تأسیسات الکتریکی

تعداد واحد: ۳ (نظری)

پیش‌نیاز: تحلیل سیستم‌های انرژی الکتریکی ۱

هدف: آشنایی با مهندسی روشنایی و تأسیسات الکتریکی

- روشنایی: تعریف و ماهیت نور، اشعه مادون قرمز و ماوراء بنفش، کمیت‌های نورسنجی، استانداردهای روشنایی، محاسبات روشنایی داخلی و خارجی.
- ساختمان و راه‌اندازی لامپ‌ها: رشته‌ای، فلورسنت، جیوه‌ای، سدیم، کم‌مصرف.
- ایمنی و حفاظت در تأسیسات الکتریکی.
- محاسبات سطح مقطع سیم و کابل و سیم‌کشی هوایی.
- فیوز و محاسبات آن.
- طراحی تابلو.
- برآورد بار و تقاضا برای بارهای صنعتی و تجاری.
- زمین کردن (الکتریکی و حفاظتی)، اندازه‌گیری مقاومت زمین، رله‌های زمین و سایر ادوات و رله‌های مرتبط.

مدرس: کاظم وارثی (kzm.varesi@gmail.com)

هم‌نیاز: -

- انواع سیستم‌های توزیع برق.
- سیستم‌های اضطراری.
- آشنایی با آسانسور و پله‌های برقی
- تصحیح ضریب قدرت در کارخانجات.
- سیستم‌های هشدار دهنده.
- سیستم‌های جریان ضعیف شامل آنتن و سیستم تلفن.
- آشنایی با نرم‌افزارهای مربوطه.
- پروژه

تأسیسات الکتریکی

❑ مراجع

[۱] مهندسی تأسیسات الکتریکی، دکتر حسن کلهر، شرکت سهامی انتشار، چاپ بیست و چهارم، ۱۳۹۵.
[۲] مهندسی روشنایی، دکتر حسن کلهر، شرکت سهامی انتشار، چاپ بیست و هشتم، ۱۳۹۵.
[۳] لامپ‌ها و محاسبات روشنایی فنی، محمدمهدی موحدی، چاپ چهارم، ۱۳۷۵.
[۴] روشنایی فنی (شاخهٔ: کاردانش، گروه تحصیلی: برق، زیرگروه: الکتروتکنیک، رشته‌های مهارتی: برق ساختمان)، محمدحسن اسلامی، شهرام خدادادی و علیرضا حجرگشت، ناشر: شرکت چاپ ونشر کتاب‌های درسی ایران، چاپ سوم، ۱۳۹۴.

[5] Mechanical and Electrical Equipment for Buildings [12th Edition], by: Walter T. Grondzik & Alison G. Kwok. Wiley, 2014.
[6] Electrical Installations Hand Book, Siemens I, II, III.
[7] The Lighting Handbook, Zumtobel Lighting GmbH, 5th edition, revised and updated: July 2017.

فصل ششم

روشنایی معابر

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ مقدمه

زندگی امروزی ایجاب می‌کند که با پایان گرفتن روز، فعالیتهای اجتماعی پایان نیافته و تا پاسی از شب نیز ادامه پیدا کند. لازمه این امر وجود روشنایی کافی در معابر و خیابانهاست. افزایش روزافزون وسایل نقلیه موتوری و عبور و مرور عابرین در خیابانها، روشنایی کافی را جهت دید در شب و کاهش تصادفات و تلفات انسانی ضروری می‌سازد. همچنین روشن ساختن معابر در شب باعث افزایش امنیت اجتماعی شده و از جرائم و تخلفاتی که تاریکی شب پوششی جهت ارتکاب آنهاست می‌کاهد. پس هدف از روشنایی معابر حفظ سلامت و راحتی رانندگان و عابرین پیاده و افزایش امنیت و بهبود وضع ترافیک در شب می‌باشد.

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات روشنایی معابر

۶ـ۱ـ مشخصات روشنایی معابر

یک سیستم روشنایی خوب جهت معابر باید دارای خصوصیات مطلوبی باشد که در قسمتهای زیر تشریح می‌شود.

