جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

آیین‌نامه روشنایی راه‌ها

ضابطه شماره ۶۱۴-۸۰۰

آخرین ویرایش: ۱۲-۰۷-۱۴۰۲

معاونت تولیدی، فنی و زیربنایی

امور نظام فنی و اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

nezamfanni.ir

پژوهشگاه نیرو

گروه برنامه‌ریزی و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت

https://nri.ac.ir

۱۴۰۲

shaghool.ir

shaghool.ir

باسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
رئیس سازمان

بخشنامه به دستگاه های اجرایی،مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره :**	**۱۴۰۲/۷۲۴۶۳۳**
	تاریخ :	**۱۴۰۲/۱۲/۲۸**
موضوع: آیین‌نامه روشنایی راه‌ها		

به استناد ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و تبصره (۲) ماده (۴) «نظام فنی و اجرایی یکپارچه کشور» موضوع مصوبه شماره ۲۵۲۵۴/ت۵۷۶۹۷هـ مورخ ۱۴۰۰/۰۳/۰۸ هیات محترم وزیران، به پیوست «**آیین‌نامه روشنایی راه‌ها**» با شماره ضابطه **۶۱۴ –۸۰۰**، به صورت لازم‌الاجرا ابلاغ می‌شود.

از تاریخ ۱۴۰۳/۰۱/۰۱ برای همه قراردادهایی که از محل وجوه عمومی یا به صورت مشارکت عمومی و خصوصی منعقد می‌شوند اجرای مفاد این دستورالعمل الزامی است.

برای قراردادهایی که بعد از تاریخ ۱۴۰۳/۰۱/۰۱ منعقد می‌شوند، بخشنامه شماره ۹۲/۱۸۶۲۹ مورخ ۱۳۹۲/۰۳/۰۵ فاقد اعتبار است.

امور نظام فنی اجرایی، مشاوران و پیمانکاران دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادات اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.

داود منظور

shaghool.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی، مشاورین و پیمانکاران معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

۱- در سامانه مدیریت دانش اسناد فنی و اجرایی (سما) ثبت‌نام فرمایید: sama.nezamfanni.ir

۲- پس از ورود به سامانه سما و برای تماس احتمالی، نشانی خود را در بخش پروفایل کاربردی تکمیل فرمایید.

۳- به بخش نظرخواهی این ضابطه مراجعه فرمایید.

۴- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۵- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۶- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه : تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی‌علی‌شاه، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱، سازمان برنامه و بودجه، امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

web:nezamfanni.ir **Email: nezamfanni@chmail.ir**

بسمه‌تعالی

پیشگفتار

سازمان برنامه و بودجه کشور به عنوان متولی توسعه پایدار کشور و نظام فنی و اجرایی یکپارچه، به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه و آیین‌نامه و سند اجرایی آن، با کمک دستگاه‌های اجرایی و توان متخصصان دانشگاهی و حرفه‌ای کشور، به تهیه و ابلاغ ضوابط و مقررات و مستندات لازم در این حوزه می‌پردازد.

استفاده از ضوابط و معیارها در مراحل پیدایش، مطالعه (مطالعات امکانسنجی)، طراحی (پایه و تفصیلی)، اجرا، راه اندازی و تحویل و بهره‌برداری طرح‌های عمرانی به لحاظ فنی و اقتصادی، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های بهره برداری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تدوین این ضوابط و معیارها مستلزم انجام پژوهش های علمی و تخصصی به دست نیروی انسانی متخصص و کارآمد و در راستای سیاست ها و برنامه های بالا دستی و اولویت‌دار است. البته این نکته نیز حائز اهمیت است که نتایج حاصل از پژوهش های علمی و تخصصی باید بلندمدت و فراگیر باشد تا امکان انتقال و کسب تجربه فراهم و موجب تقویت و تعالی شاخص‌های توسعه گردد.

ضابطه حاضر با عنوان "آیین‌نامه روشنایی راه‌ها" توسط پژوهشگاه نیرو مورد بازنویسی، تجدیدنظر و تکمیل قرار گرفته و در راستای اهداف یاد شده تهیه و تدوین و به‌روز شده است. تدوین این ضابطه با مدیریت شرکت مهندسین مشاور راه‌یاب ملل و هدایت و راهبری امور نظام فنی و اجرایی، مشاوران و پیمانکاران انجام گرفته است. لازم به ذکر است که این ضابطه جایگزین نشریه شماره ۶۱۴ با عنوان "مشخصات فنی عمومی و اجرایی روشنایی راه‌ها" می‌باشد که در سال ۱۳۹۲ با همکاری پژوهشگاه نیرو تهیه شده است.

این نشریه مشتمل بر شانزده فصل می‌باشد. فصل اول به تعاریف و اصطلاحات، فصل دوم به ضوابط عمومی طراحی روشنایی، فصل سوم به پوشش سطح راه و تاثیر آن بر روشنایی، فصل چهارم به شرایط و الزامات تامین روشنایی راه، فصل پنجم به روشنایی تونل‌ها، فصل ششم به توصیه‌های عمومی ایمنی و نگهداری سیستم روشنایی راه‌ها و فصل هفتم به دستورالعمل اندازه‌گیری روشنایی در راه‌ها اختصاص دارد. در فصل‌های هشتم تا شانزدهم به ترتیب به مشخصات فنی تجهیزات مورد استفاده در روشنایی راه‌ها، اندازه‌گیری نوری لامپ و چراغ، سیستم توزیع و برق‌رسانی به شبکه، آلودگی نوری، روشنایی بخش‌های خاص راه، روشنایی تابلوهای هوایی راه، سیستم‌های روشنایی راه با انرژی خورشیدی، کنترل روشنایی راه‌ها و بازیافت لامپ‌های حاوی جیوه و LED پرداخته می‌شود. در پایان نیز منابع و مراجع مورد استفاده در ضابطه معرفی شده است.

سید مهدی نیازی

معاون تولیدی، فنی و زیربنایی

۱۴۰۲

تهیه و کنترل «آیین‌نامه روشنایی راه‌ها»

[ضابطه شماره ۶۱۴-۸۰۰]

مدیر طرح : مهندسین مشاور راه یاب ملل

برهان رستمی	مهندس عمران
ربابه قدیری	مهندس عمران
مظفر بیگلر	مهندس عمران
لیلا زارعیان جهرمی	کارشناس ارشد برق- مخابرات

مجری پروژه: پژوهشگاه نیرو

نیکی مسلمی	کارشناس ارشد برق- قدرت
امید شاه‌حسینی	کارشناس ارشد برق- قدرت
نسیم اکبری کفشگری	کارشناس ارشد برق- قدرت

اعضای گروه تاییدکننده:

حسن عباسیان	مهندسین مشاور فیروز پویا	کارشناس ارشد برق- قدرت
لیلا زارعیان جهرمی	مهندسین مشاور راه‌یاب ملل	کارشناس ارشد برق- مخابرات

اعضای گروه هدایت و راهبری: سازمان برنامه و بودجه

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی و اجرایی، مشاوران و پیمانکاران
علیرضا فخر رحیمی	کارشناس امور نظام فنی و اجرایی، مشاوران و پیمانکاران
سجاد حیدری حسنکلو	کارشناس امور نظام فنی و اجرایی، مشاوران و پیمانکاران

پیشگفتار ویرایش ۱۳۹۲

در اجرای ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور(مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران) و به منظور تعمیم استانداردهای صنعت برق و ایجاد هماهنگی و یکنواختی در طراحی و اجرای پروژه‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع نیروی برق، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور (معاونت نظارت راهبردی- دفتر نظام فنی) با همکاری وزارت نیرو (دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست محیطی) اقدام به تهیه مجموعه کاملی از استانداردهای مورد لزوم نموده است.

نشریه حاضر با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی روشنایی راه‌ها» نشریه‌ای است که مورد بازنوبسی،تجدید نظر و تکمیل قرار گرفته و در راستای اهداف یاد شده تهیه و تدوین و به هنگام شده است. این نشریه جایگزین نشریه شماره۱۹۵ با عنوان" مشخصات فنی عمومی و اجرایی روشنایی راههای شهری" است که در سال ۱۳۷۹ با همکاری سازمان توانیر،معاونت تحقیقات و تکنولوژی،دفتر استانداردها،در دفتر امور فنی و تدوین معیارها(وقت)تهیه و ابلاغ گردید. قرارداد تهیه نشریه مزبور با مرکز تحقیقات نیرو(وقت) بوده و توسط آقای مهندس داود جلالی با همکاری آقایان مهندسین علی عرشیان و فرخ امینی انجام گردید و از دفتر امور فنی و تدوین معیارها آقای مهندس پرویز سیداحمدی به عنوان کارشناس مسوول پروژه، هماهنگی طرح با اهداف دفتر و ویراستاری آن را به عهده داشته اند. در تجدید نظر این نشریه علاوه بر به روز آوری ضوابط،معیارها واستانداردهای راههای درون شهری،مبحث مکان یابی روشنایی در راههای برون شهری نیز افزوده شده است. نورپردازی مطلوب و در حد نیاز در کلیه راه‌ها ضمن جلوگیری از هزینه‌های اضافی و مصرف بی‌رویه انرژی، نه تنها از نظر تردد روان و ایمن وسایل نقلیه، آمد و شد افراد پیاده و زیبایی و جذابیت محیط اهمیت دارد، بلکه از جنبه کاهش جرائم و بزهکاری‌ها نیز حائز ارزش و درخور توجه است. در طراحی سیستم روشنایی کلیه معابر، طبقه‌بندی راه‌ها و خیابان‌ها با توجه به ویژگی‌ها و نقش آنها، تعیین میزان نور لازم، انتخاب نوع چراغ‌ها براساس توزیع نور مورد نیاز، تعیین ارتفاع نصب چراغ‌ها و مشخص نمودن آرایش و فواصل نصب پایه‌ها، از جمله مواردی است که باید مورد عنایت و توجه قرار گیرد.

این نشریه دربرگیرنده مشخصات، ضوابط و دستورالعمل‌های فنی لازم در زمینه طراحی، اندازه‌گیری و اجرای سیستم‌های روشنایی انواع مختلف راه‌ها براساس طبقه‌بندی آنها و مطابقت با استاندارد روشنایی می‌باشد. این مجموعه همچنین علاوه بر دستورالعمل مکان‌یابی روشنایی در راه‌های برون شهری، طراحی و اندازه‌گیری روشنایی میادین، تقاطع‌های همسطح و غیرهمسطح، پل‌های ویژه عبور و سایل نقلیه و عابرین، راه‌های مرتفع، تونل‌ها و زیرگذرها، راه‌های مجاور محل‌های خاص و همچنین جلوگیری از آلودگی نوری ناشی از سیستم‌های روشنایی معابر را نیز دربر می‌گیرد. در این نشریه علاوه بر ضوابط طراحی و اندازه‌گیری روشنایی راه‌ها، مشخصات فنی و استاندارد تجهیزات مورد استفاده در چراغ‌ها و انواع پایه‌ها و همچنین روش نصب تیرها، سیستم توزیع و برق‌رسانی به شبکه روشنایی معابر، ضوابط ایمنی و دستورالعمل‌های نگهداری سیستم روشنایی و نیز دستورالعمل‌های اندازه‌گیری نوری لامپ و چراغ و مشخصات فنی دستگاه‌های اندازه‌گیری مربوطه ارائه شده است.

معاونت نظارت راهبردی به این وسیله از پژوهشگاه نیرو(پژوهشکده برق) که مسوولیت قرارداد انجام این پروژه را به عهده داشته

است وهمچنین تمامی افرادی که در تهیه و تدوین و پیشبرد این نشریه اهتمام ورزیده اند،جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی،کارشناسان امور نظام فنی ونیز نهادها،وزارت خانه ها،و شرکت های مهندسی مشاور که با اظهارنظرهای سازنده خود این معاونت را در جهت غنا بخشـــیدن به آن یاری نموده‌اند ســـپاســـگزاری و قدردانی نموده و توفیق روزافزون آنان را از درگاه ایزد یکتا آرزومند است.

معاون نظارت راهبردی

بهار۱۳۹۲

تهیه و کنترل نشریه مشخصات فنی عمومی و اجرایی روشنایی راه‌ها (شماره ٦١٤) ویرایش ١٣٩٢

اعضای تهیه‌کننده:

این مجموعه در پژوهشگاه نیرو (پژوهشکده برق) توسط افراد زیر تهیه شده است:

- داود جلالی رییس پژوهشکده برق و قایُم مقام معاون پژوهشی
- نیکی مسلمی مدیر گروه مطالعات

در تهیه این مجموعه، نفرات زیر نیز با تهیه‌کنندگان آن همکاری داشته‌اند:

- اعظم جلالوندی کارشناس زبان انگلیسی
- معین چوبینه کارشناس ارشد مهندسی برق
- محمد حیدری‌زاده کارشناس ارشد مهندسی برق
- طاهره رستمی کارشناس ارشد مهندسی برق
- طاهره عبدالرزاق‌زاده کارشناس ارشد مهندسی برق
- محمدعلی عباسی کارشناس ارشد مهندسی برق
- امیررضا قلی‌زاده کارشناس ارشد مهندسی برق
- میلاد مقسم حمیدی کارشناس ارشد مهندسی برق

داور:

هاشم علیپور دکترای روشنایی

اعضای کنترل‌کننده:

وزارت نیرو:

سید محمد صادق زاده، رضا عفت نژاد و عباس محمد صالحیان

وزارت راه و شهرسازی–اداره ایمنی راه و حریم:

مهران قربانی، سید احمد هاشمیان، علی علیزاده و حسین اعلمی میلانی

هدایت و راهبری پروژه:

علیرضا توتونجی معاون امور نظام فنی

پرویز سیداحمدی کارشناس عالی امور نظام فنی

جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

آیین‌نامه روشنایی راه‌ها
بخش مقررات

ضابطه شماره ۶۱۴-۸۰۰

آخرین ویرایش: ۱۲-۰۷-۱۴۰۲

معاونت تولیدی، فنی و زیربنایی — پژوهشگاه نیرو

امور نظام فنی و اجرایی، مشاورین و پیمانکاران — گروه برنامه‌ریزی و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت

nezamfanni.ir — https://nri.ac.ir

۱۴۰۲

نکات طراحی روشنایی

- روشنایی پیوسته، کامل و جزئی تبادل‌ها زمانی توجیه می‌شود که مزایای کافی مانند رفاه، ایمنی، حفظ نظم و آرامش، ارتقای عمومی جامعه و روابط اجتماعی، را در پی داشته باشند.
- در جایی که روشنایی پیوسته برای آزادراه وجود دارد، در تبادل‌ها باید روشنایی کامل تامین گردد.
- زمانی که باید روشنایی پیوسته برای آزادراه تامین گردد ولی در ابتدا نصب نشده است، در صورت وجود شرایط CFL-1 و CFL-2 برای روشنایی پیوسته آزادراه، روشنایی جزئی برای تبادل‌ها ضروری می‌باشد. این شرایط، شامل موارد PIL-1 و PIL-2 برای روشنایی جزئی تبادل‌ها نمی‌گردد.
- زمانی که باید روشنایی کامل برای تبادل تامین گردد، ولی در ابتدا به صورت کامل نصب نشده است، یک سیستم روشنایی جزئی که تعداد واحدهای روشنایی آن از حالت عادی بیشتر است، ضروری می‌باشد.
- روشنایی پایانه‌های رابط، زمانی‌که طراحی به جزیره ترافیکی مرتفع یا جریان‌بندی جزیره ترافیکی نیاز دارد یا در جایی که فاصله دید کم است، صرف‌نظر از حجم ترافیک ضروری است.
- تامین روشنایی در پل‌های طولانی شهری و حومه شهر، حتی اگر راه‌های دو طرف پل فاقد روشنایی باشند، مطلوب است. در پل‌های بدون شانه راه کامل، روشنایی، ایمنی و کارکرد پل را بهبود می‌بخشد. زمانی که پل‌ها دارای پیاده‌رو هستند، روشنایی برای ایمنی عابرین پیاده ضروری می‌باشد.
- در آزادراه‌های دارای روشنایی پیوسته و تبادل‌های دارای روشنایی، سطح روشنایی پل‌ها و بالاگذرها باید برابر با، سطح روشنایی راه در نظر گرفته شود.
- سطوح روشنایی در تقاطع‌ها در ناحیه تبادل‌ها نباید کاهش داده شوند. اگر شدت روشنایی موجود در تقاطعی ناکافی ارزیابی شد، باید ارتقا یابد.
- هنگامی که روشنایی جزئی تبادل‌ها تامین می‌گردد، چراغ‌ها باید در مکان‌هایی قرار داده شوند تا بهترین نوردهی را در طول باندهای عبوری و باندهای تغییر سرعت در نقاط راه‌های اتصالی و ارتباطی، داشته باشند.
- میانگین سطح روشنایی حفظ شده برای روشنایی جزئی تبادل‌ها مشخص نشده است. با این حال، توصیه می‌شود که فاصله بین چراغ‌ها بیشتر از فاصله‌ای باشد که برای روشنایی کامل تبادل‌ها استفاده می‌شود. این عمل همچنین نصب سیستم روشنایی کامل را در صورت نیاز در آینده تسهیل می‌کند.
- تغییرات سریع و شدید در سطوح شدت روشنایی و درخشندگی که به خصوص هنگام خروج از راهی که سیستم روشنایی آن در سطوحی بالاتر از راه‌های عادی قرار دارند، رخ می‌دهد را می‌توان به کمک روشنایی انتقالی و یا روش‌های تطبیقی جبران نمود. طراح باید این پدیده را تشخیص دهد.
- روشنایی میدان‌ها باید حدود ۱٫۳ تا ۲ برابر مقدار روشنایی استفاده شده در مسیر منتهی به میدان با سطح نور بیشتر باشد. یکنواختی در میدان نسبت به مسیر منتهی به آن باید ۳:۱ یا بهتر باشد. برای طراحی روشنایی در میدان باید از روش شدت روشنایی استفاده شود. این سطح نور نیز باید از ۱٫۸۳ تا ۳ متر (۶ تا ۱۰ فوت) خارج از لبه بیرونی تا پیاده‌رو یا سایر امکانات کنار راه ادامه یابد. روشنایی باید حداقل ۱۲۲ متر (۴۰۰ فوت) از مرکز

میدان در امتداد هر راه متصل به میدان ادامه یابد. سطوح نور روی این راه‌ها باید با مقادیر نشان داده شده در جدول ۴ مطابقت داشته باشد.

- یکی از موضوعات مهم در میدان‌ها، فراهم نمودن قابلیت تشخیص خوب برای عابرین پیاده می‌باشد. خطوط عابر پیاده در میدان‌ها معمولا باید در کنتراست مثبت با عابران پیاده روشن شوند. برای این منظور قرارگیری پایه‌های روشنایی در فاصله ۳٫۰۵- ۹٫۱۴ متر (۱۰ تا ۳۰ فوتی) قبل از خط عابر پیاده توصیه می‌شود. میادین باید از لبه بیرونی راه روشن شوند تا کنتراست مثبت برای عابران پیاده فراهم شود.
- سطوح روشنایی و درخشندگی در بخش‌های مختلف راه باید مطابق با جدول ۴ باشد.
- طبقه‌بندی مناطق در جدول ۴، به صورت زیر می‌باشد:

تجاری: به آن قسمت از مناطق شهری در بخش توسعه یافته تجاری گفته می‌شود که در حالت عادی شامل تعداد زیادی از عابرین پیاده بوده و تقاضای زیادی جهت پارک خودرو در ساعات اوج ترافیک وجود داشته باشد یا با حجم ترافیک بالا و پیوسته عابرین پیاده همراه باشد و یک تقاضای پیوسته و زیاد برای فضای پارک در کنار خیابان‌ها در طول ساعات کاری وجود داشته باشد. این تعریف برای مناطق تجاری متراکم خارج و یا داخل بخش مرکزی شهر صدق می‌کند.

میانی: آن بخش از مناطق شهری که خارج از ناحیه مراکز خرید شهری بوده اما عموما در ناحیه‌ای است که تحت تاثیر مناطق توسعه یافته تجاری و یا صنعتی می‌باشد و غالبا با تردد نسبتا انبوه عابرین پیاده در شب و یا حجم کمتر پارکینگ نسبت به یک منطقه تجاری مشخص می‌شود. این تعریف شامل نواحی آپارتمانی توسعه یافته، بیمارستان‌ها، کتابخانه‌های عمومی و مناطق مجاور مراکز تفریحی و ورزشی می‌باشد.

مسکونی: به یک ناحیه مسکونی یا ترکیبی از مناطق مسکونی و تجاری که دارای تعداد کمی از عابرین پیاده و تقاضای پایین برای پارکینگ در شب است، گفته می‌شود. این تعریف شامل نواحی با خانه‌های مجزا، خانه‌های شهری به هم پیوسته و/ یا آپارتمان‌های کوچک، پارک‌های جنگلی، قبرستان‌ها و نواحی غیرمسکونی نیز می‌گردد.

جدول۱: شرایط تامین روشنایی پیوسته برای آزادراه‌ها(**CFL**)

مورد	شرایط تامین روشنایی
CFL-1	در آزادراه درون یا نزدیک شهر که متوسط حجم ترافیک روزانه (ADT)، ۳۰۰۰۰ یا بیشتر باشد.
CFL-2	در مقطعی از راه که ۳ تبادل متوالی یا بیشتر در فاصله متوسط ۲٫۴ کیلومتری (۱٫۵ مایلی) یا کمتر از هم قرار گرفته‌اند و مناطق مجاور، بافت شهری داشته باشند.
CFL-3	برای طولی معادل با ۳٫۲۲ کیلومتر (۲ مایل) یا بیشتر از مسیر، آزادراه از میان یک منطقه شهری یا حومه شهر می‌گذرد و یکی از شرایط زیر (یا بیشتر از یکی) در آن حاکم است: a) ترافیک محلی در شبکه راهی که دارای روشنایی است و بخش‌هایی از آن، از آزادراه قابل رویت است، در حال عبور و مرور باشد؛ b) آزادراه از مناطق در حال توسعه‌ای مانند مناطق مسکونی، تجاری، صنعتی، شهری، دانشگاه‌ها، پارک‌ها و ترمینال‌ها که دارای روشنایی باشند، خیابان‌ها و پارکینگ‌ها عبور نماید؛ c) خیابان‌ها و مسیرهایی در فواصل متوسط ۸۰۰ متر (۰٫۵ مایل) یا کمتر با شیب یا بدون شیب، با آزادراه تقاطع دارند که تعدادی از آن‌ها به عنوان قسمتی از سیستم روشنایی محلی روشن شده باشد؛ d) اجزای مقطع عرضی آزادراه مانند میانه‌ها و عرض راه‌ها دارای عرضی کمتر از مقدار مطلوب موارد مشابه در مناطق حومه شهر باشند.
CFL-4	در بخش‌هایی که نرخ تصادفات شب به روز حداقل ۲ برابر متوسط تصادفات تمام مقاطع فاقد روشنایی در سطح راه‌های موجود باشد.

جدول۲: شرایط تامین روشنایی کامل تبادل‌ها (**CIL**)

مورد	شرایط تامین روشنایی
CIL-1	متوسط حجم ترافیک روزانه رابطی که وارد مسیر اصلی می‌شود یا از آن خارج می‌گردد، از۱۰۰۰۰ برای مناطق شهری، ۸۰۰۰ برای مناطق حومه شهر و۵۰۰۰ برای مناطق روستایی بیشتر باشد.
CIL-2	متوسط حجم ترافیک روزانه تبادل از۱۰۰۰۰ برای مناطق شهری، ۸۰۰۰ برای مناطق حومه شهر و۵۰۰۰ برای مناطق روستایی بیشتر باشد.
CIL-3	در صورت وجود مناطق تجاری یا صنعتی دارای روشنایی، در مجاورت تبادل‌ها، یا در صورتی که دو طرف تبادل تا حداقل ۸۰۰ متر (۰٫۵ مایل) در طرفین راه دارای روشنایی باشد.
CIL-4	نرخ تصادفات شبانه به روزانه حداقل ۱٫۵ برابر متوسط تصادفات تمام تبادل‌های فاقد روشنایی در سطح راه‌های موجود باشد.

جدول۳: شرایط تامین روشنایی جزئی تبادل‌ها(**PIL**)

مورد	شرایط تامین روشنایی
PIL-1	مجموع متوسط حجم ترافیک روزانه رابطی که وارد مسیر اصلی می‌شود یا از آن خارج می‌گردد، از۵۰۰۰ برای مناطق شهری، ۳۰۰۰ برای مناطق حومه شهر و۱۰۰۰ برای مناطق روستایی بیشتر باشد.
PIL-2	متوسط حجم ترافیک روزانه آزادراه از۲۵۰۰۰ برای مناطق شهری، ۲۰۰۰۰ برای مناطق حومه شهر و۱۰۰۰۰ برای مناطق روستایی بیشتر باشد.
PIL-3	نرخ تصادفات شبانه به روزانه حداقل ۱٫۲۵ برابر متوسط تصادفات تمام تبادل‌های فاقد روشنایی در سطح راه‌های موجود باشد.

جدول ۴: مقادیر طراحی درخشندگی و روشنایی

طبقه‌بندی راه‌ها و گذرگاه‌ها	طبقه‌بندی مناطق	روش شدت روشنایی						روش درخشندگی			مقادیر اضافی
		متوسط شدت روشنایی حفظ شده (E_{avg})				حداقل شدت روشنایی E_{min}	نسبت یکنواختی شدت روشنایی E_{avg}/E_{min}	متوسط درخشندگی حفظ شده			نسبت درخشندگی خیرگی
		R1	R2	R3	R4			L_{avg}	یکنواختی		
	کاربری عمومی باند	لوکس (min)	لوکس (min)	لوکس (min)	لوکس (min)	لوکس	Avg/min (max)	cd/m^2 (min)	L_{avg}/L_{min} (min)	L_{max}/L_{min} (max)	L_{vmax}/L_{avg} (max)
شریان‌های اصلی:											
آزادراه‌های بین شهری و دیگر	همه	۶	۶	۶	۶	۲	۴:۱	۰/۴	۳/۵ :۱	۶:۱	۰/۳ :۱
سایر شریان‌های اصلی (جزئی یا بدون کنترل دسترسی)	تجاری	۱۲	۱۷	۱۷	۱۵	همان طور که نسبت یکنواختی اجازه می‌دهد	۴:۱	۱/۲	۳:۱	۵:۱	۰/۳ :۱
	میانی	۹	۱۳	۱۳	۱۱		۴:۱	۰/۹	۳:۱	۵:۱	۰/۳ :۱
	مسکونی	۶	۹	۹	۸		۴:۱	۰/۶	۳/۵ :۱	۶:۱	۰/۳ :۱
شریان‌های فرعی(درجه۲)	تجاری	۱۰	۱۵	۱۵	۱۱		۴:۱	۱/۲	۳:۱	۵:۱	۰/۳ :۱
	میانی	۸	۱۱	۱۱	۱۰		۴:۱	۰/۹	۳:۱	۵:۱	۰/۳ :۱
	مسکونی	۵	۷	۷	۷		۴:۱	۰/۶	۳/۵ :۱	۶:۱	۰/۳ :۱
جمع‌کننده‌ها	تجاری	۸	۱۲	۱۲	۱۰		۴:۱	۰/۸	۳:۱	۵:۱	۰/۴ :۱
	میانی	۶	۹	۹	۸		۴:۱	۰/۶	۳/۵ :۱	۶:۱	۰/۴ :۱
	مسکونی	۴	۶	۶	۵		۴:۱	۰/۴	۴:۱	۸:۱	۰/۴ :۱
محلی	تجاری	۶	۹	۹	۸		۶:۱	۰/۶	۶:۱	۱۰:۱	۰/۴ :۱
	میانی	۵	۷	۷	۶		۶:۱	۰/۵	۶:۱	۱۰:۱	۰/۴ :۱
	مسکونی	۳	۴	۴	۴		۶:۱	۰/۳	۶:۱	۱۰:۱	۰/۴ :۱
کوچه‌ها (alleys)	تجاری	۴	۶	۶	۵		۶:۱	۰/۴	۶:۱	۱۰:۱	۰/۴ :۱
	میانی	۳	۴	۴	۴		۶:۱	۰/۳	۶:۱	۱۰:۱	۰/۴ :۱
	مسکونی	۲	۳	۳	۳		۶:۱	۰/۲	۶:۱	۱۰:۱	۰/۴ :۱
پیاده‌روها	تجاری	۱۰	۱۴	۱۴	۱۳		۳:۱	از الزامات شدت روشنایی استفاده شود.			
	میانی	۶	۹	۹	۸		۴:۱				
	مسکونی	۳	۴	۴	۴		۶:۱				
راه عابر پیاده و دوچرخه	همه	۱۵	۲۲	۲۲	۱۹		۳:۱				

جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

آیین‌نامه روشنایی راه‌ها
بخش فنی

ضابطه شماره ۶۱۴-۸۰۰

آخرین ویرایش: ۱۲-۰۷-۱۴۰۲

معاونت تولیدی، فنی و زیربنایی

امور نظام فنی و اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

nezamfanni.ir

پژوهشگاه نیرو

گروه برنامه‌ریزی و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت

https://nri.ac.ir

۱۴۰۲

فهرست مطالب

عنوان صفحه

مقدمه ۱

فصل۱ ..... **۳**

۱-۱- تعاریف و اصطلاحات ۵

۱-۱-۱- سیستم روشنایی راه‌ها ۵

۱-۱-۲- شار نوری ۵

۱-۱-۳- شدت روشنایی ۵

۱-۱-۴- روشنایی ۵

۱-۱-۵- درخشندگی ۵

۱-۱-۶- شاخص تفکیک رنگ (CRI) ۵

۱-۱-۷- خیرگی ۶

۱-۱-۸- آرایش نصب ۶

۱-۱-۹- فرد واجد شرایط یا دارای صلاحیت ۶

۱-۱-۱۰- ناحیه حفاظت شده ۶

۱-۱-۱۱- هزینه ۷

۱-۱-۱۲- پل عبور عابرین ۷

۱-۱-۱۳- هندسه ۷

۱-۱-۱۴- روشنایی با دکل (پایه) بلند ۷

۱-۱-۱۵- ضریب شار نوری منبع نور ۷

۱-۱-۱۶- طراح روشنایی ۷

۱-۱-۱۷- ارتفاع نصب ۷

۱-۱-۱۸- بازو ۸

۱-۱-۱۹- عقب‌روی ۸

۱-۱-۲۰- میانگین ترافیک روزانه (ADT) ۸

۱-۱-۲۱- کنتراست (C) ۸

۱-۱-۲۲- منطقه کاری ۸

۱-۱-۲۳- روشنایی پیوسته ۸
۱-۱-۲۴- روشنایی جزئی ۸
۱-۱-۲۵- تابلوی راهنما ۸
۱-۲- علائم و اختصارات ۹
۱-۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۰
فصل ۲ ۱۲
۲-۱- اصول کلی روشنایی راه‌ها ۱۴
۲-۱-۱- اهداف روشنایی راه‌ها ۱۴
۲-۱-۲- محیط زیست ۱۵
۲-۱-۲-۱- کلیات ۱۵
۲-۱-۲-۲- نمای ظاهری ۱۶
۲-۱-۲-۲-۱- نمای ظاهری تاسیسات روشنایی راه‌ها در روز ۱۶
۲-۱-۲-۲-۲- نمای ظاهری تاسیسات روشنایی راه‌ها در شب ۱۶
۲-۱-۲-۳- نور مزاحم ۱۷
۲-۱-۲-۴- بوم‌شناسی ۱۷
۲-۱-۲-۵- پایداری ۱۸
۲-۱-۳- انرژی الکتریکی ۱۸
۲-۱-۳-۱- اقدامات برای به حداقل رساندن مصرف انرژی الکتریکی ۱۸
۲-۱-۳-۲- ساعات عملکرد ۲۰
۲-۱-۳-۳- سطح روشنایی متغیر (تطبیقی) ۲۰
۲-۱-۳-۴- کنترل‌ها ۲۱
۲-۱-۴- آنالیز اقتصادی ۲۱
۲-۱-۵- روشنایی و سلامت انسان ۲۲
۲-۲- ملاحظات طراحی عملی ۲۲
۲-۲-۱- مکان‌یابی پایه‌های روشنایی ۲۲
۲-۲-۱-۱- کلیات ۲۲
۲-۲-۱-۲- ممانعت از دید ۲۲
۲-۲-۱-۳- محدودیت‌های ارتفاع ۲۲

۲-۲-۱-۴- رفوژ وسط راه..... ۲۳
۲-۲-۱-۵- جزیره ترافیکی..... ۲۳
۲-۲-۱-۶- تقاطع‌های هم‌سطح..... ۲۴
۲-۲-۱-۷- همجواری با موانع منحرف کننده..... ۲۵
۲-۲-۱-۸- نکات ایمنی کلی..... ۲۵
۲-۲-۱-۹- گزینه‌های طراحی..... ۲۶
۲-۲-۱-۹-۱- گزینه ۱: برداشتن موانع..... ۲۶
۲-۲-۱-۹-۲- گزینه ۲: طراحی مجدد پایه‌ها..... ۲۶
۲-۲-۱-۹-۳- گزینه ۳: مکان‌یابی مجدد پایه‌ها..... ۲۶
۲-۲-۱-۹-۴- گزینه ۴: استفاده از تجهیزات روشنایی مجهز به پایه‌های شکننده..... ۲۷
۲-۲-۱-۹-۵- گزینه ۵: حفاظت پایه‌ها..... ۲۸
۲-۲-۱-۹-۶- گزینه ۶: مشخص کردن پایه‌ها..... ۲۸
۲-۲-۲- آرایش نصب..... ۲۹
۲-۲-۲-۱- ارتفاع نصب..... ۲۹
۲-۲-۲-۲- مونتاژ واحدهای روشنایی..... ۲۹
۲-۲-۲-۲-۱- اندازه و نوع چراغ..... ۳۰
۲-۲-۲-۲-۲- فرم و شکل بازو..... ۳۰
۲-۲-۲-۲-۳- رنگ تجهیزات روشنایی..... ۳۰
۲-۲-۲-۲-۴- نمای کلی..... ۳۰
۲-۲-۲-۳- چیدمان چراغ‌ها..... ۳۱
۲-۲-۲-۳-۱- کلیات..... ۳۲
۲-۲-۲-۳-۲- چیدمان چراغ مناسب برای راه‌های یک‌طرفه..... ۳۲
۲-۲-۲-۳-۳- چیدمان چراغ برای راه‌های دوطرفه..... ۳۲
۲-۲-۲-۳-۴- چیدمان چراغ مناسب برای سرازیری‌ها و سربالایی‌ها..... ۳۳
۲-۲-۳- تعمیر و نگهداری..... ۳۳
۲-۲-۳-۱- کلیات..... ۳۳
۲-۲-۳-۲- تعمیر و نگهداری سیستم‌های روشنایی با دکل‌های بلند..... ۳۵
۲-۲-۳-۳- راه‌های با دسترسی محدود برای تعمیر و نگهداری..... ۳۵

۲-۲-۳-۴- مجوزهای ایمنی در نزدیک خطوط برق هوایی ۳۶
۲-۲-۴- فناوری‌ها ۳۷
۲-۲-۵- منابع نور ۳۸
۲-۲-۶- چراغ‌ها ۳۸
۲-۲-۷- روشنایی با استفاده از دکل (پایه) بلند ۳۹
۲-۲-۷-۱- کلیات ۳۹
۲-۲-۷-۲- ملاحظات طراحی ۳۹
۲-۲-۷-۳- ملاحظات مهندسی ۴۰
۲-۲-۷-۴- حفاظت در برابر صاعقه (آذرخش) ۴۰
۲-۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۴۰
فصل ۳ ۴۲
۳-۱- ویژگی‌های انعکاسی سطح راه‌ها ۴۴
۳-۱-۱- ترکیبات به کار رفته در سطح راه‌ها ۴۴
۳-۱-۲- چگونگی انعکاس نور یک چراغ از سطح راه ۴۴
۳-۱-۳- مشخصات پوشش سطح راه از نظر بافت و ساختار ۴۵
۳-۱-۴- ناهمواری سطح راه ۴۷
۳-۱-۵- مرطوب بودن سطح راه ۴۷
۳-۲- ویژگی‌های بازتاب سطح راه ۴۷
۳-۳- دسته‌بندی سطوح راه‌ها ۴۸
۳-۳-۱- دسته‌بندی سطوح راه‌های خشک ۴۸
۳-۳-۱-۱- سیستم دسته‌بندی C ۴۸
۳-۳-۱-۲- سیستم‌های دسته‌بندی R و N ۴۹
۳-۳-۱-۳- انتخاب سیستم دسته‌بندی سطوح راه‌های خشک ۵۰
۳-۳-۲- دسته‌بندی سطوح راه‌های مرطوب ۵۰
۳-۳-۲-۱- سیستم دسته‌بندی سطوح راه‌های مرطوب W ۵۱
۳-۳-۲-۲- ملاحظاتی در بکارگیری سیستم دسته‌بندی W ۵۱
۳-۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۵۲
فصل ۴ ۵۴

۴-۱- کلیات طراحی روشنایی ۵۶
۴-۱-۱- سطح و یکنواختی شدت روشنایی و درخشندگی ۵۷
۴-۱-۲- ملاحظات مربوط به شدت روشنایی ۵۷
۴-۱-۳- ملاحظات مربوط به درخشندگی ۵۷
۴-۲- شرایط تامین روشنایی ۵۹
۴-۲-۱- مزایای روشنایی ۵۹
۴-۲-۲- تبادل‌های برون‌شهری ۶۰
۴-۲-۳- شرایط روشنایی برای آزادراه‌ها ۶۰
۴-۲-۴- روشنایی پیوسته برای آزادراه‌ها (CFL) ۶۱
۴-۲-۵- روشنایی کامل تبادل‌ها (CIL) ۶۱
۴-۲-۶- روشنایی جزئی تبادل‌ها (PIL) ۶۲
۴-۲-۷- ملاحظات خاص ۶۳
۴-۲-۸- پل‌ها ۶۳
۴-۳- مقادیر طراحی برای آزادراه‌ها ۶۴
۴-۳-۱- ملاحظات طراحی ۶۴
۴-۳-۲- سطوح روشنایی در تقاطع‌ها ۶۴
۴-۳-۳- روشنایی جزئی تبادل‌ها ۶۴
۴-۳-۴- روشنایی تطبیقی (انتقالی) ۶۶
۴-۳-۵- پل‌ها و بالاگذرها ۶۶
۴-۳-۶- سایر ملاحظات ۶۶
۴-۳-۷- طبقه‌بندی مناطق ۶۶
۴-۴- مقادیر طراحی برای خیابان‌ها و بزرگراه‌ها غیر از آزادراه‌ها (شامل محل عبور عابرین پیاده و دوچرخه) ۶۷
۴-۴-۱- شرایط تامین روشنایی ۶۷
۴-۴-۲- سطوح طراحی روشنایی ۶۸
۴-۴-۳- سایر ملاحظات ۶۸
۴-۵- روشنایی میادین ۷۱
۴-۵-۱- شرایط روشنایی ۷۱
۴-۵-۲- سطح نور توصیه شده ۷۲

۴-۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۷۳
فصل۵ ۷۴
۵-۱- تعاریف و اصطلاحات ۷۶
۵-۱-۱- سرعت طراحی ۷۶
۵-۱-۲- باند اضطراری ۷۶
۵-۱-۳- ناحیه انفصال ۷۶
۵-۱-۴- محدودیت سرعت ۷۶
۵-۱-۵- فاصله توقف(SSD) ۷۶
۵-۱-۶- حجم ترافیک ۷۷
۵-۱-۷- ناحیه دسترسی ۷۷
۵-۱-۸- طول ناحیه دسترسی ۷۷
۵-۱-۹- درخشندگی ناحیه دسترسی (L_{20}) ۷۷
۵-۱-۱۰- ناحیه آستانه (Th) ۷۷
۵-۱-۱۱- روشنایی ناحیه آستانه ۷۷
۵-۱-۱۲- درخشندگی ناحیه آستانه ۷۷
۵-۱-۱۳- ناحیه انتقال (Tr) ۷۸
۵-۱-۱۴- درخشندگی ناحیه انتقال (L_{tr}) ۷۸
۵-۱-۱۵- ناحیه ورود ۷۸
۵-۱-۱۶- خروجی تونل ۷۸
۵-۱-۱۷- ناحیه خروج ۷۸
۵-۱-۱۸- ناحیه داخلی (In) ۷۸
۵-۱-۱۹- درخشندگی ناحیه داخلی (L_{in}) ۷۹
۵-۱-۲۰- سرندهای نور روز ۷۹
۵-۱-۲۱- دهانه یا ورودی تونل ۷۹
۵-۱-۲۲- سیستم روشنایی متقارن ۷۹
۵-۱-۲۳- سیستم روشنایی مخالف جهت ترافیک ۷۹
۵-۱-۲۴- درصد دید ۷۹
۵-۱-۲۵- ترافیک ترکیبی ۷۹

۵-۱-۲۶- ضریب یکنواختی کلی ۸۰
۵-۱-۲۷- باند ترافیکی ۸۰
۵-۱-۲۸- ضریب وضوح کنتراست ۸۰
۵-۱-۲۹- تابلوی راهنما ۸۰
۵-۲- شرایط تونل ۸۰
۵-۲-۱- نور روز ۸۰
۵-۲-۲- نور شب ۸۱
۵-۲-۳- روشنایی روز تونل‌های کوتاه ۸۲
۵-۲-۳-۱- تعیین درصد دقت دید ۸۲
۵-۲-۳-۲- تعیین شرایط نیاز به نصب سیستم روشنایی در طول روز ۸۴
۵-۲-۳-۳- انواع روشنایی روز برای تونل‌های کوتاه ۸۶
۵-۳- طراحی روشنایی تونل ۸۶
۵-۳-۱- تعیین فاصله توقف ۸۶
۵-۳-۲- کلاسه‌بندی روشنایی تونل ۸۷
۵-۳-۳- تعیین درخشندگی ناحیه دسترسی ۸۸
۵-۳-۳-۱- تعیین درخشندگی ناحیه دسترسی به روش اندازه‌گیری مستقیم ۸۸
۵-۳-۳-۲- تعیین درخشندگی ناحیه دسترسی به روش شبکه ۹۰
۵-۳-۳-۳- تخمین درخشندگی ناحیه دسترسی ۹۳
۵-۳-۴- تعیین مقدار روشنایی در طول روز برای نواحی مختلف تونل ۹۵
۵-۳-۴-۱- ناحیه آستانه ۹۵
۵-۳-۴-۲- ناحیه انتقال ۹۶
۵-۳-۴-۳- ناحیه داخلی ۹۷
۵-۳-۴-۴- ناحیه خروج ۹۸
۵-۳-۵- مقادیر درخشندگی و یکنواختی ۹۸
۵-۳-۶- دیواره‌های تونل ۹۹
۵-۳-۷- تعیین سطوح روشنایی شب هنگام تونل ۹۹
۵-۳-۸- فلیکر یا سوسو زدن ۱۰۰
۵-۳-۹- خیرگی ۱۰۰

۵-۳-۱۰- کنترل روشنایی تونل ۱۰۱
۵-۳-۱۱- قطع تغذیه سیستم روشنایی ۱۰۱
۵-۴- اندازه‌گیری و محاسبات روشنایی تونل ۱۰۲
۵-۴-۱- محاسبات ۱۰۲
۵-۴-۲- اندازه‌گیری‌ها ۱۰۳
۵-۴-۲-۱- نواحی انتقال و آستانه ۱۰۴
۵-۴-۲-۲- ناحیه داخلی ۱۰۵
۵-۵- انواع سیستم‌های روشنایی تونل ۱۰۶
۵-۵-۱- سیستم روشنایی متقارن ۱۰۶
۵-۵-۲- سیستم روشنایی در خلاف جهت ترافیک ۱۰۷
۵-۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۰۷
فصل۶ ۱۰۸
۶-۱- تعاریف و اصطلاحات ۱۱۰
۶-۱-۱- ماده شستشو ۱۱۰
۶-۱-۲- تعویض گروهی لامپ‌ها ۱۱۰
۶-۱-۳- شدت روشنایی اولیه ۱۱۱
۶-۱-۴- شار نوری اولیه ۱۱۱
۶-۱-۵- کد IP ۱۱۱
۶-۱-۶- حداقل مقدار مجاز درخشندگی یا شدت روشنایی ۱۱۱
۶-۱-۷- دوره تناوب نگهداری ۱۱۱
۶-۱-۸- متوسط عمر نامی لامپ ۱۱۱
۶-۱-۹- تعویض نقطه‌ای (لامپ‌ها) ۱۱۱
۶-۱-۱۰- ضریب نگهداری لومن لامپ (LLMF) ۱۱۱
۶-۱-۱۱- ضریب بقا لامپ (LSF) ۱۱۱
۶-۱-۱۲- ضریب نگهداری چراغ (LMF) ۱۱۲
۶-۱-۱۳- ضریب نگهداری (MF) ۱۱۲
۶-۱-۱۴- ضریب نگهداری سطح (SMF) ۱۱۲
۶-۲- معرفی ضریب نگهداری ۱۱۲

۶-۳- اهمیت و لزوم نگهداری تجهیزات روشنایی راه‌ها ۱۱۲
۶-۴- عوامل موثر بر ضریب نگهداری ۱۱۳
۶-۴-۱- فاصله‌های زمانی بازرسی و ثبت عملکرد ۱۱۴
۶-۴-۲- برنامه‌های نگهداری ۱۱۴
۶-۵- عوامل موثر بر اتلاف نور ۱۱۵
۶-۵-۱- کاهش لومن لامپ ۱۱۵
۶-۵-۲- ضریب بقای لامپ ۱۱۶
۶-۵-۳- آلودگی لامپ‌ها و چراغ‌ها ۱۱۶
۶-۵-۴- آلودگی سطوح منعکس کننده نور در گذرگاه‌ها، تونل‌ها و زیرگذرها ۱۱۷
۶-۶- ضریب نگهداری ۱۱۷
۶-۶-۱- تعیین ضریب نگهداری ۱۱۸
۶-۷- سرویس سیستم‌های روشنایی ۱۱۹
۶-۷-۱- ایمنی پرسنل ۱۱۹
۶-۷-۲- دسترسی ۱۱۹
۶-۷-۳- توصیه‌های کلی برای کاهش هزینه‌های نگهداری ۱۱۹
۶-۷-۴- پایش و گشت‌زنی به منظور شناسایی عیوب سیستم روشنایی ۱۲۰
۶-۷-۵- مواد مورد استفاده برای نظافت ۱۲۱
۶-۷-۶- تعویض لامپ ۱۲۲
۶-۷-۶-۱- هزینه تعویض لامپ ۱۲۳
۶-۷-۶-۲- نکات قابل توجه و بررسی اقتصادی سیستم‌های روشنایی راه‌ها ۱۲۴
۶-۷-۷- چراغ ۱۲۴
۶-۷-۷-۱- رویه تمیزکاری چراغ ۱۲۴
۶-۷-۷-۲- دستورالعمل نظافت چراغ ۱۲۵
۶-۷-۷-۳- نگهداری از پایه‌های چراغ ۱۲۵
۶-۷-۸- فرسودگی پایه چراغ ۱۲۶
۶-۷-۹- اجزای الکتریکی ۱۲۶
۶-۸- جلوگیری از تابش نور توسط درختان ۱۲۶
۶-۹- استهلاک پخش کننده و رفلکتور ۱۲۷

۶-۹-۱- حباب و پخش‌کننده‌ها ۱۲۷
۶-۹-۱-۱- شیشه ۱۲۷
۶-۹-۱-۲- اکرلیک (PMMA-پلی متیل متاکریلات) و پلی کربنات (PC) ۱۲۷
۶-۹-۱-۳- اکرلیک ۱۲۷
۶-۹-۱-۴- پلی‌کربنات ۱۲۸
۶-۹-۲- رفلکتور ۱۲۸
۶-۹-۲-۱- آلومینیوم ۱۲۸
۶-۹-۲-۲- پلاستیک با پوشش فلزی ۱۲۹
۶-۹-۲-۳- شیشه ۱۲۹
۶-۱۰- دستورالعمل تعویض لامپ ۱۲۹
۶-۱۱- تامین ایمنی در تعمیر و نگهداری سیستم روشنایی ۱۲۹
۶-۱۲- فاصله ایمن کار در مجاورت خطوط هوایی ۱۳۰
۶-۱۳- تجهیزات تعمیر و نگهداری ۱۳۰
۶-۱۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۳۱
فصل۷ ۱۳۲
۷-۱- تعاریف و اصطلاحات ۱۳۴
۷-۱-۱- سیستم اندازه‌گیری خودکار با هدف کنترل ۱۳۴
۷-۱-۲- سیستم اندازه‌گیری دینامیک ۱۳۴
۷-۱-۳- سیستم اندازه‌گیری استاتیک ۱۳۴
۷-۱-۴- تجهیز اندازه‌گیری درخشندگی با روش تصویری (ILMD) ۱۳۴
۷-۱-۵- روشنایی تطبیقی ۱۳۵
۷-۲- اطلاعات اولیه اندازه‌گیری سیستم روشنایی راه‌ها ۱۳۵
۷-۲-۱- اهداف اندازه‌گیری ۱۳۵
۷-۲-۲- روش‌های اندازه‌گیری و انتخاب ابزارهای نوری ۱۳۶
۷-۲-۲-۱- اندازه‌گیری‌های استاتیک نسبت به دینامیک ۱۳۶
۷-۲-۲-۲- الزامات عمومی روش‌های اندازه‌گیری و تجهیزات اندازه‌گیری ۱۳۶
۷-۲-۲-۳- الزامات خاص برای درخشندگی‌متر ۱۳۶
۷-۲-۳- ارزیابی عدم قطعیت اندازه‌گیری ۱۳۷

۷-۲-۴- مناطق اندازه‌گیری شده ۱۳۸
۷-۲-۵- پارامترهای اندازه‌گیری شده ۱۳۸
۷-۲-۶- اطلاعات کلی در مورد اندازه‌گیری‌ها در طول عمر تاسیسات روشنایی ۱۳۹
۷-۲-۷- مقایسه با الزامات ۱۳۹
۷-۳- شرایط اندازه‌گیری ۱۴۰
۷-۳-۱- دوره کارکردگی لامپ‌ها و چراغ‌ها قبل از اندازه‌گیری‌ها ۱۴۰
۷-۳-۲- تثبیت (پایداری) پس از روشن شدن ۱۴۰
۷-۳-۳- شرایط آب و هوایی ۱۴۱
۷-۳-۳-۱- کلیات ۱۴۱
۷-۳-۳-۲- ابزارها ۱۴۱
۷-۳-۳-۳- تاسیسات روشنایی راه‌ها ۱۴۱
۷-۳-۴- شرایط راه ۱۴۲
۷-۳-۵- نور خارجی و ممانعت از نور ۱۴۲
۷-۴- اندازه‌گیری‌های نوری ۱۴۳
۷-۴-۱- اندازه‌گیری درخشندگی ۱۴۳
۷-۴-۲- اندازه‌گیری شدت روشنایی ۱۴۴
۷-۵- اندازه‌گیری پارامترهای غیرنوری ۱۴۵
۷-۵-۱- کلیات ۱۴۵
۷-۵-۲- ولتاژ منبع تغذیه ۱۴۶
۷-۵-۳- دما و رطوبت ۱۴۶
۷-۵-۴- اطلاعات هندسی ۱۴۶
۷-۵-۵- ابزارهای اندازه‌گیری غیرنوری ۱۴۶
۷-۶- گزارش آزمون ۱۴۶
۷-۶-۱- اطلاعات کلی آزمون ۱۴۷
۷-۶-۲- اطلاعات هندسی ۱۴۷
۷-۶-۳- داده‌های سطح راه ۱۴۷
۷-۶-۴- اطلاعات لامپ و چراغ ۱۴۸
۷-۶-۵- منبع الکتریکی ۱۴۹

۷-۶-۶- شرایط محیطی ۱۴۹
۷-۶-۷- موقعیت تاسیسات ۱۴۹
۷-۶-۸- اطلاعات تجهیز اندازه‌گیر ۱۵۰
۷-۶-۹- مشخصات تجهیزات اندازه‌گیری نوری ۱۵۰
۷-۶-۱۰- شبکه اندازه‌گیری ۱۵۱
۷-۶-۱۱- ثبت پایش نور ۱۵۱
۷-۶-۱۲- اطلاعات ویژه برای اندازه‌گیری دینامیک ۱۵۱
۷-۷- حداقل مشخصات فنی تجهیزات اندازه‌گیری روشنایی در راه‌ها و راهنمای انتخاب مناسب آنها ۱۵۲
۷-۷-۱- کلاسه‌بندی لوکس‌متر و درخشندگی‌متر مبتنی بر استاندارد DIN 5032-7 ۱۵۲
۷-۷-۱-۱- کلاسه‌بندی لوکس‌متر ۱۵۲
۷-۷-۱-۲- کلاسه‌بندی درخشندگی‌متر ۱۵۴
۷-۷-۲- خطاهای قابل انتظار دستگاه‌های اندازه‌گیری ۱۵۵
۷-۷-۳- راهنمای انتخاب تجهیزات اندازه‌گیری روشنایی راه‌ها ۱۵۷
۷-۷-۳-۱- معیارهای مهم در انتخاب دستگاه اندازه‌گیری شدت روشنایی (لوکس‌متر) ۱۵۷
۷-۷-۳-۲- معیارهای مهم در انتخاب دستگاه اندازه‌گیری درخشندگی‌متر ۱۵۸
۷-۸- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۵۹
فصل۸ ۱۶۰
۸-۱- تعاریف و اصطلاحات ۱۶۲
۸-۱-۱- بالاست ۱۶۲
۸-۱-۲- بالاست مرجع ۱۶۲
۸-۱-۳- لامپ مرجع ۱۶۲
۸-۱-۴- توان کل ورودی ۱۶۲
۸-۱-۵- تلفات بالاست ۱۶۲
۸-۱-۶- حداکثر دمای کار نامی سیم‌پیچی بالاست (tw) ۱۶۲
۸-۱-۷- افزایش دمای نامی سیم‌پیچی بالاست (tΔ) ۱۶۳
۸-۱-۸- جرقه‌زن (لوازم راه‌اندازی) ۱۶۳
۸-۱-۹- بهره نوری لامپ ۱۶۳
۸-۱-۱۰- حفظ شار نوری مدول/ لامپ LED ۱۶۳

۸-۱-۱۱- طول عمر اسمی ۱۶۳
۸-۱-۱۲- طول عمر (L_x) ۱۶۳
۸-۱-۱۳- نرخ خرابی (F_y) ۱۶۴
۸-۱-۱۴- نرخ خرابی تدریجی (B_y) ۱۶۴
۸-۱-۱۵- نرخ خرابی ناگهانی (C_y) ۱۶۴
۸-۱-۱۶- کد رنگ ۱۶۴
۸-۱-۱۷- محدوده رنگ سفید ۱۶۴
۸-۱-۱۸- حداکثر دمای اسمی (t_c) ۱۶۴
۸-۱-۱۹- توان اسمی ۱۶۴
۸-۱-۲۰- فرکانس اسمی ۱۶۴
۸-۱-۲۱- جریان اسمی ۱۶۵
۸-۱-۲۲- محدوده ولتاژ ۱۶۵
۸-۱-۲۳- زمین حفاظتی (چاه زمین) ۱۶۵
۸-۱-۲۴- زمین کارکردی (زمین) ۱۶۵
۸-۱-۲۵- زمین مرجع (قاب) ۱۶۵
۸-۲- لامپ‌های بخار سدیم پرفشار ۱۶۵
۸-۲-۱- نشانه‌گذاری لامپ‌ها ۱۶۵
۸-۲-۲- ابعاد لامپ‌ها ۱۶۶
۸-۲-۳- کلاهک لامپ‌ها ۱۶۶
۸-۲-۴- آزمون‌ها ۱۶۶
۸-۲-۵- حداکثر دمای حباب و کلاهک لامپ ۱۶۶
۸-۲-۶- برخی مشخصه‌های الکتریک و نوری لامپ ۱۶۶
۸-۲-۷- مشخصات فنی لامپ ۱۶۷
۸-۳- منبع نوری LED ۱۶۹
۸-۳-۱- مشخصات فنی چراغ‌های LED خیابانی جهت کار با ولتاژ شبکه ۱۷۲
۸-۳-۲- ارزیابی نمونه چراغ‌های LED خیابانی ۱۷۶
۸-۳-۳- طراحی و انتخاب گرماگیر ۱۷۹
۸-۴- بالاست لامپ‌های تخلیه در گاز ۱۸۲

۸-۴-۱- آزمون‌های ایمنی بالاست ۱۸۳
۸-۴-۲- آزمون‌های عملکردی بالاست لامپ بخار سدیم پرفشار ۱۸۳
۸-۴-۳- مقررات الکتریکی برای بالاست‌های لامپ بخار سدیم پرفشار ۱۸۳
۸-۴-۴- مشخصات فنی بالاست لامپ بخار سدیم پرفشار ۱۸۴
۸-۵- جرقه‌زن (وسیله راه‌اندازی) ۱۸۵
۸-۵-۱- آزمون‌های ایمنی وسیله راه‌اندازی ۱۸۵
۸-۵-۲- آزمون‌های عملکردی وسیله راه‌اندازی ۱۸۶
۸-۵-۳- مشخصات فنی جرقه‌زن (وسیله راه‌اندازی) ۱۸۶
۸-۶- خازن ۱۸۷
۸-۶-۱- آزمون‌های ایمنی خازن ۱۸۷
۸-۶-۱-۱- نشانه‌گذاری، اتصالات و مقاومت‌های تخلیه ۱۸۷
۸-۶-۱-۲- فواصل خزشی و هوایی ۱۸۸
۸-۶-۱-۳- مقدار اسمی ولتاژ ۱۸۸
۸-۶-۱-۴- فیوزها ۱۸۸
۸-۶-۱-۵- سایر آزمون‌های ایمنی ۱۸۸
۸-۶-۲- آزمون‌های عملکردی خازن ۱۸۸
۸-۶-۳- مشخصات فنی خازن ۱۸۸
۸-۷- الزامات کلی چراغ‌های خیابانی ۱۸۹
۸-۷-۱- طبقه‌بندی چراغ‌ها ۱۸۹
۸-۷-۱-۱- طبقه‌بندی بر حسب نوع حفاظت در برابر شوک‌های الکتریکی ۱۸۹
۸-۷-۱-۲- طبقه‌بندی بر حسب درجه حفاظت در برابر نفوذ گرد و غبار، اجسام سخت و رطوبت ۱۹۰
۸-۷-۱-۳- طبقه‌بندی بر حسب جنس سطح نگهدارنده‌ای که چراغ برای آن طراحی شده است ۱۹۰
۸-۷-۱-۴- طبقه‌بندی بر حسب شرایط استفاده ۱۹۰
۸-۷-۲- نشانه‌گذاری ۱۹۱
۸-۷-۳- ساختار چراغ ۱۹۱
۸-۷-۳-۱- سیم نگهدارنده ۱۹۱
۸-۷-۳-۲- وسایل نصب چراغ به پایه ۱۹۱
۸-۷-۳-۳- نگهدارنده لامپ ۱۹۲

۸-۷-۳-۴- پوشش‌های شیشه‌ای (حباب)..... ۱۹۲
۸-۷-۳-۵- منعکس کننده (رفلکتور)..... ۱۹۲
۸-۷-۳-۶- راندمان چراغ..... ۱۹۲
۸-۷-۳-۷- اجزا قابل تعویض..... ۱۹۲
۸-۷-۳-۸- مسیرهای سیم‌کشی..... ۱۹۳
۸-۷-۳-۹- اتصالات الکتریکی و قسمت‌های حامل جریان..... ۱۹۳
۸-۷-۴- پیش‌بینی برای اتصال زمین..... ۱۹۴
۸-۷-۵- سیم‌کشی درونی و بیرونی..... ۱۹۴
۸-۷-۶- حفاظت در برابر شوک الکتریکی..... ۱۹۵
۸-۷-۷- آزمون‌های چراغ..... ۱۹۵
۸-۷-۸- مشخصات فنی چراغ..... ۱۹۶
۸-۸- مشخصات فنی و استاندارد پایه‌های روشنایی..... ۱۹۷
۸-۸-۱- الزامات عمومی و ابعاد..... ۱۹۷
۸-۸-۲- ابعاد اصلی در پایه‌های روشنایی..... ۱۹۷
۸-۸-۲-۱- پایه‌های بدون بازو (نصب چراغ در بالای پایه)..... ۱۹۷
۸-۸-۲-۲- پایه‌های بازودار..... ۱۹۸
۸-۸-۲-۳- دریچه پایه و سوراخ ورودی کابل به پایه..... ۱۹۹
۸-۸-۲-۴- پایین پایه و مسیر کابل..... ۲۰۰
۸-۸-۲-۴-۱- درب دریچه..... ۲۰۰
۸-۸-۲-۴-۲- متعلقات لوازم الکتریکی..... ۲۰۱
۸-۸-۲-۴-۳- مسیر کابل‌های برق..... ۲۰۱
۸-۸-۲-۴-۴- درجه حفاظت..... ۲۰۱
۸-۸-۲-۴-۵- ترمینال زمین..... ۲۰۲
۸-۸-۲-۵- گودی کاشت و صفحه زیر پایه..... ۲۰۳
۸-۸-۲-۶- صفحه فلنج..... ۲۰۴
۸-۸-۲-۷- ابعاد محل اتصال چراغ به پایه..... ۲۰۴
۸-۸-۳- حدود تغییرات مجاز ابعاد پایه (رواداری‌ها)..... ۲۰۵
۸-۸-۳-۱- راستایی..... ۲۰۵

۸-۸-۳-۲- طول کل پایه‌های بدون بازو ۲۰۶
۸-۸-۳-۳- طول کل پایه‌های بازودار ۲۰۶
۸-۸-۳-۴- تصویر بازو ۲۰۶
۸-۸-۳-۵- زاویه نصب چراغ ۲۰۶
۸-۸-۳-۶- ابعاد دریچه پایه و سوراخ کابل ۲۰۷
۸-۸-۳-۷- سطح مقطع پایه ۲۰۷
۸-۸-۳-۷-۱- پایه‌های فلزی ۲۰۷
۸-۸-۳-۷-۲- پایه‌های بتنی ۲۰۷
۸-۸-۳-۸- ابعاد محل اتصال چراغ ۲۰۷
۸-۸-۳-۹- پیچش یا تابیدگی پایه ۲۰۷
۸-۸-۳-۹-۱- پایه‌های دفنی ۲۰۷
۸-۸-۳-۹-۲- پایه‌های دارای صفحه فلنج ۲۰۸
۸-۸-۳-۱۰- رواداری عمودی ۲۰۸
۸-۸-۴- معیارهای طراحی پایه ۲۰۸
۸-۸-۴-۱- مبنای بارهای اعمالی به پایه‌های روشنایی ۲۰۸
۸-۸-۴-۱-۱- بارهای مرده ۲۰۸
۸-۸-۴-۱-۲- فشار باد ۲۰۸
۸-۸-۴-۱-۳- ضریب شکل (c) ۲۱۱
۸-۸-۴-۲- نیروها و لنگرها ۲۱۳
۸-۸-۴-۲-۱- نیروهای ناشی از فشار باد و بار مرده ۲۱۳
۸-۸-۴-۲-۲- لنگرهای ناشی از فشار باد و بار مرده ۲۱۴
۸-۸-۵- معیارهای پذیرش پایه و آزمون‌های آن ۲۱۵
۸-۸-۵-۱- بارهای آزمون ۲۱۵
۸-۸-۵-۲- معیارهای مناسب بودن طراحی پایه ۲۱۵
۸-۸-۵-۲-۱- مقررات قابل استفاده بودن پایه ۲۱۵
۸-۸-۵-۲-۲- مقررات سازه‌ای ۲۱۵
۸-۸-۵-۲-۳- مقررات حداقل بار نهایی ۲۱۶
۸-۸-۵-۲-۴- سطح مقطع‌های بحرانی ۲۱۶

۸-۸-۵-۲-۵- آزمون بارگذاری تا شکست کامل (اختیاری)..... ۲۱۷
۸-۸-۵-۳- فراهم‌سازی شرایط آزمون..... ۲۱۷
۸-۸-۵-۴- اعمال نیروها..... ۲۱۷
۸-۸-۵-۴-۱- کلیات..... ۲۱۷
۸-۸-۵-۴-۲- مقررات قابل استفاده بودن پایه..... ۲۱۷
۸-۸-۵-۴-۳- مقررات سازه‌ای..... ۲۱۸
۸-۸-۵-۴-۴- آزمون حداقل بار نهایی..... ۲۱۸
۸-۸-۵-۴-۵- آزمون شکست نهایی (اختیاری)..... ۲۱۸
۸-۸-۵-۵- گزارش آزمون..... ۲۱۸
۸-۸-۵-۵-۱- گزارش آزمون نوعی..... ۲۱۸
۸-۸-۵-۵-۲- نیروهای لازم برای شبیه‌سازی بارهای بکاررفته در آزمون..... ۲۱۸
۸-۸-۵-۵-۳- لنگرهای آزمون و میزان انحراف‌های ناشی از آنها..... ۲۱۹
۸-۸-۵-۶- گواهی آزمون نوعی..... ۲۲۰
۸-۸-۵-۶-۱- نتایج آزمون نوعی..... ۲۲۰
۸-۸-۵-۶-۲- گواهی‌نامه..... ۲۲۰
۸-۸-۶- الزامات پایه‌های فولادی..... ۲۲۱
۸-۸-۶-۱- مواد..... ۲۲۱
۸-۸-۶-۱-۱- فولاد..... ۲۲۱
۸-۸-۶-۱-۲- پیچ‌های پی..... ۲۲۱
۸-۸-۶-۲- طراحی پایه..... ۲۲۱
۸-۸-۶-۳- جوشکاری..... ۲۲۱
۸-۸-۶-۳-۱- روند جوشکاری..... ۲۲۱
۸-۸-۶-۳-۲- روش جوشکاری..... ۲۲۲
۸-۸-۶-۴- اتصالات..... ۲۲۲
۸-۸-۶-۴-۱- کلیات..... ۲۲۲
۸-۸-۶-۴-۲- اتصالات اصطکاکی..... ۲۲۲
۸-۸-۶-۴-۳- اتصالات جوشکاری شده..... ۲۲۲
۸-۸-۶-۵- مقاومت در برابر ضربه..... ۲۲۲

۸-۸-۶-۶- سطح داخلی و لبه‌های تیز ۲۲۳
۸-۸-۶-۷- حفاظت در برابر خوردگی ۲۲۳
۸-۸-۶-۷-۱- سطوح پایه برای حفاظت در برابر خوردگی ۲۲۳
۸-۸-۶-۷-۲- روش‌های حفاظت در برابر خوردگی ۲۲۳
۸-۸-۶-۸- نشانه‌گذاری ۲۲۴
۸-۸-۶-۹- بازرسی انطباق ۲۲۵
۸-۸-۶-۹-۱- بازرسی تولید کارخانه‌ای ۲۲۵
۸-۸-۶-۹-۲- نمونه‌برداری ۲۲۵
۸-۸-۶-۹-۳- بررسی ابعادی ۲۲۵
۸-۸-۶-۹-۴- بررسی راستایی ۲۲۶
۸-۸-۶-۹-۵- بررسی مواد ۲۲۶
۸-۸-۶-۹-۶- بررسی جوش ۲۲۶
۸-۸-۶-۹-۷- ثبت اطلاعات ۲۲۷
۸-۸-۶-۱۰- انبار کردن و نصب پایه‌ها ۲۲۷
۸-۸-۶-۱۰-۱- کاشت پایه‌ها در داخل خاک ۲۲۹
۸-۸-۶-۱۰-۲- نصب پایه‌ها روی پی (فونداسیون) ۲۲۹
۸-۹- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۲۳۲
فصل ۹
۲۳
۳
۹-۱- نورسنج زاویه‌ای (گونیوفتومتر) ۲۳۵
۹-۱-۱- سیستم‌های مختصات برای نورسنجی چراغ‌ها ۲۳۵
۹-۱-۲- سیستم صفحات اندازه‌گیری ۲۳۵
۹-۱-۳- الزامات آزمایشگاهی برای آزمون‌ها ۲۳۶
۹-۱-۳-۱- اتاق آزمون ۲۳۶
۹-۱-۳-۲- ولتاژ آزمون ۲۳۶
۹-۱-۳-۳- الزامات عمومی اندازه‌گیری‌ها ۲۳۷
۹-۱-۴- الزامات دستگاه سنجش شدت روشنایی مورد استفاده در نورسنج ۲۳۷

۹-۱-۵- سایر تجهیزات آزمون ۲۳۸
۹-۱-۶- آماده‌سازی لامپ‌ها، بالاست‌ها و چراغ‌ها برای آزمون ۲۳۸
۹-۱-۶-۱- لامپ‌ها ۲۳۸
۹-۱-۶-۱-۱- الزامات کلی برای همه انواع لامپ‌ها ۲۳۸
۹-۱-۶-۱-۲- مرکز نوری فتومتریک لامپ ۲۳۹
۹-۱-۶-۲- بالاست آزمون ۲۳۹
۹-۱-۶-۳- چراغ مورد آزمون ۲۳۹
۹-۱-۷- روش‌های نورسنجی ۲۳۹
۹-۱-۷-۱- اندازه‌گیری‌های مطلق ۲۳۹
۹-۱-۷-۲- اندازه‌گیری‌های نسبی ۲۴۰
۹-۱-۷-۳- اندازه‌گیری نورسنجی چراغ‌ها ۲۴۰
۹-۱-۸- اندازه‌گیری توزیع شدت نور ۲۴۱
۹-۱-۸-۱- فاصله آزمون ۲۴۱
۹-۱-۸-۲- الزامات اندازه‌گیری چراغ و لامپ ۲۴۱
۹-۱-۸-۳- اندازه‌گیری سایر پارامترهای نوری چراغ ۲۴۱
۹-۲- نورسنج جمع کننده (کره البریخت) ۲۴۱
۹-۳- ضرایب تصحیح اندازه‌گیری ۲۴۲
۹-۴- گزارش آزمون ۲۴۲
۹-۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۲۴۳
فصل ۱۰ ۲۴۵
۱۰-۱- تعاریف و اصطلاحات ۲۴۷
۱۰-۱-۱- پست توزیع برق ۲۴۷
۱۰-۱-۲- پست توزیع زمینی ۲۴۷
۱۰-۱-۳- پست توزیع هوایی ۲۴۷
۱۰-۱-۴- شبکه تغذیه از پست توزیع تا پایه‌های روشنایی ۲۴۸
۱۰-۱-۴-۱- شبکه روشنایی وابسته هوایی راه‌ها ۲۴۸
۱۰-۱-۴-۲- شبکه روشنایی مستقل هوایی راه‌ها ۲۴۸
۱۰-۱-۴-۳- شبکه روشنایی مستقل زمینی راه‌ها ۲۴۹

۱۰-۱-۵- مسیر تغذیه انشعاب هر چراغ ۲۴۹
۱۰-۱-۶- مسیر تغذیه از پست تا سر خط ۲۴۹
۱۰-۱-۷- سیستم حفاظت و زمین مورد استفاده در شبکه ۲۴۹
۱۰-۲- پست توزیع زمینی ۲۴۹
۱۰-۳- پست توزیع هوایی ۲۵۴
۱۰-۴- شبکه روشنایی وابسته هوایی راه‌ها ۲۵۵
۱۰-۵- شبکه روشنایی مستقل هوایی راه‌ها ۲۵۶
۱۰-۶- شبکه روشنایی مستقل زمینی راه‌ها ۲۵۷
۱۰-۷- انتخاب سطح مقطع سیم یا کابل تغذیه‌کننده ۲۵۹
۱۰-۷-۱- انتخاب صحیح سطح مقطع سیم یا کابل ۲۵۹
۱۰-۷-۲- کنترل هادی‌ها از نظر مقاومت مکانیکی ۲۵۹
۱۰-۷-۳- حدود مجاز جریان سیم‌های هوایی و کابل‌های زمینی ۲۵۹
۱۰-۷-۴- حداکثر افت ولتاژ مجاز برای خطوط تغذیه پایه‌های روشنایی ۲۶۸
۱۰-۷-۵- تعیین افت ولتاژ در شبکه تغذیه روشنایی راه‌ها ۲۶۹
۱۰-۷-۵-۱- خطوط هوایی با سیم مسی ۲۶۹
۱۰-۷-۵-۲- شبکه کابل زمینی با هادی مسی و عایق PVC ۲۶۹
۱۰-۷-۶- تعیین افت ولتاژ یک بار نقطه‌ای ۲۷۱
۱۰-۷-۷- تعیین افت ولتاژ در انواع مختلف شبکه‌های تغذیه روشنایی راه‌ها ۲۷۱
۱۰-۷-۷-۱- شبکه روشنایی وابسته هوایی راه‌ها ۲۷۱
۱۰-۷-۷-۲- شبکه روشنایی مستقل هوایی راه‌ها ۲۷۲
۱۰-۷-۷-۳- شبکه روشنایی مستقل زمینی راه‌ها ۲۷۳
۱۰-۸- مسیر تغذیه انشعاب هر چراغ ۲۷۳
۱۰-۸-۱- سطح مقطع مسیر تغذیه انشعاب برای هر چراغ در شبکه‌های روشنایی هوایی راه‌ها ۲۷۳
۱۰-۸-۱-۱- چراغ‌های تا ۲۵۰ وات ۲۷۳
۱۰-۸-۱-۲- چراغ‌های ۴۰۰ وات ۲۷۳
۱۰-۸-۲- نحوه ارتباط و اتصال مسیر تغذیه انشعاب به فاز ۲۷۴
۱۰-۸-۳- سطح مقطع مسیر تغذیه انشعاب برای هر یک از چراغ‌ها در شبکه‌های روشنایی مستقل زمینی راه‌ها ۲۷۴

۱۰-۸-۳-۱- چراغ با توان ۱۵۰ وات ۲۷۴
۱۰-۸-۳-۲- چراغ با توان ۲۵۰ وات یا بیشتر ۲۷۴
۱۰-۸-۴- محافظت از وقوع اتصال کوتاه در شبکه‌های روشنایی مستقل زمینی راه‌ها ۲۷۴
۱۰-۹- مسیر تغذیه از پست تا سر خط ۲۷۴
۱۰-۱۰- سیستم حفاظت و زمین مورد استفاده در شبکه‌های روشنایی راه‌ها ۲۷۵
۱۰-۱۰-۱- کلیات ۲۷۵
۱۰-۱۰-۲- سیستم زمین ۲۷۶
۱۰-۱۰-۲-۱- سیستم زمین نوع TN ۲۷۶
۱۰-۱۰-۲-۱-۱- سیستم زمین نوع TN-S ۲۷۶
۱۰-۱۰-۲-۱-۲- سیستم زمین نوع TN-C ۲۷۷
۱۰-۱۰-۲-۲- نقطه خنثی (مرکز ستاره یا زیگزاگ ترانسفورماتور) ۲۷۷
۱۰-۱۰-۲-۳- مقاومت زمین نقطه خنثی ترانسفورماتور در پست‌های توزیع اعم از زمینی و هوایی ۲۷۷
۱۰-۱۰-۲-۴- مقاومت اتصال زمین در سیستم‌های TN ۲۷۸
۱۰-۱۰-۲-۵- حداقل مقدار مقاومت ۲۷۸
۱۰-۱۰-۲-۶- شبکه‌های روشنایی مستقل و وابسته هوایی راه‌ها ۲۷۸
۱۰-۱۰-۲-۶-۱- سیستم زمین اولیه ۲۷۸
۱۰-۱۰-۲-۶-۲- سیستم زمین ثانویه ۲۷۸
۱۰-۱۰-۲-۶-۳- سطح مقطع هادی خنثی ۲۷۸
۱۰-۱۰-۲-۶-۴- اتصال زمین بدنه فلزی ۲۷۹
۱۰-۱۰-۲-۷- شبکه‌های روشنایی مستقل زمینی راه‌ها ۲۷۹
۱۰-۱۰-۳- سیستم حفاظت ۲۸۰
۱۰-۱۰-۳-۱- سیستم حفاظت در پست‌های تغذیه کننده شبکه‌های روشنایی راه‌ها ۲۸۰
۱۰-۱۰-۳-۲- نحوه انتخاب فیوز حفاظتی در سیستم‌های TN ۲۸۰
۱۰-۱۰-۳-۳- نحوه انتخاب فیوز حفاظتی مناسب در سیستم‌های TN در بدترین شرایط ۲۸۰
۱۰-۱۰-۳-۴- نحوه انتخاب فیوز حفاظتی مناسب در شبکه‌های روشنایی راه‌ها ۲۸۱
۱۰-۱۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۲۸۱
فصل ۱۱ ۲۸۳
۱۱-۱- تعاریف و اصطلاحات ۲۸۵

۱۱-۱-۱- نسبت نور خروجی در بالای سطح افق ($ULOR_a$ یا $R_{ULO.a}$) ۲۸۵
۱۱-۱-۲- نسبت نور خروجی در پایین سطح افق ($DLOR_a$ یا $R_{DLO.a}$) ۲۸۵
۱۱-۱-۳- نسبت نور به سمت بالا (ULR یا R_{UL}) ۲۸۵
۱۱-۱-۴- نسبت شار به سمت بالا (UFR یا R_{UF}) ۲۸۶
۱۱-۲- نور مزاحم ۲۸۶
۱۱-۲-۱- آثار مزاحمت احتمالی و پارامترهای فنی مرتبط با نور ۲۸۶
۱۱-۲-۱-۱- کلیات ۲۸۶
۱۱-۲-۱-۲- اثرات زیست محیطی یک طرح روشنایی ۲۸۷
۱۱-۲-۱-۳- اثرات روشنایی در فضای باز ۲۸۷
۱۱-۲-۱-۴- تاثیر تحولات پیرامونی ۲۸۸
۱۱-۲-۲- اثرات خاص و پارامترهای فنی نور مربوطه ۲۸۹
۱۱-۲-۲-۱- تاثیر روی ساکنین منطقه ۲۸۹
۱۱-۲-۲-۲- تاثیر بر کاربران سیستم حمل و نقل ۲۸۹
۱۱-۲-۲-۳- تاثیر بر گردشگران و توریست‌ها ۲۹۰
۱۱-۲-۲-۴- تاثیر بر مشاهدات نجومی ۲۹۰
۱۱-۲-۳- تفکیک حوزه‌های محیطی ۲۹۱
۱۱-۲-۴- محدوده پارامترهای فنی جهت کنترل نور مزاحم ۲۹۲
۱۱-۲-۴-۱- محدودیت شدت روشنایی عمودی در املاک مجاور ۲۹۲
۱۱-۲-۴-۲- محدودیت شدت نور چراغ‌های روشن واقع در حوزه دید ۲۹۳
۱۱-۲-۴-۳- محدودیت اثرات بر سیستم‌های حمل و نقل ۲۹۵
۱۱-۲-۴-۴- محدودیت اثرات نماها و تابلوهای ساختمان روشن ۲۹۵
۱۱-۳- برافروختگی آسمان ۲۹۶
۱۱-۳-۱- برافروختگی طبیعی آسمان ۲۹۶
۱۱-۳-۲- برافروختگی مصنوعی آسمان ۲۹۷
۱۱-۳-۳- عوامل برافروختگی مصنوعی آسمان ۲۹۷
۱۱-۳-۴- تخمین آلودگی نوری مصنوعی شهرها ۲۹۸
۱۱-۳-۵- معیارهای محدود نمودن برافروختگی مصنوعی آسمان ۲۹۸
۱۱-۳-۶- تدابیر اصلاحی برای محدود نمودن برافروختگی مصنوعی ۲۹۹

۱۱-۳-۶-۱- خاموشی ۲۹۹
۱۱-۳-۶-۲- استفاده از نورهای تک رنگ ۲۹۹
۱۱-۳-۶-۳- فیلترینگ نور ۲۹۹
۱۱-۳-۶-۴- کنترل نور ۳۰۰
۱۱-۳-۷- توصیه‌هایی برای روشنایی بیرونی در اطراف رصدخانه‌ها ۳۰۰
۱۱-۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۳۰۲
فصل۱۲ ۳۰۳
۱۲-۱- شرایط تامین روشنایی برای مراکز رفاهی بین راهی ۳۰۵
۱۲-۱-۱- شرایط تامین روشنایی ۳۰۵
۱۲-۱-۲- مقادیر طراحی ۳۰۵
۱۲-۱-۳- ورودی و خروجی ۳۰۶
۱۲-۱-۴- راه‌های داخلی ۳۰۷
۱۲-۱-۵- نواحی پارکینگ ۳۰۷
۱۲-۱-۶- نواحی فعالیت ۳۰۷
۱۲-۱-۷- باندهای اصلی ۳۰۷
۱۲-۲- اصول طراحی روشنایی راه‌های مجاور فرودگاه، راه‌آهن، بنادر و آب‌های قابل کشتیرانی ۳۰۸
۱۲-۲-۱- روشنایی در مجاورت فرودگاه‌ها ۳۰۸
۱۲-۲-۱-۱- ملاحظات طراحی ۳۰۹
۱۲-۲-۱-۲- سطوح محدودیت موانع حفاظت شده ۳۱۰
۱۲-۲-۲- روشنایی در مجاورت خطوط راه‌آهن ۳۱۰
۱۲-۲-۳- روشنایی در مجاورت آب‌های ساحلی ۳۱۱
۱۲-۲-۴- روشنایی در مجاورت بنادر ۳۱۱
۱۲-۲-۵- روشنایی در مجاورت آب‌های قابل کشتیرانی ۳۱۱
۱۲-۳- روشنایی مناطق بستن و باز کردن زنجیر چرخ ۳۱۱
۱۲-۳-۱- معیارهای روشنایی ۳۱۲
۱۲-۳-۲- پارامترهای تامین روشنایی ۳۱۲
۱۲-۳-۳- ملاحظات خاص ۳۱۲
۱۲-۴- روشنایی موقت در منطقه کاری ۳۱۴

۱۲-۴-۱- هزینه ۳۱۴
۱۲-۴-۲- انواع ۳۱۴
۱۲-۴-۳- مقادیر طراحی ۳۱۴
۱۲-۴-۴- ایمنی ۳۱۴
۱۲-۵- روشنایی گردنه‌های مه‌گیر ۳۱۵
۱۲-۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۳۱۵
فصل ۱۳ ۳۱۷
۱۳-۱- کلیات ۳۱۹
۱۳-۲- راهنمای قابلیت دید تابلوهای هوایی ۳۲۰
۱۳-۲-۱- سطح پیچیدگی بصری برای تابلوهای راهنمای هوایی ۳۲۱
۱۳-۲-۲- سطح پیچیدگی بصری برای تابلوهای هوایی نام خیابان ۳۲۳
۱۳-۳- انواع تابلوهای روشن ۳۲۳
۱۳-۴- توصیه‌های لازم برای روشنایی تابلو ۳۲۵
۱۳-۴-۱- یکنواختی روشنایی ۳۲۵
۱۳-۴-۲- انتخاب منبع نور ۳۲۵
۱۳-۴-۳- قرارگیری واحدهای روشنایی ۳۲۷
۱۳-۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۳۲۷
فصل ۱۴ ۳۲۹
۱۴-۱- انواع سیستم‌های خورشیدی از نظر اتصال به شبکه ۳۳۱
۱۴-۱-۱- سیستم خورشیدی متصل به شبکه ۳۳۱
۱۴-۱-۲- سیستم هیبرید ۳۳۲
۱۴-۱-۳- سیستم مستقل ۳۳۳
۱۴-۲- اجزای اصلی سیستم خورشیدی روشنایی راه ۳۳۳
۱۴-۲-۱-۱- پنل خورشیدی ۳۳۵
۱۴-۲-۱-۲- باتری ۳۳۶
۱۴-۲-۱-۳- لامپ LED ۳۳۷
۱۴-۲-۱-۴- کنترل‌کننده شارژ ۳۳۸
۱۴-۲-۱-۵- استفاده از حسگرها برای دستیابی به چراغ‌های خیابانی کارآمد با انرژی خورشیدی ۳۳۸

۱۴-۳- فرایند طراحی سیستم روشنایی راه خورشیدی ۳۳۹
۱۴-۴- نصب سیستم چراغ خیابانی خورشیدی ۳۴۰
۱۴-۵- مشخصات فنی برای اجرای سیستم ۳۴۱
۱۴-۵-۱- مشخصات فنی باتری ۳۴۱
۱۴-۵-۲- ماژول PV خورشیدی ۳۴۲
۱۴-۵-۳- کنترل‌کننده شارژ ۳۴۴
۱۴-۵-۴- چراغ خیابانی خورشیدی یا مجموعه لامپ ۳۴۴
۱۴-۵-۵- پایه روشنایی خیابانی ۳۴۵
۱۴-۶- انواع دیگر سیستم روشنایی راه خورشیدی ۳۴۶
۱۴-۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۳۴۷
فصل ۱۵ ..... ۳۴۹
۱۵-۱- سیستم‌های کنترل روشنایی ۳۵۱
۱۵-۱-۱- کنترل مستقل یا خودکار ۳۵۱
۱۵-۱-۲- کنترل متمرکز ۳۵۱
۱۵-۱-۳- کنترل دینامیک ۳۵۲
۱۵-۲- استراتژی‌های کنترل روشنایی راه ۳۵۴
۱۵-۲-۱- ساعت نجومی ۳۵۵
۱۵-۲-۲- برداشت نور روز ۳۵۵
۱۵-۲-۳- تشخیص ترافیک ۳۵۶
۱۵-۲-۴- تضعیف نور ۳۵۷
۱۵-۲-۵- ملاحظات ۳۵۷
۱۵-۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۳۵۷
فصل ۱۶ ..... ۳۵۹
۱۶-۱- بازیافت لامپ‌های حاوی جیوه ۳۶۱
۱۶-۱-۱- انواع لامپ‌های حاوی جیوه ۳۶۱
۱۶-۱-۲- جیوه و تاثیر آن بر محیط زیست ۳۶۳
۱۶-۱-۳- نحوه بازیافت لامپ‌های حاوی جیوه ۳۶۵
۱۶-۱-۳-۱- آموزش افراد ۳۶۵

۱۶-۱-۳-۲- ذخیره‌سازی ۳۶۵
۱۶-۱-۳-۳- بسته‌بندی و جابجایی لامپ‌های حاوی جیوه ۳۶۶
۱۶-۱-۳-۴- نگهداری سوابق ۳۶۶
۱۶-۱-۳-۵- تجهیز مخصوص خردکننده لامپ ۳۶۷
۱۶-۱-۴- دستورالعمل پاک‌سازی در صورت شکستن لامپ‌های حاوی جیوه ۳۶۸
۱۶-۱-۴-۱- لامپ‌های شکسته داخل جعبه ۳۶۹
۱۶-۱-۴-۲- دفع ۳۶۹
۱۶-۱-۴-۳- شستشو ۳۶۹
۱۶-۲- بازیافت لامپ‌های LED ۳۶۹
۱۶-۲-۱- مواد با ارزش موجود در لامپ‌های LED ۳۷۰
۱۶-۲-۲- نحوه بازیافت لامپ‌های LED ۳۷۱
۱۶-۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۳۷۵
پیوست ۱ : پایداری ۳۷۶
پیوست ۲ : جداول بازتاب روشنایی برای دسته‌های مختلف سطح راه ۳۷۹
پیوست ۳ :ملاحظاتی در طراحی تونل و تاثیر آن بر میزان روشنایی ۳۹۳
پیوست ۴ : عدم قطعیت در اندازه‌گیری شدت روشنایی ۳۹۵
پیوست ۵ : اندازه‌گیری‌ها برای بررسی اختلاف بین اندازه‌گیری‌های نوری و انتظارات طراحی ۳۹۸
پیوست ۶ :راهنمای سیستم‌های اندازه‌گیری روشنایی تطبیقی راه ۳۹۹
پیوست ۷ :اطلاعات عملی برای اندازه‌گیری روشنایی راه‌ها ۴۰۱
پیوست ۸ :مثالی از شبیه‌سازی روشنایی راه‌ها ۴۰۲
پیوست ۹ :مثالی از شبیه‌سازی روشنایی تونل ۴۱۲
مراجع ۴۴۹

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۲-۱: (الف) نمای طرح برای نقاط تداخل (ب) کنتراست مثبت برای عابرین پیاده ۲۴

شکل ۳-۱: سطح "T" شکل روشن شده توسط یک چراغ ۴۵

شکل ۳-۲: پوشش سطح راه با خواص ماکروسکوپی ناهموار و میکروسکوپی زبر ۴۶

شکل ۳-۳: پوشش سطح راه با خواص ماکروسکوپی ناهموار و میکروسکوپی صیقلی ۴۶

شکل ۳-۴: پوشش سطح راه با خواص ماکروسکوپی صاف و میکروسکوپی زبر ۴۶

شکل ۳-۵: پوشش سطح راه با خواص ماکروسکوپی صاف و میکروسکوپی صیقلی ۴۶

شکل ۴-۱: نقاط محاسبه در روش‌های شدت روشنایی و درخشندگی ۵۸

شکل ۴-۲: محل نصب چراغ‌ها؛ الف) ورودی رابط ب) خروجی رابط ج) چهارراه ساده و پایانه‌های رابط د) چهارراه پیچیده و پایانه‌های رابط ۶۵

شکل ۴-۳: مکان‌های نمونه برای پایه‌های روشنایی در میادین ۷۲

شکل ۵-۱: درصد دقت دید ۸۳

شکل ۵-۲: زوایای دید برای تعیین درصد دقت دید ۸۴

شکل ۵-۳: قابلیت دید یک ماشین ۸۵

شکل ۵-۴: قابلیت دید یک عابر پیاده یا دوچرخه‌سوار ۸۵

شکل ۵-۵: انتخاب کلاس روشنایی تونل ۸۸

شکل ۵-۶: نمای پرسپکتیو ورودی تونل با دایره دید ۲۰ درجه ۹۱

شکل ۵-۷: حوزه دید ۲۰ درجه که به سطوحی با مشخصات متفاوت تقسیم شده است ۹۲

شکل ۵-۸: مثال‌هایی از انواع مختلف راه‌های دسترسی به تونل همراه با میزان درخشندگی آن ناحیه ۹۴

شکل ۵-۹: منحنی کاهش درخشندگی ۹۷

شکل ۵-۱۰: نقاط اندازه‌گیری در ناحیه داخلی ۱۰۶

شکل ۵-۱۱: سیستم روشنایی متقارن ۱۰۷

شکل ۵-۱۲: سیستم روشنایی خلاف جهت ترافیک ۱۰۷

شکل ۶-۱: تاثیر برنامه نگهداری ۱۱۴

شکل ۶-۲: رویه تمیزکاری چراغ‌ها ۱۲۴

شکل ۸-۱: نحوه کدگذاری نمونه چراغ‌های LED ۱۷۷

شکل ۸-۲: مدل مقاومت حرارتی بین نقطه اتصال LED و محیط ۱۸۱

شکل ۸-۳: مدل مقاومت حرارتی LED شامل گرماگیر ۱۸۲
شکل ۸-۴: چراغ‌های نامناسب برای نصب مستقیم روی سطوح معمولا قابل اشتعال، (الف) توکار (ب) روکار ۱۹۰
شکل ۸-۵: نماد چراغ مناسب برای استفاده در شرایط سخت ۱۹۱
شکل ۸-۶: پایه‌های بدون بازو ۱۹۸
شکل ۸-۷: پایه‌های بازودار ۱۹۹
شکل ۸-۸: دریچه پایه و سوراخ ورودی کابل (ابعاد به میلیمتر) ۲۰۰
شکل ۸-۹: نمای مقابل برای آزمون ضربه دریچه ۲۰۲
شکل ۸-۱۰: نمای بالا برای آزمون ضربه درب دریچه ۲۰۲
شکل ۸-۱۱: گودی کاشت و صفحه زیر پایه ۲۰۳
شکل ۸-۱۲: طرح صفحه فلنج ۲۰۴
شکل ۸-۱۳: نصب چراغ روی پایه بدون بازو ۲۰۵
شکل ۸-۱۴: نصب چراغ روی بازو ۲۰۵
شکل ۸-۱۵: تغییر مکان پایه از حالت عمودی ۲۰۶
شکل ۸-۱۶: ضریب $\boldsymbol{\beta}$ برای رفتار دینامیکی پایه‌های روشنایی ۲۰۹
شکل ۸-۱۷: ضریب در معرض وزش باد بودن ۲۱۰
شکل ۸-۱۸: ضریب شکل برای مقاطع دایره‌ای و هشت ضلعی ۲۱۲
شکل ۸-۱۹: شاخص فلزی برای بررسی راستایی ۲۲۶
شکل ۹-۱: نحوه قرار گرفتن صفحات C و تغییرات زاویه تابش ($\boldsymbol{\gamma}$) حول محورهای چراغ برای نورسنجی زاویه‌ای ۲۳۶
شکل ۱۰-۱-۱: نقشه تک خطی پست توزیع زمینی با یک ترانسفورماتور ۲۵۱
شکل ۱۰-۲: نقشه تک خطی پست توزیع زمینی با دو ترانسفورماتور ۲۵۲
شکل ۱۰-۳: نشانه‌های ترسیمی پست‌های توزیع برق ۲۵۴
شکل ۱۰-۴: سیستم زمین نوع TN-S ۲۷۷
شکل ۱۰-۵: سیستم زمین نوع TN-C ۲۷۷
شکل ۱۱-۱: استفاده از حفاظ و تیغه نورگیر لامپ به منظور حداقل نمودن نور پخش شده ۳۰۰
شکل ۱۱-۲: استفاده از تجهیزات روشنایی خاص به منظور کاهش نور پراکنده شده ۳۰۱
شکل ۱۱-۳: افزایش ارتفاع نصب به منظور کاهش نور پراکنده شده ۳۰۱
شکل ۱۱-۴: استفاده از نورافکن‌های دارای پرتو نامتقارن ۳۰۱
شکل ۱۲-۱: طراحی روشنایی نمونه برای جایگاه بستن زنجیر چرخ ۳۱۳

شکل ۱۲-۲: نمای ایزومتریک جایگاه بستن زنجیر چرخ ۳۱۳
شکل ۱۲-۳: مشخصات طرح روشنایی جایگاه بستن زنجیر چرخ ۳۱۳
شکل ۱۳-۱: پنج سطح پیچیدگی بصری برای تابلوهای راهنمای هوایی ۳۲۲
شکل ۱۳-۲: ۵ سطح پیچیدگی بصری برای تابلوهای هوایی نام خیابان ۳۲۴
شکل ۱۳-۳: تاثیر نوع منبع نور بر ظاهر رنگ تابلو ۳۲۶
شکل ۱۴-۱: تجهیزات اتصال صفحه خورشیدی به شبکه ۳۳۲
شکل ۱۴-۲: تجهیزات سیستم هیبریدی ۳۳۳
شکل ۱۴-۳: اجزای سیستم روشنایی راه خورشیدی ۳۳۴
شکل ۱۴-۴: دیاگرام بلوکی رفتار سیستم در طول روز ۳۳۵
شکل ۱۴-۵: دیاگرام بلوکی رفتار سیستم در طول شب ۳۳۵
شکل ۱۴-۶: انواع ماژول PV خورشیدی ۳۳۶
شکل ۱۴-۷: مثال‌هایی از لامپ‌های LED روشنایی خیابانی ۳۳۸
شکل ۱۴-۸: نمونه‌هایی از کنترل‌کننده‌های شارژ ۳۳۸
شکل ۱۴-۹: طرح‌های نصب چراغ خیابانی خورشیدی ۳۴۱
شکل ۱۵-۱: معماری سیستم کنترل روشنایی راه ۳۵۳
شکل ۱۵-۲: ارتباطات PLC ۳۵۳
شکل ۱۵-۳: ارتباطات بی‌سیم ۳۵۴
شکل ۱۶-۱: زیست انباشته متیل جیوه ۳۶۴
شکل ۱۶-۲:تجهیز مخصوص خردکننده لامپ حاوی جیوه ۳۶۷
شکل ۱۶-۳: انبوهی از لامپ‌های ضایعاتی شامل لامپ‌های تخلیه گاز، لامپ‌های LED و لامپ‌های هالوژن برای بازیافت ۳۷۰
شکل ۱۶-۴: کسر جرمی اجزای یک لامپ LED معمولی (E27,806LM,9.5W. 855G) ۳۷۰
شکل ۱۶-۵: (الف) یک LED سفید معمولی که پوشش عناصر اصلی توسط طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس (ب) نگاشت شده است ۳۷۱
شکل ۱۶-۶: طرحواره یک فرایند بازیافت برای لامپ‌های LED ۳۷۲
شکل ۱۶-۷: (الف) مخلوطی از زباله‌های LED قبل از EHF، (ب) ترکیب اجزا و مواد پس از EHF لامپ‌های ضایعاتی، (ج) بخش‌های بدست آمده از مرتب‌سازی اجزا پس از EHF ۳۷۳

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول ۱-۱: علائم و اختصارات استفاده شده در راهنما ۱۰

جدول ۳-۱: سیستم دسته‌بندی استاندارد ۴۸

جدول ۳-۲: سیستم دسته‌بندی R ۴۹

جدول ۳-۳: سیستم دسته‌بندی N ۴۹

جدول ۳-۴: تقسیم‌بندی رویه‌های سطح راه‌ها منطبق بر دسته‌بندی R ۵۰

جدول ۳-۵: سیستم دسته‌بندی W برای راه‌ها با سطح مرطوب ۵۱

جدول ۳-۶: مطابقت رویه‌های سطح راه‌ها با دسته‌بندی W ۵۱

جدول ۴-۱: شرایط تامین روشنایی پیوسته برای آزادراه‌ها(CFL) ۶۱

جدول ۴-۲: شرایط تامین روشنایی کامل تبادل‌ها(CIL) ۶۲

جدول ۴-۳: شرایط تامین روشنایی جزئی تبادل‌ها(PIL) ۶۳

جدول ۴-۴: الف) مقادیر طراحی درخشندگی و روشنایی (مقادیر معمول) ب) مقادیر طراحی درخشندگی و روشنایی (متریک) ۶۹

جدول ۵-۱: موقعیت عرضی جسم و ناظر ۸۵

جدول ۵-۲: فاصله توقف برای سرعت طرح‌های مختلف ۸۷

جدول ۵-۳: حجم ترافیک ۸۷

جدول ۵-۴: مقادیر معمول درخشندگی ۹۲

جدول ۵-۵: مثالی از محاسبه درخشندگی ناحیه دسترسی (L20) مربوط به شکل ۵-۷ ۹۳

جدول ۵-۶: مقدار K برای محدوده‌های مختلف سرعت مجاز و کلاس‌های روشنایی تونل ۹۶

جدول ۵-۷: درخشندگی سطح راه در ناحیه داخلی ۹۷

جدول ۵-۸: یکنواختی درخشندگی سطح راه ۹۸

جدول ۶-۱: ضرایب نگهداری لومن لامپ (LLMF) ۱۱۵

جدول ۶-۲: نام کامل لامپ‌ها به همراه علائم اختصاری آنها ۱۱۶

جدول ۶-۳: ضرایب بقای لامپ (LSF) ۱۱۶

جدول ۶-۴: ضرایب نگهداری چراغ (LMF) ۱۱۷

جدول ۶-۵: ساعات کار سالانه لامپ ۱۲۴

جدول ۷-۱: اطلاعات کلی آزمون ۱۴۷

جدول ۷-۲: داده‌های سطح راه ۱۴۷
جدول ۷-۳: اطلاعات لامپ و چراغ ۱۴۸
جدول ۷-۴: مشخصات منبع الکتریکی ۱۴۹
جدول ۷-۵: شرایط محیطی ۱۴۹
جدول ۷-۶: موقعیت تاسیسات ۱۵۰
جدول ۷-۷: اطلاعات تجهیز اندازه‌گیر ۱۵۰
جدول ۷-۸: مشخصات تجهیزات اندازه‌گیری نوری ۱۵۱
جدول ۷-۹: جدول ثبت پایش نور ۱۵۱
جدول ۷-۱۰: اطلاعات ویژه برای اندازه‌گیری دینامیک ۱۵۲
جدول ۷-۱۱: محدوده‌های خطای تعریف شده برای معیارهای خطای د ستگاه اندازه‌گیری شدت رو شنایی (لوکس‌متر) در کلاس‌های دقت L، A، B و C ۱۵۴
جدول ۷-۱۲: محدوده‌های خطای تعریف شده برای معیارهای خطای دستگاه اندازه‌گیری درخشندگی‌متر در کلاس‌های دقت ۱۵۵
جدول ۷-۱۳: پارامترهای خطای قابل قبول دستگاه سنجش شدت روشنایی بر اساس استاندارد CIE ۱۵۶
جدول ۷-۱۴: پارامترهای خطای قابل قبول دستگاه‌های سنجش درخشندگی بر اساس استاندارد CIE ۱۵۷
جدول ۸-۱: دمای مجاز کلاهک ۱۶۶
جدول ۸-۲: برخی مشخصه‌های الکتریکی و نوری لامپ‌های بخار سدیم پرفشار رایج ۱۶۷
جدول ۸-۳: برگه مشخصات فنی لامپ ۱۶۸
جدول ۸-۴: اطلاعاتی که باید توسط سازنده بر روی چراغ، جعبه، داده‌برگ محصول، بروشور یا وب‌سایت ارائه شود ۱۷۳
جدول ۸-۵: شرایط ارزیابی نمونه چراغ‌های LED ۱۷۸
جدول ۸-۶: نحوه تقسیم‌بندی نمونه‌های LED برای آزمون‌های مختلف ۱۷۹
جدول ۸-۷: مشخصات فنی بالاست لامپ بخار سدیم پرفشار ۱۸۴
جدول ۸-۸: مشخصات فنی جرقه‌زن (وسیله راه‌اندازی) ۱۸۶
جدول ۸-۹: مشخصات فنی خازن ۱۸۸
جدول ۸-۱۰: سطوح مقاطع نامی هادی‌ها بر حسب اندازه ترمینال‌ها ۱۹۳
جدول ۸-۱۱: سطوح مقاطع نامی هادی‌ها بر حسب حداکثر جریان ۱۹۵
جدول ۸-۱۲: مشخصات فنی چراغ روشنایی راه ۱۹۶
جدول ۸-۱۳: ارتفاع نامی برای پایه‌های بدون بازو ۱۹۸

جدول ۸-۱۴: ارتفاع نامی برای پایه‌های بازودار ۱۹۹
جدول ۸-۱۵:زاویه نصب چراغ ۱۹۹
جدول ۸-۱۶: تصویر بازو ۱۹۹
جدول ۸-۱۷: ابعاد دریچه پایه ۲۰۰
جدول ۸-۱۸: ابعاد سوراخ ورودی کابل ۲۰۰
جدول ۸-۱۹: حداقل گودی کاشت ۲۰۳
جدول ۸-۲۰: فاصله مرکز پیچ‌های نصب A1 و A2 به میلیمتر ۲۰۴
جدول ۸-۲۱: ابعاد محل اتصال چراغ روی پایه بدون بازو ۲۰۵
جدول ۸-۲۲: ابعاد محل نصب چراغ روی بازو ۲۰۵
جدول ۸-۲۳: طبقه‌بندی عوارض زمین ۲۱۰
جدول ۸-۲۴: ضریب در معرض وزش باد بودن ($Ce(Z)$) ۲۱۱
جدول ۸-۲۵: حداکثر انحراف افقی موقت چراغ ۲۱۵
جدول ۸-۲۶: نیروهای لازم برای شبیه‌سازی بارهای بکار رفته در آزمون ۲۱۹
جدول ۸-۲۷: لنگرهای آزمون و میزان انحراف حاصل از آن ۲۱۹
جدول ۸-۲۸: حداقل ضخامت پوشش فلز روی ۲۲۳
جدول ۸-۲۹: تعداد نمونه‌های بازرسی نسبت به تعداد پایه‌های هر محموله ۲۲۵
جدول ۹-۱: رواداری خطا برای نورسنج ۲۳۷
جدول ۱۰-۱: انواع پست‌های توزیع زمینی و ابعاد آن ۲۵۳
جدول ۱۰-۴: ضرایب تصحیح دمای خاک اطراف کابل‌های PVC فشار ضعیف (۴۰۰ ولت) ۲۵۹
جدول ۱۰-۵: ضرایب تصحیح مجاورت برای بیش از یک مدار، کابل‌های مستقیم دفن شده در زمین(کابل‌های تک‌رشته‌ای یا چندرشته‌ای) ۲۶۱
جدول ۱۰-۶: ضریب تصحیح مجاورت برای بیش از یک مدار، کابل‌های چندرشته‌ای در داکت‌های مدفون ۲۶۲
جدول ۱۰-۷: ضرایب تصحیح مجاورت برای بیش از یک مدار، کابل‌های تک‌رشته‌ای در داکت‌های مدفون ۲۶۳
جدول ۱۰-۸: ضرایب تصحیح مقاومت مخصوص حرارتی خاک برای کابل‌های دفن مستقیم یا داکت‌های مدفون در زمین در صورتی که مقاومت مخصوص حرارتی خاک غیر از ۲/۵ K.M/W باشد ۲۶۴
جدول ۱۰-۹: ضریب تصحیح مجاورت برای بیش از یک مدار، کابل‌های چند هسته‌ای در هوای آزاد ۲۶۵
جدول ۱۰-۱۰: ضرایب تصحیح مجاورت برای گروهی (بیشتر از یکی) از کابل‌های تک رشته‌ای در هوای آزاد ۲۶۷
جدول ۱۰-۱۱: ضریب K برای خطوط هوایی با هادی مسی ۲۶۹

جدول ۱۰-۱۲: ضریب K برای کابل زمینی با هادی مسی و عایق PVC ۲۷۱
جدول ۱۱-۱: دسته‌بندی حوزه‌های محیطی ۲۹۲
جدول ۱۱-۲: مقادیر حداکثر شدت روشنایی عمودی در املاک مجاور ۲۹۲
جدول ۱۱-۳: حداکثر مقادیر مجاز شدت نور چراغ‌ها، تابیده شده به پنجره املاک مجاور ۲۹۴
جدول ۱۱-۴: حداکثر مقادیر آستانه افزایش و درخشندگی خیرگی از تاسیسات روشنایی غیرجاده‌ای ۲۹۵
جدول ۱۱-۵: حداکثر مقادیر مجاز درخشندگی متوسط سطح[۶۶] ۲۹۶
جدول ۱۱-۶: حداقل فاصله مجاز شهر از محل رصدخانه ۲۹۸
جدول ۱۱-۷: حداکثر مقدار ULR چراغ‌ها ۲۹۸
جدول ۱۱-۸: حداکثر مقدار UFR تاسیسات (برای چهار چراغ یا بیشتر) ۲۹۹
جدول ۱۲-۱: سطوح روشنایی متوسط حفظ شده برای مناطق استراحت ۳۰۶
جدول ۱۲-۲: سطوح درخشندگی حفظ شده برای مناطق استراحت ۳۰۶
جدول ۱۲-۳: پارامترهای روشنایی در مناطق بستن و باز کردن زنجیر چرخ ۳۱۲
جدول ۱۳-۱: حداقل سطح درخشندگی نوشته برای تابلوهای هوایی ۳۲۱
جدول ۱۴-۱: مشخصات فنی باتری ۳۴۲
جدول ۱۴-۲: مشخصات ماژول PV خورشیدی ۳۴۳
جدول ۱۴-۳: مشخصات فنی کنترل‌کننده شارژ ۳۴۴
جدول ۱۴-۴: مشخصات فنی چراغ خیابانی خورشیدی یا مجموعه لامپ ۳۴۴
جدول ۱۴-۵: مشخصات فنی پایه روشنایی خیابانی ۳۴۵
جدول ۱۶-۱: مقدار جیوه در لامپ‌های حاوی جیوه ۳۶۱

مقدمه

از آنجایی که تعداد وسایل نقلیه موتوری و عبور و مرور عابرین پیاده در راه‌ها روز به روز در حال افزایش است، بنابراین روشنایی راه‌ها امری ضروری می‌باشد. از سوی دیگر، تامین روشنایی راه‌ها یکی از مهم‌ترین مسائل مربوط به حفظ ایمنی راه‌ها می‌باشد، زیرا سیستم روشنایی مناسب، علاوه بر تامین روشنایی و دید کافی برای راننده، دید برای عابرین پیاده، کاهش جرائم، کاهش تصادفات، مسیریابی راحت‌تر و محیطی امن برای رفت و آمد را فراهم می‌نماید. در صورت عدم تامین روشنایی در بخش‌هایی از راه که نیاز به روشنایی دارند مشکلاتی همچون بروز تصادفات با شدت بیشتر، کاهش ظرفیت راه‌ها و افزایش جرائم ایجاد می‌گردد. همچنین ذکر این نکته لازم است که با توجه به محدودیت‌های هزینه و مصرف انرژی الکتریکی، محیط زیست و منابع طبیعی و جانوری امکان توسعه روشنایی در تمام راه‌ها و در کل طول راه وجود ندارد. بنابراین شناسایی و مکان‌یابی راه‌هایی که باید مجهز به روشنایی شوند و تعیین سطح این روشنایی، نیازمند مطالعات گسترده و مهندسی می‌باشد. لذا در این نشریه ضوابط و اصول طراحی روشنایی مناسب برای راه‌ها ذکر گردیده و مسائلی همچون ضوابط عمومی طراحی روشنایی، پوشش سطح راه، شرایط و الزامات تامین روشنایی راه، روشنایی تونل‌ها، مشخصات فنی تجهیزات، دستورالعمل اندازه‌گیری روشنایی در راه‌ها، آلودگی نوری، روشنایی تابلوهای هوایی راه، روشنایی راه‌ها با انرژی خورشیدی (سولار)، کنترل روشنایی راه‌ها و بازیافت لامپ‌های حاوی جیوه و LED فراهم شده است. با این حال، تخصص مهندسی به منظور تعیین نوع منبع نور و مشخصات آن، نوع لنز، نوع نصب چراغ، مشخصات الکتریکی و مکانیکی پایه، نوع پایه و جزئیات فونداسیون، ارتفاع و فاصله چراغ، ملاحظات نگهداری و استفاده از فناوری‌های جدید بر اساس نوع راه و شرایط موجود در منطقه اجرا، لازم می‌باشد.

با توجه به مطالب فوق، تهیه و تدوین آیین‌نامه روشنایی راه‌ها در این ضابطه مدنظر قرار گرفته و به آن پرداخته شده است. ضابطه پیش‌رو به مباحث مرتبط در قالب شانزده فصل می‌پردازد.

فصل۱

تعاریف و اصطلاحات

مقدمه

در این فصل، اصطلاحات به کار گرفته شده در کل ضابطه به اختصار پوشش داده می‌شوند.

۱-۱- تعاریف و اصطلاحات

۱-۱-۱- سیستم روشنایی راه‌ها

سیستمی که برای تامین روشنایی راه‌ها در اوقات تاریکی هوا ایجاد می‌شود. این سیستم متشکل از چراغ و لوازم آن، پایه و شبکه تغذیه‌کننده چراغ‌ها با متعلقات مربوطه می‌باشد.

۱-۱-۲- شار نوری

شار نوری (با واحد لومن یا lm)، مقدار کل تابش ساطع شده توسط یک منبع نور مشخص که برای چشم انسان قابل مشاهده است.

۱-۱-۳- شدت روشنایی

شدت روشنایی (با واحد کاندلا، یا cd) نشان دهنده توزیع فضایی نور است که به صورت شار نوری در یک زاویه مخروطی معین از منبع نور اندازه‌گیری می‌شود.

۱-۱-۴- روشنایی

روشنایی (با واحد لوکس یا lx) نشان دهنده کل مقدار نوری است که به یک سطح روشن خاص می‌رسد.

۱-۱-۵- درخشندگی

درخشندگی (با واحد cd/m^2) نشان دهنده درخشندگی سطوح یا اجسام روشن است که توسط چشم انسان درک می‌شود.

۱-۱-۶- شاخص تفکیک رنگ[۱] (CRI)

شاخص تفکیک رنگ که به اختصار CRI نامیده می‌شود، مولفه‌ای است که برای بیان کیفیت نور تولید شده از منابع روشنایی به کار می‌رود.

[۱] Color Rending Index

نور خورشید مهم‌ترین و گسترده‌ترین منبع نور به شمار می‌رود. این نور دارای طیف کامل است و بهترین حالت دید را فراهم می‌نماید. از این‌رو، رنگ اشیا زیر نور خورشید، به عنوان پایه و مبنا در نظر گرفته می‌شود. حال هر چه کیفیت رنگ‌ها یا اشیا زیر نور مصنوعی به نمود رنگی زیر نور خورشید نزدیک‌تر باشد، CRI اختصاص یافته به آن منبع نور بالاتر می‌باشد. این شاخص بین صفر تا صد تعریف می‌شود و هر چه این عدد بزرگتر باشد، منبع نور بهتر می‌باشد.

۱-۱-۷- خیرگی

خیرگی یک جلوه بصری ناخوشایند است که به دلیل توزیع نامطلوب روشنایی یا کنتراست زیاد ایجاد می‌شود و چشم را مجبور می‌کند تا به سرعت تنظیم شود. خیرگی معمولا دو نوع متفاوت است: خیرگی محدودکننده که ناشی از پراکندگی نور در چشم است که حساسیت کنتراست را کاهش می‌دهد و خیرگی آزاردهنده که باعث ایجاد یک احساس ناراحتی ذهنی می‌شود. حساسیت به خیرگی محدودکننده ممکن است برای افراد مختلف متفاوت باشد (به ویژه اثرات با افزایش سن افزایش می‌یابد). از سوی دیگر، خیرگی آزاردهنده، یک پدیده ذهنی است و هیچ اتفاق نظری برای نحوه رتبه‌بندی آن وجود ندارد.

۱-۱-۸- آرایش نصب[۱]

آرایش نصب به نحوه قرار گرفتن پایه‌های روشنایی نسبت به یکدیگر اشاره دارد. آرایش نصب پایه‌ها شامل چهار حالت نصب زیگزاگ، نصب روبه‌رو، نصب در یک طرف و نصب در وسط می‌باشد.

۱-۱-۹- فرد واجد شرایط یا دارای صلاحیت

فردی که دارای آموزش و تجربه مرتبط با موضوع مورد بحث و درک الزامات وظیفه خاص می‌باشد. انتظار می‌رود که یک فرد دارای صلاحیت بتواند تفسیر منطقی و توصیه‌هایی در مورد بهترین ابزارهایی که ممکن است به کارگیرند را ارائه دهد.

۱-۱-۱۰- ناحیه حفاظت شده[۲]

ناحیه‌ای که برای حفظ ویژگی‌های معماری آن، نیاز به توجه ویژه‌ای به طراحی سیستم روشنایی مطابق با قوانین خاص آن ناحیه دارد.

---

[۱] arrangement

[۲] Conservation Area

۱-۱-۱۱- هزینه[۱]

اثر منفی مالی یا غیر مالی، از قبل تعیین شده یا ناخواسته ناشی از یک طرح را هزینه گویند.

۱-۱-۱۲- پل عبور عابرین[۲]

پلی است که فقط برای عبور عابرین پیاده و برای گذر از عرض راه ساخته می‌شود.

۱-۱-۱۳- هندسه

ابعاد و ویژگی‌های خطی مرتبط با سیستم روشنایی جاده یعنی فاصله، ارتفاع نصب، موقعیت عرضی و ترتیب نصب را هندسه می‌گویند.

۱-۱-۱۴- روشنایی با دکل (پایه) بلند[۳]

نوعی از سیستم روشنایی راه‌ها برای نواحی بزرگ می‌باشد که پایه‌های روشنایی آن، دکل‌های بلندی هستند که بر روی آن چندین چراغ (نورافکن) قرار دارد. پایه‌های روشنایی دکل‌های بلند معمولا بیش از ۱۸ متر ارتفاع دارند.

۱-۱-۱۵- ضریب شار نوری منبع نور

این ضریب به صورت نسبت شار نوری یک لامپ (یا منبع نور) در یک زمان معین از عمر آن به شار نوری اولیه تعریف می‌شود. تولیدکنندگان منابع نور می‌توانند این اطلاعات را به صورت جداول یا به صورت گرافیکی ارائه دهند. جزئیات بیشتر در این مورد در PD ISO/CIE TS 22012:2019 موجود می‌باشد.

۱-۱-۱۶- طراح روشنایی

فردی که دارای تجربه و شایستگی لازم برای طراحی روشنایی فضاهای عمومی است.

۱-۱-۱۷- ارتفاع نصب

فاصله عمودی بین مرکز فتومتریک چراغ روشنایی راه و سطح راه، ارتفاع نصب نام دارد.

---

[۱] Cost

[۲] Footbridge

[۳] High mast lighting

۱-۱-۱۸- بازو

بخشی از پایه که به صورت افقی و یا زاویه‌دار، از خط عمودی گذرنده از مرکز مقطع پایه در سطح زمین منحرف شده و تا نقطه اتصال چراغ به آن ادامه می‌یابد.

۱-۱-۱۹- عقب‌روی[۱]

کمترین فاصله بین لبه جلویی پایه با لبه سواره‌روی راه، عقب‌روی نام دارد.

۱-۱-۲۰- میانگین ترافیک روزانه (ADT)

نسبت کل حجم ترافیک در تمامی روزهای یک دوره زمانی مشخص، به تعداد روزهای آن دوره زمانی.

۱-۱-۲۱- کنتراست (C)

کنتراست عامل تعیین‌کننده مهمی برای رویت اشیا بوده به نحوی که مشخص‌کننده میزان تمایز درخشندگی هر شی با محیط پس‌زمینه آن می‌باشد.

۱-۱-۲۲- منطقه کاری

بخشی از راه که در آن عملیات ساخت و ساز و یا تعمیرات در حال انجام است.

۱-۱-۲۳- روشنایی پیوسته

در سیستم روشنایی پیوسته، در تمامی مسیر راه اعم از باندهای ترافیکی، تقاطع‌ها و تبادل‌های موجود در مسیر، روشنایی یکنواختی وجود دارد.

۱-۱-۲۴- روشنایی جزئی

این روشنایی در مناطقی از راه استفاده می‌شود که احتمال رخ دادن تصادفات در آنها بیشتر است.

۱-۱-۲۵- تابلوی راهنما

تجهیزاتی که به رانندگان اطلاعات کافی در مورد مسیر می‌دهند.

---

[۱] Setback

۱-۲- علائم و اختصارات

به منظور رسیدن به اهداف این راهنما، علائم و اختصارات جدول ۱-۱ مفید خواهد بود.

جدول ۱-۱: علائم و اختصارات استفاده شده در راهنما

نماد	تعریف	نماد	تعریف
E_{avg}	متوسط شدت روشنایی حفظ شده (lux)	E_{min}	حداقل شدت روشنایی (lux)
E_{avg}/E_{min}	نسبت یکنواختی شدت روشنایی	L_{avg}	متوسط درخشندگی حفظ شده (cd/m^2)
L_{max}/L_{min}	حداکثر یکنواختی درخشندگی	L_{avg}/L_{min}	حداقل یکنواختی درخشندگی
A	مساحت یک بخش در نمای پرسپکتیو ورودی تونل	E_w	شدت روشنایی حفظ شده دیوار (lux)
f	فاصله کانونی لنز دوربین (mm)	H	ارتفاع دهانه ورودی تونل (m)
H_L	ارتفاع نصب چراغ (m)	h	ارتفاع نگاتیو فیلم چاپ شده (mm)
I_w	شدت نور در جهت نقطه محاسباتی روی دیوار (cd/km)	k	نسبت درخشندگی ناحیه آستانه به درخشندگی ناحیه دسترسی
L	درخشندگی (cd/m^2)	L_{in}	درخشندگی ناحیه داخلی (cd/m^2)
L_{th}	درخشندگی ناحیه آستانه (cd/m^2)	L_{tr}	درخشندگی ناحیه انتقال (cd/m^2)
L_w	درخشندگی حفظ شده دیوار (cd/m^2)	L_{20}	درخشندگی ناحیه دسترسی (cd/m^2)
LTP	درصد دقت دید	MF	ضریب نگهداری
P	ارتفاع نقطه محاسبه روی دیوار بالای سطح جاده (m)	q_c	ضریب وضوح کنتراست
SSD	فاصله توقف (m)	U_l	یکنواختی طولی
U_0	یکنواختی کلی درخشندگی سطح راه	α	زاویه بین صفحه عمودی محتوی مسیر نور تابشی و صفحه عمودی در زاویه قائم به دیوار در نقطه محاسبه(°)
α_i	زاویه دید ورودی آشکار در یک سطح عمودی	α_u	زاویه دید خروجی آشکار در یک سطح عمودی
β_i	زاویه دید ورودی آشکار در یک سطح افقی	β_u	زاویه دید خروجی آشکار در یک سطح افقی
ε	زاویه برخورد نور به صفحه افقی در نقطه محاسباتی(°)	ρ_{dif}	ضریب انعکاس پراکنده دیوار
Φ	شار نوری اولیه لامپ یا لامپ‌های چراغ(klm)	θ_H	زاویه بین خطوط دید منتهی به بالای تونل و سطح راه(°)
θ_P	ارتفاع زاویه‌ای چاپ(°)	$DLOR_a$	نسبت نور خروجی در پایین سطح افق
$ULOR_a$	نسبت نور خروجی در بالای سطح افق	ULR	نسبت نور به سمت بالا
UFR	نسبت شار به سمت بالا	η	بهره نوری (lm/W)

۱-۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل، تعاریف، اصطلاحات و همچنین علائم و اختصارات استفاده شده در ضابطه ارائه گردید.

فصل ۲

ضوابط عمومی طراحی روشنایی

مقدمه

در این فصل از نشریه ضوابط عمومی طراحی روشنایی مطرح شده است. مطالبی که در این فصل بررسی شده شامل اصول کلی روشنایی راه‌ها و ملاحظات طراحی عملی می‌باشد. ملاحظات طراحی عملی شامل مکان‌یابی پایه‌های روشنایی، آرایش نصب، نگهداری، فناوری‌ها، منابع نور، چراغ‌ها و روشنایی با استفاده از دکل بلند می‌باشد.

۲-۱- اصول کلی روشنایی راه‌ها

۲-۱-۱- اهداف روشنایی راه‌ها

روشنایی راه‌ها شامل روشنایی انواع راه‌های عمومی بوده و به منظور کمک به رفت و آمد ایمن و سهولت گذر برای تمامی کاربران در این راه‌ها تعبیه می‌گردد. از این نظر فراهم نمودن روشنایی مناسب می‌تواند یکی از اقداماتی باشد که برای کاهش تصادفات شبانه استفاده می‌شود. این امر علاوه بر ایجاد ایمنی در جابجایی وسایل نقلیه، نقش اجتماعی گسترده‌ای داشته و کمک به سزایی در کاهش جرائم و احساس امنیت شهروندان می‌کند. همچنین موجب رونق اجتماعی و بازرگانی مراکز شهرها در شب و افزایش گردشگری می‌شود.

در روشنایی راه‌ها و اجرای آن باید معیارهای نشریه ۲۶۷ سازمان برنامه و بودجه با عنوان آیین‌نامه ایمنی راه‌های کشور در نظر گرفته شود.

با توجه به اینکه سیاست‌های حمل و نقل و زیست محیطی بر ضرورت بهبود شرایط پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری تاکید دارند، یکی از فاکتورهای مهم در برآورده کردن این هدف، کیفیت مسیرهای پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری است. در این راستا سیستم روشنایی راه‌ها نقش مهمی در ایجاد شرایط مناسب پس از تاریکی هوا بر عهده دارد. البته در ایجاد این سیستم معمولا به روشنایی پیاده‌روها کمتر از روشنایی راه‌های مخصوص عبور وسایل نقلیه اهمیت داده می‌شود، اما با این وجود، روشنایی آنها نیز باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر ایجاد محیطی مطبوع و مناسب، اهداف اصلی روشنایی نیز برآورده شود[۱].

فراهم نمودن اقدامات مطلوب ترافیکی ممکن است نیازمند آرایش خاصی از روشنایی باشد. راهنمایی‌های بیشتر در مورد روشنایی مطلوب ترافیکی در ILP TR25 موجود می‌باشد.

روشنایی راه‌ها باید به گونه‌ای باشد که تمام ویژگی‌های مهم راه و ترافیک آن را برای حرکت ایمن وسایل نقلیه آشکار نماید. همچنین این روشنایی باید تمام مشخصات راه و ترافیک را برای همه کاربران راه، از جمله عابران پیاده، نشان دهد. از طرف دیگر، علی‌رغم اینکه هدف اصلی در نصب سیستم روشنایی راه‌ها، مشخص کردن مسیر راه نبوده، بهتر است در صورت امکان، سیستم روشنایی راه‌ها به مسیریابی نیز کمک کند. بدین منظور محل نصب پایه‌های روشنایی باید طوری انتخاب گردند تا از بروز اشتباه توسط رانندگان در چگونگی ادامه مسیر راه، جلوگیری نمایند.

هنگام در نظر گرفتن تاسیسات روشنایی برای راهی که قبلا روشن نبوده، باید راهنمایی ارائه شود که در آن لزوم یا عدم لزوم روشن شدن علائم راهنمایی و رانندگی مشخص و همچنین تاثیر نورهای جدید بر محیط زیست در نظر گرفته شود. همچنین هنگام استفاده از تاسیسات روشنایی در ناحیه‌ای که قبلا روشن نشده، فاصله این ناحیه تا سایر روشنایی‌های موجود باید طوری تنظیم شود که جلوه‌ای روشن، تاریک و روشن ایجاد نشود. سرعت سفر باید با استفاده از ۸۵ درصد سرعت مورد بررسی یا محدودیت سرعت تعیین شود. اگر تصمیم بر آن است که برای قسمتی از راه تاسیسات روشنایی نصب شود و مابقی تاریک باشند، باید حداقل قسمت روشن نشده مورد توافق وزارت راه و شهرسازی باشد. قبل از توافق وزارت راه و شهرسازی، باید بررسی ایمنی راه و ارزیابی خطر انجام گیرد.

برای حداقل فاصله بین بخش‌های روشن نشده جاده، توصیه‌ای وجود ندارد. با این حال یک روش سرانگشتی[۱] که برای نواحی تداخل استفاده می‌شود، "قانون پنج ثانیه[۲]" است. طبق این قانون فاصله برابر با مسافتی است که خودرو با سرعت طرح در ۵ ثانیه طی می‌کند[۱].

۲-۱-۲- محیط زیست

هنگام طراحی یک سیستم روشنایی جدید یا جایگزین، مسائل زیست محیطی مرتبط با روشنایی راه از ملاحظات اصلی است. می‌توان با تغییر سطح روشنایی، تاثیر زیست محیطی را کاهش داد و از مقدار روشنایی مناسب در زمان مناسب استفاده نمود، حتی ممکن است در زمان مناسب روشنایی خاموش شود.

۲-۱-۲-۱- کلیات

طراحان باید، حداقل مسائل زیست محیطی زیر را بررسی کنند:

- نمای ظاهری در روز و شب
- حداقل نمودن نور مزاحم
- ارزیابی تاثیر بصری
- تاثیر روشنایی بر بوم‌شناسی، گیاهان و جانوران
- مسائل زیست محیطی خاص در سیاست‌های برنامه‌ریزی محلی

در نهایت، ایمنی کاربران باید بر زیبایی‌شناسی ارجحیت داشته باشد. در مورد مسائل ظاهری باید با مقامات برنامه‌ریز یا سایر سازمان‌های مربوطه مشورت کرد.

---

[۱] Rule of Thumb

[۲] Five Seconds Rule

۲-۱-۲-۲- نمای ظاهری

۲-۱-۲-۲-۱- نمای ظاهری تاسیسات روشنایی راه‌ها در روز

طراحی و نصب تجهیزات روشنایی راه‌ها و سایر تاسیساتی که به جهات مختلف در راه‌ها استفاده می‌شوند، تاثیر به‌سزایی در تغییر نمای ظاهری و منظره راه در روز دارند. به عنوان مثال نحوه طراحی و انتخاب محل مناسب جهت نصب پایه‌های روشنایی در یک راه عمومی و یا یک پل تاریخی می‌تواند منجر به دید جالب‌تر آن گردد.

در مواردی که حفظ معماری خیابان ضروری است، پایه‌های روشنایی باید با توجه به معماری یا منظره، طراحی و جانمایی شوند. در دیگر شرایط، تجهیزات روشنایی راه‌ها نباید تا حد امکان موجب مزاحمت شوند. همچنین طراح باید بعد از مشورت با افراد دارای صلاحیت در صورت امکان از روش‌هایی برای کاهش آشفتگی یا شلوغی خیابان استفاده نماید.

۲-۱-۲-۲-۲- نمای ظاهری تاسیسات روشنایی راه‌ها در شب

یکی از اهداف طراحی سیستم روشنایی راه‌ها، کمک به بهبود دید محیط اطراف در هنگام شب است. در حالی که روشنایی کارآمد برای ایمنی وسایل نقلیه و عابران پیاده به ویژه در راه‌های شهری و مسکونی ضروری است، اما روشنایی مناسب و خوش رویت بودن قسمت‌های مختلف راه در شب نیز اهمیت خاصی دارد.

در طرح اولیه باید روشنایی مناسب و کافی برای تردد وسایل نقلیه و ایمنی عابران پیاده فراهم شود. همچنین باید تا حد امکان اطمینان حاصل شود که روشنایی به طور مستقیم به ایجاد فضایی دلپذیر و جذاب در شب (به ویژه برای نواحی مهم شهری) کمک می‌کند.

عواملی مانند کیفیت نور و ملاحظات محیط اطراف باید مورد توجه قرار گیرند و در نظر داشت که طراحی مناسب سیستم روشنایی در افزایش ایمنی تاثیر به‌سزایی دارد. به همین دلیل در انتخاب سیستم روشنایی راه‌ها باید شاخص تفکیک رنگ (R_a) برای کاربرد موردنظر، مناسب باشد[۱].

در مواردی که پلیس برای تحت نظر گرفتن جرائم خیابانی از دوربین مداربسته[۱] استفاده می‌کند، باید در مورد الزامات روشنایی مانند سطح و تفکیک رنگ، با آنها مشورت شود.

نمود رنگ[۲] منابع نور در سیستم‌های روشنایی باید مناسب با کاربرد یا وظیفه آنها باشد. طراحان روشنایی باید در هنگام انتخاب دمای رنگ همبسته[۳] (T_{CP}) مناسب دقت لازم را به خرج دهند و راهنمایی‌ها، سیاست‌ها و قوانین محلی که ممکن است دمای رنگ مجاز را محدود نمایند، در نظر بگیرند. نمود رنگ با دمای رنگ همبستگی دارد. T_{CP} نمود رنگ منبع نور را با نمود رنگ منبع مرجع، وقتی که منبع مرجع تا دمای خاصی گرم می‌شود، مرتبط می‌کند و اندازه‌گیری‌ها در این حالت

[۱] CCTV

[۲] Colour Appearance

[۳] Correlated Colour Temperature

در مقیاس کلوین (K) می‌باشند. دمای رنگ پایین (تقریبا ۳۰۰۰ کلوین و کمتر) یک منبع گرم را توصیف می‌کند و دمای رنگ بالا (تقریبا ۴۰۰۰ کلوین و بیشتر) یک منبع سرد را توصیف می‌کند[۱].

۲-۱-۲-۳- نور مزاحم

کنترل توزیع نور تاسیسات به منظور محدود کردن نور مزاحم و برافروختگی آسمان ضروری است. در برخی موارد، روشنایی در شب می‌تواند موجب مزاحمت باشد. به عنوان مثال در نواحی روستایی و باز که در غیر این صورت تاریک می‌باشند، روشنایی می‌تواند مزاحم باشد.

نور رو به بالا در همه تاسیسات روشنایی راه باید به حداقل برسد که این کار با کنترل شدت نور چراغ‌های روشنایی که در زاویه‌های نزدیک یا بالای سطح افق و به صورت افقی نصب شده‌اند، انجام می‌گیرد.

به منظور جلوگیری از نفوذ غیرضروری نور به مناطق مجاور باید اقدامات احتیاطی لازم انجام شود. ممکن است در برخی موارد به صلاحدید مشتری، سطح محدودی از نور در جلوی باغ‌ها و نمای املاک به منظور افزایش نمای ظاهری ناحیه و حفاظت از اموال مجاز باشد.

هنگام طراحی روشنایی در مناطقی همچون کمربند سبز[۱]، پارک‌های ملی، پارک‌های با آلودگی نوری خیلی کم[۲] و نواحی با زیبایی طبیعی برجسته، باید به حساسیت محیط توجه شود. همچنین در طرح‌هایی که مناطق مسکونی در مجاورت نواحی حساس زیست محیطی قرار دارند، باید با انتخاب یک سطح روشنایی مناسب، میزان توزیع نور را به حداقل رساند تا نفوذ نور به مناطق مجاور حداقل شود.

علاوه بر موارد مذکور، کنترل نور مزاحم مزایای دیگری نیز دارد به عنوان مثال نفوذ نور می‌تواند بر تنوع بوم‌شناسی تاثیر گذارد، زیرا شکارچیان در شب اغلب در شرایط نامطلوب قرار می‌گیرند. نشریه ILP GN08/18 راهکارهایی را برای روشنایی مناطقی که خفاش‌ها در آنجا وجود دارند، ارائه نموده است[۱].

۲-۱-۲-۴- بوم‌شناسی[۳]

هنگام طراحی یک سیستم جدید یا جایگزین، لازم است که تاثیر نورهای جدید بر بوم‌شناسی در نظر گرفته شود. اطلاعات و راهنمایی‌های لازم در مورد نحوه تاثیر نور مصنوعی بر گیاهان و جانوران در دسترس است. همچنین برخی راهنمایی‌های خاص به عنوان مثال تاثیر نور مصنوعی بر بی‌مهرگان نیز فراهم شده است[۲].

یک مثال از بوم‌شناسی که تحت تاثیر نور مصنوعی قرار می‌گیرد، مناطقی است که خفاش‌ها در آنجا رفت و آمد دارند و زندگی می‌کنند. جزئیات بیشتر در این رابطه در ILP GN08/18 موجود است. طراحان باید با بوم‌شناسان ارتباط برقرار

---

[۱] Green Belt

[۲] Dark Sky Park

[۳] Ecology

کنند تا از حساسیت‌های بوم‌شناسی خاصی که در ناحیه وجود دارد، آگاه شوند. سپس باید سیستم روشنایی طوری طراحی شود که این موارد لحاظ گردد[۱].

۲-۱-۲-۵- پایداری

به منظور بهبود پایداری روشنایی راه‌ها، اقداماتی را باید انجام داد. دست‌یابی به یک راه‌حل پایدار نیازی به سرمایه‌گذاری مالی قابل توجهی ندارد اما مستلزم درک تاثیر طرح از دیدگاه‌های مختلف است. از طریق تصمیم‌گیری درست و به موقع، می‌توان با کمی سرمایه‌گذاری بیشتر در مرحله طراحی و ساخت به پایداری مناسب دست یافت. ممکن است یک راه‌حل پایدار در کل چرخه عمر نسبت به یک راه‌حل با پایداری کمتر، هزینه کمتری داشته باشد.

در کنار راه‌حل‌های تکنولوژیکی مانند منابع نور کنترل‌شده با هدف مصرف بهینه انرژی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان منابع اولیه، روش‌های ساده‌ای مانند انتخاب کلاس روشنایی مناسب و استفاده از روشنایی متغیر می‌تواند به پایداری بیشتر سیستم روشنایی کمک نماید. پایداری همچنین مستلزم بررسی مسائل مربوط به ضایعات، آلودگی و انرژی در چرخه عمر محصولات است. نیاز به طراحی‌هایی با مصرف انرژی بهینه در بند ۲-۱-۳- فراهم شده است.

هنگام طراحی سیستم‌های روشنایی، توجه به این نکته لازم است که طراحی تا زمانی که پارامترهای طراحی لازم برآورده می‌شوند باید پایدار باشد. راهنمای راه‌حل‌های روشنایی پایدار در پیوست ۱ آمده است.

۲-۱-۳- انرژی الکتریکی

از آنجایی که روشنایی بخش قابل توجهی از انرژی الکتریکی را مصرف می‌کند و هزینه‌های انرژی الکتریکی در حال افزایش است، بنابراین کاهش مصرف انرژی الکتریکی اغلب بخشی از اهداف الزامات طراحی سیستم روشنایی می‌باشد و طراحان باید طرح‌های مناسب مصرف انرژی بهینه را توسعه دهند. اطلاعات بیشتر در این زمینه در مراجع [۴-۳] موجود است[۱].

۲-۱-۳-۱- اقدامات برای به حداقل رساندن مصرف انرژی الکتریکی

اقدامات مربوط به بهره‌وری انرژی را می‌توان مطابق با استاندارد BS EN13201-5 انجام داد.

روشنایی مناسب می‌تواند به استراتژی‌های کاهش کربن و مصرف انرژی الکتریکی کمک نماید. استراتژی‌های مختلفی برای این منظور در دسترس است که باید ارزیابی شوند تا گزینه مناسب انتخاب گردد. این استراتژی‌ها شامل موارد زیر می‌باشد، اما محدود به آنها نیست:

- روشنایی متغیر(تطبیقی): استانداردهای روشنایی راه، سطوح روشنایی لازم را بر اساس میزان استفاده طبقه‌بندی می‌نمایند. بنابراین، هنگامی که استفاده از یک جاده یا ناحیه کاهش می‌یابد(از نیمه شب تا ۶ صبح)، با فراهم بودن تجهیزات مناسب، می‌توان سطح روشنایی را کاهش داد.
- کوتاه کردن فاصله زمانی[۱]: کوتاه کردن فاصله زمانی را می‌توان برای روشن و خاموش کردن نور محیط اعمال کرد. منابع نوری مدرن که از ادوات کنترل الکترونیکی استفاده می‌کنند، به زمان زیادی برای گرم شدن تا رسیدن به خروجی کامل نیاز ندارند، بنابراین روشنایی را می‌توان نزدیک به زمان موردنیاز روشن کرد و این کار موجب کاهش ساعات کار می‌شود.
- روشنایی جزئی در شب[۲]: روشنایی بین ساعات خاصی مانند نیمه شب تا ساعت ۶ صبح خاموش می‌شود. یکنواختی طولی در حین این خاموش و روشن شدن که در ساعات تاریکی رخ می‌دهد، حفظ می‌شود تا تغییر حالت در هنگام غروب و سپیده صبح رخ ندهد. سیستم کنترل، چراغ‌ها را با نظم پیوسته‌ای خاموش و روشن می‌کند، زیرا استفاده از یک روش تصادفی به صورت موقت، یکنواختی طولی را به خطر می‌اندازد.
- خاموش کردن[۳]: روشنایی خاموش و حذف می‌شود.
- حسگرها: حسگرهای قابل استفاده شامل مادون قرمز پسیو[۴](PIR)، سنسورهای حرکتی، تشخیص حضور و کلیدهای فشاری می‌شود.

در صورت استفاده از هر یک از استراتژی‌های کاهش مصرف انرژی الکتریکی، باید از تامین ایمنی کافی راه اطمینان حاصل شود.

تعرفه انرژی الکتریکی برای روشنایی عمومی به طور کلی بر اساس مشخصات عملکردی آن است. بیشتر تاسیسات روشنایی در تمام شب کار می‌کنند، بنابراین نرخ انرژی الکتریکی، متوسط نرخ‌های مختلف در آن دوره است. سیستم روشنایی در زمان‌هایی که تقاضای انرژی الکتریکی بسیار پایین است (به عنوان مثال نصف شب تا ۶ صبح) استفاده می‌شود، بنابراین برق در مقایسه با دوره‌های اوج بسیار ارزان است. هر گونه تغییر در مشخصات عملکردی باید به تامین کنندگان انرژی اطلاع داده شود تا بتوانند تاثیر آن را بر منابع خود در نظر بگیرند. این ممکن است منجر به تغییر تعرفه شود، که می‌تواند نرخ انرژی الکتریکی را افزایش دهد. در این میان، وقتی بار تاسیسات کاهش یابد، ممکن است هزینه کلی انرژی الکتریکی به همان میزان کاهش نیابد[۱].

---

[۱] Trimming

[۲] Part-night

[۳] Switch Off

[۴] Passive Infra-Red

۲-۱-۳-۲- ساعات عملکرد

روشنایی راه، در صورت وجود، معمولا در تمام ساعات تاریکی، از حدود ۳۰ دقیقه پس از غروب آفتاب تا ۳۰ دقیقه قبل از طلوع آفتاب مورد نیاز است، اگرچه معمولا کنترل‌ها بر اساس سطح روشنایی روز می‌باشند.

قبل از تصمیم‌گیری در مورد روشنایی جزئی در شب، باید با بررسی فاکتورهای زیر، ارزیابی ریسک انجام شود:

- روشنایی در ساعات تاریکی به دلیل کمک در پیشگیری از وقوع جرم، افزایش حفاظت توسط پلیس و ایمنی و امنیت عمومی جامعه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.
- سطح روشنایی در شب ممکن است بسته به نوع استفاده و فاکتورهای دیگر متفاوت باشد.
- در برخی شرایط محدود، ممکن است تاسیسات روشنایی در دوره‌های خاصی از شب یا سال که استفاده از آن بسیار کم است، به طور کامل خاموش شوند.

۲-۱-۳-۳- سطح روشنایی متغیر (تطبیقی)

پیشرفت روزافزون فناوری، انعطاف‌پذیری بیشتری را برای تغییر سطح روشنایی در همه سطوح روشنایی فراهم کرده است. با کاهش مصرف، می‌توان سطح روشنایی را کاهش داد، مگر اینکه دلایل مهمی برای عدم انجام این کار وجود داشته باشد (مانند احتمال تصادف یا میزان جرم و جنایت). حتی ممکن است خاموش کردن برای برخی از دوره‌های شب مناسب باشد. همچنین عکس این حالت نیز برقرار است که در آن می‌توان از نور متغیر برای افزایش سطح نور در هنگام افزایش جریان ترافیک استفاده نمود.

روشنایی متغیر اغلب به صورت تضعیف نور شناخته می‌شود، اما بهتر است که روشنایی بر اساس سطح روشنایی مناسب و به منظور رعایت پارامترهای خاص راه در یک زمان خاص، تغییر یابد. ممکن است بالاترین سطح روشنایی که تاسیسات می‌توانند داشته باشند فقط در مواردی نادر که تراکم ترافیک بیش از حد معمول است (مانند روزهای مسابقه در نزدیکی یک استادیوم فوتبال)، استفاده شود، در حالی که سطح روشنایی روزمره تاسیسات ممکن است پایین‌تر از سطح روشنایی مناسب باشد.

استفاده از نور با سطوح متغیر، مزایای زیست محیطی دیگری همچون کاهش نفوذ نور، کاهش آلودگی نوری، کاهش مصرف انرژی الکتریکی و کاهش کربن را شامل می‌شود.

اگر از خاموش کردن منابع نور به عنوان روشی برای تغییر سطح روشنایی استفاده شود، الزامات یکنواختی باید برآورده شود. این موضوع شامل مواردی است که چراغ‌ها به صورت جداگانه به منظور کاهش سطح روشنایی خاموش می‌شوند. در صورت استفاده از سیستم دینامیک، به منظور جلوگیری از اثرات آزاردهنده ناشی از کلیدزنی باید از تاخیرهای مناسب برای تغییر بین سطوح استفاده شود.

۲-۱-۳-۴- کنترل‌ها

سیستم‌های کنترل روشنایی موجب می‌شوند که سطح روشنایی با توجه به نیازهای خاص در هر مکان متفاوت باشد. سیستم‌های روشنایی را می‌توان طوری برنامه‌ریزی نمود که خروجی آن در زمان‌های تعیین شده یا در شرایط تعیین شده تغییر نماید. کنترل روشنایی به کاهش هزینه‌ها و صرفه‌جویی در مصرف انرژی الکتریکی کمک می‌کند. کنترل روشنایی شامل استفاده از کلیدهای زمان[۱]، PECU[۲] و CMS[۳] می‌باشد.

به طور کلی از کنترل‌های خودکار مانند واحدهای PECUها و کلیدهای زمان معمولا برای روشن کردن چراغ‌ها در هنگام تاریکی غروب و خاموش کردن آنها در هنگام سحر استفاده می‌شود. از PECUهای روشنایی جزئی در شب برای خاموش کردن یا کاهش خروجی منبع نور چراغ‌ها استفاده می‌شود. این در حالی است که CMSها کنترل و انعطاف‌پذیری بیشتری را ارائه می‌دهند و ارتباط دو طرفه و از راه دور بین سرور و هر نقطه روشنایی در تاسیسات را فراهم می‌کنند. کنترل نقاط روشنایی به صورت جداگانه، امکان ایجاد عملکردهای قابل توجهی شامل موارد زیر را فراهم می‌سازد:

- ✓ کلیدزنی با قابلیت برنامه‌ریزی جداگانه و امکان تغییر خروجی منبع نور با استفاده از پروتکل‌های دیجیتالی ایجاد شده
- ✓ توانایی حذف از راه دور کلیدزنی برنامه‌ریزی شده یا رویدادهای روشنایی تطبیقی در موارد خاص
- ✓ نظارت از راه دور بر وضعیت و گزارش خطا از نقاط روشنایی (در نتیجه رفع نیاز به گشت‌زنی)
- ✓ جمع‌آوری داده برای برنامه‌های تعمیر و نگهداری
- ✓ نظارت بر مصرف انرژی الکتریکی
- ✓ تعامل با سیستم‌های GIS.

به منظور برقراری ارتباطات در سیستم‌های کنترلی می‌توان از سیگنال‌های ارتباطی مناسب استفاده نمود. راهنمایی بیشتر در مورد CMSها در ILP PLG01 موجود می‌باشد. همچنین تصمیم‌گیری در مورد کلیدزنی یا تغییر چراغ‌ها باید پس از مشورت کامل با اشخاص ذی‌صلاح از جمله مقامات پلیس و نمایندگان کاربران و ارزیابی کلی خطرات، صورت گیرد[۱].

۲-۱-۴- آنالیز اقتصادی

طرح‌های روشنایی اغلب مزایای هزینه را در طول عمر خود نشان می‌دهند و در صورت لزوم، باید آنالیز سود-هزینه برای کل دوره زندگی تکمیل گردد تا مزایای یک طرح روشنایی خاص را نشان دهد. هنگامی که آنالیزها به این ترتیب

---

[۱] Time Switches

[۲] Photo-Electric Control Units

[۳] Central Management Systems

کامل می‌شود، اغلب راه‌حل‌های مختلفی را در مقایسه با یک آنالیز ساده بر اساس هزینه سرمایه برجسته می‌کند. روش‌های مختلف تعمیر و نگهداری، هزینه‌های انرژی الکتریکی و پیشگیری از حوادث می‌توانند تاثیر عمده‌ای بر هزینه‌ها و مزایا داشته باشند. هزینه و مزایا ممکن است در طول عمر تاسیسات ثابت نباشد.

۲-۱-۵- روشنایی و سلامت انسان

هنگام تعیین منبع نور، طراحان باید از انتخاب منابع نوری که باعث سوسو زدن (فلیکر) زیاد می‌شوند، اجتناب نمایند.

۲-۲- ملاحظات طراحی عملی

۲-۲-۱- مکان‌یابی پایه‌های روشنایی

۲-۲-۱-۱- کلیات

قرارگیری استراتژیک و دقیق پایه‌های روشنایی در طول راه، دغدغه‌ای مهم برای مهندسین طراح روشنایی است. در کنار فراهم آوردن سیستم‌های روشنایی که سطوح روشنایی مورد نیاز را تامین می‌کنند، فراهم نمودن سازه‌های نگهدارنده روشنایی که به درستی طراحی و به طور دقیق مکان‌یابی شده باشند تا کمترین اثر منفی را در حرکت مردم داشته باشند، از اهمیت بالایی برخوردار است.

مواردی که در این بخش به صورت خلاصه آورده شده‌اند، به منظور ساده‌سازی فرآیند مکان‌یابی پایه‌های روشنایی برای مهندسین طراح می‌باشد. در این بخش، برخی از معمول‌ترین وضعیت‌های پیش‌رو در طول طراحی سیستم روشنایی راه ذکر شده است[۵].

۲-۲-۱-۲- ممانعت از دید

سازه‌های نگهدارنده چراغ‌های روشنایی باید به گونه‌ای طراحی و مکان‌یابی شوند که توجه رانندگان را کاهش ندهند و یا مزاحم دید رانندگان نسبت به راه و یا دیگر ویژگی‌های مهم راه نشوند. در ضمن پایه‌های روشنایی باید در محل‌هایی قرار گیرند که مانعی برای دیدن علائم نباشند.

۲-۲-۱-۳- محدودیت‌های ارتفاع

ممکن است سازمان هواپیمایی برای پایه‌های روشنایی که در راه‌های مجاور فرودگاه‌ها و مناطق فرود قرار گرفته‌اند، محدودیت‌های ارتفاع داشته باشد.

۲-۲-۱-۴- رفوژ وسط راه

قرارگیری پایه‌های روشنایی در رفوژ میانی ممکن است مناسب باشد. همچنین در صورت وجود گاردریل میانی ممکن است پایه‌های روشنایی بر روی آن قرار گیرند. در صورتی که پایه‌ها در ناحیه صاف قرار دارند، باید محافظت شوند، مگر این که با موانع محافظت شده باشند یا روی گاردریل قرار گرفته باشند. قرار دادن پایه‌های روشنایی در میانه راه چندین مزیت روشنایی و اقتصادی را فراهم می‌کند که نمی‌توان آنها را نادیده گرفت. مزایای این چیدمان به شرح ذیل است[۵]:

- تعداد پایه‌های روشنایی مورد نیاز در این حالت تقریبا نصف تعداد پایه‌های مورد نیاز در حالتی است که پایه‌ها در طرفین راه نصب می‌شوند.
- مقدار سیم‌کشی مورد نیاز کاهش می‌یابد.
- به جای این که نور در کناره راه به هدر رود، برای روشنایی آن سوی راه مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- هزینه‌های نگهداری و ساخت کاهش می‌یابد.
- قابلیت دید در باندهای سرعت بالا افزایش می‌یابد.

معایب این روش شامل موارد زیر است:

- احتیاط‌های اضافی به دلیل قرارگیری پایه‌های روشنایی در وسط باید در نظر گرفته شود، زیرا احتمال برخورد خودرو بیشتر است.
- ممکن است برای تعمیر و نگهداری چراغ‌ها به بسته شدن خطوط داخلی نیاز باشد. بسته شدن خطوط اغلب هزینه‌بر است و ممکن است برنامه‌ریزی آن دشوار باشد.
- هنگام نصب یک پایه روشنایی بر روی رفوژ وسط راه ممکن است مشکلاتی مانند ترک‌خوردگی یا پوسته شدن در فونداسیون یا رفوژ بتنی ایجاد و باعث شود که پایه برداشته شود. بسته به موضوع، ممکن است نصب یک پایه جدید روی رفوژ دشوار باشد.
- برخی از پایه‌های روشنایی که روی رفوژ استفاده می‌شوند ممکن است دهانه دسترسی مشابه آنهایی که در خارج از رفوژ استفاده می‌شوند، برای نگهداری نداشته باشند.
- حداقل روشنایی در کناره‌های راه برای عابرین پیاده فراهم می‌شود.

۲-۲-۱-۵- جزیره ترافیکی

معمولا در جزیره ترافیکی قراردادن پایه‌های نگهداری چراغ‌های روشنایی در حاشیه ایمن راه و سطح شیب‌دار مطلوب نیست، مگر اینکه بالاتر از مانع ترافیکی طولی و یا پشت یک ضربه‌گیر تصادف قرار گیرند.

۲-۲-۱-۶- تقاطع‌های هم‌سطح

هنگام روشن نمودن یک تقاطع، نقاط تصمیم‌گیری کلیدی و نقاط تداخل باید روشن شوند. محل عبور عابر پیاده باید به عنوان بخشی از تقاطع در نظر گرفته شود. طراح روشنایی باید کنتراست مثبت را برای عابران پیاده در نظر بگیرد. پایه‌های قرار گرفته در جلوی خط عابر پیاده، این کنتراست مثبت را همان طور که در بخش (ب) شکل ۲-۱ نشان داده شده، فراهم می‌نمایند. مزیت ایجاد کنتراست مثبت (روشن کردن سمت عابر پیاده در خط عابر پیاده) این است که چراغ‌های جلوی وسیله نقلیه به افزایش این کنتراست و بهبود دید عابر پیاده در محل عبور عابر پیاده کمک می‌کنند[۵].

(الف)

(ب)

شکل ۲-۱: (الف) نمای طرح برای نقاط تداخل (ب) کنتراست مثبت برای عابرین پیاده

ممکن است در نواحی تداخل عابر پیاده و در نواحی که بیشتر توسط عابر پیاده استفاده می‌شوند، محاسبات روشنایی عمودی[۱] برای افزایش تشخیص عابر پیاده استفاده شود. این محاسبات در امتداد خط مرکزی محل عبور عابر پیاده و در

[۱] Vertical Ilumination Calculation

ارتفاع ۱٫۵۲ متری (۵ فوتی) که با نقاط محاسبه عمودی به سمت وسیله نقلیه در حال نزدیک شدن، انجام می‌شود. به طور کلی، سطوح روشنایی عمودی در خط عابر پیاده (توسط برخی از راهنماهای روشنایی توصیه می‌شود) برابر با میانگین روشنایی افقی ارائه شده در تقاطع می‌باشند.

طرح‌های کنتراست منفی نیز برای عبور عابر پیاده در تقاطع‌هایی که چراغ‌های تقاطع در طرف مقابل تقاطع هستند، استفاده می‌شوند. کنتراست منفی اشیا موجب افزایش دید می‌شود. با این حال، زمانی که چراغ‌های جلو ماشین در نظر گرفته می‌شوند، این مزیت به حداقل می‌رسد.

هر دو روش روشنایی تقاطع دارای مزایای متفاوتی در دید یا هزینه می‌باشند و باید در چارچوب چیدمان و اهداف تقاطع مورد توجه قرار گیرند.

۲-۲-۱-۷- همجواری با موانع منحرف کننده

سازه‌های نگهدارنده پایه‌های روشنایی نباید در سمتی از گاردریل‌ها و موانع ترافیکی که در سمت عبور و مرور است قرار گیرند. پایه‌های روشنایی واقع در پشت موانع باید فاصله کافی بین مانع و پایه را ایجاد کنند تا اطمینان حاصل شود که مانع در هنگام برخورد با وسیله نقلیه به درستی منحرف می‌شود.

۲-۲-۱-۸- نکات ایمنی کلی

طراحی کنار راه در آزادراه‌ها، شامل ناحیه در رفوژها و فواصل کناری (بین باندهای اصلی و سطوح شیب‌دار یا راه‌های کناری) و از خط لبه راه‌های کناری تا خط حریم راه می‌باشد. طراحی کنار راه در بزرگراه‌ها ناحیه بین لبه باند بیرونی و محدوده حریم راه را شامل می‌شود. محیط کنار راه که عاری از اشیا ثابت و دارای شیب‌های پایدار و مسطح باشد، به کاهش شدت تصادف هنگام انحراف وسایل نقلیه، کمک می‌کند. مفهوم "کنار راه بخشنده" امکان خروج از راه را برای وسایل نقلیه منحرف شده فراهم می‌آورد و با تقویت کنار راه عواقب این گونه حوادث را کاهش می‌دهد.

تحت یک قانون کلی، پایه‌های روشنایی بعد از برخورد در نزدیکی خط حرکت وسیله نقلیه سقوط خواهند نمود. تحقیقات نشان می‌دهند که ۹۵ درصد وسایل نقلیه‌ای که از مسیر خارج می‌شوند، جاده را با زاویه ۲۰ درجه و یا کمتر ترک می‌کنند. بازوی پایه در پایه‌های تک‌بازویی معمولا طوری می‌چرخد که زمانی که در روی زمین قرار می‌گیرد، دور از جاده قرار می‌گیرد. این امر موجب می‌گردد تا در صورت وجود منطقه سقوط کافی، از افتادن پایه روشنایی در دیگر باندهای ترافیکی جلوگیری شود. ایجاد منطقه سقوط در راه‌های با سرعت بالا مزیت عمده‌ای به شمار می‌رود. به طور کلی منطقه سقوط کافی معمولا ۰٫۴ برابر ارتفاع نصب پایه روشنایی در نظر گرفته می‌شود.

۲-۲-۱-۹- گزینه‌های طراحی

اگر چه سه گزینه اول (۲-۲-۱-۹-۱- تا ۲-۲-۱-۹-۳-) ترجیح داده می‌شوند، این راه‌حل‌ها همیشه برای مهندسین طراح سیستم روشنایی عملی نیستند، زیرا پایه‌های نگهدارنده به منظور فراهم کردن شدت روشنایی کافی در سطح راه، باید نزدیک لبه راه قرار گیرند[۵].

۲-۲-۱-۹-۱- گزینه ۱: برداشتن موانع

برداشتن مانع همیشه نمی‌تواند راه‌حلی عملی برای مهندس طراح روشنایی باشد، زیرا پایه‌های نگهدارنده به منظور فراهم کردن شدت روشنایی کافی در سطح راه، باید نزدیک لبه راه نصب شوند. البته، با بازرسی دقیق نواحی اطراف، می‌توان تعداد پایه‌های نگهدارنده نصب شده را کمینه کرد. برای مثال، این امکان وجود دارد که با استفاده از یک پایه نگهدارنده، بیش از یک هدف را مرتفع نمود. استفاده از پایه‌های مرکب با کاربردهای چندگانه شامل روشنایی، کنترل ترافیک و انتقال توان الکتریکی باید به عنوان روشی برای کاهش تعداد پایه‌ها در طول لبه راه مد نظر قرار گیرد.

۲-۲-۱-۹-۲- گزینه ۲: طراحی مجدد پایه‌ها

گزینه‌های مختلف برای طراحی مجدد سیستم روشنایی به منظور قراردادن پایه‌های نگهدارنده بیرون از حاشیه ایمن راه بررسی می‌گردد. یک گزینه می‌تواند افزایش ارتفاع نصب یا فاصله قرار گرفتن چراغ‌ها باشد. بدین ترتیب طراحی نهایی، استفاده از سیستم روشنایی با پایه‌های مرتفع است زیرا پایه‌های کمتری مورد نیاز بوده و در ضمن این پایه‌ها خیلی دورتر از راه قرار می‌گیرند. پایه‌های بلند یک روش بسیار مناسب برای تامین روشنایی تبادل‌های اصلی هستند.

لازم به ذکر است که مزایای مربوط به استفاده از چراغ‌های جبران‌کننده روی پایه‌های نصب شده در خارج حاشیه ایمن راه، باید با مزایای استفاده از پایه‌های شکننده داخل حاشیه ایمن که دارای خیرگی، نور مزاحم، انعکاس آلودگی نوری و پارازیت بینایی کمتر می‌باشد، مقایسه شوند.

۲-۲-۱-۹-۳- گزینه ۳: مکان‌یابی مجدد پایه‌ها

پایه‌های روشنایی غیرشکننده نباید در داخل حاشیه ایمن در طول راه نصب شوند، مگر اینکه توسط موانع محافظت شوند. حاشیه ایمن راه به صورت منطقه‌ای از حاشیه راه که بدون مانع باشد، تعریف می‌شود. این ناحیه از لبه راه شروع می‌شود و می‌تواند شامل شانه راه، شیب‌های با و بدون قابلیت بازیابی کنترل وسیله نقلیه انحرافی و منطقه توقف ایمن گردد. حاشیه ایمن راه برای استفاده ایمن وسایل نقلیه منحرف شده و با هدف بازیابی استفاده می‌شود. بنابراین، باید از قرار دادن پایه‌های روشنایی شکننده داخل این ناحیه اجتناب کرد. سازمان‌های مختلف ممکن است در رابطه با نواحی خالی از موانع، تعاریف و کاربردهای کم و بیش گسترده‌ای داشته باشند.

