جمهوری اسلامی ایران
وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
مرکز سلامت محیط و کار

راهنمای اندازه‌گیری و ارزیابی
روشنـــایی در محیط کار

OEL – L - 9507

بسم الله الرحمن الرحیم

جمهوری اسلامی ایران
وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
مرکز سلامت محیط و کار

راهنمای اندازه‌گیری و ارزیابی

روشنایی در محیط کار

کد

OEL - L – 9507

۱۳۹۵

شماره کتابشناسی ملی : ۴۵۶۳۴۵۵
سرشناسه : گلمحمدی، رستم، ۱۳۴۴ -
عنوان و نام پدیدآور : راهنمای اندازه گیری و ارزیابی روشنایی در محیط کار/ مجری طرح قطب علمی آموزشی بهداشت حرفه‌ای کشور؛ [برای] وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی مرکز سلامت محیط و کار.
مشخصات نشر : همدان: وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، معاونت بهداشت، مرکز سلامت محیط و کار: انتشارات دانشجو، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری : ۱۱۰ص.: مصور،جدول ،نمودار.
شابک : 978-964-543-044-1 : ۶۰۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
یادداشت : کتابنامه.
موضوع : روشنایی و نورپردازی
موضوع : Lighting
موضوع : محیط کار -- روشنایی و نورپردازی
موضوع : Work environment -- Lighting
شناسه افزوده : ایران. وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی. مرکز سلامت محیط و کار
رده بندی کنگره : ۱۳۹۵ ۲ر۸۵گ/TH۷۷۰۳
رده بندی دیویی : ۶۲۱/۳۲

نام کتاب: راهنمای اندازه‌گیری و ارزیابی روشنایی در محیط کار
ناشر: مرکز سلامت محیط و کار، وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی – انتشارات دانشجو
تلفن: ۸۱۴۵۴۱۹۳-۰۲۱-۸۱۴۵۴۱۲۰، نمابر: ۰۲۱-۸۱۴۵۴۴۶۴
http:// markazsalamat.behdasht.gov.ir
مجری طرح: قطب علمی آموزشی بهداشت حرفه‌ای کشور
تلفن: ۰۸۱-۳۸۳۸۰۰۲۵ نمابر: ۰۸۱-۳۸۳۸۰۵۰۹ http://ceoh.umsha.ac.ir
مولف: دکتر رستم گلمحمدی
نوبت چاپ: اول ۱۳۹۵
تیراژ: ۵۰۰ جلد وزیری
فیلم زینک: لیتوگرافی روشن
چاپ و صحافی: روشن
مرکز پخش: همدان، انتشارات دانشجو تلفن: ۰۸۱-۳۸۳۷۸۰۱۰
شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۵۴۳-۰۴۴-۱
قیمت: ۶۰۰۰۰ ریال

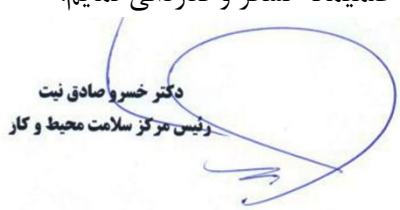
مقدمه

در حال حاضر بیش از نیمی از جمعیت جهان در مشاغل مختلف در معرض طیف وسیعی از عوامل زیان‌آور و آلاینده‌های محیط‌کار قرار دارند که این امر پیامدهای بهداشتی ناگواری را به‌همراه داشته و امکان ابتلا به بیماری‌های شغلی را افزایش خواهد داد.

با توجه به ضرورت برخورداری شاغلین از محیط‌کار سالم و نیاز مبرم کشور به حدود و معیارهایی برای تمایز محیط‌های کاری سالم و ناسالم، ویرایش چهارم کتاب حدود مجاز مواجهه شغلی در مرکز سلامت محیط و کار تدوین شد و با امضاء وزیر محترم بهداشت، درمان و آموزش پزشکی ابلاغ گردید.

با عنایت به ماده ۸۵ قانون کار که رعایت حدود مندرج در کتاب مذکور را برای صاحبان صنایع، کارفرمایان الزام آور نموده است و بر اساس بازخوردهای واصله از کاربران مختلف این کتاب از سراسر کشور، اعم از کارشناسان بهداشت حرفه‌ای و متخصصان طب کار، اعضاء محترم هیأت علمی و کارشناسان صنایع، بر آن شدیم تا با کمک اساتید مجربی که در کمیته تدوین حدود مجاز همکاری نموده‌اند، راهنماهای فنی هر بخش از این کتاب را در ۹ جلد با موضوعات مختلف، به منظور تسهیل استفاده کاربران تدوین نماییم تا کاربران به کمک توضیحات تکمیلی و مثال‌های عنوان شده در این راهنماها، با توان بیشتری نسبت به تفسیر حدود مجاز مندرج در این کتاب و به‌کارگیری نتایج حاصل از آن اهتمام ورزند و از محدودیت‌هایی که ممکن است پدید آید آگاهی داشته باشند و بیش از پیش بتوانند تفسیر صحیحی از مقایسه این حدود مجاز با وضعیت مواجهات آسیب‌رسان محیط‌کار به‌دست آورند.

لازم به ذکر است، به‌منظور دسترسی بیشتر کاربران، این راهنماها بر روی تارنماهای وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی (وبدا)، معاونت بهداشتی و مرکز سلامت محیط و کار قرار خواهد گرفت. در انتها وظیفه خود می‌دانم از زحمات ارزشمند جناب آقای دکتر رستم گلمحمدی که در تألیف و خانم مهندس فاطمه صادقی و آقای مهندس حمید اقتصادی که در نظارت و تدوین این راهنما همکاری نموده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.



فهرست مطالب **صفحه**

مقدمه و اهمیت موضوع	۵
گفتار یکم: مبانی نور و روشنایی	۹
دمای رنگ	۹
شاخص تجلی رنگ	۱۲
رفتارهای نور	۱۲
کمیات اندازه‌گیری روشنایی	۱۵
شار نوری منبع روشنایی	۱۶
شدت نور منبع	۱۷
شدت روشنایی	۱۸
درخشندگی	۱۹
ضریب بهره نوری	۲۱
ضریب بهره الکتریکی	۲۲
قواعد تابش نور در محیط	۲۳
قانون عکس مجذور فاصله	۲۳
تابش نور با زاویه روی سطح افق	۲۴
تابش نور با زاویه روی سطح عمود	۲۵
تابش نور با زاویه روی سطح شیب‌دار	۲۵
شدت روشنایی ناشی از منابع متعدد	۲۶
قاعده اثر سطوح محدودکننده منبع	۲۶
گفتار دوم: بینایی و روشنایی	۲۷
عوامل مؤثر بر دیدن	۳۱
گفتار سوم: منابع روشنایی مصنوعی	۳۷
مشخصه‌های اصلی لامپ‌ها	۳۷

انواع لامپ	۳۹
چراغ‌ها	۴۷
گفتار چهارم: اصول طراحی و نگهداری روشنایی مصنوعی داخلی	۵۷
انتخاب سامانه توزیع روشنایی	۶۰
انتخاب چراغ و لامپ	۶۱
متوسط شدت روشنایی مورد نیاز	۶۲
الزامات OEL	۶۴
تعیین ضرایب بازتابش سطوح داخلی	۶۵
ضریب بهره سامانه روشنایی	۶۶
مجموع افت‌های روشنایی	۶۷
تعداد چراغ مورد نیاز	۶۸
چیدمان چراغ‌ها	۶۹
اصول طراحی پنجره‌ها برای تامین روشنایی طبیعی	۷۰
اصول طراحی روشنایی طبیعی	۷۱
گفتار پنجم: اندازه‌گیری و ارزیابی روشنایی	۷۳
هدف اندازه‌گیری	۷۳
وسایل اندازه‌گیری	۷۴
روش کار با دستگاه نورسنج	۷۶
سنجش درخشندگی	۷۶
کالیبراسیون	۷۷
سنجش ضریب بازتابش	۷۸
طیف‌سنجی نور	۸۰
گردآوری اطلاعات مورد نیاز	۸۰
الزامات روشنایی	۸۱

زمان اندازه‌گیری ۸۱
روش‌های اندازه‌گیری روشنایی ۸۲
روش اندازه‌گیری الگویی ۸۳
الگوهای IES ۸۳
روش شبکه‌ای ۹۰
اندازه‌گیری روشنایی تلفیقی ۹۴
اندازه‌گیری روشنایی موضعی ۹۵
اندازه‌گیری درخشندگی منابع و سطوح ۹۶
ملاحظات ارزیابی روشنایی ۹۶
روش ارزیابی روشنایی مصنوعی ۹۸
راهنمای تکمیل فرم در سامانه ثبت نتایج مرکز سلامت محیط و کار ۱۰۱

مقدمه و اهمیت موضوع

نور بخشی از طیف الکترومغناطیس است که در برخورد با سلول‌های گیرنده شبکیه چشم انسان دریافت و پس از ارسال به مغز، کمیت و کیفیت آن درک می‌گردد. طیف دریافت شده از محیط اطراف بر مبنای خصوصیات آن در مغز به‌صورت نور، رنگ یا شیء درک می‌شود. نور جزء جدایی ناپذیر عالم خلقت و یکی از مظاهر تجلی رحمت الهی است. نمی‌توان زندگی بر روی زمین را بدون وجود روشنایی تصور نمود. گردش شب و روز و تغییرات فصلی شرایط بسیار مناسبی را برای ادامه حیات در زمین فراهم نموده است. ساعت زیستی موجودات از جمله انسان وابستگی عجیبی به سطح روشنایی دارد. هرگونه اختلال در دریافت روشنایی مطلوب می‌تواند سبب بروز پیامدهای مختلف برای انسان گردد.

تأمین کیفیت روشنایی[1] در محیط نیازمند یکپارچه‌سازی سه عامل مهم شامل: نیازهای انسان، عوامل مربوط به معماری و ملاحظات اقتصادی-زیست محیطی است. نیازهای انسان به‌طور عمده شامل قابلیت و راحتی دید، کارایی شغلی، امکان ارتباط مناسب با محیط اطراف، زیبایی‌شناسی و تأمین ایمنی، بهداشت و آسایش می‌باشد. کارایی شغلی خود نیازمند کارایی ذهنی مطلوب می‌باشد و تأمین بهداشت و ایمنی نیز نیازمند قابلیت دید، تأمین کمیت و کیفیت روشنایی متناسب برای درک کامل و به‌موقع از عوامل محیط است. مطالعات نشان داده است بهبود شدت روشنایی ۴/۵ درصد بهره‌وری را افزایش داده است که این افزایش را می‌توان به بهبود عملکرد بینایی، اثرات بیولوژیکی روشنایی و اثرات روانی نسبت داد.

در مباحث روشنایی در محیط کار اعم از صنعتی و غیر صنعتی از نظر تأمین نیازهای بهداشت، ایمنی و ارگونومی مستلزم رعایت همه مؤلفه‌های روشنایی مطلوب می‌باشد. روشنایی ناقص یا نامطلوب می‌تواند علاوه بر اثرات مریی بر سیستم بینایی، اثرات غیر مریی شامل اثرات بر کارایی ذهنی و عصبی-روانی و فیزیولوژیک شاغلین داشته باشد. مطالعات متعددی ارتباط بین روشنایی با مؤلفه‌های بهداشت، ارگونومی و ایمنی را مورد تائید قرار داده‌اند. روشنایی مطلوب می‌تواند بر بهبود سلامت، آسایش، هوشیاری، خلق و خو، کیفیت

1- Lighting Quality

خواب، سرعت کار، کاهش خطا، کاهش حادثه و کاهش غیبت از کار، کارایی و بهره‌وری موثر باشد. روشنایی نامناسب یکی از ریسک فاکتورهای حوادث شغلی قلمداد می‌گردد.

بهبود روشنایی همچنین می‌تواند به بهبود پوسچر کار (وضعیت قرارگیری بدن هنگام کار) کمک کرده و از اختلالات اسکلتی‌ـعضلانی مرتبط با روشنایی جلوگیری کند. افراد برای انجام وظایف خود بسته به‌دقت و ظرافت کار، اندازه شیء و ماهیت کار به روشنایی مطلوب نیاز دارند و درصورتی‌که معیارهای روشنایی تأمین نگردد فرد ناگزیر در وضعیت بدنی نامطلوب قرار گرفته و فشارهای بیومکانیکی بیشتری به ساختار اسکلتی عضلانی بدن وارد می‌شود که زمینه ابتلاء به اختلالات اسکلتی ـ عضلانی را فراهم می‌کند. نور، ساعت زیستی را بر حسب منحنی پاسخ فازی، بازنشانی می‌کند. نور می‌تواند با تغییر در تعادل هورمون‌های بدن، ریتم بیولوژیک جلو بیندازد و یا باعث تأخیر آن شود. این عامل می‌تواند بر روی خواب‌آلودگی یا هوشیاری افراد مؤثر باشد. میزان هوشیاری می‌تواند بر کارایی ذهنی و کارایی عینی تأثیرگذار باشد. کمیت و کیفیت روشنایی می‌تواند بر سلامت روحی روانی افراد نیز تأثیر بگذارد. به‌طور مثال یکی از عوامل مرتبط با افسردگی، نقص در کمیت و کیفیت روشنایی محیط می‌باشد.

انسان برای تعامل مؤثر با محیط کار و تجهیزات همواره نیازمند روشنایی مطلوب می‌باشد. روشنایی مطلوب[1] شامل مؤلفه‌های کمی و کیفی آن است. مؤلفه‌های کمی خود شامل شدت روشنایی و یکدستی آن، کنترل درخشندگی و تنظیم ضریب بازتابش سطوح و مؤلفه‌های کیفی شامل طراحی مناسب محیط، جنبه‌های هنری، روان‌شناسی و زیبایی‌شناسی، طیف روشنایی منابع و دمای رنگ آن‌ها می‌باشد. پرواضح است که تأمین حد اعلای این معیارها با توجه به جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و اجرایی بسیار دشوار است.

بر اساس آخرین آمار کشوری در ایران در سال ۱۳۹۳ تعداد ۶۴۴۲۹۹ کارگاه فعال در بخش‌های چهارگانه صنعت، معدن، خدمات و کشاورزی شامل کارگاه‌های خانگی با جمعیت ۳۰۰۸۹۵۲ نفر شاغل در سطح کشور شناسایی‌شده است که دارای ۸۵٪ پوشش جمعیتی

1 - Qualified lighting

خدمات بازرسی بهداشت حرفه‌ای بوده است. از این تعداد کارگاه ۸٪ با نسبت متناظر ۶٪ شاغلین آن‌ها در معرض روشنایی نامطلوب بوده‌اند. برآوردی از وضعیت شاغلین کشور نشان می‌دهد که از جمعیت ۱۳ میلیون نفری بیمه‌شده اصلی تأمین اجتماعی بدون احتساب نیروهای مسلح و نهادهای دیگر می‌توان مواجهه حدود ۷۰۰ هزار نفر تحت روشنایی نامطلوب را فقط در محیط‌های صنعتی و تولیدی برآورد نمود که به این آمار باید شاغلین نیروهای مسلح، کارکنان بخش‌های اداری دولتی و غیردولتی را افزود.

مرکز سلامت محیط و کار نهاد قانونی نظارت بر تأمین روشنایی مطلوب در محیط‌های شغلی می‌باشد. طرح کشوری ساماندهی روشنایی در محیط کار از سال ۱۳۸۳ در این مرکز تدوین و با آموزش روش‌های یکسان اندازه‌گیری و ارزیابی و تدوین فرم های مربوطه شروع و به سرعت جزو شرح وظایف اصلی کارشناسان بهداشت حرفه‌ای قرار گرفت. نتایج تأثیر این طرح در طی آمار سال‌های بعد مشهود می‌باشد، به‌طوری که درصد شاغلین در معرض روشنایی نامناسب از ۱۲٪ در سال ۱۳۸۶ به ۹٪ در سال ۱۳۸۸ و ۶٪ در سال ۱۳۹۳ کاهش یافته است. تعیین حدی که بتواند حداقل نیازهای شاغلین برای دستیابی به اهداف بهداشت حرفه‌ای را مشخص نماید از وظایف مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت می‌باشد. در این راستا یکی از موارد مهم مندرج در حدود مجاز مواجهه شغلی حدود الزامی و هم‌ارز OEL برای مبحث روشنایی بوده است. دستورالعمل حاضر به‌منظور یکسان‌سازی و آموزش روش‌های اندازه‌گیری و ارزیابی روشنایی در محیط کار برای مطابقت با حدود مجاز مواجهه شغلی می‌باشد.

گفتار یکم: مبانی نور و روشنایی

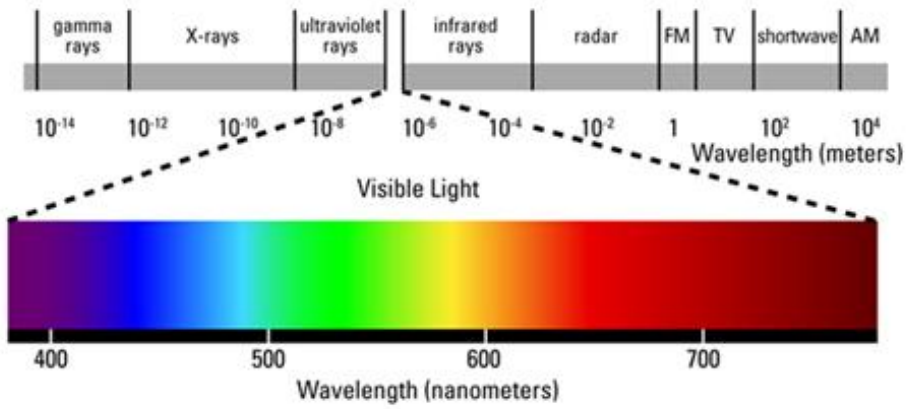
نور[1] بخشی از انرژی طیف امواج الکترومغناطیس[2] است که در برخورد با سلول‌های گیرنده شبکیه چشم انسان دریافت و پس از ارسال سیگنال متناظر آن به مغز، کمیت و طیف آن درک می‌گردد. از نظر فیزیولوژیک برای یک فرد سالم امواج نورانی در محدوده ۳۸۰ تا ۷۷۰ نانومتر به‌صورت طیف رنگی، قابل‌رؤیت است و از بنفش شروع و به قرمز تیره ختم می‌گردد. امواج طول‌موج‌های قبل و بعد از آن نامرئی هستند و با نام فرابنفش[3] و فروسرخ[4] نامیده شده‌اند. شکل(۱) طیف قابل رؤیت از نظر طول‌موج و حساسیت نسبی چشم را نشان می‌دهد. نور دارای ویژگی موجی- ذره‌ای می‌باشد، لذا در مواردی که اثر نور بر اجسام و ایجاد واکنش روی سطوح خاص است، مثل پدیده فتوالکتریک، ماهیت ذره‌ای نور و در مواردی که اثر نور به‌صورت انتشار یا بازتابش و تفرق مطرح است ماهیت موجی آن بررسی می‌گردد. آنچه که در تولید و انتشار نور مورد تأیید است این است که به‌دلیل وارد شدن انرژی مانند گرما یا الکتریسیته و امثال آن به الکترون‌های مدارات اتم‌ها، این الکترون‌ها از مدار اصلی خود به سمت مدارات بالاتر پرتاب می‌شوند و چون تداوم انرژی وارده بر همان الکترون لحظه‌ای است لذا الکترون بلافاصله به مدار اصلی خود باز می‌گردد و در این بازگشت انرژی اضافی را به‌صورت فوتون آزاد می‌کند. این ذرات به‌صورت موجی در محیط اطراف منتشر می‌گردند. لذا هم ذره‌ای بودن و هم موجی بودن حرکت در مورد آن صدق می‌کند. امواج نور دارای مشخصات شدت، سرعت و طول‌موج می‌باشند.

دمای رنگ

برای یک منبع مجهول، برای بیان انتشار طیف نوری منابعی مانند لامپ التهابی یا سایر لامپ‌های مشابه، با عنایت به روابط پیش‌گفت می‌توان به دو ویژگی مقدار انرژی تابشی در تمام طول‌موج‌ها و دمای مطلق اکتفا نمود، اما برای بیان چگونگی تابش طیف مرئی سایر

1 -Light
2 - Electromagnetic Wave
3 - Ultraviolet
4 - Infrared

منابع از کمیت دمای رنگ[1] استفاده می‌گردد. دمای رنگ بیان کننده توانایی منبع برای تابش طیفی در مقایسه با یک منبع جسم سیاه است.



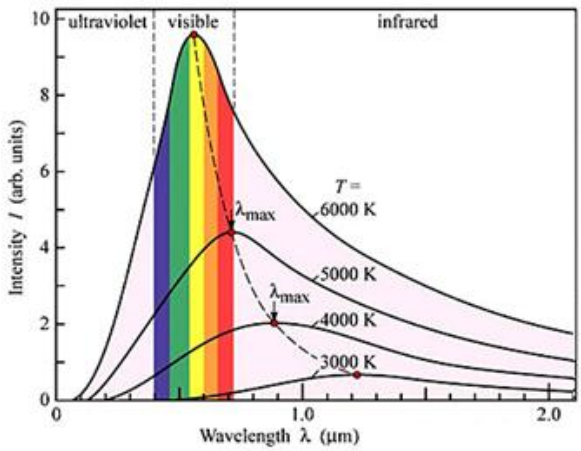
شکل (۱) طیف نور مرئی

دمای رنگ به‌نوعی بیان‌کننده گرمی یا سردی طیف تابشی منبع نیز هست زیرا برخی طیف‌ها از نظر روانشناسی سرد و برخی گرم هستند. طیف سرد در طول‌موج‌های مرئی کوتاه و میانی و طیف گرم بلند و میانی است. دمای رنگ منبع به درجه کلوین (°K) برای هر منبع بیان می‌شود و از این نظر منابع باهم قابل مقایسه خواهند بود. دمای رنگ با یک منبع کامل که همان منبع جسم سیاه است نیز قابل مقایسه است. هرچه دمای رنگ بالاتر باشد توان خروجی تابش منبع نیز بالاتر خواهد بود. تابش طیفی در یک منبع همراه با گرم شدن ابتدا در ناحیه مادون قرمز سپس قرمز، زرد، سفید مایل به آبی و آبی است. یکی از شاخص‌های مهم در انتخاب منابع، درجه رنگ آن‌ها است که به‌طور استاندارد تعیین می‌گردد.

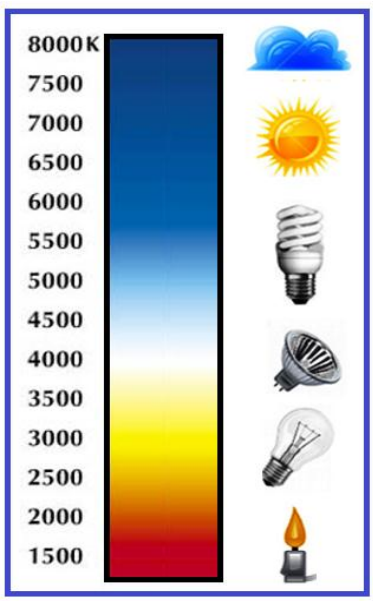
در درجه‌بندی منابع ، آن‌هایی که دارای دمای رنگ بین ۶۰۰۰°K - ۵۰۰۰ باشند تحت نام منابع نور روز[2] نام‌گذاری می‌شوند. چنانکه از شکل (۳) برمی‌آید، توان تابش منبع در طول‌موج مرئی، وابستگی به این شاخص دارد. به‌طوری‌که ملاحظه می‌گردد در دمای رنگ

1 - Color Temperature
2 -Daylight

۵۰۰۰°K تمام طیف مرئی با توان نسبتاً یکدست تولید می‌شود ولی در ۱۰۰۰°K محدوده تابش به حدود ۵۵۰-۴۵۰ نانومتر و در ۱۰۰۰۰°K بیشترین انرژی تابش در طول‌موج کمتر از ۵۰۰ نانومتر گسترده شده است. شکل (۴) دمای رنگ نور برخی منابع را نشان داده است.



شکل(۳) تغییرات طیف تابشی بر مبنای تغییرات دمای رنگ



شکل (۴) مقایسه دمای رنگ منابع مختلف

شاخص تجلی رنگ

شاخص تجلی رنگ[1] منابع عبارت از نسبت تشخیص رنگ اشیاء یا تصاویر در زیر نور هر منبع نسبت به تشخیص رنگ در زیر نور خورشید می‌باشد و برای نور خورشید این شاخص ۱۰۰ تعیین شده است. شاخص دمای رنگ منبع تا حدودی برای تشخیص رنگ‌دهی نور آن‌ها قابل استفاده است، اما بیان‌کننده واقعی رنگ‌دهی نور منبع نمی‌باشد. به‌طور مثال، اگرچه دمای رنگ لامپ التهابی و گازی سدیمی نزدیک است اما رنگ‌دهی آن‌ها به ترتیب ۱۰۰ و ۲۵ است که قابل مقایسه نیستند. شاخص تجلی رنگ برای لامپ‌های فلورسنت ۸۵، متال‌هالید ۷۵ و گازی بخار جیوه ۵۰ می‌باشد.

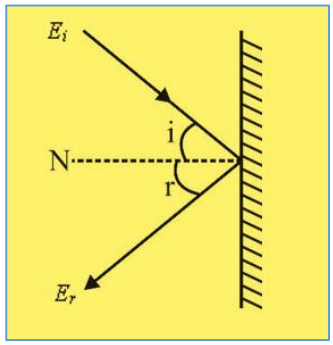
رفتارهای نور

امواج نوری در محیط انتشار دارای رفتارهای فیزیکی هستند که این رفتارها در مباحث مربوط به ارزیابی و طراحی روشنایی دارای اهمیت است. این رفتارها در پنج دسته شامل: بازتابش، پراکندگی و انحراف، شکست، تداخل امواج و تجزیه طیف خلاصه شده‌اند. در اینجا فقط به مبحث بازتابش و پراکندگی پرداخته می‌شود.

بازتابش نور[2]: عملاً همه سطوح می‌توانند بخشی از نور تابیده شده روی سطح خود را منعکس نمایند. قسمتی از نور نیز در برخورد با اجسام جذب می‌گردد. میزان بازتابش وابسته به مشخصات سطح برخوردی است. بازتابش نور از روی سطوح از دو جنبه: بازتابش انرژی و بازتابش طیف دارای اهمیت است. در مفهوم اول، بخشی از انرژی نوری تابش شده روی سطح بازتابش می‌گردد. در این مفهوم برای سطوح صاف، بخشی از انرژی تابیده شده (E_i) با حفظ زاویه نسبت به خط عمود بر سطح، مطابق شکل(۴) بازتابش (E_r) می‌گردد. نسبت انرژی بازتابش به انرژی تابش تحت عنوان ضریب بازتابش(ρ) معرفی شده است که درصورتی‌که در یکصد ضرب شود به‌صورت درصد بیان می‌گردد:

1 - Color Rendering Index (CRI)
2 -Light reflection

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



شکل (۴) مفهوم بازتابش نور از روی سطوح

در عمل، جاذب کامل نور و بازتابش دهنده کامل نور وجود ندارد بلکه مواد و مصالح به‌طور نسبی بخشی از انرژی نورانی را جذب و بخشی دیگر را بازتابش می‌کنند. این ویژگی برای هر مصالحی به‌صورت اختصاصی است. به‌طور مثال، سنگ مرمر، آجر یا آلومینیوم همواره دارای یک محدوده معین از ضریب بازتابش اختصاصی است.

مفهوم دوم، بازتابش طیف است. تمام اشیاء و مصالح علاوه بر ویژگی اختصاصی بازتابش انرژی، دارای بازتابش اختصاصی طیف نیز هستند. این مفهوم تحت عنوان رنگ مصالح یا مفهوم رنگ سطوح مطرح است. برگ درختان اغلب محدوده‌ای از رنگ سبز است. گوگرد زرد و برف سفید است. همه این مثال‌ها بیان کننده بازتابش اختصاصی منتسب به ماهیت و رفتار اپتیکی مواد و مصالح است. اندازه‌گیری ضریب بازتابش سطوح توسط دستگاه رفلکتومتر امکان‌پذیر است. هم‌چنین به‌طور ساده می‌توان با استفاده از دستگاه نورسنج ضریب بازتابش هر سطح را تعیین نمود.

در اثر بازتابش بخشی از انرژی و طیف نور، روشنی و رنگ اجسام مفهوم پیدا می‌کند. سطوحی که بازتابش انرژی بیشتری داشته باشند روشن‌تر دیده می‌شوند. سطوح سفید تقریباً ۹۵٪ طیف تابشی را منعکس می‌کنند و سطوح سیاه تقریباً ۹۵٪ طیف تابش را جذب می‌کنند. در مباحث مربوط به ارزیابی روشنایی از هر دو مفهوم استفاده می‌شود و در طراحی بیشتر روی ضریب بازتابش انرژی تأکید می‌گردد. اگرچه ضریب بازتابش کلی مصالح، هر

دوی این مفاهیم را پوشش می‌دهد. صرف‌نظر از رنگ سطوح، هر چه ضریب بازتابش سطوح کمتر باشد. توزیع روشنایی در محیط مسقف نامطلوب‌تر خواهد بود، زیرا باعث هدر رفتن انرژی نورانی می‌گردد. از طرف دیگر وجود سطوح براق یا صیقلی که بازتابش زیادی دارند به‌دلیل ایجاد خیرگی و خستگی چشم نیز از عوامل مزاحم می‌باشد، در نتیجه می‌توان گفت که ضریب بازتابش در یک محدوده مناسب می‌تواند باعث توزیع یکنواخت و مطلوب روشنایی گردد. مطالعات نشان داده است که برای توزیع مناسب روشنایی در داخل کارگاه‌ها و اماکن بسته، ضریب مناسب برای سقف ۰/۷۰ و دیوارها ۰/۵۰ و کف ۰/۳۰ می‌باشد. ضریب بازتابش تقریبی برخی از سطوح و رنگ‌ها در جدول (۱) و (۲) آمده است.

جدول(۱) ضریب بازتابش تقریبی برخی مصالح

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

جدول (۲) ضریب بازتابش تقریبی برخی رنگ‌ها

رنگ	ضریب بازتابش (ρ٪)
سفید	۰/۸۰
زرد	۰/۶۵
صورتی روشن	۰/۵۰
آبی روشن	۰/۴۵
قرمز روشن	۰/۴۰
سبز تیره	۰/۱۵
قهوه‌ای تیره	۰/۱۵
سیاه	۰/۰۵

پراکندگی[1] و انحراف[2]: امواج نوری در برخورد با ذراتی که بزرگ‌تر از طول‌موج ذرات محیط هستند تغییر جهت می‌دهند. روشنایی روز، قبل از طلوع آفتاب و بعد از غروب آن، مثال بارزی از این پدیده است. آسمان در روز آبی به نظر می‌رسد. اگر جو زمین نبود آسمان روز هم تاریک به نظر می‌آمد در هنگام غروب خورشید به دلیل اینکه نور مسیر طولانی‌تری را طی می‌کند در هنگام عبور از جو نزدیک سطح زمین، طیف آبی آن حذف می‌شود آنچه می‌ماند، نور زرد و سرخ است. همچنین برخورد پرتوهای نور به لبه اشیاء نیز باعث انحراف یا تفرق آن می‌شود. علاوه بر این، پرتوهای نور در حالت عادی دارای واگرایی هستند.

کمیات اندازه‌گیری روشنایی

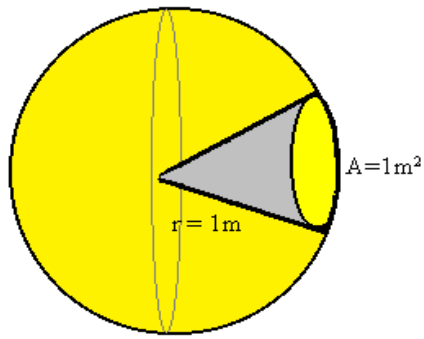
در مباحث کاربردی به‌جای واژه نور از واژه روشنایی استفاده می‌شود. کمیات اندازه‌گیری روشنایی از جنبه فیزیکی و روئیتی در دو گروه شامل: کمیات فتومتری انرژیتیک و کمیات فتومتری روئیتی تقسیم‌بندی شده‌اند. کمیات انرژیتیک یا کمیات مطلق، بر اساس مقادیر مطلق فیزیکی بیان می‌گردند، در این سامانه مقیاس، اولین مفهوم، شار نوری منبع است که واحد آن وات[3] (W) می‌باشد. سایر واحدها در این مقیاس بر اساس انتشار توان نوری در مسیر و تابش آن روی سطوح تعریف شده است.

