	.23	.21	.19	.20	.19	.18				 Two lamp 12" wide troffer with 45° metal louver Maint. Good .75 Factor Med. .70 Poor .65
	0.8 (I)	.29	.26	.24	.29	.26	.24	.28	.26	.24	.26	.24	.23				
	1.0 (H)	.32	.29	.27	.32	.29	.27	.32	.29	.27	.29	.27	.26				
	1.25 (G)	.36	.32	.31	.35	.32	.31	.34	.32	.30	.32	.30	.29				
	1.5 (F)	.38	.35	.33	.38	.35	.33	.37	.34	.32	.34	.32	.32				
	2.0 (E)	.41	.38	.37	.40	.38	.36	.39	.38	.36	.37	.36	.35				
	2.5 (D)	.43	.40	.38	.42	.40	.38	.41	.39	.38	.39	.38	.37				
	3.0 (C)	.44	.42	.40	.43	.42	.40	.42	.41	.39	.40	.39	.38				
	4.0 (B)	.45	.44	.42	.45	.43	.42	.44	.43	.42	.42	.41	.40				
	5.0 (A)	.47	.45	.44	.46	.45	.44	.45	.44	.43	.43	.42	.41				

* Maximum Spacing between luminaire centers for uniform illumination. MH—Mounting Height above floor.
 CH—Ceiling Height above floor.
 NOTE: All reflectances are effective values (see page 9-3).

ادامه جدول ۵-۴

TYPICAL DISTRIBUTION AND MAXIMUM SPACING*	CEILING (%)	80			70			50			30			0			TYPICAL LUMINAIRE AND ESTIMATED MAINTENANCE FACTORS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
	WALLS (%)	50			30			10			30			10				0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	ROOM RATIO (Index)	COEFFICIENTS OF UTILIZATION (ZONAL METHOD) FOR 10% FLOOR REFLECTANCE (See end for 30% Floor Multipliers)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
44 Continued																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										

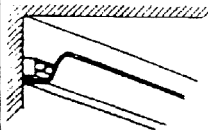
The above tabulations are based on floors of 10 per cent effective reflectance and take into account reflectances and obstructions below the work plane (machinery, furniture, etc.). Higher effective reflectances, naturally, will tend to increase utilization, especially in high ratio rooms. Below is a table giving approximate correction factors for floors of 30 per cent reflectance.

APPROXIMATE MULTIPLYING FACTORS FOR 30 PER CENT REFLECTANCE FLOORS
(10 Per Cent Reflectance Floor = 1.00)

CEILING	80%			70%			50%			30%		
WALLS	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%
ROOM RATIO												
0.6 (J)	1.03	1.02	1.01	1.03	1.02	1.01	1.02	1.02	1.00	1.02	1.01	1.00
0.8 (I)	1.04	1.02	1.01	1.04	1.02	1.01	1.03	1.02	1.01	1.02	1.01	1.01
1.0 (H)	1.05	1.03	1.02	1.04	1.03	1.02	1.04	1.02	1.01	1.03	1.02	1.01
1.25 (G)	1.06	1.04	1.02	1.05	1.04	1.02	1.04	1.03	1.02	1.03	1.02	1.01
1.5 (F)	1.07	1.06	1.03	1.07	1.05	1.03	1.05	1.04	1.02	1.03	1.02	1.02
2.0 (E)	1.09	1.07	1.05	1.08	1.06	1.04	1.05	1.04	1.03	1.04	1.03	1.02
2.5 (D)	1.10	1.08	1.06	1.09	1.08	1.06	1.07	1.05	1.04	1.04	1.04	1.03
3.0 (C)	1.12	1.10	1.08	1.10	1.09	1.07	1.08	1.06	1.04	1.05	1.04	1.03
4.0 (B)	1.14	1.12	1.10	1.12	1.10	1.08	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.04
5.0 (A)	1.15	1.13	1.11	1.13	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07	1.05	1.05	1.04

* Maximum Spacing between luminaire centers for uniform illumination. MH—Mounting Height above floor.
CH—Ceiling Height above floor.
NOTE: All reflectances are effective values (see page 9-3).

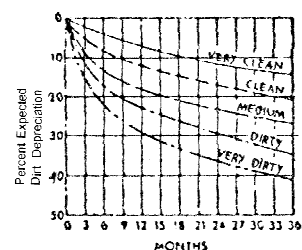
ادامه جدول ۴-۱

منحنی توزیع نور و ماکزیمم فاصله	ضریب انعکاس سقف (ρ_c)	۸۰	۷۰	۵۰	۳۰	۰	شکل حباب، تعداد لامپها و ضریب نگهداری
	ضریب انعکاس دیوار (ρ_w)	۵۰ ۳۰ ۱۰	۵۰ ۳۰ ۱۰	۵۰ ۳۰ ۱۰	۳۰ ۱۰	۰	
	ضریب فضا (δ)	برای ضریب انعکاس کف $\rho_f = 10\%$ توجه: اعداد برحسب درصد می باشد.					
۴۳ لامپهای فلورسنت با ضریب کاهشی ۵ تا ۱۰ درصد	۰/۶(J)	۱۱ ۰۹ ۰۶	۰۹ ۰۷ ۰۶	۰۷ ۰۵ ۰۴			 لامپ فلورسنت بدون انعکاس خوب ۰/۷۰ متوسط ۰/۶۰ ضعیف ۰/۵۰
	۰/۸(I)	۱۵ ۱۲ ۱۰	۱۳ ۱۰ ۰۸	۰۹ ۰۷ ۰۶			
	۱/۰(H)	۱۸ ۱۵ ۱۲	۱۶ ۱۳ ۱۰	۱۰ ۰۹ ۰۷			
	۱/۲۵(G)	۲۲ ۱۸ ۱۶	۲۰ ۱۶ ۱۴	۱۳ ۱۱ ۱۰			
	۱/۵(F)	۲۵ ۲۱ ۱۹	۲۱ ۱۹ ۱۷	۱۵ ۱۳ ۱۱			
	۲/۰(E)	۲۹ ۲۶ ۲۲	۲۵ ۲۲ ۲۰	۱۷ ۱۵ ۱۴			
	۲/۵(D)	۳۳ ۳۰ ۲۸	۲۸ ۲۶ ۲۴	۲۰ ۱۹ ۱۷			
	۳/۰(C)	۳۵ ۳۲ ۳۰	۳۱ ۲۸ ۲۶	۲۱ ۲۰ ۱۹			
	۴/۰(B)	۳۶ ۳۴ ۳۲	۳۲ ۳۰ ۲۸	۲۲ ۲۱ ۲۰			
۵/۰(A)	۳۹ ۳۸ ۳۶	۳۵ ۳۴ ۳۲	۲۴ ۲۳ ۲۳				