۲-۲-۱-۹-۴- گزینه ۴: استفاده از تجهیزات روشنایی مجهز به پایه‌های شکننده

زمانی‌که پایه‌های روشنایی نمی‌توانند خارج از حاشیه ایمن راه و یا در پشت حفاظ ترافیکی طولی یا ضربه‌گیر تصادفات قرار داده شوند، طراحی سیستم روشنایی باید شامل پایه‌های شکننده باشد. پایه‌های شکننده این امکان را برای سازه نگهدارنده سیستم روشنایی فراهم می‌نمایند تا بر اثر برخورد با وسیله نقلیه منحرف شده، شکسته و در نزدیکی سطح زمین از هم جدا شوند. هنگامی که پایه‌های روشنایی شکننده داخل حاشیه ایمن آزادراه‌ها باشند، باید به فاصله حداقل ۴٫۵ متر (۱۵ فوت) و ترجیحا ۶ متر (۲۰ فوت) از لبه باند قرار گیرند.

زاویه برخورد: سازوکار پایه‌های روشنایی شکننده به گونه‌ای طراحی شده که به جای بارگذاری خمشی، تحت بارگذاری برشی عمل کند و تحت ضربه وارده ناشی از سپر وسیله نقلیه، در ارتفاع معمولی سپر، شکسته شود. قرارگیری پایه‌های نگهدارنده در امتداد لبه راه در زمانی که آنها تحت بارگذاری خمشی قرار می‌گیرند، می‌تواند شدت ضربه و خسارات وارد به سرنشینان خودرو را بیشتر کند. بلندی لبه راه، شیب کنار راه، پیچ راه، زاویه انحراف و سرعت وسیله نقلیه عواملی هستند که ارتفاع برخورد وسیله نقلیه منحرف شده را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

اگر پایه‌های شکننده در ارتفاعی بالاتر از ۵۱ سانتی‌متر (۲۰ اینچ) که ارتفاع معمول سپر وسیله نقلیه می‌باشد، تحت اصابت ضربه قرار بگیرند، ممان خمشی ایجاد شده می‌تواند برای عمل نکردن پایه‌ها کافی باشد. به این دلیل، لازم است پایه‌های نگهدارنده شکننده در نزدیکی چاله‌ها، شیب‌های تند، یا مناطقی که در آن‌ها این امکان وجود دارد که وسایل نقلیه در هنگام برخورد اندکی ارتفاع نسبت به زمین داشته باشد، قرار داده نشوند. محدود کردن شیب‌های کناری منفی بین راه و پایه‌های نگهدارنده به مقدار ۱ به ۶، باید تضمینی برای ارتفاع برخورد قابل قبول وسیله نقلیه باشد.

مناطق مجاور: پایه‌های نگهدارنده شکننده نباید در مناطق شهری با تعداد زیاد عابرین پیاده که بعد از برخورد امکان اصابت پایه با عابرین پیاده، املاک خصوصی و یا با وسایل نقلیه دیگر وجود دارد، قرار گیرند.

نوع زمین و خاک: نوع خاک اطراف فونداسیون چراغ می‌تواند عملکرد پایه‌های شکننده را تحت تاثیر قرار دهد. اگر فونداسیون پایه نگهدارنده توسط خاک مجاور تحت فشار قرار بگیرد، پایه نگهدارنده بیشتر تحت خمش قرار می‌گیرد تا برش و در نتیجه سازوکار شکنندگی پایه فعال نمی‌شود. بعد ازنصب فونداسیون، منطقه مجاور باید مسطح شود تا بعد از برخورد، اجازه عبور وسایل نقلیه از روی قسمت غیرشکننده پایه نگهدارنده، که در خاک قرار می‌گیرد یا به صورت صلب به فونداسیون متصل می‌شود، فراهم گردد. این موضوع ممکن است مستلزم ایجاد زمینی در اطراف فونداسیون باشد تا سطح مناسب را فراهم نماید.

قطع برق: مدار الکتریکی قرار گرفته در پایه نگهدارنده شکننده باید به سیستم قطع برق مجهز باشد تا شکنندگی پایه را تسهیل کرده و ریسک شوک الکتریکی ناشی از سیم لخت شده را بعد از برخورد کاهش دهد. قطعی برق باید در تمامی تاسیسات جدید استفاده شود و برای تاسیسات موجود که بر اساس برخوردها و تصادفات، سقوط‌های مکرری را تجربه کرده‌اند، مورد توجه قرار بگیرد.

به عنوان یک قانون کلی، پایه‌های روشنایی شکننده باید در برخی از نواحی شهری و اکثر نواحی برون‌شهری، در محل‌هایی که سرعت وسایل نقلیه متوسط یا بالاست، یا هنگامی که تجهیزات روشنایی نمی‌توانند در پشت حفاظ‌های ترافیکی طولی و یا ضربه‌گیرهای تصادف واقع شوند، مورد توجه قرار گیرند. طراح باید ریسک‌های مربوط به هر کدام از این وضعیت‌ها را قبل از انتخاب یک طرح مناسب، بررسی نماید. در صورتی که استفاده از پایه‌های نگهدارنده شکننده عملی نباشد، استفاده از حفاظ برای موانع می‌تواند تنها راه‌حل ممکن باشد.

۲-۲-۱-۹-۵- گزینه ۵: حفاظت پایه‌ها

فقط هنگامی که استفاده از پایه‌های شکننده عملی نباشد باید یک حفاظ ترافیکی یا ضربه‌گیر تصادف برای حفاظت پایه‌های روشنایی مورد استفاده قرار گیرد.

پایه‌های نگهدارنده برای سیستم‌های روشنایی با دکل بلند باید در بیرون حاشیه ایمن قرار گیرند، یا توسط موانع ترافیکی مناسب محافظت شوند .پایه‌های سیستم‌های روشنایی با دکل بلند باید با پایه ثابت در نظر گرفته شوند تا در اثر ضربه وارده نشکنند. جرم زیاد این سیستم‌های نگهدارنده و پیامدهای حاصل از سقوط این سیستم‌ها ایجاب می‌کند که این سیستم‌ها با پایه ثابت طراحی شوند.

زمانی که پایه نگهدارنده سیستم روشنایی نزدیک حفاظ‌های ترافیکی قرار می‌گیرد، بسته به نوع و ویژگی‌های حفاظ موجود، ممکن است پایه‌های شکننده استفاده شوند یا مورد استفاده قرار نگیرند. در حالت کلی، پایه نباید در فاصله طراحی شده برای انحراف قرار گیرد یا اینکه باید با تجهیزات حفاظتی تقویت شود تا فاصله انحراف حاصل کمینه شود. گزینه دیگر، نصب سیستم روشنایی در بالای تجهیزات حفاظتی در رفوژ می‌باشد که اغلب نیاز به اجرای اصلاحاتی در سیستم روشنایی، تجهیزات حفاظتی رفوژ و یا هر دو دارد. در تصادفات با زاویه برخورد زیاد به حفاظ بتنی یا برخوردهای ایجاد شده توسط کامیون‌ها و یا اتوبوس‌ها، ممکن است به چراغ نصب شده روی مانع ضربه وارد شود. در این حالت به دلیل احتمال افتادن پایه روی جریان ترافیکی مقابل و یا ترافیک عبوری زیر پایه عموما از پایه‌های شکننده استفاده نمی‌شود.

پایه‌ها نباید در بالای نرده پل‌های روی باندهای اصلی، راه‌های اتصالی یا سطوح شیب‌داری که به راه‌های دیگر متصل هستند قرار داده شوند زیرا حتی پایه‌های غیرشکننده نیز در برخی اوقات بر اثر ضربه از محل نصب خود جدا می‌شوند. بنابر این لازم است در این مکان‌ها پایه‌ها روی پی و در پشت نرده‌ها قرار گیرند.

۲-۲-۱-۹-۶- گزینه ۶: مشخص کردن پایه‌ها

در صورتی‌که گزینه‌های فوق مناسب نباشند یا در یک شرایط خاص نیاز به در نظر گرفتن موارد دیگری باشد، طراح باید روش‌هایی را برای مشخص‌کردن موانع، بررسی کند تا امکان تشخیص سریع برای راننده و فرصت مناسب برای عکس‌العمل فراهم شود. برای مثال، بستن نوارهای منعکس‌کننده در ارتفاع چشم راننده روی پایه‌هایی که در جزیره ترافیکی قرار دارند، می‌تواند امکان تشخیص سریع را برای راننده فراهم آورد.

۲-۲-۲- آرایش نصب

۲-۲-۲-۱- ارتفاع نصب

هنگام انتخاب ارتفاع نصب علاوه بر ملاحظات فنی، باید محدودیت اقتصادی و نمای ظاهری سیستم روشنایی در روز را نیز در نظر گرفت. به دلیل حفظ زیبایی نمای ظاهری، ارتفاع پایه‌های روشنایی و چراغ‌ها نباید بلندتر از ساختمان‌های مجاور آنها باشد.

از آنجا که ارتفاع متداول برای یک ساختمان دو طبقه تقریبا ۶ متر است؛ بنابراین ارتفاع مناسب نصب پایه‌های روشنایی در راه‌های مجاور مناطق مسکونی و راه‌های محلی، ۵ و یا ۶ متر می‌باشد. این ارتفاع نصب مناسب برای مسیرهای ترافیکی ۸، ۱۰ و ۱۲ متر بوده و در مسیرهای دو بانده و بزرگراه‌ها ۱۲ و یا ۱۵ متر می‌باشد. اما در شرایط خاص اگر زیبایی طرح یا سایر فاکتورهای محیطی ایجاب کند، استفاده از ارتفاع‌های نصب دیگر مجاز می‌باشد. فقط باید دقت گردد که در صورت کاهش ارتفاع نصب پایه، پارامترهای دیگر طراحی مثل تعداد چراغ‌ها مجددا تنظیم شود.

به طور کلی می‌توان با زیاد کردن ارتفاع و افزایش فاصله نصب و در نتیجه کاهش تعداد پایه‌های در معرض دید، نمای ظاهری مناسب‌تری از آنها در روز ایجاد کرد[۱].

۲-۲-۲-۲- مونتاژ واحدهای روشنایی

پایه‌های روشنایی باید با استانداردهای BS EN40 و PD6547 مطابقت داشته باشند. هنگام تعیین پایه‌های روشنایی، وزن و ناحیه بادگیر چراغ(ها)، سرعت باد مورد انتظار در منطقه و هر گونه بارهای ناشی از موارد اضافی متصل شده به پایه‌های روشنایی (مانند علائم و بنرها)، باید در نظر گرفته شوند. بدون محاسبه بار ساختاری و بازرسی ساختاری بصری یا تست‌های غیرمخرب (NDT[۱]) مناسب، نباید هیچ مورد اضافی به پایه، براکت (بازو) یا چراغ وصل شود.

یک واحد روشنایی حتی اگر شامل بخش‌های جداگانه‌ای متشکل از پایه‌های روشنایی، بازو و چراغ باشد، باز هم به عنوان یک مجموعه منفرد تلقی می‌شود. یک چراغ که با یک پایه خاص از نظر زیبایی تناسب دارد، ممکن است با پایه‌های روشنایی دیگر هماهنگی نداشته باشد. از آنجایی که اغلب چراغ‌ها و پایه‌های روشنایی توسط کارخانجات مختلف ساخته می‌شوند، به هنگام انتخاب آنها باید ملاحظات خاصی را از نظر زیبایی مجموعه لحاظ نمود. در روشنایی با پایه‌های بلند باید دقت داشت که نمای ظاهری مجموعه دکل، سازه استقرار[۲] و چراغ هماهنگی لازم را داشته باشند.

سیستم‌های روشنایی با ارتفاع کم شامل چراغ‌هایی هستند که برای نصب در ارتفاع ۱ متر یا کمتر طراحی شده‌اند و ممکن است در مناطقی با محدودیت در نگهداری، دسترسی یا اثر بصری مورد استفاده قرار گیرند. برای چنین سیستم‌هایی،

---

[۱] Non-Destructive Testing

[۲] Head Frame

سازه‌های پشتیبان به الزامات BS EN40 محدود نمی‌شود، زیرا خارج از محدوده آن می‌باشند. با این حال، آنها باید با هدف متناسب باشند و باید طوری تنظیم شوند که فاصله چراغ از لبه راه کمتر از ۴۵۰ میلیمتر نباشد[۱].

۲-۲-۲-۲-۱- اندازه و نوع چراغ

ابعاد و شکل چراغ‌ها باید متناسب با زمینه دید آنها انتخاب شود.

۲-۲-۲-۲-۲- فرم و شکل بازو

وقتی ارتفاع نصب کم باشد، معمولا پایه‌های بدون بازو زیباتر به نظر می‌رسند. اما در حالت کلی هنگامی که از بازو استفاده می‌شود کمان‌های بزرگ، زیباتر از خطوط مستقیم به چشم می‌خورند، چون تطابق بهتری با خطوط بام‌های ساختمان اطراف ایجاد می‌کنند. یک بازوی افقی موجب ایجاد توهم افتادن می‌شود. بنابراین یک بازوی افقی رو به بالا ترجیح داده می‌شود. در صورت امکان، در جاهایی که یک ردیف چراغ وجود دارد، باید یک خط صاف حفظ شود.

بازوهای بلندی که به دلیل نصب پایه در انتهای پیاده‌رو از آنها استفاده می‌شود، ظاهر مناسبی ندارند و باید تا آنجا که ممکن است از بکارگیری آنها خودداری کرد. البته در برخی مواقع به دلیل مسائل ایمنی و یا وجود اشیاء در اطراف پایه که منجر به کاهش نمای بد پایه می‌شود، می‌توان از این بازوها بهره برد.

طول بازو باید در حد ممکن کوتاه باشد و توصیه می‌شود که به منظور محدود کردن ارتعاش و لرزش پایه، از ۲۵ درصد ارتفاع نصب تجاوز نکند. اطلاعات بیشتر در این مورد در BS EN 40 موجود می‌باشد.

۲-۲-۲-۲-۳- رنگ تجهیزات روشنایی

رنگ و پوشش نهایی تجهیزات روشنایی راه‌ها باید با رنگ محیط متناسب باشد. باید توجه داشت که استفاده از رنگ روغن خیلی صیقلی ممکن است موجب خیرگی و در نتیجه خطرات ترافیکی گردد. همچنین باید این واقعیت را در نظر گرفت که رنگ‌های تیره مات می‌توانند در صورت خرابی منبع نور یا خاموش شدن و روشنایی جزئی در شب موجب ایجاد خطر شوند[۱].

۲-۲-۲-۲-۴- نمای کلی

ترکیب چراغ، بازو و پایه روشنایی به صورت یک واحد رضایت‌بخش است، اما ممکن است قرار گرفتن تعدادی از آنها در کنار هم به صورت یک مجموعه واحد و هماهنگ منجر به یک ترکیب ناهمگون به ویژه در جاده‌های مستقیم طولانی یا کمی پر پیچ و خم و در تقاطع‌های پیچیده شود. در یک جاده طولانی و مستقیم، مجموعه‌ای از بازوهای منحنی می‌توانند یک تونل ایجاد کنند. در یک جاده غیرمستقیم به نظر می‌رسد این بازوها در هم تنیده شده و بنابر این الگوی گیج‌کننده و زشتی را تشکیل می‌دهند.

در تقاطع‌های پیچیده، تجهیزات و آرایش روشنایی باید تا حد امکان ساده باشد تا از ایجاد نمای ناخوشایند یا گیج‌کننده برای کاربران راه جلوگیری شود. در چنین مواقعی استفاده از تعداد پایه‌های کمتر و بلندتر که در آنها چندین چراغ با بازوهای کوتاه بر روی هر دکل قرار داده می‌شود، استفاده از پایه‌های بدون بازو و یا استفاده از سیستم روشنایی با دکل بلند، همگی راه‌حل‌هایی برای کاهش این مشکل می‌باشند. به طور کلی طرح روشنایی باید با تنظیمات آن سازگار باشد.

۲-۲-۲-۳- چیدمان چراغ‌ها

هنگام طراحی یک سیستم روشنایی، متغیرهای زیادی باید در نظر گرفته شود. آرایش‌های معمول روشنایی عبارتند از[۱]:

- ✓ نصب روبه‌رو[۱]: این نوع آرایش در راه‌های عریض یا در راه‌های ماشین‌روی دوبانده کاربرد دارد.
- ✓ نصب زیگزاگ[۲]: این نوع آرایش نصب به طور عمده در مسیرهای ترافیکی، راه‌های نواحی مسکونی و راه‌های محلی کاربرد دارد.
- ✓ نصب یک طرفه[۳]:این نوع آرایش نصب در راه‌های باریک، راه‌های عریض با باندهای حرکتی مجزا، راه‌های اتصال مارپیچ و جاده‌های لغزنده کاربرد دارد.
- ✓ نصب در وسط[۴]: این نوع آرایش نصب معمولا برای راه‌های ماشین‌روی دو طرفه مناسب می‌باشد. این آرایش در تقاطع‌ها، راهنمای واضحی از شکل مسیر ارائه می‌دهد.
- ✓ ترکیب نصب در وسط و نصب روبه‌رو[۵]: این نوع آرایش نصب برای راه‌هایی که قسمت ماشین‌رو بسیار وسیع داشته باشند و یا برای استفاده در نقاط اتصال یا انفصال دو راه کاربرد دارد. همچنین هنگامی که آرایش نصب در وسط یا روبه‌رو به تنهایی کفایت نکند، می‌توان از این نوع آرایش نصب استفاده نمود.
- ✓ روشنایی محوری راه[۶]: این نوع آرایش نصب برای راهی که قسمت ماشین‌رو عریض داشته کاربرد دارد. این آرایش جایگزینی برای آرایش نصب در وسط یا نصب در روبه‌رو می‌باشد و منحنی پخش نور چراغ‌ها باید دارای مولفه عرضی قوی باشد. این آرایش به دو صورت امکان‌پذیر است:

  الف- معلق از سیم‌های مهار؛

  ب- در بالای محور مرکزی پایه‌های روشنایی با دو بازو هم راستا با محور بزرگراه قرار گرفته است.

---

[۱] Opposite

[۲] Staggered

[۳] Single-sided

[۴] Twin Central

[۵] Combined Twin Central and Opposite

[۶] Axial Median Lighting

- ✓ روشنایی با دکل بلند[1]: این شیوه نصب تنها در مواقعی کاربرد دارد که عواملی مانند شکل راه، محدودیت‌های موجود در نصب پایه‌ها و عوامل محدودکننده محیط اطراف راه، استفاده از سایر روش‌های نصب را امکان‌پذیر نسازد. این نوع آرایش نصب در تقاطع‌های بزرگ، تبادل‌ها و محل‌های دریافت عوارض کاربرد دارد.

۲-۲-۳-۲-۱- کلیات

هنگام انتخاب چیدمان مناسب، طراحان باید سهولت نگهداری، هزینه‌های مدیریت ترافیک و ایمنی کارگران راه را ارزیابی نمایند. پس از ارائه طرح روشنایی در هر راه، چیدمان چراغ‌ها ابتدا باید برای نواحی تداخل، تقاطع‌های هم‌سطح و پیچ‌ها انجام شود. سپس الگوی چیدمان چراغ‌ها در قسمت‌های پیوسته راه به طرح اضافه شود.

نکته مهمی که در هر طرح روشنایی باید در نظر گرفته شود، چیدمان مناسب آن با توجه به مسیر راه می‌باشد به طوری که باید اطمینان حاصل گردد تا آرایش پایه‌های روشنایی در مسیر راه موجب دریافت اطلاعات اشتباه از کلیات مسیر توسط راننده نشده و درک درستی را از شکل مسیر برای راننده ایجاد نماید، چرا که آگاهی دادن به رانندگان از امتداد مسیر راه به کمک سیستم روشنایی راه‌ها، به خصوص در راه‌های مارپیچ و تقاطع‌های پیچیده و هوای مه‌آلود بسیار مهم است.

۲-۲-۳-۲-۲- چیدمان چراغ مناسب برای راه‌های یک‌طرفه

در این نوع راه‌ها می‌توان از آرایش نصب‌های زیر برای پایه‌های روشنایی استفاده نمود:

الف- نصب زیگزاگ

ب- نصب روبه‌رو

ج- نصب در یک طرف

البته در راه‌های عریض یک‌طرفه، بسته به ارتفاع نصب و نوع چراغ و لامپ منتخب، دو یا هر سه آرایش فوق الزامات سطح روشنایی مربوطه را تامین می‌کنند ولی انتخاب نهایی برای آرایش روشنایی مناسب بر اساس ملاحظات اقتصادی و با در نظر گرفتن جنبه‌های محیطی و ظاهری صورت می‌پذیرد.

۲-۲-۳-۲-۳- چیدمان چراغ برای راه‌های دوطرفه

در این نوع راه‌ها، هنگامی که عرض رفوژ وسط راه زیاد باشد (بیشتر از ۹ متر)، باید روشنایی هر طرف از راه به طور مستقل طراحی شده و در این صورت آرایش نصب نیز مطابق با راه‌های یک‌طرفه تعیین می‌گردد. در مواردی که از یک مانع بتونی در رفوژ مرکزی استفاده می‌شود، مانع می‌تواند سهم نور چراغ‌های روشنایی طرف مقابل در نزدیک‌ترین باند به مانع را کاهش دهد. هنگام انتخاب ارتفاع پایه، طراح باید اثر سایه وسایل نقلیه بلند را در نظر بگیرد. در صورتی که در این

[1] High Mast Lighting

نوع راه‌ها، فاصله بین لبه‌های پیاده‌روی طرفین راه از هم خیلی زیاد نباشد، می‌توان راه دوطرفه را به صورت یک راه یک‌طرفه عریض در نظر گرفت. در چنین حالتی، با توجه به ارتفاع نصب، نوع لامپ و چراغ انتخاب شده، می‌توان از آرایش نصب زیگزاگ یا نصب روبه‌رو در لبه خارجی راه استفاده کرد و یا با استفاده از پایه‌های دو چراغه در رفوژ وسط راه (نصب در وسط)، روشنایی مناسبی را برای راه تامین نمود.

۲-۲-۳-۴- چیدمان چراغ مناسب برای سرازیری‌ها و سربالایی‌ها

در سرازیری‌ها، هیچ مشکل روشنایی خاصی وجود ندارد. در سربالایی‌ها نیز لازم است خیرگی ناشی از چراغ‌های نصب شده در قله شیب کنترل گردیده و در صورت غیرمجاز بودن آن، نسبت به محدود نمودن خیرگی ناشی از آن اقدام شود زیرا این چراغ‌ها توسط ناظر تحت زوایایی دیده می‌شود که در آن زوایا، شدت نور چراغ‌ها بیشتر می‌باشد. البته هر چه چراغ دورتر از قله شیب باشد، خیرگی ناشی از آن نیز کمتر خواهد بود. این ملاحظات برای نصب پایه‌های روشنایی بر روی بعضی از پل‌ها نیز صادق می‌باشد.

در سرازیری‌ها یا سربالایی‌هایی که شیب آنها ۱۰٪ یا بیشتر است، چراغ‌ها باید با زاویه نصب شوند به طوری که موازی با سطح راه قرار گیرند.

۲-۲-۳- تعمیر و نگهداری

۲-۲-۳-۱- کلیات

هر طرح روشنایی باید برای همه کاربران ایمن باشد. به طور خاص، الزامات تعمیر و نگهداری آینده باید در طراحی در نظر گرفته شود و طرح نباید خطری را برای کارکنان تعمیر و نگهداری ایجاد نماید. بازرسی و آزمون‌های الکتریکی و ساختاری نیز باید در مرحله طراحی تعیین شوند[۱].

با توجه به مقررات ساخت (طراحی و مدیریت)، طراح ملزم به در نظر گرفتن تعمیر و نگهداری برای طراحی می‌باشد[۶]. در این مقررات، الزامی وجود دارد تا اطمینان حاصل شود که اطلاعات ارائه شده برای انجام وظایف تعمیر و نگهداری در آینده، اطلاعات ارائه شده در مورد خطرات باقی‌مانده و اطمینان از اینکه کارهای ساخت و ساز آینده با خیال راحت انجام شود، کافی است. همچنین در مسیرهای با سرعت بالا، الزامی برای در نظر گرفتن تنظیمات مدیریت ترافیک (TM[۱]) وجود دارد.

در تمام راه‌ها، طراح باید سهولت دسترسی به واحد روشنایی، ایمنی کارگران راه و نیاز به تجهیزات یا پرسنل متخصص را در نظر بگیرد. همچنین سطوح روشنایی مطابق با مقادیر استاندارد باشد. برای دستیابی به این هدف و اطمینان از تامین سطوح انتخابی، روش‌های مناسب تمیز کردن چراغ‌ها و جایگزینی منبع نور باید توسط طراح و با توجه به سیاست‌های

[۱] Traffic Management

محلی در نظر گرفته شود. برنامه‌های تعمیر و نگهداری باید شامل تمیز کردن چراغ، جایگزینی منبع نور، نوسازی قطعات خراب، بررسی درزبندها (واشرها)، تجهیزات نوری، سرندها، هم‌ترازی و نظارت بر عملکرد باشد. نظارت بر تجهیزات روشنایی خراب را می‌توان از طریق بازرسی شبانه و یا از طریق سیستم نظارت مرکزی الکترونیکی انجام داد.

سطوح واقعی روشنایی ارائه شده توسط یک سیستم روشنایی در یک زمان خاص فقط با اندازه‌گیری در محل تعیین می‌شود، که می‌تواند پرهزینه و مخل جریان ترافیک باشد. تجربه‌های بدست آمده در طول سالیان متمادی نشان می‌دهد که تعمیر و نگهداری دوره‌ای (چرخه‌ای)، تغییر منبع نور و سایر تعمیرات که بر اساس معیارهای مورد استفاده در طراحی انجام می‌شود، به طور کلی می‌تواند روشنایی را در سطح قابل قبولی حفظ نماید.

علاوه بر خرابی‌های قطعات روشنایی که می‌توان با تمیز کردن آنها را اصلاح نمود، یک خرابی طولانی مدت نیز وجود دارد که دائمی و تجمعی است. میزان این خرابی به کیفیت مواد اولیه و درجه IP چراغ بستگی دارد، اما در نهایت بازیابی عملکرد نوری چراغ مستلزم تعویض سیستم نوری و یا حتی کل چراغ می‌باشد. توجه به این نکته لازم است که جایگزینی منابع نوری به سیاست محلی، هزینه و نوع منبع نور مورد استفاده بستگی دارد.

تصمیمات تعمیر و نگهداری نباید صرفا جنبه اقتصادی داشته باشد، بلکه باید همه عوامل مربوطه از جمله موارد زیر در آن لحاظ شود[۱]:

- ✓ ضریب بقای منبع نور برای محیط زیست (از داده‌های تولیدکنندگان)؛
- ✓ ضریب شار نوری منبع نور برای منبع نور و ترکیب ادوات کنترل (از داده‌های تولیدکنندگان)؛
- ✓ تغییرات مصرف توان سیستم از طریق چرخه عمر پیش‌بینی شده؛
- ✓ امکان تداخل با ترافیک؛
- ✓ سهولت دسترسی و میزان مدیریت ترافیک مورد نیاز؛
- ✓ فرکانس مورد نیاز بازرسی شبانه؛
- ✓ فرکانس مورد نیاز تمیز کردن چراغ‌ها، مرتبط با محیط محلی و درجه IP محفظه منبع نور؛
- ✓ نسبت کلی خاموشی‌هایی که می‌توانند در هر زمان بدون آسیب به سطح و کیفیت روشنایی، قابل تحمل باشند؛
- ✓ گروه‌بندی خاموشی‌هایی که می‌توانند در هر زمان بدون آسیب به سطح و کیفیت روشنایی، قابل تحمل باشند.
- ✓ فرکانس مورد نیاز برای بازرسی ایمنی الکتریکی؛
- ✓ فرکانس مورد نیاز بازرسی برای ایمنی ساختاری پایه‌های روشنایی و سایر سیستم‌های پشتیبان؛
- ✓ تاثیر خاموشی منبع نور بر ایمنی و امنیت؛
- ✓ تاثیر خاموشی منبع نور بر سیستم الکتریکی، از جمله کنترل کننده‌ها؛

۲-۲-۳-۲- تعمیر و نگهداری سیستم‌های روشنایی با دکل‌های بلند

سیستم‌های روشنایی با پایه‌های (دکل) بلند و سایر تاسیسات تخصصی باید به صورت منظم مطابق توصیه سازندگان و بر اساس شرایط محلی و با استفاده از تجهیزات مکانیکی، هیدرولیکی یا الکتریکی پیچیده‌تر، بازرسی و نگهداری شوند. باید یک برنامه و راهنمای نگهداری خاصی برای چنین دارایی‌هایی وجود داشته باشد. همچنین تعمیر و نگهداری باید توسط افراد متخصص و با تجهیزات مناسب انجام شود. روش‌های دقیق بازرسی در ILP PLG07 موجود می‌باشد. عملیات بالابری، مقررات تجهیزات بالابری و ارائه و استفاده از مقررات تجهیزات کار در مراجع [۸-۷] در دسترس است.

۲-۲-۳-۳- راه‌های با دسترسی محدود برای تعمیر و نگهداری

بزرگراه‌ها، راه‌های دو طرفه، تبادل‌ها، پل‌ها و دیگر خیابان‌های حساس به تردد مشکلات بیشتری را در زمینه تعمیر و نگهداری ایجاد می‌کنند که به وسایل دسترسی خاص برای تعمیر و نگهداری و عملیات عادی و اضطراری نیاز دارد. مسائل ایمنی و محدودیت‌های هزینه‌ای ناشی از این مشکلات می‌تواند بر انتخاب چیدمان روشنایی تاثیرگذار باشد. بنابراین مسائل ایمنی و محدودیت‌های هزینه‌ای باید در مرحله طراحی مورد توجه قرار گیرد. عواملی که در این حالت باید در نظر گرفته شوند شامل موارد زیر هستند اما محدود به آنها نمی‌شوند[۱]:

- ✓ تاثیر باندهای اضطراری باریک یا مکرر ناپیوسته؛
- ✓ نیازهای باند قابل کنترل مخصوص کار[۱] مانند استفاده از بازشوها[۲] برای همه کارهای تعمیر و نگهداری بزرگراه؛
- ✓ نیاز به حداقل رساندن خطرات برای پرسنل تعمیر و نگهداری روشنایی، سایر کارگران راه و کاربران راه؛
- ✓ نیاز به حداقل رساندن تاخیر در تردد؛
- ✓ کار بر روی روشنایی نصب شده در رفوژ مرکزی راه‌های دو طرفه که مستلزم انحراف ترافیک از باند سمت راست در یک یا هر دو طرف راه است.
- ✓ کار بر روی روشنایی نصب شده در خارج از یک راه دو طرفه که مستلزم انحراف ترافیک از باند سمت چپ هر راه است.
- ✓ کار بر روی روشنایی نصب شده در خارج از یک راه دو طرفه با خطوط اضطراری که مستلزم اشغال باند اضطراری (به جای یک باند ترافیکی) توسط وسایل نقلیه تعمیر و نگهداری است.
- ✓ استفاده از عملیات تعمیر و نگهداری با اثرات کمتر محدودکنندگی بر تردد، مانند بسته شدن خط تردد با علائم نصب شده بر روی خودرو؛
- ✓ پیامدها و هزینه‌های مدیریت ترافیک.

---

[۱] Contra-flow Lane Working

[۲] Crossovers

دارایی‌های روشنایی نباید در مکان‌هایی قرار بگیرند که به طور اجتناب‌ناپذیری موجب افزایش خطر عاملان مدیریت ترافیک شوند. راه‌هایی که حجم تردد بالایی دارند و یا محدودیت سرعت آنها بیشتر از ۴۸ کیلومتر بر ساعت است، به احتمال زیاد نیاز به مدیریت تردد کامل دارند تا بتوانند فضای کاری ایمن را برای عوامل تعمیر و نگهداری روشنایی ایجاد کنند. تنظیم و اصلاح تجهیزات مدیریت ترافیک مانند علائم و مخروط‌ها، به احتمال زیاد خطرناک‌ترین فعالیتی است که توسط یک راهدار انجام می‌شود. طراح سیستم روشنایی باید این خطر را برای مدیریت تردد در حین تعمیر و نگهداری تجهیزات روشنایی به حداقل برساند و کاهش دهد. خطرناک‌ترین فعالیت‌های عاملان مدیریت ترافیک به شرح ذیل می‌باشد[۱]:

- ✓ قرار دادن و برداشتن مخروط هدایتی؛
- ✓ کار در باند کناری[۱] ترافیک به جای خط یکم[۲] (سمت چپ)؛
- ✓ مخروط گذاشتن در بیش از یک باند در هر راه؛
- ✓ کار در راهی با سرعت بالا و بدون شانه راه.

دستیابی به کاهش خطر برای عامل مدیریت ترافیک عمدتا به دلیل اجتناب از عملکردهای ضعیف به شرح ذیل می‌باشد:

- ✓ هنگامی که نیاز است بین پایه‌های نصب شده در حاشیه راه و پایه‌های نصب شده در رفوژ مرکزی راه در امتداد یک تقاطع جابجایی انجام شود؛
- ✓ استفاده از چراغ‌هایی در روشنایی‌های موجود در رفوژ مرکزی که به بازرسی مکرر برای تغییرات منبع نور یا سایر فعالیت‌های تعمیر و نگهداری نیاز دارند.
- ✓ پایه‌های روشنایی که در حاشیه راه قرار گرفته‌اند و برای کارهای تعمیر و نگهداری، به بستن بیش از یک باند حرکتی نیاز دارند.
- ✓ از چراغ‌هایی که نیاز به بازدید مکرر برای تغییر منبع نور یا سایر فعالیت‌های نگهداری دارند در راه‌هایی با سرعت بالا که شانه راه ندارند، استفاده شده است.

۲-۲-۳-۴- مجوزهای ایمنی در نزدیک خطوط برق هوایی

در حین طراحی، نصب، راه‌اندازی و تعمیر و نگهداری کلیه تاسیسات روشنایی راه که در نزدیکی خطوط برق هوایی قرار دارند، باید از مجوزهای ایمنی مربوطه استفاده شود.

در صورت وجود هر گونه تردید در مورد ایمنی مربوط به چنین تاسیساتی، باید با اپراتور خط مشورت شود تا مجوزهای مورد توافق با توزیع کننده و تامین کننده دریافت شده و موقعیت و ارتفاع دقیق خط تعیین شود.

---

[۱] Outside

[۲] Nearside

هنگام طراحی روشنایی در جایی که خطوط برق هوایی وجود دارد، ارزیابی ریسک باید به صورت بخشی از فرایند طراحی باشد. این ارزیابی ریسک باید خطرات مربوط به طراحی، نصب، بهره‌برداری، نگهداری و از مدار خارج کردن را ارزیابی نماید. نتایج ارزیابی ریسک باید برای همه بخش‌های مربوطه اعلام و در بسته طراحی گنجانده شود. در این شرایط باید به مقررات کیفیت و تداوم ایمنی برق [۹] توجه شود.

۲-۲-۴- فناوری‌ها

طراحان باید با بهره‌گیری از فناوری‌های جدید، راه‌حل‌های روشنایی را ارائه دهند که همیشه ماندگار[۱] و مقرون به صرفه باشند و نیازهای مصرف انرژی و تعمیر و نگهداری را به حداقل برسانند. برخی از فناوری‌های موجود به شرح ذیل می‌باشند[۱]:

- ✓ سیستم مدیریت مرکزی- این فناوری‌ها بیشتر بر کنترل متمرکز می‌شوند و گزینه‌های بیشتری را برای تعویض و مدیریت چراغ‌ها ارائه می‌دهند.
- ✓ ارتباطات میدان نزدیک (NFC[۲])- برای برنامه‌نویسی درایورهای چراغ استفاده می‌شود.
- ✓ بلوتوث- برای به‌روزرسانی چراغ‌ها استفاده می‌شود.
- ✓ حسگرهای تردد- اینها موجب تجمیع سیستم‌های ترافیکی و روشنایی تطبیقی می‌شوند.
- ✓ حسگرهای PIR- برای کاربردهای آشکارسازی حضور افراد در خیابان در دسترس قرار دارند.
- ✓ سوکت‌های ANSI 7 pin Nema یا سوکت‌های Zhaga SR.
- ✓ LEDها- فناوری‌های جدید روشنایی راه‌ها که بازار را فراگرفته‌اند و به صورت یک مزیت نسبت به منابع روشنایی سنتی ترویج می‌شوند. SSL[۳] (عمدتا LED[۴]، LEP[۵] و سایر فناوری‌ها) بهبود ایمنی، حفظ منابع طبیعی، کاهش مصرف انرژی و کاهش هزینه‌های چرخه عمر روشنایی راه‌ها را به همراه دارند[۵و۱].

نمونه‌هایی از نتایجی که می‌توان با استفاده از فناوری‌ها به آنها دست یافت، به صورت ذیل می‌باشند:

- ✓ می‌توان از روشنایی تطبیقی در طرح استفاده نمود تا اطمینان حاصل شود که نور در زمان مناسب در سطح مناسب وجود دارد و با افزایش جریان ترافیک، سطح نور افزایش می‌یابد.
- ✓ روشنایی همراه با استفاده از مشخصات شهر هوشمند می‌تواند موجب تاثیرات مثبتی مانند افزایش سطح روشنایی در شرایطی که کیفیت آب و هوا مناسب نیست، شود.

---

[۱] Future-Proofed

[۲] Near Field Communication

[۳] Solid State Lighting

[۴] Light Emitting Diodes

[۵] Light Emitting Plasma

۲-۲-۵- منابع نور

در این بخش به جای لامپ از منبع نور استفاده می‌شود که همان معنی را دارد[۱].

طیف وسیعی از منابع نور وجود دارند که برای روشنایی راه و مناطق عمومی مناسب می‌باشند و باید متناسب با کاربرد یا نوع کاربری انتخاب شوند. هنگام انتخاب منبع نور، عوامل زیر باید در نظر گرفته شوند:

- ✓ **بهره‌وری انرژی**: بهره‌وری انرژی روشنایی راه تنها با مشخصه لومن بر وات (lm/W) منبع نور قابل ارزیابی نیست. در بهره‌وری کامل تاسیسات روشنایی باید تاثیر منبع نور، تجهیز کنترلی و ترکیب نوری چراغ در فراهم آوردن سطح روشنایی مناسب برای راه با درجه تفکیک رنگ مناسب، در نظر گرفته شود.
- ✓ **تفکیک رنگ**: ویژگی‌های تفکیک رنگ منبع نور باید متناسب با کار باشد. به طور کلی، در صورت وجود سطح بالای فعالیت عابرین پیاده یا در مواردی که ظاهر یک ناحیه مهم است، باید از مقادیر شاخص تفکیک رنگ بالاتری استفاده شود.
- ✓ **نمود رنگ**: منابع نور می‌توانند گرم، خنثی یا سرد باشند.
- ✓ **عمر منبع نور و استهلاک شار نوری**: اطلاعات مربوط به عمر منبع نور و استهلاک شار نوری باید از تولیدکنندگان گرفته شود و تاثیر آن بر ضریب نگهداری در نظر گرفته شود.
- ✓ **دید میانه[۱] و نسبت دید شبانه به دید روزانه(S/P)**: دید انسان یک فرایند بسیار پیچیده است که کارایی آن، تحت تاثیر فاکتورهای زیادی می‌باشد. در سطوح با روشنایی کم و برای کارهای مرتبط با نیازهای بصری عابران پیاده، منابع نوری با نسبت S/P بالاتر عملکرد بصری بهتری را فراهم می‌کنند.

۲-۲-۶- چراغ‌ها

چراغ‌های تاسیسات روشنایی باید مطابق با استاندارد BS EN 60598-2-3 باشند. درزگیری چراغ‌ها و مقاومت آنها در برابر نفوذ خاک و آب با کد حفاظتی آنها (درجه IP) نشان داده می‌شود که اطلاعات بیشتر در BS EN 60529 ارائه شده است. باید از چراغ‌های روشنایی با درجه IP در محدوده IP 6X استفاده شود. اعداد بالاتر در این محدوده باید برای محفظه نوری[۲] مورد استفاده قرار گیرد. در این صورت، خرابی اجزای داخلی کاهش می‌یابد و نیاز به نظافت داخلی نیز به حداقل می‌رسد.

---

[۱] Mesopic Vision

[۲] Optical Compartment

۲-۲-۷- روشنایی با استفاده از دکل (پایه) بلند

استفاده اصلی از روشنایی با پایه‌های بلند برای روشن کردن چند راه یا منطقه وسیعی مانند نزدیک عوارضی بزرگراه‌ها می‌باشد. در تقاطع‌های پیچیده‌ای که دارای راه‌ها در سطوح مختلف می‌باشند، روشنایی با پایه بلند می‌تواند یکنواختی خوبی را فراهم کرده و با کاهش تعداد پایه‌ها موجب چشم‌انداز مناسب‌تر نیز شود. در این پایه‌ها می‌توان از چراغ‌های ثابت یا متغیر (از نظر هندسی) استفاده کرد که معمولا برای تعمیرات و نگهداری به کمک تجهیزاتی به سطح زمین منتقل می‌شوند. در پایه‌های بلند، علی‌رغم این که توزیع نور یک چراغ منفرد ممکن است متقارن یا غیرمتقارن باشد، ولی می‌توان مجموعه‌ای از چراغ‌ها را به نحوی طراحی و نصب کرد که در ناحیه تحت پوشش، توزیع نور یکنواختی ایجاد شود[۱].

۲-۲-۷-۱- کلیات

در پایه‌های بلند با مجموعه‌ای از چراغ‌های منفرد، توزیع نور باید به گونه‌ای باشد که شدت نور در زوایای بیش از ۹۰ درجه، صفر و در زوایای بالای ۸۵ درجه قابل چشم‌پوشی باشد. راهنمایی‌های بیشتر در زمینه طراحی پایه‌های بلند در ILP PLG07 موجود می‌باشد.

۲-۲-۷-۲- ملاحظات طراحی

هنگام استفاده از روشنایی با پایه بلند، موارد زیر باید در نظر گرفته شوند:

- ✓ از آنجا که ناحیه‌ای که توسط یک پایه بلند روشن می‌شود می‌تواند وسیع باشد، هر پایه در صورت امکان باید دارای بیش از یک منبع نور یا چراغ باشد که خرابی یک لامپ باعث تاریک شدن هیچ قسمتی از منطقه یا راه مورد نظر نشود.
- ✓ ارتفاع پایه باید با توجه به اختلاف سطح راه‌ها و اندازه و شکل ناحیه‌ای که باید روشن شود، تعیین شود. ارتفاع نصب موثر، یعنی ارتفاع واقعی چراغ‌های روشنایی در بالای راهی که باید روشن شود، نباید کمتر از ۱۸ متر باشد. در محاسبات روشنایی یا درخشندگی باید از ارتفاع نصب موثر استفاده شود.
- ✓ در تبادل‌ها، در صورت عبور یک راه از روی راه دیگر، سایه‌ای تشکیل می‌شود که اندازه و شدت آن به محل نصب پایه‌ها بستگی دارد. در صورت امکان، بهتر است به هنگام طراحی، میزان تاثیر این سایه بر روشنایی مسیر تعیین شود تا در صورت لزوم (یکنواختی روشنایی یا درخشندگی کمتر از الزامات کلاس انتخاب شده باشد) برای تامین روشنایی مسیر زیرین از یک سیستم روشنایی کمکی استفاده گردد.

استفاده از سیستم روشنایی با پایه‌های بلند، محیط اطراف تقاطع مورد نظر را نیز روشن خواهد کرد. این مسئله ممکن است منجر به آلودگی نوری محیط اطراف شود که باید در طراحی سیستم مدنظر قرار گیرد.

۲-۲-۷-۳- ملاحظات مهندسی

محل نصب پایه‌های بلند و فونداسیون آن به وضعیت و شرایط نقطه نصب پایه چه در روی زمین (از نظر امکان استقرار فونداسیون پایه) و چه در ارتفاع (از نظر موقعیت چراغ‌ها نسبت به سطوح راه‌های مختلف) و همچنین به طرح کلی ناحیه بستگی دارد.

پایه بلند روشنایی و تجهیزات آن نباید موجب ایجاد خطرات ترافیکی در سطوح پایین‌تر شوند. در محل استقرار پایه‌ها باید فضای کافی و مناسب برای انجام عملیات تعمیر و نگهداری وجود داشته تا پرسنل مربوطه از فضای کافی برای انجام تعمیر و نگهداری برخوردار باشند.

همچنین محل نصب پایه باید طوری باشد که احتمال برخورد وسایل نقلیه با آن کم بوده، در غیر این صورت باید از گاردریل برای محافظت از پایه استفاده شود. جزئیات بیشتر برای ملاحظات مهندسی در ILP PLG07 موجود می‌باشد.

۲-۲-۷-۴- حفاظت در برابر صاعقه (آذرخش)

نیاز به حفاظت در برابر صاعقه برای پایه‌های روشنایی بلند باید مطابق با BS EN62305 و BS 7671 ارزیابی شود.

۲-۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل از ضابطه، ضوابط عمومی طراحی روشنایی مورد بررسی قرار گرفت. مباحثی که در این فصل مرور شد اصول کلی روشنایی راه‌ها و ملاحظات طراحی بودند.

فصل ۳

پوشش سطح راه و تاثیر آن بر روشنایی

مقدمه

آنچه که چشم از یک منبع نوری ثانویه، مانند یک سطح روشن شده، دریافت می‌کند، نه تنها به شدت روشنایی، بلکه به ویژگی‌های انعکاسی آن سطح نیز بستگی دارد. به همین دلیل است که هیچ مقدار نوری نمی‌تواند موجب درخشندگی یک سطح سیاه خالص شود. در واقع، درکی که چشم از یک مانع بر روی راه دارد، حاصل تصوری است که ذهن از کنتراست روشنایی و کنتراست رنگ ناشی از اختلاف بین درخشندگی مانع و زمینه آن می‌سازد. به عبارت دیگر، دیدن یک مانع روی راه، نتیجه تصور ذهنی کنتراست روشنایی و کنتراست رنگ است که از اختلاف بین درخشندگی مانع و زمینه آن ناشی می‌شود. بنابراین کسب اطلاعات از راه توسط راننده وسیله نقلیه با توجه به رابطه بین حداقل مقدار کنتراست و سطح درخشندگی حاصل می‌شود به نحوی که مانع بر روی راه قابل رویت می‌گردد. با توجه به این موارد، نور تامین شده در روشنایی راه‌ها، می‌بایست در جهت حداکثر نمودن روشنایی زمینه و سطحی که جسم بر روی آن قرار دارد، استفاده شود. دستیابی به این هدف، نشان‌دهنده اهمیت ویژگی‌های انعکاسی سطح راه‌ها می‌باشد.

۳-۱- ویژگی‌های انعکاسی سطح راه‌ها

ویژگی‌های انعکاسی سطح راه‌ها به ترتیب اهمیت به موارد زیر بستگی دارد[۱۰]:

۱) نوع پوشش سطح راه‌ها از لحاظ ترکیب‌بندی، بافت و ساختار؛

۲) وضعیت فیزیکی پوشش سطح راه‌ها از لحاظ فرسودگی و رطوبت؛

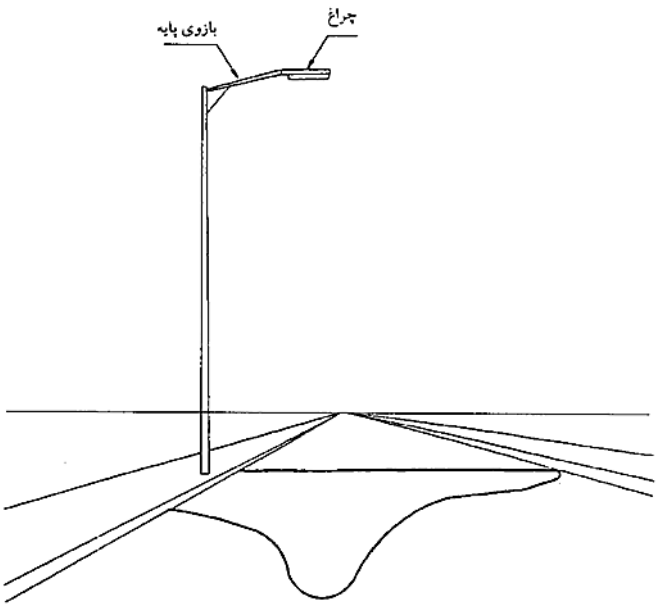
۳) زوایای تابش نور از چراغ به هر نقطه از سطح راه و همچنین زوایای بازتابش آن به چشم راننده؛

۳-۱-۱- ترکیبات به کار رفته در سطح راه‌ها

یکی از عوامل تاثیرگذار بر انعکاس نور از سطح راه‌ها، ترکیب مواد و مصالح به‌کار رفته در آنها می‌باشد. نوع و دانه‌بندی سنگ و شن مورد استفاده و همچنین نوع و میزان ماده چسباننده به کار رفته در سطح راه اعم از سیمان یا قیر تاثیر بسزایی در میزان و چگونگی انعکاس نور دارند.

۳-۱-۲- چگونگی انعکاس نور یک چراغ از سطح راه

یک چراغ نصب شده بر روی یک پایه که بر فراز راهی قرار گرفته است قسمتی از راه و پیاده‌روی نزدیک به پایه را روشن نموده و به محیط اطراف نیز نور محدودی می‌دهد. برای راننده‌ای که به این پایه نزدیک می‌شود، ناحیه نورانی معمولا به شکل حرف "T" می‌باشد(شکل ۳-۱). شکل و میزان درخشندگی این ناحیه، به نحوه توزیع نور چراغ و انعکاس نور از سطح راه بستگی دارد.



شکل ۳-۱: سطح "T" شکل روشن شده توسط یک چراغ

۳-۱-۳- مشخصات پوشش سطح راه از نظر بافت و ساختار

ویژگی‌های فیزیکی مواد پوشش دهنده سطح راه به واسطه شکل و میزان درخشندگی هر یک از قطعات ریز تشکیل‌دهنده آن مشخص می‌شود. این ویژگی‌ها، به شرح زیر بوده و در شکل ۳-۲ تا شکل ۳-۵ نیز نشان داده شده‌اند[۱۰]:

الف- بافت ماکروسکوپی سطح به واسطه اندازه و گوشه‌دار بودن ذرات یا قطعات قرار گرفته در سطح راه که توسط فشردن یا کوبیدن، به هم چسبیده و متراکم گردیده است، مشخص می‌شود. بافت ماکروسکوپی سطح از نظر چگونگی رویت آن به دو دسته "ناهموار" و "صاف" تقسیم می‌شود.

ب- بافت میکروسکوپی سطح به واسطه میزان صیقلی بودن هر یک از قطعات تشکیل‌دهنده آن مشخص می‌شود. این بافت، به دو دسته "زبر" و "صیقلی" تقسیم می‌گردد.

ج- میزان روشنایی سطح همواره به واسطه رنگ تکه سنگ‌های قرار گرفته در بخش بالایی پوشش آن تعیین می‌شود.

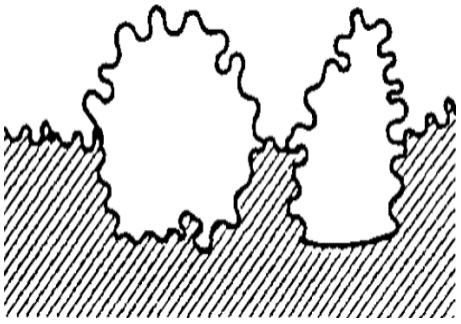
اثرات ویژگی‌های فوق الذکر، در عملکرد سیستم روشنایی راه‌ها به شرح زیر است:

الف- برای سطوح خشک؛ پهنا، طول و درخشندگی هر یک از قطعات ریز تشکیل‌دهنده آن بر هر سه ویژگی مزبور اثر می‌گذارد. این خواص، به دو کران زیر محدود می‌شود:

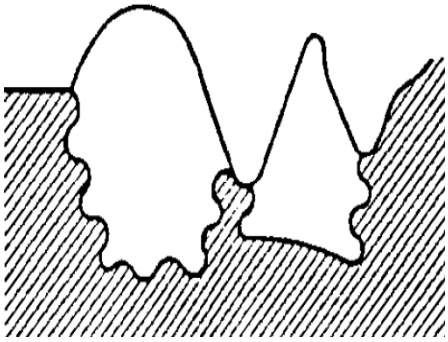
- در یک کران، وجود سنگریزه‌های تیره رنگ و صیقلی باعث کاهش درخشندگی در بخش بالایی "T" (شکل پخش نور چراغ) و تولید دنباله روشن بلند بر روی سطح می‌شود. در این حالت، نوار روشن طولی بر روی سطح به وجود آمده ولی متوسط درخشندگی سطح، پایین نخواهد آمد. روشنایی بخش بالایی "T" کم شده و برای جبران این کمبود روشنایی نیاز خواهد بود.

- در کران دیگر، بافت ناهموار و زبر سطحی که از سنگریزه‌های سفید تشکیل شده، تولید بخش بالایی عریض برای "T" نموده و در عوض دنباله آن کوتاه خواهد بود. در این حالت، متوسط درخشندگی کل راه بالا بوده ولی در عوض یکنواختی طولی آن کوچک خواهد بود. اکثر سطوح راهی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد از نظر عملکرد سیستم روشنایی بین این دو کران قرار دارند.

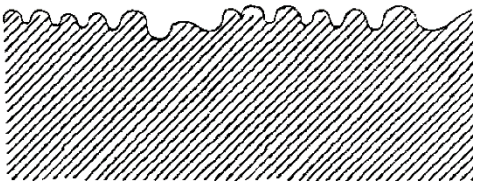
ب- برای سطوح خیس، روشنایی سطح اهمیت کمی دارد. در این حالت، عملکرد بافت ماکروسکوپی سطح با توجه به میزان بارندگی و لایه آب کشیده شده بر روی سطح مشخص می‌شود. این لایه آب از نظر روشنایی، همچون سطح صیقلی رفتار می‌کند. نوع بافت میکروسکوپی سطح، باعث بلند شدن دنباله سطح روشن می‌شود. این عمل باعث ایجاد لایه یا نوار روشنی بر روی سطح می‌شود. در این حالت، وجود بافت ماکروسکوپی ناهموار، باعث محدودیت این اثر حتی در شرایط بد هوا می‌گردد.



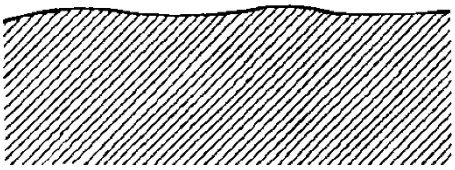
شکل ۳-۲: پوشش سطح راه با خواص ماکروسکوپی ناهموار و میکروسکوپی زبر



شکل ۳-۳: پوشش سطح راه با خواص ماکروسکوپی ناهموار و میکروسکوپی صیقلی



شکل ۳-۴: پوشش سطح راه با خواص ماکروسکوپی صاف و میکروسکوپی زبر



شکل ۳-۵: پوشش سطح راه با خواص ماکروسکوپی صاف و میکروسکوپی صیقلی

با توجه به مطالب ذکر شده مشاهده می‌شود که نوع پوشش سطح راه تاثیر مستقیمی بر عملکرد سیستم روشنایی نصب شده در راه می‌گذارد.

افزایش ناهمواری سطح (از نظر بافت ماکروسکوپی)، اثرات و شرایط ایجاد شده در سطوح خیس یا هوای بارانی را گسترش می‌دهد. اجتناب از استفاده از سطح غیرصیقلی از ایجاد نوار یا لایه روشن بر روی سطح جلوگیری می‌کند. استفاده از سنگریزه‌های سفید بر روی سطح باعث افزایش درخشندگی و یکنواختی روشنایی آن می‌شود.

۳-۱-۴- ناهمواری سطح راه

همواری طولی و عرضی یک راه، در هر لحظه معین به پروفیل اولیه سطح راه بستگی دارد. بدتر شدن سطح و یا ناهمواری ساختار سطح، به‌دلیل فرسودگی آن ظاهر می‌شود. این ناهمواری بر میزان و چگونگی بازتاب نور از سطح راه تاثیر گذاشته و باعث انحراف میزان روشنایی راه از طراحی اولیه می‌گردد.

در راه‌های با پوشش آسفالت، ناهمواری عرضی می‌تواند به طور محسوس با ظهور پدیده گودی چرخ گسترش یابد.

۳-۱-۵- مرطوب بودن سطح راه

ناحیه نورانی ایجاد شده توسط یک چراغ بر روی سطح راه، به شکل حرف T است. زمانی که سطح راه مرطوب یا نمناک می‌شود، خواص بازتابی آن تغییر می‌کند و سر حرف T باریک‌تر شده و دنباله آن ضخیم‌تر و بلندتر می‌شود.

وقتی چنین تغییراتی روی می‌دهد، از ترکیب نواحی نورانی ایجاد شده توسط تاسیسات روشنایی راه، یک الگوی درخشندگی با یکنواختی کمتر بر روی سطح ایجاد می‌شود. در این حالت یکنواختی کلی کاهش بیشتری می‌یابد. در حالی که یکنواختی طولی کمتر تحت تاثیر قرار خواهد گرفت.

۳-۲- ویژگی‌های بازتاب سطح راه

کلیه ویژگی‌های بازتاب از سطح راه با استفاده از مجموعه‌ای از ضرایب درخشندگی مشخص می‌شوند. ضریب درخشندگی q، به صورت نسبت بین درخشندگی L در نقطه‌ای از سطح راه به شدت روشنایی افقی E در همان نقطه برای یک منبع نور واحد، تعریف می‌شود. ضریب درخشندگی به نوع و ماهیت مواد به‌کار رفته در سطح راه، موقعیت ناظر و محل منبع نور نسبت به نقطه مورد بررسی در سطح راه بستگی دارد.

$$q = \frac{L}{E} \qquad ۱-۳$$

ضریب درخشندگی، برای انواع مختلف رویه‌های سطح راه‌ها، از طریق اندازه‌گیری و در قالب جداولی بدست می‌آید. این جداول که در زمان انجام محاسبات درخشندگی راه مورد استفاده قرار می‌گیرند، میزان این ضریب را در نقاط مختلف راه مشخص می‌کنند. در این جداول به منظور سهولت محاسبات، ضرایب درخشندگی کاهش یافته (r) داده می‌شود که به جداول بازتاب راه‌ها (r-table) مشهور هستند[۱۱](پیوست ۲). در این جداول، مقادیر r به دلیل کوچک بودن، با ضرب در ۱۰۰۰۰ نشان داده می‌شوند.

$$r = q.\cos\gamma^3 \qquad ۲-۳$$

۳-۳- دسته‌بندی سطوح راه‌ها

با توجه به عوامل موثر در میزان بازتابش نور از سطوح راه‌ها، پارامترهایی تعریف شده و سطوح بر مبنای این پارامترها دسته‌بندی شده‌اند و سپس با انجام اندازه‌گیری، جداول بازتاب مربوطه حاصل گردیده‌اند. این پارامترها که ویژگی‌های بازتاب از سطح راه را به طور کامل توصیف می‌کنند، بر اساس میزان روشنی (درجه سفیدی یا تیرگی) سطوح و همچنین خواص آینه‌ای (انعکاسی) سطح راه به‌شرح زیر تعریف می‌گردند:

الف – متوسط ضریب درخشندگی (Q_0) نشان‌دهنده درجه روشنی سطح راه

ب – ضریب انعکاس (S1) نشان‌دهنده خواص آینه‌ای سطح راه

از آنجا که در راه‌های مرطوب، میزان بازتاب آینه‌ای به‌دلیل پوشیده شدن سطح راه توسط لایه‌ای از آب، متفاوت با بازتاب آینه‌ای راه‌های خشک می‌باشد، لذا این دسته‌بندی برای راه‌های خشک و مرطوب به صورت مجزا انجام می‌شود.

۳-۳-۱- دسته‌بندی سطوح راه‌های خشک

با انجام دسته‌بندی سطوح راه‌ها، می‌توان برای هر سطح و بر اساس خواص بازتاب آن، دسته مناسب را انتخاب و در درخشندگی سطح به کار گرفت. در چنین حالتی، نیاز به تعداد زیادی جداول بازتاب نبوده و کار طراحی روشنایی نیز ساده‌تر خواهد بود.

در این سیستم دسته‌بندی، سطوح راه‌ها بر اساس مقدار ضریب انعکاس (S1) گروه‌بندی می‌گردند. در این گروه‌بندی، با پذیرش مقدار مشخصی خطا، راه‌ها با مشخصات نزدیک به هم، در یک دسته قرار گرفته و تنها با یک جدول بازتاب مشخص می‌گردند. به عبارت دیگر می‌توان به هر دسته، یک جدول بازتاب استاندارد معین اختصاص داد تا در محاسبات درخشندگی سطوح راه‌های واقع در آن دسته از جدول بازتاب مربوطه استفاده شود. البته هر چه تعداد دسته‌های راه‌های موجود در یک سیستم دسته‌بندی، کمتر باشد کار با آن راحت‌تر بوده و در عوض هر چه تعداد دسته‌های یک سیستم دسته‌بندی بیشتر باشد دقت نتایج به دست آمده نیز بیشتر خواهد بود. برای راه‌های با سطوح خشک، سه سیستم دسته‌بندی تعریف و جداول بازتاب مربوطه (r-table) تعیین شده‌اند.

۳-۳-۱-۱- سیستم دسته‌بندی C

این سیستم برای راه‌های با سطوح خشک تعریف گردیده و متشکل از دو دسته CI و CII می‌باشد[۱۰].

در این سیستم، سطوح راه‌ها با مقدار S1 کمتر از ۰٫۴ متعلق به کلاس CI و سطوحی با S1 بیشتر از ۰٫۴ متعلق به کلاس CII می‌باشند. جداول بازتاب استاندارد دسته‌های CI و CII نیز به ترتیب با C1 و C2 نشان داده می‌شوند.

جدول ۳-۱: سیستم دسته‌بندی استاندارد

دسته	جدول استاندارد	حد S1	S1 استاندارد	مقدار Q_0 نرمالیزه شده

CI	C1	S1<۰/۴	۰/۲۴	۰/۱۰
CII	C2	S1≥۰/۴	۰/۹۷	۰/۰۷

۳-۳-۱-۲- سیستم‌های دسته‌بندی R و N

علاوه بر سیستم دسته‌بندی استاندارد C، دو نوع دسته‌بندی R و N نیز تعریف شده‌اند، به نحوی که هر کدام از آنها برای سطوح راه‌های خشک و بر اساس مقدار S1 به چهار دسته تقسیم شده‌اند[۱۰].

برای این نوع دسته‌بندی نیز دو مجموعه مختلف از جداول بازتاب استاندارد R و N وجود دارد.

جدول ۳-۲: سیستم دسته‌بندی **R**

دسته	جدول استاندارد	حد S1	S1 استاندارد	مقدار Q_0 نرمالیزه شده
RI	R1	S1<۰/۴۲	۰/۲۵	۰/۱۰
RII	R2	۰/۴۲≤S1<۰/۸۵	۰/۵۸	۰/۰۷
RIII	R3	۰/۸۵≤S1<۱/۳۵	۱/۱۱	۰/۰۷
RIV	R4	۱/۳۵≤S1	۱/۵۵	۰/۰۸

جدول ۳-۳: سیستم دسته‌بندی **N**

دسته	جدول استاندارد	حد S1	S1 استاندارد	مقدار Q_0 نرمالیزه شده
NI	N1	S1<۰/۲۸	۰/۱۸	۰/۱۰
NII	N2	۰/۲۸≤S1<۰/۶۰	۰/۴۱	۰/۰۷
NIII	N3	۰/۶۰≤S1<۱/۳۰	۰/۸۸	۰/۰۷
NIV	N4	۱/۳۰≤S1	۱/۶۱	۰/۰۸

از مقایسه جدول ۳-۲ و جدول ۳-۳ می‌توان دریافت که حدود CI در سیستم دسته‌بندی استاندارد، تقریبا همانند دسته RI از سیستم دسته‌بندی R بوده و دسته‌های RII، RIII و RIV نیز تقریبا با دسته CII در سیستم دسته‌بندی استاندارد مرتبط هستند.

۳-۳-۱-۳- انتخاب سیستم دسته‌بندی سطوح راه‌های خشک

مشاهده می‌گردد که سیستم دسته‌بندی C و R مشابه هم بوده، زیرا از یک حد S1 برای دسته‌بندی استفاده می‌کنند. ولی از آنجا که تعداد دسته‌های سیستم R بیش از سیستم C می‌باشد، لذا دقت محاسبات درخشندگی با استفاده از سیستم R بیشتر است. از طرف دیگر سیستم دسته‌بندی N نیز فقط در کشورهای اسکاندیناوی مورد استفاده بوده و کاربرد فراگیری ندارد.

با توجه به موارد فوق الذکر، در اکثر کشورها از سیستم دسته‌بندی R استفاده گردیده و در ایران نیز ملاک عمل می‌باشد. در این سیستم، نوع رویه‌های سطح راه‌ها مطابق با دسته‌بندی صورت گرفته در جدول ۳-۴ فراهم شده است.

جدول ۳-۴: تقسیم‌بندی رویه‌های سطح راه‌ها منطبق بر دسته‌بندی **R**

دسته استاندارد CIE	ضریب Q_0 * سطح راه	مشخصات رویه سطح راه	نوع انعکاس نور از سطح
R1	۰/۱	- رویه بتنی ساخته شده از سیمان پرتلند - رویه آسفالتی با حداقل ۱۵ درصد مواد مصنوعی افزوده شده برای روشن کردن رنگ آن (همچون کوارتزیت، لابرا دوریت و غیره)	پراکندگی بخش اعظم نور از سطح
R2	۰/۰۷	- رویه آسفالتی با ترکیبی متشکل از حداقل ۶۰ درصد شن و ماسه (دانه‌بندی بزرگتر از ۱۰ میلیمتر) - رویه آسفالتی با ترکیبی متشکل از ۱۰ الی ۱۵ درصد مواد مصنوعی روشن کننده رنگ رویه (معمولاً استفاده نمی‌شود)	پراکندگی و انعکاس توام نور
R3	۰/۰۷	- رویه آسفالتی با مواد ترکیبی تیره‌رنگ (همانند سنگ خارا و یا خاکستر آتشفشانی خرد شده) و دارای مواد پوشش‌دهنده برای صیقلی کردن سطح، پس از چندماه استفاده از این رویه، سطح آن زیر می‌شود (رویه معمول در سطح بزرگراه‌ها)	انعکاس ضعیف نور
R4	۰/۰۸	- رویه آسفالتی تیره رنگ با سطح کاملا صیقلی	انعکاس بخش اعظم نور
* Q_0 نشان‌دهنده متوسط ضریب درخشندگی رویه سطح راه می‌باشد.			

۳-۳-۲- دسته‌بندی سطوح راه‌های مرطوب

بعد از بارندگی، در دوره خشک شدن، سطح راه تا مدتی مرطوب است و محدوده پیوسته‌ای از شرایط مرطوب را تجربه می‌کند که با محدوده پیوسته‌ای از ویژگی‌های بازتاب سطح متناظر است. هر کدام از نقاط این محدوده با یک درجه بازتاب آینه‌ای مشخص می‌گردد به طوری که تا خشک شدن سطح راه، درجه بازتاب آینه‌ای آن به شکل پیوسته و یکنواخت کاهش می‌یابد.

پایین‌ترین درجه بازتاب آینه‌ای هنگامی است که سطح کاملا خشک شده باشد و بالاترین درجه بازتاب آینه‌ای مربوط به هنگام ریزش باران یا بلافاصله بعد از آن است. البته این درجه به سطح راه و شدت ریزش باران نیز بستگی دارد. به

همین دلیل در طراحی روشنایی راه‌ها، می‌بایست از دو جدول بازتاب راه (r-table) یکی برای شرایط خشک و دیگری برای شرایط مرطوب سطح راه استفاده شود[۱۲-۱۱].

۳-۳-۲-۱- سیستم دسته‌بندی سطوح راه‌های مرطوب W

این سیستم برای راه‌های با سطوح مرطوب تعریف گردیده و متشکل از چهاردسته می‌باشد(جدول ۳-۵).

جدول ۳-۵: سیستم دسته‌بندی **W** برای راه‌ها با سطح مرطوب

دسته	جدول استاندارد	حد S1	S1 استاندارد	مقدار Q_0 نرمالیزه شده
WI	W1	S1<۴٫۵	۳٫۲	۰٫۱۱۴
WII	W2	۴٫۵≤S1<۷٫۲	۵٫۷	۰٫۱۵۰
WIII	W3	۷٫۲≤S1<۹٫۸	۸٫۷	۰٫۱۹۶
WIV	W4	۹٫۸≤S1<۱۲	۱۰٫۹	۰٫۲۴۷

در این سیستم، مطابقت نوع رویه‌های سطح راه‌ها با دسته‌بندی آن می‌تواند مطابق با جدول ۳-۶ صورت پذیرد[۱۲].

جدول ۳-۶: مطابقت رویه‌های سطح راه‌ها با دسته‌بندی **W**

مشخصات رویه سطح راه	دسته استاندارد CIE	
	راه با ترافیک متوسط یا سبک	راه با ترافیک سنگین
رویه آسفالتی با دانه‌بندی کوچکتر از ۱۰ میلیمتر	W4	>W4
رویه آسفالتی با دانه‌بندی ۱۰ میلیمتر و یا بزرگتر	W3	W4
سطوح پوشیده شده با تراشه‌هایی با دانه‌بندی ۱۰ میلیمتر و یا بزرگتر	W2	W3
رویه بتنی با ناهمواری‌های کوچک در سطح آن	>W4	
رویه بتنی با ناهمواری‌های ایجاد شده در سطح آن بوسیله جاروب کشیدن، برش و یا سایر روش‌ها	W4یا کمتر	
سطح پوشیده شده با مواد مناسب برای شرایط مرطوب	W2 یا کمتر	
سطوح منفذدار و هدایت کننده آب	W2 یا کمتر	

۳-۳-۲-۲- ملاحظاتی در بکارگیری سیستم دسته‌بندی W

اگر سطح راه مرطوب باشد، بازتاب از آن بازتاب آینه‌ای بوده و در این حالت میزان درخشندگی متوسط راه افزایش یافته و در نتیجه خیرگی ناشی از تاسیسات روشنایی کم می‌گردد. همچنین یکنواختی طولی اغلب خوب بوده و تضعیف نمی‌گردد ولی به‌دلیل افزایش درخشندگی متوسط همزمان با کاهش درخشندگی حداقل، کاهش شدید در یکنواختی کلی (U_0) ظاهر می‌گردد. در چنین حالتی، حداقل مقادیر یکنواختی کلی (U_0) برای دسته‌های W1، W2، W3 و W4 به ترتیب برابر با ۰٫۳، ۰٫۲۵، ۰٫۲ و ۰٫۱۵ می‌باشد.

۳-۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل از ضابطه پوشش سطح راه و تاثیر آن بر روشنایی راه‌ها بررسی شد. مباحثی که در این فصل به آنها پرداخته شد شامل ویژگی‌های انعکاسی سطح راه‌ها، ویژگی‌های بازتاب سطح راه و دسته‌بندی سطوح راه‌ها بود.

فصل ۴

شرایط و الزامات تامین روشنایی راه

مقدمه

بسیاری از مشکلات فعلی در روشنایی راه‌ها به دلیل طراحی ضعیف روشنایی می‌باشد. خیرگی بیش از حد، یکنواختی ضعیف، بازتاب ناخواسته، برافروختگی آسمان و نور مزاحم، همگی از معایب مهم طراحی ضعیف می‌باشند. هزینه‌های بیش از حد تعمیر و نگهداری و انرژی تنها دو مورد از مخارج پنهان ناشی از روشنایی کمتر از حد مطلوب برای راه می‌باشند. با استفاده از فاکتورهای استهلاک نامناسب و توزیع‌های نورسنجی نادرست ممکن است این مشکلات بیشتر شوند. به منظور طراحی یک سیستم روشنایی با کیفیت برای راه‌ها، تخصص مهندسی لازم می‌باشد که در مواردی همچون نوع منبع نور و مشخصات آن، نوع و مشخصات بالاست، انواع نصب چراغ، مشخصات الکتریکی و مکانیکی پایه، نوع پایه، گزینه‌های نصب چراغ و ملاحظات بارگذاری، طبقه‌بندی سطح راه، ارتفاع و فاصله نصب چراغ، جزئیات فونداسیون، پشتیبان و نوع پایه، گزینه‌های فناوری روشنایی و اندازه‌گیری کیفیت روشنایی مانند درخشندگی، شدت روشنایی، خیرگی، قابلیت دید و طیف رنگی کارگشا می‌باشد.

۴-۱- کلیات طراحی روشنایی

با توسعه صنایع و افزایش تجربه در روشنایی راه‌ها، روش‌های توسعه یافته برای طراحی سیستم‌های روشنایی ایجاد شده است. دو روش پذیرفته شده موجود به منظور دستیابی به سطح روشنایی مورد نظر، بر اساس شدت روشنایی و درخشندگی می‌باشند. این روش‌ها امکان بررسی گزینه‌های مختلف برای لامپ‌ها، چراغ‌ها، ارتفاع نصب، فواصل چراغ‌ها و انرژی مصرفی را به منظور طراحی روشنایی مطلوب فراهم می‌سازند. با توسعه علم و فناوری، منابع نوری کارآمدتر و چراغ‌های بهتر تولید شده‌اند که از آن‌ها در طراحی‌های اخیر استفاده می‌شود.

طراحی تاسیسات روشنایی راه‌ها، فرآیند استفاده از مشخصه‌های نوری موجود چراغ‌ها و لامپ‌های انتخاب شده، می‌باشد. از آنجا که شدت روشنایی فقط نور تابشی را در نظر می‌گیرد، اطلاعات نوری چراغ و مجاورت و جهت آن نسبت به سطح راه، تنها اطلاعات مورد نیاز است. به منظور دستیابی به درخشندگی مطلوب، اطلاع از انعکاس سطح راه مورد نیاز می‌باشد. در محاسبات روشنایی راه جهت تعیین متوسط میزان شدت روشنایی یا متوسط درخشندگی، از روش سعی و خطا برای موقعیت و مکان چراغ‌های مفروض استفاده می‌شود. داده‌ها و اطلاعاتی که سازندگان لامپ‌ها – چراغ‌ها منتشر می‌کنند، عملکرد نوری چراغ‌ها را نشان می‌دهند. در صورت استفاده از روش شدت روشنایی، این اطلاعات به همراه مشخصه‌های انعکاس سطح راه، برای تعیین تئوری موقعیت چراغ‌ها به منظور تولید درخشندگی مطلوب در سطح مورد نظر مورد استفاده قرار می‌گیرند. تست چراغ‌ها برای حصول اطمینان از مطابقت عملکرد نوری آن‌ها با مقادیر در نظر گرفته شده در طراحی، امری ضروریست و نادیده گرفتن تست چراغ‌ها، نتایج ضعیفی را به دنبال دارد.

محاسبات طراحی روشنایی با استفاده از نرم‌افزارهای طراحی روشنایی انجام می‌گیرد و مبنای طراحی، مقادیر متوسط شدت روشنایی یا درخشندگی و تغییر در سطح متوسط آن‌ها می‌باشد[۵].

۴-۱-۱- سطح و یکنواختی شدت روشنایی و درخشندگی

سطح و یکنواختی شدت روشنایی یا درخشندگی در طول راه به عوامل مختلفی همچون لومن خروجی منبع نور، الگوی توزیع نور چراغ، ارتفاع نصب، مکان چراغ، انعکاس سطح راه، فاصله و آرایش پایه‌ها بستگی دارد. با آرایش‌های مختلف نصب مانند استفاده از تعداد کمی منبع نور با خروجی بالاتر یا تعداد بیشتری منبع نور با خروجی پایین، می‌توان به سطح روشنایی متوسط مشابه دست یافت. یکی از عوامل مهم در مقایسه گزینه‌های مختلف، یکنواختی شدت روشنایی یا درخشندگی در طول راهی است که باید به سیستم روشنایی تجهیز گردد.

چراغ‌ها و منابع نور در طیف وسیعی از نوع، اندازه و مشخصه‌های نوری وجود دارند. سیستم‌های روشنایی که از لامپ‌های با لومن و کارآیی بالا استفاده می‌کنند، می‌توانند جهت تامین سطح و یکنواختی مطلوب از شدت روشنایی و درخشندگی، مورد استفاده قرار گیرند. ارتفاع نصب بالاتر مزایایی دارد که هنگام انتخاب روش طراحی باید لحاظ گردد. به منظور دستیابی به موثرترین و اقتصادی‌ترین سیستم روشنایی، در نظر گرفتن تمامی منابع نور و اندازه‌های مختلف، امری ضروری تلقی می‌گردد.

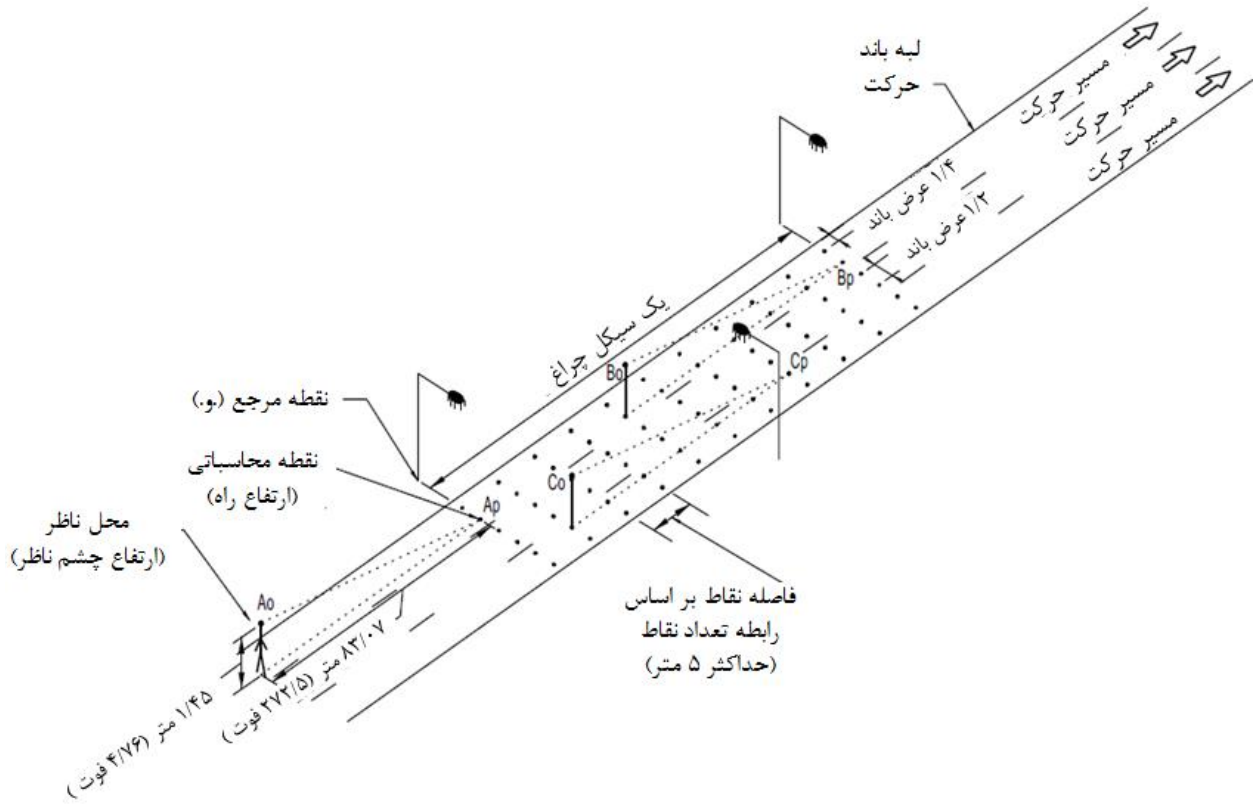
۴-۱-۲- ملاحظات مربوط به شدت روشنایی

شدت روشنایی در روشنایی راه‌ها، میزان نور تابش شده به سطح راه می‌باشد. این مقدار با واحد فوت کاندل یا لوکس بیان می‌شود. طراحی بر اساس شدت روشنایی می‌تواند با استفاده از نرم‌افزار طراحی روشنایی و یا با استفاده از الگوهای ایزو فوت کاندل صورت پذیرد. شدت روشنایی در هر نقطه حاصل مجموع شدت روشنایی یک یا چند منبع نور در آن نقطه است.

۴-۱-۳- ملاحظات مربوط به درخشندگی

درخشندگی در مبحث روشنایی راه‌ها مقیاسی از نور منعکس شده از سطح راه می‌باشد که با چشم راننده قابل رویت است[۵].

اهمیت انعکاس سطح راه: محاسبه درخشندگی علاوه بر اطلاع از موقعیت، توزیع و شدت نور چراغ به مشخصه‌های انعکاس سطح راه و موقعیت ناظر وابسته است(شکل ۴-۱). در این ضابطه از دسته‌بندی R (فصل۳) انعکاس سطح راه استفاده شده است. هنگام طراحی سیستم روشنایی راه‌ها با استفاده از این دسته‌بندی، جنس آخرین لایه مورد استفاده در سطح راه در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۴-۱: نقاط محاسبه در روش‌های شدت روشنایی و درخشندگی

تعداد خط نقاط محاسباتی برای راه‌ها با تعداد باندهای حرکتی مختلف، متفاوت است و هر باند دارای دو خط نقاط محاسباتی می‌باشد. به عنوان مثال در راه‌های با ۱ باند، ۲ خط نقاط محاسباتی، در راه‌های با ۲ باند، ۴ خط نقاط محاسباتی و در راه‌های با ۳ باند، ۶ خط نقاط محاسباتی وجود دارد. در نمونه شکل ۴-۱، راه دارای ۳ باند حرکتی می‌باشد، بنابراین ۶ خط محاسباتی برای این نمونه در نظر گرفته شده است.

مکان ناظر برای نقاط مختلف محاسباتی متفاوت است. به طور مثال:

- برای محاسبه در نقطه A_p، محل ناظر نقطه A_o است. A_p اولین اندازه‌گیری در سیکل برای خط ۲ در باند اول می‌باشد.
- برای محاسبه در نقطه B_p، محل ناظر نقطه B_o است. B_p آخرین اندازه‌گیری در سیکل برای خط ۲ در باند اول می‌باشد.
- برای محاسبه در نقطه C_p، محل ناظر نقطه C_o است. C_p هشتمین اندازه‌گیری در سیکل برای خط ۱ در باند سوم می‌باشد.

تعداد نقاط طولی مورد نیاز در روش‌های شدت روشنایی و درخشندگی از تقسیم فاصله سیکل چراغ بر ۱۰ بدست می‌آید (۱۰/ فاصله سیکل چراغ = تعداد نقاط). فاصله بین این نقاط نباید بیشتر از ۵ متر (۱۵ فوت) باشد. همچنین محاسبات باید برای حداقل ۳ سیکل چراغ قبل و یک سیکل چراغ بعد نسبت به نقطه مرجع (۰،۰) انجام شود.

محاسبات درخشندگی، چشم ناظر را در ارتفاع ۱٫۴۵ متر (۴٫۷۶ فوت) بالای سطح راه در نظر می‌گیرد. ۱٫۴۵ متر (۴٫۷۶ فوت) عددی برای طراحی است که به صورت بین‌المللی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در ارتفاع چشم راننده یعنی ۱٫۰۷ متر (۳٫۵ فوت) تاثیر ندارد. خط دید ناظر یک درجه زیر راستای افق بوده و موازی با لبه راه در امتداد خطوطی به فاصله ۰٫۲۵عرض باند از لبه هر باند قرار می‌گیرد. در شروع کار، ناظر در فاصله ۸۳٫۰۷ متر (۲۷۲٫۵ فوت) قبل از اولین نقطه در طول سیکل تحت بررسی، جای می‌گیرد.

محاسبه یکنواختی درخشندگی: یکنواختی درخشندگی هم به صورت نسبت متوسط به حداقل و هم به صورت نسبت حداکثر به حداقل محاسبه می‌شود. روش نسبت متوسط به حداقل از درخشندگی متوسط ناحیه بین دو چراغ مجاور تقسیم بر کمترین مقدار در هر نقطه از این ناحیه استفاده می‌کند. روش نسبت حداکثر به حداقل از بیشترین و کمترین مقادیر بین همان دو چراغ مجاور استفاده می‌کند. یکنواختی درخشندگی به توانایی ناظر در تشخیص تفاوت بین سطوح روشنایی بستگی دارد.

ارزیابی خیرگی: در روش درخشندگی، ارزیابی خیرگی حاصل از سیستم روشنایی ثابت یکی از معیارهای درخشندگی می‌باشد. خیرگی محدودکننده (درخشندگی خیرگی) برای دادن اطلاعاتی به طراح، به منظور تعیین اثر خیرگی به صورت درصدی از متوسط درخشندگی کل، بیان شده است.

۴-۲- شرایط تامین روشنایی

در این بخش نتایج موجود برای انتخاب آن بخش از آزادراه‌ها که می‌توان منابع روشنایی ثابت را در آن نصب نمود، خلاصه می‌شود. در واقع از این شرایط برای راه‌های غیر از آزادراه‌ها نیز می‌توان استفاده نمود.

۴-۲-۱- مزایای روشنایی

سرمایه‌گذاری منابع مالی عمومی در روشنایی راه‌ها منافع چندگانه‌ای را برای مردم در پی دارد. مزایای روشنایی شامل بهبود قابلیت دید ساختار هندسی راه، اشیاء در راه و دیگر وسایل نقلیه در فواصل مختلف پیش‌رو می‌باشد. این امر منجر به اطمینان بیشتر راننده و عابر پیاده و همچنین بهبود ایمنی به خصوص در شرایط آب و هوای طوفانی می‌گردد. همچنین روشنایی می‌تواند ظرفیت راه را بهبود بخشد. دیگر مزایای روشنایی شامل بهبود ظرفیت راه، افزایش ایمنی و امنیت، راحتی و غرور مدنی و تشخیص می‌باشد.

۴-۲-۲- تبادل‌های برون‌شهری

یک تبادل برون‌شهری فاقد روشنایی، اغلب دارای شرایط خاصی است که قبل از تصمیم برای روشنایی، نیاز به ملاحظاتی خاص برای آن می‌باشد. تبادل‌های برون‌شهری به طور طبیعی دارای فضای کافی برای نصب تابلوهای راهنمایی می‌باشند. در حالتی که نوع و جزئیات تبادل‌های برون‌شهری مانند آزادراه‌ها بوده و دارای سیستم مشخص‌کننده حاشیه راه توسط موانع می‌باشند، راه‌های اتصالی و ارتباطی در آن بدون سیستم روشنایی بهتر تشخیص داده می‌شوند. اگر چه نصب تعداد کمی واحدهای روشنایی در نقاط ورودی و خروجی تقاطع و مسیرهای شیب‌دار، قابلیت مانور بیشتری را برای راننده فراهم می‌آورد.

۴-۲-۳- شرایط روشنایی برای آزادراه‌ها

هدف این بخش، بیان شرایطی است که تحت آن‌ها روشنایی آزادراه‌ها توجیه می‌شود. مقادیر موجود شرایط حداقل را بیان می‌دارند که در آزادراه‌های جدید یا موجود، باید برآورده گردد. شرایط مذکور سازمان مسئول را ملزم به تامین روشنایی نمی‌کند. مقامات مسئول می‌توانند مقادیر دیگر یا محدودکننده‌تری را در نظر بگیرند[۵].

به طور کلی مشخص شده که مزایای ایمنی ترافیک ناشی از منبع روشنایی ثابت متناسب با حجم ترافیک است. تعداد تغییر مسیر، نواحی تداخل، وسایل نقلیه متوقف شده و سایر توقف‌های اضطراری متناسب با حجم ترافیک است. بنابراین، تعدادی از شرایط روشنایی بر اساس حجم ترافیک می‌باشد.

به منظور تامین روشنایی در زمان‌ها و مکان‌هایی که می‌تواند بیشترین سود را برای شهروندان داشته باشند، می‌توان از برنامه‌ای جامع برای روشنایی بهره برد.

تصمیم‌گیری برای تامین روشنایی و اندازه آن و دیگر مسائل بر عهده وزارت راه و شهرسازی می‌باشد. در تصمیم‌گیری برای زمان و مکان تامین سیستم روشنایی، وزارت راه و شهرسازی می‌تواند روشی را به کار گیرد که هم شرایط موجود در این فصل برآورده شوند و هم فاکتورهای دیگری چون در دسترس بودن منابع مالی، اطلاعات ترافیک و تصادفات، ایمنی راه و غیره در نظر گرفته شود. هدف این فصل فراهم آوردن ابزاری قابل فهم برای کمک به مشاورین و طراحان روشنایی راه‌ها می‌باشد.

شرایط محلی مانند مه، یخ‌زدگی سطح راه، برف، هندسه راه، روشنایی محیط مجاور، فاصله دید، تابلوهای راهنما و غیره می‌توانند تغییراتی را در مقادیر پیشنهادی به وجود آورند.

در ادامه شرایط مختلف برای تامین روشنایی پیوسته در آزادراه‌ها، روشنایی کامل در تبادل‌ها و روشنایی مقطعی تبادل‌ها، ارائه شده است.

۴-۲-۴- روشنایی پیوسته برای آزادراه‌ها (CFL[1])

یک سیستم روشنایی پیوسته، بر روی تمام خطوط عبوری، اتصالات مستقیم و تمامی تبادل‌های موجود در مسیر، روشنایی نسبی یکنواختی را تامین می‌نماید. در حالت عادی برای جاده‌های کناری روشنایی پیوسته تامین نمی‌گردد. واحدهای روشنایی می‌توانند، تجهیزات روشنایی معمول باشند، یا اینکه روشنایی با استفاده از دکل بلند و یا ترکیبی از دو روش تامین گردد. در جدول ۴-۱ شرایط تامین روشنایی پیوسته برای آزادراه‌ها آورده شده است[۵].

جدول ۴-۱: شرایط تامین روشنایی پیوسته برای آزادراه‌ها(**CFL**)

مورد	شرایط تامین روشنایی
CFL-1	در آزادراه درون یا نزدیک شهر که متوسط حجم ترافیک روزانه (ADT)، ۳۰۰۰۰ یا بیشتر باشد.
CFL-2	در مقطعی از راه که ۳ تبادل متوالی یا بیشتر در فاصله متوسط ۲٫۴ کیلومتری (۱٫۵ مایلی) یا کمتر از هم قرار گرفته‌اند و مناطق مجاور، بافت شهری داشته باشند.
CFL-3	برای طولی معادل با ۳٫۲۲ کیلومتر (۲ مایل) یا بیشتر از مسیر، آزادراه از میان یک منطقه شهری یا حومه شهر می‌گذرد و یکی از شرایط زیر (یا بیشتر از یکی) در آن حاکم است: a) ترافیک محلی در شبکه راهی که دارای روشنایی است و بخش‌هایی از آن، از آزادراه قابل رویت است، در حال عبور و مرور باشد؛ b) آزادراه از مناطق در حال توسعه‌ای مانند مناطق مسکونی، تجاری، صنعتی، شهری، دانشگاه‌ها، پارک‌ها و ترمینال‌ها که دارای روشنایی باشند، خیابان‌ها و پارکینگ‌ها عبور نماید؛ c) خیابان‌ها و مسیرهایی در فواصل متوسط ۸۰۰ متر (۰٫۵ مایل) یا کمتر با شیب یا بدون شیب، با آزادراه تقاطع دارند که تعدادی از آن‌ها به عنوان قسمتی از سیستم روشنایی محلی روشن شده باشد؛ d) اجزای مقطع عرضی آزادراه مانند میانه‌ها و عرض راه‌ها دارای عرضی کمتر از مقدار مطلوب موارد مشابه در مناطق حومه شهر باشند.
CFL-4	در بخش‌هایی که نرخ تصادفات شب به روز حداقل ۲ برابر متوسط تصادفات تمام مقاطع فاقد روشنایی در سطح راه‌های موجود باشد.

۴-۲-۵- روشنایی کامل تبادل‌ها[2] (CIL)

روشنایی کامل تبادل‌ها به صورت یک سیستم روشنایی تعریف می‌شود که یک روشنایی یکنواخت نسبی را در محدوده تبادل‌ها، شامل:

- خطوط اصلی

[1] Continuous Freeway Lighting

[2] Complete Interchange Lighting

- اتصالات مستقیم
- پایانه‌های رابط
- پایین‌گذرها
- تقاطع‌ها با جاده‌های کناری

فراهم می‌نماید.

روشنایی کامل تبادل‌ها تحت شرایط موجود در جدول ۴-۲، تامین می‌گردد[۵].

جدول ۴-۲: شرایط تامین روشنایی کامل تبادل‌ها(**CIL**)

مورد	شرایط تامین روشنایی
CIL-1	متوسط حجم ترافیک روزانه رابطی که وارد مسیر اصلی می‌شود یا از آن خارج می‌گردد، از۱۰۰۰۰ برای مناطق شهری، ۸۰۰۰ برای مناطق حومه شهر و۵۰۰۰ برای مناطق روستایی بیشتر باشد.
CIL-2	متوسط حجم ترافیک روزانه تبادل از۱۰۰۰۰ برای مناطق شهری، ۸۰۰۰ برای مناطق حومه شهر و۵۰۰۰ برای مناطق روستایی بیشتر باشد.
CIL-3	در صورت وجود مناطق تجاری یا صنعتی دارای روشنایی، در مجاورت تبادل‌ها، یا در صورتی که دو طرف تبادل تا حداقل ۸۰۰ متر (۰٫۵ مایل) در طرفین راه دارای روشنایی باشد.
CIL-4	نرخ تصادفات شبانه به روزانه حداقل ۱٫۵ برابر متوسط تصادفات تمام تبادل‌های فاقد روشنایی در سطح راه‌های موجود باشد.

۴-۲-۶- روشنایی جزئی تبادل‌ها[۱] (PIL)

روشنایی جزئی تبادل‌ها به صورت یک سیستم روشنایی که روشنایی را تنها برای مناطقی از مسیر که نیاز به تصمیم‌گیری دارد، شامل:

- خطوط افزایش و کاهش سرعت
- پایانه‌های رابط
- تقاطع‌های رابط
- سایر مناطقی که دارای خطرات شبانه می‌باشند

تامین می‌سازد. روشنایی جزئی تبادل‌ها تحت یکی از شرایط موجود در جدول ۴-۳ تامین می‌شود[۵].

[۱] Partial Interchange Lighting

جدول ۴-۳: شرایط تامین روشنایی جزئی تبادل‌ها(**PIL**)

مورد	شرایط تامین روشنایی
PIL-1	مجموع متوسط حجم ترافیک روزانه رابطی که وارد مسیر اصلی می‌شود یا از آن خارج می‌گردد، از۵۰۰۰ برای مناطق شهری، ۳۰۰۰ برای مناطق حومه شهر و۱۰۰۰ برای مناطق روستایی بیشتر باشد.
PIL-2	متوسط حجم ترافیک روزانه آزادراه از۲۵۰۰۰ برای مناطق شهری، ۲۰۰۰۰ برای مناطق حومه شهر و۱۰۰۰۰ برای مناطق روستایی بیشتر باشد.
PIL-3	نرخ تصادفات شبانه به روزانه حداقل ۱٫۲۵ برابر متوسط تصادفات تمام تبادل‌های فاقد روشنایی در سطح راه‌های موجود باشد.

۴-۲-۷- ملاحظات خاص

روشنایی پیوسته، کامل و جزئی تبادل‌ها زمانی توجیه می‌شود که مزایای کافی مانند رفاه، ایمنی، حفظ نظم و آرامش، ارتقای عمومی جامعه و روابط اجتماعی، را در پی داشته باشند و در این صورت وزارت راه و شهرسازی درصدی از هزینه‌های مربوط به نصب، نگهداری و بهره‌برداری یا کل آن را متقبل می‌شود.

در جایی که روشنایی پیوسته برای آزادراه وجود دارد، در تبادل‌ها باید روشنایی کامل تامین گردد. زمانی که باید روشنایی پیوسته برای آزادراه تامین گردد ولی در ابتدا نصب نشده است، در صورت وجود شرایط CFL-1 و CFL-2 برای روشنایی پیوسته آزادراه، روشنایی جزئی برای تبادل‌ها ضروری می‌باشد. این شرایط، شامل موارد PIL-1 و PIL-2 برای روشنایی جزئی تبادل‌ها نمی‌گردد.

زمانی که باید روشنایی کامل برای تبادل تامین گردد، ولی در ابتدا به صورت کامل نصب نشده است، یک سیستم روشنایی جزئی که تعداد واحدهای روشنایی آن از حالت عادی بیشتر است، ضروری می‌باشد.

روشنایی پایانه‌های رابط، زمانی‌که طراحی به جزیره ترافیکی مرتفع یا جریان‌بندی جزیره ترافیکی نیاز دارد یا در جایی که فاصله دید کم است، صرف‌نظر از حجم ترافیک ضروری است.

۴-۲-۸- پل‌ها

تامین روشنایی در پل‌های طولانی شهری و حومه شهر، حتی اگر راه‌های دو طرف پل فاقد روشنایی باشند، مطلوب است. در پل‌های بدون شانه راه کامل، روشنایی، ایمنی و کارکرد پل را بهبود می‌بخشد. زمانی که پل‌ها دارای پیاده‌رو هستند، روشنایی برای ایمنی عابرین پیاده ضروری می‌باشد.

نصب پایه‌های روشنایی بر روی ساختارهای پل اثرات منفی احتمالی به همراه دارد. پایه‌های روشنایی که معمولا توسط سازندگان ارائه می‌شوند برای نصب روی فونداسیون‌های ثابت و زمینی در نظر گرفته می‌شوند. نصب بر روی سازه‌های غیرثابت و در معرض انحراف و لرزش، مانند دهانه پل ممکن است منجر به حرکت یا لرزش پایه روشنایی شود که احتمالا منجر به شکست ساختاری پایه یا آسیب به تجهیزات روشنایی می‌شود.

کاهش اثرات منفی حرکت سازه روی پایه‌های روشنایی را می‌توان از طریق انتخاب دقیق محل پایه (محل قرار دادن پایه‌های روشنایی در مجاورت پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های پل و اجتناب از نصب وسط دهانه)، محدودیت در ارتفاع پایه، نصب تجهیزات میراکننده ارتعاش و تنظیمات ساخت مرتبط با مواد پایه‌های روشنایی و ویژگی‌های ابعادی مناسب، انجام داد.

۴-۳- مقادیر طراحی برای آزادراه‌ها

شرایط موجود در بخش قبلی باید برای تصمیم‌گیری درباره نیاز به منبع روشنایی ثابت و مکان نصب آن، مورد استفاده قرار گیرد. در جایی که به سیستم روشنایی پیوسته نیاز باشد، روشنایی باید به گونه‌ای فراهم گردد که الزامات مقادیر موجود در جدول ۴-۴ را برای شدت روشنایی و درخشندگی برآورده سازد. هر دو روش باید الزامات مربوط به نسبت درخشندگی خیرگی را فراهم سازند[۵].

۴-۳-۱- ملاحظات طراحی

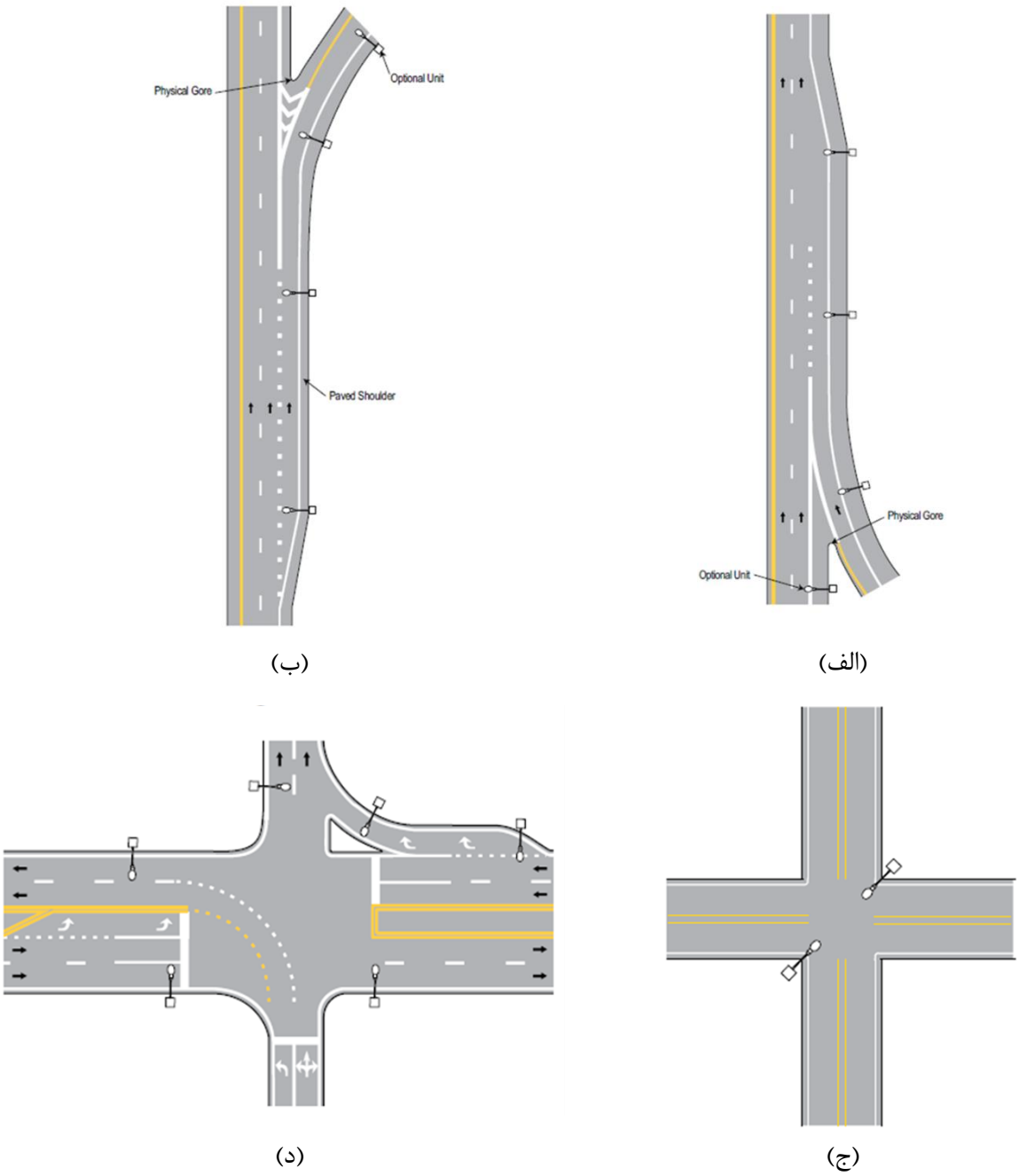
نحوه انتخاب منبع نور، توزیع چراغ، ارتفاع نصب و پیش‌آمدگی چراغ یک تصمیم مهندسی است که بر پایه عواملی چون خصوصیات و هندسه راه، شرایط محیطی، شرایط تعمیر و نگهداری، عوامل اقتصادی، جنبه‌های زیبایی شناسی و اهداف کلی روشنایی صورت می‌گیرد.

۴-۳-۲- سطوح روشنایی در تقاطع‌ها

سطوح روشنایی در تقاطع‌ها در ناحیه تبادل‌ها نباید کاهش داده شوند. اگر شدت روشنایی موجود در تقاطعی ناکافی ارزیابی شد، باید ارتقا یابد.

۴-۳-۳- روشنایی جزئی تبادل‌ها

هنگامی که روشنایی جزئی تبادل‌ها تامین می‌گردد، چراغ‌ها باید در مکان‌هایی قرار داده شوند تا بهترین نوردهی را در طول باندهای عبوری و باندهای تغییر سرعت در نقاط راه‌های اتصالی و ارتباطی، داشته باشند. شکل ۴-۲ مثال‌هایی از روشنایی جزئی تبادل‌ها را نشان می‌دهد.



(ب) (الف)

(د) (ج)

شکل ۴-۲: محل نصب چراغ‌ها؛ الف) ورودی رابط ب) خروجی رابط ج) چهارراه ساده و پایانه‌های رابط د) چهارراه پیچیده و پایانه‌های رابط

میانگین سطح روشنایی حفظ شده برای روشنایی جزئی تبادل‌ها مشخص نشده است. با این حال، توصیه می‌شود که فاصله بین چراغ‌ها بیشتر از فاصله‌ای باشد که برای روشنایی کامل تبادل‌ها استفاده می‌شود. این عمل همچنین نصب سیستم روشنایی کامل را در صورت نیاز در آینده تسهیل می‌کند.

۴-۳-۴- روشنایی تطبیقی (انتقالی)[۱]

تغییرات سریع و شدید در سطوح شدت روشنایی و درخشندگی که به خصوص هنگام خروج از راهی که سیستم روشنایی آن در سطوحی بالاتر از راه‌های عادی قرار دارند، رخ می‌دهد را می‌توان به کمک روشنایی انتقالی و یا روش‌های تطبیقی جبران نمود. طراح باید این پدیده را تشخیص دهد. می‌توان از روش‌های مختلفی جهت جلوگیری از تغییرات شدید در سطوح روشنایی، استفاده نمود.

۴-۳-۵- پل‌ها و بالاگذرها

در آزادراه‌های دارای روشنایی پیوسته و تبادل‌های دارای روشنایی، سطح روشنایی پل‌ها و بالاگذرها باید برابر با، سطح روشنایی راه در نظر گرفته شود. گاهی اوقات در نقاطی که احتمال خطر در اثر مجاورت با حفاظ‌هایی که در پل‌ها به کار می‌روند، وجود داشته باشد، عرض راه را تا حفاظ‌ها، لبه پیاده‌رو یا پایه‌های حاشیه پل در نظر می‌گیرند.

پایه‌های روشنایی روی پل‌ها باید توسط نرده‌ها یا حفاظ‌های حاشیه پل مورد محافظت قرار گیرند، زیرا پایه‌های واقع شده در محل انحنای داخلی پل‌های با ارتفاع زیاد ممکن است در اثر برخورد با کامیون‌های عبوری در مسیر، آسیب ببینند.

هنگام نصب پایه‌های روشنایی روی پل، دسترسی برای نگهداری باید در نظر گرفته شود. این باید شامل دسترسی به پی و پایه چراغ باشد.

۴-۳-۶- سایر ملاحظات

سیستم روشنایی نصب شده باید ظاهر مطلوب و زیبایی را در طول روز داشته باشد. طراحی باید منعکس‌کننده جنبه‌های زیبایی‌شناسی باشد.

تمهیدات لازم جهت تامین سیستم روشنایی کنونی یا آینده را می‌توان در خلال فعالیت‌های ساخت و ساز راه، پیش‌بینی و اجرا نمود. این تمهیدات می‌تواند شامل کانال‌های (لوله‌های) زیر راه، جعبه‌های اتصال محصور شده بتنی و لوله‌های اتصال بتنی و تکیه‌گاه پایه‌های روشنایی در سازه‌ها باشد.

۴-۳-۷- طبقه‌بندی مناطق

تجاری: به آن قسمت از مناطق شهری در بخش توسعه یافته تجاری گفته می‌شود که در حالت عادی شامل تعداد زیادی از عابرین پیاده بوده و تقاضای زیادی جهت پارک خودرو در ساعات اوج ترافیک وجود داشته باشد یا با حجم ترافیک بالا و پیوسته عابرین پیاده همراه باشد و یک تقاضای پیوسته و زیاد برای فضای پارک در کنار خیابان‌ها در طول ساعات کاری وجود داشته باشد. این تعریف برای مناطق تجاری متراکم خارج و یا داخل بخش مرکزی شهر صدق می‌کند.

---

[۱] Adoptation (Transition) Lighting

میانی: آن بخش از مناطق شهری که خارج از ناحیه مراکز خرید شهری بوده اما عموما در ناحیه‌ای است که تحت تاثیر مناطق توسعه یافته تجاری و یا صنعتی می‌باشد و غالبا با تردد نسبتا انبوه عابرین پیاده در شب و یا حجم کمتر پارکینگ نسبت به یک منطقه تجاری مشخص می‌شود. این تعریف شامل نواحی آپارتمانی توسعه یافته، بیمارستان‌ها، کتابخانه‌های عمومی و مناطق مجاور مراکز تفریحی و ورزشی می‌باشد.

مسکونی: به یک ناحیه مسکونی یا ترکیبی از مناطق مسکونی و تجاری که دارای تعداد کمی از عابرین پیاده و تقاضای پایین برای پارکینگ در شب است، گفته می‌شود. این تعریف شامل نواحی با خانه‌های مجزا، خانه‌های شهری به هم پیوسته و/ یا آپارتمان‌های کوچک، پارک‌های جنگلی، قبرستان‌ها و نواحی غیرمسکونی نیز می‌گردد.

۴-۴- مقادیر طراحی برای خیابان‌ها و بزرگراه‌ها غیر از آزادراه‌ها (شـــامل محل عبور عابرین پیاده و دوچرخه)

حجم ترافیک (هم وسایل نقلیه و هم عابرین پیاده)، تقاطع‌های هم‌سطح، چراغ‌های راهنمایی، نور محیط و عوامل هندسی متغیر، عناصری هستند که وجود سیستم روشنایی خیابان‌های شهری و بزرگراه‌ها را توجیه می‌کنند. نیاز به روشنایی برای خیابان‌ها و بزرگراه‌ها در مناطق با هوای بسیار سرد یا طوفانی در اغلب اوقات، باید مد نظر قرار گیرد. روشنایی علاوه بر مزایای ایمنی در رانندگی، می‌تواند بازدارنده جرم و خرابکاری و کمک ارزشمندی برای مجریان قانون و زمینه‌ساز راحتی و غرور اجتماعی باشد.

۴-۴-۱- شرایط تامین روشنایی

هدف این فصل ایجاد تعهدات خاص جهت تامین سیستم روشنایی راه‌ها به منظور برآوردن تمامی شرایط، نمی‌باشد. آژانس‌های دیگری مانند FHWA[۱] و TAC[۲] دستورالعمل‌ها و روش‌هایی را برای ایجاد تعهدات در انواع راه‌ها منتشر کرده‌اند[۵].

به طور کلی، سیستم روشنایی در مکان‌هایی که ادارات دولتی مربوطه موافق افزایش ایمنی، کارایی و سهولت تردد وسایل نقلیه و عابرین پیاده در اثر روشنایی هستند، در نظر گرفته می‌شود.

سیستم روشنایی می‌تواند برای کلیه شریان‌های اصلی در مناطق شهری و برای مکان‌ها یا مقاطعی از خیابان‌ها و بزرگراه‌ها که در آن نسبت نرخ تصادف شب به روز در مقایسه با مکان‌های مشابه، بالاتر می‌باشد، تامین گردد.

---

[۱] Federal Highway Administration

[۲] Transportation Association of Canada

روشنایی در قسمتی از نواحی برون‌شهری، زمانی که راننده باید از بخشی از جاده با شرایط هندسی پیچیده یا جریان‌بندی شده مرتفع عبور کند، باید مورد ملاحظه قرار گیرد. عملیات طراحی روشنایی در این حالت مشابه طراحی روشنایی برای پایانه‌های رابط آزادراه‌ها می‌باشد.

۴-۴-۲- سطوح طراحی روشنایی

مقادیر طراحی روشنایی پیشنهادی در جدول ۴-۴ آورده شده است. برای برآوردن مقادیر، می‌توان از هر کدام از دو روش شدت روشنایی یا درخشندگی استفاده نمود. مقدار متوسط درخشندگی و شدت روشنایی در جداول، مقادیر حداقل می‌باشند و زمانی اندازه‌گیری می‌شوند که خروجی لامپ و چراغ با ضریب تعمیر و نگهداری کاهش یافته و پایان عمر مفید آن در نظر گرفته شود.

۴-۴-۳- سایر ملاحظات

به هنگام استفاده از مقادیر مندرج در جدول ۴-۴، توجه به این نکته لازم است که مقادیر موجود مربوط به روشنایی پیوسته در راه‌های بدون تقاطع می‌باشند. ممکن است در شرایطی خاص، سطوح متفاوتی از شدت روشنایی و درخشندگی مورد نیاز یا مطلوب باشند. به عنوان مثال، در تقاطع‌ها با حجم بالای ترافیک عابر پیاده، ممکن است جزایر ترافیکی، سطوح بالاتری از روشنایی و درخشندگی را نیاز داشته باشند. طراح سیستم روشنایی باید از کلیه اطلاعات مربوطه و در دسترس، جهت اتخاذ تصمیم به منظور رسیدن به سطوح مطلوب روشنایی برای هر خیابان خاص یا بزرگراه استفاده نماید. در تقاطع دو خیابان دارای روشنایی پیوسته، مقدار روشنایی برابر مجموع مقادیر روشنایی دو راه می‌باشد.

در زمان انتشار مرجع [۵]، توصیه شده که این سطوح نور بدون توجه به منبع نور و رنگ نور مورد استفاده رعایت شوند.

در برخی مکان‌ها، سطوح بسیار بالایی از روشنایی یا درخشندگی برای خیابان‌های مناطق تجاری مرکز شهر ارائه می‌شود. در این شرایط، هدف از روشنایی راه ممکن است علاوه بر ایمنی راه، به دلیل امنیت شخصی، زیبایی یا هر دو باشد. سطح روشنایی یا درخشندگی بسیار بالاتر از سطوح مشخص شده در جدول ۴-۴ ممکن است بر مبنایی غیر از افزایش جریان ایمن و کارآمد ترافیک در این مناطق توجیه شود.

جدول ۴-۴: الف) مقادیر طراحی درخشندگی و روشنایی (مقادیر معمول) ب) مقادیر طراحی درخشندگی و روشنایی (متریک)

طبقه‌بندی راه‌ها و گذرگاه‌ها	طبقه‌بندی مناطق	روش شدت روشنایی						روش درخشندگی			مقادیر اضافی
		متوسط شدت روشنایی حفظ شده (E_{avg})				حداقل شدت روشنایی E_{min}	نسبت یکنواختی شدت روشنایی E_{avg}/E_{min}	متوسط درخشندگی حفظ شده			نسبت درخشندگی خیرگی
		R1	R2	R3	R4			L_{avg}	یکنواختی		
	کاربری عمومی باند	فوت کندل (min)	فوت کندل (min)	فوت کندل (min)	فوت کندل (min)	فوت کندل	Avg/min (max)	cd/m^2 (min)	L_{avg}/L_{min} (min)	L_{max}/L_{min} (max)	L_{vmax}/L_{avg} (max)
شریان‌های اصلی:											
آزادراه‌های بین شهری و دیگر	همه	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۲	۴:۱	۰/۴	۳/۵ :۱	۶:۱	۰/۳ :۱
سایر شریان‌های اصلی (جزئی یا بدون کنترل دسترسی)	تجاری	۱/۱	۱/۶	۱/۶	۱/۴	همان طور که نسبت یکنواختی اجازه می‌دهد	۴:۱	۱/۲	۳:۱	۵:۱	۰/۳ :۱
	میانی	۰/۸	۱/۲	۱/۲	۱/۰		۴:۱	۰/۹	۳:۱	۵:۱	۰/۳ :۱
	مسکونی	۰/۶	۰/۸	۰/۸	۰/۸		۴:۱	۰/۶	۳/۵ :۱	۶:۱	۰/۳ :۱
شریان‌های فرعی(درجه۲)	تجاری	۰/۹	۱/۴	۱/۴	۱/۰		۴:۱	۱/۲	۳:۱	۵:۱	۰/۳ :۱
	میانی	۰/۸	۱/۰	۱/۰	۰/۹		۴:۱	۰/۹	۳:۱	۵:۱	۰/۳ :۱
	مسکونی	۰/۵	۰/۷	۰/۷	۰/۷		۴:۱	۰/۶	۳/۵ :۱	۶:۱	۰/۳ :۱
جمع‌کننده‌ها	تجاری	۰/۸	۱/۱	۱/۱	۰/۹		۴:۱	۰/۸	۳:۱	۵:۱	۰/۴ :۱
	میانی	۰/۶	۰/۸	۰/۸	۰/۸		۴:۱	۰/۶	۳/۵ :۱	۶:۱	۰/۴ :۱
	مسکونی	۰/۴	۰/۶	۰/۶	۰/۵		۴:۱	۰/۴	۴:۱	۸:۱	۰/۴ :۱
محلی	تجاری	۰/۶	۰/۸	۰/۸	۰/۸		۶:۱	۰/۶	۶:۱	۱۰:۱	۰/۴ :۱
	میانی	۰/۵	۰/۷	۰/۷	۰/۶		۶:۱	۰/۵	۶:۱	۱۰:۱	۰/۴ :۱
	مسکونی	۰/۳	۰/۴	۰/۴	۰/۴		۶:۱	۰/۳	۶:۱	۱۰:۱	۰/۴ :۱
کوچه‌ها (alleys)	تجاری	۰/۴	۰/۶	۰/۶	۰/۵		۶:۱	۰/۴	۶:۱	۱۰:۱	۰/۴ :۱
	میانی	۰/۳	۰/۴	۰/۴	۰/۴		۶:۱	۰/۳	۶:۱	۱۰:۱	۰/۴ :۱
	مسکونی	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۳		۶:۱	۰/۲	۶:۱	۱۰:۱	۰/۴ :۱
پیاده‌روها	تجاری	۰/۹	۱/۳	۱/۳	۱/۲		۳:۱	از الزامات شدت روشنایی استفاده شود.			
	میانی	۰/۶	۰/۸	۰/۸	۰/۸		۴:۱				
	مسکونی	۰/۳	۰/۴	۰/۴	۰/۴		۶:۱				
راه عابر پیاده و دوچرخه	همه	۱/۴	۲/۰	۲/۰	۱/۸		۳:۱				

(الف)

طبقه‌بندی راه‌ها و گذرگاه‌ها	طبقه‌بندی مناطق	روش شدت روشنایی						روش درخشندگی			مقادیر اضافی
		متوسط شدت روشنایی حفظ شده (E_{avg})				حداقل شدت روشنایی E_{min}	نسبت یکنواختی شدت روشنایی E_{avg}/E_{min}	متوسط درخشندگی حفظ شده			نسبت درخشندگی خیرگی
		R1	R2	R3	R4			L_{avg}	یکنواختی		
	کاربری عمومی باند	لوکس (min)	لوکس (min)	لوکس (min)	لوکس (min)	لوکس	Avg/min (max)	cd/m^2 (min)	L_{avg}/L_{min} (min)	L_{max}/L_{min} (max)	L_{vmax}/L_{avg} (max)
شریان‌های اصلی:											
آزادراه‌های بین شهری و دیگر	همه	۶	۶	۶	۶	۲	۴:۱	۰/۴	۳/۵ :۱	۶:۱	۰/۳ :۱
سایر شریان‌های اصلی (جزئی یا بدون کنترل دسترسی)	تجاری	۱۲	۱۷	۱۷	۱۵	همان طور که نسبت یکنواختی اجازه می‌دهد	۴:۱	۱/۲	۳:۱	۵:۱	۰/۳ :۱
	میانی	۹	۱۳	۱۳	۱۱		۴:۱	۰/۹	۳:۱	۵:۱	۰/۳ :۱
	مسکونی	۶	۹	۹	۸		۴:۱	۰/۶	۳/۵ :۱	۶:۱	۰/۳ :۱
شریان‌های فرعی(درجه۲)	تجاری	۱۰	۱۵	۱۵	۱۱		۴:۱	۱/۲	۳:۱	۵:۱	۰/۳ :۱
	میانی	۸	۱۱	۱۱	۱۰		۴:۱	۰/۹	۳:۱	۵:۱	۰/۳ :۱
	مسکونی	۵	۷	۷	۷		۴:۱	۰/۶	۳/۵ :۱	۶:۱	۰/۳ :۱
جمع‌کننده‌ها	تجاری	۸	۱۲	۱۲	۱۰		۴:۱	۰/۸	۳:۱	۵:۱	۰/۴ :۱
	میانی	۶	۹	۹	۸		۴:۱	۰/۶	۳/۵ :۱	۶:۱	۰/۴ :۱
	مسکونی	۴	۶	۶	۵		۴:۱	۰/۴	۴:۱	۸:۱	۰/۴ :۱
محلی	تجاری	۶	۹	۹	۸		۶:۱	۰/۶	۶:۱	۱۰:۱	۰/۴ :۱
	میانی	۵	۷	۷	۶		۶:۱	۰/۵	۶:۱	۱۰:۱	۰/۴ :۱
	مسکونی	۳	۴	۴	۴		۶:۱	۰/۳	۶:۱	۱۰:۱	۰/۴ :۱
کوچه‌ها (alleys)	تجاری	۴	۶	۶	۵		۶:۱	۰/۴	۶:۱	۱۰:۱	۰/۴ :۱
	میانی	۳	۴	۴	۴		۶:۱	۰/۳	۶:۱	۱۰:۱	۰/۴ :۱
	مسکونی	۲	۳	۳	۳		۶:۱	۰/۲	۶:۱	۱۰:۱	۰/۴ :۱
پیاده‌روها	تجاری	۱۰	۱۴	۱۴	۱۳		۳:۱	از الزامات شدت روشنایی استفاده شود.			
	میانی	۶	۹	۹	۸		۴:۱				
	مسکونی	۳	۴	۴	۴		۶:۱				
راه عابر پیاده و دوچرخه	همه	۱۵	۲۲	۲۲	۱۹		۳:۱				

(ب)

نکات جدول ۴-۴:

الف) برای طبقه‌بندی راه و پیاده‌رو لازم است به سیاست طراحی هندسی بزرگراه‌ها و خیابان‌های AASHTO مراجعه شود.

ب) نسبت یکنواختی بالاتر برای رابط‌های مرتفع نزدیک به پایه‌های دکل بلند قابل قبول می‌باشد.

ج) $L_{v(max)}$ به حداکثر در امتداد روسازی اشاره دارد، نه حداکثر در طول عمر لامپ. ضریب نگهداری برای هر دو بخش L_v و L_{avg} اعمال می‌شود.

د) برای سطح R1 آزادراه‌ها مقدار L_{avg}، برابر با ۰٫۶ می‌باشد.

ه) راه عابر پیاده و دوچرخه امکانات جداگانه‌ای را در نظر می‌گیرد. برای مسیرهای عابر پیاده و مسیرهای دوچرخه در کنار راه، از مقادیر طراحی راه استفاده شود. برای مسیرهای عابر پیاده و دوچرخه‌ای که سطحی غیر از روسازی‌های بیان شده دارند، از الزامات R3 استفاده شود. ممکن است سایر دستورالعمل‌های طراحی مانند IES یا CIE برای راه‌های عابر پیاده و مسیرهای دوچرخه در صورت لزوم استفاده شوند.

و) برای طراحی روشنایی باید الزامات روش طراحی شدت روشنایی یا الزامات روش طراحی درخشندگی برآورده شوند و برای هر دو روش الزامات درخشندگی خیرگی فراهم گردد.

ز) چنانچه منابع روشنایی در حاشیه آزادراه وجود داشته باشد، وزارت راه و شهرسازی می‌تواند پیشنهاد دیگری جهت سطح بالاتر روشنایی یا درخشندگی ارائه نماید.

ح) شرایط فیزیکی راه ممکن است شرایط روشنایی دیگری را ایجاب نماید.

۴-۵- روشنایی میادین

تجربه نشان داده که روشنایی میادین، نیاز به توجه ویژه‌ای دارند. راننده ناآشنا به میدان به اطلاعات ناوبری بسیار بیشتری نسبت به تقاطع‌های هم‌سطح معمولی نیاز دارد. بسته به عوامل هندسی و دید در جزیره مرکزی، رانندگان ممکن است با فاصله دید محدود، ترافیک تداخلی و نیاز به تصمیم‌گیری سریع مواجه شوند. روشنایی خوب موجب بهبود اعتماد به نفس و عملکرد راننده در جهت‌یابی در میدان می‌شود.

۴-۵-۱- شرایط روشنایی

شرایط روشنایی در این بخش به معنای ایجاد مبنایی است که بر اساس آن روشنایی توجیه شود. همچنین شرایط روشنایی حداقل شرایطی را مشخص می‌کند که باید تامین شوند. این شرایط، وزارت راه و شهرسازی را موظف به تامین روشنایی نمی‌کند. مسئولان محلی ممکن است مقادیر روشنایی بالاتر یا پایین‌تر را برای استفاده محلی اتخاذ نمایند.

تصمیم برای تامین روشنایی و میزان آن پس از فراهم نمودن شرایط روشنایی، با وزارت راه و شهرسازی است. در تعیین زمان و مکان تامین روشنایی، سازمان ممکن است سیاستی را اتخاذ کند که شامل شرایط لازم باشد و همچنین بر اساس عواملی مانند در دسترس بودن بودجه، داده‌های ترافیک و تصادف، درجه ایمنی راه‌ها و غیره باشد. در واقع این شرایط ابزاری قابل درک برای کمک به مدیران و طراحان در بررسی روشنایی راه‌ها می‌باشند.

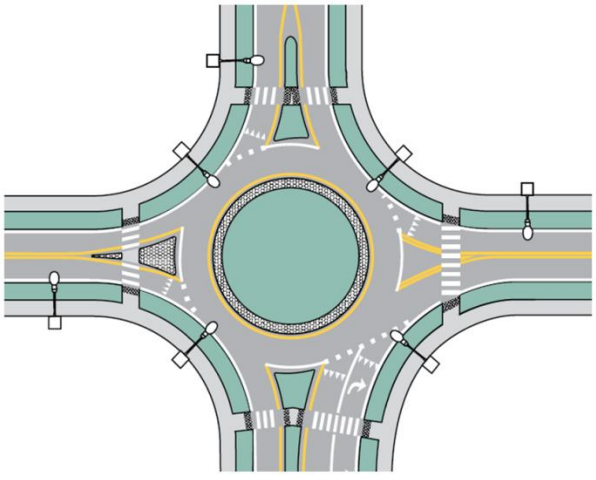
شرایط محلی مانند مه مکرر، یخ، برف، هندسه جاده، روشنایی محیط، فاصله دید، تابلوهای راهنما و غیره می‌توانند توجیه کننده شرایط خاص روشنایی باشد.

۴-۵-۲- سطح نور توصیه شده

روشنایی میدان‌ها باید حدود ۱٫۳ تا ۲ برابر مقدار روشنایی استفاده شده در مسیر منتهی به میدان با سطح نور بیشتر باشد. یکنواختی در میدان نسبت به مسیر منتهی به آن باید ۳:۱ یا بهتر باشد. برای طراحی روشنایی در میدان باید از روش شدت روشنایی استفاده شود. این سطح نور نیز باید از ۱٫۸۳ تا ۳ متر (۶ تا ۱۰ فوت) خارج از لبه بیرونی تا پیاده‌رو یا سایر امکانات کنار راه ادامه یابد[۵].

روشنایی باید حداقل ۱۲۲ متر (۴۰۰ فوت) از مرکز میدان در امتداد هر راه متصل به میدان ادامه یابد. سطوح نور روی این راه‌ها باید با مقادیر نشان داده شده در جدول ۴-۴ مطابقت داشته باشد.

یکی از موضوعات مهم در میدان‌ها، فراهم نمودن قابلیت تشخیص خوب برای عابرین پیاده می‌باشد. خطوط عابر پیاده در میدان‌ها معمولا باید در کنتراست مثبت با عابران پیاده روشن شوند. برای این منظور قرارگیری پایه‌های روشنایی در فاصله ۳٫۰۵- ۹٫۱۴ متر (۱۰ تا ۳۰ فوتی) قبل از خط عابر پیاده توصیه می‌شود. میادین باید از لبه بیرونی راه روشن شوند تا کنتراست مثبت برای عابران پیاده فراهم شود. سایر مکان‌های توصیه شده برای پایه‌های روشنایی در شکل ۴-۳ نشان داده شده است.



شکل ۴-۳: مکان‌های نمونه برای پایه‌های روشنایی در میادین

بسیاری از شرایط مانند اشیاء روشن در وسط میدان (اغلب فواره‌ها)، شناسایی مسیر عبور عابر پیاده جایگزین، روشنایی منظره، پانل‌های بازتابنده و غیره ممکن است این توصیه‌ها را تغییر دهند. مهندسان روشنایی باید میدان دید رانندگان را به دقت مطالعه کنند و سیستم روشنایی را طوری طراحی نمایند که همه عناصر طراحی میدان با هم هماهنگ باشند.

۴-۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل از ضابطه، شرایط و الزامات تامین روشنایی راه مورد بررسی قرار گرفت. مباحثی که در این فصل به آنها پرداخته شد شامل کلیات طراحی روشنایی، شرایط تامین روشنایی، مقادیر طراحی برای آزادراه‌ها، مقادیر طراحی برای خیابان‌های و بزرگراه‌ها غیر از آزادراه‌ها و روشنایی میادین بود.

فصل ۵

روشنایی تونل‌ها

مقدمه

در این فصل توصیه‌هایی در خصوص طراحی روشنایی تونل‌ها ارائه شده است. همچنین در این فصل توصیه‌هایی درباره جنبه‌هایی از روشنایی مانند آرایش نصب، میزان نور و پارامترهای دیگری همچون نور روز تونل ارائه گردیده که با ایمنی ترافیک مرتبط است.

۵-۱- تعاریف و اصطلاحات

۵-۱-۱- سرعت طراحی[۱]

سرعتی که برای یک هدف مشخص در طراحی راه اتخاذ شده است.

۵-۱-۲- باند اضطراری

باندی موازی با باندهای ترافیکی که برای ترافیک عادی نمی‌باشد، بلکه برای وسایل نقلیه اضطراری (پلیس) و یا وسایل نقلیه خراب در نظر گرفته شده است.

نکته: معمولا به یک باند اضطراری "شانه سخت" نیز گفته می‌شود.

۵-۱-۳- ناحیه انفصال[۲]

اولین بخش باز جاده، مستقیما بعد از خروجی یک تونل می‌باشد.

نکته: این ناحیه بخشی از تونل نیست، اما ارتباط نزدیکی با روشنایی تونل دارد. ناحیه انفصال از خروجی تونل شروع می‌شود.

۵-۱-۴- محدودیت سرعت[۳]

حداکثر سرعت مجاز قانونی در هر راه می‌باشد.

۵-۱-۵- فاصله توقف[۴](SSD)

فاصله مورد نیاز برای توقف کامل یک وسیله نقلیه در حین رانندگی با سرعت طراحی می‌باشد.

---

[۱] Design Speed

[۲] Parting Zone

[۳] Speed Limit

[۴] Stopping Sight Distance

۵-۱-۶- حجم ترافیک[۱]

تعداد وسایل نقلیه‌ای که از یک نقطه خاص در یک زمان مشخص و در یک جهت مشخص عبور می‌کنند.

۵-۱-۷- ناحیه دسترسی

طول راه دسترسی به تونل تا ورودی تونل، ناحیه دسترسی نام دارد، یعنی از فاصله‌ای که راننده در حال نزدیک شدن به تونل بتواند ورودی تونل را ببیند.

۵-۱-۸- طول ناحیه دسترسی

۲۰۰ متر قبل از ورودی تونل، طول ناحیه دسترسی می‌باشد.

۵-۱-۹- درخشندگی ناحیه دسترسی (L_{20})

عبارتست از درخشندگی متوسط راه از دید راننده‌ای که در ناحیه دسترسی و در مرکز آن قرار داشته و دهانه تونل را تحت زاویه ۲۰ درجه مخروطی دید انسان، مشاهده می‌نماید. به عبارت دیگر درخشندگی ناحیه دسترسی عبارتست از درخشندگی که از نقطه توقف تعیین می‌گردد، وقتی‌که ورودی تونل از ارتفاع ۱٫۵ متری وسط باند حرکتی رویت می‌شود.

۵-۱-۱۰- ناحیه آستانه (Th[۲])

اولین ناحیه داخل تونل است که از ورودی آن آغاز می‌شود.

۵-۱-۱۱- روشنایی ناحیه آستانه

روشنایی ناحیه آستانه تونل عبارتست از مقدار روشنایی لازم برای اینکه رانندگانی که در ناحیه دسترسی قرار داشته و یا از آن ناحیه وارد تونل می‌شوند، بتوانند به خوبی ببینند.

۵-۱-۱۲- درخشندگی ناحیه آستانه

درخشندگی متوسط هر قسمت از سطح راه در ناحیه آستانه می‌باشد.

---

[۱] Traffic Flow

[۲] Threshold Zone

۵-۱-۱۳- ناحیه انتقال (Tr[1])

بخشی از تونل که دقیقا بعد از ناحیه آستانه قرار دارد. ناحیه انتقال، حد فاصل انتهای ناحیه آستانه و ابتدای ناحیه داخلی است. در ناحیه انتقال میزان روشنایی بتدریج از روشنایی انتهای ناحیه آستانه تا روشنایی ناحیه داخلی کاسته می‌شود. روشنایی ناحیه انتقال به نحوی طراحی می‌شود که دید کافی را برای رانندگان به هنگام خروج از ناحیه آستانه و ورود به ناحیه داخلی فراهم نماید.

۵-۱-۱۴- درخشندگی ناحیه انتقال (L_{tr})

درخشندگی متوسط هر قسمت از سطح راه در ناحیه انتقال می‌باشد.

۵-۱-۱۵- ناحیه ورود[2]

ترکیب ناحیه آستانه و ناحیه انتقال را می‌گویند.

۵-۱-۱۶- خروجی تونل

بخش پایانی تونل بوده که می‌تواند شامل قسمت سرپوشیده خروجی تونل یا قسمت پوشیده شده با سرندهای نور روز در قسمت پایانی تونل باشد.

۵-۱-۱۷- ناحیه خروج[3]

قسمتی در انتهای تونل که دید راننده در آن قسمت، به دلیل روشنایی فضای بیرون تونل تحت تاثیر قرار می‌گیرد. ناحیه خروج، از نقطه پایانی ناحیه داخلی تا خروجی تونل می‌باشد.

۵-۱-۱۸- ناحیه داخلی (In[4])

بخشی از تونل که بلافاصله بعد از ناحیه انتقال قرار دارد. ناحیه داخلی حد فاصل بین ناحیه انتقال و ناحیه خروج تونل می‌باشد.

---

[1] Transition Zone

[2] Entrance Zone

[3] Exit Zone

[4] Interior Zone

۵-۱-۱۹- درخشندگی ناحیه داخلی (L_{in})

درخشندگی متوسط سطح راه در ناحیه داخلی است که موجب تشکیل زمینه روشن برای دیده شدن اجسام توسط رانندگان می‌شود.

۵-۱-۲۰- سرندهای نور روز[۱]

وسیله‌ای که بخشی از نور روز اطراف تونل را به داخل تونل انتقال می‌دهد. از سرندهای نور روز ممکن است جهت تامین روشنایی ناحیه آستانه تونل استفاده شود.

۵-۱-۲۱- دهانه یا ورودی تونل

بخشی است که از قسمت پوشیده و غیر باز راه آغاز می‌شود. این تعریف برای پوششی که اجازه ورود نور روز به داخل تونل را می‌دهد نیز صادق است.

۵-۱-۲۲- سیستم روشنایی متقارن[۲]

سیستم روشنایی که از چراغ‌هایی با پخش نور متقارن نصب شده در صفحه‌ای موازی با محور تونل تشکیل می‌شود.

۵-۱-۲۳- سیستم روشنایی مخالف جهت ترافیک[۳]

سیستم روشنایی متشکل از چراغ‌های با پخش نور نامتقارن نصب شده در صفحه‌ای موازی با محور تونل، به طوری که شعاع اصلی نور خروجی از آن‌ها مخالف جهت حرکت ترافیک تونل باشد.

۵-۱-۲۴- درصد دید

ناحیه قابل رویت خروجی تونل به صورت درصدی از ناحیه قابل رویت ورودی تونل، وقتی که در پرسپکتیو از فاصله دید توقف مشاهده می‌شود.

۵-۱-۲۵- ترافیک ترکیبی

ترافیکی که متشکل از وسایل نقلیه موتوری، دوچرخه‌سواران، اشخاص پیاده و غیره می‌باشد.

---

[۱] Daylight Screen

[۲] Symetrical Lighting

[۳] Counterbeam Lighting

۵-۱-۲۶- ضریب یکنواختی کلی

ضریب یکنواختی کلی عبارت است از نسبت حداقل درخشندگی به متوسط درخشندگی در یک سطح مشخص از راه.

۵-۱-۲۷- باند ترافیکی

بخشی از راه شامل یک باند حرکتی که برای حرکت وسایل نقلیه تخصیص داده شده است.

۵-۱-۲۸- ضریب وضوح کنتراست

ضریب وضوح کنتراست برای هر نقطه از سطح راه در داخل تونل عبارتست از نسبت درخشندگی آن نقطه از سطح راه به شدت روشنایی موجود در آن نقطه در سطح قائم و به ارتفاع ۰٫۲ متر از سطح راه.

۵-۱-۲۹- تابلوی راهنما

علائم هندسی و یا نوری به کار رفته در راه‌های داخل تونل‌ها به منظور آگاهی دادن به رانندگان

۵-۲- شرایط تونل

هدف از نصب سیستم روشنایی در تونل این است که رانندگان وسایل نقلیه بتوانند سرعت، درجه ایمنی و آسایشی را که قبل از ورود به تونل داشته‌اند، در داخل تونل نیز حفظ کنند. این امر در صورتی محقق می‌شود که رانندگان، دید کاملی نسبت به مسیر جلوی خود داشته باشند و بتوانند از وجود وسایل نقلیه دیگر و یا احتمالا موانع موجود در مسیر آگاه شوند.

رانندگی با آسودگی خاطر در تونل در گرو کیفیت روشنایی تونل می‌باشد، چون در غیر این صورت تشویش رانندگان، باعث کم کردن سرعت وسیله نقلیه در نزدیک ورودی تونل شده و این افت ناگهانی سرعت از حجم عبور خودروها کاسته و احتمال ترافیک و حتی تصادف را افزایش می‌دهد. وجود یک سیستم روشنایی که به رانندگان کمک کند تا بر تشویش خود غلبه کنند، ایمنی ترافیک را بهبود بخشیده، حجم عبور خودروها را افزایش داده و رانندگی راحت را ممکن می‌سازد.

سطوح روشنایی تونل تحت تاثیر حجم، نوع و ترکیب ترافیک می‌باشد و باید طبق ضوابط بند ۵-۳-تعیین شوند[۱۳].

۵-۲-۱- نور روز

تفاوت عمده در تامین روشنایی تونل‌ها با روشنایی سایر راه‌ها، نیاز تونل‌ها به تامین روشنایی در طول روز می‌باشد. به طور کلی راننده باید بتواند در صورت مواجه شدن با هر خطر غیرمنتظره، عکس‌العمل مناسب نشان داده و در فاصله مطمئن توقف نماید. زمانی که این مسافت در داخل تونل باشد، باید سطح روشنایی تونل برای تضمین رویت راننده در

داخل تونل کافی باشد. اگر میزان روشنایی در داخل تونل به اندازه کافی نباشد، مسلما راننده در داخل تونل قادر به دید صحیح نمی‌باشد، به این حالت "اثر حفره سیاه[۱]" گفته می‌شود.

در هنگام نزدیک شدن و ورود به تونل، چشمان راننده سعی در تطابق با محیط تاریک اطراف دارد. تطابق عمل پیوسته‌ای است که در نتیجه آن می‌توان در داخل تونل و در طول مشخصی از آن، بر کاهش سطح روشنایی به صورت تدریجی فائق آمد، به طوری که به یک حد ثابت از روشنایی در ناحیه داخلی تونل عادت کرد. به هنگام خروج از تونل در روز، عمل تطابق چشم به صورت معکوس می‌باشد و در این حالت چشم باید از یک سطح درخشندگی پایین‌تر به سطح درخشندگی بالاتری (واقع در محیط بیرون از تونل) عادت کند. این عمل به مراتب سریع‌تر صورت می‌گیرد. به‌طور مشابه به هنگام خروج از تونل، راننده باید به منظور داشتن امکان مانور ناگهانی و سریع در ناحیه خروج تونل، دید کافی از پشت سر خود نیز داشته باشد.

تاثیر روشنایی تونل‌ها بر محیط اطراف آن، هیچگاه نباید فراموش شود. محیط اطراف می‌تواند یک محیط باز و یا محیطی با ساختمان‌های زیاد و متراکم و یا ساختمان‌های تاریخی و مهم باشد. بنابراین باید اثرات نوع لامپ انتخابی، نحوه پخش نور و نوع چراغ‌ها در طراحی روشنایی تونل‌ها در نظر گرفته شود.

بنابراین روشنایی یک تونل بنا به دلایل زیر باید مناسب باشد:

الف- اجتناب از ایجاد اثر "حفره سیاه" زمانی که راننده در داخل تونل، قادر به دیدن نیست؛

ب- کاهش احتمال برخورد با وسایل نقلیه دیگر (عابر پیاده یا دوچرخه سوار)؛

ج- در صورت بروز یک خطر غیر منتظره، راننده باید قادر باشد تا عکس‌العمل مناسبی نشان داده و در فاصله توقف (SSD) اتومبیل را متوقف نماید؛

د- ایجاد قابلیت رویت تابلوهای راهنما.

برای تونل‌های بلندتر از ۲۰۰ متر، طراحی روشنایی باید مطابق با بند ۵-۳- انجام شود. برای تونل‌های کوتاه‌تر، توصیه‌های بند ۵-۲-۳- باید رعایت شود[۱۳].

یک سیستم روشنایی خطی یا چشم گربه‌ای می‌تواند راهنمایی بصری را تقویت نماید. با این حال، سطح روشنایی نباید کاهش یابد.

۵-۲-۲- نور شب

در طول شب مقدار درخشندگی بیرون تونل کم است، بنابراین اثر حفره سیاه وجود ندارد. به همین دلیل در شب برای همه نواحی تونل حالت مشابه برقرار بوده و راننده مقدار روشنایی کمتری را نسبت به هنگام روز نیاز دارد.

---

[۱] Black Hole Effect

۵-۲-۳- روشنایی روز تونل‌های کوتاه

طراحی روشنایی برای تونل‌های کوتاه بر این اساس است که راننده‌ای که به تونل نزدیک می‌شود، بتواند در فاصله‌ای کمتر یا برابر با فاصله توقف از دهانه ورودی تونل، سایر وسایل نقلیه یا موانع موجود را ببیند.

توانایی راننده برای دید در تونل در درجه اول به طول تونل بستگی دارد، اگرچه سایر پارامترهای طراحی مانند عرض، ارتفاع، انحناهای افقی و عمودی و غیره نیز تاثیر دارند.

مهمترین پارامتر در طراحی روشنایی تونل‌ها این است که راننده‌ای که به تونل نزدیک می‌شود، بتواند در فاصله‌ای کمتر و یا برابر با فاصله توقف (SSD) از دهانه ورودی تونل، سایر وسایل نقلیه و موانع موجود در آن را ببیند. زمانی که دهانه خروجی تونل بخش اعظمی از منظره قابل رویت از دهانه ورودی تونل باشد، وسایل نقلیه و موانع موجود به‌راحتی به شکل تصویر سیاه یکدست در مقابل منظره روشن پشت آن قابل رویت می‌باشند. از سوی دیگر، وسایل نقلیه و موانع موجود در تونل با قرار گرفتن در یک زمینه تاریک، قابل تفکیک نمی‌باشند. این اتفاق در صورتی رخ می‌دهد که طول تونل در مقایسه با عرض آن بلند بوده و یا تونل در یک پیچ، به گونه‌ای واقع شده باشد که تنها قسمتی از خروجی آن از دهانه ورودی قابل رویت باشد، یا به طور کل هیچ قسمتی از خروجی تونل از دهانه ورودی آن قابل رویت نباشد.

تونل‌هایی با طول کمتر از ۲۵ متر، معمولا در هنگام روز نیازی به سیستم روشنایی ندارند. تعیین نیاز یا عدم نیاز تونل به سیستم روشنایی در هنگام روز برای تونل‌هایی با طول بین ۲۵ تا ۲۰۰ متر باید با روشی که در پیوست ۴ شرح داده شده است، انجام گیرد. در صورت نیاز به روشنایی کامل در طول روز، روشنایی تونل باید مطابق با بند ۵-۳- باشد.

نکته: تونل‌های با طول کمتر از ۲۰۰ متر تونل‌های کوتاه نامیده می‌شوند[۱۳].

۵-۲-۳-۱- تعیین درصد دقت دید

درصد دقت دید (LTP[1])، باید با استفاده از رابطه (۵-۱) محاسبه شود.

$$LTP = 100 \times \frac{surface\ EFGH}{surface\ ABCD} = 100 \times \frac{EF \times FG}{AB \times BC} \qquad ۱-۵$$

در این رابطه، نقاط G, F, E, D, C, B, A مطابق با شکل ۵-۱ می‌باشند.

همچنین بدلیل اینکه اندازه زاویه‌ها کوچک است، رابطه (۵-۱) را می‌توان به صورت رابطه (۵-۲) تقریب زد.

$$LTP = 100 \times \frac{\beta_u}{\beta_i} \times \frac{\alpha_u}{\alpha_i} \qquad ۲-۵$$

در این رابطه نیز $\beta_i, \alpha_u, \alpha_i$ و β_u مطابق با شکل ۵-۲ می‌باشند.

همچنین مرکز منظره نشان داده شده مطابق شکل ۵-۱، نقطه‌ای با مشخصات زیر است:

[1] Look-Through Percentage

الف- در یک خط افقی، ۱٫۲ متر بالاتر از سطح راه؛

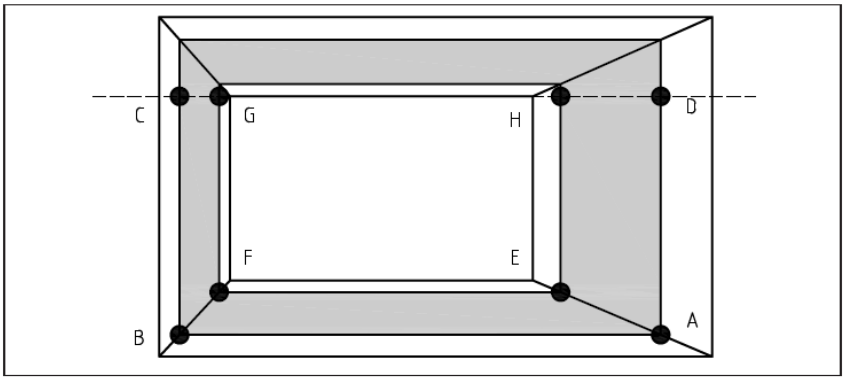
ب- در وسط باند ترافیکی (اگر تعداد باندهای ترافیکی بیشتر باشد، برای تعیین دقت دید در هر باند، مرکز منظره در وسط باند ترافیکی در نظر گرفته می‌شود)؛

ج- در فاصله توقف SSD (جدول ۵-۲) از نقطه نفوذ نور روز در ناحیه داخلی تونل.

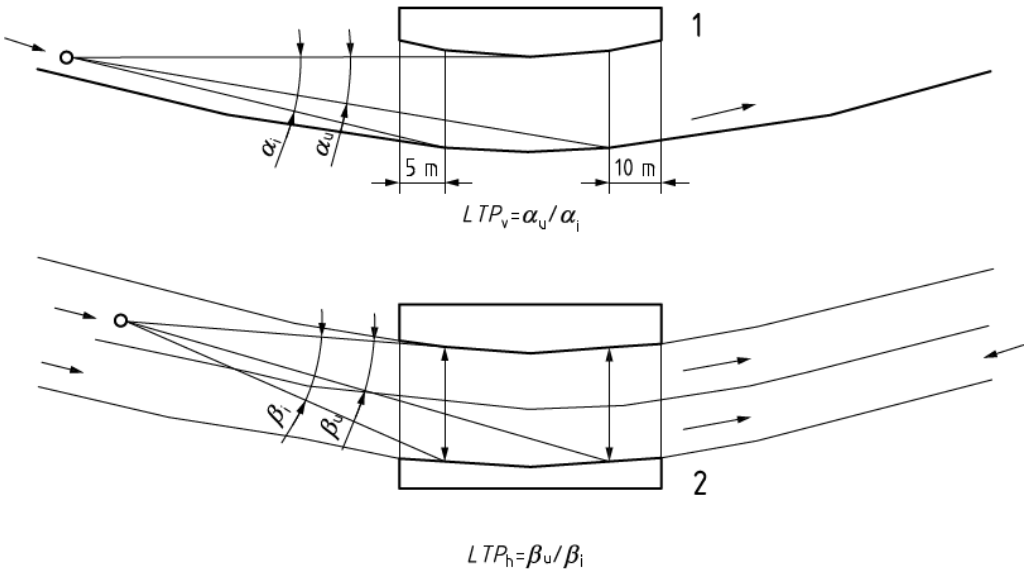
در جایی که خط دید تونل کوتاه است مانند هنگامی که تونل در یک پیچ قرار دارد یا بخشی از یک تقاطع است، مرکز پرسپکتیو در شکل ۵-۱، نقطه‌ای است که دورترین فاصله از ورودی ظاهری (جایی که یک دید مستقیم از طریق تونل وجود دارد) را دارد.

در این محاسبات، سقف تونل در محاسبات وارد نمی‌شود، زیرا سقف موجب پنهان شدن موانع یا دیگر کاربران راه نمی‌گردد. همچنین از آنجا که نفوذ نور روز موجب کاهش دید ظاهری طول تونل می‌شود، بنابر این ورودی و خروجی ظاهری تونل در هنگام محاسبه درصد دقت دید (LTP) استفاده می‌شوند. به این منظور ورودی ظاهری تونل معمولا ۵ متر داخل تونل و خروجی ظاهری آن ۱۰ متر داخل تونل فرض می‌شود. در عمل، تخمین یا اندازه‌گیری فاصله نفوذ نور مشکل است. در شکل ۵-۲ فواصل ۵ متر و ۱۰ متری به خوبی مشخص شده‌اند.

موقعیت پرسپکتیو استفاده شده در این محاسبات نیز می‌تواند بر اساس نقشه‌ای از تونل و یا عکسی از تونل موجود باشد. فقط باید دقت شود که در برخی موارد، نقشه پرسپکتیو تونل نمی‌تواند به آسانی ساخته شود، به خصوص زمانی که تونل دارای انحنای افقی و عمودی (پیچ و شیب) باشد. در این موارد، دقت کافی زمانی به‌دست می‌آید که چارچوب تاریکی بر اساس نقشه پلان افقی و سطح مقطع عمودی باشد.



شکل ۵-۱: درصد دقت دید



۱: پلان عمودی

۲: پلان افقی

شکل ۵-۲: زوایای دید برای تعیین درصد دقت دید

۵-۲-۳-۲- تعیین شرایط نیاز به نصب سیستم روشنایی در طول روز

روشنایی در هنگام روز باید مطابق میزان درصد دقت دید (LTP) و به صورت زیر فراهم شود:

الف- اگر ٪۲۰>LTP، سیستم روشنایی مصنوعی باید همواره فراهم باشد؛

ب- اگر ٪۸۰<LTP، معمولا سیستم روشنایی مصنوعی مورد نیاز نیست؛

ج- اگر ٪۸۰> LTP >٪۲۰، نیاز به سیستم روشنایی مصنوعی بوده و می‌بایست مطابق الزامات زیر تعیین شود.

اگر مقدار LTP بین ۲۰ و ۸۰ درصد باشد، یک جسم مهم مانند یک ماشین، عابر پیاده یا دوچرخه‌سوار باید در مقابل خروجی تونل به صورت کاملا واضح و آشکار دیده شود. در این میان نیاز به روشنایی در هنگام روز، باید مطابق با درصد حساسیت جسمی که از خروجی تونل قابل رویت است، تعیین شود. بدین منظور فرضیات زیر در نظر گرفته می‌شود:

الف- در تونل‌هایی که فقط وسایل نقلیه موتوری از آن‌ها عبور می‌کنند، جسم مهم یک ماشین تعریف می‌شود. این جسم، مستطیلی به عرض ۱٫۶ متر و به ارتفاع ۱٫۴ متر در نظر گرفته می‌شود.

ب-برای تونل‌هایی با ترافیک ترکیبی، جسم مهم عابر پیاده یا دوچرخه‌سوار تعریف می‌شود. این جسم، مستطیلی به عرض ۰٫۵ متر و به ارتفاع ۱٫۸ متر در نظر گرفته می‌شود.

ج- موقعیت طولی ناظر، مشابه حالت تعیین درصد دقت دید می‌باشد. موقعیت طولی جسم باید در ورودی ABCD قرار گیرد.

د- موقعیت قرارگیری عرضی جسم و ناظر باید منطبق بر اطلاعات جدول ۵-۱ و متناسب با نوع راه باشد.

جدول ۵-۱: موقعیت عرضی جسم و ناظر

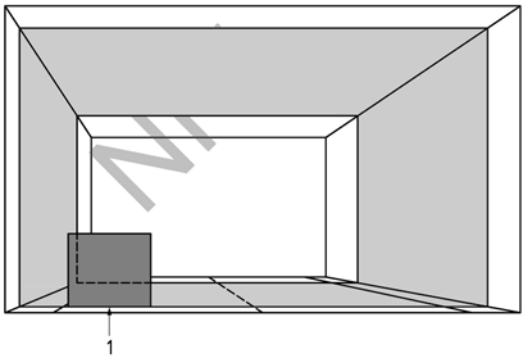
نوع راه	موقعیت جسم	موقعیت ناظر
راه چند بانده با یک باند اضطراری	سمت چپ، باند اضطراری	خط مرکزی، باند ۱
راه چند بانده بدون باند اضطراری	سمت چپ، باند ۱	خط مرکزی، باند ۱

با این فرضیات و در صورت حصول شرایط زیر، روشنایی روز تونل باید تامین شود:

الف) در صورتی که امکان رویت یک جسم مهم مانند ماشین در خروجی تونل کمتر از ۲۰٪ باشد (شکل ۵-۳)؛

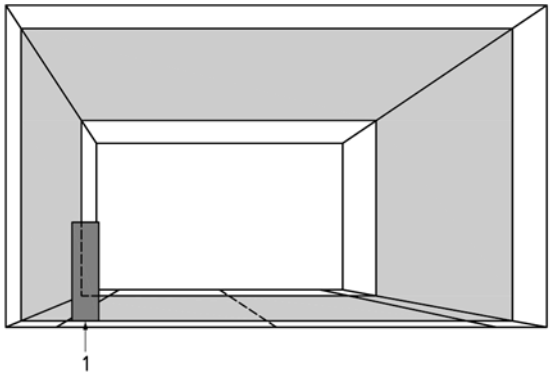
ب) در صورتی که امکان رویت یک جسم مهم مانند عابرپیاده و یا دوچرخه‌سوار در خروجی تونل کمتر از ۳۰ درصد باشد (شکل ۵-۴).

قابلیت دید جسم در تونل‌های دوطرفه باید برای هر دو مسیر حرکت محاسبه شود.



۱: ماشین به ابعاد ۱٫۶ ×۱٫۴ متر

شکل ۵-۳: قابلیت دید یک ماشین



۱: عابرپیاده یا دوچرخه سوار به ابعاد ۱٫۸×۰٫۵ متر

شکل ۵-۴: قابلیت دید یک عابر پیاده یا دوچرخه‌سوار

۵-۲-۳-۳- انواع روشنایی روز برای تونل‌های کوتاه

روشنایی مصنوعی در طول روز برای تونل‌های کوتاه می‌تواند شکل‌های مختلفی داشته باشد. نوع مناسب روشنایی برای هر تونل با توجه به شرایط محلی و عوامل مرتبط با ایمنی و آسایش راه می‌باشد. نمونه‌هایی از انواع روشنایی‌هایی که می‌توان برای تونل‌های کوتاه استفاده نمود به صورت ذیل می‌باشند:

- روشنایی کامل در روز مطابق بند ۵-۳- استفاده شود؛
- ۵۰ درصد روشنایی کامل در طول روز ایجاد شود؛
- در طول روز از روشنایی محدود $۱۰\ cd/m^2$ تا $۳۰\ cd/m^2$ در مواقعی با جریان ترافیک زیاد (زمان‌های قبل از غروب و بعد از سحر و همچنین در روزهای ابری) استفاده شود. روشنایی محدود در طول روز را می‌توان با یک سلول فتوسل و ساعت کنترل کرد که با شرایط کلیدزنی مطابقت دارند.
- روشنایی محدود کاهش یافته در طول روز (مانند بند قبل) که از روشنایی شبانه برای رسیدن به هدف $۰٫۵\ cd/m^2$ تا $۱٫۵\ cd/m^2$ استفاده می‌کند. در صورت عدم تمایل به استفاده از سیستم کنترلی، می‌توان از روشنایی شبانه به طور دائم استفاده نمود.
- یک "دایره نوری[۱]" شامل یک بخش کوچک با درخشندگی بالا در مرکز تونل استفاده می‌شود که هر دو طرف تونل با درخشندگی بسیار کمتری روشن می‌شود. جزئیات بیشتر این روش در استاندارد DIN67524-1 موجود می‌باشد.
- روشنایی مستقیم یک یا هر دو دیوار تونل. این نوع روشنایی در مواردی که تونل به صورت افقی خمیده است، موثر می‌باشد.

اقدامات زیر می‌تواند نیاز به روشنایی تونل‌های کوتاه را به میزان قابل توجهی کاهش دهد:

۱- جداسازی محل عبور عابران پیاده و دوچرخه‌سواران از وسایل نقلیه موتوری.

۲- استفاده از دیوارهای رنگ روشن.

۵-۳- طراحی روشنایی تونل

۵-۳-۱- تعیین فاصله توقف

فاصله توقف (SSD) بر اساس سرعت حرکت راننده در تونل متفاوت می‌باشد. در جدول ۵-۲ فاصله توقف بر اساس سرعت طرح‌های مختلف ارائه شده است[۱۳].

[۱] Light Pool

جدول ۵-۲: فاصله توقف برای سرعت طرح‌های مختلف

فاصله توقف (SSD) بر حسب متر	سرعت طرح [۱] (Km/h)
۲۱۵	۱۲۰
۱۶۰	۱۰۰
۱۲۰	۸۵
۹۰	۷۰
۷۰	۶۰
۵۰	۵۰
[۱] سرعت طرح مربوط به کاربری عادی تونل می‌باشد. این سرعت برای استفاده‌های غیرمعمول از قبیل عملیات در خلاف جهت حرکت، کاربرد ندارد.	

نکته: وقتی حد سرعت ۳۲٫۱۹ Km/h (۲۰ mph) باشد، فاصله توقف می‌تواند ۳۵ متر در نظر گرفته شود.

۵-۳-۲- کلاسه‌بندی روشنایی تونل

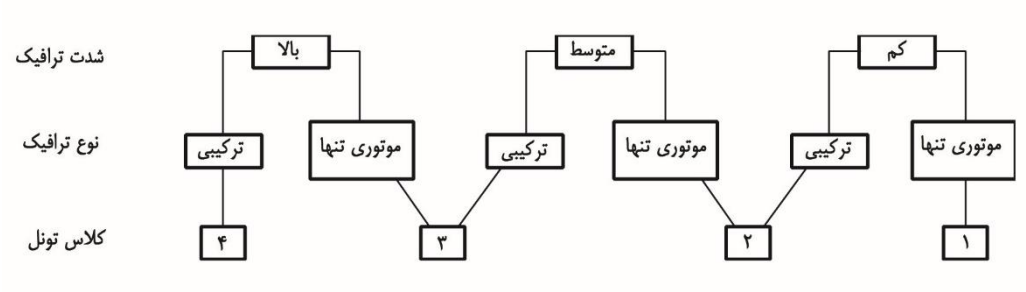
کلاسه‌بندی روشنایی تونل باید بر اساس مشخصات کاربران شناخته شده تونل (برای تونل‌های موجود) و یا کاربران متصور شده (برای تونل‌های جدید)، انجام شود. عوامل اصلی موثر در کلاسه‌بندی تونل "حجم ترافیک"، "نوع ترافیک و ترکیب آن" و "راهنمای بصری" می‌باشد.