گروه دیگر، واحدهای روئیتی می‌باشند. این واحدها جنبه قراردادی و کاربردی دارند و متناسب با مقادیر کمیات در مقیاس فیزیکی می‌باشند. امروزه در سامانه مقیاس بین‌المللی این کمیات به‌عنوان مقیاس روشنایی تعریف شده‌اند. این واحدها در مباحث اندازه‌گیری، ارزیابی و طراحی روشنایی به‌جای کمیات انرژیتیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مقیاس اولین مفهوم، شار نوری منبع است که با واحد لومن[4](lm) بیان می‌شود. هر لومن برابر $1/683$ وات در طول‌موج ۵۵۵ نانومتر (حداکثر حساسیت چشم) می‌باشد. مبنای فوق ارتباط لومن و وات را در تعاریف شار نوری بیان می‌نماید. سایر واحدهای مرتبط در مقیاس

1 - Scattering
2 -Diffraction
3 - Watt
4 - Lumen

روئیتی بر اساس انتشار توان نوری در مسیر و تابش آن روی سطوح تعریف شده است. واحدهای روئیتی ضمن سادگی مفهوم آن‌ها، تناسب بهتری با درک فیزیولوژیک انسان از مقادیر روشنایی دارند. امروزه در علم مهندسی روشنایی از این گروه کمیات استفاده می‌گردد. از نظر کاربردی تعاریف معینی برای هریک از مفاهیم مقیاس روئیتی ارائه شده است. مهم‌ترین این مفاهیم شامل: شار نوری منبع، شدت نور منبع، شدت روشنایی، درخشندگی، ضریب بهره نوری منابع الکتریکی و ضریب بهره الکتریکی منابع است.

شار نوری منبع: شار نوری[1] یا توان نوری منبع، عبارت است از میزان نور ساطع شده از منبع که با نماد ϕ نشان داده می‌شود و با واحد لومن (lm) بیان می‌گردد. طبق تعریف، هر لومن، شار نورانی ساطع شده از یک شمع استاندارد در یک زاویه فضایی(استرادیان)[2] Sr می‌باشد. از آنجایی که شار نوری دارای ماهیت انرژی است، لومن بیان‌کننده جریان تابش نور در واحد زمان نیز هست. در مقیاس انرژیتیک، شار نوری منبع با واحد وات W(J/s) بیان می‌شود که عبارت از میزان انرژی تابشی منبع در واحد زمان است. هر وات معادل ۶۸۳ لومن می‌باشد. هر استرادیان، زاویه فضایی در یک کره به شعاع واحد است که به‌صورت مخروطی، رأس آن در مرکز کره و مساحت قاعده آن واحد سطح باشد. شکل (۵) مفهوم یک استرادیان را نشان می‌دهد. به‌طور مثال برای یک کره با شعاع یک متر، یک استرادیان زاویه فضایی مخروطی با مساحت قاعده یک مترمربع است.



شکل (۵) مفهوم یک استرادیان

1 - Luminous flux
2 - Steradian

شـــدت نور منبع: شـدت نور منبع[1]، با نماد (I) با واحد شمع استاندارد[2] یا کاندلا (cd) بیان می گردد. طبق تعریف، یـک شـــمع، بیان‌کننده تابش نور یک منبع تک‌رنگ[3] در طول‌موج ۵۵۵ نانومتر می باشـــد، به‌طوری که در یک جهت معین بتواند $^1/_{683}$ W/sr انتشـــار طیف داشته باشد. به‌طور عملی در تعاریف فیزیکی یک کاندلا، شدت نور ناشی از یک منبع نورانی با سـطح $^1/_{60}$ cm^2 از جسـم سـیاه در درجه انجماد[4] پلاتین (۲۰۴۵ °k) در فشـار یک اتمسفر است. شدت تابش نور از این منبع را به عنوان شمع استاندارد می‌گیرند. چون تابش نور از یک منبع نقطه‌ای، در یک کره کامل انجام می‌گیرد، لذا شـار عبوری از سـطح کره در هر زاویه فضایی حائز اهمیت است. بر اساس محاسبات هندسی، برای هر تابش کروی نور از منابع نقطه‌ای، ۱۲/۵۷ استرادیان قابل تعریف است:

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

در اینجا عدد ۱۲/۵۷ هم بیان کننده سطح کره و هم بیان کننده تعداد زاویه‌های فضایی در هر تابش کروی است. به عبارت دیگر، این مساحت برابر $4\pi sr$ است. از آنجایی که زاویه‌های فضایی، در واقع مخروط‌هایی با مساحت قاعده واحد سطح می‌باشند. لذا می‌توان گفت انتشار نور ناشی از یک منبع نقطه‌ای با شدت یک کاندلا، که به‌صورت فضایی تابش روشنایی دارد، در هر زاویه فضایی یک لومن شار نورانی منتشر می‌کند. شکل (۶) این مفهوم را نشان می‌دهد. بین شدت نور منبع نقطه‌ای که در یک کره تابش می‌کند و توان نوری آن روابط زیر برقرار است:

$$I(cd) = \frac{\phi(lm)}{12.57} \qquad I(cd) = \frac{\phi(lm)}{A(m^2)}$$

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

درصورتی‌که تابش منبع الکتریکی در زوایایی محدود شده باشد، میزان تابش‌ها در زوایای باز متمرکز خواهد شده. در این حالات با ثابت بودن توان نوری منبع ، شدت نور آن افزایش

1 - Luminus Flux
2 - Candela
3 -Monochromatic
4 - Solidification

خواهد یافت. این روش برای بهبود بهره نوری متداول است. به همین خاطر لامپ‌های[1] الکتریکی نوعاً در قاب‌های موسوم به چراغ[2] مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از سطوح بازتابشی محدودکننده چراغ‌ها برای افزایش بهره‌وری نوری منابع می‌باشد.

مثال: اگر یک منبع روشنایی نقطه‌ای با تابش کروی دارای توان نوری ۱۰۰۰ لومن باشد، شدت نور آن برابر با چند شمع استاندارد (کاندلا) می‌باشد؟

$$I = \frac{1000}{12.57} = 79.55 \ \ cd$$

مثال: اگر شدت نور یک منبع با تابش کروی، معادل ۱۰۰ شمع استاندارد (cd) باشد، شار نورانی کل آن چند لومن است؟

$$\phi = 100 \times 12.57 = 1257 \ \ lm$$

مثال: اگر یک منبع الکتریکی با توان نوری ۱۰۰۰ لومن توسط یک سطح محدودکننده در نیم و یک‌چهارم کره تابش نماید، در این حالت توان تابشی آن چند کاندلا خواهد بود؟

$$I = \frac{1000}{6.285} = 159.1 \ \ cd$$

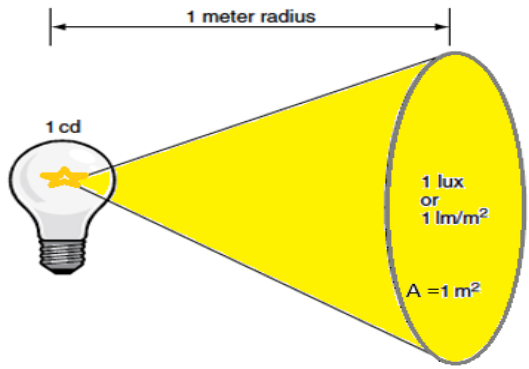
$$I = \frac{1000}{3.14} = 318.5 \ \ cd$$

** ملاحظه می‌گردد که با محدود نمودن زوایای تابش بهره‌گیری از توان نوری افزایش می‌یابد.*

شدت روشنایی: در مباحث تأمین روشنایی، شدت روشنایی[3] با نماد (E) عبارت از میزان شار نورانی دریافت شده توسط یک سطح معین است. واحدهای شدت روشنایی در سیستم SI ، لوکس[4] (Lx) می‌باشد. هر لوکس، شدت روشنایی است که از یک شمع استاندارد در فاصله یک متری توسط سطح یک مترمربعی دریافت می‌شود (یا بر آن سطح تابیده شود). به بیان دیگر هر لوکس عبارت از دریافت یک لومن شار نوری در هر متر مربع ($1\ lm/m^2$) از

1 - lamps
2 - Luminaire
3 - Illuminance
4 - Lux

سطح موردنظر است. شدت روشنایی در مباحث مهندسی روشنایی یکی از مفاهیم کلیدی است، زیرا هم مبنای اندازه‌گیری مقدار روشنایی روی سطوح مورد روئیت در اماکن و مشاغل است و هم استانداردهای روشنایی بر مبنای آن تدوین شده است.



شکل (۵) نمایش مقادیر مربوط به شدت روشنایی

برای پی بردن به محدوده‌های عینی از شدت روشنایی باید گفت که خورشید در ظهر تابستان شدت روشنایی بالغ بر یکصد هزار لوکس روی سطح زمین تابش می‌کند. شدت روشنایی این منبع، در ساعات اولیه صبح، حدود ۶۰۰۰ لوکس و نزدیک غروب به کمتر از ۵۰۰۰ لوکس می‌رسد. شدت روشنایی نور ماه در بدر کامل در سطح زمین حدود ۰/۱ لوکس است. چشم انسان قادر است تغییرات وسیع نور را تحمل نماید به‌طوری که علاوه بر تحمل نور خورشید در ظهر، در شدت روشنایی حدود یک لوکس اشیاء و معابر را به‌خوبی تشخیص می‌دهد. مقادیر توصیه شده یا الزامی شدت روشنایی در محیط‌های مختلف با واحد لوکس بیان گردیده است. میانگین شدت روشنایی عمومی و مقادیر شدت روشنایی موضعی توسط مرکز سلامت محیط و کار در کتاب حدود مجاز مواجهه شغلی (OEL) آمده است.

درخشندگی: درخشندگی[1] یا چگالی سطحی نور با نماد (L) و واحد (nit) cd/m^2 معرفی می‌شود. درخشندگی مقدار شدت نوری است که از واحد سطح یک منبع روشنایی ساطع یا از سطوح بازتابش می‌گردد. به عبارت دیگر این کمیت بیان کننده چگالی سطحی نور در منبع تولید یا روی سطوح بازتابشی است. روئیت اشیاء و تشخیص در حد تاریکی و روشنی

1 - Luminance

در حداقل درخشندگی cd/m^2 ۰/۰۱ میسر است. در درخشندگی بالاتر از $cd/m^2$۳ دید رنگ‌ها آسان می‌شود. درخشندگی بالاتر از cd/m^2 ۱۰۰ ممکن است چشم را دچار خستگی نماید یا سبب آزار ناظر گردد، در شرایطی که چشم انسان در معرض درخشندگی یک منبع یا یک سطح منعکس کننده با درخشندگی بالا قرار گیرد، به علت صدمه موقت به شبکیه چشم و تحریک ناپذیری بخشی از آن، برای مدتی دچار خیرگی[1] می‌گردد. در کتاب OEL حد مجاز درخشندگی سطوح و منابع محدوده دید شاغلین ۱۰۰۰nit تعیین شده است. مثال‌هایی از درخشندگی منابع روشنایی در جدول (۳) آمده است.

جدول (۳) مثال‌هایی از درخشندگی منابع روشنایی

منبع روشنایی	درخشندگی cd/m^2
خورشید در هنگام ظهر	۲×۱۰^۹
لامپ رشته‌ای ۱۰۰ وات ساده (مات)	۵×۱۰^۵ (۸×۱۰^۴)
سطح لامپ فلورسنت	۱×۱۰^۳
سطح لامپ گازی بخار جیوه فشار ۲ اتمسفر	۷×۱۰^۶
سطح لامپ گازی بخار سدیم فشار بالا	$۴۴۰-۶۲۰ \times ۱۰^۴$
سطح لامپ متال هالید شفاف	$۴۷۰-۱۱۰۰ \times ۱۰^۴$

یک رابطه مهم بین درخشندگی، ضریب بازتابش و شدت روشنایی سطوح وجود دارد که از این سه جزء در صورت داشتن دو کمیت، سومی قابل محاسبه خواهد بود:

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

L درخشندگی سطح cd/m^2

E شدت روشنایی روی سطح Lx

ρ ضریب بازتابش نور سطح (۱-۰)

مثال: در صورتی که شدت روشنایی یک سطح فلزی از جنس آلومینیوم با ضریب انعکاس ۰/۷ برابر Lx ۳۰۰ باشد، درخشندگی سطح چقدر است؟

$$L = \frac{0.7 \times 300}{3.14} = 66.88 \, cd/m^2$$

1 -Glare

ضریب بهره نوری: ضریب بهره نوری[1] با نماد (η) و واحد lm/w به‌طور اختصاصی برای منابع روشنایی الکتریکی به کار برده می‌شود و عبارت از نسبت بین شار نوری منبع به توان الکتریکی مصرفی آن است:

$$\eta = \frac{\phi}{P}$$

η ضریب بهره نوری لامپ lm/w

ϕ شار نوری منبع lm

P توان الکتریکی منبع W

بدیهی است که هر چه بهره نوری منبع بالاتر باشد مطلوب‌تر است زیرا با مصرف برق کمتر شار نورانی بیشتری تولید می‌کند.

مثال: یک لامپ گازی سدیمی با توان الکتریکی ۴۰۰W دارای شار نورانی ۴۰۰۰۰ لومن است، ضریب بهره نوری آن چقدر است؟

$$\eta = \frac{40000}{400} = 100\, lm/W$$

جدول (۴) ضریب بهره نوری انواع لامپ‌های موجود در بازار را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، کمترین ضریب بهره مربوط به لامپ‌های التهابی رشته‌ای و بیشترین آن مربوط به لامپ‌های دیودی (LED) است.

مثال: یک لامپ التهابی ۲۰۰ وات که در یک کره تابش می‌کند و دارای ضریب بهره نوری ۱۵ است، چند لومن روشنایی می‌دهد، برابر با چند شمع استاندارد است و شدت روشنایی در فاصله یک متری زیر آن چند فوت کندل است؟

$$\phi = 200 \times 15 = 3000 lm$$

$$I = \frac{3000}{12.57} = 238.66 cd \qquad E = \frac{238.66}{10.76} = 22.18\, fc$$

1 - Luminous efficiency

ضریب بهره الکتریکی: برای بیان میزان تبدیل انرژی الکتریکی توسط منبع نوری به شار نورانی به نسبت صد در صد یک لامپ ایده‌آل، از ضریب بهره الکتریکی[1] با نماد η_e و واحد درصد استفاده می‌شود. در این تعریف ضریب بهره نوری لامپ ایده‌آل ۶۸۰ لومن بر وات در نظر گرفته می‌شود.

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

$$\eta_e = \frac{\phi}{6.8W} = \frac{\eta}{6.8}$$

مثال: ضریب بهره الکتریکی یک لامپ رشته‌ای ۱۵۰ وات که دارای ۲۱۰۰ لومن شار نوری است، چقدر است؟

$$\eta_e = \frac{2100}{6.8 \times 150} = 2.06\%$$

مثال فوق نشان می‌دهد که لامپ رشته‌ای مذکور حدود ۲٪ از انرژی الکتریکی مصرفی را به شار نورانی تبدیل می‌نماید و مابقی آن را که حدود ۹۸٪ است به‌صورت گرما تلف می‌شود. جدول (۴) ضریب بهره الکتریکی انواع لامپ‌ها را نشان می‌دهد.

جدول (۴) ضریب بهره نوری برخی از لامپ‌های الکتریکی تجاری

نوع لامپ	حدود ضریب بهره نوری *(lm/w)*	حدود ضریب بهره الکتریکی (٪)
رشته‌ای التهابی	۱۴ -۱۶	۲– ۲/۴
هالوژنه	۲۸-۳۰	۴– ۴/۵
فلورسنت	۶۰	۸/۸
گازی بخار جیوه فشار بالا	۵۵ - ۶۵	۸– ۹/۵
گازی بخار سدیم فشار بالا	۹۰-۱۱۰	۱۳– ۱۶
دیودی (LED)	۱۲۰-۱۴۰	۱۷ –۲۱

1 - Electrical luminous efficiency

قواعد تابش نور در محیط

انتشار روشنایی در مسیر تابش تا رسیدن روی سطح معین، تابع اصول و قوانینی است که شناخت آن‌ها در اندازه‌گیری، ارزیابی و طراحی روشنایی، مهم است. مهم‌ترین قواعد شامل: قانون عکس مجذور فاصله، قواعد تابش روشنایی روی سطوح افق، عمود و شیب‌دار، قاعده جمع شدت روشنایی منابع و قاعده اثر سطوح محدودکننده منبع می‌باشد.

قانون عکس مجذور فاصله

در صورتی که منبع روشنایی محدود نشده باشد، می‌تواند در تمام جهات تابش داشته باشد. در مورد منابع نقطه‌ای که تابش کروی دارند هر چه فاصله از منبع یا به عبارت دیگر، شعاع کره فرضی بیشتر باشد چگالی نور کمتر می‌شود. به همین دلیل شدت روشنایی روی سطوح در فواصل دورتر از منبع، کاهش می‌یابد. در این حالت در این قانون شدت روشنایی روی سطوح مقابل منبع، با مجذور فاصله از منبع نسبت معکوس دارد. شکل (۶) این مفهوم را نشان می‌دهد. به‌طور عمومی، می‌توان با داشتن شدت نور منبع (یا توان نور منبع) در هر فاصله‌ای شدت روشنایی ناشی از آن را روی سطوح عمود بر آن، محاسبه نمود:

$$E = \frac{I}{r^2}$$

E شدت روشنایی در فاصله r (Lx)

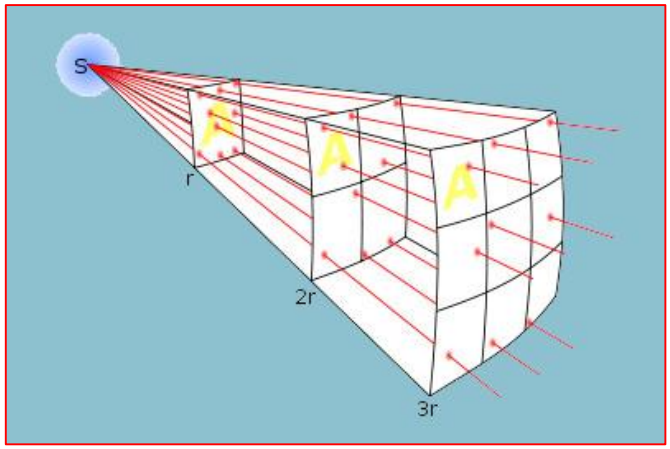
I شدت نور منبع (cd)

r فاصله از منبع (m)، در صورتی که تابش به پایین مد نظر باشد، از h بجای r استفاده می‌شود.

مثال: اگر یک منبع روشنایی دارای ۲۸۰۰ لومن شار نورانی در تابش کروی باشد، در فاصله ۳ متری از زیر چراغ، شدت روشنایی چقدر است؟

$$I = \frac{2800}{12.57} = 222.75cd$$

$$E = \frac{222.75}{9} = 24.75Lx$$

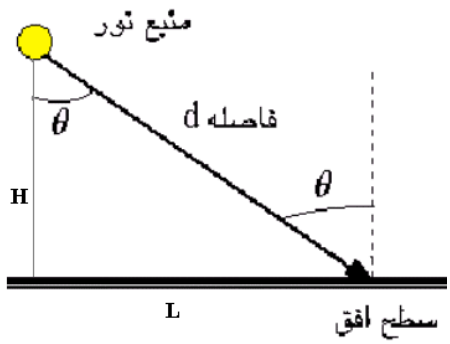


شکل (۶) نمای کاهش چگالی سطحی نور در افزایش فاصله از منبع

تابش نور با زاویه روی سطح افق

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 مورد نظر و کسینوس زاویه تابش نسبت به خط عمود بر سطح خواهد بود. رابطه محاسباتی شدت روشنایی در این حالت با راهنمای شکل (۷) به‌صورت زیر است:

$$E = \frac{I}{d^2}\cos\theta \qquad \cos\theta = \frac{H}{d}$$

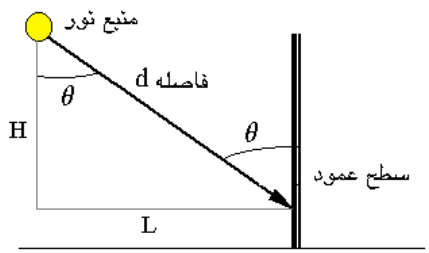


شکل (۷) روشنایی روی سطح افق تحت زوایای مختلف

تابش نور با زاویه روی سطح عمود

اگر تابش روشنایی روی سطوح عمود در نقاطی مد نظر باشد که تابش با زاویه نسبت به خط عمود بر سطح انجام گردد، شدت روشنایی در هر نقطه روی سطح افق تابع شدت نور منبع، فاصله مؤثر منبع تا نقطه مورد نظر و سینوس زاویه تابش نسبت به سطح عمود خواهد بود. رابطه محاسباتی شدت روشنایی در این حالت با راهنمای شکل (۸) به‌صورت زیر است:

$$E = \frac{I}{d^2}\sin\theta \qquad \sin\theta = \frac{L}{d}$$

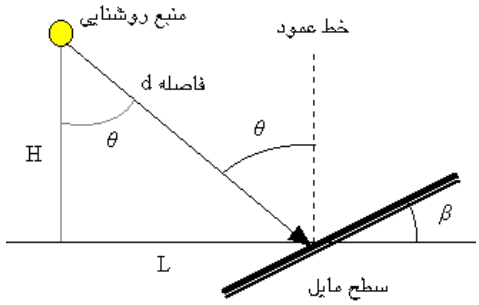


شکل (۸) روشنایی روی سطح عمود تحت زوایای مختلف

تابش نور با زاویه روی سطح شیب‌دار

تابش نور از یک منبع نقطه‌ای روی یک سطح شیب‌دار مطابق شکل (۹) ترکیبی از دو حالت قبل است. در این حالت شدت روشنایی روی این سطح وابسته به زاویه تابش ϑ و زاویه شیب سطح نسبت به خط افق β دارد.

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



شکل (۹) شدت روشنایی روی سطح شیب‌دار

مثال: یک منبع با شار نوری ۹۰۰۰ لومن مد نظر است. در صورتی که این منبع روی یک سطح با شیب ۱۰ درجه تابش نماید. و زاویه تابش نسبت به خط عمود ۴۵ درجه و فاصله مؤثر تا نقطه مورد نظر ۴ متر باشد، شدت روشنایی در نقطه مورد نظر چقدر است؟

$$E = \frac{9000 / 12.57}{16} \times \cos(45-10) = 36.66 Lx$$

شدت روشنایی ناشی از منابع متعدد

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:

$$E_t = \sum_{i=1}^{n} E_i$$

E_t شدت روشنایی مجموع حاصل از چراغ‌ها در یک نقطه خاص Lx

E_i شدت روشنایی ناشی از هر چراغ در همان نقطه Lx

n تعداد منابع

به‌طور عملی، سطوح داخلی نقش منابع ثانویه را ایفا می‌کنند و باعث افزایش شدت روشنایی روی نقطه مورد نظر می‌گردند. در ارزیابی و همچنین طراحی روشنایی داخلی، اثر سطوح داخلی به عنوان یک پارامتر مهم لحاظ می‌گردد.

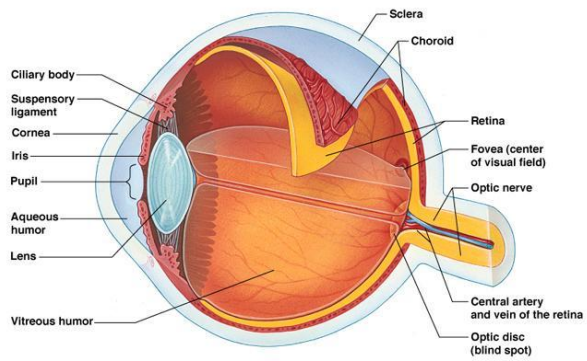
قاعده اثر سطوح محدودکننده منبع

وجود سطوح محدودکننده در پشت منبع می‌تواند بخشی از شار نوری که در فضای پشت آن هدر می‌رود را به‌صورت بازتابشی به سمت سطح مورد استفاده برگرداند. به همین دلیل منابع روشنایی در قاب چراغ مورد استفاده قرار می‌گیرند. مجموع لامپ و قاب آن با نام چراغ نامیده می‌شود و در محاسبات طراحی روشنایی توان نوری و شدت نور آن مد نظر قرار می‌گیرد، در واقع خصوصیات چراغ و توان نوری لامپ است که خصوصیات نوردهی هر منبع را مشخص می‌کند. سطوح محدودکننده در پشت منبع اغلب دارای بازتابش کامل نیستند و خود بخشی از نور را جذب می‌کنند. خصوصیات سطوح محدودکننده و ضریب بازتابش آن‌ها نقش اصلی را در تعیین ضریب بهره از روشنایی چراغ ایفا می‌کند.

گفتار دوم: بینایی و روشنایی

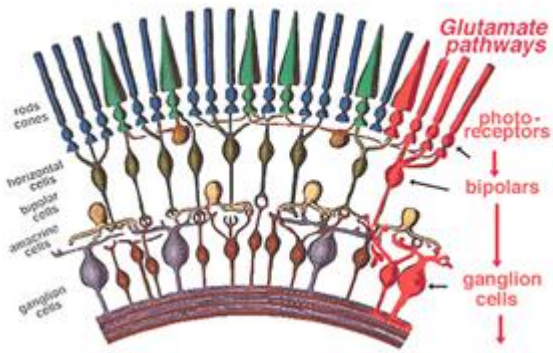
چشم انسان پرتوهای تابشی و بازتابشی اشیاء و تصاویر در محدوده درخشندگی و طول‌موج معین دریافت و بر روی شبکیه تنظیم می‌کند. پس از تحریک سلول‌های گیرنده حسی بینایی، پالس‌های الکتریکی متناسب از هر دو چشم به مغز فرستاده می‌شود تا در آنجا با تطابق درک سه‌بعدی آن‌ها را به مفهوم‌های ذهنی از واقعیت محیط تبدیل نماید. چشم انسان در شدت روشنایی کمتر از ۰/۱ لوکس می‌تواند اشیاء و سایه‌روشن‌ها را به‌خوبی تشخیص دهد و با تطابق قطر مردمک چشم می‌تواند شدت روشنایی یکصدهزار لوکس در زیر نور خورشید را نیز تحمل نماید.

از نظر آناتومیک، چشم تقریباً به شکل کروی و دارای قطر تقریبی ۲۵ میلی‌متر است. لایه خارجی چشم یا صلبیه پرده سفید رنگی است که دارای عروق خونی می‌باشد. صلبیه تمام چشم را می‌پوشاند در جلوی چشم شفاف و قرنیه نامیده می‌شود. زیر صلبیه لایه مشیمیه است که حاوی عروق می‌باشد و در جلوی چشم به آن عنبیه می‌گویند که به مردمک ختم می‌شود. عنبیه در مقابل شدت نور حساس است و با تشدید نور مردمک را تنگ می‌کند. در پشت قرنیه، عدسی قرار دارد که عمل تطابق و هدایت پرتوهای روشنایی، اشیاء و تصاویر را به‌عهده دارد. شکل (۱۰) مقطع عرضی چشم و اجزاء آن را نشان می‌دهد.



شکل (۱۰) مقطع عرضی چشم و اجزاء آن

در بخش خلفی کره چشم حساس‌ترین قسمت آن یعنی شبکیه[1] قرار دارد. شبکیه حاوی حدود ۱۳۲ میلیون سلول گیرنده حسی نور است که ۱۲۵ میلیون آن به‌شکل میله‌ای[2] و ۷ میلیون آن به‌شکل مخروط[3] است. تراکم گیرنده‌ها در سطح شبکیه متفاوت است و در یک نقطه به بیشترین تمرکز خود می‌رسد، به آن نقطه لکه زرد می‌گویند. برای تمرکز روی اشیاء یا تصاویر ریز، چشم پرتوها را به این نقطه هدایت می‌کند. در محل خروج اعصاب بینایی کمترین تعداد سلول عصبی وجود دارد، لذا به آن لکه سیاه (نقطه کور) می‌گویند. شکل (۱۱) برش شبکیه و نمای سلول‌های میله‌ای و مخروطی را نشان می‌دهد.



شکل (۱۱) برش شبکیه و نمای سلول‌های میله‌ای، مخروطی، گانگلیونی

سلول‌های گیرنده میله‌ای حساسیت بالایی به نور دارند، اما تشخیص رنگ‌ها را نمی‌توانند داشته باشند و برای دید در شب یا دید در نور بسیار پایین کارایی دارند. بیشترین حساسیت درک طیف این گیرنده‌ها در طول‌موج ۵۰۷ نانومتر است. سلول‌های نوع مخروطی، اگرچه دارای حساسیت کمتری نسبت به میله‌ای‌ها است ولی تشخیص رنگ‌ها را به‌خوبی انجام می‌دهند. بیش از یک‌میلیون سلول مخروطی در محدوده خط مرکزی دید قرار گرفته‌اند تا چشم برای تشخیص دقیق طیف‌ها دچار مشکل نگردد. بیشترین حساسیت طیفی سلول‌های مخروطی در طول‌موج ۵۵۵ نانومتر است. بیشترین حساسیت دید توسط این گیرنده‌ها در

1 -Retina
2 -Rod
3 -Cone

طول‌موج ۵۵۵ نانومتر است. شکل (۱۲) منحنی بیشترین حساسیت چشم را در این دو شرایط دید نشان می‌دهد.

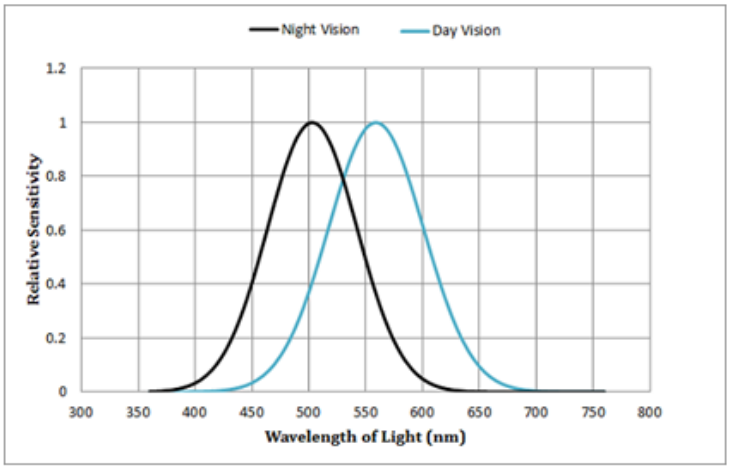
در سیستم بینایی علاوه بر مکانیسم روئیتی، شبکیه چشم به یک سیستم مجزای دیگری مجهز است که از طریق قاعده گیرنده‌های موجود در سلول‌هایی با نام گانگلیون ملانوسپین[1] اثر تحریک طیف مرئی را به کانال نخاعی و از طریق عقده‌های نخاعی خارج از مغز هدایت و سپس به غده پینه آل[2] هدایت می‌نماید. این سیستم به نور آبی حساسیت بیشتری دارد. پالس‌های عصبی هدایت‌شده توسط این مکانیسم سبب تحریک غده پینه آل شده و کنترل میزان ترشح هورمون ملاتونین را باعث می‌گردد. ملاتونین نیز بر میزان هوشیاری و عملکرد خواب افراد تأثیر می‌گذارد. بدین ترتیب افزایش نور آبی باعث کاهش ترشح ملاتونین و کاهش این طیف باعث خواب‌آلودگی و کاهش تمرکز می‌گردد. از سوی دیگر ترشح کورتیزول از قشر فوق کلیوی باعث افزایش هوشیاری می‌گردد هر دوی این مکانیسم‌ها با تأثیر بر ساعت بیولوژیک و دمای بدن می‌توانند بر کارایی و کیفیت خواب افراد تأثیرگذار باشند.