۶ـ۱ـ۱ـ ایجاد روشنایی کافی در سطح خیابان

میزان شدت روشنایی لازم جهت معابر بستگی به وضعیت محل، میزان عبور و مرور، نوع فعالیت عابرین، سرعت و حجم ترافیک شبانه دارد. در جداول شماره ۶ـ۱ و ۶ـ۲ میزان شدت روشنایی متوسط جهت معابر مختلف طبق توصیه انجمن مهندسان روشنایی آمریکا منعکس شده است.

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات روشنایی معابر

جدول ۶ـ۱ : شدت روشنایی لازم جهت معابر
(توصیه انجمن مهندسان روشنایی آمریکا)

نوع معبر	وضعیت اطراف معبر		
	تجاری	فی‌مابین	مسکونی
	شدت روشنایی (لوکس)	شدت روشنایی (لوکس)	شدت روشنایی (لوکس)
آزادراه	۶	۶	۶
بزرگ‌راه	۲۲	۱۵	۱۱
خیابان رابط بین اصلی و فرعی	۱۳	۱۰	۶
خیابان فرعی	۱۰	۶	۴
کوچه اتومبیل‌رو	۶	۴	۲
پیاده‌رو	۱۰	۶	۲
محل عبور عابر پیاده	۲۲	۱۱	۵

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات روشنایی معابر

جدول ۶ـ۲ : شدت روشنایی متوسط خیابان براساس حجم عابرین و ترافیک
(توصیه انجمن مهندسان روشنایی آمریکا)

حجم عبور و مرور عابرین پیاده	حجم ترافیک تعداد وسایل نقلیه عبوری از دو طرف در ساعت در هنگام شب			
	خیلی سبک (زیر ۱۵۰)	سبک (۱۵۰ـ۵۰۰)	متوسط (۵۰۰ـ۱۲۰۰)	سنگین (بالاتر از ۱۲۰۰)
	شدت روشنایی (لوکس)	شدت روشنایی (لوکس)	شدت روشنایی (لوکس)	شدت روشنایی (لوکس)
سنگین	۶	۹	۱۱	۱۳
متوسط	۴	۶	۹	۱۱
سبک	۲	۴	۶	۹

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات روشنایی معابر

چون در زیر چراغهای ثابت خیابانی، رانندگان معمولاً اجسام را به‌صورت اشیاء تیره در مقابل زمینه روشنی که توسط درخشندگی خیابان و اطراف آن ایجاد می‌شود مشاهده می‌کنند، درخشندگی سطح خیابان و در نتیجه ضریب انعکاس آن نیز حائز اهمیت خاص است. انتشارات فیلیپس در این مورد جهت خیابانها و جاده‌های مختلف ازنظر رنگ و نوع آسفالت ضرایبی را تعریف می‌کند که با ضرب کردن آنها در شدت روشنایی لازم جهت خیابان با آسفالت معمولی می‌توان شدت روشنایی متوسط لازم جهت خیابان مربوطه را به‌دست آورد. این ضرایب در جدول ۶ ـ ۳ آورده شده است.

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات روشنایی معابر

جدول ۶ـ۳: ضرایب شدت روشنایی متوسط برای آسفالتهای مختلف

رنگ آسفالت	فوق‌العاده روشن	بالاتر از حد متوسط	متوسط	پایینتر از حد متوسط	فوق‌العاده تیره
ضریب	۰/۸	۰/۹	۱	۱/۲	۱/۴

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات روشنایی معابر

در جدول ۶ـ ۴ توصیه مقررات آلمان در مورد شدت روشنایی متوسط لازم آمده است.

جدول ۶ـ ۴ : روشنایی متوسط لازم براساس مقررات آلمانی

نوع خیابان	رنگ خیابان	
	روشن	تیره
	(لوکس)	(لوکس)
خیابانهای اصلی با تراکم ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت در هر طرف	۸	۱۶
خیابان اصلی با حجم ترافیک ۵۰۰ وسیله نقلیه درساعت درهرطرف	۶	۱۲
خیابانهای رابط بین نقاط مسکونی و خیابانهای اصلی	۴	۸
خیابانهای واقع در مناطق مسکونی	–	۱

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات روشنایی معابر

لازم به تذکر است که در طراحی روشنایی برای بعضی مکانهای خاص مانند تقاطعها، پلها، پیچها، شیبهای تند، میادین و مکانهایی که سابقه تصادف زیادتری داشته باشد، می‌بایست حد روشنایی متوسط بیشتری از مقادیر فوق‌الذکر قائل شد.