حجم ترافیک به سه گروه زیاد، متوسط و کم، طبق جدول ۵-۳ دسته‌بندی می‌شود.

کلاس مناسب برای روشنایی تونل نیز با استفاده از شکل ۵-۵ تعیین می‌شود. در این شکل، کلاس تونل بر اساس شدت ترافیک از لحاظ حجم و نوع آن (ترافیک فقط موتوری و یا ترکیبی از ترافیک موتوری، پیاده و دوچرخه‌سوار) قابل استخراج است[۱۳].

جدول ۵-۳: حجم ترافیک

دسته‌بندی حجم ترافیک	حجم/نسبتی از جریان[۱] ترافیک	
	ترافیک یک‌طرفه	ترافیک دوطرفه
زیاد	>۱۵۰۰	>۴۰۰
متوسط	۵۰۰ تا ۱۵۰۰	۱۰۰ تا ۴۰۰
کم	<۵۰۰	<۱۰۰
نکته- اگر مقدار واقعی معلوم نباشد ساعت اوج ترافیک می‌تواند به شکل زیر در نظر گرفته شود: متوسط ترافیک روزانه (ADT) عبارت از تعداد وسیله نقلیه عبوری در روز است و بیشترین مفهومی می‌باشد که در طراحی‌های ترافیکی مورد استفاده قرار گرفته و معمولا شناخته شده است. منظور از ساعت اوج ترافیک، ساعتی است که در آن، حجم ترافیک (تعداد وسیله نقلیه عبوری در ساعت) در مناطق روستایی ۱۰٪ و در مناطق شهری ۱۲٪ متوسط ترافیک روزانه (ADT) است. در راه‌هایی که مسیرهای رفت و برگشت به طور فیزیکی از هم جدا نشده باشند، می‌توان تعداد وسایل نقلیه در هر ساعت در هر باند حرکت را از تقسیم ترافیک (تعداد وسیله‌نقلیه عبوری در ساعت) در ساعت اوج آن بر تعداد کل باندهای راه محاسبه کرد. اگر توزیع واقعی ترافیک در هر یک از مسیرهای حرکت در راه‌های دوطرفه مشخص نباشد، می‌توان فرض کرد که در بدترین حالت، یکی از مسیرهای حرکت (رفت یا برگشت) دو سوم کل حجم ترافیک را دربرگرفته است. سپس بالاترین حجم ترافیک از تقسیم این مقدار بر تعداد باندهای ترافیکی راه حاصل می‌شود.		
[۱] تعداد وسایل نقلیه در هر ساعت و در هر باند در طول ساعت اوج ترافیک		



شکل ۵-۵: انتخاب کلاس روشنایی تونل

۵-۳-۳- تعیین درخشندگی ناحیه دسترسی

به منظور تعیین سطح روشنایی روز لازم درون یک تونل ابتدا باید درخشندگی ناحیه دسترسی را تعیین کرد. این کار با هدف تعیین درخشندگی ناحیه آستانه و سایر نواحی تونل انجام می‌شود.

برای تعیین درخشندگی ناحیه دسترسی (L_{20}) دو راه وجود دارد. هنگامی‌که امکان اندازه‌گیری مستقیم در محل تونل وجود داشته باشد، باید به منظور تعیین مقدار درخشندگی ناحیه دسترسی، آن را به صورت مستقیم اندازه‌گیری کرد. در ۵-۳-۳-۱- روش اندازه‌گیری ارائه شده است. هنگامی‌که امکان اندازه‌گیری مستقیم وجود نداشته باشد، باید با استفاده از روشی که در بند ۵-۳-۳-۲- شرح داده شده است، مقدار درخشندگی ناحیه دسترسی تونل محاسبه شود.

تخمین مقدار L_{20}، می‌تواند برای طراحی اولیه سیستم روشنایی تونل مناسب باشد، ولی این مقدار نمی‌تواند برای طرح نهایی استفاده شود.

اندازه‌گیری L_{20} به روش شرح داده شده در بند ۵-۳-۳-۱-، بر سایر روش‌ها ارجحیت دارد، به ویژه زمانی که موقعیت تونل به‌گونه‌ای باشد که انجام محاسبات موجب شود مقدار به‌دست آمده برای L_{20} از هر ورودی تونل، متفاوت باشد.

۵-۳-۳-۱- تعیین درخشندگی ناحیه دسترسی به روش اندازه‌گیری مستقیم

دقیق‌ترین زمان تعیین درخشندگی ناحیه دسترسی (L_{20}) به وسیله اندازه‌گیری مستقیم، زمانی از سال است که مقدار درخشندگی ناحیه دسترسی بیشینه باشد.

الف-تجهیزات

درخشندگی‌متر ترجیحا با میدان دید 20^{o}: اگر درخشندگی‌متر با میدان دید ۲۰ درجه در دسترس نباشد، می‌توان از دستگاهی با میدان دید کوچکتر (برای مثال ۱ تا ۳ درجه) استفاده کرد. در این حالت باید در چندین نقطه در حوزه دید 20^{o} اندازه‌گیری درخشندگی انجام شود و سپس برای رسیدن به L_{20} به روشی که در بخش ۵-۳-۳-۲- شرح داده شده است، میانگین‌گیری شود.

ب- روش اندازه‌گیری برای تونل‌های موجود

۱- وسیله اندازه‌گیری درخشندگی باید بر روی سه پایه نصب شده و در مرکز قسمت ماشین‌روی راه و در ارتفاع ۱٫۵ متری بالای سطح آن مستقر گردد و مرکز حوزه دید 20^{o} آن نیز بر مرکز ورودی تونل تنظیم گردد. این وسیله اندازه‌گیری و سه پایه آن باید در فاصله‌ای برابر فاصله توقف از ورودی تونل قرار گیرند.

۲- اندازه‌گیری باید در چندین روز متوالی، هنگامی که خورشید در آسمان است انجام شود. باید دقت گردد که در اندازه‌گیری‌های انجام شده، شرایطی که ابر سفید در آسمان و مخصوصا در حوزه دید دستگاه قرار گرفته باشد نیز وجود داشته باشد، زیرا در این حالت می‌توان مقدار L_{20} بالاتری را اندازه‌گیری کرد. همچنین تمام وضعیت‌هایی که خورشید در حوزه دید 20^{o} دستگاه قرار می‌گیرد، باید از اندازه‌گیری‌ها خارج شوند، زیرا این حالت‌ها منجر به خواندن مقدار درخشندگی بسیار زیادی می‌شود.

۳- یک سری اندازه‌گیری باید در هر دو انتهای تونل، حدودا زمانی که L_{20} به ماکزیمم مقدار خود می‌رسد، انجام شود و مقادیر خوانده شده باید در نموداری بر حسب زمان ترسیم شوند.

در تونل‌های شرقی-غربی، این احتمال وجود دارد که حداکثر مقدار L_{20} در ورودی شرقی به هنگام صبح و در ورودی غربی به هنگام عصر اتفاق بیفتد. این حالت همواره صادق نمی‌باشد، ولی باید توجه کرد که اندازه‌گیری‌ها زمانی انجام شوند که بیشینه مقدار L_{20} اتفاق می‌افتد به عنوان مثال، ممکن است نور پخش شده توسط مه در یک دامنه قرارگرفته در سایه در ساعات مختلف روز، مقدار L_{20} بیشتری را تولید کند.

ج-روش اندازه‌گیری برای تونل‌های طراحی شده

۱- در جایی که تونل هنوز در حال ساخت است، اندازه‌گیری مقدار L_{20} باید در محل‌هایی که مربوط به راه جدید خواهند بود، انجام شود. درخشندگی‌متر باید به سمت نقطه‌ای که بعدا مرکز ورودی تونل خواهد شد، هدف‌گیری شود. اما اگر به دلیل نوع زمین و یا وجود درختان و غیره، امکان قرار دادن دستگاه اندازه‌گیری در موقعیت دقیق آن نباشد، باید نزدیکترین موقعیت ممکن، مورد استفاده قرار گیرد. اگر چنین کاری نیز مشکل باشد، بهتر است اندازه‌گیری مستقیم مقدار L_{20} انجام نشود و از روشی که در بخش ۵-۳-۳-۲- شرح داده شده است، استفاده گردد.

۲- این اندازه‌گیری‌ها باید منطبق بر بند (ب) بخش روش اندازه‌گیری برای تونل‌های موجود باشد.

پس از انجام اندازه‌گیری برای تونل‌های در حال احداث، این مقادیر باید از طریق مقایسه با درخشندگی سطح راه احتمالی موجود در آن محل تصحیح شوند. جهت انجام این کار، باید در ابتدا درخشندگی متوسط سطحی را که توسط راه، در ناحیه دسترسی تونل در حال احداث، اشغال خواهد شد، بدست آورد. این کار را می‌توان با اندازه‌گیری درخشندگی متوسط سطح معادل از راه مجاوری که در همان راستا قرار گرفته و یا از طریق محاسباتی انجام داد. پس از انجام این کار اگر اختلاف قابل توجهی مشاهده گردد، باید مقدار L_{20} اندازه‌گیری شده، تصحیح گردد. در این خصوص می‌توان درخشندگی بدست آمده برای سطح راه احداثی را با اعمال ضریب وزنی، متناسب با سطح اشغال شده توسط راه مزبور که در حوزه دید ۲۰ درجه قرار دارد، جایگزین نمود.

۵-۳-۳-۲- تعیین درخشندگی ناحیه دسترسی به روش شبکه

درخشندگی ناحیه دسترسی (L_{20}) را می‌توان با استفاده از روش شبکه، چه در مرحله طراحی اولیه و چه در هنگام تعیین حداکثر درخشندگی برای یک تونل موجود محاسبه کرد. در این روش حوزه دید به نواحی کوچک تقسیم شده و با محاسبه درخشندگی هر ناحیه کوچک، درخشندگی متوسط حوزه دید بدست می‌آید. این روش یک تقریب است و دقت آن به دقت درخشندگی‌های استفاده شده در محاسبات وابسته است.

در ابتدا تصویر تونل از فاصله‌ای برابر فاصله توقف (SSD) از ورودی آن با رسم پرسپکتیو یا با استفاده از مدل کامپیوتری و یا با عکس گرفتن از آن تهیه می‌شود. پس از تهیه تصویر تونل می‌بایست بر روی آن، نقطه دید تعیین شود. این نقطه باید در مرکز قسمت ماشین‌روی راه و در ارتفاع ۱٫۵ متری و در فاصله‌ای برابر با فاصله توقف (SSD) از ورودی تونل قرار داشته و حوزه دید آن 20^{o} باشد. همچنین لازم است که وسعت زاویه دید در تصویر نیز تعیین شده باشد. این کار می‌تواند با رسم دایره‌ای با زاویه دید 20^{o} و به مرکز چشم ناظر روی شکل انجام گیرد. البته باید توجه گردد که در انجام این کار اگر از عکس استفاده می‌شود، داشتن یک جسم مرجع در حوزه دید برای تعیین مقیاس زاویه‌ای لازم است. برای یک تونل موجود، ارتفاع آن (H)، مرجع مناسبی می‌باشد. با داشتن این مرجع و فاصله‌ای که عکس از آن گرفته شده است (SSD)، درجه‌بندی زاویه‌ای عکس می‌تواند با استفاده از رابطه (۵-۳) تعیین گردد.

$$\theta_H = \tan^{-1}\frac{H}{SD} \qquad ۳\text{-}۵$$

که در آن،

θ_H : زاویه بین خطوط دید منتهی به بالای تونل و سطح راه است.

ولی در صورتی که تونل ساخته نشده باشد، باید یک جسم مرجع با طول مشخص و در یک فاصله مشخص در عکس وجود داشته باشد. در غیر این صورت ارتفاع زاویه‌ای چاپ که از رابطه (۵-۴) بدست می‌آید مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$\theta_p = 2\tan^{-1}\frac{h}{2f} \qquad ۴\text{-}۵$$

در رابطه فوق،

θ_P : ارتفاع زاویه‌ای چاپ؛

h : ارتفاع نگاتیو فیلم چاپ شده بر حسب میلیمتر؛

f : فاصله کانونی عدسی دوربین بر حسب میلیمتر.

همچنین در تونل‌هایی که ساخته نشده‌اند می‌بایست یا با استفاده از یک روکش، ورودی آن را مشخص کرده و یا روی عکس و با استفاده از مقیاس مناسب کشید. به طور مشابه، کناره‌های راه، دیواره‌ها، چهارچوب‌های نصب علائم و دیگر اجسامی که به بخشی از انتهای حوزه دید شکل می‌دهند، نیز باید روی عکس مشخص شوند. البته باید توجه داشت که

دقت کل ترسیمات انجام شده چندان بحرانی نیست و در واقع کلیه قسمت‌ها (شامل اجسام و محیط اطراف تونل) با یک مقیاس تقریبی مشخص می‌شوند.

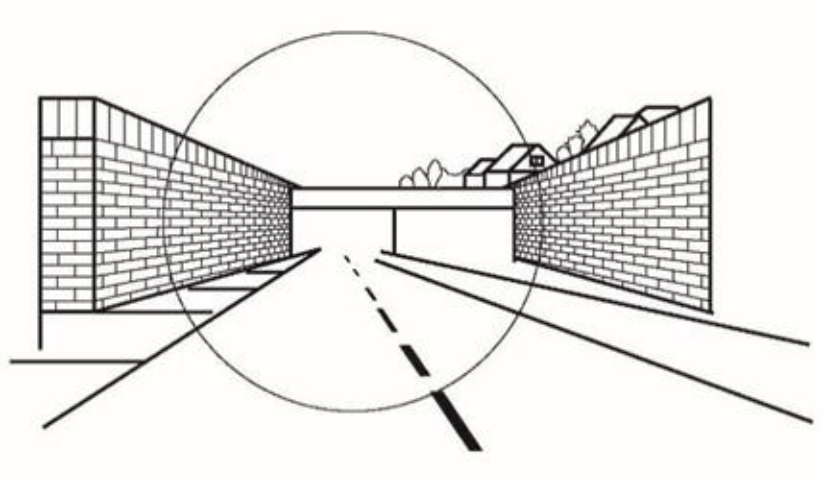
پس از تهیه تصویر از دهانه تونل، محاسبه L_{20} مطابق گام‌های ذیل انجام می‌شود:

الف) در محدوده حوزه دید، دایره‌ای به تصویر اضافه می‌شود که نشان‌دهنده زاویه دید 20^{o} ناظر باشد. بدین منظور ناظر در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح راه و به گونه‌ای در نظر گرفته می‌شود که مرکز دایره منطبق بر مرکز ورودی تونل باشد. این مورد در شکل ۵-۶ نشان داده شده است.

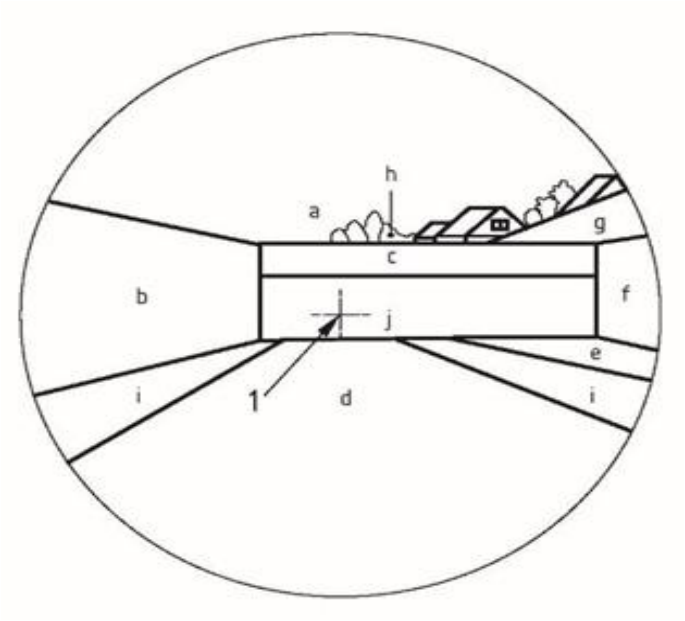
ب) حوزه دید 20^{o} باید به چندین ناحیه تقسیم شده و هر ناحیه نیز با یک حرف و یا شماره مرجع مشخص شود (شکل ۵-۷). سپس به هر ناحیه با مساحت A، مقداری برای درخشندگی تخصیص یابد. مقدار درخشندگی از روی نتایج اندازه‌گیری شده در محل و یا انتخاب آن از مقادیر معمول داده شده در جدول ۵-۴ تعیین می‌شود.

ج) در مرحله بعد، جدولی برای ناحیه‌ها، مطابق آنچه که در جدول ۵-۵ نشان داده شده است، تشکیل می‌شود. مقادیر"A" و "$A \times L$" در جدول مزبور، نشان‌دهنده سطح ناحیه و مجموع کل درخشندگی است. مقدار L_{20} درخشندگی متوسط نیز با استفاده از رابطه (۵-۵) محاسبه می‌گردد.

$$L_{20} = \frac{AL}{A} \qquad ۵\text{-}۵$$



شکل ۵-۶: نمای پرسپکتیو ورودی تونل با دایره دید ۲۰ درجه



۱: مرکز ورودی تونل

شکل ۵-۷: حوزه دید ۲۰ درجه که به سطوحی با مشخصات متفاوت تقسیم شده است

جدول ۵-۴: مقادیر معمول درخشندگی

زمینه	درخشندگی (L)، cd/m^2
شن روی زمین	۳۵۰۰
چمن	۲۰۰۰
تپه (صخره، سنگریزه)	۳۵۰۰
ساختمان (آجری)	۳۵۰۰
ورودی تونل (تیره)	۱۰۰۰
سطح راه (آسفالت)	۴۰۰۰
سطح راه (آسفالت) در نور خورشید وقتی رو به سمت جنوب باشد	۶۰۰۰
سطح راه (بتن)	۸۰۰۰
آسمان (تمیز)	۸۰۰۰
آسمان (غبارآلود، روشن) وقتی که رو به سمت جنوب باشد	۲۰۰۰۰
درخت	۱۰۰۰
دیواره (تیره)	۱۰۰۰
دیواره (روشن)	۶۰۰۰
نکته: این مقادیر، برای وسط تابستان که خورشید به طور کامل می‌درخشد و شدت روشنایی افقی نیز ۱۰۰۰۰۰ لوکس می‌باشد، داده شده است. زمانی که L_{20} در حدکثر مقدار خود بوده و سطح نیز (به غیر از آسمان) در سایه باشد، مقدار L بدست آمده از سطح باید در ۰٫۲۵ ضرب شود.	

جدول ۵-۵: مثالی از محاسبه درخشندگی ناحیه دسترسی (L_{20}) مربوط به شکل ۵-۷

ناحیه[1]	زمینه	مساحت[2] (A) مترمربع	درخشندگی (L)، cd/m^2	حاصلضرب L*A
a	آسمان (تمیز)	۲۶۰۰	۸۰۰۰	۲۰/۸۰۰/۰۰۰
b	دیواره تیره	۱۱۵۰	۱۰۰۰	۱/۱۵۰/۰۰۰
c	دیواره تیره روی ورودی	۳۰۰	۱۰۰۰	۳۰۰/۰۰۰
d	راه (آسفالت) در نور خورشید	۳۳۰۰	۴۰۰۰	۱۳/۲۰۰/۰۰۰
e	راه در سایه	۸۰	۱۰۰۰	۸۰/۰۰۰
f	دیواره تیره در سایه	۱۲۸	۲۵۰	۳۲/۰۰۰
g	ساختمان (آجری) در سایه	۱۳۰	۸۷۵	۱۱۴/۰۰۰
h	درختان	۹۰	۱۰۰۰	۹۰/۰۰۰
i	مناطق شنی	۸۰۰	۳۵۰۰	۲/۸۰۰/۰۰۰
j[3]	داخل تونل	۹۲۲	-	-
مجموع	-	۹۵۰۰	-	۳۸/۵۶۶/۰۰۰

درخشندگی متوسط ناحیه دسترسی (L_{20}) $= \sum AL/A = ۴۰۶۰\ cd/m^2$

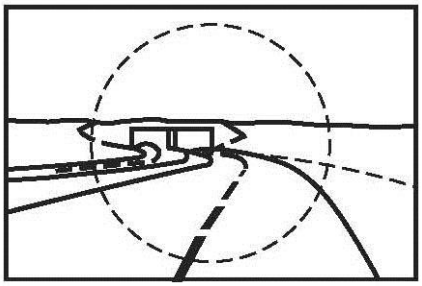
۱: نشان داده شده در شکل ۵-۷.

۲: مساحت همه ناحیه‌ها باید دارای واحدهای یکسان باشد. بدین منظور ممکن است هر آنچه که برای اندازه نقشه یا عکس مناسب باشد، مورد استفاده قرار گیرد.

۳: در مواردی که روشنایی روز برای تونل‌های کوچک مهیا باشد، به طوری که دروازه خروجی تونل در فاصله توقف (SSD) قبل از دروازه ورودی قابل رویت باشد، به علت نفوذ نور به داخل تونل مقداری درخشندگی وجود خواهد داشت که این مقدار درخشندگی به صورت مقدار منفی در جدول وارد می‌شود و کاهش ناچیزی در مقدار درخشندگی متوسط ناحیه دسترسی L_{20} ایجاد خواهد کرد.

۵-۳-۳-۳- تخمین درخشندگی ناحیه دسترسی

تخمین درخشندگی L_{20} تنها برای طراحی اولیه می‌تواند با استفاده از شکل ۵-۸ بدست آید. در این شکل مثال‌هایی از دید پرسپکتیو انواع مختلفی از ورودی تونل‌ها نشان داده شده و در هر مورد نیز برآوردی از درخشندگی احتمالی ناحیه دسترسی (L_{20}) آورده شده است. بدین منظور برای هر تونل باید در ابتدا نمای مشابهی از نقطه‌نظر مکان‌شناسی و فاصله توقف انتخاب شود و سپس مقدار تقریبی L_{20} با توجه به جهت ورودی تونل بدست آید. البته باید دقت گردد که به منظور طراحی نهایی روشنایی تونل می‌بایست از روش‌های بیان شده در بند ۵-۳-۳-۱- و ۵-۳-۳-۲- استفاده شود.

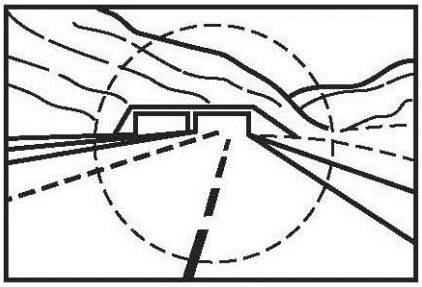


فاصله = ۱۶۰ متر

L_{20} (برای رانندگی به سمت شمال) = ۵۰۰۰ cd/m^2

L_{20} (برای رانندگی به سمت جنوب) = ۷۵۰۰ cd/m^2

الف) راه روستایی با سرعت بالا، وسعت پایین

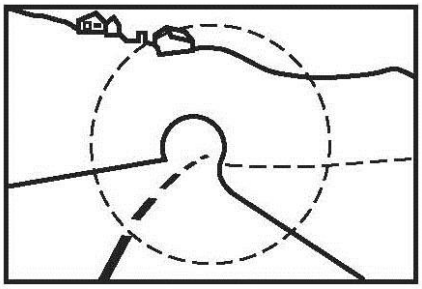


فاصله = ۹۰ متر

L_{20} (برای رانندگی به سمت شمال) = ۴۰۰۰ cd/m^2

L_{20} (برای رانندگی به سمت جنوب) = ۵۵۰۰ cd/m^2

ب) راه روستایی با سرعت متوسط، زمینه تپه ماهور

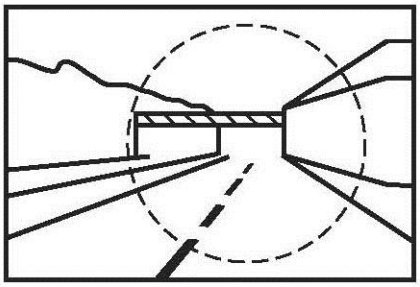


فاصله = ۹۰ متر

L_{20} (برای رانندگی به سمت شمال) = ۳۰۰۰ cd/m^2

L_{20} (برای رانندگی به سمت جنوب) = ۳۰۰۰ cd/m^2

ج) راه روستایی با سرعت متوسط، دهانه تونل در دامنه کوه

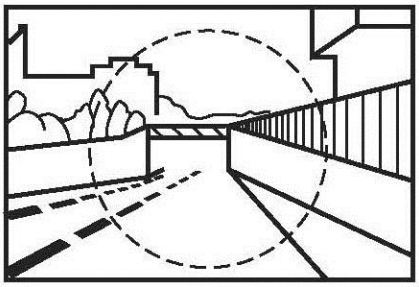


فاصله = ۹۰ متر

L_{20} (برای رانندگی به سمت شمال) = ۴۵۰۰ cd/m^2

L_{20} (برای رانندگی به سمت جنوب) = ۷۰۰۰ cd/m^2

د) راه شهری با سرعت متوسط، رشد ساختمان‌سازی پایین

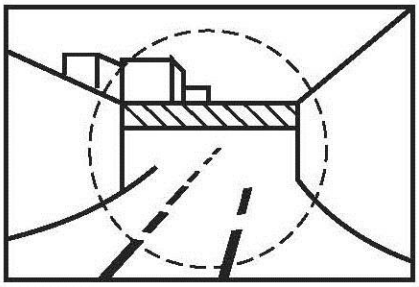


فاصله = ۹۰ متر

L_{20} (برای رانندگی به سمت شمال) = ۳۵۰۰ cd/m^2

L_{20} (برای رانندگی به سمت جنوب) = ۵۵۰۰ cd/m^2

ه) راه شهری با سرعت متوسط، رشد ساختمان‌سازی بالا با منظره‌سازی و خیابان‌بندی



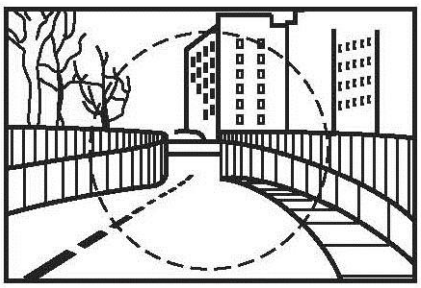
فاصله = ۵۰ متر

L_{20} (برای رانندگی به سمت شمال) = ۳۰۰۰ cd/m^2

L_{20} (برای رانندگی به سمت جنوب) = ۴۰۰۰ cd/m^2

و) زیرگذر شهری با سرعت پایین

شکل ۵-۸: مثال‌هایی از انواع مختلف راه‌های دسترسی به تونل همراه با میزان درخشندگی آن ناحیه

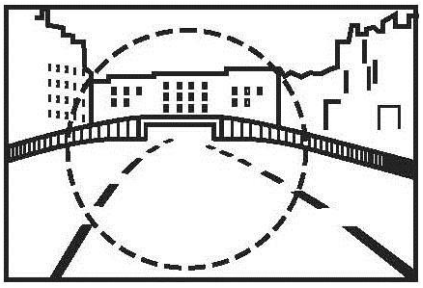


فاصله = ۹۰ متر

L_{20} (برای رانندگی به سمت شمال) = ۳۰۰۰ cd/m^2

L_{20} (برای رانندگی به سمت جنوب) = ۴۰۰۰ cd/m^2

ز) راه شهری با سرعت متوسط، رشد ساختمان‌سازی بالا و در مجاورت آن



فاصله = ۱۶۰ متر

L_{20} (برای رانندگی به سمت شمال) = ۴۵۰۰ cd/m^2

L_{20} (برای رانندگی به سمت جنوب) = ۶۵۰۰ cd/m^2

ح) راه شهری با سرعت بالا، رشد ساختمان‌سازی بالا

ادامه شکل ۵-۸

۵-۳-۴- تعیین مقدار روشنایی در طول روز برای نواحی مختلف تونل

۵-۳-۴-۱- ناحیه آستانه

درخشندگی سطح راه در ناحیه آستانه باید با استفاده از درخشندگی ناحیه دسترسی تونل در طول روز به دست آید. طول ناحیه آستانه تونل برابر با فاصله توقف (SSD) است.

درخشندگی ناحیه آستانه (L_{th}) در طول روز در نصف طول آن ناحیه، (از ابتدای ناحیه آستانه تا نصف فاصله توقف (۰٫۵ SSD))، نسبتی از درخشندگی ناحیه دسترسی تونل بوده که از رابطه (۵-۶) محاسبه می‌شود (شکل ۵-۹). مقدار دقیق ضریب k باید از جدول ۵-۶ استخراج گردد.

$$L_{th} = k \times L_{20} \qquad ۶\text{-}۵$$

از آن‌جا که اندازه ورودی تونل در حوزه دید راننده، به طول ناحیه دسترسی بستگی دارد و طول ناحیه دسترسی نیز وابسته به سرعت طرح می‌باشد، لذا می‌توان گفت که مقدار k وابسته به سرعت طرح می‌باشد. علاوه بر این، با توجه به تاثیر شرایط مختلف ترافیک تونل، ضریب k به نوع و حجم ترافیک و در نتیجه کلاس روشنایی تونل نیز وابسته می‌باشد.

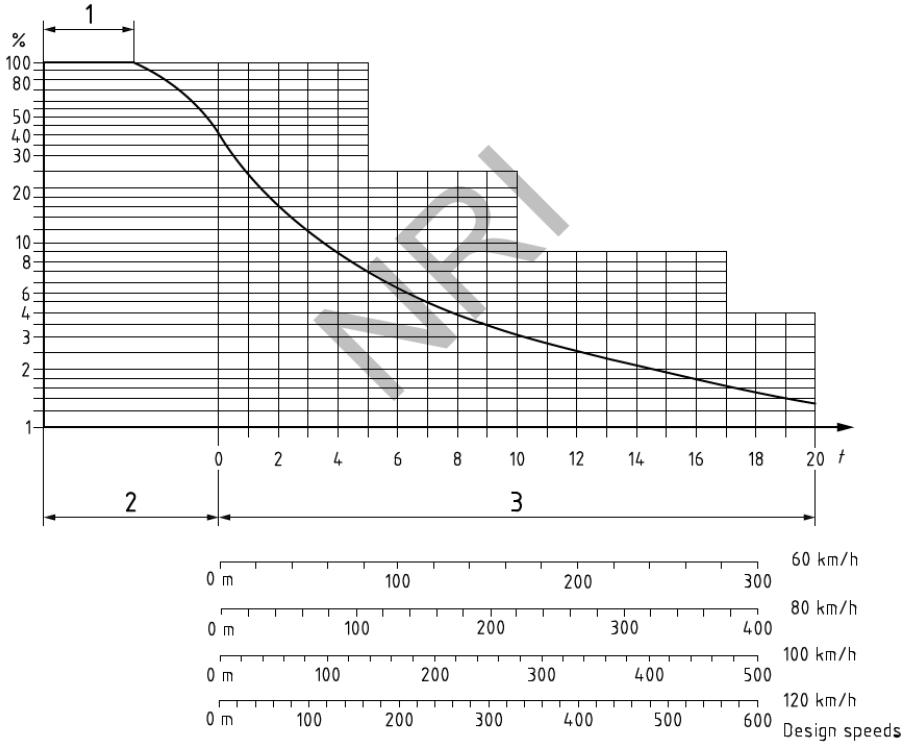
جدول ۵-۶: مقدار **k** برای محدوده‌های مختلف سرعت مجاز و کلاس‌های روشنایی تونل

کلاس روشنایی تونل	مقدار k		
	محدوده سرعت مجاز تا ۶۴٫۳۷ (km/h)	محدوده سرعت مجاز از ۸۰٫۴۶ تا ۹۶٫۵۶ (km/h)	محدوده سرعت مجاز ۱۱۲٫۶۵ (km/h)
۴	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۱۰
۳	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۷
۲	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۵
۱	–	–	–

از نیمه دوم فاصله توقف به سمت جلو در تونل، سطح روشنایی ناحیه آستانه می‌تواند به تدریج و به طور خطی کاهش یابد و در نهایت در انتهای ناحیه آستانه مقدار درخشندگی آن برابر با $۰٫۴L_{th}$ شود. کاهش تدریجی میزان درخشندگی ناحیه آستانه در نیمه دوم فاصله توقف ممکن است به صورت پله‌ای باشد. در هر صورت میزان درخشندگی در این قسمت از ناحیه آستانه، نباید پایین‌تر از مقادیر متناظر با کاهش تدریجی خطی باشد[۱۳].

۵-۳-۴-۲- ناحیه انتقال

در ناحیه انتقال، درخشندگی متوسط سطح راه باید به صورت تدریجی از ناحیه آستانه به سمت ناحیه داخلی تونل کاهش یابد. در هر نقطه‌ای در ناحیه انتقال، درخشندگی آن (L_{tr}) نباید کمتر از درخشندگی نشان داده شده در منحنی شکل ۵-۹ باشد. لازم به ذکر است که ناحیه انتقال از پایان ناحیه آستانه شروع می‌شود. (t=0)



۱: تا نیمی از طول ناحیه آستانه (SSD 0.5) مقدار L_{th} ثابت و برابر ۱۰۰٪ می‌باشد.

۲: فاصله توقف ناحیه آستانه (SSD)

۳: ناحیه انتقال (در این ناحیه منحنی کاهش درخشندگی ممکن است با یک منحنی پله‌ای جایگزین گردد اما مقدار آن در هر پله نباید از مقادیر منحنی پیوسته کمتر شود. در این ناحیه حداکثر نسبت عبور از یک سطح به سطحی دیگر نباید بیش از ۳:۱ باشد).

شکل ۵-۹: منحنی کاهش درخشندگی

۵-۳-۴-۳- ناحیه داخلی

مقدار متوسط درخشندگی سطح راه در ناحیه داخلی(L_{in}) در هر کلاس روشنایی تونل، نباید کمتر از مقادیر نشان داده شده در جدول ۵-۷ باشد[۱۳].

جدول ۵-۷: درخشندگی سطح راه در ناحیه داخلی

کلاس روشنایی تونل	متوسط درخشندگی (cd/m^2)		
	محدوده سرعت مجاز تا ۶۴٫۳۷ (km/h)	محدوده سرعت مجاز از ۸۰٫۴۶ تا ۹۶/۵۶ (km/h)	محدوده سرعت مجاز ۱۱۲٫۶۵ (km/h)
۴	۳	۶	۱۰
۳	۲	۴	۶
۲	۱٫۵	۲	۴
۱	-	۰٫۵	۱٫۵
نکته: مقادیر درخشندگی ذکر شده در این جدول، مقادیر حفظ شده می‌باشند.			

۵-۳-۴-۴- ناحیه خروج

در خروجی تونل، تطابق چشم با نور موجود در محیط بیرون که درخشندگی بیشتری دارد، به سرعت انجام می‌شود به نحوی که برای کمک به تطابق، به نور اضافی نیازی نیست. به همین دلیل هدف از تامین روشنایی در ناحیه خروج عبارتست از:

الف) روشن کردن مستقیم وسایل نقلیه کوچکی که در پشت وسایل نقلیه بزرگتر قرار گرفته و به دلیل وجود پدیده خیرگی به خوبی دیده نمی‌شوند.

ب) فراهم نمودن قابلیت دید وسایل نقلیه پشت‌سر از طریق آینه‌ها برای رانندگانی که در حال خروج از تونل می‌باشند.

اگر در ناحیه خروج روشنایی اضافی ایجاد شود، مقدار درخشندگی سطح جاده در این ناحیه باید حدود $5 \times L_{in}$ شود و طول این ناحیه (برحسب متر (m)) از نظر عددی برابر با سرعت طرح (با واحد کیلومتر بر ساعت (km/h)) باشد.

البته لازم به ذکر است که در تونل‌های دو طرفه، به علت وجود ناحیه آستانه در هر دو طرف آن، روشنایی ناحیه آستانه یک طرف، درخشندگی لازم برای ناحیه خروج طرف دیگر را تامین کرده و در نتیجه ناحیه خروج ندارند. همچنین هنگامی که احتمالا یک تونل یک طرفه در دو جهت استفاده می‌شود (مثلا در حین تعمیر و نگهداری)، روشنایی ناحیه خروج (در صورت ارائه) می‌تواند برای روشنایی ناحیه آستانه جهت دیگر کافی باشد، زیرا این شرایط معمولا مربوط به ترافیک با سرعت کم است.

اگر در ناحیه خروج روشنایی اضافی فراهم نشده باشد، درخشندگی سطح راه باید در مقدار L_{in} باقی بماند.

۵-۳-۵- مقادیر درخشندگی و یکنواختی

در طول روز برای همه نواحی تونل و در تمامی عرض آن از جمله باندهای اضطراری باید مقادیر توصیه شده برای درخشندگی سطح راه تامین شود. این مقادیر درخشندگی، حداقل مقدار مجاز بوده و در صورت افول آنها از این مقادیر، باید سیستم وارد سرویس گردد. همچنین در طول روز، میزان یکنواختی درخشندگی سطح راه در نیمه اول ناحیه آستانه، کل ناحیه داخلی و ناحیه خروجی نیز ، نباید از مقادیر ذکر شده در جدول ۵-۸ کمتر باشد. بدین منظور باید یکنواختی کلی درخشندگی در درون تونل و در تمام عرض راه شامل باندهای حرکتی و باندهای اضطراری (در صورت وجود) محاسبه شود. یکنواختی طولی درخشندگی نیز باید به طور مجزا و برای همه باندهای ترافیکی درون تونل اعم از باندهای اضطراری (در صورت وجود)، محاسبه شود[۱۳].

جدول ۵-۸: یکنواختی درخشندگی سطح راه

کلاس روشنایی تونل	یکنواختی کلی (U_0)	یکنواختی طولی (U_l)
۴	≥۰٫۴	≥۰٫۷
۳	≥۰٫۴	≥۰٫۶
۲	≥۰٫۴	≥۰٫۶
۱	-	-

۵-۳-۶- دیواره‌های تونل

الف- برای تونل‌های کلاس ۴، درخشندگی متوسط قسمتی از دیواره‌های تونل تا ارتفاع ۲ متر، نباید کمتر از درخشندگی متوسط سطح راه در محل متناظر باشد.

ب- برای تونل‌های کلاس‌های ۲ و۳، درخشندگی متوسط قسمتی از دیواره‌های تونل تا ارتفاع ۲ متر، نباید از ۶۰٪ مقدار متوسط درخشندگی سطح راه در محل متناظر کمتر باشد.

ج- برای تونل‌های کلاس ۱، هیچ توصیه‌ای برای درخشندگی دیواره‌ها وجود ندارد، اما برای چنین تونل‌هایی شدت روشنایی متوسط بخشی از دیواره‌های تونل تا ارتفاع ۲ متر، نباید از ۲۵٪ شدت روشنایی متوسط راه کمتر باشد[۱۳].

۵-۳-۷- تعیین سطوح روشنایی شب هنگام تونل

اگر تونل در بخشی از راهی که سیستم روشنایی دارد قرار داشته باشد، درخشندگی و یکنواختی شب هنگام در داخل آن باید حداقل برابر مقدار درخشندگی و یکنواختی راه دسترسی به تونل باشد. اگر روشنایی راه در زمان‌های مشخص تضعیف شود، روشنایی تونل باید از همان سیستم پیروی نماید. اگر روشنایی راه فقط نیمی از شب کار می‌کند، روشنایی تونل باید در تمامی طول شب باقی بماند[۱۳].

اگر تونل، بخشی از یک راه فاقد سیستم روشنایی باشد، به طریق زیر عمل می‌گردد:

الف- برای تونل‌هایی با طول کمتر از ۲۵ متر، معمولا نیازی به سیستم روشنایی نیست.

ب- برای تونل‌هایی با طول بین ۲۵ تا ۲۰۰ متر، اگر سیستم روشنایی در طول روز نصب شده باشد، روشنایی در هنگام شب نیز لازم می‌باشد.

ج- تونل‌هایی با طول بیش‌از ۲۰۰ متر باید در شب روشن گردند و مقدار درخشندگی سطح راه آن‌ها در طول شب نباید کمتر از $1\ cd/m^2$ گردد.

در این گونه راه‌ها (بدون سیستم روشنایی)، اگر تونل دارای سیستم روشنایی باشد می‌بایست بخش کوتاهی از ناحیه دسترسی و ناحیه انفصال نیز روشن گردند. در این صورت، طول این بخش نباید کمتر از فاصله توقف (SSD) باشد مگر اینکه دلایل ویژه‌ای مانند دلایل زیست‌محیطی منجر به کاهش طول شود. همچنین یکنواختی درخشندگی شب هنگام در این گونه تونل‌ها نیز نباید از مقادیر جدول ۵-۸ کمتر باشد[۱۳].

۵-۳-۸- فلیکر یا سوسو زدن

سوسو زدن می‌تواند موجب ناراحتی دید رانندگان شده و در برخی مواقع سبب حمله ناگهانی بیماری صرع شود. این اثر با تغییر متناوب مقدار درخشندگی در حوزه دیده راننده ایجاد می‌شود. رانندگی در تونلی که فاصله نصب چراغ‌های آن صحیح نباشد و یا عبور از ناحیه ورودی تونل با سرندهای نور روز، می‌تواند این اثر را افزایش دهد[۱۳]. مقدار این اثر نامطلوب بستگی به موارد ذیل دارد:

الف- کل مدت زمانی که راننده فلیکر را در تونل تجربه می‌کند؛

ب- کنتراست بین درخشندگی منبع فلیکر و زمینه آن؛

ج- فرکانس سوسو زدن؛

د- سرعت تغییر درخشندگی.

اگر مدت زمان تجربه فلیکر و یا به عبارتی دیگر زمان عبور از میان این ناحیه کمتر از ۲۰ ثانیه باشد، می‌توان از اثر آن صرف‌نظر کرد.

نکته ۱: چراغ‌هایی که دارای آرایش خطی LEDها با فاصله یکنواخت می‌باشند، ممکن است به عنوان چراغ‌های خطی تلقی شوند.

نکته ۲: در مواردی که از چراغ‌های خطی استفاده می‌شود و طول خاموشی بین نواحی چشمک‌زن مجاور در یک ردیف چراغ کمتر از نصف طول چشمک‌زدن یک چراغ است، اثر فلیکر کم است و می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد. در سایر موارد، اثر فلیکر باید با اطمینان از کاهش فرکانس فلیکر به خارج از باند فرکانسی ۲٫۵ تا ۱۵ هرتز، به حداقل برسد[۱۳].

نکته۳: فرکانس فلیکر می‌تواند از تقسیم سرعت حرکت در تونل برحسب متر بر ثانیه بر فاصله نصب چراغ‌ها (مرکز به مرکز) بر حسب متر، محاسبه شود (به عنوان مثال برای سرعت وسیله نقلیه ۱۶٫۸ m/s و فاصله چراغ‌ها برابر با ۴ متر، فرکانس فلیکر ۴٫۲ Hz می‌شود).

۵-۳-۹- خیرگی

خیرگی محدودکننده موجب کاهش قدرت دید می‌شود و باید آن را به حداقل رساند. اگر خیرگی محدودکننده ناشی از سیستم روشنایی تونل کنترل شود، خیرگی آزاردهنده ناشی از آن نیز کنترل خواهد شد. اثر خیرگی محدودکننده را می‌توان به وسیله کمیت آستانه افزایش TI بیان نمود که باید مطابق با بند ۵-۴-۱- محاسبه شود[۱۳].

برای کاهش احتمال رخداد خیرگی محدودکننده، آستانه افزایش (TI) باید مقادیر زیر را داشته باشد:

الف) کمتر از ۱۵٪ برای ناحیه آستانه و ناحیه داخلی تونل در طول روز باشد.

لازم به ذکر است که هیچ توصیه‌ای برای مقدار آستانه افزایش (TI) در ناحیه خارجی در طول روز وجود ندارد.

ب) کمتر از ۱۵٪ برای همه نواحی تونل در هنگام شب باشد.

نکته: برای نواحی آستانه و انتقال با طول کوتاه‌تر، روش محاسبه آستانه افزایش (TI) همیشه مناسب نیست، زیرا ممکن است ناظر در ناحیه‌ای قرار داشته و در حال مشاهده ناحیه دیگری باشد (۶۰ متر جلوتر). ولی اگر ناظر در ناحیه آستانه قرار گرفته باشد و طول ناحیه آستانه هم به اندازه کافی بلند باشد، این روش مناسب است. به همین دلیل برای محاسبه TI فرض می‌گردد که طول تمامی نواحی تونل بی‌نهایت است. حال اگر توصیه‌های مربوط به مقادیر TI برای ناحیه‌ای برقرار باشد، می‌توان فرض کرد که برای تمامی نواحی دیگر تونل نیز در صورتی که از همان نوع چراغ یا سیستم نوری استفاده شده باشد، برقرار است[۱۳].

۵-۳-۱۰- کنترل روشنایی تونل

درخشندگی ناحیه دسترسی تونل با تغییر شرایط روشنایی نور روز تغییر می‌کند. به همین دلیل در طول روز باید مقادیر درخشندگی در ناحیه‌های آستانه و انتقال به صورت خودکار و مطابق با سطح درخشندگی ناحیه دسترسی کنترل شوند. بدین منظور می‌توان از دو نوع سیستم کنترلی استفاده کرد که یکی کلیدزنی گروهی لامپ‌ها بوده و دیگری تضعیف شدت نور آنها است. کنترل نوع دوم، از نظر مصرف انرژی بهتر است.

بهترین راه حل عملی به منظور کنترل خودکار نصب یک درخشندگی‌متر با زاویه اندازه‌گیری ۲۰ درجه می‌باشد. این دستگاه در ورودی تونل و در فاصله توقف (SSD)، در جلوی ورودی تونل قرار می‌گیرد. بنا به دلایل عملی، درخشندگی‌متر معمولا باید در ارتفاع بالاتری نسبت به چشم‌های راننده نصب شود. این تجهیز باید برای استفاده در آن مکان خاص کالیبره شود تا بتواند مقدار صحیح L_{20} را نشان دهد[۱۳].

در شرایطی که داده‌های زمان واقعی در مورد سرعت ترافیک و/یا جریان ترافیک در دسترس است، ممکن است برای کنترل سطوح روشنایی تونل نیز استفاده شود. با این حال تنظیم دینامیک SSD غیر عملی و بنابر این ثابت باقی می‌ماند.

برای جلوگیری از تغییرات گذرای کوتاه‌تر از چند ثانیه در روشنایی تونل، کنترل کلیدزنی یا کاهش شدت نور باید میرا شوند. در صورت استفاده از لامپ‌های تخلیه، میرایی باید به چند دقیقه افزایش یابد.

اگر سیستم کنترلی دارای سطوح مختلف درخشندگی باشد، این مراحل باید طوری تنظیم شوند که علاوه بر کاهش مصرف برق، هزینه‌های سیستم کنترلی نیز بیش‌از حد شود. در این حالت نسبت سطوح درخشندگی در دو مرحله متوالی کنترلی، نباید بیشتر از ۳ به ۱ باشد[۱۳]. همچنین باید به شرط لغو اضطراری در سیستم کنترل روشنایی تونل توجه شود.

۵-۳-۱۱- قطع تغذیه سیستم روشنایی

در حوادثی که منبع تغذیه‌کننده عادی سیستم روشنایی تونل دچار مشکل گردد، باید یک منبع تغذیه بی‌وقفه اضطراری موجود باشد تا چراغ‌های اضطراری سیستم را روشن نگه دارد و به کاربران تونل این فرصت را بدهد که در ایمنی کامل، با وسایل نقلیه خود از تونل خارج شوند. معمولا از هر سه چراغ شب در تونل یکی به عنوان روشنایی اضطراری استفاده

می‌شود. مقدار شدت روشنایی متوسط تونل در هنگام بروز عیب در تغذیه سیستم روشنایی، نباید کمتر از ۱۰ لوکس باشد و سطح روشنایی در هر نقطه در درون تونل نیز نباید کمتر از ۲ لوکس باشد[۱۳].

۵-۴- اندازه‌گیری و محاسبات روشنایی تونل

۵-۴-۱- محاسبات

هنگام طراحی روشنایی تونل، باید مقادیر درخشندگی و ضرایب یکنواختی محاسبه شوند. این مقادیر باید مطابق فصل۴ بدست آیند. البته باید توجه کرد که در این حالت، فاصله نقاط محاسباتی نباید کمتر از ۱ متر باشد[۱۳].

اگر چه طراحی سیستم روشنایی در تونل‌ها بر اساس مقادیر درخشندگی می‌باشد، اما مقادیر شدت روشنایی نیز باید در مستطیل محاسباتی محاسبه شوند، به گونه‌ای که شدت روشنایی‌های محاسبه شده، قابل مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت مستقیم باشند. باید توجه داشت که در این حالت، فاصله نقاط محاسباتی نباید کمتر از ۱ متر باشد. علاوه بر این جهت محاسبه درخشندگی دیواره، نقاط محاسباتی باید روی دیواره‌های تونل به ارتفاع ۰٫۵ و ۱٫۵ متری هم‌راستا با ردیف‌های عرضی نقاط محاسباتی روی راه در نظر گرفته شوند. درخشندگی دیواره‌ها باید از طریق مقادیر شدت روشنایی محاسبه شده و انعکاس دیواره‌ها با استفاده از روابط (۵-۷) و (۵-۸) محاسبه شود[۱۳].

شدت روشنایی دیوار $$E_w = \frac{I_w \times \cos\varepsilon^2 \times \sin\varepsilon \times \cos\alpha \times \varphi \times MF}{(H_L - P)^2}$$ ۵-۷

درخشندگی دیوار $$L_w = \frac{\rho_{dif} \times E_w}{\pi}$$ ۵-۸

در روابط فوق:

E_W: حداقل شدت روشنایی عمودی در نقطه محاسباتی بر حسب لوکس (Lux)؛

I_W: شدت نور در جهت نقطه محاسباتی بر حسب کاندل بر کیلولومن (cd/klm)؛

ε: زاویه برخورد نور به صفحه افقی در نقطه محاسباتی بر حسب درجه (°)؛

α: زاویه بین صفحه عمودی محتوی مسیر نور تابشی و صفحه عمودی در زاویه قائم به دیوار در نقطه محاسبه بر حسب درجه (°) ؛

Φ: شار نوری اولیه لامپ یا لامپ‌های چراغ بر حسب کیلولومن (klm)؛

MF: ضریب نگهداری؛

H_L: ارتفاع نصب چراغ بر حسب متر (m)؛

P: ارتفاع نقطه محاسباتی بالای سطح راه بر حسب متر (m)؛

L_W: حداقل درخشندگی دیواره بر حسب کاندل بر متر مربع (cd/m2)؛

ρ_{dif}: ضریب انعکاس پراکنده دیوار.

نکته: در این محاسبات فرض شده است که دیواره بر مستطیل محاسباتی عمود است، بنابراین از اشتباهات ناشی از خمیدگی دیواره صرف‌نظر شده است. همچنین نوع سطح راه و ضریب انعکاس پراکنده دیواره، معمولا توسط طراح یا مجری تونل ارائه می‌شود.

محاسبات در هر نقطه با در نظر گرفتن مشارکت همه چراغ‌ها در داخل فاصله ($12 \times H_L$) در همه جهات نسبت به آن نقطه محاسباتی انجام می‌شود. میزان نور خروجی از لامپ نیز که در محاسبات استفاده می‌گردد، باید برابر با مقدار روشنایی اولیه لامپ که معادل با ۱۰۰ ساعت کارکرد آن می‌باشد، منظور گردد. همچنین هنگام محاسبه مقادیر شدت روشنایی و درخشندگی، باید ضریب نگهداری (MF) لامپ‌های LED برابر ۰/۹ و برای بقیه لامپ‌ها برابر ۰/۷ در نظر گرفته شود، مگر اینکه اطلاعات جزئی‌تری از ضرایب استهلاک چراغ و لامپ با توجه به روش نگهداری در نظر گرفته شده، در موقع طراحی سیستم در دسترس باشد. در این صورت می‌توان ضریب نگهداری دقیق‌تری را محاسبه نمود.

۵-۴-۲- اندازه‌گیری‌ها

مشکلات عملی و عدم قطعیت‌های زیادی در دقت اندازه‌گیری‌های انجام شده از سیستم روشنایی تونل‌ها وجود دارد. مقدار درخشندگی به ضریب انعکاس (R) سطح راه و دیواره‌های تونل وابسته می‌باشد. معمولا طراح، جدول R را طوری انتخاب می‌کند که منطبق با مشخصات سطح راه باشد؛ اما از آن‌جا که عملکرد سطح راه با توجه به از دست رفتن ویژگی‌های مواد با گذشت زمان تغییر می‌کند، اغلب اختلاف قابل توجهی بین جدول R انتخاب شده و عملکرد واقعی سطح راه وجود دارد. به طور مشابه بازتابش دیواره‌ها نیز معمولا مقداری تقریبی است.

نظر به آنچه که گفته شد به منظور مقایسه سیستم روشنایی نصب شده با مقادیر حاصل شده در بخش ۵-۳- ، شدت روشنایی و درخشندگی هر دو اندازه‌گیری می‌شوند. مقادیر درخشندگی بیانگر کیفیت دید راننده در داخل تونل می‌باشند، اما مقدار شدت روشنایی اندازه‌گیری شده باید با مقدار شدت روشنایی محاسبه شده مقایسه شود تا طراحی سیستم روشنایی بازبینی گردد.

نتایج محاسبات، مقادیر حداقلی هستند که با توجه به اعمال ضریب نگهداری چراغ و ضریب کاهش شار نوری (لومن) لامپ بدست می‌آیند. برای مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده، همه مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با استفاده از ضرایب زیر به مقادیر معادل اولیه تبدیل می‌شوند:

الف- ضرایب محاسبات طراحی

ب- ضرایب استهلاک مناسب متناظر با دوره بهره‌برداری لامپ‌ها و شرایط فعلی چراغ‌ها.

به دلیل عدم وجود دقت کافی در اندازه‌گیری شدت روشنایی، عدم قطعیت زیادی وجود دارد. راهنمای کمّی این عدم قطعیت‌ها در اندازه‌گیری مقدار شدت روشنایی در پیوست ۴ ارائه شده است.

دستگاه‌های اندازه‌گیری درخشندگی و شدت روشنایی که برای سنجش مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید به ترتیب مطابق با BS 667 و BS 7920 باشند.

اندازه‌گیری‌ها باید زمانی انجام شوند که سیستم روشنایی طراحی شده برای استفاده کاملا آماده و نصب شده باشد و همچنین بازدیدهای چشمی جهت حصول اطمینان از انطباق نوع، موقعیت و جهت چراغ‌ها با طراحی، انجام شده باشد. هنگام اندازه‌گیری باید دیواره‌ها، چراغ‌ها و سطح راه کاملا خشک و تمیز و در شرایط مناسب قرار داشته باشند. تونل باید خالی از رفت و آمد و هر نوع فعالیت دیگری باشد[۱۳].

همه اندازه‌گیری‌ها باید در طول ساعات تاریکی انجام شوند تا از نفوذ نور روز جلوگیری شود. به‌علاوه برای اندازه‌گیری‌های روشنایی باید اطلاعات زیر ثبت شوند:

الف- ولتاژ متوسط تغذیه در طول دوره اندازه‌گیری؛

ب- حداقل مقدار ولتاژ تغذیه در طول دوره اندازه‌گیری؛

ج- دمای محیط؛

د- شرایط سطح راه و دیواره‌های تونل؛

ه- عمر لامپ‌ها بر حسب ساعات بهره‌برداری.

در این اندازه‌گیری‌ها ولتاژ و دمای محیط در حد امکان باید محدود به چراغ‌های مربوطه باشد.

۵-۴-۲-۱- نواحی انتقال و آستانه

در هر ناحیه فقط یک ردیف نقاط اندازه‌گیری در عرض راه، تقریبا در فاصله یک سوم طول ناحیه مورد مطالعه از نقطه شروع آن که منطبق با یک ردیف از نقاط محاسباتی می‌باشد، در نظر گرفته می‌شود. موقعیت ناظر باید در فاصله ۶۰ متر عقب‌تر از ردیف نقاط اندازه‌گیری باشد.

هر ردیف از نقاط اندازه‌گیری باید شامل دو نقطه محاسباتی در بیرون از هر باند ترافیکی و باند اضطراری و دو نقطه بر روی هر دیواره در ارتفاع ۰٫۵ و ۱٫۵ متری باشد[۱۳].

اندازه‌گیری مقادیر شدت روشنایی و درخشندگی باید برای پله‌های مختلف روشنایی تونل انجام گیرد.

در نواحی انتقال و آستانه معمولا لزومی به تعیین یکنواختی از طریق اندازه‌گیری نمی‌باشد، به این دلیل که برای تامین مقدار درخشندگی بالای مورد نیاز در این نواحی، الزام به نصب چراغ‌ها در فاصله کمی از هم وجود داشته و خودبه‌خود یکنواختی لازم تامین می‌گردد.

فرآیند پیشنهاد شده در بالا برای سیستم‌های روشنایی تونل‌هایی مناسب است که پله‌های مختلف درخشندگی مورد نیاز در آن‌ها از طریق کلیدزنی لامپ‌ها یا چراغ‌های انتخاب شده به‌دست می‌آید. در این میان در برخی از سیستم‌های روشنایی تونل‌ها از همه لامپ‌ها و چراغ‌ها بهره‌برداری می‌شود و برای دستیابی به سطوح مختلف درخشندگی در آن‌ها، از سیستم تضعیف شدت نور جهت فراهم نمودن تنظیم مداوم نور خروجی لامپ‌ها استفاده می‌شود. در این نوع سیستم‌ها، اندازه‌گیری باید با تنظیم سیستم کنترلی در دو حالت زیر انجام گیرد:

الف) نور ۱۰۰٪ ؛

ب) در اولین سطح عملی L_{20}.

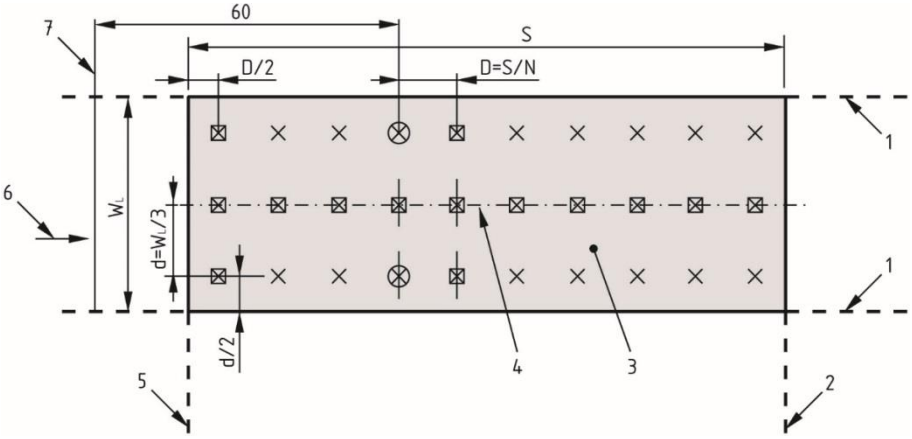
۵-۴-۲-۲- ناحیه داخلی

مستطیل اندازه‌گیری باید ثابت و شروع آن تقریبا از نقطه‌ای در فاصله یک سوم طول ناحیه از ابتدای آن باشد و همچنین باید منطبق بر مستطیل محاسباتی بین دو چراغ (یا دو جفت چراغ در صورتی که هر دو چراغ خارج از محور مرکزی نصب شده باشند یا از چراغ‌های نصب شده در بالای دیوار استفاده گردد) باشد.

اندازه‌گیری درخشندگی و شدت روشنایی باید برای هر باند ترافیکی و هر باند اضطراری در نقاط مشخص شده در شکل ۵-۱۰ انجام شود. علاوه بر این باید شدت روشنایی و درخشندگی بر روی دیواره‌های تونل، هم‌راستا با ردیف‌های ۱ و ۵ در شکل ۵-۱۰ در ارتفاع ۰٫۵ متری و ۱٫۵ متری نیز اندازه‌گیری شود. موقعیت ناظر باید در فاصله طولی نشان داده شده در شکل ۵-۱۰ باشد.

اندازه‌گیری باید برای مقادیر شدت روشنایی و درخشندگی تونل در شب و روز انجام گیرد.

اگر نوع و آرایش چراغ‌ها و لامپ‌های استفاده شده برای سیستم روشنایی شب هنگام تونل در نواحی آستانه و انتقال همانند ناحیه داخلی باشد، مقادیر اندازه‌گیری شده در ناحیه داخلی برای تمام نواحی‌ها قابل قبول و موثق است. اگر نوع و آرایش چراغ‌ها و لامپ‌ها در هر یک از این نواحی متفاوت باشد، اندازه‌گیری مقادیر مربوطه برای شب هنگام باید در نواحی دیگر نیز انجام شود[۱۳].



۱ : لبه باند حرکت
۲ : خط مرکزی آخرین چراغ در مستطیل محاسباتی
۳ : مستطیل محاسباتی
۴ : خط مرکزی باند حرکت
۵ : خط مرکزی اولین چراغ در مستطیل محاسباتی
۶ : جهت دید ناظر
۷ : موقعیت طولی ناظر
× : نقاط محاسباتی
○ : نقاط اندازه‌گیری درخشندگی
□ : نقاط اندازه‌گیری شدت روشنایی

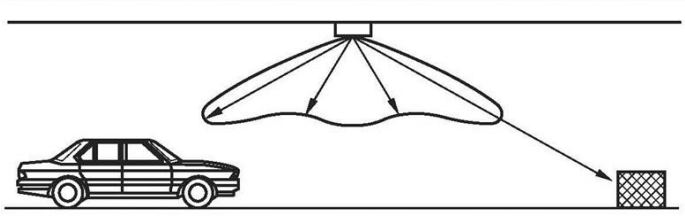
شکل ۵-۱۰: نقاط اندازه‌گیری در ناحیه داخلی

۵-۵- انواع سیستم‌های روشنایی تونل

به‌طور رایج، از دو نوع سیستم روشنایی مصنوعی جهت تامین روشنایی استفاده می‌شود. سیستم اول، سیستم متقارن است که کنتراست ترکیبی مثبت و منفی ایجاد می‌کند و سیستم دوم، سیستم روشنایی در خلاف جهت ترافیک است که کنتراست منفی ایجاد می‌کند. عبارت‌های "متقارن" و " خلاف جهت ترافیک" مربوط به پخش نور چراغ‌های استفاده شده در هر دو سیستم است.

۵-۵-۱- سیستم روشنایی متقارن

سیستم روشنایی متقارن متشکل از چراغ‌هایی است که پخش نور آن‌ها به گونه‌ای است که در صفحه عمودی محوری تونل، متقارن می‌باشد. (شکل ۵-۱۱). سیستم روشنایی متقارن می‌تواند کنتراست خوبی بین اشیاء روی راه و سطح زمینه راه ایجاد کند و به رویت سایر وسایل نقلیه‌ای که در همان جهت حرکت می‌کنند، کمک کند. این سیستم زمانی که تونل دوطرفه است و همچنین در کاربری‌های عادی تونل یا در دوره تعمیر و نگهداری مفید است. برای سیستم‌های روشنایی متقارن، محاسبه ضریب وضوح کنتراست (q_c) لازم نیست[۱۳].



شکل ۵-۱۱: سیستم روشنایی متقارن

۵-۵-۲- سیستم روشنایی در خلاف جهت ترافیک

این سیستم دارای چراغ‌هایی می‌باشد که پخش نور آن‌ها به‌گونه‌ای است که نور را به ترافیکی که به سمت چراغ در حرکت است، می‌تابانند که کاملا نامتقارن است (شکل ۵-۱۲). سیستم روشنایی خلاف جهت ترافیک، در حالت عادی کنتراست بالایی بین اشیا و زمینه سطح راه ایجاد می‌کند. در مواقعی که سطح راه از نوع براق باشد (C2, R4, R3)، درخشندگی ایجاد شده معمولا از درخشندگی حاصل از سیستم روشنایی متقارن خیلی بزرگتر است. برای سیستم‌های خلاف جهت ترافیک، معمولا حداقل مقدار ضریب وضوح کنتراست (q_c)، ۰٫۶ در نظر گرفته می‌شود[۱۳].

سیستم خلاف جهت ترافیک می‌تواند دارای اشکالات زیر باشد:

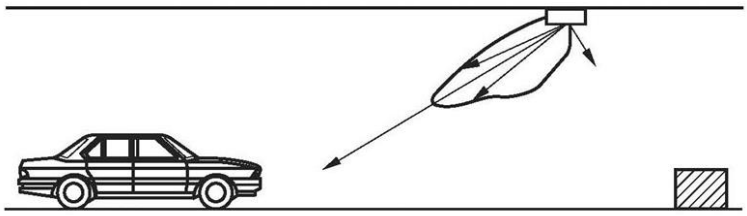
الف- ممکن است برای تونلی با نفوذ نور روز بالا مناسب نباشد؛

ب- می‌تواند برای تونل‌هایی با حجم ترافیکی بالا یا برای تونل‌هایی با درصد بالای وسایل نقلیه سنگین، اثر کمتری داشته باشد؛

ج- ممکن است برای تونل‌های دوطرفه مناسب نباشد؛

د- ممکن است درخشندگی لازم روی دیواره‌های تونل تامین نگردد؛

هـ- ممکن است توانایی دید عقب رانندگان را زمانی که در آینه اتومبیل نگاه می‌کنند، کاهش دهد[۱۳].



شکل ۵-۱۲: سیستم روشنایی خلاف جهت ترافیک

۵-۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل، الزامات روشنایی تونل‌ها بررسی شده و مباحثی همچون شرایط تونل، طراحی روشنایی تونل و محاسبه و اندازه‌گیری مربوطه ارائه شد.

فصل ۶

توصیه‌های عمومی ایمنی و نگهداری سیستم روشنایی راه‌ها

مقدمه

در طی طول عمر تاسیسات روشنایی، نور چراغ‌ها کاهش می‌یابد. میزان این کاهش، تابعی از شرایط محیطی، نحوه عملکرد و عمر تجهیز می‌باشد. بنابراین در طراحی روشنایی باید این افت را به گونه‌ای مدل کرد. به همین منظور در طراحی سیستم‌های روشنایی این کار با استفاده از ضریب نگهداری انجام می‌شود. این ضریب هر چه بزرگتر بوده و به یک نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده اختلاف کوچکتر بین حداقل و حداکثر روشنایی راه می‌باشد. به همین دلیل باید در طول زمان بهره‌برداری، کاهش نور تاسیسات روشنایی را با اجرای برنامه‌های تعمیر و نگهداری مناسبی که مشتمل بر نظافت چراغ‌ها و تعویض لامپ‌ها می‌باشد، کمتر نمود تا این ضریب بزرگتر باشد. در این برنامه علاوه بر تعویض لامپ‌ها و نظافت چراغ‌ها، جایگزینی قطعات معیوب، بررسی واشرها و تجهیزات نوری و نظارت بر تاسیسات روشنایی نیز انجام می‌شود.

در خصوص نظافت چراغ‌ها لازم به ذکر است که با انجام آن هر چند استهلاک برخی از اجزای چراغ کاهش می‌یابد، اما استهلاک برخی دیگر از اجزای آن دائمی بوده و به مرور زمان حتی بیشتر نیز می‌شود. این نرخ استهلاک به کیفیت مواد اولیه و درجه حفاظت (IP) چراغ بستگی دارد. به همین دلیل گاهی برای بهبود عملکرد نوری چراغ، سیستم نوری و یا حتی کل آن تعویض می‌شود.

در خصوص تعویض لامپ‌ها نیز روش‌های مختلفی وجود دارد. انتخاب روش مناسب برای انجام این کار با مقایسه هزینه تعویض لامپ‌های سوخته با هزینه تعویض گروهی آنها صورت می‌پذیرد.

در این فصل، فاکتورهای مختلف موثر بر کاهش نور تجهیزات معرفی می‌شود و داده‌های اندازه‌گیری شده تجربی در اختیار کاربر قرار می‌گیرد تا به کمک آن‌ها بتواند ضرایب نگهداری انواع سیستم‌ها را استخراج نماید. ضرایب نگهداری استخراج شده باید در محاسبات طراحی روشنایی استفاده شوند. همچنین روش‌هایی برای تخمین دوره‌های زمانی تعمیر و نگهداری اقتصادی و توصیه‌هایی برای تکنیک‌های نظافت تجهیزات بیان می‌شود. با توجه به این که در روشنایی راه‌ها، سازه‌های مکانیکی پایه چراغ از اهمیت قابل توجهی در عملکرد کل تاسیسات برخوردار بوده و دارای فاکتورهای ایمنی مهم مربوط به خود می‌باشند، تعمیرات و نگهداری آن‌ها نیز در این فصل پوشش داده شده است. با توجه به ملاحظات کاری و محیطی، نگهداری و تنظیم صحیح چراغ نیز یک فاکتور مهم می‌باشد که توضیحات لازم برای آن نیز ارائه می‌شود.

۶-۱- تعاریف و اصطلاحات

۶-۱-۱- ماده شستشو

ماده‌ای که برای زدودن آلودگی استفاده می‌شود.

۶-۱-۲- تعویض گروهی لامپ‌ها

تعویض تعداد زیادی از لامپ‌ها در یک زمان مشخص در تاسیسات روشنایی می‌باشد.

۶-۱-۳- شدت روشنایی اولیه

شدت روشنایی متوسط اولیه لامپ بر روی یک سطح مرجع، هنگامی‌که سیستم تازه نصب شده و سطوح تمیز می‌باشند.

۶-۱-۴- شار نوری اولیه

شار نوری که بعد از ۱۰۰ ساعت کارکرد لامپ در شرایط مرجع اندازه‌گیری می‌شود.

۶-۱-۵- کد IP

درجه حفاظت محفظه داخلی چراغ در مقابل ورود گرد و غبار و رطوبت را کد IP می‌نامند.

۶-۱-۶- حداقل مقدار مجاز درخشندگی یا شدت روشنایی

شدت روشنایی/درخشندگی متوسط بر روی سطح مرجع که مقدار پایین‌تر از آن مجاز نیست و باید عملیات نگهداری در این شرایط انجام شود.

۶-۱-۷- دوره تناوب نگهداری

فاصله زمانی تعویض لامپ‌ها و/ یا تمیز کردن لامپ‌ها و چراغ‌ها می‌باشد.

۶-۱-۸- متوسط عمر نامی لامپ

متوسط دوره زمانی که بعد از آن، ضریب بقای لامپ در شرایط مرجع به کمتر از ٪۵۰ می‌رسد.

۶-۱-۹- تعویض نقطه‌ای (لامپ‌ها)

تعویض تکی لامپ‌هایی که سوخته‌اند.

۶-۱-۱۰- ضریب نگهداری لومن لامپ (LLMF)

نسبت شار نوری خروجی لامپ پس از زمان مشخص در طول عمر، به شار نوری اولیه آن است. برای لامپ‌های تخلیه‌ای، شار نوری اولیه معمولا پس از ۱۰۰ ساعت تعیین می‌شود.

۶-۱-۱۱- ضریب بقا لامپ (LSF)

کسری از تعداد کل لامپ‌ها که در طی یک زمان مشخص و تحت شرایط و فرکانس کلیدزنی مشخص به کار خود ادامه می‌دهند.

۶-۱-۱۲- ضریب نگهداری چراغ (LMF)

نسبت مقدار نور خروجی از چراغ پس از زمان مشخص به مقدار نور خروجی اولیه آن.

۶-۱-۱۳- ضریب نگهداری (MF)

نسبت بین مقدار درخشندگی/شدت روشنایی منبع نور پس از زمان مشخص به درخشندگی/شدت روشنایی اولیه آن را نامند.

۶-۱-۱۴- ضریب نگهداری سطح (SMF)

نسبت قابلیت بازتاب نور از سطح در یک زمان مشخص به قابلیت بازتاب اولیه آن.

۶-۲- معرفی ضریب نگهداری

درخشندگی/شدت روشنایی اولیه‌ای که توسط تاسیسات روشنایی فراهم می‌شود، در طی طول عمر تاسیسات روشنایی به مرور زمان کاهش می‌یابد. جهت اعمال کردن این کاهش در طراحی، از "ضریب نگهداری" استفاده می‌شود که به شکل زیر تعریف می‌گردد:

نسبت درخشندگی/شدت روشنایی متوسط در یک سطح مشخص بعد از یک دوره زمانی بکارگیری یک تجهیز روشنایی، به درخشندگی/شدت روشنایی متوسط بدست آمده تحت همان شرایط برای همان تجهیز در هنگام نو بودن آن را "ضریب نگهداری" گویند. عبارت "ضریب استهلاک" برای مقدار عکس این عبارت استفاده می‌شود.

لازم به ذکر است که در طراحی روشنایی، یکی از معیارها حداقل مقدار درخشندگی/شدت روشنایی متوسط در راه بوده که با فرض انجام برنامه تعمیرات و نگهداری در«دوره زمانی مشخص» و با اعمال ضرایب نگهداری حاصل می‌گردد. در مورد فاکتورهای مربوط به خیرگی و نور مزاحم (مانند TI)، طراحی روشنایی با مقادیر اولیه (حداکثر) پارامترها صورت پذیرفته و در نتیجه ضریب نگهداری برای آن اعمال نمی‌گردد.

۶-۳- اهمیت و لزوم نگهداری تجهیزات روشنایی راه‌ها

تمامی طرح‌های روشنایی با گذشت زمان از لحظه بهره‌برداری به صورت تصاعدی کم نور می‌شوند. این کاهش نور عمدتا یا به خاطر تجمع گرد و خاک و کثیفی بر روی تمامی سطوح لامپ‌ها و چراغ‌های در معرض آلودگی‌ها بوده که باعث کاهش شفافیت یا قدرت بازتاب نور می‌شود و یا به دلیل تنزل در شار نوری خروجی لامپ و نقص عملکرد آنها می‌باشد. به همین دلیل در صورت جلوگیری نکردن از این مسائل، نور خروجی لامپ‌های موجود در تاسیسات بسیار کم شده و روشنایی مربوطه ضعیف خواهد شد(شکل ۶-۱). این کاهش نور از آنجا که به صورت تدریجی می‌باشد، ممکن است به صورت

لحظه‌ای قابل تشخیص نباشد، اما کاهش تدریجی آن با گذشت زمان، مشکلاتی را برای کاربران راه‌های مجاور سیستم روشنایی ایجاد می‌کند[۱۴].

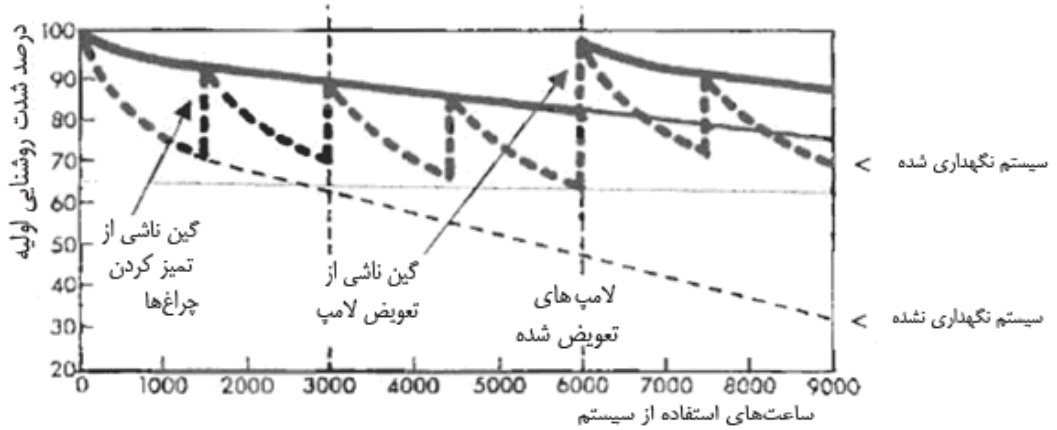
برای داشتن یک سیستم روشنایی کارآمد، نگهداری صحیح این سیستم ضروری است. سیستم‌های روشنایی نه‌تنها باید به شکل صحیح و کامل تمیز شوند، بلکه نظافت آن‌ها باید در بازه‌های زمانی مرتب انجام شود. یک برنامه نگهداری که به خوبی طراحی شده باشد، درخشندگی/شدت روشنایی نور موردنظر را حفظ می‌کند، هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه‌های عملکردی را کاهش می‌دهد و موجب عملکرد ایمن سیستم می‌شود. همچنین امنیت و ایمنی رضایت بخشی را برای مصرف‌کنندگان تضمین می‌نماید. با این وجود، حتی با داشتن یک برنامه نگهداری که به خوبی طراحی و به کار گرفته شود، مقداری اتلاف نور به خاطر تضعیف تجهیزات با گذشت زمان بوجود خواهد آمد. این اتلاف باید در زمانی که طرح روشنایی ارائه می‌شود تخمین زده شده و به صورت یک ضریب در قالب ضریب نگهداری در محاسبات طراحی روشنایی لحاظ شود. همچنین در طراحی روشنایی راه‌های واقع در تونل‌های محل عبور عابرین پیاده، وسایل نقلیه و یا زیرگذرها، بدلیل تاثیر آلودگی دیوارها و سقف در میزان روشنایی، فاصله زمانی تمیز کردن آنها نیز مهم بوده و می‌تواند مد نظر قرار گیرد.

۶-۴- عوامل موثر بر ضریب نگهداری

عوامل مختلفی موجب کاهش نور خروجی سیستم روشنایی می‌شوند. این عوامل به دو دسته استهلاک غیر قابل بازیابی و قابل بازیابی تقسیم می‌شوند.

عوامل استهلاک غیر قابل بازیابی نظیر طول عمر، ویژگی ذاتی سیستم روشنایی و محیط آن می‌باشند و با نگهداری معمولی، این استهلاک بهبود نیافته و یا ترمیم آن اقتصادی نمی‌باشد. به همین دلیل در مرحله تعیین خصوصیات یک سیستم روشنایی، این عوامل در برنامه تعمیر و نگهداری در نظر گرفته می‌شوند. همچنین اثر سایر عوامل نظیر ولتاژ، فرکانس، دما و بالاست، که دائمی و مهم می‌باشند باید در مرحله طراحی تخمین زده شده و در محاسبات لحاظ گردند. از اثر اتفاقات تصادفی نیز مشروط بر عدم ایجاد اختلال در عملکرد سیستم روشنایی می‌توان چشم‌پوشی نمود.

عوامل استهلاک قابل بازیابی نیز مانند نگهداری لومن لامپ، میزان بقای لامپ و نگهداری چراغ می‌باشند که در طی برنامه نگهداری معمولی و با عوض کردن لامپ‌ها، نظافت و تعویض اجزای سیستم روشنایی بهبود می‌یابند. به عنوان مثالی از نحوه ترمیم عوامل استهلاک قابل بازیابی در یک برنامه نگهداری می‌توان به شکل ۶-۱ اشاره کرد. در این شکل به وضوح مشخص شده که در یک سیستم روشنایی نگهداری نشده، نور خروجی در طی سه سال (با فرض ۳۰۰۰ ساعت بهره‌برداری سالیانه) به میزان تقریبی ٪۶۵ مقدار اولیه افت کرده ولی با نگهداری جامع از این سیستم، روند کاهش در ٪۳۵ متوقف می‌شود[۱۴].



شکل ۶-۱: تاثیر برنامه نگهداری

نکته- زمانی که استهلاک غیر قابل بازیابی به علت عمر تجهیز و یا تغییر رنگ آن رخ دهد، نمی‌توان تجهیز را به شرایط اصلی خود بازگرداند و ممکن است تعویض پوشش خارجی و یا کل چراغ ضروری باشد. چنین موردی عمدتا برای چراغ‌هایی که در فضای پر از گرد و غبار و یا روغنی قرار دارند، رخ می‌دهد. در چنین مواردی در نظر گرفتن چراغ‌های درزگیری شده با درجه IP بالا (برای مثال IP6X) در مرحله طراحی، مفید می‌باشد.

۶-۴-۱- فاصله‌های زمانی بازرسی و ثبت عملکرد

بازرسی و ثبت مرتب عملکرد تاسیسات روشنایی با وجود هزینه‌بر بودن، به دلیل بهبود ضریب نگهداری سیستم موجب صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌شود. چنین بازرسی‌هایی ممکن است منجر به ایجاد تغییرات در روند نگهداری شوند تا اطمینان حاصل شود که معیارهای روشنایی سیستم در تمامی زمان‌ها حفظ می‌گردد.

۶-۴-۲- برنامه‌های نگهداری

برنامه منظم شستشوی سطوح داخلی و خارجی برای تجهیزات روشنایی از عوامل موثر بر ضریب نگهداری می‌باشد. تعداد تکرارهای متناوب این برنامه به موارد زیر بستگی دارد:

الف) نوع آلودگی محیط

ب) درجه حفاظت تجهیزات نوری

مهمترین تجهیز نوری چراغ می‌باشد که با درجه حفاظت IPXX و بر اساس قابلیت ممانعت از ورود گرد و غبار و رطوبت به محفظه چراغ دسته‌بندی می‌شود. در این درجه‌بندی، عدد اول، اندازه ذرات (گرد و غبار ریز یا سنگریزه درشت) را نشان می‌دهد. هرچه عدد بزرگتر باشد، ذرات کوچک‌تری امکان ورود به محفظه را دارند. عدد دوم نیز درجه محافظت در مقابل نفوذ رطوبت، از پاشیده شدن غیر مستقیم به صورت فورانی پرفشار تا غوطه‌وری کامل را نشان می‌دهد. هر چه این عدد بزرگتر باشد، میزان نفوذ رطوبت کمتر و درزبندی بهتری را مشخص می‌کند.

برای چراغ، بخصوص اگر در محیط‌هایی با آلودگی متوسط/بالا استفاده شود، نوع IP4X تعیین می‌گردد[۱۴].

۶-۵- عوامل موثر بر اتلاف نور

عوامل مختلفی در اتلاف روشنایی تاثیرگذار می‌باشند، ولی مقدار تاثیر هر یک از آن‌ها با نوع لامپ، چراغ، هندسه تاسیسات و محیط تغییر می‌کند. در این میان، یکی از مهمترین عوامل، میزان و نوع آلودگی هوا در مناطق مختلف می‌باشد. به عنوان مثالی در این خصوص می‌توان به میزان آلودگی در مرکز یک شهر صنعتی اشاره کرد که بالاتر از میزان آن در یک روستاست و یا به اثر گرد و غبار خشک در یک معدن سنگ اشاره کرد که با شاخ و برگ محصولات کشاورزی و حشرات در یک مسیر پر رفت و آمد روستایی متفاوت می‌باشد. به همین دلیل هنگام تعیین انواع چراغ‌ها و ملزومات نگهداری آن‌ها باید به این تفاوت‌ها توجه گردد.

۶-۵-۱- کاهش لومن لامپ

نور خروجی از تمامی لامپ‌ها در طول مدت زمان بهره‌برداری از آنها کاهش می‌یابد. نرخ دقیق این کاهش به نوع لامپ و سیستم بالاست آن بستگی دارد. این کاهش، با تعویض مکرر لامپ‌های سوخته و یا با تعویض گروهی آنها بهبود می‌یابد. در جدول ۶-۱ برای هفت نوع لامپ مختلف، این کاهش در قالب ضرایب نوعی نگهداری لامپ آورده شده که در موقع طراحی روشنایی استفاده می‌گردند. برای سایر لامپ‌ها نیز این ضریب از تولیدکنندگان مربوطه دریافت می‌شود[۱۴].

جدول ۶-۱: ضرایب نگهداری لومن لامپ (**LLMF**)

زمان کارکرد (هزار ساعت)	نوع لامپ						
	FS*	FD		L	Q	M	S
		(Hph)	(Tph)				
۴	۰٫۹۱	۰٫۸۲	۰٫۹۵	۰٫۹۸	۰٫۸۷	۰٫۸۲	۰٫۹۸
۶	۰٫۸۸	۰٫۷۸	۰٫۹۴	۰٫۹۶	۰٫۸۳	۰٫۷۸	۰٫۹۷
۸	۰٫۸۶	۰٫۷۴	۰٫۹۳	۰٫۹۳	۰٫۸۰	۰٫۷۶	۰٫۹۴
۱۰	۰٫۸۵	۰٫۷۲	۰٫۹۲	۰٫۹۰	۰٫۷۸	۰٫۷۴	۰٫۹۱
۱۲	۰٫۸۴	۰٫۷۱	۰٫۹۱	۰٫۸۷	۰٫۷۶	۰٫۷۳	۰٫۹۰

* این مقادیر مربوط به دمای ۲۵ °C می‌باشند.

در جدول ۶-۲ نام لامپ‌هایی که در جدول ۶-۱ به صورت مخفف استفاده شده‌اند، فراهم شده است.

جدول ۶-۲: نام کامل لامپ‌ها به همراه علائم اختصاری آنها

FD	فلورسنت لوله‌ای	S	بخار سدیم پر فشار
FS	فلورسنت فشرده	M	متال هالید
L	بخار سدیم کم فشار	Q	بخار جیوه پرفشار
Hph	هالوفسفات	Tph	تری فسفر

۶-۵-۲- ضریب بقای لامپ

بقای لامپ، احتمال تداوم عملکرد یک لامپ برای مدت زمانی مشخص می‌باشد. نرخ بقا به نوع لامپ و به خصوص در مورد لامپ‌های تخلیه‌ای به توان، فرکانس کلیدزنی و سیستم بالاست آن‌ها بستگی دارد. لامپ‌های معیوب سبب کاهش شدت روشنایی و غیر یکنواختی نور در یک طرح روشنایی می‌شوند. این اثر با تعویض نقطه‌ای این لامپ‌ها حداقل می‌شود. جدول ۶-۳ مقادیر نوعی ضریب بقای لامپ را نشان می‌دهد. برای سایر لامپ‌ها نیز این ضریب از تولیدکنندگان مربوطه دریافت می‌شود[۱۴].

جدول ۶-۳: ضرایب بقای لامپ (**LSF**)

زمان کارکرد (هزار ساعت)	**نوع لامپ**						
	FS	**FD**		**L**	**Q**	**M**	**S**
		(Hph)	**(Tph)**				
۴	۰٫۹۸	۰٫۹۹	۰٫۹۹	۰٫۹۲	۰٫۹۳	۰٫۹۸	۰٫۹۸
۶	۰٫۹۴	۰٫۹۸	۰٫۹۹	۰٫۸۶	۰٫۹۱	۰٫۹۷	۰٫۹۶
۸	۰٫۹۰	۰٫۹۳	۰٫۹۹	۰٫۸۰	۰٫۸۷	۰٫۹۴	۰٫۹۴
۱۰	۰٫۷۸	۰٫۸۶	۰٫۹۸	۰٫۷۴	۰٫۸۲	۰٫۹۲	۰٫۹۲
۱۲	۰٫۵۰	۰٫۷۰	۰٫۹۶	۰٫۶۲	۰٫۷۶	۰٫۸۸	۰٫۸۹

۶-۵-۳- آلودگی لامپ‌ها و چراغ‌ها

وجود آلودگی روی لامپ‌ها و چراغ‌ها عموما موجب بیشترین مقدار اتلاف نور می‌شود. این میزان اتلاف نور به نوع و چگالی آلودگی موجود در هوا، طراحی چراغ و نوع لامپ بستگی دارد. تجمع این آلودگی بر روی سطوح منعکس‌کننده، با درزگیری محفظه لامپ چراغ در مقابل ورود گرد و غبار و رطوبت حداقل می‌شود. درزگیری قسمت‌های نوری چراغ با حداقل درجه حفاظت IP5X تاثیر قابل توجهی در این خصوص دارد[۱۴].

جدول ۶-۴ مقادیر نوعی ضرایب نگهداری را برای تعدادی از چراغ‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۶-۴: ضرایب نگهداری چراغ (**LMF**)

زمان نوردهی (سال)	درجه حفاظت (**IP**) قسمت نوری چراغ								
	IP 2X			**IP 5X**			**IP 6X**		
	میزان آلودگی محیط			میزان آلودگی محیط			میزان آلودگی محیط		
	زیاد	متوسط	کم	زیاد	متوسط	کم	زیاد	متوسط	کم
۱	۰٫۵۳	۰٫۶۲	۰٫۸۲	۰٫۸۹	۰٫۹۰	۰٫۹۲	۰٫۹۱	۰٫۹۲	۰٫۹۳
۱٫۵	۰٫۴۸	۰٫۵۸	۰٫۸۰	۰٫۸۷	۰٫۸۸	۰٫۹۱	۰٫۹۰	۰٫۹۱	۰٫۹۲
۲	۰٫۴۵	۰٫۵۶	۰٫۷۹	۰٫۸۴	۰٫۸۶	۰٫۹۰	۰٫۸۸	۰٫۸۹	۰٫۹۱
۲٫۵	۰٫۴۳	۰٫۵۴	۰٫۷۸	۰٫۸۰	۰٫۸۴	۰٫۸۹	۰٫۸۵	۰٫۸۸	۰٫۹۰
۳	۰٫۴۲	۰٫۵۳	۰٫۷۸	۰٫۷۶	۰٫۸۲	۰٫۸۸	۰٫۸۳	۰٫۸۷	۰٫۹۰

در جدول ۶-۴ آلودگی‌ها در سه دسته کم، متوسط و زیاد به شرح زیر مشخص گردیده‌اند.

الف- آلودگی کم: در این نواحی هیچگونه فعالیت تولیدکننده دود یا گرد و غبار در نزدیکی تجهیزات وجود ندارد، سطح آلاینده‌های محیطی پایین بوده و ترافیک نیز سبک می‌باشد. این نواحی عموما شامل مناطق مسکونی و روستایی بوده که آلودگی پایین دارند. میزان ذرات ریز محیط در این مناطق نیز بیش از ۱۵۰ میکروگرم در هر متر مکعب نیست.

ب- آلودگی متوسط: در این نواحی، فعالیت تولیدکننده دود یا گرد و غبار معمولی در نزدیکی تجهیزات وجود داشته و ترافیک نیز معمولی تا سنگین می‌باشد. در این مناطق، میزان ذرات ریز محیط نیز از ۶۰۰ میکروگرم در هر متر مکعب بیشتر نیست.

ج- آلودگی زیاد: در این نواحی توده دود یا گرد و غبار تولیدی توسط فعالیت‌های انجام شده در اطراف محل زیاد بوده و معمولا چراغ‌ها را می‌پوشاند.

۶-۵-۴- آلودگی سطوح منعکس کننده نور در گذرگاه‌ها، تونل‌ها و زیرگذرها

وجود آلودگی بر روی سطوح ساختمانی سبب کاهش میزان بازتاب نور در محیط‌های سربسته همچون تونل‌های مخصوص عبور عابرین پیاده، وسایل‌نقلیه و زیرگذرها می‌شود. از آنجا که در چنین مناطقی بازتاب نور نقشی اساسی در تشکیل منظره دید کاربران بازی می‌کند، لذا توصیه می‌شود که در این مناطق از تمامی سطوح منعکس‌کننده به صورت مرتب نگهداری به عمل آمده و تمیز گردند تا سطح درخشندگی در محیط حفظ شود[۱۴].

۶-۶- ضریب نگهداری

در محاسبات طراحی سیستم روشنایی و به منظور لحاظ کردن استهلاک، یک ضریب نگهداری مناسب برای تاسیسات در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که مقدار این ضریب، در صورت تغییر می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای بر توان لامپ و تعداد

چراغ‌های مورد نیاز برای تامین درخشندگی/شدت روشنایی سطح راه تاثیر بگذارد، به همین دلیل می‌بایست مقدار آن در یک راه ثابت باشد. با انتخاب دقیق تجهیزات و تعمیر و نظافت مکرر آن‌ها می‌توان به این هدف نائل شد[۱۴].

ضریب نگهداری عبارت از نسبت درخشندگی/شدت روشنایی نور تولید شده توسط سیستم روشنایی بعد از یک دوره زمانی مشخص، به درخشندگی/شدت روشنایی نور اولیه تولید شده توسط آن سیستم پس از نصب می‌باشد.

$$MF = E_m/E_n \qquad ۱-۶$$

که در آن:

MF: ضریب نگهداری؛

E_m : درخشندگی/شدت روشنایی نگهداری شده؛

E_n : درخشندگی/شدت روشنایی اولیه.

با استناد به تعریف فوق، ضریب نگهداری از رابطه (۶-۲) بدست می‌آید.

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF(\times SMF) \qquad ۲-۶$$

که در آن:

LLMF : ضریب نگهداری لومن لامپ؛

LSF : ضریب بقاء لامپ؛

LMF : ضریب نگهداری چراغ؛

SMF : ضریب نگهداری سطح (این ضریب فقط در محل‌های سرپوشیده همچون تونل‌ها و زیرگذرها بکار برده می‌شود).

۶-۶-۱- تعیین ضریب نگهداری

ضریب نگهداری می‌تواند بر اساس فرآیند گام به گام زیر تعیین شود:

گام ۱- لامپ و چراغ برای طرح انتخاب می‌شود.

گام ۲- بازه زمانی تعویض گروهی لامپ‌ها تعیین می‌گردد.

گام ۳- LLMF از جدول ۶-۱ و یا از اطلاعات سازنده لامپ با توجه به بازه زمانی تعیین شده در گام ۲ بدست می‌آید.

گام ۴- LSF از جدول ۶-۳ و یا از اطلاعات سازنده لامپ بدست می‌آید.

گام ۵- فاصله زمانی نظافت چراغ‌ها و مشخصات محیط اطراف آن تعیین می‌گردد.

گام ۶- پس از تعیین درجه IP چراغ، دسته‌بندی آلودگی محیطی و فاصله زمانی شستشو از گام ۵، LMF با توجه به جدول ۶-۴ به دست می‌آید.

گام ۷- برای راه‌های سر پوشیده، SMF با توجه به جدول ۶-۴ برای بازه زمانی مشخص شده در گام ۵ بدست می‌آید.

گام ۸- با استفاده از رابطه (۶-۲) ضریب نگهداری (MF) تعیین می‌گردد.

گام ۹- توصیه می‌شود که با تغییر اجزای مختلف، گام‌های ۱ تا ۷ تکرار گردد. در این صورت محدوده‌ای از گزینه‌های مختلف برای برنامه نگهداری جهت استفاده در طراحی روشنایی در اختیار خواهد بود[۱۴].

۶-۷- سرویس سیستم‌های روشنایی

۶-۷-۱- ایمنی پرسنل

حتی‌الامکان تجهیزات روشنایی نباید در هنگامی‌که روشن هستند، سرویس شوند. این کار در صورت لزوم باید تنها توسط اشخاص آموزش دیده صورت گیرد.

۶-۷-۲- دسترسی

برای دسترسی به چراغ‌ها به منظور تعمیر، تعویض و یا نظافت آن‌ها، باید تجهیزاتی نظیر سکوهای هیدرولیکی، داربست، نردبان، قلاب‌های ایمنی و غیره موجود باشند. همچنین برای دسترسی به چراغ‌ها این تجهیزات طوری استقرار یابند تا اپراتورها بتوانند به‌راحتی و با حفظ امنیت لازم بر روی آنها کار کنند.

۶-۷-۳- توصیه‌های کلی برای کاهش هزینه‌های نگهداری

در حین طراحی سیستم روشنایی می‌توان اجزا، تجهیزات و روکش آن‌ها را به‌گونه‌ای انتخاب کرد که نیاز به دوره‌های تعمیر و نگهداری کاهش پیدا کند. به عنوان مثال از روکش‌هایی برای سطوح استفاده گردد که برای مدت زمان طولانی تمیز مانده یا به راحتی قابل تمیز کردن باشند.

در انتخاب چراغ‌ها نیز باید به‌گونه‌ای عمل شود که تمیزکردن قسمت نوری آن‌ها آسان باشد و یا درجه حفاظت (IP) بالایی داشته باشند. همچنین انتخاب چراغ‌هایی که اجزای کمی دارند موجب می‌گردد تا در صورت نیاز به تعمیرات، به‌راحتی از جای خود درآمده و دوباره نصب گردند.

سایر موارد عبارتند از:

الف- برنامه‌ریزی برای سهولت نگهداری و دسترسی، تعیین نوع ابزار مورد نیاز برای انجام خدمات، داشتن اطمینان از موجود بودن لامپ‌ها و سایر قسمت‌های نوری و یا حتی چراغ‌های یدکی در موقع بهره‌برداری از سیستم، داشتن ارتباط تنگاتنگ با مهندسین تعمیرات و نگهداری برای اطمینان از درک نیازها و مراحل آن؛

ب- فراهم کردن یک برنامه تعمیرات و نگهداری جامع با دستورالعمل‌های مربوطه؛

ج- جمع‌بندی اطلاعات از اشتباهات احتمالی، خرابی و یا مشکلات تعمیرات و نگهداری سیستم روشنایی و استفاده از آن‌ها برای جلوگیری از تکرار در پروژه‌های آتی؛

د- استفاده از فونداسیون مناسب برای پایه‌ها به منظور حفظ سازه‌های فولادی از اثرات خورنده زمین.

۶-۷-۴- پایش و گشت‌زنی به منظور شناسایی عیوب سیستم روشنایی

از آنجایی‌که هم‌اکنون "پایش از راه دور" طرح‌های روشنایی در دنیا عملی‌تر شده است و بهره‌وری اقتصادی بالاتری دارد، از گشت‌زنی ساده برای شناسایی عیوب سیستم روشنایی راه‌ها، کمتر استفاده می‌شود. در ایران نیز قبل از استفاده از این روش باید ارزیابی واقعی سود-هزینه برای هر دو روش انجام پذیرفته و سپس در مورد تغییر آن تصمیم گرفته شود. در حال حاضر در مواردی که روشن نبودن راه رخداد پیشامد خطرناک را به همراه دارد، پایش یا گشت‌زنی مداوم ضروری است. در مواردی هم که فعالیت‌های اجتماعی بیشتری در محل صورت می‌گیرد، می‌توان عموم مردم را به اعلام عیوب مشاهده شده، تشویق کرد. یک روش کارا در این زمینه، اختصاص یک خط تلفن رایگان و یا پست یک کارت تلفن از پیش پرداخت شده برای استفاده عموم می‌باشد. همچنین از پلیس محلی و یا نیروهای امنیتی نیز می‌توان در این زمینه کمک گرفت. البته برای عملی شدن این طرح، باید سیستم شناسایی ساده و واضحی برای تشخیص روشنایی نقاط مختلف موجود باشد.

گروه‌های گشت‌زنی برای ثبت خطاها می‌توانند از یک دفترچه ساده و یا یک ثبات داده جیبی استفاده نمایند. اصل مهم در این زمینه استمرار در گردآوری دقیق و زمانبندی شده اطلاعات و انتقال آن‌ها به مدیر بخش تعمیرات می‌باشد. این کار بخش مهمی از ثبت سلامت عمومی تاسیسات روشنایی را تشکیل داده و موجب افزایش بهره‌وری اقتصادی آن می‌گردد. ثبت‌های عمومی باید جزئیات زیر را شامل شوند:

الف- شماره مشخصه (که بر روی دکل یا پایه ثبت شده است)؛

ب- مکان؛

ج- ارتفاع نصب و طول بازو؛

د- نوع نصب (پایه، دکل، دیواری)؛

ه- نوع چراغ؛

و- نوع و توان منبع روشنایی؛

ز- دستگاه کنترل، تجهیزات کلیدزنی، وضعیت فیوز و غیره؛

ح- وضعیت منبع تغذیه؛

ط- تاریخ نگهداری دوره‌ای و تعویض گروهی لامپ‌ها (در جاهایی‌که قابل کاربرد است).

همچنین تیم‌های تعمیراتی که در روز کار می‌کنند باید قادر باشند نه تنها لامپ‌های سوخته را تعویض کنند، بلکه باید مهارت و تجهیزات لازم برای تشخیص و تعمیر عیوب ساده دستگاه کنترل و سایر اجزای الکتریکی را نیز در محل داشته باشند. چراغ‌هایی هم که قابل تعمیر در محل نباشند، باید به کارگاه‌های مرکزی منتقل شوند تا اجزای اصلی آن‌ها تعمیر و تعویض شوند.

۶-۷-۵- مواد مورد استفاده برای نظافت

مواد و روش‌های مورد استفاده برای نظافت با توجه به نوع آلودگی و جنس جسمی که باید تمیز شود تعیین می‌شوند. برای مواد پلاستیکی توصیه می‌شود که با استفاده از مواد آنتی‌استاتیک، پرداخت نهایی بر روی آن‌ها انجام شود.

الف- نظافت عمومی- در این روش نظافت، اولین و معمول‌ترین ماده مورد استفاده، انواع شوینده شیمیایی می‌باشد که شامل افزودنی‌هایی با غلظت مختلف است. در این نوع نظافت استفاده از ترکیب‌هایی که بعد از نظافت نیازی به شستشو با آب ندارند، سودمند است.

ب-نظافت سنگین برای سطوح با غلظت روغنی- در این نوع شستشو از نوع دوم پاک‌کننده‌های مایع که مخصوص شستشوهای سنگین است، استفاده می‌شود. ممکن است این پاک‌کننده شامل شوینده‌ها، حلال‌ها و ساینده‌ها باشد. چنین پاک‌کننده‌ای برای پاک کردن آلودگی‌های روغنی مفید است. اینگونه پاک‌کننده‌ها باید قبل از استفاده آزمایش شوند تا اطمینان حاصل گردد که باعث صدمه به مواد و یا به جای گذاشتن رسوب بر روی آن‌ها نمی‌شوند.

ج- نظافت در شرایط صنعتی با غلظت روغنی بسیار بالا- این نوع نظافت برای سطوح خیلی روغنی، نظیر تونل‌ها استفاده می‌شود. در این نوع شستشو از دستگاه‌های پاک‌کننده با بخار فشار بالا، به شرط آنکه به تجهیزات شسته شده با این روش صدمه‌ای وارد نکند، استفاده می‌شود.

د- نظافت با امواج ماوراء صوت- در این روش اجزایی که باید تمیز شوند، معمولا از محل نصب خود جدا شده و در داخل یک مخزن مخصوص که حاوی یک مایع پاک کننده و چند مبدل است قرار داده می‌شود. این مبدل‌ها امواج صوتی تولید می‌کنند که سبب تولید حباب‌های میکروسکوپیکی می‌شود که عمل شستشوی شدیدی را بر روی یک سطح کوچک پدید می‌آورند. زمان شستشوی معمول در این روش بین ۲ تا ۱۰ دقیقه است. اگر شیئی که باید تمیز شود بسیار کثیف باشد، ممکن است نیاز به یک شستشوی اولیه داشته باشد و پس از این عمل نیز ممکن است نیاز باشد تا با آب شستشو داده شود. استفاده عمده از این روش در نظافت حباب‌های نورشکن شیشه‌ای است. در هنگام استفاده از این روش باید توجه کرد که به موادی که نظافت می‌شوند، آسیبی نرسد.

۶-۷-۶- تعویض لامپ

هر چه از عمر لامپ‌ها می‌گذرد، به تدریج شار نوری آنها کاهش می‌یابد. علاوه بر افت تدریجی نور خروجی، در میان انواع مختلف آنها تعدادی از لامپ‌ها نیز وجود خواهند داشت که زودتر از پایان عمر خود می‌سوزند (یعنی هنگامی که خروجی لامپ هنوز به اندازه کافی می‌باشد). تعداد این نوع لامپ‌ها با ضریب بقای لامپ مشخص می‌گردد.

از طرف دیگر اغلب لامپ‌های تخلیه‌ای قبل از اینکه در نهایت بسوزند، یک وضعیت «گردشی» را آغاز می‌کنند، بدین معنی که هنگامی‌که سرد هستند، روشن می‌شوند ولی بعد از مدت کوتاهی کارکرد خاموش می‌شوند. سپس لامپ خنک می‌شود و دوباره روشن می‌شود. از آنجا که این وضعیت گردشی از طریق مشاهده کسانی که به منظور تعمیر و نگهداری سرکشی می‌کنند، به سختی قابل تشخیص است، به همین دلیل با استفاده از مدارهای جرقه‌زن شناسایی می‌گردد. زیرا در این مدارها، اگر لامپ، بدون وقفه در منبع تغذیه خاموش شود، کلید آن مدار باز می‌شود. با توجه به این موارد لازم است که در بازه‌های زمانی مشخصی لامپ‌ها طی یک برنامه نگهداری تعویض گردند. در این صورت، کل هزینه‌های تعویض لامپ عبارت از هزینه لامپ و هزینه شخصی که این کار را انجام می‌دهد، خواهد بود. هزینه شخص نیز شامل هزینه سفارش، نگهداری لامپ در انبار، نصب لامپ جدید، دفع لامپ خراب، سیستم تعویض لامپ و در دسترس بودن چراغ‌ها خواهد بود. به طور کلی دو دسته تعویض «نقطه‌ای» که در آن هر لامپ معیوبی تعویض می‌شود و یا تعویض «گروهی» که در آن همه لامپ‌ها (معیوب یا سالم) در زمانی کمتر از عمر نامی متوسط لامپ تعویض می‌گردند را می‌توان متصور شد. در اکثر پروژه‌ها یک برنامه تعویض ترکیبی نقطه‌ای/گروهی انجام می‌شود. در این میان، در مکان‌هایی که سوختن یک لامپ موجب تاریکی و وقوع ناامنی می‌گردد، لامپ معیوب باید سریعا تعویض شود. همچنین نصب چراغ‌هایی با چند لامپ موجب حداقل شدن تاثیر سوختن لامپ‌ها در روشنایی راه می‌شود.

الف- تعویض نقطه‌ای لامپ‌ها تنها هنگامی که می‌سوزند: این روش در ابتدا گزینه مناسبی به نظر می‌رسد، ولی می‌تواند گزینه پرهزینه‌تری باشد، به ویژه اگر هزینه‌های نیروی انسانی بالا باشد. همچنین این عیب را نیز دارد که در آن بسیاری از لامپ‌ها در تاسیسات روشنایی می‌توانند به مرز سوختن نزدیک شده و نور بسیار کمتری را نسبت به مقادیری که در طراحی تاسیسات روشنایی اولیه فرض شده است، بدهند.

ب- تعویض همه لامپ‌ها بصورت گروهی با لامپ‌های جدید بعد از یک دوره زمانی مشخص: این روش معمولا کاراترین روش از لحاظ هزینه می‌باشد، ولی باید به گونه‌ای اصلاح شود تا لامپ‌هایی را که اخیرا به صورت اتفاقی سوخته‌اند و تعویض شده‌اند، از سایر لامپ‌ها مستثنی کند. متناوبا، چنین لامپ‌هایی (که با دقت از لحاظ تاریخ کدگذاری شده‌اند) می‌توانند بازیابی شده و برای تعویض‌های نقطه‌ای آینده استفاده شوند.

به همین دلیل در عمل مصالحه‌ای بین این دو روش صورت می‌گیرد به این شکل که پس از طی ٪۷۰ اول بازه زمانی بین دو تعویض گروهی، تنها لامپ‌های سوخته برای تعویض «نقطه‌ای» و جایگزینی با لامپ نو انتخاب می‌شوند. سپس در اولین تعویض گروهی، سایر لامپ‌ها با لامپ نو جایگزین شده و لامپ‌های تعویض شده نقطه‌ای قبلی که لامپ‌های سالمی

بوده و کمتر کار کرده‌اند، باقی مانده و می‌توانند برای تعویض نقطه‌ای در بازه زمانی بعدی استفاده شده و یا در تعویض گروهی بعدی جایگزین شوند. در این روش و به علت امکان بیشتر در سوختن قبل از موعد لامپ‌های جدید، توصیه می‌گردد که تاسیسات روشنایی پس از تعویض گروهی و بعد از تقریبا ۱۰۰ ساعت کارکرد هم، در هنگام شب بازرسی و فقط لامپ‌های جدید سوخته تعویض نقطه‌ای شوند.

۶-۷-۶-۱- هزینه تعویض لامپ

الف- هزینه تعویض نقطه‌ای به ازای هر لامپ از رابطه (۶-۳) محاسبه می‌شود[۱۴].

$$C_s = L + S + E + D \qquad ۳\text{-}۶$$

که در رابطه فوق،

C_S : هزینه تعویض نقطه‌ای هر لامپ؛

L : هزینه لامپ؛

S : هزینه شخص برای تعویض نقطه‌ای همراه با هزینه‌های بازرسی اولیه؛

E : هزینه تجهیزات مورد استفاده برای دسترسی به چراغ‌ها؛

D : هزینه دفع لامپ خراب.

ب- هزینه تعویض گروهی به ازای هر لامپ از رابطه (۶-۴) محاسبه می‌شود.

$$C_g = L + B + E + D \qquad ۴\text{-}۶$$

که در رابطه فوق،

C_g : هزینه تعویض گروهی به ازای هر لامپ؛

B : هزینه شخص برای تعویض گروهی به‌ازای هر لامپ؛

ج-هزینه تعویض ترکیبی نقطه‌ای و گروهی به ازای هر لامپ با رابطه (۶-۵) محاسبه می‌گردد.

$$C_t = C_g + FC_s \qquad ۵\text{-}۶$$

که در آن:

C_t : هزینه تعویض ترکیبی نقطه‌ای و گروهی به ازای هر لامپ؛

F : کسری از لامپ‌ها که قبل از دوره تعویض آنها سوخته و تعویض می‌شوند.

۶-۷-۶-۲- نکات قابل توجه و بررسی اقتصادی سیستم‌های روشنایی راه‌ها

الف- لامپ‌ها می‌توانند به صورت عمده خریداری شوند و برای تعویض نقطه‌ای در انبار نگهداری گردند. لامپ‌های یدکی نیز می‌توانند به عنوان بخشی از خریدهای اولیه طرح در نظر گرفته شوند.

ب- هزینه تعویض گروهی لامپ‌ها به استهلاک شار لامپ و به خصوص به نرخ بقا بستگی دارد. هر چه در فاصله زمانی تعویض لامپ‌ها، لامپ‌های بیشتری سالم مانده باشند، تعویض نقطه‌ای هزینه کمتری را در بر خواهد داشت.

ج- از آنجا که فاصله‌های زمانی تعویض لامپ به ساعات کارکرد آن بستگی دارد، به همین دلیل در بررسی اقتصادی، ساعات کار سالانه لامپ مطابق با جدول ۶-۵ منظور می‌گردد[۱۴].

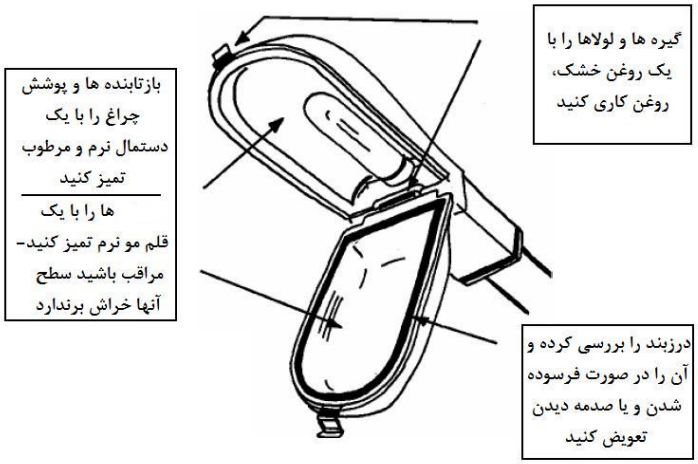
جدول ۶-۵: ساعات کار سالانه لامپ

نوع بهره‌برداری	ساعات کارکرد سالیانه
پیوسته	۸۷۶۰
کل شب (از غروب تا طلوع آفتاب)	۴۲۰۰
از غروب آفتاب تا ساعت ۲۴	۲۶۰۰
از غروب آفتاب تا ساعت ۲۲ (۵ شب در هفته)	۱۳۰۰
۴ ساعت در هفته	۲۰۸

۶-۷-۷- چراغ

۶-۷-۷-۱- رویه تمیزکاری چراغ

رویه تمیزکاری چراغ برای تیم‌های نظافت در شکل ۶-۲ آمده است[۱۵].



شکل ۶-۲: رویه تمیزکاری چراغ‌ها

۶-۷-۷-۲- دستورالعمل نظافت چراغ

در هنگام نظافت چراغ باید تمامی سطوح آن با دقت تمیز شوند. بعضی از سطوح چراغ به ساییدگی بسیار حساسند. برای مثال، آلومینیوم براق استفاده شده در رفلکتور بسیار به سائیده شدن حساس است. بعضی از پلاستیک‌ها، آکرلیک و به‌ویژه پلی‌کربنات‌ها نیز اینگونه‌اند. در این خصوص باید آموزش لازم به پرسنل تعمیرات و نگهداری داده شود.

پرسنل هنگام کار با پلاستیک‌ها باید کاملا مراقب باشند، زیرا آن‌ها با گذر زمان خاصیت شکنندگی پیدا می‌کنند. همچنین پلاستیک‌ها بسته به ماده اصلی به‌کار رفته در آن‌ها، محیط و ارتفاع نصب (ارتفاع‌های بالاتر تاثیرات ماورای بنفش بیشتری دارند)، منبع نور و دمایی که جسم در آن کار می‌کنند، ممکن است به شدت زرد شوند به طوری که نیاز به تعویض داشته باشند. از طرف دیگر رفلکتورهای آلومینیومی نیز باید با یک محلول گرم محتوی صابون شسته شده و قبل از اینکه توسط هوا خشک شوند به خوبی با آب شستشو گردند. لنزهای منشوری و یا غیر شفاف پلاستیکی باید با یک دستمال مرطوب (آغشته به یک شوینده غیریونی و آب) تمیز و با اسپری یا واکس غیراستاتیک پوشش داده شده و سپس خشک شوند. لعاب شیشه، لعاب کوره‌ای و اپتیک‌های شیشه‌ای باید با یک دستمال مرطوب آغشته به یک محلول رقیق از ماده شوینده و آب پاک شوند. همچنین باید توجه شود تا زمانی‌که اجزای چراغ به کلی خشک نشده‌اند، چراغ درزبندی نشود.

پس از نظافت چراغ باید دقت گردد که لامپ‌ها موقعیت خود را نسبت به رفلکتورها و پوشش محافظ آنها حفظ کنند، به ویژه اگر پوشش محافظ رفلکتورها عناصر پخش‌کننده‌ای را بر روی سطح داخلی خود داشته باشند. درزبندی‌ها نیز باید کارایی بالایی در ممانعت از ورود گرد و غبار، آلودگی، حشرات و رطوبت داشته باشند. در طی بیست سال اخیر، واحدهای درزبندی پرتوی مدرن با درجه IP66 ساخته شده‌اند، ولی اکثر چراغ‌هایی که هم اکنون استفاده می‌شوند، نسبت به نگهداری ضعیف بسیار آسیب‌پذیرند. هنگامی‌که لامپ تعویض می‌شود، درزبندی‌ها به شکل غیر قابل اجتنابی به هم می‌ریزد لذا در این حالت، به خصوص اگر پرسنل نگهداری به خوبی تعلیم داده نشده باشند، این خطر وجود دارد که چراغ به اندازه کافی در مقابل نفوذ هوا محافظت نشود. این مساله سبب می‌شود که سطوح نوری چراغ به تدریج فرسوده شوند.

۶-۷-۷-۳- نگهداری از پایه‌های چراغ

در تاسیسات روشنایی راه‌ها، مراقبت و نگهداری از پایه‌ها بخش مهمی از وظایف نگهداری کل سیستم است. این امر می‌بایست نگهداری از پایه‌های روشنایی ثابت (دکل‌ها یا بازوهای متصل شده به دیوار) با انجام بازرسی‌های مکرر و رنگ‌کردن آن‌ها به همراه پایش مکرر شرایط زمین صورت پذیرد. برای سازه‌های با عمر بیش از ۲۰ سال هم باید فکری در مورد پایداری کل سازه و در نهایت برنامه‌ای برای جایگزینی آن‌ها ارائه شود.

در این بین، سیستم روشنایی با پایه‌های بلند و یا سیستم‌هایی که در آنها از سایر روش‌های نصب مشتمل بر تجهیزات پیچیده‌تر مکانیکی، هیدرولیکی و الکتریکی استفاده می‌شود، نیاز به نگهداری بیشتری دارند. این سیستم‌ها باید طبق توصیه‌های سازنده به طور مرتب و بسته به شرایط محلی بازرسی شوند و تمهیدات لازم برای نگهداری آنها انجام شود.

همچنین در مکان‌هایی که پایه‌های روشنایی لولادار یا وینچ‌دار و یا دکل‌های یکپارچه نصب شده است، بازدید مرتب از طناب‌ها و قرقره‌ها باید توسط شخص متخصص صورت گیرد. نظافت و روغن‌کاری کل بخش‌های متحرک نیز باید به عنوان بخشی از برنامه نگهداری معمول قرار گیرد.

۶-۷-۸- فرسودگی پایه چراغ

معمولا پایه‌ها به خاطر استحکام، فاکتورهای زیبایی و تناسب کلی‌شان انتخاب می‌شوند. در انتخاب یک پایه باید توجه شود که در طی عمر یک سازه، نگهداری دوره‌ای آن نیز لازم است.

پایه‌های روشنایی عموما به گونه‌ای ساخته می‌شوند که در زمان استفاده در مقابل فرسودگی محافظت شوند. با این وجود، مسائل تخریب محیطی و صدمات تصادفی می‌تواند به شکل قابل توجهی بر عمر و در نتیجه استحکام ساختمانی آن‌ها تاثیر بگذارد. به همین دلیل در برنامه‌های مداوم بازرسی باید نتایج مطالعات بصری و احتمالا الکترونیکی ثبت شود تا اطمینان حاصل گردد که در صورت پیشرفت هرگونه خرابی سازه، اقدامات ترمیمی لازم صورت گیرد. در این زمینه باید به سطوح داخلی سازه‌های فولادی جوشکاری شده‌ای که در زمین کاشته شده‌اند و فرسودگی آنها ممکن است شناسایی نشود، توجه خاصی گردد. پایه‌های چوبی هم در مقابل صدمات ناشی از وسایل نقلیه آسیب‌پذیرترند، لذا باید بازرسی‌های آن‌ها همزمان با بازدیدهای نگهداری تجهیزات الکتریکی و چراغ صورت گیرد و در صورت لزوم، اقدامات اصلاحی در زمان مناسب انجام شود.

۶-۷-۹- اجزای الکتریکی

هر تجهیز الکتریکی به خودی خود یک تهدید برای ایمنی محسوب می‌شود و بازرسی، نگهداری و آزمایش مرتب آن اهمیت خاصی دارد. تعویض هر جز باید با توجه به خطر بالقوه‌ای که آن جزء بر عملکرد ایمن تاسیسات ایجاد می‌کند، صورت گیرد. از آنجایی‌که تکنولوژی روشنایی دائما در حال پیشرفت است، با نصب لامپ‌ها یا سیستم‌های کنترلی جدید و یا تعویض کل سیستم، علی‌رغم عملکرد ایمن سیستم‌های روشنایی قدیمی، سود بیشتری حاصل می‌گردد. در چنین مواردی می‌توان سرمایه‌گذاری انجام شده را با صرفه‌جویی قابل توجهی که در مصرف انرژی و هزینه خدمات انجام می‌شود، جبران کرد. از امتیازات دیگر این کار می‌توان بهبود ظاهر و دید عمومی سیستم روشنایی جدید را نام برد.

۶-۸- جلوگیری از تابش نور توسط درختان

شاخ و برگ درختان به خصوص در سطح پایین‌تر می‌توانند مشکلات جدی در دستیابی به یک سیستم روشنایی مطلوب ایجاد کنند. به همین دلیل هرس کردن متناوب و به موقع آنها برای مقابله با رشدشان امری ضروری است. پرسنل مسئول این کار باید ارتباط نزدیکی با شهرداری‌ها و یا صاحبان مستغلات داشته باشند تا علاوه بر تامین روشنایی مطلوب، حداقل

آسیب ظاهری و فیزیولوژیکی را به درختان وارد نمایند.این هرس‌کردن، بازده نوری را به طور متوسط به میزان یک سوم افزایش می‌دهد و حتی در بعضی از مناطق بحرانی با قابلیت دید کم می‌تواند بازده نوری را تا دو برابر افزایش دهد[۱۴].

۶-۹- استهلاک پخش کننده و رفلکتور

در یک چراغ، مستهلک شدن بخش‌های مختلف رفلکتور و پخش‌کننده‌ها مثل حباب موجب اتلاف نور می‌گردد. نحوه نگهداری این قسمت از تجهیزات نوری چراغ و مواد استفاده شده در شستشو، تاثیر زیادی بر میزان استهلاک آنها دارد[۱۴].

۶-۹-۱- حباب و پخش‌کننده‌ها

۶-۹-۱-۱- شیشه

بازیابی حالت اولیه شیشه از طریق تمیز کردن آن به راحتی انجام می‌شود. ولی نظافت نکردن شیشه برای مدتی طولانی به ویژه در حباب‌های منشوری می‌تواند منجر به مشکل شدن بازیابی و رسیدن به حالت اولیه شیشه شده و حتی گاهی سبب صدمه دیدن سطوح آن نیز می‌گردد (مانند سوراخ شدن). از طرف دیگر نظافت نکردن آن منجر به کاهش نور خروجی و تغییر توزیع پخش نور چراغ می‌شود و این مساله سبب کاهش روشنایی سطوح شده و توزیع نور را تنزل می‌دهد.

۶-۹-۱-۲- اکرلیک (PMMA-پلی متیل متاکریلات) و پلی کربنات (PC)

فرسایش این مواد عموما ناشی از آلودگی آلاینده‌ها و عمر مواد است. استفاده نامناسب از حلال‌ها و یا قرار گرفتن در معرض آنها به دلیل تاثیر شدیدی که بر ساختار این مواد می‌گذارند سبب فرسایش سریع آنها می‌شود. تمیزکردن مرتب با پاک‌کننده‌ای ملایم و آب، شفافیت و وضوح این مواد را باز خواهد گرداند. دوده‌های غلیظ را باید با الکل سفید یا سایر پاک‌کننده‌ها که به طور خاص برای PMMA یا PC فرموله شده‌اند، پاک کرد و سپس خوب با آب شست. سمباده‌ها و سیم‌های ظرفشویی به سطح صدمه وارد می‌کنند و در نتیجه میزان پراکندگی نور افزایش می‌یابد.

چسب‌هایی که در سازه و تجهیزات استفاده می‌شود باید با هم سازگار باشند، در غیر این صورت ممکن است فرسایش (کوتاه‌مدت یا بلندمدت) اتفاق بیفتد.

۶-۹-۱-۳- اکرلیک

اشکال اصلی این مواد شکنندگی نسبی آن‌ها می‌باشد، به طوری که در مقابل ضربه به اندازه کافی مقاوم نمی‌باشند؛ اگرچه در مدل‌های سخت شده آنها این ویژگی بهبود یافته است. اما در عوض این مواد با حضور UV خوب کار می‌کنند. فقط از آنجا که پس از گذشت مدت طولانی (بیش از ۱۰ سال) استقامت آکرلیک به تدریج از بین رفته و ترک می‌خورد، لذا بخشی از چراغ که از این ماده ساخته شده است باید به صورت جزئی قابل تعویض باشد.

۶-۹-۱-۴- پلی‌کربنات

مزیت اصلی این ماده نسبت به PMMA استقامت و مقاومت بالاتر آن در مقابل ضربه است. البته این ماده در حضور UV ناشی از نور روز و یا لامپ‌های داخل آن دچار فرسایش می‌شود. این فرسایش با افزایش دما تسریع نیز می‌گردد. لذا مهم است که در حضور UV، دمای عملکردی آن از ^{o}C ۱۰۰-^{o}۹۰ بالاتر نرود. از طرف دیگر این ماده به دلیل فرسایش سریع، معمولا توسط جذب‌کننده‌های UV محافظت می‌شود. این جذب‌کننده‌ها می‌توانند هم به صورت مکمل‌های افزودنی به ماده خام اولیه و هم به‌صورت یک پوشش محافظ سطح به کار روند. البته از آنجا که این جذب‌کننده‌ها به مرور زمان تحلیل می‌روند لذا تنها زمان فرسایش را به تاخیر می‌اندازند و معمولا سبب می‌شوند که عمر تجهیزات تا چند سال افزایش یابد. همچنین در مورد پلی‌کربنات‌های غیر شفاف لازم به ذکر است که معمولا در مقابل UV حساس‌تر می‌باشند. این امر به دلیل وجود افزاینده‌های پخش‌کننده نور در آنها بوده که میزان تابش جذب شده را افزایش می‌دهند. به همین دلیل پوشش جذب کننده UV سطحی توصیه می‌شود. در این مواد، فرسایش سبب شکنندگی (از دست دادن استقامت و مقاومت در برابر ضربه) و زرد شدن (از دست دادن قابلیت عبور نور) می‌شود. لذا بخشی از چراغ که از این ماده ساخته می‌شود باید به صورت جزئی قابل تعویض باشد.

در این مواد نیز نظافت مانند موارد قبلی است، فقط باید دقت گردد که PC در مقایسه با اکرلیک نرم‌تر بوده و مقاومت کمی در مقابل ساییدگی دارد.

۶-۹-۲- رفلکتور

۶-۹-۲-۱- آلومینیوم

سطح منعکس‌کننده از جنس آلومینیوم در صورت حفاظت نشدن، اکسید شده و دچار فرسایش می‌شود. روش معمول در محافظت آن، آند کردن سطح است. این‌کار می‌تواند یا به صورت مجزا و بعد از شکل‌گیری رفلکتور و یا به صورت یک پوشش محافظ در حین تولید ورقه آلومینیوم انجام شود. ضخامت این لایه می‌تواند از ۱ میکرون تا ۲۵ میکرون تغییر کند و هرچه این لایه ضخیم‌تر باشد، اگر چه سبب محافظت بیشتری می‌گردد ولی میزان پراکندگی نور توسط آن نیز افزایش می‌یابد. به همین دلیل لایه‌های آندی با ضخامتی در حدود ۲ تا ۳ میکرون مناسب می‌باشند زیرا ضمن محافظت از خوردگی، از سطح انعکاس بالایی نیز برخوردار می‌باشند[۱۴].

قرار گرفتن رفلکتورهای آلومینیومی در معرض یک هوای مرطوب، منجر به سوراخ شدن سطح آنها و کاهش تدریجی بازتابش نور می‌گردد. همچنین ورود آلودگی به داخل چراغ سبب افت قابل ملاحظه‌ای در بازتاب و یا شفافیت چراغ شده و به تبع آن موجب افت نور خروجی و تغییر منحنی پخش نور آن می‌گردد. در واقع قرار دادن رفلکتور در داخل یک محفظه درزبندی شده، از کاهش عمر آن تا حد قابل قبولی جلوگیری کرده و از آن محافظت می‌کند. برای شستشوی

رفلکتور آلومینیومی از آبی با کشش سطحی پایین به همراه یک پارچه بافته شده نخی مخصوص یا چرم نازک استفاده می‌شود.

۶-۹-۲-۲- پلاستیک با پوشش فلزی

حفاظت از این نوع رفلکتور با زدن لاک و الکل به سطح پوشش آلومینیومی آن انجام می‌شود؛ به طوری که در ابتدا لاک و الکل را با اسپری به سطح آن پاشیده و سپس آن را گرما می‌دهند. البته در این نوع رفلکتور به دلیل استفاده از لاک و الکل، سطح آن با گذشت زمان تا حدی زرد می‌شود. بخصوص آنکه برای رفلکتورهایی که در دمای بسیار بالا کار می‌کنند، همین امر موجب تسریع فرسایش آنها شده و ممکن است حتی به اتصال بین پوشش فلزی و لایه زیرین نیز صدمه وارد شود. در این رفلکتورها برای جلوگیری از صدمه به پوشش لاکی محافظ، شستشو باید به آرامی و بدون استفاده از سمباده و حلال‌ها صورت گیرد. ولی در صورت درزبندی شدن محفظه، شستشوی آنها غیرضروری بوده و می‌تواند انجام نگیرد.

۶-۹-۲-۳- شیشه

امروزه به جز در کاربردهای خاص، از شیشه‌های نقره‌اندود شده به ندرت استفاده می‌شود. در این نوع رفلکتورها، پوشش روی سطح ، نقره را از اکسید شدن محافظت می‌کند. همچنین لبه‌های رفلکتور در مقابل فرسایش ناشی از رطوبت آسیب‌پذیرترند (به خصوص در راه‌های مجاور دریا)، به همین دلیل لازمه استفاده از آنها در یک چراغ، درزبندی کامل آن است. در این رفلکتور با تمیز کردن شیشه، خصوصیات بازتابندگی آن حفظ می‌شود ولی باید دقت گردد که پوشش محافظ آن آسیب نبیند.

۶-۱۰- دستورالعمل تعویض لامپ

پرسنل تعمیر و نگهداری می‌بایست از وارد شدن صدمه به سرپیچ و یا اجزای دیگر چراغ در موقع تعویض لامپ جلوگیری نمایند. همچنین آنها باید موقعیت اولیه چراغ را ثبت و علامت‌گذاری کنند تا هنگامی‌که عمل تعویض لامپ انجام شد، بتوانند چراغ را به موقعیت اولیه‌اش برگردانند.

۶-۱۱- تامین ایمنی در تعمیر و نگهداری سیستم روشنایی

یکی از پارامترهایی که باید در هنگام طراحی سیستم روشنایی به آن توجه کرد، وجود ایمنی کافی هنگام انجام تعمیر و نگهداری سیستم‌ها و هزینه لازم جهت انجام آن است. در راه‌هایی که در آن‌ها محدودیت‌های خاصی جهت تعمیر و نگهداری سیستم‌های روشنایی وجود دارد، طراح در انتخاب سیستم روشنایی مناسب با محدودیت مواجه می‌باشد. به همین دلیل باید در مرحله طراحی موارد زیر مدنظر قرار گیرند:

الف- باریک بودن باند اضطراری و عدم پیوستگی آن در طول راه؛

ب- نیاز به باند قابل کنترل مخصوص کار برای انجام تعمیر و نگهداری؛

ج– ایمنی پرسنل تعمیر و نگهداری و همچنین تجهیزات مورد استفاده آن‌ها در هنگام کار؛

د– حداقل بودن اختلال ایجاد شده برای ترافیک در هنگام انجام عملیات تعمیر و نگهداری؛

هـ- تعمیر و نگهداری سیستم روشنایی نصب شده در وسط یک راه دو طرفه: در این حالت جهت حفظ ایمنی پرسنل و تجهیزات لازم است که در مسیر حرکت خودروها از باند سمت چپ در یک یا حتی هر دو جهت راه انحرافی ایجاد گردد.

و- تعمیر و نگهداری سیستم روشنایی نصب شده در کنار یک راه دو طرفه: در این حالت جهت حفظ ایمنی پرسنل و تجهیزات لازم است که در مسیر حرکت خودروها از باند سمت راست در هر کدام از جهت‌های راه، انحراف ایجاد گردد.

ز- تعمیر و نگهداری سیستم روشنایی نصب شده در کنار یک راه دو طرفه با باند اضطراری: در این حالت که نیاز به اشغال باند اضطراری توسط وسایل نقلیه تعمیر و نگهداری می‌باشد، اگر ناحیه ایمن جهت انجام این کار با باند ترافیکی سمت راست هم‌پوشانی داشته باشد، لازم است که در مسیر حرکت خودروها از باند سمت راست انحراف ایجاد گردد.

۶-۱۲- فاصله ایمن کار در مجاورت خطوط هوایی

در طی هر یک از مراحل نصب، راه‌اندازی، بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری سیستم روشنایی راه‌ها واقع شده در مجاورت خطوط هوایی، باید جهت ایمنی پرسنل، فاصله مناسبی با این خطوط رعایت گردد. در این مواقع، فاصله ایمن کار با اتخاذ تدابیری چون ارتفاع نصب پایین‌تر و یا استفاده از پایه‌های روشنایی تاشو بدست می‌آید.

همچنین هنگام استفاده از آرایش نصب محوری در راه نیز امکان دارد که گسستگی‌های خاصی در این نوع آرایش مورد نیاز باشد تا فاصله ایمن کار در هنگام تعمیر و نگهداری آن تامین گردد.

۶-۱۳- تجهیزات تعمیر و نگهداری

مدت زمان تعمیرات و هزینه نگهداری یک سیستم روشنایی، با انتخاب تجهیزات نگهداری متناسب با نیازهای سیستم، به شکل قابل توجهی کاهش می‌یابد. برای تسهیل این امر، انواع مختلف تجهیزات تعمیر و نگهداری موجود می‌باشند. انتخاب این تجهیزات به فاکتورهای مختلفی نظیر ارتفاع نصب، وسعت ناحیه، در دسترس‌بودن واحدهای روشنایی و موانع موجود در ناحیه بستگی دارد. بعضی از این تجهیزات تعمیر و نگهداری به شرح زیر می‌باشند:

الف) نردبان‌ها: از نردبان‌ها اغلب در برنامه‌های تعمیر و نگهداری استفاده می‌شود. وزن کم، هزینه پایین و سادگی، آن‌ها را برای انجام کارهای ساده به وسیله‌ای مطلوب بدل کرده است. البته محدودیت‌های ایمنی و قابلیت تحرکشان، استفاده از آن‌ها را در پاره‌ای از موارد محدود می‌کند.

ب) کامیون مجهز به بالابر هیدرولیکی: اغلب، سریع‌ترین و کاراترین وسیله نگهداری، کامیون مجهز به بالابر هیدرولیکی است. گرچه انواع مختلفی از آن‌ها موجود است، ولی اساس روش کار همه آن‌ها یکی است. در این وسایل سکویی وجود دارد که می‌تواند به صورت خودکار بالا یا پایین رود. از آنجا که استفاده از چنین تجهیزاتی برای کارهای خارج از راه مورد نیاز است، سطحی که این وسیله بر روی آن قرار می‌گیرد باید بتواند تحمل وزن آن را داشته باشد.

ج) داربست: داربست‌های قابل حمل عموما ایمنی و قابلیت تحرک بالاتری نسبت به نردبان‌ها دارند. با استفاده از داربست، تجهیزات بیشتری می‌توانند حمل شوند و مسئول تعمیر و نگهداری نیز سکوی محکم و ثابتی را برای کار در اختیار دارد. به طورکلی، داربست‌ها باید سبک، قوی، قابل تنظیم و متحرک باشند و به راحتی متناسب با نیازهای کار، به هم بسته و باز شوند.

د) داربست تلسکوپی: داربست تلسکوپی وسیله‌ای سریع برای دسترسی به تجهیزات روشنایی در گستره‌ای از ارتفاع‌های نصب مختلف می‌باشد. این تجهیز می‌تواند به اندازه‌های مختلفی درآمده و سکوهایی دارد که می‌توانند هم به صورت دستی و هم به صورت اتوماتیک بالا و پایین بروند.

ه) پایه‌های روشنایی لولادار: این نوع پایه‌ها واحدهای روشنایی را تا یک سطح کاری مناسب پایین آورده و مسئول تعمیر و نگهداری را قادر می‌سازند تا آن‌ها را با حداقل تجهیزات لازم سرویس کنند. در این پایه‌ها، وقتی چراغ پایین می‌آید، مدار الکتریکی آن قطع می‌شود و وقتی به موقعیت اصلی خود باز می‌گردد، اتصال مدار الکتریکی مجددا به صورت اتوماتیک برقرار می‌گردد. البته در این پایه‌ها می‌بایست نگهداری قسمت‌های گردان، قرقره‌ها و خط تغذیه نیز صورت پذیرد.

و) راهروها، جرثقیل‌ها، قفس‌ها: برای نگهداری سیستم روشنایی می‌توان از ابتدای کار تسهیلاتی برای آن در نظر گرفت. این کار می‌تواند از راه‌های مختلفی صورت پذیرد، به عنوان مثال در پایه‌های روشنایی با ارتفاع بلند می‌توان با استفاده از قفس‌های تعمیر و نگهداری به انجام این کار مبادرت نمود.

ز) جاروبرقی‌ها و دمنده‌ها: گاهی از دمنده‌ها و جاروبرقی‌ها برای زدودن گرد و غبار واحدهای روشنایی استفاده می‌شود. گرچه از این طریق بخشی از آلودگی پاک می‌شود، ولی در پاره‌ای از موارد هنوز نیاز به شسته شدن تجهیزات وجود خواهد داشت. با این وجود، استفاده متناوب از جاروبرقی‌ها و دمنده‌ها می‌تواند فاصله زمانی نظافت را طولانی‌تر کند.

۱۴-۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل از ضابطه، توصیه‌های عمومی ایمنی و نگهداری سیستم روشنایی راه‌ها بررسی شد. معرفی ضریب نگهداری، اهمیت و لزوم نگهداری تجهیزات روشنایی راه‌ها، عوامل موثر بر ضریب نگهداری، عوامل موثر بر اتلاف نور، ضریب نگهداری، سرویس سیستم‌های روشنایی، جلوگیری از تابش نور توسط درختان، استهلاک پخش کننده و رفلکتور، دستورالعمل تعویض لامپ، تامین ایمنی در تعمیر و نگهداری سیستم روشنایی، فاصله ایمن کار در مجاورت خطوط هوایی و تجهیزات تعمیر و نگهداری مطالب بررسی شده در این فصل بودند.

فصل ۷

دستورالعمل اندازه‌گیری روشنایی در راه‌ها

مقدمه

در این فصل دستورالعمل تعیین میزان روشنایی و اندازه‌گیری آن در سیستم‌های روشنایی نصب شده در راه‌ها ارائه می‌گردد. نمونه‌هایی از فرمت گزارش‌های آزمون نیز در انتهای فصل آمده است.

۷-۱- تعاریف و اصطلاحات

۷-۱-۱- سیستم اندازه‌گیری خودکار با هدف کنترل

سیستم خودکار برای تولید سیگنال کنترل مرتبط با یک یا چند پارامتر نوری اندازه‌گیری شده استفاده می‌شود که می‌تواند بر شرایط عملکردی تاسیسات روشنایی راه تاثیرگذار باشد. پارامترهای اندازه‌شناسی[۱] مانند قابلیت تکرار اندازه‌گیری و پایداری از مشخصات اصلی این سیستم می‌باشند.

۷-۱-۲- سیستم اندازه‌گیری دینامیک

سیستم اندازه‌گیری که برای انجام اندازه‌گیری در امتداد سطح راه حرکت می‌کند، سیستم دینامیک نامیده می‌شود.

۷-۱-۳- سیستم اندازه‌گیری استاتیک

سیستم اندازه‌گیری که برای انجام اندازه‌گیری ایستا است، سیستم استاتیک نامیده می‌شود.

۷-۱-۴- تجهیز اندازه‌گیری درخشندگی با روش تصویری (ILMD[۲])

تجهیز الکترونیک دیجیتالی که به لنز، فیلتر تطابق نوری مناسب[۳] و سنسور ساخته شده از ماتریس آشکارساز (پیکسل) مجهز است و برای اندازه‌گیری توزیع درخشندگی کالیبره شده است.

نکته ۱: هر پیکسل برای تعیین مقادیر درخشندگی فضایی که بر روی سطح آن توسط سیستم لنز تصویر شده است، کالیبره می‌شود.

نکته ۲: ماتریس پیکسل به طور کلی با سنسورهای CCD[۴] یا CMOS[۵] تحقق می‌یابد.

---

[۱] Metrological Parameters

[۲] Image Luminance Measuring Device

[۳] Adequate Photometric Matching Filter

[۴] Charge Coupled Device

[۵] Complementary Metal Oxide Semiconductor

۷-۱-۵- روشنایی تطبیقی

تغییرات کنترل شده متناسب با زمان در درخشندگی یا شدت روشنایی که به حجم ترافیک، زمان، آب و هوا یا سایر پارامترها مرتبط می‌باشد.

۷-۲- اطلاعات اولیه اندازه‌گیری سیستم روشنایی راه‌ها

۷-۲-۱- اهداف اندازه‌گیری

اندازه‌گیری پارامترهای کیفی نوری یک سیستم روشنایی راه، به منظور برآورده نمودن چهار هدف زیر می‌باشد[۱۶]:

۱- **اندازه‌گیری در مرحله آزمایش نهایی**: اندازه‌گیری‌هایی که در مرحله آزمایش نهایی تاسیسات روشنایی راه، به منظور تایید رعایت الزامات استانداردی و یا انتظارات طراحی انجام می‌شود. از این نتایج می‌توان برای تایید رسمی تاسیسات روشنایی راه استفاده نمود.

۲- **اندازه‌گیری در طول عمر روشنایی راه**: اندازه‌گیری‌هایی که در فواصل از پیش تعیین شده زمانی در طول عمر روشنایی راه انجام می‌شوند تا میزان کاهش عملکرد روشنایی را تعیین نموده و نیاز به تعمیر و نگهداری یا تایید مطابقت تاسیسات روشنایی راه با الزامات استانداردی یا انتظارات طراحی مشخص گردد.

۳- **اندازه‌گیری‌ها برای روشنایی راه تطبیقی**: اندازه‌گیری‌هایی که به صورت پیوسته یا در فواصل از پیش تعیین شده برای کنترل شار نوری چراغ‌ها در روشنایی راه تطبیقی انجام می‌شوند به طوری که عملکرد تاسیسات در مقدار معینی با رواداری مشخص حفظ شود.

۴- **اندازه‌گیری‌ها برای بررسی اختلاف‌ها**: گاهی اوقات اندازه‌گیری‌ها به منظور بررسی مغایرت بین مقادیر اندازه‌گیری شده و انتظارات طراحی یا تاثیر محیط انجام می‌شود. برای هر هدف، روش‌های مختلف اندازه‌گیری، الزامات و مشخصات اندازه‌گیری ابزارها باید در نظر گرفته شود.

بخش اصلی این فصل، الزامات اندازه‌گیری در مرحله آزمایش نهایی و در طول عمر روشنایی راه را در نظر می‌گیرد. مشخصات یا الزامات اضافی برای اندازه‌گیری روشنایی خیابانی تطبیقی در پیوست ۶ و اندازه‌گیری برای بررسی مغایرت‌ها در پیوست ۵ فراهم شده است. تنظیمات اندازه‌گیری به صورت یک شرایط خاص اندازه‌گیری در نظر گرفته می‌شود که باید در مرحله آزمایش نهایی از الزامات اندازه‌گیری پیروی نماید. هنگامی که نتایج اندازه‌گیری نیاز به مقایسه دارند باید این مقایسه با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از نقاط اندازه‌گیری یکسان و در صورت لزوم موقعیت ناظر یکسان انجام شوند.

اندازه‌گیری‌ها باید به دنبال یک روش عملکردی دقیق که الزامات یا انتظارات طراحی را در نظر می‌گیرد، ارزیابی عدم قطعیت اندازه‌گیری را توصیف می‌کند و شرایط کاربردی و جنبه‌های عملی را در نظر می‌گیرد، انجام شوند. اهداف اندازه‌گیری باید در گزارش آزمون بیان شود.

در شرایطی که مستندات طراحی یک تاسیسات، موجود نباشد، می‌توان اندازه‌گیری را با توجه به مشخصات پیشنهادی انجام داد.

۷-۲-۲- روش‌های اندازه‌گیری و انتخاب ابزارهای نوری

۷-۲-۲-۱- اندازه‌گیری‌های استاتیک نسبت به دینامیک

اندازه‌گیری‌ها را می‌توان با سیستم‌های اندازه‌گیری استاتیک یا دینامیک انجام داد. برای یک هدف اندازه‌گیری معین، انتخاب سیستم مناسب باید با توجه به دقت لازم برای نتایج و سایر محدودیت‌هایی که می‌تواند ناشی از دلایل ایمنی، شرایط محلی و موقتی و یا الزامات مناقصه باشد، انجام شود.

یک سیستم اندازه‌گیری دینامیک می‌تواند کل طول (یا سطح) تاسیسات روشنایی راه را در زمان قابل قبول‌تری نسبت به یک سیستم اندازه‌گیری استاتیک، اندازه‌گیری نماید. این ویژگی، زمانی که همگنی عملکرد تاسیسات روشنایی راه باید مورد بررسی قرار گیرد یا هنگامی که کل شبکه راه باید در یک لحظه معین ارزیابی شود، می‌تواند مفید باشد. راهنمای طراحی و استفاده از سیستم‌های اندازه‌گیری دینامیک در CIE194:2011 آورده شده است.

۷-۲-۲-۲- الزامات عمومی روش‌های اندازه‌گیری و تجهیزات اندازه‌گیری

روش‌های اندازه‌گیری اتخاذ شده باید متناسب با هدف اندازه‌گیری‌ها باشند. برای یک هدف اندازه‌گیری معین، حداکثر مقدار قابل قبول عدم قطعیت اندازه‌گیری‌ها باید با توجه به الزامات ملی یا مناقصه تعیین شود و بر اساس ارزیابی تاثیر این عدم قطعیت می‌توان در مورد استفاده از نتایج اندازه‌گیری یا مصرف توان تاسیسات روشنایی راه یا هر پارامتر دیگری تصمیم‌گیری نمود.

همه ابزارها باید در محدوده استفاده، کالیبره شوند. مشخصات اندازه‌گیری تجهیزات مورد استفاده نیز باید متناسب با هدف اندازه‌گیری‌ها باشد. روشنایی باید با دستگاه سنجش روشنایی اندازه‌گیری شود که عملکردی متناسب با هدف اندازه‌گیری‌ها دارد.

عملکرد ابزارهای اندازه‌گیری باید برای شرایط خاص کاربردی ارزیابی شوند. بنابراین در صورت نیاز، کالیبراسیون و مشخصات نوری آشکارساز مورد استفاده باید با در نظر گرفتن شرایط دما و رطوبت محیط در حین اندازه‌گیری‌ها و طیف‌های منتشر شده در ناحیه قابل مشاهده توسط چراغ‌ها، اصلاح شوند. ابزارهایی که برای اندازه‌گیری پارامترهای نوری استفاده می‌شوند باید برای همه پارامترهای مربوطه مشخص شوند و تاثیر آنها در مدل ارزیابی عدم قطعیت در نظر گرفته شود. راهنمایی در مورد عملکرد دستگاه سنجش روشنایی و درخشندگی‌متر در CIE S 023/E:2013 آورده شده است.

۷-۲-۲-۳- الزامات خاص برای درخشندگی‌متر

برای هر نوع درخشندگی‌متر، تاثیر منابع نوری خارج از ناحیه چارچوب باید در نظر گرفته شود.

برای هر نوع درخشندگی متر، در هر اندازه‌گیری نقطه ظریف[۱]، زاویه دیداری[۲] اندازه‌گیری شده سطح راه نباید بیش از ۲ دقیقه قوسی[۳] در سطح عمودی و بیش از ۲۰ دقیقه قوسی در سطح افقی باشد. حداقل زاویه دیداری نباید کمتر از ۱ دقیقه قوسی باشد[۱۶].

نکته ۱: برای جلوگیری از هم‌پوشانی نواحی اندازه‌گیری که از طریق تنظیم درخشندگی‌متر در این فاصله مشاهده می‌شوند، حداکثر مقدار زاویه مخروط اندازه‌گیری دارای مقدار فوق‌الذکر می‌باشد[۱۶].

نکته ۲: حداقل مقدار زاویه دیداری، یک دقت دید[۴] معمولی ۱ دقیقه قوسی را در نظر می‌گیرد[۱۶].

اگر اندازه‌گیری در فاصله نزدیک‌تری نسبت به موقعیت‌های نامی ناظر، انجام شود، توصیه می‌شود که مخروط اندازه‌گیری درخشندگی‌متر بیشتر از ۳۰ دقیقه قوسی نباشد و اندازه ناحیه اندازه‌گیری در راه بیشتر از ۰٫۵ متر عرض و ۲٫۵ متر طول نداشته باشد[۱۶].

۷-۲-۳- ارزیابی عدم قطعیت اندازه‌گیری

عدم قطعیت اندازه‌گیری را می‌توان در سه گروه در نظر گرفت[۱۶]:

الف) مواردی که مربوط به مشخصات اندازه‌گیری سیستم اندازه‌گیر و تاثیر روش‌های اندازه‌گیری است؛

ب) مواردی که مربوط به اثر مشخصات نامی و طرح تاسیسات روشنایی راه در حال اندازه‌گیری، است.

ج) مواردی که مربوط به تاثیر مشخصات لحظه‌ای تاسیسات روشنایی راه در حال اندازه‌گیری و شرایط آب و هوایی و محیطی می‌باشد.

این سه گروه باید به صورت جدا بررسی شوند زیرا تاثیر آخرین گروه می‌تواند موجب تغییر قابل توجهی در مقدار یک پارامتر شود، در حالی که تاثیر سیستم اندازه‌گیری می‌تواند به طور قابل توجهی ثابت بماند.

منابع مختلف عدم قطعیت اندازه‌گیری را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی نمود:

- دقت ابزارهای اندازه‌گیری؛
- دقت مرجع مختصات نقطه یا ناحیه(در صورت وجود) اندازه‌گیری شده؛
- تاثیر روش اندازه‌گیری؛
- تاثیر روش‌های تدوین داده؛
- مشخصات تاسیسات روشنایی راه و پایداری پارامترهای نوری در طول اندازه‌گیری؛
- شرایط تامین توان الکتریکی؛

---

[۱] Grind Point

[۲] angular subtense

[۳] Min of Arc

[۴] Visual Acuity

- شرایط آب و هوایی (دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و غیره)؛
- شرایط محیطی (وجود درختان، اشیاء محافظ، مزاحمت منابع نور، سایر تاسیسات روشنایی و غیره).

معمولا ارزیابی سه عدم قطعیت آخر نیاز نیست و فقط شرایط آنها در گزارش آزمون باید توصیف شود، زیرا:

الف) این شرایط معمولا تحت کنترل تیم اندازه‌گیری نیستند؛

ب) ارزیابی یا اندازه‌گیری آنها می‌تواند دشوار یا پرهزینه باشد؛

ج) تاسیسات روشنایی راه باید در شرایط واقعی کار که نیاز به جزئیات کمی ندارد، مورد ارزیابی قرار گیرد.

د) تاثیر این موارد بر میزان روشنایی یا درخشندگی اندازه‌گیری شده به طور کلی مشخص نیست و به احتمال زیاد تعیین آن بدون تنظیمات سخت و پرهزینه اندازه‌گیری، غیرممکن است.

اگر مقادیر نقطه‌ای یا یکنواختی‌ها در گزارش آزمون آورده شود، تاثیر ناهماهنگی آشکارساز (به عنوان مثال سطح آشکارساز نسبت به نقاط شبکه در موقعیت نامی نیست) در اندازه‌گیری روشنایی و تاثیر موقعیت و ابعاد سطح قاب در اندازه‌گیری درخشندگی باید هنگام ارزیابی عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری در نظر گرفته شوند. این همبستگی یک ویژگی تاسیسات روشنایی راه است (تغییرات فضایی روشنایی یا درخشندگی در نزدیکی نقطه به دلیل توزیع نور ناهمگن) و به سیستم اندازه‌گیری یا روش‌های اندازه‌گیری مربوط نیست.

تاثیر عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری لازم نیست برای مقادیر متوسط در نظر گرفته شود. راهنمای محاسبه عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری در ISO/IEC Guide 98-1:2009 و ISO/IEC Guide 98-3:2008 آورده شده است.

۷-۲-۴- مناطق اندازه‌گیری شده

در اندازه‌گیری‌ها باید طول کل تاسیسات روشنایی راه‌ها و کلیه شرایط عملکردی آن در نظر گرفته شوند. اگر مشخصات تاسیسات روشنایی راه‌ها به صورت ثابت برای طول کل تاسیسات طراحی شده باشد، می‌توان تعداد مناسبی از مناطق را انتخاب کرد و اندازه‌گیری‌ها را فقط در این مناطق انجام داد. در این صورت، دلایل و پیامدهای این انتخاب باید در گزارش آزمون نوشته شود. یکی از رایج‌ترین دلایل انتخاب مناطق اندازه‌گیری شده خاص، افت ولتاژ منبع تغذیه در خط منبع توان الکتریکی است.

۷-۲-۵- پارامترهای اندازه‌گیری شده

پارامترهای هندسی راه مانند فاصله پایه‌ها، عرض راه و باند در منطقه اندازه‌گیری شده، باید اندازه‌گیری یا مشخص شوند تا بتوان مرجع مختصات نقطه محاسبه و مقادیر نامی مختصات نقطه را تعیین نمود. موقعیت، شیب و جهت سطح حساس دستگاه سنجش شدت روشنایی (برای اندازه‌گیری شدت روشنایی) یا موقعیت سطح اندازه‌گیری شده (برای اندازه‌گیری درخشندگی) با توجه به نقاط نامی شبکه محاسبه باید در گزارش آزمون ثبت شود. برای اندازه‌گیری شدت

روشنایی، مختصات z (ارتفاع سطح حساس به نور آشکارساز نسبت به سطح راه) نیز باید مشخص شود. این پارامترها با استفاده از مقدار نامی و رواداری آنها یا مقادیر اندازه‌گیری شده به همراه عدم قطعیت آنها مشخص می‌شوند.

اندازه‌گیری انجام شده به منظور بررسی مطابقت با الزامات استانداردی، باید کلیه پارامترهای کیفی نور را برای سطح روشنایی مربوطه در نظر بگیرد. در اندازه‌گیری انجام شده برای تایید مطابقت با انتظارات طراحی، باید تنظیمات پارامترها که در طراحی تاسیسات روشنایی راه‌ها مشخص و ارزیابی شده است در نظر گرفته شوند.

نکات اضافی زیر نیز باید در گزارش آزمون شرح داده شوند:

- شرایط منبع توان الکتریکی؛
- شرایط محیطی و آب و هوایی.

۷-۲-۶- اطلاعات کلی در مورد اندازه‌گیری‌ها در طول عمر تاسیسات روشنایی

اندازه‌گیری‌ها در طول عمر روشنایی راه‌ها معمولا قبل یا بعد از تعمیر و نگهداری تاسیسات، مطابق با الزامات طراحی انجام می‌شوند. مجموعه محدودی از پارامترهای اندازه‌گیری شده و هندسه ساده اندازه‌گیری ممکن است مطابق با مشخصات طراحی یا الزامات مناقصه انتخاب شوند. حتی می‌توان از تعیین برخی پارامترها اجتناب کرد، مگر این که به صورت بخشی از مشخصات مناقصه درخواست شده یا به صورت بخشی از یک استاندارد مربوطه مورد نیاز باشد.

اگر اندازه‌گیری‌ها در فواصل از پیش تعیین شده یا دوره‌ای برای تعیین میزان کاهش عملکرد روشنایی انجام شود، ممکن است با استفاده از روش‌های ساده انجام شود. مجموعه‌های مختلفی از پارامترها یا هندسه‌ها ممکن است اندازه‌گیری شوند، اما برای مقایسه در هر بار اندازه‌گیری باید حداقل یک پارامتر با هندسه معین، تعیین شود. ارتباط بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در این شرایط و پارامترهای اصلی باید اندازه‌گیری‌های قبلی یا شرایط اندازه‌گیری خاصی که در طراحی تاسیسات روشنایی راه‌ها توصیف شده است را در نظر بگیرد. با این حال، هر بار که پایش انجام می‌شود، همه اندازه‌گیری‌ها باید با شیوه‌ای سازگار انجام شوند.

۷-۲-۷- مقایسه با الزامات

همه مقایسه‌های نتایج اندازه‌گیری شده با الزامات استانداردی یا انتظارات طراحی باید با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های توسعه یافته اندازه‌گیری[۱]، انجام شوند. برای پارامترهایی که نیاز به مقدار بیشتر یا مساوی یک سطح معین دارند، حد پایین فاصله پوششی[۲] عدم قطعیت‌های توسعه یافته اندازه‌گیری باید بزرگتر یا مساوی سطح معین باشد. برای پارامترهایی که

[۱] Expanded Measurement Uncertainty

[۲] Coverage Interval

نیاز به مقدار کمتر یا مساوی یک سطح معین دارند، حد بالای فاصله پوششی عدم قطعیت‌های توسعه یافته اندازه‌گیری باید کمتر یا مساوی سطح معین باشد.

عدم قطعیت توسعه یافته اندازه‌گیری و فاصله پوششی در ISO/IEC Guide 99:2007 تعریف شده‌اند. همچنین راهنمای تاثیر عدم قطعیت اندازه‌گیری در ارزیابی مطابقت در ISO/IEC 98-4 آورده شده است.

مرجع [۱۶] الزاماتی برای مقادیر قابل قبول عدم قطعیت اندازه‌گیری ارائه نمی‌دهد. عدم قطعیت توسعه یافته برای اندازه‌گیری‌ها را می‌توان در مرحله مهندسی نهایی به صورت الزاماتی به منظور بهینه‌سازی مدیریت یا مصرف انرژی الکتریکی نشان داد.

برای تایید مطابقت با الزامات استانداردی، مقادیر اندازه‌گیری شده باید با پارامترهای خاص تاسیسات روشنایی راه مقایسه شوند. برای تایید مطابقت با انتظارات طراحی، مقادیر اندازه‌گیری شده باید با مجموعه متناظر از پارامترهای مشخص شده و ارزیابی شده در طراحی تاسیسات راه مقایسه شوند. اگر پارامتر طراحی خاصی در مناقصه ذکر شده باشد، باید مورد استفاده قرار گیرد.

در بیان مطابقت با الزامات استانداردی، تمام پارامترهای یک سطح روشنایی معین، باید ذکر شوند. در صورت نیاز به بررسی دلایل مغایرت‌ها، اندازه‌گیری سایر پارامترهای نوری یا غیرنوری در تاسیسات لازم است.

۷-۳- شرایط اندازه‌گیری

۷-۳-۱- دوره کارکردگی[۱] لامپ‌ها و چراغ‌ها قبل از اندازه‌گیری‌ها

عموما اندازه‌گیری‌ها باید پس از یک دوره کارکردگی منابع نوری نصب شده در چراغ‌ها انجام شود.

۷-۳-۲- تثبیت (پایداری) پس از روشن شدن

چراغ‌های روشنایی به یک دوره زمانی نیاز دارند تا نور خروجی آنها تثبیت شود و همه اندازه‌گیری‌ها باید پس از این دوره تثبیت انجام شود.

در صورت وجود نگرانی در مورد پایداری تاسیسات روشنایی راه‌ها در طول اندازه‌گیری، قرائت‌های پایش[۲] باید انجام شود. به عنوان مثال، اندازه‌گیری‌های شدت روشنایی در یک مکان یا مکان‌های مشابه باید در فواصل زمانی منظم انجام شود تا اطمینان حاصل شود که پایداری در طول اندازه‌گیری تاسیسات روشنایی راه‌ها حفظ شده است.

بسته به نوع لامپ‌ها و تاسیسات روشنایی راه، اطلاعات کافی و مناسب با نظارت بر ولتاژ تغذیه به دست می‌آید.

---

[۱] Ageing

[۲] Monitoring Readings

۷-۳-۳- شرایط آب و هوایی

۷-۳-۳-۱- کلیات

شرایط آب و هوایی نباید تاثیر قابل توجهی بر اندازه‌گیری‌ها داشته باشد، مگر این که میزان این تاثیر در نظر گرفته شود. در برخی شرایط آب و هوایی، جذب اتمسفر سطح شدت روشنایی را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد یا میزان درخشندگی اندازه‌گیری شده را تغییر می‌دهد. اگر شرایط آب و هوایی در زمان اندازه‌گیری مطابق شرایط لازم برای اهداف اندازه‌گیری نباشد، مسئول اندازه‌گیری باید در مورد به تعویق انداختن اندازه‌گیری‌ها تصمیم‌گیری نماید.

