

مدیریت انرژی سیستمهای روشنایی

دکتر علی اکبر عالم رجبی

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی مکانیک

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مبانی علمی مهندسی روشنایی

طیف نور مرئی

مادون قرمز (قرمز - زرد - سبز - آبی - بنفش) ماورای بنفش

(۳۸۰-۴۰۰-۵۰۰-۶۰۰-۷۰۰-۷۸۰)

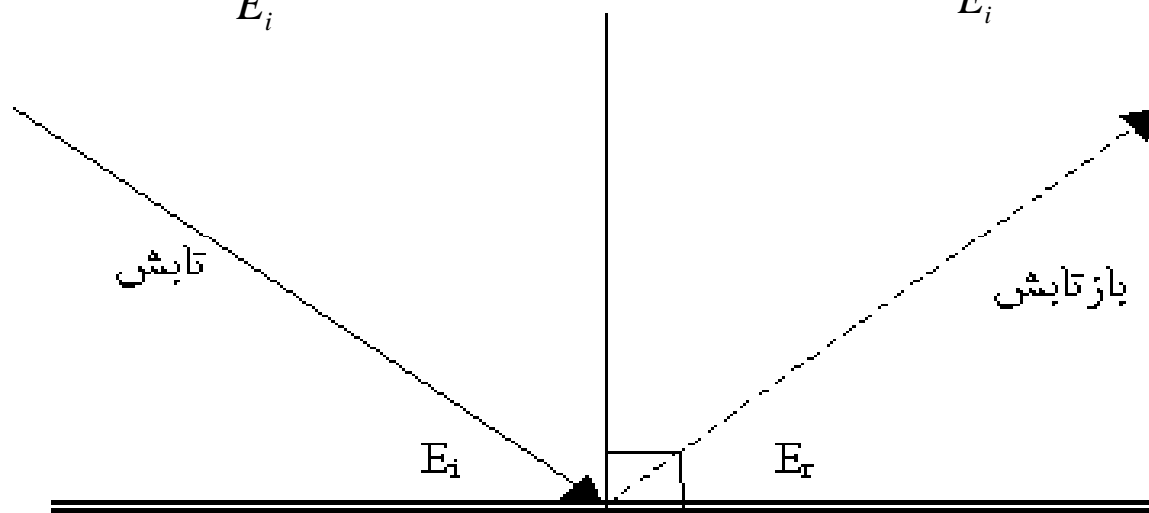
رفتارهاي امواج نوري

- بازتابش
- تفرق
- انحراف
- تداخل
- شکست

تأثیر بازتابش نور از روی سطوح در توزیع روشنایی

$$\rho(\text{ratio}) = \frac{E_r}{E_i}$$

$$\rho(\%) = \frac{E_r}{E_i} \times 100$$



ضریب انعکاس نور برخی مصالح و رنگها

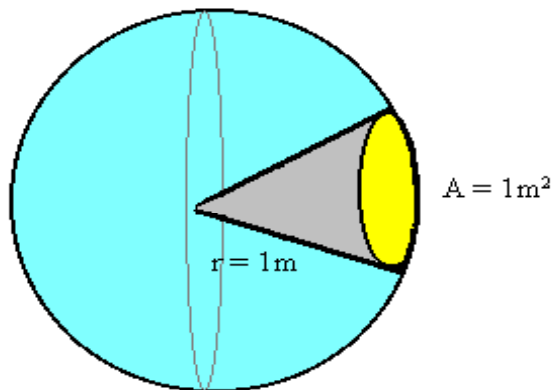
ضریب بازتابش (ρ %)	رنگ
+۸۰	سفید
+۶۵	زرد
+۵۰	صورتی روشن
+۴۵	آبی روشن
+۴۰	قرمز روشن
+۶۵	سبز تیره
+۶۵	قهوه‌ای تیره
+۰۵	سیاه