کار در نور روز یا در تحت روشنایی نزدیک به نور روز از نظر طیف و شدت، می‌تواند بر کارایی و هوشیاری افراد مؤثر باشد و این عوامل نیز از جنبه‌های ایمنی و ارگونومیکی و حتی بهره‌وری قابل تفسیر می‌باشند. در کاربرد برای مکان‌هایی که نیاز به هوشیاری بالا دارند الزاماً طیف نور آبی در روشنایی محیط باید تأمین گردد و از به‌کارگیری منابع با طیف ناقص خودداری شود. نور این مکان‌ها باید حداکثر شباهت به نور روز را دارا باشد. در غیر این صورت عواقب ناشی از آن به یک معضل دائمی برای افراد و صاحب مشاغل تبدیل می‌گردد.

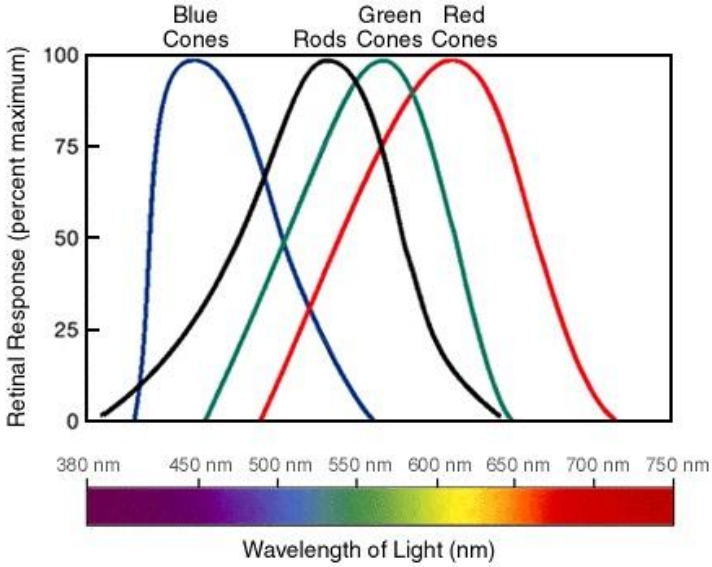
تشخیص رنگ توسط چشم در شار نوری پایین امکان‌پذیر نیست. درک نور در این ناحیه به‌صورت سایه‌روشن امکان‌پذیر است. این محدوده را دید شب[3] می‌نامند. در شار نوری بالا دید رنگ‌ها و اشیاء توسط سلول‌های مخروطی چشم انجام می‌شود این محدوده را دید روز[4] می‌نامند. حساسیت چشم در نور آبی که توسط گیرنده‌های ملانوسپین انجام می‌شود نیز در

1 - Melanospin Ganglion cell
2 - Pineal Gland
3 - Scotopic
4 - Photopic

محدوده ۴۶۰ نانومتر می‌باشد. شکل (۱۳) مقایسه حداکثر حساسیت گیرنده‌های حسی سیستم بینایی را نشان می‌دهد.



شکل (۱۲) منحنی مقایسه‌ای حساسیت نسبی دید در شب و روز



شکل (۱۳) مقایسه حداکثر حساسیت گیرنده‌های حسی سیستم بینایی

برخی از افراد به‌طور ارثی در درک برخی از طیف رنگ‌ها دچار مشکل هستند. مطالعات نشان داده است که همه افراد درک یکسانی از طیف نور دریافتی ندارند. حدود ۸٪ از مردان و ۰/۵٪ از زنان قادر به درک بخشی از طیف رنگی نور مرئی و حدود ۳۰ نفر در هر میلیون نفر (۰/۰۰۳٪) نیز قادر به درک هیچ طیف رنگی نیستند. به این حالت از ناتوانی، کوررنگی می‌گویند. دید نزدیک در افراد مسن دچار مشکل می‌گردد. برخی افراد نیز به دلیل بیماری یا فقر ویتامین(مخصوصاً A)، قادر به درک واضح از طیف رسیده به چشم خود نیستند. بسیاری از افراد به دلیل عیوب انکساری شامل دوربینی، نزدیک‌بینی و آستیگماتیسم قادر به درک واضح تصاویر نیستند. پیر چشمی و بیماری‌های چشمی مانند آب‌مروارید[1] نیز دید کامل را محدود می‌نمایند.

برای دید مطلوب و راحت، علاوه بر نیاز به تأمین سامانه روشنایی مطلوب، افراد استفاده‌کننده نیز باید در محدوده مناسبی از سلامت باشند. زیرا هر دو عامل در دید راحت به یک اندازه اهمیت دارند و تنها تأمین ویژگی‌های قابل قبول در سامانه روشنایی نمی‌تواند تأمین‌کننده تمام نیازها باشد. اگر فرد استفاده‌کننده دارای بیماری یا عیوب چشمی‌باشد، حتی اگر بهترین سامانه‌های روشنایی تأمین شود، بی‌فایده خواهد بود، لذا لازم است در معاینات قبل از استخدام یا دوره‌ای کارکنان خصوصاً کارگران صنایع و حرف مختلف به این نکته توجه جدی به عمل آید.

عوامل مؤثر بر دیدن

علاوه بر سلامتی چشم و مواردی که در خصوص روشنایی مطلوب گفته شد عوامل زیر در رؤیت اشیاء و تصاویر نقش اساسی دارند:

۱- اندازه شئ یا تصویر
۲- سن مشاهده‌گر
۳- شدت روشنایی
۴- طول زمان رؤیت

1 - Cataract

۴- تباین
۵- درخشندگی
۶- بازتابش سطوح
۷- طیف تابشی و بازتابشی

هر چه اندازه جسم یا تصویر و جزئیات آن کوچک‌تر باشد هم‌چنین هر چه فاصله آن از چشم دورتر باشد، رؤیت آن مشکل‌تر خواهد بود. از نظر اندازه شئ، بعد قابل‌تشخیص حدود ۰/۱ *mm* یا ۱۰۰ μ می‌باشد. هر چه سن مشاهده‌گر بالاتر باشد به دلیل تغییرات آناتومیک و فیزیولوژیک چشم تطابق کاهش می‌یابد. کاهش نسبت عبور نور از سطح چشم تا سطح شبکیه تا حدود ۴۰٪ در اثر سن اثبات شده است. بعد از سن ۴۰ سالگی پیرچشمی(دوربینی) نیز تطابق افراد را برای تشخیص موضوعات نزدیک محدود می‌نماید. نزدیک‌ترین فاصله تشخیص اشیاء با سن تغییر می‌کند، یک فرد ۱۰ ساله دارای حداقل فاصله دید ۱۰ سانتیمتر است و این فاصله برای فرد ۴۰ ساله ۲۲، ۵۰ ساله ۴۰ و ۶۰ ساله ۲۰۰ سانتیمتر است، لذا یک فرد ۶۰ ساله اشیایی را که در فاصله نزدیک‌تر از دو متر هستند را به‌خوبی تشخیص نمی‌دهد. برای تطابق در دید علاوه بر اصلاح عیب انکساری، باید شدت روشنایی محیط نیز افزایش یابد.

تباین[1] عبارت از اختلاف نسبی بین درخشندگی تصویر یا شئ با زمینه آن یا اختلاف نسبی ضریب بازتابش آن دو است. هر چه تباین کمتر باشد دیدن یک موضوع در زمینه آن مشکل‌تر خواهد بود. از نظر عددی تباین بین صفر و یک می‌تواند متغیر باشد. تباین مناسب برای رؤیت واضح بیشتر از ۰/۵است.

$$C = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \qquad C = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1}$$

C *تباین (بین ۱-۰)*
L_1 *درخشندگی بیشتر(شئ یا زمینه)* cd/m^2
L_2 *درخشندگی کمتر(شئ یا زمینه)* cd/m^2
ρ_1 *ضریب بازتابش بیشتر(شئ یا زمینه)* ٪
ρ_2 *ضریب بازتابش کمتر (شئ یا زمینه)* ٪

1 -Contrast

مثال: یک نوشته که درخشندگی آن ۰/۶ nit است در زمینه‌ای با درخشندگی ۰/۳ nit مفروض است. تباین بین نوشته و زمینه چقدر است؟

$$C = \frac{0.6 - 0.3}{0.6} = 0.5$$

مثال: اگر ضریب بازتابش یک تصویر ۰/۷ و رنگ زمینه آن ۰/۳ باشد، در این حالت تباین چقدر خواهد بود؟

$$C = \frac{0.7 - 0.3}{0.7} = 0.57$$

مثال: قرار است یک جمله حاوی هشدار ایمنی روی یک دیوار با زمینه تیره و ضریب بازتابش ۰/۲۵ نوشته شود، در صورتی که تباین مناسب ۰/۷ باشد و قرار باشد که از یک رنگ روشن استفاده شود ضریب بازتابش آن برای دید مطلوب باید چقدر باشد؟

$$0.7 = \frac{\rho_1 - 0.25}{\rho_1} \Rightarrow 0.7\rho_1 - \rho_1 = -0.25$$

$$\rho_1(1 - 0.7) = 0.25 \Rightarrow \rho_1 = \frac{0.25}{0.3} = 0.83$$

طول زمان رؤیت: هر چه مدت زمانی که تصویر یا شئ در معرض دید قرار می‌گیرد کوتاه‌تر باشد، به علت اینکه تصویر ذهنی آن ناقص‌تر است، کمتر در ذهن ایجاد مفهوم می‌کند. برای دیدن مطلوب و مخصوصاً توجه به جزئیات و در خاطر سپردن آن، لازم است مدت زمان دیدن کافی باشد، در این حالت تصویر ذهنی و درک آن کامل می‌باشد. زمان مناسب رؤیت خود به عوامل دیگری مثل اندازه، تباین و شدت روشنایی وابسته است، حداقل زمان لازم برای تشخیص تصویر در صورت تأمین سایر شرایط ۰/۱۷ ثانیه است.

شدت روشنایی: با توجه به اینکه اغلب اشیاء و تصاویر خود منابع روشنایی نیستند، درخشندگی و چگونگی بازتابش از آن‌ها اهمیت زیادی دارد. اگر شدت روشنایی روی سطوح از ۵۰ لوکس کمتر باشد، تشخیص رنگ مشکل می‌شود. شدت روشنایی مناسب برای دید تحت نور خورشید در فضای باز ۴۰۰۰- ۲۰۰۰ لوکس می‌باشد که طبق بررسی برای ۵۰٪

افراد مناسب است. در داخل اماکن، شدت روشنایی عمومی و موضعی مورد نیاز وابسته به‌دقت و ظرافت کار و ابعاد کوچک‌ترین شیء مورد رؤیت است. در کارهای با دقت پایین، شدت روشنایی مورد نیاز تا ۱۵۰ لوکس و برای کارهای معمولی ۳۰۰-۲۰۰ لوکس و کارهای دقیق ۵۰۰-۳۰۰ لوکس تعیین شده است. برای کارهای خیلی دقیق این حد به ۵۰۰۰۰ لوکس هم می‌رسد. در سنین بالا نیاز به روشنایی برای تطابق بهتر دید، افزایش پیدا می‌کند. به‌طوری که طبق معیار انجمن مهندسین روشنایی (IES[1]) برای شاغلین با سن بالاتر از ۶۵ سال، شدت روشنایی مورد نیاز نسبت به جوانان دو برابر می‌باشد.

درخشندگی: رؤیت اشیاء در درخشندگی کمتر از ۰/۰۱ cd/m^2 (یا شدت روشنایی کمتر از ۰/۰۰۳ لوکس) با تفکیک رنگ مقدور نیست. در محدوده درخشندگی بین ۳-۰/۰۱ cd/m^2 (شدت روشنایی متناظر ۰/۰۰۳ تا ۱۰ لوکس)که ناحیه دید میانی[2] نامیده شده است، دید برخی رنگ‌های تیره به‌طور نسبی و دید بدون رنگ امکان‌پذیر می‌گردد. در درخشندگی بالاتر از ۳ cd/m^2 (شدت روشنایی بیش از ۵۰ لوکس) تشخیص رنگ به وضوح امکان‌پذیر می‌گردد.

درخشندگی منابع یا سطوح دارای بالاتر از ۱۰۰ cd/m^2 در زمینه تاریک می‌تواند برای افراد ناراحت‌کننده باشد. درخشندگی شدید می‌تواند به علت خستگی سلول‌های گیرنده و تحریک ناپذیری موقت آن‌ها اغلب دید را دچار مشکل نماید. اگر منابع نوری در معرض دید مستقیم فرد قرار گیرد یا سطوح براق نور شدید منابع را به چشم منعکس نمایند، به دلیل دانسیته انرژی که به چشم می‌تابد بخشی از شبکیه چشم که این شوک نورانی را دریافت کرده است به شدت تحریک شده و برای مدتی به تحریکات بعدی پاسخ نمی‌دهد که این حالت را خیرگی[3] می‌گویند. علاوه بر آن یک حالت برق‌زدگی ناخوشایند در چشم ایجاد می‌شود. تکرار این حالت‌ها می‌تواند صدماتی به چشم وارد کند. حد مجاز درخشندگی برای تمام محدوده‌های دید طبق معیار OEL برابر ۱۰۰۰ cd/m^2 تعیین شده است.

1 - Illumination Engineering Society
2 - Msopic
3 -Glare

بازتابش سطوح: هر چه ضریب بازتابش سطوح کمتر باشد دیدن آن‌ها مشکل‌تر خواهد بود، لذا بهتر است که برای دیدن مطلوب، تمام تصاویر و اشیاء دارای ضریب بازتابش مناسبی باشند که بتوانند حداقل تباین مورد نیاز دیدن را تسهیل نماید. همچنین بازتابش مناسب سطوح داخلی بنا می‌تواند در توزیع روشنایی نقش مهمی ایفاء کند به همین دلیل برای سقف ضریب بازتابش بالاتر از ۰/۷، دیوارها محدوده ۰/۵ و کف بین ۰/۱ تا ۰/۳ پیشنهاد شده است.

طیف تابشی و بازتابشی: چشم انسان در مقابل تمام طیف نور مرئی حساسیت یکسان ندارد. طبق بررسی‌ها، در نور روز حساسیت چشم انسان با تغییر طول‌موج به تندی تغییر می‌کند، به‌طوری که بیشترین حساسیت چشم در روز در ناحیه طول‌موج ۵۵۵ نانومتر است، اما همین حداکثر حساسیت در شب ۵۰۷ نانومتر می‌باشد. بنا بر درک حسی انسان هر گونه نقص در طیف در مقایسه با نور خورشید ایجاد محدودیت و ناراحتی می‌نماید. شاخص تجلی رنگ[1] برای منابع الکتریکی به درصد بیان‌کننده کامل بودن طیف تابشی در مقایسه با نور خورشید است. برای محیط‌ها و مشاغل مختلف این حد تعیین شده است.

در طراحی داخلی محیط همچنین باید توجه شود که رنگ‌ها دارای پیام و مفهوم هستند. برخی رنگ‌ها قراردادی می‌باشند مانند قرمز که مخصوص آتش‌نشانی است. رنگ‌ها دارای اثرات روانی هستند و می‌توانند برخی حالات را مانند سردی، گرمی، اضطراب و افسردگی القاء نمایند. لذا باید توجه داشت که ضمن اجتناب از رنگ‌های قراردادی جز در موارد استفاده خود، از سایر طیف‌های رنگ به‌گونه‌ای استفاده شود که ضمن حفظ حالت شادابی، تباین مناسبی با زمینه داشته باشد و دید اشیاء و تصاویر را تسهیل نماید. خصوصیات رنگ سطوح داخلی بناها شامل ضریب بازتابش آن‌ها و کیفیت رنگ آن‌ها است. در این خصوص باید توجه شود که از رنگ‌های با اشباع کم و متناسب با محیط استفاده شود و رنگ‌های انتخابی باید در طبیعت مشابه داشته باشند. در محیط‌های کاری و مکان‌هایی که نیاز به آرامش دارند،

1 - Color Rendering Index (CRI)

استفاده از رنگ‌های تند یا اشباع مجاز نیست و انتخاب آن‌ها باید با در نظر گرفتن اثرات و القای حالات روحی رنگ‌ها باشد. برای مثال در محیط‌های کار که ماهیت سرد دارند باید از رنگ‌های طیف گرم مانند کرم و در محیط‌های کاری گرم از رنگ‌های طیف آبی ملایم استفاده شود. جدول (۵) برخی اثرات روانی رنگ‌ها را نشان می‌دهد.

جدول (۵) اثرات روانی رنگ‌ها

نام رنگ	تخیل حرارت	تخیل مسافت	اثر روانی
آبی	سرد	دور	آرامش بخش
سبز	خیلی سرد	دور	آرامش بخش
قرمز	گرم	نزدیک	تحریک‌کننده
زرد	خیلی گرم	نزدیک	محرک ضعیف
قهوه‌ای	بی‌اثر	خیلی نزدیک	بی‌حوصلگی
بنفش	سرد	خیلی نزدیک	اضطراب

انسان به تجربه دریافته است که رنگ‌های طبیعت بیشترین تناسب و راحتی را برای دید دارند. زندگی شهری اغلب همراه با رؤیت مناظر ناهمگون و تغییرات تند طیف‌های رنگ است. اغلب مردم از شلوغی تصاویر تبلیغاتی و زننده بودن رنگ‌های مورد استفاده ناراضی و بلکه شاکی هستند. استفاده وسیع از چراغ‌های تزیینی و تبلیغاتی شب‌ها را توأم با ناراحتی کرده است. حتی استفاده نامناسب از رنگ‌ها در فضای شهری و حرفه‌ای باعث افزایش ریسک حوادث گردیده است.

گفتار سوم: منابع روشنایی مصنوعی

کار در مکان‌هایی با عمق فضای زیاد یا در ساعات شب امکان استفاده از روشنایی خورشید را محدود و گاه غیرممکن می‌نماید. استفاده از منابع روشنایی مصنوعی الکتریکی با روش‌های فنی و رعایت اصول طراحی می‌تواند شرایط مناسبی را برای کار و زندگی فراهم نماید. منابع الکتریکی در حال حاضر دارای تنوع وسیعی می‌باشند که طراح را برای تأمین بهترین کمیت و کیفیت ممکن روشنایی حمایت می‌کنند. در این فصل ابتدا ساختمان و طرز کار گروه‌های اصلی لامپ[1] الکتریکی مورد بحث قرار می‌گیرد و در ادامه، انواع چراغ[2] و مهم‌ترین خصوصیات آن‌ها تشریح خواهد شد. واژه چراغ، به معنی یک منبع تأمین روشنایی است که شامل لامپ یا لامپ‌ها نیز می‌شود و نباید با لامپ اشتباه گردد. چراغ شامل قاب، سرپیچ، لامپ و در صورت نیاز بالاست، خازن و برخی اجزای دیگر است و قاب چراغ یا کاسه چراغ ضمن حفظ لامپ، وظیفه مهم محدود نمودن میدان تابش آن را نیز دارد. بنا بر این شکل و خصوصیات چراغ و لامپ به طور توأم باید به عنوان یک واحد روشنایی مورد توجه قرار گیرد.

مشخصه‌های اصلی لامپ‌ها

مهم‌ترین خصوصیات لامپ‌ها شامل: توان نوری، ضریب بهره نوری، طول عمر، درخشندگی و شاخص تجلی رنگ (CRI) آن‌ها است.

توان نوری: یا شار نوری لامپ، تابع توان الکتریکی و ضریب بهره نوری آن است. استفاده از لامپ‌هایی با توان نوری مختلف، تابع ارتفاع نصب آن‌ها و مساحت محدوده‌ای است که باید توسط آن‌ها تأمین روشنایی گردد. لامپ‌های با توان نوری پایین برای اماکن کوچک و ارتفاع نصب کوتاه استفاده می‌شوند. به‌طور مثال، از لامپ‌های فلورسنت برای ارتفاع نصب بیش از ۶ متر نمی‌توان استفاده نمود، زیرا در بالاتر از آن ارتفاع شار نوری رسیده روی سطح برای

1 - Lamp
2 - Luminaire

تأمین حداقل شدت روشنایی مورد نیاز برای فعالیت‌های معمول کفایت ندارد. لامپ‌های با توان نوری بالاتر از ۹۰۰۰ لومن (شامل لامپ‌های گازی فشار بالا) برای ارتفاع بیش از ۶ متر مناسب هستند به‌طوری که در تأمین روشنایی محوطه‌ها و معابر برای ارتفاع نصب ۲۴ متر می‌توان از مجموعه‌ای از چراغ‌های با لامپ ۱۰۰۰ وات سدیمی استفاده نمود. بدیهی است که تمام توان نوری لامپ، قابل استفاده برای سطوح مورد نظر در زیر آن نیست، لذا هرگاه صحبت از توان نوری لامپ به میان می‌آید، باید خصوصیات و قابلیت قاب چراغ یا کاسه چراغ برای ایجاد شرایط لازم در بهره‌گیری از توان نوری لامپ نیز لحاظ گردد.

طول عمر لامپ: بر اساس هزار ساعت کارکرد آن تعیین می‌شود. به‌طور عمومی عمر نامی هر گروه لامپ بر اساس مدت زمانی از کارکرد آن تعیین می‌شود که به ازای ۱۱ ساعت روشن و یک ساعت خاموش، ۵۰٪ از آن‌ها بسوزد یا از کار بیفتد. در حال حاضر عمر نامی لامپ‌ها بر اساس تأییدیه مؤسسات استاندارد توسط سازندگان اعلام می‌گردد. حداقل عمر نامی لامپ‌ها مربوط به رشته‌ای با هزار ساعت و بیشترین آن مربوط به لامپ دیودی (LED) با بیش از ۵۰۰۰۰ ساعت است. کاهش توان نوری لامپ‌ها وابسته به طول زمان استفاده، خصوصیات برق ورودی، ویژگی‌های محیط استفاده و نحوه استفاده از آن‌ها متغیر است، لیکن در محاسبات طراحی برای یک دوره نگهداری ضریب ۰/۹۳ لحاظ می‌گردد. دوره نگهداری شامل نظافت و تعمیرات است که در طراحی اغلب ۶ ماه و یک‌ساله در نظر گرفته می‌شود.

درخشندگی: یکی از عوامل مهم در انتخاب لامپ‌ها میزان درخشندگی آن‌ها است. برای جلوگیری از خیرگی و صدمه به چشم لازم است که لامپ‌هایی که در ارتفاع کم قرار می‌گیرند درخشندگی پائینی داشته باشند. در صورتی که ضرورت داشته باشد که چراغ‌هایی در ارتفاع پایین یا در دید افراد نصب شود باید از لامپ‌های با درخشندگی پایین یا حباب‌های مات در قاب چراغ استفاده گردد. اگر درخشندگی سطح لامپ یا دهانه چراغ از $۱۰۰\ cd/m^2$ بیشتر باشد احتمال ناراحتی و آزار برای استفاده‌کنندگان دارد.

شاخص تجلی رنگ: با توجه به نیاز افراد به تشخیص طیف رنگ در مکان مورد استفاده، لامپ باید رنگ‌دهی مناسبی داشته باشد. برای محیط زندگی، اماکن عمومی مسقف, اداری

و آموزشی باید این شاخص بالاتر از ۸۰ و برای اماکن صنعتی با مشاغل معمولی بیش از ۴۰ باشد. برای معابر اصلی و محوطه‌های باز که نیازی به تشخیص رنگ اشیاء نیست از منابع با رنگ دهی کمتر از ۴۰ می‌توان استفاده نمود.

انواع لامپ

لامپ‌های الکتریکی به طور کلی به سه دسته کلی: لامپ‌های رشته‌ای[1]، لامپ‌های تخلیه در گاز[2] و لامپ‌های دیودی[3] (LED) تقسیم می‌شوند.

لامپ‌های رشته‌ای: یا التهابی از یک حباب شیشه‌ای تشکیل شده است که از هوا خالی شده و با فشار معینی از یک گاز بی‌اثر (اغلب آرگون) جایگزین شده است. در داخل حباب لامپ یک رشته فنری از تنگستن قرار داده شده است و عبور جریان الکتریکی با ولتاژ معین باعث التهاب رشته شده و مستقیماً تولید طیف نسبتاً کاملی از نور مرئی می‌نماید. امروزه این گروه علی‌رغم محدودیت‌های جهانی به دلیل پایین بودن ضریب بهره نوری، به خاطر شاخص تجلی رنگ بالایی که دارند برای برخی اماکن مسکونی و کماکان استفاده می‌شوند. لامپ‌های رشته‌ای در دو گروه اصلی رشته‌ای معمولی و هالوژنه تقسیم می‌شوند.

لامپ‌های التهابی با طول عمر نامی ۱۰۰۰ ساعت، دمای رنگ متوسط ۲۸۰۰ K ، رنگ دهی یکصد، محدوده ضریب بهره نوری ۱۶-۱۴ لومن بر وات و ضریب بهره الکتریکی حدود ۲٪ هستند و امروزه فقط برای فضاهای بسیار محدود که رنگ دهی بسیار بالایی را نیاز دارند توصیه می‌شوند. یکی دیگر از معایب لامپ‌های التهابی، درخشندگی بالای آن‌ها است. به‌طور مثال سطح یک لامپ یکصد وات ساده ۵×۱۰^{۵} cd/m^2 درخشندگی دارد. نوع مات این لامپ‌ها درخشندگی کمتری (حدود یک پنجم نوع ساده) دارد لیکن آزار دهنده می‌باشد. با توجه به اینکه این لامپ‌ها اغلب بدون قاب محدودکننده مورد استفاده قرار می‌گیرند.

1 - Incandescent lamp
2 - Discharge lamp
3 - Light Emitting Diodes (LED)

لامپ‌های هالوژنه[1] گروه دیگری از لامپ‌های التهابی رشته‌ای هستند. تمایز عمده این لامپ‌ها با نوع رشته‌ای معمولی این است که علاوه بر گاز بی‌اثر از یک عنصر هالوژنه مثل برم یا ید استفاده شده است. این موضوع به علت رفع عیب لامپ‌های معمولی از نظر تبخیر تنگستن، هم بهره نوری لامپ را به حدود دو برابر افزایش می‌دهد (تا ۳۰ لومن بر وات) و هم طول عمر لامپ به دلیل مقاومت رشته تا ۳۰۰۰ ساعت افزایش پیدا نموده است. لامپ‌های هالوژنه برای مصارف مختلفی همانند خودروها، لامپ‌های تزیینی تا توان مصرفی ۱۰۰۰ وات به‌صورت تجاری در بازار موجود است. این لامپ‌ها گرمای زیادی تولید می‌کند و برای کاهش حجم حباب، معمولاً آن را به‌صورت لوله‌ای می‌سازند تا از شکستن و ترکیدن آن جلوگیری شود. لامپ‌های موسوم به مدادی که در ساخت پروژکتورهای استودیویی و موارد مشابه استفاده می‌شود از این نوع هستند. لامپ‌های این گروه، درخشندگی بسیار بالایی دارند و نباید هرگز از آن‌ها بدون قاب یا کاسه چراغ استفاده گردد.

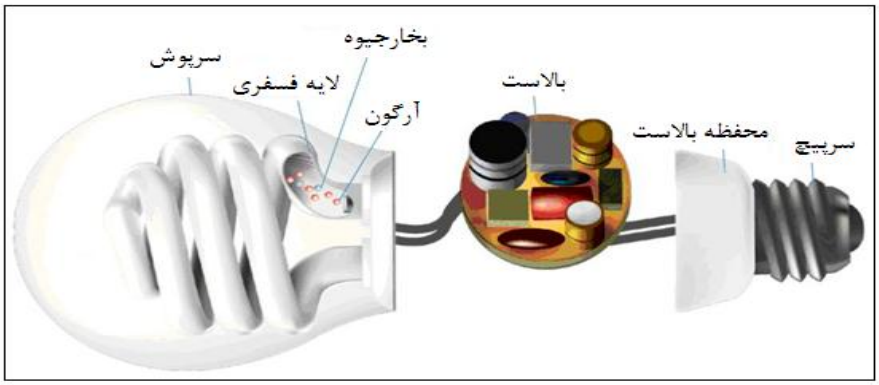
لامپ‌های تخلیه در گاز: لامپ‌های گازی یا تخلیه در گاز به‌طور عمومی از یک حباب شیشه‌ای مقاوم به حرارت تشکیل شده‌اند که هوای آن تخلیه شده و با فشار معینی از گاز بی اثر (نئون یا آرگون) به همراه مقداری از فلز تبخیر شونده (جیوه یا سدیم) جایگزین شده است. برقراری ولتاژ معینی از جریان الکتریکی در الکترودهای دو طرف حباب باعث تبخیر فلز و تحریک آن می‌گردد. این عمل باعث تابش طیف الکترومغناطیس در محدوده نور مرئی یا ماورای بنفش می‌شود که در نهایت به نور مرئی تبدیل می‌گردد.

در لامپ‌هایی که امواج تابشی در طول‌موج ماورای بنفش است برای تبدیل آن به نور مرئی از ماده فلئورسانس به طور عمده فسفر و ترکیبات آن در سطح داخلی حباب استفاده می‌شود، این پدیده را تخلیه در گاز و لامپ‌های آن را تخلیه در گاز می‌گویند. لامپ‌های تخلیه در گاز متداول شامل: فلورسنت و فلورسنت فشرده (CFL[2])، بخار جیوه‌ای فشار بالا، بخار سدیم ، متال هالید و لامپ‌های LED هستند.

1 - Halogen lamp
2 - Compact Fluorescent Lamp

لامپ فلورسنت: این لامپ‌ها از نوع بخار جیوه فشار پایین می‌باشند. حباب این لامپ به شکل لوله‌ای ساخته می‌شود تا ضمن کاهش درخشندگی، هدایت حرارتی به محیط به‌راحتی انجام گردد. با توجه به اینکه تابش طیف در این لامپ‌ها در محدوده فرابنفش (حدود nm ۲۵۳) است. برای تبدیل آن به طیف مرئی، سطح داخلی حباب لامپ با ماده فلئورسانس می‌پوشانند. ماده فلئورسانس پرتو تابشی را جذب می‌کند و در اثر تحریک طول‌موج بلندتری را ساطع می‌کند. ترکیب ماده مذکور طیف تابشی را تعیین می‌نماید. فشار داخلی لامپ فلورسنت حدود ۰/۰۱ mmHg (۱/۰۷ Pa) و شامل گاز آرگون و مقداری فلز جیوه است. درجه حرارت سطح این لامپ‌ها نیز حدود ۴۰ °C است.

بهره نوری این گروه لامپ حدود ۶۰lm/w ، شاخص تجلی رنگ نوع سنتی آن حدود ۳۰۰۰°K و انواع فشرده نیز بین همین مقدار تا ۱۷۰۰۰ °K در بازار موجود می‌باشد. شاخص تجلی رنگ فلورسنت‌ها اغلب ۸۵ است، بنابر این برای هر مکان با ارتفاع کمتر از ۶ متر که نیاز به لامپ با بهره نوری خوب و رنگ‌دهی مطلوب باشد، از این منابع استفاده می‌شود. لامپ‌های فلورسنت در مقایسه با لامپ‌های رشته‌ای دارای چهار برابر بهره نوری هستند و طول عمر لامپ فلورسنت حدود ۸۰۰۰ ساعت است لذا از این جهت دارای مزیت نسبی در مقایسه با لامپ‌های التهابی است به همین دلیل به آن‌ها کم مصرف می‌گویند. برای اماکن اداری، عمومی و خانگی، لامپ‌های فلورسنت کاملاً مطلوب هستند. لامپ‌های التهابی به سرعت در حال جایگزینی با نوع فلورسنت فشرده هستند و در ایران نیز اخیراً محدودیت تولید لامپ‌های التهابی به تصویب هیئت دولت رسیده است. محدودیت استفاده از لامپ‌های فلورسنت شامل میدان الکترومغناطیسی و پرتو فرابنفش آن‌ها است. تحقیقات اخیر در ایران نشان داد که فاصله ایمن لامپ‌های فلورسنت فشرده برای مصارف عمومی دو متر و مصارف شغلی یک متر می‌باشد. در لامپ‌های فشرده به دلیل تراکم نور منابع و درخشندگی بالا، لازم است از قرارگیری آن‌ها در مسیر دید افراد مخصوصاً در فواصل نزدیک پرهیز گردد و بدون قاب پخش‌کننده مورد استفاده قرار نگیرند. شکل(۱۴) نمونه‌هایی از لامپ فلورسنت معمولی و فشرده را نشان می‌دهد.