۷-۳-۳-۲- ابزارها

بالا یا پایین بودن دما ممکن است بر کالیبراسیون و دقت ابزارهای اندازه‌گیری روشنایی تاثیر بگذارد. چگالش یا رطوبت روی سطوح انتقال دهنده نور ابزارهای اندازه‌گیری یا مدارهای الکتریکی آنها ممکن است بر دقت اندازه‌گیری تاثیرگذار باشد. همچنین سرعت زیاد باد ممکن است موجب لرزش یا نوسان ابزارهای اندازه‌گیری گردد.

تاثیر شرایط آب و هوایی بر عملکرد ابزارها باید با استفاده از فاکتورهای تصحیح در نظر گرفته شود. این عدم قطعیت باید در ارزیابی عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری لحاظ شوند. اگر شرایط آب و هوایی خارج از محدوده فاکتورهای تصحیح باشد، مسئول اندازه‌گیری باید اندازه‌گیری‌ها را به تعویق بیندازد.

۷-۳-۳-۳- تاسیسات روشنایی راه‌ها

دماهای بالا یا پایین یا سرعت زیاد باد ممکن است بر نور خروجی لامپ‌ها یا چراغ‌های حساس به حرارت تاثیر بگذارد. همچنین سرعت زیاد باد ممکن است موجب نوسان چراغ‌ها شود[۱۶].

انتقال نور از اتمسفر بر نوری که به سطح مورد اندازه‌گیری می‌رسد، تاثیر می‌گذارد و در اندازه‌گیری درخشندگی، نوری که از سطح مورد نظر به درخشندگی‌متر می‌رسد باید اندازه‌گیری شود.

شرایط آب و هوایی باید به گونه‌ای باشد که تاثیر قابل توجهی بر اندازه‌گیری‌ها نداشته باشد، مگر این که این شرایط در نظر گرفته شود.

اندازه‌گیری درخشندگی تنها زمانی انجام می‌شود که جاده خشک باشد و الزامات برای شرایط خشک در نظر گرفته شود. هنگام اندازه‌گیری سطح خشک، حتی کمی رطوبت سطح جاده تاثیر قابل توجهی بر میزان درخشندگی سطح جاده دارد.

اگر شرایط آب و هوایی در زمان اندازه‌گیری نشان دهنده شرایط ارزیابی در مرحله طراحی تاسیسات روشنایی راه‌ها نباشد، مسئول اندازه‌گیری باید در مورد به تعویق انداختن اندازه‌گیری‌ها تصمیم‌گیری نماید.

۷-۳-۴- شرایط راه

مشخصات نوری سطح راه می‌تواند در طول زمان به ویژه سه سال اول تکامل یابد. در مورد اندازه‌گیری درخشندگی در سطح راه جدید، مقادیر اندازه‌گیری شده می‌توانند متفاوت از مقادیر مورد انتظار باشد، زیرا ضریب درخشندگی کاهش یافته واقعی با آنچه که در مرحله طراحی استفاده می‌شود (اندازه‌گیری شده یا بدست آمده از جداول استاندارد) متفاوت است. در این حالت شرایط سطح راه را می‌توان با مقایسه اندازه‌گیری و محاسبه روشنایی تخمین زد.

۷-۳-۵- نور خارجی و ممانعت از نور[۱]

هنگامی که اندازه‌گیری‌ها صرفا برای ثبت عملکرد روشنایی تاسیسات روشنایی راه‌ها در نظر گرفته شود، باید از نور مستقیم محیط اطراف یا نور منعکس شده از اطراف جلوگیری نمود. اقدامات انجام شده برای این کار باید در گزارش آزمون ثبت شوند. نور محیط اطراف می‌تواند شامل نور ویترین مغازه‌ها، تابلوهای تبلیغاتی، علائم راهنمایی، چراغ‌های خودرو، سایر تاسیسات روشنایی راه، برافروختگی آسمان، بازتاب برف کنار راه و غیره باشد. این نورها گاهی اوقات قابل پیشگیری، پوشش یا خاموش شدن می‌باشند. در این شرایط، تصحیح مقادیر اندازه‌گیری شده می‌تواند بر اساس اندازه‌گیری جداگانه‌ای که در آن تاسیسات روشنایی راه‌ها خاموش باشد، انجام شود. تصحیح برافروختگی آسمان به متغیر نبودن حالت ابری آسمان[۲] بستگی دارد.

هنگامی که اندازه‌گیری‌ها برای ثبت نور بدون مانع انجام می‌شود، در صورت امکان باید مناطقی برای اندازه‌گیری انتخاب شوند که عاری از هر گونه مانعی باشند که ممکن است سایه ایجاد کند. این موانع ممکن است شامل درختان، وسایل نقلیه پارک شده یا تجهیزات راه باشد. همچنین وجود موانع باید در گزارش آزمون ثبت شود.

سایه یا تداخل سیستم‌های اندازه‌گیری یا اپراتورها باید به حداقل ممکن کاهش یابد. توجه به این نکته لازم است که پرسنل اندازه‌گیر یا تجهیزاتی که استفاده می‌شوند موجب کاهش نوری که به نورسنج (اندازه‌گیری روشنایی) یا سطح راه مورد اندازه‌گیری (اندازه‌گیری درخشندگی) می‌رسد، نشوند.

هنگام انجام اندازه‌گیری‌ها در طول دوره عمر تاسیسات، ممکن است از نور اضافی و موانع نور جلوگیری شود یا ممکن است به عنوان بخشی از عملکرد کلی روشنایی، مطابق با روش‌های توصیف شده در بخش طراحی تاسیسات در مناقصه یا استاندارد مربوطه در نظر گرفته شود.

---

[۱] Extraneous Light and Obstruction of Light

[۲] Cloudiness

۷-۴- اندازه‌گیری‌های نوری

۷-۴-۱- اندازه‌گیری درخشندگی

به منظور اندازه‌گیری درخشندگی، موقعیت ناظر و انتخاب نقاط شبکه باید مطابق با شکل ۴-۱ باشد.

موقعیت ناظر: برای اندازه‌گیری درخشندگی، موقعیت‌های نامی ناظر باید مطابق با فصل۴ باشد. دقت در موقعیت ناظر باید در ارزیابی عدم قطعیت اندازه‌گیری لحاظ شود [۱۶].

انتخاب نقاط شبکه: اگر برخی نقاط شبکه بر روی خط‌کشی راه قرار گیرند، نباید در تعیین میزان میانگین درخشندگی و مقادیر یکنواختی در نظر گرفته شوند. این نقاط باید در گزارش آزمون ثبت شوند. حداقل و حداکثر مقادیر در نقاط شبکه محاسباتی باید در گزارش آزمون آورده شوند.

اندازه‌گیری متوسط درخشندگی: متوسط درخشندگی به صورت میانگین مقدار درخشندگی‌های اندازه‌گیری شده در نقاط شبکه یا با استفاده از یک قرائت در ناحیه مربوطه از سطح راه بدست می‌آید.

الزامات اضافی برای سیستم‌های اندازه‌گیری دینامیک: اندازه‌گیری دینامیک درخشندگی باید با استفاده از ILMD انجام شود. هرگونه تاثیری که وسیله نقلیه بر میزان درخشندگی می‌گذارد مانند سایه ایجاد شده توسط وسیله نقلیه، نور منعکس شده از وسیله نقلیه به درخشندگی‌متر و بازتاب داخلی، در صورت امکان باید تصحیح شوند و در ارزیابی عدم قطعیت در نظر گرفته شوند.

وسایل نقلیه متحرک نباید نویز الکترونیکی یا نوری ایجاد کنند که با مقادیر خوانده شده از تجهیز تداخل داشته باشد، مگر این که مقدار خوانده شده اصلاح شود و این اصلاح در ارزیابی عدم قطعیت در نظر گرفته شود.

اگر آشکارساز درخشندگی در داخل وسیله نقلیه قرار داشته باشد، تمام اثرات شیشه جلو و نور داخل وسیله نقلیه در میزان درخشندگی باید ارزیابی شود و مقادیر اندازه‌گیری شده باید تصحیح شوند. این تصحیح باید در ارزیابی عدم قطعیت در نظر گرفته شود.

در مفهوم ناظر متحرک، زاویه دید نامی اندازه‌گیر باید نسبت به بردار عمود بر سطح راه زاویه 89° داشته باشد و نقاط شبکه اندازه‌گیری باید در خطوط عرضی در فاصله مربوط به زاویه دید مورد نیاز با رواداری $\pm 2 \times D$ باشند که D فاصله بین نقاط در جهت طولی شبکه مشخص شده می‌باشد[۱۶].

برای اندازه‌گیری‌ها در مرحله آزمایش نهایی، حداکثر مسافت پوشش داده شده در طول زمان قرار گرفتن در معرض نور[۱] نباید بیشتر از ۰٫۵ متر باشد و دقت در تعیین مختصات نامی نقاط اندازه‌گیری باید بیشتر از D باشد[۱۶].

[۱] Exposure Time

برای اندازه‌گیری در طول عمر تاسیسات، حداکثر فاصله‌ای که سنسورها اندازه‌گیری را انجام می‌دهند نباید بیشتر از ۲ متر باشد[۱۶].

۷-۴-۲- اندازه‌گیری شدت روشنایی

به منظور اندازه‌گیری شدت روشنایی، نقاط شبکه و محل ناظر باید مطابق با شکل ۴-۱ ضابطه باشد[۱۶].

انتخاب نقاط شبکه: برخی از نقاط شبکه می‌توانند در سایه اجسام (مانند درختان) قرار گیرند. در چنین مواردی توصیه می‌شود در تعیین میانگین و یا حداقل روشنایی و مقادیر یکنواختی، این نقاط در نظر گرفته نشوند و در گزارش آزمون ثبت شوند.

روشنایی افقی: برای اندازه‌گیری روشنایی افقی، سطح حساس به نور نورسنج باید افقی یا موازی با سطح راه باشد. مقدار نامی ارتفاع سطح حساس به نور نورسنج (ارتفاع اندازه‌گیری) باید در گزارش آزمون مشخص شود. از نظر تئوری سطح حساس به نور نورسنج باید در سطح زمین قرار گیرد اما معمولا این امر به دلیل ضخامت آشکارساز و تکیه‌گاه (مانند گیمبال‌ها[۱]) امکان‌پذیر نیست. اگر ارتفاع اندازه‌گیری افزایش یابد، اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و روشنایی واقعی یا محاسبه شده در سطح راه نیز افزایش می‌یابد.

تاثیر ارتفاع اندازه‌گیری باید در عدم قطعیت اندازه‌گیری ارزیابی شود. در صورت امکان باید یک فاکتور تصحیح برای ارتفاع اندازه‌گیری تعیین شود. در این مورد عدم قطعیت اندازه‌گیری باید مقدار روشنایی تصحیح شده و تاثیر عدم قطعیت فاکتور تصحیح را در نظر بگیرد. با ارزیابی هر نقطه از شبکه مورد استفاده و بدست آوردن نسبت بین روشنایی محاسبه شده در سطح راه و روشنایی محاسبه شده در صفحه‌ای در ارتفاع نامی و موازی با سطح راه، فاکتور تصحیح برای ارتفاع اندازه‌گیری بدست می‌آید.

روشنایی عمودی: مرکز سطح حساس به نور نورسنج در نقاط شبکه باید به طور نامی در ارتفاع ۱٫۵ متری از سطح زمین قرار گیرد. سطح حساس به نور نورسنج باید عمودی بوده و جهت‌گیری صحیحی داشته باشد. این سطح معمولا دارای زاویه قائمه با جهت‌های اصلی حرکت عابران پیاده است.

الزامات سیستم‌های اندازه‌گیری استاتیک: هنگام اندازه‌گیری شدت روشنایی، برای به حداقل رساندن تداخل سیستم‌های اندازه‌گیری یا اپراتورها، توصیه می‌شود که از دستگاه سنجش شدت روشنایی با کابل نگهدارنده از راه دور استفاده شود. کابل‌ها باید به اندازه کافی بلند باشند تا ناظران بتوانند در موقعیتی قرار گیرند که مانع رسیدن نور به نورسنج نشوند. استفاده از گیمبال‌ها وظیفه حفظ نورسنج در شیب صحیح با توجه به سطح راه را ساده می‌نماید.

---

[۱] Gimbals

برای روشنایی افقی، اندازه‌گیر باید در ارتفاع ۲۰۰ میلیمتری از سطح زمین باشد. اگر سیستم روشنایی راه‌ها دارای چراغ در ارتفاع کمتر از ۲ متر باشد، نورسنج باید در ۵۰ میلیمتری سطح زمین باشد یا مقدار روشنایی باید در ارتفاع اندازه‌گیری مجاز محاسبه شود[۱۶].

الزامات سیستم‌های اندازه‌گیری دینامیک: وسیله نقلیه متحرک نباید از نورهایی که به طریق دیگری به نورسنج می‌رسد، محافظت کند، مگر این که این شرایط در روش‌های اندازه‌گیری (مانند سیستم‌های آشکارساز دوبخشی[۱]) در نظر گرفته شود. اگر از روش آشکارساز دوبخشی استفاده شود، اثر محافظ وسیله نقلیه در روش‌های اندازه‌گیری در نظر گرفته می‌شود. در تخمین دقت الگوریتم برای بدست آوردن شدت روشنایی نقطه از جلو و قرائت آشکارساز باید ارزیابی عدم قطعیت در نظر گرفته شود. راهنمای طراحی، استفاده و مشخصات سیستم آشکارساز دوبخشی در CIE194:2011 ارائه شده است.

هر گونه اثر ایجاد شده از وسیله نقلیه بر روی آشکارساز مانند سایه‌های ایجاد شده توسط وسیله نقلیه، نور منعکس شده از وسیله نقلیه و بازتاب داخلی بین وسیله نقلیه و آشکارساز در صورت وجود، باید تصحیح شوند و در ارزیابی عدم قطعیت در نظر گرفته شود.

وسیله نقلیه متحرک نباید نویز نوری یا الکترونیکی ایجاد کند که با قرائت تجهیزات تداخل داشته باشد، مگر اینکه قرائت دستگاه به اندازه کافی تصحیح شود و این اصلاح در ارزیابی عدم قطعیت در نظر گرفته شود.

اگر از نظر ایمنی مشکلی وجود نداشته باشد، سنسور نوری باید در ارتفاع ۳۰۰ میلیمتری از سطح زمین باشد. اگر سیستم روشنایی راه دارای چراغ در ارتفاع کمتر از ۲ متر باشد، مقدار شدت روشنایی باید در ارتفاع اندازه‌گیری نامی محاسبه شود[۱۶].

برای اندازه‌گیری در مرحله آزمایش نهایی، حداکثر فاصله‌ای که سنسورها در طول آن اندازه‌گیری می‌کنند (در طول زمان جمع‌آوری داده) نباید بیشتر از ۰٫۱ متر باشد. برای اندازه‌گیری در طول عمر تاسیسات، حداکثر فاصله‌ای که سنسورها در طول آن اندازه‌گیری می‌کنند (در طول زمان جمع‌آوری داده) نباید بیشتر از ۱ متر باشد[۱۶].

۷-۵- اندازه‌گیری پارامترهای غیرنوری

۷-۵-۱- کلیات

اندازه‌گیری پارامترهای غیرنوری باید مرتبط با هدف اندازه‌گیری‌ها باشد. در زمانی که اندازه‌گیری‌ها برای مقایسه با الزامات انجام می‌شود، اندازه‌گیری‌های دقیق غیرنوری لازم است و در جایی که اندازه‌گیری‌ها برای نظارت بر وضعیت تاسیسات است، ممکن است اندازه‌گیری‌های غیرنوری با جزئیات کمتر کافی باشد[۱۶].

---

[۱] Split Detector Systems

۷-۵-۲- ولتاژ منبع تغذیه

در صورت نیاز، ولتاژ منبع تغذیه باید به طور مداوم یا حداقل در ابتدای اندازه‌گیری در یک نقطه مهم تاسیسات الکتریکی اندازه‌گیری و مشاهده شود. بدین منظور استفاده از یک ولتمتر با خاصیت ثبت اطلاعات ارجحیت دارد.

اگر شار نوری پخش شده از چراغ‌ها در تاسیسات روشنایی راه هنگامی که تحت تاثیر تغییرات ولتاژ منبع تغذیه قرار می‌گیرند، پایدار در نظر گرفته شود، اندازه‌گیری مداوم ولتاژ منبع تغذیه ضروری نیست.

۷-۵-۳- دما و رطوبت

در صورت لزوم دما و رطوبت باید در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین اندازه‌گیری شوند و حداقل در ابتدای اندازه‌گیری‌ها و در نهایت به طور منظم در طول دوره اندازه‌گیری ثبت شوند[۱۶].

۷-۵-۴- اطلاعات هندسی

در صورت لزوم، اندازه‌گیری هندسه تاسیسات باید انجام شود. این اندازه‌گیری‌ها ممکن است شامل ارتفاع پایه‌ها و طول بازو باشد. علاوه بر این، زاویه نصب چراغ در مکان، جهت چراغ‌ها و چرخش چراغ‌ها در صورتی که برای فراهم نمودن اهداف اندازه‌گیری لازم باشند، باید مورد ارزیابی قرار گیرند.

۷-۵-۵- ابزارهای اندازه‌گیری غیرنوری

اندازه‌گیری پارامترهای غیرنوری متناسب با اهداف اندازه‌گیری باید با ابزارهای کالیبره انجام شود. تصمیم برای استفاده از ابزارهای غیرکالیبره برای پارامترهای غیرنوری خاص باید در گزارش آزمون ثبت شود. برای این پارامترها عدم قطعیت اندازه‌گیری نباید ارزیابی شود.

نکته: الزامات مربوط به تضمین کیفیت ابزارها ممکن است به عنوان بخشی از مناقصه یا مشخصات، درخواست شود.

۷-۶- گزارش آزمون

گزارش آزمون باید حداقل شامل موارد ذیل باشد:

الف) اهداف اندازه‌گیری؛

ب) تمام اطلاعاتی که در طول اندازه‌گیری جمع‌آوری شده (در صورتی که مرتبط با هدف اندازه‌گیری باشند)؛

ج) جزئیات ابزارهای مورد استفاده، تعداد آنها برای شناسایی بدون ابهام و شرایط کالیبراسیون آنها (تاریخ، اعتبار، قابلیت ردیابی اندازه‌شناسی)؛

د) جزئیات شرایط آب و هوا، منبع تغذیه و محیط؛

ه) مرجع یا شرح مختصر روش‌های استفاده شده برای اندازه‌گیری و تدوین داده‌ها مانند ارزیابی عدم قطعیت اندازه‌گیری؛

و) نتایج اندازه‌گیری به همراه عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری آنها؛

ز) دلیل، توجیه و عواقب انتخاب مناطق اگر اندازه‌گیری در کل طول تاسیسات انجام نشده باشد؛

ح) اقدامی که برای جلوگیری یا محاسبه نور مستقیم یا منعکس شده از محیط اطراف انجام شده است؛

ط)تمام اطلاعات دیگر اشاره شده در بخش‌های قبلی این فصل.

برای سیستم دینامیک، سرعت متوسط وسیله نقلیه در حین اندازه‌گیری باید مشخص شود و ارزیابی عدم قطعیت اندازه‌گیری باید به طور مشخص تمام جنبه‌های مرتبط با حرکت و فاکتورهای تصحیحی که استفاده شده است را نشان دهد. مسئول اندازه‌گیری‌ها باید گزارش آزمون را امضا نماید. نمونه‌ای از بخش‌های مختلف گزارش آزمون در ادامه آورده می‌شود.

۷-۶-۱- اطلاعات کلی آزمون

جدول اطلاعات کلی آزمون، به صورت جدول ۷-۱ می‌باشد[۱۶].

جدول ۷-۱: اطلاعات کلی آزمون

نام مکان	
هدف اندازه‌گیری	
نوع اندازه‌گیری‌ها	
تاریخ آزمون	
زمان آزمون	شروع
	پایان
اسامی پرسنل انجام دهنده آزمون	

۷-۶-۲- اطلاعات هندسی

اطلاعات هندسی در واقع نقشه ساده راه و محیط اطراف با ابعاد و موقعیت چراغ‌ها، موقعیت مبلمان جاده‌ای، وسایل نقلیه پارک شده و هرگونه مانع دیگر می‌باشد.

۷-۶-۳- داده‌های سطح راه

داده‌های سطح راه، شامل جدول ۷-۲ می‌باشد.

جدول ۷-۲: داده‌های سطح راه

نوع سطح راه	
عمر (دوره کارکرد) سطح راه	
مشاهدات وضعیت سطح راه	

۷-۶-۴- اطلاعات لامپ و چراغ

فراهم نمودن اطلاعات لامپ و چراغ به صورت جدول ۷-۳ در گزارش لازم می‌باشد.

جدول ۷-۳: اطلاعات لامپ و چراغ

انواع چراغ	مشخصات چراغ و لامپ	مقدار
چراغ نوع ۱	شناسایی	
	مرجع جدول I	
	زاویه نصب (درجه)	
	ارتفاع نصب (m)	
	سن	
	موقعیت نسبت به سیستم مرجع	
	داده‌های دیگر	
منابع نور در چراغ نوع ۱	نوع	
	توان (W)	
	سن	
	تعداد منابع نور در چراغ	
	بالاست	
	روش تضعیف نور	
چراغ نوع ۲	شناسایی	
	مرجع جدول I	
	زاویه نصب (درجه)	
	ارتفاع نصب (متر)	
	سن	
	روش نصب	
	داده‌های دیگر	
منابع نور در چراغ نوع ۲	نوع	
	توان (W)	
	سن	
	تعداد منابع نور در چراغ	

انواع چراغ	مشخصات چراغ و لامپ	مقدار
	بالاست	
	روش تضعیف نور	

۷-۶-۵- منبع الکتریکی

مشخصات منبع الکتریکی مانند جدول ۷-۴ می‌باشد.

جدول ۷-۴: مشخصات منبع الکتریکی

میانگین ولتاژ منبع تغذیه در طول دوره اندازه‌گیری (V)	
کمترین ولتاژ منبع تغذیه در طول دوره اندازه‌گیری (V)	

۷-۶-۶- شرایط محیطی

شرایط محیطی لازم برای گزارش آزمون به صورت جدول ۷-۵ می‌باشد.

جدول ۷-۵: شرایط محیطی

شرایط محیطی	شروع	پایان
آب و هوا و دید		
دما (°C)		
رطوبت		
ظاهر سطح راه (مرطوب، خشک یا نمناک)		

۷-۶-۷- موقعیت تاسیسات

موقعیت تاسیساتی که باید در گزارش آزمون ذکر شوند به صورت جدول ۷-۶ می‌باشند.

جدول ۷-۶: موقعیت تاسیسات

هندسه تاسیسات	
زاویه نصب در سایت چراغ‌ها	
وضعیت نگهداری چراغ‌ها	
نور خارجی	
ممانعت از نور	
جنبه‌های دیگر نصب	

۷-۶-۸- اطلاعات تجهیز اندازه‌گیر

جدول ۷-۷ اطلاعات تجهیز اندازه‌گیر است که باید در گزارش آزمون ارائه شود.

جدول ۷-۷: اطلاعات تجهیز اندازه‌گیر

نوع اندازه‌گیری	ساخت	مدل	شماره ابزار	تاریخ کالیبراسیون	نام مرجع صدور گواهینامه
شدت روشنایی افقی					
شدت روشنایی نیم کره‌ای					
شدت روشنایی نیم استوانه‌ای					
برای درخشندگی اندازه زاویه‌ای حوزه اندازه‌گیری(^{o}) عمودی: عرضی:					
برای درخشندگی ارتفاع نورسنج (m)					
ولت‌متر					

۷-۶-۹- مشخصات تجهیزات اندازه‌گیری نوری

لازم است مشخصات تجهیزات اندازه‌گیری نوری به صورت جدول ۷-۸ در گزارش آزمون آورده شود.

جدول ۷-۸: مشخصات تجهیزات اندازه‌گیری نوری

نوع اندازه‌گیر	مشخصات	مقدار
شدت روشنایی افقی	ارتفاع نامی نورسنج (m)	
شدت روشنایی نیم کره‌ای	ارتفاع نامی نورسنج (m)	
شدت روشنایی نیم استوانه‌ای	ارتفاع نامی نورسنج (m)	
درخشندگی	اندازه زاویه حوزه اندازه‌گیری (°)	
	عمودی	
	عرضی	
	ارتفاع نامی نورسنج (m)	

۷-۶-۱۰- شبکه اندازه‌گیری

مشخصات زیر روی نمودار (دیاگرام) مشخص می‌شود:

- موقعیت چراغ‌ها؛
- نقاط اندازه‌گیری؛
- مقادیر نوری و عدم قطعیت آنها؛
- مسیر یا مسیرهای عملکردی برای شدت روشنایی عمودی؛
- برای درخشندگی: موقعیت نورسنج نسبت به شبکه.

۷-۶-۱۱- ثبت پایش نور

جدول ثبت پایش نور به صورت جدول ۷-۹ می‌باشد.

جدول ۷-۹: جدول ثبت پایش نور

زمان روشن شدن تاسیسات		
زمان شروع اندازه‌گیری‌ها		
مکان ۱	شدت روشنایی متوسط در طول دوره اندازه‌گیری	
	انحراف استاندارد شدت روشنایی در طول دوره اندازه‌گیری	
مکان ۲	شدت روشنایی متوسط در طول دوره اندازه‌گیری	
	انحراف استاندارد شدت روشنایی در طول دوره اندازه‌گیری	
مکان ۳	شدت روشنایی متوسط در طول دوره اندازه‌گیری	

۷-۶-۱۲- اطلاعات ویژه برای اندازه‌گیری دینامیک

اطلاعات اندازه‌گیری دینامیک باید به صورت جدول ۷-۱۰ در گزارش آزمون ارائه شوند.

جدول ۷-۱۰: اطلاعات ویژه برای اندازه‌گیری دینامیک

اندازه‌گیری‌های درخشندگی	روش اندازه‌گیری، مانند ثبت تصاویر برای آنالیز آزمایشگاهی یا اندازه‌گیری نقطه‌ای با استفاده از درخشندگی‌متر	
	اقدامات احتیاطی برای در نظر گرفتن تلفات انتقال شیشه اتومبیل، در صورت وجود	
اندازه‌گیری‌های شدت روشنایی	روش اندازه‌گیری شامل روش در نظر گرفتن سایه خودرو	
اندازه‌گیری‌های شدت روشنایی و درخشندگی	روش اتصال موقعیت هندسی ابزار ثبت به موقعیت نقاط اندازه‌گیری	
	عدم قطعیت در اتصال موقعیت هندسی ابزار ثبت به موقعیت نقاط اندازه‌گیری	
	عدم قطعیت در ثبت مقادیر	
	نشان دادن نحوه محاسبه مشخصات کیفی	

۷-۷- حداقل مشخصات فنی تجهیزات اندازه‌گیری روشنایی در راه‌ها و راهنمای انتخاب مناسب آنها

به منظور اندازه‌گیری میزان روشنایی راه‌ها با توجه به نوع راه‌ها و کاربری آنها، لازم است که بتوان "شدت روشنایی" و "درخشندگی" راه را اندازه گرفت. جهت اندازه‌گیری "شدت روشنایی" از "لوکس‌متر" و برای اندازه‌گیری درخشندگی از "درخشندگی‌متر" استفاده می‌گردد. این دستگاه‌ها با معیارهای مختلف خطایی که برای آنها تعریف گردیده و در بعضی از استانداردها با کلاس دقت متفاوتی که در مشخصات فنی آنها ذکر می‌گردد، مشخص شده و ساخته می‌شوند. در این بخش و به منظور انتخاب مناسب آنها، ابتدا کلاس‌بندی‌های مختلف "لوکس‌متر" و "درخشندگی‌متر" بر اساس استاندارد DIN 5032-7 بیان گردیده و سپس بر اساس استاندارد CIE، معیارهای خطای قابل قبول دستگاه‌های مزبور و چگونگی انتخاب مناسب‌ترین آنها مشخص گردیده است[۱۹-۱۷].

۷-۷-۱- کلاسه‌بندی لوکس‌متر و درخشندگی‌متر مبتنی بر استاندارد DIN 5032-7

در استاندارد DIN 5032-7 راهنمای کلاسه‌بندی دستگاه‌های اندازه‌گیری نورسنجی فیزیکی مشتمل بر لوکس‌متر و درخشندگی‌متر آمده است. هدف از کلاسه‌بندی، تشریح دقت اندازه‌گیری و همچنین امکان مقایسه دستگاه‌های با کلاس‌های مختلف می‌باشد[۱۷].

۷-۷-۱-۱- کلاسه‌بندی لوکس‌متر

لوکس‌متر تجهیزی جهت اندازه‌گیری شدت روشنایی در یک محدوده مشخص (نقاط اندازه‌گیری) می‌باشد. در این دستگاه نور باید به صورت مستقیم به گیرنده برخورد کند. در این راستا دقت دستگاه با یک ضریب خطا بنام f_2 مشخص

می‌گردد. همچنین میزان اندازه‌گیری می‌بایست بر اساس منحنی حساسیت روشنایی چشم انسان در روز یا $V(\lambda)$ باشد که در این ارتباط نیز دقت دستگاه با ضریب خطای f_1 مشخص می‌شود. برای لوکس‌متر علاوه بر ضرایب خطای فوق‌الذکر، ضرایب خطای دیگری نیز تعریف شده و در نهایت یک ضریب خطای مجموع یا f_{sum} تعریف می‌گردد به طوری که تعیین‌کننده میزان کل خطای دستگاه می‌باشد. در نهایت، با توجه به ضرایب خطای مختلف تعریف شده و محدوده‌های آنها، دستگاه لوکس‌متر در ۴ کلاس به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شود:

الف- کلاس L: دستگاه با بالاترین دقت؛

ب- کلاس A: دستگاه با دقت بالا؛

ج- کلاس B: دستگاه با دقت متوسط؛

د- کلاس C: دستگاه با دقت پایین.

در جدول ۷-۱۱ میزان ضرایب خطا برای کلاس دقت‌های مختلف مشخص شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد خطای مجموع برای کلاس L حداکثر ۳٪، کلاس A حداکثر ۵٪، کلاس B حداکثر ۱۰٪ و برای کلاس C حداکثر ۲۰٪ تعریف شده است. با توجه به دقت بالای کلاس L، معمولا از این کلاس جهت اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی استفاده می‌شود.

جدول ۷-۱۱: محدوده‌های خطای تعریف شده برای معیارهای خطای دستگاه اندازه‌گیری شدت روشنایی (لوکس‌متر) در کلاس‌های دقت **L**، **A**، **B** و **C**

معیـــــار خطـــــا	علامت اختصاری	حداکثر خطای دستگاه اندازه‌گیری در کلاس دقت			
		L	**A**	**B**	**C**
منحنی حساسیت روشنایی چشم در روز- $V(\lambda)$	f_1	٪۱٫۵	٪۳	٪۶	٪۹
حساسیت به ماوراء بنفش- UV	u	٪۰٫۲	٪۱	٪۲	٪۴
حساسیت به مادون قرمز- IR	r	٪۰٫۲	٪۱	٪۲	٪۴
خطای ارزیابی جهتی یا کسینوسی	f_2	(۱)	٪۱٫۵	٪۳	٪۶
خطای ارزیابی شدت روشنایی کروی E_o	$f_{2,0}$	(۱)	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰
خطای ارزیابی شدت روشنایی استوانه‌ای E_z	$f_{2,z}$	(۱)	٪۵	٪۱۰	٪۱۵
خطای ارزیابی شدت روشنایی نیمه استوانه‌ای E_{zh}	$f_{2,zh}$	(۱)	٪۵	٪۱۰	٪۱۵
خطای خطی	f_3	٪۰٫۲	٪۱	٪۲	٪۵
خطای نمایشگر	f_4	٪۰٫۲	٪۳	٪۴٫۵	٪۷٫۵
خطای خستگی و پیری	f_5	٪۰٫۱	٪۰٫۵	٪۱	٪۲
خطای ضرایب حرارتی	α_0 و α_{25}	٪۰٫۱/K	٪۰٫۲/K	٪۱/K	٪۲/K
خطای مدولاسیون نور	f_7	٪۰٫۱	٪۰٫۲	٪۰٫۵	٪۱
خطای تنظیم	f_{11}	٪۰٫۱	٪۰٫۵	٪۱	٪۲
خطای کلی (۲)	f_{ges}	٪۳ (۳)	٪۵ (۴)	٪۱۰ (۴)	٪۲۰ (۴)
حد پایین فرکانس	f_u	۴۰ Hz	۴۰ Hz	۴۰ Hz	۴۰ Hz
حد بالای فرکانس	f_o	10^5 Hz	10^5 Hz	10^4 Hz	10^3 Hz

۱)در صورتی که اندازه‌گیری برای حالت تابش مستقیم پرتوهای نورانی نباشد، خطای کلاس دقت A عینا در نظر گرفته می‌شود.
۲)خطای کلی به معنای میزان عدم قطعیت و اطمینان در هنگام کالیبره کردن می‌باشد.
۳)عبارت از مجموع مقادیر f_1، u، r، f_3، f_4، $\alpha.2K$، f_5، f_7 و f_{11} می‌باشد.
۴)عبارت از مجموع مقادیر f_1، u، r، f_2، f_3، f_4، $\alpha.10K$ ، f_5، f_7 و f_{11} می‌باشد.

۷-۷-۱-۲- کلاسه‌بندی درخشندگی‌متر

همانند لوکس‌متر، تجهیز درخشندگی‌متر نیز در ۴ کلاس دقت به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شود:

الف- کلاس L: دستگاه با بالاترین دقت؛

ب- کلاس A: دستگاه با دقت بالا؛

ج- کلاس B: دستگاه با دقت متوسط؛

د- کلاس C: دستگاه با دقت پایین.

در جدول ۷-۱۲ نیز میزان ضرایب خطا برای کلاس دقت‌های مختلف درخشندگی‌متر مشخص گردیده است. در این جدول، مجموع ضرایب خطا برای کلاس L حداکثر برابر با ۵٪، کلاس A برابر با ۷٫۵٪، کلاس B برابر با ۱۰٪ و کلاس C برابر با ۲۰٪ تعریف گردیده است.

جدول ۷-۱۲: محدوده‌های خطای تعریف شده برای معیارهای خطای دستگاه اندازه‌گیری درخشندگی‌متر در کلاس‌های دقت

معیـــــار خطـــــا	علامت اختصاری	حداکثر خطای دستگاه اندازه‌گیری در کلاس دقت			
		L	A	B	C
منحنی حساسیت روشنایی چشم در روز- $V(\lambda)$	f_1	٪۲	٪۳	٪۶	٪۹
حساسیت به ماوراء بنفش-UV	u	٪۰٫۲	٪۱	٪۲	٪۴
حساسیت به مادون قرمز-IR	r	٪۰٫۲	٪۱	٪۲	٪۴
خطای ارزیابی جهتی مستقیم	$f_2(g)$	٪۲	٪۳	٪۶	٪۹
خطای ارزیابی جهتی غیر مستقیم	f_2 (u)	٪۱	٪۱٫۵	٪۲	٪۴
خطای خطی	f_3	٪۰٫۲	٪۱	٪۲	٪۵
خطای نمایشگر	f_4	٪۰٫۲	٪۳	٪۴٫۵	٪۷٫۵
خطای خستگی و پیری	f_5	٪۰٫۱	٪۰٫۵	٪۱	٪۲
خطای ضرایب حرارتی	α_o, α_{25}	٪۰٫۱/K	٪۰٫۲/K	٪۱/K	٪۲/K
خطای مدولاسیون نور	f_7	٪۰٫۱	٪۰٫۲	٪۰٫۵	٪۱
خطای پلاریزاسیون نور	f_8	٪۰٫۲	٪۰٫۱	٪۲	٪۴
خطای تنظیم	f_{11}	٪۰٫۱	٪۰٫۵	٪۱	٪۲
خطای فوکوس	f_{12}	٪۰٫۴	٪۱	٪۱	٪۱
خطای کلی [۱]	f_{ges}	٪۵ [۲]	٪۷٫۵ [۳]	٪۱۰ [۳]	٪۲۰ [۳]
حد پایین فرکانس	f_u	۴۰ Hz	۴۰ Hz	۴۰ Hz	۴۰ Hz
حد بالای فرکانس	f_o	10^5 Hz	10^5 Hz	10^4 Hz	10^3 Hz

۱)خطای کلی به معنای میزان عدم قطعیت و اطمینان در هنگام کالیبره کردن می‌باشد.

۲)عبارت از مجموع مقادیر f_1، u، r، $f_2(g)$، $f_2(u)$، f_3، f_4، $\alpha.2K$ ، f_5، f_7، f_8، f_{11} و f_{12} می‌باشد.

۳)عبارت از مجموع مقادیر f_1، u، r، $f_2(g)$، $f_2(u)$، f_3 f_4، $\alpha.10K$ ، f_5، f_7، f_8، f_{11} و f_{12} می‌باشد.

۷-۷-۲- خطاهای قابل انتظار دستگاه‌های اندازه‌گیری

بر اساس استاندارد CIE، حداکثر خطای اندازه‌گیری قابل قبول برای لوکس‌متر ٪۵± و برای درخشندگی‌متر ٪۴± می‌باشد.

در جدول ۷-۱۳ و جدول ۷-۱۴ خلاصه‌ای از خطاهای قابل انتظار از دستگاه‌های سنجش شدت روشنایی و درخشندگی بر اساس این استاندارد آمده است. در این استاندارد تاکید گردیده که برای کلیه نورسنج‌ها، $V(\lambda)$ مهم‌ترین مشخصه بوده و باید حتی‌الامکان کوچک باشد.

جدول ۷-۱۳: پارامترهای خطای قابل قبول دستگاه سنجش شدت روشنایی بر اساس استاندارد **CIE**

مشخصه	علامت اختصاری	مقدار حداکثر	توضیحات
$V(\lambda)$	f_1	٪۲	بازده نوری بینایی چشم انسان جهت رویت در روز
UV response	u	٪۰٫۲	نسبت سیگنال Y(UV) در حالتی که نورسنج با یک منبع UV معین همراه با یک فیلتر UV نورافشانی می‌شود، به سیگنال Y در حالتی که نورسنج با همان منبع نور ولی بدون فیلتر UV پرتوافکنی می‌شود.
IR response	r	٪۰٫۲	نسبت سیگنال Y(IR) در حالتی که نورسنج با یک لامپ تنگستن هالوژن همراه با یک فیلتر IR معین ترکیب شده نورافشانی شده است، به سیگنال Y در حالتی که با همان منبع نور ولی بدون فیلتر IR پرتوافکنی می‌شود.
Cosine response	f_2	٪۱٫۵	خطای ناشی از ارزیابی جهتی یا کسینوسی
Linearity error	f_3	٪۰٫۲	تناسب کمیت خروجی آشکارساز با کمیت ورودی در محدوده مشخصی از سطوح ورودی
Fatigue	f_5	٪۰٫۲	تغییر زودگذر برگشت پذیر در پاسخ دستگاه تحت شرایط ثابت بهره‌برداری که در اثر روشن شدن رخ می‌دهد
Polarization	f_8	٪۲	میزان وابستگی سیگنال خروجی اندازه‌گیر به شرایط پلاریزاسیون نور اندازه‌گیری شده

جدول ۷-۱۴: پارامترهای خطای قابل قبول دستگاه‌های سنجش درخشندگی بر اساس استاندارد **CIE**

مشخصه	علامت اختصاری	مقدار حداکثر	توضیحات
$V(\lambda)$	f_1	٪۳	بازده نوری بینایی چشم انسان جهت رویت در روز
UV response	u	٪۰٫۲	نسبت سیگنال Y(UV) در حالتی که نورسنج با یک منبع UV معین همراه با یک فیلتر UV نورافشانی می‌شود، به سیگنال Y در حالتی که نورسنج با همان منبع نور ولی بدون فیلتر UV پرتوافکنی می‌شود.
IR response	r	٪۰٫۲	نسبت سیگنال Y(IR) در حالتی که نورسنج با یک لامپ تنگستن هالوژن همراه با یک فیلتر IR معین ترکیب شده نورافشانی شده است، به سیگنال Y در حالتی که با همان منبع نور ولی بدون فیلتر IR پرتوافکنی می‌شود.
Directional response	$f_2(g)$	٪۲	تعیین میزان تاثیر نور مستقیم تابیده شده از خارج از سطح اندازه‌گیری بر اندازه‌گیری درخشندگی سطح مورد نظر
Effect from surrounding field	$f_2(u)$	٪۱	تعیین میزان تاثیر نور غیر مستقیم تابیده شده از محیط اطراف سطح اندازه‌گیری بر اندازه‌گیری درخشندگی سطح مورد نظر
Linearity error	f_3	٪۰٫۲	تناسب کمیت خروجی آشکارساز با کمیت ورودی در محدوده مشخصی از سطوح ورودی
Fatigue	f_5	٪۰٫۱	تغییر زودگذر برگشت‌پذیر در پاسخ دستگاه، تحت شرایط ثابت بهره‌برداری که در اثر روشن شدن رخ می‌دهد
Polarization	f_8	٪۰٫۱	میزان وابستگی سیگنال خروجی اندازه‌گیر به شرایط پلاریزاسیون نور اندازه‌گیری شده
Errors of focus	f_{12}	٪۰٫۴	میزان تاثیر تغییر فاصله سطح اندازه‌گیری بر خطای مقدار اندازه‌گیری شده توسط دستگاه

۷-۷-۳- راهنمای انتخاب تجهیزات اندازه‌گیری روشنایی راه‌ها

در استاندارد CIE، حداقل معیارهای خطای دستگاه‌های اندازه‌گیری شدت روشنایی و درخشندگی برای اندازه‌گیری روشنایی راه‌ها بیان شده‌اند. در این استاندارد با تاکید بر رعایت خطای f_1، میزان خطای کلی برای هر یک از دستگاه‌ها بیان شده که حتی‌الامکان می‌بایست در موقع انتخاب دستگاه مورد نظر رعایت شود. لازم به ذکر است هر یک از معیارهای خطای قید شده برای دستگاه از طرف سازنده، باید با میزان تعریف شده برای آن معیار در استاندارد CIE مطابقت داده شده و در صورت برآورده شدن آن دسته از حدود خطاها، دستگاه مزبور مورد پذیرش قرار گیرد[۱۹-۱۷].

۷-۷-۳-۱- معیارهای مهم در انتخاب دستگاه اندازه‌گیری شدت روشنایی (لوکس‌متر)

در موقع انتخاب دستگاه اندازه‌گیری شدت روشنایی (لوکس‌متر) مناسب، معیارهایی که می‌بایست مدنظر قرار داده شوند عبارتند از:

الف) دقت اندازه‌گیری دستگاه: بدین منظور می‌بایست معیارهای خطای دستگاه از سازنده مربوطه اخذ و با مطابقت با جدول ۷-۱۳، دستگاه مناسب انتخاب گردد. همچنین اگر برای دستگاه مورد نظر کلاس دقت تعریف شده باشد در آن صورت دستگاه‌هایی با کلاس دقت A و یا نهایتا با کلاس دقت B به شرطی که ضریب خطای f_1 آنها در همسایگی نزدیک به مقدار داده شده در جدول ۷-۱۳ باشد، مورد قبول می‌باشند.

ب) محدوه اندازه‌گیری دستگاه: محدوده اندازه‌گیری دستگاه می‌بایستی از بازه بین حداقل ۰٫۱ لوکس تا حداکثر ۲۰,۰۰۰ لوکس کمتر نباشد.

ج) قابلیت کاربرد بیرونی (outdoor) دستگاه

د) قابلیت کاربرد دستگاه در محدوده مناسب تغییرات درجه حرارت: دستگاه اندازه‌گیری باید قابلیت کار در محدوده دمای محیط بین صفر تا ۵۰ درجه سانتیگراد را داشته باشد.

ه) قابلیت کاربرد در محیط مرطوب: دستگاه اندازه‌گیری باید قابلیت کار در محیط مرطوب را داشته و حداقل تا رطوبت ۸۰٪ را پاسخگو باشد.

۷-۷-۳-۲- معیارهای مهم در انتخاب دستگاه اندازه‌گیری درخشندگی‌متر

در موقع انتخاب دستگاه درخشندگی‌متر مناسب، معیارهایی که می‌بایست مدنظر قرار داده شوند عبارتند از:

الف) دقت اندازه‌گیری دستگاه: در خصوص این دستگاه اندازه‌گیری نیز می‌بایست معیارهای خطای دستگاه از سازنده مربوطه اخذ و با مطابقت با جدول ۷-۱۴، دستگاه مناسب انتخاب گردد. همچنین اگر برای دستگاه کلاس دقت تعریف شده باشد در آن صورت کلاس دقت A مورد قبول می‌باشد.

ب) محدوده اندازه‌گیری دستگاه: محدوده اندازه‌گیری دستگاه می‌بایستی حداقل $0.1\ cd/m^2$ باشد و بتواند حداکثر $1000\ cd/m^2$ را اندازه‌گیری کند..

ج) حداقل دقت مقادیر اندازه‌گیری: حداقل دقت مقادیر قابل اندازه‌گیری دستگاه $0/1\ cd/m^2$ باشد.

د) زاویه میدان دید دستگاه: حداقل زاویه میدان دید دستگاه ۲ دقیقه در ۲۰ دقیقه باشد.

ه) قابلیت کاربرد بیرونی (outdoor) دستگاه

و) قابلیت کاربرد دستگاه در محدوده مناسب تغییرات درجه حرارت: دستگاه اندازه‌گیری باید قابلیت کار در محدوده دمای محیط بین صفر تا ۵۰ درجه سانتیگراد را داشته باشد.

ز) قابلیت کاربرد در محیط مرطوب: دستگاه اندازه‌گیری باید قابلیت کار در محیط مرطوب را داشته و حداقل تا رطوبت ۸۰٪ را پاسخگو باشد.

۷-۸- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل از ضابطه، دستورالعمل اندازه‌گیری روشنایی در راه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مطالبی که در این فصل به آن پرداخته شد شامل اطلاعات اولیه اندازه‌گیری سیستم روشنایی راه‌ها، شرایط اندازه‌گیری، اندازه‌گیری‌های نوری و اندازه‌گیری پارامترهای غیرنوری بود. در بخش اندازه‌گیری نوری، شرایط و الزامات اندازه‌گیری درخشندگی و روشنایی شامل موقعیت ناظر، انتخاب نقاط شبکه و الزامات تجهیزات بیان گردید.

در انتهای فصل نیز حداقل مشخصات فنی تجهیزات اندازه‌گیری روشنایی ارائه شد. همچنین پیوست ۵ (اندازه‌گیری‌ها برای بررسی اختلاف بین اندازه‌گیری‌های نوری و انتظارات طراحی)، پیوست ۶ (راهنمای سیستم‌های اندازه‌گیری روشنایی تطبیقی راه‌ها) و پیوست ۷ (اطلاعات عملی برای اندازه‌گیری روشنایی راه‌ها) مرتبط با این فصل می‌باشند.

فصل ۸

مشخصات فنی تجهیزات مورد استفاده در روشنایی راه‌ها

مقدمه

در این فصل از ضابطه، مشخصات فنی تجهیزات مورد استفاده در روشنایی راه‌ها مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. این تجهیزات شامل انواع لامپ‌ها، بالاست، جرقه‌زن، خازن و پایه‌های روشنایی می‌باشند.

۸-۱- تعاریف و اصطلاحات

۸-۱-۱- بالاست

تجهیزی است که مابین منبع تغذیه و یک یا چند لامپ (فلورسنت یا تخلیه‌ای) قرار می‌گیرد و به دلیل خاصیت القایی، خازنی و یا ترکیبی از این دو به منظور راه‌اندازی و شروع کار لامپ و محدود کردن جریان آن به مقدار لازم به کار می‌رود.

۸-۱-۲- بالاست مرجع

بالاست القایی یا الکترونیکی ویژه‌ای است که در آزمون لامپ‌ها، استاندارد مقایسه‌ای جهت آزمون بالاست‌ها و انتخاب لامپ‌های مرجع به کار می‌رود. این بالاست با نسبت ولتاژ به جریان ثابتی که تغییرات جریان، درجه حرارت و محیط مغناطیسی بر روی آن نسبتا بی‌اثر هستند، مشخص می‌گردد.

۸-۱-۳- لامپ مرجع

لامپی است که برای تست بالاست‌ها انتخاب می‌شود. این لامپ هنگامی که همراه با بالاست مرجع مورد استفاده قرار می‌گیرد، دارای خصوصیات الکتریکی نزدیک به مقادیر اسمی در استاندارد لامپ‌ها می‌باشد.

۸-۱-۴- توان کل ورودی

کل توان ورودی از طرف منبع تغذیه به مدار لامپ – بالاست که در ولتاژ اسمی اندازه‌گیری می‌شود.

۸-۱-۵- تلفات بالاست

توان الکتریکی اکتیو که توسط بالاست مورد استفاده قرار گرفته ولی به انرژی نورانی تبدیل نشده است.

۸-۱-۶- حداکثر دمای کار نامی سیم‌پیچی بالاست (tw)

بالاترین دمای سیم‌پیچ که توسط سازنده تعیین می‌شود به نحوی که بالاست در فرکانس نامی و در آن دما بتواند به مدت ده سال کار مداوم داشته باشد.

۸-۱-۷- افزایش دمای نامی سیم‌پیچی بالاست (Δt)

افزایش دمایی که تحت شرایط استاندارد توسط سازنده اعلام می‌گردد.

۸-۱-۸- جرقه‌زن (لوازم راه‌اندازی)

تجهیزی که برای ایجاد پالس‌های ولتاژ جهت راه‌اندازی لامپ‌های تخلیه‌ای به کار می‌رود. این تجهیز، پیش‌گرم شدن الکترودها را انجام نمی‌دهد.

۸-۱-۹- بهره نوری لامپ

نسبت شار نوری به توان ورودی لامپ، بازده یا بهره نوری لامپ نامیده می‌شود.

$$\eta = \frac{\varphi}{W} \qquad ۱-۸$$

در رابطه فوق، η بهره نوری برحسب لومن بر وات، φ شار نوری بر حسب لومن و W توان ورودی لامپ بر حسب وات می‌باشد.

۸-۱-۱۰- حفظ شار نوری مدول/ لامپ LED

نسبت شار نوری در زمان مشخصی از طول عمر مدول/لامپ LED به مقدار اولیه شار نوری همان مدول/ لامپ که به صورت درصدی می‌باشد. حفظ شار نوری مدول/ لامپ LED در صورتی که شامل بیش از یک LED باشد، تحت تاثیر کاهش شار خروجی LEDها و یا ترکیبی از کاهش شار خروجی آنها با LEDهای معیوب می‌باشد.

۸-۱-۱۱- طول عمر اسمی

مدت زمانی که اغلب مدول/لامپ‌های LED با حفظ شار نوری بیش از مقدار ادعا شده کار می‌کنند. این مقدار همراه با نرخ خرابی که توسط سازنده و یا فروشنده مسئول اظهار شده، نشان داده می‌شود.

۸-۱-۱۲- طول عمر (L_x)

مدت زمانی که یک مدول/لامپ LED در شرایط استاندارد، شار نوری با درصدی بیش از درصد حفظ شار نوری تولید می‌کند. یک مدول/لامپ LED زمانی به انتهای طول عمر خود می‌رسد که شار نوری آن کمتر از درصد ادعا شده از شار نوری اولیه باشد.

انتهای طول عمر لامپ معمولا زمانی است که y% لامپ‌ها سوخته باشد که همراه با مقدار حفظ شار نوری انتخابی نشان داده می‌شود (F_y و L_x) مانند F_{50}، L_{70}، یعنی زمانی که حفظ شار نوری به ۷۰٪ برسد، ۵۰٪ لامپ‌ها سوخته‌اند.

۸-۱-۱۳- نرخ خرابی (F_y)

درصد y از یک تعداد مدول/لامپ LED هم‌نوع که در طول عمر اسمی، میزان خرابی‌ها را مشخص می‌نماید. نرخ خرابی به صورت ترکیبی از تاثیر تمام قطعات یک مدول/لامپ شامل قطعات مکانیکی و همچنین موارد مربوط به نور خروجی بیان می‌شود. این تاثیر برای LED می‌تواند کاهش میزان نور ادعا شده و یا عدم تابش نور باشد.

۸-۱-۱۴- نرخ خرابی تدریجی (B_y)

درصد y از یک تعداد مدول/لامپ LED هم‌نوع که در طول عمر اسمی، میزان خرابی‌ها را مشخص می‌کند. این نوع خرابی فقط کاهش تدریجی نور خروجی را بیان می‌کند.

۸-۱-۱۵- نرخ خرابی ناگهانی (C_y)

درصد y از یک تعداد مدول/لامپ LED هم‌نوع که در طول عمر اسمی، میزان خرابی‌ها را مشخص می‌کند. این نوع خرابی فقط کاهش ناگهانی نور خروجی را بیان می‌کند.

۸-۱-۱۶- کد رنگ

مشخصات رنگ یک مدول/لامپ LED با نور سفید که توسط دمای رنگ مرتبط و شاخص نمود رنگ کلی تعیین می‌شود.

۸-۱-۱۷- محدوده رنگ سفید

فضایی درون چهارضلعی که توسط چهار نقطه مختصات تعیین می‌شود.

۸-۱-۱۸- حداکثر دمای اسمی (t_c)

بالاترین دمای مجاز که در شرایط کار عادی، تحت ولتاژ، جریان یا توان اسمی و یا بیشینه مقدار گستره ولتاژ، جریان یا توان اسمی بر روی سطح بیرونی مدول LED ممکن است ایجاد شود.

۸-۱-۱۹- توان اسمی

توانی که روی لامپ/چراغ نشانه‌گذاری شده است.

۸-۱-۲۰- فرکانس اسمی

فرکانسی که روی لامپ/چراغ نشانه‌گذاری شده است.

۸-۱-۲۱- جریان اسمی

جریانی که در استاندارد یا توسط سازنده و یا فروشنده مسئول مشخص می‌گردد.

۸-۱-۲۲- محدوده ولتاژ

محدوده ولتاژ تغذیه که برای عملکرد تجهیز در نظر گرفته شده است.

۸-۱-۲۳- زمین حفاظتی (چاه زمین)

ترمینالی که قطعات متصل به زمین (به دلیل ایمنی) به آن وصل می‌شوند.

۸-۱-۲۴- زمین کارکردی (زمین)

ترمینالی که قطعات متصل به زمین (به دلایلی غیر از ایمنی) به آن وصل می‌شوند.

۸-۱-۲۵- زمین مرجع (قاب)

ترمینالی که پتانسیل آن به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است.

۸-۲- لامپ‌های بخار سدیم پرفشار

لامپ‌های بخار سدیم پر فشار مورد استفاده در سیستم‌های روشنایی راه‌ها باید بر اساس استاندارد ملی شماره ۵۱۹۱ و یا IEC60662 ساخته و آزمون شده باشند. در این بخش براساس استاندارد مزبور، موارد مهم و کاربردی که می‌باید مورد توجه استفاده‌کنندگان این لامپ‌ها باشد، آورده شده است. جهت موارد تکمیلی باید به هر یک از استانداردهای مربوطه مراجعه نمود[۲۱-۲۰].

۸-۲-۱- نشانه‌گذاری لامپ‌ها

مشخصات لامپ‌ها باید به صورت خوانا و بادوام بر روی آنها ثبت شود:

الف- علامت تجاری، علامت سازنده یا نام فروشنده مسئول؛

ب- توان اسمی؛

ج- نمادهایی که برای مشخص کردن روش راه‌اندازی بکار می‌روند:

- لامپ‌هایی که به جرقه‌زن خارجی نیاز دارند با نماد

- لامپ‌های دارای وسیله راه‌اندازی داخلی با نماد

۸-۲-۲- ابعاد لامپ‌ها

ابعاد لامپ‌ها باید منطبق بر مشخصات مندرج در مرجع [۲۰] باشد.

۸-۲-۳- کلاهک لامپ‌ها

کلاهک لامپ‌ها باید با مقررات مندرج در برگه‌های اطلاعات مربوطه در مراجع [۲۳-۲۲] منطبق باشد.

۸-۲-۴- آزمون‌ها

کلیه آزمون‌های لامپ بخار سدیم پرفشار باید بر اساس استاندارد مربوطه (مرجع [۲۰]) صورت پذیرد. جهت انجام آزمون‌ها، لامپ باید در وضعیت افقی در هوای آزاد، در دمای محیطی ۵±۲۵ درجه سیلسیوس، با استفاده از یک بالاست مرجع تحت یک ولتاژ سینوسی با فرکانس ۵۰ هرتز قرار گیرد. همچنین قبل از انجام آزمون‌ها، لامپ باید به مدت ۱۰۰ ساعت کارکردگی خود را با سیکل ۶ ساعت روشن و ۳۰ دقیقه خاموش، با استفاده از یک بالاست متعارف طی کرده باشد.

۸-۲-۵- حداکثر دمای حباب و کلاهک لامپ

جهت طراحی چراغ، حداکثر دمای حباب لامپ باید به شرح زیر مد نظر قرار گیرد.

- کوچکتر یا برابر ۱۵۰ وات: ۳۱۰ درجه سیلسیوس؛
- بزرگتر از ۱۵۰ وات: ۴۰۰ درجه سیلسیوس.

همچنین دمای مجاز کلاهک نباید از مقادیر جدول ۸-۱ بیشتر شود.

جدول ۸-۱: دمای مجاز کلاهک

نوع کلاهک		حداکثر دمای کلاهک بر حسب درجه سیلسیوس
E ۲۷		۲۱۰
E ۴۰	کوچکتر یا برابر ۱۵۰ وات	۲۱۰
	بزرگتر از ۱۵۰ وات	۲۵۰

۸-۲-۶- برخی مشخصه‌های الکتریک و نوری لامپ

جدول ۸-۲ حاوی برخی مشخصه‌های الکتریکی و نوری لامپ‌های بخار سدیم پرفشار معمول می‌باشد. مقادیر ولتاژ و جریان لامپ بر اساس مرجع [۲۰] و مقادیر شار نوری و خازن پیشنهادی بر اساس جداول فنی سازندگان معتبر ارائه شده است.

در خصوص مقادیر شار نوری ارائه شده، اشاره به این نکته ضروری است که سازندگان مختلف مقادیر متفاوتی را برای شار نوری لامپ‌ها اعلام می‌کنند و به طور قطع در یک توان ثابت لامپ‌هایی که دارای شار نوری بالاتری هستند از راندمان

بهتری برخوردارند. در برخی موارد نیز سازندگان لامپ با ارائه نمونه‌های ویژه، شار نوری را بطور قابل توجهی افزایش داده‌اند. ذکر این نکته ضروری است که در طراحی یک سیستم روشنایی، می‌بایست از لامپی که تهیه و تولید آن از ثبات قابل قبولی برخوردار باشد، استفاده شده و مقادیر طراحی نیز براساس شرایط متعارف و با پیش‌بینی بهره‌برداری آینده و همچنین برخی رواداری‌های تولید شامل مواد اولیه، تغییرات در شیوه تولید و غیره انتخاب شوند.

جدول ۸-۲: برخی مشخصه‌های الکتریکی و نوری لامپ‌های بخار سدیم پرفشار رایج

نوع و توان لامپ	نوع حباب	ولتاژ لامپ (ولت)	جریان لامپ (آمپر)	شار نوری (لومن)	خازن (میکروفاراد)
بخار سدیم ۴۰۰ وات	لوله‌ای	۱۰۰(۷۴-۱۱۷)	۴٫۸	۴۸۰۰۰	۴۵
بخار سدیم ۴۰۰ وات	بیضوی	۱۰۵ (۹۰-۱۲۰)	۴٫۴۵	۴۸۰۰۰	۴۵
بخار سدیم ۲۵۰ وات	لوله‌ای	۱۰۰(۸۵-۱۱۵)	۳	۲۸۰۰۰	۳۲
بخار سدیم ۲۵۰ وات	بیضوی	۱۰۰(۸۵-۱۱۵)	۳	۲۷۰۰۰	۳۲
بخارسدیم ۱۵۰ وات	لوله‌ای	۱۰۰(۸۵-۱۱۵)	۱٫۸	۱۵۰۰۰	۲۰
بخارسدیم ۱۵۰ وات	بیضوی	۱۰۰(۸۵-۱۱۵)	۱٫۸	۱۴۵۰۰	۲۰
بخار سدیم ۱۰۰ وات	لوله‌ای	۱۰۰(۸۵-۱۱۵)	۱٫۲	۹۰۰۰	۱۲
بخار سدیم ۱۰۰ وات	بیضوی	۱۰۰(۸۵-۱۱۵)	۱٫۲	۸۵۰۰	۱۲
بخار سدیم ۷۰ وات	لوله‌ای	۹۰(۷۵-۱۰۵)	۰٫۹۸	۶۰۰۰	۱۲
بخار سدیم ۷۰ وات	بیضوی	۹۰(۷۵-۱۰۵)	۰٫۹۸	۵۶۰۰	۱۲
بخار سدیم ۵۰ وات	بیضوی	۸۵(۷۰-۱۰۰)	۰٫۷۶	۳۵۰۰	۱۰

۸-۲-۷- مشخصات فنی لامپ

مشخصات فنی لامپ بخارسدیم پرفشار باید بر اساس جدول ۸-۳ تهیه و ارائه شود.

جدول ۸-۳: برگه مشخصات فنی لامپ

مشخصات عمومی لامپ	نام سازنده:	
	کد لامپ:	
	ولتاژ نامی (V):	
	توان نامی (W) :	
	شکل ظاهری:	
	داخل یا خارج بودن جرقه‌زن:	
	ضریب توان لامپ:	
	شار نوری نامی لامپ:	
	بهره نوری (لومن بر وات):	
	ضریب برگردان نوری لامپ (CRI):	
	دمای رنگ لامپ (K):	
آزمون راه‌اندازی لامپ	ولتاژ آزمون:	
	حداکثر زمان راه‌اندازی:	
	مشخصه‌های پالس	دامنه ولتاژ:
		شکل موج:
		جهت:
		موقعیت:
		زمان اوج گیری-افزایش T1 [μS]:
		مدت زمان T2 (عرض پالس)[μS] :
آزمون گرم کردن لامپ	ولتاژ آزمون:	
	حداکثر زمان لازم برای دستیابی به حداقل ۵۰ V در کلاهک لامپ (دقیقه):	
مشخصه‌های الکتریکی ولتاژ اسمی بالاست مرجع	ولتاژ در کلاهک لامپ (مقدار موثر) [V] : (مقدار مورد نظر، حداکثر، حداقل)	
	شدت جریان لامپ (مقدار موثر) [A] :	
	توان لامپ [W] :	
	ولتاژ خاموشی (مقدار مؤثر) [V] :	
مشخصه‌های بالاست مرجع	فرکانس اسمی [μS] :	
	ولتاژ اسمی [V] :	
	جریان کالیبره کردن [A] :	
	نسبت ولتاژ به جریان :	
	ضریب توان با تلرانس مورد نظر :	
اطلاعاتی در مورد طراحی بالاست	جریان گرم کردن لامپ [A] (حداقل و حداکثر) :	
	دامنه پالس برای طراحی بالاست (حداقل و حداکثر) :	
	حداکثر افزایش ولتاژ در کلاهک لامپ [V] :	
گستره عملکرد لامپ جهت اطلاع سازندگان بالاست به صورت نمودار ارائه شود.		

۸-۳- منبع نوری LED

دیود ساطع کننده نور (LED[۱]) قطعه‌ای حالت جامد دارای یک اتصال p-n است که با تحریک به وسیله جریان الکتریکی، بخشی از انرژی آزاد شده را به صورت امواج نوری گسیل می‌کند. همچنین واحدی که به عنوان یک منبع نور به کار می‌رود و ممکن است علاوه بر یک یا چند LED شامل قطعات دیگری نظیر قطعات نوری، مکانیکی، الکتریکی و یا الکترونیکی باشد اما شامل دستگاه کنترل نمی‌باشد، مدول LED[۲] نام دارد. مدول‌های LED به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند[۳۱-۲۴]:

- مدول LED بالاست سرخود[۳]: طراحی این نوع مدول به گونه‌ای است که برای اتصال به ولتاژ تغذیه، نیاز به دستگاه کنترل دیگری ندارد. اگر یک مدول LED بالاست سرخود دارای کلاهک لامپ هم باشد، به صورت یک لامپ بالاست سرخود در نظر گرفته می‌شود.
- مدول LED یکپارچه[۴]: این نوع مدول عموما به صورت یک بخش تعویض‌ناپذیر از چراغ طراحی می‌شود.
- مدول LED بالاست سرخود یکپارچه[۵]: مدول LED بالاست سرخود که به صورت یک بخش تعویض‌ناپذیر چراغ طراحی شده باشد.
- مدول LED توکار[۶]: مدولی که به صورت یک جزء تعویض‌پذیر داخل یک چراغ، جعبه، محفظه و یا مانند آن طراحی شده و نباید بدون احتیاط لازم برای نصب در بیرون از چراغ و مانند آن در نظر گرفته شود.
- مدول LED بالاست سرخود توکار: مدول بالاست سرخودی که عموما به شکل یک جزء تعویض‌پذیر داخل یک چراغ، جعبه، محفظه و یا مانند آن طراحی شده و نباید بدون احتیاط لازم برای نصب در بیرون از چراغ و مانند آن در نظر گرفته شود.
- مدول LED مستقل[۷]: مدولی که طراحی آن به گونه‌ای است که می‌تواند مجزا از یک چراغ، جعبه، محفظه یا مانند آن نصب شود. این نوع مدول، تمام حفاظت ایمنی مورد نیاز را مطابق با رده‌بندی و نشانه‌گذاری خود دارا می‌باشد. در مدول LED مستقل، لازم نیست که دستگاه کنترل با مدول یکپارچه باشد.

---

[۱] Light Emitting Diode

[۲] LED Module

[۳] Self-Ballasted LED Module

[۴] Integral LED Module

[۵] IntegralSelf-Ballasted LED Module

[۶] Built-in LED Module

[۷] Independent LED Module

- مدول LED بالاست سرخود مستقل: طراحی مدول LED بالاست سرخود به گونه‌ای است که می‌تواند مجزا از یک چراغ، جعبه اضافی، محفظه و یا مانند آن نصب شود. در این نوع مدول، دستگاه کنترل ممکن است با مدول یکپارچه باشد.
- مدول LED شبه‌بالاست[۱]: مدولی که شامل واحد کنترل دستگاه کنترل می‌باشد و با منبع تغذیه مجزا از دستگاه کنترل کار می‌کند.
- مدول LED قابل تعمیر[۲]: مدولی که می‌تواند در طی طول عمر خود با همان نوع مدول LED تعویض شود به شرطی که همان توزیع شدت نور را ایجاد نماید.
- مدول LED تعویض‌پذیر: مدولی که می‌تواند در طی طول عمر خود با هر نوع مدول LED با مدارات واسطه مشابه جایگزین شود به شرطی که همان توزیع شدت نور را ایجاد نماید.

لامپ‌های LED در دو نوع لامپ LED دو کلاهک جایگزین[۳] و لامپ LED بالاست سرخود[۴] می‌باشند. لامپ LED دو کلاهکی بدون نیاز به هر نوع تغییر در چراغ می‌تواند به عنوان جایگزین نوع دیگری از لامپ مورد استفاده قرار گیرد و بعد از نصب، چراغ در همان سطح ایمنی قبلی باقی می‌ماند. لامپ بالاست سرخود مجموعه‌ای متشکل از کلاهک لامپ، یک منبع نور LED و همچنین اجزای تکمیلی ضروری جهت راه‌اندازی و عملکرد پایدار منبع نور است که نمی‌توان پوشش خارجی آن را باز نمود، مگر آن که غیرقابل استفاده گردد.

چراغ‌های LED به دو صورت یکپارچه و با مدول LED توکار وجود دارند. نوع یکپارچه آن چراغی است که نمی‌توان آن را بدون خرابی دائم از هم باز کرد و شامل منبع نوری LED و هر قطعه اضافی مورد نیاز برای راه‌اندازی و عملکرد پایدار منبع نور می‌باشد. چراغ LED با مدول LED توکار نیز چراغی است که دارای یک مدول LED بالاست سرخود توکار یا شبه‌بالاست توکار می‌باشد. این نوع چراغ قابل تعویض و تعمیر است. چراغ‌های LED زمانی در یک خانواده قرار می‌گیرند که همگی حداقل معیارهای زیر را دارا باشند[۳۱-۲۴]:

الف) مدول‌های LED به کار رفته در آنها از یک نوع باشد، مانند بالاست سرخود، شبه‌بالاست یا بالاست مجزا.

ب) مدول‌های LED به کار رفته در آنها از یک ساختار باشد، مانند LED توکار، مستقل یا یکپارچه.

ج) توان مدول‌های LED آنها نباید از بیشینه توان برای ابعاد خارجی مشخص بیشتر گردد.

د) چراغ‌های LED باید دارای ابعاد خارجی یکسان باشند.

---

[۱] Semi-Ballasted LED Module

[۲] Serviceable LED Module

[۳] Double-Capped Retrofit LED Lamp

[۴] Self-Ballasted LED Lamp

در لامپ‌های LED تجهیزی به نام دستگاه کنترل[۱] وجود دارد که مجموعه‌ای از قطعات و المان‌های الکتریکی و الکترونیکی است که مابین منبع تغذیه و یک یا چند لامپ قرار می‌گیرد. این تجهیز وظایفی همچون تغییر ولتاژ تغذیه، محدود نمودن جریان لامپ به مقدار مورد نیاز، تامین ولتاژ راه‌اندازی و جریان پیش گرمایش، جلوگیری از راه‌اندازی سرد، تصحیح ضریب توان و کاهش تداخل امواج رادیویی دارد. بدین منظور، دستگاه کنترل دارای بخش‌های مختلفی مانند واحد کنترل، منبع تغذیه، ترانسفورمر فرکانس بالا و مدارات الکتریکی می‌باشد. انواع دستگاه کنترل لامپ‌های LED به صورت زیر هستند:

- دستگاه کنترل توکار: دستگاه کنترلی که برای قرارگیری داخل چراغ، جعبه، محفظه یا وسایل مشابه آن طراحی شده است و جهت نصب در خارج چراغ بدون رعایت جوانب احتیاطی خاص در نظر گرفته نشده است.
- دستگاه کنترل مستقل: دستگاه کنترل متشکل از یک یا چند قطعه جدا که طوری طراحی شده که به صورت جداگانه می‌تواند بیرون از چراغ و بدون محفظه اضافی مطابق با حفاظت نشانه‌گذاری شده بر روی دستگاه کنترل نصب گردد. این دستگاه ممکن است یک دستگاه کنترل توکار باشد که در داخل یک محفظه مناسب جاسازی شده و کلیه حفاظت‌ها را مطابق با نشانه‌گذاری تامین می‌نماید.
- دستگاه کنترل یکپارچه: این نوع تجهیز غیرقابل تعویض در چراغ است و نمی‌تواند به صورت جداگانه از چراغ آزمون شود.
- دستگاه کنترل الکترونیک برای مدول LED: واحدی که بین منبع تغذیه و یک یا چند مدول LED قرار گرفته تا مدول LED را در ولتاژ یا جریان نامی خود تغذیه نماید. این واحد ممکن است شامل یک یا چند قطعه مجزا بوده و یا دارای وسایلی جهت کمسوسازی، تصحیح ضریب توان و حذف تداخل رادیویی باشد.
- دستگاه کنترل معادل ولتاژ بسیار پایین ایمن (SELV): دستگاه کنترل توکار یا اختصاصی برای کارکرد یک یا چند مدول LED با یک ولتاژ خروجی معادل با SELV.
- دستگاه کنترل SELV مستقل: دستگاه کنترلی که از شبکه تغذیه با تجهیزاتی نظیر ترانسفورماتور جداکننده ایمن، یک خروجی SELV را تامین می‌نماید.
- دستگاه کنترل اختصاصی: دستگاه کنترلی که برای تغذیه تجهیزات یا وسایل خاص متصل به آنها یا مجزای از آنها طراحی شده است.
- دستگاه کنترل ثابت: یک دستگاه کنترلی که نمی‌توان آن را به سادگی از جایی به جای دیگر حرکت داد.
- دستگاه کنترل دارای دوشاخه: دستگاه کنترلی که همراه با یک دوشاخه یکپارچه به عنوان وسیله اتصال به تغذیه الکتریکی، در یک محفظه قرار داده شده است.

---

[۱] Control Gear

- دستگاه کنترل مقاوم در برابر اتصال کوتاه: دستگاه کنترلی که افزایش دمای آن در حالت اضافه بار و یا اتصال کوتاه، از محدوده‌های مشخص شده بیشتر نشود و قابلیت عملکرد پس از رفع اضافه بار را دارد.
- دستگاه کنترل مقاوم در برابر اتصال کوتاه غیرذاتی: دستگاه کنترل مقاوم در برابر اتصال کوتاه همراه با یک وسیله حفاظتی که در هنگام اضافه بار یا اتصال کوتاه در مدار ورودی یا خروجی، مدار را باز می‌کند و یا جریان را کاهش می‌دهد. فیوزها، رله‌های اضافه بار، فیوزهای حرارتی، اتصالات حرارتی، فیوز خودکار حرارتی و وسایل مکانیکی قطع اتوماتیک مثال‌هایی از وسایل حفاظتی می‌باشند.
- دستگاه کنترل مقاوم در برابر اتصال کوتاه ذاتی: دستگاه کنترل مقاوم در برابر اتصال کوتاه که در صورت عدم وجود وسیله حفاظتی، در حالت اضافه بار و یا اتصال کوتاه، دمای آن از محدوده مشخص شده بیشتر نمی‌شود و پس از رفع اتصال کوتاه یا اضافه بار عملکرد خود را ادامه می‌دهد.
- دستگاه کنترل ایمن در برابر خرابی: دستگاه کنترلی که پس از استفاده غیرعادی نتواند عمل کند اما هیچ خطری برای کاربر و محیط اطراف خود نداشته باشد.
- دستگاه کنترل غیرمقاوم در برابر اتصال کوتاه: دستگاه کنترلی که برای حفاظت در مقابل افزایش دما با استفاده از یک وسیله حفاظتی، که همراه دستگاه کنترل نیست، طراحی شده است.
- دستگاه کنترل مقاوم در برابر مدار باز: دستگاه کنترلی که افزایش دمای آن در حالت اضافه بار و یا مدار باز، از محدوده‌های مشخص شده بیشتر نشود و قابلیت عملکرد پس از رفع حالت مدار باز را دارد. این دستگاه کنترل به دو صورت مقاوم در برابر مدار باز غیرذاتی و مقاوم در برابر مدار باز ذاتی وجود دارد.

۸-۳-۱- مشخصات فنی چراغ‌های LED خیابانی جهت کار با ولتاژ شبکه

مطابق استاندارد IEC، اطلاعات جدول ۸-۴ می‌بایست توسط سازنده یا فروشنده مسئول تهیه شده و در محل‌های مشخص شده در جدول درج گردد. ضمنا سازنده باید تعداد بسته‌هایی که می‌توان با حفظ سلامت محصول بر روی هم بارگیری یا نگهداری نمود و همچنین علائم مشخصه نشان دهنده جهت قرارگیری صحیح کارتن، محیط نگهداری، شکستنی و هرگونه علامت مشخصه دیگری که در حمل و نقل و انبارداری محصول در سلامت کالا موثر است را بر روی بسته‌بندی قید نماید[۳۱-۲۴].

جدول ۸-۴: اطلاعاتی که باید توسط سازنده بر روی چراغ، جعبه، داده‌برگ محصول، بروشور یا وب‌سایت ارائه شود

موارد نشانه‌گذاری	محصول	بسته‌بندی	داده‌برگ محصول، بروشور یا وب‌سایت
نشان شناسایی (می‌تواند نشان تجاری، نام سازنده یا فروشنده مسئول باشد)	√	√	√
نوع و مدل محصول	√	√	√
ولتاژ اسمی یا گستره ولتاژ (V)	√	√	√
توان محصول (W)	√	√	√
جریان اسمی (A)			√
فرکانس اسمی (Hz)	√	√	√
نوع مدول LED			√
ساختار مدول LED			√
کد فتومتری			√
شار نوری اسمی چراغ (lm)		√	√
بهره نوری اسمی سیستم (lm/W)		√	√
مقدار اولیه دمای رنگ اسمی		√	
مقادیر مختصات رنگ اولیه و حین بهره‌برداری اظهار شده با رواداری			√
طول عمر اسمی (F_{50} و L_{70}) در $T_a = 25°C$		√	√
طول عمر اسمی (F_{50} و L_{70}) در حداکثر دمای کارکرد اظهار شده توسط سازنده			√
ضریب حفظ شار نوری در ۱۰۰۰ ساعت کارکرد			√
گروه حفظ شار نوری در ۲۵٪ طول عمر اسمی با حداکثر زمان ۶۰۰۰ ساعت			√
شاخص نمود رنگ اولیه			√
شاخص نمود رنگ در حین بهره‌برداری			√
محدوده دمای کارکرد		√	√
دمای Tc در دمای محیط $T_a = 25°C$	√		
حداکثر دمای نقطه اتصال (T_j) برای LED تکی			√
درجه حفاظت (IP)	√	√	√
وزن چراغ		√	√
ابعاد خارجی چراغ		√	√

ولتاژ اسمی چراغ: ولتاژ اسمی چراغ ۲۳۰ می‌باشد.

فرکانس اسمی چراغ: فرکانس اسمی چراغ ۵۰ هرتز می‌باشد.

جریان اسمی چراغ: جریان مصرفی چراغ LED خیابانی (جریان اندازه‌گیری شده در شرایط اسمی) نباید بیش از ۱۰٪± با مقدار اظهار شده تفاوت داشته باشد.

توان اسمی چراغ: توان مصرفی چراغ LED خیابانی نباید بیشتر از ۱۱۰٪ توان اسمی باشد.

مدول LED: مدول LED بکار رفته در چراغ LED خیابانی از نظر ایمنی باید با استاندارد ملی ۱۱۷۲۱ و ۱۱۷۲۲ مطابقت داشته باشد. مدول LED باید آزمون‌های چرخه دمایی و کلیدزنی ولتاژ تغذیه را با موفقیت بگذراند.

دستگاه کنترل چراغ LED خیابانی: دستگاه کنترل چراغ LED خیابانی از نظر ایمنی باید با استاندارد ملی ۱-۷۶۴۴ و یا استاندارد IEC 61347-2-13 و از نظر عملکردی با استاندارد IEC 62384 مطابقت داشته باشد. دستگاه کنترل چراغ LED خیابانی باید در محدوده ولتاژ ورودی ۹۲٪ تا ۱۰۶٪ ولتاژ اسمی به صورت قابل قبولی کار کند. سازنده باید نوع و طبقه‌بندی دستگاه کنترل چراغ LED خیابانی را بر اساس استاندارد IEC 62384 اعلام نماید. همچنین دستگاه کنترل چراغ LED باید آزمون دوام مطابق استاندارد IEC 62384 را با موفقیت بگذراند[۲۴].

شار نوری اسمی چراغ: رواداری شار نوری اندازه‌گیری شده چراغ LED خیابانی نباید بیش از ۱۰٪± مقدار اسمی باشد.

منحنی پخش نور: مشخصات نوری و پخش نور چراغ باید دارای حداکثر مطابقت با کاربرد مورد نظر باشد و چراغی انتخاب شود که با پخش نور مناسب حداکثر شار منبع نوری آن به سمت معبر و در سطح مورد نظر هدایت شود. به این منظور، توصیه می‌شود خرید چراغ‌ها به صورت خاص برای یک راه با شرایط مشخص انجام شود تا رسیدن به هدف فوق میسر شود. مشخصات نوری و زاویه پخش نور سیستم باید مطابق با استاندارد CIE 121 باشد[۲۴].

بهره نوری اسمی سیستم: این مقدار نباید از ۱۰۰ لومن بر وات کمتر باشد.

مقدار اولیه دمای رنگ اسمی: سازنده باید مقدار اولیه دمای رنگ اسمی چراغ LED خیابانی را بر روی آن نشانه‌گذاری نماید. دمای رنگ اسمی یک چراغ LED خیابانی باید مطابق استاندارد ANSI C78.377، یکی از هشت مقدار ۲۷۰۰، ۳۰۰۰، ۳۵۰۰، ۴۰۰۰، ۴۵۰۰، ۵۰۰۰، ۵۷۰۰ و ۶۵۰۰ کلوین باشد.

مقدار اولیه مختصات رنگ و رواداری آن (حین بهره‌برداری): سازنده باید مقدار اولیه (حین بهره‌برداری) مختصات رنگ چراغ LED خیابانی و رواداری آن را از طریق بروشور، برگه مشخصات فنی و یا وب‌سایت اظهار نماید. رواداری مختصات رنگ باید در یکی از سه گروه ۳، ۵ و یا ۷ پله‌ای نسبت به مقدار اولیه (حین بهره‌برداری) دمای رنگ اسمی باشد که به ترتیب محدوده داخل بیضی مک‌آدام با مرکزیت دمای رنگ اسمی و ابعاد 3SDCM، 5SDCM و 7SDCM می‌باشد. حداکثر انحراف قابل قبول دمای رنگ اندازه‌گیری شده از دمای رنگ اسمی به میزانی است که مختصات رنگ آن در داخل بیضی مک‌آدام متناظر قرار گیرد.

شاخص نمود رنگ اولیه: برای شاخص نمود رنگ (CRI) محصولات LED سه گروه به شرح ذیل وجود دارد[۲۴]:

کد ۷: شاخص نمود رنگ بین ۶۷ تا ۷۶

کد ۸: شاخص نمود رنگ بین ۷۷ تا ۸۶

کد ۹: شاخص نمود رنگ بیش از ۸۷

شاخص نمود رنگ اولیه چراغ LED خیابانی باید در یکی از این سه گروه قرار داشته باشد. همچنین شاخص نمود رنگ اولیه اندازه‌گیری شده در چراغ LED نباید بیش از ۳ واحد کمتر از مقدار اظهار شده توسط سازنده باشد.

شاخص نمود رنگ در حین بهره‌برداری: این مقدار باید در یکی از سه گروه با کد ۷، ۸ یا ۹ بوده و پس از کارکرد چراغ LED خیابانی به میزان ۲۵٪ طول عمر اسمی با حداکثر زمان ۶۰۰۰ ساعت اندازه‌گیری می‌شود. شاخص نمود رنگ اندازه‌گیری شده برای چراغ LED در حین بهره‌برداری نباید بیش از ۵ واحد کمتر از مقدار اظهار شده توسط سازنده باشد.

ضریب حفظ شار نوری در ۱۰۰۰ ساعت کارکرد: حداقل مقدار قابل قبول برای این مشخصه ۹۰٪ می‌باشد. پس از کارکرد چراغ‌های LED خیابانی در دمای محیط 25°C، شار نوری هیچ‌کدام از آنها نباید از ۹۰٪ شار نوری اسمی کمتر شده باشد.

گروه حفظ شار نوری در ۲۵٪ طول عمر اسمی و یا حداکثر در ۶۰۰۰ ساعت: در استانداردهای مرتبط، محصولات LED از نظر حفظ شار نوری در ۲۵٪ طول عمر اسمی با حداکثر زمان ۶۰۰۰ ساعت در ۲ گروه به شرح زیر قرار می‌گیرند:

گروه الف با کد ۹: بزرگتر یا مساوی ۹۰٪ شار نوری اولیه

گروه ب با کد ۸: بزرگتر یا مساوی ۸۰٪ شار نوری اولیه.

محدوده دمای کارکرد: این محدوده گستره‌ای از دمای محیط برای چراغ LED است که در طول کار در آن گستره دمایی، به طور قطع تجاوزی از حداکثر دمای کارکرد پیشنهادی مدول LED (T_p) به کار رفته در چراغ LED خیابانی صورت نمی‌گیرد. حداقل گستره این محدوده از ۲۰- تا ۵۰+ درجه سلسیوس می‌باشد.

درجه حفاظت (IP): حداقل این مقدار باید IP 65 باشد. هرگونه اظهاری در خصوص درجه حفاظت باید با گواهی و گزارش انجام آزمون بر اساس استاندارد ملی ۱-۵۹۲۰ یا آخرین ویرایش استاندارد IEC 60598-1 و از یک آزمایشگاه معتبر باشد.

نوع چراغ: بر اساس استانداردهای مربوطه، چراغ‌های LED به سه نوع A، B و C به شرح زیر تقسیم می‌شوند:

- نوع A: چراغ LED یکپارچه با مدول LED یکپارچه یا مجزا و با دستگاه کنترل بالاست سرخود یا جداگانه؛
- نوع B: چراغ با مدول LED داخلی که مدول LED می‌تواند قابل تعمیر یا قابل تعویض با یک مدول LED داخلی دیگر باشد (دستگاه کنترل می‌تواند به صورت یکپارچه با مدول، نیمه‌مجزا و یا مجزای از مدول LED باشد).
- نوع C: چراغ با لامپ LED بالاست یا لامپ LED با دستگاه کنترل جداگانه.

نوع مدول LED: بر اساس استانداردهای مرتبط، مدول‌های LED به سه نوع ۱، ۲ و ۳ به شرح ذیل تقسیم می‌شوند:

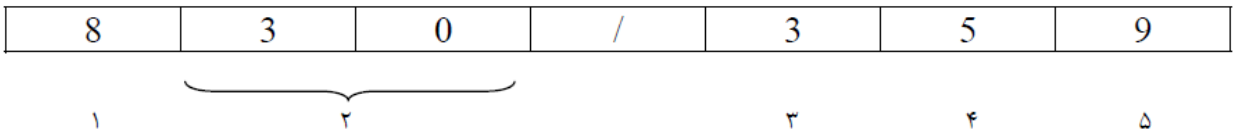
- ✓ نوع ۱: مدول‌های LED بالاست سرخود برای کاربرد با منابع تغذیه DC تا ۲۵۰ ولت یا منابع تغذیه AC تا ۱۰۰۰ ولت در فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز؛

- ✓ نوع ۲: مدول‌های LED که با دستگاه کنترل خارجی متصل به ولتاژ شبکه کار می‌کنند و لوازم کنترل دیگری نیز در داخل خود برای کارکرد در ولتاژ ثابت، جریان ثابت و توان ثابت دارند(شبه‌بالاست یا بالاست نیمه‌مجزا).
- ✓ نوع ۳: مدول‌های LED که دستگاه کنترل آنها جهت کار در ولتاژ ثابت، جریان ثابت و توان ثابت کاملا جدای از مدول می‌باشد.

ساختار مدول LED: بر اساس استانداردهای مربوطه، مدول‌های LED با سه ساختار به شرح زیر وجود دارند:

- مدول LED توکار: مدول LED که عموما به صورت یک جزء تعویض‌پذیر داخل یک چراغ، جعبه، محفظه و یا مانند آن طراحی شده و نباید بدون احتیاط لازم برای نصب در بیرون از چراغ و مانند آن در نظر گرفته شود.
- مدول LED مستقل: مدول LED که طراحی آن به گونه‌ای است که می‌تواند مجزا از یک چراغ، جعبه، محفظه و یا مانند آن نصب شود. مدول LED مستقل، تمام حفاظت ایمنی مورد نیاز را مطابق با رده‌بندی و نشانه‌گذاری خود دارا می‌باشد.
- مدول LED یکپارچه، مدول LED که عموما به صورت یک بخش تعویض‌ناپذیر چراغ طراحی شده باشد.

کد نورسنجی: این کد به صورت زیر تعریف می‌شود[۲۴]:



۱: شاخص نمود رنگ (CRI)- مثال: ۷۷

۲: دمای رنگ (CCT)- مثال: ۳۰۰۰ K

۳: مختصات کروماتیسیتی اولیه در محدوده بیضی ۳ پله‌ای مک‌آدام

۴: مختصات کروماتیسیتی حین بهره‌برداری (پس از گذشت ۲۵٪ از طول عمر اسمی آن یا حداکثر تا ۶۰۰۰ ساعت) در محدوده بیضی ۵ پله‌ای مک‌آدام

۵: گروه حفظ شار نوری در ۲۵٪ طول عمر اسمی (حداکثر ۶۰۰۰ ساعت).

۸-۳-۲- ارزیابی نمونه چراغ‌های LED خیابانی

جهت حصول اطمینان از کیفیت چراغ‌های LED خیابانی پیشنهادی توسط متقاضی، لازم است متقاضی نسبت به ارائه گواهی انطباق کالا با مشخصات فنی مندرج در مراجع مورد تایید اقدام نماید[۳۱-۲۴].

نمونه‌های ارائه شده باید کامل بوده و نباید دارای هیچگونه نقصی باشند. ضمنا باید کلیه مدارک و مستندات لازم مبنی بر تشخیص دقیق مشخصات نمونه و عدم تغییر طراحی دقیقا معادل موارد مورد نیاز جهت صدور گواهی آزمون نوعی ارائه شود. رعایت موارد ذیل الزامی است:

- هر سری نمونه ۲۷ عددی مربوط به یک پیشنهاد، باید تا حد امکان مشابه یکدیگر باشد.
- نمونه‌های مربوط به هر پیشنهاد و جعبه هر یک باید با کد خاصی به شرح ذیل (شکل ۸-۱) توسط برچسب یا چاپ علامت‌گذاری شده باشند.

شماره سریال چراغ LED خیابانی N1-N2-....-N10	مدل محصول	توان محصول	حرف اول نام لاتین «تولیدکننده» + حرف آخر نام لاتین «تولیدکننده»
مثال			
N10	**RX**	**38**	**DM**

شکل ۸-۱: نحوه کدگذاری نمونه چراغ‌های **LED**

- یک نمونه از هر مدل و کلیه مدارک ارائه شده نزد واحد ارزیابی کننده به عنوان مرجع باقی خواهد ماند و ملاک مقایسه در موارد بعدی قرار خواهد گرفت.
- حداقل امتیاز کیفی لازم که هر نمونه پیشنهادی باید کسب نماید ۸۰٪ کل امتیاز کیفی می‌باشد.

در صورتی که مشخصات فنی نمونه‌های ارائه شده دارای حداقل امتیاز تعیین شده نباشند از نظر کیفی مردود خواهد بود.

نمونه‌های ارزیابی شده جهت تعیین کلاس کیفی بر اساس جدول ۸-۵ ارزیابی می‌شوند.

جدول ۸-۵: شرایط ارزیابی نمونه چراغ‌های **LED**

ردیف	شرح	امتیاز کل
۱	جریان اسمی چراغ	۲۰۰
۲	توان اسمی چراغ	۱۰۰
۳	ضریب توان سیستم	۲۰۰
۴	اعوجاج هارمونیکی کل سیستم (THD)	۲۰۰
۵	شار نوری اسمی چراغ	۲۰۰
۶	منحنی پخش نور	۳۵۰
۷	بهره نوری اسمی سیستم	۳۵۰
۸	دمای رنگ اسمی (مقدار اولیه) و مختصات رنگ و رواداری آن (مقدار اولیه)	۳۰۰
۹	شاخص نمود رنگ اولیه	۲۰۰
۱۰	ضریب حفظ شار نوری در ۱۰۰۰ ساعت کارکرد	۲۰۰
۱۱	گروه حفظ شار نوری در ۲۵٪ طول عمر اسمی و یا در ۶۰۰۰ ساعت	۲۰۰
۱۲	نوع و طبقه‌بندی دستگاه کنترل	۲۵۰
۱۳	آزمون دوام	۲۰۰
۱۴	محدوده دمای کارکرد	۲۰۰
۱۵	دمای T_c در دمای محیط $T_a = 25℃$	۱۵۰
۱۶	درجه حفاظت (IP)	۲۰۰
۱۷	وزن چراغ	۵۰
۱۸	ابعاد خارجی (L×W×H)	۵۰
۱۹	قطعات لوله‌گیر	۱۵۰
۲۰	بسته‌بندی	۵۰
۲۱	گواهینامه	۲۰۰
	جمع کل	**۴۰۰۰**

نمونه‌های ارائه شده در صورت مشاهده هر یک از موارد زیر به طور کامل مردود هستند[۳۱-۲۴]:

- عدم مطابقت دستگاه کنترل با استاندارد؛
- شار نوری اندازه‌گیری شده کمتر از ۹۰٪ شار نوری اسمی؛
- عدم مطابقت منحنی پخش نور؛
- بهره نوری اندازه‌گیری شده کمتر از ۷۰ لومن بر وات؛
- عدم مطابقت درجه حفاظت چراغ؛

- عدم مطابقت با استاندارد ایمنی؛
- عدم رعایت نشانه‌گذاری؛
- کسب امتیاز کمتر از ۸۰٪ امتیاز کل.

نمونه‌های مورد آزمون برای آزمون‌های مختلف به ترتیب جدول ۸-۶ تقسیم‌بندی می‌شوند:

جدول ۸-۶: نحوه تقسیم‌بندی نمونه‌های **LED** برای آزمون‌های مختلف

نوع آزمون	تقسیم‌بندی نمونه‌ها
الکتریکی، نورسنجی، ضریب حفظ شار نوری، ایمنی، وزن و ابعاد	۱-۳
آزمون دوام	۴-۷
گروه حفظ شار نوری	۸-۲۷

همچنین جهت ارزیابی دستگاه کنترل با توجه به نوع حفاظت‌های اعلام شده از سوی سازنده، به ۳ تا ۵ دستگاه کنترل جداگانه دقیقا از همان نوعی که در چراغ به کار رفته نیاز می‌باشد.

آزمون‌های لازم برای ارزیابی چراغ‌های LED خیابانی شامل آزمون جریان اسمی چراغ، آزمون توان چراغ، آزمون ضریب توان سیستم، آزمون اعوجاج هارمونیکی کل سیستم، آزمون نوع و طبقه‌بندی دستگاه کنترل، آزمون حفاظت گرمایی، الزامات راه‌اندازی و اتصالات، ولتاژ و جریان حین بهره‌برداری، الزامات بار خازنی، آزمون شار نوری اسمی چراغ، آزمون بهره نوری اسمی سیستم، آزمون منحنی پخش نور، آزمون دمای رنگ و مختصات رنگ و رواداری آن، آزمون شاخص نمود رنگ، آزمون ضریب حفظ شار نوری در ۱۰۰۰ ساعت کارکرد، آزمون گروه حفظ شار نوری در ۲۵٪ طول عمر اسمی و یا در ۶۰۰۰ ساعت، آزمون دوام، آزمون محدوده دمای کارکرد، آزمون دمای T_c در دمای محیط 25°C، آزمون IP، آزمون وزن، آزمون ابعاد و رواداری آن، آزمون قطعات لوله‌گیر، آزمون بسته‌بندی و آزمون گواهینامه می‌باشد. جزئیات هر یک از این روش‌های آزمون و شرایط انجام آزمون در [۲۴] موجود می‌باشد.

۸-۳-۳- طراحی و انتخاب گرماگیر

به منظور طراحی و انتخاب گرماگیر، آگاهی از نحوه کارکرد آن مفید می‌باشد. انتشار حرارت از یک منبع حرارت (به عنوان مثال محل اتصال یک LED) به محیط اطراف به وسیله گرماگیر، در چهار مرحله متوالی صورت می‌پذیرد:

- انتقال از منبع حرارت به گرماگیر؛
- رسانش از درون گرماگیر به سطح آن؛
- انتقال از سطح گرماگیر به محیط اطراف به وسیله همرفت؛
- تابش که به نوع سطح گرماگیر وابسته است.

قابلیت و بازده گرماگیر، تابعی از انتقال حرارت استفاده شده می‌باشند. گرماگیرها مسیری را برای رسانش حرارت از LED ایجاد می‌نمایند. برای تداوم انتقال توان، حرارت گیر افتاده در گرماگیر باید منتشر شود. اگر گرما در گرماگیر باقی بماند، درجه حرارت افزایش پیدا کرده و در نهایت منبع با اضافه حرارت مواجه می‌شود. گرماگیرها به سه طریق رسانش[۱] (انتقال حرارت از یک جسم جامد به جسم جامد دیگر)، همرفت[۲] (انتقال حرارت از یک جسم جامد به یک سیال که در بیشتر کاربردهای LED سیال هوای اطراف خواهد بود) و تابش[۳] (انتقال حرارت از دو جسم به سطح دمایی متفاوت به وسیله امواج الکترومغناطیسی) می‌توانند حرارت را منتقل نمایند.

سه نوع گرماگیر معمول شامل صفحات مسطح، گرماگیرهای با پره‌های دایکاست و گرماگیرهای با پره‌های اکسترود شده وجود دارد. ماده معمول جهت ساخت گرماگیر، آلومینیوم است، اگرچه ممکن است استفاده از مس برای گرماگیرهایی با صفحات مسطح، فوایدی داشته باشد.

تابش حرارت گرماگیر تابعی از پرداخت سطح است، به خصوص وقتی که گرماگیر در دماهای بالاتر باشد. یک سطح رنگ شده قابلیت تابش بیشتری را نسبت به یک سطح رنگ نشده خواهد داشت. این اثر در گرماگیرهای با صفحات مسطح که تقریبا یک سوم از حرارت به وسیله تابش منتشر می‌شود، قابل توجه‌ت است. رنگ مورد استفاده در نقاشی، نسبتا بی‌اهمیت است. مقاومت حرارتی یک گرماگیر با صفحات مسطح که با سفید براق رنگ شده، تنها ۳٪ بیشتر از همان گرماگیر است زمانی که با مشکی مات رنگ شده است. در گرماگیرهای پره‌دار، زنگ زدن کم‌اثرتر خواهد بود زیرا حرارت تابیده شده از بیشتر پره‌ها به دلیل پره‌های مجاور به پایین می‌آیند، اما با این وجود همچنان قابل تامل است. هم آندایز کردن و هم تیزاب‌زنی، مقاومت حرارتی را کم می‌کنند.

برخی از عوامل قابل توجه در انتخاب یک گرماگیر عبارتند از:

- سطح مقطع: انتقال حرارت در سطح گرماگیر رخ می‌دهد. بنابراین در طراحی گرماگیرها می‌بایست سطح زیادی را برای آنها در نظر گرفت. این امر با استفاده از تعداد زیادی پره نازک و یا افزایش اندازه خود گرماگیر میسر خواهد بود.
- آیرودینامیک: گرماگیرها می‌بایست به گونه‌ای طراحی شوند که هوا به سهولت و سرعت جریان یابد. گرماگیرها با تعداد زیادی پره نازک با فواصل کم بین پره‌ها، اجازه جریان مناسب هوا را نخواهند داد. بنابراین باید یک تعامل بین سطح بزرگ (تعداد زیادی پره با فواصل کم بین آنها) و شکل آیرودینامیکی خوب صورت پذیرد.
- انتقال حرارت از درون گرماگیر: پره‌های خنک‌کننده بزرگ بی‌اثر خواهند بود اگر حرارت نتواند به آنها برسد. گرماگیر باید طراحی شود که اجازه انتقال کافی حرارت از منبع گرما به پره‌ها را بدهد. پره‌های کلفت‌تر قابلیت

---

[۱] Conduction

[۲] Convection

[۳] Radiation

انتقال حرارت بهتری دارند. بنابراین بار دیگر می‌بایست یک تعامل بین سطح بزرگ (تعداد زیادی پره نازک) و انتقال مناسب حرارت (پره‌های کلفت‌تر) انجام گیرد. مواد مصرفی بیشترین نقش را در انتقال حرارت گرماگیر ایفا می‌کنند.

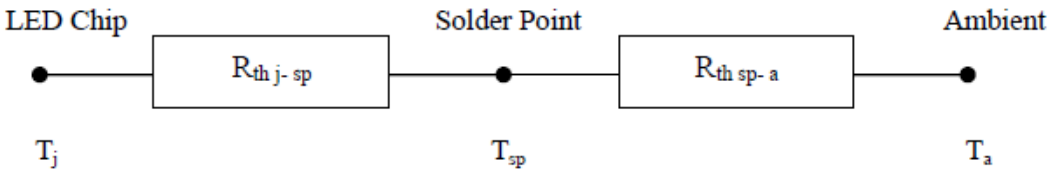
- همواری سطح اتصال: سطحی از گرماگیر که به LED یا MCPCB متصل است، باید بسیار صاف باشد. یک سطح اتصال صاف، اجازه می‌دهد تا از لایه نازک‌تری از ماده‌ای که مقاومت حرارتی بین گرماگیر و منبع LED را کاهش می‌دهد، استفاده شود.
- روش نصب: برای انتقال مناسب حرارت، فشار بین گرماگیر و منبع گرما باید زیاد باشد. بست گرماگیر باید به گونه‌ای طراحی شود که فشار زیادی را ایجاد نموده و همچنین نصب آن نیز به میزان قابل قبولی ساده باشد. نصب گرماگیر به وسیله پیچ یا فنر، اغلب بهتر از بست‌های معمول می‌باشد. چسب‌های با قابلیت هدایت گرما یا نوارهای چسبنده، تنها در حالاتی می‌بایست استفاده شوند که نصب با پیچ یا بست ممکن نیست.

مقاومت حرارتی بین دو نقطه به صورت نسبتی از اختلاف دما به توان منتشر شده تعریف می‌گردد ($°C/W$). در مورد LEDها، مقاومت دو مسیر حرارتی مهم روی دمای نقطه اتصال اثر می‌گذارند. این دو مسیر عبارتند از :

الف) از نقطه اتصال LED به کنتاکت حرارتی در زیر پکیج: این مقاومت حرارتی توسط نوع طراحی پکیج کنترل می‌شود ($R_{th\text{-}j\text{-}sp}$).

ب) از کنتاکت حرارتی به شرایط محیطی: این مقاومت حرارتی توسط مسیر بین نقطه لحیم‌کاری و محیط تعیین می‌شود ($R_{th\text{-}sp\text{-}a}$).

مقاومت حرارتی کلی بین نقطه اتصال LED و محیط ($R_{th\text{-}j\text{-}a}$) را می‌توان با مجموع مقاومت‌های سری $R_{th\text{-}j\text{-}sp}$ و $R_{th\text{-}sp\text{-}a}$ مدل نمود(شکل ۸-۲).

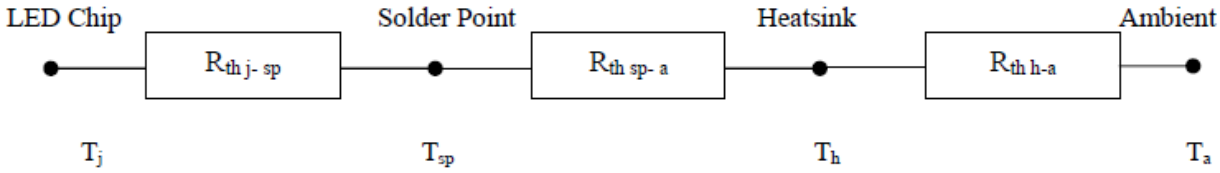


شکل ۸-۲: مدل مقاومت حرارتی بین نقطه اتصال **LED** و محیط

دمای نقطه اتصال یک LED (T_j)، مجموع دمای محیط (T_a) و حاصل ضرب مقاومت حرارتی نقطه اتصال نسبت به محیط و توان منتشر شده می‌باشد. کل توان حرارتی منتشر شده توسط یک LED (P_d)، حاصل ضرب ولتاژ (V_f) و جریان (I_f) آن LED می‌باشد.

$$T_j = T_a + (R_{th-j-a} \times P_d) \qquad ۸\text{-}۲$$

در بیشتر حالات، LEDهای پرتوان روی PCBهای هسته فلزی (MCPCB) که به یک گرماگیر متصل خواهند شد، نصب می‌شوند. حرارت از نقطه اتصال LED، از میان MCPCB به روش رسانش به گرماگیر جریان پیدا می‌کند. گرماگیر این حرارت را به روش همرفت به محیط اطراف منتشر می‌نماید. در بیشتر کاربردهای LED، مقاومت حرارت اتصال بین LED و MCPCB و/یا گرماگیر نسبت به مقاومت حرارتی بین نقطه اتصال و لایه حرارتی و همچنین مقاومت حرارتی بین لایه حرارتی و محیط کوچک می‌باشد.



شکل ۸-۳: مدل مقاومت حرارتی **LED** شامل گرماگیر

در صورت استفاده از گرماگیر، مقاومت حرارتی کل، مجموع مقاومت‌های سری نقطه اتصال به نقطه لحیم ($R_{th\text{-}j\text{-}sp}$)، نقطه لحیم به گرماگیر ($R_{th\text{-}sp\text{-}h}$) و گرماگیر به محیط ($R_{th\text{-}h\text{-}a}$) می‌باشد.

$$R_{th-j-a} = R_{th-j-sp} + R_{th-sp-h} + R_{th-h-a} \qquad ۳\text{-}۸$$

نکته قابل ملاحظه این است که تلفات حرارتی که به شکل مستقیم از پکیج LED به محیط می‌رود، آنقدر ناچیز است که در محاسبات از آن صرف‌نظر می‌شود. هدف کلی طراحی در تعیین اندازه و نوع گرماگیر مورد نیاز، محاسبه حداکثر مقاومت حرارتی گرماگیر ($R_{th\text{-}h\text{-}a}$) می‌باشد که دمای نقطه اتصال را پایین‌تر از مقدار بیشینه آن در بدترین شرایط عملکردی نگه دارد.

۸-۴- بالاست لامپ‌های تخلیه در گاز

بالاست لامپ‌های تخلیه در گاز مورد استفاده در سیستم‌های روشنایی راه‌ها باید بر اساس استانداردهای زیر ساخته شده و مورد آزمون قرار گرفته باشند:

- استاندارد ملی شماره ۱-۷۶۴۴ (IEC 61347-1) با عنوان لوازم کنترل لامپ- قسمت اول مقررات ایمنی عمومی[۳۳-۳۲]،

- استاندارد ملی شماره ۹-۲-۷۶۴۴ (IEC 61347-2-9) با عنوان لوازم کنترل لامپ-قسمت ۹-۲ - مقررات ویژه برای بالاست‌های لامپ‌های تخلیه در گاز (به جز لامپ‌های فلورسنت)[۳۵-۳۴]،

- استاندارد ملی شماره ۵۱۹۰ (IEC 60932) با عنوان مقررات عملکردی بالاست لامپ‌های تخلیه‌ای (غیر از لامپ‌های فلورسنت)[۳۷-۳۶].

مهمترین مشخصه بالاست‌ها، تلفات آنها می‌باشد که می‌بایست تا حد امکان کوچک باشد. در موقع انتخاب چراغ مناسب برای هر راه، تلفات بالاست و قیمت آن نقش تعیین‌کننده‌ای داشته به نحوی که پایین بودن تلفات بالاست، در هزینه کل سیستم تاثیر مهمی دارد.

۸-۴-۱- آزمون‌های ایمنی بالاست

این آزمون‌ها یک دسته از آزمون‌های بالاست بوده که تضمینی بر ایمنی به‌کارگیری و دوام آن می‌باشند. این آزمون‌ها می‌بایست بر اساس استانداردهای بالاست انجام گرفته و کاربر آن نیز از نتایج آزمون‌ها مطلع گردد. آزمون‌های ترمینال‌ها، پیش‌بینی اتصال زمین حفاظتی، حفاظت در برابر تماس تصادفی با قسمت‌های برقدار، مقاومت عایقی و رطوبتی، استقامت الکتریکی، آزمون دوام حرارتی برای سیم‌پیچ‌های بالاست، ساختمان (ساختار)، پیچ‌ها و قسمت‌های برقدار و اتصالات، مقاومت در برابر حرارت، آتش و ایجاد مسیر خزشی، مقاومت در برابر خوردگی، آزمون‌های گرمایش بالاست و ضربه ولتاژ بالا، آزمون فواصل خزشی و هوایی و نشانه‌گذاری تعدادی از این آزمون‌ها هستند.

۸-۴-۲- آزمون‌های عملکردی بالاست لامپ بخار سدیم پرفشار

آزمون‌های عملکردی بالاست که بسیار مهم می‌باشند مطابق استاندارد و برای مشخص کردن صحت کارکرد آن انجام می‌پذیرد.

برای بالاست لامپ‌های تخلیه در گاز، گستره تغییرات ولتاژ تغذیه بین ۹۲٪ تا ۱۰۶٪ مقدار اسمی در نظر گرفته می‌شود. همچنین آزمون‌های عملکردی بالاست براساس استاندارد مربوطه، آزمون‌های نوعی بوده و تنها یک نمونه باید تحت کلیه آزمون‌ها قرار گیرد.

بالاست و لامپ‌های مرجع می‌بایست طبق استاندارد انتخاب شده و آزمون‌ها نیز تحت شرایط تعیین شده در استاندارد انجام گیرند.

ضریب توان اندازه‌گیری شده هنگامی که بالاست در ولتاژ و فرکانس اسمی خود با یک یا چند لامپ مشابه کار می‌کند نباید بیش از ۰٫۰۵ با مقدار نشانه‌گذاری شده تفاوت داشته باشد.

شکل موج و مقدار جریان و همچنین حفاظت مغناطیسی بالاست باید مطابق با استاندارد باشد.

۸-۴-۳- مقررات الکتریکی برای بالاست‌های لامپ بخار سدیم پرفشار

الف) تنظیم بالاست: بالاست هنگامی که در ولتاژ لامپ مرجع کار می‌کند باید توان مصرفی آن لامپ را از توان مصرفی همان لامپ با محدوده رواداری ±5% وقتی با بالاست مرجع کار می‌کند، بیشتر ننماید.

ب) جریان اتصال کوتاه: وقتی که بالاست تحت هر ولتاژی بین ۹۲٪ تا ۱۰۶٪ ولتاژ اسمی خود تغذیه می‌شود، جریان اتصال کوتاه نباید از جریان کالیبراسیون داده شده در استاندارد کمتر باشد. نسبت جریان اتصال کوتاه بالاست به جریان نامی نیز نباید از مقادیر مشخص شده در استاندارد تجاوز کند.

ج) ولتاژ مدار باز: وقتی که بالاست در فرکانس اسمی و تحت هر ولتاژی بین ۹۲٪ تا ۱۰۶٪ ولتاژ اسمی خود کار می‌کند، ولتاژی را تامین می‌نماید که نباید از ولتاژ مورد نیاز برای آزمون راه‌اندازی کمتر باشد. همچنین باید دقت گردد که در هنگام اندازه‌گیری توان لامپ، هیچ ضریب اصلاحی برای مصرف وات‌متر اعمال نگردد.

۸-۴-۴- مشخصات فنی بالاست لامپ بخار سدیم پرفشار

مشخصات فنی بالاست لامپ بخارسدیم پرفشار باید براساس جدول ۸-۷ تهیه و ارائه می‌شود.

جدول ۸-۷: مشخصات فنی بالاست لامپ بخار سدیم پرفشار

نام سازنده	
کد بالاست	
توان بالاست (توان لامپ مورد نظر)(W)	
ولتاژ اسمی(V)	
فرکانس اسمی(Hz)	
حداکثر نسبت جریان ماکزیمم به جریان موثر	
جریان کالیبراسیون(A)	
نسبت ولتاژ به جریان	
ولتاژ بالاست (V)	
تلفات بالاست (W)	
درصد تلفات بالاست	
ضریب توان بالاست	
حداکثر دمای کار اسمی سیم‌پیچ بالاست (t_w)	
حداکثر افزایش دمای کار اسمی سیم‌پیچ بالاست (Δt)	
ضریب توان مدار	
دامنه هارمونیک سوم	
ولتاژ لامپ مرجع(V)	
تنظیم بالاست	

۸-۵- جرقه‌زن (وسیله راه‌اندازی)

جرقه‌زن‌های مورد استفاده در سیستم‌های روشنایی راه‌ها باید از نوع سه‌سیمه بوده و بر اساس استانداردهای زیر ساخته شده و مورد آزمون قرار گرفته باشند:

- استاندارد ملی شماره ۱-۷۶۴۴ (IEC 61347-1) با عنوان لوازم کنترل لامپ-قسمت اول مقررات ایمنی عمومی[۳۳-۳۲]
- استاندارد ملی شماره ۱-۲-۷۶۴۴ (IEC 61347-2-1) با عنوان لوازم کنترل لامپ – قسمت۲-۱: مقررات ویژه وسایل راه‌اندازی (به جز راه‌اندازی تخلیه روشن)[۳۹-۳۸]
- استاندارد بین المللی شماره IEC 60927 با عنوان مقررات عملکردی وسایل راه‌اندازی (به جز راه‌اندازی‌های تخلیه روشن)[۴۰]

۸-۵-۱- آزمون‌های ایمنی وسیله راه‌اندازی

آزمون‌های ایمنی جرقه‌زن (وسیله راه‌اندازی) تضمینی بر ایمنی بکارگیری و دوام آن می‌باشند. این آزمون‌ها باید بر اساس استانداردهای مربوطه انجام گرفته و کاربر آن نیز از نتایج آزمون‌ها مطلع گردد. آزمون‌های ترمینال‌ها، پیش‌بینی اتصال زمین حفاظتی در برابر تماس تصادفی با قسمت‌های برقدار، گرمایش لوازم راه‌اندازی مستقل، ولتاژ پالس جرقه‌زن‌ها، استقامت مکانیکی، فواصل خزشی و هوایی، پیچ‌ها، قسمت‌های برقدار و اتصالات، مقاومت در برابر حرارت، آتش و ایجاد مسیر خزشی، مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت عایقی و رطوبتی، استقامت الکتریکی، شرایط خطا و ساختمان تعدادی از این آزمون‌ها هستند.

نشانه‌گذاری جرقه‌زن‌ها نیز شامل موارد الزامی زیر است:

- شناسه کالا (نماد تجاری، نام سازنده)؛
- شماره مدل یا مبنای سازنده؛
- در صورت کاربرد، نماد مشخص کننده "لوازم کنترل مستقل"؛
- در صورت وجود، ترمینال‌های زمین بایستی با نماد ⏚ مشخص شوند. این نمادها نباید روی پیچ یا قسمت(هایی) که به آسانی قابل جابجایی هستند، قرار داده شوند؛
- در صورتی که مقدار ماکزیمم ولتاژ تولید شده از ۱/۵ KV بیشتر شود، باید برای نشان دادن آن، اتصالاتی که تحت این ولتاژ قرار می‌گیرند، نشانه‌گذاری شوند. این نشانه‌گذاری برای جرقه‌زن‌های با ولتاژ پالس بیش از ۵KV، باید با نماد "پیکان شکسته" انجام شود؛

- نشانه‌گذاری ترمینال زمین برای جرقه‌زن‌هایی که ولتاژ پالس بیش از ۵ KV دارند، ضروری نمی‌باشد. چون این جرقه‌زن‌ها الزاما محدودیت زمانی را ارائه می‌کنند؛
- نوع جزء قطع و وصل‌کننده؛
- مقدار حداکثر ظرفیت خازنی بار برای کار رضایت بخش جرقه‌زن؛
- حداکثر دمای مجاز محفظه جرقه‌زن در وضعیت غیر عادی (tc+X).

۸-۵-۲- آزمون‌های عملکردی وسیله راه‌اندازی

آزمون‌های عملکردی جرقه‌زن (وسیله راه‌اندازی) لامپ‌های بخار سدیم و متال هالید مطابق استاندارد و برای مشخص کردن صحت عملکرد آن انجام پذیرفته و کاربر آن می‌بایست از نتایج آزمون‌ها مطلع گردد. در این آزمون‌ها، تعداد کل نمونه‌ها چهار عدد جرقه‌زن می‌باشد. آزمون راه‌اندازی، آزمون سطح دوباره عمل نکردن و آزمون دوام تعدادی از این آزمون‌ها هستند.

۸-۵-۳- مشخصات فنی جرقه‌زن (وسیله راه‌اندازی)

مشخصات فنی جرقه‌زن (وسیله راه‌اندازی) باید بر اساس جدول ۸-۸ تهیه و ارائه شود.

جدول ۸-۸: مشخصات فنی جرقه‌زن (وسیله راه‌اندازی)

مشخصات عمومی	
نام سازنده	
نام مدل	
ولتاژ اسمی(V)	
فرکانس اسمی(Hz)	
محدوده توان(W)	
جزء قطع و وصل‌کننده (مکانیکی یا الکترونیکی)	
حداکثر دمای کار اسمی محفظه راه‌اندازی	
حداکثر دمای کار اسمی سیم‌پیچ	
ابعاد	
وزن	
مشخصات راه‌اندازی	
دامنه ولتاژ [V]	
مقدار پیک ولتاژ پالس [V]	

شکل موج [V]	
جهت	
موقعیت	
T1 زمان اوج‌گیری [μs]	
T2 عرض پالس [μs]	
دفعات تکرار	

۸-۶- خازن

خازن‌های مورد استفاده در سیستم‌های روشنایی راه‌ها باید بر اساس استانداردهای زیر ساخته و مورد آزمون قرار گرفته باشند.

- استاندارد IEC 61048 با عنوان خازن‌های مورد استفاده در مدار لامپ‌های فلورسنت لوله‌ای و دیگر لامپ‌های تخلیه‌ای - الزامات عمومی و ایمنی[۴۱].
- استاندارد IEC 61049 با عنوان خازن‌های مورد استفاده در مدار لامپ‌های فلورسنت لوله‌ای و دیگر لامپ‌های تخلیه‌ای-الزامات عملکردی[۴۲].

۸-۶-۱- آزمون‌های ایمنی خازن

آزمون‌های ایمنی خازن، تضمینی بر ایمنی بکارگیری و دوام آن می‌باشد. این آزمون‌ها می‌بایست براساس استانداردهای مربوطه انجام گرفته و کاربر آن نیز از نتایج آزمون‌ها مطلع گردد. خازن باید طوری طراحی و ساخته شود که در استفاده عادی، کار آن برای کاربر و محیط اطراف عاری از خطر باشد. تمامی قطعات فلزی بیرونی باید از مواد غیر آهنی ساخته شوند یا در مقابل زنگ‌زدگی محافظت شده باشند. آزمون‌ها باید در دمای (۲۰ $^{o}C \pm 5\ ^{o}C$) انجام شود مگر اینکه به صورت دیگری مشخص شده باشند. اگر در طی انجام هر یک از این آزمون‌ها، فقط یک مردودی روی دهد، آزمون، مورد پذیرش بوده ولی اگر سه مردودی یا بیشتر روی دهد، آن نوع خازن باید رد شده تلقی شود. همچنین اگر در هر یک از آزمون‌ها دو مردودی روی دهد، آن آزمون و هر یک از آزمون‌های قبل از آن نیز که می‌تواند بر نتایج آزمون تاثیرگذار باشد باید بر روی همان تعداد خازن تکرار گردد. اگر مردودی دیگری روی دهد، نوع خازن مورد آزمون، رد شده تلقی می‌شود.

۸-۶-۱-۱- نشانه‌گذاری، اتصالات و مقاومت‌های تخلیه

مقررات مربوط به نشانه‌گذاری، اتصالات و مقاومت‌های تخلیه خازن‌ها باید مطابق با استاندارد IEC 61048 باشد[۴۱].

۸-۶-۱-۲- فواصل خزشی و هوایی

فواصل خزشی روی سطوح خارجی عایق ترمینال، فواصل هوایی میان قسمت‌های بیرونی اتصالات ترمینال یا میان چنین قسمت‌های برق‌دار و بدنه فلزی خازن در صورت وجود، نباید کمتر از مقادیر کمینه داده شده در استاندارد باشد. این فواصل کمینه باید به ترمینال‌های خازن با و یا بدون سیم‌کشی بیرونی اعمال شوند.

موارد فوق شامل فواصل خزشی و هوایی داخل خازن نیست[۴۱].

۸-۶-۱-۳- مقدار اسمی ولتاژ

خازن باید برای مدت طولانی و در گستره دمایی خود قادر به تحمل ولتاژ تا ۱۱۰٪ ولتاژ اسمی خود باشد.

۸-۶-۱-۴- فیوزها

در صورتی که فیوز جریان در داخل خازن نصب شده باشد، باید به صورت مناسب محافظت شده و در محفظه‌ای عایق‌بندی قرار داده شود تا در شرایط کار عادی خازن، از تخلیه الکتریکی یا اتصال فیوز به بدنه فلزی ممانعت به عمل آید.

۸-۶-۱-۵- سایر آزمون‌های ایمنی

درصورتی که فیوز جریان در داخل خازن نصب شده باشد، باید به صورت مناسب محافظت شده و در محفظه‌ای عایق‌بندی قرار داده شود تا در شرایط کار عادی خازن، از تخلیه الکتریکی یا اتصال فیوز به بدنه فلزی ممانعت به عمل آید.

۸-۶-۲- آزمون‌های عملکردی خازن

آزمون‌های عملکردی خازن مطابق استاندارد و برای مشخص کردن صحت کارکرد آن انجام پذیرفته و کاربر آن می‌بایست از نتایج آزمون مطلع گردد[۴۲]. این آزمون‌ها پس از انتخاب ۴۷ خازن غیر خود ترمیم[۱] یا ۵۲ خازن خود ترمیم[۲] مطابق با ترتیب مشخص شده در استاندارد انجام می‌پذیرند. آزمون‌های اندازه‌گیری ظرفیت خازنی، آزمون تغییر ظرفیت خازنی ناشی از دما و آزمون دوام نمونه‌هایی از این آزمون‌ها هستند.

۸-۶-۳- مشخصات فنی خازن

مشخصات فنی خازن باید بر اساس جدول ۸-۹ تهیه و ارائه شود[۴۱].

جدول ۸-۹: مشخصات فنی خازن

[۱] Non-Self-Healing Capacitors

[۲] Self-Healing Capacitors

مشخصات عمومی	
نام سازنده	
نام مدل	
ولتاژ اسمی(V)	
فرکانس اسمی(Hz)	
ظرفیت اسمی و رواداری آن	
مقدار مقاومت تخلیه	
وجود یا عدم وجود فیوز جریان	
دماهای اسمی کمینه و بیشینه	
حداکثر دمای محفظه خازن	
مقدار تانژانت زاویه تلفات	
نوع خازن از نظر خود ترمیم‌کننده بودن (به همراه علامتگذاری مربوطه)	
ابعاد	

۸-۷- الزامات کلی چراغ‌های خیابانی

چراغ‌های خیابانی مورد استفاده در سیستم‌های روشنایی راه‌ها باید بر اساس استانداردهای زیر ساخته شده و مورد آزمون قرار گرفته باشند.

- استاندارد ملی شماره ۱-۵۹۲۰ (IEC 60598-1) با عنوان چراغ‌ها- قسمت اول مقررات عمومی و آزمون‌ها[۴۴-۴۳].

- استاندارد ملی شماره ۳-۲-۵۹۲۰ (IEC 60598-2-3) با عنوان چراغ‌ها- قسمت ۲- مقررات ویژه، بخش ۳: چراغ‌های خیابانی و جاده‌ای[۴۶-۴۵].

۸-۷-۱- طبقه‌بندی چراغ‌ها

چراغ‌ها بر مبنای نوع حفاظت در برابر شوک‌های الکتریکی، درجه حفاظت در برابر نفوذ گرد و غبار، اجسام سخت، رطوبت، جنس سطح نصب و شرایط استفاده طبقه‌بندی می‌شوند[۴۳].

۸-۷-۱-۱- طبقه‌بندی بر حسب نوع حفاظت در برابر شوک‌های الکتریکی

چراغ‌ها بر حسب نوع حفاظت در برابر شوک‌های الکتریکی در کلاس‌های I ، II و III طبقه‌بندی می‌شوند. هر چراغ باید تنها در یک طبقه‌بندی قرار گیرد. چراغ‌های خیابانی باید حداقل کلاس حفاظت I را داشته باشند. چراغ کلاس I چراغی است که در آن برای حفاظت در برابر شوک‌های الکتریکی فقط روی عایق‌بندی ساده تکیه نمی‌شود، بلکه قسمت‌های برقدار

قابل دسترس، به یک هادی حفاظتی که زمین شده باشد متصل می‌گردند تا قسمت‌های برقدار قابل دسترس در صورت خراب شدن عایق‌بندی ساده برقدار نشوند.

۸-۷-۱-۲- طبقه‌بندی بر حسب درجه حفاظت در برابر نفوذ گرد و غبار، اجسام سخت و رطوبت

چراغ‌ها باید مطابق با استاندارد IEC مربوطه و برچسب کدهای حفاظتی IP طبقه‌بندی گردند. تمامی چراغ‌ها باید در برابر نفوذ رطوبت، دست کم دارای IPX3 باشند، به استثنای چراغ‌های تونلی و پوشش شفاف چراغ یکپارچه با پایه دارای یک قسمت بیرونی با یک وجه باز، که لازم است IPX5 برای آنها در نظر گرفته شود[۴۵ و۴۳].

برای چراغ‌های یکپارچه با پایه، دریچه با طبقه‌بندی IP مناسب زیر باید در نظر گرفته شود:

- ✦ قسمت‌های زیر ۲٫۵ متر: IP3X؛
- ✦ قسمت‌های بالای ۲٫۵ متر: IP2X (هنگامی که قسمت بیرونی دارای یک وجه باز است، طبقه‌بندی IP پوشش شفاف باید 5X باشد).

۸-۷-۱-۳- طبقه‌بندی بر حسب جنس سطح نگهدارنده‌ای که چراغ برای آن طراحی شده است

چراغ‌ها باید به صورت مناسب برای نصب مستقیم روی سطوح معمولا قابل اشتعال یا فقط برای نصب روی سطوح غیرقابل اشتعال به شکل زیر طبقه‌بندی شوند:

- ▪ چراغ‌های مناسب برای نصب مستقیم روی سطوح معمولا قابل اشتعال: نیازی به نماد ندارد.
- ▪ چراغ‌های نامناسب برای نصب روی سطوح معمولا قابل اشتعال: نماد مناسب شکل ۸-۴ استفاده شود.

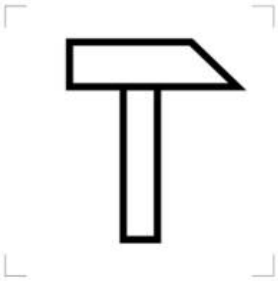
(الف) (ب)

شکل ۸-۴: چراغ‌های نامناسب برای نصب مستقیم روی سطوح معمولا قابل اشتعال، (الف) توکار (ب) روکار

۸-۷-۱-۴- طبقه‌بندی بر حسب شرایط استفاده

چراغ‌ها باید بر طبق روشی که برای استفاده عادی یا شرایط سخت پیش‌بینی شده‌اند، طبقه‌بندی شوند:

- ❖ چراغ برای استفاده عادی: بدون علامت؛
- ❖ چراغ برای استفاده در شرایط سخت: دارای نماد شکل ۸-۵.



شکل ۸-۵: نماد چراغ مناسب برای استفاده در شرایط سخت

۸-۷-۲- نشانه‌گذاری

نشانه‌گذاری براساس استاندارد چراغ صورت پذیرفته به نحوی که بلندی نمادهای تصویری می‌بایست بیشتر از 5mm و بلندی کلمات و اعداد نیز بیشتر از 2mm باشد[۴۳].

۸-۷-۳- ساختار چراغ

۸-۷-۳-۱- سیم نگهدارنده

در مورد چراغ‌های آویزی که از سیم مهار آویخته شده و به وسیله بست محکم می‌شوند، باید گستره اندازه سیم‌های مهار و بست‌های آن در دستورالعمل سازنده چراغ قید شده باشد. این بست‌ها باید به‌گونه‌ای به سیم مهار وصل و محکم شوند که چراغ نسبت به سیم مهار هیچ‌گونه حرکتی نداشته باشد. این وسایل آویخته شده نباید در حین نصب و استفاده عادی از چراغ، به سیم مهار صدمه‌ای وارد سازند.

۸-۷-۳-۲- وسایل نصب چراغ به پایه

وسایل نصب چراغ به پایه باید با وزن آن متناسب باشند. اتصال چراغ به پایه باید طوری طراحی شود تا تحمل سرعت باد ۱۵۰km/h در سطح بادگیر چراغ را بدون در نظر گرفتن خمیدگی داشته باشد[۴۳].

ملحقات نصب که وزن چراغ و قطعات داخلی آن را تحمل می‌کنند، باید طوری باشند تا در هنگام کار و تعمیر، از جابجا شدن قسمت‌های مختلف چراغ در اثر لرزش جلوگیری کنند.

در قسمت‌هایی از چراغ که حداقل با دو وسیله مانند پیچ محکم می‌شوند، برای جلوگیری از افتادن، یکی از این وسایل محکم‌کننده باید دارای حفاظتی اضافی باشد. این حفاظت اضافی باید به گونه‌ای باشد تا این قسمت‌ها هیچ خطری برای اشخاص، حیوانات و یا محیط اطراف نداشته باشند.

۸-۷-۳-۳- نگهدارنده لامپ

در صورتی که استفاده از تنها یک نگهدارنده لامپ نتواند قرارگیری صحیح آن در داخل چراغ را تضمین نماید، باید وسیله نگهدارنده مناسبی بکار برده شود. برای نگهدارنده‌های لامپ یا قسمت‌های نوری قابل تنظیم، باید نشانه‌های مرجع مناسبی در چراغ پیش‌بینی شده باشد.

۸-۷-۳-۴- پوشش‌های شیشه‌ای (حباب)

به منظور کم کردن احتمال آسیب‌دیدگی به وسیله خرده شیشه، مقررات زیر باید در مورد ارتفاع نصب چراغ اعمال گردد:

- ❖ هنگامی که چراغ‌ها در ارتفاع کمتر از ۵ متر نصب می‌شوند، هیچ‌گونه مقررات اضافی برای پوشش‌های شیشه‌ای نیاز نمی‌باشد.
- ❖ هنگامی که چراغ‌ها در ارتفاع بیشتر از ۵ متر نصب شوند، پوشش‌های شیشه‌ای باید شرایط زیر داشته باشند:

(الف) از شیشه‌ای تهیه شوند که به ذرات ریز خرد شود؛ یا

(ب) از شیشه‌ای ساخته شده باشند که در برابر ضربه شدید مقاوم باشد؛ یا

(ج) در هنگام شکستن، به یک پوشش محافظ (به عنوان مثال، یک حفاظ توری با چشمه‌های کوچک) که خرده شیشه‌ها را نگهداری کند، مجهز باشند.

جزئیات بیشتر در مورد نحوه تست این مشخصات در [۴۵] موجود می‌باشد.

۸-۷-۳-۵- منعکس کننده (رفلکتور)

ضریب انعکاس قسمت منعکس‌کننده نباید از ۰٫۷ کمتر باشد[۴۳].

۸-۷-۳-۶- راندمان چراغ

نسبت کل شار نوری خارج شده از چراغ به شار نوری تولید شده توسط لامپ داخل چراغ را راندمان چراغ گویند. راندمان چراغ نباید از ۰٫۶ کمتر باشد[۴۳].

۸-۷-۳-۷- اجزا قابل تعویض

چراغ‌هایی که شامل اجزا یا قسمت‌های تعویض‌پذیر هستند، باید به گونه‌ای طراحی شده باشند که فضای کافی برای تعویض آسان این اجزاء را بدون به خطر افتادن ایمنی داشته باشند[۴۳].

۸-۷-۳-۸- مسیرهای سیم‌کشی

مسیرهای سیم‌کشی باید هموار بوده و عاری از هرگونه مانع، لبه تیز یا موارد مشابهی که بتواند روکش عایقی سیم را خراش بدهد، باشند. قسمت‌های فلزی پیچ‌ها و یا سایر اجزاء مشابه آن نباید داخل مسیر سیم‌کشی باشند[۴۳].

۸-۷-۳-۹- اتصالات الکتریکی و قسمت‌های حامل جریان

برای اتصال قطعات حامل جریان نباید از پیچ‌های خودکار[۱] استفاده شود، مگر آن که به وسیله این گونه پیچ‌ها، قطعات حامل جریان به طور مستقیم با یکدیگر در تماس باشند و به یک وسیله قفل‌کننده مناسب نیز مجهز شده باشند. پیچ‌های رزوه‌ای که برای وصل قطعات حامل جریان استفاده می‌گردند نباید از فلز نرمی مانند روی یا آلومینیوم، که به مرور هرز می‌گردند، ساخته شوند. برای اتصال هادی‌های حامل جریان، استفاده از ترمینال مناسب‌تر بوده و توصیه می‌شود. بدین منظور در جدول ۸-۱۰ برای هر سطح مقطع هادی، اندازه مناسب ترمینال قابل کاربرد ارائه شده است [۴۳].

جدول ۸-۱۰: سطوح مقاطع نامی هادی‌ها بر حسب اندازه ترمینال‌ها

هادی‌های خشک، سخت یا بهم تابیده			هادی‌های قابل انعطاف			اندازه ترمینال‌ها
قطر ضخیم‌ترین هادی (mm)	سطح مقطع نامی (mm^2)		قطر ضخیم‌ترین هادی (mm)	سطح مقطع نامی (mm^2)		
–	–	–	۱٫۴۵	۱	۰٫۷۵	۰ (۱)
۱٫۴۵	۱٫۵	۱	۱٫۷۳	۱٫۵	۱	۱ (۲)
۲٫۱۴	۲٫۵	۱٫۵	۲٫۲۱	۲٫۵	۱٫۵	۲
۲٫۷۲	۴	۲٫۵	۲٫۸۴	۴	۲٫۵	۳
۳٫۳۴	۶	۴	۳٫۸۷	۶	۴	۴ (۳)
۴٫۳۲	۱۰	۶	۴٫۱۹	۶	۴	۵
۵٫۴۶	۱۶	۱۰	۵٫۳۱	۱۰	۶	۶
۶٫۸۳	۲۵	۱۶	۶٫۸۱	۱۶	۱۰	۷

(۱) برای هادی سخت نامناسب بوده و برای هادی‌های قابل انعطاف با سطح مقطع $۰٫۴mm^2$ مناسب است.

(۲) در مورد هادی‌های انعطاف‌پذیر با سطح مقطع نامی $۰٫۵mm^2$، اگر انتهای هادی روی خودش برگردانده شود، مناسب است.

(۳) برای هادی انعطاف پذیر با سطح مقطع $۶mm^2$ با ساختارهای ویژه نامناسب است.

[۱] Self Tapping Screw

۸-۷-۴- پیش‌بینی برای اتصال زمین

- تمامی قطعات فلزی چراغ‌های کلاس I که در هنگام نصب چراغ، یا نظافت و تعویض لامپ یا راه‌انداز باز می‌شوند و ممکن است در صورت بروز خطا در عایق‌ها برقدار گردند، باید اتصال به زمین داشته باشند.
- برای ایجاد اتصال به زمین پیوسته‌ای که در زمان کارکرد عادی چراغ نیازی به باز کردن آن نباشد، می‌توان از پیچ‌های خودکار استفاده نمود به شرطی که حداقل دو پیچ برای هر اتصال مورد استفاده قرار گیرد.
- سطوح مفصل‌های قابل تنظیم، لوله‌های تلسکوپی و غیره باید به طور پیوسته به زمین متصل شوند به طوری که همواره نقطه تماس دارای یک ارتباط مطمئن الکتریکی باشد.
- پیچ‌ها یا سایر قطعات ترمینال اتصال زمین باید از جنس برنج یا فلزاتی انتخاب گردند که سطح آنها زنگ نزده و همواره تماس الکتریکی مطمئنی را برقرار نمایند.
- تمام هادی‌های درونی یا بیرونی که بوسیله ترکیب رنگ سبز– زرد مشخص شده‌اند باید فقط به ترمینال اتصال زمین وصل شوند[۴۳].

۸-۷-۵- سیم‌کشی درونی و بیرونی

در چراغ‌های روشنایی جاده‌ای و خیابانی باید از یک بست کابل مناسب استفاده گردد به نحوی که هادی‌های تغذیه، کشش کمتری را در نقاط اتصال به ترمینال ورودی متحمل گردند.

مقادیر نیروهای کششی و گشتاور پیچشی وارده به کابل‌های تغذیه یک چراغ روشنایی بستگی به وزن آن دارند. در حالت معمول، این کابل‌ها می‌بایست تحمل نیروی کشش ۶۰N و گشتاور پیچشی ۰/۲۵Nm را داشته باشند. اما برای چراغ‌های نصب شده در ارتفاع بیش از ۲۰m و در جایی که وزن کابل‌های تغذیه بر روی بست کابل تاثیری بیش از ۴kg را داشته باشد، این کابل‌ها باید بتوانند یک نیروی کششی ۱۰۰N و گشتاور پیچشی ۰/۳۵Nm را تحمل نمایند[۴۵].

برای تغذیه چراغ باید از هادی‌های مسی با سطح مقطع حداقل $1/5mm^2$ استفاده گردد. سطح مقطع نهایی می‌بایست با استفاده از جدول ۸-۱۱ تعیین گردد[۴۳].

ورودی‌های کابل به چراغ باید مناسب باشند، به نحوی که سیم‌ها به طور کامل محافظت شده و هنگامی که کاندویت، کابل یا بند قابل انعطاف با هم چفت می‌شوند، درجه حفاظت حاصل در برابر گرد و غبار یا رطوبت مطابق با طبقه‌بندی چراغ باشد.

ورودی‌های کابل به چراغ باید دارای لبه صیقلی باشند به نحوی که آسیبی به روکش آن وارد نگردد.

بست سیم باید از مواد عایقی محکم تهیه شده باشد و حداقل یک قسمت آن ثابت شده یا یکپارچه با چراغ باشد. همچنین به مرور زمان اگر بست‌ها سفت یا شل شوند، نباید به کابل یا بند آسیبی وارد شود.

سیم‌کشی درونی چراغ می‌بایست آنچنان محافظت گردد که نتواند با لبه‌های تیز، پرچ‌ها، پیچ‌ها و اجزاء مشابه یا بوسیله قطعات جابجا شونده کلیدها، مفصل‌ها، لوازم بالا برنده و پایین آورنده، لوله‌های تلسکوپی و قطعات مشابه آسیب ببیند. سیم‌کشی نباید در امتداد محور طولی کابل بیش از ۳۶۰° تابیده شود[۴۵].

جدول ۸-۱۱: سطوح مقاطع نامی هادی‌ها بر حسب حداکثر جریان

هادی‌های خشک ، سخت یا به‌هم تابیده		هادی انعطاف پذیر		حداکثر جریان عبوری
اندازه ترمینال	سطح مقطع نامی mm^2	اندازه ترمینال	سطح مقطع نامی mm^2	از ترمینال (A)
-	-	۰	۰/۴	۲
۱	۰/۷۵ تا ۱/۵	۰	۰/۵ تا ۱	۶
۲	۱ تا ۲/۵	۱	۰/۷۵ تا ۱/۵	۱۰
۳	۱/۵ تا ۴	۲	۱ تا ۲/۵	۱۶
۳	۱/۵ تا ۴	۳	۱/۵ تا ۴	۲۰
۴	۲/۵ تا ۶	۳	۱/۵ تا ۴	۲۵
۵	۴ تا ۱۰	۴ یا ۵ (۱)	۲/۵ تا ۶	۳۲
۶	۶ تا ۱۶	۶	۴ تا ۱۰	۴۰
۷	۱۰ تا ۲۵	۷	۶ تا ۱۶	۶۳

(۱) برای هادی‌های انعطاف پذیر با سطح مقطع $6mm^2$ با ساختار ویژه، ترمینال با اندازه ۴ مناسب نبوده و توصیه می‌گردد که از ترمینال با اندازه ۵ استفاده شود.

۸-۷-۶- حفاظت در برابر شوک الکتریکی

چراغ‌ها باید به گونه‌ای طراحی و ساخته شوند که در مواقع نصب و سیم‌کشی، نظافت و یا تعویض لامپ‌ها یا راه‌اندازها، قطعات برقدار قابل دسترس نباشند. حفاظت در برابر شوک الکتریکی باید برای تمامی روش‌ها و موقعیت‌های نصب و همچنین برای تمامی حالت‌های قرارگیری چراغ‌های قابل تنظیم حفظ شود[۴۳].

۸-۷-۷- آزمون‌های چراغ

برخی از آزمون‌های مهم چراغ‌های روشنایی راه‌ها که می‌بایست بر اساس استاندارد انجام پذیرند، شامل آزمون‌های دوام و گرمایش، مقاومت در برابر نفوذ گرد و غبار و رطوبت، مقاومت عایقی و استقامت الکتریکی، مقاومت در برابر حرارت، آتش و ایجاد مسیر خزشی، ترمینال‌های پیچی، ترمینال‌های بدون پیچ و اتصالات الکتریکی می‌باشند[۴۵و۴۳]. همچنین دو آزمون مقاومت در برابر نیروی باد و شکستگی شیشه نیز که حتی قابل انجام توسط خریداران چراغ می‌باشند، نشان‌دهنده مراعات حدود مشخص شده در استاندارد چراغ برای صحت کارکرد و ایمنی آن هستند.

۸-۷-۸- مشخصات فنی چراغ

مشخصات فنی چراغ باید بر اساس جدول ۸-۱۲ تهیه و به همراه نتیجه آزمون معتبر پخش نور چراغ ارائه شود.

جدول ۸-۱۲: مشخصات فنی چراغ روشنایی راه

کد چراغ:		محل آزمون نوری:	زمان آزمون:	کد آزمون:	نام سازنده:	مدل چراغ:	نوع و توان لامپ:
ردیف	شرح	مقادیر					
۱	درب و بدنه اصلی	☐ آلومینیوم دایکاست			☐ پلیمرهای کامپوزیت		
۲	رنگ و پوشش خارجی	ضخامت رنگ:			درجه چسبندگی رنگ:		
۳	لولا	☐ بدنه لولا: یکپارچه با بدنه	محور لولا:	☐ بدون محور مجزا	☐ با محور ضدزنگ	☐ محور فولاد آبکاری شده	
		☐ بدنه لولا: فولاد زنگ نزن	محور لولا:	☐ با محور یک‌پارچه	☐ با محور ضدزنگ	☐ ورق فولاد با محور فولاد آبکاری شده	
۴	قفل (فقط یکی از گروه‌ها علامت‌گذاری شود)	☐ گروه جفت و زبانه	☐ دایکاست	☐ فولاد زنگ‌نزن	☐ فولاد گالوانیزه گرم	☐ فولاد با آب نیکل کرم	
		☐ گروه قفل فنری	دسته	☐ دایکاست	☐ ورق استیل	☐ مفتول فنری	☐ مواد مصنوعی
			فنر	☐ مفتول فنری از جنس فولاد زنگ نزن		☐ اکسترود فولاد کربنی آبکاری شده	
		☐ گروه پیچ و مهره		☐ فولادزنگ نزن	☐ فولاد آبکاری شده	☐ برنجی آبکاری‌شده	
۵	لوله‌گیر	از نظر جنس و کیفیت		☐ دایکاست یک‌تکه جدا از بدنه از جنس آلومینیوم	☐ دایکاست یک‌تکه یک‌پارچه با بدنه	☐ دایکاست جدا ازبدنه با بست لوله فلزی	
		از نظر امکانات اضافی		☐ پذیرش بازو به‌صورت افقی و عمودی	☐ پذیرش لوله در سایزهای مختلف داخل یا خارج چراغ	☐ امکان تغییر زاویه نصب در	☐ امکان مشخص شدن زاویه نصب چراغ
۶	صفحه نگهدارنده قطعات الکتریکی	☐ ورق آلومینیوم		☐ صفحات غیر فلزی عملیات مکانیکی	☐ ورق فولاد گالوانیزه گرم پس از مناسب	☐ ورق فولاد با پوشش رنگ مکانیکی	☐ ورق فولاد گالوانیزه پس از عملیات
۷	پیچ و مهره	☐ فولاد زنگ‌نزن			☐ برنجی با آبکاری نیکل کرم	☐ فولاد آبکاری شده	
۸	لوازم آب‌بندی	☐ سیلیکون ساده یا ابری			☐ نمدی		
۹	حباب یا شیشه محافظ	☐ شیشه محدب ساده سکوریت		☐ شیشه تخت سکوریت	☐ شیشه پرسمانیک	☐ حباب پلیکربنات تزریقی برای پایین‌تر از ۲۵۰ وات	
۱۰	بالاست	تلفات بالاست: وات معادل		درصد	نام سازنده بالاست:	نام مدل بالاست:	
۱۱	خازن	ظرفیت خازن: میکرو فاراد					
۱۲	جرقه زن	☐ جرقه زن سه سیم					
۱۳	قطعه نگهدارنده لامپ	☐ E 27		☐ E 40	☐ انواع دیگر (از نوع .....)		
۱۴	ردیف علامت‌گذاری شود) قطعه رفلکتور (فقط یکی از دو	ورق آلومینیوم چندتکه شکل دادشده:		☐ آلومینیوم براق	☐ آبکاری در خلأ	☐ آبکاری الکتروشیمیایی	
		آلومینیوم گشتی:		☐ آبکاری در خلأ	☐ آبکاری الکتروشیمیایی		
۱۵	مشخصات نوری چراغ	بهره نوری چراغ:			نام فایل پخش نور چراغ:		
۱۶	درجه حفاظت IP	درجه حفاظت بخش نوری:			درجه حفاظت بخش الکتریکی:		
۱۷	وزن چراغ	وزن کامل با تجهیزات:	کیلوگرم				
۱۸	ابعاد چراغ	طول: متر		عرض: متر		ارتفاع: متر	
۱۹	نوع لوله بازو قابل پذیرش	قطر لوله‌گیر: سانتی‌متر					

۸-۸- مشخصات فنی و استاندارد پایه‌های روشنایی

پایه‌های روشنایی راه‌ها باید بر اساس مجموعه استاندارد ملی شماره ۶۵۷۲ و یا BS EN 40 ساخته و مورد آزمون قرار گرفته باشند. در این بخش، براساس استانداردهای مزبور، موارد مهم و کاربردی که باید مورد توجه استفاده‌کنندگان از این پایه‌ها باشد، آورده شده است. جهت موارد تکمیلی باید به هر یک از استانداردهای مربوطه مراجعه نمود. تعاریف و اصلاحات بکار رفته در این بخش مطابق با مراجع [۴۸-۴۷] می‌باشند.

۸-۸-۱- الزامات عمومی و ابعاد

الزامات عمومی و ابعاد برای پایه‌های روشنایی، بازوها، جعبه تقسیم، محل ورود کابل و ترمینال اتصال زمین بر اساس مراجع [۵۰-۴۹] می‌باشد که موارد مهم آن ارائه می‌شود. این مقررات برای پایه‌های روشنایی بدون بازو (نصب چراغ در بالای پایه) تا ارتفاع ۲۰ متر و پایه‌های روشنایی با بازو تا ارتفاع ۱۸ متر می‌باشد[۵۰-۴۹].

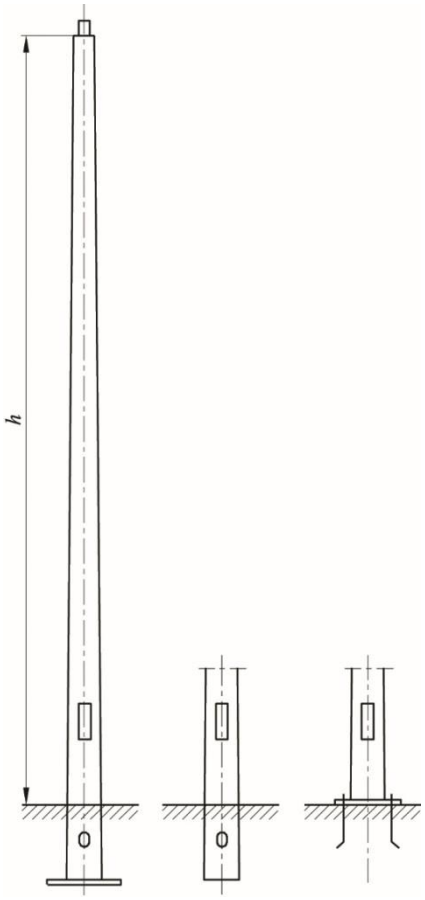
۸-۸-۲- ابعاد اصلی در پایه‌های روشنایی

۸-۸-۲-۱- پایه‌های بدون بازو (نصب چراغ در بالای پایه)

ارتفاع نامی پایه که با h نشان داده می‌شود در واقع ارتفاع از سطح زمین تا لبه لوله نشان داده شده در شکل ۸-۶ می‌باشد. مقادیر h باید از جدول ۸-۱۳ انتخاب شوند[۴۹و۴۷].

جدول ۸-۱۳: ارتفاع نامی برای پایه‌های بدون بازو

h (متر)
۳
۴
۵
۶
۷
۸
۹
۱۰
۱۲
۱۴
۱۵
۱۶
۱۸
۲۰



شکل ۸-۶: پایه‌های بدون بازو

۸-۸-۲-۲- پایه‌های بازودار

ارتفاع نامی پایه (h) ارتفاع پایه از زمین تا نقطه نصب چراغ بوده (شکل ۸-۷) و می‌تواند براساس جدول ۸-۱۴ انتخاب گردد. تصویر بازو (W) نیز که فاصله افقی محور پایه تا نقطه نصب چراغ می‌باشد براساس مقادیر جدول ۸-۱۶ توصیه می‌شود. طول تصویر بازو (W) می‌تواند برابر یا کمتر از ۰٫۲۵h باشد. همچنین برای زاویه نصب چراغ (α) نیز مقادیر جدول ۸-۱۵ توصیه می‌گردد[۴۹ و۴۷].

جدول ۸-۱۴: ارتفاع نامی برای پایه‌های بازودار

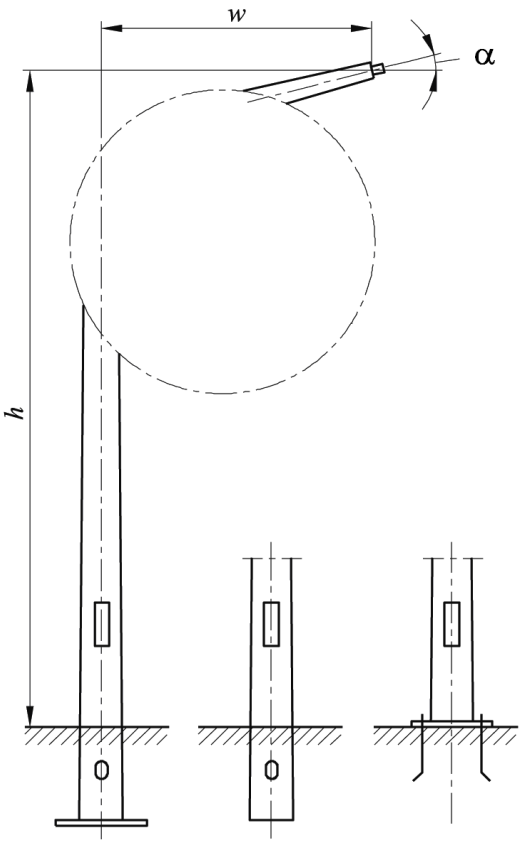
h (متر)
۵
۶
۷
۸
۹
۱۰
۱۲
۱۴
۱۵
۱۶
۱۸

جدول ۸-۱۶: تصویر بازو

W (متر)
۰٫۳
۰٫۵
۰٫۷۵
۱٫۰
۱٫۲۵
۱٫۵
۲٫۰
۲٫۲۵
۲٫۵
۳٫۰
۳٫۵
۴٫۵

جدول ۸-۱۵:زاویه نصب چراغ

α (درجه)
۳
۵
۱۰
۱۵



شکل ۸-۷: پایه‌های بازودار

۸-۸-۲-۳- دریچه پایه و سوراخ ورودی کابل به پایه

موقعیت دریچه و سوراخ ورودی کابل به پایه در شکل ۸-۸ نشان داده شده است. ارتفاع لبه پایین دریچه (C) از زمین نباید کمتر از ۳۰۰ میلیمتر باشد. مقادیر حداکثر برای (C) مشخص نشده است ولی توصیه می‌شود این مقدار در حدود ۶۰۰ میلیمتر باشد.

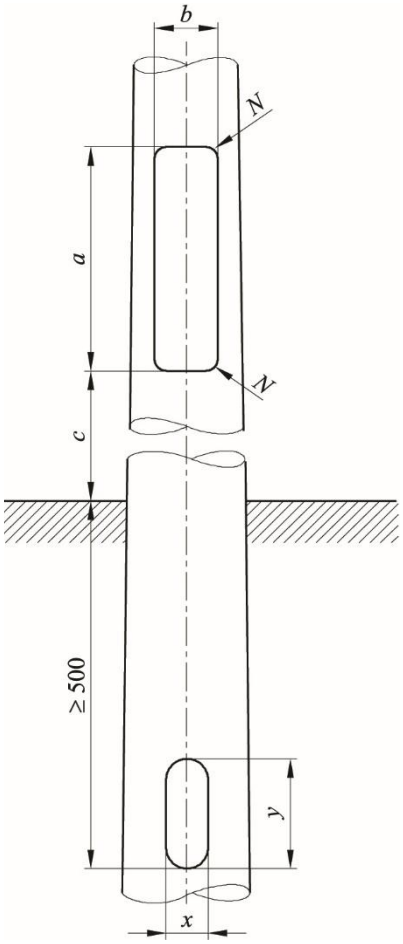
ابعاد دریچه و سوراخ ورودی کابل به پایه که در شکل ۸-۸ نشان داده شده‌اند، می‌توانند مقادیر مشخص شده در جدول ۸-۱۷ و جدول ۸-۱۸ را داشته باشند[۴۹].

جدول ۸-۱۷: ابعاد دریچه پایه

(mm) b	(mm) a
۳۸	۱۳۲
۴۵	۱۸۶
۷۵	۲۰۰
۸۵	۳۰۰
۶۰	۴۰۰
۸۵	۴۰۰
۹۰	۴۰۰
۱۰۰	۴۰۰
۱۰۰	۵۰۰
۱۲۰	۵۰۰
۱۱۵	۶۰۰
۱۳۰	۶۰۰
۹۵*	۶۸۰*
۱۳۰*	۶۸۰*
۱۳۰*	۹۰۰*
* فقط برای پایه بتنی	

جدول ۸-۱۸: ابعاد سوراخ ورودی کابل

(mm) y	(mm) X
۱۵۰	۵۰
۱۵۰	۶۰
۱۵۰	۷۵



شکل ۸-۸: دریچه پایه و سوراخ ورودی کابل

(ابعاد به میلیمتر)

به منظور تامین ایمنی در موقع باز کردن دریچه، جهت قرارگیری آن باید به صورت موازی با بازو و در خارج از مسیر حرکت ترافیک باشد. شکل ۸-۸ موقعیت دریچه را نشان می‌دهد. دریچه برای جلوگیری از ایجاد آسیب باید صاف و عاری از مانع و لبه‌های تیز و برنده باشد. شعاع کنج (N) در دریچه پایه‌های فلزی باید ۲۰ mm یا نصف عرض دریچه (b)، هرکدام که کمتر باشد در نظر گرفته شود.

۸-۸-۲-۴- پایین پایه و مسیر کابل

۸-۸-۲-۴-۱- درب دریچه

در پایه‌های فلزی، درب دریچه از نظر حفاظت در برابر خوردگی باید معادل شرایط فراهم شده در پایه باشد. در پایه‌های بتنی درب دریچه از نظر حفاظت در برابر خوردگی باید معادل شرایط فراهم شده برای یک پایه فلزی باشد. درب باید به صورت مقاوم، دسترسی غیر مجاز را به وسیله یک سازوکار قفل تامین نماید[۴۹].

۸-۸-۲-۴-۲- متعلقات لوازم الکتریکی

در این قسمت از پایه، مواقعی که از یک سینی (صفحه) فلزی جهت نصب تجهیزات استفاده می‌شود، درجه حفاظت خوردگی آن باید مشابه درب فلزی دریچه باشد. در صورت استفاده از صفحات نگهدارنده دیگری در این قسمت، مواد ساخت آنها نباید رطوبت‌پذیر باشد[۴۹].

۸-۸-۲-۴-۳- مسیر کابل‌های برق

مسیر عبور کابل از بخش پایین پایه تا محل اتصال چراغ نباید دارای ابعادی کمتر از ۱۸ میلیمتر باشد. مسیر کابل از محل سوراخ ورودی کابل تا بخش پایین پایه (دریچه) نباید دارای ابعادی کمتر از ۵۰ میلیمتر باشد. تمام مسیر کابل برای جلوگیری از آسیب و خراش کابل باید صاف، عاری از مانع و لبه‌های تیز و برنده باشد[۴۹].

۸-۸-۲-۴-۴- درجه حفاظت

قسمت‌هایی از پایه که روی سطح زمین قرار می‌گیرند، در زمان بسته بودن می‌بایست از درجه حفاظت زیر برخوردار باشند[۵۲-۵۱]:

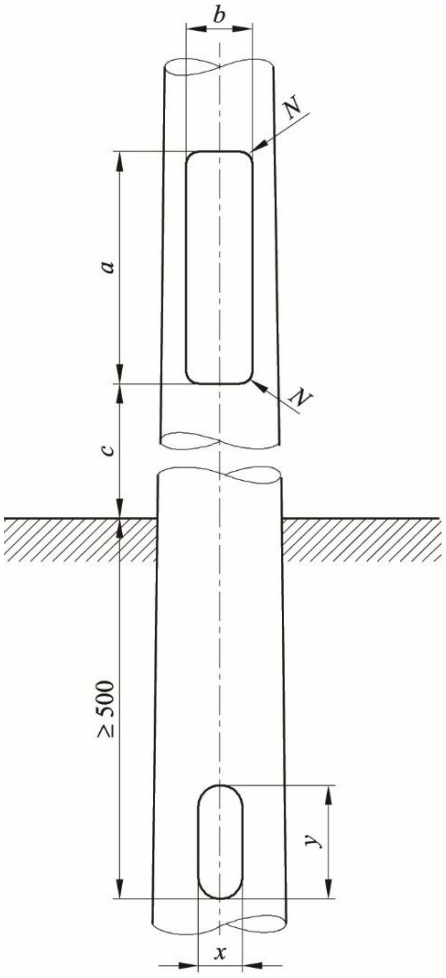
الف- تمام قسمت‌های دریچه پایه بدون در نظر گرفتن ارتفاع آن از سطح زمین، IP3X؛

ب- سایر قسمت‌های پایه به غیر از دریچه که ارتفاعی تا ۲٫۵ متر بالای سطح زمین دارند، IP3X؛

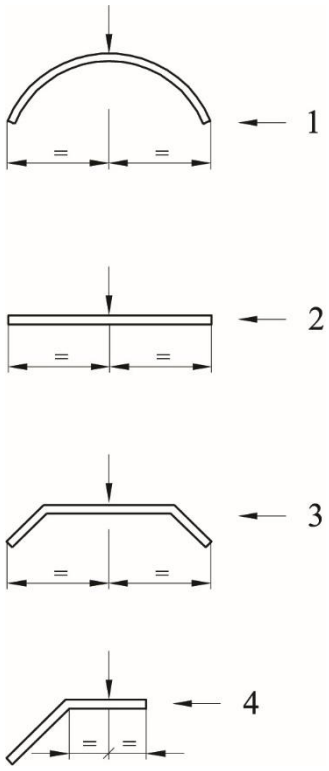
ج- سایر قسمت‌های پایه به غیر از دریچه که ارتفاعی بیش از ۲٫۵ متر بالای سطح زمین دارند، IP2X.

روی یک نمونه از انواع و ابعاد مختلف درب دریچه در حالتی که روی پایه یا بخشی از پایه بسته شده است، باید یک آزمون نوعی انجام شود. تجهیز آزمون، چکش پاندولی ضربه یا چکش سقوط آزاد بوده و تعداد ضربه‌ها نیز ۳ عدد در یک نقطه می‌باشد. محل ضربه باید نقطه مرکزی درب دریچه در انواع قوس‌دار، صاف یا سه وجهی باشد. در درب‌های دو وجهی این نقطه باید در مرکز وجه بزرگتر یا معادل آن باشد. بعد از آزمون موارد زیر باید برقرار باشند:

- ✓ سازوکار قفل باید صحیح و فعال باقی بماند؛
- ✓ درب باید دسته‌بندی حفاظت (IP) پایه را برآورده نماید؛
- ✓ هیچگونه نشانه قابل رویت از شکستگی یا شکاف نباید وجود داشته باشد.