ضریب بازتابش (ρ %)	نوع مصالح
۸۰-۹۹	آینه
۷۵-۹۵	آلومینیوم پرداخت شده آندی
۷۰-۸۰	آلومینیوم پرداخت شده
۶۰-۶۵	روکش کروم
۵۵-۶۵	فولاد ضد زنگ
۳۵-۶۵	سنگ آهک
۸۰	سنگ مرمر سفید
۸۰	گچ خشک تازه
۶۵	گچ خشک کهنه
۲۰-۴۵	سیمان پرتلند
۱۰-۲۵	آجر
۸۰	کاشی سفید

كميات سنجش روشنايي

۱- شار نوري منبع:

- شار نوراني منبع يا توان نوري منبع عبارتست از توان نوري ساطع شده از منبع نوراني كه با واحد لومن lm بيان مي‌گردد و با Φ نشان داده مي‌شود.
- يك لومن شار نوراني ساطع شده از يك شمع استاندارد در يك استراديان (زاويه فضايي) است.
- يك وات 683 لومن است



۲- شدت نور منبع:

شدت نور منبع، با نماد I و با واحد شمع استاندارد یا کاندلا cd بیان می‌گردد.

بطور عملی یک کاندلا، شدت نور ناشی از یک منبع نورانی با سطح $cm^2 (1/60)$ از جسم سیاه در درجه نوب پلاتین ($2045 K$) در فشار یک اتمسفر ($101325 Pa$) است. شدت تابش نور از این منبع را به عنوان شمع استاندارد می‌گیرند.

شار عبوری از سطح کره در هر زاویه فضایی حائز اهمیت است. سطح کره با شعاع واحد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S = 4\pi r^2 = 4 \times 3.14 \times 1^2 = 12.57$$

لذا می‌توان گفت انتشار نور ناشی از یک منبع نقطه‌ای با شدت یک کاندلا، که بصورت فضایی تابش روشنائی دارد، در هر زاویه فضایی یک لومن شار نورانی منتشر می‌کند

$$I(cd) = \frac{\phi(lm)}{A(m^2)}$$

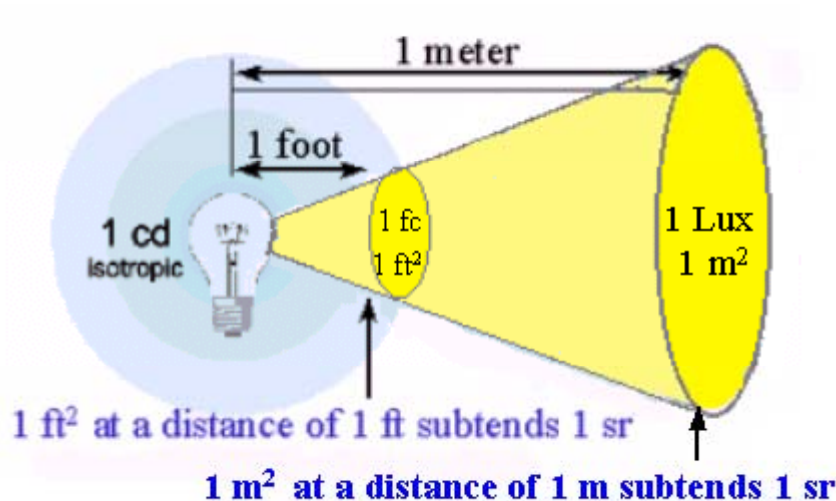
$$I (cd) = \frac{\phi(lm)}{12.57}$$

$$\phi (lm) = I(cd) \times 12.57$$

۳ - شدت روشنایی (E):

شدت روشنایی با نماد E ، عبارت از میزان شارنورانی دریافت شده توسط یک سطح معین می‌باشد، واحدهای آن فوت کاندل fc و لوکس Lx می‌باشد. واحد بین‌المللی شدت روشنایی لوکس Lx است.