شکل (۱۴) نمونه‌هایی از لامپ فلورسنت معمولی و فشرده

لامپ گازی بخار جیوه: لامپ بخار جیوه[1] از یک حباب داخلی کوارتز که به شکل لوله‌ای و یک حباب خارجی که می‌تواند به شکل بیضی یا لوله‌ای باشد تشکیل شده است. داخل هر دو حباب از هوا تخلیه شده است و حباب مرکزی با فشار معینی از گاز آرگون جایگزین هوا شده است. فلز تبخیر شونده در این گروه، جیوه است. فشار داخل حباب مرکزی در هنگام کار حدود ۲۰۰-۴۰۰ KPa می‌باشد، لذا این گروه را لامپ‌های بخار جیوه فشار بالا نیز می‌گویند. بسته به مشخصات لامپ، طیف تابشی می‌تواند در محدوده نور مرئی یا شامل نور مرئی و فرابنفش باشد در حباب خارجی گاز ازت جایگزین هوا شده است و سطح داخلی با لایه‌ای از ماده فلئورسانس از ترکیبات فسفر پوشانده شده است. لایه فسفر قادر است تابش

1 - Mercury vapor discharge lamp

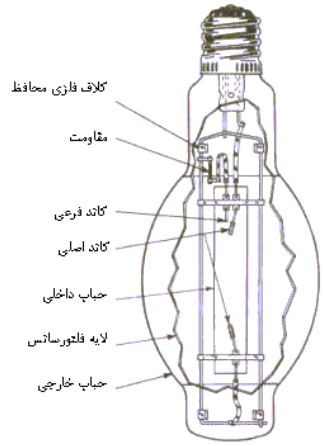
را به طول‌موج مرئی با طیف مناسب تبدیل کند. این گروه از لامپ‌ها در نهایت دارای نور سفید در محدوده ۵۷۹ nm - ۴۰۷ هستند لذا در محدوده طول‌موج قرمز طیف آن‌ها ناقص است. دمای رنگ این گروه حدود ۴۰۰۰ °K و شاخص رنگ دهی آن‌ها حدود ۴۰ است. ضریب بهره نوری این گروه حدود ۶۰ لومن بر وات و طول عمر آن‌ها تا ۲۴۰۰۰ ساعت است.

توان الکتریکی تجاری این گروه بین ۱۵۰ تا ۱۰۰۰ وات است که در توان ۲۵۰ وات و بالاتر اغلب باید از بالاست و خازن مخصوص استفاده شود. از این گروه لامپ به طور وسیع برای مکان‌های بزرگی که نیاز به رنگ دهی بالا ندارد مثل انبارها، سالن‌های تولید صنایع و معابر فرعی با ارتفاع نصب ۱۲- ۶ متر به کار گرفته می‌شوند.

در ساختمان لامپ گازی جیوه‌ای مطابق شکل (۱۵) در حباب مرکزی دو الکترود اصلی و یک الکترود فرعی وجود دارد. هنگام برقراری جریان ابتدا به علت بالا بودن مقاومت الکتریکی داخل حباب، بین الکترود فرعی و اصلی به‌صورت لحظه‌ای اتصال کوتاه برقرار می‌شود که باعث جرقه زدن و گرمای ناشی از جرقه باعث گرم شدن حباب و تبخیر و تحریک جیوه می‌گردد.تبخیر جیوه باعث می‌شود که مقاومت داخلی کمتر از مقاومت بین الکترود فرعی و اصلی گردد و به تدریج طی ۳ تا ۵ دقیقه فشار حباب به ۴- ۳ اتمسفر می‌رسد. در این حالت به دلیل تبخیر جیوه جریان الکتریکی بین دو الکترود اصلی برقرار و تابش طیف در اثر تحریک اتم‌های جیوه انجام می‌گردد. هر چه فشار در حباب مرکزی بالاتر می‌رود طیف نیز کامل‌تر می‌گردد، لذا حداکثر توان نوری بعد از ۵ دقیقه خواهد بود.

اغلب لامپ‌های گازی بخار جیوه فشار بالا دارای بالاست هستند ولی در صورتی که به هر دلیل جریان برق قطع شود، چرخه راه‌اندازی لامپ باید بعد از سرد شدن حباب مرکزی انجام گردد. این مدت حدوداً ۷ – ۴ دقیقه طول می‌کشد. این عامل به دلیل تبعاتی که برای استفاده‌کنندگان از نظر ایمنی و اختلال در دید به دنبال دارد عیب عمده این گروه لامپ‌ها به‌حساب می‌آید. عیب دیگر این لامپ‌ها، تداخل با امواج رادیویی، تلویزیونی است و باعث می‌شود که گیرنده‌ها صوت یا تصویر واضحی نداشته باشند. علت این امر به تابش طیف ناشی از تحریک جیوه در محدوده امواج بلند و اشکالات ناشی از ایجاد میدان توسط بالاست است. عامل مزاحم دیگر تولید امواج صوتی توسط بالاست معیوب می‌باشد. بالاست غیر استاندارد

یا معیوب می‌تواند ترازهای فشار صوت پیوسته‌ای ایجاد کند که باعث آزار استفاده‌کنندگان گردد که در این صورت تعویض بالاست توصیه می‌شود.



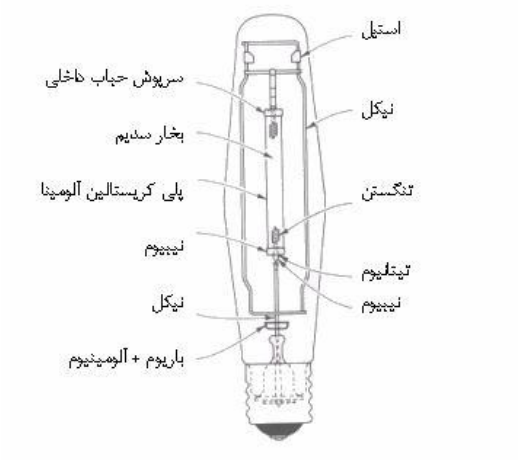
شکل (۱۵) برش یک لامپ گازی بخار جیوه

لامپ متال هالید[1]: ساختمان و عملکرد این لامپ‌ها تشابه زیادی به لامپ‌های بخار جیوه پرفشار دارد، با این تفاوت که در حباب مرکزی علاوه بر آرگون و جیوه، مقدار معینی نمک فلزی شامل یدور سدیم و اسکاندیوم یا یدور تالیوم و هالیوم دیسپرسیوم اضافه شده است. این عامل باعث افزایش بهره نوری تا حدود ۷۵ لومن بر وات در آن‌ها گردیده است. لامپ‌های متال هالید تا توان مصرفی ۲۰۰۰ وات به طور متنوع به بازار عرضه شده است.

مزیت مهم دیگر این گروه نسبت به لامپ‌های بخار جیوه، گسترش محدوده طیف نور آن‌ها است به‌طوری که به علت استفاده از ترکیبات فلزی فوق،دمای حباب مرکزی کاهش یافته است و این عامل اجازه داده است که حجم حباب‌ها کوچک گردد. دمای رنگ این لامپ‌ها تا ۵۰۰۰ °K افزایش یافته و طیف در محدوده مرئی وسیع شده و رنگ‌دهی نیز به حدود ۶۵ ارتقاء یافته است به‌طوری که در این لامپ‌ها دیگر نیازی به لایه فلئورسانس نیست. طول عمر این لامپ‌ها ۳۴۰۰۰ ساعت است. زمان راه‌اندازی تا رسیدن به اوج توان نوری در این لامپ‌ها کوتاه‌تر از نوع جیوه‌ای است. بالاست در این گروه متفاوت از لامپ‌های جیوه‌ای است و در هنگام استارت نیاز به شوک ولتاژ بالاتری دارند.

1 - Metal halide discharge lamp

لامپ گازی بخار سدیم فشار بالا[1]: این لامپ از نظر ساختمانی شبیه لامپ‌های بخار جیوه هستند با این تفاوت که در حباب مرکزی آن‌ها بجای جیوه و آرگون از سدیم و زنون استفاده شده است. در این گروه فشار حباب داخلی KPa ۱۰- ۵ می‌رسد و دمای حباب نیز بالاتر از جیوه‌ای‌ها است و به °C ۱۶۰۰ بالغ می‌شود. در ساختمان این گروه لامپ الکترود فرعی وجود ندارند و الکترودهای اصلی از جنس تنگستن می‌باشد. هنگام راه‌اندازی، شوک حرارتی برای تبخیر سدیم از طریق بالاست تأمین می‌گردد. حباب مرکزی از جنس مقاوم به حرارت و معمولاً پلی‌کریستالین آلومینا است. روشن شدن لامپ‌های گازی سدیمی فشار بالا حدود ۱۵ دقیقه طول می‌کشد ولی بعد از خاموش شدن بلافاصله می‌توانند روشن شود. رنگ نور در این لامپ‌ها زرد نارنجی و اوج طیف در nm ۵۸۹ است. دمای رنگ این گروه °K ۲۲۰ – ۱۹۰۰ و بهره نوری آن‌ها به طور متداول حدود ۱۰۰ لومن بر وات و شاخص تجلی رنگ آن‌ها بسیار پائین بوده و حدود ۲۴ می‌باشد. بزرگ‌ترین عیب آن‌ها نیز همین موضوع است. البته به دلیل عمر خوب آن‌ها، بیش از ۲۴۰۰۰ ساعت و بهره نوری بسیار بالا برای میادین، معابر اصلی و مخصوصاً مناطق مه خیز کاملاً مناسب است. شکل (۱۶) نمای لامپ‌های سدیمی فشار بالا را نشان می‌دهد.



شکل (۱۶) برش یک لامپ بخار سدیم فشار بالا

1 - Sodium vapour discharge lamp

لامپ‌های دیودی (LED):

دیودها زیر گروه نیمه هادی‌ها می‌باشند. ویژگی که LED را از سایر نیمه‌هادی‌ها متمایز می‌کند، تولید نور به دلیل عبور جریان می‌باشد. LED به‌صورت تراشه‌های کوچکی بوده که معمولاً داخل یک کپسول قرار می‌گیرند و دارای اندازه بسیار کوچک هستند و به‌سختی می‌شکنند. تولید نور در LED حاصل تشعشع کریستالها می‌باشد. نور از طریق تحریک کریستالها که از عناصر نیمه‌هادی هستند به روش الکترولومینانس[1] تولید می‌شود. هر واحد از لامپ‌های دیودی دارای نور محدود می‌باشد که کاربری پیشین آن‌ها برای تأمین روشنایی نبوده است لیکن اخیراً به‌صورت گسترده‌ای مدارهای مجتمع آن‌ها برای ساخت لامپ‌های فوق کم‌مصرف رایج گردیده است. حجم هر واحد لامپ دیودی بسیار کوچک است و الکترودهای لامپ از دو جوشن یا دو ناحیه P با مساحت بسیار کوچک ۰/۲۵ mm^2 و بسیار نزدیک به هم تشکیل شده است که در اثر برقراری جریان الکتریکی یک قوس معین در بین این دو جوشن تشکیل می‌شود و نور محدودی را تولید می‌کند.

لامپ‌های دیودی می‌توانند دارای طیف نور سفید یا رنگی باشند که با این تنوع کاربرد صنعتی وسیعی دارند و اغلب در پانل‌های الکتریکی و الکترونیکی برای نشان دادن مفاهیم یا به عنوان صفحه علائم به کار می‌روند. استفاده از مجتمع هوشمند یا ثابت آن‌ها در طراحی پانل‌های اعلان، چراغ‌های خودروها، چراغ‌ها و پیام نماهای راهنمایی و رانندگی و حتی نمایشگرهای کوچک و بزرگ تصویری و تلویزیون‌ها از این دسته‌اند. ضریب بهره نوری در لامپ‌های رنگی بین ۷۵ تا ۲۰۰ لومن بر وات می‌باشد. در چند سال اخیر لامپ‌های بسیار کم‌مصرف و پرتوان بر پایه مجتمع این لامپ‌ها به‌صورت لامپ‌های نقطه‌ای یا طولی شبیه به لامپ‌های متداول (حبابی یا فلورسنت) به بازار عرضه شده است ضریب بهره نوری مورد انتظار این لامپ‌ها ۱۵۰-۱۰۰ لومن بر وات و عمر آن‌ها ۵۰ تا یکصد هزار ساعت می‌باشد. شکل (۱۷) برش یک لامپ دیودی و برخی لامپ‌های مجتمع بر این پایه را نشان می‌دهد.

1 -Electro luminance

نسل جدید LED با راندمان بالا[1] و نوع مسطح SMD[2] دارای ساختمان پیچیده‌تری هستند. انواع جدید به سرعت در حال تجاری سازی برای استفاده در روشنایی داخل اماکن و حتی محوطه ها و معابر است. استفاده از این منابع هرچند دارای توجیه اقتصادی بالایی می‌باشد لیکن باید به ملاحظات عدم قرارگیری مستقیم چشم در برابر تابش آن‌ها توجه نمود.

شکل (۱۶) لامپ‌های دیودی و مجتمع آن‌ها

چراغ‌ها

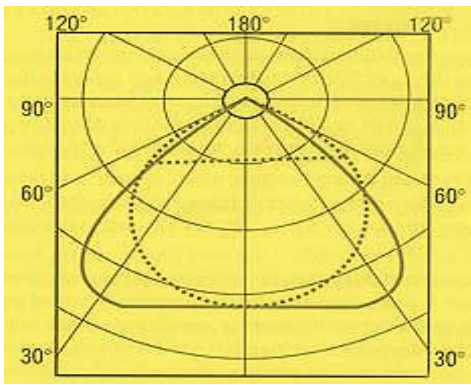
برای بهره‌گیری از حداکثر توان نوری لامپ، لازم است که تا حد امکان تابش نور به‌طرف فضای مورد استفاده توسط سطوح محدودکننده متمرکز گردد. وجود سطوح محدودکننده در پشت لامپ می‌تواند بخشی از شار نوری که در فضای پشت آن هدر می‌رود را به‌صورت بازتابشی به سمت سطوح مورد استفاده برگرداند. به همین دلیل لامپ‌ها در قابی بنام قاب قرار می‌گیرند. مجموع لامپ، قاب و سایر اجزای الکتریکی و مکانیکی آن با نام چراغ نام‌گذاری شده است. خصوصیات چراغ و توان نوری لامپ است که خصوصیات نوردهی هر منبع را در فضای مورد استفاده در جهتی که تابش منبع به آن سمت محدودشده مشخص می‌کند. چراغ‌ها انواع متنوعی دارند و بر اساس نوع لامپ به دو گروه اصلی نقطه‌ای و خطی تقسیم‌بندی می‌شوند. چراغ‌های خطی برای استفاده از لامپ فلورسنت سنتی و چراغ‌های نقطه‌ای برای استفاده از لامپ‌های فلورسنت فشرده، التهابی، گازی بخار جیوه، بخار سدیم و

1 - High Power LED (SMD)
2 - Surface Mounted Device

متال هالید طراحی شده‌اند. سطوح محدودکننده در پشت منبع اغلب دارای بازتابش کامل نیستند و خود بخشی از تابش نور را جذب می‌کنند، با این وجود در بالا بردن بهره نوری منابع بسیار مؤثر می‌باشد.

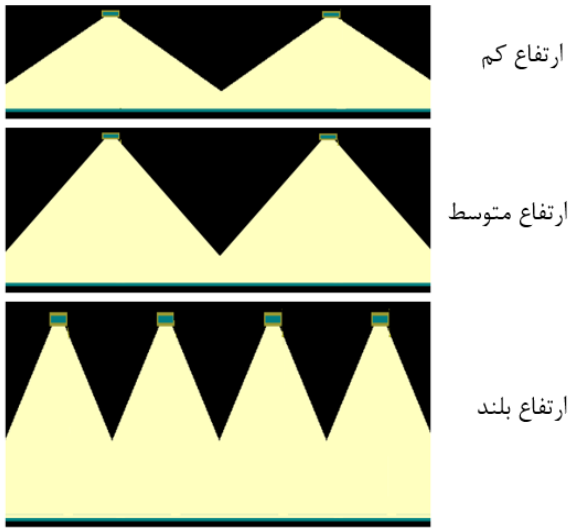
برای بیان چگونگی تابش نور در اطراف چراغ، از منحنی قطبی توزیع روشنایی استفاده می‌شود. منحنی قطبی چراغ می‌تواند به‌صورت برش قائم یا افقی باشد و یا به‌صورت مخروطی نشان داده شود. منحنی قطبی هم بیان کننده پهنای تابش نور و نقش محدودکننده است و هم در زوایا و فواصل مختلف از دهانه چراغ، مقادیر تابش را بیان می‌کند. مقادیر تابش با واحد لوکس یا کاندل به ازای ۱۰۰۰ لومن روی خطوط منحنی قطبی درج می‌گردد. شکل (۱۷) نمونه‌ای از منحنی قطبی چراغ را در زوایای افقی و عمودی نشان می‌دهد.

منحنی قطبی عمودی در تابش روشنایی چراغ‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. برای تأمین یکدستی روشنایی در سطح کار، منحنی قطبی چراغ‌ها باید همدیگر را مطابق شکل (۱۸) قطع نمایند. برای این منظور چراغ‌ها را در گروه‌هایی تقسیم‌بندی می‌کنند که شامل منحنی قطبی محدود (برشی[1])، نیمه محدود (نیمه برشی[2]) و محدود نشده (وسیع[3]) است. برای مکان‌هایی که ارتفاع بلند باشد باید از چراغ‌های با منحنی قطبی باریک و برای مکان‌های با ارتفاع کم باید از چراغ‌های با منحنی قطبی پخش روشنایی وسیع استفاده گردد.



شکل (۱۷) نمونه‌ای از منحنی قطبی چراغ

1 - Cutoff
2 - Semicutoff
3 - Wide



شکل (۱۸) منحنی قطبی عمودی پخش روشنایی و ارتفاع نصب سه گروه چراغ‌ها

مشخصات فنی چراغ‌ها: خصوصیات فنی چراغ‌ها برای انتخاب آن‌ها متناسب با مکان مورد استفاده، دارای اهمیت زیادی است. شرکت‌های سازنده سعی می‌کنند که تا حد امکان با تنوع محصولات خود برای تمامی شرایط مورد انتظار، چراغ‌های مناسب طراحی نمایند. بااین‌حال مسئولیت انتخاب بهترین چراغ همواره با طراح روشنایی است. مهم‌ترین خصوصیات فنی که در طراحی روشنایی مد نظر است، شامل: شکل ظاهری، مشخصات مکانیکی، ابعاد و جنس قاب، موارد کاربرد، گروه چراغ، درجه حفاظت، امکان تهویه، چگونگی نگهداری و تعمیرات و منحنی قطبی پخش روشنایی است.

شکل، ابعاد، میزان مقاومت مکانیکی و جنس مصالح چراغ باید متناسب با محیط مورد استفاده باشد. مواد مورد استفاده باید کمترین تأثیرپذیری را از شرایط محیط داشته باشند. به طور مثال در یک محیط مرطوب یا دارای بخارات شیمیایی مواد تشکیل دهنده چراغ باید در مقابل این مواد مقاوم باشند. شکل چراغ و شکل قاب بازتابش دهنده و ضریب بازتابش سطح داخلی آن نیز در تعیین ویژگی‌های تابش و نهایتاً منحنی قطبی و ضریب بهره نوری تأثیر مهمی دارد.

خصوصیات بالاست: وظیفه بالاست محدود نمودن جریان در حدود تعریف شده برای کار مطلوب چراغ است. کیفیت کار بالاست می‌تواند بر کارکرد چراغ مؤثر باشد و معیوب بودن آن نیز می‌تواند استفاده مطلوب از آن را مخدوش نماید. بالاست‌ها به دو گروه القایی (قدیمی) و الکترونیک تقسیم می‌شوند. بالاست‌های الکترونیک هم به دلایل: مصرف برق بسیار کم، بالا بردن فرکانس و حرارت پایین و میدان‌های الکترومغناطیس بسیار پایین ارجحیت دارند. مطالعات نشان داده است که بالاست غیر استاندارد طول عمر لامپ را به میزان ۵۰٪ و لومن آن را به میزان ۳۰٪ کاهش می‌دهد. در صورتی که تهویه اطراف بالاست القایی مناسب نباشد و درجه حرارت آن از ۹۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر شود طول عمر آن به‌شدت کاهش می‌یابد. بالاست استاندارد می‌تواند تا ۴۵۰۰۰ ساعت کارکرد داشته باشد، این در حالتی است که ولتاژ ورودی و دمای اطراف آن مناسب باشد. مطالعات نشان داده است که برای کارکرد ۱۶ ساعت در روز، بالاست استاندارد می‌تواند با کارکرد سالیانه ۵۰۰۰ ساعت تا ۱۲ سال سالم بماند، طبعاً بالاستی که شبانه‌روز در حال کار باشد عمر کوتاه‌تری خواهد داشت. بالاست معیوب می‌تواند بر کارکرد لامپ و طول عمر آن تأثیر نامطلوب داشته باشد و علاوه بر ایجاد میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی مزاحم، صدای آزار دهنده‌ای نیز تولید نماید.

درجه حفاظت چراغ: اماکن مختلف، متناسب با ماهیت کار، نیاز به چراغ‌های متناسبی دارند. سازندگان مطابق جداول استاندارد، کد حفاظتی ورودی معینی را بر روی کالای خود نصب می‌کنند که به کد IP[1] معروف است. بعد از دو حرف IP دو رقم ثبت می‌گردد، اولین رقم درجه حفاظت چراغ در مقابل ورود اشیاء و ذرات و دومین رقم آن مربوط به حفاظت در مقابل نفوذ آب و رطوبت است. جداول (۶) و (۷) کدهای حفاظتی چراغ‌ها و مفهوم آن‌ها را بیان می‌کنند. این مقادیر کد استاندارد به‌صورت بین‌المللی برای تمامی چراغ‌ها تعیین شده‌اند. حفاظت در مقابل شوک جریان الکتریکی نیز شامل 0, I, II, III، از مؤلفه‌های مهم درجه‌بندی چراغ‌ها است.

1 - Ingress Protection (BS 4533)

جدول (۶) درجه حفاظت چراغ در مقابل ورود اشیاء و ذرات

اولین رقم بعد از IP	درجه حفاظت
۰	حفاظت نشده
۱	حفاظت در مقابل اشیاء صلب خارجی با قطر بیش از ۵۰ میلی‌متر
۲	حفاظت انگشتان یا موارد مشابه با طول کمتر از ۸۰ میلی‌متر، حفاظت در مقابل اشیاء صلب با قطر بیش از ۱۲ میلی‌متر
۳	حفاظت در مقابل سیم وابزارآلات با قطر یا ضخامت بیش از ۲/۵ میلی‌متر، حفاظت در مقابل اجسام صلب با قطر بیش از ۲/۵ میلی‌متر
۴	حفاظت در مقابل سیم‌های با ضخامت بیش از یک میلی‌متر، حفاظت در مقابل اجسام صلب خارجی با قطر بیش از یک میلی‌متر
۵	حفاظت در مقابل ورود گرد و غبار به داخل چراغ تا حدی که مانع کار عادی آن نشود
۶	حفاظت کامل در مقابل ورود گرد و غبار

جدول (۷) درجه حفاظت چراغ در مقابل نفوذ آب و رطوبت

دومین رقم بعد ازIP	درجه حفاظت
۰	حفاظت نشده
۱	حفاظت در مقابل قطرات آب ناشی از رطوبت هوا که به‌صورت عمودی به محفظه چراغ برخورد می‌کند
۲	حفاظت در مقابل چکیدن قطرات آب در صورتی که چراغ حداکثر زاویه ۱۵ درجه با محور قائم داشته باشد
۳	حفاظت در مقابل بارش باران در صورتی که حداکثر تحت زاویه ۶۰ درجه با محور قائم ببارد
۴	حفاظت در مقابل ترشح آب از هر سمت
۵	حفاظت در مقابل فوران آب از طریق یک افشانه از هر سمت
۶	حفاظت در مقابل ورود آب فراوان به داخل محفظه
۷	حفاظت کامل در مقابل ورود آب به داخل محفظه در شرایط غوطه‌وری در آب به مدت مشخص و تحت فشار مشخص آب
۸	حفاظت در مقابل ورود آب به داخل محفظه در شرایط غوطه‌وری در آب به‌صورت دائم و تحت فشار مشخص آب

سایر موارد حفاظت شامل: حفاظت در مقابل ضربه و حفاظت در مقابل خوردگی است که باید به آن توجه گردد. جدار بیرونی چراغ همواره بیشتر در معرض خوردگی قرار دارد. استفاده از مس و برنج که بیش از ۸۰٪ آن مس باشد، فولاد ضد زنگ، آلومینیوم، آهن نرم و ورق فولادی با ضخامت بیش از ۳ میلی‌متر با پوشش حداقل ۰/۰۲ میلی‌متر فلز روی و مواد پلیمری برای این منظور مناسب هستند.

گروه چراغ: چراغ‌ها بر مبنای ویژگی‌های ظاهری، نسبت انتشار نور به سمت پایین و بالای قاب، شفافیت دهانه عبوری نور، وجود محافظ در دهانه در ۶ گروه به شرح جدول (۸) تقسیم‌بندی شده‌اند.

جدول (۸) معیار تعیین گروه چراغ

گروه چراغ	قاب بالا	قاب پایین
I	ندارد	ندارد
II	۱- ندارد ۲- شفاف با عبور نور به میزان ۱۵٪ یا بیشتر به سمت بالا از شکاف‌ها ۳- نیمه شفاف با عبور نور به میزان ۱۵٪ یا بیشتر به سمت بالا از شکاف‌ها ۴- مات با عبور نور به میزان ۱۵٪ یا بیشتر به سمت بالا از شکاف‌ها	۱- ندارد ۲- محافظ نرده‌ای یا مشبک
III	۱- شفاف با عبور نور به میزان کمتر از ۱۵٪ به سمت بالا از شکاف‌ها ۲- نیمه شفاف با عبور نور به میزان کمتر از ۱۵٪ به سمت بالا از شکاف‌ها ۴- مات با عبور نور به میزان کمتر از ۱۵٪ به سمت بالا از شکاف‌ها	۳- ندارد ۴- محافظ نرده‌ای یا مشبک
IV	۱- شفاف بدون شکاف ۲- نیمه شفاف بدون شکاف ۳- مات بدون شکاف	۱- ندارد ۲- محافظ مشبک
V	۱- شفاف بدون شکاف ۲- نیمه شفاف بدون شکاف ۳- مات بدون شکاف	۱- شفاف بدون شکاف ۲- نیمه شفاف بدون شکاف
VI	۱- ندارد ۲- شفاف بدون شکاف ۳- نیمه شفاف بدون شکاف ۴- مات بدون شکاف	۱- شفاف بدون شکاف ۲- نیمه شفاف بدون شکاف ۳- مات بدون شکاف

نگهداری و تعمیرات: شار نوری چراغ‌ها در اثر کارکرد کاهش می‌یابد، این پدیده عوامل مختلفی دارد، ازجمله می‌توان به کاهش شار نوری در اثر عمرلامپ، کاهش در اثر کاهش ضریب انعکاس و کدر شدن سطوح داخلی چراغ و کثیفی سطح لامپ و سطح داخلی چراغ در اثر نشستن و چسبیدن ذرات روی آن‌ها اشاره نمود. عدم کارکرد مطلوب بالاست نیز می‌تواند روی کارکرد لامپ تأثیر سوء داشته باشد. چراغ نیز یک دوره زمانی مناسب برای استفاده دارد که بسته به وضعیت نگهداری از آن و شرایط محیطی می‌تواند متفاوت باشد. تشخیص اینکه زمان مناسب برای تعویض چراغ چه موقعی است به عهده کارشناس است و در صورت بروز خوردگی، پوسیدگی یا کدر شدن سطح داخلی آن باید تعویض گردد.

کاهش شار نوری لامپ در اثر کارکرد اجتناب ناپذیر است و لازم است که پس از طی مدت زمان عمر نامی لامپ، آن‌ها را تعویض نمود. حتی با وجود روشن بودن لامپ پس از عمر نامی، به علت افت لومن خروجی، استفاده از آن به صلاح نیست زیرا این عامل خود به‌تنهایی باعث کاهش شدت روشنایی در محل مورد استفاده می‌گردد. بالاست نیز در صورت استاندارد بودن، دارای عمر نامی است و پس از آن باید تعویض گردد در غیر این صورت علاوه بر اتلاف انرژی، سبب ایجاد میدان الکتریکی و مغناطیسی مزاحم و صدای آزار دهنده می‌گردد.

با رعایت شرایط فوق‌الذکر نیز کارکرد چراغ باعث افت در توان نوری خروجی آن می‌گردد. زیرا در چراغ‌هایی که امکان تبادل هوا در آن‌ها وجود دارد در اثر جابجایی هوا، سطوح لامپ و سطوح داخلی چراغ نیاز به نظافت دارند. نشست ذرات یا ورود حشرات و سوختن آن‌ها هم می‌تواند در زیر چراغ‌هایی که دارای حباب هستند یک لایه مانع برای عبور نور ایجاد کند.

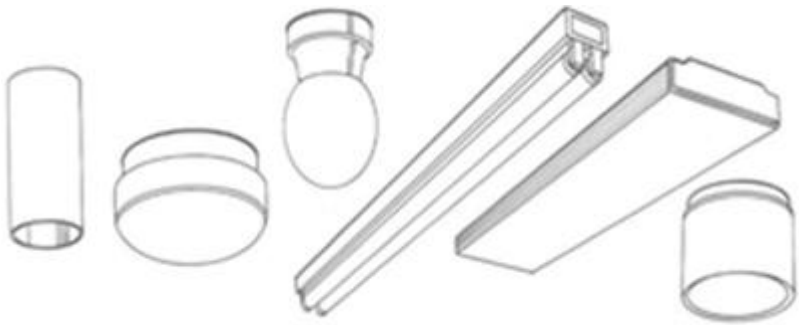
در طراحی روشنایی معمولاً افت لومن در اثر کارکرد که وابسته به عوامل متعددی است در نظر گرفته می‌شود و تحت نام افت کلی روشنایی چراغ[1] TLLF، به عنوان ضریب توان نوری چراغ در محاسبات وارد می‌گردد. این عامل در کنار ضریب بهره روشنایی به عنوان عامل محدوده کننده توان نوری چراغ عمل می‌کند. در محاسبات روشنایی ضریب افت کلی

1 - Total Light Loss Factor (TLLF)

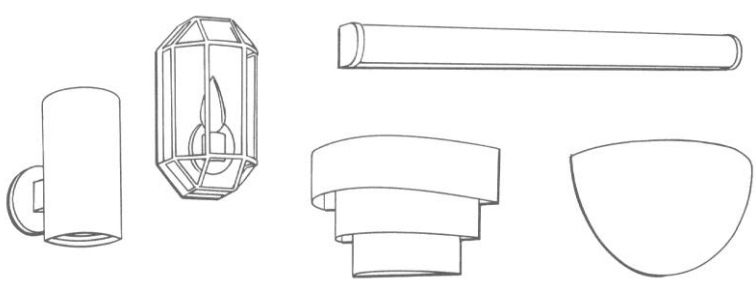
روشنایی چراغ برای یک دوره زمانی معین و برابر دوره‌های نظافت چراغ و نیمه عمر لامپ تعیین می‌گردد. هرچه تناوب دوره‌های نظافت کوتاه‌تر باشد این ضریب بالاتر خواهد بود و بهره‌گیری بهتری از توان نوری چراغ را باعث خواهد شد. علاوه بر نظافت و نگهداری چراغ، نظافت سطوح داخلی بنا نیز نقش مشابهی در بهره روشنایی چراغ دارد.کوتاه بودن تناوب دوره‌های نظافت علاوه بر جلوگیری از کاهش شدید لومن چراغ، باعث می‌گردد که تبادل حرارت در چراغ بهتر صورت گیرد و عمر لامپ و چراغ آن افزایش یابد.