شکل ۸-۹: نمای مقابل برای آزمون ضربه دریچه



۱- درب قوس‌دار
۲- درب صاف
۳- درب سه وجهی
۴-درب دو وجهی

شکل ۸-۱۰: نمای بالا برای آزمون ضربه درب دریچه

۸-۸-۲-۴-۵- ترمینال زمین

الزامات زیر برای مواقعی است که پایه به وسیله ترمینال، زمین می‌شود:

الف- ترمینال زمین بکار رفته نباید دچار خوردگی شود؛

ب- ترمینال زمین باید دارای یک سطح تماس مناسب برای نصب هادی اتصال زمین باشد؛

ج- ترمینال زمین باید به آسانی دیده شده و در دسترس باشد.

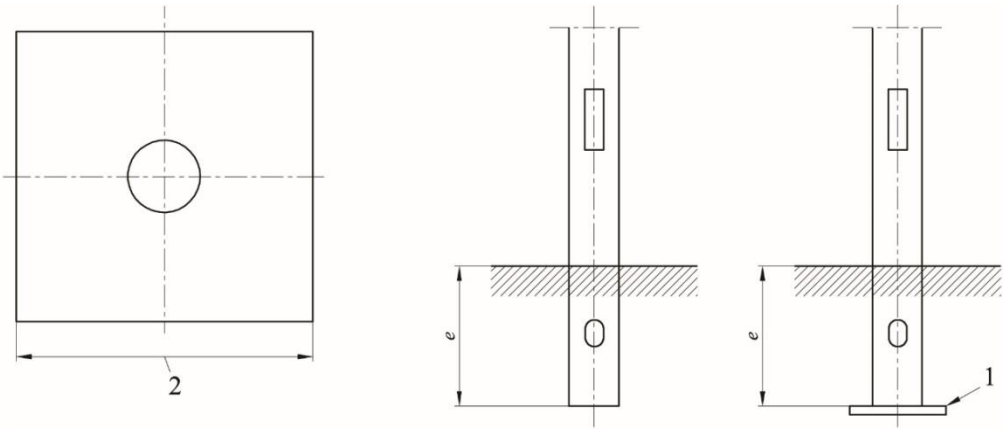
به جز درب دریچه، می‌بایست بین تمام قسمت‌های فلزی قابل دسترس پایه، بازوهای نصب شده و ترمینال زمین، اتصال الکتریکی مطمئن برقرار باشد. این الزام اتصال الکتریکی، شامل آرماتورهای فلزی پایه‌های بتنی نمی‌باشد.

قطعه ثابت ترمینال زمین باید بگونه‌ای طراحی و اجرا شود که به هنگام بستن کلمپ در جای خود نچرخد. اگر قطعه ثابت ترمینال زمین شامل یک پیچ باشد، اندازه آن نباید از M8 کمتر باشد. بخش محکم‌کننده اتصال زمین باید به‌گونه‌ای طراحی شده باشد که از آسیب رسیدن به هادی زمین یا عایق آن در هنگام باز و بسته کردن جلوگیری گردد.

ترمینال اتصال زمین یا خود پایه یا صفحه نصب قطعات نزدیک ترمینال باید بگونه‌ای قابل رویت و با دوام با نماد ⏚ نشانه‌گذاری شده باشد.

۸-۸-۲-۵- گودی کاشت و صفحه زیر پایه

برای پایه‌هایی که در زمین طبیعی دفن می‌شوند (با یا بدون بتن‌ریزی اطراف آن)، گودی کاشت (e) باید از بین مقادیر داده شده در جدول ۸-۱۹ با توجه به اندازه‌گیری و شرایط زمین انتخاب شود. صفحه زیر پایه نیز در صورت نیاز باید mm (۳۰۰ × ۳۰۰) یا mm (۴۰۰ × ۴۰۰) با حداقل ضخامت mm ۴ باشد[۵۰].



۱- صفحه زیر پایه

۲- (۳۰۰×۳۰۰) یا (۴۰۰×۴۰۰) ابعاد به میلیمتر

شکل ۸-۱۱: گودی کاشت و صفحه زیر پایه

جدول ۸-۱۹: حداقل گودی کاشت

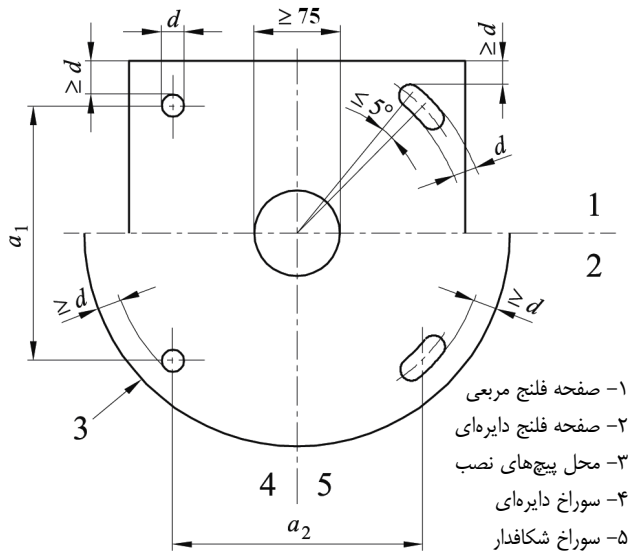
ارتفاع نامی پایه (متر)	حداقل گودی کاشت (e) برحسب میلیمتر		
≤۵	۱۰۰۰	۸۰۰	۶۰۰
۶	۱۲۰۰	۱۰۰۰	۸۰۰
۸ و ۷	۱۵۰۰	۱۲۰۰	۱۰۰۰
۱۰ و ۹	۱۷۰۰	۱۵۰۰	۱۲۰۰
۱۲	۲۰۰۰	۱۷۰۰	۱۵۰۰
۱۴	۲۵۰۰	۲۰۰۰	۱۵۰۰
۱۵	۲۵۰۰	۲۰۰۰	۱۵۰۰
۱۶	۲۵۰۰	۲۰۰۰	۱۵۰۰
۱۸	۲۵۰۰	۲۰۰۰	۱۵۰۰
۲۰	۲۵۰۰	۲۰۰۰	۱۸۰۰

۸-۸-۲-۶- صفحه فلنج

طرح صفحه فلنج و پیچ‌های نصب پایه باید با بکارگیری روش‌های طراحی یا آزمون بررسی شوند. طرح صفحه فلنج باید مطابق شکل ۸-۱۲ باشد. در این طرح، برای صفحه فلنج‌های مربعی با چهار سوراخ، مقادیر α_1 و α_2 برابر خواهند بود و باید از جدول ۸-۲۰ انتخاب شوند. برای قطر سوراخ‌ها یا عرض سوراخ شکاف‌دار، مقادیر d باید مورد استفاده قرار گیرد. همچنین فاصله بین لبه سوراخ یا شکاف تا لبه صفحه فلنج باید حداقل d باشد. در این طرح، اگر سوراخ شکاف‌دار مورد استفاده قرار می‌گیرد، بیشینه چرخش مجاز باید ±۵ درجه باشد. واشرهای مورد استفاده بین مهره و صفحه فلنج نیز باید مطابق با EN ISO 7093 باشند[۵۰].

جدول ۸-۲۰: فاصله مرکز پیچ‌های نصب a_1 و a_2 به میلیمتر

۲۰۰
۲۱۵
۲۵۰
۲۸۵
۳۰۰
۳۲۵
۴۰۰
۴۵۰
۵۰۰
۵۵۰



۱- صفحه فلنج مربعی
۲- صفحه فلنج دایره‌ای
۳- محل پیچ‌های نصب
۴- سوراخ دایره‌ای
۵- سوراخ شکافدار

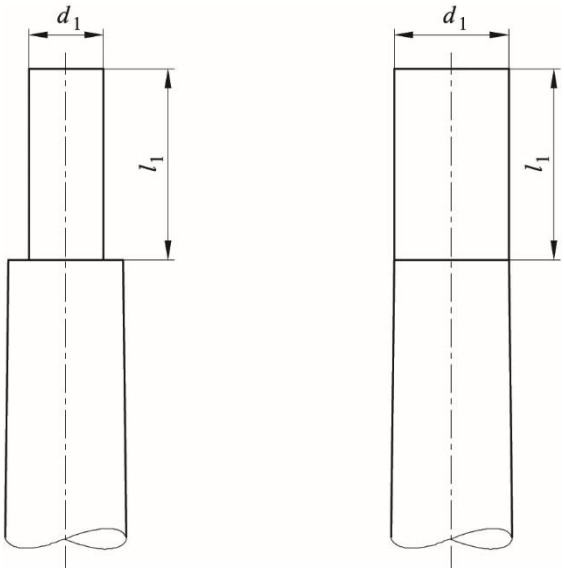
شکل ۸-۱۲: طرح صفحه فلنج

۸-۸-۲-۷- ابعاد محل اتصال چراغ به پایه

اتصال چراغ به پایه می‌تواند مطابق با شکل ۸-۱۳ و شکل ۸-۱۴، بوسیله پیچ یا نگهدارنده‌های دیگری صورت پذیرد. ابعاد محل اتصال نیز بر اساس جدول ۸-۲۱ و جدول ۸-۲۲ می‌باشند[۵۰].

جدول ۸-۲۱: ابعاد محل اتصال چراغ روی پایه بدون بازو

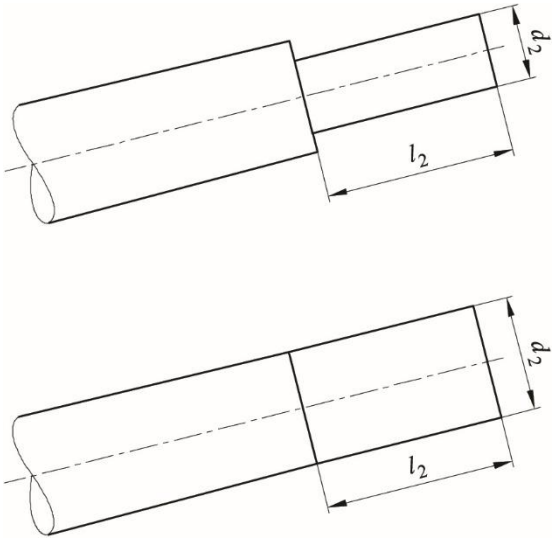
d_1 (mm)	l_1(mm)
۶۰	۷۰
۶۲	۷۰
۷۶	۱۳۰
۷۸	۱۳۰
۸۹	۱۳۰
۱۰۲	۲۵۰
۱۰۸	۲۵۰



شکل ۸-۱۳: نصب چراغ روی پایه بدون بازو

جدول ۸-۲۲: ابعاد محل نصب چراغ روی بازو

d_2 (mm)	l_2 (mm)
۴۲	۱۰۰
۴۲	۲۵۰
۴۲	۴۰۰
۶۰	۱۰۰
۶۰	۲۵۰
۶۰	۴۰۰
۶۲	۱۰۰
۶۲	۲۵۰
۶۲	۴۰۰



شکل ۸-۱۴: نصب چراغ روی بازو

۸-۸-۳- حدود تغییرات مجاز ابعاد پایه (رواداری‌ها)

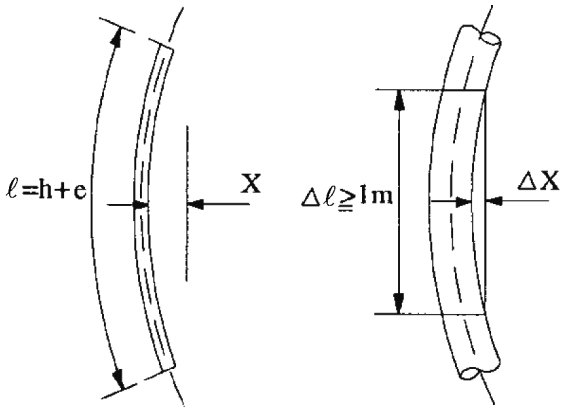
۸-۸-۳-۱- راستایی

رواداری راستایی پایه (X و ΔX) از حالت عمودی با توجه به شکل ۸-۱۵ به صورت زیر است[۴۹]:

l =h+e $X \leq 0.003 \times l$

$\Delta l \geq 1m$ $\Delta X \leq 0.003 \times \Delta l$

X: اندازه انحراف در طول کل ΔX: اندازه انحراف روی یک بخش از طول کل.



شکل ۸-۱۵: تغییر مکان پایه از حالت عمودی

اندازه‌گیری باید در شرایطی که پایه به صورت افقی قرار داده شده است، انجام شود.

۸-۸-۳-۲- طول کل پایه‌های بدون بازو

رواداری طول کل پایه بدون بازو باید مطابق زیر باشد[۴۹]:

- پایه‌های تا ارتفاع ۱۰ متر: ۲۵± میلیمتر،
- پایه‌های بلندتر از ۱۰ متر: ۰٫۶٪±.

۸-۸-۳-۳- طول کل پایه‌های بازودار

رواداری طول کل پایه‌های بازودار باید مطابق زیر باشد[۴۹]:

- پایه‌های تا ارتفاع نامی ۱۰ متر: ۱٪±،
- پایه‌های بلندتر از ۱۰ متر: ۱٫۲٪±.

طول کل پایه برای پایه‌های با صفحه فلنج برابر h و برای پایه‌های دارای قسمت کاشت در زمین برابر (h+e) می‌باشد.

۸-۸-۳-۴- تصویر بازو

رواداری تصویر بازو باید ۲٪± باشد[۴۹].

۸-۸-۳-۵- زاویه نصب چراغ

رواداری زاویه محور نصب چراغ تا سطح افق، زمانی که تحت بار نیست باید ۲± درجه باشد. همچنین انحراف بین زاویه بازو و زاویه نصب نیز نباید از ۲± درجه بیشتر باشد[۴۹].

۸-۸-۳-۶- ابعاد دریچه پایه و سوراخ کابل

ابعاد دریچه پایه و محل ورودی کابل به پایه نیز حداکثر می‌تواند ۱۰ میلیمتر بیش از مقادیر داده شده در بند ۸-۸-۳-۲- باشد[۴۹].

۸-۸-۳-۷- سطح مقطع پایه

۸-۸-۳-۷-۱- پایه‌های فلزی

رواداری محیط پایه باید ۱٪± باشد. رواداری تغییر فرم برای سطح مقطع دایره‌ای، ۳٪ قطر آن است که از روی محیط اندازه‌گیری شده در همان قسمت تعیین می‌شود (بدون در نظر گرفتن لبه). تغییر فرم برای سطح مقطع چند وجهی ۴٪ اندازه اسمی آن روی سطح چند وجهی است[۴۹].

۸-۸-۳-۷-۲- پایه‌های بتنی

رواداری محیط پایه باید ۲٪± باشد. بیشینه تغییر فرم در سطح مقطع باید ۵٪± مقدار اسمی یا ۱۰± میلیمتر هرکدام که کوچکتر است، باشد[۴۹].

۸-۸-۳-۸- ابعاد محل اتصال چراغ

رواداری طول محل اتصال برای l_1 و l_2 باید ۲± میلیمتر باشد (شکل ۸-۱۳ و شکل ۸-۱۴).

رواداری قطر محل اتصال برای d_1 و d_2 باید به شرح زیر باشد(شکل ۸-۱۳ و شکل ۸-۱۴):

الف- در صورت فولادی بودن لوله اتصال چراغ، براساس EN 10210-2 و EN 10219-2؛

ب- در صورت آلومینیوم بودن لوله اتصال چراغ، براساس EN 775-8؛

ج- در صورتی که محل اتصال چراغ با پایه روشنایی به صورت یکپارچه باشد و هنگام فرآیند تولید، پایه یا بازوی آن فرم داده شود، رواداری آن ۲٪± می‌باشد[۴۹].

۸-۸-۳-۹- پیچش یا تابیدگی پایه

۸-۸-۳-۹-۱- پایه‌های دفنی

در موقع نصب پایه، زاویه بین خط مرکزی بازو و خط گذرنده از مرکز دریچه پایه نباید از موقعیت طراحی مورد نظر بیش از ۵ درجه اختلاف داشته باشد[۵۰].

۸-۸-۳-۹-۲- پایه‌های دارای صفحه فلنج

ساخت بازوی پایه و صفحه فلنج باید به گونه‌ای باشد که خط مرکزی بازو را از موقعیت طراحی مورد نظر نسبت به صفحه فلنج در محدوده ۵± درجه بپذیرد[۵۰].

۸-۸-۳-۱۰- رواداری عمودی

برای پایه‌های دارای صفحه فلنج، زاویه بین محور عمودی پایه و محور عمود صفحه فلنج نباید بیشتر از ۱ درجه باشد.

۸-۸-۴- معیارهای طراحی پایه

این بخش، معیارهای مورد استفاده در طراحی پایه‌های روشنایی ساخته شده از جنس بتن، فولاد و آلومینیوم را پوشش داده و مواد دیگر مانند چوب، پلاستیک، آهن ریخته‌گری و غیره را شامل نمی‌گردد[۵۳].

۸-۸-۴-۱- مبنای بارهای اعمالی به پایه‌های روشنایی

۸-۸-۴-۱-۱- بارهای مرده

این بارها ناشی از جرم‌های بازو و چراغ بوده که باید در نظر گرفته شوند.

۸-۸-۴-۱-۲- فشار باد

الف) کلیات

مشخصات فشار باد q(z) برحسب N/m^2 برای هر ارتفاع (Z) از سطح زمین باید از معادله (۸-۴) محاسبه شود.

$$q(z) = \delta \times \beta \times f \times Ce_{(z)} \times q_{(10)} \qquad ۸-۴$$

که در رابطه فوق، $q_{(10)}$ فشار باد مرجع، δ ضریب وابسته به اندازه پایه، β ضریب وابسته به رفتار دینامیکی پایه، f ضریب توپوگرافی و $Ce_{(Z)}$ ضریب وابسته به زمین و عوارض زمین در پای پایه روشنایی و نیز ارتفاع پایه از سطح زمین (z) می‌باشد.

ب) فشار باد مرجع ($q_{(10)}$)

مقدار $q_{(10)}$ بر حسب N/m^2 که وابسته به موقعیت جغرافیایی پایه روشنایی می‌باشد، با استفاده از رابطه (۸-۵) بدست می‌آید.

$$q_{(10)} = 0.5\rho(C_s)^2 \times V_{ref}^2 \qquad ۸-۵$$

که در رابطه فوق،

V_{ref}: سرعت متوسط باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح عوارض زمین (از طبقه بندی نوع II (جدول ۸-۲۳)) که به مدت ۱۰ ثانیه وزیده و دارای احتمال وقوع سالیانه ۰٫۰۲ باشد. V_{ref} از رابطه (۸-۶) بدست می‌آید.

$$V_{ref} = C_{ALT} \times V_{ref.o} \qquad ۶\text{-}۸$$

$V_{ref.o}$: مقدار اصلی سرعت باد مرجع در ارتفاع ۱۰ متری از سطح دریا که از نقشه‌های ورزش باد بدست می‌آید؛

C_{ALT}: ضریب ارتفاع بوده که مقدار عددی آن برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود مگر آنکه مقدار آن در استانداردهای مربوطه به گونه دیگری مشخص شده باشد؛

C_S: ضریب آماری بر اساس داده‌های مقادیر باد بحرانی هواشناسی، برای پایه‌های روشنایی مقدار این ضریب $\sqrt{0.92}$در نظر گرفته می‌شود؛

ρ: چگالی هوا بوده و به ارتفاع، دما و فشاری که در حین وزش باد شدید به وجود می‌آید، بستگی دارد و مقدار آن Kg/m^3 ۱٫۲۵در نظر گرفته می‌شود.

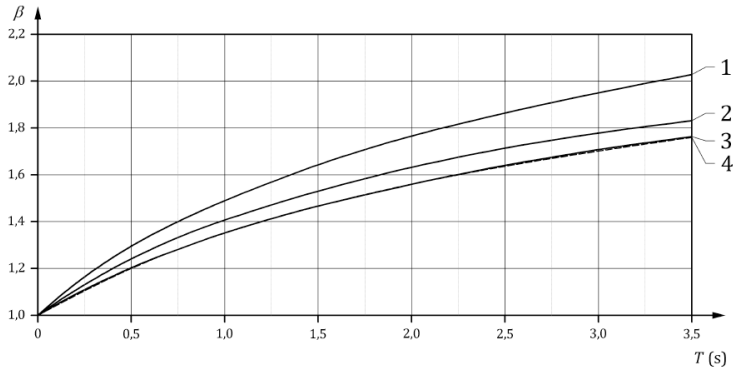
ج) ضریب δ برای اندازه پایه روشنایی

ضریب δ در رابطه (۸-۴) به میزان سطح مقطع بادخور بستگی دارد. ابعاد در نظر گرفته شده برای سطح بادخور پایه بزرگ‌ترین مقدار آن در یک جهت پایه می‌باشد. در مورد پایه‌های روشنایی این مقدار، ارتفاع نامی پایه‌های روشنایی برحسب متر است. مقدار عددی ضریب δ برای پایه‌های روشنایی از رابطه (۸-۷) به دست می‌آید.

$$\delta = 1 - 0.01h \qquad ۷\text{-}۸$$

د) ضریب β یا ضریب رفتارهای دینامیکی پایه‌های روشنایی

ضریب β در رابطه (۸-۴) که از شکل ۸-۱۶ بدست می‌آید، به دوره تناوب مبنای ارتعاشات وارده (T) و میرایی سیستم پایه‌های روشنایی یا چراغ بستگی دارد. به طور کلی افزایش بار ناشی از رفتار دینامیکی پایه‌های روشنایی در برابر وزش باد را با اعمال این ضریب در محاسبات در نظر می‌گیرند.



۱: فلز
۲:بتن پیش تنیده
۳: بتن مسلح
۴: کامپوزیت پلیمری تقویت شده با فیبر (الیاف)

شکل ۸-۱۶: ضریب **β** برای رفتار دینامیکی پایه‌های روشنایی

دوره تناوب ارتعاشات (T) برحسب ثانیه از طریق محاسبه یا به وسیله آزمون بدست می‌آید.

ه) ضریب f یا ضریب توپوگرافی

ضریب توپوگرافی (f) در رابطه (۸-۴) باید یک در نظر گرفته شود، مگر این که توپوگرافی به عنوان یک بخش مهم در نظر گرفته شود. در شرایطی که توپوگرافی یک مشخصه مهم است، باید از روش پیوست A استاندارد EN40-1 استفاده نمود.

ارتفاع مورد استفاده برای محاسبه C_{ALT} باید ارتفاع پایه شیب توپوگرافی در جهت مخالف باد باشد.

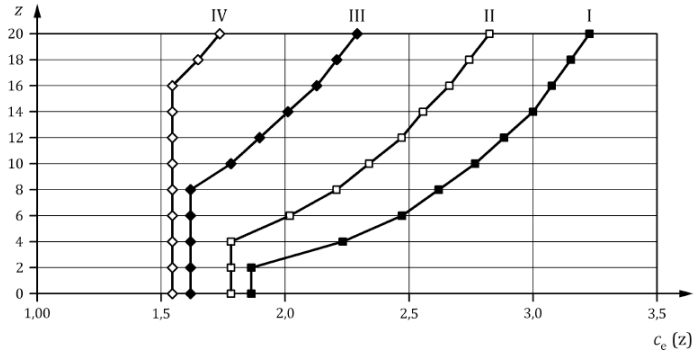
و) ضریب $Ce_{(Z)}$ یا ضریب در معرض وزش باد بودن

ضریب $Ce_{(Z)}$ در رابطه (۸-۴) که مشخص‌کننده میزان تغییرات فشار باد می‌باشد، به ارتفاع از سطح عوارض زمین بستگی دارد. مقدار عددی این ضریب می‌تواند از جدول ۸-۲۴ و یا شکل ۸-۱۷ هرکدام که مناسب‌تر باشد، تعیین گردد. در تعیین این ضریب، نیاز به مشخص شدن نوع عوارض زمین بوده که بر اساس طبقه‌بندی بدست می‌آید. این طبقه‌بندی بر اساس جدول ۸-۲۳ صورت می‌پذیرد.

جدول ۸-۲۳: طبقه‌بندی عوارض زمین

طبقه‌بندی	شرح
I	- دریای باز و متلاطم - ساحل دریاچه با حداقل ۵ کیلومتر فضای بازکه باد بتواند به آسانی و بدون هیچ مانعی در آن بوزد - فضای مسطح بدون هیچگونه مانع
II	- مزارع محصور شده با خانه‌های روستایی کوچک و یا درختان
III	- نواحی حاشیه شهرها یا مناطق صنعتی و جنگل‌های دائمی
IV	- مناطق شهری که دست کم ۱۵ ٪ سطح زمین از ساختمان‌هایی پوشیده شده که ارتفاع متوسط آنها بیشتر از ۱۵ متر است

برای نصب پایه روشنایی روی پل‌ها، ارتفاع Z از سطح آب یا سطح زمین که پل بر فراز آن احداث می‌شود در نظر گرفته می‌شود. هنگامی که طبقه‌بندی عوارض زمین توسط کارفرما مشخص نشده باشد، محاسبات می‌بایست با در نظر گرفتن طبقه‌بندی عوارض از نوع II انجام شود.



شکل ۸-۱۷: ضریب در معرض وزش باد بودن

جدول ۸-۲۴: ضریب در معرض وزش باد بودن ($Ce_{(z)}$)

ارتفاع از سطح زمین برحسب متر (z)	طبقه‌بندی عوارض زمین			
	I	II	III	IV
۲۰	۳٫۲۱	۲٫۸۱	۲٫۲۸	۱٫۷۲
۱۹	۳٫۱۷	۲٫۷۷	۲٫۲۴	۱٫۶۹
۱۸	۳٫۱۴	۲٫۷۴	۲٫۲۰	۱٫۶۵
۱۷	۳٫۱۰	۲٫۷۰	۲٫۱۶	۱٫۶۰
۱۶	۳٫۰۷	۲٫۶۶	۲٫۱۱	۱/۵۶
۱۵	۳٫۰۳	۲٫۶۲	۲٫۰۷	۱٫۵۶
۱۴	۲٫۹۸	۲٫۵۷	۲٫۰۲	۱٫۵۶
۱۳	۲٫۹۴	۲٫۵۲	۱٫۹۶	۱٫۵۶
۱۲	۲٫۸۹	۲٫۴۷	۱٫۹۱	۱٫۵۶
۱۱	۲٫۸۳	۲٫۴۱	۱٫۸۵	۱٫۵۶
۱۰	۲٫۷۸	۲٫۳۵	۱٫۷۸	۱٫۵۶
۹	۲٫۷۱	۲٫۲۹	۱٫۷۱	۱٫۵۶
۸	۲٫۶۴	۲٫۲۱	۱٫۶۳	۱٫۵۶
۷	۲٫۵۷	۲٫۱۳	۱٫۶۳	۱٫۵۶
۶	۲٫۴۸	۲٫۰۴	۱٫۶۳	۱٫۵۶
۵	۲٫۳۷	۱٫۹۳	۱٫۶۳	۱٫۵۶
۴	۲٫۳۵	۱٫۸۰	۱٫۶۳	۱٫۵۶
۳	۲٫۰۹	۱٫۸۰	۱٫۶۳	۱٫۵۶
۲	۱٫۸۸	۱٫۸۰	۱٫۶۳	۱٫۵۶
۱	۱٫۸۸	۱٫۸۰	۱٫۶۳	۱٫۵۶

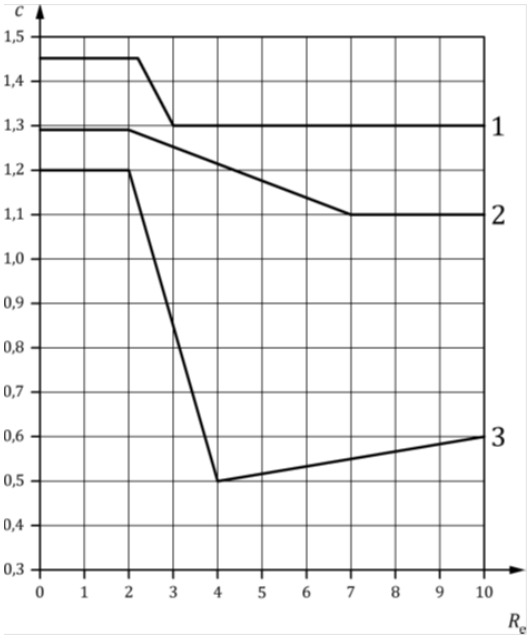
۸-۸-۴-۱-۳- ضریب شکل (c)

الف) ضریب شکل برای مقاطع دایره‌ای و هشت ضلعی

- برای مقاطع دایره‌ای شکل، ضریب c از منحنی ۳ در شکل ۸-۱۸ بدست می‌آید.
- برای مقاطع هشت ضلعی با نسبت r/D کوچکتر از ۰٫۰۷۵ که در آن r شعاع گوشه و D فاصله هر دو ضلع روبروی هم از هشت ضلعی می‌باشد، ضریب شکل c از منحنی ۱ در شکل ۸-۱۸ بدست می‌آید.
- برای مقاطع هشت ضلعی با نسبت r/D بزرگتر از ۰٫۰۷۵، ضریب شکل c از منحنی ۲ در شکل ۸-۱۸ بدست می‌آید.

نکته ۱- در هنگام محاسبه لنگر، کل ارتفاع پایه روشنایی به قطعات با ارتفاع کمتر از ۲ متر تقسیم می‌شود.

نکته ۲- نسبت r/D که در محاسبه مقدار عددی ضریب شکل c بکار رفته است باید در نقطه میانی هر قطعه در نظر گرفته شود.



۱- مقطع هشت ضلعی با $\frac{r}{D} < 0.075$

۲- مقطع هشت ضلعی با $\frac{r}{D} \geq 0.075$

۳- مقطع دایره‌ای

شکل ۸-۱۸: ضریب شکل برای مقاطع دایره‌ای و هشت ضلعی

برای استفاده از این منحنی، عدد رینولدز (Re) از رابطه (۸-۸) بدست می‌آید:

$$Re = \frac{VD}{v} \qquad ۸-۸$$

که در رابطه فوق،

V: سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه بوده و از رابطه (۸-۹) بدست می‌آید.

$$V = \frac{1}{C_s}\sqrt{\frac{q(z)}{0.5\rho\delta\beta}} \qquad ۹-۸$$

D: قطر پایه روشنایی یا فاصله بین دو ضلع روبروی هم برحسب متر؛

v: ویسکوزیته جنبشی هوا در ۲۰ درجه سیلسیوس که با رابطه (۸-۱۰) برابر می‌باشد.

$$v = 15.1 \times 10^{-6}\ m^2/s \qquad ۱۰-۸$$

$q(z)$ ، ρ ، δ ، C_s و β در بخش‌های قبلی تعریف شده‌اند.

ب) ضریب شکل برای پایه‌های روشنایی و بازوهای دارای سطوح مقاطع دیگر

برای سطوح مقاطعی به غیر از دایره‌ای شکل و هشت ضلعی، ضریب شکل باید از روی استانداردهای ملی یا بر اساس نتایج آزمون قابل اعتماد به دست آید[۵۳].

ج) ضریب شکل برای چراغ‌ها

برای چراغ‌های نصب شده بر روی پایه‌های روشنایی، در صورت دسترسی به تونل باد، ضریب شکل افقی و ضریب نیروی بالابرنده عمودی ناشی از بادهایی با جهت و امتداد وزش افقی، با انجام آزمون در این تونل تعیین می‌شود. در این صورت می‌بایست حداکثر مقادیر عددی بدست آمده در آزمون تونل باد، به ازای بادهایی با امتداد و جهت وزش $\pm 5°$ با امتداد افقی اختیار شوند. بارهای عمودی ناشی از باد نیز می‌بایست تنها هنگامی که نیروی موثر آنها با نیروهای شرایط بارگذاری پایه‌های روشنایی جمع میشوند، در نظر گرفته شوند. هنگامی که آزمون تونل باد وجود نداشته و یا چنین اطلاعاتی توسط تولید کننده چراغ نیز ارائه نگردد، ضریب شکل افقی برابر با ۱ و ضریب بالا برنده نیز برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود.

۸-۸-۴-۲- نیروها و لنگرها

۸-۸-۴-۲-۱- نیروهای ناشی از فشار باد و بار مرده

الف) نیروی افقی بر روی هر قسمت از محور طولی پایه روشنایی

نیروی افقی بر حسب نیوتن که بر روی هر قسمت از محور عمود بر سطح افق و در امتداد طول محور پایه روشنایی اعمال شده است، با استفاده از رابطه (۸-۱۱) محاسبه می‌شود[۵۳].

$$F_c = A_c \times c \times q(z) \qquad ۱۱\text{-}۸$$

که در رابطه فوق،

F_c: نیروی افقی جزئی ناشی از فشار باد بوده که بر پایه روشنایی و در آن بخشی از سطح مقطع که یکنواخت فرض می‌شود، وارد گردد؛

A_c: سطح مقطع عمودی (سطح بادخور) پایه روشنایی در مسیر وزش باد مستقیم بر حسب مترمربع؛

c: ضریب شکل قسمتی از پایه روشنایی که در نظر گرفته شده است؛

$q(z)$: فشار باد طراحی برحسب نیوتن بر متر مربع، در ارتفاع z بالاتر از سطح زمین که از مرکز یا وسط سطح بادخور نسبت به زمین سنجیده می‌شود.

ب- نیروی افقی بر روی هر قسمت از سطح بادخور بازو

این نیرو بر حسب نیوتون با استفاده از رابطه (۸-۱۲) محاسبه می‌شود[۵۳].

$$F_b = A_b \times c \times q(z) \qquad ۱۲\text{-}۸$$

که در رابطه فوق،

F_b: نیروی جزئی افقی ناشی از باد بوده که بر مرکز سطح مورد نظر بازو اثر می‌کند؛

A_b: مساحت تصویر بازو بر روی صفحه عمود بر جهت وزش باد؛

c: ضریب شکل قسمتی از بازو که در نظر گرفته می‌شود؛

q(z): فشار باد طراحی برحسب نیوتن بر متر مربع، در ارتفاع z بالاتر از سطح زمین که از مرکز یا وسط سطح مورد نظر بازو نسبت به زمین سنجیده می‌شود.

ج) نیروهای وارد بر چراغ

نیروهای وارد بر چراغ بر حسب نیوتن باید از رابطه (۸-۱۳) محاسبه شوند[۵۳].

$$F_l = A_l \times c \times q(z) \qquad ۸-۱۳$$

که در رابطه فوق،

F_l: نیروی جزئی افقی یا عمودی ناشی از فشار باد بر چراغ؛

A_l: مساحت تصویر چراغ روی صفحه قائم (عمود بر امتداد باد) برحسب متر مربع؛

c: ضریب شکل افقی یا عمودی چراغ؛

q(z): فشار باد طراحی برحسب نیوتن بر متر مربع، در ارتفاع z بالاتر از سطح زمین که از مرکز یا وسط چراغ نسبت به زمین سنجیده می‌شود.

د) نیروهای ناشی از بار مرده

نقطه اثر نیروهای عمودی حاصل از جرم بازو و چراغ باید در یکی از مکان‌های زیر قرار گیرد:

- نیروهای عمودی ناشی از وزن بازو باید در مرکز جرم بازو عمل نماید؛
- نیروهای عمودی ناشی از اتصال چراغ باید در مرکز جرم چراغ عمل کند، در صورتی که مرکز جرم مشخص باشد. اگر این اطلاعات مشخص نباشد، نیروهای عمودی ناشی از اتصالات چراغ باید در فاصله ۰٫۴ برابر کل طول چراغ از محل اتصال بازو به چراغ عمل نماید[۵۳].

۸-۸-۴-۲-۲- لنگرهای ناشی از فشار باد و بار مرده

الف) لنگرهای خمشی وارد بر محور پایه روشنایی و بازو

به منظور بررسی استقامت پایه روشنایی در مواجهه با این رخداد، فرض می‌شود که پایه روشنایی به زمین و بازو نیز به محور پایه محکم می‌شود. سپس لنگرهای ناشی از نیروهای فشار باد در نظر گرفته شده برای طراحی و بارهای مرده باید به گونه‌ای محاسبه شوند که بیشترین لنگر ناشی از بارهای گسترده وارد بر پایه، بازو و چراغ (ها) را آشکار سازند. بدین منظور کل سازه به قسمت‌های کوچکتری که ارتفاع هر یک از آن‌ها بیشتر از دو متر نباشد، تقسیم می‌شود. سپس نیروی

افقی طراحی برای هر قسمت به طور جداگانه و با استفاده از مساحت تصویر شده، ضریب شکل و فشار باد طراحی مرتبط با همان قسمت محاسبه می‌شود[۵۳].

ب) لنگرهای پیچشی وارد بر محور پایه ناشی از بارهای باد

برای پایه‌هایی با ترکیب نامتقارن از بازو(ها) و چراغ(ها)، لنگرهای پیچشی باید برای تمامی مقاطع بحرانی سازه محاسبه شوند.

۸-۸-۵- معیارهای پذیرش پایه و آزمون‌های آن

۸-۸-۵-۱- بارهای آزمون

بارهای آزمون برای "آزمون بررسی" عبارت از بارهای مرده و بارهای بیان شده در بندهای ۸-۸-۴-۱- و ۸-۸-۴-۲- می‌باشند.

۸-۸-۵-۲- معیارهای مناسب بودن طراحی پایه

در صورتی که کلیه موارد ذکر شده در ذیل برآورده شوند، پایه‌های روشنایی مورد نظر در آزمون‌ها پذیرفته تلقی می‌شوند و طراحی آنها مورد تایید می‌باشد.

۸-۸-۵-۲-۱- مقررات قابل استفاده بودن پایه

الف- انحراف عمودی که در چراغ متصل شده به پایه توسط نیروهای عمودی ایجاد می‌شود نباید از ۰٫۰۲۵ W تجاوز کند. در این رابطه، W فاصله افقی محل اتصال چراغ به بازو تا محور پایه (طول بازو) است.

ب- انحراف افقی موقت چراغ متصل شده به پایه که در حین آزمون بار، توسط بار جزئی ناشی از نیروهای افقی بوجود آمده است، باید مطابق با یکی از کلاس‌های مشخص شده در جدول ۸-۲۵ باشد.

جدول ۸-۲۵: حداکثر انحراف افقی موقت چراغ

کلاس	حداکثر انحراف
۱	۰٫۰۴ (h+W)
۲	۰٫۰۶ (h+W)
۳	۰٫۱۰ (h+W)

۸-۸-۵-۲-۲- مقررات سازه‌ای

الف- برای پایه‌های روشنایی ساخته شده از فولاد و آلیاژ آلومینیومی، انحراف باقیمانده پس از برداشتن بار آزمون نباید بیش از ۱۰٪ انحراف ایجاد شده توسط آزمون بار باشد.

ب- برای پایه‌های روشنایی بتنی، انحراف باقیمانده پس از برداشتن بار آزمون نباید بیش از ۲۰٪ انحراف ایجاد شده توسط آزمون بار باشد.

ج) برای پایه‌های روشنایی کامپوزیتی پلیمری تقویت شده با الیاف، انحراف باقیمانده پس از برداشتن بار آزمایشی نباید بیشتر از ۵٪ انحراف ایجاد شده توسط آزمون بار باشد[۵۴].

۸-۸-۵-۲-۳- مقررات حداقل بار نهایی

حداقل بار نهایی بدست آمده، اولا نباید کمتر از بار آزمون ضرب شده در γ_u بوده و ثانیا باید بیشترین مقدار حاصله در بین سطوح فهرست شده در بند ۸-۸-۵-۲-۴- باشد. ضریب γ_u باید از رابطه (۸-۱۴) بدست آید.

$$\gamma_u = \gamma_t \frac{f_{yT}}{f_y} \times \frac{I_T}{I} \qquad ۱۴\text{-}۸$$

که در رابطه فوق،

f_y: مقاومت مشخصه مواد؛

f_{yT}: مقاومت واقعی مواد بکار رفته در پایه‌های روشنایی؛

I : اینرسی مشخص شده؛

I_T: اینرسی پایه‌های روشنایی تحت آزمون؛

γ_t: ضریب آزمون.

در این رابطه، نسبت‌های کمتر از ۱ در نظر گرفته نمی‌شود، در جایی که بیشتر از یک ماده در سازه پایه‌های روشنایی آزمون به کار می‌رود، بالاترین نسبت باید پذیرفته شود. برای پایه‌های روشنایی فلزی، f_{yT} باید تنش تسلیم در نظر گرفته شود و یا اگر تنش تسلیم وجود نداشته باشد، باید ۰/۲٪ تنش معیار باشد. برای پایه‌های روشنایی بتنی، f_{yT} باید مطابق با EN40-4 تعریف شده باشد و باید از قطعات آزمایشی که همزمان با پایه‌های روشنایی آزمایشی قالب‌گیری می‌شوند، تعیین شود. برای پایه‌های روشنایی کامپوزیت پلیمری تقویت شده با الیاف، f_{yT} باید مطابق با EN40-7 تعریف شده باشد و باید از دسته قابل توجهی از پایه‌ها تعیین گردد[۵۴].

۸-۸-۵-۲-۴- سطح مقطع‌های بحرانی

سطح مقطع‌های بحرانی برای پایه روشنایی به شرح ذیل است:

- نقطه‌ای که پایه روشنایی در آنجا محکم می‌شود (به طور معمول در سطح زمین)؛
- لبه پایینی دریچه‌ها، اگر دو یا چند دریچه تعبیه شده باشد، مقاومت هر دریچه باید تعریف شود؛
- لبه بالایی دریچه‌ها، برای پایه‌های روشنایی مخروطی اگر دو یا چند دریچه تعبیه شده باشد، مقاومت هر دریچه باید تعریف شود؛

- نقطه‌ای که پایه به بازو متصل می‌شود و یا در صورتی که پایه و بازو یکپارچه باشند، نقطه شروع بازو؛
- محل تغییر قطر، هنگامی که پایه‌های روشنایی پله‌دار هستند؛
- هر محل بحرانی دیگر، بعنوان مثال محل تغییر ضخامت مواد.

۸-۸-۵-۲-۵- آزمون بارگذاری تا شکست کامل (اختیاری)

پس از تکمیل آزمون حداقل بار نهایی (بند ۸-۸-۵-۲-۳-)، پایه روشنایی ممکن است با صلاح‌دید سازنده به شکست نهایی برسد، در این صورت چنین اتفاقی باید ثبت شود.

۸-۸-۵-۳- فراهم‌سازی شرایط آزمون

پایه روشنایی تحت آزمون باید نماینده کل محموله تولید باشد. پایه روشنایی باید در جهت افقی و یا عمودی تحت آزمون قرار گیرد. در هنگام آزمون در حالت افقی، باید اثر بار مرده که در این شرایط ایجاد می‌شود را در نظر گرفت و یا یک بار خنثی‌کننده برای تکیه‌گاه منظور کرد[۵۴].

در خلال آزمون، پایه روشنایی باید به صورت محکم در عمق کاشت، ثابت شود. نقطه اتکای بالای پایه باید با سطح زمین مطابقت داشته باشد. پایه روشنایی دارای ورقه‌های فلنج باید به یک ورق محکم در همان اندازه، همان طور که در پایه‌های روشنایی نهایی بکار می‌رود، بسته شود.

موقعیت دریچه نسبت به مسیر بارگذاری افقی باید در دشوارترین وضعیت مجاز در طراحی و استقرار قرار گیرد. در صورت استفاده از بازو، وضعیت استقرار آن نسبت به موقعیت دریچه نیز در زمان طراحی، ثابت مانده باشد.

یادآوری: قبل از انجام آزمون بند ۸-۸-۵-۴-، پایه روشنایی باید یک مرتبه بارگذاری شده و سپس بدون بار شود، به طوری که بار بکار رفته نباید از ۵۰٪ بار آزمون محاسبه شده در بند ۸-۸-۴- بیشتر شود[۵۴].

۸-۸-۵-۴- اعمال نیروها

۸-۸-۵-۴-۱- کلیات

نیروها باید با بارهای مرده یا توسط وسایلی مانند وزنه، با دقت ٪۲± اعمال شوند[۵۴].

۸-۸-۵-۴-۲- مقررات قابل استفاده بودن پایه

الف) انحراف عمودی

برای پایه روشنایی بازودار، ابتدا باید نیروهای عمودی ناشی از وزن چراغ‌ها و همچنین قسمت منحرف شده بازو از خط قائم اعمال شوند. انحراف عمودی اتصال پایه روشنایی ناشی از نیروهای عمودی باید محاسبه و در گزارش آزمون ثبت شود. نیروهای عمودی در طول کلیه آزمون‌ها باید باقی بمانند.

ب) انحراف افقی

نیروهای افقی باید طوری اعمال گردند که لنگرهای حاصله در قسمت‌های بحرانی در پایه روشنایی، دست‌کم برابر لنگرهای حاصله از بارهای آزمون باشند. در نقاط دیگر، لنگرها نباید کمتر از ۹۵٪ لنگرهای حاصله از بارهای آزمون باشند[۵۴].

نیروهای افقی باید با حداقل ۴ بار افزایش تقریبا مساوی اعمال شوند تا برابر بار آزمون شوند. در خلال آزمون بارگذاری، انحراف افقی اتصال چراغ باید اندازه‌گیری و در گزارش ثبت گردد[۵۴].

۸-۸-۵-۴-۳- مقررات سازه‌ای

پس از برداشتن بار آزمون انحراف افقی، میزان انحراف خطی افقی باقیمانده باید اندازه‌گیری و ثبت شود.

۸-۸-۵-۴-۴- آزمون حداقل بار نهایی

در تکمیل آزمون بند قبل، نیروهای افقی باید به تدریج به حداقل بار نهایی تعیین شده در بند ۸-۸-۵-۲-۳- رسانده شوند. تحت این شرایط، انحرافات افقی و عمودی باید اندازه‌گیری و ثبت شوند.

۸-۸-۵-۴-۵- آزمون شکست نهایی (اختیاری)

هنگامی که این آزمون انجام می‌شود، بارها باید بطور جزئی اعمال شوند تا این که شکست اتفاق افتد. میزان بارگذاری در شکست نهایی باید ثبت شود.

۸-۸-۵-۵- گزارش آزمون

گزارش آزمون باید جزئیات آزمون را شرح داده و شامل حداقل اطلاعات به شرح زیر باشد.

۸-۸-۵-۵-۱- گزارش آزمون نوعی

نوع پایه روشنایی.....، شماره سریال.....، تاریخ تولید.....، ارتفاع نامی (h) ..... متر، طول تصویر بازو در جهت افقی (w)..... متر.

چراغ: وزن..... کیلوگرم، سطح بادخور..... متر مربع، طول..... متر،

γ_u= .....

ارتباط بین موقعیت دریچه و بازو(ها) بر روی پایه‌های آزمون شده

۸-۸-۵-۵-۲- نیروهای لازم برای شبیه‌سازی بارهای بکاررفته در آزمون

لیست نیروهای لازم برای شبیه‌سازی بارهای به کار رفته در آزمون به صورت جدول ۸-۲۶ تهیه شوند.

جدول ۸-۲۶: نیروهای لازم برای شبیه‌سازی بارهای بکار رفته در آزمون

نقطه اعمال نیرو	جهت	نیروها	
		بار آزمون (N)	حداقل بار نهایی (N)
نقطه اتصال چراغ	عمودی		
نقطه اتصال چراغ	افقی		
بازوها ..... متر فاصله از محور طولی قرار گرفته در مرکز پایه	عمودی افقی		
نقطه اتصال بازو	افقی		
..... متر بالاتر از سطح زمین	افقی		
..... متر بالاتر از سطح زمین	افقی		
..... متر بالاتر از سطح زمین	افقی		
یادآوری- ابعاد پایه تحت آزمون در یک نقشه به همراه گزارش آزمون ارائه می‌شود.			

۸-۸-۵-۵-۳- لنگرهای آزمون و میزان انحراف‌های ناشی از آنها

الف- نیروهای عمودی

میزان انحراف عمودی نقطه اتصال چراغ ناشی از نیروهای عمودی ..... متر است.

ب- نیروهای افقی

میزان انحراف ناشی از لنگرهای آزمون به صورت جدول ۸-۲۷ می‌باشد.

جدول ۸-۲۷: لنگرهای آزمون و میزان انحراف حاصل از آن

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
نوع آزمون	نوع لنگر	لنگر در نقطه اتصال بازو (Nm)	لنگر در ..... متری بالاتر از سطح زمین (Nm)	لنگر در ..... متری بالاتر از سطح زمین (Nm)	لنگر در لبه پایینی دریچه (Nm)	لنگر در لبه بالایی دریچه (Nm)	لنگر در سطح زمین (Nm)	میزان انحراف تحت اثر بار (m)	میزان انحراف باقیمانده پس از برداشتن بار (m)
بارهای آزمون	لنگر خمشی الزامی								
	لنگر پیچشی الزامی								
	لنگر خمشی واقعی								
	لنگر پیچشی واقعی								
حداقل بارهای نهایی (حد تسلیم)	لنگر خمشی واقعی								
	لنگر پیچشی واقعی								
ستون‌های ۴ و ۵ این جدول در نقاطی از پایه که تغییر زیادی در سطح مقطع وجود دارد، بکار می‌روند.									

۸-۸-۵-۶- گواهی آزمون نوعی

گواهی آزمون نوعی شامل حداقل اطلاعات زیر است[۵۴]:

نوع پایه روشنایی .....، شماره سریال تولید .....، تاریخ تولید.....،

ارتفاع نامی (h) ..... متر، طول تصویر بازو در جهت افقی (w) ..... متر.

چراغ: وزن ..... کیلوگرم، سطح بادخور ..... متر مربع، طول ..... متر

γ_u = ...

نوع بازو: (یک، دو یا چند بازویی):

رابطه بین موقعیت دریچه و بازو(ها) بر روی پایه‌های آزمون شده.

ابعاد پایه تحت آزمون در یک نقشه به همراه این گواهی ارائه می‌شود.

۸-۸-۵-۶-۱- نتایج آزمون نوعی

- میزان انحراف عمودی ناشی از بارگذاری در نقطه اتصال چراغ ..... متر.
- میزان انحراف افقی ناشی از بارگذاری در نقطه اتصال چراغ..... متر.
- میزان انحراف افقی باقیمانده در نقطه اتصال چراغ بعد از برداشتن بار اعمالی در آزمون ..... متر.
- میزان بازگشت و ترمیم انحراف بر حسب درصد میزان اولیه انحراف ناشی از بار اعمالی در آزمون ..... ٪.
- میزان انحراف افقی ناشی از حداقل بار نهایی (حد تسلیم) ..... متر.

۸-۸-۵-۶-۲- گواهی‌نامه

بدینوسیله گواهی می‌شود که پایه روشنایی فوق‌الذکر مطابق با استاندارد EN40-3-2 تحت آزمون قرار گرفته و نتایج حاصل بین حداقل و حداکثر حدود قید شده در استاندارد مذکور قرار داشته است. بنابراین طراحی سازه‌ای این نوع پایه تایید می‌شود.

صادر شده از سوی

امضاء

تاریخ

۸-۸-۶- الزامات پایه‌های فولادی

۸-۸-۶-۱- مواد

۸-۸-۶-۱-۱- فولاد

فولاد مصرفی باید بر اساس یکی از استانداردهای زیر و یا استانداردهای معادل آنها که مناسب برای آبکاری گالوانیزه گرم باشد، انتخاب گردد. در صورت اعمال این نوع حفاظت در سطح فلز، فولاد جوشان[۱] نباید مورد استفاده قرار گیرد[۵۶-۵۵].

ورقه و صفحه فولادی: EN10025 except grade S185 و EN10149-2 و EN10149-1

لوله فولادی گرم نورد شده: EN10210

لوله فولادی سرد نورد شده: EN10219

لوله فولادی زنگ نزن: EN10088

۸-۸-۶-۱-۲- پیچ‌های پی

فولاد مورد استفاده در پیچ‌های پی باید حداقل کیفیت مکانیکی قید شده در استاندارد EN10025 درجه S 235 JR و یا استاندارد معادل آن را برآورده نماید.

۸-۸-۶-۲- طراحی پایه

پایه باید برای پایداری مطمئن در برابر بارهای مرده و بار مشخص شده در بند ۸-۸-۴- طراحی شده باشد. صحت طراحی می‌بایست یا از طریق انجام محاسبات بر طبق استاندارد و یا بوسیله انجام آزمون مطابق با بند ۸-۸-۵- مورد بررسی قرار گیرد.

۸-۸-۶-۳- جوشکاری

۸-۸-۶-۳-۱- روند جوشکاری

جوشکاری قوس الکتریکی فولادهای فریتی باید بر طبق استانداردهای EN1011-1 و EN1011-2 و یا استانداردهای معادل انجام شود.جوشکاری قوس الکتریکی فولاد زنگ نزن نیز باید بر طبق استانداردهای EN1011-1 و prEN1011-3 و یا استانداردهای معادل انجام شود.

---

[۱] - فولادی که بطور کامل اکسیژن زدایی نشده است.

۸-۸-۶-۳-۲- روش جوشکاری

روش جوشکاری باید بر طبق مجموعه استاندارد EN 288-8 و یا استاندارد معادل، مورد تایید قرار گیرد. قطعات تحت آزمون قبل از تولید باید همانند قطعات اصلی باشند. مواد مصرفی و روش‌های جوشکاری بکار رفته نیز باید آنچنان باشند که خواص مکانیکی فلز جوش کمتر از مشخصات تعیین شده توسط طراح برای فلزات پایه نباشد. بررسی در این خصوص باید توسط سرپرست جوشکاری انجام شود. این روش‌ها باید در صورت لزوم در دوره‌های هفت ساله بازنگری شده و مورد تایید مجدد قرار گیرند.

۸-۸-۶-۴- اتصالات

۸-۸-۶-۴-۱- کلیات

تمامی اتصالات باید بر طبق مقررات بند ۸-۸-۶-۲- طراحی شده باشند. طراحی جزئیات اتصالات باید بگونه‌ای باشد که از باقی ماندن رطوبت و ایجاد خوردگی جلوگیری کند.

۸-۸-۶-۴-۲- اتصالات اصطکاکی

هنگامی که اتصال به صورت اصطکاکی مورد نظر باشد، تنش‌های اضافی در اتصال باید در طراحی در نظر گرفته شود.

۸-۸-۶-۴-۳- اتصالات جوشکاری شده

اتصالات جوشکاری شده باید بر طبق توصیه‌های بند ۸-۸-۶-۳- باشند.

۸-۸-۶-۵- مقاومت در برابر ضربه

به منظور حصول اطمینان از مقاومت پایه در برابر ضربه، آزمون نوعی مربوطه باید برای هر نوع پایه اصلی یا هر قسمت از آن و به خصوص در دو سمت دریچه که دست کم در حد فاصل ۰٫۳ متر بالا و پایین آن اعمال می‌شود، صورت پذیرد. این آزمون می‌تواند قبل و یا بعد از اعمال هر نوع حفاظت در مقابل خوردگی انجام شود.

تجهیز آزمون باید یک چکش پاندولی یا یک چکش سقوط آزاد عمومی باشد. در این آزمون، تعداد ضربه‌ها ۵ عدد بوده و باید در پیرامون سطح مقطع پایه در نقاط هم ارتفاع با میانه دریچه اعمال شود. این ضربه‌ها در پایه‌های با سطح مقطع دایره‌ای، در پیرامون آن و در پایه‌های هشت ضلعی بر روی هر یک از سطوح آن به شرطی که شامل دریچه نشود، اعمال می‌گردد. پس از آزمون، اثر ضربه اندازه‌گیری شده نباید عمقی بیش از ۳ میلیمتر داشته باشد. این آزمون برای محصولاتی که قطر خارجی برابر یا کمتر از قطر مورد نظر برای آزمون داشته ولی مقاومت مواد و ضخامت دیواره آن‌ها یکسان می‌باشد، معتبر است.

نکته ۱: نوع پایه بر طبق شکل، ابعاد، ضخامت و مواد سطح مقطع در نقطه هم ارتفاع با میانه دریچه مشخص می‌شود.

نکته ۲: برای سایر مقاطع بجز دایره‌ای شکل و هشت ضلعی تعریف بالا اعمال می‌شود.

۸-۸-۶-۶- سطح داخلی و لبه‌های تیز

تمامی محل‌های قابل دسترسی برای نصب تجهیزات الکتریکی و به خصوص سوراخ ورودی محل گذر کابل باید فاقد هرگونه لبه خشن و تیز باشد.

۸-۸-۶-۷- حفاظت در برابر خوردگی

۸-۸-۶-۷-۱- سطوح پایه برای حفاظت در برابر خوردگی

برای حفاظت در برابر خوردگی، پایه مورد نظر به نواحی زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

ناحیه الف- سطح خارجی پایه از بالاترین قسمت تا دست کم ۰٫۲ متری سطح زمین یا تمام سطح خارجی پایه‌های دارای فلنج؛

ناحیه ب- سطح خارجی پایه که در داخل زمین قرار می‌گیرد و شامل حداقل ۰٫۲۵ متر بالای سطح زمین نیز می‌شود؛

ناحیه ج- سطح داخلی پایه.

نکته ۱: حداقل ۰٫۲۰ متر برای هم‌پوشانی پوشش‌های حفاظت‌کننده مجاز است.

نکته ۲: مقادیر کمینه در نواحی "الف" و "ب" می‌توانند در صورت وجود، امکان تاثیر خوردگی ناشی از برف را افزایش دهند.

۸-۸-۶-۷-۲- روش‌های حفاظت در برابر خوردگی

الف) گالوانیزه گرم

گالوانیزه گرم سطوح پایه در نواحی "الف"، "ب" و "ج" با هر ضخامتی، باید با مقررات استاندارد بین‌المللی ENISO1461 مطابقت داشته باشد. حداقل ضخامت پوشش فلز روی برای فولادهایی با ضخامت حداکثر ۵ میلیمتر در جدول ۸-۲۸ ارائه شده است.

جدول ۸-۲۸: حداقل ضخامت پوشش فلز روی

ضخامت فولاد (mm)	حداقل ضخامت پوشش فلز روی	
	μm	g/m^2
۱ تا ۲	۵۰	۳۵۰
۲ تا ۵	۶۵	۴۵۰

حفاظت‌های اختیاری بعدی پس از گالوانیزه گرم عبارتند از:

ناحیه الف- یک لایه اضافی؛

ناحیه ب- یک لایه قیر یا پوششی مشابه؛

ناحیه ج- عملیات اضافی لازم نیست.

ب) فلزپاشی و رنگ‌آمیزی

به منظور آماده‌سازی سطوح پایه در نواحی "الف" و "ب" برای فلزپاشی، باید این سطوح با درجه Sa2½ مطابق با استاندارد بین‌المللی ISO8501-1 سندبلاست گردند. سپس باید پوشش فلزی از روی یا آلومینیوم با ضخامت دست کم ۸۰ میکرومتر مطابق با مقررات استاندارد بین‌المللی ISO2063 اعمال شود.

موارد زیر می‌تواند پس از آن اعمال شوند:

ناحیه الف- هیچ عملیات یا پوشش اضافی لازم نیست؛

ناحیه ب- یک لایه اولیه یا لایه قیر یا مشابه آن؛

ناحیه ج- یک لایه قیر یا مشابه.

ج) فسفاته کردن

سطوح پایه واقع در نواحی "الف"، "ب" و "ج" باید مطابق با استاندارد ISO9717 شستشو و فسفاته شوند. بدین منظور جرم در واحد سطح پوشش، باید دست کم ۴ گرم در مترمربع باشد.

موارد زیر می‌توانند پس از آن در طول ۲۴ ساعت اعمال شوند:

ناحیه الف- یک لایه رنگ اولیه؛

ناحیه ب- یک لایه رنگ اولیه و یا یک لایه قیر یا پوشش مشابه؛

ناحیه ج- یک لایه قیر یا پوشش مشابه.

د) رنگ‌آمیزی

به منظور آماده‌سازی سطوح پایه در نواحی "الف" و "ب"، رنگ‌آمیزی باید با درجه Sa2½ مطابق با استاندارد بین‌المللی ISO8501-1 سندبلاست شده باشند. سپس موارد زیر می‌توانند در طول ۲۴ ساعت بعدی اعمال شوند.

ناحیه الف- یک لایه رنگ اولیه؛

ناحیه ب- یک لایه رنگ اولیه و یا یک لایه قیر یا پوششی مشابه؛

ناحیه ج- یک لایه قیر یا پوششی مشابه.

توصیه می‌شود در مناطقی که خوردگی خیلی شدید نباشد، ضخامت رنگ حداقل ۱۱۲ میکرومتر باشد.

۸-۸-۶-۸- نشانه‌گذاری

تمام پایه‌ها و بازوها باید به گونه‌ای روشن و بادوام دارای نشانه‌های زیر باشند:

الف) نام یا نماد سازنده؛

ب) سال ساخت پایه؛

ج) استاندارد مورد استفاده در ساخت؛

د) کد انحصاری تولید.

نشانه‌گذاری باید بوسیله رنگ، حک عمیق یا به وسیله یک برچسب مطمئن و ثابت انجام شود.

۸-۸-۶-۹- بازرسی انطباق

۸-۸-۶-۹-۱- بازرسی تولید کارخانه‌ای

پایه‌های روشنایی و بازوها باید تحت سیستم کنترل تولید کارخانه مطابق با مفاد بندهای زیرین قرار گیرند.

۸-۸-۶-۹-۲- نمونه‌برداری

نمونه‌برداری برای بررسی و آزمون پایه‌ها باید بطور تصادفی از هر یک از محموله‌های ارائه شده برای آزمون صورت بگیرد. بدین منظور می‌بایست تمامی پایه‌های روشنایی و یا بازوهای تولید شده برای بررسی ارائه شوند. کمینه تعداد قطعات از هر محموله برای نمونه بازرسی باید مطابق جدول ۸-۲۹ باشد. یک محموله باید در برگیرنده پایه‌ها یا بازوهای دارای طول اسمی، نوع، طرح و مقاومت یکسان باشد.

جدول ۸-۲۹: تعداد نمونه‌های بازرسی نسبت به تعداد پایه‌های هر محموله

تعداد پایه‌ها در هر محموله	کمینه تعداد قطعات برای نمونه بازرسی
۱ تا ۳	همه
۴ تا ۵۰۰	۳
۵۰۱ تا ۱۲۰۰	۵

۸-۸-۶-۹-۳- بررسی ابعادی

تمامی مقادیر ابعادی پایه‌ها یا بازوها در هر محموله باید بررسی شوند. این مقادیر شامل موارد زیر می‌باشد:

- طول بازو یا تصویر طول بازو؛
- سطح مقطع در هر انتها و هر محل تغییر آن؛
- دریچه ورودی کابل؛
- عمق کاشت؛
- ابعاد صفحه فلنج؛
- ابعاد صفحه نصب پایه؛
- قطر محل نصب چراغ، طول و زاویه آن.

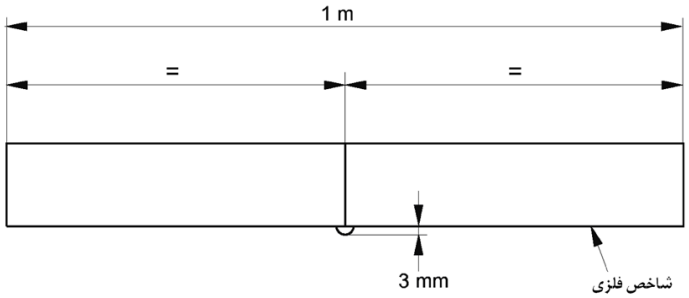
رواداری‌ها باید مطابق با استاندارد بوده و اندازه‌گیری‌ها نیز باید در حالت افقی پایه و بازو و با استفاده از وسیله اندازه‌گیری کالیبره صورت پذیرد.

۸-۸-۶-۹-۴- بررسی راستایی

در صورت صاف نبودن هر تکه در نمونه مورد بازرسی، باید بررسی به وسیله یک یا هر دو روش زیر انجام شود. بدین منظور پایه باید به صورت افقی روی زمین صاف یا بر روی الوارهای چوبی به شکلی قرار داده شود که بزرگترین انتهای آن موازی با سطح زمین قرار گیرد.

روش الف- ریسمانی به دو انتهای پایه متصل شده و در امتداد سطح مخالف جهت خمش بزرگترین قوس، محکم کشیده می‌شود. سپس اندازه‌گیری بین خط ایجاد شده توسط ریسمان و سطح پایه، به وسیله خط‌کش یا متر نواری در حداقل شش نقطه و یا نزدیکترین محل آغاز بزرگترین قوس انجام می‌شود.

روش ب- شاخص فلزی همان طور که در شکل ۸-۱۹ نشان داده شده است، روی سطحی که مورد تردید است در امتداد طولی پایه قرار داده شده و در طول آن در فواصل کمتر از یک متر حرکت داده می‌شود. این بررسی، برای پایه‌های چند ضلعی بر روی دو سطح مجاور یکدیگر صورت پذیرفته و برای پایه‌های با سطح مقطع دایره‌ای، روی سطوح طولی با فواصل زاویه‌ای $15^{\circ} \pm 5^{\circ}$ انجام می‌پذیرد.



شکل ۸-۱۹: شاخص فلزی برای بررسی راستایی

۸-۸-۶-۹-۵- بررسی مواد

مشخصات مواد باید مطابق با اسناد بازرسی سازنده یا منطبق بر توصیه‌های استاندارد در قطعات محموله باشد.

۸-۸-۶-۹-۶- بررسی جوش

اتصالات بدنه باید بعد از جاگذاری و قبل از جوشکاری مورد بازدید قرار گیرند. همچنین تمامی اتصالات جوشکاری شده باید قبل از هر گونه عملیات حفاظت سطحی، مورد بازرسی چشمی قرار گیرند. در حین این بازرسی اگر وجود شکستگی، ترک‌خوردگی و یا ذوب ناقص مورد تایید قرار گیرد، می‌بایست با انجام یک آزمایش غیر مخرب همچون آزمون موضعی مغناطیسی و یا آزمون مایعات نافذ این موضوع کنترل گردد.

سطح جوشکاری شده باید عاری از باقیمانده سرباره، لبه‌های تیز، خورده‌های جوش پخش شده و آلودگی باشد. ابعاد درزجوش‌های لب به لب و ابعاد ظاهری جوش‌های نواری (گوشه‌ای) نباید از آنچه تعیین شده کمتر باشد، بجز در بعضی گودی‌های کم عمق موضعی که تا ۰/۵ میلیمتر بصورت مشروط قابل پذیرش می‌باشند.

سطح تمامی جوش‌ها باید عاری از ترک و ذوب ناقص جوشکاری باشد. تخلخل و غیرپیوستگی پذیرفته می‌شود، مشروط بر اینکه برای اعمال حفاظت سطحی زیان‌آور نباشد. بریدگی کنار جوش نباید در هر ۵۰ میلیمتر از طول اتصال از ۵٪ تجاوز کرده و عمق آن نباید از ۰/۵ میلیمتر یا ۱۰٪ ضخامت طراحی تجاوز کند. از این مقادیر هر کدام که کمتر باشد منظور می‌گردد. هنگامی که معیارهای بالا رعایت شده باشد، کار پذیرفته می‌شود. در این میان اگر شکستگی سطحی، خلل و فرج، ترک‌خوردگی، ذوب ناقص جوشکاری، نفوذ ناقص یا تخلخل داخلی بزرگ بوسیله آزمون موضعی مغناطیسی یا آزمون نفوذی مشخص شود، کل نمونه‌ها مردود تلقی می‌شوند.

۸-۸-۶-۹-۷- ثبت اطلاعات

جزئیات تمامی مواد، روند و رویه بکار گرفته شده و جزئیات نمونه‌برداری و آزمون و آموزش افراد باید ثبت شده و برای حداقل هفت سال نگهداری و در صورت لزوم برای انجام آزمایش در دسترس قرار گیرند.

۸-۸-۶-۱۰- انبار کردن و نصب پایه‌ها

توصیه می‌شود از انبار کردن مستقیم پایه‌ها روی زمین یا در مجاورت مناطقی که مواد پودری در آنها انبار می‌شود، خودداری شود. پایه‌های روشنایی نباید برای مدت زمان طولانی بدون تهویه مناسب انبار شوند.

پایه‌های روشنایی با صفحه فلنج باید به طور مستقیم روی پی بتنی با سطح پاکیزه و صاف نصب شوند. بهترین وسیله نیمه‌سخت که قابلیت نگهداری پایه روشنایی را بصورت عمودی به منظور استقرار مناسب دارد، صفحه نگهدارنده می‌باشد. مهره‌های تراز زیر فلنج بایستی فقط زمانی که در طراحی اجازه داده شده است، مورد استفاده قرار گیرند.

در صورتی که پوشاندن صفحه نگهدارنده (با بتن یا مواد دیگر) مورد نظر باشد توصیه می‌شود در خصوص خورنده نبودن آن مواد اطمینان حاصل شود یا این که یک لایه مواد عایق‌کننده بین قسمت پایین پایه و رنگ قرار داده شود.

پایه چراغ‌های فلزی معمولا به صورت لوله‌ای و چندوجهی و به منظور تامین روشنایی خیابان‌ها، بزرگراه‌ها، راه‌ها و شریان‌های اصلی و فرعی استفاده می‌شوند.

در پایه چراغ لوله‌ای همانطور که از نام آن مشخص است بدنه از لوله ساخته شده که ابعاد لوله‌ها به لحاظ قطر، ارتفاع و ضخامت به تناسب ارتفاع کلی پایه انتخاب می‌شوند و از پایین به بالا کم می‌شوند. بخش‌های مختلف لوله‌ها به صورت تلسکوپی به یکدیگر مونتاژ می‌گردند و به مقدار معینی داخل همدیگر همپوشانی دارند تا به ارتفاع مورد نظر برسند.

در پایه چراغ‌های چند وجهی، مقطع بدنه به صورت یک چندضلعی (۶ یا ۸ ضلعی که تعداد اضلاع با توجه به قطر سازه و ارتفاع آن تعیین می‌شود) می‌باشد. قطر پایه و ضخامت ورق مصرفی به تناسب ارتفاع پایه چراغ انتخاب می‌شوند.

پایه چراغ‌های لوله‌ای دارای محدودیت ارتفاع هستند و حداکثر تا ارتفاع ۱۵ متری ساخته می‌شوند. اما پایه چراغ چندوجهی به دلیل این که در قطعات ۶ متری ساخته می‌شود هیچ‌گونه محدودیت ارتفاعی ندارد و قطعات آن متناسب با کاربردهای مختلف به دو صورت همپوشانی و فلنجی به یکدیگر متصل می‌شوند[۵۷].

هنگام ساخت پایه‌های روشنایی به جهت ایمنی بیشتر کار و سهولت در حمل و نقل، بدنه در بخش‌های مختلف حداکثر ۶ متری طراحی می‌شود که با استفاده از فلنج یا به صورت همپوش به یکدیگر متصل می‌شوند. در اتصال فلنجی از یک جفت فلنج استفاده می‌شود. قسمت بیرونی فلنج‌ها سوراخ‌های متعددی تعبیه شده است که با کمک پیچ و مهره به فلنج جفت خود متصل می‌شوند. ابعاد فلنج، تعداد سوراخ‌های آن و پیچ و مهره‌ای که استفاده می‌شود متناسب با ارتفاع سازه، قطر سازه و در نتیجه فشاری که قرار است فلنج تحمل کند، متفاوت می‌باشند. نکته‌ای که در این اتصال باید در نظر گرفت، انتخاب پیچ و مهره مناسب است، به این معنا که به لحاظ ابعاد متناسب با فلنج‌ها باشند.

از آنجایی که در اتصال همپوش، شکل بدنه سازه‌ها به صورت هرم ناقص می‌باشد، قسمت‌های مختلف بدنه به صورت همپوشاننده به یکدیگر متصل می‌شوند. به زبان ساده‌تر بالای قطعه اول، داخل پایین قطعه دوم رفته و داخل همدیگر سفت می‌شوند. این کار به کمک تجهیزی به نام تیفور انجام می‌شود

مزیت اتصال همپوش به اتصال فلنجی به شرح ذیل می‌باشد:

- زیبایی و یکنواختی: از لحاظ زیبایی اتصال همپوش به دلیل نداشتن فلنج و مهره در بدنه باعث می‌شود بدنه پایه یک دست باشد و در نتیجه ظاهری زیباتر نسبت به مدل فلنجی حاصل شود.
- قیمت: قیمت تمام شده اتصال به صورت همپوش از مدل فلنجی کمتر است.
- زمان ساخت: برای ساخت پایه‌هایی با اتصال به صورت همپوش به زمان کمتری نسبت به اتصال فلنجی نیاز است.
- زمان نصب: مدت زمان موردنیاز برای نصب مدل همپوش از مدل فلنجی کمتر است.

همچنین ذکر این نکته لازم است که برای ساخت پایه به صورت همپوش علی‌رغم ظاهر ساده نیاز به دقت و تجربه بالایی است، زیرا که ریزه‌کاری‌های زیادی در خم‌کاری، برشکاری و رعایت شیب هر یک از قطعات باید در نظر گرفته شود، بنابر این باید توسط افراد متخصص و باتجربه انجام گیرد[۵۷].

عموما برای نصب پایه‌های فلزی می‌توان از دو روش زیر استفاده نمود:

الف) کاشت پایه‌ها در داخل خاک،

ب) نصب پایه‌ها بر روی پی (فونداسیون) بتنی.

در صورتی که خوردگی خاک از نظر مواد خورنده و رطوبت کم بوده و حفاظت پایه از نظر خوردگی نیز به خوبی رعایت شده باشد، می‌توان از روش کاشت پایه‌ها در داخل خاک استفاده نمود. در غیر این صورت پایه‌ها باید روی پی (فونداسیون) بتنی نصب گردند.

۸-۸-۶-۱۰-۱- کاشت پایه‌ها در داخل خاک

الف) گودی کاشت

برای تعیین گودی کاشت پایه‌ها می‌توان با در نظر گرفتن نوع خاک منطقه از مقادیر بند ۸-۸-۲-۵- استفاده نمود.

ب) روش کاشت در گودال

در این روش گودالی به عمق مورد نظر حفر کرده و پس از نصب پایه در مرکز گودال، بتنی با عیار حداقل ۳۵۰ کیلوگرم سیمان در مترمکعب در گودال ریخته می‌شود (پیش از بتن‌ریزی تعبیه لوله‌های مخصوص ورود و خروج کابل ضروری است). پس از خشک شدن بتن، سطح آن را با خاک و ماسه پر کرده و تا حدی که کاملا فشرده شود آن را می‌کوبند.

ج) روش کاشت با استفاده از لوله سیمانی

در این روش، گودالی به عمق مورد نظر حفر و یک لوله سیمانی با قطر داخلی ۶ تا ۱۰ سانتیمتر بیش از قطر خارجی پایه فلزی و ارتفاع ۱۰ سانتیمتر کمتر از عمق گودال در داخل گذاشته می‌شود (پیش‌بینی لوله‌های مخصوص ورود و خروج کابل ضروری است). سپس اطراف لوله سیمانی با بتنی با عیار حداقل ۳۵۰ کیلوگرم سیمان در مترمکعب پر می‌شود. پس از خشک شدن بتن، پایه فلزی به طور دقیق در مرکز لوله سیمانی قرار داده شده و داخل آن تا ارتفاع ۱۰ سانتیمتری از لبه فوقانی لوله سیمانی با ماسه نرم و مرطوب که بتوان آن را به راحتی فشرده کرد، پر می‌شود. پس از آن که از فشردگی ماسه اطمینان حاصل شد، ۱۰ سانتیمتر باقیمانده از لوله سیمانی با بتنی با عیار حداقل ۳۵۰ کیلوگرم سیمان در مترمکعب پر شده و سپس ۱۰ سانتیمتر باقیمانده از گودال نیز مشابه آنچه در اطراف پایه قرار دارد (خاک، آسفالت، موزائیک، بتن و غیره) پوشیده می‌شود.

۸-۸-۶-۱۰-۲- نصب پایه‌ها روی پی (فونداسیون)

الف)محاسبات پی (فونداسیون)

در صورتی که برای نصب پایه از پی بتنی مسلح استفاده می‌شود، طراحی و محاسبات مربوط به پی می‌بایست بر اساس مشخصات مکانیکی خاک محل نصب که شامل ظرفیت باربری زیر پی (q)، حداقل ضریب اطمینان لغزش پی و حداقل ضریب اطمینان واژگونی پی می‌باشد، صورت پذیرد. بررسی مورد تأیید بودن آن و سایر شاخص‌های مرتبط، براساس مقررات ملی ساختمان انجام می‌گیرد.

ب)نوع ساخت پی

فونداسیون پایه چراغ روشنایی یکی از موارد بسیار مهم و حساس در هنگام نصب و اجرای سازه‌های فلزی است. فونداسیون‌ها بسته به نوع پروژه، نوع خاک، مدت زمان اجرا، شرایط جابجایی و هزینه در نظر گرفته شده برای آنها در دو نوع مختلف استفاده می‌شوند.

- فونداسیون آماده یا پیش‌ساخته

- فونداسیون ریختگی

در صورتی که در اجرای طرح‌ها، سرعت عمل مطرح بوده و در خصوص بازرسی‌های لازم جهت ساخت پی پیش‌ساخته و عمل‌آوری آن دقت و اطمینان کافی وجود داشته باشد، استفاده از این نوع پی ارجح است مشروط بر آن که در حین فرایند حفاری، خاک اطراف پی پیش‌ساخته تخریب نشود و در تراز نمودن و پر نمودن فضای خالی اطراف پی با بتن یا خاک کوبیده شده دقت کافی به عمل آید. در هر حال، پیش‌بینی فرایند کنترل کیفیت بتن و اخذ نمونه‌های لازم جهت آزمایش بتن و همچنین فولاد بکار رفته بدون در نظر گرفتن نوع پی ضروری است.

کلیه میلگردهای بکار رفته در پی باید از نوع آجدار و عاری از هر گونه زنگ‌زدگی باشند. در خصوص پیچ‌های پی (میلگرد، مهار یا بولت) توصیه می‌شود حدود ۱۰ سانتیمتر از پی بیرون‌زدگی داشته باشد و حدود ۲۰ سانتیمتری سر آن نیز (که شامل ۱۰ سانتیمتر مذکور نیز هست) با پوشش گالوانیزه گرم حفاظت شده باشد. استفاده از پیچ‌های پی برای حمل و نقل، غیرمجاز بوده و برای این منظور باید از قلاب‌های مخصوص با حداقل قطر ۲۰ میلیمتر که در مرحله ساخت در پی پیش‌بینی می‌شود، استفاده شود. همچنین سطح بالایی فونداسیون‌های بتنی در پیاده‌روها نباید بالاتر از سطح زمین مجاور باشد و در جاهای دیگر نباید بیشتر از ۱۰۰-۵۰ میلیمتر بالاتر از سطح زمین باشد[۵۸].

فونداسیون‌های پایه‌های روشنایی در چهار شکل پاشنه‌دار، ذوزنقه‌ای، مکعب مستطیل و مکعب مربع با اندازه‌های متفاوت ساخته می‌شوند[۵۹].

ابعاد فونداسیون ریختگی بسته به ارتفاع سازه‌ها، نوع خاک، شرایط آب و هوایی و جغرافیای محل موردنظر تعیین می‌گردد. بعد از تعیین ابعاد، چاله‌ای به طول، عرض و ارتفاع مورد نظر حفاری می‌شود و توسط نصاب آرماتوربندی، قالب‌بندی و بتن‌ریزی می‌گردد. بتن استفاده شده در این فونداسیون‌ها، بتن با عیار ۳۵۰ می‌باشد و ضخامت میلگردهای به کار رفته، به ارتفاع و شرایط وابسته می‌باشد. زمان خشک شدن بتن‌ها به طور استاندارد ۲۱ روز می‌باشد. هنگام بتن‌ریزی بولت‌های موردنظر بر مبنای شابلون شرکت تولیدکننده پایه، جاگذاری شده و بتن‌ریزی انجام می‌شود. بعد از خشک شدن بتن، شابلون از بولت‌ها جدا شده و آماده نصب سازه خواهد بود[۶۰].

جهت آماده‌سازی فونداسیون پیش‌ساخته برای پایه‌های روشنایی، ابتدا باید طبق مشخصات فنی خاص هر محصول، خاموت‌بندی و آرماتوربندی دقیق انجام گیرد. پس از مرحله آرماتوربندی نوبت به نصب بولت‌ها می‌رسد. هر فونداسیونی با ابعاد مشخص به بولت مناسب خود نیاز دارد. این کار طبق استاندارد مهندسی انجام می‌شود. تعداد بولت‌ها بسته به نوع سازه فلزی و وزنی که دارد می‌تواند ۴، ۶ و ۸ باشد. در صورتی که بعد از تهیه پایه روشنایی برای سفارش فونداسیون آماده اقدام می‌شود، باید شابلون شرکت تولیدکننده پایه برای تولیدکننده فونداسیون فرستاده شود تا بولت‌ها دقیقا مطابق با صفحه اصلی پایه جایگذاری شود. اگر هم شابلونی در اختیار نباشد می‌توان مقدار فاصله مرکز به مرکز سوراخ‌های صفحه اصلی را کنارهم و به صورت ضربدری به تولیدکننده فونداسیون اعلام نمود. توجه به این نکته لازم است که چنانچه در این مرحله اشتباهی در مورد اندازه‌ها صورت گیرد، در هنگام نصب پایه روشنایی مشکل ایجاد می‌شود. بعد از این که مرحله

آرماتوربندی تمام شد، نوبت مرحله لوله‌گذاری است. قرار دادن لوله در فونداسیون آماده جهت عبور کابل بوده و فونداسیون‌ها به صورت یک لوله یا دو لوله تولید می‌شوند. در مواردی که پایه چراغ‌ها بخواهند در یک مسیر مستقیم نصب شوند، می‌توان آن را با دو لوله یا اصطلاحا دو سوراخه تولید کرد تا از یک لوله کابل وارد شود و از لوله آن طرف یک کابل خارج شود تا به پایه بعدی برود. بعد از این مرحله، نوبت به قالب‌بندی می‌رسد و دور تا دور میلگردهای آرماتوربندی شده قالب‌بندی می‌شود و در مرحله آخر نوبت به بتن‌ریزی می‌رسد.

مهم‌ترین عامل در فونداسیون آماده، عیار بتن استفاده شده در آن است. در صورتی که عیار بتن فونداسیون کمتر از مقادیر استاندارد (۳۵۰) باشد سبب خرد شدن، پودر شدن و پریدن لبه‌ها در هنگام جابجایی و نصب خواهد شد و در نتیجه از دوام و عمر آن هم کاسته می‌شود[۶۰].

با توجه به این که استاندارد ملی در زمینه اندازه فونداسیون پایه‌های چراغ روشنایی وجود ندارد، معمولا شرکت‌های تولید کننده پایه چراغ و فونداسیون به طور پیش فرض یکسری ابعاد برای فونداسیون پایه چراغ در نظر می‌گیرند ولی در شرایط آب و هوایی خاص، خاک سست یا سازه‌های سنگین، زلزله‌خیز بودن منطقه و احتمال طوفان‌های شدید، فونداسیون‌ها باید با مشخصات فنی دقیق ارسالی از طرف ناظر پروژه ساخته شوند و حتما ابعاد فونداسیون بزرگ‌تر شود تا استقامت آن تقویت گردد، چون در شرایط مذکور، احتمال سقوط پایه از فونداسیون وجود دارد و معمولا پایه از بدنه خم نمی‌شود یا نمی‌شکند (البته احتمال آن وجود دارد ولی بسیار نادر است). قابل ذکر است که مشخصات فنی فونداسیون با مشخصات فنی پایه روشنایی ارتباط مستقیم دارد و ابعاد فونداسیون برای پایه چراغ لوله‌ای و پایه چراغ چندوجهی تفاوتی ندارد. به عنوان مثال دو نمونه از پیشنهادات برای فونداسیون آماده در شرایط استاندارد آب و هوایی و خاک مناسب به شرح ذیل می‌باشد[۶۰و۵۷]:

- فونداسیون پایه چراغ ۶ متری: صفحه بالا ۳۰×۳۰ سانتیمتر- صفحه پایینی ۵۰×۵۰ سانتیمتر- ارتفاع ۷۰ سانتیمتر
- فونداسیون پایه چراغ ۹ متری: صفحه بالا ۴۰×۴۰ سانتیمتر- صفحه پایینی ۶۰×۶۰ سانتیمتر- ارتفاع ۱ متر
- فونداسیون پایه چراغ ۱۲ متری: مکعب مستطیلی با صفحات ۶۰×۶۰ سانتیمتر و ارتفاع ۱۴۰ سانتیمتر

نمونه دوم:

- فونداسیون پایه چراغ ۶ متری: صفحه بالا ۳۰×۳۰ سانتیمتر- صفحه پایینی ۵۰×۵۰ سانتیمتر- ارتفاع ۷۰ سانتیمتر و یا فونداسیون ۴۰×۴۰ سانتیمتر به ارتفاع ۸۰ سانتیمتر
- فونداسیون پایه چراغ ۹ متری: صفحه بالا ۴۰×۴۰ سانتیمتر- صفحه پایینی ۶۰×۶۰ سانتیمتر- ارتفاع ۱ متر و یا فونداسیون ۴۰×۴۰ سانتیمتر به ارتفاع ۱۶۰ سانتیمتر
- فونداسیون پایه چراغ ۱۲ متری: مکعب مستطیلی با صفحات ۶۰×۶۰ سانتیمتر و ارتفاع ۲۰۰ سانتیمتر

ج) لوله‌های ورود و خروج کابل

این لوله‌ها باید از جنس لوله‌های فولادی که برای سیم‌کشی استفاده می‌شود، بوده و قطر داخلی آنها حداقل ۱/۵ برابر قطر خارجی کابل مورد استفاده باشد. در حالتی که کابل تغذیه از یک لوله وارد و از همان لوله نیز برای تغذیه پایه بعدی خارج می‌شود، قطر داخلی باید حداقل ۳ برابر قطر خارجی کابل باشد به طوری که این کابل به راحتی بتواند داخل لوله ورود و خروج نماید[۶۰].

۸-۹- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل از ضابطه مشخصات فنی تجهیزات مورد استفاده در روشنایی راه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این تجهیزات شامل لامپ‌های بخار سدیم پرفشار، منبع نوری LED، بالاست لامپ‌های تخلیه در گاز، جرقه‌زن، خازن، الزامات کلی چراغ‌های خیابانی و مشخصات فنی و استانداردهای پایه‌های روشنایی بودند.

فصل ۹

اندازه‌گیری نوری لامپ و چراغ

مقدمه

برای طراحی روشنایی راه داشتن مشخصه‌های نوری لامپ و چراغ مورد استفاده، لازم می‌باشد. بدین منظور می‌بایست میزان و چگونگی توزیع نور خروجی از هر یک از این منابع نوری تعیین گردند. این کار در آزمایشگاه روشنایی و با استفاده از دو دستگاه نورسنج زاویه‌ای (گونیوفتومتر) و نورسنج جمع‌کننده (کره البریخت) انجام می‌پذیرد. در این فصل و در دو بخش مجزا، چگونگی بکارگیری این دستگاه‌ها و نحوه و شرایط انجام اندازه‌گیری با آنها بیان گردیده تا در آزمایشگاه روشنایی مدنظر قرار داده شود. در این اندازه‌گیری از استانداردهای زیر استفاده می‌گردد:

- استاندارد CIE 121 تحت عنوان "اندازه‌گیری نوری و گونیوفتومتری چراغ‌ها"[۶۱]،
- استاندارد CIE 84 تحت عنوان "اندازه‌گیری شار نوری"[۶۲].

۹-۱- نورسنج زاویه‌ای (گونیوفتومتر)

نورسنج زاویه‌ای تجهیزی است که بر اساس اندازه‌گیری شدت نور در جهت‌های مختلف، مشخصه‌های نوری مانند شار نوری لامپ و چراغ، بهره نوری چراغ، توزیع شدت نور، درخشندگی چراغ و غیره را اندازه‌گیری می‌نماید.

نورسنج‌های زاویه‌ای به سه نوع مختلف تفکیک می‌شوند. در نوع اول چراغ حول دو محور عمود بر هم نسبت به مرکز نورسنج می‌چرخد. در نوع دوم، چراغ فقط حول یک محور چرخیده و چرخش دوم به صورت ترکیبی از چرخش چراغ و نورسنج حول محور دوم می‌باشد. در نوع سوم نیز چراغ هیچگونه حرکتی نداشته و فقط نورسنج زاویه‌ای حول محورهای مورد نظر می‌چرخد.

با توجه به محدودیت‌های ابعادی در دو نوع آخر، از یک آینه برای افزایش فاصله بین چراغ و نورسنج و یا از یک درخشندگی‌متر با ابعاد مناسب به عنوان آشکارساز استفاده می‌شود.

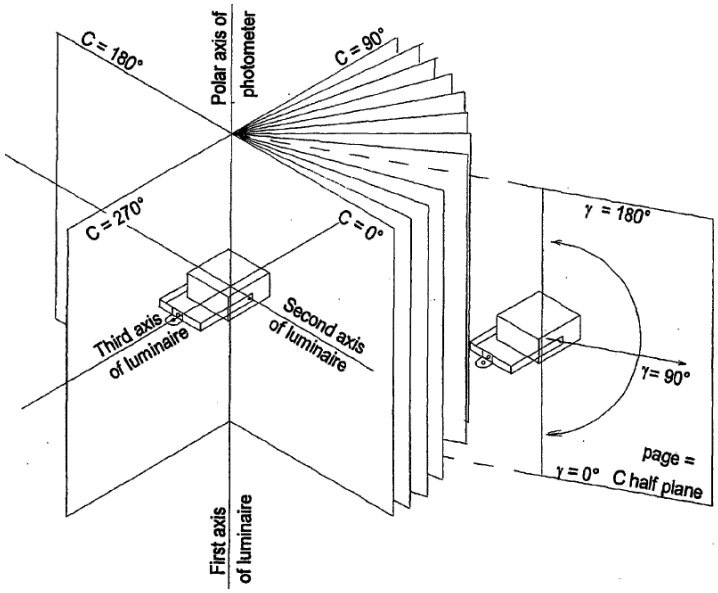
۹-۱-۱- سیستم‌های مختصات برای نورسنجی چراغ‌ها

داده‌های اصلی نورسنجی چراغ که با اندازه‌گیری‌های نورسنجی مستقیم بدست می‌آیند شامل یک مجموعه مقادیر شدت نور در جهت‌های مختلف می‌باشند. برای چنین نورسنجی‌های مرتبط با جهت (زاویه)، یک قالب فضایی ویژه در اطراف چراغ (سیستم مختصات) تعریف می‌شود.

۹-۱-۲- سیستم صفحات اندازه‌گیری

در نورسنج زاویه‌ای، شدت نور یک چراغ با توجه به نوع کاربرد آن می‌تواند در صفحاتی تحت عنوان A، B و یا C اندازه‌گیری شود. در چراغ‌های مورد استفاده در راه، سیستم صفحات C بکار برده می‌شود.

سیستم صفحات C، گروهی از صفحات بوده که مطابق شکل ۹-۱ تعریف شده‌اند. در هر یک از این صفحات، همانگونه که در شکل مشخص شده، با تغییر زاویه تابش (γ) میزان شدت نور چراغ اندازه‌گیری و ثبت می‌گردد. بدین طریق با تغییر صفحه C و سپس با تغییر زاویه تابش (γ) در هر صفحه می‌توان شدت نور چراغ را در فضای کروی اطراف آن بدست آورد. براساس استاندارد، برای چراغ‌های روشنایی راه‌ها، تغییرات زاویه γ می‌تواند حداکثر در بازه‌های ۲٫۵ درجه و تغییرات زاویه صفحات C حداکثر در بازه‌های ۵ درجه صورت پذیرد[۶۱].



شکل ۹-۱: نحوه قرار گرفتن صفحات **C** و تغییرات زاویه تابش (**γ**) حول محورهای چراغ برای نورسنجی زاویه‌ای

۹-۱-۳- الزامات آزمایشگاهی برای آزمون‌ها

۹-۱-۳-۱- اتاق آزمون

چراغ باید در محیطی اندازه‌گیری شود که فقط نور مستقیم (یا انعکاس یافته) ناشی از آن به نورسنج برسد. اندازه‌گیری‌ها باید در هوای ساکن، بدون دود، گرد و غبار و مه انجام شوند. دمای هوای اطراف منبع نور (چراغ یا لامپ)، باید ۲۵±۱°C باشد. برای لامپ‌هایی که نسبت به تغییرات دما حساس نیستند رواداری‌های بزرگتر دما می‌تواند قابل قبول باشد. اگر اندازه‌گیری در محدوده رواداری نباشد، یک ضریب تصحیح بر اساس استاندارد تعیین و در مقادیر خوانده شده اعمال می‌گردد[۶۱].

۹-۱-۳-۲- ولتاژ آزمون

ولتاژ آزمون در ترمینال تغذیه باید ولتاژ اسمی لامپ یا ولتاژ اسمی مدار اختصاص یافته برای بالاست (در صورت وجود) باشد. ولتاژ باید در طول انجام آزمون تثبیت شده بوده و کنترل شود[۶۱].

۹-۱-۳-۳- الزامات عمومی اندازه‌گیری‌ها

اندازه‌گیری تا زمانی که لامپ‌ها و چراغ‌ها به ثبات نوری نرسیده‌اند، نباید شروع شود. در این هنگام دستگاه‌های اندازه‌گیری نیز باید به ثبات لازم رسیده باشند.

کنترل دقت و صحت اندازه‌گیری‌ها باید به طور منظم انجام شود. معیار سنجش ثبات نورسنجی آن است که تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری در هر دوره ۱۵ دقیقه‌ای کمتر از ۱٪ باشد. قبل از خواندن داده‌ها نیز باید عدم تاثیر نورهای مزاحم در اندازه‌گیری کنترل گردیده و با پوشاندن نورسنج نیز از صفر بودن نشان‌دهنده اطمینان حاصل گردد[۶۱].

در طول مدت یک اندازه‌گیری طولانی با نورسنج زاویه‌ای، باید کنترل‌های منظمی روی دقت و صحت نتایج صورت پذیرد. در انتهای اندازه‌گیری نیز باید به موقعیت نخست (زاویه صفر درجه) برگشته و کنترل شود که تغییرات نخستین خوانده‌های نورسنجی، خارج از محدوده ٪۱± نباشد[۶۱].

۹-۱-۴- الزامات دستگاه سنجش شدت روشنایی مورد استفاده در نورسنج

تجهیزات سنجش شدت روشنایی مورد استفاده در نورسنج‌های زاویه‌ای (گونیوفتومتر) یا جمع‌کننده‌ها (کره البریخت) باید الزامات جدول ۹-۱ را برآورده سازند[۶۱].

جدول ۹-۱: رواداری خطا برای نورسنج

مشخصه		علامت اختصاری	حداکثر مقدار
تطابق V (λ)	V (λ) match	f_1	٪۲
پاسخ UV	UV response	u	٪۰٫۲
پاسخ IR	IR response	r	٪۰٫۲
پاسخ کسینوسی	Cosine response	f_2	٪۱٫۵
وابستگی پلاریزاسیون	Polarization dependence	f_8	٪۰٫۲
تاثیر غیریکنواختی شدت روشنایی	Influence of non-uniform illumination	f_9	٪۰٫۲
خطی بودن	Linearity	f_3	٪۰٫۲
خستگی	Fatigue	f_5	٪۰٫۲
وابستگی به دما	Temperature dependence	α	٪۰٫۲
ارزیابی مدولاسیون نور	Evaluation of modulated light	f_7	٪۰٫۱
خطا در بخش نمایش	Error of display unit	f_4	٪۰٫۲
خطای تنظیم	Range change	f_{11}	٪۰٫۱

۹-۱-۵- سایر تجهیزات آزمون

سایر تجهیزات مورد استفاده در آزمون نورسنجی که شامل منابع تغذیه، مدارها و دستگاه‌های اندازه‌گیری الکتریکی و دستگاه‌های اندازه‌گیری دما می‌باشند، باید حدود دقت‌های زیر را داشته باشند[۶۱]:

- فرکانس منبع تغذیه برای چراغ‌های با لامپ تخلیه‌ای باید در محدوده ٪۰٫۲± فرکانس مقرر باشد.
- مقدار هارمونیک شکل موج ولتاژ منبع AC باید در حد امکان کم بوده و نباید از ٪۳ مقدار پایه فراتر رود.
- ولت‌متر، آمپرمتر و واتمترها باید حداقل الزامات کلاس ۰٫۵ را برآورده نمایند.
- ولت‌متر و مدارهای ولتاژ واتمتر که به صورت موازی به لامپ تخلیه متصل شده‌اند نباید جریانی بیش از ٪۰٫۵ مقدار جریان کل را بکشند.
- آمپرمترها و مدارهای جریان واتمترها که با لامپ تخلیه سری شده‌اند باید دارای امپدانس پایینی باشند بطوری که ولتاژ سر لامپ بیش از ٪۰٫۵ افت نداشته باشد.
- کلید مدارها و اتصالات باید محکم و مطمئن بوده و به اندازه کافی دارای امپدانس پایین باشند بطوری که افت ولتاژ ناشی از آنها نسبت به ولتاژ نامی لامپ یا چراغ‌ها از ٪۰٫۵ تجاوز نکند.
- دمای هوا توسط دماسنجی با دقت ۰٫۵± درجه سلسیوس اندازه‌گیری شود.

۹-۱-۶- آماده‌سازی لامپ‌ها، بالاست‌ها و چراغ‌ها برای آزمون

۹-۱-۶-۱- لامپ‌ها

۹-۱-۶-۱-۱- الزامات کلی برای همه انواع لامپ‌ها

لامپ‌های انتخاب شده برای آزمون نوعی چراغ، باید الزامات استاندارد IEC مربوط به لامپ را برآورده نمایند. در صورت موجود نبودن چنین توصیه‌ای، لامپ‌ها باید منطبق بر مشخصات سازنده لامپ باشند[۶۱].

الف) مشخصه‌های فیزیکی

ابعاد لامپ‌ها که اندازه‌گیری می‌گردد باید به مقادیر اسمی نزدیک باشد. مونتاژ کلاهک و حباب لامپ‌ها باید تا حد امکان دقیق و در امتداد تعریف شده صورت گرفته و از غیر یکنواختی نیز دور باشند.

ب) مشخصه‌های الکتریکی

در صورتی که آزمون‌ها بر اساس استاندارد مربوطه صورت پذیرد، تغییرات مجاز توان لامپ بین ٪۵± مقادیر نامی می‌باشد[۶۱].

ج) مشخصه‌های نورسنجی

برای اهداف نورسنجی، لامپ‌هایی با خروجی نور پایدار مورد نیاز می‌باشد. چنین لامپ‌هایی باید در ولتاژ تغذیه ثابت و برای استفاده مکرر دارای نور خروجی پایدار باشند. بدین منظور اولا همه لامپ‌ها باید دوره کارکردگی خود را تا زمانی که نور خروجی به پایداری برسد، طی کرده باشند، ثانیا پس از تثبیت حرارتی، اختلاف نور خروجی در آنها بین ۳ قرائت پی در پی و با فاصله زمانی ۱۵ دقیقه، کمتر از ۱٪ بوده باشد. بدین منظور ابتدا لامپ‌های منتخب برای آزمون در دمای محیط اتاق سرد شده و بعد مجددا روشن می‌شوند. اگر بعد از پایدار شدن نور خروجی، مقدار هر یک از آنها در حدود ۲٪ آخرین مقدار ۳ خوانده قبلی مربوطه باشد، چنین لامپ‌هایی می‌توانند به عنوان لامپ آزمون پذیرفته شوند. در مورد لامپ‌های چراغ‌های چند لامپی نیز، در صورتی که نمونه‌ها از یک نوع و توان باشند، تغییرات نور خروجی آنها باید نسبت به نور خروجی نمونه مرجع در حدود ۳٪ باشد[۶۱].

۹-۱-۶-۱-۲- مرکز نوری فتومتریک لامپ

در ابتدای اندازه‌گیری‌ها باید مرکز فتومتریک لامپ بر اساس استاندارد CIE 121 مشخص شود.

۹-۱-۶-۲- بالاست آزمون

بالاست مورد استفاده در موقع آزمون چراغ باید بالاست نصب شده در چراغ و یا بالاست قرار گرفته در خارج از چراغ باشد. بالاست باید مطابق با الزامات الکتریکی اشاره شده در استاندارد و یا مشخصات کارخانه سازنده لامپ باشد. تغییرات تنظیمات و تلفات توان بالاست حداکثر می‌تواند ٪۵ بالاست مرجع مشابه باشد[۶۱].

۹-۱-۶-۳- چراغ مورد آزمون

چراغ انتخابی باید از تولیدات عادی کارخانه‌ای انتخاب شده و ابعاد آن نیز با داده‌های کارخانه‌ای منطبق باشد. قسمت‌های نوری چراغ باید تمیز بوده و تمامی اجزا آن نیز به دقت در موقعیت طراحی خود قرار گرفته باشند. چراغ باید مطابق با راهنمای سازنده نصب و تنظیم شود. در ابتدای آزمون نیز می‌بایست مرکز فتومتریک چراغ بر اساس روش گفته شده در استاندارد تعیین شود.

۹-۱-۷- روش‌های نورسنجی

اندازه‌گیری‌های نورسنجی به دو صورت مطلق و نسبی انجام می‌شود.

۹-۱-۷-۱- اندازه‌گیری‌های مطلق

اندازه‌گیری‌های مطلق شامل اندازه‌گیری توسط ابزارهای کالیبره شده در واحدهای SI مناسب می‌باشد. بنابراین، خود گونیوفتومتر باید کالیبره شود. برای اندازه‌گیری توزیع شدت نور، این کار را می‌توان با استفاده از یک لامپ استاندارد با

شدت نور کالیبره شده یا با استفاده از نورسنج کالیبره شده قبلی برای اندازه‌گیری درخشندگی و تبدیل آن به شدت نور با استفاده از قانون فاصله فتومتریک انجام داد. اندازه‌گیری مطلق اغلب برای چراغ‌ها غیر ضروری است.

۹-۱-۷-۲- اندازه‌گیری‌های نسبی

حالت دیگر اندازه‌گیری‌های نسبی بوده که مقدار حاصل، نشان‌دهنده نسبتی بین مشخصه‌ها است مانند توزیع شدت نور خروجی از چراغ نسبت به لامپ که با واحد کاندل بر ۱۰۰۰ لومن لامپ نشان داده می‌شود. در این حالت اندازه‌گیری برای هر دوی چراغ و لامپ، توسط نورسنج زاویه‌ای و با لامپی که با بالاست چراغ راه‌اندازی می‌شود، انجام گرفته و پس از آن، نتایج حاصل با واحد ۱۰۰۰ لومن شار لامپ بیان می‌شود.

۹-۱-۷-۳- اندازه‌گیری نورسنجی چراغ‌ها

اندازه‌گیری نورسنجی چراغ‌ها می‌تواند برای بدست آوردن شاخص‌های متفاوت نوری چراغ‌ها صورت پذیرد. این اندازه‌گیری‌ها عبارتند از [۶۱]:

الف) نسبت بازده نوری

برای بدست آوردن این نسبت لازم است اندازه‌گیری شار نوری چراغ و همچنین لامپ به تنهایی انجام شود. این اندازه‌گیری‌ها می‌تواند در یک نورسنج جمع‌کننده و یا در یک نورسنج زاویه‌ای انجام شود.

ب) توزیع شدت نور (نسبی)

این اندازه‌گیری با نورسنج زاویه‌ای صورت گرفته و در آن، نیازی به اندازه‌گیری مرتبط با لامپ نیست.

ج) توزیع شدت نور (به کاندل)

مانند اندازه‌گیری بند "ب" بوده اما در این حالت گونیوفتومتر باید کالیبره شده و نتایج نیز با واحد کاندل بیان می‌شود.

د) توزیع شدت نور (کاندل بر ۱۰۰۰ لومن شار لامپ)

این اندازه‌گیری با نورسنج زاویه‌ای (بدون نیاز به کالیبره کردن) انجام شده و نیازمند اندازه‌گیری "لامپ تنها" نیز می‌باشد.

ه) درخشندگی چراغ (کاندل بر متر مربع یا کاندل بر متر مربع در ۱۰۰۰ لومن شار لامپ)

درخشندگی می‌تواند یا با اندازه‌گیری و یا با استفاده از روش محاسباتی مشخص شده در استاندارد صورت پذیرد.

و) توزیع شدت روشنایی (لوکس و یا لوکس بر ۱۰۰۰ لومن شار لامپ)

بدست آوردن توزیع شدت روشنایی در یک یا چند صفحه بر اساس روش مشخص شده در استاندارد صورت می‌پذیرد.

۹-۱-۸- اندازه‌گیری توزیع شدت نور

در نورسنجی چراغ‌ها، برای اندازه‌گیری شدت نور در جهت‌های مختلف، از نورسنج زاویه‌ای استفاده می‌شود. نتایج حاصل از این اندازه‌گیری‌ها یا در قالب مشخصه‌های نورسنجی و یا به صورت منحنی قطبی ارائه می‌گردد[۶۱].

۹-۱-۸-۱- فاصله آزمون

فاصله آزمون نورسنجی، فاصله مرکز فتومتریک چراغ تا سطح نورسنج است. اندازه‌گیری‌های شدت نور باید با رعایت این فاصله که بر اساس قانون عکس مجذور مشخص می‌گردد، انجام پذیرند. در آزمون‌های عمومی نورسنجی، این فاصله نباید کمتر از ۱۵ برابر حداکثر ابعاد سطح ساطع کننده نور از چراغ باشد[۶۱].

۹-۱-۸-۲- الزامات اندازه‌گیری چراغ و لامپ

در خصوص استفاده از نورسنج زاویه‌ای برای اندازه‌گیری توزیع شدت نور چراغ‌ها و لامپ‌ها، الزاماتی که در برگیرنده طریقه نصب و اندازه‌گیری، اندازه‌گیری پلاریزاسیون مدار و غیره بوده باید مطابق با استاندارد رعایت گردند.

۹-۱-۸-۳- اندازه‌گیری سایر پارامترهای نوری چراغ

با استفاده از نورسنج زاویه‌ای می‌توان پارامترهای نوری دیگری از چراغ همچون کل شار نوری خروجی از چراغ، شار نوری به سمت بالا یا پایین چراغ، شار نوری ناحیه‌ای چراغ، نسبت شار نوری خروجی از چراغ به شار نوری تولیدی لامپ، درخشندگی متوسط چراغ و یا درخشندگی ناحیه‌ای چراغ را تعیین نمود.

۹-۲- نورسنج جمع کننده (کره البریخت)[۱]

یک نورسنج جمع‌کننده باید به نسبت اشیا مورد اندازه‌گیری، بزرگ و ترجیحا کروی شکل باشد[۶۲].

اندازه‌گیری شار نوری لامپ‌ها توسط نورسنج جمع‌کننده (کره البریخت) صورت می‌گیرد. مزیت اندازه‌گیری شار نوری لامپ با این دستگاه نسبت به اندازه‌گیری با یک نورسنج زاویه‌ای در قرائت‌های بسیار کمتر توسط آن بوده و ثبات حرارتی لامپ نیز در آن بسیار ساده‌تر کنترل می‌شود.

قبل از اندازه‌گیری با نورسنج جمع‌کننده لازم است نسبت به کالیبره بودن این دستگاه با کمک لامپ مرجعی که از نظر توان، ابعاد، توزیع طیفی و توزیع فضایی نوری مشابه با لامپ مورد آزمون می‌باشد، اطمینان حاصل شود. کلیه الزامات آزمایشگاهی، شرایط آزمون، نحوه آماده‌سازی و غیره همانند مطالب گفته شده برای نورسنج زاویه‌ای می‌باشد. در نورسنج جمع‌کننده، راستای نصب لامپ تحت آزمون باید با راستای کاری آن یکی باشد. در این دستگاه، لامپ تحت آزمون باید

[۱] Integrating Sphere (Ulbricht Sphere)

در حالتی قرار داده شود که مرکز نوری آن بر مرکز دستگاه جمع‌کننده (کره البریخت) منطبق باشد. اگر لامپ در حالت افقی نصب می‌گردد، محور بلندتر آن باید با خط گذرنده از مرکز جمع‌کننده تا مرکز نورسنج، موازی باشد.

۹-۳- ضرایب تصحیح اندازه‌گیری

آزمون‌های نورسنجی روی چراغ‌ها باید براساس شرایط استاندارد انجام شوند. در صورتی که انحرافی از شرایط استاندارد در موقع انجام آزمون وجود داشته باشد، می‌بایست بر اساس استاندارد، از ضرایب تصحیح نورسنجی استفاده کرده و نتایج آزمون را اصلاح نمود[۶۱]. علاوه بر آن، نتایج حاصل از نورسنجی می‌تواند دارای خطا باشد. این خطاها می‌توانند ناشی از عواملی همچون روش آزمون مورد استفاده، نقص دستگاه‌ها و یا خطاهای تصادفی خارج از کنترل آزمون‌کننده باشند. این خطاها بر تکرارپذیری آزمون تاثیر می‌گذارند. جهت بررسی میزان تاثیر این خطاها بر نتایج آزمون، می‌توان با انجام اندازه‌گیری مشابه روی همان چراغ و در محلی دیگر، نتایج را مقایسه نمود.

۹-۴- گزارش آزمون

گزارش آزمون باید دربرگیرنده موارد زیر باشد:

الف) مشخصات کلی آزمون

- عنوان و هدف آزمون؛
- نام موسسه آزمون‌کننده، شماره گزارش و تاریخ.

ب) مشخصات چراغ

- نام سازنده، نوع، شماره کاتالوگ؛
- عکس جهت شناسایی چراغ به همراه توضیح دقیق مشخصات چراغ شامل حباب، رفلکتور و غیره بخصوص اگر چراغ در چندین مدل موجود باشد؛
- ابعاد؛
- سایر اطلاعات لازم از جمله روش انتخاب نمونه.

ج) مشخصات تجهیزات کمکی (بالاست، خازن، جرقه‌زن)

- نام سازنده، نوع، شماره کاتالوگ؛
- نوع مدار؛
- ولتاژ، توان و فرکانس اسمی.

د) مشخصات لامپ

- نام سازنده، نوع، شماره کاتالوگ؛

- توان نامی، رنگ و شکل حباب، نوع کلاهک لامپ؛
- تعداد لامپ‌ها و شیوه انتخاب نمونه‌ها.

ه) رویه آزمون

- توصیف خلاصه روش نورسنجی و ابزار مورد استفاده؛
- فاصله آزمون.

و) چگونگی آزمون

- شرایط استاندارد آزمون و ضرایب تصحیح احتمالی بکار گرفته شده؛
- شیوه و راستای نصب لامپ؛
- راستای نصب چراغ و زاویه نوعی برای اندازه‌گیری؛
- مرکز مرجع چراغ برای اندازه‌گیری‌ها و موقعیت چراغ نسبت به سیستم مختصات؛
- ولتاژ و فرکانس آزمون؛
- عدم قطعیت‌ها.

ز) نتایج آزمون

۹-۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل از ضابطه، اندازه‌گیری نوری لامپ و چراغ بررسی گردید. این فصل مباحثی همچون نورسنج زاویه‌ای، نورسنج جمع کننده، ضرایب تصحیح و گزارش آزمون را شامل شد.

فصل ۱۰

سیستم توزیع و برق‌رسانی به شبکه

مقدمه

سیستم توزیع و برق‌رسانی به شبکه روشنایی راه‌ها شامل کل مسیر تغذیه این شبکه و عناصر تشکیل دهنده آن می‌باشد. این مسیر از پست توزیع برق شروع شده و به تک تک چراغ‌های نصب شده در طول مسیر راه منتهی می‌شود. اجزای این مسیر عبارتند از پست توزیع برق و عناصر متشکله آن، شبکه هوایی یا زمینی تغذیه کننده از پست توزیع تا پایانه‌های روشنایی، مسیر تغذیه انشعاب هر چراغ از نقطه اتصال به شبکه تا خود چراغ و سیستم حفاظت و زمین به کار رفته است.

۱۰-۱- تعاریف و اصطلاحات

۱۰-۱-۱- پست توزیع برق

در شبکه‌های برق، پست‌های توزیع، ایستگاه‌های تقلیل ولتاژ هستند به گونه‌ای که خروجی آنها ولتاژ مصرف کننده‌ها را شامل می‌شود. این پست‌ها می‌توانند ولتاژهای اولیه ۳۳، ۲۰ و ۱۱ کیلوولت را به ۴۰۰ ولت سه فاز و یا ۲۳۰ ولت تک‌فاز تبدیل کنند. پست‌های توزیع به دو نوع هوایی و زمینی تقسیم می‌شوند که هر دو نوع آنها ممکن است شبکه‌های روشنایی راه‌ها را تغذیه کنند.

۱۰-۱-۲- پست توزیع زمینی

پست توزیع زمینی به پستی اطلاق می‌شود که تجهیزات آن عموما در داخل محیط بسته و مسقفی نصب می‌گردد. این پست ممکن است داخل اطاقک آجری یا سیمانی و یا داخل کیوسک فلزی که به پست کیوسکی معروف است، قرار داشته باشد. پست توزیع زمینی عمدتا با ظرفیت بالایی طراحی می‌شود، بنابراین برای تغذیه سیستم روشنایی، بعنوان پست اختصاصی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد بلکه بار روشنایی راه‌ها به عنوان بخشی از بار مصرفی آن بشمار می‌رود. در این پست، بنا به نیاز منطقه سرویس‌دهی، می‌تواند یک یا دو دستگاه ترانسفورماتور توزیع نصب شود. ظرفیت نامی هر یک از ترانسفورماتورهای نصب شده در این پست می‌تواند معادل ۵۰۰، ۶۳۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ یا حداکثر ۱۲۵۰ کیلوولت آمپر انتخاب گردد.

۱۰-۱-۳- پست توزیع هوایی

پست توزیع هوایی به پستی اطلاق می‌شود که تجهیزات آن در فضای آزاد و به صورت روباز نصب می‌گردد. در این پست، ترانسفورماتور توزیع و سایر تجهیزات مورد نیاز فشار متوسط بر بالای پایه‌های بتنی نصب شده و تابلوهای فشار ضعیف آن، در پایین پایه‌ها قرار داده می‌شوند.

ظرفیت نامی ترانسفورماتور نصب شده در این نوع پست‌ها، بنابر نیاز می‌تواند معادل ۵۰، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۶۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۱۵ و یا حداکثر ۴۰۰ کیلوولت آمپر انتخاب شود. در این پست نیز، عمدتا بار روشنایی راه‌ها بعنوان بخشی از بار مصرفی آن بوده ولی در موارد خاصی همچون روشنایی برخی از آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها از این نوع پست‌ها بعنوان پست اختصاصی روشنایی راه‌ها استفاده می‌گردد.

۱۰-۱-۴- شبکه تغذیه از پست توزیع تا پایه‌های روشنایی

شبکه تغذیه می‌تواند هوایی و یا زمینی بوده که شبکه هوایی ممکن است به صورت شبکه روشنایی مستقل راه‌ها و یا شبکه‌ای وابسته، به همراه شبکه تغذیه انشعابات مشترکین باشد. انواع این شبکه‌ها در ادامه شرح داده می‌شوند.

۱۰-۱-۴-۱- شبکه روشنایی وابسته هوایی راه‌ها

در این نوع شبکه، که در حال حاضر بنا به ملاحظات اقتصادی، متداول‌ترین شبکه تغذیه روشنایی راه‌ها می‌باشد، از پایه‌های بتنی (و بندرت چوبی) که بر روی آن، خط هوایی تغذیه‌کننده مشترکین و روشنایی راه‌ها با هم نصب شده، استفاده می‌شود. این خط هوایی، از پنج رشته سیم هوایی (یا کابل خودنگهدار)، مشتمل بر سه رشته سیم متصل به سه فاز شبکه و یک رشته سیم نول برای تغذیه مشترکین و رشته سیم پنجمی به نام " فاز شب" برای تغذیه سیستم روشنایی، تشکیل می‌شود. چراغ‌های روشنایی بر روی بازویی در بالای پایه نصب می‌گردد. کنترل روشنایی چراغ‌ها نیز با قطع و وصل " فاز شب" از داخل پست تغذیه‌کننده صورت می‌گیرد. این نوع شبکه روشنایی راه‌ها، در راه‌های محلی و راه‌های شریانی درجه ۲ فرعی قابل اجرا خواهد بود مشروط بر این که بتوان استانداردها و محدودیت‌های روشنایی راه‌ها را رعایت نمود.

۱۰-۱-۴-۲- شبکه روشنایی مستقل هوایی راه‌ها

این شبکه، فقط به منظور تغذیه سیستم روشنایی احداث شده و در آن برای نصب چراغ‌های روشنایی از پایه‌های بتنی استفاده می‌شود. در این نوع شبکه فاصله بین پایه‌ها، با توجه به شدت روشنایی مجاز راه، تعیین می‌گردد و شبکه تغذیه آن نیز از نوع هوایی است که بر روی پایه‌های مزبور نصب می‌شود.

این نوع شبکه تغذیه، سه فاز بوده و از چهار رشته سیم هوایی (یا کابل خودنگهدار) مشتمل بر سه رشته سیم فاز و یک رشته سیم نول تشکیل می‌شود. چراغ‌های روشنایی بر روی بازویی نصب شده و این بازو در بالای پایه قرار می‌گیرد. بر روی هر پایه، می‌توان یک یا دو چراغ نصب نمود که سیستم با دو چراغ، برای نصب در رفوژ وسط راه مناسب می‌باشد. کنترل روشنایی چراغ‌ها نیز با قطع و وصل سه فاز تغذیه‌کننده از داخل پست مربوطه صورت می‌گیرد. این نوع شبکه روشنایی راه‌ها، عمدتا در راه‌های شریانی درجه ۲ فرعی قابل اجرا می‌باشد.

۱۰-۱-۴-۳- شبکه روشنایی مستقل زمینی راه‌ها

این شبکه، فقط به منظور تغذیه سیستم روشنایی احداث شده و در آن، از کابل زمینی استفاده می‌شود. برای نصب چراغ‌های روشنایی، از پایه‌های فلزی استفاده شده و فاصله بین پایه‌ها نیز با توجه به شدت روشنایی مجاز راه تعیین می‌شود.

تغذیه این شبکه، توسط کابل زمینی ۴ رشته و یا ۵ رشته انجام می‌شود که رشته پنجم بعنوان سیم زمین‌کننده پایه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (در این نوع شبکه‌ها نباید از کابل خودنگهدار هوایی استفاده شود). به دلیل فلزی بودن پایه‌ها و نیاز به زمین‌کردن تک تک آن‌ها، در موقع استفاده از کابل زمینی ۴ رشته‌ای، یک رشته سیم مسی به موازات کابل تغذیه کشیده شده و از آن به منظور زمین کردن پایه‌ها استفاده می‌شود. بر روی هر پایه، می‌تواند یک یا دو چراغ نصب شده که از پایه دو چراغی برای نصب در رفوژ وسط راه استفاده می‌گردد. کنترل روشنایی چراغ‌ها نیز با قطع و وصل سه فاز تغذیه کننده، از داخل پست مربوط صورت می‌گیرد. این نوع شبکه روشنایی راه‌ها، در راه‌های شریانی درجه ۱ و درجه ۲ اصلی قابل اجرا می‌باشد.

۱۰-۱-۵- مسیر تغذیه انشعاب هر چراغ

این مسیر برای هر پایه از شبکه روشنایی راه‌ها منشعب شده و به منظور تغذیه چراغ‌های نصب شده بر روی همان پایه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مسیر می‌تواند از کابل یا سیم روکش‌دار تشکیل شود.

۱۰-۱-۶- مسیر تغذیه از پست تا سر خط

برای شبکه‌های روشنایی راه‌ها به صورت هوایی، مسیر تغذیه از پست توزیع تا اولین پایه روشنایی در سرخط، کابلی بوده و از آنجا، کابل تغذیه، به بالای پایه هدایت شده و به شبکه هوایی متصل می‌شود.

۱۰-۱-۷- سیستم حفاظت و زمین مورد استفاده در شبکه

برای جلوگیری از صدمات ناشی از وقوع اتصالی در شبکه، سیستم حفاظتی برای آن پیش‌بینی می‌شود. همچنین در جوار سیستم حفاظتی، سیستم زمینی نیز پیش‌بینی می‌گردد که می‌تواند از خطرات ناشی از اضافه ولتاژ و برق‌گرفتگی در مواقع بروز هر نوع اتصالی جلوگیری کند.

۱۰-۲- پست توزیع زمینی

در پست توزیع زمینی رعایت نکات زیر لازم و ضروری می‌باشد:

۱- مشخصات فنی و نقشه‌های ساختمانی، نحوه طراحی، اجرا، نصب، نحوه استقرار تجهیزات و نقشه‌های تک خطی الکتریکی باید برابر ضوابط مندرج در مرجع [۶۳] انجام شود.

۲- مشخصات فنی ترانسفورماتورهای مورد استفاده در پست‌های زمینی باید منطبق بر مرجع [۶۳] باشند.

۳- استاندارد ساخت، مشخصات فنی تجهیزات مورد استفاده، نحوه نصب و تعمیر و نگهداری تابلوهای فشار متوسط و فشار ضعیف به کار رفته در پست‌های توزیع زمینی باید مطابق با مرجع [۶۳] باشند.

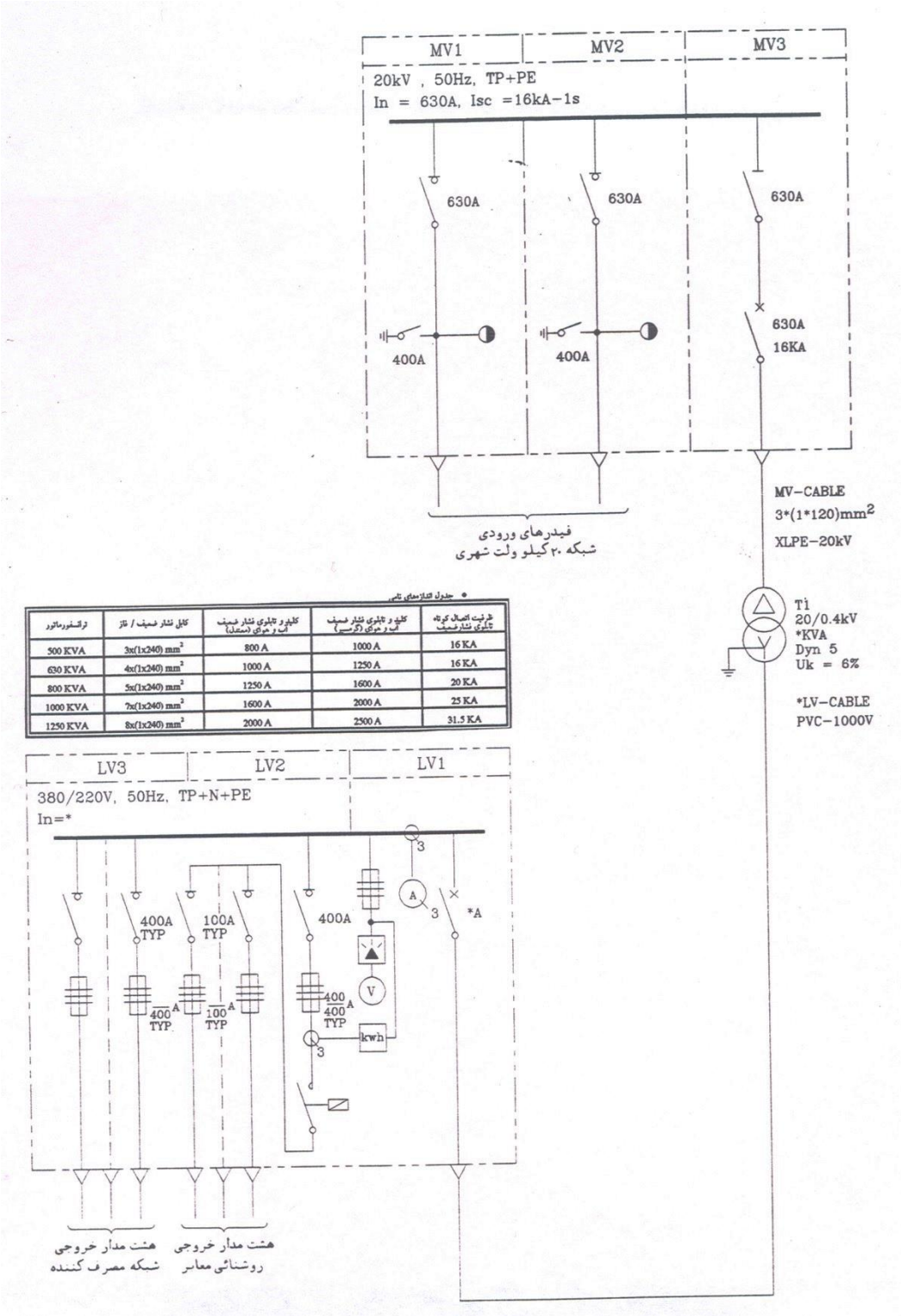
۴- استاندارد و مشخصات فنی سیستم زمین ایجاد شده در پست، باید مطابق مرجع [۶۳] باشند.

۵- استاندارد ساخت و مشخصات فنی کابل‌های مورد استفاده در پست‌های توزیع زمینی اعم از کابل‌های ورودی و خروجی و همچنین کابل‌های داخل پست و نحوه نصب و نگهداری آن باید مطابق مرجع [۶۴] باشند.

۶- نقشه‌های الکتریکی تک‌خطی پست‌های توزیع زمینی دارای یک ترانسفورماتور و دو ترانسفورماتور، برابر ضوابط مندرج در مرجع [۶۳]، در شکل ۱۰-۱و شکل ۱۰-۲ نشان داده شده است. علائم اختصاری به کار رفته در این نقشه‌ها، مطابق با شکل ۱۰-۳ می‌باشند.

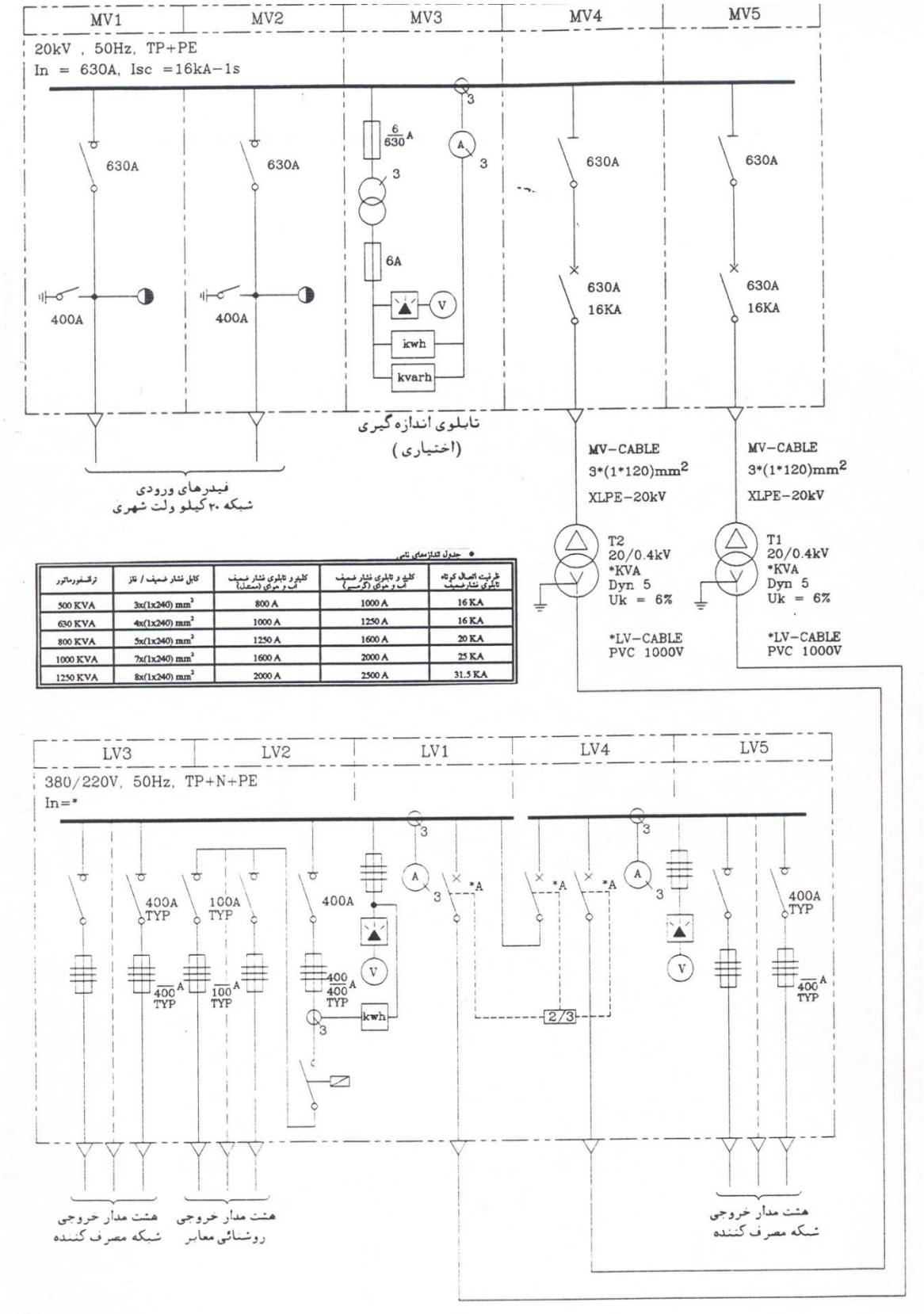
۷- انواع مختلف پست‌های توزیع زمینی و ابعاد آنها، برابر ضوابط مندرج در مرجع [۶۳]، به شرح جدول ۱۰-۱ خواهند بود.

۸- نقشه الکتریکی تک‌خطی پست‌های توزیع زمینی کیوسکی باید مشابه با شکل ۱۰-۱ باشد. نحوه استقرار تجهیزات و ابعاد این پست‌ها متنوع بوده و تابع طرح سازنده آنها خواهد بود. مشخصات فنی تجهیزات به کار رفته و سیستم زمین آن باید مطابق با سایر پست‌های توزیع زمینی باشد.



ترانسفورماتور	کابل نشار ضعیف / فاز	کابل و تابلوی نشار ضعیف آب و هوائی (استاندارد)	کابل و تابلوی نشار ضعیف آب و هوائی (گرمسیر)	ظرفیت اتصال کوتاه تابلوی نشار ضعیف
500 KVA	3x(1x240) mm²	800 A	1000 A	16 KA
630 KVA	4x(1x240) mm²	1000 A	1250 A	16 KA
800 KVA	5x(1x240) mm²	1250 A	1600 A	20 KA
1000 KVA	7x(1x240) mm²	1600 A	2000 A	25 KA
1250 KVA	8x(1x240) mm²	2000 A	2500 A	31.5 KA

شکل ۱۰-۱: نقشه تک خطی پست توزیع زمینی با یک ترانسفورماتور



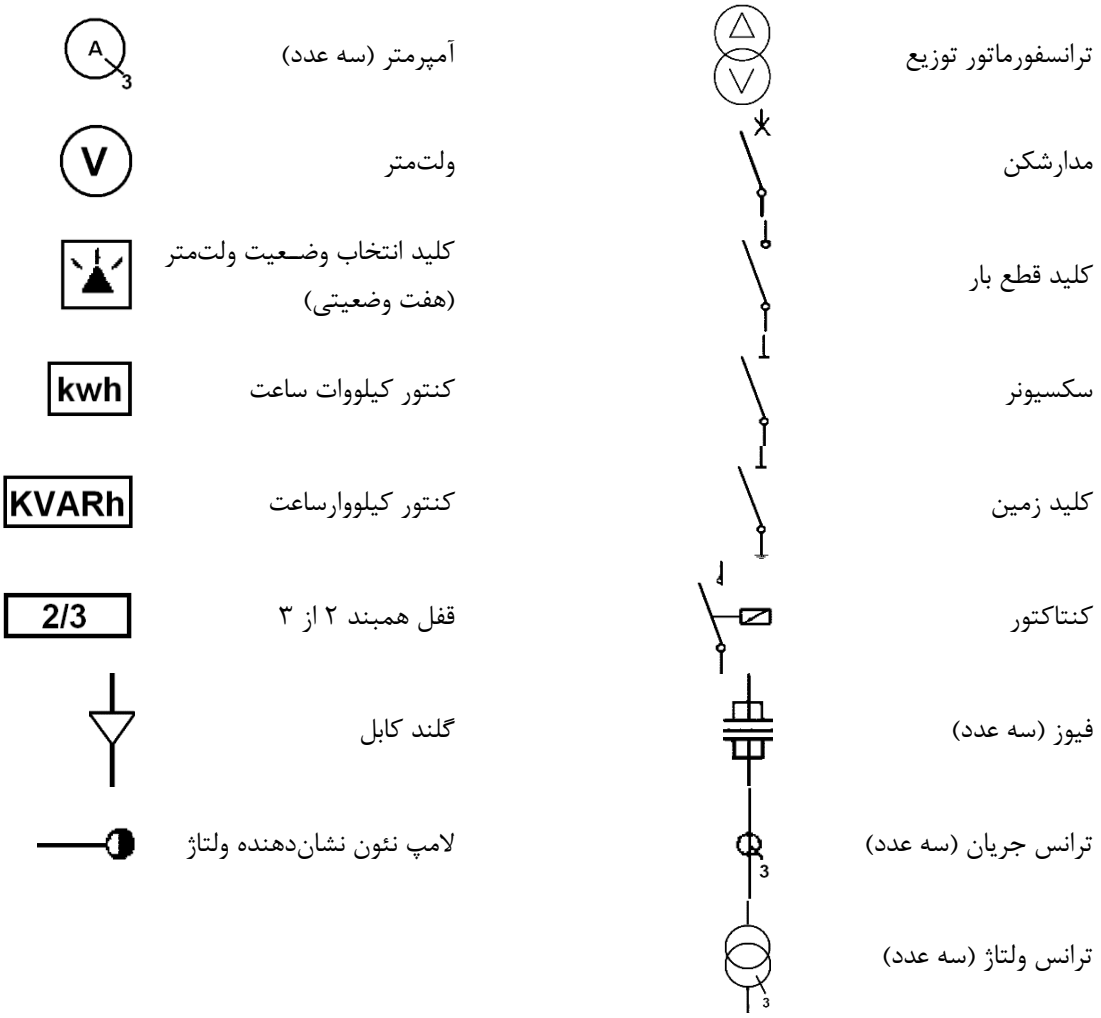
• جدول تابلوهای تامین

ترانسفورماتور	کابل فشار ضعیف / فاز	کلید و تابلوی فشار ضعیف آب و هوای (مستقل)	کلید و تابلوی فشار ضعیف آب و هوای (کوپه ای)	ظرفیت اتصال کوتاه تابلوی فشار ضعیف
500 KVA	3x(1x240) mm²	800 A	1000 A	16 KA
630 KVA	4x(1x240) mm²	1000 A	1250 A	16 KA
800 KVA	5x(1x240) mm²	1250 A	1600 A	20 KA
1000 KVA	7x(1x240) mm²	1600 A	2000 A	25 KA
1250 KVA	8x(1x240) mm²	2000 A	2500 A	31.5 KA

شکل ۱۰-۲: نقشه تک خطی پست توزیع زمینی با دو ترانسفورماتور

جدول ۱۰-۱: انواع پست‌های توزیع زمینی و ابعاد آن

نوع پست	طول زمین پست(cm)	عرض زمین پست(cm)	مساحت زیربنا(m^2)
- یک طبقه با یک ترانسفورماتور، نوع اول، و با کف کانال	۶۰۰	۵۳۵	(۶×۵/۳۵)
- یک طبقه با یک ترانسفورماتور، نوع اول، و با کف نیم طبقه	۶۰۰	۵۳۵	۲× (۶×۵/۳۵)
- یک طبقه با یک ترانسفورماتور، نوع دوم، و با کف کانال	۶۷۰	۵۳۵	(۶/۷×۵/۳۵)
- یک طبقه با یک ترانسفورماتور، نوع دوم، و باکف نیم طبقه	۶۷۰	۵۳۵	۲× (۶/۷×۵/۳۵)
- یک طبقه با یک ترانسفورماتور، و با کف کانال	۹۸۰	۵۳۵	(۹/۸×۵/۳۵)
- یک طبقه با یک ترانسفورماتور، و با کف نیم طبقه	۹۸۰	۵۳۵	۲× (۹/۸×۵/۳۵)
- دو طبقه با یک ترانسفورماتور، در طبقه هم کف	۴۵۰	۴۵۰	۲× (۴/۵×۴/۵)
- دو طبقه با یک ترانسفورماتور، تابلوها در طبقه همکف، و روی کانال	۴۵۰	۴۵۰	۲× (۴/۵×۴/۵)
- دو طبقه با یک ترانسفورماتور، تابلوها در طبقه همکف، و روی نیم‌طبقه	۴۵۰	۴۵۰	۲× (۴/۵×۴/۵)
- دو طبقه با دو ترانسفورماتور در طبقه همکف	۶۷۰	۴۵۰	۲× (۶/۷×۴/۵)
- دو طبقه با دو ترانسفورماتور، تابلوها در طبقه همکف و روی کانال	۶۷۰	۴۵۰	۲× (۶/۷×۴/۵)
- دو طبقه با دو ترانسفورماتور، تابلوها در طبقه همکف ، و روی نیم‌طبقه	۶۷۰	۴۵۰	۲× (۶/۷×۴/۵)



شکل ۱۰-۳: نشانه‌های ترسیمی پست‌های توزیع برق

۱۰-۳- پست توزیع هوایی

در پست توزیع هوایی رعایت نکات زیر لازم و ضروری می‌باشد:

۱- مشخصات فنی، نقشه اجرایی و روش نصب و استقرار تجهیزات این گونه پست‌ها باید مطابق با ضوابط مندرج در مرجع [۶۳] باشند.

۲- مشخصات فنی ترانسفورماتور به کار رفته در این پست‌ها، باید منطبق بر مرجع [۶۳] باشند.

۳- این پست‌ها، فاقد تابلوی فشار متوسط می‌باشند. تجهیزات مورد نیاز در بخش فشار متوسط این پست‌ها، فقط مشتمل بر تجهیزات فیدر ترانسفورماتور بوده که به صورت روباز و بر بالای پایه حامل ترانسفورماتور نصب می‌شوند. این تجهیزات عبارتند از:

- ✦ تجهیز شماره یک: سکسیونر فیوزدار یا فیوز کات اوت؛
- ✦ تجهیز شماره دو: برقگیر؛

- تجهیز شماره سه: در صورت نیاز، ترانسفورماتور ولتاژ و جریان نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۴- این پست‌ها، فقط شامل یک ورودی فشار متوسط بوده که از شبکه فشار متوسط مربوطه منشعب می‌شود. بر روی فیدر فشار متوسط ورودی این پست‌ها نیز هیچ گونه تجهیزاتی نصب نمی‌گردد.

۵- تجهیزات مورد استفاده در بخش فشار ضعیف و مشخصات فنی آنها و همچنین نقشه تک خطی آن، باید مطابق با مرجع [۶۳] باشند.

۶- استاندارد و مشخصات فنی سیستم زمین ایجاد شده در پست، باید مطابق با مرجع [۶۳] باشند.

۱۰-۴- شبکه روشنایی وابسته هوایی راه‌ها

رعایت نکات ذیل در شبکه روشنایی وابسته هوایی راه‌ها الزامی است:

۱- مشخصات فنی پایه‌ها، بازوهای خاص نصب چراغ و طریقه نصب و استقرار بازو بر روی پایه مطابق با توصیه‌های فصل۸ خواهند بود.

۲- مشخصات فنی سایر تجهیزات خط هوایی باید مطابق با مرجع [۶۴] باشند.

۳- نقشه‌های اجرایی و طریقه نصب و استقرار کلیه تجهیزات خط هوایی باید مطابق با مرجع [۶۴] باشند.

۴- سطح مقطع سیم "فاز شب" ۱۶ یا حداکثر ۲۵ میلیمتر مربع و از جنس مس خواهد بود.

۵- فاصله بین پایه‌ها، باید براساس محاسبات روشنایی راه تعیین گردد و سپس این فاصله، مبنای محاسبات طراحی خط هوایی فشار ضعیف نصب شده بر روی این پایه‌ها قرار داده شود ([۶۴]). در صورت عدم تامین پارامترهای طراحی خط هوایی، باید نسبت به تغییر نوع چراغ و یا ارتفاع نصب اقدام نموده و مجددا محاسبات روشنایی راه را تکرار و فاصله جدید پایه‌ها را تعیین کرد و سپس محاسبات طراحی خط هوایی را بر مبنای فاصله جدید انجام داده و پارامترهای طراحی خط را کنترل نمود. این روند، تا زمانی که هر دو طرح روشنایی راه و خط هوایی فشار ضعیف به طرح مناسبی برسند، ادامه می‌یابد.

۶- در این روش تغذیه روشنایی راه‌ها، چراغ‌های واقع بر روی هر خط، فقط توسط یکی از فازها تغذیه می‌شود. این امر، باعث ایجاد عدم تقارن در بار پست توزیع مربوطه می‌شود و در نتیجه ضمن تغییر ولتاژ نقطه صفر شبکه، سبب افزایش تلفات ترانسفورماتور می‌گردد. به منظور حل این مشکل و به حداقل رساندن عدم تقارن بار حاصل، توصیه می‌شود که بار روشنایی خطوط یا مسیرهای تغذیه شونده از پست تا حد امکان به طور مساوی بین سه فاز مختلف تقسیم گردد.

۷- به علت برق‌دار بودن شبکه و مشکلات ایمنی پرسنل تعمیر و نگهداری چراغ‌های روشنایی راه‌ها، توصیه می‌شود که شبکه فشار ضعیف در قسمت فوقانی پایه نصب شده و بازوهای چراغ‌های روشنایی پایین‌تر از آن قرار داده

شوند. در این حالت برای هر پایه، ارتفاع نصب چراغ پایین‌تری حاصل شده که برای طراحی روشنایی راه، مناسب نمی‌باشد.

۸- استفاده از پایه‌های شبکه فشار متوسط به منظور نصب شبکه فشار ضعیف و روشنایی راه‌ها همراه آن و چراغ‌های مربوط به دلایل ذیل مجاز نیست:

- عدم وجود ایمنی برای پرسنل تعمیر و نگهداری سیستم روشنایی راه‌ها به واسطه نزدیکی به ولتاژهای بالا
- عدم برآورد حداقل روشنایی مورد نیاز راه به دلیل ارتفاع نصب پایین چراغ و فاصله زیاد پایه‌ها
- امکان ایجاد اضافه ولتاژ غیرمجاز در شبکه روشنایی راه و آسیب رسیدن به تجهیزات آن مجاز نیست.

۱۰-۵- شبکه روشنایی مستقل هوایی راه‌ها

در شبکه روشنایی مستقل هوایی راه‌ها رعایت نکات ذیل لازم می‌باشد:

۱- مشخصات فنی پایه‌ها، بازوهای خاص نصب چراغ و طریقه نصب و استقرار بازو بر روی پایه مطابق با توصیه‌های فصل۸ خواهند بود.

۲- مشخصات فنی سایر تجهیزات موردنیاز شبکه، باید مطابق با مرجع [۶۴] باشند.

۳- نقشه‌های اجرایی و طریقه نصب و استقرار کلیه تجهیزات شبکه باید مطابق با مرجع [۶۴] باشند.

۴- سطح مقطع سیم‌های فاز ۱۶ یا حداکثر ۲۵ میلیمتر مربع و از جنس مس خواهد بود. سطح مقطع سیم نول نیز باید مطابق با توصیه‌های بخش ۱۰-۱۰-۲-۶- و از همان جنس انتخاب شود. استفاده از مقاطع بالاتر، به دلیل طویل شدن خط و کاهش جریان‌های اتصالی و عدم رویت احتمالی این جریان توسط سیستم حفاظتی، توصیه نمی‌گردد.

۵- فاصله بین پایه‌ها، باید بر اساس محاسبات روشنایی راه تعیین گردیده و سپس این فاصله، مبنای محاسبات طراحی شبکه هوایی تغذیه کننده روشنایی قرار می‌گیرد (مطابق با [۶۴]). در صورت عدم تامین پارامترهای طراحی خط هوایی (که با تغییر سطح مقطع سیم و یا نوع پایه با قدرت کشش بالاتر و یا سایر تغییرات ممکن نیز حاصل نگردد) باید نسبت به تغییر نوع چراغ و یا ارتفاع نصب اقدام نموده و مجددا کلیه محاسبات را تکرار کرد. این روند، تا موقعی که هر دو طرح روشنایی راه و شبکه تغذیه‌کننده آن به طرح مناسبی برسد، باید ادامه یابد.

۶- به منظور ایجاد تعادل در میزان بار فازها، تغذیه چراغ‌ها و انشعاب‌گیری از فازها باید به گونه‌ای باشد که بار روشنایی به طور یکسان بین هر سه فاز تقسیم شود. در این صورت، میزان نامتقارنی بار در پست مورد نظر، به حداقل کاهش می‌یابد. همچنین ترتیب اتصال پایه‌ها به هریک از فازها باید به گونه‌ای باشد که در صورت قطع تغذیه هر فاز و خاموشی چراغ‌های متصل به آن، میزان تاریکی ایجاد شده در سطح راه و شدت آن، در حداقل ممکن باشد. بنابراین، نحوه انشعاب‌گیری هر یک از چراغ‌ها، از سه فاز تغذیه R، S و T باید به صورت زیر باشد.

- پایه‌های دارای یک چراغ: اتصال فازها از پایه نخست تا آخرین پایه به ترتیب زیر خواهد بود:

R-S-T-R-S-T-R-S-T...

- پایه‌های دارای دو چراغ: اتصال فازها از اولین پایه تا آخرین پایه به ترتیب زیر صورت می‌گیرد. در این حالت، دو چراغ نصب شده بر روی یک پایه، از دو فاز مختلف تغذیه می‌شوند تا در موقع قطع برق، یکی از فازهای تغذیه‌کننده وصل باشد و سطح فضای تاریک ایجاد شده و شدت تاریکی حداقل باشد.

R-S-T-R-S-T-R-S-T....

S-T-R-S-T-R-S-T-R....

۷- در این شبکه‌ها، توصیه می‌شود که بازوی چراغ در قسمت بالای پایه و شبکه تغذیه‌کننده در بخش زیرین آن نصب شوند. در این حالت، می‌توان به ارتفاع نصب بالاتری برای چراغ دست یافته و کار تعمیرات شبکه تغذیه‌کننده نیز راحت‌تر صورت می‌گیرد. همچنین به علت بی‌برق بودن شبکه در طول مدت روز و یا امکان قطع آن در سایر مواقع شبانه‌روز، تعمیر و نگهداری چراغ‌ها نیز از نظر ایمنی پرسنل مشکلی نداشته و به سهولت انجام می‌شود.

۸- استفاده از پایه‌های شبکه فشار متوسط به منظور نصب شبکه تغذیه روشنایی راه‌ها و چراغ‌های آن بنا به دلایل قید شده در بند ۸ بخش ۱۰-۴- مجاز نخواهد بود.

۱۰-۶- شبکه روشنایی مستقل زمینی راه‌ها

رعایت نکات ذیل در شبکه روشنایی مستقل زمینی راه‌ها الزامی است:

۱- مشخصات فنی، روش ساخت، تست و روش نصب و استقرار پایه‌های فلزی برابر توصیه‌های مندرج در فصل۸ خواهند بود.

۲- مشخصات فنی کابل زمینی تغذیه و روش نصب و استقرار آن باید برابر ضوابط مندرج در مرجع [۶۴] باشند. در این شبکه‌ها نباید از کابل خودنگهدار استفاده شود.

۳- سطح مقطع کابل زمینی تغذیه باید بر اساس محاسبه تعیین شود و بر حسب مورد، ممکن است یکی از اندازه‌های زیر مورد استفاده قرار گیرد:

- ❖ کابل‌های ردیف یک: کابل‌های سه فاز مسی (۵×۲۵) یا (۵×۱۶) و یا (۵×۱۰) و برای مسیرهای کوتاه‌تر با توان لامپ کوچکتر، (۵×۶)؛
- ❖ کابل‌های ردیف ۲: کابل‌های سه فاز مسی (۴×۲۵) یا (۴×۱۶) و یا (۴×۱۰) به همراه سیم مسی نمره ۲۵، برای زمین کردن پایه‌ها و برای مسیرهای کوتاه‌تر با توان لامپ کوچکتر، (۴×۱۶) به همراه سیم مسی نمره ۱۶.

۴- در موقع نصب کابل زمینی ۴ رشته‌ای به همراه سیم زمین، کابل و سیم باید در کنار هم قرار داده شده و در فاصله‌های ۲ متری توسط نوار چسب به یکدیگر متصل گردند. این عمل باعث می‌شود که در صورت برخورد جسم

خارجی به سیم زمین، همراه با آن، کابل مربوطه نیز قطع گردد. با قطع کابل تغذیه و ایجاد خاموشی، نوعی اعلام خطر در خصوص قطع سیم زمین صورت گرفته و پرسنل تعمیر و نگهداری شبکه را متوجه آن می‌سازد.

۵- در مواردی که پایه‌های روشنایی در رفوژ وسط راه نصب می‌شوند، کابل زمینی تغذیه باید به صورت‌های زیر استقرار یابد.

- ❖ در صورتی که در امتداد خط نصب پایه‌ها، درختکاری صورت بگیرد، کابل تغذیه‌کننده باید برابر روش نصب مندرج در مرجع [۶۴]، در امتداد این خط کشیده شود.
- ❖ در صورت کاشتن درخت در امتداد خط نصب پایه‌ها، کابل تغذیه‌کننده باید در کنار دیواره رفوژ و مطابق با مرجع [۶۴] نصب شود. در این صورت از میزان صدمات ناشی از برخورد جسم خارجی به کابل مزبور کاسته می‌شود.

۶- کابل‌های تغذیه باید با توجه به شرایط محیطی منطقه نصب به گونه‌ای انتخاب شوند که میزان صدمه و آسیب به کابل به حداقل برسد. به عنوان مثال در مناطقی که خطر وجود جوندگان مخصوصا موش وجود داشته باشد باید از کابل‌های ضدموش استفاده گردد.

۷- برای تغذیه چراغ یا چراغ‌های نصب شده بر روی هر پایه، کابل تغذیه باید از زیرزمین و از طریق لوله عبور کابل که در فونداسیون پایه پیش‌بینی شده، به داخل لوله پایه برده شده و پس از برقراری اتصالات لازم در ترمینال‌های مربوط، دوباره از طریق همان لوله به خارج پایه، برای اتصال به پایه‌های بعدی هدایت شود.

۸- مشخصات فنی، نقشه‌های ساخت و روش نصب و استقرار ترمینال پایه‌های فلزی مطابق با توصیه‌های فصل۸ خواهند بود.

۹- اتصال کابل تغذیه به ترمینال پایه باید به وسیله یکی از روش‌های زیر انجام شود:

- ❖ کابل‌های ۵ رشته‌ای: برای کابل‌های ۵ رشته‌ای به دو صورت می‌تواند انجام شود. در روش اول ابتدا روکش خارجی کابل حدود ۴۰ سانتیمتر برداشته شده و سپس برای پایه‌های تک‌چراغی سیم‌های فاز مورد نظر، نول و زمین و برای پایه‌های دوچراغی سیم‌های دو فاز مورد نظر، نول و زمین لخت شوند و آنگاه هر یک از سیم‌های لخت شده، خم و به صورت ورود و خروج در زیر ترمینال مربوطه قرار گرفته و بسته شوند. فقط دقت گردد که اتصال سیم باید با استفاده از کابلشو و توسط مهره و واشر به طور محکم به پیچ بدنه پایه انجام شود. در مواردی که خم کردن و عبور کابل از داخل لوله فونداسیون موجب صدمه به کابل می‌گردد، می‌توان با پیش‌بینی تعداد ترمینال مناسب در داخل جعبه پایه، اتصال کلیه فازها و نول کابل بصورت ورود و خروج به ترمینال مزبور و با استفاده از کابلشو صورت بگیرد.
- ✓ کابل‌های ۴ رشته‌ای: برای رشته‌سیم‌های فاز و نول کابل‌های ۴ رشته‌ای نیز باید مانند کابل‌های ۵ رشته‌ای عمل شود. فقط در خصوص سیم مسی همراه کابل، چون فاقد روکش است نیازی به لخت کردن نیست و اتصال آن به بدنه پایه باید مانند کابل‌های ۵ رشته‌ای و با استفاده از کابلشو صورت گیرد.

۱۰-فاصله بین پایه‌ها، باید براساس محاسبات روشنایی راه تعیین شود.

۱۱-حداکثر تعداد پایه‌های قابل تغذیه در یک مسیر مشخص، باید با توجه به محدودیت‌های افت ولتاژ مسیر و نیز حداکثر جریان مجاز کابل تغذیه، تعیین شود (بند ۱۰-۷-). چگونگی انشعاب‌گیری از فازها، به منظور تغذیه چراغ‌ها نیز باید مطابق با زیربند ۶ بند ۱۰-۵- باشد.

۱۰-۷- انتخاب سطح مقطع سیم یا کابل تغذیه‌کننده

۱۰-۷-۱- انتخاب صحیح سطح مقطع سیم یا کابل

به منظور انتخاب صحیح سطح مقطع سیم یا کابل، ابتدا باید بر حسب جریان کل مسیر، سطح مقطع مناسب را انتخاب کرده و سپس از نظر افت ولتاژ کنترل نمود تا از حد مجاز بیشتر نباشد. در صورتی که افت ولتاژ مسیر از حد مجاز فراتر رود باید سطح مقطع را یک رده بالاتر انتخاب کرده و دوباره افت ولتاژ را کنترل نمود و این کار را تا موقعی که حدود مجاز رعایت گردد، ادامه داد.

۱۰-۷-۲- کنترل هادی‌ها از نظر مقاومت مکانیکی

پس از تعیین سطح مقطع مناسب، در مورد شبکه‌های هوایی، باید هادی‌ها از نظر مقاومت مکانیکی نیز کنترل شوند و در صورت غیرمجاز بودن تنش‌های مکانیکی وارده، نسبت به تغییر فاصله پایه‌ها و یا افزایش سطح مقطع هادی‌ها اقدام شود[۶۴]. در مورد شبکه‌های کابل زمینی نیازی به محاسبه تنش‌های مکانیکی نیست (با شرط رعایت استانداردهای نصب کابل [۶۴]).

۱۰-۷-۳- حدود مجاز جریان سیم‌های هوایی و کابل‌های زمینی

حدود مجاز جریان سیم‌های هوایی و کابل‌های زمینی مورد استفاده در شبکه‌های روشنایی راه‌ها بر اساس نوع کابل و شرایط استفاده باید مطابق با جداول (۲-۱۵) تا (۲-۳۰) نشریه ۱-۱۱۰ سازمان برنامه و بودجه کشور باشد[۶۵].

در بسیاری از مناطق ایران، به علت متفاوت بودن شرایط موجود با شرایط استاندارد تعریف شده، باید در حداکثر جریان مجاز کابل‌ها، ضرایب تصحیح مناسبی نیز ضرب شود، تا جریان مجاز تصحیح شده کابل بدست آید. این ضرایب، در جدول ۱۰-۲ تا جدول ۱۰-۸ آورده شده است[۶۵].

جدول ۱۰-۲: ضرایب تصحیح دمای خاک اطراف کابل‌های **PVC** فشار ضعیف (۴۰۰ ولت)

دمای خاک اطراف کابل (درجه سانتیگراد)	ضریب تصحیح حداکثر جریان مجاز
۱۰	۱٫۱

۱۵	۱/۰۵
۲۰	۱/۰۰
۲۵	۰/۹۵
۳۰	۰/۸۹
۳۵	۰/۸۴

جدول ۱۰-۳: ضرایب تصحیح مجاورت برای بیش از یک مدار، کابل‌های مستقیم دفن شده در زمین(کابل‌های تک‌رشته‌ای یا چندرشته‌ای)

تعداد مدارها	فاصله هوایی کابل تا کابل (a)				
	صفر-کابل‌ها در تماس با یکدیگر	قطر یک کابل	۰٫۱۲۵ m	۰٫۲۵ m	۰٫۵ m
۲	۰٫۷۵	۰٫۸	۰٫۸۵	۰٫۹	۰٫۹
۳	۰٫۶۵	۰٫۷	۰٫۷۵	۰٫۸	۰٫۸۵
۴	۰٫۶	۰٫۶	۰٫۷	۰٫۷۵	۰٫۸
۵	۰٫۵۵	۰٫۵۵	۰٫۶۵	۰٫۷	۰٫۸
۶	۰٫۵	۰٫۵۵	۰٫۶	۰٫۷	۰٫۸
۷	۰٫۴۵	۰٫۵۱	۰٫۵۹	۰٫۶۷	۰٫۷۶
۸	۰٫۴۳	۰٫۴۸	۰٫۵۷	۰٫۶۵	۰٫۷۵
۹	۰٫۴۱	۰٫۴۶	۰٫۵۵	۰٫۶۳	۰٫۷۴
۱۲	۰٫۳۶	۰٫۴۲	۰٫۵۱	۰٫۵۹	۰٫۷۱
۱۶	۰٫۳۲	۰٫۳۸	۰٫۴۷	۰٫۵۶	۰٫۶۸
۲۰	۰٫۲۹	۰٫۳۵	۰٫۴۴	۰٫۵۳	۰٫۶۶

کابل چندهسته‌ای [a]

کابل تک‌هسته‌ای [a]

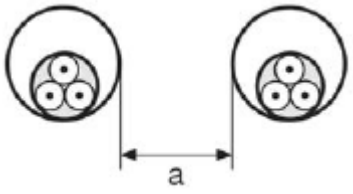
نکته ۱: مقادیر مشخص شده برای عمق دفن ۰/۷ متر و در خاکی با مقاومت مخصوص حرارتی برابر ۲٫۵ K.m/W است. این مقادیر، مقادیر میانگین برای سایزهای کابل و انواع آنها می‌باشد. فرایند میانگین‌گیری، همراه با گرد کردن در برخی حالات می‌تواند خطایی تا ۱۰٪± را نتیجه دهد. جایی که دقت بالاتری موردنیاز است با روش‌های ارائه شده در مجموعه استاندارد IEC 60287-1 محاسبه می‌شود.

نکته ۲: در حالتی که مقاومت مخصوص حرارتی خاک کمتر از ۲٫۵ K.m/W باشد، ضرایب تصحیح را می‌توان در حالت کلی افزایش داد و می‌توان با روش‌های ارائه شده در استاندارد IEC 60287-1 محاسبه نمود.

نکته ۳: اگر یک مدار شامل m هادی موازی در هر فاز باشد، برای مشخص نمودن ضریب کاهشی این مدار، باید به صورت m مدار بررسی شود.