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات روشنایی معابر

۶ـ۱ـ۲ـ یکنواختی روشنایی در سطح خیابان

علاوه بر رعایت شدت روشنایی توصیه شده روشنایی معابر باید از یکنواختی قابل قبولی نیز برخوردار باشد. انجمن مهندسان روشنایی آمریکا معیار یکنواختی را نسبت شدت روشنایی حداقل به متوسط در سطح خیابان قرار داده است، اما بعضی مجامع روشنایی این نسبت را کافی ندانسته و علاوه بر آن نسبت شدت روشنایی حداقل به حداکثر را نیز مورد توجه قرار داده و مقادیری جهت آن توصیه می‌کنند. در جدول ۶ـ۵ توصیه انجمن مهندسان روشنایی آمریکا و مقررات آلمان آورده شده است. در جدول E_m مقدار متوسط شدت روشنایی است.

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات روشنایی معابر

جدول ۶ـ۵: نسبت یکنواختی حداقل جهت معابر

نوع خیابان	نسبت یکنواختی (حداقل)			
	انجمن مهندسان روشنایی آمریکا		مقررات آلمان	
	$\frac{E_{MIN}}{E_m}$	$\frac{E_{MIN}}{E_{MAX}}$	$\frac{E_{MIN}}{E_m}$	$\frac{E_{MIN}}{E_{MAX}}$
خیابان اصلی با حجم ترافیک ۱۰۰۰ وسیله نقلیه درساعت درهر طرف	۱ : ۳	–	۱ : ۳	۱ : ۶
خیابان اصلی با حجم ترافیک ۵۰۰ وسیله نقلیه درساعت درهر طرف	۱ : ۳	–	۱ : ۳	۱ : ۶
خیابانهای رابط بین نقاط مسکونی و خیابانهای اصلی	۱ : ۳	–	۱ : ۴	۱ : ۸
خیابانهای واقع درمناطق مسکونی	۱ : ۶	–	–	–

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات روشنایی معابر

۶ـ۱ـ۳ـ جلوگیری از چشم‌زدگی حاصل از نور چراغ

هنگامی که اشعه‌های مستقیم نور چراغ با شدت زیاد در محور دید رانندگان و عابرین قرار گیرد ایجاد چشم‌زدگی می‌کند. چشم‌زدگی از مسائلی است که در طراحی روشنایی مخصوصاً روشنایی معابر باید از آن دوری جست، زیرا این امر سبب کم شدن دید و ناراحتی عابرین و رانندگان گشته و خطرات تصادف را به دنبال خواهد داشت. جهت جلوگیری از چشم‌زدگی حاصل از چراغهای خیابانی می‌توان روشهای مختلفی را به کار برد. در روش اول با افزایش ارتفاع نصب چراغ جهت خارج کردن چراغهای نزدیک از محور دید رانندگان و عابرین، چشم‌زدگی را کاهش می‌دهند.