انواع مهم چراغ بر مبنای مکان استفاده: از نظر کاربرد، چراغ‌ها بسته به محل مورد استفاده متنوع هستند و هر روزه شاهد تولیدات جدیدی با استفاده از فناوری طراحی صنعتی هستیم. به طور کلی چراغ‌های مورد استفاده در مکان‌های شغلی در گروه‌هایی شامل موارد زیر تقسیم‌بندی شده‌اند:

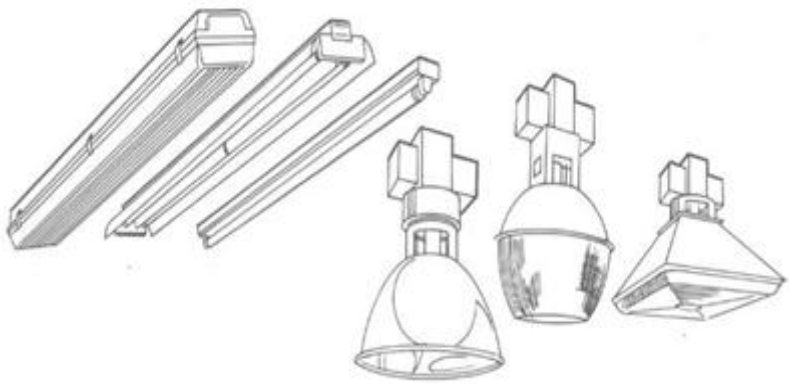
- چراغ‌های سقفی قاب‌دار و بدون قاب، شامل فلورسنت، متال هالید، دیودی و التهابی که نمونه آن‌ها در شکل (۱۸) آمده است.
- چراغ‌های دواری قاب‌دار، شامل فلورسنت، متال هالید، دیودی و التهابی که نمونه آن‌ها در شکل (۱۹) آمده است.
- چراغ‌های صنعتی نقطه‌ای و طولی شامل چراغ‌های با لامپ گازی جیوه‌ای و متال‌هالید و چراغ‌های فلورسنت که نمونه آن‌ها در شکل (۲۰) آمده است.
- چراغ‌های محوطه‌ای و معابر که نمونه آن‌ها در شکل (۲۱) آمده است.



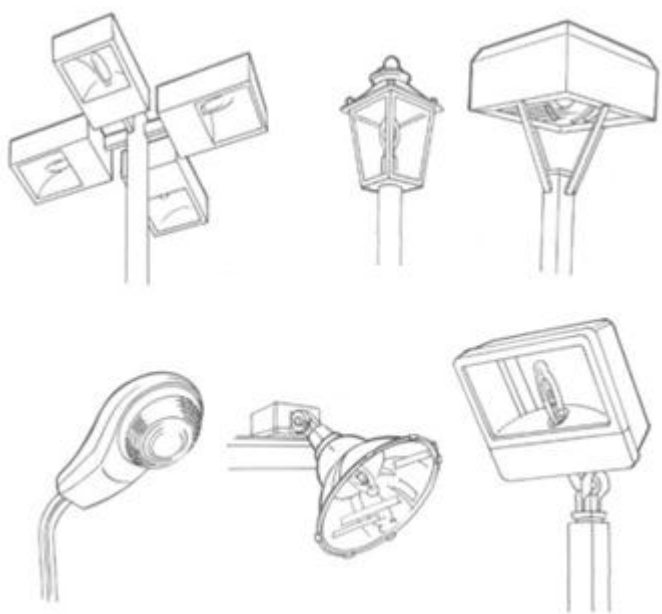
شکل (۱۸) نمونه‌هایی از چراغ‌های سقفی و دیواری قاب‌دار و بدون قاب



شکل (۱۹) نمونه‌هایی از چراغ‌های دیواری قاب‌دار



شکل (۲۰) نمونه‌هایی از چراغ‌های صنعتی نقطه‌ای و طولی



شکل (۲۱) نمونه‌هایی از چراغ‌های محوطه‌ای و معابر

گفتار چهارم: اصول طراحی و نگهداری روشنایی مصنوعی داخلی

در طراحی روشنایی به روش نسبت فضا (RCR) که به روش تقسیم ناحیه‌ای نیز نامیده شده است، مکان مورد طراحی به سه ناحیه: سقف، یعنی فضای بین سقف و چراغ یا ارتفاع آویز چراغ h_{cc} ، ناحیه اتاق، حد فاصل زیر دهانه چراغ تا روی سطح کار با ارتفاع h_{rc} و ناحیه کف، حد فاصل سطح کار و کف با ارتفاع h_{fc} مطابق شکل (۲۲) تقسیم شده است. در این روش بر مبنای یک قاعده محاسباتی، برای رسیدن به متوسط شدت روشنایی مورد نیاز، متناسب با شرایط محیط و خصوصیات چراغ‌ها اقدام می‌گردد. به بیان دیگر، مبنای طراحی روشنایی در این روش استفاده از مجموعه چراغ‌هایی است که بتواند روی سطح مورد نظر شدت روشنایی مورد نیاز را تأمین نماید. رابطه محاسبات کلی در این روش به‌صورت زیر است:

$$E_{Av} = \frac{\phi_t}{A} \times CU \times TLLF$$

E_{Av} *متوسط شدت روشنایی روی سطح مورد نظر (لوکس)*
$\emptyset_t$ *شار نوری مجموعه چراغ‌ها (لومن)*
A *مساحت مکان مورد طراحی (مترمربع)*
CU *ضریب بهره[1] روشنایی سامانه*
$TLLF$ *مجموع افت‌های[2] ناشی از عوامل مختلف*

در رابطه بالا ملاحظه می‌گردد که میزان شدت روشنایی متوسط روی هر سطح تابعی از توان نوری منابع، مساحت مکان، ضریب بهره و مجموع افت‌های ناشی از عوامل مختلف سامانه روشنایی است. TLLF وابسته به خصوصیات چراغ، چگونگی نظافت چراغ‌ها و سطوح و تناوب تعمیرات سامانه، و درجه تمیزی صنعت از نظر انتشار ذرات، خصوصیات الکتریکی و سایر عوامل الکتریکی و مکانیکی سامانه است که در طول زمان استفاده پدید می‌آید و بر شدت روشنایی تأثیر می‌گذارد. مقدار CU نیز وابسته به خصوصیات سامانه توزیع نور و چراغ

1 - Coefficient of Utilization
2 - Total Light Loss Factor

و ضرایب بازتابش سطوح و ارتفاع طراحی است و اغلب بین ۰/۷۵- ۰/۱۵ قابل تعیین است. ضریب بهره روشنایی اغلب بیشترین وابستگی را به الگوی تابش روشنایی دارد که در جدول (۹) آمده است. برای تعیین دقیق CU ابتدا مقدار عددی شاخص نسبت ناحیه اتاق متناسب با مقادیر شکل (۲۲) به ترتیب زیر محاسبه می‌شود:

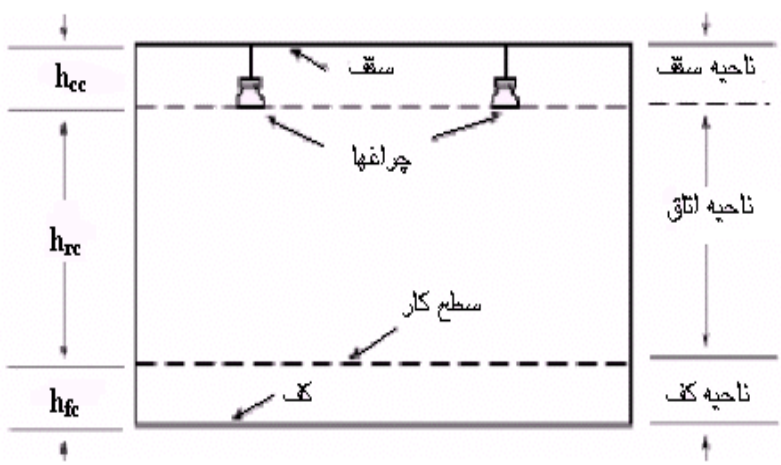
$$RCR = \frac{5h_{rc}(L+W)}{L.W}$$

h_{rc} *ارتفاع طراحی یا ارتفاع ناحیه اتاق (متر)*

L *طول مکان (متر)*

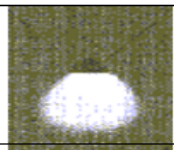
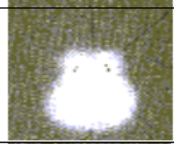
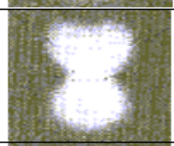
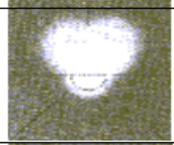
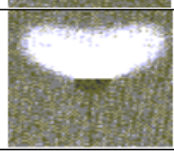
W *عرض مکان (متر)*

طبق رابطه فوق هرچه ارتفاع طراحی بیشتر باشد مقدار عددی RCR بزرگ‌تر خواهد بود. RCR به‌طور عملیاتی بین ۱۰ - ۰ محاسبه و به عنوان یکی از ملاک‌های طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بزرگ بودن نسبت فضای اتاق باعث می‌شود که بر اساس قانون عکس مجذور فاصله برای مقدار معینی از توان نوری، دانسیته نور روی سطح کاهش یابد، لذا کوچک بودن نسبت فضای اتاق ارجحیت دارد.



شکل (۲۲) مبنای تعیین ارتفاع طراحی و ارتفاع ناحیه فضای سقف و ناحیه کف

جدول (۹) برآورد محدوده ضریب بهره روشنایی

سامانه روشنایی	نسبت پخش نور به پائین	ضریب بهره روشنایی	شکل تابش روشنایی
مستقیم	٪۹۰–۱۰۰	۰/۴۵–۰/۷۵	
نیمه مستقیم	٪۶۰–۹۰	۰/۴۵–۰/۵۵	
مستقیم– غیرمستقیم	٪۴۰–۶۰	۰/۳۵–۰/۴۵	
نیمه غیرمستقیم	٪۱۰–۴۰	۰/۲۵–۰/۳۵	
غیر مستقیم	٪۰–۱۰	۰/۱۵–۰/۲۰	

از آنجایی که مقادیر TLLF و CU همواره از یک کوچک‌تر است، این دو به عنوان عوامل محدودکننده برای سامانه عمل می‌نمایند. در عمل CU همواره به عنوان ضریب محدودکننده طراحی مداخله دارد ولی TLLF ضریبی است که برای اثر افت‌ها در پایان یک دوره نگهداری سامانه روشنایی استفاده می‌شود. مطالب بالا مؤید این نکته مهم است که تمام شار نوری که توسط منابع تولید می‌شود روی سطح کار تابش نمی‌شود بلکه عوامل تأثیرگذار متعددی که در ضریب بهره نوری و مجموع افت‌ها خلاصه شده، به عنوان محدودکننده عمل می‌کنند. تعیین دقیق عوامل تأثیرگذار بر توزیع و کمیت روشنایی و کنترل آن‌ها برای دستیابی به مناسب‌ترین طراحی، به عهده طراح است. در روش طراحی بر مبنای نسبت فضا این عوامل

و ارتباط آن‌ها قدم به قدم باید رعایت گردد. مهم‌ترین نکاتی که در طراحی و ارزیابی سامانه روشنایی مصنوعی داخلی باید در نظر گرفته شود شامل موارد زیر است:

۱) تناسب سامانه روشنایی با محیط کار
۲) تناسب چراغ و لامپ با نیازهای شغلی و ماهیت کار
۳) رعایت متوسط شدت روشنایی مورد نیاز E_{avg}
۴) تأمین دمای رنگ و شاخص تجلی رنگ منابع متناسب با نیاز شغلی
۵) رعایت ملاحظات فنی در طراحی(مانند ارتفاع نصب چراغ‌ها، چیدمان صحیح برای تأمین روشنایی یکدست، کنترل درخشندگی).
۶) ملاحظات مربوط به نگهداری و تعمیرات

انتخاب سامانه توزیع روشنایی

نحوه تابش نور روی سطوح با توجه به فواصل و زوایا، می‌تواند در تعیین شدت روشنایی در هر نقطه از درون فضای مورد طراحی مؤثر باشد. در طراحی باید توجه شود که هر چه تابش غیر مستقیم باشد، بهره نوری سامانه کمتر و برای تأمین شدت روشنایی معین، نیازمند تعداد بیشتری از منابع روشنایی است. این ملاحظه در هزینه‌های اجرا و نگهداری سامانه روشنایی مستقیماً مؤثر است. در صورتی که امکان‌پذیر باشد، بهترین سامانه تابش نور روی سطح کار، تابش مستقیم است که در آن بین ۹۰ تا ۱۰۰ درصد نور به پایین تابش می‌کند. به همین ترتیب مطابق جدول (۱۰)، در سامانه‌های تابش نیمه مستقیم، مستقیم غیر مستقیم و غیر مستقیم، میزان هدر روی توان نوری بالاتر می‌رود و ضریب بهره نوری سامانه کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که برای برخی اماکن استفاده از سامانه تابشی غیر از مستقیم به دلیل محدودیت‌ها اجتناب ناپذیر است که در این شرایط طراح باید از تبعات آن کاملاً آگاه باشد. در هر سامانه تابش نیز الزاماً از چراغ‌های معینی می‌توان استفاده نمود که خود دارای مشخصات پخش روشنایی ویژه بوده و بهره نوری معینی دارند.

انتخاب چراغ و لامپ

توان نوری لامپ و بالتبع چراغ می‌تواند در به‌کارگیری آن مؤثر باشد. لامپ‌های التهابی حتی با توان الکتریکی بالا به دلیل پایین بودن ضریب بهره نوری برای فضاهای بزرگ و ارتفاع بلند کارایی کافی ندارند. لامپ‌های فلورسنت اغلب برای ارتفاع بالاتر از ۶ متر کارایی ندارند. در عوض لامپ‌های گازی بخار جیوه فشار بالا که دارای توان ۱۶۰ وات باشد تا ارتفاع ۷ متر هم کارایی مناسبی دارند. از این گروه لامپ‌ها با توان ۲۵۰ وات تا ارتفاع ۹ متر، ۴۰۰ وات تا ارتفاع ۱۲ متر و ۱۰۰۰ وات تا ارتفاع ۲۴ متر به‌صورت مجموعه کارایی مناسبی دارند. لامپ‌های بخار سدیم به خاطر ضریب بهره نوری بالا (حدود ۱۰۰ لومن بر وات) برای روشنایی معابر اصلی کارایی مطلوبی دارند اما عامل محدودکننده آن‌ها رنگ دهی پایین است و برای استفاده در روشنایی داخلی و محوطه عبور افراد مجاز نمی‌باشد. با توجه به نحوه تابش روشنایی، نوع منبع، توان نوری منبع و شاخص رنگ دهی مورد نیاز، نوع لامپ و بالتبع نوع چراغ توسط طراح تعیین می‌گردد. با توجه به تشابهاتی که انواع چراغ‌ها دارند اغلب انتخاب دقیق یکی از آن‌ها مشکل است، زیرا شکل چراغ، شکل و خصوصیات منحنی قطبی آن و ویژگی‌های جانبی آن می‌تواند در انتخاب مؤثر باشد. در برخی مکان‌ها نیز به خاطر گرمای محیط به چراغ دارای قابلیت تهویه و در برخی مکان‌ها به چراغ ضد جرقه نیاز است، عامل بسیار مهم دیگر منحنی قطبی چراغ است، زیرا انتخاب نابه‌جای چراغ بدون توجه به شکل منحنی قطبی و کارایی آن هزینه‌های زیادی را اعمال خواهد کرد. در مرحله چیدمان چراغ‌ها در صورتی که منحنی قطبی مناسب نباشد، سایه‌روشن در روی سطوح ایجاد می‌گردد. نکته‌ای که باید در این مرحله رعایت گردد این است که برای ارتفاع بلند طراحی منحنی قطبی عمودی چراغ باید محدود باشد و در ارتفاع کم شکل منحنی باید وسیع باشد. امروزه متأسفانه استفاده نابجا از منابع روشنایی نقطه‌ای پر توان با درخشندگی بالا(همانند چراغ‌های متال هالید یا LED پرتوان) بدون محافظ در اماکن شغلی، صنعتی، اداری، عمومی و حتی مذهبی باعث آزار استفاده‌کنندگان می‌شود. در هیچ شرایطی استفاده از لامپ و سرپیچ به عنوان چراغ و بدون استفاده از قاب محدودکننده مجاز نمی‌باشد. نکته مهم دیگر اینکه برای اماکن عمومی و دفاتر اداری باز و اتاق‌های اداری با ارتفاع کمتر از ۴ متر استفاده از چراغ‌های

نقطه‌ای مجاز نیست و لازم است از منابع خطی یا سطحی استفاده شود که دارای قاب پخش‌کننده نور باشند تا استفاده‌کنندگان در معرض درخشندگی آزار دهنده قرار نگیرند.

متوسط شدت روشنایی مورد نیاز

شدت روشنایی عمومی مورد نیاز برای اماکن مختلف تابع دقت و ظرافت کار است. بر اساس تغییرات ویرایش چهارم کتاب حدود مجاز مواجهه شغلی OEL[1] مصوب وزارت بهداشت، در هر حال شدت روشنایی عمومی داخلی مکان‌های شغلی نباید از ۵۰ لوکس کمتر باشد. هر چه دقت کار یا فعالیت در مکان مورد طراحی بیشتر باشد این میزان بالاتر در نظر گرفته‌شده است. در کتاب مذکور با لحاظ اینکه تأمین روشنایی کافی و مطلوب از نظر ارگونومیک و ایمنی نیز حائز اهمیت بوده و می‌تواند از اختلالات اسکلتی عضلانی مرتبط با روشنایی نیز پیشگیری نماید، مقادیر شدت روشنایی در اماکن شغلی به عنوان حدود الزامی و هم ارزش با OEL به‌صورت اجباری تعیین گردیده است. در این مقررات سه جدول ارائه گردیده است. جدول (۱۰) حدود الزامی میانگین شدت روشنایی عمومی داخلی مورد نیاز (در ارتفاع سطح عمومی کار) برای اماکن مختلف، جدول (۱۱) حدود الزامی شدت روشنایی موضعی مورد نیاز برای مشاغل مختلف ارائه شده است. جدول سوم هم مربوط به شدت روشنایی معابر و محوطه‌های صنعتی و شغلی است. در این الزامات قانونی ذکر گردیده که روشنایی اضطراری که مربوط به زمان‌های خاص نظیر قطع جریان برق اصلی، تعمیرات سامانه اصلی تأمین روشنایی و هنگام حوادث است باید به طور مجزا به گونه‌ای تأمین شده باشد که در هیچ محدوده‌ای از مکان‌های شغلی از ۵۰ لوکس برای فعالیت موقت کمتر نباشد. همچنین در مسیرهای عبور و محدوده‌های خروج اضطراری افراد شدت روشنایی در کف مکان مورد نظر از ۱۰ لوکس کمتر نباشد. نکته مهم این است که مقادیر اعلام شده شرایط کار سالم در شب، ابتدا و انتهای روز و شرایط ابرناکی را تضمین می‌نماید و استفاده از روشنایی طبیعی یا تلفیقی نمی‌تواند دلیلی برای تخفیف در مقادیر جداول فوق‌الذکر باشد.

1 - Occupational Exposure Limits

جدول (۱۰) حدود الزامی* میانگین شدت روشنایی عمومی داخلی** مورد نیاز (Lx)

گروه مکان	خصوصیات مکان	اندازه اشیاء و تصاویر	مثال	میانگین شدت روشنایی عمومی مورد نیاز Lx	شاخص یکدستی E_{min}/E_{avg}
الف	مکان‌هایی با تردد محدود افراد	۱۰ سانتی‌متر	زیرزمین‌ها، راهروها، تونل‌های عبور و زیرگذرهای پیاده رو	۱۰۰	۰/۶
ب	مکان‌هایی با توقف محدود افراد	۱۰ سانتی‌متر	انبارها، راه‌های خروج	۱۵۰	۰/۶
ج	کارهای غیر دقیق	۱۰ سانتی‌متر	بارگیری و تخلیه یا آماده‌سازی مواد اولیه تولید، کارهای عمومی ساختمان	۲۰۰	۰/۶
د	کارهای با دقت متوسط	۵ سانتی‌متر	کارهای خدماتی و تولیدی صنعتی، سالن‌های ورزشی عمومی، اماکن	۲۵۰	۰/۶
ه	کارهای دقیق	۵ میلی‌متر	کارهای اداری، آموزشی تحریری، بهداشتی درمانی، خط مونتاژ قطعات، چاپ، نساجی و پوشاک، اتاق کنترل	۳۰۰	۰/۶

** حدود مجاز مواجهه شغلی ویرایش چهارم ۱۳۹۵*

*** مبنای سنجش، ارتفاع عمومی سطح کار و بر اساس الگوهای شش گانه IES می‌باشد.*

جدول(۱۱) حدود الزامی* شدت روشنایی موضعی مورد نیاز برای مشاغل مختلف (Lx)

گروه شغل	خصوصیات شغل	اندازه اشیاء و تصاویر	مثال	شدت روشنایی موضعی مورد نیاز Lx
الف	کارهای معمول غیر دقیق	۵ سانتی‌متر	مشاغل تولیدی و تعمیرات عادی	۲۵۰
ب	کارهای نسبتاً دقیق	یک سانتی‌متر	مونتاژ قطعات مکانیکی، تعمیر تجهیزات مکانیکی	۲۷۰
ج	کارهای دقیق	۵ میلی‌متر	مشاغل اداری، تحریری یا تایپی، تعمیرات و مونتاژ تجهیزات الکتریکی	۳۰۰
د	کارهای خیلی دقیق	یک میلی‌متر	نقشه‌کشی، طراحی دقیق، مونتاژ یا تعمیر قطعات ریز، قالی‌بافی	۵۰۰
ه	کارهای فوق‌العاده دقیق	کمتر از یک میلی‌متر	طراحی فرش، مینیاتور تعمیرات یا مونتاژ دقیق، کنترل کیفیت	۵۰۰–۱۰۰۰۰
و	کارهای فوق‌العاده دقیق	کمتر از یک میلی‌متر	جراحی	۲۴۰۰۰

** حدود مجاز مواجهه شغلی ویرایش چهارم ۱۳۹۵*

جدول(۱۲) حدود الزامی* میانگین شدت روشنایی برای معابر و محوطه‌های باز (Lx)

خصوصیات مکان	ملاحظات	مبنای سنجش	میانگین شدت روشنایی عمومی مورد نیاز Lx	شاخص یکدستی E_{min}/E_{avg}
محوطه عمومی کارگاه‌های تولیدی و ساختمانی، توقفگاه‌ها، بارانداز‌ها	شامل تردد افراد	کف زمین	۵۰	۰/۳۳
	بدون تردد افراد	کف زمین	۱۵	۰/۱۷
راه‌های اصلی و شریانی	-	کف زمین	۲۰	۰/۳۳
راه‌های فرعی	-	کف زمین	۱۵	۰/۳۳
پیاده‌روها	-	کف زمین	۲۰	۰/۳۳
تونل‌های عبور سواره	-	کف زمین	۵۰	۰/۳۳

** حدود مجاز مواجهه شغلی ویرایش چهارم ۱۳۹۵*

الزامات OEL

علاوه بر معیارهای کلی، الزامات زیر نیز در کتاب حدود مجاز مواجهه شغلی آمده است که برای تأمین کیفیت روشنایی و سلامت شاغلین باید رعایت گردد:

- برای اماکن با ارتفاع کمتر از ۴ متر استفاده از منابع الکتریکی نقطه‌ای (متال‌هالید، LED نقطه‌ای و فلورسنت فشرده کلافی) مجاز نمی‌باشد و توصیه می‌شود منابع روشنایی به‌صورت خطی یا سطحی با نور مات شده[1] باشد.
- برای تأمین روشنایی داخلی اماکن شغلی استفاده از منابع بخار سدیم به دلیل پایین بودن شاخص تجلی رنگ مجاز نمی‌باشد. برای اماکنی که در آن‌ها فعالیت ذهنی یا هوشیاری بالا لازم است برای تأمین نیاز به طیف نور آبی باید دمای رنگ (همبسته)[2] منابع از ۴۰۰۰ درجه کلوین بالاتر باشد.
- شاخص تجلی رنگ[3] منابع الکتریکی برای فعالیت‌های اداری و مشاغلی که به دید کامل رنگ نیاز دارند نباید کمتر از ۸۰ باشد، همچنین برای مشاغل تولیدی شاخص تجلی رنگ منابع نباید کمتر از ۵۰ باشد.

1 - Diffuse
2 - Correlated Color Temperature
3 - Color Rendering Index

- درخشندگی منابع الکتریکی و سایر سطوح در محدوده دید شاغلین نباید از ۱۰۰۰ کاندلا بر متر مربع بیشتر باشد.
- روشنایی اضطراری که مربوط به زمان‌های خاص نظیر قطع جریان برق اصلی، تعمیرات سامانه اصلی تأمین روشنایی و هنگام حوادث است باید به طور مجزا به‌گونه‌ای تأمین شده باشد که متوسط شدت روشنایی برای محیط‌های با خطر پایین ۱۰ لوکس و خطر بالا از ۲۰ لوکس برای فعالیت موقت کمتر نباشد در مسیرهای خروج اضطراری افراد، شدت روشنایی در کف مکان مورد نظر نبایستی از ۵۰ لوکس کمتر باشد.

تعیین ضرایب بازتابش سطوح داخلی

یکی از عوامل بسیار مؤثر در توزیع روشنایی داخل اماکن چگونگی بازتابش نور توسط سطوح داخلی بنا است، لذا توصیه شده است که متوسط ضریب بازتابش سقف بیشترین مقدار و ترجیحاً ۰/۷ یا بالاتر باشد و ضریب مناسب دیوارها حدود ۰/۵ و ضریب مناسب کف بین ۰/۳-۰/۱ باشد. در طراحی روشنایی عامل متوسط ضریب سطوح داخلی می‌تواند ضریب بهره نوری سامانه روشنایی را تا ۴ برابر افزایش دهد. برعکس نامناسب بودن ضرایب بازتابش می‌تواند ضریب بهره روشنایی را تا یک چهارم تضعیف نماید. این عامل از جنبه اقتصادی برای کارفرما و در کلان از نظر بهره‌وری انرژی حائز اهمیت است، زیرا هرچه ضریب بهره روشنایی سامانه کوچک‌تر باشد تعداد چراغ بیشتری برای تأمین روشنایی مجاز لازم است و به‌علاوه هزینه‌های جاری نگهداری و بهای برق مصرفی نیز بالا می‌رود. از نظر طراحی باید شرایط عملی بازتابش سطوح داخلی در پایان دوره نگهداری (نظافت سطوح داخلی) است.

برای تعیین متوسط ضریب بازتابش سطوح باید بر اساس مقادیر واقعی، ضریب بازتابش هر جزء از سطوح به ترتیبی که قبلاً گفته شد، اندازه‌گیری شود و آنگاه با استفاده از فرمول زیر به تفکیک برای سقف، دیوارها و کف به عدد واحدی تبدیل گردد:

$$\alpha_{avg} = \frac{\sum S_i \alpha_i}{\sum S_i}$$

α_{avg} *متوسط ضریب بازتابش هر سطح*

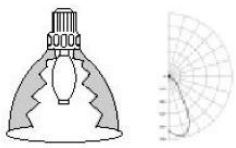
S_i *سطح جزئی*

α_i *ضریب بازتابش جزئی*

ضریب بهره سامانه روشنایی

مجموع توان نوری منبع روشنایی به سطح کار تابش نمی‌شود، بلکه بخشی از آن در داخل چراغ و بخشی دیگر در اثر ضریب جذب سطوح و بخشی دیگر به خاطر قانون عکس مجذور فاصله دچار افت می‌شود. در طراحی روشنایی داخلی برای تأثیر دادن همه این عوامل به‌طور یک‌جا از ضریب بهره روشنایی سامانه (CU) استفاده می‌شود. ضریب مذکور اغلب توسط سازنده معتبر برای هر نوع چراغ با نوع و مدل خاص لامپ تعیین و در جداولی به همراه کالا عرضه می‌شود. ضریب بهره، اگرچه وابسته به عوامل مختلفی است ولی در مجموع بیان کننده کارایی سامانه روشنایی برای بهره‌گیری فضا از مجموع توان نوری چراغ‌ها است. این ضریب به‌طور عملیاتی اغلب بین ۰/۲-۰/۷۵ بسته به مشخصات طراحی قابل دسترسی است. ضریب بهره روشنایی سامانه با استفاده از جدول مشخصات فنی چراغ با داشتن RCR و متوسط ضریب بازتابش نور دیوار و ضرایب بازتابش مؤثر ناحیه سقف ρ_{cc} و ناحیه کف ρ_{fc} تعیین می‌گردد. نمونه جدول تعیین CU توسط جداول الگوی ارائه شده توسط IES در جدول شماره (۱۳) آمده است.

جدول (۱۳) تعیین ضریب بهره روشنایی سامانه توسط چراغ‌های الگوی IES

Typical Intensity Distribution / Typical Luminaire	ρcc →	80			70			50			30			10			0
	ρw →	70	50	30	70	50	30	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
12  High bay, open metal reflector, narrow	RCR ↓	EFF = 87.5%			% DN = 85.9%			% UP = 1.6%			Lamp = M400/C/U SC (along, across, 45°) = 1.1, 1.1, 1						
	0	1.04	1.04	1.04	1.01	1.01	1.01	0.96	0.96	0.96	0.92	0.92	0.92	0.88	0.88	0.88	0.86
	1	0.98	0.95	0.93	0.96	0.93	0.91	0.89	0.87	0.86	0.86	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.78
	2	0.92	0.87	0.83	0.90	0.85	0.82	0.82	0.79	0.76	0.79	0.77	0.74	0.77	0.75	0.73	0.71
	3	0.86	0.80	0.75	0.84	0.78	0.74	0.76	0.72	0.69	0.73	0.70	0.67	0.71	0.68	0.66	0.64
	4	0.81	0.73	0.68	0.79	0.72	0.67	0.70	0.66	0.62	0.68	0.64	0.61	0.66	0.63	0.60	0.59
	5	0.76	0.68	0.62	0.74	0.67	0.61	0.65	0.60	0.56	0.63	0.59	0.56	0.62	0.58	0.55	0.54
	6	0.72	0.63	0.57	0.70	0.62	0.56	0.60	0.55	0.52	0.59	0.54	0.51	0.57	0.54	0.51	0.49
	7	0.67	0.58	0.52	0.66	0.58	0.52	0.56	0.51	0.47	0.55	0.50	0.47	0.54	0.50	0.47	0.45
	8	0.64	0.54	0.48	0.62	0.54	0.48	0.53	0.47	0.44	0.51	0.47	0.43	0.50	0.46	0.43	0.42
	9	0.60	0.51	0.45	0.59	0.50	0.45	0.49	0.44	0.41	0.48	0.44	0.40	0.47	0.43	0.40	0.39
	10	0.57	0.48	0.42	0.56	0.47	0.42	0.46	0.41	0.38	0.45	0.41	0.38	0.45	0.40	0.37	0.36

مجموع افت‌های روشنایی

مجموع افت‌های روشنایی ناشی از عوامل مختلف TLLF[1] با اختصار فاکتور افت، یا ضریب نگهداری سامانه روشنایی، به طور عملیاتی بسته به خصوصیات محیطی و الکتریکی متعددی است و به همین دلیل همواره باید از جانب طراح عوامل تأثیر گذار بر آن مد نظر قرار گیرد. مهم‌ترین عوامل مؤثر بر TLLF شامل موارد زیر است:

الف- میزان تمیزی سطوح داخلی محیط کار

ب- چگونگی انتشار ذرات و بخارات در هوای محیط

ج- تناوب تعویض لامپ‌های سوخته

د- تناوب و نحوه نظافت چراغ‌ها و سطوح

ه- خصوصیات و مشخصات فنی چراغ و لامپ

و - ماهیت و خصوصیات فرآیند کار و نیازهای محیط

ز- خصوصیات الکتریکی سامانه روشنایی

ح- دمای محیط

مقدار TLLF عموماً برای مکان‌های مختلف است و نقش طراح در تعیین آن کلیدی است لذا هرچه مهارت و تجربه طراح بالاتر باشد انتخاب این عامل واقعی‌تر است. اثر کوچک بودن مجموع افت‌ها در طراحی سامانه روشنایی به‌صورت افزایش در تعداد چراغ‌ها نمایان می‌گردد و دارای تبعات اقتصادی برای کارفرما است. اگرچه این ضریب به عنوان فاکتور افت نام‌گذاری شده است ولی عملاً نقش آن به عنوان فاکتور نگهداری سامانه روشنایی است. در شرایط مساوی از نظر CU، چراغی بهتر است که فاکتور افت بزرگ‌تری داشته باشد. به همین خاطر کیفیت فنی چراغ و بالا بودن استاندارد ساخت آن و عدم نیاز به مراقبت دائمی می‌تواند در افزایش این فاکتور مؤثر باشد. هم‌چنین ایجاد شرایط یا مقرراتی که نگهداری و تعمیرات سامانه را تضمین نماید نیز همین اثر را دارد. TLLF عملاً دارای مقدار عددی کوچک‌تر از یک

1- Total Light Loss Factor

و برای بهترین وضعیت حدود ۰/۸ می‌باشد در برخی حالات این ضریب ممکن است تا ۰/۳ نیز تنزل یابد. فاکتور افت روشنایی حاصل‌ضرب هشت عامل مؤثر بر افت روشنایی سامانه است و از طریق فرمول ذیل محاسبه می‌شود:

$$TLLF = TF \times VF \times RSDD \times LDD \times LLD \times (1\text{-}LBF) \times LSD \times BF$$

TF عامل دما است که در مکان‌های با دمای معمول برابر با یک و در غیر آن مطابق نظر سازنده و به‌صورت ضریبی کوچک‌تر از یک لحاظ می‌گردد.