جدول ۱۰-۴: ضریب تصحیح مجاورت برای بیش از یک مدار، کابل‌های چندرشته‌ای در داکت‌های مدفون

کابل‌های چندرشته‌ای در داکت با یک مسیر				
تعداد کابل‌ها	فاصله هوایی داکت تا داکت (a)			
	صفر-(داکت‌ها در تماس با یکدیگر)	۰٫۲۵ m	۰٫۵ m	۱ m
۲	۰٫۸۵	۰٫۹	۰٫۹۵	۰٫۹۵
۳	۰٫۷۵	۰٫۸۵	۰٫۹	۰٫۹۵
۴	۰٫۷	۰٫۸	۰٫۸۵	۰٫۹
۵	۰٫۶۵	۰٫۸	۰٫۸۵	۰٫۹
۶	۰٫۶	۰٫۸	۰٫۸	۰٫۹
۷	۰٫۵۷	۰٫۷۶	۰٫۸	۰٫۸۸
۸	۰٫۵۴	۰٫۷۶	۰٫۷۸	۰٫۸۸
۹	۰٫۵۲	۰٫۷۳	۰٫۷۷	۰٫۸۷
۱۰	۰٫۴۹	۰٫۷۲	۰٫۷۶	۰٫۸۶
۱۱	۰٫۴۷	۰٫۷	۰٫۷۵	۰٫۸۶
۱۲	۰٫۴۵	۰٫۶۹	۰٫۷۴	۰٫۸۵
۱۳	۰٫۴۴	۰٫۶۸	۰٫۷۳	۰٫۸۵
۱۴	۰٫۴۲	۰٫۶۸	۰٫۷۲	۰٫۸۴
۱۵	۰٫۴۱	۰٫۶۷	۰٫۷۲	۰٫۸۴
۱۶	۰٫۳۹	۰٫۶۶	۰٫۷۱	۰٫۸۳
۱۷	۰٫۳۸	۰٫۶۵	۰٫۷	۰٫۸۳
۱۸	۰٫۳۷	۰٫۶۵	۰٫۷	۰٫۸۳
۱۹	۰٫۳۵	۰٫۶۴	۰٫۶۹	۰٫۸۲
۲۰	۰/۳۴	۰٫۶۳	۰٫۶۸	۰٫۸۲



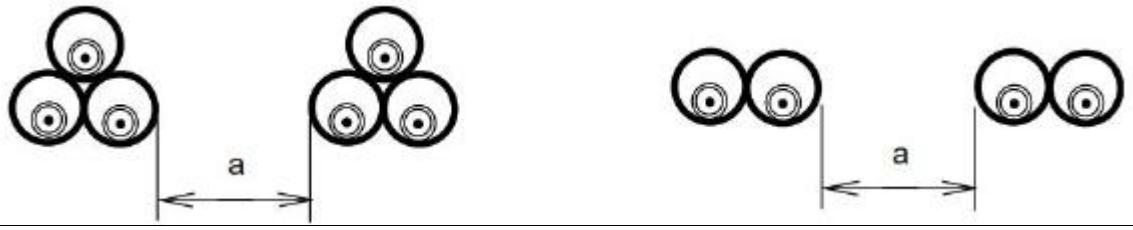
نکته ۱: ضرایب برای کابل‌هایی که در عمق ۰٫۷ متری و مقاومت مخصوص حرارتی ۲٫۵ K.m/W است، داده شده‌اند و مقادیر متوسطی هستند. به واسطه متوسط‌گیری و گرد کردن اعداد ممکن است اختلافی تا ۱۰٪± وجود داشته باشد.

نکته ۲: اگر مقاومت مخصوص حرارتی خاک ۲٫۵ K.m/W نباشد، ضرایب تصحیح را می‌توان به شرح داده شده در استاندارد IEC 60287-2-1 کمی افزایش داد.

نکته ۳: اگر مداری از n هادی موازی در هر فاز تشکیل شده باشد، برای تعیین ضریب تصحیح، باید آن را متشکل از n مدار در نظر گرفت.

جدول ۱۰-۵: ضرایب تصحیح مجاورت برای بیش از یک مدار، کابل‌های تک‌رشته‌ای در داکت‌های مدفون

کابل‌های تک‌رشته‌ای در داکت غیرمغناطیسی با یک مسیر				
تعداد مدارهای تک‌رشته‌ای از دو یا سه کابل	فاصله هوایی داکت تا داکت (a)			
	صفر -(داکت‌ها در تماس با یکدیگر)	۰٫۲۵ m	۰٫۵ m	۱ m
۲	۰٫۸	۰٫۹	۰٫۹	۰٫۹۵
۳	۰٫۷	۰٫۸	۰٫۸۵	۰٫۹
۴	۰٫۶۵	۰٫۷۵	۰٫۸	۰٫۹
۵	۰٫۶	۰٫۷	۰٫۸	۰٫۹
۶	۰٫۶	۰٫۷	۰٫۸	۰٫۹
۷	۰٫۵۳	۰٫۶۶	۰٫۷۶	۰٫۸۷
۸	۰٫۵	۰٫۶۳	۰٫۷۴	۰٫۸۷
۹	۰٫۴۷	۰٫۶۱	۰٫۷۳	۰٫۸۶
۱۰	۰٫۴۵	۰٫۵۹	۰٫۷۲	۰٫۸۵
۱۱	۰٫۴۳	۰٫۵۷	۰٫۷	۰٫۸۵
۱۲	۰٫۴۱	۰٫۵۶	۰٫۶۹	۰٫۸۴
۱۳	۰٫۳۹	۰٫۵۴	۰٫۶۸	۰٫۸۴
۱۴	۰٫۳۷	۰٫۵۳	۰٫۶۸	۰٫۸۳
۱۵	۰٫۳۵	۰٫۵۲	۰٫۶۷	۰٫۸۳
۱۶	۰٫۳۴	۰٫۵۱	۰٫۶۶	۰٫۸۳
۱۷	۰٫۳۳	۰٫۵	۰٫۶۵	۰٫۸۲
۱۸	۰٫۳۱	۰٫۴۹	۰٫۶۵	۰٫۸۲
۱۹	۰٫۳	۰٫۴۸	۰٫۶۴	۰٫۸۲
۲۰	۰٫۲۹	۰٫۴۷	۰٫۶۳	۰٫۸۱



نکته ۱: ضرایب برای کابل‌هایی که در عمق ۰٫۷ متری و مقاومت مخصوص حرارتی ۲٫۵ K.m/W است، داده شده‌اند و مقادیر متوسطی هستند. به واسطه متوسط‌گیری و گرد کردن اعداد ممکن است اختلافی تا ۱۰٪± وجود داشته باشد.

نکته ۲: اگر مقاومت مخصوص حرارتی خاک ۲٫۵ K.m/W نباشد، ضرایب تصحیح را می‌توان به شرح داده شده در استاندارد IEC 60287-2-1 کمی افزایش داد.

نکته ۳: اگر مداری از n هادی موازی در هر فاز تشکیل شده باشد، برای تعیین ضریب تصحیح، باید آن را متشکل از n مدار در نظر گرفت.

جدول ۱۰-۶: ضرایب تصحیح مقاومت مخصوص حرارتی خاک برای کابل‌های دفن مستقیم یا داکت‌های مدفون در زمین در صورتی که مقاومت مخصوص حرارتی خاک غیر از **k.m/W** ۲٫۵ باشد

مقاومت مخصوص حرارتی K.m/W	**۰٫۵**	**۰٫۷**	**۱**	**۱٫۵**	**۲**	**۲٫۵**	**۳**
ضریب تصحیح برای کابل‌ها در داکت‌های مدفون	۱٫۲۸	۱٫۲	۱٫۱۸	۱٫۱	۱٫۰۵	۱	۰٫۹۶
ضریب تصحیح برای کابل‌های دفن مستقیم	۱٫۸۸	۱٫۶۲	۱٫۵	۱٫۲۸	۱٫۱۲	۱	۰٫۹

نکته ۱: اعداد فوق با رواداری ٪۵± هستند.

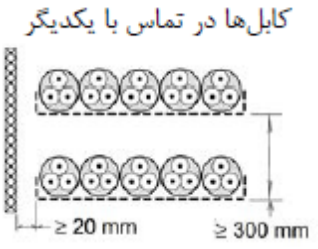
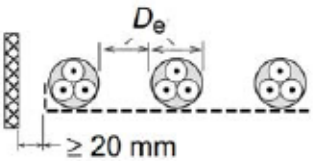
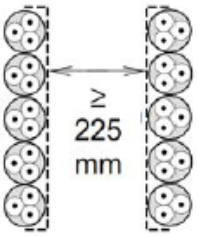
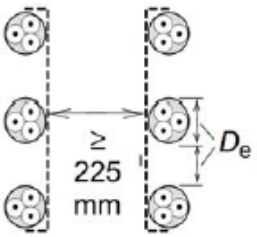
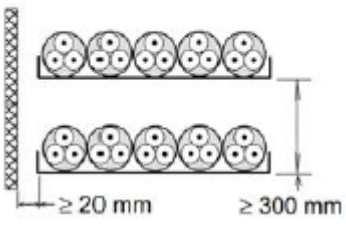
نکته ۲: ضرایب تصحیح برای کابل‌های داخل داکت‌های مدفون کاربرد دارد. برای کابل‌های مستقیم دفن شده در زمین و برای خاک‌های با مقاومت مخصوص حرارتی کم‌تر از K.m/W ۲٫۵، ضرایب تصحیح می‌تواند بیشتر باشد. اگر به اعدادی با دقت بیشتر نیاز باشد، باید از روش‌های گفته شده در استاندارد IEC 60287 استفاده نمود.

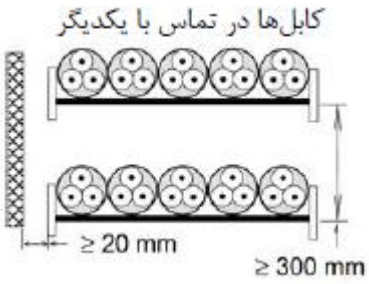
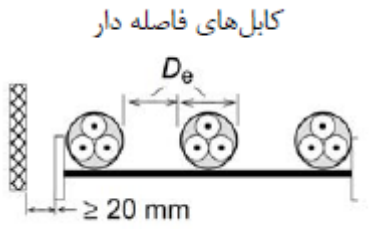
نکته ۳: ضرایب تصحیح برای داکت‌های مدفون تا عمق ۰٫۸ متر کاربرد دارد.

نکته ۴: فرض شده که مشخصات خاک یکنواخت است. امکان اینکه رطوبت اطراف کابل از بین رفته و بخشی با مقاومت مخصوص حرارتی بالا ایجاد شود در نظر گرفته نشده است. اگر امکان خشک شدن محیط خاک وجود داشته باشد جریان‌های مجاز را باید از استاندارد IEC 60287 بدست آورد.

در صورتی‌که کابل تغذیه، در معرض هوا قرار داشته باشد، باید ضریب دیگری در حداکثر جریان مجاز کابل اعمال شود. این ضریب، مطابق با ضریب تصحیح کابل در معرض هوا (جدول ۱۰-۷ و جدول ۱۰-۸) خواهد بود.

جدول ۱۰-۷: ضریب تصحیح مجاورت برای بیش از یک مدار، کابل‌های چند هسته‌ای در هوای آزاد

روش نصب		تعداد سینی یا نردبان	تعداد کابل‌ها در سینی یا نردبان					
			۱	۲	۳	۴	۶	۹
سینی سوراخ‌دار	کابل‌ها در تماس با یکدیگر 	۱	۱	۰٫۸۸	۰٫۸۲	۰٫۷۹	۰٫۷۶	۰٫۷۳
		۲	۱	۰٫۸۷	۰٫۸	۰٫۷۷	۰٫۷۳	۰٫۶۸
		۳	۱	۰٫۸۶	۰٫۷۹	۰٫۷۶	۰٫۷۱	۰٫۶۶
		۶	۱	۰٫۸۴	۰٫۷۷	۰٫۷۳	۰٫۶۸	۰٫۶۴
	کابل‌های فاصله دار 	۱	۱	۱	۰٫۹۸	۰٫۹۵	۰٫۹۱	–
		۲	۱	۰٫۹۹	۰٫۹۶	۰٫۹۲	۰٫۸۷	–
		۳	۱	۰٫۹۸	۰٫۹۵	۰٫۹۱	۰٫۸۵	–
سینی سوراخ‌دار عمودی	کابل‌ها در تماس با یکدیگر 	۱	۱	۰٫۸۸	۰٫۸۲	۰٫۷۸	۰٫۷۳	۰٫۷۲
		۲	۱	۰٫۸۸	۰٫۸۱	۰٫۷۶	۰٫۷۱	۰٫۷
	کابل‌های فاصله‌دار 	۱	۱	۰٫۹۱	۰٫۸۹	۰٫۸۸	۰٫۸۷	–
		۲	۱	۰٫۹۱	۰٫۸۸	۰٫۸۷	۰٫۸۵	۱
سینی یکپارچه بدون سوراخ	کابل‌ها در تماس با یکدیگر 	۱	۰٫۹۷	۰٫۸۴	۰٫۷۸	۰٫۷۵	۰٫۷۱	۰٫۶۸
		۲	۰٫۹۷	۰٫۸۳	۰٫۷۶	۰٫۷۲	۰٫۶۸	۰٫۶۳
		۳	۰٫۹۷	۰٫۸۲	۰٫۷۵	۰٫۷۱	۰٫۶۶	۰٫۶۱
		۶	۰٫۹۷	۰٫۸۱	۰٫۷۳	۰٫۶۹	۰٫۶۳	۰٫۵۸

روش نصب		تعداد سینی یا نردبان	تعداد کابل‌ها در سینی یا نردبان					
			۱	۲	۳	۴	۶	۹
نردبان کابل، بست‌های نگهدارنده کابل و غیره		۱	۱	۰٫۸۷	۰٫۸۲	۰٫۸	۰٫۷۹	۰٫۷۸
		۲	۱	۰٫۸۶	۰٫۸	۰٫۷۸	۰٫۷۶	۰٫۷۳
		۳	۱	۰٫۸۵	۰٫۷۹	۰٫۷۶	۰٫۷۳	۰٫۷
		۶	۱	۰٫۸۴	۰٫۷۷	۰٫۷۳	۰٫۶۸	۰٫۶۴
		۱	۱	۱	۱	۱	۱	–
		۲	۱	۰٫۹۹	۰٫۹۸	۰٫۹۷	۰٫۹۶	–
		۳	۱	۰٫۹۸	۰٫۹۷	۰٫۹۶	۰٫۹۳	–

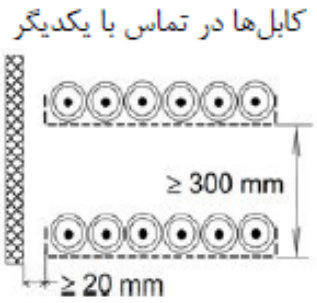
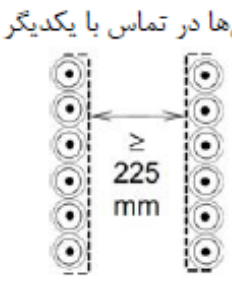
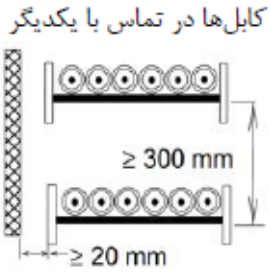
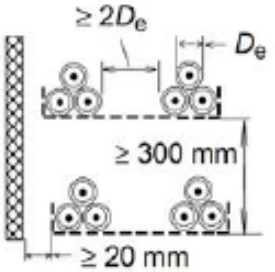
نکته ۱: مقادیر ارائه شده به ص.رت میانگین برای انواع کابل و محدوده سطح مقطع هادی از جدول (۲-۲۵) تا (۲-۳۰) نشریه ۱۱۰ در نظر گرفته شده‌اند. گستره مقادیر معمولا کمتر از ۵٪ است.

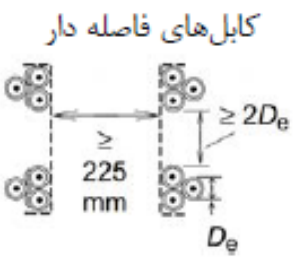
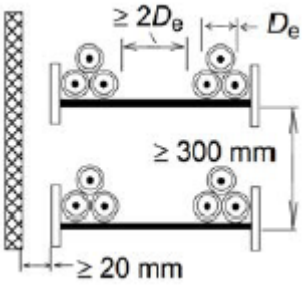
نکته ۲: ضرایب جدول فوق برای وقتی صادق است که کابل‌ها در لایه‌های تکی قرار گرفته باشند. وقتی که کابل‌ها در یک لایه بیشتر نصب می‌شوند و با همدیگر در تماس نیستند، این ضریب اعمال نمی‌شود. در حالت اخیر، ضرایب بسیار کوچک‌تر خواهند بود و باید آنها را به روش مناسب به دست آورد.

نکته ۳: مقادیر در نظر گرفته شده برای مواقعی است که فواصل عمودی بین سینی‌های کابل ۳۰۰ میلیمتر و کمترین فاصله بین سینی‌های کابل و دیوار ۲۰ میلیمتر باشد. برای فواصل نزدیکتر بهتر است ضرایب کاهشی اعمال شود.

نکته ۴: مقادیر در نظر گرفته شده برای مواقعی است که فواصل افقی بین سینی‌های کابل و سینی‌های کابل پشت به پشت نصب شده ۲۲۵ میلیمتر باشد. برای فواصل نزدیکتر بهتر است که ضرایب کاهشی اعمال شود.

جدول ۱۰-۸: ضرایب تصحیح مجاورت برای گروهی (بیشتر از یکی) از کابل‌های تک رشته‌ای در هوای آزاد

روش اجرای کابل		تعداد سینی یا نردبان	تعداد مدارهای سه فاز در سینی یا نردبان			ضریب داده شده در عین حال مناسب است برای:
			۱	۲	۳	
سینی سوراخ‌دار		۱	۰٫۹۸	۰٫۹۱	۰٫۸۷	سه کابل با چیدمان افقی
		۲	۰٫۹۶	۰٫۸۷	۰٫۸۱	
		۳	۰/۹۵	۰٫۸۵	۰٫۷۸	
سینی سوراخ‌دار عمودی		۱	۰٫۹۶	۰٫۸۶	-	سه کابل با چیدمان عمودی
		۲	۰٫۹۵	۰٫۸۴	-	
نردبان کابل، بست‌های نگهدارنده کابل و غیره		۱	۱	۰٫۹۷	۰٫۹۶	سه کابل با چیدمان افقی
		۲	۰٫۹۸	۰٫۹۳	۰٫۸۹	
		۳	۰٫۹۷	۰٫۹	۰٫۸۶	
سینی سوراخ‌دار		۱	۱	۰٫۹۸	۰٫۹۶	سه کابل با چیدمان مثلثی
		۲	۰٫۹۷	۰٫۹۳	۰٫۸۹	
		۳	۰٫۹۶	۰٫۹۲	۰٫۸۶	
		۱	۱	۰٫۹۱	۰٫۸۹	

روش اجرای کابل		تعداد سینی یا نردبان	تعداد مدارهای سه فاز در سینی یا نردبان			ضریب داده شده در عین حال مناسب است برای:
			۱	۲	۳	
سینی سوراخ‌دار عمودی		۲	۱	۰٫۹	۰٫۸۶	
نردبان کابل، بست‌های نگهدارنده کابل و غیره		۱	۱	۱	۱	
		۲	۰٫۹۷	۰٫۹۵	۰٫۹۳	
		۳	۰٫۹۶	۰٫۹۴	۰٫۹	

نکته ۱: مقادیر ارائه شده در این جدول برای انواع کابل‌ها و محدوده سطح مقطع هادی‌ها در نظر گرفته شده در جداول (۲-۲۵) تا (۲-۳۰) نشریه ۱۱۰ به صورت میانگین هستند. گستره مقادیر معمولا کمتر از ۵٪ است.

نکته ۲: ضرایب برای یک لایه از کابل (یا گروهی با چیدمان مثلثی) که در جدول نشان داده شده، ارائه شده است، جایی که کابل‌ها در تماس با یکدیگر نصب شده‌اند، قابل استفاده نیست. مقادیر این ضرایب برای این نوع نصب‌ها ممکن است به طور قابل توجهی پایین باشد و بهتر است آنها را به روش مناسب به دست آورد.

نکته ۳: مقادیر در نظر گرفته شده برای مواقعی است که فواصل عمودی بین سینی‌های کابل ۳۰۰ میلیمتر و کمترین فاصلع بین سینی‌های کابل و دیوار ۲۰ میلیمتر باشد. برای فواصل نزدیکتر بهتر است ضرایب کاهشی اعمال شود.

نکته ۴: مقادیر در نظر گرفته شده برای مواقعی است که فواصل افقی بین سینی‌های کابل و سینی‌های کابل پشت به پشت نصب شده ۲۲۵ میلیمتر باشد. برای فواصل نزدیک‌تر بهتر است که ضرایب کاهشی اعمال شود.

نکته ۵: برای مدارهای دارای بیش از یک کابل برای هر فاز، هر مجموعه کابل سه فاز در این جدول، یک مدار منظور می‌شود.

نکته ۶: برای مدارهای دارای m هادی موازی در هر فاز، برای مشخص کردن ضریب کاهشی این مدار باید به صورت m مدار بررسی شود.

۱۰-۷-۴- حداکثر افت ولتاژ مجاز برای خطوط تغذیه پایه‌های روشنایی

حداکثر افت ولتاژ مجاز برای خطوط تغذیه پایه‌های روشنایی، اعم از هوایی و کابلی، ۳ درصد و برای مسیر انشعاب هر پایه، یک درصد می‌باشد[۶۴].

۱۰-۷-۵- تعیین افت ولتاژ در شبکه تغذیه روشنایی راه‌ها

برای تعیین افت ولتاژ در شبکه تغذیه روشنایی راه‌ها از رابطه (۱۰-۱) می‌توان استفاده کرد.

$$٪\Delta V = K.S.L \qquad ۱۰-۱$$

در رابطه فوق:

S : توان ظاهری بار که از سه فاز سیستم کشیده می‌شود (برحسب KVA)؛

L : طول شبکه تغذیه تا نقطه بار (برحسب Km)؛

K: ضریبی که به صورت درصد افت ولتاژ/کیلوولت آمپر ضرب در کیلومتر تعریف می‌گردد.

در رابطه (۱۰-۱)، ضریب K تابعی از نوع سیستم یا کابل، فاصله بین هادی‌های سه فاز، ضریب توان بار، ولتاژ و فرکانس نقطه تغذیه بار می‌باشد. این ضریب، برای خطوط هوایی و کابل‌های زمینی مطابق با جدول ۱۰-۹ و جدول ۱۰-۱۰ و تحت شرایطی که در ادامه آورده می‌شود محاسبه شده است.

۱۰-۷-۵-۱- خطوط هوایی با سیم مسی

برای این شبکه‌ها، ضریب K با در نظر گرفتن شرایط زیر، در جدول ۱۰-۹ مشخص شده است:

الف– فرکانس سیستم برابر با ۵۰ هرتز و ولتاژ آن ۴۰۰ ولت می‌باشد؛

ب– بار تغذیه شده توسط خط، دارای ضریب توان پسفاز می‌باشد؛

ج- از خاصیت خازنی خط صرف‌نظر شده است؛

د- مقاومت سیم مسی برای دمای محیط اطراف سیم برابر ۴۰ درجه سانتیگراد می‌باشد؛

هـ– فاصله موثر بین فازها، مطابق با مرجع [۶۴] در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۰-۹: ضریب **K** برای خطوط هوایی با هادی مسی

سطح مقطع سیم مسی (mm^2)	درصد ضریب توان بار				
	٪۱۰۰	٪۹۵	٪۹۰	٪۸۵	٪۸۰
۱۶	۰٫۷۵	۰٫۷۸	۰٫۷۷	۰٫۷۶	۰٫۷۴
۲۵	۰٫۴۸	۰٫۵۲۳	۰٫۵۳	۰٫۵۲	۰٫۵۱۵

۱۰-۷-۵-۲- شبکه کابل زمینی با هادی مسی و عایق PVC

برای شبکه‌های کابلی، ضریب K با در نظر گرفتن شرایط زیر، در جدول ۱۰-۱۰ مشخص شده است:

الف- فرکانس سیستم برابر با ۵۰ هرتز و ولتاژ آن ۴۰۰ ولت می‌باشد؛

ب- بار تغذیه شده توسط کابل، دارای ضریب توان پس فاز می‌باشد؛

ج- از خاصیت خازنی کابل صرف‌نظر شده است؛

د- مقاومت کابل برای دمای ۷۰ درجه سانتیگراد محاسبه شده است.

جدول ۱۰-۱۰: ضریب **K** برای کابل زمینی با هادی مسی و عایق **PVC**

سطح مقطع هر رشته از کابل (mm^2)	درصد ضریب توان بار				
	٪۱۰۰	٪۹۵	٪۹۰	٪۸۵	٪۸۰
۶	۲٫۲۳	۲٫۱۴	۲٫۰۴	۱٫۹۴	۱٫۸۲
۱۰	۱٫۵۲	۱٫۴۶	۱٫۴۰	۱٫۳۳	۱٫۲۵
۱۶	۰٫۸۲۳	۰٫۸۱	۰٫۷۸۵	۰٫۷۴۰	۰٫۷۰
۲۵	۰٫۵۳۳	۰٫۵۲۵	۰٫۵۰۷	۰٫۴۸۶	۰٫۴۶۳

۱۰-۷-۶- تعیین افت ولتاژ یک بار نقطه‌ای

برای تعیین افت ولتاژ یک بار نقطه‌ای، با توجه به نوع و سطح مقطع هادی و ضریب توان بار، ضریب مربوطه از جدول ۱۰-۹ و یا جدول ۱۰-۱۰ استخراج شده و سپس با استفاده از رابطه (۱۰-۱)، درصد افت ولتاژ ناشی از آن بار نقطه‌ای بدست می‌آید. در صورتی که بار، به صورت یکنواخت در طول خط توزیع شده باشد، پس از تعیین K، درصد افت ولتاژ ناشی از این بار توزیع شده، از رابطه (۱۰-۲) بدست می‌آید.

$$\%\Delta V = \frac{1}{2} \times K \times S \times L \qquad ۱۰-۲$$

که در آن،

S : توان ظاهری سه فاز کل بار که به صورت یکنواخت در طول خط توزیع شده باشد (برحسب KVA)؛

L : طول کل خط (برحسب Km)؛

K : ضریب بدست آمده از جدول ۱۰-۹ و یا جدول ۱۰-۱۰.

برای انجام این محاسبات، توان هر چراغ، از مجموع توان لامپ و بالاست مربوط بدست می‌آید.

۱۰-۷-۷- تعیین افت ولتاژ در انواع مختلف شبکه‌های تغذیه روشنایی راه‌ها

به منظور تعیین افت ولتاژ در انواع مختلف شبکه‌های تغذیه روشنایی راه‌ها، روابط (۱۰-۱) و (۱۰-۲) به صورت بندهای ۱۰-۷-۷-۱- تا ۱۰-۷-۷-۳- بسط داده شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱۰-۷-۷-۱- شبکه روشنایی وابسته هوایی راه‌ها

در این نوع شبکه، بار به صورت تکفاز بوده و مسیر خط نیز معمولا دارای انشعابات متعدد برای تغذیه چراغ‌های کوچه‌ها و یا راه‌های منشعب شده از راه اصلی می‌باشد. لذا برای محاسبه درصد افت ولتاژ در این نوع شبکه‌ها، باید اقدام به تعیین طولانی‌ترین مسیر تغذیه چراغ‌های روشنایی شود. این مسیر، که به نام مسیر اصلی مشخص می‌گردد، از ابتدای خط شروع شده و تا انتها طوری تعیین می‌شود که هیچ پایه‌ای دو بار در مسیر مزبور قرار نگیرد. در ادامه طول مسیر اصلی، توان

ظاهری بار مسیر اصلی، فاصله هر یک از نقاط انشعاب از ابتدای خط، توان ظاهری بار مسیرهای انشعاب و درصد افت ولتاژ مسیر تغذیه از پست تا سر خط مشخص شده و با استفاده از رابطه (۱۰-۳) درصد افت ولتاژ فاز روشنایی تعیین شود.

$$\%\Delta V = \%\Delta V_p + \frac{3}{2}K.n_r.S.(n_r-1).l_r + \sum_{i=1}^{m} 3.K.n_{bi}.S.l_i \qquad ۳-۱۰$$

در رابطه فوق،

$\%\Delta V_p$: درصد افت ولتاژ مسیر تغذیه از پست تا سر خط که مطابق با مرجع [۶۴] و با توجه به نوع کابل مورد استفاده و با در نظر داشتن کل توان ظاهری کشیده شده از آن بدست می‌آید. این درصد، با توجه به کوتاه بودن مسیر، در اغلب موارد قابل صرف‌نظر می‌باشد؛

K : ضریب بدست آمده از جدول ۱۰-۹؛

S : توان ظاهری لامپ و چوک نصب شده در هر چراغ (برحسب KVA)؛

n_r : تعداد کل پایه‌های موجود در مسیر اصلی؛

n_{bi} : تعداد کل پایه‌های موجود در مسیر انشعاب i؛

m : تعداد کل انشعابات؛

l_i: فاصله بین دو پایه متوالی در مسیر اصلی (برحسب km)؛

l_r: فاصله نقطه انشعاب i از اولین پایه (برحسب km).

توجه: بر روی هر پایه، یک چراغ نصب شده و فاصله پایه‌ها نیز برابر می‌باشد. همچنین فرض شده است که سیم نول در طول شبکه، زمین شده و از افت ولتاژ آن صرف‌نظر شده است (در غیر این صورت باید در رابطه (۱۰-۳) افت ولتاژ ناشی از سیم نول نیز منظور شود).

۱۰-۷-۷-۲- شبکه روشنایی مستقل هوایی راه‌ها

در این نوع شبکه، بار به صورت سه فاز بوده و معمولا مسیر انشعابی نیز وجود ندارد. درصد افت ولتاژ در این شبکه، با استفاده از رابطه (۱۰-۴) بدست می‌آید.

$$\%\Delta V = K_1.n_t.p.S.l_p + \frac{1}{2}K.n_t.p.S.(n_t-1)l_r \qquad ۴-۱۰$$

در رابطه فوق،

K : ضریب بدست آمده از جدول ۱۰-۹ برای سیم مسی هوایی تغذیه کننده شبکه روشنایی راه‌ها؛

K_1 : ضریب بدست آمده از جدول ۱۰-۱۰ برای کابل زمینی مسی به کار رفته در مسیر تغذیه از پست تا سرخط؛

S : توان ظاهری لامپ و چوک نصب شده در هر چراغ (برحسب KVA)؛

n_t : تعداد کل پایه‌های موجود در شبکه؛

P : تعداد چراغ نصب شده بر روی یک پایه؛

l_P: طول مسیر تغذیه از پست تا سر خط (اولین پایه)، برحسب km؛

l_r : فاصله بین دو پایه متوالی (برحسب km).

۱۰-۷-۷-۳- شبکه روشنایی مستقل زمینی راه‌ها

درصد افت ولتاژ در این شبکه با استفاده از رابطه (۱۰-۵) بدست می‌آید:

$$\%\Delta V = K.n_t.p.S.l_p + \frac{1}{2}K.n_t.p.S.(n_t-1).(l_r+2l_c) \qquad ۵-۱۰$$

که در آن،

K: ضریب بدست آمده از جدول ۱۰-۱۰؛

l_p: طول مسیر تغذیه از پست تا سر خط (اولین پایه)، برحسب km؛

l_c: فاصله بین لوله ورودی کابل در فونداسیون پایه تا ترمینال پایه (برحسب km).

سایر متغیرهای به کار رفته در رابطه (۱۰-۵) مطابق با تعاریف بند ۱۰-۷-۷-۲- می‌باشد.

۱۰-۸- مسیر تغذیه انشعاب هر چراغ

۱۰-۸-۱- سطح مقطع مسیر تغذیه انشعاب برای هر چراغ در شبکه‌های روشنایی هوایی راه‌ها

در شبکه‌های روشنایی هوایی راه‌ها اعم از مستقل و وابسته، سطح مقطع مسیر تغذیه انشعاب برای هر چراغ باید به صورت زیر انتخاب شود.

۱۰-۸-۱-۱- چراغ‌های تا ۲۵۰ وات

برای تغذیه چراغ‌های تا ۲۵۰ وات باید از دو رشته سیم روکش‌دار با سطح مقطع ۱٫۵ میلیمتر مربع یا از کابل (۲×۱٫۵) میلیمتر مربع استفاده شود.

۱۰-۸-۱-۲- چراغ‌های ۴۰۰ وات

برای تغذیه چراغ‌های ۴۰۰ وات باید از دو رشته سیم روکش‌دار با سطح مقطع ۲٫۵ میلیمتر مربع، یا از کابل (۲×۲٫۵) میلیمتر مربع استفاده شود.

۱۰-۸-۲- نحوه ارتباط و اتصال مسیر تغذیه انشعاب به فاز

نحوه ارتباط و اتصال مسیر تغذیه انشعاب به فاز مربوطه در شبکه‌های روشنایی هوایی راه‌ها مطابق مرجع [۶۴] خواهد بود.

۱۰-۸-۳- سطح مقطع مسیر تغذیه انشعاب برای هر یک از چراغ‌ها در شبکه‌های روشنایی مستقل زمینی راه‌ها

در شبکه‌های روشنایی مستقل زمینی راه‌ها، سطح مقطع مسیر تغذیه انشعاب برای هر یک از چراغ‌ها باید به صورت زیر انتخاب شود.

۱۰-۸-۳-۱- چراغ با توان ۱۵۰ وات

برای تغذیه چراغ با توان ۱۵۰ وات باید از کابل (۲×۱٫۵) میلیمتر مربع استفاده شود.

۱۰-۸-۳-۲- چراغ با توان ۲۵۰ وات یا بیشتر

برای تغذیه چراغ با توان ۲۵۰ وات یا بیشتر، باید از کابل (۲×۲٫۵) میلیمتر مربع استفاده شود.

۱۰-۸-۴- محافظت از وقوع اتصال کوتاه در شبکه‌های روشنایی مستقل زمینی راه‌ها

در شبکه‌های روشنایی مستقل زمینی راه‌ها، در محل نصب ترمینال پایه‌های فلزی و در ابتدای مسیر تغذیه انشعاب هر چراغ، المان حفاظتی مناسب شامل کلید مینیاتوری و یا پایه فیوز و فیوز مورد نیاز پیش‌بینی می‌شود به طوری که به کمک آن، علاوه بر محافظت این مسیر از وقوع اتصال کوتاه، بتوان در مواقع تعمیر و نگهداری چراغ‌ها، نسبت به قطع فاز تغذیه‌کننده و بی‌برق کردن آن اقدام نمود. در این خصوص، نحوه انتخاب فیوز مطابق با بخش ۱۰-۱۰-۳- خواهد بود.

۱۰-۹- مسیر تغذیه از پست تا سر خط

برای مسیر تغذیه از پست تا سر خط رعایت نکات زیر لازم می‌باشد:

۱- تغذیه این مسیر، برای کلیه شبکه‌های روشنایی راه‌ها، توسط کابل زمینی صورت می‌پذیرد.

۲- برای تغذیه این مسیر می‌توان از کابل‌های مسی با سطح مقاطع (۴×۶) یا (۵×۶)، (۴×۱۰) یا (۵×۱۰)، (۴×۱۶) یا (۵×۱۶) و (۴×۲۵) یا (۵×۲۵) میلیمتر مربع استفاده نمود (در بکارگیری کابل آلومینیومی باید از مقاطع معادل استفاده گردد).

۳- کابل تغذیه مورد استفاده در این مسیر باید هم‌مقطع با کابل یا سیم هوایی مسیر تغذیه پایه‌های روشنایی راه‌ها انتخاب شود.

۴- در شبکه‌های روشنایی زمینی مستقل راه‌ها، کابل مورد استفاده در این مسیر کابل مجزایی نبوده، بلکه امتداد کابل مسیر تغذیه پایه‌ها می‌باشد.

۵- در شبکه‌های روشنایی هوایی راه‌ها، کابل مورد استفاده در این مسیر، در پایه اول با ایجاد سر خط، به خط هوایی متصل می‌شود. مشخصات فنی و نحوه ایجاد سر خط، مطابق با مرجع [۶۴] بوده و در انجام آن، نکات زیر باید به دقت مورد توجه قرار گیرد.

- کابل زمینی باید با انحنای مجاز وارد لوله گالوانیزه شود، به طوری که به بدنه پایه محکم بسته شده و تا بالای پایه نیز در داخل لوله قرار داشته باشد.
- لوله گالوانیزه باید در سمتی از پایه نصب شود که در معرض برخورد مستقیم خودرو و سایر وسایل نقلیه نبوده و در امان باشد.
- تمهیدات لازم به منظور به حداقل رساندن نیروی کشش وارده به کابل ناشی از وزن خود کابل در نظر گرفته شود.
- تمهیدات لازم به منظور اجتناب از برخورد لبه لوله با بدنه کابل، در نقاط ورود و خروج کابل به لوله باید در نظر گرفته شود.
- هر رشته از کابل باید توسط کلمپ مناسب به سیم هوایی مربوطه متصل شود.

۶- کابل مسیر تغذیه از پست تا سر خط، در شبکه‌های روشنایی هوایی وابسته راه‌ها، برای تغذیه فاز شب، باید (۲×۱۶) باشد که به همراه کابل تغذیه شبکه فشار ضعیف در مسیر قرار داده می‌شود.

۱۰-۱۰- سیستم حفاظت و زمین مورد استفاده در شبکه‌های روشنایی راه‌ها

۱۰-۱۰-۱- کلیات

وقوع هر گونه اتصالی در شبکه تغذیه روشنایی راه‌ها موجب عبور جریان‌های اتصالی می‌شود که باید با استفاده از تجهیزات حفاظتی مناسبی تشخیص داده شده و قطع گردد. این جریان‌های اتصالی از دو نظر مضر بوده و ایجاد مشکل می‌کند:

الف) عبور جریان‌های اتصالی به مقدار زیاد، باعث صدمه دیدن تجهیزات واقع شده در مسیر عبور جریان می‌شود و باید در سریع‌ترین زمان ممکن نسبت به قطع آن اقدام شود.

ب) وقوع اتصالی با بدنه تجهیزات باعث ایجاد اضافه ولتاژهای غیرمجاز بر روی آن می‌شود که می‌تواند ایمنی اشخاص را به خطر انداخته و باعث برق‌گرفتگی شود.

مقدار جریان اتصالی ایجاد شده در بعضی از حالات وقوع اتصال کوتاه کم بوده و لذا در چنین جریان‌هایی، در صورت عدم انتخاب صحیح سیستم حفاظتی، تشخیص و قطع آن ممکن نخواهد بود. از آنجا که مقدار این جریان، ارتباط مستقیم با سیستم زمین ایجاد شده در شبکه دارد، لذا این سیستم زمین، در انتخاب سیستم حفاظتی مناسب، نقش اساسی را خواهد داشت.

در حالت کلی وجود جریان‌های اتصالی کوچک، به علت عدم تشخیص آنها توسط سیستم حفاظتی، مشکل‌زا بوده و باید در جهت رفع آنها اقدام لازم صورت گیرد. البته با رفع این مشکل، سیستم حفاظتی انتخاب شده برای جریان‌های بالاتر نیز به طور یقین عمل خواهد کرد. توصیه‌های انجام شده در این بخش در جهت انتخاب سیستم زمین مناسب، افزایش میزان جریان‌های اتصال کوتاه احتمالی و انتخاب مناسب سیستم حفاظتی می‌باشد.

۱۰-۱۰-۲- سیستم زمین

تعاریف، حدود مجاز، مشخصات فنی تجهیزات مورد استفاده و طریقه نصب و اجرای سیستم زمین باید برابر ضوابط مندرج در مرجع [۶۳] بوده و در ایجاد این سیستم، نکات فنی به دقت مورد توجه قرار گیرد.

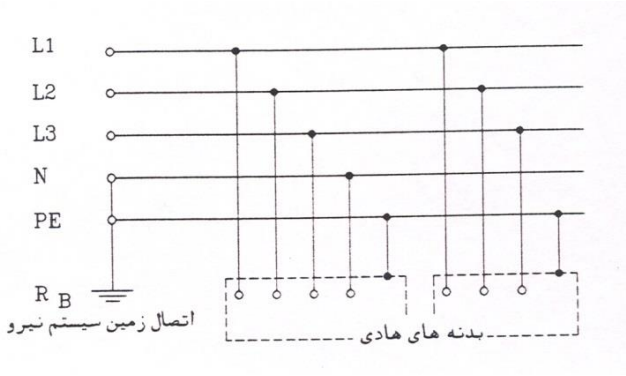
۱۰-۱۰-۲-۱- سیستم زمین نوع TN

در این نوع سیستم زمین که با دو حرف T و N مشخص می‌شود، حرف اول از سمت چپ (T) مشخص‌کننده سیستمی است که در آن، یک نقطه (معمولا نقطه خنثی) به صورت مستقیم به زمین وصل شده و حرف دوم از سمت چپ (N) نشان‌دهنده سیستمی است که در آن بدنه‌های فلزی کلیه تجهیزات از نظر الکتریکی به صورت مستقیم به نقطه زمین شده (نقطه خنثی) وصل می‌شود.

علاوه بر این در مورد سیستم TN، از حروف اضافی دیگری برای مشخص کردن نحوه به کارگیری هادی‌های حفاظتی (PE) و خنثی (N)، استفاده می‌شود که به صورت زیر می‌باشد.

۱۰-۱۰-۲-۱-۱- سیستم زمین نوع TN-S

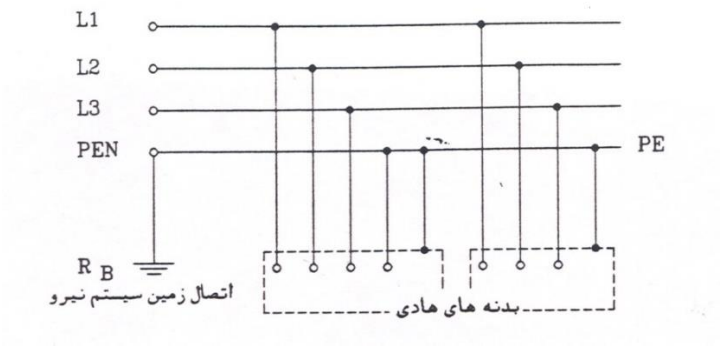
در این نوع سیستم زمین، در سرتاسر شبکه بدنه‌های فلزی از طریق یک هادی مجزا (PE) به نقطه خنثی (N) در پست مبدا وصل می‌شوند. دیاگرام این سیستم در شکل ۱۰-۴ مشخص شده است.



شکل ۱۰-۴: سیستم زمین نوع **TN-S**

۱۰-۱۰-۲-۱-۲- سیستم زمین نوع TN-C

در این نوع سیستم زمین، در سرتاسر شبکه، بدنه‌های فلزی، به هادی مشترک حفاظتی و خنثی (PEN) وصل می‌شوند. دیاگرام این سیستم در شکل ۱۰-۵ مشخص شده است.



شکل ۱۰-۵: سیستم زمین نوع **TN-C**

۱۰-۱۰-۲-۲- نقطه خنثی (مرکز ستاره یا زیگزاگ ترانسفورماتور)

سیستم زمین منتخب در کلیه شبکه‌های فشار ضعیف در ایران باید از نوع TN باشد. لذا در این شبکه‌ها باید نقطه خنثی (مرکز ستاره یا زیگزاگ ترانسفورماتور) به صورت مستقیم زمین شده و بدنه فلزی کلیه تجهیزات نیز به صورت مستقیم به نقطه خنثی وصل شود.

۱۰-۱۰-۲-۳- مقاومت زمین نقطه خنثی ترانسفورماتور در پست‌های توزیع اعم از زمینی و هوایی

در پست‌های توزیع اعم از زمینی و هوایی، مرکز ستاره یا زیگزاگ ترانسفورماتور باید توسط چاه، زمین شود. مقاومت زمین نقطه خنثی ترانسفورماتور در این حالت نباید از ۵ اهم تجاوز نماید[۶۳].

۱۰-۱۰-۲-۴- مقاومت اتصال زمین در سیستم‌های TN

از آنجا که سیستم‌های اتصال زمین باید به گونه‌ای طرح و اجرا شوند که خطر برق‌گرفتگی برای پرسنل و عموم مردم به حداقل رسیده و سیستم‌های حفاظتی نیز به فوریت عمل نماید، لذا باید مقاومت اتصال زمین به قدر کافی کوچک باشد. اندازه این مقاومت در سیستم‌های TN، مطابق با مرجع [۶۳] نباید از ۲ اهم تجاوز نماید. برای رسیدن به این مقاومت علاوه بر اتصال زمین اصلی در پست مربوطه، باید از اتصال زمین‌های مکرر با استفاده از هادی‌های دفن شده متعدد، الکترودهای زمین متعدد یا مجموعه‌های همبندی شده از هر دو استفاده شود.

۱۰-۱۰-۲-۵- حداقل مقدار مقاومت

نظر به اینکه حصول مقاومت کم برای اتصال زمین در سیستم‌های TN از راه تعدد الکترودهای زمین بدست می‌آید، حداقلی برای مقاومت زمین هر یک از الکترودها تعیین نمی‌شود.

۱۰-۱۰-۲-۶- شبکه‌های روشنایی مستقل و وابسته هوایی راه‌ها

برای ایجاد سیستم زمین در این شبکه‌ها علاوه بر دستورالعمل‌های بالا، موارد زیر نیز مد نظر می‌باشد.

۱۰-۱۰-۲-۶-۱- سیستم زمین اولیه

سیستم زمین منتخب در این شبکه‌ها باید از نوع TN-C باشد.

۱۰-۱۰-۲-۶-۲- سیستم زمین ثانویه

در این شبکه‌ها علاوه بر اتصال زمین اصلی در پست مربوطه، هادی خنثی باید در نقاط متعددی در طول خط به الکترودهای زمین وصل شود به نحوی که یک اتصال زمین در هر ۴۰۰ متر از طول خط و یا کسری از آن بدون احتساب اتصال زمین اصلی پست وجود داشته باشد. در هر صورت تعداد الکترودهای هر خط بدون توجه به طول آن نباید از ۲ عدد کمتر باشد (سر و ته خط در مورد خطوط کوتاه‌تر از ۴۰۰ متر).

۱۰-۱۰-۲-۶-۳- سطح مقطع هادی خنثی

سطح مقطع هادی خنثی (هادی مشترک حفاظتی/خنثی PEN) باید به قدر کافی بزرگ بوده و به زمین پست مربوطه (نقطه خنثی ترانسفورماتور) وصل شود. حداقل سطح مقطع این هادی نباید از مقادیر زیر کمتر باشد.

الف) خطوط هوایی فشار ضعیف با هادی مسی:

- برای سطح مقطع فاز ۵۰ میلیمتر مربع و کمتر: برابر با سطح مقطع فاز؛
- برای سطح مقطع فاز ۷۰ میلیمتر مربع و بیشتر: یک سطح مقطع کوچکتر از فاز.

ب) مسیر تغذیه کابلی از پست تا سر خط :

- برای سطح مقطع فاز ۱۶ میلیمتر مربع و کمتر: برابر سطح مقطع فاز؛
- برای سطح مقطع فاز ۲۵ میلیمتر مربع و بیشتر: برابر با نصف سطح مقطع فاز (طبق استانداردهای مربوطه).

۱۰-۱۰-۲-۶-۴- اتصال زمین بدنه فلزی

در این شبکه‌ها بدنه فلزی بازوهای نصب شده بر روی پایه‌ها باید توسط یک رشته هادی، به هادی خنثی سیستم وصل شود. اتصال این هادی به بدنه بازو باید توسط کابلشو و پیچ و مهره مناسب صورت بگیرد.

۱۰-۱۰-۲-۷- شبکه‌های روشنایی مستقل زمینی راه‌ها

برای ایجاد سیستم زمین در این شبکه‌ها علاوه بر دستورالعمل‌های عمومی بالا، موارد زیر نیز باید در نظر گرفته شود:

- سیستم زمین منتخب در این شبکه‌ها باید از نوع TN-S باشد.
- کلیه پایه‌های فلزی باید به هادی حفاظتی (PE) طبق توصیه‌های بند ۹ بخش ۱۰-۶- متصل شوند. در این حالت این پایه‌ها از طریق این هادی، به زمین اصلی سیستم واقع در پست مربوطه (نقطه N) وصل می‌شوند.
- به منظور رسیدن به مقاومت زمین تصریح شده در بند ۱۰-۱۰-۲-۴- مخصوصا در شبکه‌های کابلی ۵ رشته‌ای نیاز به استقرار الکترود زمین و یا چاه زمین در طول مسیر کابل و اتصال آن به هادی حفاظتی (PE) می‌باشد. این الکترود یا چاه، باید در نزدیکی پایه و مطابق با توصیه‌های مرجع [۶۳] نصب شده و توسط هادی مناسبی به پایه نیز متصل شود.
- تعداد و محل نصب الکترودها و یا چاه زمین باید طوری انتخاب شود که مقاومت کل سیستم زمین از ۲ اهم کمتر گردد.
- ضروری است نقطه اتصال هادی حفاظتی (PE) به پایه و نقطه اتصال پایه به الکترود زمین و یا چاه به طور مشترک در یک نقطه بر روی پایه در نظر گرفته شود تا کمترین مقاومت زمین در مسیر وجود داشته باشد.
- در شبکه‌های روشنایی راه‌های تغذیه شونده توسط کابل، اگر از رنگ برای تشخیص نوع هادی استفاده شود، رنگ هادی خنثی (N) باید آبی کم‌رنگ و هادی حفاظتی (PE) باید دو رنگ، سبز و زرد (راه راه) باشد. برای شبکه‌های با سیستم زمین نوع TN-C بهتر است هادی مشترک حفاظتی/خنثی (PEN) سبز و زرد (راه راه) باشد ولی می‌توان از رنگ آبی کم‌رنگ نیز برای این منظور استفاده نمود. در هر حال، در محل همه ترمینال‌ها وظیفه دوگانه این هادی باید به گونه‌ای ماندگار مشخص شود. برای تشخیص فازها نیز می‌توان از قرمز، زرد و مشکی استفاده کرد.
- در شبکه‌های روشنایی راه‌ها با پایه‌های فلزی برای هر فاز باید حتما آخرین پایه زمین شود (۳ پایه آخر مربوط به سه فاز مختلف حتما باید زمین شود).

- میزان مقاومت زمین در طول شبکه‌های روشنایی راه‌ها و در داخل پست‌های تغذیه کننده آن باید هر ۳ الی ۶ ماه به صورت دوره‌ای کنترل شود و در صورت بالا بودن میزان این مقاومت از حد تعیین شده، نسبت به بررسی و مشخص کردن اشکالات آن (از قبیل قطعی سیم حفاظتی، خشک بودن زمین و غیره) و سپس رفع آنها اقدام کرد.

۱۰-۱۰-۳- سیستم حفاظت

۱۰-۱۰-۳-۱- سیستم حفاظت در پست‌های تغذیه کننده شبکه‌های روشنایی راه‌ها

سیستم حفاظت مورد نیاز برای نصب در پست‌های تغذیه‌کننده شبکه‌های روشنایی راه‌ها، باید مطابق با نقشه‌های تک‌خطی ارائه شده در شکل ۱۰-۱ و شکل ۱۰-۲ طرح و اجرا گردد. در این طراحی برای انتخاب فیوز مناسب در خروجی‌های روشنایی راه‌ها باید بر طبق بند ۱۰-۱۰-۳-۲-، ۱۰-۱۰-۳-۳- و ۱۰-۱۰-۳-۴- عمل شود.

۱۰-۱۰-۳-۲- نحوه انتخاب فیوز حفاظتی در سیستم‌های TN

بر طبق توصیه‌های مرجع [۶۳] در صورت بروز اتصال کوتاه کامل (بدون امپدانس) بین هادی یک فاز با هادی خنثی (N) و یا هادی حفاظتی (PE) در هر یک از شاخه‌های توزیع، مولفه متقارن شدت جریان اتصال کوتاه در بدترین شرایط باید در رابطه (۱۰-۶) صدق نماید.

$$I_a \geq K.I_n \qquad ۶\text{-}۱۰$$

در رابطه فوق،

I_a : شدت جریان اتصال کوتاه بین فاز و خنثی در بدترین شرایط در خط مورد نظر بر حسب آمپر؛

I_n : شدت جریان اسمی فیوزهای محافظ خط؛

K : ۲٫۵ (برای همه انواع فیوزها).

طبق رابطه بالا، شدت جریان اتصال کوتاه I_a در بدترین شرایط باید از ۲٫۵ برابر جریان اسمی فیوز I_n بیشتر بوده یا حداقل با آن برابر باشد تا اینکه فیوز به فوریت قطع شده و خطر بروز برق‌گرفتگی در شبکه رفع شود. البته لازم به توضیح است که در این مورد، پایین بودن جریان اتصال کوتاه خطرناک است و نه بالا بودن آن، در صورتی که برای حفاظت تجهیزات از آسیب ناشی از عبور جریان‌های اتصال کوتاه، بالا بودن جریان خطرناک می‌باشد.

۱۰-۱۰-۳-۳- نحوه انتخاب فیوز حفاظتی مناسب در سیستم‌های TN در بدترین شرایط

بدترین شرایط شامل موارد ذیل می‌باشد:

- ✓ اتصال کوتاه باید برای دورترین نقطه از منبع تغذیه محاسبه شده و صحت رابطه (۱۰-۶) کنترل شود.

- ✓ در مورد شبکه‌های روشنایی راه‌ها با پایه‌های فلزی، علاوه بر مورد بالا، اتصال کوتاه با فرض وجود قطعی در هادی حفاظتی (PE) و با در نظر گرفتن اتصال فاز با بدنه پایه نیز محاسبه شده و صحت رابطه (۱۰-۶) کنترل شود.
- ✓ اتصال کوتاه باید در بار کامل ترانسفورماتور و همچنین شبکه تغذیه روشنایی راه‌ها انجام شود. هادی‌ها در بار کامل دارای مقاومت بیشتری بوده و درنتیجه جریان اتصال کوتاه محاسبه شده، کوچکتر از حالت سرد (بی‌بار هادی) خواهد بود.
- ✓ در محاسبه اتصال کوتاه، فقط مولفه متقارن جریان به حساب آورده می‌شود. یعنی فرض بر این است که در لحظه وقوع اتصال کوتاه شرایط چنان است که مؤلفه جریان مستقیم تشکیل نمی‌شود.

۱۰-۱۰-۳-۴- نحوه انتخاب فیوز حفاظتی مناسب در شبکه‌های روشنایی راه‌ها

در این شبکه‌ها، پس از مشخص شدن طول شبکه و بار آن (با رعایت حدود مجاز افت ولتاژ) باید با توجه به میزان جریان خط، فیوز با جریان نامی مناسب انتخاب شده و سپس مطابق با بندهای ۱۰-۱۰-۳-۲- و ۱۰-۱۰-۳-۳- صحت رابطه (۱۰-۶) کنترل شود. در صورت عدم برآورد شرط قید شده در رابطه مزبور می‌تواند یکی از کارهای زیر انجام شود:

- کاهش طول شبکه روشنایی که منجر به افزایش جریان اتصال کوتاه و همچنین کاهش جریان خط می‌شود.
- نصب فیوز جداگانه‌ای با جریان نامی کمتر از فیوز پست اصلی در طول خط و در نقطه‌ای که جریان اتصال کوتاه از آن نقطه به بعد از ۲٫۵ برابر جریان نامی فیوز پست اصلی کمتر باشد. فیوز مذکور می‌تواند در داخل یک تابلو کوچک در کنار یکی از پایه‌های مسیر واقع در نقطه تعیین شده قرار داده شود.
- در شبکه‌های روشنایی زمینی مستقل راه‌ها، در محل نصب ترمینال پایه‌های فلزی و در ابتدای مسیر تغذیه انشعاب هر چراغ باید کلید مینیاتوری ۶ آمپری و یا فیوز جداگانه‌ای با جریان اسمی ۶ آمپر پیش‌بینی شود. این فیوز باید بر روی پایه فیوز ۱۰ آمپری نصب گردد.

۱۰-۱۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل از ضابطه، سیستم توزیع و برق‌رسانی به شبکه مورد بررسی قرار گرفت. مباحث اصلی که در این فصل به آنها پرداخته شد شامل پست توزیع زمینی، پست توزیع هوایی، شبکه روشنایی وابسته هوایی راه‌ها، شبکه روشنایی مستقل هوایی راه‌ها، شبکه روشنایی مستقل زمینی راه‌ها، انتخاب سطح مقطع سیم یا کابل تغذیه کننده، مسیر تغذیه انشعاب هر چراغ، مسیر تغذیه از پست تا سر خط و سیستم حفاظت و زمین مورد استفاده در شبکه روشنایی راه‌ها بودند.

فصل۱۱

آلودگی نوری

مقدمه

ایجاد مزاحمت توسط سیستم‌های روشنایی مصنوعی برای مردم، ستاره‌شناسان، گیاهان و یا جانوران عموما با عنوان آلودگی نوری شناخته می‌شود. این آلودگی ناشی از طراحی ضعیف سیستم روشنایی و یا انتخاب و نصب نامناسب تجهیزات آن بوده به طوری که موجب می‌گردد تا قسمتی از نور و گاهی بخش اعظم آن، بر جایی که نباید، بتابد. در این حالت ممکن است مردم از خیرگی آن دچار رنجش شده و یا اینکه این نور مزاحم موجب از بین رفتن تاریکی مورد نیاز آنها در زمان و مکان استراحت گردد. همچنین ممکن است گیاهان و جانوران از نور اضافی در شب آزرده شده و یا اینکه چنین نوری باعث اخلال در کار رصد ستارگان گردد.

در این فصل با توجه به آثار نامطلوب آلودگی نوری، روش‌های تشخیص و یا محدودسازی آن بیان می‌گردد. بدین منظور و با توجه به تقسیم‌بندی انجام شده در استانداردها، آلودگی نوری در دو بخش مجزای "نور مزاحم" و "برافروختگی آسمان" مورد بحث قرار می‌گیرد.

۱۱-۱- تعاریف و اصطلاحات

۱۱-۱-۱- نسبت نور خروجی در بالای سطح افق[۱] ($R_{ULO.a}$ یا $ULOR_a$)

بخشی از کل شار نوری همه لامپ‌های یک چراغ یا تاسیسات روشنایی که در بالای سطح افقی گذرنده از چراغ‌ها در موقعیت نصب آنها، منتشر می‌شود. شاخص a بیانگر این است که موقعیت نصب در محل با زاویه کج شدن چراغ (a) مشخص می‌شود که باید در نظر گرفته شود.

۱۱-۱-۲- نسبت نور خروجی در پایین سطح افق[۲] ($R_{DLO.a}$ یا $DLOR_a$)

بخشی از کل شار نوری همه لامپ‌های یک چراغ یا تاسیسات روشنایی که در پایین سطح افقی گذرنده از چراغ‌ها در موقعیت نصب آنها، منتشر می‌شود. شاخص a بیانگر این است که موقعیت نصب در محل با زاویه کج شدن چراغ (a) مشخص می‌شود که باید در نظر گرفته شود.

۱۱-۱-۳- نسبت نور به سمت بالا[۳] (R_{UL} یا ULR)

بخشی از شار نوری یک چراغ یا تاسیسات روشنایی که در زمان نصب چراغ(ها) در موقعیت(های) مناسب، در سطح افقی و بالاتر از آن منتشر می‌شود.

---

[۱] Upward Light Output Ratio

[۲] Downward Light Output Ratio

[۳] Upward Light Ratio

۱۱-۱-۴- نسبت شار به سمت بالا (UFR یا R_{UF})

نسبت شار نوری بالای سطح افق منتج از شار نوری مستقیم همه چراغ‌ها، شار نوری منعکس شده از سطحی که باید روشن شود و شار نوری منعکس شده از نواحی اطراف که به صورت ناخواسته و به دلیل پخش نور روشن می‌شوند، به شار نوری بالای سطح افق در وضعیت ایده‌آل فرضی (در این حالت چراغ‌ها هیچ نور مستقیمی در بالای سطح افق ندارند و تمام نور آنها فقط به سطحی که باید روشن شود می‌تابد تا سطح روشنایی لازم برای آن ناحیه به صورت دقیق تامین شود) می‌باشد.

۱۱-۲- نور مزاحم

۱۱-۲-۱- آثار مزاحمت احتمالی و پارامترهای فنی مرتبط با نور

۱۱-۲-۱-۱- کلیات

روشنایی در فضای باز با اهداف مختلفی انجام می‌شود که نمونه‌هایی از این اهداف به شرح ذیل می‌باشند[۶۶]:

- برای کار یا تفریح: به افراد این امکان را می‌دهد تا جزئیات مهم را ببینند و بتوانند کارها یا فعالیت‌های تفریحی را در شب و در منطقه‌ای که برای آن در نظر گرفته شده، انجام دهند مانند محوطه باربری و زمین‌های ورزشی.
- برای ایمنی یا امنیت: روشنایی ناحیه که به منظور تسهیل ایمنی یا امنیت افراد یا اموال انجام می‌شود، به عنوان مثال روشنایی راه‌ها، مسیرهای عبور عابر پیاده و روشنایی محیطی.
- برای امکانات تفریحی: این روشنایی به منظور روشن نمودن سبک معماری یا تاریخی خاص، پارک‌ها یا باغ‌ها به کار می‌رود.
- برای تبلیغات یا نمایش دادن: از این روشنایی برای تبلیغ محصولات یا خدمات مانند روشنایی تابلوهای تبلیغاتی یا تاکید بر مکان‌های تجاری، استفاده می‌شود.

صرف نظر از هدفی که قرار است روشنایی برای آن نصب شود، باید به تاثیرات مزاحمت احتمالی سیستم روشنایی در روز و شب توجه شود.

در این بخش ضمن پرداختن به آثار محیطی روشنایی راه‌ها، معیارهایی برای محدودسازی بخش مزاحم نور ناشی از این سیستم بیان می‌گردد. از آنجا که آثار نور مزاحم ناشی از روشنایی راه‌ها با طراحی اولیه مناسب به بهترین وجه کنترل می‌شود، لذا تاکید عمده در این بخش به نحوه طراحی و نصب تاسیسات این سیستم اختصاص یافته است.

۱۱-۲-۱-۲- اثرات زیست محیطی یک طرح روشنایی

برای هر طرحی که نیاز به روشنایی در فضای باز دارد، تاثیر محیطی ناشی از روشنایی تنها تاثیر نخواهد بود و ممکن است مهم‌ترین تاثیر نیز نباشد. سایر عوامل مرتبط با کاربردهای سیستم روشنایی مانند سر و صدا، ترافیک یا پارکینگ، می‌تواند مهم‌تر از سیستم روشنایی باشد. در این مورد، روشنایی باید بخشی از یک مطالعه گسترده از اثرات زیست محیطی باشد.

روشنایی اغلب کانون شکایات است زیرا قابل مشاهده است و وسیله‌ای است که انجام فعالیت شبانه را ممکن می‌سازد. بنابراین اثرات روشنایی باید به عنوان بخشی از تاثیرات کلی یک پیشرفت (توسعه) توسط مرجع تایید توسعه مربوطه، ارزیابی شود.

تاثیر محیطی تاسیسات روشنایی به نور مزاحم محدود نمی‌شود. طراحان یک تاسیسات روشنایی باید تشویق به استفاده از لامپ‌ها و منابع نوری شوند که نور را به طور موثری به منطقه مورد نیاز هدایت می‌کند و در نتیجه مصرف انرژی و اتلاف نور را به حداقل می‌رساند[۶۶].

۱۱-۲-۱-۳- اثرات روشنایی در فضای باز

روشنایی در فضای باز، صرف نظر از این که چقدر خوب طراحی شده باشد، عموما تا حدودی بر محیطی که در آن نصب می‌شود تاثیر می‌گذارد. همچنین ممکن است اهداف روشنایی با مهار نور در ناحیه مورد نظر ناسازگار باشد. به عنوان مثال، برخی از فعالیت‌ها نیاز به روشنایی یک حجم یا فضا دارند نه یک سطح در سطح زمین. مثال‌های زیر گویای این موضوع است:

- روشنایی برای ورزش‌های خاصی مانند تنیس یا گلف که در آن ضروری است که بتوان حرکت توپ را در فضای بالای سطح بازی تا ارتفاع مناسبی مشاهده نمود.
- روشنایی ترمینال حمل و نقل در شرایطی که لازم است کانتینرها شناسایی شوند.
- روشنایی امنیتی در مرز ملک یا مجاور آن.

برای چنین کاربردهایی نور باید جهت روشنایی مطلوب فضا به زوایای بالا هدایت شود، اما این می‌تواند مشکلاتی را در کنترل پخش نور در خارج از مرزهای تاسیسات ایجاد نماید. محدود کردن نمای مستقیم چراغ‌های روشن نیز دشوار می‌شود. همچنین در فضای روشن، انتشار کلی نور ناشی از بازتاب از سطوح و پراکندگی اتمسفر وجود خواهد داشت.

در مورد روشنایی اماکن تفریحی، همه چیز باید در تعادل باشد. یک ساختمان با نور بیش از حد می‌تواند یک منظره شبانه کامل را خراب کند و منجر به نمای نامطلوب ساختمان‌های روشن‌تر و درخشان‌تر شود که به مرور زمان می‌تواند روشنایی کلی ناحیه را به سطوح غیرضروری و نامطلوبی برساند.

در طراحی و نصب یک سیستم روشنایی در فضای باز، باید به تاثیرات روشنایی بر ساکنان املاک اطراف و کاربران حمل و نقل در مجاورت تاسیسات توجه شود. این اثرات شامل موارد ذیل است:

- ❖ تغییر در امکانات رفاهی یک ناحیه به دلیل نفوذ نور پخش شده به نواحی تاریک دیگر (چه در فضای باز و چه در فضای بسته) و همچنین به دلیل دید مستقیم چراغ‌های روشن و نور بیش از حد نماها و علائم؛
- ❖ کاهش توانایی کاربران سیستم حمل و نقل برای دیدن جزئیات اساسی پیش‌رو از جمله سیستم‌های سیگنالینگ به دلیل تابش خیره کننده از چراغ‌های روشن؛
- ❖ تغییر در شرایط تماشای آسمان به دلیل درخشش نوری کلی یعنی برافروختگی آسمان ناشی از پراکندگی نور در جو.

افراد ممکن است واکنش‌های متفاوتی از پذیرش مثبت تا رد کامل نسبت به نصب تاسیسات روشنایی در فضای باز داشته باشند. پاسخ تا حدی به ماهیت پیشرفت‌های محیط، تجربیات گذشته، تازگی تاسیسات و زمان عملکرد بستگی دارد[۶۶].

۱۱-۲-۱-۴- تاثیر تحولات پیرامونی

تاثیر تحولات پیرامونی در توسعه سیستم روشنایی برای یک محدوده خاص شامل موارد زیر است:

- منطقه‌بندی ناحیه مجاور توسعه پیشنهادی: در مکان‌هایی که ناحیه برای توسعه مسکونی منطقه‌بندی شده باشد، پتانسیل بیشتری برای شکایت وجود دارد.
- وضعیت توسعه منطقه که در بند قبل توضیح داده شده: این بدان معنی است که ناحیه به صورت پراکنده ساخته شده یا ساخت آن کامل است.
- توپوگرافی ناحیه اطراف تاسیسات روشنایی: در شرایطی که امکان مشاهده مستقیم چراغ‌ها وجود دارد، توسعه مسکونی که در سطح پایین‌تری از تاسیسات روشنایی قرار دارند، باید به صورت ویژه مورد توجه قرار گیرند.
- ویژگی‌های فیزیکی مانند ساختمان‌های بلند مجاور، درختان و جایگاه تماشاگران: ممکن است در محدود کردن نشت نور فراتر از مرزهای توسعه موثر باشند.
- وجود یا عدم وجود روشنایی‌های دیگر: اثر روشنایی پیشنهادی در مکانی که محیط اطراف به خوبی روشن باشد، کاهش می‌یابد مانند روشنایی راه شریانی یا روشنایی از توسعه‌های تجاری مجاور.
- نوع مکان مجاور با مکان توسعه پیشنهادی:

الف) نواحی دارای اهمیت ویژه، مانند نواحی دارای اهمیت فرهنگی، تاریخی یا علمی؛

ب) بندرها، فرودگاه‌ها، مسیرهای آبی، راه‌ها یا سیستم‌های راه‌آهن که در آن نوری از توسعه موردنظر نشت می‌کند، ممکن است دید سیستم‌های پیام‌رسانی را مختل کند؛

ج) انجمن‌ها یا رصدخانه‌های نوری علمی که در آن نور رو به بالای ناشی از توسعه پیشنهادی به دلیل برافروختگی آسمان ممکن است با رصدهای نجومی تداخل داشته باشد.

۱۱-۲-۲- اثرات خاص و پارامترهای فنی نور مربوطه

۱۱-۲-۲-۱- تاثیر روی ساکنین منطقه

تاثیر روشنایی بر ساکنین منطقه عموما شامل تغییر قابل درک در رفاه است که ناشی از یک یا چند مورد زیر می‌باشد[۶۶]:

الف) روشنایی ناشی از نور مزاحم، به خصوص در جایی که نور وارد اتاق‌هایی از منازل می‌شود که در حالت عادی تاریک هستند، مانند اتاق خواب‌ها. شدت روشنایی عمودی روی سطوح (E_V)، معیاری برای اندازه‌گیری این اثر است.

ب) امکان دید مستقیم چراغ‌های روشن از جهت‌های دید معمول که این امر موجب آزار، پرت شدن حواس و حتی ناراحتی می‌شود. شدت نور (I) یک چراغ در یک جهت مشخص معیاری برای اندازه‌گیری این اثر است.

ج) سطوح قابل تحمل هر یک از این پارامترهای فنی نور، تحت تاثیر روشنایی محیط اطراف آن خواهد بود. این امر تا حد زیادی بر اساس میزان و نوع توسعه ناحیه و با روشنایی در محل تعیین می‌شود. مقادیر این پارامترها که در ساعات اولیه غروب قابل قبول هستند، در ساعات بعدی که زمان خواب ساکنین می‌باشد، غیرقابل قبول می‌شوند. این امر منجر به ارائه مفهوم خاموشی گردیده است و آن عبارت از زمانی است که بعد از آن می‌بایست کنترل‌های سخت‌گیرانه‌تری بر روی نور مزاحم اعمال گردد. این کنترل‌ها می‌تواند شامل خاموش کردن روشنایی غیرضروری و کاهش روشنایی در زمانی که دیگر به سطوح بالاتر نور نیازی نیست، باشد.

د) برافروختگی آسمان ناشی از نور رو به بالا است که محیط را روشن می‌کند و مانع از دید ستارگان می‌شود.

۱۱-۲-۲-۲- تاثیر بر کاربران سیستم حمل و نقل

اثرات روشنایی نامناسب بر کاربران راه (مانند رانندگان، دوچرخه‌سواران، عابران پیاده) معمولا شامل کاهش توانایی دید در اثر خیرگی محدود کننده ناشی از منابع نوری روشن می‌باشد. در این حالت کنتراست ظاهری اجسام در برابر پس زمینه آنها کاهش می‌یابد و آنها را کمتر قابل مشاهده و یا حتی نامرئی می‌کند، به ویژه اگر محیط به طور ذاتی تاریک باشد. مقدار این تاثیر به سطح روشنایی که کاربر با آن سازگار است، بستگی دارد. شاخص مربوطه برای این امر آستانه افزایش است که برای تعیین محدودیت خیرگی در روشنایی راه استفاده می‌شود.

در مواردی که سیستم‌های حمل و نقل در مجاورت یک تاسیسات روشنایی پیشنهادی در فضای باز قرار دارند، باید با مقامات حمل و نقل مربوطه (مانند جاده‌ای، دریایی، راه‌آهن و هوایی) مشورت شود. در این شرایط ممکن است الزامات قانونی حمل و نقل مربوطه اعمال شود.

تاثیر نور مزاحم بر روی سیستم‌های سیگنالینگ حمل و نقل، معمولا موجب کاهش دید سیگنال‌ها به دلایل زیر می‌شود:

- خیرگی محدودکننده؛
- بازتاب ناخواسته[۱].

۱۱-۲-۲-۳- تاثیر بر گردشگران و توریست‌ها

تاثیر روشنایی دکوراتیو و علائم بیش از حد روشن یا با رنگ نامناسب آن است که جلوه‌های کلی روشنایی را بیشتر مزاحم تلقی می‌کند تا اینکه نمای شب را بهبود بخشد. راهنمای مناسب در مورد تکنیک‌های روشنایی تزئینی در استاندارد CIE 094 موجود می‌باشد. شاخص مربوطه در این حالت درخشندگی (L) سطوح می‌باشد که مقدار قابل قبول این پارامتر به اندازه سطح مشاهده بستگی دارد.

۱۱-۲-۲-۴- تاثیر بر مشاهدات نجومی

تاثیرات روی مشاهدات نجومی عموما شامل تغییر شرایط مشاهده آسمان در شب به دلیل موارد ذیل است[۶۶]:

- روشن شدن آسمان تاریک ناشی از پراکندگی نور تاسیسات روشنایی در جو و تولید برافروختگی آسمان؛
- مشخصات طیفی برافروختگی آسمان که موجب می‌شود نور ناشی از برافروختگی به راحتی با ابزارهای نوری تلسکوپ فیلتر نشود و با طیف نور ستارگان همپوشانی داشته باشد.
- نور مستقیم تاسیسات که بر روی رصدخانه‌ها می‌افتد.

در شرایطی که تاسیسات روشنایی در فضای باز و در مجاورت رصدخانه‌های نوری واقع در محیط‌های حومه شهر پیشنهاد می‌شوند، محدودیت پخش نور، سطح روشنایی، پخش طیفی لامپ‌ها و درخشندگی چراغ‌ها در جهت‌های تعیین شده به کاهش اثرات نامطلوب تاسیسات روشنایی کمک می‌کنند.

اگر مکان یک رصدخانه بیش از ۲۰ کیلومتر از یک تاسیسات روشنایی فاصله داشته باشد، بیشترین تاثیر نور (در شرایط آسمان صاف) مربوط به نورهایی است که در جهات نزدیک به افق (اساسا ۹۰ تا ۱۱۰ درجه) تابش می‌کنند، زیرا این نورها مسیر طولانی را در جو طی می‌کند و موجب پراکندگی نور و برافروختگی آسمان می‌شود.

اگر برای روشنایی بیرونی در مجاورت رصدخانه از جمله روشنایی راه محلی، از لامپ‌های بخار سدیم کم‌فشار یا LEDها استفاده شود، ممکن است مشکل درخشندگی آسمان کم شود. هنگامی که رصدخانه بسیار دورتر از تاسیسات روشنایی قرار دارد (مثلا بیش از ۵۰ کیلومتر تا ۱۰۰ کیلومتر) آنگاه می‌توان اقدامات بیشتری مانند استفاده از لامپ‌هایی با انتشار محدود زیر ۵۵۰ نانومتر (لامپ بخار سدیم پرفشار یا موارد مشابه) انجام داد. برافروختگی آسمان عمدتا با توان چهارم طول موج نسبت معکوس دارد، بنابراین برای کاهش این اثر، نور قرمز بهتر از آبی و نور گرم بهتر از نور سرد خواهد بود. اگر قرار

[۱] Visual Clutter

است این اقدام انجام شود باید با مقامات مسئول همه بخش‌های درگیر یعنی رصدخانه، جامعه محلی و اداره راه مشورت شود.

در نهایت، تاثیر کلی به اندازه تاسیسات روشنایی و فاصله آن تا رصدخانه یا نقطه مرجع بستگی دارد. برای مثال، یک شهر ۲۰۰۰۰ نفری در فاصله ۲۰ کیلومتری از رصدخانه، تاثیر نامطلوب مشابه با شهری با جمعیت یک میلیون نفر در فاصله ۱۰۰ کیلومتری خواهد داشت که هر دو دارای محدودیت‌های نوری یکسانی هستند.

در جایی که یک رصدخانه نوری علمی و بزرگ قرار دارد، نکات فوق مهم می‌باشند. با این حال، محدودیت‌های تاسیسات نوری ممکن است در ناحیه قابل توجهی در اطراف رصدخانه به صورت بخشی از یک برنامه بلندمدت برای حفظ شرایط رضایت‌بخش تماشای آسمان در شب، اعمال شود. برای چنین طرح‌هایی باید به دستورالعمل‌های موجود در استاندارد CIE 001 مراجعه شود.

بیشتر نوری که به صورت مستقیم از چراغ‌های نزدیک یا بالای سطح افقی منتشر می‌شود موجب برافروختگی آسمان می‌شود. این حالت را می‌توان با محدود کردن نسبت نور رو به بالا (ULR) چراغ، کنترل نمود. ULR یک پارامتر چراغ است که برای نصب یا زاویه کج شدن واقعی چراغ تعریف شده است. اگر سازندگان چراغ، مقدار (مقادیر) ULR چراغ را برای مناسب‌ترین موقعیت نصب در دسترس قرار دهند، انتخاب چراغ‌های مناسب برای نصب واقعی و با کنترل نور رو به بالا تسهیل می‌شود.

در حالی که ULR شار نوری رو به بالای مستقیم منتشر شده از لامپ را در نظر می‌گیرد، نور منعکس شده از سطحی که با چراغ‌ها روشن می‌شود را در نظر نمی‌گیرد. بدین منظور می‌بایست از نسبت شار رو به بالا (UFR) استفاده کرد.

همان طور که قبلا ذکر شد، نور منتشر شده درست بالای افق در ناحیه‌ای بین ۹۰ درجه و ۱۱۰ درجه برای برافروختگی آسمان در اطراف رصدخانه بسیار مهم است. بنابراین، در اطراف رصدخانه‌ها، شدت نور در ناحیه بین ۹۰ درجه و ۱۱۰ درجه ($I_{90^\circ-110^\circ}$) و همچنین ULR و UFR باید محدود شوند.

۱۱-۲-۳- تفکیک حوزه‌های محیطی

حوزه‌های محیطی از نظر روشنایی مطابق جدول ۱۱-۱ دسته‌بندی می‌گردند[۶۶].

جدول ۱۱-۱: دسته‌بندی حوزه‌های محیطی

حوزه	محیط روشنایی	مثال‌ها
E0	به طور طبیعی تاریک	مکان‌های رزرو شده برای حفظ کیفیت آسمان شب و دسترسی به نور ستاره یونسکو[۱]، پارک‌های آسمان تاریک IDA[۲]، رصدخانه‌های نوری بزرگ
E1	تاریک	مناطق روستایی نسبتا خالی از سکنه
E2	منطقه دارای روشنایی پایین	مناطق روستایی کم جمعیت
E3	منطقه دارای روشنایی متوسط	سکونتگاه‌های روستایی و شهری با سکونت خوب
E4	منطقه دارای روشنایی بالا	مراکز شهری و نواحی تجاری
نکته: صرف نظر از توسعه شهری، توصیه‌های مربوط به حوزه‌های یک یا صفر زیست محیطی باید برای همه مکان‌هایی که در ۱۰۰ کیلومتری یک رصدخانه نوری بزرگ قرار دارند، رعایت شود. صرف نظر از توسعه شهری، توصیه‌های مربوط به حوزه زیست محیطی ۲ (یا بهتر) باید برای مکان‌هایی در ۳۰ کیلومتری یک رصدخانه نوری شهری و برای مکان‌های بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر از یک رصدخانه بزرگ نوری رعایت شوند.		

۱۱-۲-۴- محدوده پارامترهای فنی جهت کنترل نور مزاحم

۱۱-۲-۴-۱- محدودیت شدت روشنایی عمودی در املاک مجاور

این محدودیت برای سطوحی از منازل مجاور که دارای پنجره می‌باشند و یا مناطقی که قابلیت ساخت و ساز دارند، اعمال می‌شود. مقادیر محدودیت در جدول ۱۱-۲ نشان داده شده که این مقادیر مجموع حاصل از تمام تاسیسات روشنایی را در نظر می‌گیرند[۶۶].

جدول ۱۱-۲: مقادیر حداکثر شدت روشنایی عمودی در املاک مجاور

پارامتر فنی نور	شرایط استفاده	شدت روشنایی حوزه‌های محیطی(لوکس)				
		E0	E1	E2	E3	E4
شدت روشنایی در صفحه عمودی (E_V)	قبل از خاموشی	n/a	۲	۵	۱۰	۲۵
	بعد از خاموشی	n/a	کمتر از ۰٫۱*	۱	۲	۵
* اگر تاسیسات برای روشنایی عمومی (راه) باشد، این مقدار ممکن است تا ۱ لوکس افزایش یابد.						

[۱] UNESCO Starlight Reserves

[۲] IDA Dark Sky Parks

۱۱-۲-۴-۲- محدودیت شدت نور چراغ‌های روشن واقع در حوزه دید

محدودیت شدت روشنایی چراغ‌های روشن به فاصله بین ناظر و منبع تابش نور(d) و ناحیه پیش‌بینی شده، A_p، یا همان بخش روشن چراغ در جهت ناظر بستگی دارد. جدول ۱۱-۳ حداکثر مقادیر شدت نور چراغ‌ها را در جهات تعیین شده نشان می‌دهد که در آن، سطح نورانی چراغ‌ها از املاک مجاور به طور مستمر رویت گردیده و ممکن است منجر به ایجاد مشکل برای ساکنین آن گردند[۶۶].

جدول ۱۱-۳: حداکثر مقادیر مجاز شدت نور چراغ‌ها، تابیده شده به پنجره املاک مجاور

پارامتر فنی نور	شرایط استفاده	گروه چراغ (ناحیه پیش‌بینی شده A_P با واحد m^2)				
		$0 < A_P \leq 0.002$	$0.002 < A_P \leq 0.01$	$0.01 < A_P \leq 0.03$	$0.03 < A_P \leq 0.13$	$0.13 < A_P \leq 0.50$
حداکثر مقدار شدت نور پخش شده از چراغ (I با واحد Cd)	حوزه محیطی E0					
	قبل از خاموشی:	۰	۰	۰	۰	۰
	بعد از خاموشی	۰	۰	۰	۰	۰
	حوزه محیطی E1					
	قبل از خاموشی:	۰٫۲۹ d	۰٫۶۳ d	۱٫۳ d	۲٫۵ d	۵٫۱ d
	بعد از خاموشی:	۰	۰	۰	۰	۰
	حوزه محیطی E2					
	قبل از خاموشی:	۰٫۵۷ d	۱٫۳ d	۲٫۵ d	۵٫۰ d	۱۰ d
	بعد از خاموشی:	۰٫۲۹ d	.٫۶۳ d	۱٫۳ d	۲٫۵ d	۵٫۱ d
	حوزه محیطی E3					
	قبل از خاموشی:	۰٫۸۶ d	۱٫۹ d	۳٫۸ d	۷٫۵ d	۱۵ d
	بعد از خاموشی:	.٫۲۹ d	۰٫۶۳ d	۱٫۳ d	۲٫۵ d	۵٫۱d
	حوزه محیطی E4					
	قبل از خاموشی:	۱٫۴ d	۳٫۱ d	۶٫۳ d	۱۳ d	۲۶ d
	بعد از خاموشی:	۰٫۲۹ d	.٫۶۳ d	۱٫۳ d	۲٫۵ d	۵٫۱ d

نکته: d فاصله بین ناظر و منبع تابش نور برحسب متر است.

نکته: شدت نور صفر کاندل را فقط می‌توان توسط یک لامپ با خاموشی کامل در جهت‌های مورد نظر تحقق بخشید.

۱۱-۲-۴-۳- محدودیت اثرات بر سیستم‌های حمل و نقل

محدودیت‌ها در مواردی اعمال می‌شوند که کاربران سیستم‌های حمل و نقل در معرض کاهش قابلیت دید اطلاعات ضروری، قرار می‌گیرند. جدول ۱۱-۴ مقادیری را نشان می‌دهد که برای موقعیت‌های مربوطه و برای جهت‌ها در مسیر سفر می‌باشند[۶۶].

جدول ۱۱-۴: حداکثر مقادیر آستانه افزایش و درخشندگی خیرگی از تاسیسات روشنایی غیرجاده‌ای

پارامتر فنی نور	طبقه‌بندی راه			
	بدون روشنایی	درخشندگی کم	درخشندگی متوسط	درخشندگی زیاد
درخشندگی خیرگی* (L_V)	۰٫۰۳۷ cd/m^2	۰٫۲۳ cd/m^2	۰٫۴ cd/m^2	۰٫۸۴ cd/m^2
آستانه افزایش	۱۵٪ بر اساس درخشندگی سازگاری ۰٫۱ cd/m^2	۱۵٪ بر اساس درخشندگی سازگاری ۱ cd/m^2	۱۵٪ بر اساس درخشندگی سازگاری ۲ cd/m^2	۱۵٪ بر اساس درخشندگی سازگاری ۵ cd/m^2
* مقادیر درخشندگی خیرگی مشخص شده در این جدول بر اساس مقدار مجاز آستانه افزایش ۱۵٪ است.				

۱۱-۲-۴-۴- محدودیت اثرات نماها و تابلوهای ساختمان روشن

در روشنایی شهری، بررسی و تعیین مناسب مقادیر درخشندگی که دید را فراهم می‌کند، مهم است. هنگامی که چنین عواملی رعایت نشوند سطح روشنایی افزایش می‌یابد و این افزایش سطوح روشنایی اغلب می‌تواند اثرات منفی زیر را ایجاد نماید:

- افزایش مداوم سطوح روشنایی؛
- افزایش مصرف انرژی؛
- آلودگی نوری؛
- افزایش هزینه‌های تولید و استفاده از روشنایی.

جدول ۱۱-۵: حداکثر مقادیر مجاز درخشندگی متوسط سطح[۶۶]

پارامتر فنی نور	شرایط کاربرد	حوزه‌های محیطی				
		E0	E1	E2	E3	E4
درخشندگی نمای ساختمان (L_b)	به صورت حاصل ضرب میانگین روشنایی و قابلیت انعکاس طرح تقسیم بر π در نظر گرفته می‌شود.	کمتر از ۰٫۱ cd/m^2	کمتر از ۰٫۱ cd/m^2	۵ cd/m^2	۱۰ cd/m^2	۲۵ cd/m^2
درخشندگی تابلوها (L_s)	به صورت حاصل ضرب میانگین روشنایی و قابلیت انعکاس طرح تقسیم بر π یا برای تابلوهای خویش‌تاب، میانگین درخشندگی در نظر گرفته می‌شود.	کمتر از ۰٫۱ cd/m^2	۵۰ cd/m^2	۴۰۰ cd/m^2	۸۰۰ cd/m^2	۱۰۰۰ cd/m^2
مقادیر برای قبل و بعد از خاموشی اعمال می‌شود، با این تفاوت که در حوزه‌های صفر و یک، مقادیر پس از خاموشی باید صفر باشد. مقادیر مربوط به تابلوها برای اهداف کنترل ترافیک اعمال نمی‌شود.						

۱۱-۳- برافروختگی آسمان

روشنایی آسمان در شب که ناشی از انعکاس نور تابیده شده (نور مرئی و نامرئی) بوده و از طریق اجزای تشکیل دهنده اتمسفر (مولکول‌های گاز، مواد ذره‌ای و ذرات معلق در هوا) در جهت دید پخش می‌گردد، برافروختگی آسمان نامیده می‌شود. برافروختگی آسمان که مشتمل بر دو بخش طبیعی و مصنوعی است، باعث می‌گردد تا در کار رصدخانه‌های نجومی اختلال ایجاد گردد[۶۷].

۱۱-۳-۱- برافروختگی طبیعی آسمان

قسمتی از برافروختگی طبیعی آسمان مربوط به تابش نور از ستارگان بوده و قسمتی دیگر ناشی از فرایند تولید نور در دماهای پایینی است که در لایه‌های بالاتر اتمسفر ایجاد می‌گردد. قسمت سوم از برافروختگی طبیعی آسمان ناشی از نور پراکنده شده خورشید توسط ذرات معلق موجود در فضای خارج از جو زمین است که به نور دایره‌البروج معروف است. مجموعه این نورها به صورت نور پس‌زمینه در تلسکوپ‌ها ظاهر شده و موجب اخلال در کار رصد آسمان می‌گردد.

۱۱-۳-۲- برافروختگی مصنوعی آسمان

برافروختگی مصنوعی قسمتی از برافروختگی آسمان بوده که از تابش مستقیم منابع مصنوعی نور (همانند روشنایی بیرونی) به سمت بالا و یا انعکاس نور از سطح زمین رو به بالا ناشی می‌گردد.

نوری که برافروختگی مصنوعی را ایجاد می‌کند به مجموعه نورهای ایجاد کننده برافروختگی طبیعی اضافه می‌شود و باعث افزایش نور پس‌زمینه تلسکوپ‌ها و در نتیجه اخلال بیشتر در کار رصدخانه‌ها می‌گردد. در طی دهه‌های گذشته، در اکثر نواحی شهری، افزایش بسیار وسیعی در روشنایی بیرونی رخ داده که موجب افزایش سهم این برافروختگی در میزان برافروختگی آسمان در اطراف این شهرها گردیده است. به همین دلیل و به منظور کاستن از میزان مزاحمت نوری برای رصدخانه‌های نجومی، دستورالعمل‌هایی پیشنهاد گردیده تا میزان برافروختگی مصنوعی آسمان کاهش یافته و محدود گردد. در این خصوص، انجمن بین المللی نجوم (IAU) توصیه نموده که برافروختگی مصنوعی آسمان روی بهترین سایت‌های رصدی، زیر ۱۰ درصد میزان طبیعی نگه داشته شود. میزان برافروختگی مصنوعی علاوه بر میزان نور به طول موج آن نیز بستگی دارد. این طول موج تابعی از نوع عناصر بکار گرفته شده در منابع نوری می‌باشد، به همین دلیل انتخاب نوع منبع نور یکی از راه‌های کاهش یا کنترل برافروختگی مصنوعی آسمان می‌باشد[۶۷].

۱۱-۳-۳- عوامل برافروختگی مصنوعی آسمان

برافروختگی مصنوعی آسمان شب نتیجه نوری است که به بالا تابیده و سپس به سمت سطح زمین پخش می‌گردد. دلیل آنکه نورهای مصنوعی در آسمان پخش می‌شوند، وجود اتمسفر زمین است. هر مولکول یا ذره خاک یا ذرات معلق در هوا که در مسیر پرتوهای نور مصنوعی ساطع شده از زمین قرار دارند موجب تغییر مسیر نور شده و آن را بر زوایه دید تلسکوپ رصدخانه می‌فرستند.

منابع اصلی نورهای پراکنده که برای رصدهای نجومی مزاحمت ایجاد می‌کنند عبارتند از:

الف- تابلوهای تبلیغاتی؛

ب- روشنایی محوطه‌ای مراکز خرید، پارکینگ‌ها، ایستگاه‌های راه‌آهن و غیره؛

ج- نور افکن‌های ساختمان‌ها، بناهای یادبود و آثار تاریخی؛

د- روشنایی آگهی‌نماها؛

هـ- روشنایی گلخانه‌ها؛

و- روشنایی اماکن صنعتی، فرودگاه‌ها و غیره؛

ز- روشنایی مراکز ورزشی؛

ح- روشنایی راه‌ها و خیابان‌ها.

۱۱-۳-۴- تخمین آلودگی نوری مصنوعی شهرها

با توجه به اینکه آلودگی نوری مصنوعی، متناسب با جمعیت شهری بوده و در حد ۱۰٪ نیز برای برافروختگی مصنوعی از طرف IAU تعریف گردیده است، معیاری جهت تعیین حد احتمال ایجاد مشکل برای رصدخانه توسط شهرهای مجاور پیشنهاد می‌گردد[۶۸].

در بدست آوردن این معیار، سرانه شدت نور در روشنایی راه‌ها ۵۰۰ لومن به ازای هر نفر از ساکنین شهر در نظر گرفته شده است. البته باید توجه نمود که در شهرهای کوچک سرانه نور به ازای هر نفر کمتر از شهرهای بزرگ است[۶۸].

جدول ۱۱-۶: حداقل فاصله مجاز شهر از محل رصدخانه

جمعت شهر (نفر)	۳,۲۰۰	۳۱,۰۰۰	۱۸۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰
فاصله مستقیم شهر از محل رصدخانه (Km)	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰

۱۱-۳-۵- معیارهای محدود نمودن برافروختگی مصنوعی آسمان

جدول ۱۱-۷ حداکثر مقادیر نور رو به بالا (ULR) چراغ‌ها را بدون در نظر گرفتن تاثیر نور منعکس شده به سمت بالا از زمین که به برافروختگی آسمان کمک می‌کند، مشخص می‌نماید. این روش سنتی برای محدود کردن برافروختگی آسمان و مقایسه چراغ‌های تکی مختلف مناسب است[۶۶].

جدول ۱۱-۸ تاثیر اجزای مستقیم و منعکس شده به سمت بالای یک تاسیسات را در نظر گرفته است. در اینجا پارامتر محدودکننده، نسبت شار رو به بالا (UFR) است. پیشنهاد می‌شود که از جدول ۱۱-۸ برای تمام تاسیسات متشکل از چهار چراغ یا بیشتر استفاده شود[۶۶].

همان طور که قبلا ذکر گردید، نور ساطع شده درست بالای افق و در ناحیه بین ۹۰ درجه تا ۱۱۰ درجه برای برافروختگی آسمان در نواحی اطراف رصدخانه‌ها بسیار حیاتی است. بنابراین، به عنوان یک شرط اضافی برای ULR یا UFR در این مناطق، شدت نور در این مناطق بحرانی (۹۰ تا ۱۱۰ درجه) باید به شرح ذیل محدود شود[۶۶]:

- بین ۹۰ تا ۱۰۰ درجه: کمتر از $0.5\ cd/1000\ lm$
- بین ۱۰۰ تا ۱۱۰ درجه: $0\ cd/1000\ lm$.

جدول ۱۱-۷: حداکثر مقدار **ULR** چراغ‌ها

پارامتر فنی نور	حوزه‌های محیطی				
	E0	E1	E2	E3	E4
ULR / %	۰	۰	۲٫۵	۵	۱۵

جدول ۱۱-۸: حداکثر مقدار **UFR** تاسیسات (برای چهار چراغ یا بیشتر)

پارامتر فنی نور	نوع تاسیسات	حوزه‌های محیطی				
		E0	**E1**	**E2**	**E3**	**E4**
UFR / %	جاده‌ای	n/a	۲	۵	۸	۱۲
	رفاهی	n/a	n/a	۶	۱۲	۳۵
	ورزشی	n/a	n/a	۲	۶	۱۵

۱۱-۳-۶- تدابیر اصلاحی برای محدود نمودن برافروختگی مصنوعی

بهترین راه برای پرهیز از ایجاد اختلال در مشاهدات نجومی یا حداقل کاهش آن، پرهیز از روشنایی‌های غیرضروری است. مقدار نورهای مزاحم ناشی از تاسیساتی که وجود آن‌ها ضروری می‌باشد را نیز می‌توان توسط چند راه حل اصلاحی کاهش داد.

۱۱-۳-۶-۱- خاموشی

به غیر از سیستم روشنایی راه‌ها، خاموش نمودن سایر نورهایی که دیگر احتیاجی به آن‌ها نباشد، پس از زمان خاموشی الزامی است. در مواردی که پس از زمان خاموشی نیاز به وجود روشنایی باشد، می‌توان از چراغ‌های چند لامپه استفاده کرده و پس از زمان مزبور تعدادی از لامپ‌ها را خاموش کرد.

۱۱-۳-۶-۲- استفاده از نورهای تک رنگ

یکی از موثرترین راه‌ها برای کاهش مزاحمت نوری، استفاده از منابع نوری تک‌رنگ می‌باشد. در این صورت محدوده‌های دیگر طیفی تحت تاثیر قرار نمی‌گیرند. راندمان لامپ‌های تک‌رنگ یکی از بالاترین راندمان‌ها در بین لامپ‌های موجود بوده و به‌کارگیری آنها در نزدیکی رصدخانه‌های نجومی توصیه می‌گردد. با این وجود به دلیل تک‌رنگ بودن، استفاده از این لامپ‌ها برای همه انواع راه‌ها بخصوص درون شهری عملی نمی‌باشد.

۱۱-۳-۶-۳- فیلترینگ نور

اکثر منابع نوری هم در داخل و هم در خارج از محدوده مرئی، نور منتشر می‌کنند. امواج خارج از طیف مرئی ارزشی برای روشنایی خیابانی نداشته و تنها برای کار ستاره‌شناسان مضر است. طول موج‌های کوتاه‌تر نور به شکل شدیدتری توسط جو پراکنده می‌شوند و بنابراین بر کار رصد تاثیر شدیدتری می‌گذارند. به همین دلیل فیلترهایی موجودند که طول موج‌های کوتاه‌تر از ۴۴۰ نانومتر را فیلتر می‌کنند. این کار برای لامپ‌های بخار جیوه، متال هالید و فلورسنت لازم است، اما برای لامپ‌های رشته‌ای، سدیم کم‌فشار و سدیم پرفشار نیاز نیست.

از طرف دیگر در محدوده نوری، نور ناشی از لامپ‌های بخار سدیم کم‌فشار به طور کلی به دو دسته خطوط طیفی نزدیک به هم، یعنی خطوط D سدیم[۱] محدود می‌شوند که بر خطوط خودبرافروختگی شدید آسمان منطبق می‌باشند. از آنجا که خطوط خودبرافروختگی آسمان هم قوی و هم متغیر هستند، لذا در صورتی که نور تابیده شده به آسمان ناشی از نور خطوط D سدیم، از حداقل خودبرافروختگی طبیعی آسمان تجاوز نکند، حساسیت رصدهای نجومی به طور جدی تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد. بنابر این در روشنایی راه‌هایی که نتوان از لامپ‌های بخار سدیم کم‌فشار استفاده کرد، فیلتر نمودن تشعشعات نزدیک به کرانه‌های بالا و پایین گستره طیف مرئی می‌تواند موجب کاهش مزاحمت‌های نوری در اطراف رصدخانه‌ها گردد.

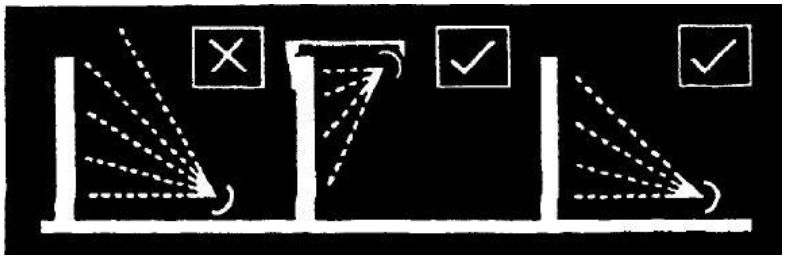
۱۱-۳-۶-۴- کنترل نور

کاهش نورهای پخش‌شده چراغ، از طریق کنترل نحوه توزیع نور آن باعث می‌گردد که از پخش نورهای تابیده شده در بالای سطح افق جلوگیری شود. بدین منظور تعبیه حفاظ بر روی چراغ‌ها یکی از راهکارهای مناسب می‌باشد. این حفاظ باید به گونه‌ای باشد که لبه‌های آن هم‌سطح لامپ یا پایین‌تر از آن باشد. استفاده از چراغ‌های روشنایی راه با حباب تخت و یا با مشخصه G4 تا G6 (full-cut-off) نیز می‌تواند چنین نیازی را برآورده سازد.

۱۱-۳-۷- توصیه‌هایی برای روشنایی بیرونی در اطراف رصدخانه‌ها

در مورد همه انواع روشنایی‌های بیرونی به جز راه‌ها و مناطق امنیتی، سودمندی و جذابیت آنها تنها به مدت کوتاهی از شب و آن هم به اول شب محدود می‌گردد. بنابراین بعد از زمان خاموشی که بین ساعات ۲۳ الی ۶ صبح روز بعد می‌باشد، این نوع روشنایی‌ها که عمدتا مشتمل بر روشنایی تابلوهای تبلیغاتی و نورافکن‌های تزئینی است، می‌بایست خاموش گردند[۶۷].

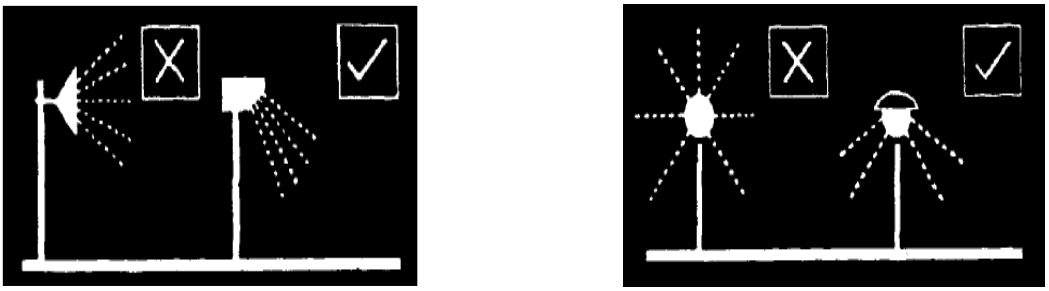
در نورپردازی‌های موضعی، برای روشن نمودن سطح مورد نظر، حتی‌المقدور از نور مستقیمی که از بالا به پایین می‌تابد استفاده شود نه نوری که از پایین به سمت هدف تابانیده می‌شود. در صورت نبود راه حل جایگزین برای روشنایی رو به بالا، استفاده از حفاظ و تیغه نورگیر لامپ موجب حداقل شدن نور پخش شده می‌گردد (شکل ۱۱-۱).



شکل ۱۱-۱: استفاده از حفاظ و تیغه نورگیر لامپ به منظور حداقل نمودن نور پخش شده

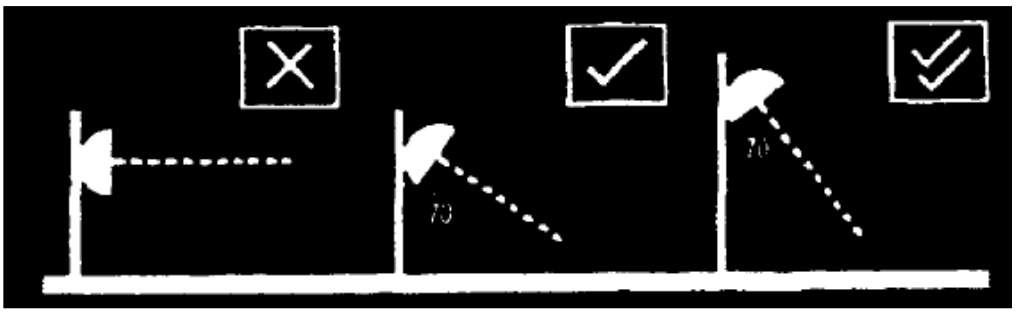
[۱] Sodium D-lines

در روشنایی بیرونی، می‌بایست از تجهیزات روشنایی که به طور خاص برای آن کار و محل طراحی شده باشند، استفاده شود تا نورهای پراکنده شده در بالای سطح افق کاهش یابد (شکل ۱۱-۲).



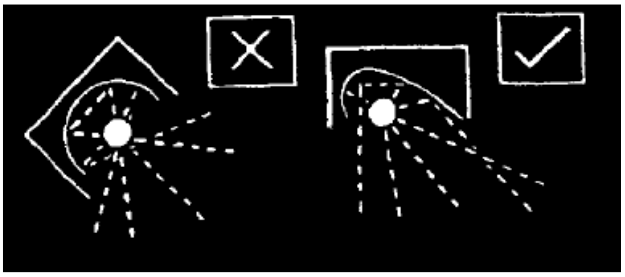
شکل ۱۱-۲: استفاده از تجهیزات روشنایی خاص به منظور کاهش نور پراکنده شده

دقت شود که از روشنایی بیش از حد نیاز استفاده نشود، زیرا عامل آلودگی نوری و هدر رفتن سرمایه است. برای داشتن حداقل خیرگی، باید اطمینان حاصل شود که زاویه هر اشعه نوری تابیده شده از چراغ که به طور مستقیم به یک ناظر فرضی می‌رسد زیر ۷۰ درجه باشد. بدین منظور یکی از راهکارها، افزایش ارتفاع نصب بوده که باعث کاهش زاویه تابش می‌گردد (شکل ۱۱-۳).



شکل ۱۱-۳: افزایش ارتفاع نصب به منظور کاهش نور پراکنده شده

و) در نورپردازی‌های موضعی سعی گردد تا از نورافکن‌های دارای پرتو نامتقارن استفاده شود زیرا رفلکتور داخلی آن‌ها نور را تقریبا به صورت دسته‌های موازی به سمت هدف تابانده و در نتیجه از پراکندگی نور در آسمان جلوگیری می‌شود(شکل ۱۱-۴).



شکل ۱۱-۴: استفاده از نورافکن‌های دارای پرتو نامتقارن

وسایل سرگرمی عمومی که در محیط‌های باز مستقر هستند نباید بعد از ساعت خاموشی روشن گردند مگر آنکه در حال استفاده باشند. روشنایی بیرونی ساختمان‌ها که به منظور تزیین آنها صورت پذیرفته و از نورافکن‌هایی رو به سمت بالا استفاده می‌کنند، باید بعد از ساعت خاموشی، خاموش گردند.

۱۱-۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل از ضابطه، مسائل مرتبط با آلودگی نوری مورد بررسی قرار گرفت. مطالبی که در این فصل پوشش داده شده شامل نور مزاحم و برافروختگی آسمان بود. برای پیشگیری از این مشکلات، محدودیت‌ها و پیشنهاداتی نیز ارائه شد.

فصل ۱۲

روشنایی بخش‌های خاص راه

مقدمه

در طراحی روشنایی راه، مناطقی همچون مراکز رفاهی بین راهی، راه‌های مجاور فرودگاه، راه‌آهن، بنادر و آب‌های قابل کشتیرانی، مناطق بستن و باز کردن زنجیر چرخ، مناطق کاری و گردنه‌های مه‌گیر نیاز به توجه دارند که در این فصل از ضابطه نکات لازم برای این موارد ذکر شده است.

۱۲-۱- شرایط تامین روشنایی برای مراکز رفاهی بین راهی

انواع مختلفی از امکانات کنار جاده‌ای وجود دارند که می‌توانند از روشنایی راه بهره‌مند گردند. این مکان‌ها شامل مکان‌های استراحت، بخش‌های پارک‌سوار، مراکز استقبال و مکان‌های تاریخی یا فرهنگی می‌باشند. استفاده از روشنایی می‌تواند موجب افزایش ایمنی و فراهم نمودن محیطی دلپذیر گردد.

در مراکز رفاهی بین راهی، تسهیلات مورد نیاز مسافران همچون محل‌هایی برای استراحت و گردش ارائه می‌شود. طبیعتا در این مراکز وسایل نقلیه و عابرین پیاده حضور دارند و یکی از ویژگی‌های مهم بزرگراه برای مسافران محسوب می‌شود. این امکانات به صورت شبانه‌روزی در اختیار عموم قرار دارند و ظاهر عمومی آن‌ها باید موجب ایجاد احساس امنیت و اطمینان در کاربران شود. این شرایط تنها زمانی فراهم می‌گردد که اماکن به اندازه کافی برای استفاده در شب روشن باشند. ممکن است برای همه و یا بخشی از فضای استراحت که در آن تاریکی خوشایند است، مانند مکان‌های خواب، مکان‌هایی برای لذت بردن از محیط شب در طبیعت یا روستا، استثناهایی در نظر گرفته شوند. طراحی درست سیستم‌های روشنایی در این مکان‌ها، موجب تقویت مشخصات معماری و چشم‌انداز آنها شده و با ایجاد سهولت در امر کنترل و نظارت پلیس موجب افزایش امنیت و آرامش راننده می‌شود[۵].

۱۲-۱-۱- شرایط تامین روشنایی

هر مرکز رفاهی و خوش‌آمدگویی که تسهیلات رفاهی کاملی را ارائه می‌نماید باید دارای روشنایی باشد.

۱۲-۱-۲- مقادیر طراحی

به منظور طراحی سیستم روشنایی، این مناطق به نواحی مختلفی مانند ورودی و خروجی، راه‌های داخلی، نواحی پارکینگ، نواحی فعالیت و باندهای اصلی تقسیم می‌شوند. به هنگام طراحی باید روابط بین این نواحی را نیز در نظر گرفت.

مقادیر توصیه شده روشنایی در جدول ۱۲-۱ و جدول ۱۲-۲ آمده است. در جدول ۱۲-۱ مقادیر شدت روشنایی جزایر ترافیکی ورودی و خروجی و راه‌های داخلی برای سطح راه نوع R3 آورده شده است و اگر نوع سطح R1 باشد، مقادیر مربوطه تقریبا ۲۵ تا ۳۰ درصد کاهش می‌یابند. در جدول ۱۲-۲ نیز نسبت‌های یکنواختی، حداکثر مقدار مجاز می‌باشند و نسبت‌های پایین‌تر، یکنواختی بهتری را فراهم آورده و مطلوب می‌باشند. لازم به ذکر است که در هر دو جدول مذکور،

منطقه، حومه شهر فرض شده و برای مناطق شهری باید از جدول ۴-۴ بهره گرفت[۵]. مقادیر پیشنهادی در این بخش، مقادیر متوسط می‌باشند.

جدول ۱۲-۱: سطوح روشنایی متوسط حفظ شده برای مناطق استراحت

مکان	فوت کاندل	لوکس	نسبت یکنواختی
خطوط ورودی و خروجی و خط اصلی	۰٫۶	۶	۴:۱
راه‌های داخلی	۰٫۶	۶	۴:۱
نواحی پارکینگ	۱	۱۱	۴:۱
نواحی فعالیت:			
اصلی	۱	۱۱	۴:۱
فرعی	۰٫۵	۵	۶:۱

جدول ۱۲-۲: سطوح درخشندگی حفظ شده برای مناطق استراحت

مکان	L_{avg}		یکنواختی	نسبت درخشندگی خیرگی
	cd/m^2	L_{avg}/L_{min}	L_{max}/L_{min}	$Lv_{(max)}/L_{avg}$
جزایر ترافیکی ورودی و خروجی	۰٫۴	۳٫۵ : ۱	۶:۱	۰٫۳ :۱
جاده‌های ورودی	۰٫۴	۳٫۵ : ۱	۶:۱	۰٫۳ :۱
نواحی پارکینگ و نواحی فعالیت	از روش شدت روشنایی استفاده شود.			

۱۲-۱-۳- ورودی و خروجی

ورودی‌ها و خروجی‌ها به صورت باندهای کاهش و افزایش سرعت در کنار راه اصلی تعریف می‌شوند که از جزایر ترافیکی منشعب شده یا به آنها منتهی می‌شوند.

باندهای ورودی و خروجی باید طوری روشن شوند که راننده‌ای که قصد ورود به مرکز رفاهی و یا خروج از آن را دارد، بتواند به طور ایمن از راه اصلی خارج شده و یا بالعکس به آن وارد شود.

در طول باند کاهش سرعت، روشنایی باید تامین گردد. جزیره ترافیکی بین باند کاهش سرعت و شروع راه داخلی، باید دارای مقدار متوسط شدت روشنایی ۰٫۶ فوت کاندل (۶ لوکس) و یا درخشندگی ۰٫۴ کاندل بر مترمربع باشد. این امر بر مبنای استفاده از ۳ تا ۵ چراغ روشنایی در طول باندهای تغییر سرعت می‌باشد[۵].

به طور مشابه در خروجی‌ها، در جزیره ترافیکی خروجی، متوسط شدت روشنایی باید ۰٫۶ فوت کاندل (۶ لوکس) و یا درخشندگی ۰٫۴ کاندل بر مترمربع باشد[۵].

چنان‌چه راه اصلی در خارج از محدوده مرکز رفاهی دارای روشنایی پیوسته باشد، باندهای کاهش و افزایش سرعت، باید دارای سطوح روشنایی مشابه راه اصلی باشند.

۱۲-۱-۴- راه‌های داخلی

به راه‌هایی که بین جزیره ترافیکی ورودی و نواحی پارکینگ و مرکز رفاهی تا خروجی واقع می‌شوند، راه‌های داخلی گفته می‌شود. در هنگام تامین روشنایی، توصیه می‌شود که متوسط شدت روشنایی ۰٫۶ فوت کاندل (۶ لوکس) و یا درخشندگی ۰٫۴ کاندل بر مترمربع باشد که این مقادیر برای جزایر ترافیکی هم صادق می‌باشند[۵].

۱۲-۱-۵- نواحی پارکینگ

روشنایی نواحی پارکینگ چه برای اتومبیل‌ها و چه برای کامیون‌ها باید به گونه‌ای باشد که یک راننده زمانی که در وسیله نقلیه خود است، بتواند ویژگی‌های ناحیه و نیز عابرین پیاده‌ای که در این نواحی تردد می‌کنند را تشخیص دهد. مقدار روشنایی متوسط ۱ فوت کاندل (۱۱ لوکس) با نسبت یکنواختی ۴ به ۱، باید برای کلیه امکانات پارکینگ در نظر گرفته شود[۵].

باید به نواحی خاص مانند سطوح شیب‌دار مخصوص عبور معلولین، ایستگاه سرویس‌های بهداشتی و دیگر مکان‌هایی که نیاز به جزئیات بیشتر دارند، توجه نمود. این کار را می‌توان با قرار دادن یک چراغ در مجاورت آن‌ها انجام داد تا به بیشترین قابلیت دید ممکن در این مکان‌ها دست یافت.

۱۲-۱-۶- نواحی فعالیت

نواحی فعالیت به نواحی گفته می‌شود که فقط جهت استفاده عابرین پیاده طراحی می‌شود. نواحی فعالیت اصلی شامل امکاناتی مانند استراحتگاه، مراکز اطلاع‌رسانی و همچنین پیاده‌روهای منتهی به این مکان‌ها و نیز پیاده‌روهای به سمت پارکینگ‌ها، می‌باشند.

نواحی فعالیت فرعی به نواحی مانند میزهای پیک‌نیک، مسیرهای عبور حیوانات خانگی و پیاده‌روها و تسهیلات مربوط به آنها گفته می‌شود.

توصیه می‌شود که پیاده‌روهای اطراف ساختمان‌ها و پیاده‌روهای اصلی منتهی به پارکینگ‌ها، دارای روشنایی متوسط ۱ فوت کاندل (۱۱ لوکس) با نسبت یکنواختی ۴ به ۱ باشند که متناسب با توصیه‌های ارائه شده جهت روشنایی پارکینگ‌ها می‌باشد[۵].

پیاده‌روهایی که به میزهای با سایبان، میزهای پیک‌نیک، مسیرهای عبور حیوانات و غیره ختم می‌شوند، باید دارای روشنایی متوسط ۰٫۵ فوت کاندل (۵ لوکس) و با نسبت یکنواختی ۶ به ۱ و یا بهتر باشند[۵].

۱۲-۱-۷- باندهای اصلی

روشنایی مناطق مجاور راه بدون روشنایی راه باعث ایجاد خیرگی آزاردهنده یا محدودکننده می‌شود. از آنجایی که تاسیسات کنار جاده‌ای جزئی از سیستم بزرگراه است، خیرگی باید کاهش یابد. بنابراین، به جز در مواردی که فضای

استراحت به اندازه کافی از باندهای اصلی فاصله داشته باشد یا از راه اصلی دید نداشته باشد، در بقیه موارد باندهای اصلی از طریق این نواحی باید روشن شوند تا از خیرگی نامطلوب برای رانندگان در باند اصلی جلوگیری شود.

۱۲-۲- اصول طراحی روشنایی راه‌های مجاور فرودگاه، راه‌آهن، بنادر و آب‌های قابل کشتیرانی

این بخش شامل توصیه‌هایی در مورد تامین روشنایی راه‌های مجاور فرودگاه‌ها، خطوط راه‌آهن، بنادر و آب‌های قابل کشتیرانی می‌باشد. طراحی و نصب صحیح سیستم روشنایی برای راه‌های مجاور این مناطق می‌تواند موجب استفاده ایمن از این مناطق گردد.

در زمان ارزیابی تاثیر تاسیسات روشنایی راه‌های جدید در مرحله طراحی، باید به تمام شیوه‌های حمل‌ونقلی که می‌توانند تحت تاثیر قرار گیرند، توجه شود. همچنین در مورد هر گونه شرایط ویژه‌ای که برای تاسیسات روشنایی راه جدید ضروری است، باید با مقامات مربوطه مشورت شود. مقررات باید به صورت متقابل قابل قبول بوده و برای ثبت در مرحله طراحی کاملا مستند باشند.

هر گونه روشنایی که با دید واضح و توانایی تشخیص سیگنال‌های اپراتورهای حمل‌ونقل تداخل داشته باشد، باید حذف شود. تداخل می‌تواند ناشی از شرایط زیر باشد:

- ✓ خیرگی محدود کننده ناشی از چراغ یا تاسیسات؛
- ✓ تغییرات کنتراست و نور منعکس شده؛
- ✓ یکسان بودن رنگ نور سیستم روشنایی راه با رنگ سیگنال‌های راهنمای اپراتورهای حمل و نقل در هنگام تعمیر یا عملکرد عادی.

به همین دلایل و جهت جلوگیری از بروز خطر، انتخاب و مکان‌یابی چراغ‌های روشنایی در این گونه راه‌ها باید با دقت انجام شود. در شرایطی که محدودسازی[۱] منبع نور ضروری است، باید با انتخاب چراغ مناسب به این هدف دست یافت. در صورت ضرورت استفاده از تیغه نورگیر لامپ/محدودکننده نور، این تجهیزات باید از نظر عملکرد با چراغ هماهنگ باشند[۱].

۱۲-۲-۱- روشنایی در مجاورت فرودگاه‌ها

یک فرودگاه به صورت منطقه‌ای از زمین یا آب که معمولا برای تامین امکانات نشست و برخاست هواپیما طراحی و تجهیز شده و می‌تواند شامل زمین، پشت بام ساختمان‌ها یا مکان‌های دیگری باشد، تعریف می‌شود. بر اساس مرجع [۶۹] یک سیستم روشنایی نامناسب راه در موارد زیر هواپیما را به خطر می‌اندازد:

- ✦ شدت نور چراغ روشنایی راه در جهتی که هواپیما به فرودگاه نزدیک می‌شود، باعث بروز خیرگی خلبان می‌شود.

[۱] Screening

- ✦ رنگ نور روشنایی اطراف فرودگاه (مثلا در علائم تبلیغاتی) با نورهای مربوط به علائم هواپیمایی از طرف خلبان اشتباه گرفته شود.
- ✦ آرایش نورهای سیستم روشنایی راه (مثلا یک ردیف از چراغ‌های خیابانی)، برای خلبانی که از بالا نگاه می‌کند، مشابه طرح روشنایی باند فرودگاه باشد.
- ✦ میزان شدت روشنایی سیستم نصب شده در راه، در موقع نزدیک شدن هواپیما به باند فرود، از میزان کارایی سیستم نوری که در فرودگاه برای هدایت هواپیماها قرار داده شده است، بکاهد. این اتفاق، به خصوص در شرایطی که امکان دید برای خلبان ضعیف است، روی می‌دهد.

۱۲-۲-۱-۱- ملاحظات طراحی

به دلیل اثری که روشنایی راه‌های مجاور فرودگاه بر بینایی خلبان می‌گذارد، ممکن است نصب این سیستم در راه‌های اطراف فرودگاه خطرساز باشد. به عنوان مثال در جایی که سیستم روشنایی در راه مجاور فرودگاه، در نزدیکی مسیر نزدیک شدن هواپیما به باند فرود قرار دارد، اگر امتداد راه با باند فرودگاه یکی باشد، ممکن است سیستم روشنایی راه، خلبان را به اشتباه بیاندازد.

در محل‌هایی هم که نور سیستم روشنایی راه به عنوان خطری برای پرواز هواپیماها محسوب می‌شود، می‌بایست با سامان‌دهی مجدد سیستم روشنایی موجود یا رنگ و شدت نور آن و نیز انجام اقداماتی جهت رویت‌ناپذیر بودن این سیستم، خطرات ناشی از نور آنها را حذف نمود.

هنگام طراحی روشنایی راه‌ها در مجاورت فرودگاه‌ها، طراحان روشنایی باید با اپراتور فرودگاه مربوطه مشورت کرده و نقشه‌های حفاظتی را تهیه نموده تا الزامات حفاظتی طرح مشخص گردد. طراحان روشنایی در راه‌های اطراف فرودگاه باید به هر یک از موارد زیر به طور جداگانه بپردازند و یک طرح روشنایی تهیه کنند که خطرات را شناسایی و به حداقل برساند:

الف) روشنایی راه در مجاورت فرودگاه‌ها با تاثیرگذاری بر تصویر بصری خلبان (مانند خیرگی محدودکننده یا آرایه‌های روشنایی گیج‌کننده) و ایجاد موانع فیزیکی در منطقه مانور هوایی در اطراف فرودگاه، می‌تواند مشکلاتی را برای ایمنی حرکت هواپیما در پی داشته باشد.

ب) طرح روشنایی راه می‌تواند به حرکت ایمن هواپیما آسیب وارد نماید. در شرایطی که یک فرودگاه دارای سیستم‌های ILS[۱] است، هنگام طراحی تاسیسات روشنایی باید به تجهیزات حسگر RVR[۲] توجه شود. روشنایی راه در مجاورت فرودگاه‌ها باید به گونه‌ای طراحی شود تا از تداخل تصویر بصری خلبان و تجهیزات RVR جلوگیری گردد.

---

[۱] Instrument Landing Systems

[۲] Runway Visual Range

در مورد تاسیسات روشنایی در مجاورت یک سایت نظامی نیز باید با مسئولین مربوطه مشورت شود. از آنجایی که برخی از فرودگاه‌های نظامی، عملیاتی شامل استفاده از عینک دید در شب را انجام می‌دهند، بنابراین به منظور غلبه بر خطر احتمالی اختلال در دید خلبان، ملاحظات طراحی لازم باید در نظر گرفته شود.

۱۲-۲-۱-۲- سطوح محدودیت موانع حفاظت شده

ناحیه‌ای را که در آن سازه‌های استفاده شده در طرح روشنایی، مانند پایه‌های روشنایی و دکل‌های بلند، ممکن است بر ایمنی استفاده از فرودگاه اثر بگذارند، نواحی یا سطوح محدودیت موانع (OLS[1]) نامیده می‌شوند. OLS مجموعه‌ای مرکب و سه بعدی است که به سمت بالا و خارج باند فرودگاه گسترش یافته است. OLS تمامی فرودگاه را شامل شده، اما در باند ویژه برخاستن و فرود آمدن هواپیما، محدودیت سازه‌ها بیشتر از بقیه نواحی است. در کل، طول OLS بین ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر است که متناسب با طول باند فرودگاه تغییر می‌کند[۱].

در هر فرودگاهی "مسیرهای نزدیک شدن هواپیما به باند فرود"، "مسیر جهش هواپیما برای بلند شدن" و "محل انتقال هواپیما" حساس‌تر هستند و در این مناطق نباید هیچ‌گونه اشتباهی روی دهد. به همین دلیل برای طراحی و اجرای روشنایی راه‌های اطراف فرودگاه، می‌بایست به کمک نقشه‌های ایمنی که توسط اپراتور فرودگاه تهیه می‌گردد، منطقه امن نزدیک فرودگاه را تعیین نمود و سپس با مشورت مسئول محلی طرح و/یا اپراتور فرودگاه این طرح را اجرا نمود.

ناحیه حفاظت شده به طور کلی ارتفاع سازه‌ها از جمله ارتفاع پایه‌ها یا دکل‌های روشنایی را نسبت به فاصله و جهت باند(ها) محدود نماید.

۱۲-۲-۲- روشنایی در مجاورت خطوط راه‌آهن

به دلیل گسترده بودن خطوط راه‌آهن و انحناهای آن نمی‌توان ناحیه خاصی را تعریف کرد که نصب سیستم روشنایی راه‌ها موجب کاهش ایمنی در آن گردد. در این میان اگر سیستم در ناحیه‌ای واقع شده باشد که ایمنی را به خطر بیاندازد، باید در مورد وجود آن با مسئول بخش مربوطه از خط راه‌آهن مشورت شود. به طور خاص توصیه‌های زیر باید رعایت شود:

- خروج نور در بالای خط "محدودیت کار" یک پل راه‌آهن که از بالای جاده عبور می‌کند، باید به حداقل برسد.
- پایه‌های روشنایی باید تا جایی که امکان دارد از پل راه‌آهن یا خط حصار مسیر راه‌آهن فاصله داشته باشند.
- خیرگی ناخواسته برای راننده قطار باید با استفاده از چراغ‌های مناسب یا محافظ به حداقل برسد.

در شرایطی که روشنایی راه‌ها موجب نفوذ نور به حریم راه‌آهن شده یا احتمال اشتباه گرفتن چراغ‌ها با سیگنال‌های راه‌آهن توسط راننده قطار وجود داشته باشد و یا تجهیزات روشنایی در معرض خطر سقوط بر ریل قرار گیرند باید با مقام مسئول راه‌آهن مشورت کرده و اقدامات مناسب انجام شود. همچنین وجود سیستم روشنایی راه‌ها در مجاورت خطوط

[1] Obstacle Limitation Surfaces

راه‌آهن باید به گونه‌ای باشد که میدان دید اپراتور خط را کاهش ندهد. علاوه بر این در زمان برنامه‌ریزی برای محل قرارگیری پایه‌های روشنایی در مجاورت خطوط راه‌آهن، طراحی باید به گونه‌ای باشد که هر گونه برخورد احتمالی قابل پیش‌بینی با یک پایه روشنایی در ترافیک جاده، خطری (ناشی از افتادن پایه روشنایی) را در راه‌آهن ایجاد نکند. در سیستم روشنایی مجاور خطوط راه‌آهن، رنگ نورهای استفاده شده نیز نباید مشابه رنگ‌هایی باشد که برای سیگنال‌های خطر استفاده می‌شوند[۱].

۱۲-۲-۳- روشنایی در مجاورت آب‌های ساحلی

سیستم‌های روشنایی راه‌ها در مجاورت مناطق ساحلی نباید به گونه‌ای طراحی شوند که با علائم نوری دریانوردی، راهنماهای شناور و چراغ ناوبری کشتی‌ها تداخل یابند و یا دید دریانوردان در شب را تحت تاثیر قرار دهند. در این مناطق برای طراحی و نصب سیستم‌های روشنایی باید با مسئولین ذیربط مذاکره و هماهنگی صورت پذیرد.

۱۲-۲-۴- روشنایی در مجاورت بنادر

سیستم‌های روشنایی در راه‌های مجاور بندرگاه‌ها باید طوری طراحی شوند که ایمنی استفاده از بندر را تحت تاثیر قرار ندهند. در این سیستم‌ها، نباید علائم و رنگ نورها مشابه نشانه‌های دریانوردی، چراغ‌های ناوبری کشتی‌ها و یا راهنماهای شناور استفاده گردد. همچنین این سیستم‌ها نباید دید دریانوردان در شب در نزدیکی بندر را تحت تاثیر قرار دهند. در خصوص طراحی، نصب و تعمیر و نگهداری سیستم‌های روشنایی راه‌های نزدیک بنادر و ترمینال‌ها نیز می‌بایست ضمن مشورت با مسئولان مربوطه، ملاحظات ویژه‌ای (مانند استفاده از پایه‌های روشنایی بلند) انجام شود.

۱۲-۲-۵- روشنایی در مجاورت آب‌های قابل کشتیرانی

اگر قرار است برای راهی که در مجاورت راه‌های آبی قابل کشتیرانی واقع شده است، سیستم روشنایی نصب شود، باید با مسئولین مربوطه در سازمان‌های زیربط همچون بنادر و کشتیرانی، محیط زیست و غیره مشورت شود.

در این سیستم‌ها نباید علائم و رنگ نورها مشابه با نشانه‌های دریانوردی، چراغ‌های ناوبری کشتی‌ها و یا راهنماهای شناور باشند. همچنین این سیستم‌ها نباید دید خدمه کشتی در شب را در طول عبور از راه آبی تحت تاثیر قرار دهند. به طور کلی، فاصله، زاویه و شدت روشنایی مجاور راه‌های آبی قابل کشتیرانی باید نیاز ناوبری ایمن کشتی‌ها را تامین کند[۱].

۱۲-۳- روشنایی مناطق بستن و باز کردن زنجیر چرخ

برای تمام نواحی مخصوص بستن زنجیر چرخ باید روشنایی در نظر گرفته شود. روشنایی لازم برای عابران پیاده‌ای که در کنار جاده و در مجاورت ترافیک عبوری در حال کار هستند باید تامین شود[۷۰].

۱۲-۳-۱- معیارهای روشنایی

سطوح روشنایی در صورتی که مقادیر محاسبه شده تا ۱۰٪ معیارها (جدول ۱۲-۳) و یا بیشتر از دو برابر معیارها نباشد، مطابق با معیارها در نظر گرفته می‌شود[۷۰].

جدول ۱۲-۳: پارامترهای روشنایی در مناطق بستن و باز کردن زنجیر چرخ

محل	شدت روشنایی متوسط (fc)	یکنواختی (متوسط: حداقل)
سطح زمین	۳	۲
عمودی (سمت شانه راه[۱])	۱	۲
عمودی (سمت راه)	۱	۲
عمودی (ترافیک روبه‌رو)	۲	۴

۱۲-۳-۲- پارامترهای تامین روشنایی

ارتفاع نصب: معمولا ۱۲-۹ متر (۳۰ تا ۴۰ فوت) برای چراغ‌های کشیده شده (بلندتر و سمت باند اصلی) و ۹-۶ متر (۲۰ تا ۳۰ فوت) برای چراغ‌های پایین (سمت شانه راه).

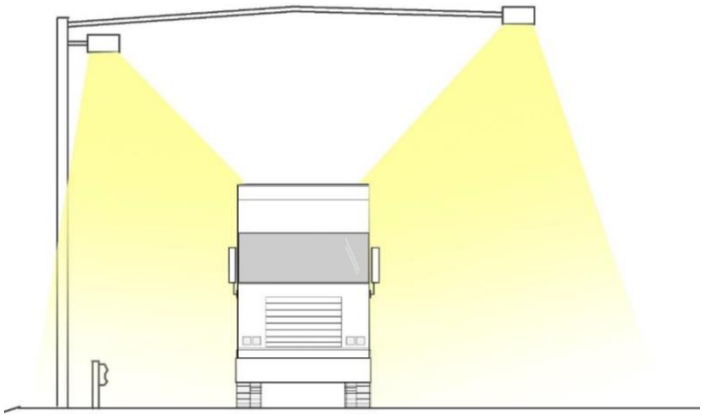
فاصله: یک چراغ استاندارد در مجموعه دو چراغی باید در هر جایگاه بستن زنجیرچرخ قرار گیرد. فاصله چراغ‌ها معمولا ۳۶ متر (۱۲۰ فوت) برای نشان دادن هر جایگاه ماشین است.

۱۲-۳-۳- ملاحظات خاص

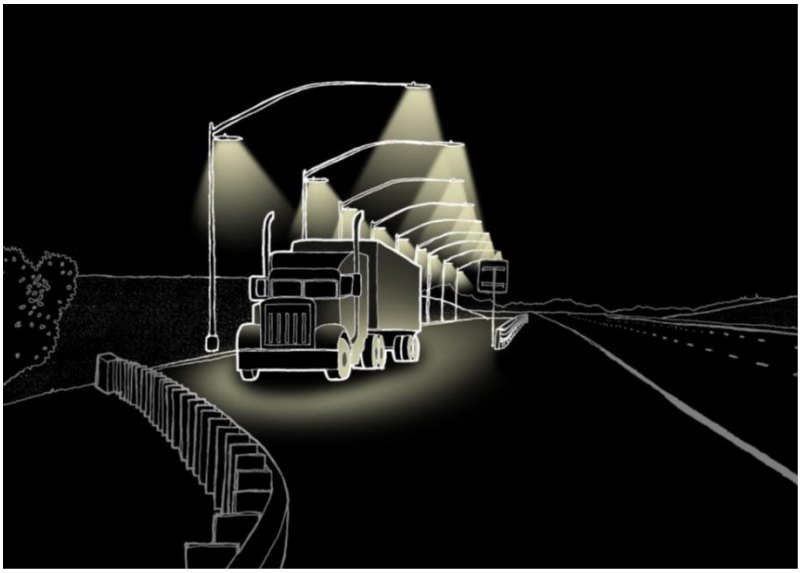
جایگاه‌های بستن زنجیر چرخ با دسترسی کنترل نشده خطر بیشتری را برای عابران پیاده در پی دارند. بنابراین روشنایی این نواحی باید جایگاه عابران پیاده‌ای را که روی ماشین‌های کنار جاده کار می‌کنند، روشن نماید. همان طور که در شکل ۱۲-۱ تا شکل ۱۲-۳ نشان داده شده است، باید دو چراغ در هر پایه برای هر دو طرف ماشین وجود داشته باشد. همچنین باید دقت شود تا خیرگی برای رانندگان در جاده مجاور به حداقل برسد. یک سیستم کنترل باید وجود داشته باشد تا در مواقعی که هوا برفی است و بستن زنجیر چرخ لازم است، این چراغ‌ها روشن شوند.

همچنین سیستم کنترل باید بتواند نور را کم کند (یا در صورت لزوم سطح نور را افزایش دهد) تا در شرایط بد آب و هوایی تابش نور ناشی از انعکاس برف یا مه به حداقل برسد[۷۰].

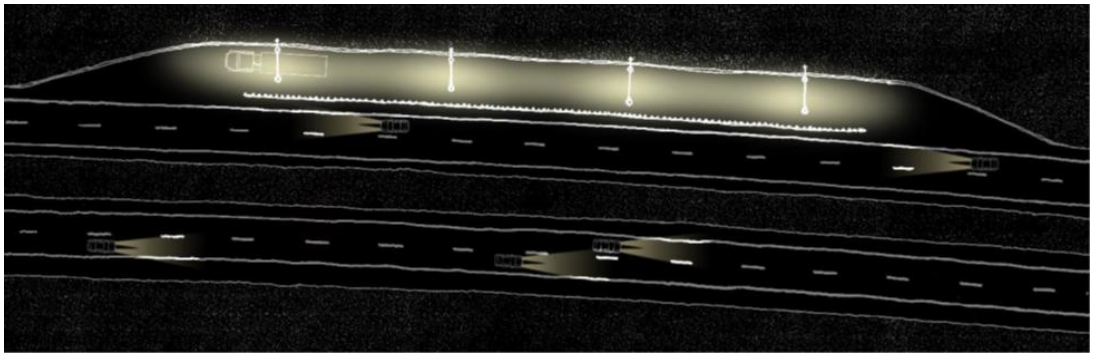
[۱] Facing Shoulder



شکل ۱۲-۱: طراحی روشنایی نمونه برای جایگاه بستن زنجیر چرخ



شکل ۱۲-۲: نمای ایزومتریک جایگاه بستن زنجیر چرخ



شکل ۱۲-۳: مشخصات طرح روشنایی جایگاه بستن زنجیر چرخ

۱۲-۴- روشنایی موقت در منطقه کاری

ایمنی در مناطق کاری، برای مقامات راه از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. مناطق کاری معمولا دارای مسیرهای انحرافی، شانه راه کم عرض، عرض باند کاهش یافته، حاشیه ایمن راه محدود شده، تغییر مسیرهای غیرمعمول، علامت‌گذاری‌های موقت روی سطح راه، سنگفرش ناصاف، ترافیک یک‌طرفه متناوب و بسیاری شرایط دیگر هستند که هدایت و اداره آنها را مشکل‌تر از قسمت‌های کامل شده راه می‌کند.

روشنایی راه می‌تواند یک ابزار موثر و خاص در مناطق کاری باشد. روشنایی می‌تواند با کاهش خیرگی از طریق کاهش منابع نوری دیگر، اطلاعات اضافی در ارتباط با دید و نیز اطلاعات اضافی مکانی را برای دیگر وسایل نقلیه فراهم آورد.

روشنایی موقت، در صورت استفاده، باید با برنامه کنترل ترافیک ترکیب شود. راهنمای بیشتر در NCHRP Report 498 موجود می‌باشد[۵].

۱۲-۴-۱- هزینه

به طور کلی نسبت سود-هزینه برای روشنایی موقت راه‌ها بسیار بالاست. هزینه‌ها مشابه روشنایی دائم می‌باشند. هزینه‌های برنامه‌ریزی شده برای روشنایی موقت باید مطابق با مدت زمانی باشند که ساخت و ساز طول می‌کشد.

۱۲-۴-۲- انواع

انواع روشنایی در مناطق کاری یا مکان‌های موقت شامل روشنایی دائمی، موقت و متحرک است. در مواردی که مناسب تشخیص داده شود، ممکن است به جای سیم‌کشی زیرزمینی برای تاسیسات موقت از هادی‌های موقت روی زمین استفاده شود. اگر از دکل بلند استفاده می‌شود، می‌توان پایه‌های دکل بلند را در مکان‌های موقت، با چراغ‌های روشنایی موقت و با سیم‌کشی هوایی موقت نصب کرد.

۱۲-۴-۳- مقادیر طراحی

در طراحی روشنایی موقت باید تلاش شود که حداقل مقادیر ذکر شده برای سطح روشنایی آن راه تامین شود. البته در مواردی که برآورده کردن ملزومات یکنواختی و سطح روشنایی راه به دلیل عوامل مختلف ساخت وساز عملی نباشد، می‌توان از سطوح روشنایی با میزان نور کمتر استفاده نمود.

۱۲-۴-۴- ایمنی

اهمیت کلیدی ایمنی این است که روشنایی توجه مردم در حال حرکت را به منطقه کار جلب نماید. روشنایی منطقه کاری باید دید راننده، عابر پیاده و سایر کاربران را در نظر بگیرد. در واقع این در نظر گرفتن باید هم نحوه روشن شدن

کاربران برای دیده شدن و هم دید آنها نسبت به راه و مسیرهای پیش‌رو را شامل شود تا کاربران بتوانند با خیال راحت و به درستی از منطقه کار عبور نمایند.

ایمنی رانندگان با جلوگیری از برخورد آنها با تجهیزات نصب شده در کناره راه، یک موضوع مهم در روشنایی موقت می‌باشد. مزایای مربوط به روشنایی موقت راه‌ها نسبت به ایمن بودن راننده از برخورد با تجهیزات کناره راه از درجه اهمیت یکسانی برخوردار می‌باشد. بنابراین رعایت تمامی الزامات مربوط به حفاظت از برخورد با پایه‌ها و یا استفاده از پایه‌های شکننده در روشنایی دائمی، برای روشنایی موقت نیز الزامی است. در روشنایی موقت، پایه‌های روشنایی شکننده نباید سیم‌کشی هوایی شده باشند.

حجم زیادی از ساخت و ساز بزرگراه، به منظور اجتناب از ازدحام روزانه، در شب انجام می‌گیرد. روشنایی یک فاکتور کلیدی در انجام ساخت و ساز شبانه است. روشنایی موقت برای مناطق کاری نباید بدون توجه به اثر خیرگی روی رانندگان و در صورت نیاز به وجود آوردن فضای لازم برای روشنایی موقت، انجام گیرد.

۱۲-۵- روشنایی گردنه‌های مه‌گیر

در گردنه‌هایی که مه‌گیر بوده و در اغلب اوقات سال طوری با مه پوشیده می‌شوند که دید راننده‌ها بسیار کم می‌گردد، وجود سیستم روشنایی و علائم هشداردهنده مکمل آن در بهتر نشان دادن محدوده مسیر راه به راننده کمک می‌کند. در چنین گردنه‌هایی، با انتخاب محل نصب پایه‌های روشنایی در سمتی از راه که بیشترین مجاورت با دره را داشته باشد، می‌توان به این هدف رسید. این موضوع با نصب علائم هشداردهنده در سمت مقابل سیستم روشنایی کامل می‌شود. بنابر این نصب سیستم روشنایی و محل مناسب آن در گردنه‌های مه‌گیر، ایمنی رانندگان را افزایش داده و توصیه می‌شود. میزان روشنایی در چنین راهی نیز، متناسب با شرایط آب و هوایی تعیین می‌شود.

۱۲-۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل از ضابطه، روشنایی بخش‌های خاص از راه مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. این بخش‌ها شامل مراکز رفاهی بین راهی، راه‌های مجاور فرودگاه، راه‌آهن، بنادر و آب‌های قابل کشتیرانی، روشنایی مناطق بستن و باز کردن زنجیر چرخ، روشنایی موقت در منطقه کاری و روشنایی گردنه‌های مه‌گیر هستند.

فصل ۱۳

روشنایی تابلوهای هوایی راه

مقدمه

این فصل از ضابطه با روشنایی تابلوهای هوایی راه مرتبط می‌باشد. روشنایی تابلوهای هوایی راه به شیوه‌های مختلف و با استفاده از منابع نور مختلف انجام می‌شود. این روشنایی موجب افزایش قدرت تصمیم‌گیری راننده و بهبود کنترل ترافیک می‌گردد. بنابراین آشنایی با ضوابط و قوانین آن لازم و ضروری است.

۱۳-۱- کلیات

تابلوهای راهنمایی و رانندگی در امتداد راه و در مکان‌های استراتژیک قرار می‌گیرند و برای انتقال پیام‌های خاص و ثابت به رانندگان استفاده می‌شوند. استانداردهای مورد استفاده در طراحی تابلوهای راهنمایی در MUTCD[۱] توضیح داده شده است. هدف این استانداردها اطمینان از طراحی و نگهداری تابلوهای راهنمایی و رانندگی برای ارائه اطلاعاتی است که راننده بتواند به سرعت و با دقت اطلاعات لازم را دریافت کند و همچنین هماهنگی طراحی تابلوها فراهم شود. در این استاندارد ذکر شده که تابلوها باید بازتابنده یا نورانی باشند تا در روز و شب، شکل و رنگ مشابه داشته باشند[۵].

خوانا بودن تابلوها در شب با یکی از دو روش زیر حاصل می‌شود:

- استفاده از مواد بازتابنده برای نوشته و پس‌زمینه؛
- استفاده از روشنایی داخلی یا خارجی تابلوها.

تقریبا همه تابلوها با مواد ورقه‌ای بازتابنده ساخته می‌شوند. فقط برخی از تابلوها که عموما تابلوهای راهنمای هوایی و تابلوهای هوایی نام خیابان هستند، روشن می‌باشند. زمانی که چراغ‌های جلوی اتومبیل و خواص بازتابی مواد ورقه‌ای تابلوها کافی نباشد، نور اضافه شده به تابلوها کمک می‌کند تا این کمبود جبران شود.

تابلویی که برای خوانایی در شرایط نور روز طراحی شده باید برای انجام هدف اصلی خود در شب، روشن شود. یک سیستم روشنایی تابلو با طراحی مناسب می‌تواند به رانندگان در تشخیص سریع و دقیق شکل، رنگ و پیام تابلو کمک کند. این امر با کاهش این احتمال که رانندگان ممکن است سرعت خود را در مکان‌هایی که خواندن تابلو دشوار است، کم نمایند، ایمنی را بهبود می‌بخشد. تابلوهای هوایی در مکان‌های زیر باید روشن شوند:

- ✓ در مکان‌هایی با سطح پیچیدگی بصری[۲] بالا
- ✓ در راستای عمودی خارج از ناحیه تاثیر چراغ‌های جلوی خودرو
- ✓ در منحنی‌های افقی خارج از ناحیه تاثیر چراغ‌های جلوی خودرو قرار
- ✓ در مکان‌هایی که شرایط جوی باعث ایجاد چگالش یا یخزدگی در صفحه تابلو می‌شود و اثربخشی ورقه بازتابی را کاهش می‌دهد.

---

[۱] Manual on Uniform Traffic Control Devices

[۲] Visual Complexity

ملاحظات زیر باید برای ارزیابی دید در شب تابلوهای هوایی مورد توجه قرار گیرد:

پیچیدگی بصری: تابلوهای راهنمایی و رانندگی باید به گونه‌ای طراحی شوند که به راحتی دیده و خوانده شوند. مشخص بودن تابلو در شب به محیط بصری اطراف بستگی دارد که شامل سایر محرک‌های بصری مانند روشنایی راه‌ها، روشنایی وسایل نقلیه، سایر تابلوها و همچنین شرایط کنار راه می‌باشد. در مرجع [۵] از پیچیدگی بصری برای توصیف محیط بصری اطراف استفاده شده است. پیچیدگی بصری در اطراف تابلو بر درخشندگی تابلو به منظور رانندگی در شب تاثیر می‌گذارد. اگر پیچیدگی بصری زیاد باشد، ممکن است مواد بازتابنده به تنهایی درخشندگی کافی را ارائه نکنند. بنابراین به روشنایی تابلو نیاز است.

درخشندگی تابلو: درخشندگی تابلو را می‌توان به صورت درخشندگی نوشته یا پس‌زمینه تعریف نمود. درخشندگی نوشته به عنوان یک معیار عملکرد کلیدی برای مشاهده تابلو استفاده می‌شود.

بازتاب نوشته و پس‌زمینه تابلو: مواد بازتابی مورد استفاده برای نوشته و همچنین پس‌زمینه باید با دقت بررسی شوند. در بسیاری از شرایط، انتخاب مناسب مواد بازتابی می‌تواند دید کافی را برای رانندگان در شب فراهم نماید. استاندارد MUTCD حداقل سطح حفظ شده برای بازتاب تابلو را ارائه نموده است.

کنتراست تابلو: کنتراست بین نوشته تابلو و پس‌زمینه آن یک عامل مهم برای حفظ دید کافی است. جزئیات بیشتر در این رابطه در استانداردهای MUTCD موجود است.

۱۳-۲- راهنمای قابلیت دید تابلوهای هوایی

راهنمای دید تابلوهای هوایی به منظور پاسخ‌گویی به نیازهای شبانه رانندگان ایجاد شده است. در این راهنما، سطح آستانه درخشندگی نوشته بر اساس سطوح خاص پیچیدگی بصری می‌باشد. کنتراست بین نوشته و پس‌زمینه تابلوها با تطبیق بازتاب مواد نوشته و پس زمینه محاسبه می‌شود. این راهنما شامل پنج سطح است که الزامات درخشندگی نوشته تابلوها را به پیچیدگی بصری مرتبط می‌کند و برای هر سطح از پیچیدگی بصری، حداقل مقدار درخشندگی نوشته را فراهم می‌نماید. حداقل مقدار توصیه شده برای سطوح درخشندگی نوشته در تابلوهای هوایی در جدول ۱۳-۱ ارائه شده است[۵].

جدول ۱۳-۱: حداقل سطح درخشندگی نوشته برای تابلوهای هوایی

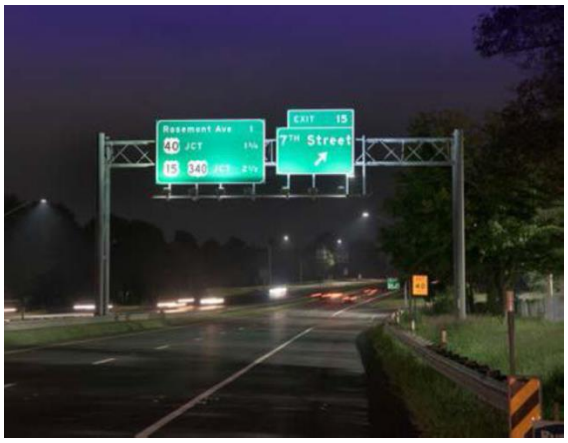
سطح پیچیدگی بصری	حداقل درخشندگی نوشته	
	کاندل بر فوت مربع	کاندل بر متر مربع
۱	۰٫۲۳	۲٫۵
۲	۰٫۷۵	۸
۳	۱٫۳۱	۱۴
۴	۱٫۸۷	۲۰
۵	۲٫۳۴	۲۵

حداقل سطوح درخشندگی در جدول ۱۳-۱ برای نسبت فاصله (با واحد متر) به اندازه حروف بزرگ (با واحد سانتیمتر) ۴٫۸ m/cm اعمال می‌شود. بنابراین اگر حروف بزرگ در یک تابلوی راهنما ۴۰٫۶ سانتیمتر باشند، این توصیه‌ها در فاصله ۱۹۵ متری اعمال می‌شوند. تجزیه و تحلیل درخشندگی نوشته تابلوهای هوایی برای بالاترین سطح پیچیدگی بصری (سطح ۵) نشان داده است که درخشندگی اضافی بیشتر از آنچه که معمولا توسط چراغ جلوی اتومبیل ارائه می‌شود، نیاز است. برای تابلوها در ناحیه‌ای با سطح پیچیدگی بصری ۴ و کمتر، استفاده از مواد پوششی ASTM D4956-13 نوع X1 می‌تواند درخشندگی کافی نوشته‌ها را تقریبا در همه شرایط فراهم نماید. برای سطح پیچیدگی بصری ۳ و کمتر، استفاده از مواد پوششی بازتابنده ASTM D4956-13 نوع VIII و IX می‌تواند تقریبا همه شرایط را پوشش دهد. برای سطح پیچیدگی بصری ۱ و ۲ استفاده از ورقه بازتابنده ASTM D4956 نوع VIII، IV و XI، درخشندگی کافی را فراهم می‌کند. تجزیه و تحلیل‌های پشتیبان این موضوع، بر اساس افت ۲۰ درصدی عملکرد بازتابی به دلیل تاثیرات فرسایش تابلوها در اثر هوا می‌باشد.

۱۳-۲-۱- سطح پیچیدگی بصری برای تابلوهای راهنمای هوایی

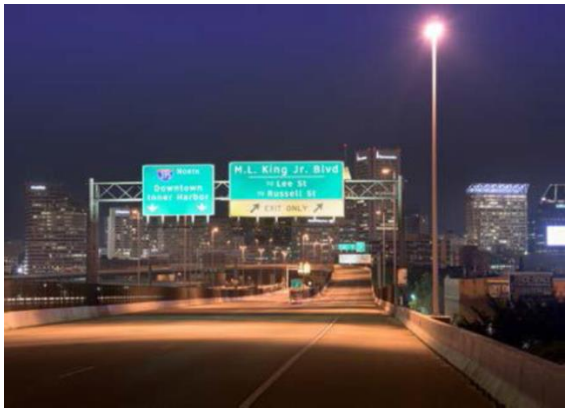
سطح پیچیدگی بصری اطراف یک تابلو تاثیر زیادی بر دید تابلو دارد. مناطق با پیچیدگی بصری بالا سطوح بالاتری از درخشندگی تابلو را به منظور حفظ دید کافی در شب نیاز دارند. اگرچه پیچیدگی بصری را می‌توان از روی تصاویر دیجیتال کالیبره شده صحنه شب محاسبه نمود، اما انجام این کار نیازمند سطح بالایی از تخصص و تجهیزات گران قیمت می‌باشد. تصاویر شکل ۱۳-۱ برای نشان دادن پنج سطح پیچیدگی بصری مورد استفاده قرار می‌گیرند. این تصاویر به بهترین نحو حوزه یا بخش خاصی از بزرگراه را با هدف تعیین پیچیدگی بصری نشان می‌دهند[۵].

سطح ۱ پیچیدگی بصری: حداقل منبع نور، تابلوها و اشیاء

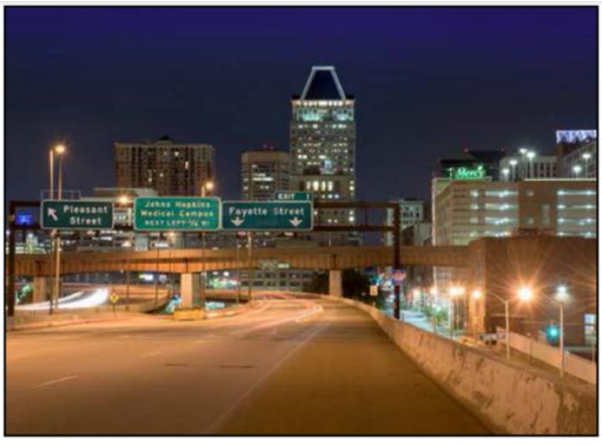


سطح ۲ پیچیدگی بصری: ترافیک کم، تعداد کمی منبع نور، تابلو و اشیاء

سطح ۳ پیچیدگی بصری: تابلوهای تجاری روشن، تعداد متوسطی از سایر تابلوها و منابع نور روشن (ترافیک کم تا متوسط)



سطح ۴ پیچیدگی بصری: فعالیت تجاری متوسط با تابلوهای روشن (ترافیک متوسط تا سنگین)



سطح ۵ پیچیدگی بصری: فعالیت تجاری زیاد با تابلوهای روشن (ترافیک سنگین و خیرگی ناشی از وسایل نقلیه باند مخالف)

شکل ۱۳-۱: پنج سطح پیچیدگی بصری برای تابلوهای راهنمای هوایی

۱۳-۲-۲- سطح پیچیدگی بصری برای تابلوهای هوایی نام خیابان

تصاویر شکل ۱۳-۲، ۵ سطح پیچیدگی بصری برای تابلوهای هوایی نام خیابان را نشان می‌دهند. از این تصاویر برای تعیین پیچیدگی بصری استفاده می‌شود[۵].

۱۳-۳- انواع تابلوهای روشن

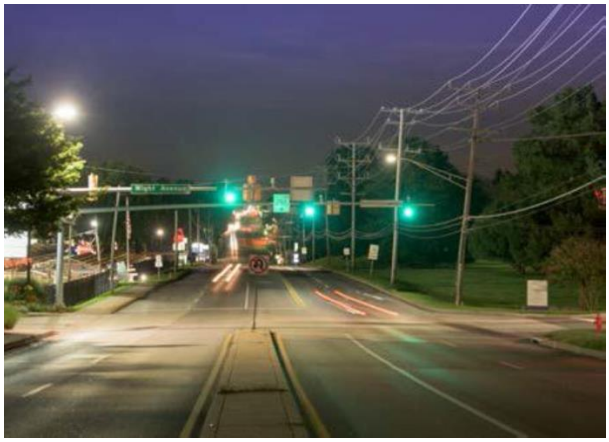
روش‌های مختلفی برای روشنایی تابلوها وجود دارد، تا پیام تابلوها در ساعات تاریکی برای راننده عبوری قابل مشاهده و خوانا باشد. دو راه اصلی تامین روشنایی یک تابلوی ثابت به شرح ذیل می‌باشند:

روشنایی بیرونی: تابلوهای با روشنایی بیرونی، تابلوهای راهنمایی و رانندگی ثابت هستند که توسط منبع نوری که در خارج از تابلو نصب شده به طور یکنواخت روشن می‌شوند. این تکنیک به طور کلی برای تابلوهای راهنمای هوایی استفاده می‌شود.

روشنایی داخلی: تابلوهای با روشنایی داخلی، تابلوهای راهنمایی و رانندگی ثابت هستند که توسط منبع نوری که در داخل تابلو محصور است روشن می‌شوند و پیام تابلو وقتی که از داخل روشن می‌شود به دلیل تفاوت رنگ و ماهیت انتقال مواد تشکیل دهنده نمای تابلو، قابل مشاهده می‌شود. این تکنیک به طور کلی برای تابلوهای نام خیابان در بالای خیابان‌ها استفاده می‌شود.

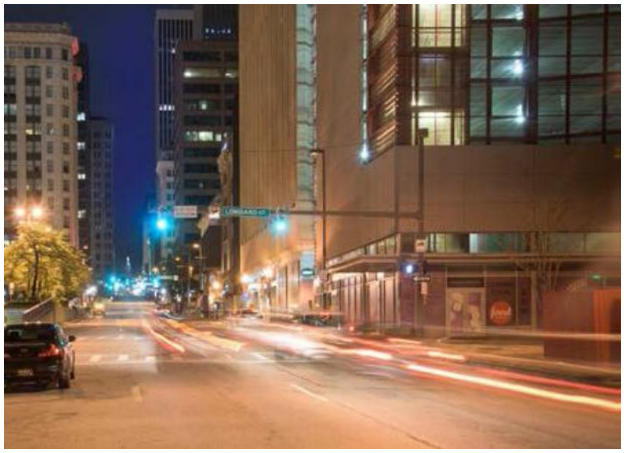
سطح ۱ پیچیدگی بصر: حداقل منابع نور، تابلوها و اشیا (ترافیک کم)

سطح ۲ پیچیدگی بصری: تعداد کمی منبع نور، تابلوها و اشیا (ترافیک کم)



سطح ۳ پیچیدگی بصری: روشنایی جزئی تجاری و جاده‌ای، دید برخی از اشیاء(ترافیک کم تا متوسط)

سطح ۴ پیچیدگی بصری: روشنایی متوسط جاده‌ای و تجاری، دید برخی از اشیاء روشن (ترافیک متوسط)



سطح ۵ پیچیدگی بصری: تعداد زیادی منبع نور از فعالیت‌های تجاری و روشنایی جاده‌ها، تعداد زیادی اشیاء روشن در دید (ترافیک سنگین)

شکل ۱۳-۲: ۵ سطح پیچیدگی بصری برای تابلوهای هوایی نام خیابان

۱۳-۴- توصیه‌های لازم برای روشنایی تابلو

هنگامی که نیاز تابلو به روشنایی مشخص شد، مهندس روشنایی باید منبع نوری را انتخاب کند که تابلو روشن شده در ساعات تاریکی، خواص رنگی مشابه نور روز را از خود نشان دهد. مقدار نور مورد نیاز برای روشنایی مناسب تابلو در ساعات تاریکی در جدول ۱۳-۱ تعریف شده است.

انواع مختلفی از منابع نوری که می‌توانند برای روشن کردن تابلوهای راه استفاده شوند، در دسترس می‌باشند. هر منبع نور ویژگی‌های منحصر به فردی دارد که ممکن است آن را نسبت به سایرین برای نصب بر یک تابلوی معین، مطلوب‌تر نماید. مصرف انرژی یکی از این عوامل اصلی در انتخاب منبع نور است و باید مورد توجه قرار گیرد. با این حال، عوامل دیگری مانند تغییر رنگ، دمای عملکرد، کارایی، سهولت نگهداری نیز به همان اندازه مهم می‌باشند و باید ارزیابی شوند.

منبع نور انتخاب شده باید بتواند به اندازه کافی نمای تابلو را روشن نماید تا کنتراست بین نوشته و پس‌زمینه حفظ شود. کنتراست بین نوشته و پس زمینه تعیین می‌کند که راننده عبوری با چه سرعت و دقتی می‌تواند شکل و رنگ تابلو را تشخیص دهد و همچنین پیام نمایش داده شده را تفسیر کند.

میزان روشنایی تابلو که برای انتقال مناسب پیام تابلو به راننده در شب لازم است به میزان درخشندگی محیط در ناحیه مجاور محل تابلو بستگی دارد. حداقل سطوح درخشندگی توصیه شده بر اساس درخشندگی محیط در جدول ۱۳-۱ آورده شده است.

۱۳-۴-۱- یکنواختی روشنایی

یکنواختی روشنایی نشان دهنده کیفیت روشنایی است و می‌تواند به صورت نسبت میانگین به حداقل، حداکثر به حداقل یا حداقل به متوسط سطوح روشنایی موجود در صفحه تابلو تعریف شود. در انجام محاسبات روشنایی تابلو، نسبت حداکثر به حداقل به عنوان ابزاری استاندارد برای تعیین یکنواختی سطوح روشنایی که بر روی یک تابلو ظاهر می‌شود، تعیین شده است.

اگر تابلو باید در انتقال پیام به رانندگان در شب موثر باشد، یکنواختی سطوح روشنایی که بر روی تابلو ظاهر می‌شود باید کنترل شود. یکنواختی مناسب در کل نمای تابلو، کنتراست سازگار و متناسبی را که مشابه شرایط روز است، ایجاد می‌کند. یک نسبت حداکثر به حداقل یکنواختی ۶ به ۱ به عنوان نسبت قابل قبولی از سطوح روشنایی در تابلو توصیه می‌شود[۵].

۱۳-۴-۲- انتخاب منبع نور

چندین گزینه برای منبع نور انتخاب شده به منظور روشن کردن یک تابلو وجود دارد. هر یک از منابع دارای ویژگی‌های خاصی می‌باشند که می‌توانند برای کاربرد روشنایی تابلو مطلوب باشند. دو مشخصه اولیه برای روشنایی تابلو، مصرف انرژی

و رنگ می‌باشند. سایر ویژگی‌ها مانند دمای عملکردی و سهولت نگهداری مشخصات ثانویه هستند اما باید در نظر گرفته شوند.