ضریب تصحیح برای انعکاس کف ۳۰٪

ضریب انعکاس سقف	۸۰٪			۷۰٪			۵۰٪			۳۰٪		
ضریب انعکاس دیوار	۵۰٪	۳۰٪	۱۰٪	۵۰٪	۳۰٪	۱۰٪	۵۰٪	۳۰٪	۱۰٪	۵۰٪	۳۰٪	۱۰٪
ضریب فضا												
۰/۶(J)	۱/۰۳	۱/۰۲	۱/۰۱	۱/۰۳	۱/۰۲	۱/۰۱	۱/۰۲	۱/۰۲	۱/۰۰	۱/۰۲	۱/۰۱	۱/۰۰
۰/۸(I)	۱/۰۴	۱/۰۲	۱/۰۱	۱/۰۴	۱/۰۲	۱/۰۱	۱/۰۳	۱/۰۲	۱/۰۱	۱/۰۲	۱/۰۱	۱/۰۱
۱/۰(H)	۱/۰۵	۱/۰۳	۱/۰۲	۱/۰۴	۱/۰۳	۱/۰۲	۱/۰۴	۱/۰۲	۱/۰۱	۱/۰۳	۱/۰۲	۱/۰۱
۱/۲۵(G)	۱/۰۶	۱/۰۴	۱/۰۲	۱/۰۵	۱/۰۴	۱/۰۲	۱/۰۴	۱/۰۳	۱/۰۲	۱/۰۳	۱/۰۲	۱/۰۱
۱/۰(F)	۱/۰۷	۱/۰۶	۱/۰۳	۱/۰۷	۱/۰۵	۱/۰۳	۱/۰۵	۱/۰۴	۱/۰۲	۱/۰۳	۱/۰۲	۱/۰۲
۲/۰(E)	۱/۰۹	۱/۰۷	۱/۰۵	۱/۰۸	۱/۰۶	۱/۰۴	۱/۰۵	۱/۰۴	۱/۰۳	۱/۰۴	۱/۰۳	۱/۰۲
۲/۵(D)	۱/۱۰	۱/۰۸	۱/۰۶	۱/۰۹	۱/۰۸	۱/۰۶	۱/۰۷	۱/۰۵	۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۰۳
۳/۰(C)	۱/۱۲	۱/۱۰	۱/۰۸	۱/۱۰	۱/۰۹	۱/۰۷	۱/۰۸	۱/۰۶	۱/۰۴	۱/۰۵	۱/۰۴	۱/۰۳
۴/۰(B)	۱/۱۴	۱/۱۲	۱/۱۰	۱/۱۲	۱/۱۰	۱/۰۸	۱/۰۸	۱/۰۷	۱/۰۶	۱/۰۵	۱/۰۴	۱/۰۴
۵/۰(A)	۱/۱۵	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۱۰	۱/۰۹	۱/۰۸	۱/۰۷	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۴