یک لوکس، شدت روشنایی است که از یک شمع استاندارد در فاصله یک متری توسط سطح یک متر مربعی دریافت می‌شود یا بر آن سطح تابیده شود



فوت‌کندل: شدت روشنایی است که از یک شمع استاندارد (یک کاندلا) در فاصله یک فوتی توسط سطح یک فوت مربعی دریافت شود، یا بر آن سطح تابیده شود $fc = 11 lx$

استانداردهای شدت روشنایی

در محیط‌های مسکونی، تجاری، عمومی و صنعتی برای آسایش افراد، شدت روشنایی در جداول مخصوصی بیان گردیده است. حداقل شدت روشنایی قابل قبول ۵۰ لوکس می باشد

شدت روشنایی مورد نیاز Lx	مثال	خصوصیات مکان
۵۰ تا ۱۵۰	انبارها یا زیرزمینها و راهروها	مکانهایی با تردد محدود افراد
۱۵۰-۲۰۰	بارگیری و تخلیه الوار یا تایر	کارهای غیر دقیق یا خشن
۲۰۰-۳۰۰	کارهای خدماتی و تولیدی	کارهای با دقت متوسط
۳۰۰-۵۰۰	کارهای تحریری یا مونتاژ قطعات	کارهای دقیق

۴- درخشندگی یا چگالی نور (L)

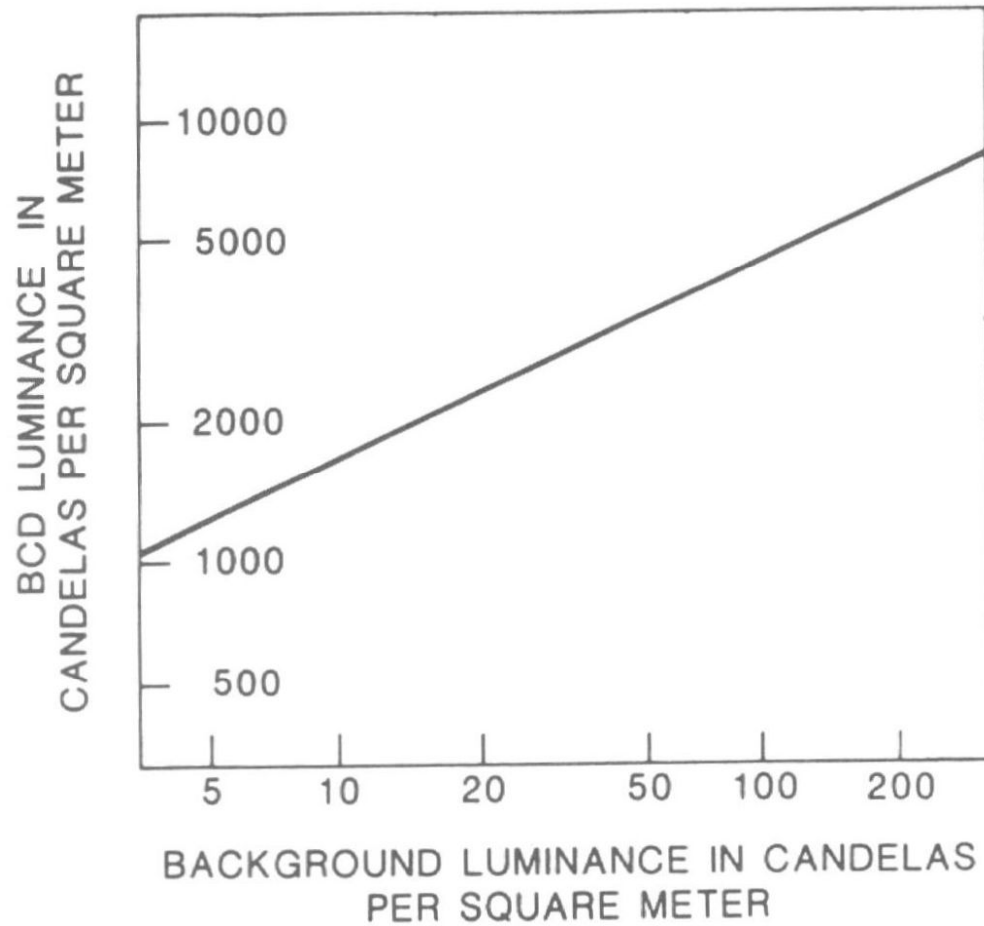
مقدار روشنایی است که از یک سطح یا از یک منبع روشنایی ساطع می‌گردد. به عبارت دیگر این کمیت بیان‌کننده چگالی نور در منبع تولید یا در روی سطوح بازتابشی است. واحد اصلی این معیار cd/m^2 یا nit است.