استانداردهای پایه‌ای که برای رنگ تابلو استفاده می‌شوند در MUTCD کدگذاری شده‌اند. معمولا از رنگ‌های مختلف برای اهداف مختلف استفاده می‌گردد، بنابراین ضروری است که صفحه تابلو به طور مناسبی روشن شود تا اهداف شناسایی مناسب حفظ شوند. همان طور که در شکل ۱۳-۳ نشان داده شده است، نور می‌تواند بر ظاهر رنگ تاثیرگذار باشد[۵].

الف) روشنایی سدیم پرفشار

ب) روشنایی LED

شکل ۱۳-۳: تاثیر نوع منبع نور بر ظاهر رنگ تابلو

به منظور حفظ نمود رنگ، نمای تابلو باید از طریق انتخاب منبع نوری که دارای شاخص تفکیک رنگ کافی باشد، روشن شود(CRI>70). لامپ‌های بخار جیوه یکی از منابع نور سفیدی هستند که به طور سنتی برای روشنایی استفاده می‌شوند. روشنایی حالت جامد (SSL)، یک فناوری جدیدتر است که بازده انرژی بالاتر و تفکیک رنگ بهتر را برای منبع نور فراهم می‌نماید. این منبع یک انتخاب جذاب برای منبع نور روی تابلو می‌باشد. البته توجه به این نکته مهم است که لامپ‌های LED معمولا گرمای کمتری از خود ساطع می‌کنند و به همین دلیل، ذوب برف یا یخ با لامپ‌های LED ممکن است متفاوت با دیگر لامپ‌ها باشد و این مساله موجب بروز مشکل در تعمیر و نگهداری گردد.

۱۳-۴-۳- قرارگیری واحدهای روشنایی

محل قرارگیری واحدهای روشنایی بر توزیع نور روی تابلو، میزان روشنایی در بخش‌های مختلف و در نتیجه یکنواختی سراسر صفحه تابلو تاثیرگذار می‌باشد. واحدهای روشنایی که نمای تابلو را روشن می‌کنند ممکن است در بالای تابلو، پایین تابلو یا تکیه‌گاه مجاور قرار گیرند. مهندس روشنایی باید قبل از انتخاب چیدمان نصب مورد استفاده، ملاحظات زیر را ارزیابی نماید:

- ✓ محفظه چراغ نباید مانع دید پیام تابلو شود.
- ✓ نور منعکس شده نباید موجب کاهش عملکرد بصری پیام تابلو شود.
- ✓ درخشندگی آسمان تا جایی که ممکن است حداقل شود.
- ✓ نور پخش شده نباید به صورت مستقیم به چشم راننده برسد.
- ✓ چیدمان نصب چراغ نباید موجب ایجاد مشکل تعمیر و نگهداری شود.

قرارگیری واحدهای روشنایی در پایین تابلو، اگر عملی باشد، به دلایل زیر ترجیح داده می‌شود:

- ➢ نور منعکس شده کمتر موجب کاهش عملکرد بصری پیام تابلو یا ایجاد خیرگی در چشم رانندگان می‌شود.
- ➢ واحدهای روشنایی در طول روز سایه و بازتابی از خورشید روی صفحه تابلو تولید نمی‌کنند.
- ➢ دسترسی به واحدهای روشنایی برای تعمیر و نگهداری ساده‌تر است.
- ➢ واحدهای روشنایی ممکن است برف و خاک را جمع کنند اما با بارش باران تمیز می‌شوند.
- ➢ برافروختگی بیش از حد آسمان یا آلودگی نوری ممکن است طبیعی باشد. با این حال، می‌توان از یک سازوکار حفاظتی جداگانه روی واحدهای روشنایی یا تجهیزات کنترل نور برای به حداقل رساندن این اثرات استفاده کرد.

علاوه بر ملاحظات فوق، مهندس روشنایی همچنین باید بررسی کند که سیستم روشنایی راه مجاور، در صورت وجود، تاثیر نامطلوبی بر سطوح روشنایی تابلو نداشته باشد یا از نظر فیزیکی موجب کاهش دید تابلو نشود.

۱۳-۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل از ضابطه روشنایی تابلوهای راه مورد بررسی قرار گرفت. روشنایی تابلوهای راه به منظور افزایش قدرت تصمیم‌گیری راننده و جلوگیری از ایجاد ترافیک مناسب می‌باشند. مباحثی که در این فصل به آنها پرداخته شد شامل کلیات روشنایی تابلوی راه، راهنمای قابلیت دید تابلوهای هوایی، انواع تابلوهای روشن و توصیه‌های لازم برای روشنایی تابلو بود.

فصل ۱۴

سیستم‌های روشنایی راه با انرژی خورشیدی(سولار)

مقدمه

در سال‌های اخیر تقاضا برای تجهیزات سازگار با محیط زیست که برق تولید می‌کنند افزایش یافته است. بیشتر انرژی الکتریکی تولید شده در جهان از سوزاندن سوخت‌های فسیلی به عنوان یک منبع ثابت انرژی حاصل می‌شود. با توجه به اینکه تقاضا برای برق در حال افزایش است، بنابراین از نیروگاه‌های فعلی و شبکه‌های توزیع نهایت استفاده می‌شود. برای پاسخ‌گویی به این نیاز رو به رشد، نیروگاه‌های سوخت فسیلی بیشتری ساخته می‌شوند و در نتیجه آلاینده‌های منتشر شده در محیط افزایش می‌یابد. نیاز به توسعه سیستم‌های تولید انرژی پاک که می‌توانند به اندازه نیروگاه‌های سوخت فسیلی عملکرد قابل اعتمادی داشته باشند، باید در سراسر جهان اجرا شود تا تاثیرات انسان بر روی کره زمین کاهش یابد. برای این که یک منبع انرژی تجدیدپذیر به شبکه اضافه شود باید سه شرط قابلیت اطمینان، هزینه و طول عمر در نظر گرفته شود. انرژی‌های تجدیدپذیر شامل انرژی خورشیدی، بادی، برق‌آبی، زمین گرمایی، زیست توده و غیره می‌باشند. با توجه به هزینه اولیه بالای ساخت یک منبع انرژی تجدیدپذیر و نرخ بازده کمتر نسبت به نیروگاه‌های سوخت فسیلی، پیشرفت در ساخت نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر کند بوده است. این بخش از ضابطه، بر استفاده از یک سیستم مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر (خورشیدی) برای روشنایی خیابان متمرکز شده است[۷۱].

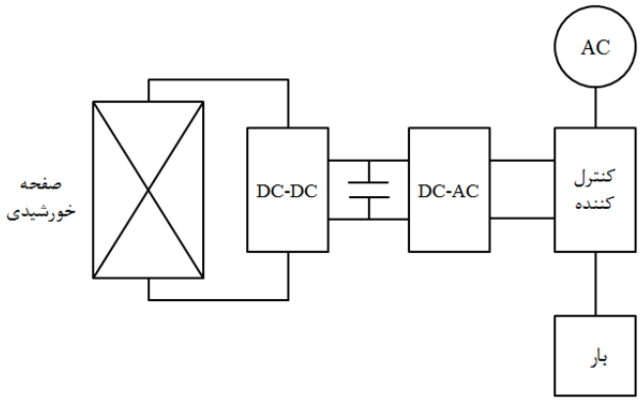
۱۴-۱- انواع سیستم‌های خورشیدی از نظر اتصال به شبکه

انرژی فتوولتائیک (خورشیدی) به سه شکل مستقل، متصل به شبکه و سیستم هیبریدی وجود دارد. در حالت مستقل، سیستم‌ها از یک عملکرد کاملا مستقل استفاده می‌کنند که انرژی را به منظور استفاده در شب در باتری‌ها ذخیره می‌کنند. حالت متصل به شبکه، به صورت مستقیم به شبکه برق متصل می‌شود و نیاز به باتری را از بین می‌برد. سیستم هیبریدی پایداری شبکه را با یک باتری پشتیبان ترکیب می‌کند تا در صورت قطع شدن برق شبکه از این سیستم پشتیبان استفاده شود.

۱۴-۱-۱- سیستم خورشیدی متصل به شبکه

مناطق ایزوله و سیستم‌های متحرک وابسته به باتری می‌باشند، در حالی که در شهرها بسته به مصرف برق و تامین کنندگان آن، گزینه استفاده از شبکه برق وجود دارد. اتصال به شبکه، این امکان را فراهم می‌کند تا در طول حضور خورشید، برق تولید شده توسط پنل‌ها به شبکه تغذیه شود و در زمان غروب خورشید این ساختار از خط جدا شود. هزینه مبدل DC به AC با کنترل کننده شبکه، در مقایسه با استفاده از باتری، بسته به اندازه سیستم متفاوت است. اتکا به شبکه، نیاز به تعویض باتری‌های معیوب را که عملکرد طولانی مدت سیستم‌های مستقل را تحت تاثیر قرار می‌دهند، از بین می‌برد. اشکال سیستم‌های متصل به شبکه، تعداد پنل‌هایی است که برای تامین توان کافی برای شبکه به منظور در نظر گرفتن اتصال به شبکه موردنیاز است. برای عملکرد صحیح یک سیستم متصل به شبکه، باید معیارهای تنظیم ولتاژ، تنظیم

فرکانس، کنترل ضریب توان، کنترل اعوجاج هارمونیک و زمان پاسخ سریع رعایت شود. مقدار توان تولید شده توسط یک سیستم تعیین می‌کند که انرژی تولید شده موجب کاهش مصرف برق از شبکه می‌شود یا این که توان اضافی تولید شده به شبکه تزریق می‌شود. در طول ماه‌های تابستان و دماهای بالا به دلیل مقدار زیاد توان مصرفی در بخش تهویه مطبوع، تقاضا در شبکه افزایش می‌یابد. در این بازه‌های زمانی با هوای گرم، شرایط برای رسیدن انرژی خورشید به سطح زمین مساعد می‌باشد، بنابراین پنل‌های خورشیدی می‌توانند انرژی مورد نیاز سیستم تهویه مطبوع در طول روز را تامین نمایند. شکل ۱۴-۱ سیستم موردنیاز برای اتصال پنل به شبکه برق را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴-۱: تجهیزات اتصال صفحه خورشیدی به شبکه

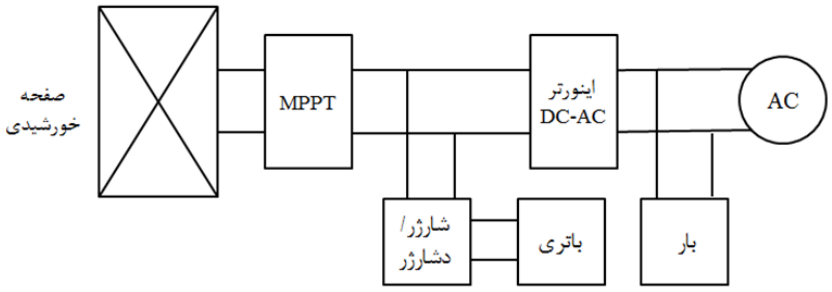
در حالت متصل به شبکه، یک مبدل DC به DC به منظور حفظ ولتاژ خروجی در یک سطح ثابت موردنیاز است. برای به حداکثر رساندن خروجی پنل، از کنترل کننده MPPT[1] استفاده می‌شود. MPPT یک مبدل افزاینده برای یک پنل منفرد و یا مبدل کاهنده برای زمانی است که چندین پنل به صورت سری ترکیب می‌شوند. خازن هر گونه تغییر کوچک در ولتاژ ورودی تقریبا ثابت مبدل DC-AC را حذف می‌کند. اینورتر، شبکه را به منظور مطابقت با ولتاژ و فرکانس استاندارد، پایش می‌کند. کنترل‌کننده به صورت مداوم فرکانس شبکه را با اینورتر مقایسه می‌کند و نسبت وظیفه را با تغییرات فرکانس شمارنده تنظیم می‌کند.

۱۴-۱-۲- سیستم هیبرید

سیستمی که مزایای هر دو سیستم مستقل و متصل به شبکه را ترکیب می‌کند، یک سیستم ترکیبی تلقی می‌شود. این سیستم بر هماهنگی چندین کنترل‌کننده به منظور نظارت بر شارش توان از صفحات خورشیدی و تنظیم توان، پر کردن باتری‌های ذخیره و مدیریت جریان انرژی به و از شبکه، متکی است. تنظیمات اولیه یک سیستم هیبریدی در شکل ۱۴-۲ نشان داده شده است. این تجهیزات شامل پنل‌های خورشیدی، MPPT، کنترل کننده شارژ، باتری‌ها و اینورتر است.

[1] Maximum Power Point Tracking Controller

کنترل‌کننده، شارژ باتری‌ها را کنترل می‌کند و تعیین می‌کند که آنها شارژ شوند یا خیر. این سیستم یک منبع تغذیه بدون وقفه را فراهم می‌کند که حتی زمانی که برق شبکه قطع است، برق را تامین می‌کند. این سیستم هزینه زیادی دارد و به تعویض و نگهداری باتری نیز نیاز دارد.



شکل ۱۴-۲: تجهیزات سیستم هیبریدی

۱۴-۱-۳- سیستم مستقل

سیستم‌های مستقل را می‌توان برای تامین انرژی بارهای کوچک، مانند پمپ‌های آب و چراغ‌های خیابان استفاده نمود. تجهیزات اصلی موردنیاز برای ساخت یک سیستم مستقل شامل یک پنل خورشیدی، یک کنترل‌کننده ولتاژ و باتری است. برای بارهایی که به برق متناوب نیاز دارند، یک اینورتر به طرح اضافه می‌شود. برای کنترل ولتاژ خروجی یک پنل، از کنترل‌کننده استفاده می‌شود. اجزای هر سیستم بسته به حجم بار و ساعات کار در طول شب متفاوت هستند. مزایای یک سیستم مستقل از شبکه، جایگزینی ژنراتورهای قدیمی و مقرون به صرفه بودن در مقایسه با اجرای خطوط برق به مناطق دور از دسترس است. معایب آن نیز هزینه زیاد و جایگزینی تجهیزات و همچنین تلفات توان در طول دوره‌های تابش ضعیف خورشید است[۷۱].

۱۴-۲- اجزای اصلی سیستم خورشیدی روشنایی راه

یک سیستم خورشیدی مستقل روشنایی راه یک واحد روشنایی در فضای باز است که برای روشن کردن یک خیابان یا یک منطقه باز استفاده می‌شود. پیشرفت‌های اخیر در روشنایی LED، فرصت‌های بسیار امیدوارکننده‌ای را در روشنایی راه به ارمغان آورده است. با ترکیب مشخصات LED با فناوری فتوولتائیک (PV[۱])، استفاده از چراغ خیابانی تغذیه شده با PV در بسیاری از مکان‌ها امکان‌پذیر شده است[۷۲].

اجزای اصلی سیستم چراغ روشنایی راه LED تغذیه شده با انرژی خورشیدی به شرح ذیل می‌باشد[۷۲]:

- پنل خورشیدی یا ماژول فتوولتائیک؛
- تجهیزات چراغ- مجموعه لامپ LED؛

[۱] Photovoltaic

- باتری قابل شارژ با چرخه عمیق؛
- کنترل کننده شارژ خورشیدی؛
- پایه روشنایی.

پنل خورشیدی توان لازم برای شارژ باتری در طول روز را فراهم می‌کند. شارژ باتری توسط یک کنترل‌کننده شارژ کنترل می‌شود. عملکرد لامپ LED توسط یک مدار کنترل یا با استفاده از سنسورهایی مانند مقاومت وابسته به نور[۱] (LDR) یا سنسور ولتاژ یا جریان کنترل می‌شود. تمام این اجزا بر روی یک پایه ثابت خواهند شد که در شکل ۱۴-۳ نشان داده شده است. پنل خورشیدی در بالای پایه نصب شده تا احتمال ایجاد هر گونه سایه روی پنل‌ها به حداقل برسد[۷۲].

اجزای سیستم روشنایی راه خورشیدی با LED

۱- ماژول‌های خورشیدی که به صورت کج بر روی یک سازه نصب شده و رو به مسیر خورشید، قرار گرفته‌اند.

۲- واحد روشنایی LED روی یک بازوی کوتاه پایه، معلق است.

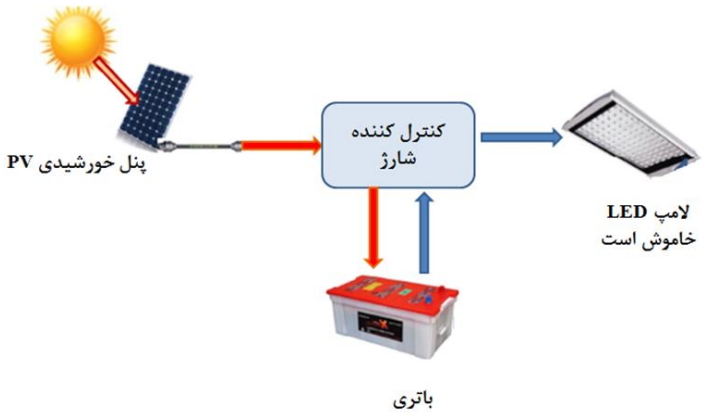
۳- محفظه فولادی با تهویه (شامل باتری/ باتری‌ها و کنترل کننده شارژ خورشیدی) می‌باشد.

۴- قطعات ساختاری ضد خوردگی شامل پایه، اتصال به شالوده، بازوی کوتاه و بستر نصب ماژول است.

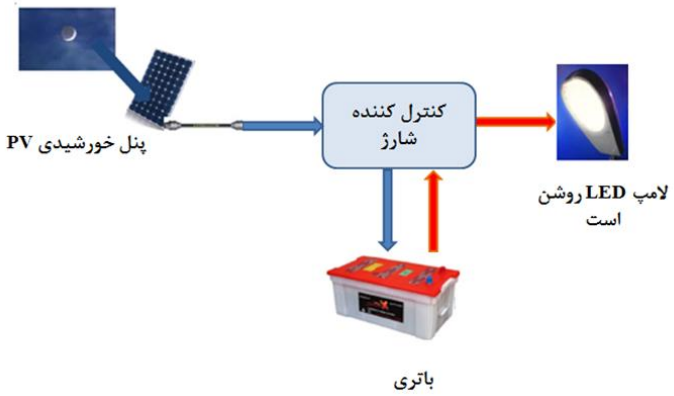
شکل ۱۴-۳: اجزای سیستم روشنایی راه خورشیدی

دیاگرام بلوکی رفتار سیستم در طول روز و شب در شکل ۱۴-۴ و شکل ۱۴-۵ نشان داده شده است. شکل ۱۴-۴، سیستم را در نور روز نشان می‌دهد و فلش‌های قرمز جهت شارش توان می‌باشند. این شکل نشان دهنده این است که در روز، PV در معرض نور خورشید قرار می‌گیرد و باتری‌ها را شارژ می‌کند و چراغ LED در حالت خاموش است. شکل ۱۴-۵، سیستم پیشنهادی را در طول شب نشان می‌دهد. در این حالت توان از باتری به سمت منبع نور LED، شارش می‌یابد[۷۳].

[۱] Light Dependent Resistor



شکل ۱۴-۴: دیاگرام بلوکی رفتار سیستم در طول روز



شکل ۱۴-۵: دیاگرام بلوکی رفتار سیستم در طول شب

۱۴-۲-۱-۱- پنل خورشیدی

پنل خورشیدی ماژولی است که برای تولید برق، انرژی نور (فوتون) خورشید را به جریان مستقیم (DC) تبدیل می‌کند.

دو نوع پنل خورشیدی وجود دارد که عمدتا از نوع کریستالی و فیلم نازک هستند.

دو نوع پنل خورشیدی کریستالی به صورت زیر می‌باشند(بخش الف و ب شکل ۱۴-۶):

- پنل خورشیدی پلی‌کریستالی[۱]
- پنل خورشیدی مونوکریستالی[۲]

انواع فیلم نازک پنل خورشیدی به صورت زیر می‌باشند(بخش ج شکل ۱۴-۶):

[۱] Poly-crystalline Solar Panel

[۲] Mono-crystalline Solar Panel

- سیلیکون آمورف (a-Si[۱])؛
- تلورید کادمیم (Cd-Te[۲])؛
- مس ایندیم گالیوم سلنید (CIGS[۳])؛
- سلول خورشیدی حساس به رنگ (DSC[۴]).

الف- پنل مونوکریستالی ب- پنل پلی‌کریستالی ج- پنل فیلم نازک

شکل ۱۴-۶: انواع ماژول **PV** خورشیدی

۱۴-۲-۱-۲- باتری

باتری‌ها برای ذخیره انرژی الکتریکی تولید شده توسط پنل خورشیدی استفاده می‌شوند. در طول روز، انرژی الکتریکی تولید شده توسط پنل‌های خورشیدی به باتری و یا بار تغذیه می‌شود. زمانی که تقاضای بار بیشتر از انرژی دریافتی از پنل‌های خورشیدی باشد، این باتری‌ها انرژی پایداری را برای بار تامین می‌کنند. در کاربردهای انرژی خورشیدی معمولا از باتری‌های با چرخه عمیق استفاده می‌شود، زیرا این باتری‌ها می‌توانند دشارژهای عمیق و مکرر را ادامه دهند. چند نوع باتری قابل شارژ وجود دارد که عبارتند از:

الف) باتری سرب اسیدی: این باتری‌ها به دلیل بلوغ فناوری و قیمت پایین، بیشترین استفاده را در سیستم‌های خورشیدی دارند. آنها را فقط می‌توان با عمق دشارژ (DOD[۵]) کم به منظور افزایش طول عمر آن استفاده نمود. DOD آن

[۱] Amorphous Silicon

[۲] Cadmium Teluride

[۳] Copper Indium Gallium Selenide

[۴] Dye-Sensitized Solar Cell

[۵] Depth of Discharge

از ۶۰٪ تا ۸۰٪ متغیر است. در سلول‌های خورشیدی از دو نوع باتری سرب اسیدی تر و VRLA[۱] که باتری‌های بدون تعمیر و نگهداری هستند، استفاده می‌شود.

ب) باتری نیکل-کادمیوم (Ni-Cad): باتری‌های نیکل کادمیوم گران هستند و دفع کادمیوم خطرناک است. با وجود این که باتری‌های نیکل کادمیوم نسبت به باتری‌های سرب اسیدی مزایای زیادی مانند طول عمر بیشتر و رواداری دشارژ بیشتری دارند، اما باتری‌های Ni-Cd به دلیل هزینه بالا و در دسترس بودن محدود معمولا در سیستم‌های خورشیدی استفاده نمی‌شوند.

ج) باتری لیتیم- یون (LI) یا لیتیم پلیمر (LP)[۲]: باتری‌های مبتنی بر لیتیم، آینده باتری‌های مورد استفاده در سیستم‌های خورشیدی در نظر گرفته می‌شوند. این به دلیل مسائلی همچون انرژی مخصوص بالا، DOD بالا و تعداد چرخه‌های شارژ بیشتر است. با این حال، به دلیل هزینه بالاتر آن در مقایسه با باتری‌های نوع LA، هنوز خیلی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند[۷۲].

۱۴-۲-۱-۳- لامپ LED

لامپ LED دارای دیود ساطع کننده نور است که در تجهیزات روشنایی، استفاده می‌شود. لامپ‌های LED دارای راندمان الکتریکی و طول عمر چندین برابر بهتر از لامپ‌های رشته‌ای و به طور قابل توجهی بهتر از اکثر لامپ‌های فلورسنت می‌باشند. لامپ LED قادر به انتشار بیش از ۱۰۰ لومن در هر وات است. LED در کنار انرژی خورشیدی، ترکیب کاملی است، زیرا با ولتاژ پایین، گرمای کم و نیاز کم انرژی کار می‌کند.

مانند لامپ‌های رشته‌ای و برخلاف اکثر لامپ‌های فلورسنت، چراغ‌های LED بدون نیاز به زمان گرم شدن به روشنایی کامل می‌رسند. در این میان، طول عمر لامپ‌های فلورسنت نیز با روشن و خاموش شدن مکرر کاهش می‌یابد. هزینه اولیه LED معمولا بالاتر است. تراشه‌های LED به جریان مستقیم کنترل شده با توان الکتریکی نیاز دارند بنابراین، منبع تغذیه مناسب لازم خواهد بود. LEDها تحت تاثیر دمای بالا قرار می‌گیرند، بنابراین لامپ‌های LED معمولا شامل عناصر دفع‌کننده حرارت مانند گرماگیرها و پره‌های خنک‌کننده هستند. در شکل ۱۴-۷، نمونه‌هایی از لامپ‌های LED مناسب برای روشنایی خیابانی نشان داده شده است[۷۲].

---

[۱] Valve Regulated Lead Acid

[۲] Lithium-Ion or Lithium-Polymer Battery

شکل ۱۴-۷: مثال‌هایی از لامپ‌های **LED** روشنایی خیابانی

۱۴-۲-۱-۴- کنترل‌کننده شارژ

برای کنترل شارژ باتری‌ها از کنترل‌کننده‌های شارژ استفاده می‌شود. از آنجایی که خروجی پنل‌های خورشیدی متغیر است و نیاز به تنظیمات دارد، کنترل‌کننده‌های شارژ، ولتاژ/جریان متغیر را از پنل‌های خورشیدی دریافت می‌کنند و آن را مطابق با ایمنی باتری‌ها تنظیم می‌کنند. وظایف اصلی کنترل‌کننده‌های شارژ جلوگیری از شارژ بیش از حد باتری‌ها از پنل خورشیدی، دشارژ بیش از حد باتری‌ها به بار و کنترل عملکردهای بار است. در شکل ۱۴-۸، دو نمونه از کنترل‌کننده‌های شارژ نشان داده شده است[۷۲].

کنترل‌کننده‌های شارژ اساسا مبدل‌های DC-DC هستند که در آنها از تکنیک PWM[۱] یا MPPT برای تنظیم سوئیچ‌های کنترل‌کننده استفاده می‌شود. سه نوع کلی کنترل کننده شارژ وجود دارد که به شرح ذیل می‌باشند:

- ❖ کنترل کننده روشن/ خاموش ساده؛
- ❖ کنترل کننده PWM؛
- ❖ کنترل کننده MPPT.

شکل ۱۴-۸: نمونه‌هایی از کنترل‌کننده‌های شارژ

۱۴-۲-۱-۵- استفاده از حسگرها برای دستیابی به چراغ‌های خیابانی کارآمد با انرژی خورشیدی

به منظور دوام اقتصادی و فنی، چراغ‌های خیابانی خورشیدی کارآمد با استفاده از حسگرها به دست می‌آیند. از حسگرهایی مانند حسگرهای اولتراسونیک، حسگرهای IR و حسگرهای LDR برای کنترل عملکرد لامپ LED به منظور

[۱] Pulse Width Modulated Controller

دستیابی به یک سیستم کارآمد انرژی استفاده می‌شود. در این حالت، چراغ خیابان باید به صورت خودکار روشن و خاموش شود و برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، از غروب تا سپیده‌دم، حداقل دو حالت کم نور داشته باشد[۷۲].

۱۴-۳- فرایند طراحی سیستم روشنایی راه خورشیدی

به منظور استفاده از سیستم روشنایی راه خورشیدی در مطالعه موردی، موارد زیر باید در نظر گرفته شوند[۷۳]:

الف) تعیین تقاضای مصرف توان (Wh): اولین گام در طراحی یک سیستم PV خورشیدی این است که کل توان و انرژی مصرفی تمام بارهایی که باید توسط سیستم PV خورشیدی تامین شوند، مشخص گردد. کل وات- ساعت (Wh) موردنیاز از ماژول‌های PV در روز محاسبه شود. کل وات-ساعت (Wh) در روز در ۱٫۳ (تلفات انرژی سیستم) ضرب شود تا کل وات-ساعت در روز که باید توسط پنل‌ها ارائه شود، بدست آید.

ب) اندازه ماژول‌های PV (Wp): اندازه‌های مختلف ماژول‌های PV، مقدار توان متفاوتی تولید می‌کنند. پیک وات تولید شده (Wp) به اندازه ماژول PV و مکان سیستم بستگی دارد. همچنین "فاکتور نور خورشید[۱]" باید در نظر گرفته شود که در هر مکان متفاوت است. به عنوان مثال برای اروپای مرکزی این فاکتور حدود ۳ است و مرتبط با ۳ ساعت نور خورشید در روز است که میانگین مورد انتظار در کل سال می‌باشد.

به منظور تعیین اندازه ماژول‌های PV، گام‌های زیر باید انجام شود:

۱- کل نرخ وات-پیک موردنیاز برای ماژول‌های PV محاسبه شود.

۲- کل وات-ساعت موردنیاز در روز از ماژول‌های PV بر ساعات روز تابش خورشید تقسیم شود.

۳- تعداد پنل‌های PV سیستم را می‌توان با تقسیم عدد بدست آمده در بند ۲ بر وات-پیک خروجی اسمی ماژول‌های PV در دسترس بدست آورد.

۴- هر عدد کسری به بالاترین عدد کامل بعدی افزایش یابد و این تعداد ماژول‌های PV مورنیاز خواهد بود.

ج) تعیین آمپر ساعت باتری (Ah): نوع باتری توصیه شده برای استفاده در سیستم PV خورشیدی، باتری چرخه عمیق است که به طور خاص برای دشارژ تا سطح انرژی پایین و شارژ مجدد سریع یا شارژ و دشارژ سیکلی برای سال‌ها طراحی شده است. باتری باید به اندازه‌ای بزرگ باشد که انرژی کافی برای کارکردن تجهیزات در شب، روزهای ابری و در صورت نیاز در زمستان را ذخیره نماید. برای اطلاع از اندازه باتری، موارد زیر باید انجام شود:

۱- مجموع وات-ساعت مصرف شده در روز توسط تجهیزات محاسبه شود.

۲- کل وات-ساعت مصرف شده در روز بر ۰٫۸۵ برای تلفات باتری، تقسیم شود.

۳- پاسخ بدست آمده در بند ۲ بر ۰٫۵ برای عمق دشارژ، تقسیم شود.

---

[۱] Sunlight Factor

۴- جواب بدست آمده در بند ۳ باید بر ولتاژ نامی باتری تقسیم شود (۱۲ ولت، ۲۴ ولت و ۴۸ ولت).

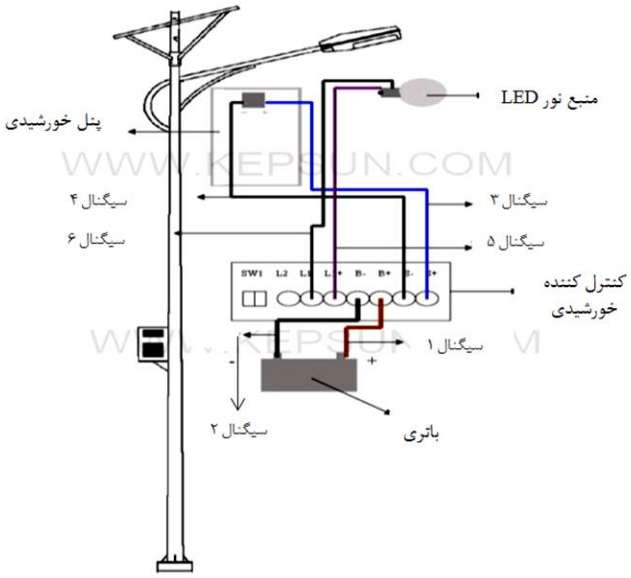
۵- پاسخ بدست آمده در بند ۴ در روزهای مستقل[۱] ضرب شود (تعداد روزهایی که سیستم باید کار کند ولی توانی توسط پنل‌های PV تولید نمی‌شود)، تا ظرفیت آمپر ساعت موردنیاز باتری با چرخه عمیق بدست آید.

د) مشخصات فنی کنترل‌کننده شارژ: کنترل‌کننده شارژ خورشیدی باید برای مطابقت ولتاژ سیستم PV و باتری انتخاب شود و سپس باید مشخص شود که کدام نوع از کنترل‌کننده شارژ خورشیدی برای کاربرد مورد نظر مناسب‌تر است. باید اطمینان حاصل نمود که کنترل‌کننده شارژ خورشیدی، ظرفیت کافی برای کنترل جریان از سیستم PV را دارد. برای کنترل‌کننده شارژ نوع PWM، مشخصات فنی کنترل‌کننده به کل جریان ورودی PV که به کنترل‌کننده تحویل داده می‌شود و همچنین به پیکربندی پنل PV بستگی دارد.

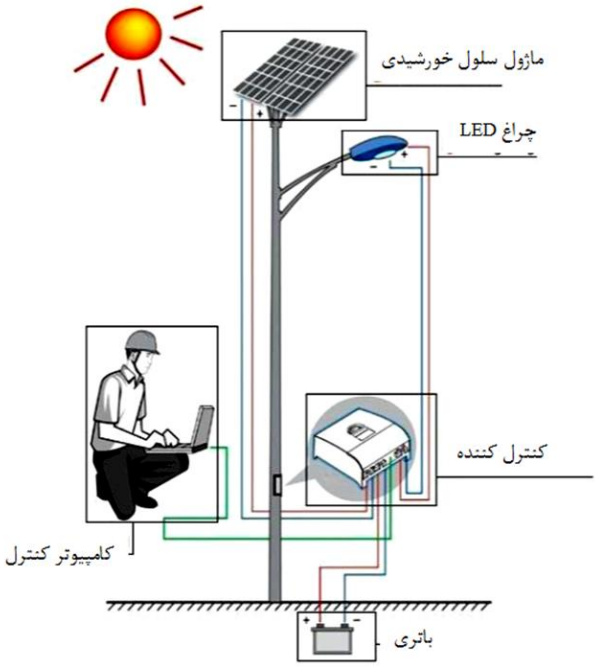
۱۴-۴- نصب سیستم چراغ خیابانی خورشیدی

پیکربندی سیستم چراغ خیابانی خورشیدی باید به گونه‌ای طراحی شود تا در شرایط سخت محیطی مقاومت کند، زیرا این سیستم در راه‌هایی نصب می‌شود که به صورت مداوم در معرض آفتاب، باران، مه و آلودگی می‌باشند. نصب روشنایی خیابانی خورشیدی نباید به زیبایی شهر یا طرح خیابان موجود آسیب بزند؛ بلکه باید موجب زیبایی راه شود. چراغ‌های خیابانی خورشیدی را می‌توان به دو روش نشان داده شده در شکل ۱۴-۹ نصب نمود[۷۲]. بخش (الف) شکل ۱۴-۹ وضعیتی را نشان می‌دهد که باتری در جعبه باتری روی پایه نگهداری می‌شود در حالی که در بخش (ب) باتری در زیرزمین نصب می‌شود. هر یک از پیکربندی‌ها را می‌توان برای نصب سیستم در نظر گرفت و بسته به نیاز پروژه باید در مورد آن تصمیم‌گیری نمود. با این وجود، جعبه باتری نصب شده بر روی پایه چراغ، در مورد سیستم‌های روشنایی خیابانی خورشیدی مستقل، متداول است.

[۱] Days of Autonomy



(الف)



(ب)

شکل ۱۴-۹: طرح‌های نصب چراغ خیابانی خورشیدی

۱۴-۵- مشخصات فنی برای اجرای سیستم

۱۴-۵-۱- مشخصات فنی باتری

مشخصات فنی باتری استفاده شده در روشنایی خیابانی خورشیدی باید به صورت جدول ۱۴-۱ بیان شود[۷۲].

جدول ۱۴-۱: مشخصات فنی باتری

ردیف	توصیف	مشخصات
۱	نام سازنده	
۲	برند/ مدل	
۳	نوع باتری	سرب اسیدی درزگیری شده-ژل لوله‌ای VRLA با سیکل عمیق خورشیدی یا لیتیوم یونی با حفاظت مناسب
۴	ولتاژ باتری	برای باتری سرب اسیدی: ۱۲ V برای باتری لیتیوم یونی باید ولتاژ سازگار با سیستم پیشنهاد شود.
۵	کارایی باتری	حداقل ۸۵٪
۶	مقدار (ذکر ظرفیت)	باتری منفرد باید دارای حداقل ظرفیت.... باشد.
۷	رگولاسیون فشار	باتری باید دارای دریچه تنظیم فشار که خودآب‌بندی شونده و ضد شعله است، باشد.
۸	دشارژ خودی	کمتر از ۳٪ در هر ماه
۹	دمای عملکرد	۲۰°C- تا ۵۵ °C
۱۰	دستورالعمل	دستورالعمل شارژ باید همراه با باتری‌ها ارائه شود.
۱۱	وارانتی	۵ سال گارانتی تعویض.
۱۲	ساختار	برای باتری سرب اسیدی: صفحه مثبت: صفحه لوله‌ای با سرب یا شبکه ستون آلیاژ جداساز: جداساز ترکیبی با منافذ میکرو الکترولیت: سولفوریک اسید ترمینال‌های VRLA: ترمینال‌های اپوکسی درزگیری شده با آلیاژ مس با روکش سرب رزوه‌ای.
۱۳	سیکل عمر باتری	حداقل ۱۵۰۰ در ۸۰٪ DOD.

حداقل اطلاعات زیر باید بر روی برچسب باتری درج شود و برچسب باتری باید ثابت شود یا بر بدنه باتری روی صفحه‌ای چاپ شود:

- برند یا نام سازنده؛
- مدل و نوع؛
- ظرفیت نامی به آمپر ساعت؛
- ولتاژ نامی.

۱۴-۵-۲- ماژول PV خورشیدی

ماژول‌های PV خورشیدی باید از شرکت‌های تهیه شوند که مطابق با استاندارد تعیین شده فعالیت می‌کنند. ماژول‌های PV معمولا باید از نظر دوام و قابلیت اطمینان مطابق با استانداردهای توسعه یافته توسط کمیسیون بین‌المللی الکترونیک

آزمایش شوند. مجموعه استانداردهای IEC 61215 (برای ماژول‌های سیلیکون کریستالی) شامل تست‌هایی برای چرخه حرارتی، رطوبت و انجماد، تنش و پیچش مکانیکی، مقاومت در برابر تگرگ و عملکرد در شرایط آزمایش ثابت می‌باشند. مشخصات فنی ماژول PV خورشیدی باید به صورت جدول ۱۴-۲ بیان شود.

جدول ۱۴-۲: مشخصات ماژول **PV** خورشیدی

ردیف	توصیف	مشخصات
۱	نام سازنده	
۲	برند/ مدل	
۳	ظرفیت ماژول	حداقل ظرفیت ماژول باید .... باشد.
۴	نوع ماژول PV	مونو یا پلی کریستالی یا فیلم نازک
۵	ولتاژ عملکردی مربوط به توان خروجی (Vmp)	برای نوع کریستالی، حداقل Vmp ۳۴ برای هر ماژول ۲۴V و Vmp ۱۷ برای هر ماژول ۱۲V برای فیلم نازک Vmp ماژول باید حداقل ۴۰٪ بیشتر از ولتاژ سیستم باشد.
۶	حداقل کارایی ماژول	کریستالی: حداقل ۱۴٪ فیلم نازک: حداقل ۱۰٪
۷	کاهش توان	برگه‌ای که توسط سازنده ماژول در سربرگ خود سازنده ارائه می‌شود، دوره گارانتی ماژول PV را ذکر می‌کند. دوره گارانتی برای ماژول PV باید حداقل ۱۰ سال در مقابل حداکثر ۱۰٪ کاهش و ۲۰ سال در برابر ۲۰٪ کاهش توان خروجی باشد.
۸	جعبه اتصال	IP65 یا بالاتر
۹	ساختار ماژول نصب شده	سازه‌های پشتیبانی غیرخورنده که باید در بالای پایه روشنایی ثابت شوند. برای مناطقی که در محل نصب، مشکل سایه وجود دارد، ماژول PV خورشیدی آن سیستم روشنایی خیابانی خاص را می‌توان در پشت بام خانه مجاور نصب نمود. برای چنین نصب‌هایی باید بین جامعه کاربر و صاحب خانه قراردادی امضا شود.
۱۰	زاویه شیب و جهت	به سمت جنوب در اطراف عرض جغرافیایی محلی
۱۱	طراحی ساختار پشتیبان و تجهیزات نصب پایه باید مقاوم باشند	سرعت باد تا ۱۸۰ km/hr
۱۲	اتصال دهنده‌ها (مهره و پیچ‌ها)	فولاد ضدزنگ یا گالوانیزه شده به روش غوطه‌وری گرم
۱۳	IEC 61215	ماژول‌های PV سیلیکون کریستالی زمینی[۱]- مشخصات طراحی و تایید نوع
	IEC 61646	ماژول‌های PV فیلم نازک زمینی[۲]- مشخصات طراحی و تایید نوع
۱۴	IEC 61730	شرایط ایمنی ماژول PV

[۱] Crystalline Silicon Photovoltaic Modules

[۲] Thin-Film Terrestrial Photovoltaic Modules

۱۴-۵-۳- کنترل‌کننده شارژ

مشخصات فنی کنترل‌کننده شارژ به شرح جدول ۱۴-۳ می‌باشد.

جدول ۱۴-۳: مشخصات فنی کنترل‌کننده شارژ

ردیف	توصیف	مشخصات
۱	نام سازنده	
۲	برند/ مدل	
۳	نوع	کنترل کننده یا رگولاتور شارژ خورشیدی
۴	حالت کنترل	PWM یا MPPT
۵	دما و رطوبت کار	۲۰- تا ℃ ۵۵ و ۳۵ تا RH ۸۵٪ (بدون چگالش)
۶	عملکرد حفاظت	حفاظت در برابر شارژ معکوس خورشیدی، حفاظت از اتصال معکوس خورشیدی، حفاظت از شارژ بیش از حد باتری، محافظت در برابر دشارژ بیش از حد باتری، حفاظت از اتصال معکوس باتری
۷	ظرفیت	ظرفیت کنترل کننده شارژ باید .... باشد.

۱۴-۵-۴- چراغ خیابانی خورشیدی یا مجموعه لامپ

جزئیات مشخصات فنی این مجموعه در جدول ۱۴-۴ آورده شده است.

جدول ۱۴-۴: مشخصات فنی چراغ خیابانی خورشیدی یا مجموعه لامپ

ردیف	توصیف	مشخصات
۱	نام سازنده	
۲	برند/ مدل	
۳	نوع	LED
۴	منبع نور LED	ظرفیت روشنایی باید ..... باشد.
۵	بهره نوری	حداقل ۱۰۰ لومن بر وات
۶	روشنایی LED	لامپ خیابانی نباید از ارتفاع ۹ متری، نوری کمتر از ۰/۵ لوکس بر وات عمود داشته باشد. روشنایی باید یکنواخت و بدون لکه‌های تیره روی زمین باشد.
۷	زاویه دید	مساوی یا بزرگتر از ۵۰×۲
۸	شاخص تفکیک رنگ (CRI)	شاخص تفکیک رنگ برای LED سفید منفرد باید کمتر از ۶۰ باشد و دمای رنگ باید در محدوده ۶۰۰۰-۵۰۰۰ درجه کلوین باشد.
۹	توان کل نامی لامپ	ظرفیت روشنایی باید .... باشد.
۱۰	عملکرد کنترل	عملکرد باید از غروب تا سپیده‌دم به صورت خودکار باشد.
۱۱	مدار درایور	باید دارای کنترل کننده شارژ کامل مدار درایور با راندمان کمتر از ۸۵٪ باشد.
۱۲	حفاظت	لامپ باید در برابر پلاریته معکوس محافظت شود.
۱۳	گواهی	باید گواهی انطباق IP65 یا بالاتر دریافت شود.
۱۴	عمر مورد انتظار	عمر LED پیشنهادی باید حداقل ۵۰۰۰۰ ساعت باشد.

حداقل اطلاعات زیر باید در برچسب چاپ شده روی صفحه لامپ LED خیابانی گنجانده شود:

- برند/ مدل/ شماره سریال
- توان نامی به وات
- ولتاژ نامی

۱۴-۵-۵- پایه روشنایی خیابانی

مشخصات فنی پایه روشنایی خیابانی در جدول ۱۴-۵ آورده شده است.

جدول ۱۴-۵: مشخصات فنی پایه روشنایی خیابانی

ردیف	توصیف	مشخصات
۱	نام سازنده	
۲	نوع	گالوانیزه شده به روش غوطه‌وری گرم (حداقل پوشش ۸۰ میکرون)
۳	ارتفاع	حداقل ارتفاع پایه باید .... باشد.
۴	ضخامت پایه	**برای پایه روشنایی ۱۰ متر:** بالای ۲٫۴ متر: ۳٫۶۵ mm وسط ۲٫۴ متر: ۴٫۵ mm پایین ۵٫۲ متر: ۴٫۵ mm **برای پایه روشنایی ۹ متر:** بالای ۲ متر: ۳٫۲۵ mm وسط ۲ متر: ۴٫۵ mm پایین ۵ متر: ۴٫۸۵ mm **برای پایه روشنایی ۸ متر:** بالای ۱٫۷۵ متر: ۳٫۲۵ mm وسط ۱٫۷۵ متر: ۴٫۸۵ mm پایین ۴٫۵ متر: ۵٫۴ mm **برای پایه روشنایی ۷ متر:** بالای ۲٫۵ متر: ۳ mm پایین ۴٫۵ متر: ۴ mm
	قطر بخش‌های پایه	**برای پایه روشنایی ۱۰ متر:** بالای ۲٫۴ متر: حداقل ۷٫۶ cm وسط ۲٫۴ متر: حداقل ۱۰٫۱۶ cm پایین ۵٫۲ متر: حداقل ۱۲٫۷ cm **برای پایه روشنایی ۹ متر:** بالای ۲ متر: حداقل ۷٫۶ cm

ردیف	توصیف	مشخصات
		وسط ۲ متر: حداقل ۱۰/۱۶ cm پایین ۵ متر: حداقل ۱۲/۷ cm **برای پایه روشنایی ۸ متر:** بالای ۱/۷۵ متر: حداقل ۷/۶ cm وسط ۱/۷۵ متر: حداقل ۱۰/۱۶ cm پایین ۴/۵ متر: حداقل ۱۲/۷ cm **برای پایه روشنایی ۷ متر:** بالای ۲/۵ متر: حداقل ۷/۶ cm پایین ۴/۵ متر: حداقل ۱۰/۱۶ cm
۵	بازو	تک بازو یا دو بازو بسته به شرایط مکان و پوشش منطقه روشنایی
۶	فقط وزن پایه روشنایی	**برای پایه روشنایی ۱۰ متر:** حداقل ۱۵۰ کیلوگرم **برای پایه روشنایی ۹ متر:** حداقل ۱۲۰ کیلوگرم **برای پایه روشنایی ۸ متر:** حداقل ۹۵ کیلوگرم **برای پایه روشنایی ۷ متر:** حداقل ۷۵ کیلوگرم
۷	محفظه باتری	یک جعبه فلزی با تهویه، ضداسید و مقاوم در برابر خوردگی با قفل مناسب به منظور استفاده در فضای باز باید برای قرار دادن باتری ارائه شود.

همچنین یک کتابچه راهنمای عملکرد، دستورالعمل و نگهداری، به زبان انگلیسی و به زبان محلی، باید همراه با سیستم روشنایی خیابانی خورشیدی و جزئیات سیم‌کشی و نمودارهای اتصال نیز به همراه دفترچه راهنما ارائه شود.

نکات مرتبط با ایمنی که باید در طراحی و نصب سیستم روشنایی خیابانی در نظر گرفته شود شامل موارد زیر است:

الف) قطعات فلزی سیستم روشنایی خیابانی باید با حداقل فاصله ۱/۲۵ متر از خط توزیع استاندارد NEA 400V/11 kV ارائه شوند.

ب) ایمنی نصب مناسب مانند دستکش‌های عایق، کمربند ایمنی، کلاه ایمنی و غیره استفاده شود.

ج) اجسام فلزی مانند ساعت، حلقه و گردنبند همگی رسانای خوبی برای جریان الکتریسیته هستند و نباید در اطراف قطعات الکتریکی قرار داده شوند.

د) دستورالعمل سازنده باید توسط اپراتور برای عملکرد ایمن فناوری الکتریکی خورشیدی دنبال شود.

۱۴-۶- انواع دیگر سیستم روشنایی راه خورشیدی

در این بخش دو پیشنهاد دیگر برای سیستم روشنایی خیابانی خورشیدی ارائه شده است که استفاده از آنها به شرایط مکان موردنظر و نظر مسئولان صاحب‌نظر بستگی دارد.

سیستم روشنایی خورشیدی متمرکز راه: برای این نوع از طرح روشنایی خیابان، بررسی فنی و طراحی باید با جزئیات خاص مکان انجام شود. خروجی توان سیستم متمرکز باید، توان AC باشد و بنابراین باید از لامپ LED مناسب استفاده گردد. در سیستم متمرکز، آرایه‌هایی از پنل‌های PV در یک مکان مناسب ثابت می‌شوند و توان خروجی از منبع از طریق کابل‌های توزیع به چراغ‌های یک گروه خاص توزیع می‌شود. برای این نوع سیستم روشنایی، از آنجایی که باتری در یک مکان به صورت بانک باتری نصب می‌شود، می‌توان از باتری لوله‌ای تر با سیکل عمیق علاوه بر باتری‌های ذکر شده در بالا (لیتیوم یونی و لوله‌ای ژلی) استفاده نمود.

سیستم روشنایی راه هوشمند: در مرجع [۷۴] یک سیستم روشنایی فضای باز با انرژی خورشیدی طراحی، ساخته و آزمایش شده که به یک کنترل کننده هوشمند مجهز است. این کنترل کننده طوری طراحی شده که به صورت مداوم وضعیت باتری را کنترل می‌کند و بر این اساس سطح روشنایی چراغ LED را به منظور برآورده نمودن نیازهای روشنایی و یا برای روشن نگه داشتن چراغ در طولانی‌ترین زمان ممکن کنترل می‌کند. استفاده از این سیستم مشکل خاموشی ناگهانی چراغ را از بین می‌برد و بنابراین نظارت و احساس ایمنی را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، کنترل هوشمند از دشارژ شدن بیش از حد باتری جلوگیری می‌کند و در نتیجه طول عمر باتری را تضمین می‌نماید. اندازه‌گیری‌های انجام شده روی یک سیستم با استفاده از چراغ ۳۰ وات LED نشان داده که نحوه کار سیستم هوشمند به مراتب بهینه‌تر و ایمن‌تر است. جزئیات بیشتر در این رابطه در مرجع [۷۴] موجود می‌باشد.

۱۴-۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل از ضابطه، سیستم‌های روشنایی راه با انرژی خورشیدی مورد مطالعه قرار گرفت. مباحث این فصل شامل انواع سیستم‌های خورشیدی از نظر اتصال به شبکه، اجزای اصلی سیستم روشنایی راه با انرژی خورشیدی، فرایند طراحی سیستم روشنایی راه خورشیدی، نصب سیستم چراغ خیابانی خورشیدی، مشخصات فنی برای اجرای سیستم و انواع دیگر سیستم روشنایی راه خورشیدی بودند.

فصل ۱۵

کنترل روشنایی راه‌ها

مقدمه

از کنترل روشنایی به منظور کاهش یا افزایش نور خروجی چراغ‌ها، خاموش یا روشن نمودن بخشی از چراغ‌ها و صرفه‌جویی در مصرف انرژی استفاده می‌شود. به منظور آشنایی با مباحث کنترل روشنایی در روشنایی راه‌ها در این فصل از ضابطه به این مهم پرداخته می‌شود.

۱۵-۱- سیستم‌های کنترل روشنایی

کنترل فعال سیستم‌های روشنایی خیابان موجب صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف انرژی می‌شود، اما صرفه‌جویی باید نسبت به پیچیدگی و هزینه اضافی سنجیده شود. در حالت کلی سه نوع سیستم کنترل روشنایی شامل کنترل مستقل یا خودکار[۱]، کنترل متمرکز[۲] و کنترل دینامیک[۳] یا پویا وجود دارد[۷۵].

۱۵-۱-۱- کنترل مستقل یا خودکار

با کنترل مستقل روشنایی راه، چراغ‌ها از قبل با دوره‌های زمانی ثابت عملکردی، برنامه‌ریزی شده‌اند (معمولا توسط سازنده). از آنجایی که این نوع کنترل به روش‌های کنترل پیشرفته و سیستم‌های شبکه نیازی ندارد، ساده‌ترین و ارزان‌ترین راه‌حل است. با این حال، از آنجایی که معمولا این روش قابلیت برنامه‌نویسی محدودی دارد، اغلب هیچ راهی به منظور تنظیم کنترل برای آخر هفته و تعطیلات وجود ندارد. علاوه بر این، ساعت‌های داخلی ممکن است دقیق نباشند و هرگونه ارتقای سیستم به تغییر در هر چراغ نیاز دارد. از طرف دیگر، چون در هر پایه چراغ، سنسور وجود دارد، این سیستم کنترل موجب ایجاد هزینه‌های اضافی می‌شود.

۱۵-۱-۲- کنترل متمرکز

در کنترل متمرکز روشنایی راه، یک سیستم مرکزی، سیگنال کنترل را به همه چراغ‌های یک گروه می‌فرستد. معمولا این سیگنال از طریق خط برق ارسال می‌شود. اجرای تنظیمات مربوطه در این سیستم نسبتا ساده و ارزان است، در حالی که انعطاف‌پذیری لازم در تنظیم نور بر اساس نیازهای متغیر را فراهم می‌کند. در این روش، یک حسگر نور مرکزی می‌تواند زمان روشن شدن همه چراغ‌های یک گروه مشخص را تعیین نماید که برخلاف مدیریت مبتنی بر زمان، امکان تنظیم بر اساس شرایط آب و هوایی محلی نیز بوجود می‌آید. چنین حسگرهایی باید به طور منظم تمیز شوند تا عملکرد بدون اشکال آنها تضمین شود[۷۶]. گزینه دیگر کنترل متمرکز، شامل تضعیف نور بر اساس زمان می‌باشد که نور چراغ‌های خاص را در

---

[۱] Autonomous Control

[۲] Centralized Control

[۳] Dynamic Control

زمان‌ها و مناطق خاص کاهش می‌دهد یا خاموش می‌کند (مثلا در اواخر شب و زمانی که انتظار می‌رود حجم ترافیک کم باشد). این در حالی است که ممکن است کاهش هزینه‌های انرژی و آلودگی نوری موجب افزایش خطر برای افراد درگیر در ترافیک گردد، زیرا ممکن است آنها برای عبور از موانع دچار مشکل شوند[۷۵]. بنابراین، برای استفاده از این روش باید جنبه‌های مختلف به دقت ارزیابی شوند. علاوه بر این، جریان اطلاعات در کنترل متمرکز تنها در یک جهت است، یعنی گره مرکزی می‌تواند وضعیت گروه چراغ‌ها را تعیین کند، اما اطلاعاتی در مورد وضعیت چراغ‌ها و شرایط محلی دیگر دریافت نمی‌کند.

۱۵-۱-۳- کنترل دینامیک

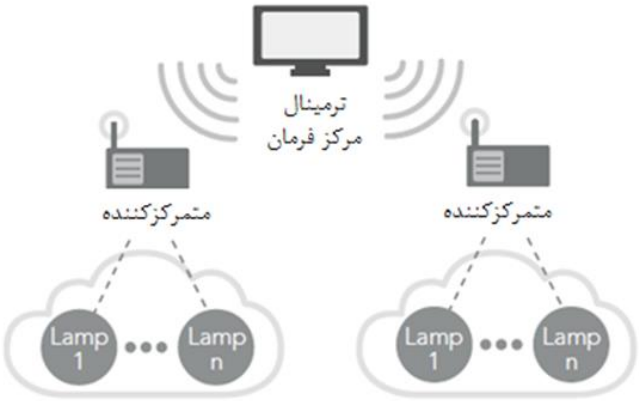
با مدیریت دینامیک روشنایی راه، بیشترین میزان کنترل فراهم می‌شود، زیرا علاوه بر این که می‌توان چراغ‌ها را به صورت گروهی یا جداگانه کنترل نمود، سرور کنترل مرکزی می‌تواند بسته به گزینه‌های نصب شده، اطلاعات مربوط به وضعیت چراغ‌ها را جمع‌آوری نماید(مثل خرابی‌ها، مصرف انرژی، دمای کارکرد یا محیط، نور محیط، ترافیک و حضور عابران پیاده). تغییرات در برنامه‌نویسی را نیز می‌توان به جای تغییرات در سخت‌افزار فیزیکی، روی سرور مرکزی انجام داد.

انعطاف‌پذیری بیشتر در کنترل دینامیک با پیچیدگی قابل توجه و در نتیجه هزینه اضافی همراه است. نرم‌افزار کنترل باید پیاده‌سازی و نگهداری شود و اپراتورهای محلی مسئول سیستم باید به منظور استفاده از آن آموزش ببینند. علاوه بر این، پیچیدگی اضافه شده مشکلات نرم‌افزاری را افزایش می‌دهد. لامپ‌ها باید به گونه‌ای نصب شوند که ایمنی اولیه ترافیک در شب را حتی در صورت عدم دریافت یا دریافت اشتباه فرمان‌های سیستم کنترل، تضمین نمایند[۷۶].

سیستم‌های مدیریت هوشمند پیشرفته به طور کلی توسط یک مرکز فرمان مرکزی کنترل می‌شوند که اغلب سروری است که در دفاتر مقامات محلی نگهداری می‌شود. این سرور، تعداد زیادی لامپ را کنترل می‌کند و فرمان‌هایی را ارسال می‌کند که وضعیت هر لامپ را تعیین می‌کند. فرمان‌ها به صورت مستقیم توسط سیستم‌های کنترل لامپ دریافت نمی‌شوند، بلکه ابتدا از متمرکزکننده‌ها عبور می‌کنند و سپس به شبکه‌های محلی متشکل از تعداد محدودی لامپ و محرک‌های کنترل‌کننده منتقل می‌شوند[۷۷].

هر دو سیستم کنترل متمرکز و دینامیک به پیاده‌سازی ICT[۱] با درجات پیچیدگی مختلف نیاز دارند. در حالی که این روش‌های کنترل گزینه‌های اضافی برای صرفه‌جویی انرژی ارائه می‌دهند، خود به منابع و تخصص‌های اضافی برای اجرا و نگهداری نیاز دارند و پیچیدگی اضافه شده، خطرات خرابی سیستم را افزایش می‌دهد[۷۵]. بنابراین قبل از پیاده‌سازی، مسئول تدارکات و برنامه‌ریزی باید در دسترس بودن تخصص و پشتیبانی پس از اجرا را بررسی نماید.

[۱] Information and Communications Technology

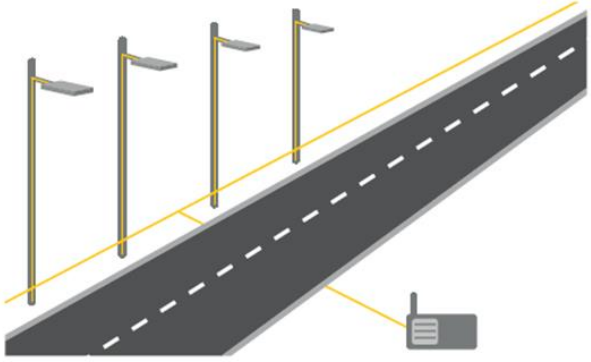


شکل ۱۵-۱: معماری سیستم کنترل روشنایی راه

در روش کنترل دینامیک، دو مفهوم فناوری ارتباطی (نحوه انتقال اطلاعات) و پروتکل ارتباطی (نحوه کدگذاری اطلاعات) برای تصمیم‌گیری در مورد معماری سیستم کنترل (شکل ۱۵-۱)، مورد نیاز می‌باشد.

دو مسیر یا پل ارتباطی شامل مسیر از مرکز فرمان به متمرکزکننده‌ها و مسیر از متمرکزکننده‌ها به لامپ‌ها، در یک سیستم روشنایی خیابان وجود دارند. اطلاعات از طریق کابل یا به صورت سیگنال‌های بی‌سیم در مسیرهای مذکور انتقال داده می‌شوند.

ارتباط کابلی بین مرکز فرمان و متمرکزکننده‌ها عموما از پروتکل‌های استاندارد ارتباطی اترنت استفاده می‌کند[۷۷]. در حالی که استفاده از کابل اترنت بین متمرکزکننده‌ها و لامپ‌ها از نظر تئوری امکان‌پذیر است، اما این امر مستلزم کابل‌کشی اضافی و در نتیجه هزینه‌های اضافی است. در عوض، شبکه‌های محلی کابلی برای روشنایی راه معمولا از ارتباطات PLC[۱] استفاده می‌کنند (شکل ۱۵-۲) که در این حالت از سیگنال‌های خط برق به منظور تبادل اطلاعات استفاده می‌شود.



شکل ۱۵-۲: ارتباطات **PLC**

[۱] Power Line Carrier

ارتباط بی‌سیم (شکل ۱۵-۳) بین مرکز فرمان و متمرکزکننده‌ها مستلزم آن است که بتوان فواصل نسبتا بزرگ را از طریق سیگنال‌های بی‌سیم پوشش داد. پروتکل‌های مناسب برای این لایه شامل Wi-Fi(802.11)، GPRS[۱] یا WiMax می‌باشند.

سیگنال‌های بی‌سیم بین متمرکزکننده‌ها و لامپ‌ها را می‌توان به صورت شبکه‌ای پیاده‌سازی کرد. حالت شبکه دارای این مزیت است که فقدان خط دید، ارتباط بین گره‌ها را قطع نمی‌کند. در صورت لزوم، قدرت سیگنال را می‌توان از طریق تکرارکننده‌ها، افزایش داد. پروتکل‌های مناسب برای این لایه عبارتند از:

- DALI[۲]: یک روش استاندارد تایید شده توسط IEC که برای کنترل مدارهای بالاست مورد استفاده به منظور نظارت بر تجهیزات روشنایی ایجاد شده است. با این حال، فقط می‌تواند تا ۶۴ گره را کنترل نماید.
- ZigBee: یک جایگزین کم‌هزینه و کم مصرف و با نرخ داده کم برای شبکه‌های بی‌سیم است. اما دارای مقداری تاخیر است که ممکن است موجب کندی عملکرد شبکه شود.
- 6LOWPAN[۳]: این استاندارد پروتکل مسیریابی خاصی را برای یک سیستم خاص تعریف نمی‌کند، انعطاف‌پذیری را افزایش می‌دهد و برای تعریف پروتکل‌های مورد استفاده در یک سیستم خاص به تلاش زیادی نیاز دارد[۷۸].

شکل ۱۵-۳: ارتباطات بی‌سیم

۱۵-۲- استراتژی‌های کنترل روشنایی راه

در طی سال‌های اخیر استراتژی‌های مختلف با سطوح پیچیدگی مختلف به منظور کنترل روشنایی راه‌ها ایجاد شده که هر کدام دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشند. حتی ممکن است برای استراتژی‌های پیچیده‌تر، برخی روش‌ها با هم ترکیب شوند[۷۵].

---

[۱] General Packet Radio Services

[۲] Digital Addressable Lighting Interface

[۳] IPv6 Over Low Power Wireless Personal Area Networks

۱۵-۲-۱- ساعت نجومی[۱]

ساعت‌های نجومی اطلاعات دقیقی در مورد طلوع و غروب خورشید برای هر موقعیت جغرافیایی خاص دارند. این اطلاعات را می‌توان از قبل و با دقت بسیار بالایی برای بازه‌های زمانی طولانی محاسبه نمود. با این حال، استراتژی‌های کنترل روشنایی مبتنی بر ساعت‌های نجومی ممکن است جنبه‌های جغرافیایی خاصی مانند تپه‌ها یا کوه‌های بزرگ که در سپیده‌دم یا غروب جلوی خورشید را می‌گیرند، در نظر نگیرند. علاوه بر این، ساعت‌های نجومی قابلیت پیش‌بینی در مورد شرایط آب و هوایی مانند طوفان که ممکن است به نور مصنوعی حتی در ساعات روشنایی روز نیاز باشد را ندارند.

ساعت‌های نجومی ممکن است یک طرح روشن/خاموش ساده برای روشنایی ایجاد کنند که زمان فعال شدن روشنایی در عصر و غیرفعال شدن در صبح را مشخص می‌کند. از طرف دیگر ممکن است پیش‌بینی شود که در دوره‌هایی از شب که بار ترافیکی کمتر است روشنایی فعال باقی بماند اما شدت آن کاهش یابد.

یکی از مزیت‌های اصلی ساعت‌های نجومی این است که برای کار کردن به هیچ سیستم پیچیده فناوری اطلاعات و ارتباطات نیاز ندارند.

۱۵-۲-۲- برداشت نور روز[۲]

برخلاف استفاده از ساعت‌های نجومی، استراتژی‌های برداشت نور روز از حسگرهایی برای تشخیص نور محیط و تنظیم نور مصنوعی در صورت کاهش یا افزایش سطح نور محیط از مقادیر آستانه خاص، استفاده می‌کنند. این رویکرد به طور خاص با نور کار می‌کند و می‌تواند با دوره‌های طولانی گرگ و میش و همچنین آب و هوای نامساعد تنظیم شود. با این حال، به منظور اطمینان از عملکرد مناسب این حسگرها، تمیز کردن منظم آنها نیاز است. علاوه بر این باید درباره اینکه یک حسگر واحد برای کنترل یک منطقه وسیع کافی است یا این که هر گروه از لامپ‌ها و یا حتی هر لامپ به صورت جداگانه به حسگر نیاز دارند، تصمیم‌گیری شود. گزینه اول پیچیدگی سیستم را کاهش می‌دهد، اما نمی‌تواند همه شرایط محلی را منعکس کند و نشان دهنده یک نقطه کار واحد برای سیستم است. گزینه دوم انعطاف‌پذیری بیشتری را فراهم می‌کند، اما به خرید تعداد زیادی حسگر اضافی نیاز دارد و همچنین برای تمیز نگه داشتن حسگرها، نگهداری بیشتری لازم است.

حسگرها را می‌توان در زیرساخت بزرگ‌تر ICT تعبیه کرد که (بسته به تنظیمات) می‌تواند نظارت بر روشنایی راه را در زمان واقعی فعال نماید. به این ترتیب، هر گونه مشکلی در نور کافی را می‌توان به سرعت شناسایی و برطرف نمود.

---

[۱] Astronomical Timer

[۲] Daylight Harvesting

۱۵-۲-۳- تشخیص ترافیک[1]

در بسیاری از راه‌ها، ممکن است ترافیک به خصوص در اواخر شب، کم باشد. بنابراین، کاهش سطح نور، موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. به منظور اطمینان از این که رانندگان در ترافیک همچنان می‌توانند با خیال راحت حرکت کنند، می‌توان سیستم‌های تشخیص ترافیک را نصب نمود که در صورت نیاز، دوباره سطح روشنایی را افزایش دهند. رایج‌ترین فناوری برای تشخیص ترافیک (چه وسایل نقلیه موتوری، چه دوچرخه‌سواران و چه عابرین پیاده)، حسگرهای حرکتی هستند. انواع آشکارسازهای حرکتی شامل موارد زیر می‌باشد[۷۵]:

آشکارسازهای حرکتی اولتراسونیک: این آشکارسازها تغییر امواج صوتی که از یک جسم متحرک به عقب باز می‌گردد را تشخیص می‌دهند. این نوع حسگرها نیازی به خط دید ندارند، ارزان هستند، می‌توانند اشیا را بدون توجه به ماده تشکیل دهنده آنها تشخیص دهند و کمی تحت تاثیر جریان هوای تا ۱۰ m/s (۳۶ km/h) قرار می‌گیرند. با این حال، این نوع آشکارسازها محدوده تشخیص پایینی دارند و می‌توانند تحت تاثیر رطوبت و دمای بالا قرار گیرند.

آشکارسازهای حرکتی مایکروویو: این آشکارسازها شبیه به تفنگ‌های رادار، بازتاب امواج ماکروویو از یک جسم متحرک را تشخیص می‌دهند. آنها قادر به تشخیص حرکات کوچک می‌باشند و تحت تاثیر دمای محیط اجسام قرار نمی‌گیرند. با این حال، این آشکارسازها پرهزینه می‌باشند و ممکن است به دلیل حرکت در خارج از منطقه مشخص شده، موجب تشخیص نادرست شوند.

حسگرهای مادون قرمز: این حسگرها گرمای یک جسم را نسبت به محیط اطراف خود تشخیص می‌دهند. آنها حسگرهای کاملا غیرفعالی هستند و برای جمع‌آوری اطلاعات، صدا یا تشعشعی منتشر نمی‌کنند. با این حال، ممکن است تشخیص کاذب را از هوای گرم، بارندگی یا اجسام داغ ایجاد نمایند.

پردازشگرهای ویدئویی: در پردازشگرهای ویدئویی از دوربین‌های فیلمبرداری به عنوان حسگرهای هوشمند استفاده می‌شود و اجسام متحرک از طریق الگوریتم‌های هوشمند شناسایی می‌شوند. این تجهیزات می‌توانند نسبت به سایر سیستم‌های تشخیص، منطقه بزرگتری را نظارت کنند و نه تنها حرکت، بلکه وجود اشیا را نیز تشخیص دهند. همچنین احتمال پاسخ‌های نادرست آنها کم است. با این حال، الگوریتم‌های پردازش داده‌ها منجر به پیچیدگی نرم‌افزاری می‌شود. علاوه بر این، آنها وابسته به نور می‌باشند و می‌توان این عیب را با فیلترهای مادون قرمز تا حدی جبران نمود.

سیستم‌های تشخیص حرکت می‌توانند با هم ترکیب شوند تا معایب یک نوع با قابلیت‌های نوع دیگر جبران شود.

هنگامی که نیاز به روشنایی اضافی توسط حسگرها تشخیص داده شد، سیستم باید اطمینان حاصل نماید که الزامات معمول برای سطح روشنایی راه مربوطه برآورده شده است.

---

[1] Traffic Detection

۱۵-۲-۴- تضعیف نور

بسته به ترافیک، آب و هوا و شرایط روشنایی محیط، ممکن است نیازی به کار کردن لامپ‌ها با تمام توان در طول شب نباشد. با ترکیب مناسب ساعت‌های نجومی، برداشت نور روز و طرح‌های تشخیص ترافیک با تضعیف نور، می‌توان به صرفه‌جویی زیادی در مصرف انرژی دست یافت. علاوه بر این، افزایش و کاهش تدریجی روشنایی موجب کاهش خیرگی آزادهنده برای ساکنان اطراف می‌شود. LEDها به ویژه برای استراتژی‌های مبتنی بر تضعیف نور بسیار مناسب هستند، زیرا می‌توان آنها را به آرامی و تقریبا بدون هیچ گونه عارضه فنی کم‌نور کرد، در حالی که سایر انواع لامپ‌های مورد استفاده در روشنایی راه را نمی‌توان کم‌نور کرد زیرا در هنگام کم‌نور شدن تغییر رنگ شدیدی ایجاد می‌کنند (لامپ‌های جیوه فشار بالا و متال هالید) و یا در مقدار کم‌نور شدن، محدویت دارند.

۱۵-۲-۵- ملاحظات

هم کنترل دینامیک روشنایی راه و هم استراتژی‌های کنترل پیشرفته مانند برداشت نور روز و تشخیص ترافیک، زمینه‌های فناورانه به سرعت در حال تغییر هستند و به همین دلیل نیازمند بررسی دقیق موانع و محدودیت‌های احتمالی برای اجرای موفقیت‌آمیز می‌باشند.

از آنجایی که اجرای کنترل دینامیک روشنایی راه می‌تواند منجر به سیستمی با پیچیدگی قابل توجه شود، اجراکننده سیستم باید مسئول پشتیبانی و نگهداری نیز باشد که احتمالا مستلزم قراردادهای خدمات طولانی می‌باشد. این امر به ویژه در صورتی مهم است که راه‌حل پیاده‌سازی شده دارای سیستم‌ها و اجزای متعددی باشد که نیاز به یکپارچه‌سازی و به‌روزرسانی دارند.

چراغ‌ها باید با یک حالت پیش فرض برنامه‌ریزی شوند که در صورت عدم دریافت یا دریافت سیگنال‌های کنترلی اشتباه، بتوانند به آن برگردند. این حالت پیش‌فرض باید نشان‌دهنده کنترل روشنایی مبتنی بر زمان باشد که استانداردهای قانونی را بدون هیچ ویژگی دینامیکی برآورده می‌کند. علاوه بر این، در صورت خرابی کامل سیستم، اپراتورهای تعیین شده باید بتوانند بدون نیاز به دخالت کارشناسان خارجی، بخشی یا کل سیستم روشنایی را در حالت پیش‌فرض قرار دهند[۷۵].

۱۵-۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

کنترل روشنایی راه‌ها در این فصل از ضابطه مورد بررسی قرار گرفت. به منظور کنترل روشنایی راه‌ها می‌توان از استراتژی‌های کنترل مختلف و سیستم‌های کنترل مختلف استفاده نمود تا به هدف موردنظر دست یافت. سیستم‌های کنترل مختلف شامل کنترل مستقل، کنترل متمرکز و کنترل دینامیک می‌باشند که در این فصل به آنها پرداخته شد.

فصل ۱۶

بازیافت لامپ‌های حاوی جیوه و LED

مقدمه

بازیافت فرایندی است که طی آن زباله‌ها و مواد دورریختنی جمع‌آوری شده و بعد از پردازش، تبدیل به محصولات جدید قابل استفاده می‌شوند. این امر موجب حفظ بسیاری از منابع مورد استفاده انسان می‌شود و از آلودگی بیشتر محیط زیست جلوگیری می‌کند. در این فصل بازیافت لامپ‌های حاوی جیوه و لامپ‌های LED بررسی شده است.

۱۶-۱- بازیافت لامپ‌های حاوی جیوه

۱۶-۱-۱- انواع لامپ‌های حاوی جیوه

لامپ‌های حاوی جیوه به منظور بهره‌وری انرژی بیشتر در مقایسه با سایر انواع روشنایی استفاده می‌شوند. آنها سه تا چهار برابر کارآمدتر از لامپ‌های فاقد جیوه هستند و نیاز به سوخت‌های فسیلی برای تولید برق را کاهش می‌دهند. مقدار جیوه در انواع لامپ‌های حاوی جیوه در جدول ۱۶-۱ مشخص شده و جزئیات بیشتر در ادامه آمده است. لامپ‌های حاوی جیوه را می‌توان با نماد شیمیایی شناخته شده جهانی جیوه، Hg، روی لامپ تشخیص داد.

جدول ۱۶-۱: مقدار جیوه در لامپ‌های حاوی جیوه

نوع لامپ	مقدار متوسط (میلی‌گرم)
لامپ‌های فلورسنت فشرده	۱-۲۵
فلورسنت U شکل	۳-۱۲
لامپ فلومریک	تقریبا ۲
لامپ فلورسنت خطی (LFL)	۱۰-۵۰
جیوه کاهش یافته (LFL)	۳-۱۲
لامپ‌های بخار جیوه	۲۵-۲۲۵
لامپ‌های متال هالید	۲۵-۲۲۵
لامپ‌های بخار سدیم	۲۰-۱۴۵

لامپ‌های فلورسنت فشرده: لامپ‌های فلورسنت فشرده اغلب به جای لامپ‌های رشته‌ای سنتی در صنعت مهمانداری، ادارات و سیستم‌های روشنایی خانه استفاده می‌شوند. لامپ‌های فلورسنت فشرده همه ویژگی‌های مشابه با فلورسنت‌های خطی را دارند، به جز اینکه برای جایگزینی لامپ‌های رشته‌ای طراحی شده‌اند که در مصارف مسکونی، تجاری، صنعتی و روشنایی تاکیدی، رایج هستند. این لامپ‌ها از نظر اندازه شبیه به لامپ‌های رشته‌ای هستند؛ اما، لامپ خطی با یک لوله فلورسنت کویل‌دار و فشرده جایگزین شده است.

لامپ فلورسنت U شکل: کاربرد این لامپ‌ها در لوازم خانگی، تجهیزات سقف و ویترین می‌باشد. زمانی از این لامپ‌ها استفاده می‌شود که نور فلورسنت مورد نظر باشد، اما فضای موجود برای لامپ‌های فلورسنت خطی سنتی بسیار کوچک

باشد. لامپ‌های فلورسنت U شکل ویژگی‌های مشابه با لامپ‌های فلورسنت خطی دارند، با این تفاوت که نیمی از فضای یک فلورسنت خطی قابل مقایسه را اشغال می‌کنند. بنابراین این لامپ‌ها را می‌توان با لوله فلورسنت U شکل آنها شناسایی نمود.

لامپ‌های فلومریک: لامپ‌های فلومریک به صورت جایگزین برای سیستم‌های رشته‌ای در کاربردهای مختلف استفاده می‌شوند. این لامپ‌ها با وات بالا دارای عمر طولانی، حداکثر ۲۰۰۰۰ ساعت هستند و برای کاربردهای روشنایی زیاد مانند روشنایی صنعتی، تعمیرگاه‌ها، روشنایی خیابان‌ها، نمای ساختمان، روشنایی امنیتی، آگهی‌نماها و میدان‌های ورزشی ایده‌آل می‌باشند. مدل‌های کوچکتر و با وات کمتر برای مدارس، فروشگاه‌ها و روشنایی نمایشگرها مناسب هستند. لامپ‌های فلومریک خودبالاست می‌باشند و نسبت به لامپ‌های رشته‌ای نور درخشان‌تری تولید می‌کنند. همچنین هیچ بالاست، سیم‌کشی یا وسایل خاصی برای مقاوم‌سازی تجهیزات رشته‌ای موجود در آنها نیاز نیست و این لامپ‌ها در ظاهر مشابه لامپ‌های رشته‌ای معمولی می‌باشند. آنها می‌توانند شفاف، سفید (مات) و خیلی بازتابنده (بازتابنده آلومینیومی با صفحه مات) باشند. برای تعیین فلومریک بودن لامپ باید برچسب و بسته‌بندی محصول بررسی شود.

لامپ‌های فلورسنت خطی: کاربرد این لامپ‌ها در روشنایی دفاتر، فروشگاه‌ها، انبارها، گوشه‌های خیابان و منازل می‌باشد. لامپ‌های فلورسنت، لوله‌های شیشه‌ای درزگیری شده هستند که حاوی مقادیر کمی جیوه (یک جز ضروری)، گاز بی‌اثر و پودر فسفر هستند که داخل لوله را پوشش داده‌اند. لامپ‌های فلورسنت بسیار کارآمد هستند و از تخلیه الکتریکی از طریق بخار جیوه کم‌فشار برای تولید انرژی فرابنفش (UV) استفاده می‌کنند. قطر این لامپ معمولا از ۲٫۵۴ تا ۳٫۸۱ سانتیمتر و طول آنها از ۰٫۶۱ تا ۲٫۴۴ متر متغیر است. لامپ‌های فلورسنت با جیوه کاهش یافته می‌توانند دارای نوار سبز رنگ یا نوشته‌ای در انتهای آن باشند.

لامپ‌های بخار جیوه: لامپ‌های بخار جیوه اغلب در کاربردهای لامپ‌های تخلیه با شدت بالا (HID) یافت می‌شوند. از آنها به عنوان چراغ‌های محوطه مزرعه، روشنایی خیابان‌ها، نورافکن عمومی و پارکینگ‌ها استفاده می‌شود. این لامپ از یک پوشش شیشه‌ای با یک لوله شیشه‌ای از کوراتز فشرده و الکترودهای فلزی مختلف در داخل آن تشکیل شده است. یک جریان الکترونیکی برای ایجاد یک قوس به منظور نمایش نور از آن عبور می‌کند. لامپ‌های بخار جیوه را می‌توان با تابش نور با درخشش مایل به آبی شناسایی نمود. کیفیت نمایش رنگ آن به خوبی لامپ‌های متال هالید یا بخار سدیم پرفشار نیست.

لامپ‌های متال هالید: لامپ‌های متال هالید برای روشنایی زمین‌های استادیوم ورزشی و سایر مناطقی که نور بسیار روشن مورد نیاز است، استفاده می‌شوند. این لامپ‌ها دارای نور درخشانی هستند و اغلب در کاربردهای HID یافت می‌شوند. آنها نور بهتری نسبت به لامپ‌های بخار جیوه یا سدیم ارائه می‌دهند. لامپ‌های متال هالید ممکن است تا ۵ دقیقه طول بکشد تا روشن شوند و یا در صورت خاموش و روشن شدن مجدد ۲۰ دقیقه زمان برای روشن شدن نیاز دارند. این لامپ‌ها یک نور سفید روشن از خود ساطع می‌کنند که از نظر کیفیت نزدیک به لامپ‌های رشته‌ای است. چراغ‌ها باید با بالاست‌ها

هماهنگ باشند و این لامپ‌ها با دیگر لامپ‌های تخلیه با شدت بالا (HID) قابل تعویض نیستند. لامپ‌های متال هالید شامل یک محفظه شیشه‌ای با یک لوله شیشه‌ای کوارتز فشرده و الکترودهای فلزی مختلف در داخل می‌باشند که یک جریان الکترونیکی از آن عبور می‌کند تا یک قوس و سپس یک نمایشگر نور ایجاد نماید.

لامپ‌های بخار سدیم: لامپ‌های بخار سدیم از نوع لامپ‌های تخلیه با شدت بالا (HID) و مقرون به صرفه هستند که برای روشنایی خیابان‌ها، نورافکن‌های عمومی و پارکینگ‌ها استفاده می‌شوند. این لامپ‌ها از یک محفظه شیشه‌ای با یک لوله شیشه‌ای از کوارتز فشرده و الکترودهای فلزی مختلف در داخل تشکیل شده است. یک جریان الکترونیکی از آن عبور می‌کند تا یک قوس و سپس یک نور ایجاد کند. لامپ‌های بخار سدیم دو مدل کلی بخار سدیم پرفشار (۱۰۰۰-۷۰ وات) و سدیم کم‌فشار (۱۸۰-۳۵ وات) دارند. این لامپ‌ها با انتشار نور با درخشش زردرنگ قابل شناسایی هستند[۸۰].

۱۶-۱-۲- جیوه و تاثیر آن بر محیط زیست

جیوه فلزی نقره‌ای رنگ، سنگین، سمی و مایع است. این ماده به صورت طبیعی از طریق سنگ و خاک، فعالیت‌های آتش‌فشانی و به صورت غیرطبیعی از طریق صنایع کاغذسازی، دباغی چرم، صنایع سازنده قطعات الکترونیکی، آبکاری و کودهای شیمیایی وارد آب‌های سطحی می‌گردد. یکی از منابع غیرمستقیم ورود جیوه به آب‌های سطحی، جیوه موجود در هواست که از طریق باران به آب‌های سطحی و خاک وارد می‌شود. شکستن لامپ‌های دارای بخار جیوه در محیط زیست موجب ورود بخار جیوه به اتمسفر شده و این فلز توسط باران و برف مجددا وارد آب‌های زیرزمینی گشته و منطقه وسیعی را آلوده می‌کند[۸۱].

امروزه اثرات اصلی قرار گرفتن در معرض جیوه بر سلامت انسان به صورت اثرات عصبی، کلیوی، قلبی عروقی و ایمنی شناخته شده است. قرار گرفتن مزمن در معرض جیوه می‌تواند موجب آسیب به مغز، نخاع، کلیه‌ها و جنین در حال رشد شود. قرار گرفتن در معرض جیوه در دوران بارداری می‌تواند منجر به مشکلات عصبی رشدی در کودکان شود. همچنین جیوه می‌تواند توانایی حسی، بینایی، حرکتی و چشایی را مختل نماید. قرار گرفتن طولانی مدت در معرض جیوه ممکن است منجر به علائم به تدریج بدتر و در نهایت تغییرات شخصیتی، بی‌حالی و در موارد شدید کما یا مرگ شود[۸۰]. جیوه و ترکیبات آن توسط پوست، بلعیدن و تنفس جذب بدن می‌شوند. مهم‌ترین راه جذب جیوه در بدن، از طریق تنفس است. جیوه در دمای معمولی اتاق به راحتی تبخیر می‌شود و همین امر اهمیت پیشگیری از خطرات تماس با جیوه را نشان می‌دهد. به دلیل این که جیوه رنگ، طعم و بو ندارد، بنابراین کشف آن حتی اگر در شرایطی که در بالاترین مقدار ممکن هم باشد، به راحتی ممکن نیست. همچنین اهمیت خطر مسمومیت با جیوه به حدی است که یک قطعه از آن می‌تواند تمام هوای یک اتاق با اندازه معمولی را اشباع نماید[۸۱].

جیوه در محیط زیست بیشتر به صورت گاز و در طیفی از اشکال آلی (حاوی کربن) و غیرآلی (بدون کربن) وجود دارد که سمی بودن و ماندگاری آن در موجودات زنده متفاوت است. هنگامی که جیوه از اتمسفر به زمین می‌رسد، ممکن است در اثر فعالیت باکتریایی یا شیمیایی به شکل آلی به نام متیل جیوه تبدیل شود[۸۰].

متیل جیوه در ادامه متیلاسیون توسط باکتری‌ها می‌تواند به دی‌متیل که سمی‌ترین ترکیب آلی جیوه است، تبدیل شود. فرایند متیلاسیون در آب‌های اسیدی سریع‌تر انجام می‌گیرد[۸۱]. متیل جیوه بسیار سمی‌تر از مولکول‌های فلزی اصلی است که در هوا حرکت می‌کنند و توانایی جابجایی از طریق غشای سلولی و زیست‌انباشته[۱] در بافت‌های زنده را دارد. انباشت زیستی فرایندی است که طی آن یک ماده در یک موجود زنده از هوا یا آب اطراف یا از طریق مصرف مواد غذایی آلوده تجمیع می‌یابد. در شکل ۱۶-۱، مفهوم متیل جیوه انباشته شده با نقاط قرمز نشان داده شده است، اما اندازه نقاط به معنای مقیاس نیستند[۸۰].

شکل ۱۶-۱: زیست انباشته متیل جیوه

[۱] Bioaccumulation

۱۶-۱-۳- نحوه بازیافت لامپ‌های حاوی جیوه

بازیافت لامپ‌های حاوی جیوه آسان است، به عنوان مثال لامپ‌های فلورسنت با خرد کردن و جدا کردن شیشه، جیوه، پودر فسفر و آلومینیوم و سپس جذب بخار جیوه بازیافت می‌شوند. معمولا از دستگاه مخصوص خردکننده لامپ (Drum Top Crushers) برای خرد کردن شیشه و جذب بخار جیوه در فیلترها استفاده می‌شود. هنگامی که لامپ‌های خرد شده در ظرف‌های استوانه شکل[۱] یکپارچه شدند، مواد به تاسیساتی منتقل می‌شوند که در آنجا جداسازی بیشتر تحت فشار و گرما قبل از بازیافت جداگانه انجام می‌شود. همچنین می‌توان لامپ‌های بی‌عیب را به صورت مستقیم به تاسیسات بازیافت منتقل کرد[۸۰].

۱۶-۱-۳-۱- آموزش افراد

در هر مکانی که لامپ‌ها می‌سوزند یا غیرقابل استفاده می‌شوند، قبل از دفع خارج از محل[۲]، اقدامات زیر باید انجام شود:

- لامپ‌های مصرف شده در محل ذخیره‌سازی مشخص قرار داده شوند و از سایر پسماندهای عادی تفکیک شوند.
- از شکستن عمدی لامپ‌ها اجتناب شود.
- لامپ‌ها برای حمل و نقل آماده‌سازی شوند.

قبل از دور ریختن خارج از محل، ممکن است لامپ‌ها به منظور کاهش حجم در محل خرد شوند. این گزینه مستلزم آن است که یک برنامه کاری ایمن و دقیق برای استفاده از تجهیزات مخصوص خردکننده لامپ تهیه شود. استفاده از تجهیزات مخصوص خردکننده لامپ نیازمند توجه دقیق به استفاده از تجهیزات برای جلوگیری از قرار گرفتن افراد در معرض بخار جیوه است.

۱۶-۱-۳-۲- ذخیره‌سازی

اولین گامی که یک تولیدکننده لامپ حاوی جیوه باید انجام دهد این است که همه کارکنان را در مورد نحوه کار و روش صحیح برخورد با لامپ‌های آسیب دیده مطلع کند. استفاده معمول از لامپ‌های مصرف شده هیچ خطری برای سلامتی و ایمنی ندارد. گام دوم در بازیافت لامپ‌ها، جدا کردن آنها از جریان زباله و تعیین محل نگهداری مناسب است. یک فضای ذخیره‌سازی اختصاصی باید در محلی قرار گیرد که برای جلوگیری از دستکاری بتوان آن را قفل کرد و به دور از تردد انسانی باشد. منطقه باید خشک و دارای تهویه مناسب باشد و نباید یک فضای کاری عمومی باشد. هنگام انتخاب محل نگهداری باید عوامل زیر را در نظر گرفت:

---

[۱] Drums

[۲] Off-side Disposal

- چه نوع لامپی و چه تعداد از آن قرار است برای عملیات دفع یا خرد کردن خارج از محل جمع‌آوری شود.
- چه نوع و چه اندازه‌ای از ظروف بازیافت مورد نیاز خواهد بود. کجا باید قرار گیرند.
- حد انباشت فضای ذخیره‌سازی یا تعداد لامپ‌هایی را که می‌توان با خیال راحت ذخیره کرد، چقدر است.
- چگونه می‌توان آن را برای دسترسی کارمندان، مناسب نگه داشت.

۱۶-۱-۳-۳- بسته‌بندی و جابجایی لامپ‌های حاوی جیوه

در بسته‌بندی و جابجایی لامپ‌های حاوی جیوه باید به نکات ذیل توجه کرد:

- ❖ لامپ‌ها نباید توسط چسب به هم چسبانده شوند. این امر، جداسازی آنها برای خرد کردن را دشوار می‌کند.
- ❖ بسته‌بندی بین لامپ‌ها نیاز نیست، اما هر جعبه باید به اندازه ظرفیت پر شود تا از جابجایی لامپ‌ها در جعبه جلوگیری شود.
- ❖ اطمینان حاصل شود که کف جعبه‌ها مقاوم است و می‌تواند وزن محتویات را تحمل نماید.
- ❖ جعبه یا ظرف استوانه‌ای بیش از حد پر نشود تا هر حرکتی موجب شکستن لامپ گردد.
- ❖ اجسام سنگین روی جعبه‌ها یا لامپ‌های حاوی جیوه، قرار نگیرد.
- ❖ اطمینان حاصل شود که هر ظرف دارای برچسبی برای تشخیص لامپ‌های مصرف شده از لامپ‌های استفاده نشده است.
- ❖ برای لامپ‌های تخلیه با شدت بالا یا سایر لامپ‌های غیرصاف از جعبه مقوایی محکم برای ذخیره‌سازی استفاده شود. یک ورق روزنامه به دور لامپ پیچیده شود یا در محفظه اصلی خود قرار گیرد. روی جعبه با برچسب، تاریخ مشخص شود.
- ❖ اگر لامپ در جعبه یا محفظه استوانه‌ای شکست، به حال خود رها شود. سعی نشود لامپ شکسته یا قطعات آن از ظرف خارج شود. لامپ‌های شکسته را می‌توان در صورت وجود به یک محفظه استوانه‌ای شیشه خرد شده، اضافه نمود.

۱۶-۱-۳-۴- نگهداری سوابق

مهم است که سابقه زمانی رسیدن به حد انباشتگی و دفع خارج از محل یا خرد کردن لامپ نگهداری شود. حد انباشت برای هر تاسیسی متفاوت است و به اندازه فضای ذخیره‌سازی بستگی دارد.

ثبت حد انباشت را می‌توان با رعایت این اقدامات ساده انجام داد:

- ✦ با به‌روزرسانی فهرستی که هر بار یک لامپ حاوی جیوه به آن منطقه اضافه می‌شود، می‌توان مجموع تعداد لامپ‌های مصرف شده حاوی جیوه را که در یک منطقه ذخیره‌سازی قرار دارند، حفظ نمود.

- ✦ لامپ حاوی جیوه باید در یک منطقه انباشت خاص قرار گیرد و اولین تاریخی را که هر لامپ حاوی جیوه در آن منطقه تبدیل به زباله شده است، مشخص نمود.
- ✦ نگهداری سوابق برای دفع خارج از محل نیز مورد نیاز است.

۱۶-۱-۳-۵- تجهیز مخصوص خردکننده لامپ

خرد کردن لامپ در این تجهیزات با استفاده از یک تجهیز مکانیکی که در بالای یک ظرف استوانه‌ای شکل ۲۰۵ لیتری (۴۵ گالنی) قرار می‌گیرد، انجام می‌شود(شکل ۱۶-۲). کل لامپ‌ها در محفظه شکسته می‌شوند اما اجزا جدا از هم نیستند و ظرف استوانه‌ای شکل حاوی جیوه، پودر فسفر، شیشه و فلزات مخلوط خواهد بود. خرد کردن لامپ‌ها در ظرف استوانه‌ای شکل موجب آزاد شدن جیوه در فیلتر می‌شود که به دنبال آن محیط فیلتر آلوده به جیوه می‌باشد. با پیروی از دستورالعمل سازنده و ایجاد یک برنامه کاری ایمن و دقیق می‌توان از تجهیز مخصوص خردکننده لامپ با خیال راحت استفاده نمود. استفاده از تجهیز مخصوص خرد کردن لامپ تنها در صورتی در محیط‌های داخلی ممکن است که محیط مورد نظر دارای تهویه مناسب باشد. حتی اگر در حین کار کردن تجهیزات، مقداری بخار جیوه از آن خارج شود، در صورتی که اقدامات احتیاطی رعایت نشود، ممکن است افراد بیش از حد در معرض این بخار قرار گیرند[۸۰].

شکل ۱۶-۲:تجهیز مخصوص خردکننده لامپ حاوی جیوه

۱۶-۱-۴- دستورالعمل پاک‌سازی در صورت شکستن لامپ‌های حاوی جیوه

اگر لامپ حاوی جیوه شکست، دستورالعمل‌های زیر برای تمیز کردن باید دنبال شود[۸۰]:

- ✓ افراد و حیوانات خانگی از اتاق خارج شوند و در طول فرایند پاک‌سازی خارج از اتاق بمانند.
- ✓ از پا گذاشتن روی شیشه شکسته خودداری شود.
- ✓ قبل از شروع به نظافت، اتاق باید حداقل به مدت ۱۵ دقیقه با باز کردن درها و پنجره‌ها هوا تهویه شود. این موجب می‌شود که از کاهش سطح بخار جیوه قبل از تمیز کردن، اطمینان حاصل شود.
- ✓ برای تمیز کردن شکستگی اولیه نباید از جاروبرقی استفاده شود، زیرا بخار جیوه و گرد و غبار در سراسر منطقه پخش می‌شود و ممکن است جاروبرقی آلوده شود.
- ✓ به منظور جلوگیری از تماس مستقیم با جیوه و جلوگیری از بریدگی، در صورت وجود باید از دستکش یکبار مصرف استفاده نمود.
- ✓ تکه‌های شکسته و زباله‌ها را باید با دو تکه کاغذ یا مقوای محکم برداشت یا از خاک‌انداز استفاده نمود. نباید از جارو استفاده شود.
- ✓ از چسب‌های نواری یا مانند آنها برای برداشتن شیشه‌های ریز یا پودر باقیمانده استفاده شود.
- ✓ محل باید با یک حوله کاغذی مرطوب، پارچه یا دستمال مرطوب یکبار مصرف پاک شود تا ذرات باقیمانده از بین بروند.
- ✓ شیشه‌های شکسته و مواد پاک‌شده باید در یک ظرف شیشه‌ای درب‌دار قرار داده شود تا خروج بخار جیوه به حداقل برسد.
- ✓ در صورتی که لامپ روی فرش شکسته شده باشد، بعد از نظافت اولیه، اگر فرش قابل جابجایی است باید به بیرون برده شود، تکان داده شود و تا زمانی که ممکن است در هوای آزاد باقی بماند.
- ✓ اولین بار بعد از تمیز کردن فرش که از جاروبرقی استفاده می‌شود، درب اتاق‌های دیگر را بسته و با باز کردن در و پنجره‌های اتاقی که لامپ در آن شکسته، تهویه هوا ایجاد شود. وقتی جاروبرقی تمام شد باید کیسه جاروبرقی را در آورده و جاروبرقی با یک حوله کاغذی مرطوب، پارچه یا دستمال مرطوب یکبارمصرف تمیز شود. سپس کیسه جاروبرقی و حوله کاغذی در یک کیسه پلاستیکی مهروموم شده در محیط بیرون قرار گیرد. در صورتی که جاروبرقی دارای محفظه خلاء می‌باشد، محفظه باید با یک حوله کاغذی مرطوب تمیز شود و حوله دور انداخته شود. پس از اتمام جاروبرقی، به مدت ۱۵ دقیقه تهویه اتاق ادامه یابد.

۱۶-۱-۴-۱- لامپ‌های شکسته داخل جعبه

- در صورت مشاهده یک لامپ شکسته حاوی جیوه در یک جعبه، در صورت امکان جعبه با چسب بسته شود در حالی که هنوز شیشه شکسته در داخل جعبه است.
- سعی شود شیشه‌های شکسته در داخل خانه یا در یک منطقه با تهویه ضعیف، خارج نشود.
- جعبه در فضایی امن به بیرون منتقل شود و ترتیبی داده شود تا جعبه با سایر لامپ‌های حاوی جیوه آسیب ندیده دور ریخته شود.

۱۶-۱-۴-۲- دفع

- مواد زائد فورا در خارج از ساختمان و در یک منطقه حفاظت شده قرار داده شود.
- زباله‌ها همراه با سایر لامپ‌های حاوی جیوه در اسرع وقت دور ریخته شود. طرح دفع خارج از محل نیز بررسی شود.

۱۶-۱-۴-۳- شستشو

پس از جابجایی و دور ریختن زباله‌ها، دست‌ها را باید شست.

۱۶-۲- بازیافت لامپ‌های LED

محصولات روشنایی LED، به ویژه لامپ‌ها، در حالی که طول عمر زیادی دارند، پایان عمر قابل پیش‌بینی نیز دارند. از آنجایی که آنها حاوی عناصر ارزشمند زیادی هستند، عملا بازیافت می‌شوند. با این حال، مانند سایر محصولات الکترونیکی بسیار یکپارچه، بازیافت آنها کار ساده‌ای نیست. آندریا گاسمن و همکاران روشی را برای بازیافت موفق ارائه نمودند که در اینجا مورد بررسی قرار می‌گیرد[۸۲].

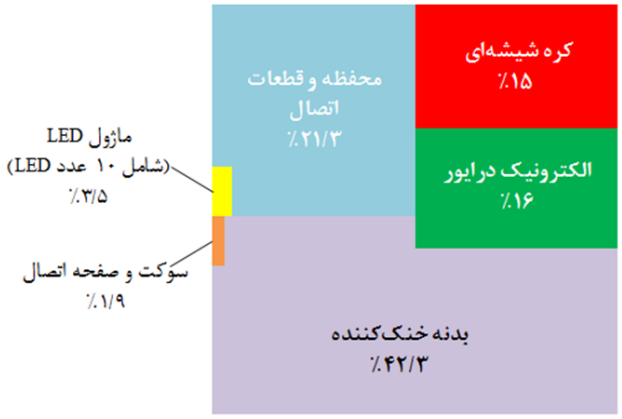
برتری فناوری LED بر فناوری‌های رایج برای بسیاری از کاربردها تایید شده است. LEDها پس از بازار نمایشگرهای صفحه تخت، وارد بازار روشنایی عمومی شدند و در تمام بخش‌ها از خانه‌های شخصی و تاسیسات صنعتی گرفته تا چراغ‌های خیابان نفوذ کردند. تعداد روزافزون لامپ‌های LED و به خصوص طراحی یکپارچه آنها که اغلب امکان تعویض آسان اجزا را نمی‌دهد، این سوال را مطرح می‌کند که چگونه می‌توان مواد ارزشمند موجود در این محصولات روشنایی را بازیافت و بازیابی نمود. با استفاده از روش‌های فعلی بازیافت زباله‌های الکترونیکی، مواد مخصوص LED مانند نیمه‌رساناهایی همچون گالیم، فلزات خاکی کمیاب مانند ایتریوم، لانتانیم یا یوروپیوم و فلزات گرانبها، به طور غیرقابل جبرانی پراکنده می‌شوند.

لامپ‌های LED علاوه بر مواد اصلی مانند شیشه، پلاستیک، فلزات، سرامیک، ترکیبات ارگانیک، چسب‌ها و اجزای الکترونیکی، حاوی مقادیر کمی از عناصر حیاتی از جمله فلزات خاکی کمیاب (Lu، Ce و Eu)، فلزات فناوری (Ga، In) و فلزات گرانبها (Au و Ag) هستند. در شکل ۱۶-۳ انبوهی از لامپ‌های ضایعاتی نشان داده شده است.

شکل ۱۶-۳: انبوهی از لامپ‌های ضایعاتی شامل لامپ‌های تخلیه گاز، لامپ‌های **LED** و لامپ‌های هالوژن برای بازیافت

۱۶-۲-۱- مواد با ارزش موجود در لامپ‌های LED

شکل ۱۶-۴، کسر جرمی بدست آمده از تجزیه یک لامپ LED را نشان می‌دهد. این کسر جرمی شامل ۴۲٫۳٪ بدنه خنک کننده از جنس آلومینیوم، ۲۱٫۳٪ بدنه و اجزای اتصال پلاستیکی، ۱۶٪ قطعات الکترونیکی درایور و ۱۵٪ کره شیشه‌ای می‌باشد. در این مثال، ماژول LED شامل ۱۰ عدد SMD-LED می‌باشد که بر روی یک پانل مبتنی بر آلومینیوم قرار گرفته است. جرم تمام LEDها تنها ۲۷۵ میلی‌گرم یا ۰٫۳۲٪ از کل جرم لامپ می‌باشد.



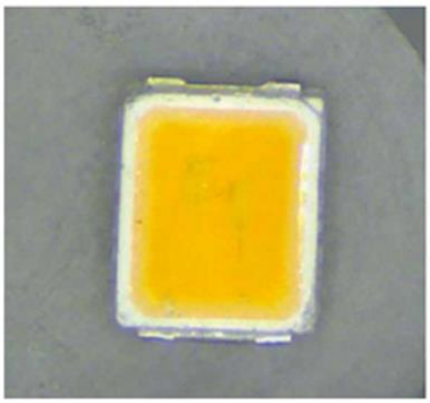
شکل ۱۶-۴: کسر جرمی اجزای یک لامپ **LED** معمولی (**E27,806lm,9.5W. 855g**)

مواد مورد استفاده در درایور الکترونیکی لامپ‌های LED در مقایسه با مواد موجود در بالاست لامپ‌های فلورسنت فشرده، تفاوت زیادی ندارند. بنابراین، تنوع مواد در لامپ‌های LED بیشتر به دلیل تجهیزات خود LED می‌باشد.

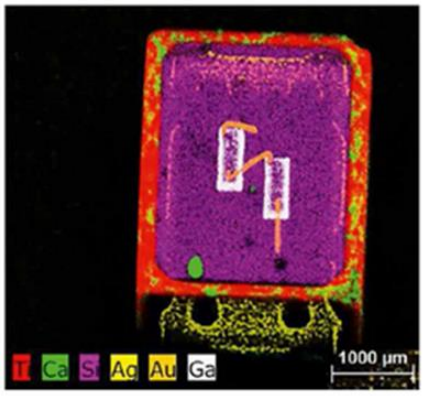
به طور کلی، عملکرد LEDهای سفید، به تبدیل جزئی نور از دیود ساطع‌کننده نور آبی (فسفر) متکی است که این بخش از یک ماتریکس معدنی تشکیل شده که با مقادیر کمی از عناصر خاکی کمیاب مانند Eu یا Ce ناخالص شده است. چند میکروگرم از عناصر خاکی کمیاب (به عنوان مثال ۳ میکروگرم Ce یا Eu در هر تراشه LED به ابعاد $1mm^2$) برای تبدیل نور کافی می‌باشد. سایر عناصر خاکی کمیاب ممکن است اجزای اصلی ماتریکس معدنی باشند (حدود ۲۰۰-۹۰

میکروگرم در هر میلیمتر تراشه)[۸۳]، که به عنوان مثال می‌توان به لعل‌های آلومینیومی مانند YAG [۱]، LuAG [۲] یا GdAG [۳] اشاره نمود.

LED آبی بر پایه GaN یا InGaN است و معمولا حاوی ۲۵-۱۷ میکروگرم Ga و ۲۸ نانوگرم In است[۸۴]. دیودها اغلب از طریق سیم‌های باند ساخته شده از طلا (Au)، که حدود ۲۰۰ میلی‌گرم برای هر دیود است، متصل می‌شوند[۸۵]. علاوه بر این، پکیج LED همچنین شامل نقره (Ag)، قلع (Sn)، نیکل (Ni)، تیتانیوم (Ti)، سیلیکون (Si) یا ژرمانیوم (Ge) است. مجموعه یک LED سفید در شکل ۱۶-۵ به صورت یک میکروگراف و یک تصویر پوششی از توزیع عناصر اصلی که توسط طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس [۴] نگاشت شده، نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۱۶-۵: (الف) یک **LED** سفید معمولی که پوشش عناصر اصلی توسط طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس (ب) نگاشت شده است

۱۶-۲-۲- نحوه بازیافت لامپ‌های LED

امروزه تنوع طرح‌های لامپ‌های LED زیاد است، اما احتمالا به دلیل آزادی طراحی ارائه شده توسط فناوری LED، این تنوع هنوز به اوج خود نرسیده است. با توجه به این که چراغ‌های LED یکپارچه می‌باشند و توسط مشتری قابل تعویض نمی‌باشند و طول عمر نسبتا بالایی دارند، می‌توان گمان برد که مشتریان لامپ‌هایی را که هنوز کارکرد دارند و دیگر به سبک و سیاق آنها نیستند، دور می‌ریزند و در نتیجه جریان‌های زباله ایجاد می‌شود. این فرضیه توسط تحقیقات مرجع [۸۲] در مورد لامپ‌های LED زباله پشتیبانی شده که نشان می‌دهد بسیاری از این لامپ‌ها، هنوز کاربردی هستند. رویه‌های بازیافت آینده‌نگر برای لامپ‌های LED ضایعاتی باید تنوع هندسه این لامپ‌ها را در نظر بگیرند. این کار ممکن

[۱] Yttrium Aluminum Garnet

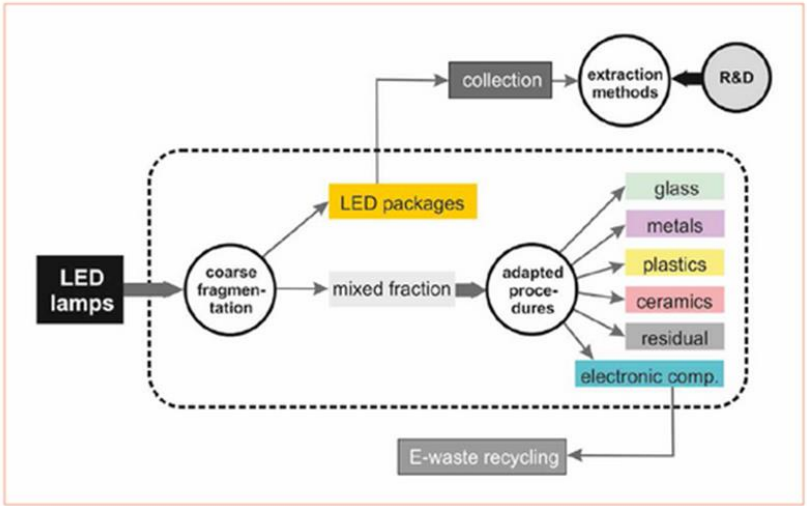
[۲] Lutetium Aluminum Garnet

[۳] Gadolinium Aluminum Garnet

[۴] X-ray Fluorescence Spectroscopy

است با روش‌های مرتب‌سازی پیچیده‌ای که می‌تواند به صورت مدولار در زنجیره فرایند ادغام شود، تحقق یابد. در یک سیستم بازیافت LED، اجزای حاوی عناصر حیاتی (مانند گالیم، ایندیم، عناصر خاکی کمیاب مانند ایتریوم، لانتانیم یا یوروپیوم و فلزات گرانبها) می‌توانند به صورت ناخالصی برای بخش‌های اصلی مواد در نظر گرفته شوند. به منظور حفظ بخش‌های اصلی، جداسازی پکیج‌های LED از بقیه باید مشابه با جداسازی فسفر لامپ از شیشه در بازیافت لامپ تخلیه گاز، انجام شود. اثر جانبی مثبت این عمل، تجمیع اجزای حاوی عناصر حیاتی LED برای راه‌حل‌های بازیافت آینده می‌باشد. در هر صورت، میزان استفاده مجدد و بازیافت اجزا، مواد و زیرسازها با این معیار به خطر نیفتاده و احتمالا بیشتر از ۹۰٪ خواهد بود.

شکل ۱۶-۶، یک طرحواره از مراحل لازم برای فرایند جداسازی اجزای موجود در لامپ‌های LED معمولی را نشان می‌دهد. گام تعیین کننده، تکه تکه شدن قطعات نسبتا درشت است. پس از آن، ترکیب مواد و اجزای حاصل باید با استفاده از روش‌های مناسب دسته‌بندی و طبقه‌بندی شوند. به عنوان مثال می‌توان از جداکننده‌های فلزی، برای مرتب کردن فلزاتی که می‌توانند مغناطیسی شوند، از روش‌های شناورسازی برای جداسازی مواد با چگالی بسیار متفاوت مانند پلاستیک و سرامیک و از الک کردن برای جداسازی ذرات مختلف استفاده نمود. قطعات الکترونیکی جمع‌آوری شده به بازیافت‌کننده‌های زباله الکترونیکی منتقل می‌شوند که در آنها استخراج مس از سیم‌پیچ‌های الکترومغناطیسی انجام می‌شود. پکیج‌های LED، به عنوان ناخالصی برای بخش‌های اصلی در نظر گرفته می‌شوند و به دلیل فلورسانس شدید آنها تحت تابش نور UV به راحتی قابل تشخیص می‌باشند. می‌توان به منظور بازیابی عناصر حیاتی پکیج‌های LED از روش‌های متداول برای فسفرهای ضایعاتی در لامپ‌های فلورسنت استفاده نمود.



شکل ۱۶-۶: طرحواره یک فرایند بازیافت برای لامپ‌های **LED**

استراتژی‌های بازیافت خاص[۱] بهترین راه برای بازیافت لامپ‌های LED به نظر می‌رسند، به ویژه استفاده از فناوری‌های جداسازی هوشمند برای تجزیه این لامپ‌ها به مواد یا اجزای تشکیل دهنده که بخش‌های نسبتا جدا شده را پس از طبقه‌بندی و مرتب‌سازی تولید می‌کنند. استفاده از فرایندهای مرسوم مانند خرد کردن، برش دادن یا ورقه‌ورقه کردن با توجه به اندازه قطعه تعریف می‌شود. با این حال، روش خرد کردن شدید که قطعات کوچک زیادی را تولید می‌کند، بهترین راه‌حل برای تجزیه مواد کامپوزیتی یا محصولات متشکل از ترکیب مواد پیچیده مانند لامپ نیست. در عوض روش EHF[۲] برای جداسازی انتخابی مواد و تضعیف رابط‌ها توسط امواج ضربه‌ای (Shock Waves) استفاده می‌شود. این روش برای تکه‌تکه کردن زباله‌های الکترونیکی مانند هارد دیسک یا تلفن‌های همراه، سلول‌های خورشیدی و همچنین لامپ‌های LED بسیار موثر است. امواج ضربه‌ای در یک محیط مایع (مانند آب) توسط دشارژهای ولتاژ بالای (HV) پالسی ایجاد می‌شوند. آنها از طریق محیط پخش می‌شوند و به لامپ‌های زباله قرار داده شده در داخل ظرف برخورد می‌کنند (بخش الف شکل ۱۶-۷). ضربه مکانیکی کوتاه اما شدید به نقاط ضعیف مانند اتصالات و عیوب وارد می‌شود. بنابراین، تکه‌تکه شدن هم در سطح ماکروسکوپی و هم در سطح میکروسکوپی انجام می‌شود.

شکل ۱۶-۷: (الف) مخلوطی از زباله‌های **LED** قبل از **EHF**، (ب) ترکیب اجزا و مواد پس از **EHF** لامپ‌های ضایعاتی، (ج) بخش‌های بدست آمده از مرتب‌سازی اجزا پس از **EHF**

[۱] Specific Recycling Strategies

[۲] Electrohydraulic Fragmentation

EHF ممکن است در چند مرحله پشت سر هم انجام شود. ابتدا، جداسازی اجزای منفرد را می‌توان تنها با استفاده از چند پالس HV بدست آورد. سپس یک مرحله پیش‌مرتب‌سازی اولیه می‌تواند قطعات فلزی، قطعات سرامیکی، بوردهای مدار، ماژول‌های LED یا قطعات پلاستیکی که می‌توانند مجددا با EHF پردازش شوند تا بخش‌های ریزتر ایجاد شود را جدا کند. یکی از مزایای EHF این است که پکیج‌های LED را می‌توان با انتخاب مناسب پارامترهای فرایند به صورت قطعه و اساسا بدون تخریب جدا نمود. این مساله در هنگام مرتب‌سازی بسیار مفید است[۸۲].

شکل ۱۶-۷ ترکیبی از نمونه لامپ‌های مختلف LED را قبل (الف) و بعد (ب) از EHF نشان می‌دهد. پس از جداسازی و مرتب نمودن مواد و اجزا، ارزیابی بخش‌های کوچک دریافتی تنها ۰/۵٪ تلفات به همراه خواهد داشت. در نتیجه ۹۹٫۵ درصد از کل جرم ورودی را می‌توان خرد و بازیابی نمود. در بخش (ج) شکل ۱۶-۷ بخش‌های کوچکی که پس از EHF یک لامپ منفرد به دست آمده، نشان داده شده است. بسته به پارامترهای فرایند و سطح مواد در ظرف، قطعات نسبتا درشت یا ریزتر به دست می‌آیند. این قطعات را می‌توان با تکنیک‌های مرتب‌سازی رایج مانند روش‌های الک کردن، جداسازی فلزات یا شناورسازی مرتب نمود.

از آنجایی که زباله‌های لامپ‌های LED و تخلیه گاز به صورت مشترک جمع‌آوری می‌شوند، خطر آلودگی لامپ با جیوه قابل حذف نیست. به همین دلیل، آب فرایند پس از EHF با یک آنالایزر جیوه آنالیز می‌شود. اگر هیچ آلودگی جیوه‌ای مشاهده نشود، با استفاده از ICP-OES[۱]، آب فرایند برای ردیابی بیشتر آلودگی‌های فلزی احتمالی ناشی از بخش‌های لامپ، به ویژه قطعات الکترونیکی یا پکیج‌های LED، بررسی می‌شود. نتایج نشان داده که آب فقط حاوی مقادیر کمی (کمتر از ۷۰ میلی‌گرم در لیتر) از فلزات مختلف، عمدتا قلیایی، قلیایی خاکی و فلزات واسط است. غلظت‌ها معمولا با غلظت‌های موجود در آزمون شاهد[۲] (آب شیرین) یکسان می‌باشد، بنابراین عناصر اضافی از لامپ‌ها در آب فرایند موجود نمی‌باشد. علاوه بر این، نتیجه مستقل از درجه خرد کردن، یعنی تعداد پالس‌های HV مورد استفاده برای آزمایش‌ها است. بنابراین، آب فرایند EHF توسط زباله لامپ‌های LED، آلوده نمی‌شود و پس از حذف مواد معلق با فیلتراسیون، می‌توان آن را دوباره استفاده کرد یا با خیال راحت دور ریخت.

به صورت خلاصه، EHF یک روش کارآمد، غیربحرانی و سازگار با محیط زیست برای خرد کردن ضایعات لامپ‌های LED می‌باشد. یکی از مزایای آن این است که پکیج‌های LED را می‌توان به راحتی و عمدتا از پنل LED جدا نمود (بخش (ج) شکل ۱۶-۷). با این اقدام گام مهمی در جهت توسعه بازیافت موفق لامپ LED برداشته شده است که راه را برای مرحله بعدی (توسعه روش‌های استخراج مناسب برای مواد ارزشمند درون خود LEDها مثل گالیم، ایندیوم، طلا و عناصر کمیاب) هموار می‌کند.

---

[۱] Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spec-troscopy

[۲] Blank Test

قبل از بازیافت عناصر خاکی کمیاب مورد استفاده در فسفرهای LED، ابتدا باید فسفرهای LED را از مواد چسبنده که معمولا رزین سیلیکونی است، جدا نمود. بدین منظور در طول پروژه بازیافت فرایند Creasolv توسعه یافت. تحقیقات بر روی تکنیک‌های جداسازی هوشمند برای لامپ‌های LED و روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی برای استخراج و بازیابی عناصر خاکی کمیاب، فلزات فناورانه یا فلزات گرانبها از LED همچنان ادامه دارد.

۱۶-۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل از ضابطه به روش‌های بازیافت لامپ‌های حاوی بخار جیوه و لامپ‌های LED پرداخته شد. بازیافت لامپ‌های حاوی بخار جیوه به دلیل جیوه موجود در آنها و خطرات آن برای سلامت محیط زیست و انسان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و نیاز به رعایت اصول خاصی دارد که در این فصل به آنها پرداخته شد. به دلیل جدید بودن فناوری لامپ‌های LED، تحقیقات برای روش‌های بازیافت پیشرفته همچنان ادامه دارد. در این فصل یکی از روش‌های مرسوم که برای بازیافت لامپ‌های LED مورد استفاده قرار می‌گیرد معرفی شد.

پیوست ۱ : پایداری

دستیابی به یک راه‌حل روشنایی پایدار نیازمند درک تاثیر کلی طرح در طول عمر آن می‌باشد. در این پیوست، راهنمای دستیابی به راه‌حل روشنایی پایدار فراهم شده است. چرخه زندگی طرح شامل چندین مرحله است که ممکن است شامل موارد ذیل باشد[۱]:

- خط مشی: کجا و چه زمانی و در چه سطحی روشن شود؛
- طرح: منطقه چگونه روشن می‌شود؛
- نصب و بهره‌برداری: کلیه کارهایی که در محل و قبل از شروع عملکرد انجام می‌شوند، از جمله تایید این که طرح نصب شده مطابق با طراحی و برنامه‌ریزی است؛
- عملکرد: طول عمر بین نصب و از رده خارج شدن[۱] را گویند؛
- تعمیر و نگهداری: مجموعه فعالیت‌های برنامه‌ریزی شده و برنامه‌ریزی نشده که برای اطمینان از ادامه عملکرد طرح، طبق برنامه انجام می‌شود؛
- از رده خارج شدن (عدم بهره‌برداری): حذف جزئی یا تمام زیرساخت‌های روشنایی از محل در پایان عمر را گویند.

عوامل زیر باید برای هر مرحله از چرخه عمر طرح در نظر گرفته شوند:

پایداری اقتصادی: به معنای اطمینان از مقرون به صرفه بودن طرح روشنایی در طول عمر مورد انتظار آن می‌باشد. برخی از عواملی که باید در این نوع پایداری در نظر گرفته شوند شامل هزینه‌های سرمایه‌ای، هزینه‌های انرژی الکتریکی، هزینه‌های تعمیر و نگهداری، هزینه‌های عملیاتی، هزینه‌های از رده خارج کردن و هزینه‌های ایمنی می‌باشد.

پایداری محیطی: به منظور اطمینان از این که طرح در طول چرخه حیات پیش‌بینی شده خود بر محیط زیست تاثیر منفی نگذارد. برخی از عواملی که باید در پایداری محیطی مورد توجه قرار گیرند شامل تخریب محیط زیست، استفاده از مواد سمی و خطرناک، انرژی چرخه عمر (تولید، بهره‌برداری و دفع زباله)، نور مزاحم، انتشار CO_2، از رده خارج کردن و استفاده مجدد می‌باشد.

پایداری اجتماعی: به معنای اطمینان از این که طرح پایداری اجتماعی را در طول عمر مورد انتظار خود بهبود بخشد. برخی از عواملی که در این پایداری باید مورد توجه قرار گیرند شامل تاثیر بصری، نصب دوربین مداربسته، ایمنی کاربر در راه‌ها و ایمنی نیروی کار، ترس و درک جنایت و ملاحظات اقتصادی هستند.

مراحل چرخه زندگی و معیارهای پایداری مربوط به آنها در جدول ۱ آمده است.

---

[۱] Decommissioning

جدول ۱: مراحل چرخه عمر و معیارهای پایداری مربوط به آنها

مرحله چرخه زندگی	معیارهای پایداری		
	اقتصادی	محیطی	اجتماعی
خط مشی (Policy)	بررسی شود که مزایا بیشتر از هزینه‌ها باشد؛ این طرح باید در تمام چرخه عمر خود مقرون به صرفه باشد. از استفاده کارآمد از انرژی الکتریکی اطمینان حاصل شود؛ روشنایی در مکان مناسب در زمان مناسب و با استفاده از سیستم‌های کنترل مناسب در سطح مناسب باشد. استفاده از محصولات اقتصادی را ترویج دهد.	به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی؛ برافروختگی آسمان، نور مزاحم و تاثیرات آن بر حیات وحش از جمله این عوامل هستند.	تاثیر بصری در روز و شب بهینه شود. مزیت روشنایی به صورت یک امکانات رفاهی در نظر گرفته شود.
طراحی	اطمینان حاصل شود که مزایای موردنظر از طریق سیستم روشنایی و الزامات آن محقق می‌شود. هزینه‌های ساخت، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری و انرژی الکتریکی بهینه شود. نیاز به مقاومت در برابر خرابکاری در نظر گرفته شود.	اثرات زیست محیطی مثبت (مانند ایمنی کاربر جاده) و منفی (مانند انتشار CO_2) در نظر گرفته شود. برافروختگی آسمان، نور مزاحم و تاثیر آن بر حیات وحش به حداقل برسد. مصرف، کمیت و نوع مصالح و تجهیزات برای به حداقل رساندن تاثیرات زیست محیطی بهینه شود.	مزایای ایمنی و تجاری (مانند افزایش بازدید) در نظر گرفته شود. عوارض جانبی احتمالی (مانند دسترسی سخت برای تعمیر و نگهداری) حداقل شود.
نصب و راه‌اندازی (بهره‌برداری)	هزینه‌های مواد بهینه‌سازی شود. هزینه‌های نصب بهینه‌سازی شود. کنترل روشنایی مطابق طراحی عمل نماید.	تاثیر تجهیزات موقت، کارخانه‌ها و ماشین‌آلات حداقل شود. بسته‌بندی به طور ایمن و صحیح مرتب شود (استفاده مجدد و بازیافت).	عوارض جانبی بر ساکنان نزدیک حداقل شود. ایمنی کاربران راه و نیروی کار در نظر گرفته شود.

مرحله چرخه زندگی	معیارهای پایداری		
	اقتصادی	محیطی	اجتماعی
عملکرد	تجهیزات و کنترل‌های روشنایی مطابق طراحی عمل کنند. تعرفه‌های بهینه انرژی الکتریکی انتخاب شوند.	برای به حداقل رساندن نور مزاحم و انتشار CO_2، روشنایی تطبیقی در نظر گرفته شود. از دستیابی به اهداف زیست محیطی اطمینان حاصل شود. تعرفه‌های انرژی سبز در نظر گرفته شود.	اطمینان حاصل شود که مزایای رفاهی که در مرحله سیاست‌گذاری مشخص شده، محقق می‌شود.
تعمیر و نگهداری	از سیاست تعمیر و نگهداری که در مرحله طراحی تعیین شده، پیروی نماید. سیاست نگهداری در نظر گرفته شود تا بتوان شرایط متغیر را در نظر گرفت (مانند فناوری و قوانین)	استفاده مجدد، تعمیر یا بازیافت قطعات جایگزین شده انجام شود. در صورت امکان از اجزای صرفه‌جویی در انرژی و اقتصاد چرخشی استفاده شود.	عوارض جانبی برای ساکنان نزدیک و کاربران راه کاهش یابد. ایمنی کاربران راه و نیروی کار در نظر گرفته شود.
از رده خارج کردن و دورانداختن	استفاده مجدد یا تعمیر تجهیزات در نظر گرفته شود.	بر اساس بهترین روش و قانون، تجهیزات و مواد نامطلوب، جدا، بازیافت و دور انداخته شوند.	عوارض جانبی راه برای همه کاربران راه و ساکنان نزدیک به حداقل برسد.

پیوست ۲ : جداول بازتاب روشنایی برای دسته‌های مختلف سطح راه

جدول ۱: بازتاب استاندارد C1، Q_0=0.1

β / tan γ	۰	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰
۰٫۲۵	۷۱۰	۷۰۸	۷۰۳	۷۱۰	۷۱۲	۷۱۰	۷۰۸	۷۰۸	۷۰۷	۷۰۴	۷۰۲	۷۰۸	۶۹۸	۷۰۲	۷۰۴	۷۱۴	۷۰۸	۷۲۴	۷۱۹	۷۲۳
۰٫۵	۵۸۶	۵۸۲	۵۸۷	۵۸۱	۵۸۱	۵۷۶	۵۷۰	۵۶۷	۵۶۴	۵۵۶	۵۴۸	۵۴۱	۵۳۱	۵۴۴	۵۴۶	۵۶۲	۵۶۶	۵۸۷	۵۸۱	۵۸۹
۰٫۷۵	۴۶۸	۴۶۷	۴۶۵	۴۵۵	۴۵۷	۴۴۶	۴۳۰	۴۲۰	۴۱۰	۳۹۹	۳۹۰	۳۸۳	۳۷۳	۳۸۴	۳۹۱	۴۱۲	۴۱۹	۴۳۷	۴۳۸	۴۴۵
۱	۳۷۸	۳۷۲	۳۷۳	۳۶۳	۳۴۷	۳۳۱	۳۱۴	۲۹۹	۲۸۵	۲۷۳	۲۶۳	۲۶۰	۲۵۰	۲۶۵	۲۷۸	۲۹۵	۳۰۵	۳۱۸	۳۲۳	۳۲۹
۱٫۲۵	۳۰۸	۳۰۴	۳۰۵	۲۸۵	۲۷۰	۲۴۴	۲۱۸	۲۰۳	۱۹۳	۱۸۵	۱۷۹	۱۷۳	۱۷۳	۱۸۳	۱۹۴	۲۰۷	۲۲۴	۲۳۷	۲۳۸	۲۴۵
۱٫۵	۲۵۸	۲۵۴	۲۵۱	۲۲۹	۲۰۳	۱۷۸	۱۵۷	۱۴۳	۱۳۴	۱۲۸	۱۲۴	۱۲۰	۱۲۰	۱۳۲	۱۴۰	۱۵۵	۱۶۳	۱۷۷	۱۷۹	۱۸۴
۱٫۷۵	۲۱۷	۲۱۴	۲۰۵	۱۸۲	۱۵۳	۱۲۹	۱۱۰	۱۰۰	۹۵	۹۰	۸۷	۸۴	۸۸	۹۸	۱۰۳	۱۱۶	۱۲۳	۱۳۴	۱۳۷	۱۳۸
۲	۱۸۸	۱۸۱	۱۷۴	۱۴۲	۱۱۶	۹۵	۸۰	۷۳	۶۹	۶۴	۶۲	۶۴	۶۴	۷۲	۷۸	۸۸	۹۵	۱۰۵	۱۰۸	۱۰۹
۲٫۵	۱۴۵	۱۳۶	۱۲۱	۹۰	۶۶	۵۳	۴۶	۴۱	۳۹	۳۷	۳۶	۳۶	۳۹	۴۴	۵۰	۵۵	۶۰	۶۶	۶۹	۷۱
۳	۱۱۸	۱۰۸	۸۷	۵۷	۴۱	۳۲	۲۸	۲۶	۲۵	۲۳	۲۲	۲۳	۲۵	۲۸	۳۱	۳۷	۴۱	۴۵	۴۷	۵۱
۳٫۵	۹۷	۸۷	۶۴	۳۹	۲۶	۲۰	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۵	۱۶	۱۷	۱۹	۲۳	۲۷	۳۰	۳۳	۳۵	۳۷
۴	۸۰	۶۹	۵۰	۲۹	۱۷	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۳	۱۵	۱۷	۱۹	۲۲	۲۶	۲۷	۲۹
۴٫۵	۷۰	۵۸	۳۷	۲۱	۱۳	۱۰	۹	۸	۸	۸	۸	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۷	۲۰	۲۱	۲۲
۵	۶۰	۵۱	۲۹	۱۵	۹	۷	۷	۶	۶	۶	۶	۷	۷	۹	۱۰	۱۲	۱۴	۱۷	۱۷	۱۸
۵٫۵	۵۲	۴۱	۲۳	۱۲	۷	۶	۶	۶	۵	۴										
۶	۴۸	۳۶	۱۹	۸	۶	۵	۵	۵	۵											
۶٫۵	۴۴	۳۲	۱۷	۷	۶	۵	۵	۵												
۷	۴۱	۲۸	۱۴	۶	۵	۴	۴	۴												
۷٫۵	۳۷	۲۶	۱۲	۶	۴	۳	۳													
۸	۳۴	۲۳	۱۱	۵	۴	۳	۳													
۸٫۵	۳۲	۲۱	۹	۵	۴	۳	۳													
۹	۲۹	۱۹	۸	۴	۳	۳														
۹٫۵	۲۷	۱۷	۷	۴	۳	۳														
۱۰	۲۶	۱۶	۶	۳	۳	۳														
۱۰٫۵	۲۵	۱۶	۶	۳	۲	۱														
۱۱	۲۳	۱۵	۶	۳	۲	۱														
۱۱٫۵	۲۲	۱۴	۶	۳	۲															
۱۲	۲۱	۱۴	۵	۳	۲															

جدول ۲: بازتاب استاندارد C2، Q_0=0.07

β / tan γ	۰	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۰	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹
۰٫۲۵	۳۶۲	۳۵۸	۳۷۱	۳۶۴	۳۷۱	۳۶۹	۳۶۲	۳۵۷	۳۵۱	۳۴۹	۳۴۸	۳۴۰	۳۲۸	۳۱۲	۲۹۹	۲۹۴	۲۹۸	۲۸۸	۲۹۲	۲۸۱
۰٫۵	۳۷۹	۳۶۸	۳۷۵	۳۷۳	۳۶۷	۳۵۹	۳۵۰	۳۴۰	۳۲۸	۳۱۷	۳۰۶	۲۸۰	۲۶۶	۲۴۹	۲۳۷	۲۳۷	۲۳۱	۲۳۱	۲۲۷	۲۳۵
۰٫۷۵	۳۸۰	۳۷۵	۳۷۸	۳۶۵	۳۵۱	۳۳۴	۳۱۵	۲۹۵	۲۷۵	۲۵۶	۲۳۹	۲۱۸	۱۹۸	۱۷۸	۱۷۵	۱۷۶	۱۷۶	۱۶۹	۱۷۵	۱۷۶
۱	۳۷۲	۳۷۵	۳۷۲	۳۵۴	۳۱۵	۲۷۷	۲۴۳	۲۲۱	۲۰۵	۱۹۲	۱۸۱	۱۵۲	۱۳۴	۱۳۰	۱۲۵	۱۲۴	۱۲۵	۱۲۹	۱۲۸	۱۲۸
۱٫۲۵	۳۷۵	۳۷۳	۳۵۲	۳۱۸	۲۶۵	۲۲۱	۱۸۹	۱۶۶	۱۵۰	۱۳۶	۱۲۵	۱۰۷	۹۱	۹۳	۹۱	۹۱	۸۸	۹۴	۹۷	۹۷
۱٫۵	۳۵۴	۳۵۲	۳۳۶	۲۷۱	۲۱۳	۱۷۰	۱۴۰	۱۲۱	۱۰۹	۹۷	۸۷	۷۶	۶۷	۶۵	۶۶	۶۶	۶۷	۶۸	۷۱	۷۱
۱٫۷۵	۳۳۳	۳۲۷	۳۰۲	۲۲۲	۱۶۶	۱۲۹	۱۰۴	۹۰	۷۵	۶۸	۶۳	۵۳	۵۱	۴۹	۴۹	۴۷	۵۲	۵۱	۵۳	۵۴
۲	۳۱۸	۳۱۰	۲۶۶	۱۸۰	۱۲۱	۹۰	۷۵	۶۲	۵۴	۵۰	۴۸	۴۰	۴۰	۳۸	۳۸	۳۸	۴۱	۴۱	۴۳	۴۵
۲٫۵	۲۶۸	۲۶۲	۲۰۵	۱۱۹	۷۲	۵۰	۴۱	۳۶	۳۳	۲۹	۲۶	۲۵	۲۳	۲۴	۲۵	۲۴	۲۶	۲۷	۲۹	۲۸
۳	۲۲۷	۲۱۷	۱۴۷	۷۴	۴۲	۲۹	۲۵	۲۳	۲۱	۱۹	۱۸	۱۶	۱۶	۱۷	۱۸	۱۷	۱۹	۲۱	۲۱	۲۳
۳٫۵	۱۹۴	۱۶۸	۱۰۶	۴۷	۳۰	۲۲	۱۷	۱۴	۱۳	۱۲	۱۲	۱۱	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۵	۱۴	۱۵	۱۴
۴	۱۶۸	۱۳۶	۷۶	۳۴	۱۹	۱۴	۱۳	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۸	۸	۹	۱۰	۹	۱۱	۱۲	۱۱	۱۳
۴٫۵	۱۴۱	۱۱۱	۵۴	۲۱	۱۴	۱۱	۹	۸	۸	۸	۸	۷	۷	۸	۸	۸	۸	۱۰	۱۰	۱۱
۵	۱۲۶	۹۰	۴۳	۱۷	۱۰	۸	۸	۷	۶	۶	۷	۶	۷	۶	۶	۷	۸	۸	۸	۹
۵٫۵	۱۰۷	۷۹	۳۲	۱۲	۸	۷	۷	۷	۶	۵										
۶	۹۴	۶۵	۲۶	۱۰	۷	۶	۶	۶	۵											
۶٫۵	۸۶	۵۶	۲۱	۸	۷	۶	۵	۵												
۷	۷۸	۵۰	۱۷	۷	۵	۵	۵	۵												
۷٫۵	۷۰	۴۱	۱۴	۷	۴	۳	۴													
۸	۶۳	۳۷	۱۱	۵	۴	۴	۴													
۸٫۵	۶۰	۳۷	۱۰	۵	۴	۴	۴													
۹	۵۶	۳۲	۹	۵	۴	۳														
۹٫۵	۵۳	۲۸	۹	۴	۴	۴														
۱۰	۵۲	۲۷	۷	۵	۴	۳														
۱۰٫۵	۴۵	۲۳	۷	۴	۳	۳														
۱۱	۴۳	۲۲	۷	۳	۳	۳														
۱۱٫۵	۵۳	۲۲	۷	۴	۳															
۱۲	۴۲	۲۰	۷	۴	۳															

جدول ۳: بازتاب استاندارد R1، Q_0=0.1

β / tan γ	۰	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۰	۶۵۵	۶۵۵	۶۵۵	۶۵۵	۶۵۵	۶۵۵	۶۵۵	۶۵۵	۶۵۵	۶۵۵	۶۵۵	۶۵۵	۶۵۵	۶۵۵	۶۵۵	۶۵۵	۶۵۵	۶۵۵	۶۵۵	۶۵۵
۰٫۲۵	۶۱۹	۶۱۹	۶۱۹	۶۱۹	۶۱۰	۶۱۰	۶۱۰	۶۱۰	۶۱۰	۶۱۰	۶۱۰	۶۱۰	۶۱۰	۶۰۱	۶۰۱	۶۰۱	۶۰۱	۶۰۱	۶۰۱	۶۰۱
۰٫۵	۵۳۹	۵۳۹	۵۳۹	۵۳۹	۵۳۹	۵۳۹	۵۲۱	۵۲۱	۵۲۱	۵۲۱	۵۲۱	۵۰۳	۵۰۳	۵۰۳	۵۰۳	۵۰۳	۵۰۳	۵۰۳	۵۰۳	۵۰۳
۰٫۷۵	۴۳۱	۴۳۱	۴۳۱	۴۳۱	۴۳۱	۴۳۱	۴۳۱	۴۳۱	۴۳۱	۴۳۱	۳۹۵	۳۸۶	۳۷۱	۳۷۱	۳۷۱	۳۷۱	۳۷۱	۳۸۶	۳۹۵	۳۹۵
۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۲۳	۳۲۳	۳۰۵	۲۹۶	۲۸۷	۲۸۷	۲۷۸	۲۶۹	۲۶۹	۲۶۹	۲۶۹	۲۶۹	۲۶۹	۲۷۸	۲۷۸	۲۷۸
۱٫۲۵	۲۶۹	۲۶۹	۲۶۹	۲۶۰	۲۵۱	۲۴۲	۲۲۴	۲۰۷	۱۹۸	۱۸۹	۱۸۹	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۹	۱۹۸	۲۰۷	۲۲۴
۱٫۵	۲۲۴	۲۲۴	۲۲۴	۲۱۵	۱۹۸	۱۸۰	۱۷۱	۱۶۲	۱۵۳	۱۴۸	۱۴۴	۱۴۴	۱۳۹	۱۳۹	۱۳۹	۱۴۴	۱۴۸	۱۵۳	۱۶۲	۱۸۰
۱٫۷۵	۱۸۹	۱۸۹	۱۸۹	۱۷۱	۱۵۳	۱۳۹	۱۳۰	۱۲۱	۱۱۷	۱۱۲	۱۰۸	۱۰۳	۹۹	۹۹	۱۰۳	۱۰۸	۱۱۲	۱۲۱	۱۳۰	۱۳۹
۲	۱۶۲	۱۶۲	۱۵۷	۱۳۵	۱۱۷	۱۰۸	۹۹	۹۴	۹۰	۸۵	۸۵	۸۳	۸۴	۸۴	۸۶	۹۰	۹۴	۹۹	۱۰۳	۱۱۱
۲٫۵	۱۲۱	۱۲۱	۱۱۷	۹۵	۷۹	۶۶	۶۰	۵۷	۵۴	۵۲	۵۱	۵۰	۵۱	۵۲	۵۴	۵۸	۶۱	۶۵	۶۹	۷۵
۳	۹۴	۹۴	۸۶	۶۶	۴۹	۴۱	۳۸	۳۶	۳۴	۳۳	۳۲	۳۱	۳۱	۳۳	۳۵	۳۸	۴۰	۴۳	۴۷	۵۱
۳٫۵	۸۱	۸۰	۶۶	۴۶	۳۳	۲۸	۲۵	۲۳	۲۲	۲۲	۲۱	۲۱	۲۲	۲۲	۲۴	۲۷	۲۹	۳۱	۳۴	۳۸
۴	۷۱	۶۹	۵۵	۳۲	۲۳	۲۰	۱۸	۱۶	۱۵	۱۴	۱۴	۱۴	۱۵	۱۷	۱۹	۲۰	۲۲	۲۳	۲۵	۲۷
۴٫۵	۶۳	۵۹	۴۳	۲۴	۱۷	۱۴	۱۳	۱۲	۱۲	۱۱	۱۱	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۴	۱۶	۱۷	۱۹	۲۱
۵	۵۷	۵۲	۳۶	۱۹	۱۴	۱۲	۱۰	۹	۹	۸٫۸	۸٫۷	۸٫۷	۹	۱۰	۱۱	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۶
۵٫۵	۵۱	۴۷	۳۱	۱۵	۱۱	۹	۸٫۱	۷٫۸	۷٫۷	۷٫۷										
۶	۴۷	۴۲	۲۵	۱۲	۸٫۵	۷٫۲	۶٫۵	۶٫۳	۶٫۲											
۶٫۵	۴۳	۳۸	۲۲	۱۰	۶٫۷	۵٫۸	۵٫۲	۵												
۷	۴۰	۳۴	۱۸	۸٫۱	۵٫۶	۴٫۸	۴٫۴	۴٫۲												
۷٫۵	۳۷	۳۱	۱۵	۶٫۹	۴٫۷	۴	۳٫۸													
۸	۳۵	۲۸	۱۴	۵٫۷	۴	۳٫۶	۳٫۲													
۸٫۵	۳۳	۲۵	۱۲	۴٫۸	۳٫۶	۳٫۱	۲٫۹													
۹	۳۱	۲۳	۱۰	۴٫۱	۳٫۲	۲٫۸														
۹٫۵	۳۰	۲۲	۹	۳٫۷	۲٫۸	۲٫۵														
۱۰	۲۹	۲۰	۸٫۲	۳٫۲	۲٫۴	۲٫۲														
۱۰٫۵	۲۸	۱۸	۷٫۳	۳	۲٫۲	۱٫۹														
۱۱	۲۷	۱۶	۶٫۶	۲٫۷	۱٫۹	۱٫۷														
۱۱٫۵	۲۶	۱۵	۶٫۱	۲٫۴	۱٫۷															
۱۲	۲۵	۱۴	۵٫۶	۲٫۲	۱٫۶															

جدول ۴: بازتاب استاندارد R2، Q_0=0.07

β / tan γ	۰	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰
۰٫۲۵	۴۱۱	۴۱۱	۴۱۱	۴۱۱	۴۱۱	۴۱۱	۴۱۱	۴۱۱	۴۱۱	۴۱۱	۳۷۹	۳۶۸	۳۵۷	۳۵۷	۳۴۶	۳۴۶	۳۴۶	۳۳۵	۳۳۵	۳۳۵
۰٫۵	۴۱۱	۴۱۱	۴۱۱	۴۱۱	۴۰۳	۴۰۳	۳۸۴	۳۷۹	۳۷۰	۳۴۶	۳۲۵	۳۰۳	۲۸۱	۲۸۱	۲۷۱	۲۷۱	۲۷۱	۲۶۰	۲۶۰	۲۶۰
۰٫۷۵	۳۷۹	۳۷۹	۳۷۹	۳۶۸	۳۵۷	۳۴۶	۳۲۵	۳۰۳	۲۸۱	۲۶۰	۲۳۸	۲۱۶	۲۰۶	۲۰۶	۲۰۶	۲۰۶	۲۰۶	۲۰۶	۲۰۶	۲۰۶
۱	۳۳۵	۳۳۵	۳۲۵	۳۲۵	۲۹۲	۲۹۱	۲۶۰	۲۳۸	۲۱۶	۱۹۵	۱۷۳	۱۵۲	۱۵۲	۱۵۲	۱۵۲	۱۵۲	۱۴۱	۱۴۱	۱۴۱	۱۴۱
۱٫۲۵	۳۰۳	۲۹۲	۲۷۱	۲۳۸	۲۰۶	۱۸۴	۱۵۲	۱۳۰	۱۱۹	۱۰۸	۱۰۰	۱۰۳	۱۰۶	۱۰۸	۱۰۸	۱۱۴	۱۱۴	۱۱۹	۱۱۹	۱۱۹
۱٫۵	۲۷۱	۲۶۰	۲۲۷	۱۷۹	۱۵۲	۱۴۱	۱۱۹	۱۰۸	۹۳	۸۰	۷۶	۷۶	۷۶	۸۰	۸۴	۸۷	۸۹	۹۱	۹۳	۹۵
۱٫۷۵	۲۴۹	۲۳۸	۲۲۷	۱۹۵	۱۵۲	۱۲۴	۱۰۶	۹۱	۷۸	۶۷	۶۱	۵۲	۵۴	۵۸	۶۳	۶۷	۶۹	۷۱	۷۳	۷۴
۲	۲۲۷	۲۱۶	۱۹۵	۱۵۲	۱۱۷	۹۵	۸۰	۶۷	۶۱	۵۲	۴۵	۴۰	۴۱	۴۵	۴۹	۵۲	۵۴	۵۶	۵۷	۵۸
۲٫۵	۱۹۵	۱۹۰	۱۴۶	۱۱۰	۷۴	۵۸	۴۸	۴۰	۳۵	۳۰	۲۷	۲۴	۲۶	۲۸	۳۰	۳۳	۳۵	۳۸	۴۰	۴۱
۳	۱۶۰	۱۵۵	۱۱۵	۶۷	۴۳	۳۳	۲۶	۲۱	۱۸	۱۷	۱۶	۱۶	۱۷	۱۷	۱۸	۲۱	۲۲	۲۴	۲۶	۲۷
۳٫۵	۱۴۶	۱۳۱	۸۷	۴۱	۲۵	۱۸	۱۵	۱۳	۱۲	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۲	۱۴	۱۵	۱۷	۱۸	۲۱
۴	۱۳۲	۱۱۳	۶۷	۲۷	۱۵	۱۲	۱۰	۹٫۴	۸٫۷	۸٫۲	۷٫۹	۷٫۶	۷٫۹	۸٫۷	۹٫۶	۱۱	۱۲	۱۲	۱۵	۱۷
۴٫۵	۱۱۸	۹۵	۵۰	۲۰	۱۲	۸٫۹	۷٫۴	۶٫۶	۶٫۳	۶٫۱	۵٫۷	۵٫۶	۵٫۸	۶٫۳	۷٫۱	۸٫۴	۱۰	۱۲	۱۳	۱۴
۵	۱۰۶	۸۱	۳۸	۱۴	۸٫۲	۶٫۳	۵٫۴	۵	۴٫۸	۴٫۷	۴٫۵	۴٫۴	۴٫۸	۵٫۲	۶٫۲	۷٫۴	۸٫۵	۹٫۵	۱۰	۱۱
۵٫۵	۹۶	۶۹	۲۹	۱۱	۶٫۳	۵٫۱	۴٫۴	۴٫۱	۳٫۹	۳٫۸										
۶	۸۷	۵۸	۲۲	۸	۵	۳٫۹	۳٫۵	۳٫۴	۳٫۲											
۶٫۵	۷۸	۵۰	۱۷	۶٫۱	۳٫۸	۳٫۱	۲٫۵	۲٫۳	۲٫۲											
۷	۷۱	۴۳	۱۴	۴٫۹	۳٫۱	۲٫۵	۲٫۳	۲٫۲												
۷٫۵	۶۷	۳۸	۱۲	۴٫۱	۲٫۶	۲٫۱	۱٫۹													
۸	۶۳	۳۳	۱۰	۳٫۴	۲٫۲	۱٫۸	۱٫۷													
۸٫۵	۵۸	۲۸	۸٫۷	۲٫۹	۱٫۹	۱٫۶	۱٫۵													
۹	۵۵	۲۵	۷٫۴	۲٫۵	۱٫۷	۱٫۴														
۹٫۵	۵۲	۲۳	۶٫۵	۲٫۲	۱٫۵	۱٫۳														
۱۰	۴۹	۲۱	۵٫۶	۱٫۹	۱٫۴	۱٫۲														
۱۰٫۵	۴۷	۱۸	۵	۱٫۷	۱٫۳	۱٫۲														
۱۱	۴۴	۱۶	۴٫۴	۱٫۶	۱٫۲	۱٫۱														
۱۱٫۵	۴۲	۱۴	۴	۱٫۵	۱٫۱															
۱۲	۴۱	۱۳	۳٫۶	۱٫۴	۱٫۱															

جدول ۵: بازتاب استاندارد R3، Q_0=0.07

β / tan γ	۰	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۰	۲۹۴	۲۹۴	۲۹۴	۲۹۴	۲۹۴	۲۹۴	۲۹۴	۲۹۴	۲۹۴	۲۹۴	۲۹۴	۲۹۴	۲۹۴	۲۹۴	۲۹۴	۲۹۴	۲۹۴	۲۹۴	۲۹۴	۲۹۴
۰٫۲۵	۳۲۶	۳۲۶	۳۲۱	۳۲۱	۳۱۷	۳۱۲	۳۰۸	۳۰۸	۳۰۳	۲۹۸	۲۹۴	۲۸۰	۲۷۱	۲۶۲	۲۵۸	۲۵۳	۲۴۹	۲۴۴	۲۴۰	۲۴۰
۰٫۵	۳۴۴	۳۴۴	۳۳۹	۳۳۹	۳۲۶	۳۱۷	۳۰۸	۲۹۸	۲۸۹	۲۷۶	۲۶۲	۲۳۵	۲۱۷	۲۰۴	۱۹۹	۱۹۹	۱۹۹	۱۹۹	۱۹۴	۱۹۴
۰٫۷۵	۳۵۷	۳۵۳	۳۵۳	۳۳۹	۳۲۱	۳۰۳	۲۸۵	۲۶۷	۲۴۴	۲۲۲	۲۰۴	۱۷۶	۱۵۸	۱۴۹	۱۴۹	۱۴۹	۱۴۵	۱۳۶	۱۳۶	۱۴۰
۱	۳۶۲	۳۶۲	۳۵۲	۳۲۶	۲۷۶	۲۴۹	۲۲۶	۲۰۴	۱۸۱	۱۵۸	۱۴۰	۱۱۸	۱۰۴	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱٫۲۵	۳۵۷	۳۴۸	۲۹۸	۲۴۴	۲۰۸	۱۷۶	۱۵۴	۱۳۶	۱۱۸	۱۰۴	۸۳	۷۳	۷۰	۷۱	۷۴	۷۷	۷۷	۷۷	۷۷	۷۸
۱٫۵	۳۵۳	۳۴۸	۳۲۶	۲۶۷	۲۱۷	۱۷۶	۱۴۵	۱۱۷	۱۰۰	۸۶	۷۸	۷۲	۶۰	۵۷	۵۸	۶۰	۶۰	۶۰	۶۱	۶۲
۱٫۷۵	۳۳۹	۳۳۵	۳۰۳	۲۳۱	۱۷۲	۱۲۷	۱۰۴	۸۹	۷۹	۷۰	۶۲	۵۱	۴۵	۴۴	۴۵	۴۶	۴۵	۴۵	۴۶	۴۷
۲	۳۲۶	۳۲۱	۲۸۰	۱۹۰	۱۳۶	۱۰۰	۸۲	۷۱	۶۲	۵۴	۴۸	۳۹	۳۴	۳۴	۳۴	۳۵	۳۶	۳۶	۳۷	۳۸
۲٫۵	۲۸۹	۲۸۰	۲۲۲	۱۲۷	۸۶	۶۵	۵۴	۴۴	۳۸	۳۴	۲۵	۲۳	۲۲	۲۳	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۵
۳	۲۵۳	۲۳۵	۱۶۳	۸۵	۵۳	۳۸	۳۱	۲۵	۲۳	۲۰	۱۸	۱۵	۱۵	۱۴	۱۵	۱۵	۱۶	۱۶	۱۷	۱۷
۳٫۵	۲۱۷	۱۹۴	۱۲۲	۶۰	۳۵	۲۵	۲۲	۱۹	۱۶	۱۵	۱۳	۹٫۹	۹	۹	۹٫۹	۱۱	۱۱	۱۲	۱۲	۱۳
۴	۱۹۰	۱۶۳	۹۰	۴۳	۲۶	۲۰	۱۶	۱۴	۱۲	۹٫۹	۹	۷٫۴	۷	۷٫۱	۷٫۵	۸٫۳	۸٫۷	۹	۹	۹٫۹
۴٫۵	۱۶۳	۱۳۶	۷۳	۳۱	۲۰	۱۵	۱۲	۹/۹	۹	۸٫۳	۷٫۷	۵٫۴	۴٫۸	۴٫۹	۵٫۴	۶٫۱	۷	۷٫۷	۸٫۳	۸٫۵
۵	۱۴۵	۱۰۹	۶۰	۲۴	۱۶	۱۲	۹	۸٫۲	۷٫۷	۶٫۸	۶٫۱	۴٫۳	۳٫۲	۳٫۳	۳٫۷	۴٫۳	۵٫۲	۶٫۵	۶٫۹	۷٫۱
۵٫۵	۱۲۷	۹۴	۴۷	۱۸	۱۴	۹٫۹	۷٫۷	۶٫۹	۶٫۱	۵٫۷										
۶	۱۱۳	۷۷	۳۶	۱۵	۱۱	۹	۸	۶٫۵	۵٫۱											
۶٫۵	۱۰۴	۶۸	۳۰	۱۱	۸٫۳	۶٫۴	۵٫۱	۴٫۳												
۷	۹۵	۶۰	۲۴	۸٫۵	۶٫۵	۵٫۲	۴٫۳	۳٫۴												
۷٫۵	۸۷	۵۳	۲۱	۷٫۱	۵٫۳	۴٫۴	۳٫۶													
۸	۸۳	۴۷	۱۷	۶٫۱	۴٫۴	۳٫۶	۳٫۱													
۸٫۵	۷۸	۴۲	۱۵	۵٫۲	۳٫۷	۳٫۱	۲٫۶													
۹	۷۳	۳۸	۱۲	۴٫۳	۳٫۲	۲٫۴														
۹٫۵	۶۹	۳۴	۹٫۹	۳٫۸	۳٫۵	۲٫۲														
۱۰	۶۵	۳۲	۹	۳٫۳	۲٫۴	۲														
۱۰٫۵	۶۲	۲۹	۸	۳	۲٫۱	۱٫۹														
۱۱	۵۹	۲۶	۷٫۱	۲٫۶	۱٫۹	۱٫۸														
۱۱٫۵	۵۶	۲۴	۶٫۳	۲٫۴	۱٫۸															
۱۲	۵۳	۲۲	۵٫۶	۲٫۱	۱٫۸															

جدول ۶: بازتاب استاندارد R4، Q_0=0.08

β / tan γ	۰	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۰	۲۶۴	۲۶۴	۲۶۴	۲۶۴	۲۶۴	۲۶۴	۲۶۴	۲۶۴	۲۶۴	۲۶۴	۲۶۴	۲۶۴	۲۶۴	۲۶۴	۲۶۴	۲۶۴	۲۶۴	۲۶۴	۲۶۴	۲۶۴
۰٫۲۵	۲۹۷	۳۱۷	۳۱۷	۳۱۷	۳۱۷	۳۱۰	۳۰۴	۲۹۰	۲۸۴	۲۷۷	۲۷۱	۲۴۴	۲۳۱	۲۲۴	۲۲۴	۲۲۰	۲۲۰	۲۱۱	۲۱۱	۲۱۱
۰٫۵	۳۳۰	۳۴۳	۳۴۳	۳۴۳	۳۳۰	۳۱۰	۲۹۷	۲۸۴	۲۷۷	۲۶۴	۲۵۱	۲۱۸	۱۹۸	۱۸۵	۱۷۸	۱۷۲	۱۷۲	۱۶۵	۱۶۵	۱۶۵
۰٫۷۵	۳۷۶	۳۸۳	۳۷۰	۳۵۰	۳۳۰	۳۰۴	۲۷۷	۲۵۱	۲۳۱	۲۱۱	۱۹۸	۱۶۵	۱۳۹	۱۳۲	۱۳۲	۱۲۵	۱۲۵	۱۲۵	۱۱۹	۱۱۹
۱	۳۹۶	۳۹۶	۳۹۶	۳۳۰	۲۹۰	۲۵۱	۲۱۸	۱۹۸	۱۸۵	۱۶۵	۱۴۵	۱۱۲	۸۶	۸۶	۸۶	۸۶	۸۶	۸۷	۸۷	۸۷
۱٫۲۵	۴۰۳	۴۰۹	۳۷۰	۳۱۰	۲۵۱	۲۱۱	۱۷۸	۱۵۲	۱۳۲	۱۱۵	۱۰۳	۷۷	۶۶	۶۵	۶۵	۶۳	۶۵	۶۶	۶۷	۶۸
۱٫۵	۴۰۹	۳۹۶	۳۵۶	۲۸۴	۲۱۸	۱۷۲	۱۳۹	۱۱۵	۱۰۰	۸۸	۷۹	۶۱	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۲	۵۵	۵۵	۵۵
۱٫۷۵	۴۰۹	۳۹۶	۳۴۳	۲۵۱	۱۷۸	۱۳۹	۱۰۸	۸۸	۷۵	۶۶	۵۹	۴۴	۳۷	۳۷	۳۷	۳۸	۴۰	۴۱	۴۲	۴۵
۲	۴۰۹	۳۸۳	۳۱۷	۲۲۴	۱۴۵	۱۰۶	۸۶	۷۱	۵۹	۵۳	۴۵	۳۳	۲۹	۲۹	۲۹	۳۰	۳۲	۳۳	۳۴	۳۷
۲٫۵	۳۹۶	۳۵۶	۲۶۴	۱۵۲	۱۰۰	۷۳	۵۵	۴۵	۳۷	۳۲	۲۸	۲۱	۲۰	۲۰	۲۰	۲۱	۲۲	۲۴	۲۵	۲۶
۳	۳۷۰	۳۰۴	۲۱۱	۹۵	۶۳	۴۴	۳۰	۲۵	۲۱	۱۷	۱۶	۱۳	۱۲	۱۲	۱۳	۱۳	۱۵	۱۶	۱۷	۱۹
۳٫۵	۳۴۳	۲۷۱	۱۶۵	۶۳	۴۰	۲۶	۱۹	۱۵	۱۳	۱۲	۱۱	۹٫۸	۹٫۱	۸٫۸	۸٫۸	۹٫۴	۱۱	۱۲	۱۳	۱۵
۴	۳۱۷	۲۳۸	۱۳۲	۴۵	۲۴	۱۶	۱۳	۱۱	۹٫۶	۹	۸٫۴	۷٫۵	۷٫۴	۷٫۴	۷٫۵	۷٫۹	۸٫۶	۹٫۴	۱۱	۱۲
۴٫۵	۲۹۷	۲۱۱	۱۰۶	۳۳	۱۷	۱۱	۹٫۲	۷٫۹	۷٫۳	۶٫۶	۶٫۳	۶٫۱	۶٫۱	۶٫۴	۶٫۵	۶٫۷	۷٫۱	۷٫۷	۸٫۷	۹٫۶
۵	۲۷۷	۱۸۵	۷۹	۲۴	۱۳	۸٫۳	۷	۶٫۳	۵٫۷	۵٫۱	۵	۵	۵٫۱	۵٫۴	۵٫۵	۵٫۸	۶/۱	۶٫۳	۶٫۹	۷٫۷
۵٫۵	۲۵۷	۱۶۱	۵۹	۱۹	۹٫۹	۷٫۱	۵٫۷	۵	۴٫۶	۴٫۲										
۶	۲۴۴	۱۴۰	۴۶	۱۳	۷٫۷	۵٫۷	۴٫۸	۴٫۱	۳٫۸											
۶٫۵	۲۳۱	۱۲۲	۳۷	۱۱	۵٫۹	۴٫۶	۳٫۷	۳٫۲												
۷	۲۱۸	۱۰۶	۳۲	۹	۵	۳٫۸	۳٫۲	۲٫۶												
۷٫۵	۲۰۵	۹۴	۲۶	۷٫۵	۴٫۴	۳٫۳	۲٫۸													
۸	۱۹۳	۸۲	۲۲	۶٫۳	۳٫۷	۲٫۹	۲٫۴													
۸٫۵	۱۸۴	۷۴	۱۹	۵٫۳	۳٫۲	۲٫۵	۲٫۱													
۹	۱۷۴	۶۶	۱۶	۴٫۶	۲٫۸	۲٫۱														
۹٫۵	۱۶۹	۵۹	۱۳	۴٫۱	۲٫۵	۲														
۱۰	۱۶۴	۵۳	۱۲	۳٫۷	۲٫۲	۱٫۷														
۱۰٫۵	۱۵۸	۴۹	۱۱	۳٫۳	۲٫۱	۱٫۷														
۱۱	۱۵۳	۴۵	۹٫۵	۳	۲	۱٫۷														
۱۱٫۵	۱۴۹	۴۱	۸٫۴	۲٫۶	۱٫۷															
۱۲	۱۴۵	۳۷	۷٫۷	۲٫۵	۱٫۷															