شکل و جدول مربوط به ضریب کاهش نور به علت کثیف شدن اتاق ها RSDDF



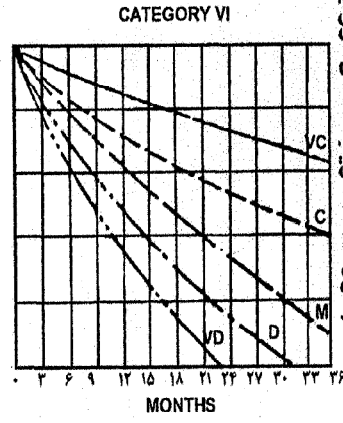
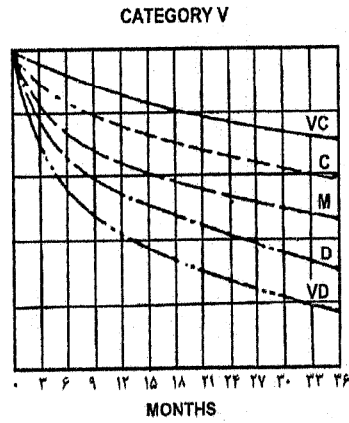
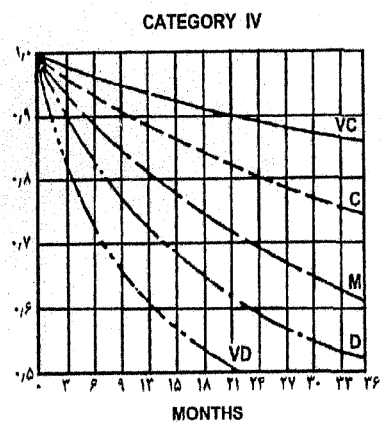
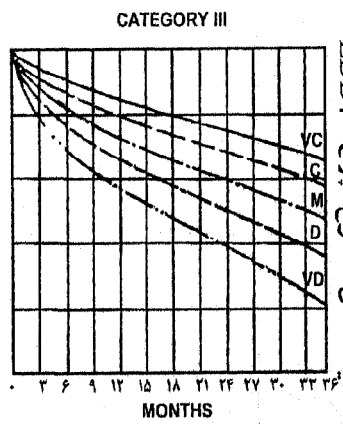
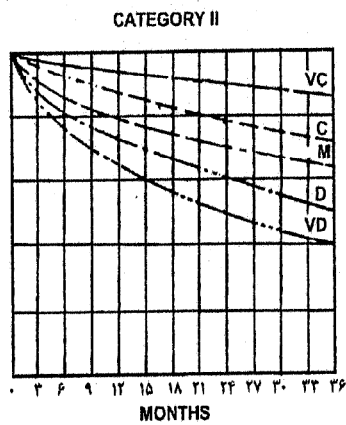
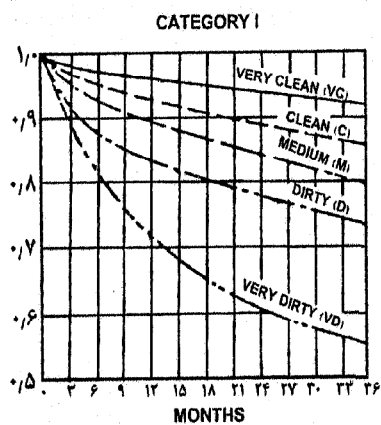
Room surface dirt depreciation factors

Per Cent Expected Dirt Depreciation	Luminaire Distribution Type																			
	Direct				Semi-Direct				Direct-Indirect				Semi-Indirect				Indirect			
	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
Room Cavity Ratio																				
1	.98	.96	.94	.92	.97	.92	.89	.84	.94	.87	.89	.76	.91	.87	.80	.78	.90	.80	.70	.60
2	.98	.96	.94	.92	.96	.92	.88	.83	.94	.87	.80	.75	.91	.87	.79	.72	.90	.80	.69	.59
3	.98	.95	.93	.90	.96	.91	.87	.82	.94	.86	.79	.71	.91	.86	.78	.71	.90	.79	.68	.58
4	.97	.95	.92	.90	.95	.90	.85	.80	.94	.86	.79	.73	.91	.86	.78	.70	.89	.78	.67	.56
5	.97	.94	.91	.89	.94	.90	.84	.79	.93	.86	.78	.72	.93	.86	.77	.69	.89	.78	.66	.55
6	.97	.94	.91	.88	.94	.89	.82	.78	.93	.85	.78	.71	.93	.85	.76	.68	.89	.77	.66	.54
7	.97	.94	.90	.87	.93	.88	.82	.77	.93	.84	.77	.70	.93	.84	.76	.68	.89	.76	.65	.53
8	.96	.93	.89	.86	.93	.87	.81	.75	.93	.84	.76	.69	.93	.84	.76	.68	.88	.76	.64	.52
9	.96	.92	.88	.85	.93	.87	.80	.74	.93	.84	.76	.68	.93	.84	.75	.67	.88	.75	.63	.51
10	.96	.92	.87	.83	.93	.86	.79	.72	.93	.84	.75	.67	.92	.83	.75	.67	.88	.75	.62	.50

شکل ۸ - ۵ ضریب کاهش نور به علت کثیف شدن اتاق ها RSDDF

محاسبات روشنیابی

شکل مربوط به ضریب کاهش نور به علت کثیف شدن چراغ ها LDDF



LDDF جدول ۴-۶ ضریب کاهش نور به علت کثیف شدن سطوح چراغ

۱۰۶ / روشهای فنی و تأسیسات الکتریکی

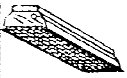


جدول ρ_{cc} ، ضرایب انعکاس موثر سقف و کف (جدول ۵-۵ کتاب دکتر کلهر)