برای روئیت اشیاء و تشخیص در حد تاریکی و روشنی باید حداقل 0.10 cd/m^2 درخشندگی موجود باشد. در درخشندگی بالاتر تا 3 cd/m^2 تشخیص رنگ به سختی امکان‌پذیر است و در درخشندگی بالاتر از 3 cd/m^2 دید رنگها آسان می‌شود. درخشندگی بالاتر از 100 cd/m^2 ممکن است چشم را دچار خستگی نمایند یا سبب آزار ناظر گردد،

مثالهایی از درخشندگی منابع

درخشندگی cd/m^2	منبع روشنایی
2×10^9	خورشید در هنگام ظهر
10^{-4}	آسمان بدون خورشید
1000	آسمان در شب
500000	لامپ رشته‌ای 100 وات ساده
80000	لامپ رشته‌ای 100 وات مات
5000	سطح لامپ فلورسنت
7×10^6	سطح لامپ گازی جیوه‌ای فشار 2 اتمسفر
$440-620 \times 10^4$	سطح لامپ گازی سدیمی فشار بالا
$470-1100 \times 10^4$	سطح لامپ متال هالید شفاف

درخشندگی آزار دهنده - خیرگی ناتوان کننده



رابطه مهم بین درخشندگی، شدت روشنایی و ضریب انعکاس سطوح

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi}$$

۵- ضریب بهره نوری (η)

این ضریب اختصاصاً برای منابع الکتریکی در نظر گرفته می‌شود و نسبت بین توان نوری منبع به توان الکتریکی آن است، واحد این ضریب لومن بر وات است.

$$\eta \left(\frac{\text{lm}}{\text{w}} \right) = \frac{\phi (\text{lm})}{p (\text{w})}$$

۶- ضریب بهره الکتریکی (η_e)

برای معین کردن میزان تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی نورانی نسبت به صد در صد یک لامپ ایده‌آل از ضریب بهره الکتریکی استفاده می‌شود. در این تعریف ضریب بهره نوری لامپ ایده‌آل ۶۸۰ لومن بر وات در نظر گرفته می‌شود.

$$\eta_e = \frac{\phi / 680}{w} \times 100 = \frac{\phi \times 100}{680 \times w} = \frac{\phi}{6.8 w}$$

ضریب بهره نوری و الکتریکی لامپهای متداول

ضریب بهره الکتریکی (%)	ضریب بهره نوری (lm/w)	نوع لامپ
۲/۰۶ - ۲/۳۵	۱۴ - ۱۶	رشته‌ای انتهایی
۴/۱۲ - ۴/۴۱	۲۸ - ۳۰	هالوژنه
۸/۸۲	۶۰	فلورسنت
۸/۰۹ - ۹/۵۵	۵۵ - ۶۵	گازی جیوه‌ای پرفشار
۱۳/۲۴ - ۱۶/۱۸	۹۰ - ۱۱۰	گازی سدیمی پرفشار