VF عامل ولتاژ برق است و معمولاً بر مبنای وضعیت تأمین نیروی برق بین ۰/۹۷ تا ۰/۹۵ در نظر گرفته می‌شود.

RSDD افت سطوح داخلی بنا در اثر گرد و غبار محیط[1] و کثیفی سطوح است که از جدول مربوطه متناسب با با درجه تمیزی صنعت محاسبه می‌گردد.

LDD افت در اثر کثیفی سطح چراغ[2] است که برای گروه‌های ۶ گانه چراغ از طریق محاسبه یا از طریق جداول

LLD افت لومن لامپ[3] در اثر کارکرد و حدوداً ۰/۹۳ در نظر گرفته می‌شود.

LBF درصد لامپ‌های سوخته[4] که بر اساس برآورد طراح و ماهیت صنعت و نگهداری سامانه تعیین می‌شود و اغلب برابر ۰/۰۵ است.

LSD افت در اثر تغییر سطوح داخلی کاسه‌چراغ[5] است که برای سطوح رنگ شده برابر ۰/۹۸ و سطوح فلزی یا پلاستیک ۰/۹۹ انتخاب می‌شود.

BF عامل افت بالاست[6] یا بالاست چراغ است که بسته به کارایی آن تعیین می‌شود و برای بالاست استاندارد برابر یک است.

تعداد چراغ مورد نیاز

تعداد چراغ مورد نیاز وابسته به میزان شار نوری کل برای تأمین روشنایی و لومن هر واحد چراغ برای هر محدوده طراحی است. پس از تعیین مقادیر CU و TLLF با داشتن مساحت

1 - Room Surface Dirt Depreciation
2 - Luminaire Dirt Depreciation
3 - Lamp Lumen Depreciation
4 - Lamp Burned Factor
5 - Luminare Surface Depreciation
6 -Ballast Factor

محدوده مورد طراحی و متوسط شدت روشنایی عموی مورد نیاز با کمک رابطه زیر شار نوری کل مورد نیاز چراغ‌ها به دست می‌آید و با تقسیم این عدد بر شار نوری هر واحد چراغ، تعداد چراغ‌ها محاسبه می‌گردد:

$$\phi_t = \frac{E_{avg} \times A}{CU \times TLLF} \qquad n = \frac{\phi_t}{\phi_l}$$

ϕ_t مقدار کل شار نوری مورد نیاز(لومن)

ϕ_l مقدار شار نوری چراغ(لومن)

E_{avg} شدت روشنایی عمومی مورد نیاز (لوکس)

CU ضریب بهره روشنایی سامانه

$TLLF$ مجموع افت‌های روشنایی در اثر عوامل مختلف

A مساحت مکان مورد طراحی (مترمربع)

n تعداد چراغ مورد نیاز

مثال: برای یک کارگاه تولید مصنوعات فلزی که طبق جدول (۱۰) میانگین شدت روشنایی ۲۵۰ لوکس نیاز دارد. و دارای ابعاد ۲۰ × ۶۰ متر و ارتفاع جانبی ۸ متر باشد، اگر از چراغ‌های بخار جیوه ۲۵۰ وات استفاده شود و ضریب بهره نوری سامانه ۰/۵۸ و ضریب مجموع افت‌های روشنایی ۰/۶۱ باشد، تعداد چراغ مورد نیاز چند دستگاه می‌باشد؟

$$\phi_t = \frac{E_{avg} \times A}{CU \times TLLF} = \frac{250 \times (20 \times 60)}{0.56 \times 0.60} = \frac{300000}{0.336} = 892857\ lm$$

$$n = \frac{\phi_t}{\phi_l} = \frac{892857}{250 \times 60} = 59.5 \approx 60$$

* حال برای چیدمان منظم باید ۴ ردیف چراغ که در هر ردیف ۱۵ دستگاه چراغ نصب گردد.

چیدمان چراغ‌ها

در آخرین مرحله از محاسبات طراحی برای حفظ یک‌دستی روشنایی داخل بنا، باید چراغ‌ها در طول و عرض بنا به‌صورت ردیف‌ها و فواصل منظم در هر ردیف چیده شوند. تعداد ردیف‌ها و تعداد چراغ در هر ردیف تابع تعداد کل چراغ‌ها و نسبت طول به عرض مکان مورد طراحی است. چیدمان باید به‌گونه‌ای باشد که شاخص یکدستی مندرج در جدول OEL تأمین گردد.

در خصوص روشنایی موضعی، مفهوم میانگین شدت روشنایی موضوعیت ندارد. در این طراحی با رعایت اصول پیش گفت، شدت روشنایی در هیچ نقطه از سطح کار نباید از ارقام مندرج در جدول OEL کمتر باشد.

در مورد روشنایی محوطه‌ای و جاده‌ای با توجه به اصول پیش گفت و رعایت موارد مهم در تأمین روشنایی مندرج در جدول OEL ، لازم است شاخص یکدستی تعیین شده نیز رعایت گردد. یک معیار مهم برای رعایت یکدستی روشنایی در این اماکن فاصله چراغ‌ها از هم می‌باشد. برای جلوگیری از سایه روشن نباید فاصله دو پایه روشنایی مجاز از ۴ برابر ارتفاع نصب چراغ‌های آن‌ها بیشتر باشد.

اصول طراحی پنجره‌ها برای تامین روشنایی طبیعی

عوامل مختلفی بر میزان شدت تابش نور طبیعی روی سطوح افقی و عمودی بنا و بالتبع میزان بهره‌گیری از آن در داخل بنا مؤثر می‌باشد. مهمترین عوامل شامل: عرض جغرافیایی، فصل سال، موقعیت خورشید(زاویه ارتفاع و زاویه انحراف از خط جنوب)، موقعیت اقلیمی مکان مورد نظر، ساعات روز، ابعاد پنجره، ضلع قرارگیری پنجره، جنس و خصوصیات لایه شفاف پنجره، خصوصیاتبازتابشی و رنگ سطوح داخلی بنا و نهایتاً خصوصیات سطوح خارج بنا شامل زمین و ساختمانها است. طراحی پنجره‌ها باید به گونه‌ای باشد که روشنایی یکنواخت و متناسب با نیاز استفاده‌کنندگان را تامین نماید. از نظر فنی، امکان طراحی پنجره برای تامین روشنایی بخشی از ساعات میانی روز میسر است اما در هر حال باید متوسط شدت روشنایی مطابق معیارهای OEL باشد. استفاده از سامانه تلفیقی روشنایی طبیعی و

مصنوعی نیز امکان‌پذیر است اما در این حالت نیز باید معیارهای کمی و کیفی روشنایی در تمام طول روز با جدول حدود مجاز مواجهه شغلی (جدول ۱۰) متناسب گردد.

اصول طراحی روشنایی طبیعی

در صورتی که امکان استفاده از روشنایی روز برای یک بنا وجود داشته باشد لازم است اصول زیر در طراحی بنا و سطوح داخلی رعایت گردد:

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) به حداقل ممکن کاهش یابد. عمق فضایی که توسط هر پنجره می‌توان از روشنایی موثر استفاده نمود از ۱/۵ برابر ارتفاع پنجره تجاوز نمی‌کند. در صورت لزوم پنجره‌های قائم سقفی می‌تواند مفید باشد.

۴. پوشش سطوح داخلی باید دارای رنگ و ضریب بازتابش مناسب برای توزیع بهتر روشنایی باشند. در این توصیه برای کف سطوحی با ضریب بازتابش 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 بازتابش حدود ۰/۵ بوده و دائماً نظافت گردند.

۶. استفاده از دستگاهها، 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. شکل پنجره و جانمایی آن باید به گونه‌ای باشد که کمترین خیرگی را برای کارکنان ایجاد نماید. بهتر است کف پنجره‌ها ار ارتفاع خط دید کارکنان بالاتر باشد و در صورتی که منظر اهمیت ندارد، از لایه نیمه

شـفاف(دیفیوز) یا شـیشه مات استفاده شود. پنجره‌های با نمای عرضی[1] و نزدیک به سقف مناسب هستند.

۸. مسـاحت پنجره‌ها باید برای نورگیری مکان کافی باشـد. نسـبت مسـاحت پنجره به مسـاحت اتاق بسـته به نیاز و میزان دقت و ظرافت کار بین ۵ تا ۳۰ درصـد تعیین می‌شود. جدول (۱۴) این نسبت‌ها را برای پنجه‌های جنوبی پیشنهاد می‌کند.

۹. متوسـط سـالیانه ارزش پنجره‌های شـمالی یک سـوم 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 بوته های بلند میزان نورگیری پنجره را کاهش می دهد.

۱۲. شفافیت شیشه ها و تمیزی آنها در نورگیری نقش مهمی دارد.

۱۳. اسـتفاده از شـیشـه مات خصـوصـاً در پنجره‌های بلند برای جلوگیری از تابش نور با درخشندگی بالا روی سطوح داخلی توصیه می‌گردد.

۱۴. اسـتفاده از پنجره‌ها برای تامین روشـنایی متناسـب با OEL مسـتلزم وجود سـامانه روشنایی مصنوعی بطور تلفیقی می‌باشد.

جدول (۱۴) نسبت سطح پنجره جنوبی به سطح بنا در برخی اماکن

نمونه اماکن و مشاغل	**نسبت سطح پنجره به سطح مکان ٪**
راهروها و مکانهایی با حداقل تردد افراد	۵-۱۰
انبارها و مشاغل با دقت پایین	۱۰-۱۵
اماکن تولیدی و خدماتی و مشاغل با دقت متوسط	۱۵-۲۰
اماکن اداری و مسکونی	۲۰-۲۵
اماکن خاص و مشاغل ظریف با دقت بالا	۲۵-۳۰
توجه: نسبتهای فوق برای اماکن دارای هوای تمیز می‌باشد. برای اماکن صنعتی معمولی در ۱/۲۵ و برای اماکن صنعتی دارای بار آلودگی ذرات در ۱/۵ ضرب شود.	

1 - Landscape

گفتار پنجم: اندازه‌گیری و ارزیابی روشنایی

نظارت بر تأمین، حفظ و ارتقاء روشنایی مطلوب به همراه تأمین پارامترهای کیفی برای اهداف بهداشت، ایمنی و آسایش، مستلزم اندازه‌گیری و ارزیابی روشنایی در معابر، محوطه‌ها و داخل اماکن صنعتی و شغلی است. نظر به اینکه اندازه‌گیری و ارزیابی روشنایی در محیط‌های مختلف نیازمند روش مناسب می‌باشد، شناخت کامل در مورد اصول و روش‌های اندازه‌گیری، خصوصیات محیط، حدود الزامی، نیاز استفاده‌کنندگان و جنبه‌های کیفی تأمین روشنایی دارای اهمیت است. مهم‌ترین نکاتی که باید قبل از اقدام به اندازه‌گیری و ارزیابی روشنایی در نظر گرفته شود، شامل موارد زیر است:

الف - تعیین هدف اندازه‌گیری

ب - انتخاب وسیله مناسب اندازه‌گیری

ج - گردآوری اطلاعات مورد نیاز از محل و نیازهای شاغلین

د - تعیین زمان اندازه‌گیری

ه – تعیین روش مناسب اندازه‌گیری

و – شناخت و توجه به حدود الزامی روشنایی عمومی، موضعی ، محوطه‌ای و جاده‌ای

هدف اندازه‌گیری

قبل از اقدام به اندازه‌گیری باید هدف کار معلوم گردد. برای دستیابی به هر هدف، روش، دستگاه و نحوه ارزیابی متفاوت می‌باشد. اندازه‌گیری روشنایی می‌تواند به منظورهای گوناگونی انجام گردد:

الف- اندازه‌گیری محیطی: به‌منظور تعیین توزیع شدت روشنایی و متوسط آن، توزیع درخشندگی روی سطوح محیط و بازرسی روشنایی از دیدگاه ایمنی و بهداشت

ب- اندازه‌گیری موضعی: برای مشخص نمودن شدت روشنایی یا درخشندگی در موضع کار یا موضع خاص

ج- اندازه‌گیری به‌منظور ارزیابی فنی و ممیزی انرژی

وسایل اندازه‌گیری

اندازه گیری شـدت روشـنایی با دسـتگاهی بنام نورسنج[1] یا لوکس متر[2] انجام می شود. نورسنج‌ها انواع مختلفی دارند ولی همه آن‌ها در خصوصیات و قابلیت‌هایی مشترک هستند. هر نورسنج از سه جزء اساسی: دریافت‌کننده، پردازشگر و نمایشگر تشکیل شده است.

دریافت‌کننده شامل حسگر و سیم رابط است. حسگر نورسنج، سلول فتوولتاییک حالت جامد[3] از جنس سلنیوم، آرسنید گالیوم یا سیلیکون و معروف به سلول فتوالکتریک[4] یا فتوسل است. سلول فتوالکتریک انرژی نورانی را در موضع قرارگیری خود دریافت و میزان هم ارز انرژی الکتریکی آن را به مدار تقویت کننده و پردازشگر دستگاه گسیل می‌کند. برای حسگرهای نور پایین از سولفید کادمیوم و سلنید کادمیوم استفاده می‌شود.

پردازشگر جریان الکتریکی رسیده را تقویت و با توجه به اصول حاکم بر معادلات فیزیک نور پردازش و در صورت نیاز برخی محاسبات را نیز بر روی آن انجام می‌دهد. در صورتی که دستگاه دارای حافظه باشد، پردازشگر می‌تواند مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین را ذخیره نماید. یکی از قابلیت‌های مهم دستگاه نورسنج سرعت پاسخ آن است. اغلب این دستگاه‌ها در محدوده پاسخ معمولی هستند و تغییرات سریع شدت روشنایی را حس نمی‌کنند. برخی از دستگاه‌ها برای منظورهای خاص (مانند حرکت در داخل تونل‌ها) می‌توانند تغییرات سریع شدت روشنایی را نیز دریافت و ثبت نمایند. پردازشگرها دارای مبنای محاسبات هستند و مبنای آن‌ها معمولاً لوکس می‌باشد. دقت اندازه‌گیری نیز یکی دیگر از خصوصیات پردازشی دستگاه است که به دریافت‌کننده نیز مربوط می‌باشد. امروزه اغلب دستگاه‌ها دیجیتال بوده و دقتی در حد ۰/۱ لوکس دارند و برای بازرسی‌های معمول مناسب هستند، اما در انجام اندازه‌گیری دقیق و امور پژوهشی ممکن است به‌دقت ۰/۰۱ و بالاتر نیز نیاز باشد که سازندگان معتبری همچون کمپانی Hagner چنین دستگاه‌هایی را به بازار عرضه نموده‌اند.

1 -Photometer
2 -Luxmeter
3 - Solid-stste photovoltaic detectio
4 - Photoelectric cell

قابلیت دستگاه در اندازه‌گیری محدوده شدت روشنایی یکی دیگر از معیارهای انتخاب دستگاه است. اغلب دستگاه‌های معمولی شدت روشنایی را تا ۲۰۰۰۰ لوکس، مدل‌های بالاتر تا ۵۰۰۰۰ لوکس و مدل‌های پیشرفته تا ۱۰۰۰۰۰ لوکس اندازه‌گیری می‌نمایند. بدیهی است که با توجه به هدف اندازه‌گیری و نیاز، می‌توان انواع آن‌ها را تهیه نمود. نورسنج‌هایی که هم اکنون به‌صورت دیجیتال یا حتی عقربه‌ای در بازار موجود هستند، با توجه به محدوده وسیع اندازه‌گیری توسط یک سلکتور به چند بخش X × 1، X × 10، X × 100 یا بالاتر تقسیم شده‌اند. نکته مهم در به‌کارگیری دستگاه این است که در انتخاب‌های غیر از X×1 دقت اندازه‌گیری کاهش می‌یابد.

نمایشگرهای فعلی اکثراً دیجیتال هستند و خطای قرائت در آن‌ها منتفی می‌باشد. لیکن مشکلات مربوط کثیف بودن سطح فتوسل، تغییر رنگ سطح آن و کیفیت باتری می‌تواند بر کار نورسنج تأثیر نامطلوب داشته باشد. توصیه می‌شود ضمن نگهداری مطلوب و تمیز بودن سطح فتوسل، همواره از باتری‌های مرغوب و ترجیحاً آلکالین استفاده شود. شکل (۱۰) نمونه‌هایی از نورسنج را نشان می‌دهد.

شکل (۱۰) نمونه نورسنج متداول

روش کار با دستگاه نورسنج

برای اندازه گیری شـدت روشـنایی روی یک سـطح باید بدون تغییر در شرایط محیط و ایجاد سـایه یا نیم‌سـایه مزاحم، فتوسـل دسـتگاه روی سـطح مورد نظر قرار گیرد و شدت روشـنایی قرائت شـود. تغییر زاویه قرارگیری فتوسـل باعث خطا در اندازه‌گیری می‌شود. در اندازه گیری محیطی باید فتوسل در ارتفاع مورد نظر (ارتفاع عمومی سطح کار) به طور افقی قرار گیرد و شدت روشنایی قرائت گردد.

سنجش درخشندگی

درخشندگی سطوح توسط دستگاه‌های فتومتر پیشرفته قابل اندازه‌گیری است. در این دستگاه‌ها یک سلول دریافت‌کننده داخلی تعبیه شده است که در واقع توسط یک منعکس کننده تصویر سطح مورد اندازه‌گیری و دانسیته نور آن روی سلول فتوالکتریک می‌افتد و سلول مربوطه بر اساس نسبت سطح، مقدار هم ارز دانسیته نور را به‌صورت سیگنال الکتریکی به پردازشگر دستگاه می‌فرستد. شکل دستگاه همانند دوربین تصویربرداری یا شکاری است که با استفاده از زاویه نمای چشمی آن و متمرکز کردن نقطه دید اپراتور قابلیت اندازه‌گیری درخشندگی را روی سطوح مختلف دارد. همان‌طور که در شکل (۱۱) نشان داده شده است، در چشمی دستگاه سنجنده، روی محورهای زاویه نما، یک دایره تمرکز روی هدف وجود دارد که اپراتور با تطابق چشمی آن بر روی سطح یا شیء مورد نظر قادر است هم‌زمان نمایشگر دستگاه را هم ببیند و درخشندگی سطح را سنجش نماید.

چنین دستگاه‌های معمولاً دوکاره هستند و با تعبیه یک فتوسل خارجی قادر هستند شدت روشنایی را نیز اندازه‌گیری نمایند. دستگاه‌های پیشرفته قادرند با تعویض سلول دریافت‌کننده خارجی، مادون قرمز و ماورای بنفش دور را نیز اندازه‌گیری نمایند. سلول‌هایی که قادر به اندازه‌گیری دو پرتو فوق موسوم به سلول‌های فتوکانداکتور[1] هستند که از جنس سولفید کادمیوم یا سلنید کادمیوم تهیه شده‌اند.

1 - Photocunductor detector

شکل (۱۱) دستگاه پیشرفته اندازه‌گیری شدت روشنایی و درخشندگی

کالیبراسیون

مشخصه‌های مهم هر دستگاه اندازه‌گیری مستقیم، صحت و دقت آن است. در مورد دقت قبلاً توضیح داده شد، اما صحت اندازه‌گیری یا به عبارت دیگر اعتبار مقادیر اندازه‌گیری شده دستگاه نورسنج آن است که مقادیر اندازه‌گیری شده آن با مقادیر واقعی تطابق داشته باشد. با توجه به اینکه در این دستگاه‌ها از دریافت‌کننده فتوالکتریک استفاده می‌شود، حساسیت سلول مربوطه، به طیف مرئی است و در نتیجه در صورت امکان با کالیبراسیون خارجی دستگاه (برای اندازه‌گیری شدت روشنایی) یا کالیبراسیون سلول داخلی (برای اندازه‌گیری درخشندگی) می‌توان از قابلیت دستگاه اطمینان حاصل نمود. دو روش برای کالیبراسیون پیشنهاد می‌گردد:

- کالیبراسیون نقطه صفر
- کالیبراسیون منبع استاندارد

در کالیبراسیون نقطه صفر باید با تاریک کردن سطح سلول دریافت‌کننده، انرژی دریافتی به صفر رسانده شود. در مورد سلول خارجی می‌توان با پوشاندن دریافت‌کننده توسط یک غلاف ضخیم چرمی یا پارچه‌ای و حتی پوشاندن آن با کف دست و روشن

نمودن دستگاه، نمایشگر (در حالت اندازه گیری بدون ضریب) در این حالت باید عدد صفر را نشـان دهد. در غیر این صورت باید با پیچاندن پیچ تنظیم (پتانسیومتر) نمایشگر صفر شود. در صـورتی که دسـتگاه پیچ تنظیم نداشـته باشـد، عدد مربوطه باید به عنوان عدد تصحیح دسـتگاه در نتایج اندازه گیری لحاظ شـود. به‌طور مثال اگر در شرایط آزمون دستگاه به‌جای صـفر عدد ۱۵ لوکس را نشان دهد، این به آن معنی است که در هر بار اندازه گیری باید ۱۵ لوکس از عدد قرائت شده کسر گردد که این حالت برای حالات X×10، X×100 (اندازه‌گیری ۱۰۰۰ لوکس به بالا) دقت کافی ندارد.

کالیبراسـیون توسط منبع استاندارد باید در آزمایشگاه و تحت شرایط مخصوص باشد و در آن باید توسـط یک منبع نور با طیف کامل با تابش همدوس در فاصله معین روی سطح فتوسـل تابش نماید و با توجه به معلوم بودن دانسـیته نور روی سطح دریافت‌کننده، امکان انجام کالیبراسیون وجود دارد.

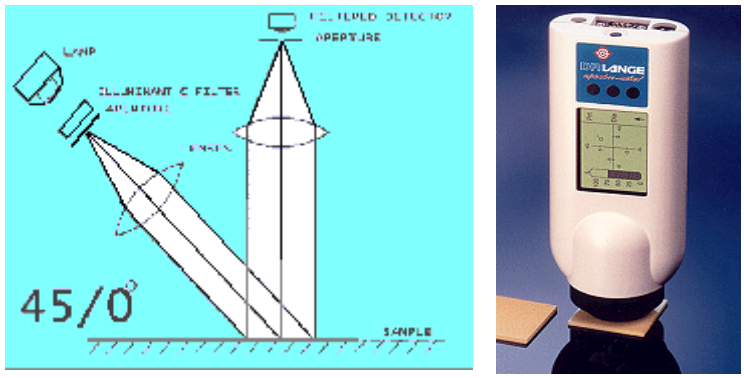
برای کالیبراسـیون بخش سنجش درخشندگی که دارای سلول داخلی است، باید توسط اهرم مخصـوص که در دسـتگاه تعبیه شـده است، روی سلول دریافت‌کننده تاریک شود. در این حال میزان درخشـندگی روی صفحه نمایشگر باید صفر باشد. در غیر این صورت توسط پیچ تنظیم صفر می‌شود یا عدد انحراف به عنوان عدد تصحیح یادداشت می‌گردد.

سنجش ضریب بازتابش

برای اندازه‌گیری دقیق ضریب بازتابش سطوح از یک دستگاه اختصاصی به نام رفلکتومتر[1] استفاده می‌شود. این دستگاه در واقع فتومتری است که به‌طور ویژه برای این کار طراحی شده است. این کار توسط یک دستگاه اسپکتروفتومتر ویژه با قابلیت عملیاتی مناسب انجام می‌گردد و در آن برای نمونه مورد آزمایش با تولید طیف معین و تاباندن آن از نمونه، بازتابش از روی سطح مورد آزمایش دریافت و نتایج آن توسط آزمایشگر تفسیر می‌شود. دستگاه‌های پرتابلی که امروزه به بازار عرضه شده‌اند، قادرند ضریب بازتابش سطوح و حتی طیف بازتابش

1 - Reflectometer

آن‌ها را سنجش نمایند. در این دستگاه‌ها نور را از یک روزنه کوچک با زاویه ۴۵ درجه روی سطح مورد آزمایش می‌تابانند و در زاویه صفر درجه یعنی عمود بر سطح، بازتابش آن را توسط دریافت‌کننده، حس و پس از انجام محاسبات نتایج را روی نمایشگر نشان می‌دهند. شکل(۱۲) نحوه تابش و نمونه دستگاه‌های رفلکتو اسپکترومتر را نشان می‌دهد.



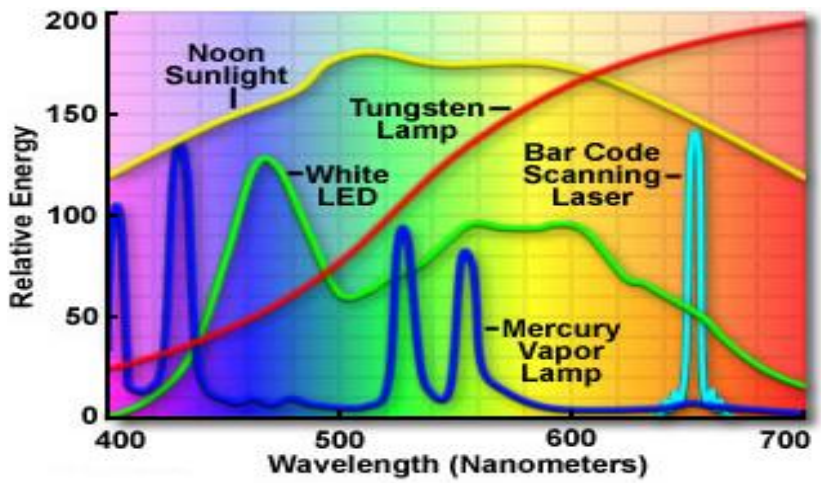
شکل (۱۲) نحوه تابش و نمونه دستگاه‌های رفلکتو اسپکترومتر

روش فوق‌الذکر نیاز به دستگاه تخصصی دارد. یک راه ساده برای تعیین ضریب بازتابش سطوح مصالح استفاده از نور سنج معمولی است. این آزمایش در دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول، بدون ایجاد مانع یا سایه نسبی روی موضع مورد سنجش، فتوسل دستگاه را روی سطح موضع قرار می‌دهند و شدت روشنایی را اندازه می‌گیرند. در مرحله دوم فتوسل را رو به سطح مورد نظر در فاصله حدود ۱۵ سانتی‌متری طوری تنظیم می‌کنند که سایه یا نیم‌سایه فتوسل یا دست آزمایشگر روی موضع نیفتد، در این حالت نیز شدت روشنایی که در واقع میزان بازتابش انرژی نورانی از سطح است، اندازه‌گیری می‌شود. نسبت عدد قرائت شده در مرحله دوم به عدد قرائت شده در مرحله اول آزمایش، ضریب بازتابش نور سطح مورد نظر تحت تابش موجود است. طبعاً برای نتیجه مطلوب باید در این آزمایش طیف نور تابشی کامل باشد. آزمایش ساده فوق زمانی معتبر است که منبع نور دارای تابش وسیع یا توزیع نور در محل آزمایش، کاملاً یک‌دست باشد. در صورتی که شرایط مذکور برقرار نباشد باید از منبع

موضعی ثابت استفاده شود و در مرحله دوم آزمایش (زمان اندازه‌گیری بازتابش) فتوسل دستگاه نورسنج، مقابل زاویه بازتابش نور از روی سطح مورد آزمایش قرار گیرد.

طیف‌سنجی نور

برای اندازه‌گیری بیناب نور در تابش روشنایی منابع به‌طور عمومی از دستگاه اسپکترورادیومتر[1] استفاده می‌شود. دستگاه مذکور قادر است با فیلتر نمودن نور منابع در طول‌موج‌های معین با باند باریک، مقادیر نسبی و مجموع تابش در بیناب نور مرئی و حتی محدوده‌های قبل و بعد از آن را تعیین نماید. دستگاه‌های موجود علاوه بر تجزیه تابش طیف روشنایی منابع، دمای رنگ و شاخص تجلی رنگ نور منبع مورد آزمایش را نیز تعیین می‌نمایند. شکل (۱۴) نمونه تجزیه طیفی لامپ‌های متداول را نشان می‌دهد.



شکل (۱۴) نمونه تجزیه طیفی لامپ‌های متداول

گردآوری اطلاعات مورد نیاز

اولین مرحله از فرایند اندازه‌گیری و ارزیابی روشنایی، جمع‌آوری اطلاعات لازم در محیط مورد سنجش کار و نیازهای استفاده‌کنندگان می‌باشد. در این مرحله ابتدا باید نقشه ساده‌ای

1 - Spectroradiometer

از محیط مورد نظر که دارای مقیاس و مشخصات مهم مرتبط با تأمین روشنایی باشد تهیه گردد، سپس با کد بندی نقشه، اطلاعات مربوط به هر کد شامل: محله‌ای تردد و توقف افراد، مدت‌زمان کار آنان و اطلاعات مربوط به میزان دقت مورد نیاز و سایر موارد مهم لیست شود.

در مرحله بعد، علاوه بر اطلاعات فوق‌الذکر، ابعاد بنا، مشخصات اپتیکی و جنس سطوح داخلی، مشخصات فنی سامانه روشنایی مانند پارامترهای طراحی، خصوصیات منابع روشنایی و درصد لامپ‌های سوخته، نحوه نگهداری سامانه و سایر اطلاعات ضروری به فهرست اطلاعات اضافه و در فرم مربوطه ثبت گردد. در مورد روشنایی محوطه‌ای و جاده‌ای نیز شبیه به این اطلاعات باید تهیه شود. برای این کار، نمونه فرم‌های اندازه‌گیری و ارزیابی در پایان همین مبحث آمده است.