ضریب انعکاس سقف و کف ($\rho_f\%$, $\rho_{f\%}$)	۸۰	۷۰	۶۰	۳۰	۲۰	۱۰
ضریب انعکاس دیوار $\rho_w\%$	۸۰ ۷۰ ۶۰ ۵۰ ۴۰ ۳۰ ۲۰ ۱۰	۸۰ ۷۰ ۶۰ ۵۰ ۴۰ ۳۰ ۲۰ ۱۰	۸۰ ۷۰ ۶۰ ۵۰ ۴۰ ۳۰ ۲۰ ۱۰	۸۰ ۷۰ ۶۰ ۵۰ ۴۰ ۳۰ ۲۰ ۱۰	۸۰ ۷۰ ۶۰ ۵۰ ۴۰ ۳۰ ۲۰ ۱۰	۸۰ ۷۰ ۶۰ ۵۰ ۴۰ ۳۰ ۲۰ ۱۰
ضریب ناحیه ای						
۰/۲	۷۸ ۷۸ ۷۷ ۷۷ ۷۶ ۷۶ ۷۵ ۷۴	۶۹ ۶۸ ۶۸ ۶۷ ۶۷ ۶۶ ۶۶ ۶۵	۵۹ ۵۹ ۵۹ ۵۸ ۵۷ ۵۶ ۵۶ ۵۵	۳۱ ۳۰ ۳۰ ۲۹ ۲۹ ۲۸ ۲۸ ۲۸	۲۰ ۲۰ ۲۰ ۲۰ ۱۹ ۱۹ ۱۹ ۱۹	۱۱ ۱۱ ۱۰ ۱۰ ۱۰ ۱۰ ۰۹ ۰۹
۰/۴	۷۷ ۷۶ ۷۵ ۷۴ ۷۳ ۷۲ ۷۱ ۷۰	۶۸ ۶۷ ۶۶ ۶۵ ۶۴ ۶۳ ۶۲ ۶۱	۵۹ ۵۹ ۵۸ ۵۷ ۵۵ ۵۴ ۵۳ ۵۲	۳۱ ۳۰ ۳۰ ۲۹ ۲۸ ۲۷ ۲۶ ۲۶	۲۱ ۲۰ ۲۰ ۲۰ ۱۹ ۱۹ ۱۸ ۱۸	۱۱ ۱۱ ۱۱ ۱۱ ۱۰ ۱۰ ۰۹ ۰۹
-/۶	۷۶ ۷۵ ۷۳ ۷۱ ۷۰ ۶۸ ۶۶ ۶۵	۶۷ ۶۵ ۶۴ ۶۳ ۶۲ ۶۱ ۶۰ ۵۹ ۵۸ ۵۷	۵۸ ۵۷ ۵۶ ۵۵ ۵۳ ۵۱ ۵۱ ۵۰	۳۱ ۳۰ ۲۹ ۲۸ ۲۷ ۲۶ ۲۵ ۲۵	۲۱ ۲۱ ۲۰ ۱۹ ۱۹ ۱۸ ۱۸ ۱۷	۱۳ ۱۲ ۱۱ ۱۱ ۱۰ ۱۰ ۰۹ ۰۸
۰/۸	۷۵ ۷۳ ۷۱ ۶۹ ۶۷ ۶۴ ۶۳ ۶۱	۶۶ ۶۴ ۶۲ ۶۱ ۵۸ ۵۶ ۵۵ ۵۳	۵۷ ۵۶ ۵۵ ۵۴ ۵۱ ۴۸ ۴۷ ۴۶	۳۱ ۳۰ ۲۹ ۲۸ ۲۶ ۲۵ ۲۵ ۲۳	۲۲ ۲۱ ۲۰ ۱۹ ۱۹ ۱۸ ۱۷ ۱۶	۱۴ ۱۳ ۱۲ ۱۱ ۱۰ ۱۰ ۰۹ ۰۸
۱/۰	۷۴ ۷۲ ۶۹ ۶۷ ۶۵ ۶۲ ۶۰ ۵۷	۶۵ ۶۲ ۶۰ ۵۸ ۵۵ ۵۳ ۵۲ ۵۰	۵۷ ۵۵ ۵۳ ۵۱ ۴۶ ۴۵ ۴۴ ۴۳	۳۲ ۳۰ ۲۹ ۲۹ ۲۸ ۲۴ ۲۳ ۲۲	۲۳ ۲۲ ۲۰ ۱۹ ۱۹ ۱۷ ۱۶ ۱۶	۱۴ ۱۳ ۱۲ ۱۲ ۱۱ ۱۰ ۰۹ ۰۸