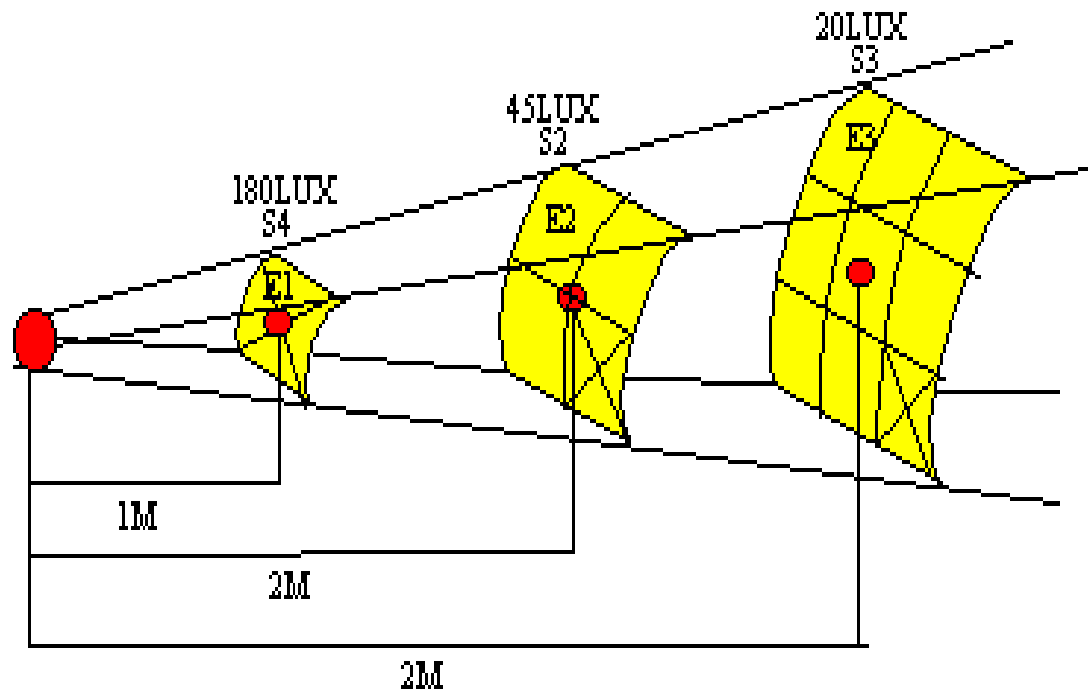
قوانین تابش نور :

- ۱- در صورتی که منابع روشنایی محدود نشده باشند می‌توانند در تمام جهات تابش داشته باشند و ناظر هرچه از منبع روشنایی دورتر باشد شدت روشنایی کاهش پیدا می‌کند. در ارتباط با تغییرات شدت روشنایی به نسبت فاصله، قانون عکس مجذور فاصله صادق می‌باشد. رابطه زیر برای هر فاصله r از منبع نقطه ای صادق است:

$$E = \frac{I}{r^2} \qquad E_2 = \frac{E_1}{r^2}$$

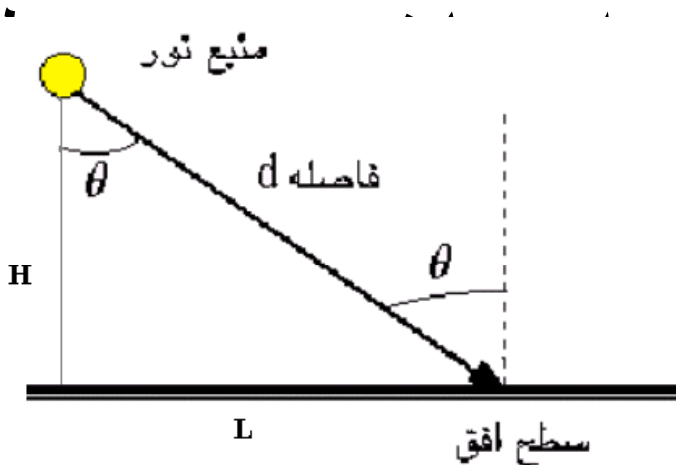
قانون عكس مجذور فاصله

$$E_2 = \frac{E_1}{r^2}$$



قوانین تابش نور :

- ۲- در صورتی که تابش روشنایی روی سطوح افقی در نقاطی مد نظر باشد که تابش با زاویه نسبت به خط عمود بر سطح انجام گردد، در این صورت شدت روشنایی در هر نقطه روی سطح افق تابع شدت نور منبع، فاصله مؤثر منبع