روشنایی

✓ روشنایی معابر

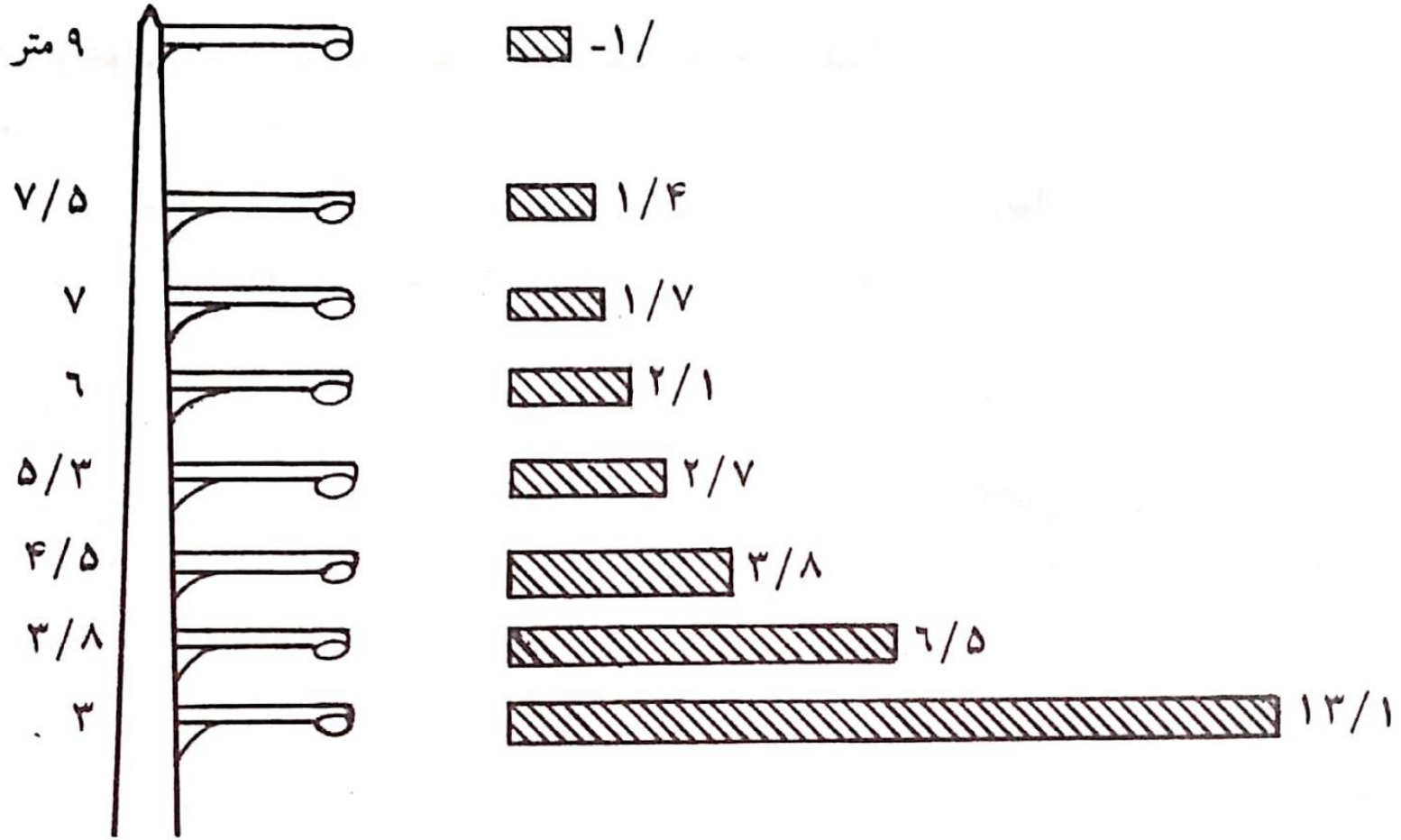
❖ مشخصات روشنایی معابر

شکل ۶ ـ ۱ کاهش نسبی چشم‌زدگی را نسبت به افزایش ارتفاع نصب نشان می‌دهد. همچنین در این رابطه برخی از مجامع روشنایی جهت چراغها با شار نوری مختلف، ارتفاع نصب متفاوتی پیشنهاد می‌کنند که در جدول ۶ ـ ۶ نمونه‌ای از آنها آورده شده است.

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات روشنایی معابر



شکل ۶ ـ ۱ : نمودار کاهش چشم‌زدگی نسبت به ارتفاع نصب. (شار نوری لامپ ثابت)

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات روشنایی معابر

جدول ۶ـ۶: ارتفاع نصب چراغ براساس شار نوری

شار نوری لامپ (لومن)	ارتفاع نصب (متر)
۲۰۰۰۰	۱۰/۵
۲۰۰۰۰ تا ۴۵۰۰۰	۱۰/۵ تا ۱۳/۵
۴۵۰۰۰ تا ۹۰۰۰۰	۱۳/۵ تا ۱۸

لامپ جیوه ۲۳۰وات ۱۲۰۰۰ تا ۱۳۵۰۰ ۹ متر

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات روشنایی معابر

در روش دیگر با به کارگرفتن چراغهایی که شدت نور ماکزیمم آنها در زوایای بزرگ نسبت به محور عمود چراغ که معمولاً در محور دید رانندگان قرار می‌گیرد اتفاق نمی‌افتد، چشم‌زدگی را کاهش می‌دهند. این نوع چراغها در تقسیم‌بندی انجمن مهندسان روشنایی آمریکا چراغ با پخش عمودی کوتاه و در نامگذاری برخی کشورها ازجمله آلمان و انگلستان به نوع قطع شده معروف است.