۱/۲	۷۳ ۷۰ ۶۷ ۶۴ ۶۱ ۵۸ ۵۵ ۵۳	۶۴ ۶۱ ۵۹ ۵۷ ۵۴ ۵۰ ۴۸ ۴۶	۵۶ ۵۴ ۵۱ ۴۹ ۴۶ ۴۴ ۴۲ ۴۰	۳۲ ۳۰ ۲۸ ۲۷ ۲۵ ۲۳ ۲۲ ۲۱	۲۳ ۲۲ ۲۰ ۱۹ ۱۷ ۱۶ ۱۶ ۱۴	۱۵ ۱۴ ۱۳ ۱۲ ۱۱ ۱۰ ۰۹ ۰۷
۱/۴	۷۲ ۶۸ ۶۵ ۶۲ ۵۹ ۵۵ ۵۳ ۵۰	۶۳ ۶۰ ۵۸ ۵۵ ۵۱ ۴۷ ۴۵ ۴۴	۵۶ ۵۳ ۴۹ ۴۷ ۴۴ ۴۱ ۳۹ ۳۸	۳۲ ۳۰ ۲۸ ۲۶ ۲۱ ۲۲ ۲۱ ۱۹	۲۴ ۲۲ ۲۰ ۱۸ ۱۷ ۱۶ ۱۶ ۱۳	۱۶ ۱۱ ۱۳ ۱۲ ۱۱ ۱۰ ۰۹ ۰۷
۱/۶	۷۱ ۶۷ ۶۳ ۶۰ ۵۷ ۵۳ ۵۰ ۴۷	۶۲ ۵۹ ۵۶ ۵۳ ۴۷ ۴۵ ۴۳ ۴۱	۵۵ ۵۲ ۴۸ ۴۵ ۴۲ ۳۹ ۳۷ ۳۵	۳۳ ۲۹ ۲۷ ۲۵ ۲۳ ۲۲ ۲۰ ۱۸	۲۴ ۲۲ ۲۰ ۱۸ ۱۷ ۱۶ ۱۵ ۱۳	۱۷ ۱۵ ۱۴ ۱۳ ۱۱ ۰۹ ۰۸ ۰۷
۱/۸	۷۰ ۶۶ ۶۲ ۵۸ ۵۴ ۵۰ ۴۷ ۴۴	۶۱ ۵۸ ۵۴ ۵۱ ۴۶ ۴۲ ۴۰ ۳۸	۵۵ ۵۱ ۴۷ ۴۴ ۴۰ ۳۷ ۳۵ ۳۳	۳۳ ۲۹ ۲۷ ۲۵ ۲۳ ۲۱ ۱۹ ۱۷	۲۵ ۲۳ ۲۰ ۱۸ ۱۷ ۱۵ ۱۴ ۱۲	۱۷ ۱۵ ۱۴ ۱۳ ۱۱ ۰۹ ۰۸ ۰۶
۲/۰	۶۹ ۶۱ ۶۰ ۵۶ ۵۲ ۴۸ ۴۵ ۴۱	۶۰ ۵۶ ۵۲ ۴۹ ۴۵ ۴۰ ۳۸ ۳۶	۵۴ ۵۰ ۴۶ ۴۳ ۳۹ ۳۵ ۳۳ ۳۱	۳۳ ۲۹ ۲۶ ۲۴ ۲۲ ۲۰ ۱۸ ۱۶	۲۵ ۲۳ ۲۰ ۱۸ ۱۶ ۱۵ ۱۳ ۱۱	۱۸ ۱۶ ۱۴ ۱۳ ۱۱ ۰۹ ۰۸ ۰۶
۲/۲	۶۸ ۶۳ ۵۸ ۵۴ ۴۹ ۴۵ ۴۲ ۳۳	۶۰ ۵۵ ۵۱ ۴۸ ۴۳ ۳۸ ۳۶ ۳۴	۵۳ ۴۹ ۴۵ ۴۲ ۳۷ ۳۱ ۳۱ ۲۹	۳۲ ۲۹ ۲۶ ۲۴ ۲۲ ۱۹ ۱۷ ۱۵	۲۵ ۲۳ ۲۰ ۱۸ ۱۶ ۱۴ ۱۲ ۱۰	۱۹ ۱۶ ۱۴ ۱۳ ۱۱ ۰۹ ۰۷ ۰۶
۲/۴	۶۷ ۶۱ ۵۶ ۵۲ ۴۷ ۴۳ ۴۰ ۳۶	۵۶ ۵۴ ۵۰ ۴۶ ۴۱ ۳۷ ۳۵ ۳۲	۵۳ ۴۸ ۴۴ ۴۱ ۳۶ ۳۲ ۳۰ ۲۷	۳۲ ۲۹ ۲۶ ۲۴ ۲۲ ۱۹ ۱۶ ۱۴	۲۵ ۲۳ ۲۰ ۱۸ ۱۵ ۱۴ ۱۲ ۱۰	۱۹ ۱۷ ۱۵ ۱۳ ۱۱ ۰۹ ۰۷ ۰۶
۲/۶	۶۶ ۶۰ ۵۵ ۵۰ ۴۵ ۴۱ ۳۸ ۳۴	۵۹ ۵۴ ۴۹ ۴۵ ۴۰ ۳۵ ۳۳ ۳۰	۵۳ ۴۸ ۴۳ ۳۹ ۳۵ ۳۱ ۲۸ ۲۶	۳۲ ۲۹ ۲۵ ۲۳ ۲۱ ۱۸ ۱۶ ۱۴	۲۶ ۲۳ ۲۰ ۱۸ ۱۶ ۱۴ ۱۱ ۰۹	۲۰ ۱۷ ۱۵ ۱۳ ۱۱ ۰۹ ۰۷ ۰۶