تا نقطه مو $E = \frac{I}{d^2} \cos \theta$ کسینوس
عمود بر $E = \frac{I}{H^2} \cos^3 \theta$ بود:

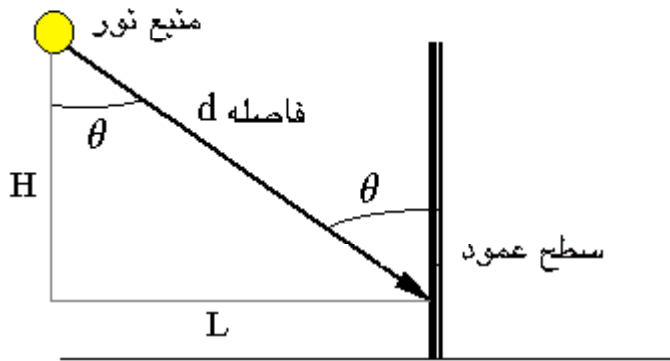
$$\cos \theta = \frac{H}{d} \quad \theta = \arccos \frac{H}{d}$$

$$d = \frac{H}{\cos \theta}$$

قوانین تابش نور :

- ۳- اگر تابش روشنایی روی سطوح قائم در نقاطی مد نظر باشد که تابش با زاویه نسبت به خط عمود بر سطح انجام گردد، در این صورت شدت روشنایی در هر نقطه روی سطح افق تابع شدت نور منبع، فاصله مؤثر منبع تا نقطه

واحد



ویه ت $E = \frac{I}{d^2} \sin \theta$

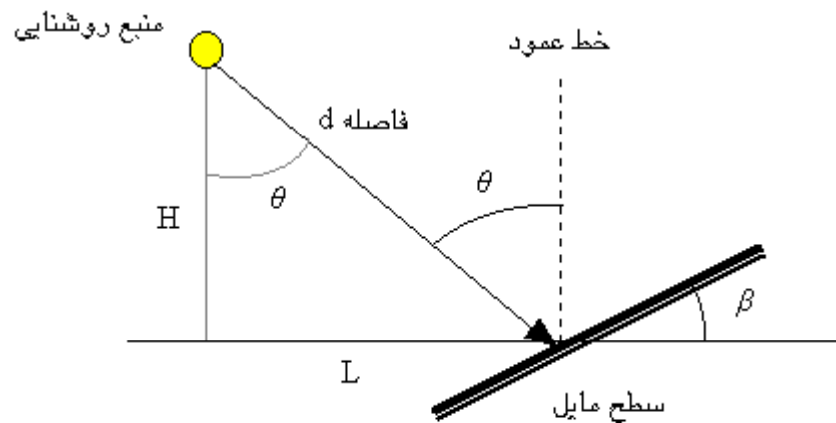
$$\sin \theta = \frac{L}{d}$$

$$d = \frac{L}{\sin \theta}$$

مورد بود. $\theta = \arcsin \frac{L}{d}$

قوانین تابش نور :

- ۴- تابش نور از يك منبع نقطه‌اي روي يك سطح شیب‌دار، ترکیبی از دو حالت قبل است. در این حالت شدت روشنایی روي این سطح وابسته به زاویه تابش θ و زاویه شیب سطح نسبت به خط افق β دارد.



$$\theta = \arccos \frac{H}{d}$$

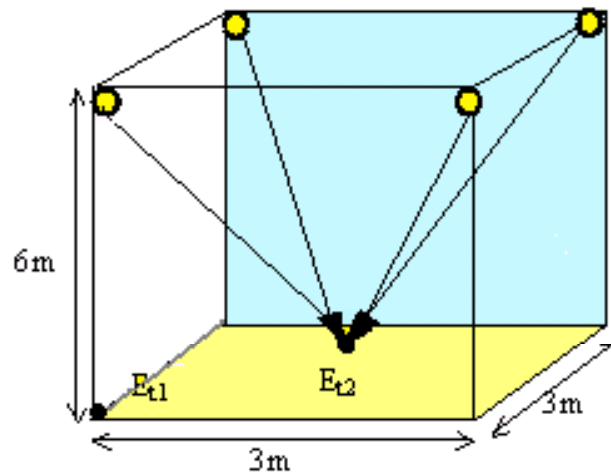
$$d = \frac{H}{\cos \theta}$$

$$E = \frac{I}{d^2} \cos(\theta - \beta)$$

$$\cos \theta = \frac{H}{d}$$

قوانین تابش نور :