الزامات روشنایی

مقادیر الزامی برای روشنایی عمومی و موضعی در محیط‌های بسته، محوطه ها و معابر محدوده‌های صنعتی و شغلی توسط مرکز سلامت محیط و کار در کتاب حدود مجاز مواجهه شغلی تحت عنوان مقادیر الزامی هم ارز با OEL آمده است که در حال حاضر معیار کشوری برای ارزیابی روشنایی در محیط‌های کار می‌باشد. در این حدود علاوه بر معیار شدت روشنایی سایر معیارهای کمی و کیفی مرتبط با تأمین روشنایی مطلوب آورده شده است که در فرایند ارزیابی روشنایی مد نظر قرار می‌گیرد.

زمان اندازه‌گیری

یکی از معیارهای مهم در تائید اعتبار نتایج اندازه‌گیری روشنایی، زمان آن است. تأثیر تابش نور روز در ساعات مختلف بر کمیت روشنایی داخل اماکن انکارناپذیر است، لذا می‌توان اثبات نمود که شدت روشنایی داخل بنا در ساعات مختلف روز اگرچه وابسته به تابش منابع مصنوعی نور است، اما کمیت تابش نور خورشید به داخل مکان مورد نظر نیز اثر افزایشی دارد. پیش از طلوع آفتاب و هنگام غروب آن و همچنین روزهای ابری اثر تابشی خورشید در داخل بناها حداقل است. در مقابل، ساعات میانی روزهای آفتابی تابش نور خورشید در داخل

اماکن با عمق فضای محدود، استفاده از روشنایی مصنوعی را منتفی می‌کند. در اماکن مسقف بزرگ مانند کارگاه‌ها و سالن‌های عمومی تغییرات اثر تابشی نور طبیعی به دلیل عمق فضا، کمتر است. در ساعات تاریکی شب که تابش طبیعی تقریباً به صفر می‌رسد، سامانه روشنایی مصنوعی باید کارایی کافی در تأمین شدت روشنایی مورد نیاز داشته باشد.

به دلایل فوق می‌توان گفت که انتخاب ساعت اندازه‌گیری دارای اهمیت زیادی است. برای ارزیابی روشنایی مصنوعی محوطه‌ها و معابر طبعاً باید برای اندازه‌گیری شدت روشنایی و درخشندگی در شب انجام گردد. برای اماکن شغلی و صنعتی لازم است اندازه‌گیری در شب انجام گردد. در صورتی که انجام اندازه‌گیری در شب مقدور نباشد این کار باید پیش از طلوع آفتاب یا بعد از غروب آن به‌گونه‌ای انجام شود که نور طبیعی اثر مزاحمتی در هیچ‌یک از ایستگاه‌های مورد سنجش نداشته باشد. به هر حال ساعت، تاریخ و شرایط اندازه‌گیری باید در فرم مربوطه قید گردد زیرا نتایج فقط برای آن شرایط معتبر است. معیار اعلام شده توسط OEL برای تضمین کفایت و مطلوبیت روشنایی در شرایط نبود یا کمبود روشنایی طبیعی در محیط کار است و باید در تمام محله‌ای کار تأمین شده باشد. طبعاً در صورتی که برای ساعات معینی از روز امکان بهره‌گیری تلفیقی از روشنایی طبیعی و مصنوعی امکان‌پذیر باشد، خاموش نمودن بخشی از سامانه روشنایی مصنوعی مجاز است به شرط اینکه معیارهای مربوط به کمیت و کیفیت روشنایی حفظ گردد.

روش‌های اندازه‌گیری روشنایی

دستیابی به نتایج روشن و ارزیابی معتبر در اندازه‌گیری روشنایی، ضروری است که به دور از افراط و تفریط با استفاده از راه‌کارهای مدون شده و علمی، به اندازه‌گیری روشنایی پرداخت. بر اساس اهداف بازرسی روش‌های اندازه‌گیری روشنایی در محیط‌های کار را می‌توان در دو مبحث مهم اندازه‌گیری روشنایی عمومی و موضعی تقسیم نمود که در ادامه مبحث تشریح خواهد شد.

برای اندازه‌گیری روشنایی عمومی، با انتخاب ایستگاه‌های معین، شدت روشنایی عمومی محل در سطح افق و ارتفاع معینی که متناسب با نیاز شاغلین باشد، اندازه‌گیری

می‌شود. در این روش برای بازرسی بهداشتی، ایستگاه بندی و اندازه‌گیری به دو روش عملیاتی امکان‌پذیر است. این دو روش شامل روش الگوهای انجمن مهندسین روشنایی (IES) و روش شبکه‌ای می‌باشد.

روش اندازه‌گیری الگویی

انجمن بین‌المللی مهندسین روشنایی (IES) بر اساس مطالعات و تجربیات خود، الگوهایی را برای ایستگاه‌بندی نقاط اندازه‌گیری در داخل اماکن برای تعیین و ارزیابی متوسط شدت روشنایی مصنوعی داخل اماکن تدوین و منتشر نموده است. الگوهای مذکور بسته به شیوه چیدمان چراغ‌ها در مکان و نوع آن‌ها (از نظر نقطه‌ای یا خطی بودن) معرفی شده‌اند. در الگوهای مذکور با انتخاب حداکثر ۱۸ ایستگاه اندازه‌گیری در کارگاه بدون محدودیت مساحت، توسط ضرایبی که برای نقاط مختلف تعیین شده، با انجام یک محاسبه ساده، متوسط شدت روشنایی محل به دست می‌آید.

الگوهای IES

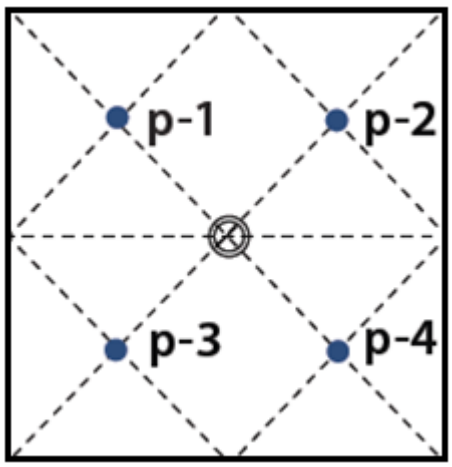
الگوهای پیشنهادی IES مبتنی بر اندازه‌گیری نمونه‌های وزن یافته‌ای از مقادیر شدت روشنایی در اماکن است که از نظر آماری، ضرایب یا ارزش هر خوشه ایستگاه تعیین شده و بسته به الگوی چیدمان چراغ در محاسبه متوسط شدت روشنایی لحاظ شده است. در این الگوها حتی برای مکان‌های وسیع، حداکثر ۱۸ ایستگاه اندازه‌گیری برای تعیین متوسط شدت روشنایی کافی است. به‌علاوه، نقاط شدت روشنایی حداقل و حداکثر هم در آن معلوم می‌شود.

در اندازه‌گیری و تطبیق این الگوها بر مکان مورد بررسی باید توجه داشت که در صورت تغییرات، دست‌کاری یا خرابی در بخشی از سامانه روشنایی، کارشناس باید بر اساس چیدمان اولیه چراغ‌ها از الگوی مناسب استفاده نماید و پس از محاسبه شدت روشنایی متوسط اشکالات سامانه روشنایی را در گزارش قید نماید. به تجربه می‌توان گفت حتی در کارگاه‌های صنعتی که بیشترین دست‌کاری و تغییرات در چیدمان چراغ‌ها در طول زمان صورت می‌گیرد

هم می‌توان با انطباق یکی از این الگوها بر کارگاه مورد بررسی آن را مورد ارزیابی قرار داد. الگوهای مورد بحث در ۶ گروه به‌شرح زیر آمده است:

I - در صورتی که یک منبع نقطه‌ای روشنایی موجود باشد، چهار ایستگاه P_1 تا P_4 در یک چهارم قطرهای اتاق مطابق شکل (۱۵) تعیین و در آن ایستگاه‌ها، شدت روشنایی در سطح افق و در ارتفاع عمومی کار اندازه‌گیری شود. متوسط شدت روشنایی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$E_{avg} = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + p_4}{4}$$



شکل (۱۵) الگوی یکم در اندازه‌گیری روشنایی عمومی داخلی

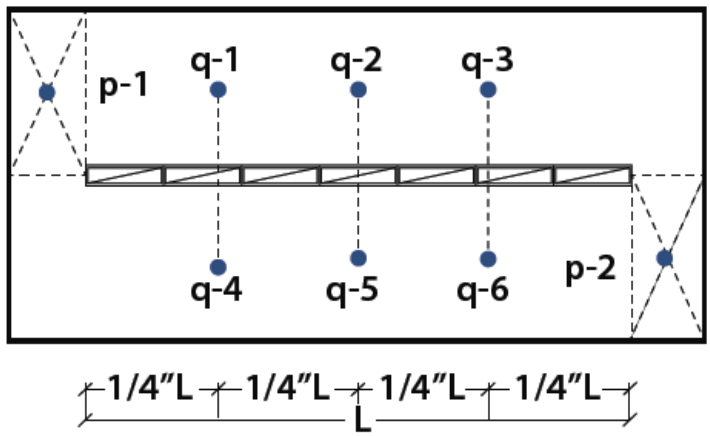
II - در صورتی‌که در یک مکان با عرض کم، یک ردیف چراغ خطی (فلورسنت) متصل به هم موجود باشد، مطابق شکل (۱۶) تعداد ۸ ایستگاه تعیین و در آن‌ها اندازه‌گیری به‌عمل آید. نقاط P نزدیک گوشه و نقاط q در دو طرف ردیف چراغ، حد فاصل دیوار و زیر چراغ تعیین شوند. هر چه تعداد چراغ‌ها بیشتر باشد به همان نسبت فواصل q بیشتر می‌شود. در مرحله بعد مقادیر شدت روشنایی در نقاط هم نام میانگین‌گیری شود و در رابطهٔ زیر متوسط شدت روشنایی محل محاسبه گردد:

$$P = \frac{\sum p_i}{n} \qquad Q = \frac{\sum q_i}{n}$$

n تعداد ایستگاه اندازه‌گیری هم نام در هر خوشه

$$E_{avg} = \frac{QN + P}{N + 1}$$

N تعداد چراغ



شکل (۱۶) الگوی دوم در اندازه‌گیری روشنایی عمومی داخلی

مثال: اگر در الگوی دوم نتایج اندازه‌گیری شامل موارد زیر باشد، شدت روشنایی عمومی را حساب کنید.

q_1=125	q_2=132	q_3=125	q_4=124	q_5=131	q_6=124
p_1=96	p_2=85				

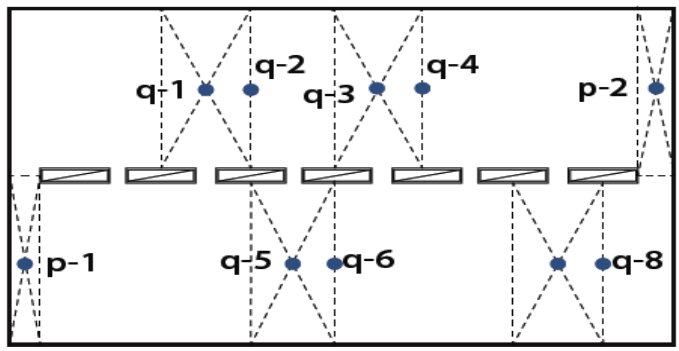
$$Q = \frac{125 + 132 + 125 + 124 + 131 + 124}{6} = 126.8 Lx$$

$$P = \frac{96 + 85}{2} = 90.5 Lx$$

$$E_{avg} = \frac{(126.8 \times 6) + 90.5}{7} = 121.6 Lx$$

III- در صورتی که در یک مکان با عرض کم یک ردیف چراغ خطی (فلورسنت) یا نقطه‌ای با فاصله نصب شده باشد. به‌ترتیب شکل (۱۷)، در ۱۰ ایستگاه تعیین شده شدت روشنایی اندازه‌گیری و طبق رابطه زیر متوسط شدت روشنایی آن مکان محاسبه شود:

$$E_{avg} = \frac{Q(N-1)+P}{N}$$



شکل (۱۷) الگوی سوم در اندازه‌گیری روشنایی عمومی داخلی

IV- در مکان‌های وسیع با ارتفاع کم، استفاده از چراغ‌های خطی در چند ردیف بدون فاصله یا با فاصله کمتر از طول چراغ معمول است. در این حالت باید طبق الگوی شکل (۱۸) اندازه‌گیری روشنایی در ۱۲ ایستگاه انجام و میانگین مقادیر در ایستگاه‌های هم نام به رابطه زیر منتقل و متوسط شدت روشنایی مکان محاسبه می‌شود:

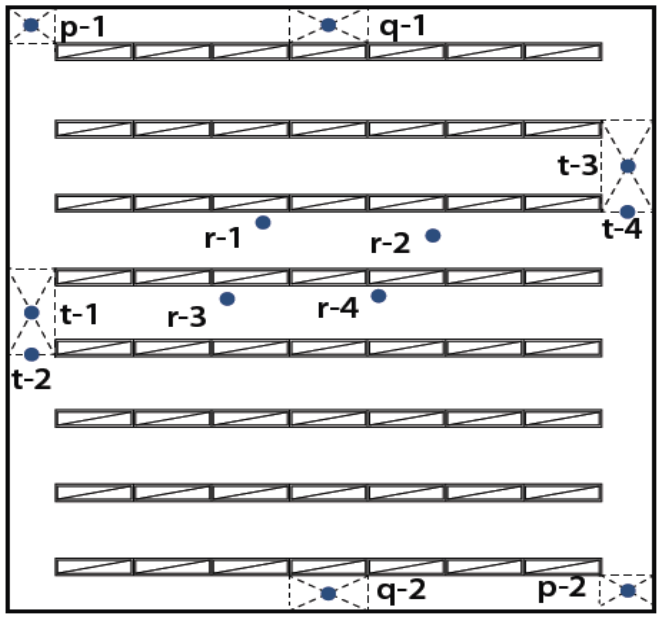
$$R = \frac{\sum r_i}{n} \qquad T = \frac{\sum t_i}{n}$$

$$E_{avg} = \frac{QN + T(M-1) + P + RN(M-1)}{M(N+1)}$$

M *تعداد ردیف چراغ*

N *تعداد چراغ در هر ردیف*

n *تعداد اندازه‌گیری‌های هم نام*



شکل (۱۸) الگوی چهارم در اندازه‌گیری روشنایی عمومی داخلی

مثال: در صورتی که نتایج اندازه‌گیری روشنایی در یک سالن کامپیوتر به‌شرح زیر در ایستگاه‌های الگوی ۴ میانگین‌گیری شده باشد، متوسط شدت روشنایی سالن را محاسبه نمایید.

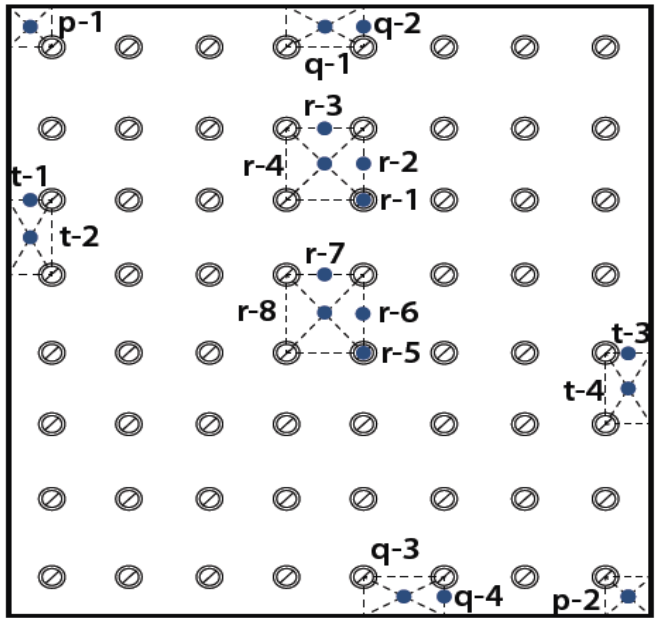
P = 115 Lux	Q = 175	T = 169	R = 235	N = 10	M = 7

$$E_{avg} = \frac{(175\times 10)+(169\times 6)+115+235\times 10\times(7-1)}{7\times 11} = 220.5Lx$$

۷- در اماکن بزرگ با ارتفاع زیاد، به خاطر نیاز به توان نوری بالا اغلب از منابع نقطه‌ای در چند ردیف استفاده می‌شود. صرف نظر از تعداد چراغ در ردیف‌ها و مساحت مکان، طبق الگوی شکل(۱۹) شدت روشنایی در ۱۸ ایستگاه اندازه‌گیری می‌شود و میانگین مقادیر

در ایستگاه‌های هم‌نام به رابطه زیر منتقل و متوسط شدت روشنایی مکان محاسبه می‌شود:

$$E_{avg} = \frac{Q(N-1) + T(M-1) + P + R(N-1)(M-1)}{MN}$$



شکل (۱۹) الگوی پنجم در اندازه‌گیری روشنایی عمومی داخلی

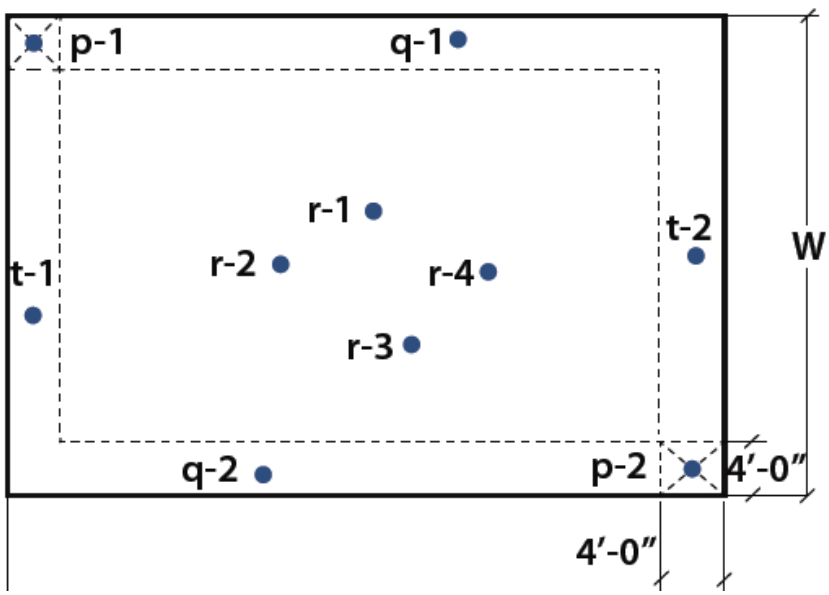
مثال: در صورتی که نتایج اندازه‌گیری روشنایی در یک کارگاه صنعتی که دارای منابع نقطه‌ای در چند ردیف است، به‌شرح زیر در ایستگاه‌های الگوی ۵ میانگین‌گیری شده باشد، متوسط شدت روشنایی کارگاه را محاسبه نمایید.

P = 75 Lux	Q =140	T = 150	R = 250	N = 5	M = 5

$$E_{avg} = \frac{(140\times4)+(150\times4)+75+250\times(5-1)\times(5-1)}{25} = 209.4Lx$$

VI- در صورتی که منابع روشنایی در حاشیه سقف[1] نصب شده باشند، برای تعیین نقاط اندازه‌گیری، طبق الگوی شکل (۲۰) باید در فاصله ۱/۲ متری از کناره دیوارها خطوط فرضی تجسم و نقاط P و q و t در فاصله ۰/۶ متری دیوار در ارتفاع عمومی کار اندازه‌گیری شود. در مرکز مکان با فاصله چهار نقطه r نیز اندازه‌گیری و پس از میانگین‌گیری شدت روشنایی در نقاط هم نام به رابطه زیر منتقل و متوسط شدت روشنایی محاسبه می‌شود. در این روش بجای استفاده از ضرایب تعداد چراغ، از ضرایب طول L و عرض W استفاده می‌شود:

$$E_{avg} = \frac{R(L-8)(W-8) + 8Q(L-8) + 8T(W-8) + 64P}{WL}$$



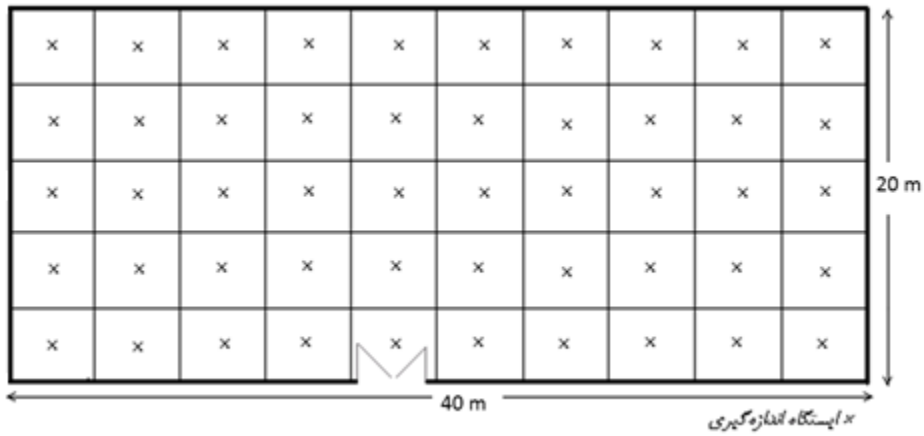
شکل (۲۰) الگوی پنجم در اندازه‌گیری روشنایی عمومی داخلی

1- Loverall

روش شبکه‌ای

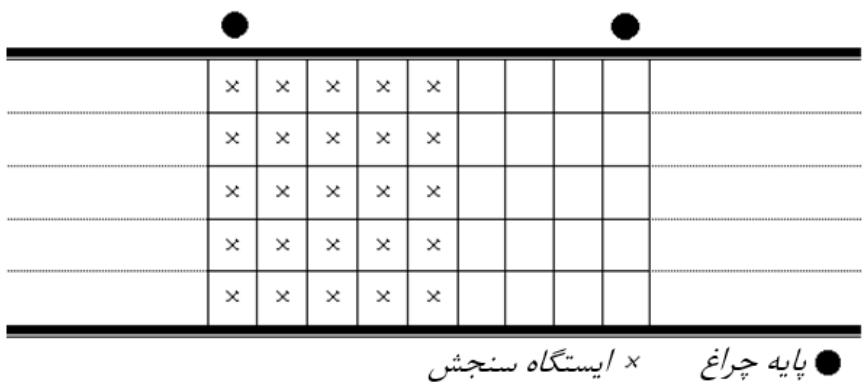
استفاده از روش شبکه‌ای برای ارزیابی روشنایی عمومی و مقایسه با مقادیر OEL توصیه نمی‌شود. لیکن در صورتی که امکان تطبیق چیدمان چراغ‌ها بر یکی از الگوهای IES امکان‌پذیر نباشد، استفاده از روش شبکه‌ای با حداقل ۳۰ و حداکثر ۶۰ ایستگاه در هر محدوده سنجش مجاز می‌باشد. این روش در مکان‌های کوچک، کاربرد چندانی ندارد. در این روش محاسبات متوسط‌گیری باید به‌گونه‌ای باشد که نتایج سنجش روشنایی در ایستگاه‌هایی که محل استقرار کارگران است دو برابر سایر ایستگاه‌ها لحاظ گردد. این روش اصولاً برای تعیین چگونگی توزیع روشنایی عمومی در سطح مکان مورد بررسی، تعیین محدوده‌های مختلف توزیع نور به کمک ترسیم منحنی‌های ایزولوکس و تشخیص یک‌دستی روشنایی عمومی کاربرد دارد. مرکز هر خانه شطرنجی در این روش یک ایستگاه اندازه‌گیری خواهد بود. در هر یک از ایستگاه‌ها باید شدت روشنایی در سطح افق (فتوسل دستگاه نورسنج باید به‌صورت کاملاً افقی قرار گیرد) اندازه‌گیری و روی پلان شطرنجی یا جدول کدبندی شده مربوط به پلان ثبت گردد. نتایج این اندازه‌گیری، توزیع شدت روشنایی را در سطح مکان نشان می‌دهد. برای این کار ابتدا، پس از تهیه نقشه ساده محل مورد بررسی، سطح مکان (محوطه، کارگاه یا معبر) به‌صورت شبکه شطرنجی منظم با الگوی زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

- برای مکان‌های سربسته و محوطه‌ها، ابعاد هر خانه شطرنجی ۲ تا ۵ متر بسته به ابعاد مکان، تعیین می‌شود. برای تعیین ایستگاه‌ها پیشنهاد می‌شود نسبتی از مساحت مکان مورد بررسی باشد. به‌طور مثال برای طول و عرض ۴۰ در ۲۰ متر، تعداد ۵۰ خانه شطرنجی منتظم به ابعاد ۴ × ۴ متر همانند شکل (۲۱) تقسیم گردد.



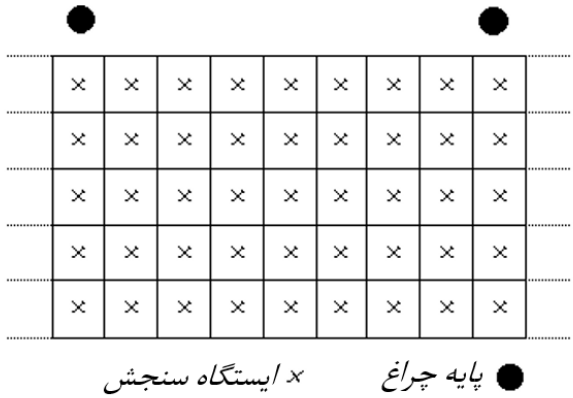
شکل (۲۱) نمونه روش شبکه‌ای در اندازه‌گیری شدت روشنایی یک سالن

- برای معابر، عرض معبر به ۵ خانه و حد فاصل دو تیر به ۹ خانه تقسیم شود. در این روش اندازه‌گیری فقط در ۵ خانه از طول معبر (حد فاصل دو تیر چراغ) و ۵ خانه عرض معبر به‌گونه‌ای انجام می‌گردد که در ردیف اول یک ایستگاه در خط زیر چراغ و ایستگاه پنجم درست در وسط فاصله دو چراغ باشد. (جمعاً ۲۵ ایستگاه اندازه‌گیری) شکل (۲۲) نمونه این روش را نشان می‌دهد.



شکل (۲۲) روش شبکه‌ای در اندازه‌گیری شدت روشنایی یک معبر

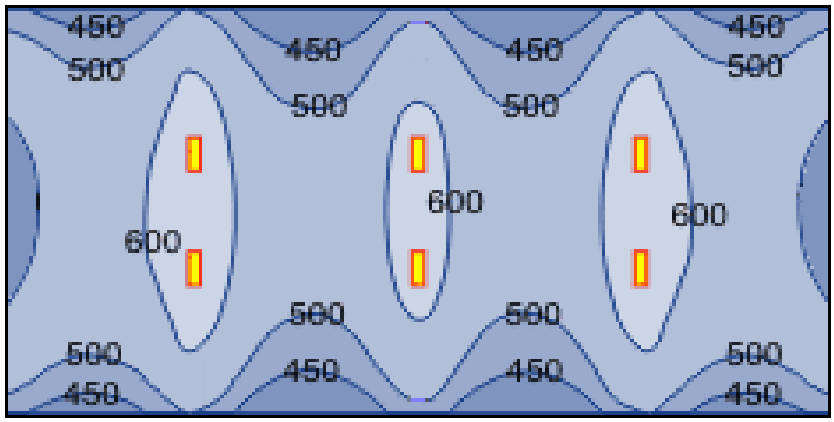
- برای اندازه‌گیری روشـنایی در محوطه‌ها شبیه به روش معابر عمل می‌شود، با این تفاوت که باید تمام ایسـتگاه‌های حد فاصـل دو چراغ (جمعاً ۴۵ ایسـتگاه) مطابق شکل (۲۳) اندازه‌گیری شود.



شکل (۲۳) روش شبکه‌ای در اندازه‌گیری شدت روشنایی یک محوطه

با استفاده از جدول اطلاعاتی به دست آمده از نتایج اندازه‌گیری شبکه‌ای، مقادیر و مکان شدت روشنایی حداقل و حداکثر به دست می‌آید. با استفاده از نتایج می‌توان مکان مورد نظر را به نواحی با شدت روشنایی کمتر از حد الزام و در حد الزام تقسیم و نقشه جدیدی با همین محتوا و به‌صورت رنگی(طوسی برای زیر حد الزام و زرد برای حد الزام و بالاتر)، به عنوان لایه اطلاعاتی کاربردی ترسیم نمود.

یکی از استفاده‌های مهم از نتایج اندازه‌گیری طبق روش شبکه‌ای، تهیه نقشه خطوط ایزولوکس است. با استفاده از نتایج و درون‌یابی مقادیر با استفاده از نرم‌افزارهای متداول همانند SURFER و ArcGIS می‌توان لایه اطلاعاتی جدیدی بر مبنای منحنی‌های هم‌اندازه شدت روشنایی (ایزو لوکس) یا بافرهای محدوده شدت روشنایی به‌صورت دو بعدی و سه بعدی ترسیم نمود. شکل (۲۴) نمونه‌ای از این نقشه‌ها را نشان می‌دهد. علاوه بر آن انجام محاسباتی که توزیع آماری مقادیر شدت روشنایی در محدوده مورد بررسی را بیان کند (به‌جز متوسط گیری) در گزارش دهی، مفید خواهد بود.



شکل (۲۴) نمونه نقشه منحنی‌های ایزولوکس

ملاحظه مهم:

استفاده از روش شبکه‌ای برای اندازه‌گیری روشنایی مصنوعی داخلی اگرچه دارای مزایایی است، لیکن به دلایل زیر باید با احتیاط مورد استفاده قرار گیرد:

- تعداد ایستگاه‌های اندازه‌گیری نسبتاً زیاد و اجرای این روش وقت‌گیر است.
- با توجه به اینکه نقاط مختلف در محدوده مورد اندازه‌گیری ارزش هم اندازه‌ای ندارند، نمی‌توان با استفاده از آن‌ها به میانگینی از شدت روشنایی (که معیار اصلی ارزیابی روشنایی عمومی است) دست یافت. طبعاً انجام محاسباتی که منجر به تعیین شدت روشنایی عمومی گردد، بدون لحاظ کردن ارزش نسبی ایستگاه‌ها، اشتباه است.
- در حدود مجاز OEL برای موارد استثناء روشنایی داخلی راه‌حلی پیشنهاد گردیده است. در صورتی که امکان تطبیق چیدمان چراغ‌ها بر یکی از الگوهای IES امکان‌پذیر نباشد، استفاده از روش شبکه‌ای با حداقل ۳۰ و حداکثر ۶۰ ایستگاه در هر محدوده سنجش مجاز می‌باشد. در این روش محاسبات متوسط‌گیری باید به‌گونه‌ای باشد که نتایج سنجش روشنایی در ایستگاه‌هایی که محل استقرار کارگران است دو برابر سایر ایستگاه‌ها لحاظ گردد.