۲/۸	۶۵ ۵۹ ۵۳ ۴۸ ۴۳ ۳۹ ۳۶ ۳۲	۵۹ ۵۶ ۴۸ ۴۳ ۳۸ ۳۳ ۳۰ ۲۸	۵۳ ۴۷ ۴۳ ۳۸ ۳۴ ۲۹ ۲۷ ۲۴	۳۳ ۲۹ ۲۵ ۲۳ ۲۱ ۱۷ ۱۵ ۱۲	۲۷ ۲۳ ۲۰ ۱۸ ۱۵ ۱۳ ۱۱ ۰۹	۲۰ ۱۸ ۱۶ ۱۴ ۱۱ ۰۹ ۰۷ ۰۵
۳/۰	۶۵ ۵۳ ۵۲ ۴۷ ۴۲ ۳۷ ۳۴ ۳۰	۵۸ ۵۲ ۴۷ ۴۲ ۳۷ ۳۲ ۲۹ ۲۷	۵۲ ۴۶ ۴۲ ۳۷ ۳۲ ۲۸ ۲۵ ۲۳	۳۳ ۲۹ ۲۵ ۲۲ ۲۰ ۱۷ ۱۵ ۱۲	۲۷ ۲۳ ۲۰ ۱۷ ۱۵ ۱۳ ۱۱ ۰۹	۲۱ ۱۸ ۱۶ ۱۴ ۱۱ ۰۹ ۰۷ ۰۵
۳/۲	۶۵ ۵۷ ۵۱ ۴۵ ۴۹ ۳۵ ۳۳ ۲۸	۵۸ ۵۱ ۴۶ ۴۰ ۳۶ ۳۱ ۲۸ ۲۶	۵۱ ۴۵ ۴۱ ۳۶ ۳۱ ۲۷ ۲۳ ۲۲	۳۳ ۲۹ ۲۵ ۲۲ ۱۹ ۱۶ ۱۴ ۱۲	۲۷ ۲۳ ۲۰ ۱۷ ۱۵ ۱۲ ۱۱ ۰۹	۲۱ ۱۸ ۱۶ ۱۴ ۱۱ ۰۹ ۰۷ ۰۵
۳/۴	۶۴ ۵۶ ۴۹ ۴۴ ۳۹ ۳۴ ۳۲ ۲۷	۵۷ ۵۰ ۴۵ ۳۹ ۳۵ ۲۹ ۲۷ ۲۴	۵۱ ۴۵ ۴۰ ۳۵ ۳۰ ۲۶ ۲۳ ۲۰	۳۳ ۲۹ ۲۵ ۲۲ ۱۹ ۱۶ ۱۴ ۱۱	۲۷ ۲۳ ۲۰ ۱۷ ۱۵ ۱۲ ۱۰ ۰۸	۲۲ ۱۸ ۱۶ ۱۴ ۱۱ ۰۹ ۰۷ ۰۵
۳/۶	۶۳ ۵۴ ۴۸ ۴۳ ۳۸ ۳۲ ۳۰ ۲۵	۵۶ ۴۹ ۴۴ ۳۸ ۳۳ ۲۸ ۲۵ ۲۲	۵۰ ۴۴ ۳۹ ۳۴ ۲۹ ۲۵ ۲۲ ۱۹	۳۳ ۲۹ ۲۴ ۲۱ ۱۸ ۱۵ ۱۴ ۱۰	۲۷ ۲۳ ۲۰ ۱۷ ۱۵ ۱۲ ۱۰ ۰۸	۲۲ ۱۹ ۱۶ ۱۴ ۱۱ ۰۹ ۰۷ ۰۴
۳/۸	۶۲ ۵۳ ۴۷ ۴۱ ۳۶ ۳۱ ۲۸ ۲۴	۵۶ ۴۹ ۴۲ ۳۷ ۳۲ ۲۷ ۲۴ ۲۱	۵۰ ۴۳ ۳۸ ۳۳ ۲۹ ۲۴ ۲۱ ۱۹	۳۳ ۲۸ ۲۴ ۲۱ ۱۸ ۱۵ ۱۳ ۱۰	۲۸ ۲۳ ۲۰ ۱۷ ۱۵ ۱۲ ۱۰ ۰۷	۲۳ ۱۹ ۱۷ ۱۴ ۱۱ ۰۹ ۰۷ ۰۴
۴/۰	۶۱ ۵۳ ۴۶ ۴۰ ۳۵ ۳۰ ۲۶ ۲۲	۵۵ ۴۸ ۴۲ ۳۶ ۳۱ ۲۶ ۲۳ ۲۰	۴۹ ۴۲ ۳۷ ۳۲ ۲۸ ۲۳ ۲۰ ۱۸	۳۳ ۲۸ ۲۴ ۲۱ ۱۸ ۱۱ ۱۲ ۰۹	۲۸ ۲۳ ۲۰ ۱۷ ۱۴ ۱۱ ۰۹ ۰۷	۲۳ ۲۰ ۱۷ ۱۴ ۱۱ ۰۹ ۰۷ ۰۴