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات چراغ‌های مورد استفاده در معابر

۶ـ۲ـ مشخصات چراغهای مورد استفاده در معابر

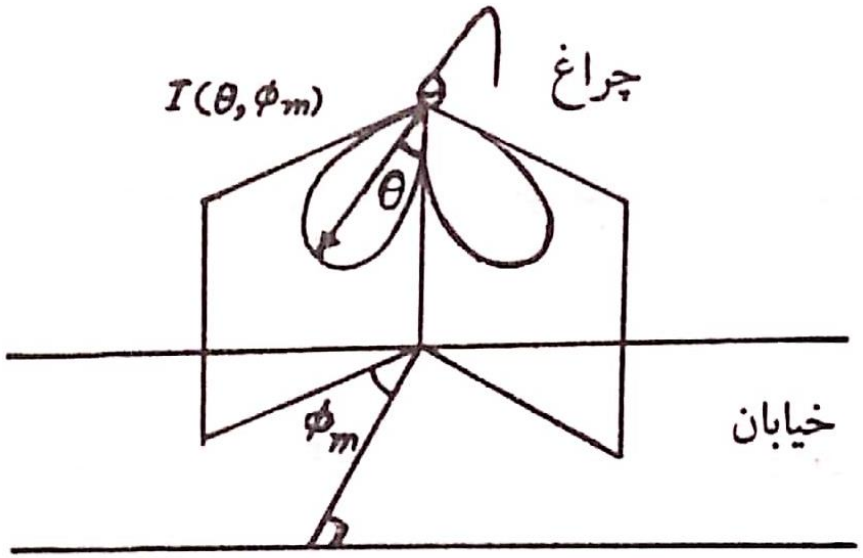
چراغهایی که در روشنایی معابر مورد استفاده قرار می‌گیرند به‌علت عدم تقارن خیابان نسبت به محل نصب چراغ و لزوم تابانیدن بیشتر شار نوری لامپ به سطح خیابان اغلب دارای پخش نور غیرمتقارنند. لذا جهت نشان دادن چگونگی پخش نور آنها در فضا نمی‌توان به یک منحنی اکتفا نمود و لازم است از دو یا چند منحنی به شرح زیر استفاده شود.

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات چراغ‌های مورد استفاده در معابر

۶ـ۲ـ۱ـ منحنی پخش عمودی نور

این منحنی قطبی چگونگی پخش نور چراغ را در صفحه عمودی خاصی که از زاویه افقی ϕ_m می‌گذرد نشان می‌دهد. ϕ_m زاویه‌ای است افقی که شدت نور ماکزیمم چراغ در آن اتفاق می‌افتد. نمونه‌ای از این‌گونه منحنیها در شکل ۶ـ۲ آمده است.



شکل ۶ـ۲ : منحنی پخش عمودی نور

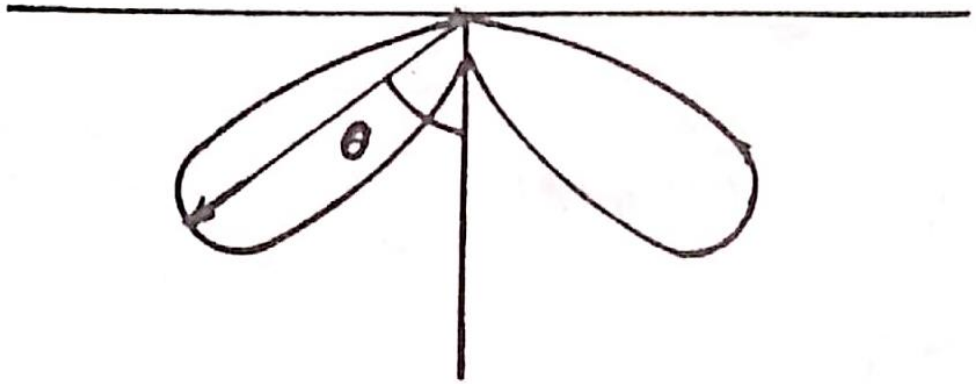
دانشگاه صنعتی سهند/دانشکده مهندسی برق/گروه قدرت/درس تأسیسات الکتریکی/کاظم وارثی