جدول ۷: بازتاب استاندارد N1، Q_0=0.1

β / tan γ	۰	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۰	۷۶۸	۷۶۸	۷۶۸	۷۶۸	۷۶۸	۷۶۸	۷۶۸	۷۶۸	۷۶۸	۷۶۸	۷۶۸	۷۶۸	۷۶۸	۷۶۸	۷۶۸	۷۶۸	۷۶۸	۷۶۸	۷۶۸	۷۶۸
۰٫۲۵	۶۹۴	۶۹۴	۶۹۴	۶۹۴	۶۹۴	۶۹۳	۶۹۳	۶۹۳	۶۹۳	۶۹۳	۶۹۵	۶۹۹	۷۰۲	۷۱۴	۷۲۰	۷۳۴	۷۴۱	۷۵۱	۷۵۳	۷۵۷
۰٫۵	۵۵۷	۵۵۷	۵۵۷	۵۵۵	۵۵۴	۵۵۰	۵۴۶	۵۴۴	۵۴۴	۵۴۳	۵۴۳	۵۴۲	۵۴۷	۵۶۴	۵۷۷	۶۰۰	۶۱۵	۶۳۳	۶۴۰	۶۴۶
۰٫۷۵	۴۲۴	۴۲۴	۴۲۴	۴۱۷	۴۱۵	۴۰۶	۳۹۷	۳۹۲	۳۸۸	۳۸۲	۳۷۸	۳۸۱	۳۸۸	۴۰۷	۴۲۵	۴۵۰	۴۶۹	۴۸۹	۴۹۷	۵۰۵
۱	۳۲۳	۳۲۲	۳۲۱	۳۱۰	۳۰۲	۲۸۹	۲۷۸	۲۷۱	۲۶۶	۲۶۱	۲۵۷	۲۵۹	۲۶۶	۲۸۴	۳۰۳	۳۲۸	۳۴۶	۳۶۶	۳۷۵	۳۸۱
۱٫۲۵	۲۵۲	۲۵۰	۲۴۷	۲۳۴	۲۲۰	۲۰۶	۱۹۳	۱۸۶	۱۸۰	۱۷۶	۱۷۳	۱۷۵	۱۸۳	۲۰۰	۲۱۶	۲۳۷	۲۵۴	۲۷۱	۲۷۹	۲۸۵
۱٫۵	۲۰۲	۱۹۸	۱۹۳	۱۷۷	۱۶۰	۱۴۷	۱۳۵	۱۲۸	۱۲۴	۱۲۱	۱۱۹	۱۲۲	۱۲۹	۱۴۲	۱۵۷	۱۷۵	۱۸۹	۲۰۴	۲۱۲	۲۱۶
۱٫۷۵	۱۶۴	۱۶۲	۱۵۴	۱۳۴	۱۱۷	۱۰۴	۹۴	۸۹	۸۷	۸۴	۸۴	۸۶	۹۳	۱۰۴	۱۱۶	۱۳۱	۱۴۴	۱۵۵	۱۶۲	۱۶۶
۲	۱۳۸	۱۳۶	۱۲۶	۱۰۴	۸۸	۷۶	۶۹	۶۵	۶۳	۶۱	۶۱	۶۳	۶۹	۷۸	۸۸	۱۰۱	۱۱۱	۱۲۱	۱۲۷	۱۳۱
۲٫۵	۱۰۳	۱۰۰	۸۶	۶۴	۵۱	۴۳	۳۸	۳۶	۳۵	۳۵	۳۵	۳۷	۴۱	۴۸	۵۵	۶۴	۷۱	۷۹	۸۴	۸۶
۳	۸۰	۷۵	۶۱	۴۱	۳۱	۲۶	۲۴	۲۲	۲۱	۲۱	۲۱	۲۳	۲۶	۳۱	۳۶	۴۲	۴۸	۵۵	۵۸	۶۰
۳٫۵	۶۵	۶۰	۴۵	۲۸	۲۱	۱۷	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۶	۱۸	۲۱	۲۵	۳۱	۳۵	۳۹	۴۲	۴۴
۴	۵۵	۴۸	۳۴	۲۰	۱۴	۱۲	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۲	۱۳	۱۶	۱۹	۲۳	۲۶	۳۰	۳۲	۳۴
۴٫۵	۴۷	۴۰	۲۶	۱۴	۱۱	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۱۰	۱۲	۱۵	۱۸	۲۰	۲۳	۲۵	۲۷
۵	۴۰	۳۴	۲۰	۱۱	۸	۶	۶	۵	۵	۵	۶	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	۲۱	۲۱
۵٫۵	۳۵	۲۸	۱۵	۸	۶	۵	۵	۵	۵	۵										
۶	۳۱	۲۵	۱۳	۷	۵	۴	۴	۴	۴											
۶٫۵	۲۸	۲۱	۱۱	۵	۴	۳	۳	۳												
۷	۲۵	۱۹	۹	۵	۳	۳	۳	۳												
۷٫۵	۲۳	۱۷	۸	۴	۳	۳	۳													
۸	۲۱	۱۵	۷	۴	۳	۲	۲													
۸٫۵	۱۹	۱۴	۶	۳	۲	۲	۲													
۹	۱۸	۱۳	۵	۳	۲	۲														
۹٫۵	۱۷	۱۲	۵	۲	۲	۲														
۱۰	۱۶	۱۱	۴	۲	۲	۲														
۱۰٫۵	۱۵	۱۰	۴	۲	۲	۱														
۱۱	۱۵	۹	۴	۲	۲	۱														
۱۱٫۵	۱۴	۹	۳	۲	۲															
۱۲	۱۴	۸	۳	۲	۲															

جدول ۸: بازتاب استاندارد N2، Q_0=0.07

β / tan γ	۰	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۰	۴۷۴	۴۷۴	۴۷۴	۴۷۴	۴۷۴	۴۷۴	۴۷۴	۴۷۴	۴۷۴	۴۷۴	۴۷۴	۴۷۴	۴۷۴	۴۷۴	۴۷۴	۴۷۴	۴۷۴	۴۷۴	۴۷۴	۴۷۴
۰٫۲۵	۴۷۲	۴۷۱	۴۷۱	۴۷۰	۴۷۰	۴۶۸	۴۶۶	۴۶۴	۴۶۳	۴۵۹	۴۵۶	۴۵۰	۴۴۳	۴۳۹	۴۳۵	۴۳۴	۴۳۴	۴۳۵	۴۳۶	۴۳۶
۰٫۵	۴۲۷	۴۲۶	۴۲۶	۴۲۳	۴۱۸	۴۱۳	۴۰۸	۳۹۹	۳۹۰	۳۸۲	۳۷۵	۳۵۹	۳۴۷	۳۴۳	۳۴۱	۳۴۴	۳۴۸	۳۵۲	۳۳۵	۳۵۶
۰٫۷۵	۳۷۴	۳۷۲	۳۷۰	۳۶۱	۳۴۹	۳۳۶	۳۲۲	۳۰۹	۲۹۷	۲۸۵	۲۷۵	۲۵۵	۲۴۵	۲۴۴	۲۴۵	۲۵۳	۲۵۶	۲۶۲	۲۶۵	۲۶۸
۱	۳۲۶	۳۲۳	۳۱۹	۳۰۳	۲۸۴	۲۶۳	۲۴۳	۲۲۷	۲۱۳	۲۰۲	۱۹۳	۱۷۷	۱۷۰	۱۷۰	۱۷۴	۱۸۰	۱۸۶	۱۹۲	۱۹۶	۱۹۹
۱٫۲۵	۲۸۴	۲۸۱	۲۷۵	۲۵۱	۲۲۴	۱۹۸	۱۷۶	۱۶۱	۱۴۹	۱۳۹	۱۳۲	۱۲۱	۱۱۷	۱۱۹	۱۲۳	۱۲۹	۱۳۵	۱۴۱	۱۴۵	۱۴۷
۱٫۵	۲۴۹	۲۴۶	۲۳۵	۲۰۳	۱۷۲	۱۴۶	۱۲۷	۱۱۳	۱۰۴	۹۷	۹۲	۸۴	۸۳	۸۵	۸۹	۹۴	۹۹	۱۰۵	۱۰۸	۱۱۰
۱٫۷۵	۲۱۹	۲۱۶	۲۰۱	۱۶۲	۱۲۹	۱۰۶	۹۱	۸۱	۷۳	۶۸	۶۴	۶۰	۵۹	۶۲	۶۵	۷۰	۷۴	۷۹	۸۲	۸۴
۲	۱۹۴	۱۹۰	۱۷۱	۱۲۹	۹۷	۷۸	۶۵	۵۷	۵۳	۴۹	۴۶	۴۴	۴۴	۴۶	۴۹	۵۳	۵۷	۶۱	۶۴	۶۵
۲٫۵	۱۵۷	۱۵۰	۱۲۴	۸۲	۵۷	۴۴	۳۷	۳۲	۳۰	۲۸	۲۷	۲۶	۲۶	۲۸	۳۰	۳۳	۳۷	۴۰	۴۲	۴۳
۳	۱۳۰	۱۲۰	۹۰	۵۲	۳۵	۲۶	۲۲	۱۹	۱۸	۱۷	۱۷	۱۶	۱۷	۱۸	۲۰	۲۲	۲۴	۲۷	۲۸	۲۹
۳٫۵	۱۱۰	۹۸	۶۵	۳۴	۲۲	۱۶	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	۱۹	۲۱	۲۱
۴	۹۴	۸۰	۴۸	۲۳	۱۵	۱۱	۹	۹	۸	۸	۸	۸	۸	۹	۱۰	۱۲	۱۳	۱۵	۱۶	۱۶
۴٫۵	۸۰	۶۵	۳۶	۱۷	۱۰	۸	۷	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۵	۷۰	۵۵	۲۸	۱۲	۸	۶	۵	۵	۴	۴	۴	۴	۵	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۰
۵٫۵	۶۱	۴۶	۲۲	۹	۶	۴	۴	۴	۳	۳	۳									
۶	۵۴	۳۹	۱۸	۷	۵	۴	۳	۳	۳											
۶٫۵	۴۸	۳۴	۱۴	۶	۴	۳	۲	۲												
۷	۴۳	۳۰	۱۲	۵	۳	۲	۲	۲												
۷٫۵	۳۹	۲۷	۱۰	۴	۲	۲	۲													
۸	۳۶	۲۳	۹	۳	۲	۲	۱													
۸٫۵	۳۳	۲۱	۷	۳	۲	۱	۱													
۹	۳۰	۱۸	۶	۲	۱	۱														
۹٫۵	۲۸	۱۷	۵	۲	۱	۱														
۱۰	۲۶	۱۶	۵	۲	۱	۱														
۱۰٫۵	۲۵	۱۴	۴	۱	۱															
۱۱	۲۳	۱۳	۴	۱	۱															
۱۱٫۵	۲۲	۱۲	۳	۱	۱															
۱۲	۲۱	۱۲	۳	۱	۱															

جدول ۹: بازتاب استاندارد N3، Q_0=0.07

β / tan γ	۰	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۰	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴
۰٫۲۵	۳۹۱	۳۹۱	۳۹۰	۳۸۹	۳۸۸	۳۸۵	۳۸۱	۳۷۸	۳۷۳	۳۶۹	۳۶۵	۳۵۱	۳۳۸	۳۲۸	۳۱۹	۳۱۳	۳۰۸	۳۰۶	۳۰۴	۳۰۴
۰٫۵	۴۰۶	۴۰۴	۴۰۳	۳۹۷	۳۹۰	۳۷۹	۳۶۶	۳۵۵	۳۴۳	۳۳۰	۳۱۸	۲۹۱	۲۶۸	۲۵۶	۲۴۷	۲۴۲	۲۴۰	۲۴۰	۲۴۰	۲۴۰
۰٫۷۵	۴۰۵	۴۰۳	۳۹۹	۳۸۴	۳۶۵	۳۴۲	۳۱۹	۲۹۸	۲۷۸	۲۶۰	۲۴۴	۲۱۳	۱۹۲	۱۸۲	۱۷۶	۱۷۵	۱۷۵	۱۷۶	۱۷۷	۱۷۷
۱	۳۹۶	۳۹۲	۳۸۴	۳۵۷	۳۲۲	۲۸۷	۲۵۴	۲۲۸	۲۰۷	۱۸۹	۱۷۵	۱۴۷	۱۳۳	۱۲۶	۱۲۴	۱۲۳	۱۲۵	۱۲۷	۱۲۹	۱۳۰
۱٫۲۵	۳۸۳	۳۷۴	۳۶۰	۳۱۷	۲۶۹	۲۲۷	۱۹۳	۱۶۸	۱۴۹	۱۳۴	۱۲۳	۱۰۳	۹۳	۸۹	۸۷	۸۹	۹۱	۹۴	۹۵	۹۶
۱٫۵	۳۶۰	۳۵۱	۳۲۸	۲۷۰	۲۱۵	۱۷۲	۱۴۱	۱۱۹	۱۰۵	۹۴	۸۶	۷۲	۶۶	۶۳	۶۳	۶۴	۶۷	۶۹	۷۱	۷۲
۱٫۷۵	۳۳۵	۳۲۵	۲۹۴	۲۲۴	۱۶۵	۱۲۷	۱۰۲	۸۶	۷۵	۶۷	۶۱	۵۲	۴۷	۴۶	۴۷	۴۸	۵۰	۵۲	۵۴	۵۵
۲	۳۱۲	۲۹۸	۲۵۹	۱۸۲	۱۲۶	۹۴	۷۵	۶۳	۵۶	۵۰	۴۵	۳۸	۳۵	۳۵	۳۵	۳۷	۳۸	۴۰	۴۲	۴۳
۲٫۵	۲۷۰	۲۵۰	۱۹۹	۱۲۰	۷۶	۵۳	۴۳	۳۵	۳۲	۲۸	۲۶	۲۳	۲۲	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۷	۲۸	۲۸
۳	۲۳۳	۲۰۶	۱۴۸	۷۸	۴۶	۳۱	۲۶	۲۱	۱۹	۱۸	۱۷	۱۵	۱۴	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۳٫۵	۲۰۲	۱۷۱	۱۰۹	۵۱	۲۹	۲۰	۱۷	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۱۱	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۴	۱۷۷	۱۴۲	۸۲	۳۵	۲۰	۱۳	۱۱	۱۰	۹	۸	۸	۷	۷	۷	۸	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۱
۴٫۵	۱۵۵	۱۱۸	۶۱	۲۴	۱۴	۱۰	۸	۷	۷	۶	۶	۵	۵	۶	۶	۶	۷	۸	۸	۹
۵	۱۳۷	۱۰۰	۴۷	۱۸	۱۰	۷	۶	۶	۵	۵	۵	۴	۴	۵	۵	۵	۶	۶	۷	۷
۵٫۵	۱۲۱	۸۴	۳۷	۱۳	۸	۶	۵	۵	۴	۳										
۶	۱۰۸	۷۲	۲۹	۱۱	۶	۵	۴	۴	۴											
۶٫۵	۹۷	۶۲	۲۴	۸	۵	۴	۴	۳												
۷	۸۹	۵۵	۲۰	۷	۴	۳	۳	۳												
۷٫۵	۸۱	۴۹	۱۷	۶	۴	۳	۳													
۸	۷۴	۴۳	۱۵	۵	۳	۲	۲													
۸٫۵	۶۸	۳۸	۱۲	۴	۳	۲	۲													
۹	۶۳	۳۴	۱۱	۴	۲	۲														
۹٫۵	۵۸	۳۱	۹	۳	۲	۲														
۱۰	۵۴	۲۸	۸	۳	۲	۲														
۱۰٫۵	۵۱	۲۶	۷	۳	۲	۲														
۱۱	۴۸	۲۴	۶	۲	۲	۲														
۱۱٫۵	۴۵	۲۲	۶	۲	۱															
۱۲	۴۳	۲۱	۵	۲	۱															

جدول ۱۰: بازتاب استاندارد N4، Q_0=0.08

β / tan γ	۰	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۰	۲۸۲	۲۸۲	۲۸۲	۲۸۲	۲۸۲	۲۸۲	۲۸۲	۲۸۲	۲۸۲	۲۸۲	۲۸۲	۲۸۲	۲۸۲	۲۸۲	۲۸۲	۲۸۲	۲۸۲	۲۸۲	۲۸۲	۲۸۲
۰٫۲۵	۳۳۲	۳۳۲	۳۳۱	۳۲۸	۳۲۸	۳۲۴	۳۱۹	۳۱۵	۳۱۱	۳۰۳	۲۹۵	۲۸۰	۲۶۲	۲۵۳	۲۴۷	۲۴۱	۲۳۷	۲۳۱	۲۳۰	۲۲۸
۰٫۵	۳۷۵	۳۷۴	۳۷۳	۳۶۷	۳۵۸	۳۴۵	۳۳۱	۳۱۸	۳۰۵	۲۸۷	۲۷۱	۲۴۲	۲۰۹	۱۹۶	۱۸۹	۱۸۴	۱۸۰	۱۷۷	۱۷۶	۱۷۵
۰٫۷۵	۴۱۲	۴۱۱	۴۰۶	۳۸۸	۳۶۱	۳۳۷	۳۱۴	۲۸۴	۲۵۶	۲۳۵	۲۱۸	۱۸۲	۱۵۳	۱۴۲	۱۳۸	۱۳۵	۱۳۲	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰
۱	۴۴۱	۴۳۸	۴۲۶	۳۸۵	۳۴۱	۲۹۴	۲۵۱	۲۲۰	۱۹۶	۱۷۴	۱۵۶	۱۲۶	۱۰۶	۹۷	۹۴	۹۴	۹۳	۹۴	۹۴	۹۵
۱٫۲۵	۴۵۹	۴۵۳	۴۳۰	۳۶۵	۲۹۹	۲۴۳	۱۹۸	۱۶۸	۱۴۶	۱۲۸	۱۱۵	۹۱	۷۶	۷۱	۶۸	۶۹	۶۹	۷۰	۷۱	۷۲
۱٫۵	۴۶۶	۴۵۶	۴۱۷	۳۲۶	۲۴۶	۱۸۹	۱۴۹	۱۲۲	۱۰۵	۹۲	۸۳	۶۷	۵۶	۵۳	۵۲	۵۲	۵۳	۵۴	۵۵	۵۵
۱٫۷۵	۴۶۴	۴۴۹	۳۹۲	۲۸۴	۱۹۹	۱۴۶	۱۱۴	۹۲	۷۹	۶۹	۶۳	۵۰	۴۲	۴۰	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴
۲	۴۵۳	۴۳۱	۳۵۶	۲۳۴	۱۵۳	۱۰۸	۸۵	۶۹	۶۰	۵۲	۴۶	۳۷	۳۲	۳۰	۳۰	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴
۲٫۵	۴۲۵	۳۸۷	۲۸۳	۱۵۲	۹۳	۶۴	۵۰	۴۱	۳۶	۳۱	۲۸	۲۳	۲۰	۱۹	۱۹	۱۹	۲۰	۲۱	۲۳	۲۳
۳	۳۸۵	۳۳۳	۲۱۱	۹۸	۵۷	۳۸	۳۰	۲۵	۲۲	۱۹	۱۷	۱۴	۱۳	۱۲	۱۲	۱۳	۱۴	۱۴	۱۵	۱۶
۳٫۵	۳۴۹	۲۸۶	۱۵۸	۶۶	۳۷	۲۵	۲۰	۱۷	۱۵	۱۳	۱۲	۱۰	۹	۸	۹	۹	۱۰	۱۰	۱۲	۱۲
۴	۳۱۶	۲۴۵	۱۱۷	۴۷	۲۷	۱۸	۱۴	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۷	۶	۶	۶	۷	۸	۸	۹	۹
۴٫۵	۲۸۶	۲۰۷	۸۸	۳۳	۲۰	۱۴	۱۱	۹	۸	۷	۷	۶	۶	۵	۵	۶	۶	۷	۷	۸
۵	۲۶۰	۱۷۵	۶۹	۲۴	۱۵	۱۰	۸	۷	۶	۶	۵	۵	۵	۴	۴	۵	۵	۵	۶	۶
۵٫۵	۲۳۷	۱۴۷	۵۴	۱۹	۱۲	۸	۶	۶	۵	۵										
۶	۲۱۶	۱۶۲	۴۳	۱۵	۹	۶	۵	۵	۴											
۶٫۵	۱۹۸	۱۰۸	۳۵	۱۲	۷	۵	۵	۴												
۷	۱۸۴	۹۵	۲۸	۹	۶	۵	۴	۲												
۷٫۵	۱۶۹	۸۵	۲۳	۸	۵	۴	۳													
۸	۱۵۸	۷۵	۲۰	۷	۴	۳	۳													
۸٫۵	۱۴۸	۶۸	۱۷	۶	۴	۳	۳													
۹	۱۳۸	۶۱	۱۴	۵	۳	۲														
۹٫۵	۱۳۱	۵۵	۱۲	۴	۳	۲														
۱۰	۱۲۶	۵۰	۱۱	۴	۲	۲														
۱۰٫۵	۱۱۸	۴۶	۱۰	۳	۲	۲														
۱۱	۱۱۰	۴۲	۸	۳	۲	۲														
۱۱٫۵	۱۰۳	۳۹	۸	۳	۲															
۱۲	۹۸	۳۶	۷	۲	۲															

جدول ۱۱: بازتاب استاندارد W1 (سطح مرطوب)، $Q_{0\text{-}wet}$=0.114

β / tan γ	۰	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۰	۳۹۴	۳۹۴	۳۹۴	۳۹۴	۳۹۴	۳۹۴	۳۹۴	۳۹۴	۳۹۴	۳۹۴	۳۹۴	۳۹۴	۳۹۴	۳۹۴	۳۹۴	۳۹۴	۳۹۴	۳۹۴	۳۹۴	۳۹۴
۰٫۲۵	۴۲۶	۴۲۶	۴۲۶	۴۲۵	۴۲۳	۴۱۸	۴۱۳	۴۰۹	۴۰۵	۳۹۸	۳۹۱	۳۷۷	۳۶۳	۳۵۵	۳۵۱	۳۵۰	۳۴۸	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۲
۰٫۵	۵۰۱	۴۹۹	۴۹۴	۴۸۱	۴۵۹	۴۳۵	۴۱۲	۳۸۹	۳۶۷	۳۴۶	۳۲۶	۲۹۲	۲۷۲	۲۶۶	۲۶۴	۲۷۰	۲۷۳	۲۷۹	۲۸۲	۲۸۴
۰٫۷۵	۶۴۸	۶۴۱	۶۲۲	۵۷۶	۵۱۲	۴۴۴	۳۸۵	۳۳۹	۲۹۸	۲۶۷	۲۳۹	۱۹۸	۱۸۳	۱۸۳	۱۸۷	۱۹۵	۲۰۰	۲۰۹	۲۱۲	۲۱۶
۱	۸۳۳	۸۱۸	۷۷۳	۶۵۱	۵۲۳	۴۱۱	۳۲۳	۲۶۲	۲۱۲	۱۸۳	۱۵۸	۱۲۸	۱۲۱	۱۲۴	۱۳۰	۱۳۸	۱۴۵	۱۵۲	۱۵۶	۱۵۹
۱٫۲۵	۱۰۰۶	۹۷۶	۸۸۲	۶۷۶	۴۸۴	۳۴۳	۲۴۲	۱۸۷	۱۴۵	۱۲۱	۱۰۲	۸۴	۸۱	۸۵	۹۱	۹۸	۱۰۵	۱۱۲	۱۱۵	۱۱۷
۱٫۵	۱۱۳۸	۱۰۸۴	۹۳۰	۶۳۴	۴۰۲	۲۶۵	۱۷۵	۱۲۹	۹۵	۷۹	۶۶	۵۶	۵۶	۶۰	۶۵	۷۲	۷۷	۸۳	۸۶	۸۸
۱٫۷۵	۱۲۱۸	۱۱۴۱	۹۳۵	۵۵۴	۳۱۷	۱۹۴	۱۱۹	۸۷	۶۳	۵۳	۴۵	۳۹	۳۹	۴۴	۴۸	۵۳	۵۸	۶۳	۶۵	۶۷
۲	۱۲۴۲	۱۱۴۳	۸۷۷	۴۶۰	۲۴۳	۱۴۲	۸۳	۶۰	۴۳	۳۷	۳۱	۲۸	۲۹	۳۲	۳۶	۴۱	۴۵	۴۸	۵۱	۵۳
۲٫۵	۱۱۸۴	۱۰۴۲	۶۹۶	۲۹۳	۱۳۸	۷۵	۴۱	۳۰	۲۲	۱۹	۱۷	۱۶	۱۷	۲۰	۲۲	۲۶	۲۸	۳۱	۳۴	۳۵
۳	۱۰۵۷	۸۷۶	۴۹۳	۱۷۸	۷۴	۴۰	۲۲	۱۷	۱۳	۱۱	۱۰	۱۰	۱۱	۱۳	۱۵	۱۷	۱۹	۲۲	۲۳	۲۴
۳٫۵	۹۱۴	۷۱۰	۳۴۰	۱۰۵	۴۱	۲۳	۱۳	۱۰	۸	۷	۷	۷	۸	۹	۱۱	۱۲	۱۴	۱۶	۱۷	۱۸
۴	۷۷۰	۵۴۸	۲۳۰	۶۵	۲۲	۱۳	۸	۷	۶	۵	۵	۵	۶	۷	۸	۹	۱۱	۱۲	۱۳	۱۳
۴٫۵	۶۲۷	۴۱۱	۱۵۶	۴۰	۱۴	۹	۶	۵	۴	۴	۴	۴	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۵	۵۰۸	۳۱۵	۱۰۹	۲۶	۹	۶	۴	۴	۳	۳	۳	۳	۴	۴	۵	۶	۷	۷	۸	۹
۵٫۵	۴۱۴	۲۴۰	۷۵	۱۷	۶	۵	۴	۳	۳	۲										
۶	۳۳۷	۱۸۷	۵۴	۱۲	۵	۴	۳	۲	۲											
۶٫۵	۲۷۸	۱۴۸	۳۹	۹	۴	۳	۲	۲												
۷	۲۳۴	۱۱۹	۳۱	۷	۳	۲	۲	۲												
۷٫۵	۱۹۹	۹۸	۲۴	۶	۳	۲	۲													
۸	۱۷۰	۸۰	۱۹	۴	۳	۲	۲													
۸٫۵	۱۴۵	۶۶	۱۵	۴	۲	۲	۲													
۹	۱۲۶	۵۶	۱۳	۳	۲	۲														
۹٫۵	۱۱۱	۴۸	۱۱	۳	۲	۲														
۱۰	۹۸	۴۲	۹	۲	۲	۱														
۱۰٫۵	۸۷	۳۷	۷	۲	۲	۱														
۱۱	۷۸	۳۴	۷	۲	۲	۱														
۱۱٫۵	۷۱	۳۰	۶	۲	۲															
۱۲	۶۵	۲۸	۵	۲	۱															

جدول ۱۲: بازتاب استاندارد W2 (سطح مرطوب)، $Q_{0\text{-wet}}=0.150$

β / tan γ	۰	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۰	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۱
۰٫۲۵	۳۶۶	۳۶۵	۳۶۵	۳۶۲	۳۶۱	۳۵۶	۳۵۲	۳۴۸	۳۴۴	۳۳۹	۳۳۴	۳۲۲	۳۰۹	۳۰۵	۳۰۲	۳۰۳	۳۰۴	۳۰۷	۳۰۷	۳۰۸
۰٫۵	۴۳۴	۴۳۱	۴۲۶	۴۱۶	۴۰۰	۳۷۸	۳۵۷	۳۳۵	۳۱۴	۲۹۸	۲۸۲	۲۵۲	۲۳۲	۲۳۲	۲۳۳	۲۳۸	۲۴۱	۲۴۷	۲۴۸	۲۵۰
۰٫۷۵	۶۱۹	۶۱۶	۶۰۰	۵۴۸	۴۷۸	۴۰۷	۳۴۸	۲۹۹	۲۵۷	۲۲۹	۲۰۴	۱۷۱	۱۶۰	۱۶۱	۱۶۵	۱۷۲	۱۷۷	۱۸۴	۱۸۷	۱۹۰
۱	۸۹۹	۸۹۹	۸۴۶	۷۰۵	۵۳۹	۳۹۷	۲۹۲	۲۲۹	۱۸۰	۱۵۳	۱۳۰	۱۱۰	۱۰۶	۱۱۰	۱۱۵	۱۲۲	۱۲۷	۱۳۴	۱۳۷	۱۳۹
۱٫۲۵	۱۲۴۵	۱۲۲۲	۱۱۰۷	۷۸۷	۵۳۰	۳۴۱	۲۱۹	۱۵۹	۱۱۵	۹۷	۸۲	۷۲	۷۱	۷۶	۸۰	۸۶	۹۱	۹۷	۱۰۰	۱۰۲
۱٫۵	۱۵۵۲	۱۴۹۲	۱۲۵۵	۷۸۵	۴۴۳	۲۵۷	۱۴۹	۱۰۶	۷۵	۶۳	۵۳	۴۸	۴۹	۵۳	۵۷	۶۲	۶۷	۷۲	۷۴	۷۶
۱٫۷۵	۱۷۹۳	۱۶۸۵	۱۳۲۰	۶۹۵	۳۵۱	۱۸۹	۱۰۲	۷۱	۴۹	۴۲	۳۶	۳۴	۳۴	۳۹	۴۲	۴۶	۵۰	۵۴	۵۶	۵۸
۲	۱۹۵۲	۱۷۸۷	۱۲۸۲	۵۷۶	۲۶۰	۱۳۲	۶۷	۴۷	۳۴	۲۹	۲۶	۲۴	۲۶	۲۸	۳۱	۳۵	۳۸	۴۲	۴۴	۴۵
۲٫۵	۲۰۶۵	۱۷۵۸	۱۰۸۲	۳۷۵	۱۲۸	۶۵	۳۳	۲۴	۱۸	۱۶	۱۴	۱۴	۱۵	۱۷	۱۹	۲۲	۲۴	۲۷	۲۸	۲۹
۳	۱۹۹۷	۱۵۸۶	۸۰۴	۲۱۵	۶۴	۳۲	۱۶	۱۳	۱۰	۹	۹	۹	۱۰	۱۱	۱۳	۱۵	۱۶	۱۸	۱۹	۲۰
۳٫۵	۱۸۱۲	۱۳۳۶	۵۶۳	۱۲۴	۳۴	۱۸	۹	۷	۶	۵	۵	۶	۶	۸	۹	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۴	۱۵۷۳	۱۰۸۴	۳۸۲	۷۱	۲۰	۱۱	۶	۵	۴	۴	۴	۴	۵	۶	۶	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۱
۴٫۵	۱۳۱۳	۸۳۷	۲۴۲	۴۰	۱۲	۷	۴	۳	۳	۳	۳	۳	۴	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۹
۵	۱۰۸۰	۶۴۳	۱۶۰	۲۵	۷	۵	۳	۳	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۴	۵	۵	۶	۷	۷
۵٫۵	۸۸۴	۴۸۷	۱۰۹	۱۶	۵	۴	۳	۲	۲	۱										
۶	۷۳۵	۳۸۱	۷۶	۱۱	۴	۳	۲	۲	۲											
۶٫۵	۶۱۵	۳۰۰	۵۵	۸	۳	۲	۲	۲												
۷	۵۱۳	۲۳۸	۴۰	۶	۳	۲	۲	۱												
۷٫۵	۴۳۱	۱۹۱	۳۱	۴	۲	۲	۲													
۸	۳۶۶	۱۵۴	۲۴	۴	۲	۲	۱													
۸٫۵	۳۱۱	۱۲۵	۱۸	۳	۲	۱	۱													
۹	۲۶۶	۱۰۳	۱۴	۳	۲	۱														
۹٫۵	۲۲۹	۸۷	۱۱	۲	۱	۱														
۱۰	۱۹۷	۷۳	۱۰	۲	۱	۱														
۱۰٫۵	۱۷۲	۶۳	۸	۲	۱	۱														
۱۱	۱۵۳	۵۵	۷	۲	۱	۱														
۱۱٫۵	۱۳۶	۴۹	۶	۱	۱															
۱۲	۱۲۳	۴۴	۵	۱	۱															

جدول ۱۳: بازتاب استاندارد W3 (سطح مرطوب)، $Q_{0\text{-}wet}$=0.196

β / tan γ	۰	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۰	۳۰۹	۳۰۹	۳۰۹	۳۰۹	۳۰۹	۳۰۹	۳۰۹	۳۰۹	۳۰۹	۳۰۹	۳۰۹	۳۰۹	۳۰۹	۳۰۹	۳۰۹	۳۰۹	۳۰۹	۳۰۹	۳۰۹	۳۰۹
۰٫۲۵	۳۲۵	۳۲۶	۳۲۵	۳۲۴	۳۲۲	۳۱۸	۳۱۴	۳۱۱	۳۰۷	۳۰۴	۳۰۰	۲۹۱	۳۸۴	۲۸۲	۲۸۰	۲۸۲	۲۸۱	۲۸۳	۲۸۳	۲۸۴
۰٫۵	۴۰۱	۴۰۲	۳۹۷	۳۸۴	۳۷۰	۳۴۴	۳۲۰	۳۰۰	۲۸۱	۲۶۶	۲۵۱	۲۲۶	۲۱۷	۲۱۷	۲۱۷	۲۲۲	۲۲۴	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۲
۰٫۷۵	۶۲۴	۶۲۲	۵۹۸	۵۳۵	۴۶۳	۳۸۵	۳۲۱	۲۶۸	۲۲۴	۲۰۰	۱۷۹	۱۵۷	۱۵۱	۱۵۳	۱۵۶	۱۶۲	۱۶۶	۱۷۲	۱۷۴	۱۷۷
۱	۹۹۴	۹۷۶	۹۲۴	۷۵۲	۵۴۵	۳۷۶	۲۶۰	۲۰۱	۱۵۵	۱۳۳	۱۱۴	۱۰۲	۱۰۱	۱۰۵	۱۰۹	۱۱۵	۱۱۹	۱۲۵	۱۲۷	۱۲۹
۱٫۲۵	۱۴۷۵	۱۴۳۸	۱۲۷۲	۹۰۱	۵۳۶	۳۱۶	۱۸۶	۱۳۳	۹۶	۸۳	۷۳	۶۸	۶۸	۷۳	۷۶	۸۲	۸۵	۹۱	۹۳	۹۵
۱٫۵	۱۹۳۵	۱۸۴۰	۱۵۳۰	۸۹۴	۴۴۲	۲۲۶	۱۱۵	۸۲	۵۹	۵۲	۴۷	۴۶	۴۷	۵۱	۵۵	۵۹	۶۲	۶۷	۶۹	۷۱
۱٫۷۵	۲۳۴۰	۲۲۳۵	۱۶۷۱	۷۹۱	۳۲۸	۱۵۷	۷۵	۵۳	۳۸	۳۵	۳۱	۳۲	۳۴	۳۷	۴۰	۴۴	۴۶	۵۰	۵۲	۵۳
۲	۲۶۶۷	۲۴۳۶	۱۶۷۰	۶۵۹	۲۲۷	۱۰۲	۴۶	۳۴	۲۶	۲۴	۲۳	۲۳	۲۵	۲۷	۳۰	۳۳	۳۶	۳۹	۴۰	۴۲
۲٫۵	۳۰۴۸	۲۵۶۳	۱۳۷۹	۳۹۰	۱۰۹	۴۸	۲۱	۱۷	۱۴	۱۴	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۸	۲۰	۲۳	۲۵	۲۶	۲۷
۳	۳۰۷۹	۲۳۸۲	۱۰۳۶	۲۲۰	۵۲	۲۳	۱۰	۱۰	۹	۹	۸	۹	۹	۱۱	۱۲	۱۴	۱۵	۱۷	۱۸	۱۹
۳٫۵	۲۹۰۷	۲۰۳۵	۷۲۵	۱۱۶	۲۸	۱۴	۷	۶	۵	۶	۶	۶	۶	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۴	۲۶۳۸	۱۶۸۷	۴۹۲	۶۵	۱۴	۸	۵	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۶	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۰
۴٫۵	۲۲۶۱	۱۳۳۷	۳۱۳	۳۶	۹	۶	۴	۳	۳	۳	۳	۳	۴	۴	۵	۶	۶	۷	۸	۸
۵	۱۹۲۲	۱۰۳۳	۲۰۳	۲۲	۶	۴	۳	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۴	۴	۵	۶	۶	۷
۵٫۵	۱۵۸۳	۷۹۲	۱۳۲	۱۴	۴	۳	۳	۲	۲	۲										
۶	۱۳۱۵	۶۲۹	۹۲	۱۰	۳	۳	۲	۲	۲											
۶٫۵	۱۱۰۰	۵۰۴	۶۶	۷	۳	۲	۲	۲												
۷	۹۳۸	۴۰۷	۴۸	۶	۲	۲	۲	۲												
۷٫۵	۷۹۸	۳۲۶	۳۶	۴	۲	۲	۲													
۸	۶۸۲	۲۶۶	۲۸	۴	۲	۲	۲													
۸٫۵	۵۸۲	۲۱۶	۲۱	۳	۲	۲	۲													
۹	۵۰۰	۱۷۶	۱۷	۳	۲	۲														
۹٫۵	۴۲۸	۱۴۷	۱۳	۲	۱	۱														
۱۰	۳۷۰	۱۲۴	۱۱	۲	۱	۱														
۱۰٫۵	۳۲۳	۱۰۶	۱۰	۲	۱	۱														
۱۱	۲۸۴	۹۱	۸	۲	۱	۱														
۱۱٫۵	۲۵۱	۸۱	۷	۲	۱															
۱۲	۲۲۶	۷۲	۶	۲	۱															

جدول ۱۴: بازتاب استاندارد W4 (سطح مرطوب)، $Q_{0\text{-}wet}=0.247$

β / tan γ	۰	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۰	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴
۰٫۲۵	۲۷۶	۲۷۶	۲۷۶	۲۷۷	۲۷۹	۲۷۸	۲۷۶	۲۷۵	۲۷۵	۲۷۳	۲۷۱	۲۶۸	۲۶۳	۲۶۲	۲۶۱	۲۶۴	۲۶۵	۲۶۶	۲۶۷	۲۶۷
۰٫۵	۲۹۸	۳۰۱	۲۹۸	۲۸۹	۲۸۵	۲۶۹	۲۵۴	۲۴۴	۲۳۴	۲۲۶	۲۱۸	۲۱۰	۲۰۲	۲۰۴	۲۰۵	۲۱۱	۲۱۳	۲۱۷	۲۱۹	۲۲۰
۰٫۷۵	۴۳۹	۴۳۷	۴۳۷	۴۱۸	۳۵۳	۲۸۳	۲۲۶	۲۰۰	۱۷۶	۱۶۶	۱۵۶	۱۴۵	۱۴۲	۱۴۵	۱۴۸	۱۵۳	۱۵۷	۱۶۲	۱۶۵	۱۶۷
۱	۸۰۶	۷۸۹	۷۳۴	۵۷۸	۴۰۱	۲۶۶	۱۷۶	۱۴۴	۱۱۷	۱۰۸	۱۰۰	۹۵	۹۶	۱۰۰	۱۰۳	۱۰۹	۱۱۱	۱۱۸	۱۲۰	۱۲۲
۱٫۲۵	۱۳۷۰	۱۳۰۰	۱۰۶۹	۶۸۶	۳۶۰	۲۰۵	۱۱۷	۹۳	۷۴	۶۹	۶۵	۶۴	۶۵	۶۸	۷۲	۷۷	۸۰	۸۵	۸۷	۹۰
۱٫۵	۲۰۰۲	۱۸۲۸	۱۳۲۹	۶۸۹	۲۸۱	۱۴۴	۷۳	۶۰	۴۹	۴۶	۴۳	۴۳	۴۵	۴۹	۵۱	۵۵	۵۸	۶۲	۶۴	۶۶
۱٫۷۵	۲۶۰۰	۲۲۷۶	۱۵۱۸	۶۴۶	۲۱۱	۱۰۰	۴۷	۳۹	۳۳	۳۱	۳۰	۳۰	۳۱	۳۵	۳۷	۴۱	۴۳	۴۷	۴۸	۵۰
۲	۳۰۷۸	۲۶۶۸	۱۵۹۹	۵۲۳	۱۶۱	۶۹	۳۰	۲۷	۲۴	۲۲	۲۱	۲۲	۲۳	۲۶	۲۸	۳۱	۳۳	۳۶	۳۷	۳۹
۲٫۵	۳۹۰۰	۳۰۲۰	۱۳۶۵	۲۷۵	۶۶	۳۳	۱۷	۱۵	۱۳	۱۲	۱۲	۱۳	۱۳	۱۶	۱۷	۱۹	۲۱	۲۳	۲۴	۲۵
۳	۴۱۹۸	۲۹۷۶	۱۰۵۵	۱۵۱	۲۶	۱۵	۹	۸	۸	۸	۸	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۳	۱۴	۱۶	۱۷	۱۸
۳٫۵	۴۲۲۱	۲۷۱۰	۷۲۳	۷۲	۱۴	۸	۵	۵	۴	۵	۵	۶	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۲	۱۲	۱۳
۴	۴۱۱۱	۲۳۷۷	۵۰۱	۳۶	۸	۵	۴	۳	۳	۳	۴	۴	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۹	۱۰
۴٫۵	۳۷۱۳	۱۹۴۰	۳۲۴	۱۹	۶	۴	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۴	۵	۶	۶	۷	۷	۸
۵	۳۲۸۵	۱۵۵۸	۱۸۹	۱۲	۴	۳	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۴	۵	۵	۶	۶	۷
۵٫۵	۲۸۴۰	۱۲۳۰	۱۲۵	۷	۳	۳	۳	۲	۲	۲										
۶	۲۴۹۸	۹۶۶	۷۵	۵	۳	۳	۳	۲	۲											
۶٫۵	۲۲۱۱	۷۶۳	۵۱	۴	۲	۲	۲	۲												
۷	۱۸۸۵	۵۹۹	۳۵	۴	۲	۲	۲	۲												
۷٫۵	۱۶۳۱	۴۷۱	۲۵	۳	۲	۲	۲													
۸	۱۳۹۸	۳۷۲	۲۰	۳	۲	۲	۲													
۸٫۵	۱۱۸۹	۳۰۰	۱۵	۲	۲	۲	۲													
۹	۱۰۲۴	۲۴۹	۱۲	۲	۲	۲														
۹٫۵	۸۹۱	۲۱۰	۱۰	۲	۱	۱														
۱۰	۷۸۴	۱۷۶	۸	۲	۱	۱														
۱۰٫۵	۶۸۶	۱۵۱	۷	۲	۱	۱														
۱۱	۵۹۹	۱۳۱	۶	۲	۱	۱														
۱۱٫۵	۵۳۲	۱۱۵	۵	۲	۱															
۱۲	۴۷۹	۱۰۳	۵	۲	۱															

پیوست ۳ :ملاحظاتی در طراحی تونل و تاثیر آن بر میزان روشنایی

۱- آسودگی رانندگان

رانندگی در یک تونل، متفاوت با رانندگی در یک راه روباز است، زیرا درک راننده نسبت به محیط اطراف محدود شده و همه نشانه‌های مرجع آشنا، از دید راننده دور می‌شوند. دیواره‌های تونل می‌توانند "اثر ترس از دیواره" را برای رانندگان ایجاد کنند که موجب می‌شود رانندگان از دیواره‌های تونل دوری جویند. قدرت دید رانندگان در یک تونل به طور قابل توجهی کمتر از یک راه روباز است. همچنین هنگام رانندگی در تونل، سرعت عکس‌العمل راننده، درک او از کنتراست و فاصله، دید محیطی او و قابلیت تشخیص رنگ‌ها کم می‌شود. به همین دلایل درک راننده از زمان سپری شده تغییر می‌نماید. یعنی برای راننده مدت زمانی که در داخل تونل سپری شده است حدودا دو برابر مدت زمان واقعی به نظر می‌رسد. بنابراین برخی رانندگان تحت تاثیر احساساتی از قبیل ترس از محیط‌های محصور قرار می‌گیرند.

با توجه به موارد فوق، طراحی سیستم روشنایی مناسب در تونل علاوه بر تامین مقدار درخشندگی مورد نیاز، می‌تواند به رانندگان کمک کند تا افزون بر سهولت انطباق دید و درک اشیا در راه، بر چنین آثار محیطی نیز غلبه کنند.

۲- طراحی تونل

ویژگی‌های تونل از لحاظ ساختمانی بر طراحی سیستم روشنایی از لحاظ پیچیدگی، الزامات نگهداری و مصرف انرژی تاثیر اساسی می‌گذارند. این ویژگی‌ها بر مقدار درخشندگی سطح قابل رویت در ناحیه دسترسی نیز تاثیرگذار می‌باشند. میزان تطابق دید راننده با کاهش مقدار درخشندگی سطح قابل رویت در ناحیه دسترسی، کاهش می‌یابد. هماهنگی بین طراح تونل و طراح روشنایی بهترین راه حل ممکن می‌باشد. به این منظور به نکات خاصی باید توجه کرد که عبارتند از:

الف) دسترسی به تونل

- اگر سطح راه ورودی و خروجی تونل از مواد تیره ساخته شده باشد، درخشندگی ناحیه دسترسی کاهش می‌یابد و در نتیجه سطح روشنایی در ناحیه دسترسی و ناحیه انتقال کم می‌شود.
- طراحی نمای تونل موجب اصلاح تغییر آنی محیط تونل برای راننده می‌گردد و می‌تواند اثر تابش نور خورشید را بر روی چشم راننده محدود کند تا به خصوص در تونل‌های شرقی - غربی میزان تاثیر آسمان بر حوزه دید راننده حداقل گردد و درخشندگی ناحیه دسترسی کاهش یابد. برای مثال، درختان و مناظر دیگر بالای ورودی تونل، می‌توانند خیرگی مستقیم ناشی از خورشید را کم کنند.
- فراهم نمودن سرندهای نور روز برای بخشی از ناحیه آستانه می‌تواند میزان نور مصنوعی موردنیاز را کاهش دهد. چنین سرندهایی معمولا از نوع ضدآفتاب می‌باشند.

ب) داخل تونل

- قرارگرفتن هر کدام از عوارض راه، از جمله تقاطع و سطوح شیب‌دار در داخل تونل، نیاز به ملاحظات عملی در طرح روشنایی سراسر تونل دارد.

- همچنین استفاده از رویه روشن در سطح راه و دیواره‌های تونل، کارایی کلی سیستم روشنایی را افزایش می‌دهد.
- راهنمایی لازم برای دید رانندگان در داخل تونل نیز باید به وسیله سیستم روشنایی در ترکیب با نشانه‌ها و علائم راه، تامین گردد.

ج) خروجی تونل

- ✦ هر تقاطع و یا هر راه شیب‌داری که بلافاصله بعد از خروجی تونل باشد باید در طراحی روشنایی تونل مدنظر قرار گیرد تا راننده‌ای که از تونل خارج می‌شود بتواند در آینه، تصویر وسایل نقلیه‌ای که هنوز در تونل هستند را ببیند.

۳- نگهداری تونل

ضریب نگهداری(MF) در محاسبات طراحی تونل، دلالت بر افت عملکرد فتومتریک چراغ و لامپ از زمانی که نو هستند تا زمانی که در وضعیت سرویس و نگهداری قرار می‌گیرند، دارد. ضریب نگهداری از حاصل‌ضرب ضرایب نگهداری چراغ و لامپ حاصل می‌گردد.

پوشش دیواره‌های تونل نقش مهمی در کارایی سیستم روشنایی دارد، به طوری که به منظور نگهداری سیستم روشنایی طراحی شده، تمیز کردن آن از اهمیت به سزایی برخوردار است. این عمل شامل شستن مکرر دیواره‌ها و چراغ‌ها در سیکل شستشو متناظر با ضرایب نگهداری لامپ و چراغ می‌باشد.

نظارت بر برنامه تعویض لامپ‌های سوخته و نظافت سیستم روشنایی، باید به منظور حصول اطمینان از عدم افول ضریب نگهداری واقعی سیستم از مقدار طراحی شده انجام شود و عدم کاهش درجه یکنواختی سیستم روشنایی تونل با افزایش تعداد لامپ‌های معیوب کنترل گردد.

پیوست ۴ : عدم قطعیت در اندازه‌گیری شدت روشنایی

عوامل بسیاری به عنوان عدم قطعیت در اندازه‌گیری شدت روشنایی یک سیستم روشنایی نصب شده مطرح می‌شوند. مقادیر اندازه‌گیری شده در هر نقطه از مستطیل اندازه‌گیری، معمولا دارای عدم قطعیت زیادی بوده و حتی در بعضی موارد نسبت به مقدار متوسط کلی نیز دارای عدم قطعیت بالایی می‌باشند. این مساله برای مقدار کلیدی حداقل شدت روشنایی E_{min}، که از اندازه‌گیری نقطه‌ای به‌دست می‌آید نیز صادق است. این مقدار حداقل، اغلب در نقاطی اتفاق می‌افتد که منحنی پخش نور چراغ به سرعت تغییر می‌کند. در چنین نقاطی، وجود تغییرات کوچکی در موقعیت چراغ و زاویه نصب آن می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر مقدار شدت روشنایی داشته باشد.

به طور کلی لازم است که تاثیر عدم‌قطعیت‌ها، هم در زمان اندازه‌گیری و هم در زمان مقایسه مقادیر اندازه‌گیری با مقادیر محاسباتی در نظر گرفته شود. در بعضی مواقع نیز ممکن است تغییرات مربوط به هندسه نصب و پخش نور چراغ‌ها طوری باشد که نتوان از مقادیر داده شده برای عدم‌قطعیت‌ها استفاده کرد. در این حالت باید این انحرافات، در موقع اندازه‌گیری شدت روشنایی منظور گردند. جدول ۱ نمونه‌هایی از مقادیر عدم قطعیت را برای تعدادی از عوامل ارائه می‌دهد. در این جدول، این مقادیر برای چراغ‌های مختلف (به عنوان مثال به دلیل حساسیت پخش نور چراغ نسبت به موقعیت لامپ)، برای انواع مختلف لامپ‌ها (به دلیل این‌که لامپ‌های بزرگ از قبیل فلورسنت حساسیت کمتری دارند، اما معمولا نسبت به تغییرات دما حساس هستند) و همچنین هندسه نصب مختلف، متفاوت می‌باشند.

در صورت امکان باید عدم‌قطعیت در اندازه‌گیری شدت روشنایی برای هر سیستم روشنایی با محاسبه حساسیت آن سیستم به عوامل مختلف تعیین شود. به منظور طراحی سیستم روشنایی، محاسبات با مقادیر اسمی پارامترها انجام می‌شود و لازم است تاثیر تغییرات این پارامترها بر روی عملکرد سیستم طراحی شده بررسی شود. با این کار اثر تغییر هر پارامتر بر مقادیر شدت روشنایی متوسط و حداقل مشخص می‌گردد. در صورت امکان، پیشنهاد می‌گردد که اثر رواداری نور خروجی لامپ که توسط سازنده داده شده و همچنین اثر رواداری عملکرد چراغ، زمانی که همین لامپ با تجهیزات کنترلی مشخصی در حال کار است، بررسی شود. حساسیت هر لامپ به دما نیز باید در نظر گرفته شود.

برای حصول اطمینان از بهترین دقت اندازه‌گیری، بررسی عوامل قابل کنترل و رفع بسیاری از عدم‌قطعیت‌ها تا حد ممکن بسیار مهم است. به عنوان مثال می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف- اطمینان از هندسه نصب دقیق (فاصله چراغ‌ها و نوع آرایش نصب) به منظور ایجاد شرایط یکسان در مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و محاسبه شده؛

ب- اندازه‌گیری ولتاژ و به کار بردن ضریب اصلاح در صورت نیاز؛

ج- فقط از تجهیز استاندارد با کالیبراسیون به‌روز، استفاده گردد و همچنین باید بر روی دستگاه، تصحیح دمای محیط نیز انجام گیرد؛

د- باید از تکنیک‌های صحیح در اندازه‌گیری استفاده گردد؛

هـ- اگر تاسیسات نو نباشند، باید اثر کثیفی روی شفافیت شیشه چراغ‌ها بررسی شود.

بسیاری از این عوامل مانند موقعیت، فاصله و ارتفاع از سطح راه چراغ‌ها منطبق با طراحی و نصب تراز آن‌ها جزئی از وظایف مجری طرح سیستم روشنایی بوده و در صورت کنترل صحیح این عوامل، عدم‌قطعیت‌های منتجه نیز کاهش یافته و یا حذف می‌گردند. بدین منظور باید دقت لازم به عنوان بخش مهمی از طراحی لحاظ شود. همچنین باید توجه داشت که همه عدم‌قطعیت‌های موجود به صورت تجمعی و در یک جهت به صورت کاهنده یا افزاینده عمل نمی‌کنند. یک روش برای ترکیب عدم‌قطعیت‌های موجود به منظور تعیین مقدار عدم‌قطعیت کلی در یک اندازه‌گیری، استفاده از ریشه دوم جمع مربعات آن‌ها می‌باشد. در این روش مجموع مربعات درصد عدم‌قطعیت‌های هر یک از عوامل محاسبه و سپس ریشه دوم آن‌ها گرفته می‌شود. به عنوان مثال، برای به‌دست آوردن اثر وجود سه عدم‌قطعیت زیر به طور هم‌زمان و در یک اندازه‌گیری، با استفاده از جدول ۱ و رابطه (۱) می‌توان عدم قطعیت کلی را محاسبه کرد:

- اگر تغییرات خروجی لامپ $\pm 5\%$ باشد؛
- تغییرات قرائت اندازه‌گیر $\pm 6\%$ باشد و
- تغییرات اندازه‌گیری ولتاژ منبع تغذیه $\pm 1\%$ (معادل $\pm 2.5\%$ در نور خروجی) باشد.

$$\sqrt{5^2 + 6^2 + 2.5^2} = \pm 8\% \qquad (۱)$$

جدول ۱: عدم قطعیت معمول در پارامترها و مثال‌هایی از اثرات آنها بر روی مقدار شدت روشنایی

عامل	عدم قطعیت	مقدار پیشنهادی	نمونه‌ای از اثر عدم قطعیت بر روی شدت روشنایی	
			E_{av} ٪	E_{min} ٪
خروجی لامپ	- تغییر در نور خروجی تولیدی لامپ‌ها نسبت به مقدار استفاده شده در محاسبات. این مقادیر که نوعی هستند، به‌ویژه برای لامپ/سازنده مشخص در زمان استفاده، باید تعیین شوند.	SOX ±٪۶ SON ±٪۴ CMH±٪۲ CFL±٪۵ LED±٪۱۰	±۶ ±۴ ±۲ ±۵ ±۱۰	±۶ ±۴ ±۲ ±۵ ±۱۰
خروجی چراغ (غیرقابل کاربرد برای LED)	-تغییر در پخش نور و خروجی ناشی از تلورانس ساخت چراغ: - تغییر در شدت نورنقطه‌ای (رفلکتور نوری HID) - تغییر در نور خروجی حاصل از تغییر موقعیت محفظه قوس HID در قسمت نوری.	±٪۱۰ ±٪۲ نور خروجی	±۲	±۱۰ تا حدود ±۳۰
ارتفاع نصب	- تغییر در ارتفاع نصب چراغ راه، حاصل از تلورانس در سطح راه و نصب چراغ.	±۱۵۰mm	تا حدود ±۳	تا حدود ±۲
فاصله نصب	- تغییر در موقعیت چراغ (E_{av} رابطه معکوس با تغییر فاصله دارد).	±۱۵۰mm	تا حدود ±۳	تا حدود ±۵
زاویه نصب	- تغییر در تراز عرضی چراغ نسبت به سطح راه، حاصل از تلورانس در سطح راه و نصب چراغ.	۳°	±۱	±۸

ولتاژ تغذیه	- تغییر در ولتاژ بطور معمول تا ٪۶± در خروجی لامپ تخلیه با بالاست مغناطیسی تا ٪۱۵± تغییر ایجاد می‌کند (در بالاست الکترونیکی یا درایور LED نباید تغییر کند). ولتاژ نزدیک چراغ اندازه‌گیری می‌شود و خروجی لامپ با استفاده از داده‌های سازنده اصلاح می‌شود. در این صورت تلورانس فقط مربوط به تلورانس اندازه‌گیری ولتاژ است.	٪۱± ولتاژ	±۲٫۵	±۲٫۵
نگهداری (کثیفی)	- تغییر در خروجی چراغ، به دلیل کثیفی بیرون شیشه چراغ. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که حتی در صورت تمیز کردن شیشه چراغ‌ها، خروجی چراغ ۳ درصد کمتر از خروجی یک چراغ با حباب نو استفاده نشده می‌باشد.	-٪۳	-۳	-۳
نورسنج	- دقت دستگاه اندازه‌گیری شدت روشنایی میدانی	٪۶± قرائت	±۶	±۶
روش اندازه‌گیری	- استفاده از انواع فنون اندازه‌گیری، به عنوان مثال استفاده از سنسور اندازه‌گیری که تراز باشد و در موقعیت مناسب قرار گیرد.	٪۵±	±۱	±۵
نرم‌افزار طراحی	- تغییر در مقادیر محاسبه شده توسط نرم‌افزارهای طراحی روشنایی مختلف.	٪۵±	±۵	±۵

پیوست ۵ : اندازه‌گیری‌ها برای بررسی اختلاف بین اندازه‌گیری‌های نوری و انتظارات طراحی

اندازه‌گیری‌های انجام شده به منظور بررسی اختلاف بین نتایج اندازه‌گیری شده و انتظارات طراحی یا درک تاثیر محیط نیاز به الزامات یا ملاحظات بیشتری دارد. تمام پارامترهای لازم برای درک اختلاف‌ها باید اندازه‌گیری شوند. این ممکن است شامل پارامترهای هندسی تاسیسات مانند ارتفاع پایه‌ها، زاویه نصب، جهت و چرخش چراغ‌ها در سایت، نوع و مدل چراغ‌ها و لامپ‌ها، شرایط دقیق الکتریکی (یعنی ولتاژ منبع تغذیه در هر تعداد پایه روشنایی در صورت لزوم) و خواص نوری سطح راه باشد.

تاثیر نورهای اضافی و مزاحم باید بخشی از بررسی‌ها باشد. برای بدست آوردن اطلاعات عمیق‌تر از وضعیت واقعی، می‌توان درمناطق جدید یا متفاوت تاسیسات روشنایی راه اندازه‌گیری‌ها را انجام داد.

در راه‌هایی که برای عبور وسیله نقلیه در نظر گرفته شدند، اندازه‌گیری مشخصات نوری سطح راه می‌تواند بخشی از روند بررسی‌ها باشد. در چنین مواردی، مقایسه اندازه‌گیری‌های شدت روشنایی و محاسبه شدت روشنایی با مقادیر درخشندگی مورد نیاز، شرایط سطح راه را تخمین می‌زند و اطلاعات کافی برای توجیه اختلاف‌ها ارائه می‌دهد.

در صورت لزوم برای راه‌ها در شرایط خشک، تعدادی نمونه از سطح راه باید برای اندازه‌گیری در شرایط آزمایشگاهی برداشته شود یا می‌توان مشخصات سطح راه را در محل و با ابزار دقیق و روش‌های مناسب که عدم قطعیت مناسب اندازه‌گیری را تضمین می‌کند، اندازه‌گیری نمود. راهنمای اندازه‌گیری مشخصات سطح راه در CIE 66:1984 و CIE 144:2001 ارائه شده است.

پیوست ۶ :راهنمای سیستم‌های اندازه‌گیری روشنایی تطبیقی راه

برای سیستم‌های اندازه‌گیری مورد استفاده در روشنایی تطبیقی راه به منظور کنترل خروجی نور چراغ‌ها، الزامات خاصی باید در نظر گرفته شود.

انتخاب دقیق پارامترهای اندازه‌گیری شده (درخشندگی یا روشنایی) و ارزیابی روش‌های اندازه‌گیری به همراه مشخصات ابزارهای مورد نیاز برای دستیابی به دقت لازم الزامات اندازه‌گیری را شامل می‌شوند. استفاده از پارامترهای خاص ممکن است سیستم اندازه‌گیری را ساده کرده و هزینه آن را بدون به خطر انداختن اهداف اندازه‌گیری کاهش دهد. عدم قطعیت اندازه‌گیری سیستم کنترل و تنظیمات اندازه‌گیری باید در نظر گرفته شوند تا اطمینان حاصل شود که مقدار پارامترهای نوری مطابق فصل۴ تضمین می‌شود.

به دلیل وجود مشکلات در اندازه‌گیری مناسب شدت روشنایی نزدیک سطوح راه (موقعیت حسگر، تاثیر شدید نور منابع متفاوت از تاسیسات روشنایی راه، گرد و غبار روی سطح آشکارساز و غیره)، پیشنهاد می‌شود که میزان درخشندگی راه در یک زاویه مشخص اندازه‌گیری شود.

پارامترهای کنترل باید در محدودیت‌های زمانی مشخص شده در طراحی یا الزامات استانداردهای مربوطه، اندازه‌گیری شوند. سایر پارامترهای نوری و غیرنوری ممکن است برای نظارت یا افزایش دقت و قابلیت اطمینان سیستم کنترل اندازه‌گیری شوند.

اتخاذ استراتژی‌های اجتناب از شرایط عملکردی ناخواسته در تاسیسات روشنایی راه‌ها وقتی که شرایط اندازه‌گیری می‌تواند نتایج نادرستی به همراه داشته باشد، الزامی است. این شرایط عبارتند از:

الف) در طول دوره پایداری (تثبیت)، کنترل شار نوری باید تحت الزامات خاص یا استاندارد مربوطه اعمال شود.

ب) شرایط آب و هوایی که الزامات موردنیاز طراحی و مدیریت تاسیسات روشنایی راه را فراهم نمی‌کند.

ج)شرایط کار آشکارساز (دما، رطوبت، رطوبت در سطوح انتقال دهنده نور) خارج از محدوده عملکرد آن است.

در حین اندازه‌گیری نمی‌توان از چراغ‌های اضافی و مزاحم اجتناب کرد. در طول اندازه‌گیری، تاثیر نورهای اضافی و مزاحم ممکن است مورد ارزیابی قرار گیرند. استراتژی‌های مدیریت آنها باید در طراحی تاسیسات و استانداردهای مربوطه در نظر گرفته شود.

اگر درخشندگی اندازه‌گیری شود:

الف) موقعیت درخشندگی‌متر ممکن است متفاوت از موقعیت ناظر موردنیاز باشد.

ب) نقاط اندازه‌گیری/نقاط شبکه مختلف ممکن است اتخاذ شود.

ج) درخشندگی‌متر با مخروط اندازه‌گیری باریک‌تر را می‌توان در فاصله بیشتر و در ارتفاع نسبتا بیشتر استفاده کرد به طوری که زاویه دید تجهیز باید در $(89 \pm 0.5)^{\circ}$ درجه نسبت به خط عمود به راه باشد.

د) اگر در طول اندازه‌گیری یک فاکتور همبستگی بین درخشندگی اندازه‌گیری شده و درخشندگی در شرایط عادی مورد ارزیابی قرار گیرد، ممکن است زاویه دید دیگری در نظر گرفته شود.

ه) اگر فقط سطح راه چارچوب‌بندی شده باشد و بتوان بین درخشندگی اندازه‌گیری شده و درخشندگی در شرایط عادی ارتباط برقرار کرد، محدودیت‌های حوزه دید درخشندگی‌متر ممکن است کاهش یابد.

در صورت لزوم در طول تنظیمات اندازه‌گیری، می‌توان یک ضریب تصحیح را اندازه‌گیری یا محاسبه نمود تا مقدار درخشندگی اصلی را تخمین زد.

تنظیمات اندازه‌گیری باید پس از یک دوره کارکرد، انجام شود. اگر این حالت امکان‌پذیر نیست، تنظیمات اندازه‌گیری و نمونه‌های سیگنال کنترل باید در همان لحظه بدست آید.

در صورتی که روش کنترل، قابلیت ردیابی پارامتر کنترل شده (به عنوان مثال استفاده از تنظیمات اندازه‌گیری که نوعی ضریب کالیبراسیون را ارائه می‌دهد) را تضمین نماید، کالیبراسیون مطلق دستگاه سنجش شدت روشنایی و درخشندگی‌متر را می‌توان حذف نمود.

اگر به منظور اندازه‌گیری کمیت مورد استفاده برای کنترل روشنایی خروجی چراغ‌ها، از ابزارهای کالیبره شده در شرایط هندسی مشابه تجهیزات اصلی استفاده شود، تنظیمات اندازه‌گیری را می‌توان حذف نمود.

باید به کارکرد طولانی مدت ابزارها و تاثیر شرایط محیطی توجه شود. وجود باران یا برف نه تنها عملکرد تجهیزات و خواندن آن را بلکه ضریب کالیبراسیون فوق‌الذکر را نیز تغییر می‌دهد. استراتژی‌های اجتناب از شرایط عملکردی ناخواسته در تاسیسات روشنایی راه نیز باید این جنبه‌ها را در نظر بگیرند.

پیوست ۷ :اطلاعات عملی برای اندازه‌گیری روشنایی راه‌ها

این پیوست اطلاعات کاربردی را ارائه می‌دهد که برای اندازه‌گیری روشنایی راه‌ها مفید می‌باشد.

الف) اقدامات احتیاطی اندازه‌گیری

موارد زیر لیستی از اقدامات احتیاطی است که باید برای اجتناب از اندازه‌گیری اشتباه یا نادرست مورد توجه قرار گیرد:

- موقعیت و جهت ابزار بررسی شود؛
- حساسیت طیفی با توجه به نوع لامپ استفاده شده (یعنی LED)، به صورت مناسب اصلاح شود.
- آسیب احتمالی ابزار در حین انجام کار و حمل و نقل بررسی شود؛
- تست اولیه ابزار قبل از شروع روش اندازه‌گیری انجام شود؛
- گواهی کالیبراسیون منقضی نشده باشد؛
- باتری تجهیز اندازه‌گیری در شرایط خوب باشد؛
- شروع به کار ابزار مطابق با دستورالعمل تولید باشد؛
- جبران جریان تاریک یا کالیبراسیون خودکار انجام شده باشد؛
- محدوده ابزار به صورت صحیح انتخاب شده باشد.

ب) سازمان‌دهی اندازه‌گیری

استفاده از چک‌لیست‌ها، سازمان‌دهی اندازه‌گیری را تسهیل می‌کند و از حذف سهوی گام‌های مهم یا اقدامات احتیاطی به ویژه وقتی که فعالیت اندازه‌گیری در شرایط سخت انجام می‌شود، جلوگیری می‌کند.

برای اندازه‌گیری درخشندگی، قبل از اندازه‌گیری‌ها، می‌توان شبکه مناسب را در سطح راه با نشانگرهایی که اجازه می‌دهد تجهیز اندازه‌گیر به درستی تراز شود، علامت‌گذاری نمود.

پیوست ۸ :مثالی از شبیه‌سازی روشنایی راه‌ها

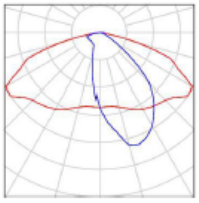
در این پیوست مثالی از شبیه‌سازی روشنایی راه‌ها فراهم شده است.

Lighting System Design / Luminaire parts list

6 Pieces

18000 Lm 154W Street light Luminaire ,Clear Temperad Glass , Gray Body , 3000K
Article No.: M314ULED7830-S
Luminous flux (Luminaire): 18000 lm
Luminous flux (Lamps): 18000 lm
Luminaire Wattage: 154.0 W
Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 44 79 97 100 100
Fitting: 1 x LED (Correction Factor 1.000).

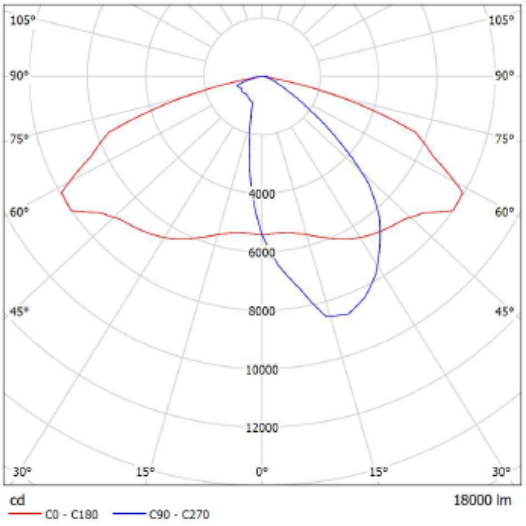
See our luminaire catalog for an image of the luminaire.



18000 Lm 154W Street light Luminaire ,Clear Temperad Glass , Gray Body , 3000K / Luminaire Data Sheet

See our luminaire catalog for an image of the luminaire.

Luminous emittance 1:



Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 44 79 97 100 100

Due to missing symmetry properties, no UGR table can be displayed for this luminaire.

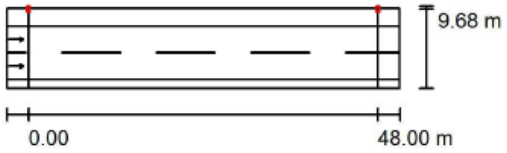
Street 1 / Planning data

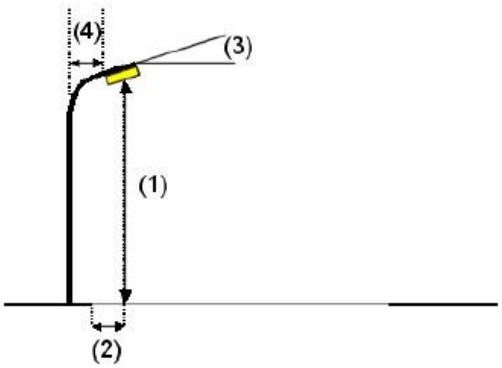
Street Profile

Sidewalk 2	(Width: 2.400 m)
Road	(Width: 7.300 m, Number of lanes: 2, tarmac: C2, q0: 0.070)
Sidewalk 1	(Width: 1.200 m)

Light loss factor: 0.80

Luminaire Arrangements





Luminaire: 18000 Lm 154W Street light Luminaire ,Clear Temperad Glass , Gray Body , 3000K

Luminous flux (Luminaire):	18000 lm
Luminous flux (Lamps):	18000 lm
Luminaire Wattage:	154.0 W
Arrangement:	Single row, top
Pole Distance:	48.000 m
Mounting Height (1):	13.200 m
Height:	13.077 m
Overhang (2):	-2.368 m
Boom Angle (3):	5.0 °
Boom Length (4):	1.000 m

Maximum luminous intensities

at 70°:	646 cd/klm
at 80°:	112 cd/klm
at 90°:	5.07 cd/klm

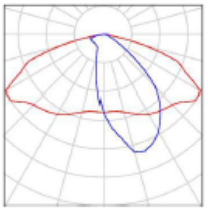
Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

No luminous intensities above 95°.
Arrangement complies with luminous intensity class G2.
Arrangement complies with glare index class D.6.

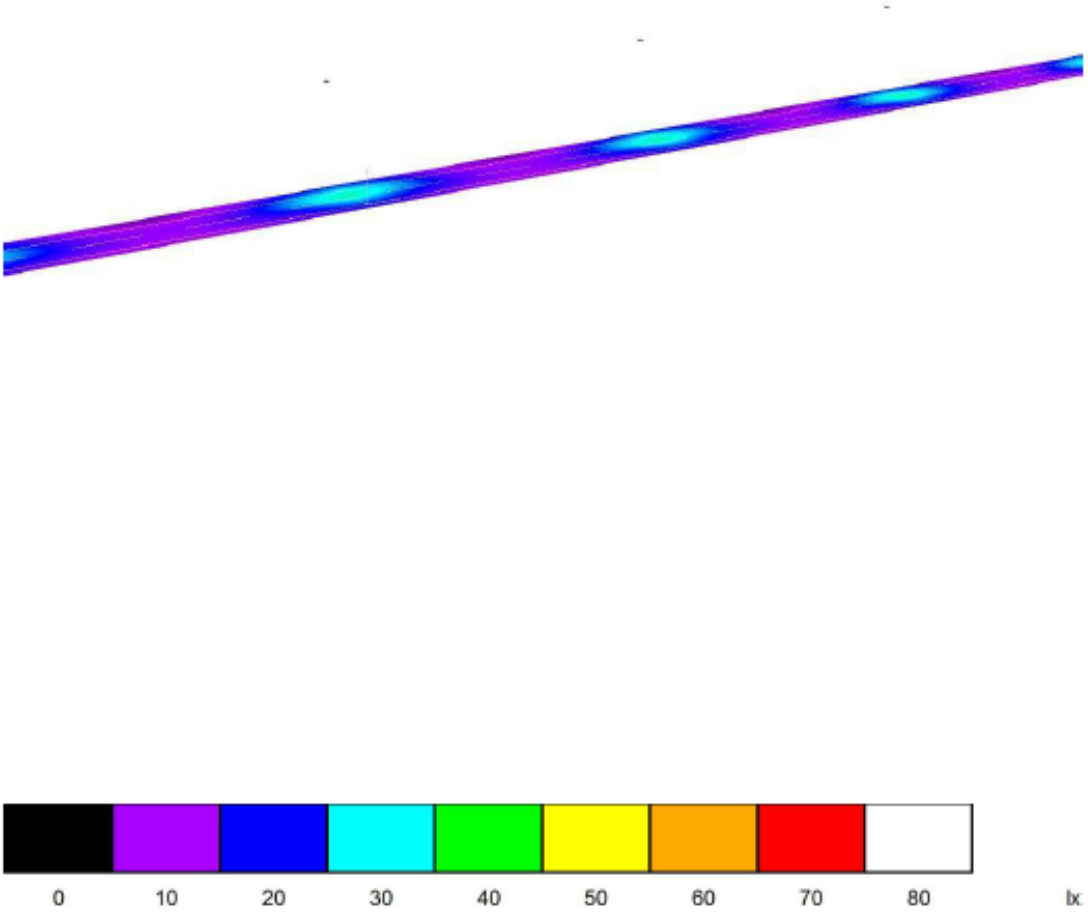
Street 1 / Luminaire parts list

18000 Lm 154W Street light Luminaire ,Clear Temperad Glass , Gray Body , 3000K
Article No.: M314ULED7830-S
Luminous flux (Luminaire): 18000 lm
Luminous flux (Lamps): 18000 lm
Luminaire Wattage: 154.0 W
Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 44 79 97 100 100
Fitting: 1 x LED (Correction Factor 1.000).

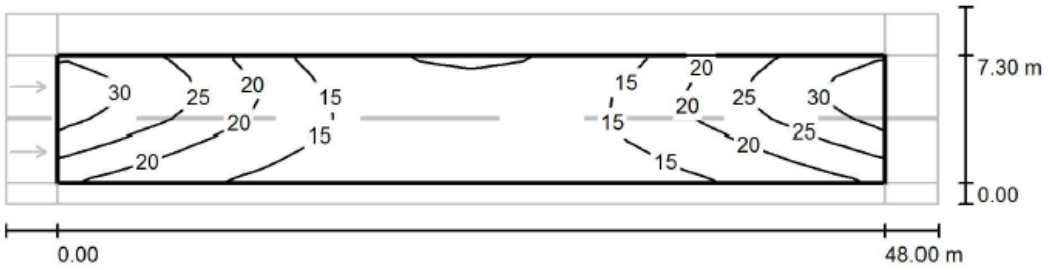
See our luminaire catalog for an image of the luminaire.



Street 1 / False Color Rendering



Street 1 / Road / Isolines (E)

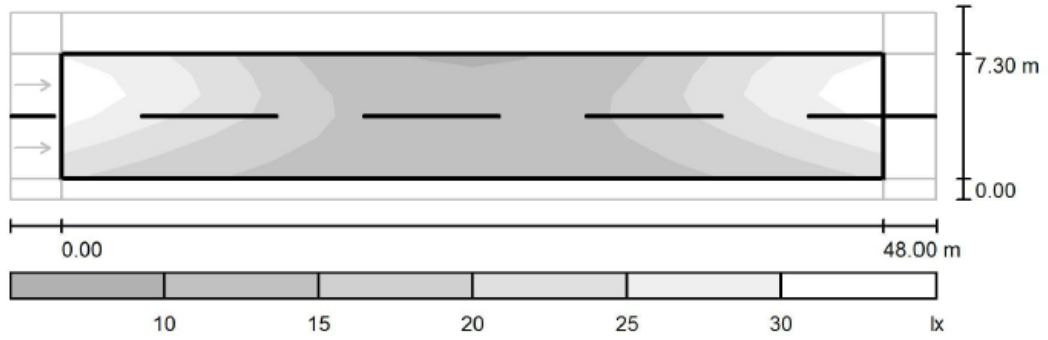


Values in Lux, Scale 1 : 387

Grid: 16 x 6 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
19	9.75	32	0.526	0.300

Street 1 / Road / Greyscale (E)

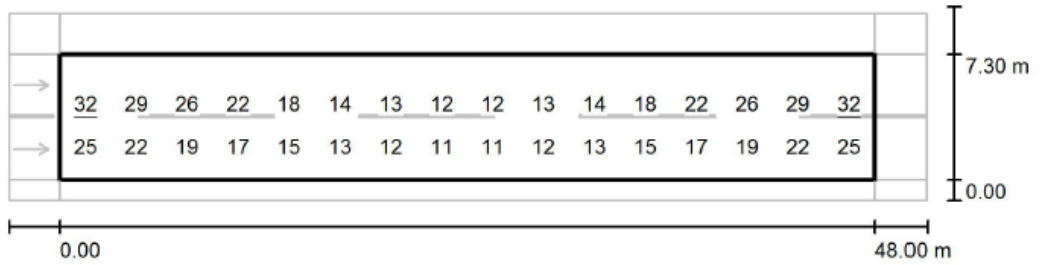


Scale 1 : 387

Grid: 16 x 6 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
19	9.75	32	0.526	0.300

Street 1 / Road / Value Chart (E)



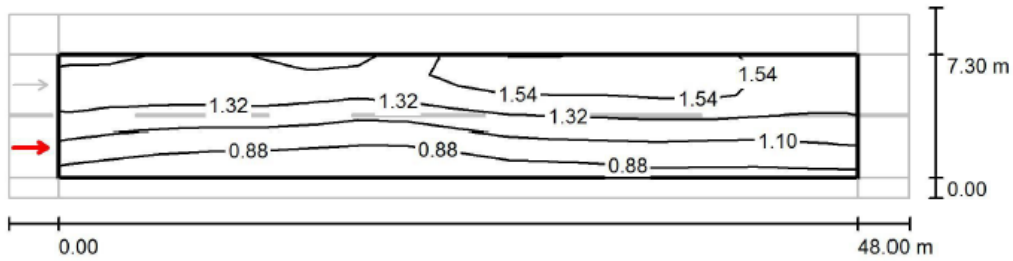
Values in Lux, Scale 1 : 387

Not all calculated values could be displayed.

Grid: 16 x 6 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
19	9.75	32	0.526	0.300

Street 1 / Road / Observer 3 / Isolines (L)

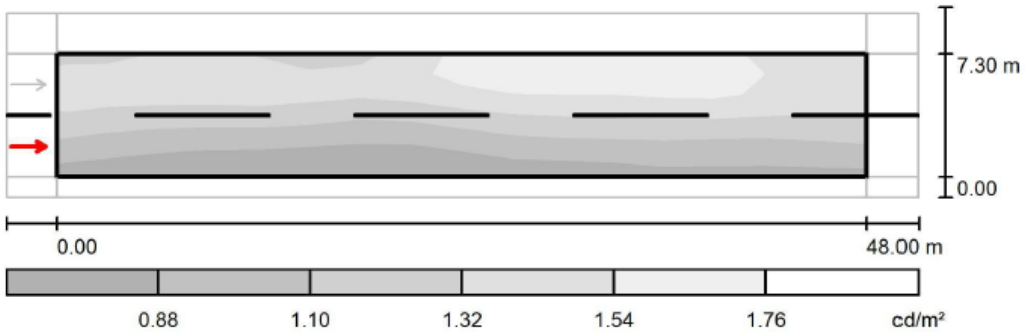


Values in Candela/m², Scale 1 : 387

Grid: 16 x 6 Points
Observer Position: (-60.000 m, 1.825 m, 1.500 m)
tarmac: C2, q0: 0.070

	L_{av} [cd/m²]	U0	UI	TI [%]
Calculated values:	1.22	0.56	0.80	7
Required values according to class ME3b:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15
Fulfilled/Not fulfilled:	✓	✓	✓	✓

Street 1 / Road / Observer 3 / Greyscale (L)

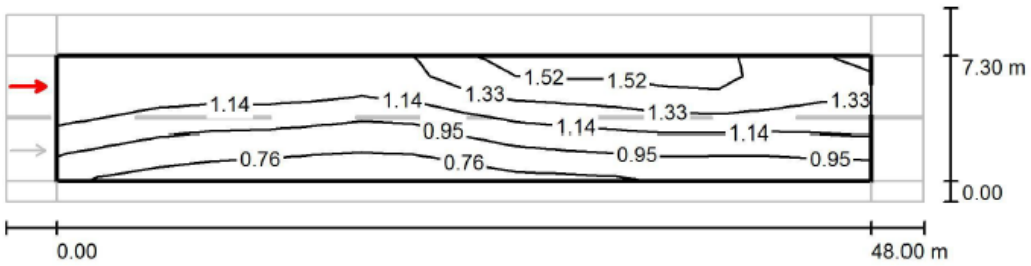


Scale 1 : 387

Grid: 16 x 6 Points
Observer Position: (-60.000 m, 1.825 m, 1.500 m)
tarmac: C2, q0: 0.070

	L_{av} [cd/m²]	U0	UI	TI [%]
Calculated values:	1.22	0.56	0.80	7
Required values according to class ME3b:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15
Fulfilled/Not fulfilled:	✓	✓	✓	✓

Street 1 / Road / Observer 4 / Isolines (L)

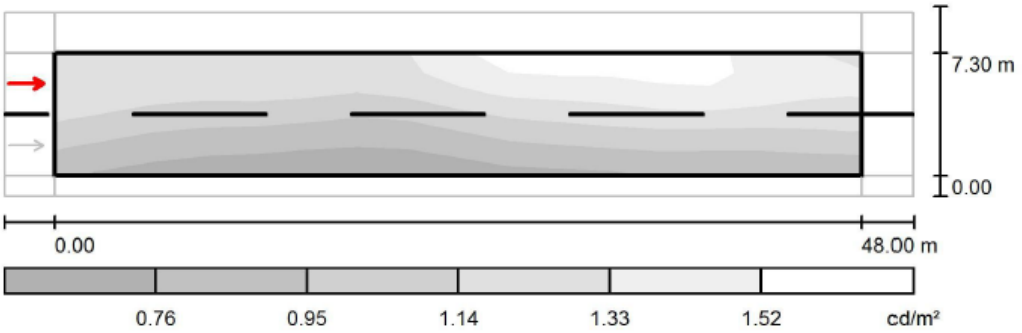


Values in Candela/m², Scale 1 : 387

Grid: 16 x 6 Points
Observer Position: (-60.000 m, 5.475 m, 1.500 m)
tarmac: C2, q0: 0.070

	L_{av} [cd/m²]	U0	UI	TI [%]
Calculated values:	1.12	0.57	0.76	8
Required values according to class ME3b:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15
Fulfilled/Not fulfilled:	✓	✓	✓	✓

Street 1 / Road / Observer 4 / Greyscale (L)

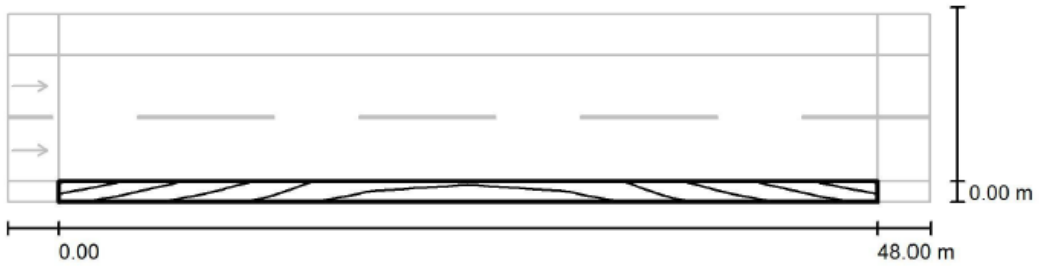


Scale 1 : 387

Grid: 16 x 6 Points
Observer Position: (-60.000 m, 5.475 m, 1.500 m)
tarmac: C2, q0: 0.070

	L_{av} [cd/m²]	U0	Ul	TI [%]
Calculated values:	1.12	0.57	0.76	8
Required values according to class ME3b:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15
Fulfilled/Not fulfilled:	✓	✓	✓	✓

Street 1 / Valuation Field Sidewalk 1 / Isolines (E)

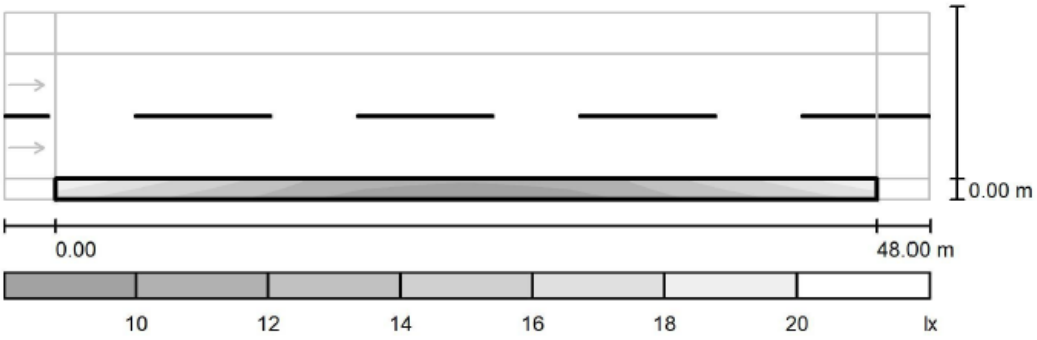


Values in Lux, Scale 1 : 387

Grid: 16 x 3 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
13	9.13	19	0.708	0.486

Street 1 / Valuation Field Sidewalk 1 / Greyscale (E)

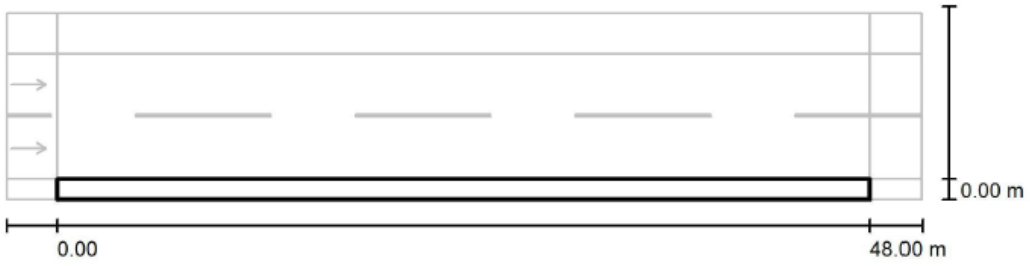


Scale 1 : 387

Grid: 16 x 3 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
13	9.13	19	0.708	0.486

Street 1 / Valuation Field Sidewalk 1 / Value Chart (E)



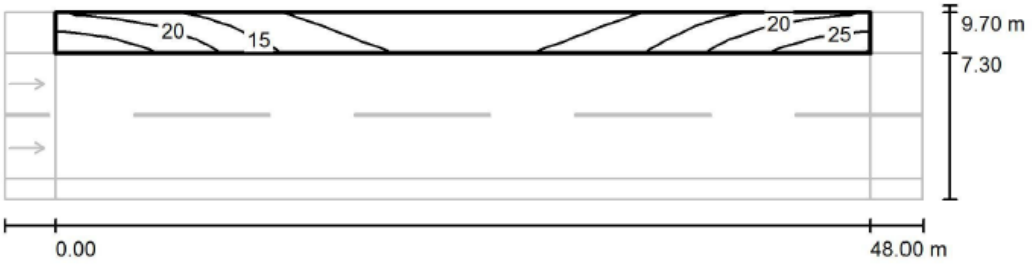
Values in Lux, Scale 1 : 387

Not all calculated values could be displayed.

Grid: 16 x 3 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
13	9.13	19	0.708	0.486

Street 1 / Valuation Field Sidewalk 2 / Isolines (E)

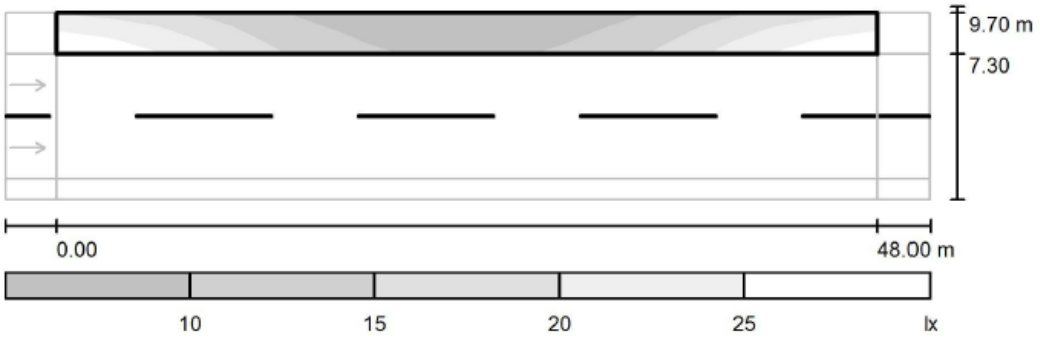


Values in Lux, Scale 1 : 387

Grid: 16 x 3 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
15	7.08	28	0.465	0.254

Street 1 / Valuation Field Sidewalk 2 / Greyscale (E)

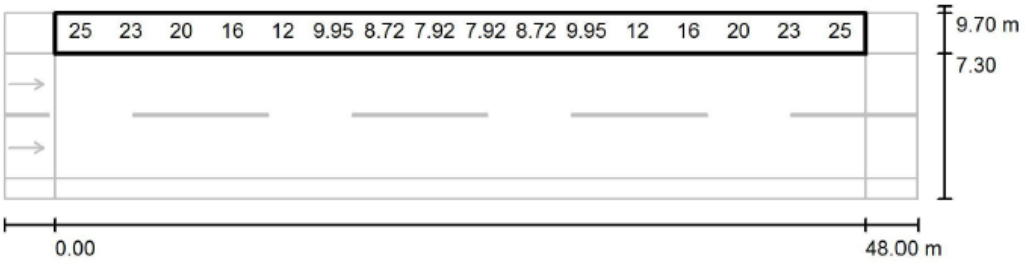


Scale 1 : 387

Grid: 16 x 3 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
15	7.08	28	0.465	0.254

Street 1 / Valuation Field Sidewalk 2 / Value Chart (E)



Values in Lux, Scale 1 : 387

Not all calculated values could be displayed.

Grid: 16 x 3 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
15	7.08	28	0.465	0.254

پیوست ۹ :مثالی از شبیه‌سازی روشنایی تونل

در این پیوست نمونه‌ای از شبیه‌سازی روشنایی تونل آورده شده است.

Project Data

Project Name		Tunnel Lighting Simulation			
Designed For		MORT			
Designed by		A.M			
Company		FP			
Bore Length	965	Bore Width	11.4	Bore Height	8.2
Traffic Speed	70	Stopping Distance	90	Vehicles per/hr/lane	800
Threshold Luminance	135	Interior1 Luminance	4.0	Interior2 Luminance	4.0
Night Luminance	1.5				
Nr of Switch Levels	6	Emergency Switch Level	No	Exit Zone	Yes
Nr of Lanes	2	Lane Width	3.650	Lane 1 from left wall	2.050

Luminaire Output dirt depreciation Factor	0.80
Tunnel Reflectances dirt depreciation Factor	0.85
Design Factor	1.00
Q0 Adjustment Factor	1.00
Left Safety Barrier Height	0.55
Left Safety Barrier Reflectance	0.40
Left Lower Wall Height	2.00
Left Lower Wall Reflectance	0.60
Left Upper Wall Reflectance	0.40
Right Safety Barrier Height	0.55
Right Safety Barrier Reflectance	0.40
Right Lower Wall Height	2.00
Right Lower Wall Reflectance	0.60
Right Upper Wall Reflectance	0.40
Ceiling Reflectance	0.10
CIE Road File	cier3.dat

Luminance Calculations for normal Switch Levels:

Road - Yes	Walls - Yes	Ceiling - No	T.I - Yes

Illuminance Calculations for normal Switch Levels:

Road - No	Walls - No	Ceiling - No

Grids on Road along bore:

Middle of Section		Length	20	Increment	1.00

Grids up Walls:

Start	0.20	End	1.80	Increment	0.20

(Longitudinal Increment same as road)

Nr of Grid Points per Lane across bore 5

Design based on requirements of CIE 88 - 2004
Step method of adaptation curve approximation used.
No calculations for Emergency Switch level.

Lengths

Threshold 1	(TH1)	0 > 67	Length: 67 Metres
Threshold 2	(TH2)	67 > 89	Length: 22 Metres
Transition 1	(TR1)	89 > 105	Length: 16 Metres
Transition 2	(TR2)	105 > 122	Length: 17 Metres
Transition 3	(TR3)	122 > 184	Length: 62 Metres
Transition 4	(TR4)	184 > 204	Length: 20 Metres
Transition 5	(TR5)	204 > 294	Length: 90 Metres
Interior1		294 > 875	Length: 581 Metres
Exit 1	(Exit1)	875 > 902	Length: 27 Metres
Exit 2	(Exit2)	902 > 929	Length: 27 Metres
Exit 3	(Exit3)	929 > 965	Length: 36 Metres

Road Average Target Luminances 100 % of nominal.
Wall Average Target Luminances 60 % of calculated road averages.

Switch level:		----	1	2	3	4	5	6
Threshold 1	(TH1)	----	1.5	4.0	10.0	23	58	135
Threshold 2	(TH2)	----	1.5	4.0	10.0	16	41	97
Transition 1	(TR1)	----	1.5	4.0	4.0	9.9	25	58
Transition 2	(TR2)	----	1.5	4.0	4.0	5.8	14.0	34
Transition 3	(TR3)	----	1.5	4.0	4.0	4.0	9.9	23
Transition 4	(TR4)	----	1.5	4.0	4.0	4.0	4.0	9.9
Transition 5	(TR5)	----	1.5	4.0	4.0	4.0	4.0	8.0
Interior1		----	1.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Exit 1	(Exit1)	----	1.5	4.0	4.0	9.0	9.0	9.0
Exit 2	(Exit2)	----	1.5	4.0	4.0	15	15	15
Exit 3	(Exit3)	----	1.5	4.0	4.0	20	20	20

Luminance Step Ratios between adjacent Zones.

Limit for last Transition zone: 2:1
Limit for all other Threshold and Transition zones: 3:1

(There are no steps between zones for switch levels below level 3)
(Steps between Interior and Exit not relevant to Adaptation)

1.0 for TH1 to TH2 Switch Level 3
2.5 for TH2 to TR1 Switch Level 3
1.0 for TR1 to TR2 Switch Level 3
1.0 for TR2 to TR3 Switch Level 3
1.0 for TR3 to TR4 Switch Level 3
1.0 for TR4 to TR5 Switch Level 3
1.0 for TR5 to Interior1 Switch Level 3
1.4 for TH1 to TH2 Switch Level 4
1.6 for TH2 to TR1 Switch Level 4
1.7 for TR1 to TR2 Switch Level 4
1.5 for TR2 to TR3 Switch Level 4
1.0 for TR3 to TR4 Switch Level 4
1.0 for TR4 to TR5 Switch Level 4
1.0 for TR5 to Interior1 Switch Level 4
1.4 for TH1 to TH2 Switch Level 5
1.6 for TH2 to TR1 Switch Level 5
1.8 for TR1 to TR2 Switch Level 5
1.4 for TR2 to TR3 Switch Level 5
2.5 for TR3 to TR4 Switch Level 5
1.0 for TR4 to TR5 Switch Level 5
1.0 for TR5 to Interior1 Switch Level 5
1.4 for TH1 to TH2 Switch Level 6
1.7 for TH2 to TR1 Switch Level 6

Luminance Step Ratios between adjacent Zones.

1.7 for TR1 to TR2 Switch Level 6
1.5 for TR2 to TR3 Switch Level 6
2.3 for TR3 to TR4 Switch Level 6
1.2 for TR4 to TR5 Switch Level 6
2.0 for TR5 to Interior1 Switch Level 6

Luminance Ratios between Switching Levels.

Limit: 3:1

2.5 between Level 2 and Level 3 for TH1
2.3 between Level 3 and Level 4 for TH1
2.5 between Level 4 and Level 5 for TH1
2.3 between Level 5 and Level 6 for TH1
2.5 between Level 2 and Level 3 for TH2
1.6 between Level 3 and Level 4 for TH2
2.6 between Level 4 and Level 5 for TH2
2.4 between Level 5 and Level 6 for TH2
1.0 between Level 2 and Level 3 for TR1
2.5 between Level 3 and Level 4 for TR1
2.5 between Level 4 and Level 5 for TR1
2.3 between Level 5 and Level 6 for TR1
1.0 between Level 2 and Level 3 for TR2
1.5 between Level 3 and Level 4 for TR2
2.4 between Level 4 and Level 5 for TR2
2.4 between Level 5 and Level 6 for TR2
1.0 between Level 2 and Level 3 for TR3
1.0 between Level 3 and Level 4 for TR3
2.5 between Level 4 and Level 5 for TR3
2.3 between Level 5 and Level 6 for TR3
1.0 between Level 2 and Level 3 for TR4
1.0 between Level 3 and Level 4 for TR4
1.0 between Level 4 and Level 5 for TR4
2.5 between Level 5 and Level 6 for TR4
1.0 between Level 2 and Level 3 for TR5
1.0 between Level 3 and Level 4 for TR5
1.0 between Level 4 and Level 5 for TR5
2.0 between Level 5 and Level 6 for TR5

Summary of results. Compliance of Light parameters with Limits.
'----' indicates no limit set and/or parameter not calculated

TH1 Luminance

Switch level:	E	1	2	3	4	5	6
Road	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Left Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Ceiling	----	----	----	----	----	----	----
Right Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

TH2 Luminance

Switch level:	E	1	2	3	4	5	6
Road	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Left Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Ceiling	----	----	----	----	----	----	----
Right Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

TR1 Luminance

Switch level:	E	1	2	3	4	5	6
Road	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Left Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Ceiling	----	----	----	----	----	----	----
Right Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

TR2 Luminance

Switch level:	E	1	2	3	4	5	6
Road	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Left Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Ceiling	----	----	----	----	----	----	----
Right Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

TR3 Luminance

Switch level:	E	1	2	3	4	5	6
Road	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Left Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Ceiling	----	----	----	----	----	----	----
Right Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

TR4 Luminance

Switch level:	E	1	2	3	4	5	6
Road	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Left Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Ceiling	----	----	----	----	----	----	----
Right Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

TR5 Luminance

Switch level:	E	1	2	3	4	5	6
Road	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Left Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Ceiling	----	----	----	----	----	----	----
Right Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

Interior1 Luminance

Switch level:	E	1	2	3	4	5	6
Road	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Left Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Ceiling	----	----	----	----	----	----	----
Right Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

Exit1 Luminance

Switch level:	E	1	2	3	4	5	6
Road	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Left Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Ceiling	----	----	----	----	----	----	----
Right Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

Exit2 Luminance

Switch level:	E	1	2	3	4	5	6
Road	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Left Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Ceiling	----	----	----	----	----	----	----
Right Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

Exit3 Luminance

Switch level:	E	1	2	3	4	5	6
Road	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Left Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Ceiling	----	----	----	----	----	----	----
Right Wall	----	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

TH1 Illuminance

Switch level:Emergency	
Road	----

TH2 Illuminance

Switch level:Emergency	
Road	----

TR1 Illuminance

Switch level:Emergency	
Road	----

TR2 Illuminance

Switch level:Emergency	
Road	----

TR3 Illuminance

Switch level:Emergency	
Road	----

```
TR4  Illuminance

Switch level:Emergency
Road            ----

TR5  Illuminance

Switch level:Emergency
Road            ----

Interior1  Illuminance

Switch level:Emergency
Road            ----

Exit1  Illuminance

Switch level:Emergency
Road            ----

Exit2  Illuminance

Switch level:Emergency
Road            ----

Exit3  Illuminance

Switch level:Emergency
Road            ----

TH1  Threshold Increment

Switch level:    E    1    2    3    4    5    6
Road            ---- Pass Pass Pass Pass Pass Pass
```

Statistics and Compliance

TH1 Road	**Switch level: 1**		**Luminance**
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.32	1.5	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.33	1.5	Pass
Lane2 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TH1 Left Wall	**Switch level: 1**		**Luminance**
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.26	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

TH1 Right Wall	**Switch level: 1**		**Luminance**
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.24	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TH2 Road	**Switch level: 1**		**Luminance**
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.32	1.5	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.33	1.5	Pass
Lane2 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TH2 Left Wall	**Switch level: 1**		**Luminance**
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.64	3.2	Pass
Uo	0.60	0.4	Pass

TH2 Right Wall	**Switch level: 1**		**Luminance**
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.88	3.2	Pass
Uo	0.58	0.4	Pass

TR1 Road	**Switch level: 1**		**Luminance**
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.34	1.5	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.33	1.5	Pass
Lane2 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TR1 Left Wall	**Switch level: 1**		**Luminance**
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.20	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR1 Right Wall	**Switch level: 1**		**Luminance**
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.48	3.2	Pass
Uo	0.62	0.4	Pass

Statistics and Compliance

TR2 Road	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.33	1.5	Pass
Lane1 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.32	1.5	Pass
Lane2 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TR2 Left Wall	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.64	3.2	Pass
Uo	0.60	0.4	Pass

TR2 Right Wall	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.64	3.2	Pass
Uo	0.60	0.4	Pass

TR3 Road	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.34	1.5	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.32	1.5	Pass
Lane2 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TR3 Left Wall	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.22	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR3 Right Wall	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.30	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

TR4 Road	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.33	1.5	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.32	1.5	Pass
Lane2 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TR4 Left Wall	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.26	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR4 Right Wall	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.26	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

Statistics and Compliance

TR5 Road	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.33	1.5	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.32	1.5	Pass
Lane2 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TR5 Left Wall	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.22	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR5 Right Wall	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.30	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

Interior1 Road	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.33	1.5	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.33	1.5	Pass
Lane2 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

Interior1 Left Wall	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.16	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

Interior1 Right Wall	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.35	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

Exit1 Road	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.32	1.5	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.34	1.5	Pass
Lane2 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

Exit1 Left Wall	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.35	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

Exit1 Right Wall	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.16	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

Statistics and Compliance

Exit2 Road	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.32	1.5	Pass
Lane1 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.33	1.5	Pass
Lane2 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

Exit2 Left Wall	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.26	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

Exit2 Right Wall	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.25	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

Exit3 Road	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.24	1.5	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.67	0.6	Pass
Lane2 Av	5.24	1.5	Pass
Lane2 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.67	0.6	Pass

Exit3 Left Wall	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.87	3.1	Pass
Uo	0.58	0.4	Pass

Exit3 Right Wall	Switch level: 1		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.59	3.1	Pass
Uo	0.58	0.4	Pass

TH1 Road	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TH1 Left Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.26	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

TH1 Right Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.24	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

Statistics and Compliance

TH2 Road	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TH2 Left Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.64	3.2	Pass
Uo	0.60	0.4	Pass

TH2 Right Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.88	3.2	Pass
Uo	0.58	0.4	Pass

TR1 Road	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TR1 Left Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.20	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR1 Right Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.48	3.2	Pass
Uo	0.62	0.4	Pass

TR2 Road	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TR2 Left Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.64	3.2	Pass
Uo	0.60	0.4	Pass

TR2 Right Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.64	3.2	Pass
Uo	0.60	0.4	Pass

Statistics and Compliance

TR3 Road	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TR3 Left Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.22	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR3 Right Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.30	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

TR4 Road	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TR4 Left Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.26	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR4 Right Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.26	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

TR5 Road	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TR5 Left Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.22	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR5 Right Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.30	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

Statistics and Compliance

Interior1 Road	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

Interior1 Left Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.16	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

Interior1 Right Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.35	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

Exit1 Road	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

Exit1 Left Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.35	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

Exit1 Right Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.16	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

Exit2 Road	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

Exit2 Left Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.26	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

Exit2 Right Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.25	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

Statistics and Compliance

Exit3 Road	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.2	4	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.67	0.6	Pass
Lane2 Av	5.2	4	Pass
Lane2 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.67	0.6	Pass

Exit3 Left Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.87	3.1	Pass
Uo	0.58	0.4	Pass

Exit3 Right Wall	Switch level: 2		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.59	3.1	Pass
Uo	0.58	0.4	Pass

TH1 Road	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	38	10	Pass
Lane1 Uo	0.95	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.95	0.6	Pass
Lane2 Av	38	10	Pass
Lane2 Uo	0.94	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.96	0.6	Pass

TH1 Left Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	55.6	23	Pass
Uo	0.70	0.4	Pass

TH1 Right Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	56.2	23	Pass
Uo	0.70	0.4	Pass

TH2 Road	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	29	10	Pass
Lane1 Uo	0.75	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.73	0.6	Pass
Lane2 Av	29	10	Pass
Lane2 Uo	0.75	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.66	0.6	Pass

TH2 Left Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	43.5	17	Pass
Uo	0.61	0.4	Pass

TH2 Right Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	42.8	17	Pass
Uo	0.57	0.4	Pass

Statistics and Compliance

TR1 Road	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	19.2	4	Pass
Lane1 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.62	0.6	Pass
Lane2 Av	19.2	4	Pass
Lane2 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.73	0.6	Pass

TR1 Left Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	29.7	12	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR1 Right Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	28.4	12	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR2 Road	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	13.2	4	Pass
Lane1 Uo	0.85	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.82	0.6	Pass
Lane2 Av	13.2	4	Pass
Lane2 Uo	0.84	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.71	0.6	Pass

TR2 Left Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	19.4	8	Pass
Uo	0.58	0.4	Pass

TR2 Right Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	20.0	8	Pass
Uo	0.59	0.4	Pass

TR3 Road	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TR3 Left Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.23	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR3 Right Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.33	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

Statistics and Compliance

TR4 Road	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TR4 Left Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.26	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR4 Right Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.26	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

TR5 Road	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TR5 Left Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.22	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR5 Right Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.30	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

Interior1 Road	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

Interior1 Left Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.16	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

Interior1 Right Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.35	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

Statistics and Compliance

Exit1 Road	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	12.2	4	Pass
Lane1 Uo	0.83	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.89	0.6	Pass
Lane2 Av	12.2	4	Pass
Lane2 Uo	0.84	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.82	0.6	Pass

Exit1 Left Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	17.2	7	Pass
Uo	0.59	0.4	Pass

Exit1 Right Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	17.7	7	Pass
Uo	0.66	0.4	Pass

Exit2 Road	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	15.4	4	Pass
Lane1 Uo	0.75	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	15.4	4	Pass
Lane2 Uo	0.77	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.65	0.6	Pass

Exit2 Left Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	21.4	9	Pass
Uo	0.58	0.4	Pass

Exit2 Right Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	22.0	9	Pass
Uo	0.57	0.4	Pass

Exit3 Road	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	20.8	4	Pass
Lane1 Uo	0.90	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.85	0.6	Pass
Lane2 Av	20.7	4	Pass
Lane2 Uo	0.90	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.82	0.6	Pass

Exit3 Left Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	30.4	12	Pass
Uo	0.66	0.4	Pass

Exit3 Right Wall	Switch level: 3		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	29.8	12	Pass
Uo	0.66	0.4	Pass

Statistics and Compliance

TH1 Road	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	38.4	23	Pass
Lane1 Uo	0.95	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.95	0.6	Pass
Lane2 Av	38.4	23	Pass
Lane2 Uo	0.94	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.96	0.6	Pass

TH1 Left Wall	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	55.6	23	Pass
Uo	0.70	0.4	Pass

TH1 Right Wall	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	56.2	23	Pass
Uo	0.70	0.4	Pass

TH2 Road	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	28.7	16	Pass
Lane1 Uo	0.75	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.73	0.6	Pass
Lane2 Av	28.7	16	Pass
Lane2 Uo	0.75	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.66	0.6	Pass

TH2 Left Wall	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	43.5	17	Pass
Uo	0.61	0.4	Pass

TH2 Right Wall	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	42.8	17	Pass
Uo	0.57	0.4	Pass

TR1 Road	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	19.22	9.9	Pass
Lane1 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.62	0.6	Pass
Lane2 Av	19.17	9.9	Pass
Lane2 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.73	0.6	Pass

TR1 Left Wall	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	29.7	12	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR1 Right Wall	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	28.4	12	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

Statistics and Compliance

TR2 Road	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	13.18	5.8	Pass
Lane1 Uo	0.85	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.82	0.6	Pass
Lane2 Av	13.21	5.8	Pass
Lane2 Uo	0.84	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.71	0.6	Pass

TR2 Left Wall	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	19.4	8	Pass
Uo	0.58	0.4	Pass

TR2 Right Wall	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	20.0	8	Pass
Uo	0.59	0.4	Pass

TR3 Road	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TR3 Left Wall	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.23	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR3 Right Wall	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.33	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

TR4 Road	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TR4 Left Wall	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.26	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR4 Right Wall	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.26	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

Statistics and Compliance

TR5 Road		Switch level: 4		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
Lane1	Av	5.3	4	Pass
Lane1	Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1	Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2	Av	5.3	4	Pass
Lane2	Uo	0.69	0.4	Pass
Lane2	Ul	0.68	0.6	Pass

TR5 Left Wall		Switch level: 4		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
	Av	8.22	3.2	Pass
	Uo	0.56	0.4	Pass

TR5 Right Wall		Switch level: 4		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
	Av	7.30	3.2	Pass
	Uo	0.63	0.4	Pass

Interior1 Road		Switch level: 4		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
Lane1	Av	5.3	4	Pass
Lane1	Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1	Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2	Av	5.3	4	Pass
Lane2	Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2	Ul	0.68	0.6	Pass

Interior1 Left Wall		Switch level: 4		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
	Av	8.16	3.2	Pass
	Uo	0.56	0.4	Pass

Interior1 Right Wall		Switch level: 4		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
	Av	7.35	3.2	Pass
	Uo	0.63	0.4	Pass

Exit1 Road		Switch level: 4		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
Lane1	Av	12.2	9	Pass
Lane1	Uo	0.83	0.4	Pass
Lane1	Ul	0.89	0.6	Pass
Lane2	Av	12.2	9	Pass
Lane2	Uo	0.84	0.4	Pass
Lane2	Ul	0.82	0.6	Pass

Exit1 Left Wall		Switch level: 4		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
	Av	17.2	7	Pass
	Uo	0.59	0.4	Pass

Exit1 Right Wall		Switch level: 4		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
	Av	17.7	7	Pass
	Uo	0.66	0.4	Pass

Statistics and Compliance

Exit2 Road	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	15.4	15	Pass
Lane1 Uo	0.75	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	15.4	15	Pass
Lane2 Uo	0.77	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.65	0.6	Pass

Exit2 Left Wall	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	21.4	9	Pass
Uo	0.58	0.4	Pass

Exit2 Right Wall	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	22.0	9	Pass
Uo	0.57	0.4	Pass

Exit3 Road	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	21	20	Pass
Lane1 Uo	0.90	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.85	0.6	Pass
Lane2 Av	21	20	Pass
Lane2 Uo	0.90	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.82	0.6	Pass

Exit3 Left Wall	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	30.4	12	Pass
Uo	0.66	0.4	Pass

Exit3 Right Wall	Switch level: 4		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	29.8	12	Pass
Uo	0.66	0.4	Pass

TH1 Road	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	71.5	58	Pass
Lane1 Uo	0.96	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.98	0.6	Pass
Lane2 Av	71.5	58	Pass
Lane2 Uo	0.96	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.98	0.6	Pass

TH1 Left Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	104.1	43	Pass
Uo	0.71	0.4	Pass

TH1 Right Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	104.3	43	Pass
Uo	0.70	0.4	Pass

Statistics and Compliance

TH2 Road	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	52.0	41	Pass
Lane1 Uo	0.75	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.71	0.6	Pass
Lane2 Av	52.0	41	Pass
Lane2 Uo	0.75	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.66	0.6	Pass

TH2 Left Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	78.9	31	Pass
Uo	0.58	0.4	Pass

TH2 Right Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	77.4	31	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR1 Road	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	33.1	25	Pass
Lane1 Uo	0.72	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.62	0.6	Pass
Lane2 Av	33.0	25	Pass
Lane2 Uo	0.72	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TR1 Left Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	51	20	Pass
Uo	0.59	0.4	Pass

TR1 Right Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	50	20	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR2 Road	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	21.1	14	Pass
Lane1 Uo	0.84	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.74	0.6	Pass
Lane2 Av	21.1	14	Pass
Lane2 Uo	0.84	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.69	0.6	Pass

TR2 Left Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	32.2	13	Pass
Uo	0.58	0.4	Pass

TR2 Right Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	31.1	13	Pass
Uo	0.61	0.4	Pass

Statistics and Compliance

TR3 Road	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	13.61	9.9	Pass
Lane1 Uo	0.87	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.80	0.6	Pass
Lane2 Av	13.60	9.9	Pass
Lane2 Uo	0.88	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.88	0.6	Pass

TR3 Left Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	20.1	8	Pass
Uo	0.61	0.4	Pass

TR3 Right Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	20.2	8	Pass
Uo	0.64	0.4	Pass

TR4 Road	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TR4 Left Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.32	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR4 Right Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.28	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

TR5 Road	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.69	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

TR5 Left Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.22	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR5 Right Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.30	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

Statistics and Compliance

Interior1 Road	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	5.3	4	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	5.3	4	Pass
Lane2 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.68	0.6	Pass

Interior1 Left Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	8.16	3.2	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

Interior1 Right Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	7.35	3.2	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

Exit1 Road	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	12.2	9	Pass
Lane1 Uo	0.83	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.89	0.6	Pass
Lane2 Av	12.2	9	Pass
Lane2 Uo	0.84	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.82	0.6	Pass

Exit1 Left Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	17.2	7	Pass
Uo	0.59	0.4	Pass

Exit1 Right Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	17.7	7	Pass
Uo	0.66	0.4	Pass

Exit2 Road	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	15.4	15	Pass
Lane1 Uo	0.75	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	15.4	15	Pass
Lane2 Uo	0.77	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.65	0.6	Pass

Exit2 Left Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	21.4	9	Pass
Uo	0.58	0.4	Pass

Exit2 Right Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	22.0	9	Pass
Uo	0.57	0.4	Pass

Statistics and Compliance

Exit3 Road		Switch level: 5		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
Lane1	Av	21	20	Pass
Lane1	Uo	0.90	0.4	Pass
Lane1	Ul	0.85	0.6	Pass
Lane2	Av	21	20	Pass
Lane2	Uo	0.90	0.4	Pass
Lane2	Ul	0.82	0.6	Pass

Exit3 Left Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	30.4	12	Pass
Uo	0.66	0.4	Pass

Exit3 Right Wall	Switch level: 5		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	29.8	12	Pass
Uo	0.66	0.4	Pass

TH1 Road		Switch level: 6		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
Lane1	Av	137.7	135	Pass
Lane1	Uo	0.96	0.4	Pass
Lane1	Ul	0.98	0.6	Pass
Lane2	Av	137.7	135	Pass
Lane2	Uo	0.96	0.4	Pass
Lane2	Ul	0.99	0.6	Pass

TH1 Left Wall	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	200.8	83	Pass
Uo	0.71	0.4	Pass

TH1 Right Wall	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	200.4	83	Pass
Uo	0.71	0.4	Pass

TH2 Road		Switch level: 6		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
Lane1	Av	98.8	97	Pass
Lane1	Uo	0.75	0.4	Pass
Lane1	Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2	Av	98.7	97	Pass
Lane2	Uo	0.75	0.4	Pass
Lane2	Ul	0.66	0.6	Pass

TH2 Left Wall	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	150.5	59	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TH2 Right Wall	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	147.0	59	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

Statistics and Compliance

TR1 Road	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	61.1	58	Pass
Lane1 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.60	0.6	Pass
Lane2 Av	60.9	58	Pass
Lane2 Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.66	0.6	Pass

TR1 Left Wall	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	94.3	37	Pass
Uo	0.56	0.4	Pass

TR1 Right Wall	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	91.8	37	Pass
Uo	0.55	0.4	Pass

TR2 Road	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	37.1	34	Pass
Lane1 Uo	0.85	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.74	0.6	Pass
Lane2 Av	37.1	34	Pass
Lane2 Uo	0.86	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.65	0.6	Pass

TR2 Left Wall	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	56.8	22	Pass
Uo	0.60	0.4	Pass

TR2 Right Wall	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	55.1	22	Pass
Uo	0.63	0.4	Pass

TR3 Road	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	25.0	23	Pass
Lane1 Uo	0.83	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.78	0.6	Pass
Lane2 Av	25.0	23	Pass
Lane2 Uo	0.83	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.88	0.6	Pass

TR3 Left Wall	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	37.6	15	Pass
Uo	0.65	0.4	Pass

TR3 Right Wall	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	36.5	15	Pass
Uo	0.65	0.4	Pass

Statistics and Compliance

TR4 Road		Switch level: 6		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
Lane1	Av	11.08	9.9	Pass
Lane1	Uo	0.92	0.4	Pass
Lane1	Ul	0.78	0.6	Pass
Lane2	Av	11.08	9.9	Pass
Lane2	Uo	0.92	0.4	Pass
Lane2	Ul	0.86	0.6	Pass

TR4 Left Wall		Switch level: 6		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
	Av	16.1	7	Pass
	Uo	0.65	0.4	Pass

TR4 Right Wall		Switch level: 6		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
	Av	16.6	7	Pass
	Uo	0.63	0.4	Pass

TR5 Road		Switch level: 6		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
Lane1	Av	10.5	8	Pass
Lane1	Uo	0.95	0.4	Pass
Lane1	Ul	0.97	0.6	Pass
Lane2	Av	10.5	8	Pass
Lane2	Uo	0.95	0.4	Pass
Lane2	Ul	0.96	0.6	Pass

TR5 Left Wall		Switch level: 6		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
	Av	15.5	6	Pass
	Uo	0.67	0.4	Pass

TR5 Right Wall		Switch level: 6		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
	Av	15.4	6	Pass
	Uo	0.68	0.4	Pass

Interior1 Road		Switch level: 6		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
Lane1	Av	5.3	4	Pass
Lane1	Uo	0.68	0.4	Pass
Lane1	Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2	Av	5.3	4	Pass
Lane2	Uo	0.68	0.4	Pass
Lane2	Ul	0.68	0.6	Pass

Interior1 Left Wall		Switch level: 6		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
	Av	8.16	3.2	Pass
	Uo	0.56	0.4	Pass

Interior1 Right Wall		Switch level: 6		Luminance
Statistic		Result	Limit	Compliance
	Av	7.35	3.2	Pass
	Uo	0.63	0.4	Pass

Statistics and Compliance

Exit1 Road	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	12.2	9	Pass
Lane1 Uo	0.83	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.89	0.6	Pass
Lane2 Av	12.2	9	Pass
Lane2 Uo	0.84	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.82	0.6	Pass

Exit1 Left Wall	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	17.2	7	Pass
Uo	0.59	0.4	Pass

Exit1 Right Wall	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	17.7	7	Pass
Uo	0.66	0.4	Pass

Exit2 Road	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	15.4	15	Pass
Lane1 Uo	0.75	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.68	0.6	Pass
Lane2 Av	15.4	15	Pass
Lane2 Uo	0.77	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.65	0.6	Pass

Exit2 Left Wall	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	21.4	9	Pass
Uo	0.58	0.4	Pass

Exit2 Right Wall	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	22.0	9	Pass
Uo	0.57	0.4	Pass

Exit3 Road	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane1 Av	21	20	Pass
Lane1 Uo	0.90	0.4	Pass
Lane1 Ul	0.85	0.6	Pass
Lane2 Av	21	20	Pass
Lane2 Uo	0.90	0.4	Pass
Lane2 Ul	0.82	0.6	Pass

Exit3 Left Wall	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	30.4	12	Pass
Uo	0.66	0.4	Pass

Exit3 Right Wall	Switch level: 6		Luminance
Statistic	Result	Limit	Compliance
Av	29.8	12	Pass
Uo	0.66	0.4	Pass

TH1 Road	Switch level: 1		Threshold Increment
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane 1 T.I.	0.6	0.6	Pass
Lane 2 T.I.	0.6	0.6	Pass

Statistics and Compliance

TH1 Road	Switch level: 2		Threshold Increment
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane 1 T.I.	0.6	0.6	Pass
Lane 2 T.I.	0.6	0.6	Pass

TH1 Road	Switch level: 3		Threshold Increment
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane 1 T.I.	0.8	0.8	Pass
Lane 2 T.I.	0.8	0.8	Pass

TH1 Road	Switch level: 4		Threshold Increment
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane 1 T.I.	0.8	0.8	Pass
Lane 2 T.I.	0.8	0.8	Pass

TH1 Road	Switch level: 5		Threshold Increment
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane 1 T.I.	0.9	0.9	Pass
Lane 2 T.I.	0.9	0.9	Pass

TH1 Road	Switch level: 6		Threshold Increment
Statistic	Result	Limit	Compliance
Lane 1 T.I.	1.0	1	Pass
Lane 2 T.I.	1.0	1	Pass

Luminaire Quantities

Type:A Qty: 285
Type:B Qty: 155

Luminaire List and Lamp Switching

A Luminaire Depreciation Factor of: 0.80
is applied to all luminaires.

Luminaire Type: A
File Name: 21000 LM 150W LED AREA LIGHTING LUMINAIRE ,CLEAR TEMPERAD GLASS , GRAY BODY , 4000K_
Depreciation factor: 1.00

Description from photometric file:
ï»¿IESNA:LM-63-2002
[OTHER] This file has been modified by DIAL (www.dial.de) photometry export module
version 1.6.0.0 on
[TEST]
[TESTLAB]
[TESTDATE]
[ISSUEDATE]
[MANUFAC]
[LUMCAT] M311WLED7740-S
[LUMINAIRE] 21000 Lm 150W LED Area lighting Luminaire ,Clear Temperad Glass , Gray
Body , 4000K
[LAMP] LED 150W 21000lm

Luminaire Type: B
File Name: 16000 LM 130W LED AREA LIGHTING LUMINAIRE ,CLEAR TEMPERAD GLASS , GRAY BODY ,4000K
Lamp1 Flux Depreciation factor: 1.00

Description from photometric file:
ï»¿IESNA:LM-63-2002
[OTHER] This file has been modified by DIAL (www.dial.de) photometry export module
version 1.6.0.0 on 08/15/2022
[TEST]
[TESTLAB]
[ISSUEDATE] 15/08/2022
[MANUFAC]
[LUMCAT] M311WLED6740-S-(CN3521)
[LUMINAIRE] 16000 Lm 130W LED Area lighting Luminaire ,Clear Temperad Glass , Gray
Body ,4000K
[LAMP] LED 130W 16000lm

Luminaire List and Lamp Switching

Switched lamps are shown as either ON or OFF.
Dimmed lamps show a value between 0 and 100 to indicate percentage light output
'Seq' (Sequence)indicates to which luminaires the lamp switching/dimming applies.
The first number indicates the first energised luminaire in the row.
The second number the step to subsequent energised luminaires.
E.g. 2/5 means the second luminaire in the row is the first energised.
then every fifth luminaire is energised. All other luminaires are OFF.

Switch Level 1

Nr	Type	Ypos	ZPos	XStart	Xend	Xinc	Qty	Rot	Tilt	Spin	Lamp1	Lamp2	Lamp3	Seq
1	B	2.0	5.8	12.0	964.0	14.0	69	0	23	0	ON	N/A	N/A	1/1
2	A	2.0	5.8	5.0	11.3	0.7	10	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
19	A	2.0	5.8	12.6	25.2	0.7	19	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
20	A	2.0	5.8	26.6	39.2	0.7	19	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
21	A	2.0	5.8	40.6	53.2	0.7	19	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
22	A	2.0	5.8	54.6	67.3	0.8	18	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
23	A	2.0	5.8	68.7	81.4	0.9	16	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
3	A	2.0	5.8	83.0	94.7	1.3	10	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
24	A	2.0	5.8	97.0	108.2	1.6	8	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
4	A	2.0	5.8	112.5	121.5	3.0	4	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
5	A	2.0	5.8	127.0	136.0	3.0	4	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
6	A	2.0	5.8	141.0	149.0	4.0	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
7	A	2.0	5.8	155.0	163.0	4.0	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
36	A	2.0	5.8	169.5	174.5	5.0	2	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
62	B	2.0	5.8	187.0	187.0	----	1	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
8	B	2.0	5.8	201.0	201.0	----	1	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
59	B	2.0	5.8	215.0	215.0	----	1	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
30	B	2.0	5.8	229.0	257.0	14.0	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
63	A	2.0	5.8	887.0	915.0	14.0	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
65	A	2.0	5.8	926.5	931.5	5.0	2	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
66	A	2.0	5.8	940.5	945.5	5.0	2	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
32	A	2.0	5.8	953.5	960.5	3.5	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
34	B	2.0	5.8	1625.5	1632.5	3.5	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
48	B	2.0	5.8	1639.5	1643.0	3.5	2	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
10	B	9.4	5.8	5.0	957.0	14.0	69	180	23	0	ON	N/A	N/A	1/1
11	A	9.4	5.8	5.6	18.2	0.7	19	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
25	A	9.4	5.8	19.6	32.2	0.7	19	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
26	A	9.4	5.8	33.6	46.2	0.7	19	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
27	A	9.4	5.8	47.6	60.3	0.8	18	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
28	A	9.4	5.8	61.7	74.3	0.9	15	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
29	A	9.4	5.8	76.0	88.0	1.0	13	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
12	A	9.4	5.8	90.5	101.7	1.6	8	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
13	A	9.4	5.8	105.5	114.5	3.0	4	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
14	A	9.4	5.8	119.0	128.0	3.0	4	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
15	A	9.4	5.8	134.0	142.0	4.0	3	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
16	A	9.4	5.8	147.8	155.8	4.0	3	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
17	A	9.4	5.8	163.5	168.5	5.0	2	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
52	A	9.4	5.8	176.5	181.5	5.0	2	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
64	B	9.4	5.8	194.0	194.0	----	1	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
61	B	9.4	5.8	208.0	208.0	----	1	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
31	B	9.4	5.8	222.0	222.0	----	1	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
33	B	9.4	5.8	236.0	264.0	14.0	3	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
35	A	9.4	5.8	880.0	908.0	14.0	3	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
67	A	9.4	5.8	919.5	924.5	5.0	2	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
68	A	9.4	5.8	933.5	938.5	5.0	2	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
39	A	9.4	5.8	947.5	952.5	5.0	2	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
42	A	9.4	5.8	960.5	964.0	3.5	2	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1

Switch Level 2

Nr	Type	Ypos	ZPos	XStart	Xend	Xinc	Qty	Rot	Tilt	Spin	Lamp1	Lamp2	Lamp3	Seq
1	B	2.0	5.8	12.0	964.0	14.0	69	0	23	0	ON	N/A	N/A	1/1

Luminaire List and Lamp Switching

Switch Level 2

Nr	Type	Ypos	ZPos	XStart	Xend	Xinc	Qty	Rot	Tilt	Spin	Lamp1	Lamp2	Lamp3	Seq
2	A	2.0	5.8	5.0	11.3	0.7	10	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
19	A	2.0	5.8	12.6	25.2	0.7	19	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
20	A	2.0	5.8	26.6	39.2	0.7	19	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
21	A	2.0	5.8	40.6	53.2	0.7	19	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
22	A	2.0	5.8	54.6	67.3	0.8	18	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
23	A	2.0	5.8	68.7	81.4	0.9	16	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
3	A	2.0	5.8	83.0	94.7	1.3	10	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
24	A	2.0	5.8	97.0	108.2	1.6	8	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
4	A	2.0	5.8	112.5	121.5	3.0	4	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
5	A	2.0	5.8	127.0	136.0	3.0	4	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
6	A	2.0	5.8	141.0	149.0	4.0	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
7	A	2.0	5.8	155.0	163.0	4.0	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
36	A	2.0	5.8	169.5	174.5	5.0	2	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
62	B	2.0	5.8	187.0	187.0	----	1	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
8	B	2.0	5.8	201.0	201.0	----	1	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
59	B	2.0	5.8	215.0	215.0	----	1	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
30	B	2.0	5.8	229.0	257.0	14.0	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
63	A	2.0	5.8	887.0	915.0	14.0	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
65	A	2.0	5.8	926.5	931.5	5.0	2	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
66	A	2.0	5.8	940.5	945.5	5.0	2	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
32	A	2.0	5.8	953.5	960.5	3.5	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
34	B	2.0	5.8	1625.5	1632.5	3.5	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
48	B	2.0	5.8	1639.5	1643.0	3.5	2	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
10	B	9.4	5.8	5.0	957.0	14.0	69	180	23	0	ON	N/A	N/A	1/1
11	A	9.4	5.8	5.6	18.2	0.7	19	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
25	A	9.4	5.8	19.6	32.2	0.7	19	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
26	A	9.4	5.8	33.6	46.2	0.7	19	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
27	A	9.4	5.8	47.6	60.3	0.8	18	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
28	A	9.4	5.8	61.7	74.3	0.9	15	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
29	A	9.4	5.8	76.0	88.0	1.0	13	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
12	A	9.4	5.8	90.5	101.7	1.6	8	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
13	A	9.4	5.8	105.5	114.5	3.0	4	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
14	A	9.4	5.8	119.0	128.0	3.0	4	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
15	A	9.4	5.8	134.0	142.0	4.0	3	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
16	A	9.4	5.8	147.8	155.8	4.0	3	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
17	A	9.4	5.8	163.5	168.5	5.0	2	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
52	A	9.4	5.8	176.5	181.5	5.0	2	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
64	B	9.4	5.8	194.0	194.0	----	1	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
61	B	9.4	5.8	208.0	208.0	----	1	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
31	B	9.4	5.8	222.0	222.0	----	1	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
33	B	9.4	5.8	236.0	264.0	14.0	3	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
35	A	9.4	5.8	880.0	908.0	14.0	3	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
67	A	9.4	5.8	919.5	924.5	5.0	2	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
68	A	9.4	5.8	933.5	938.5	5.0	2	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
39	A	9.4	5.8	947.5	952.5	5.0	2	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
42	A	9.4	5.8	960.5	964.0	3.5	2	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1

Switch Level 3

Nr	Type	Ypos	ZPos	XStart	Xend	Xinc	Qty	Rot	Tilt	Spin	Lamp1	Lamp2	Lamp3	Seq
1	B	2.0	5.8	12.0	964.0	14.0	69	0	23	0	ON	N/A	N/A	1/1
2	A	2.0	5.8	5.0	11.3	0.7	10	0	25	0	ON	N/A	N/A	2/4
19	A	2.0	5.8	12.6	25.2	0.7	19	0	25	0	ON	N/A	N/A	4/4
20	A	2.0	5.8	26.6	39.2	0.7	19	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/4
21	A	2.0	5.8	40.6	53.2	0.7	19	0	25	0	ON	N/A	N/A	2/4
22	A	2.0	5.8	54.6	67.3	0.8	18	0	25	0	ON	N/A	N/A	3/4
23	A	2.0	5.8	68.7	81.4	0.9	16	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/4
3	A	2.0	5.8	83.0	94.7	1.3	10	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/4
24	A	2.0	5.8	97.0	108.2	1.6	8	0	25	0	ON	N/A	N/A	3/4
4	A	2.0	5.8	112.5	121.5	3.0	4	0	25	0	ON	N/A	N/A	3/4
5	A	2.0	5.8	127.0	136.0	3.0	4	0	25	0	OFF	N/A	N/A	3/4

Luminaire List and Lamp Switching

Switch Level 3

Nr	Type	Ypos	ZPos	XStart	Xend	Xinc	Qty	Rot	Tilt	Spin	Lamp1	Lamp2	Lamp3	Seq
6	A	2.0	5.8	141.0	149.0	4.0	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	2/4
7	A	2.0	5.8	155.0	163.0	4.0	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	2/2
36	A	2.0	5.8	169.5	174.5	5.0	2	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/2
62	B	2.0	5.8	187.0	187.0	----	1	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
8	B	2.0	5.8	201.0	201.0	----	1	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
59	B	2.0	5.8	215.0	215.0	----	1	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
30	B	2.0	5.8	229.0	257.0	14.0	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
63	A	2.0	5.8	887.0	915.0	14.0	3	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
65	A	2.0	5.8	926.5	931.5	5.0	2	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
66	A	2.0	5.8	940.5	945.5	5.0	2	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
32	A	2.0	5.8	953.5	960.5	3.5	3	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
34	B	2.0	5.8	1625.5	1632.5	3.5	3	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
48	B	2.0	5.8	1639.5	1643.0	3.5	2	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
10	B	9.4	5.8	5.0	957.0	14.0	69	180	23	0	ON	N/A	N/A	1/1
11	A	9.4	5.8	5.6	18.2	0.7	19	180	25	0	ON	N/A	N/A	2/4
25	A	9.4	5.8	19.6	32.2	0.7	19	180	25	0	ON	N/A	N/A	3/4
26	A	9.4	5.8	33.6	46.2	0.7	19	180	25	0	ON	N/A	N/A	4/4
27	A	9.4	5.8	47.6	60.3	0.8	18	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/4
28	A	9.4	5.8	61.7	74.3	0.9	15	180	25	0	ON	N/A	N/A	3/4
29	A	9.4	5.8	76.0	88.0	1.0	13	180	25	0	ON	N/A	N/A	4/4
12	A	9.4	5.8	90.5	101.7	1.6	8	180	25	0	ON	N/A	N/A	3/4
13	A	9.4	5.8	105.5	114.5	3.0	4	180	25	0	ON	N/A	N/A	3/4
14	A	9.4	5.8	119.0	128.0	3.0	4	180	25	0	ON	N/A	N/A	3/4
15	A	9.4	5.8	134.0	142.0	4.0	3	180	25	0	OFF	N/A	N/A	3/4
16	A	9.4	5.8	147.8	155.8	4.0	3	180	25	0	OFF	N/A	N/A	2/2
17	A	9.4	5.8	163.5	168.5	5.0	2	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/2
52	A	9.4	5.8	176.5	181.5	5.0	2	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
64	B	9.4	5.8	194.0	194.0	----	1	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
61	B	9.4	5.8	208.0	208.0	----	1	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/2
31	B	9.4	5.8	222.0	222.0	----	1	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
33	B	9.4	5.8	236.0	264.0	14.0	3	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
35	A	9.4	5.8	880.0	908.0	14.0	3	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
67	A	9.4	5.8	919.5	924.5	5.0	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
68	A	9.4	5.8	933.5	938.5	5.0	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
39	A	9.4	5.8	947.5	952.5	5.0	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
42	A	9.4	5.8	960.5	964.0	3.5	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1

Switch Level 4

Nr	Type	Ypos	ZPos	XStart	Xend	Xinc	Qty	Rot	Tilt	Spin	Lamp1	Lamp2	Lamp3	Seq
1	B	2.0	5.8	12.0	964.0	14.0	69	0	23	0	ON	N/A	N/A	1/1
2	A	2.0	5.8	5.0	11.3	0.7	10	0	25	0	ON	N/A	N/A	2/4
19	A	2.0	5.8	12.6	25.2	0.7	19	0	25	0	ON	N/A	N/A	4/4
20	A	2.0	5.8	26.6	39.2	0.7	19	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/4
21	A	2.0	5.8	40.6	53.2	0.7	19	0	25	0	ON	N/A	N/A	2/4
22	A	2.0	5.8	54.6	67.3	0.8	18	0	25	0	ON	N/A	N/A	3/4
23	A	2.0	5.8	68.7	81.4	0.9	16	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/4
3	A	2.0	5.8	83.0	94.7	1.3	10	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/4
24	A	2.0	5.8	97.0	108.2	1.6	8	0	25	0	ON	N/A	N/A	3/4
4	A	2.0	5.8	112.5	121.5	3.0	4	0	25	0	ON	N/A	N/A	3/4
5	A	2.0	5.8	127.0	136.0	3.0	4	0	25	0	OFF	N/A	N/A	3/4
6	A	2.0	5.8	141.0	149.0	4.0	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	2/4
7	A	2.0	5.8	155.0	163.0	4.0	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	2/2
36	A	2.0	5.8	169.5	174.5	5.0	2	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/2
62	B	2.0	5.8	187.0	187.0	----	1	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
8	B	2.0	5.8	201.0	201.0	----	1	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
59	B	2.0	5.8	215.0	215.0	----	1	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
30	B	2.0	5.8	229.0	257.0	14.0	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
63	A	2.0	5.8	887.0	915.0	14.0	3	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
65	A	2.0	5.8	926.5	931.5	5.0	2	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
66	A	2.0	5.8	940.5	945.5	5.0	2	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1

Luminaire List and Lamp Switching

Switch Level 4

Nr	Type	Ypos	ZPos	XStart	Xend	Xinc	Qty	Rot	Tilt	Spin	Lamp1	Lamp2	Lamp3	Seq
32	A	2.0	5.8	953.5	960.5	3.5	3	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
34	B	2.0	5.8	1625.5	1632.5	3.5	3	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
48	B	2.0	5.8	1639.5	1643.0	3.5	2	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
10	B	9.4	5.8	5.0	957.0	14.0	69	180	23	0	ON	N/A	N/A	1/1
11	A	9.4	5.8	5.6	18.2	0.7	19	180	25	0	ON	N/A	N/A	2/4
25	A	9.4	5.8	19.6	32.2	0.7	19	180	25	0	ON	N/A	N/A	3/4
26	A	9.4	5.8	33.6	46.2	0.7	19	180	25	0	ON	N/A	N/A	4/4
27	A	9.4	5.8	47.6	60.3	0.8	18	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/4
28	A	9.4	5.8	61.7	74.3	0.9	15	180	25	0	ON	N/A	N/A	3/4
29	A	9.4	5.8	76.0	88.0	1.0	13	180	25	0	ON	N/A	N/A	4/4
12	A	9.4	5.8	90.5	101.7	1.6	8	180	25	0	ON	N/A	N/A	3/4
13	A	9.4	5.8	105.5	114.5	3.0	4	180	25	0	ON	N/A	N/A	3/4
14	A	9.4	5.8	119.0	128.0	3.0	4	180	25	0	ON	N/A	N/A	3/4
15	A	9.4	5.8	134.0	142.0	4.0	3	180	25	0	OFF	N/A	N/A	3/4
16	A	9.4	5.8	147.8	155.8	4.0	3	180	25	0	OFF	N/A	N/A	2/2
17	A	9.4	5.8	163.5	168.5	5.0	2	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/2
52	A	9.4	5.8	176.5	181.5	5.0	2	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
64	B	9.4	5.8	194.0	194.0	----	1	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
61	B	9.4	5.8	208.0	208.0	----	1	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/2
31	B	9.4	5.8	222.0	222.0	----	1	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
33	B	9.4	5.8	236.0	264.0	14.0	3	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
35	A	9.4	5.8	880.0	908.0	14.0	3	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
67	A	9.4	5.8	919.5	924.5	5.0	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
68	A	9.4	5.8	933.5	938.5	5.0	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
39	A	9.4	5.8	947.5	952.5	5.0	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
42	A	9.4	5.8	960.5	964.0	3.5	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1

Switch Level 5

Nr	Type	Ypos	ZPos	XStart	Xend	Xinc	Qty	Rot	Tilt	Spin	Lamp1	Lamp2	Lamp3	Seq
1	B	2.0	5.8	12.0	964.0	14.0	69	0	23	0	ON	N/A	N/A	1/1
2	A	2.0	5.8	5.0	11.3	0.7	10	0	25	0	ON	N/A	N/A	2/2
19	A	2.0	5.8	12.6	25.2	0.7	19	0	25	0	ON	N/A	N/A	2/2
20	A	2.0	5.8	26.6	39.2	0.7	19	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/2
21	A	2.0	5.8	40.6	53.2	0.7	19	0	25	0	ON	N/A	N/A	2/2
22	A	2.0	5.8	54.6	67.3	0.8	18	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/2
23	A	2.0	5.8	68.7	81.4	0.9	16	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/2
3	A	2.0	5.8	83.0	94.7	1.3	10	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/2
24	A	2.0	5.8	97.0	108.2	1.6	8	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/2
4	A	2.0	5.8	112.5	121.5	3.0	4	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/2
5	A	2.0	5.8	127.0	136.0	3.0	4	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/2
6	A	2.0	5.8	141.0	149.0	4.0	3	0	25	0	ON	N/A	N/A	2/2
7	A	2.0	5.8	155.0	163.0	4.0	3	0	25	0	ON	N/A	N/A	2/2
36	A	2.0	5.8	169.5	174.5	5.0	2	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/2
62	B	2.0	5.8	187.0	187.0	----	1	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/2
8	B	2.0	5.8	201.0	201.0	----	1	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
59	B	2.0	5.8	215.0	215.0	----	1	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
30	B	2.0	5.8	229.0	257.0	14.0	3	0	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
63	A	2.0	5.8	887.0	915.0	14.0	3	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
65	A	2.0	5.8	926.5	931.5	5.0	2	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
66	A	2.0	5.8	940.5	945.5	5.0	2	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
32	A	2.0	5.8	953.5	960.5	3.5	3	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
34	B	2.0	5.8	1625.5	1632.5	3.5	3	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
48	B	2.0	5.8	1639.5	1643.0	3.5	2	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
10	B	9.4	5.8	5.0	957.0	14.0	69	180	23	0	ON	N/A	N/A	1/1
11	A	9.4	5.8	5.6	18.2	0.7	19	180	25	0	ON	N/A	N/A	2/2
25	A	9.4	5.8	19.6	32.2	0.7	19	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/2
26	A	9.4	5.8	33.6	46.2	0.7	19	180	25	0	ON	N/A	N/A	2/2
27	A	9.4	5.8	47.6	60.3	0.8	18	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/2
28	A	9.4	5.8	61.7	74.3	0.9	15	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/2
29	A	9.4	5.8	76.0	88.0	1.0	13	180	25	0	ON	N/A	N/A	2/2

Luminaire List and Lamp Switching

Switch Level 5

Nr	Type	Ypos	ZPos	XStart	Xend	Xinc	Qty	Rot	Tilt	Spin	Lamp1	Lamp2	Lamp3	Seq
12	A	9.4	5.8	90.5	101.7	1.6	8	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/2
13	A	9.4	5.8	105.5	114.5	3.0	4	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/2
14	A	9.4	5.8	119.0	128.0	3.0	4	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/2
15	A	9.4	5.8	134.0	142.0	4.0	3	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/2
16	A	9.4	5.8	147.8	155.8	4.0	3	180	25	0	ON	N/A	N/A	2/2
17	A	9.4	5.8	163.5	168.5	5.0	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/2
52	A	9.4	5.8	176.5	181.5	5.0	2	180	25	0	OFF	N/A	N/A	2/2
64	B	9.4	5.8	194.0	194.0	----	1	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/2
61	B	9.4	5.8	208.0	208.0	----	1	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/2
31	B	9.4	5.8	222.0	222.0	----	1	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
33	B	9.4	5.8	236.0	264.0	14.0	3	180	25	0	OFF	N/A	N/A	1/1
35	A	9.4	5.8	880.0	908.0	14.0	3	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
67	A	9.4	5.8	919.5	924.5	5.0	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
68	A	9.4	5.8	933.5	938.5	5.0	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
39	A	9.4	5.8	947.5	952.5	5.0	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
42	A	9.4	5.8	960.5	964.0	3.5	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1

Switch Level 6

Nr	Type	Ypos	ZPos	XStart	Xend	Xinc	Qty	Rot	Tilt	Spin	Lamp1	Lamp2	Lamp3	Seq
1	B	2.0	5.8	12.0	964.0	14.0	69	0	23	0	ON	N/A	N/A	1/1
2	A	2.0	5.8	5.0	11.3	0.7	10	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
19	A	2.0	5.8	12.6	25.2	0.7	19	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
20	A	2.0	5.8	26.6	39.2	0.7	19	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
21	A	2.0	5.8	40.6	53.2	0.7	19	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
22	A	2.0	5.8	54.6	67.3	0.8	18	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
23	A	2.0	5.8	68.7	81.4	0.9	16	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
3	A	2.0	5.8	83.0	94.7	1.3	10	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
24	A	2.0	5.8	97.0	108.2	1.6	8	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
4	A	2.0	5.8	112.5	121.5	3.0	4	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
5	A	2.0	5.8	127.0	136.0	3.0	4	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
6	A	2.0	5.8	141.0	149.0	4.0	3	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
7	A	2.0	5.8	155.0	163.0	4.0	3	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
36	A	2.0	5.8	169.5	174.5	5.0	2	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
62	B	2.0	5.8	187.0	187.0	----	1	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
8	B	2.0	5.8	201.0	201.0	----	1	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
59	B	2.0	5.8	215.0	215.0	----	1	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
30	B	2.0	5.8	229.0	257.0	14.0	3	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
63	A	2.0	5.8	887.0	915.0	14.0	3	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
65	A	2.0	5.8	926.5	931.5	5.0	2	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
66	A	2.0	5.8	940.5	945.5	5.0	2	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
32	A	2.0	5.8	953.5	960.5	3.5	3	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
34	B	2.0	5.8	1625.5	1632.5	3.5	3	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
48	B	2.0	5.8	1639.5	1643.0	3.5	2	0	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
10	B	9.4	5.8	5.0	957.0	14.0	69	180	23	0	ON	N/A	N/A	1/1
11	A	9.4	5.8	5.6	18.2	0.7	19	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
25	A	9.4	5.8	19.6	32.2	0.7	19	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
26	A	9.4	5.8	33.6	46.2	0.7	19	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
27	A	9.4	5.8	47.6	60.3	0.8	18	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
28	A	9.4	5.8	61.7	74.3	0.9	15	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
29	A	9.4	5.8	76.0	88.0	1.0	13	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
12	A	9.4	5.8	90.5	101.7	1.6	8	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
13	A	9.4	5.8	105.5	114.5	3.0	4	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
14	A	9.4	5.8	119.0	128.0	3.0	4	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
15	A	9.4	5.8	134.0	142.0	4.0	3	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
16	A	9.4	5.8	147.8	155.8	4.0	3	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
17	A	9.4	5.8	163.5	168.5	5.0	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
52	A	9.4	5.8	176.5	181.5	5.0	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
64	B	9.4	5.8	194.0	194.0	----	1	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
61	B	9.4	5.8	208.0	208.0	----	1	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
31	B	9.4	5.8	222.0	222.0	----	1	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1

Luminaire List and Lamp Switching
Switch Level 6

Nr	Type	Ypos	ZPos	XStart	Xend	Xinc	Qty	Rot	Tilt	Spin	Lamp1	Lamp2	Lamp3	Seq
33	B	9.4	5.8	236.0	264.0	14.0	3	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
35	A	9.4	5.8	880.0	908.0	14.0	3	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
67	A	9.4	5.8	919.5	924.5	5.0	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
68	A	9.4	5.8	933.5	938.5	5.0	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
39	A	9.4	5.8	947.5	952.5	5.0	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1
42	A	9.4	5.8	960.5	964.0	3.5	2	180	25	0	ON	N/A	N/A	1/1

مراجع

[1]BS 5489-1:2020,"Design of Road Lighting-Lighting of Roads and Public Amenity Areas".
[2]C. BRUCE-WHITE and M. SHARDLOW,"A Review of the Impact of Artificial Light on Invertebrates," Peterborough: Buglife – The Invertebrate Conservation Trust, 2011.
[3]THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products. (Ecodesign Directive.) Brussels: European Commission, 2009.
[4]EUROPEAN COMMISSION. *Green public procurement – Street lighting and traffic lights – Technical background report.* Brussels: European Commission, 2011.
[5]American Association of State Highway and Transportation Officials,"Roadway Lighting Design Guide," 2018.
[6]GREAT BRITAIN. Construction (Design and Management) Regulations 2015. London: The Stationery Office.
[7]GREAT BRITAIN. Lifting Operations and Lifting Equipment Regulations 1998. London: The Stationery Office.
[8]GREAT BRITAIN. Provision and Use of Work Equipment Regulations 1992. London: The Stationery Office.
[9]GREAT BRITAIN. Electricity Safety Quality and Continuity Regulations 2002. London: The Stationery Office.
[10]CIE 66: 1984,"Road Surface and Lighting".
[11]CIE 144: 2001,"Road Surface and Road Marking Reflection Characteristics".
[12]CIE 47: 1979,"Road Lighting For Wet Condition".
[13]BS 5489-2: 2016,"Code of Practice for the Design of Road Lighting- Lighting of Tunnels".
[14]CIE 154: 2003,"The Maintenance of Outdoor Lighting System".
[15]CIE 180: 2007,"Road Transport Lighting For Developing Countries".
[16]BS EN 13201-4:2015,"Road Lighting- Methods of Measuring Lighting Performance".
[17]DIN 5032-7,"Photometry: Classification of Illuminance Meters and Luminance Meters".
[18]DIN 5032-8,"Photometry; Data-Sheet for Illuminance-Meters".
[19]CIE 69,"Methods of Characterizing Illuminance Meters and Luminance Meters".
[۲۰]استاندارد ملی ۵۱۹۱،"لامپ‌های بخار سدیم پرفشار".
[21]IEC 60662:2011,"High-pressure Sodium Vapour Lamps".
[۲۲]استاندارد ملی ۱-۸۲۵۳،"کلاهک لامپ‌ها، نگهدارنده‌ها و شاخص‌های کنترل تعویض‌پذیری و ایمنی آنها- قسمت اول: کلاهک لامپ‌ها".
[۲۳]استاندارد ملی ۳۰۸۷،"برگه‌های استاندارد مربوط به سرپیچ‌ها و شاخص‌های کنترل تعویض‌پذیری و ایمنی آنها".
[۲۴]"مشخصات فنی و شرایط ارزیابی چراغ‌های LED خیابانی جهت کار با ولتاژ شبکه"، سازمان بهره‌وری انرژِ ایران (سابا) و مهندسین مشاور روشنایی نورگستر.
[25]IEC 61347-2-13,"Lamp Control Gear-Particular requirements for DC or AC Supplied Electronic Control Gear for LED Modules".
[26]IEC 62384,"DC or AC Supplied Electronic Control Gear for LED Modules-Performanc".

[27]IEC 62560,"Self-Ballasted LED-Lamps for General Lighting Services by Voltages>50V- Safety Specifications".
[28]IEC 62707-1,"LED-Binning-part1: General Requirements and White Grid".
[29]IEC 62612,"Self-Ballasted LED-Lamps for General Lighting Services>50V-Performance Requirements".
[30]IES LM 79," Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products".
[31]IES LM 80,"Measuring Lumen Maintenance of LED Light Source".
[۳۲]استاندارد ملی ۱-۷۶۴۴،" لوازم کنترل لامپ-قسمت اول: مقررات ایمنی عمومی".
[33]IEC 61374-1:2015, "Lamp Control Gear-Part 1: General and Safety Requirements".
[۳۴]استاندارد ملی ۹-۲-۷۶۴۴،" لوازم کنترل لامپ-قسمت ۹-۲: مقررات ویژه برای بالاست لامپ‌های تخلیه‌ای(به جز لامپ‌های فلورسنت)".
[35]IEC 61374-2-9:2012,"Lamp Control Gear-Part 2-9: Particular Requirements for Ballasts for Discharge Lamps (Excluding fluorescent Lamps)".
[۳۶]استاندارد ملی ۵۱۹۰،"مقررات عملکردی بالاست لامپ‌های تخلیه‌ای (غیر از لامپ‌های فلورسنت دو کلاهکی)".
[37]IEC 60923: 2005,"Auxiliaries for lamps – Ballasts for discharge lamps (excluding tubular fluorescent lamps) – Performance requirements".
[۳۸] استاندارد ملی ۱-۲-۷۶۴۴،" لوازم کنترل لامپ-قسمت ۱-۲: مقررات ویژه برای وسایل راه‌اندازی به غیر از راه‌اندازهای تخلیه روشن".
[39]IEC 61374-2-1: 2013,"Lamp Control Gear-Part 2: Particular Requirements for Starting Devices (Other than Glow Starters)".
[40]IEC 60927: 2013,"Auxiliaries for Lamps - Starting Devices (Other than Glow Starters) – Performance Requirements".
[41]IEC 61048: 2015,"Auxiliaries for Lamps - Capacitors for Use in Tubular Fluorescent and other Discharge Lamps Circuits - General and Safety Requirements".
[42]IEC 61049: 1992,"Auxiliaries for Lamps - Capacitors for Use in Tubular Fluorescent and other Discharge Lamps Circuits - Performance Requirements".
[۴۳]استاندارد ملی ۱-۵۹۲۰،" چراغ‌ها-قسمت اول: مقررات عمومی و آزمون‌ها".
[44]IEC 60598-1: 2020,"Luminaires- Part 1: General Requirements and Tests".
[۴۵]استاندارد ملی ۳-۲-۵۹۲۰،" چراغ‌ها- قسمت ۳-۲: مقررات ویژه چراغ‌های خیابانی و جاده‌ای".
[46]IEC 60598-2-3: 2011,"Luminaires- Part 2-3: Particular Requirements-Luminaires for Road and Street Lighting".
[۴۷]استاندارد ملی ۱-۶۵۷۲،"پایه‌های روشنایی- اصطلاحات و تعاریف".
[48]EN 40-1: 1992,"Lighting Columns –Part 1: Definitions and Terms".
[۴۹] استاندارد ملی ۲-۶۵۷۲،"پایه‌های روشنایی- اندازه‌ها و رواداری‌ها".
[50] EN 40-2: 2004,"Lighting Columns- Part 2: General Requirements and Dimensions".
[۵۱]استاندارد ملی ۲۸۶۸،"درجات حفاظت تامین شده توسط محفظه‌ها (کد IP)".
[52]IEC 60529:2013," Degrees of Protection Provided by Enclosures (IP Code)".

[53]EN 40-3-1: 2013,"Lighting Columns- Part 3-1: Design and Verification, Specification for Characteristic Loads".
[54]EN 40-3-2: 2013,"Lighting Columns- Part 3-2: Design and Verification, Verification by Testing".
[55]EN 40-5: 2002,"Lighting Columns- Part 5: Requirements for Steel Lighting Columns".
[۵۶]استاندارد ملی ۳-۶۵۷۲،" پایه‌های روشنایی- قسمت سوم: مشخصات برای پایه‌های روشنایی فولادی".
[57]https://niknoor.com.
[58]W. Kotahi,"Specification for Lighting Cplumns," NZTA, 2012.
[59]https://taharoksazan.com.
[60]https://shahrsamanco.ir.
[61]CIE 121: 1996,"The Photometry and Goniophotometry of Luminaires".
[62]CIE 84: 1989,"The Measurement of Luminous Flux".
[۶۳]"مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌های توزیع هوایی و زمینی ۲۰ و ۳۳ کیلوولت-نشریه شماره ۳۷۵"، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و سازمان توانیر، ۱۳۸۶.
[۶۴]"مشخصات فنی عمومی و اجرایی خطوط توزیع برق هوایی و کابلی فشار متوسط و فشار ضعیف-نشریه شماره ۳۷۴"، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و سازمان توانیر، ۱۳۸۶.
[۶۵]"مشخصات فنی عمومی و اجرایی تاسیسات برقی ساختمان-نشریه شماره ۱۱۰"، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۴۰۱.
[66]CIE 150: 2017,"Guid on the Limitation of Effect of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installation".
[67]CIE 126: 1997,"Guidelines for Minimizing Sky Glow".
[68]CIE 01,"Guide Lines for Minimizing Urban Sky Glow Near Astronomical Observatories".
[69]GREAT BRITAIN. Air Navigation Order 2016. London: The Stationery Office.
[70]Colorado Department of Transportation," CDOT Lighting Design Guide," 2019.
[71]J. D. Bollinger,"Application of Solar Energy to Power Stand-Alone Area and Street Lighting," Masters Theseis, 2007.
[72]Technical Standard for Solar Street Light System.
[73]M. I. Masoud," Street Lighting Using Solar Powered LED Light Technology: Sultan Qaboos University Case Study," IEEE GCC Conference and Exhibition, 2015.
[74]S. Kiwan, A. Mosali and A. A. Ghasem," Smart Solar-Powered LED Outdoor Lighting System Based on the Energy Storage Level in Batteries," MDPI, 2018.
[75]"LED Street Lighting- Procurement & Design," 2017.
[76]Energieeffiziente Straßenbeleuchtung mit LED, 2016, Energie Schweiz, BFE.
[77]The design and implementation of an energy efficient street lighting monitoring and control system (2012). Electrical Review, ISSN 0033-2097, R. 88 NR 11a.
[78]Streetlight Control System Based on Wireless Communication over DALI Protocol (2016). F J Bellido-Outeiriño, F JQuiles-Latorre, C D Moreno-Moreno, PMC.
[79]National Transportation Communications for ITS Protocol," Object Definitions for Electrical and Lighting Management Systems (ELMS)," 2011.
[80]"Guide to Recycling Mercury-Containing Lamps," Environment and Natural Resources, 2012.

[۸۱]پ. حبیبی‌پور و ع. عسگری،" بازیافت لامپ‌های مهتابی و کم مصرف،" ۱۳۹۲.

[82]https://www.led-professional.com/resources-1/articles/led-lamps-recycling-technology-for-a-circular-economy.

[83]O. Deubzer, R. Jordan, M. Marwede, P. Chancerel,” Categorization of LED Product,” Project Report from the CycLED Project, 2012.

[84]J. Thema, W. Irrek,”Umwelt and Ressourcenaspekte Enier Verstarkten Nutzung von Leuchtdioden,” Report to Work Package 14.4 of the MaRess-Project, 2010.

[85]L. Spengler, A. Reihlen, K. Sander, D. Jepsen, N. Reintjes,”Experties Leuchtdioden: Umwelt, gesundeheits-und verbraucherrelevante Aspekte von Leuchtmitteln auf Basis von LED, Study by the Okopol Institute, 2013.

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هفتصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تألیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. گزارش حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشرشده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی **nezamfanni.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

Regulations on road lighting

[No. 800-614]

Implementation	Niroo research institute	
Project Manager	Niki Moslemi	M.Sc. of Electrical engineering

Authors & Contributors Committee:

Omid Shahhosseini	Niroo research institute	M.Sc. of Electrical engineering
Nasim Akbari Kafshgari	Niroo research institute	M.Sc. of Electrical engineering

Confirmation Committee:

Hasan Abbasian	Firouz Pooya Consulting engineers	M.Sc. of Electrical engineering
Leila Zareian Jahromi	Rahyab melal Consulting engineers	M.Sc. of Electrical engineering

Steering Committee(Plan and Budget Organization):

Alirez Totonchi	Deputy of Technical and Executive Affairs Department
Alireza Fakhrrahimi	Expert Engineering, Technical and Executive Affairs Department
Sajjad Heidari Hasanaklou	Expert Engineering, Technical and Executive Affairs Department

Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization

Regulations on Road Lighting

IR-Code 800-614

Last Edition: 04-10-2023

Deputy of Technical and Infrastructure Development Affairs

Department of Technical and Executive Affairs

nezamfanni.ir

Ministry of Energy

Niroo Research Institute

Nri.ac.ir

2024

این ضابطه با عنوان **«آیین‌نامه روشنایی راه‌ها»** به تفکیک دربردارنده تعاریف و اصطلاحات، ضوابط عمومی طراحی روشنایی، پوشش سطح راه و تاثیر آن بر روشنایی، شرایط و الزامات تامین روشنایی راه، روشنایی تونل‌ها، توصیه‌های عمومی ایمنی و نگهداری سیستم روشنایی راه‌ها، دستورالعمل اندازه‌گیری روشنایی در راه‌ها، مشخصات فنی تجهیزات مورد استفاده در روشنایی راه‌ها، اندازه‌گیری نوری لامپ و چراغ، سیستم توزیع و برقـــرسانی به شبکه، آلودگی نوری، روشنایی بخش‌های خاص راه، روشنایی تابلوهای هوایی راه، سیستم‌های روشنایی راه با انرژی خورشیدی، کنترل روشنایی راه‌ها و بازیافت لامپ‌های حاوی جیوه و LED می‌باشد

shaghool.ir