جدول مربوط به ضریب بهره انواع چراغ ها در روش ضریب تقسیم ناحیه ای (جدول ۶- ۵ کتاب دکتر کلهر)

۹۶ / روشنایی فنی و تأسیسات الکتریکی

ادامه جدول ۳-۴

نوع حباب	منحنی		$\rho_{cc} \rightarrow$	۸۰	۷۰	۵۰	۳۰	۱۰	۰
	پخش نور		$\rho_w \rightarrow$	۵۰۳۰۱۰	۵۰۳۰۱۰	۵۰۳۰۱۰	۵۰۳۰۱۰	۵۰۳۰۱۰	۰
	گروه چراغ	حداکثر فاصله (a)	RCR ↓	ضریب انعکاس کف ۲۰٪ فرض شده است ($\rho_{fc} = ۲۰\%$)					
اعداد بر حسب درصد می باشد									
	IV	۱/۰	۰	۵۴۵۴۵۴	۵۳۵۳۵۳	۵۱۵۱۵۱	۴۸۴۸۴۸	۴۶۴۶۴۶	۴۵
			۱	۴۹۴۸۴۶	۴۸۴۷۴۶	۴۶۴۵۴۴	۴۵۴۴۴۳	۴۳۴۲۴۲	۴۱
			۲	۴۴۴۲۴۰	۴۳۴۱۳۹	۴۲۴۰۳۸	۴۰۳۹۳۷	۳۹۳۸۳۷	۳۶
			۳	۴۰۳۷۳۴	۳۹۳۶۳۴	۳۸۳۶۳۴	۳۷۳۵۳۳	۳۶۳۴۳۳	۳۲
			۴	۳۶۳۳۳۰	۳۶۳۲۳۰	۳۵۳۲۳۰	۳۴۳۱۲۹	۳۳۳۱۲۹	۲۸
			۵	۳۳۲۹۲۶	۳۲۲۹۲۶	۳۱۲۸۲۶	۳۰۲۸۲۶	۳۰۲۷۲۶	۲۵
			۶	۳۰۲۶۲۴	۲۹۲۶۲۴	۲۹۲۶۲۳	۲۸۲۵۲۳	۲۷۲۵۲۳	۲۲
			۷	۲۷۲۴۲۱	۲۷۲۳۲۱	۲۶۲۳۲۱	۲۶۲۳۲۱	۲۵۲۲۲۱	۲۰
			۸	۲۵۲۱۱۹	۲۴۲۱۱۹	۲۴۲۱۱۹	۲۳۲۱۱۸	۲۳۲۰۱۸	۱۸
			۹	۲۲۱۹۱۷	۲۲۱۹۱۷	۲۲۱۹۱۷	۲۱۱۸۱۶	۲۱۱۸۱۶	۱۶
			۱۰	۲۱۱۷۱۵	۲۰۱۷۱۵	۲۰۱۷۱۵	۲۰۱۷۱۵	۱۹۱۷۱۵	۱۴
	IV	۰/۹	۰	۵۰۵۰۵۰	۴۹۴۹۴۹	۴۷۴۷۴۷	۴۵۴۵۴۵	۴۳۴۳۴۳	۴۲
			۱	۴۶۴۵۴۴	۴۵۴۴۴۳	۴۳۴۲۴۲	۴۲۴۱۴۰	۴۰۴۰۳۹	۳۸
			۲	۴۲۴۰۳۸	۴۱۳۹۳۷	۴۰۳۸۳۶	۳۸۳۷۳۶	۳۷۳۶۳۵	۳۴
			۳	۳۸۳۵۳۳	۳۷۳۵۳۳	۳۶۳۴۳۲	۳۵۳۳۳۲	۳۴۳۳۳۱	۳۱
			۴	۳۵۳۲۲۹	۳۴۳۱۲۹	۳۳۳۱۲۹	۳۲۳۰۲۸	۳۱۳۰۲۸	۲۷
			۵	۳۱۲۸۲۶	۳۱۲۸۲۶	۳۰۲۸۲۶	۲۹۲۷۲۵	۲۹۲۷۲۵	۲۴
			۶	۲۹۲۶۲۳	۲۹۲۶۲۳	۲۸۲۵۲۳	۲۷۲۵۲۳	۲۷۲۴۲۳	۲۲
			۷	۲۷۲۳۲۱	۲۶۲۳۲۱	۲۶۲۳۲۱	۲۵۲۳۲۱	۲۴۲۲۲۱	۲۰
			۸	۲۴۲۱۱۹	۲۴۲۱۱۹	۲۳۲۱۱۹	۲۳۲۰۱۹	۲۲۲۰۱۹	۱۸
			۹	۲۲۱۹۱۷	۲۲۱۹۱۷	۲۱۱۹۱۷	۲۱۱۹۱۷	۲۱۱۸۱۷	۱۶
			۱۰	۲۰۱۷۱۵	۲۰۱۷۱۵	۲۰۱۷۱۵	۱۹۱۷۱۵	۱۹۱۷۱۵	۱۴
	IV	۱/۰	۰	۵۹۵۹۵۹	۵۸۵۸۵۸	۵۵۵۵۵۵	۵۳۵۳۵۳	۵۱۵۱۵۱	۵۰
			۱	۵۴۵۲۵۰	۵۲۵۱۴۹	۵۰۴۹۴۸	۴۸۴۷۴۶	۴۷۴۶۴۵	۴۴
			۲	۴۸۴۵۴۳	۴۷۴۴۴۲	۴۵۴۳۴۱	۴۴۴۲۴۰	۴۲۴۱۳۹	۴۹
			۳	۴۳۴۰۳۷	۴۲۳۹۳۷	۴۱۳۸۳۶	۴۰۳۷۳۶	۳۹۳۷۳۵	۳۴
			۴	۳۹۳۵۳۲	۳۸۳۵۳۲	۳۷۳۴۳۲	۳۶۳۳۳۱	۳۵۳۳۳۱	۳۰
			۵	۳۵۳۱۲۸	۳۵۳۱۲۸	۳۴۳۰۲۸	۳۳۳۰۲۸	۳۲۲۹۲۷	۲۶
			۶	۳۲۲۸۲۵	۳۲۲۸۲۵	۳۱۲۷۲۵	۳۰۲۷۲۵	۲۹۲۶۲۴	۲۳
			۷	۲۹۲۵۲۲	۲۹۲۵۲۲	۲۸۲۵۲۲	۲۷۲۴۲۲	۲۷۲۴۲۲	۲۱
			۸	۲۶۲۲۲۰	۲۶۲۲۲۰	۲۵۲۲۲۰	۲۵۲۲۱۹	۲۴۲۱۱۹	۱۸
			۹	۲۴۲۰۱۷	۲۴۲۰۱۷	۲۳۲۰۱۷	۲۳۱۹۱۷	۲۲۱۹۱۷	۱۶
			۱۰	۲۲۱۸۱۶	۲۲۱۸۱۶	۲۱۱۸۱۶	۲۱۱۸۱۵	۲۰۱۷۱۵	۱۵