ارزیابی روشنایی تلفیقی

در بسیاری از محیط‌های شغلی و در ساعات روز امکان استفاده از روشهایی طبیعی به صورت منفرد یا به صورت تلفیقی با سامانه روشنایی مصنوعی وجود دارد. حال این سوال مطرح است که برای ارزیابی روشنایی در ساعات روز چگونه عمل نماییم؟ در پاسخ باید گفت که در ارزیابی روشنای عمومی اصل بر تامین روشنایی برای ساعاتی است که استفاده از روشنایی طبعی محدودیت دارد. به طور مثال برای کارگاهی که فقط شامل شیفت روز از ساعت ۷ صبح تا ۴ بعد از ظهر باشد، بایستی میانگین روشنایی عمومی از حد الزامی OEL کمتر نباشد. با توجه به اینکه در ساعات اولیه صبح در فصول پاییز و زمستان اثر روشنایی طبیعی بسیار ناچیز است، سامانه روشنایی طبیعی باید بتواند به تنهایی شدت روشنایی مورد نیاز کارگاه را تامین نماید. طبعاً برای کارگاههای که شیفت دوم و سوم نیز دارند این الزام عینی‌تر خواهد بود. به همین دلیل اکیداً توصیه شده است که اندازه‌گیری روشنایی عمومی باید در شب یا ساعات ابتدا و انتهای روز انجام شود تا اثر روشنایی طبیعی در نتایج ارزیابی ایجاد خطا ننماید. در صورتی که در کارگاه مورد بررسی سامانه تلفیقی روشنایی طراحی شده باشد و تغییرات متوسط شدت روشنایی در طول روز به گونه‌ای باشد که هیچگاه از متوسط روشنایی مندرج در جدول ۱۰ کمتر نشود. استفاده از روشنایی تلفیقی مجاز می‌باشد لیکن همانطور که در متن OEL آمده، این وضعیت به هیچ وجه مجوزی برای تخفیف در معیارهای طراحی یا خاموش نمودن سامانه روشنایی در طول روز نیست. در سامانه روشنایی تلفیقی، تنظیم سهم روشنایی طبیعی و مصنوعی برای تامین متوسط شدت روشنایی عمومی به هر صورت(دستی-نیمه دستی یا خودکار) که انجام شود فقط از جهت اقتصادی یا بهبود کیفیت روشنایی قابل اعتنا خواهد بود و مجوزی برای تخفیف در معیارهای اندازه‌گیری و ارزیابی ندارد. در بازرسی روشنایی حفظ کلیه معیارها اعم از کمی و کیفی باید در کل طول شیفت باید ملاک باشد و مقادیر شدت روشنایی مندرج در جدول ۱۰ حداقل سطح انتظار از تامین روشنایی برای تایید مطلوبیت سامانه است.

اندازه‌گیری روشنایی موضعی

برای اندازه‌گیری شدت روشنایی موضعی باید ضمن حفظ وضعیت عادی در موضع مورد سنجش، فتوسل دستگاه در موضع مورد نظر قرار داده شود و شدت روشنایی قرائت گردد. نکات و ملاحظات مهم در این روش اندازه‌گیری موارد زیر است:

- با توجه به هدف اندازه‌گیری، موضع مورد نظر که همان محل استقرار فرد مورد نظر است تعیین گردد
- برای اندازه‌گیری موضعی، لوکس مترهایی که فتوسل روی آن‌ها نصب است مناسب نیست، زیرا به‌طور ناخودآگاه هنگام قرائت آن، امکان ایجاد سایه روی موضع توسط آزمایشگر وجود دارد.
- دقت شود که با تغییر زاویه فتوسل میزان شدت روشنایی دریافتی توسط دستگاه تغییر می‌کند، لذا باید فتوسل در وضعیت مناسب قرار گیرد. برای اندازه‌گیری شدت روشنایی در سطح افق، شیب‌دار یا عمود، فتوسل باید در همان وضعیت درست روی سطح دید کارگر قرار گیرد.
- برای اندازه‌گیری شدت روشنایی در موضع کار، دقت شود که سایه یا نیم‌سایه بدن یا دست آزمایشگر روی موضع نیفتد و کارگر نیز تغییر وضعیت ندهد. در این حالت فتوسل دستگاه نورسنج باید در محدوده دید کارگر و با همان زاویه معمول قرار داده و مقدار شدت روشنایی قرائت گردد.
- طبق توصیه OEL برای ارزیابی روشنایی موضعی سه ایستگاه کافی می‌باشد. این سه ایستگاه در سطح کار که باید مورد سنجش قرار گیرد شامل: محدوده بیشترین مدت زمان رؤیت، و دو ایستگاه در طرفین آن در محدوده دید است. در ارزیابی روشنایی موضعی هیچ‌یک از آن‌ها نباید از جدول شماره (۱۱) بالاتر باشد.
- روی سطح پایانه‌های تصویری سنجش شدت روشنایی اشتباه است، زیرا خود منبع روشنایی هستند برای این سطوح باید درخشندگی اندازه‌گیری شود.

اندازه‌گیری درخشندگی منابع و سطوح

برای اندازه‌گیری درخشندگی منابع، کافی است با استفاده از یک فتومتر با قابلیت اندازه‌گیری درخشندگی، روی سطح قابل رؤیت چراغ یا لامپ آن متمرکز و مقدار درخشندگی اندازه‌گیری شود. باید توجه داشت که چراغ به حداکثر نوردهی خود رسیده باشد. به همین دلیل توصیه شده است که بهتر است بعد از یک ساعت از روشن بودن چراغ، درخشندگی سطح آن از زاویه و فاصله دید ناظر (یا کارکنان) اندازه‌گیری شود.

با توجه به اینکه فتومترهای سنجش درخشندگی شامل سلول داخلی و سلول خارجی هستند، توصیه می‌شود به‌منظور تضمین دقت در زاویه فتوسل مربوطه از فتومترهای سلول داخل که دارای تنظیم چشمی(همانند دوربین) هستند، استفاده شود. هرچه سطح درخشنده کوچک‌تر باشد یا سطح فتوسل دستگاه با سطح درخشنده غیر مقابل باشد احتمال خطای اندازه‌گیری بالاتر است.

برای اندازه‌گیری درخشندگی سطوح، لازم است که در حالت معمول کار سامانه روشنایی و زمانی که منابع در حداکثر نوردهی خود هستند با تمرکز دایره زاویه‌یاب چشمی دستگاه روی سطح مورد نظر در فاصله ناظر (یا کارکنان) درخشندگی آن اندازه‌گیری شود. طبق توصیه OEL برای ارزیابی درخشندگی سه موضع کافی می‌باشد. این سه ایستگاه در سطح کار که باید مورد سنجش قرار گیرد شامل: محدوده بیشترین مدت زمان رؤیت، سطح مقابل دید که معمولاً دیوار یا پنجره است و سطح زمینه محدوده دید که معمولاً سطح زمین است، در ارزیابی روشنایی، درخشندگی هیچ‌یک از آن‌ها از نباید از $۱۰۰۰\ cd/m^2$ بالاتر باشد.

ملاحظات ارزیابی روشنایی

حدود الزامی OEL (ویرایش چهارم) برای مؤلفه‌های کمی و کیفی روشنایی موازینی را تعیین نموده است. به لحاظ اینکه تأمین روشنایی کافی و مطلوب حائز اهمیت بوده و می‌تواند با کارایی و سلامت ذهنی و پیشگیری از اختلالات اسکلتی عضلانی مرتبط باشد، موارد زیر باید در ارزیابی مورد ملاحظه قرار گیرد:

- حدود الزامی که در جداول ۱۹ و ۲۰ کتاب OEL آمده است شامل شدت روشنایی عمومی داخلی و موضعی بر مبنای خصوصیات مکان و دقت مورد نیاز برای رؤیت واضح اشیاء و تصاویر است.
- مقادیر تعیین شده در جداول فوق شرایط کمی روشنایی برای کار در شب و ساعات ابتدا و پایانی روز را تضمین می‌نماید و استفاده از روشنایی طبیعی به‌تنهایی یا تلفیق با روشنایی مصنوعی حتی در شیفت ثابت روز (اماکن تک شیفت) نمی‌تواند دلیلی برای تخفیف در مقادیر الزامی این مبحث گردد.
- جدول ۲۱ مقادیر الزامی متوسط شدت روشنایی برای محوطه‌ها و معابر در محدوده‌های شغلی را تعیین نموده است. شدت روشنایی مورد نیاز در جداول فوق‌الذکر بر حسب لوکس تعیین شده است.
- اندازه‌گیری مقادیر شدت روشنایی باید توسط دستگاه سنجش روشنایی دیجیتال با دقت ۰/۱ لوکس و به‌صورت کالیبره شده در ارتفاع سطح کار انجام شود.
- زمان اندازه‌گیری باید در شرایط روشنایی مصنوعی باشد. لذا باید زمان اندازه‌گیری شب، ساعات اولیه یا پایانی روز باشد تا اثر روشنایی طبیعی در اندازه‌گیری‌ها ایجاد مداخله ننماید.
- معیار تعیین ایستگاه‌های اندازه‌گیری روشنایی عمومی استفاده از روش الگویی مورد قبول انجمن مهندسین روشنایی در ارتفاع عمومی سطح کار و محاسبات مربوط به آن می‌باشد.
- در صورتی که امکان تطبیق چیدمان چراغ‌ها بر یکی از الگوهای مذکور امکان‌پذیر نباشد، استفاده از روش شبکه‌ای با حداقل ۳۰ و حداکثر ۶۰ ایستگاه در هر محدوده سنجش مجاز می‌باشد. در این روش محاسبات متوسط‌گیری باید به‌گونه‌ای باشد که نتایج سنجش روشنایی در ایستگاه‌هایی که محل استقرار کارگران است دو برابر سایر ایستگاه‌ها لحاظ گردد.

- در اندازه‌گیری روشنایی موضعی نیز باید حداقل سه ایستگاه در سطح کار(که یکی از آن‌ها محدوده بیشترین زمان رؤیت باشد) مورد سنجش قرار گیرد و ارقام هیچ‌یک از آن‌ها از حدود الزامی جدول ۲۰ نباید کمتر باشد.
- در جدول شماره ۱۲ حدود توصیه شده میانگین شدت روشنایی مورد نیاز برای معابر و محوطه‌های باز مختلف آورده شده است. معیار تعیین ایستگاه‌های اندازه‌گیری روشنایی عمومی در محوطه‌ها بر اساس معیار شبکه‌ای مورد قبول انجمن مهندسین روشنایی در سطح معابر و محوطه‌ها با رعایت شاخص یکدستی توزیع روشنایی می‌باشد.
- روشنایی اضطراری که مربوط به زمان‌های خاص نظیر قطع جریان برق اصلی، تعمیرات سامانه اصلی تأمین روشنایی و هنگام حوادث است باید به طور مجزا به‌گونه‌ای تأمین شده باشد که متوسط شدت روشنایی برای محیط‌های با خطر پایین ۱۰ لوکس و خطر بالا از ۲۰ لوکس برای فعالیت موقت کمتر نباشد در مسیرهای خروج اضطراری افراد، شدت روشنایی در کف مکان مورد نظر نبایستی از ۵۰ لوکس کمتر باشد.

علاوه بر معیارهای ذکر شده سایر الزامات زیر نیز برای تأمین کیفیت روشنایی و سلامت شاغلین که در صفحه ۶۲ و متن OEL ذکر شده باید رعایت گردد:

روش ارزیابی روشنایی مصنوعی

پس از اتمام اندازه‌گیری‌های شدت روشنایی و درخشندگی، نوبت به ارزیابی وضعیت روشنایی می‌رسد. ارزیابی روشنایی عبارت از مطابقت مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر حدود مجاز OEL و اظهار نظر در خصوص مطلوبیت سامانه تأمین روشنایی است. دو شرط کلی برای مطلوبیت روشنایی داخلی اماکن قابل تعریف است:

۱. مطابقت شدت روشنایی عمومی یا موضعی در مقایسه با مقادیر الزام

۲. تأمین ویژگی‌های کیفی برای راحتی دید[1]

مطلوبیت[2] روشنایی به معنی تأمین شرایط ایمن، بهداشتی و راحت کار یا زندگی در تحت یک سامانه روشنایی است. مطلوبیت دارای شرایطی است که یکی از آن‌ها کافی بودن شدت روشنایی در محیط است. در صورت عدم وجود هر یک از عوامل مطلوبیت، سامانه روشنایی کفایت لازم را در تأمین راحتی افراد نخواهد داشت.

عوامل مؤثر بر مطلوبیت شامل: شدت روشنایی، محدوده طول‌موج نور، مسیر تابش، نحوه توزیع روشنایی، درخشندگی روی سطوح مورد رؤیت. ویژگی‌های بازتابشی و جنس سطوح مورد رؤیت، وضعیت نگهداری سامانه تأمین روشنایی، نظافت سطوح داخلی و مانند آن می‌باشند. برخی از این معیارها کمی و برخی دیگر کیفی هستند.

تأمین پارامترهای کمی مانند متوسط شدت روشنایی، اگرچه شرط‌های لازم هستند اما بیان‌کننده کفایت سامانه برای تأمین بهداشت و راحتی نمی‌باشند. به‌طور عملیاتی، در ارزیابی روشنایی اماکن و محدوده‌های شغلی، معیارهای مطلوبیت با تشخیص کارشناس به‌ترتیب زیر معرفی می‌شوند. لذا سامانه روشنایی مطلوب سامانه‌ای است که:

۱. متوسط شدت روشنایی باید مطابق الزام OEL باشد.
۲. اصول کلی طراحی رعایت شده باشد (تناسب سامانه تابش روشنایی، تناسب منبع با نیاز محیط، ارتفاع طراحی، چیدمان صحیح منابع).
۳. سایه‌روشن محسوس وجود نداشته باشد(با معیار عددی OEL مطابقت داشته باشد).
۴. شاخص دمای رنگ (CCT) و شاخص تجلی رنگ (CRI) منابع روشنایی کافی باشد.
۵. درخشندگی منابع و سطوح مورد رؤیت در حدی باشد که سبب آزار نشود (درخشندگی در محدوده دید از cd/m^2 ۱۰۰۰ بالاتر نباشد).
۶. نگهداری و نظافت سامانه روشنایی در حد قابل قبول باشد (نسبت لامپ‌های سوخته کمتر از ۵٪ باشد)

1 - Visual comfort
2 - Desirability

نتایج اندازه‌گیری و تشخیص معیارهای مطلوبیت روشنایی عمومی و موضعی باید در فرم مربوطه که نمونه آن در جدول سامانه ثبت نتایج آمده است درج می‌گردد و نهایتاً کارشناس باید نظر خود را در ذیل فرم ثبت نماید. با استفاده از نتایج ارزیابی اظهارنظر نهایی در مورد سامانه روشنایی به یکی از سه صورت زیر در فرم مربوطه ثبت می‌شود:

- وضعیت روشنایی مطلوب است.
- وضعیت روشنایی معیوب و نیاز به اصلاح دارد.
- وضعیت روشنایی نامطلوب است و نیاز به باز مهندسی دارد.

ارزیابی وضعیت مطلوب مربوط به روشنایی مکانی است که تمام شروط پنج‌گانه را دارا باشد. وضعیت معیوب و قابل اصلاح مربوط به روشنایی مکانی است که با انجام تعمیرات، نظافت یا اصلاح جزئی، شرایط پنج‌گانه تأمین گردد. وضعیت نامطلوب به سامانه روشنایی اطلاق می‌شود که نیاز به طراحی مجدد یا تعمیرات و اصلاحات کلی داشته باشد. در صورتی که معیارهای مطلوبیت نقض نشده باشد، اعتبار مطلوبیت تا دوره زمانی بازرسی بعدی معتبر می‌باشد.

راهنمای تکمیل فرم در سامانه ثبت نتایج مرکز سلامت محیط و کار

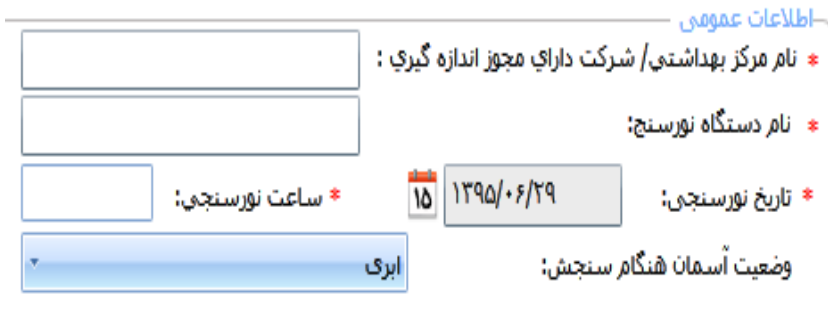
اهداف

هدف از تکمیل این فرم در سامانه بازرسی مرکز سلامت محیط و کار اظهار نظر در خصوص وضعیت روشنایی کارگاه با تجمیع اطلاعاتی پیرامون وضعیت روشنایی کارگاه یا واحدهای کارگاهی و نیز مواردی است که درنحوه توزیع و کیفیت روشنایی موثر می‌باشند.

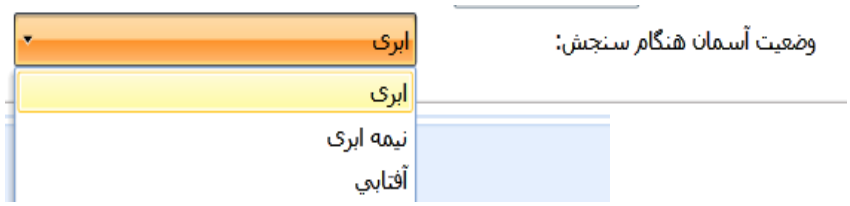
اطلاعات عمومی کارگاه

در این قسمت کاربر اطلاعات عمومی کارگاه را به ترتیب زیر تکمیل می نماید:

ابتدا نام مرکز بهداشتی درمانی شهری یا روستایی و یا آزمایشگاه یا هر مرجع صاحب صلاحیت (شرکتهای خصوصی ارائه دهنده خدمات بهداشت حرفه‌ای) که اندازه‌گیری را انجام داده است ذکر می گردد. در ادامه نام و مدل دستگاه نورسنج، تاریخ و ساعت نورسنجی، و وضعیت جوی هوا در حین اندازه گیری روشنایی با توجه به ابری, آفتابی یا نیمه ابری بودن آن مشخص می گردد.



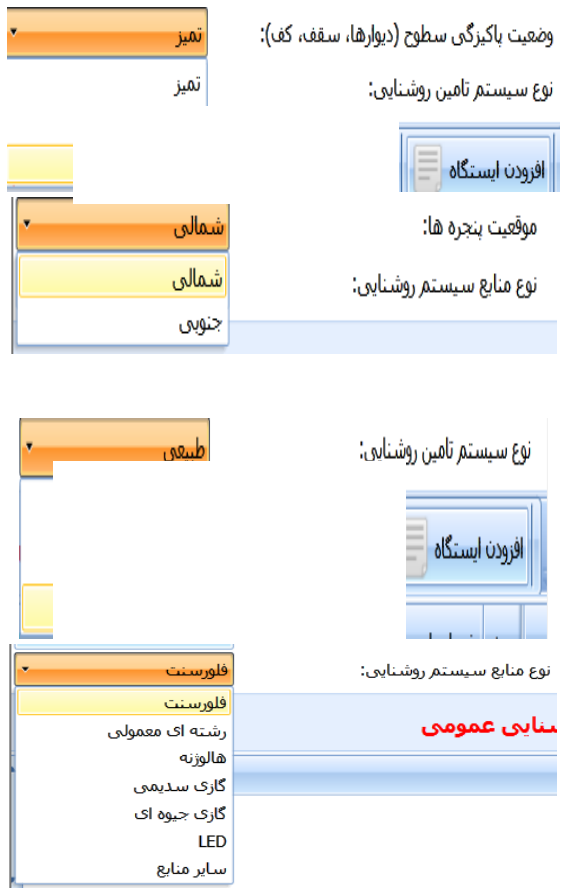
قبل از هر بار اندازه‌گیری برای اطمینان از صحت کار دستگاه بایستی آن را با وسیله‌ای استاندارد (کالیبراتور) کالیبره نمود. از آنجایی که عوامل متعددی بر کار دستگاه مؤثر می‌باشند، لازم است برای هر بار استفاده از دستگاه قبلاً از کالیبره بودن آن اطمینان حاصل شود.



پس از تکمیل اطلاعات مربوط به صفحه سنجش روشنایی در کارگاه با فشردن Tab سنجش روشنایی وارد صفحه جدیدی برای ثبت اطلاعات واحد کارگاهی می‌شویم.

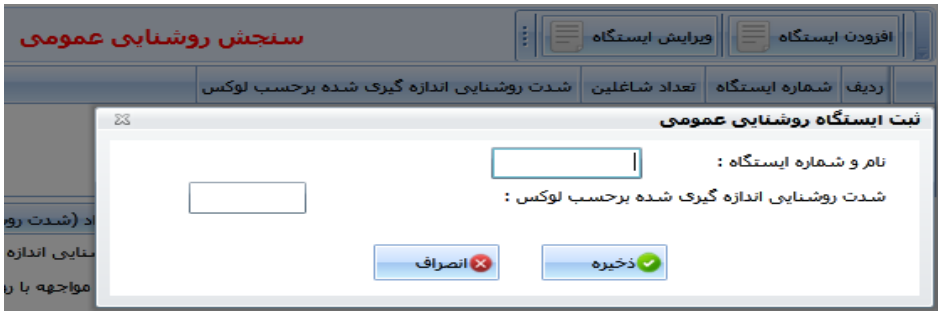
در بخش ثبت اطلاعات واحد، مساحت واحد کارگاهی و پنجره های موجود در کارگاه یا هر واحد در قسمت مربوطه بر حسب متر مربع ثبت می شود. وضعیت پاکیزگی منابع روشنایی (لامپها و حبابها)، وضعیت پاکیزگی پنجره ها و نیز وضعیت سطوح (دیوارها، سقف و کف) را با توجه به ۳ گزینه تمیز, متوسط و کثیف مشخص می شود. موقعیت قرارگیری پنجره‌ها، نوع سیستم تامین کننده روشنایی و نوع منابع روشنایی در بخش مرتبط ثبت می‌گردد. در

ادامه با توجه به هدف اندازه گیری یکی از بخش‌های مربوط به سنجش روشنایی عمومی یا موضعی و یا هر دو تکمیل می‌گردد.



سنجش روشنایی عمومی

در این بخش پس از فشردن Tab افزودن ایستگاه پنجره زیر باز می‌شود. با توجه به نوع چیدمان منابع روشنایی کارگاه یا واحد و مقایسه آن با یکی از الگوهای شش‌گانه، تعداد ایستگاههای مورد نیاز جهت سنجش روشنایی عمومی بدست می‌آید. در جدول نام یا شماره هر ایستگاه و شدت روشنایی اندازه‌گیری شده بر حسب لوکس ثبت و ذخیره می‌گردد.



در ادامه با توجه به نوع کار یا مکان در بخش خصوصیات مکان در شدت روشنایی عمومی یکی از گزینه های مکانهای با تردد محدود افراد با شدت روشنایی توصیه شده ۱۰۰ لوکس، مکانهای با توقف محدود افراد با شدت روشنایی توصیه شده ۱۵۰ لوکس، کارهای غیر دقیق با شدت روشنایی ۲۰۰ لوکس، کارهایی با دقت متوسط با شدت روشنایی ۲۵۰ لوکس و کارهای دقیق با شدت روشنایی ۳۰۰ لوکس انتخاب می‌گردد. در ادامه میانگین شدت روشنایی اندازه گیری شده بر حسب لوکس با توجه به هر یک از الگوهای شش‌گانه محاسبه می‌شود. با مقایسه عدد بدست آمده با شدت روشنایی مورد نیاز مکان در ردیف بالایی وضعیت روشنایی عمومی واحد کارگاهی ارزیابی می‌شود و در صورتی که کمتر از میزان توصیه شده باشد تعداد شاغلین در معرض روشنایی عمومی نامناسب که همان تعداد کارگران واحد می‌باشد در محل مربوطه یادداشت می‌شود.

سنجش روشنایی موضعی

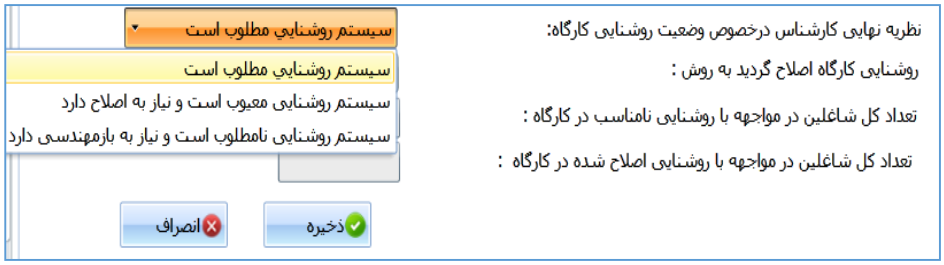
در صورتی‌که با توجه به مقتضیات و نوع کار جهت اظهار نظر کارشناسی نیازمند بررسی روشنایی موضعی ایستگاه‌های کاری باشد با فشردن Tab افزودن ایستگاه به بخش سنجش روشنایی موضعی وارد می‌شویم.

پس از باز شدن پنجره مربوط به ثبت ایستگاه روشنایی موضعی، نام یا شماره هر ایستگاه، تعداد کارگران شاغل در هر ایستگاه و شدت روشنایی اندازه‌گیری شده بر حسب لوکس ثبت و ذخیره می‌گردد. خصوصیات شغل در ایستگاه مدنظر و شدت روشنایی متناسب با آن نیز در ردیف جداگانه‌ای ثبت می‌شود. به این ترتیب که برای کارهای معمول غیر دقیق (شدت روشنایی توصیه شده ۲۵۰ لوکس)، کارهای نسبتاً دقیق(شدت روشنایی توصیه شده ۲۷۰ لوکس)، کارهای دقیق(شدت روشنایی توصیه شده ۳۰۰ لوکس)، کارهای خیلی دقیق(شدت روشنایی توصیه شده ۵۰۰ لوکس)، کارهای فوق العاده دقیق (شدت روشنایی توصیه شده ۵۰۰-۱۰۰۰ لوکس) انتخاب می‌شود، با مقایسه عدد مربوط به روشنایی سنجش شده با میزان روشنایی توصیه شده وضعیت روشنایی ایستگاه کاری مربوطه ارزیابی و تعداد شاغلین در معرض روشنایی نامناسب در آن ثبت شده و در ادامه اطلاعات مربوطه ذخیره می‌گردد.

در پایین صفحه اطلاعات عمومی واحد پس از ثبت نتایج سنجش روشنایی عمومی و موضعی تعداد شاغلین در معرض روشنایی نامناسب در واحد کارگاهی مربوطه با نظر بازرس ثبت شده و در صورتی که سیستم روشنایی واحد کارگاهی اصلاح شده باشد تعداد شاغلین بهره‌مند از روشنایی اصلاح شده در محل مربوط یادداشت می‌گردد. در انتها روش اصلاح روشنایی کارگاه با انتخاب یکی از گزینه های موجود مشخص و اطلاعات واحد ذخیره می‌شود.

اظهار نظر نهایی کارشناس:

پس از ثبت تمام اطلاعات مرتبط با سنجش روشنایی، بازرس در خصوص وضعیت روشنایی کارگاه با انتخاب یکی از گزینه‌های (سیستم روشنایی کارگاه مطلوب است - سیستم روشنایی کارگاه معیوب است و نیاز به اصلاح دارد - نامطلوب است و نیاز به بازمهندسی دارد) اظهار نظر می‌کند.

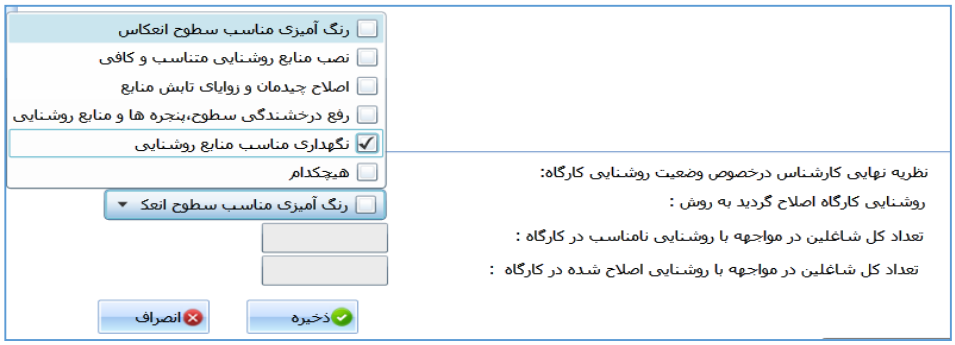


عوامل مؤثر بر تعیین مطلوبیت روشنایی کارگاه:

در این قسمت کارشناس فاکتورهای موجودی که می‌تواند باعث مطلوبیت روشنایی کارگاه گردد را با توجه به موارد ذکر شده انتخاب می‌کند. دقت شود که وضعیت پنجره‌ها و بهره‌مندی از روشنایی طبیعی مقوله‌ای جدا از روشنایی مصنوعی می‌باشد که می‌تواند در قسمتی از ساعات روز به وضعیت روشنایی مصنوعی کارگاه کمک کند، لذا بایستی سعی گردد حتی‌الامکان اندازه‌گیری روشنایی مصنوعی در شرایطی انجام پذیرد که روشنایی روز تأثیری بر آن نداشته باشد. عوامل تشخیص مطلوبیت روشنایی در ارزیابی محیط کار به شرح زیر می‌باشد:

۱. متوسط شدت روشنایی باید مطابق الزام OEL باشد.
۲. اصول کلی طراحی رعایت شده باشد (تناسب سامانه تابش روشنایی، تناسب منبع با نیاز محیط، ارتفاع طراحی، چیدمان صحیح منابع).
۳. سایه‌روشن محسوس وجود نداشته باشد(با معیار عددی OEL مطابقت داشته باشد).
۴. شاخص دمای رنگ (CCT) و شاخص تجلی رنگ (CRI) منابع روشنایی کافی باشد.
۵. درخشندگی منابع و سطوح مورد رؤیت در حدی باشد که سبب آزار نشود (درخشندگی در محدوده دید از ۱۰۰۰ cd/m^2 بالاتر نباشد).
۶. نگهداری و نظافت سامانه روشنایی در حد قابل قبول باشد (نسبت لامپ‌های سوخته کمتر از ۵٪ باشد)

در ادامه روش اصلاح روشنایی کارگاه، تعداد شاغلین در معرض روشنایی نامناسب کارگاه و نیز تعداد شاغلینی که با انجام اقدامات کنترلی با صدای مناسب در کارگاه مواجهه دارند وارد می‌شود. این اعداد مجموع آمار شاغلین در معرض روشنایی نامطلوب و شاغلین در معرض با روشنایی اصلاح شده واحدهای مختلف کارگاه می‌باشند است که در محل مربوطه توسط سامانه محاسبه و نمایش داده می‌شود. سپس Tab ذخیره را فشرده و از صفحه فوق خارج می‌شویم.



منابع:

۱. سرز فرانسیس، زیمانسکی، یانگ، فیزیک دانشگاهی (نور و فیزیک مدرن)، ترجمه فضل‌الله فروتن، نشر علوم دانشگاهی، تهران ۱۳۸۳.

۲. گلمحمدی رستم ، مهندسی روشنایی (چاپ ششم – ویرایش پنجم) ، انتشارات دانشجو، همدان. ۱۳۹۴.

۳. مرکز سلامت محیط و کار، حدود مجاز مواجهه شغلی (OEL)، ویرایش چهارم، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، ۱۳۹۵.

4. ANSI/IESNA, American national standard practice for roadway lighting RP 8(R2005), 2005.
5. Berson D.M., Dunn F. A., Takao M, Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock , science, 295, 2002.
6. Boyce P.R., Human factor in lighting. Taylor & Francis, New York, 2003.
7. Bommel W.J.M. and Beld G.J., Lighting for work: a review of visual and biological effects, Lighting Res. Technol. 36(4), 2004.
8. IESNA, Lighting Handbook, Illumination Engineering Society of North America, 9th edition, 2000.
9. IES, Lighting Handbook, Illumination Engineering Society of North America, 10th edition, 2011.
10. Pauley S.M., Lighting for the human circadian clock: recent research indicates that lighting has become a public health issue, Medical Hypotheses, 63, 2004.
11. Piccoli B, et al., Photometry in the workplace: the rationale for a new method. Ann Occup Hyg. 2004 Jan; 48(1):29-38.
12. Smith N.A., Lighting for Health and Safety, Butterworth-Heinemann, 2000.
13. Schlegel G.O., et al., Analysis of a full spectrum hybrid lighting system, solar energy, April 2004, Pages 359-368
14. Stanley L., Handbook of Industrial Lighting, London, 1981.

Islamic Republic of IRAN
Ministry of Health and and Medical Education
Environmental and Occupational Health Center
(EOHC)

OEL ASSESSMENT GUIDELINE

for

Lighting

OEL – L - 9507

2017

OEL ASSESSMENT GUIDELINE for

Lighting

OEL – L - 9507

9 789645 430441