- ۵- در محیطهایی که بیش از یک منبع روشنایی دارند، شدت روشنایی روی سطوح در هر نقطه بدون در نظر گرفتن بازتابش سطوح، حاصل جمع شدت روشنایی نسبی حاصل از هر منبع نوری خواهد بود:



اصول مهم در طراحی و نگهداری

سیستم روشنایی طبیعی

اصول طراحی روشنایی طبیعی

۱. طراحی بنا باید به گونه‌ای باشد که پنجره‌های اصلی در سمت جنوب، جنوب غربی و جنوب شرقی قرار گیرند.
۲. در صورتی که امکان طراحی پنجره در سمت جنوب نباشد بایستی از پنجره‌های سقفی که به صورت قائم نصب شده باشند کمک گرفت. نصب پنجره‌های سقفی افقی مشکلات زیادی را از نظر ایمنی و هدایت تابش مستقیم خورشید که مشکلات متعددی ایجاد می‌کند، در پی خواهد داشت.
۳. ترتیبی اتخاذ گردد که عمق فضا (فاصله پنجره از ضلع مقابل) ^(ادامه) به حداقل ممکن کاهش یابد. در صورت لزوم پنجره‌های قائم سقفی می‌تواند مفید باشد.
۴. پوشش سطوح داخلی باید دارای رنگ و ضریب انعکاس مناسب برای توزیع بهتر روشنایی باشند. در این توصیه برای کف سطوحی با ضریب انعکاس ۰/۳ و برای دیوارها ۰/۵ و سقف ۰/۷ پیشنهاد می‌گردد. لازم است که همواره نظافت دیوارها و کف جزء برنامه های دوره‌ای محیط مورد نظر باشد.
۵. کلیه دستگاهها و تجهیزات و لوازم باید دارای پوشش رنگ ملایم با ضریب انعکاس حدود ۰/۵ بوده و دائماً نظافت گردند.

اصول طراحی روشنایی طبیعی (ادامه)

۶. استفاده از دستگاہها، ابزارها یا وجود سطوح براق به دلیل بازتابش شدید نور و ایجاد خیرگی مجاز نیست.
۷. پنجره‌ها باید تا نزدیکی سقف ادامه داشته باشند زیرا پنجره‌ها زمانی بازدهی بهتری دارند که به سقف نزدیک‌تر باشند.
۸. مساحت پنجره‌ها باید برای نورگیری مکان کافی باشد. نسبت مساحت پنجره به مساحت اتاق بسته به نیاز و میزان دقت و ظرافت کار بین ۵ تا ۳۰ درصد تعیین می‌شود.
۹. ارزش پنجره‌های شمالی یک سوم پنجره‌های جنوبی و ارزش پنجره‌های شرقی و غربی نصف آنها است.
۱۰. وجود مانع، سایبان، پرده و کثیفی شیشه‌ها می‌تواند تا حدود زیادی بازدهی پنجره‌ها را کاهش دهد.
۱۱. مجاورت درخت و بوته‌های بلند میزان نورگیری پنجره را کاهش می‌دهد.
۱۲. شفافیت شیشه‌ها و تمیزی آنها در نورگیری نقش مهمی دارد.
۱۳. استفاده از شیشه مات خصوصاً در پنجره‌های بلند برای جلوگیری از تابش نور با درخشندگی بالا روی سطوح داخلی توصیه می‌گردد.
۱۴. برای روزهای ابری و ساعات اول و آخر روز بایستی روشنایی مصنوعی نیز بطور مکمل پیش‌بینی گردد.