جدول ۴-۴ تصحیح ضریب بهره برای ρ_{fc} غیر از ۲۰ درصد در روش ضریب ناحیه‌ای

ضریب مؤثر ناحیه سقف (ρ_{cc})	۸۰				۷۰				۵۰			۳۰			۱۰		
ضریب انعکاس دیوار (ρ_w)	۷۰	۵۰	۳۰	۱۰	۷۰	۵۰	۳۰	۱۰	۵۰	۳۰	۱۰	۵۰	۳۰	۱۰	۵۰	۳۰	۱۰
ضریب ناحیه‌ای اتاق	برای ضریب ناحیه مؤثر کف ۳۰٪																
۱	۱/۰۹۲	۱/۰۸۲	۱/۰۷۵	۱/۰۶۸	۱/۰۷۷	۱/۰۷۰	۱/۰۶۴	۱/۰۵۹	۱/۰۴۹	۱/۰۴۴	۱/۰۴۰	۱/۰۲۸	۱/۰۲۲	۱/۰۲۳	۱/۰۱۲	۱/۰۱۰	۱/۰۰۸
۲	۱/۰۷۹	۱/۰۶۶	۱/۰۵۵	۱/۰۴۷	۱/۰۶۸	۱/۰۵۷	۱/۰۴۸	۱/۰۳۹	۱/۰۴۱	۱/۰۳۳	۱/۰۲۷	۱/۰۲۶	۱/۰۲۱	۱/۰۱۷	۱/۰۱۳	۱/۰۱۰	۱/۰۰۶
۳	۱/۰۷۰	۱/۰۵۴	۱/۰۴۲	۱/۰۳۳	۱/۰۶۱	۱/۰۴۸	۱/۰۳۷	۱/۰۲۸	۱/۰۳۴	۱/۰۲۷	۱/۰۲۰	۱/۰۲۴	۱/۰۱۷	۱/۰۱۲	۱/۰۱۴	۱/۰۰۹	۱/۰۰۵
۴	۱/۰۶۲	۱/۰۴۵	۱/۰۳۳	۱/۰۲۴	۱/۰۵۵	۱/۰۴۰	۱/۰۲۹	۱/۰۲۱	۱/۰۳۰	۱/۰۲۲	۱/۰۱۵	۱/۰۲۲	۱/۰۱۵	۱/۰۱۰	۱/۰۱۴	۱/۰۰۹	۱/۰۰۴
۵	۱/۰۵۶	۱/۰۳۸	۱/۰۲۶	۱/۰۱۸	۱/۰۵۰	۱/۰۳۴	۱/۰۲۴	۱/۰۱۵	۱/۰۲۷	۱/۰۱۸	۱/۰۱۲	۱/۰۲۰	۱/۰۱۳	۱/۰۰۸	۱/۰۱۴	۱/۰۰۹	۱/۰۰۴
۶	۱/۰۵۲	۱/۰۳۳	۱/۰۲۱	۱/۰۱۴	۱/۰۴۷	۱/۰۳۰	۱/۰۲۰	۱/۰۱۲	۱/۰۲۴	۱/۰۱۵	۱/۰۰۹	۱/۰۱۹	۱/۰۱۲	۱/۰۰۶	۱/۰۱۴	۱/۰۰۸	۱/۰۰۳
۷	۱/۰۴۷	۱/۰۲۹	۱/۰۱۸	۱/۰۱۱	۱/۰۴۳	۱/۰۲۶	۱/۰۱۷	۱/۰۰۹	۱/۰۲۲	۱/۰۱۳	۱/۰۰۷	۱/۰۱۸	۱/۰۱۰	۱/۰۰۵	۱/۰۱۴	۱/۰۰۸	۱/۰۰۳
۸	۱/۰۴۴	۱/۰۲۶	۱/۰۱۵	۱/۰۰۹	۱/۰۴۰	۱/۰۲۴	۱/۰۱۵	۱/۰۰۷	۱/۰۲۰	۱/۰۱۲	۱/۰۰۶	۱/۰۱۷	۱/۰۰۹	۱/۰۰۴	۱/۰۱۳	۱/۰۰۷	۱/۰۰۳
۹	۱/۰۴۰	۱/۰۲۴	۱/۰۱۴	۱/۰۰۷	۱/۰۳۷	۱/۰۲۲	۱/۰۱۴	۱/۰۰۶	۱/۰۱۹	۱/۰۱۱	۱/۰۰۵	۱/۰۱۶	۱/۰۰۹	۱/۰۰۴	۱/۰۱۳	۱/۰۰۷	۱/۰۰۲
۱۰	۱/۰۳۷	۱/۰۲۲	۱/۰۱۲	۱/۰۰۶	۱/۰۳۴	۱/۰۲۰	۱/۰۱۲	۱/۰۰۵	۱/۰۱۷	۱/۰۱۰	۱/۰۰۴	۱/۰۱۵	۱/۰۰۹	۱/۰۰۳	۱/۰۱۳	۱/۰۰۷	۱/۰۰۲

جریان مجاز سیم‌ها و ... ۶۱

درجه حرارت فضا ۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰
ضریب تصحیح	۱/۲	۱/۱۵	۱/۱۰	۱/۵	۱	۰/۹۴	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۷۵

جدول ۲ - ۵ ضرایب تصحیح جریان مجاز

سطح مقطع میلیمتر مربع	کابل یک سیم‌سی		کابل دو سیم‌سی		کابل سه یا چهار سیم‌سی	
	زمین ۳۰ درجه	هوای ۳۰ درجه	زمین ۳۰ درجه	هوای ۳۰ درجه	زمین ۳۰ درجه	هوای ۳۰ درجه
۱/۵	۳۷	۲۶	۳۰	۲۱	۲۷	۱۸
۲/۵	۵۰	۳۵	۴۱	۲۹	۲۶	۲۵
۴	۶۵	۴۶	۵۳	۳۸	۴۶	۳۴
۶	۸۳	۵۸	۶۶	۴۸	۵۸	۴۴
۱۰	۱۱۰	۸۰	۸۸	۶۶	۷۷	۶۰
۱۶	۱۴۵	۱۰۵	۱۱۵	۹۰	۱۰۰	۸۰
۲۵	۱۹۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۰۵
۳۵	۲۳۵	۱۷۵	۱۸۰	۱۵۰	۱۵۵	۱۳۰
۵۰	۲۸۰	۲۱۵	۲۱۰	۱۸۰	۱۸۵	۱۶۰
۷۰	۳۵۰	۲۷۰	۲۶۰	۲۳۰	۲۳۰	۲۰۰
۹۵	۴۲۰	۳۳۵	۳۱۵	۲۷۵	۲۷۵	۲۴۵
۱۲۰	۴۸۰	۳۹۰	۳۶۰	۳۲۰	۳۱۵	۲۸۵
۱۵۰	۵۴۰	۴۴۵	۴۰۰	۳۷۵	۳۵۵	۳۲۵
۱۸۵	۶۲۰	۵۱۰	۴۶۰	۴۳۰	۴۰۰	۳۷۰
۲۴۰	۷۲۰	۶۲۰	۵۳۰	۵۱۰	۴۶۵	۴۳۵
۳۰۰	۸۲۰	۷۱۰	۵۹۰	۵۹۰	۵۲۰	۵۰۰
۴۰۰	۹۶۰	۸۵۰	۶۸۰	۷۱۰	۶۰۰	۶۰۰
۵۰۰	۱۱۱۰	۱۰۰۰	—	—	—	—

جدول ۲ - ۵ جریان مجاز کابلها با هادی‌سی و عایق و غلاف پی وی سی