✓ روشنایی معابر

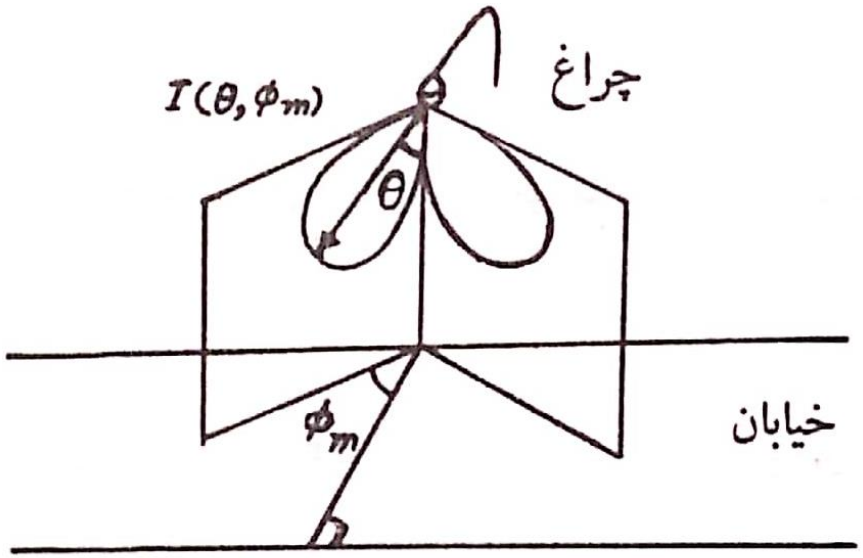
❖ مشخصات چراغ‌های مورد استفاده در معابر

انجمن مهندسان روشنایی آمریکا چراغهای خیابانی را براساس پخش عمودی نورشان به سه دسته به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌کند.

اول چراغ با پخش عمودی کوتاه که در آن شدت نور ماکزیمم در زاویه عمودی ۴۵ تا ۶۶ درجه از محور عمود اتفاق می‌افتد (شکل ۶ ـ ۳).



شکل ۶ ـ ۳ : پخش عمودی کوتاه



شکل ۶ ـ ۲ : منحنی پخش عمودی نور

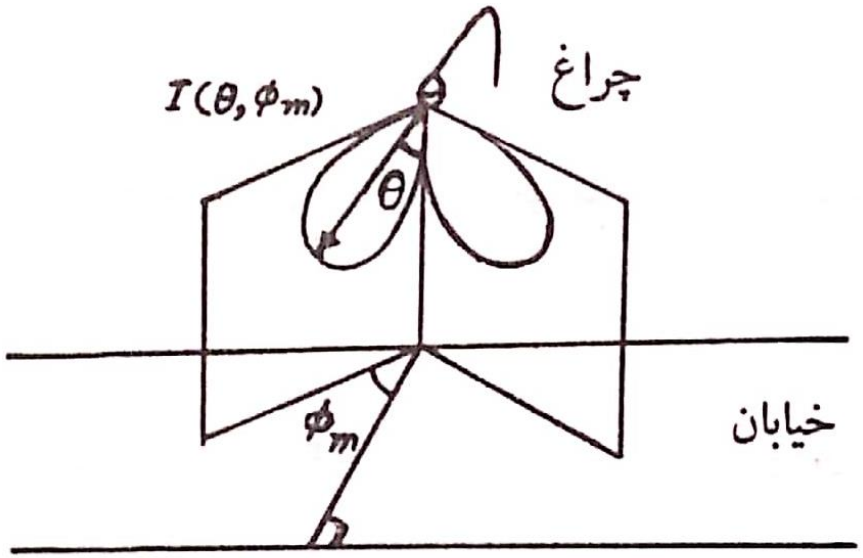
دانشگاه صنعتی سهند/دانشکده مهندسی برق/گروه قدرت/درس تأسیسات الکتریکی/کاظم وارثی

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات چراغ‌های مورد استفاده در معابر

دوم چراغ با پخش عمودی متوسط که در آن ماکزیمم شدت نور در زاویه عمودی ۶۶ تا ۷۵ درجه از محور عمود واقع می‌شود.

سوم چراغ با پخش عمودی بلند که در آن شدت نور ماکزیمم در زاویه عمودی ۷۵ تا ۸۰ درجه از محور عمود منتشر می‌شود.



شکل ۶ ـ ۲ : منحنی پخش عمودی نور

دانشگاه صنعتی سهند/دانشکده مهندسی برق/گروه قدرت/درس تأسیسات الکتریکی/کاظم وارثی

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات چراغ‌های مورد استفاده در معابر

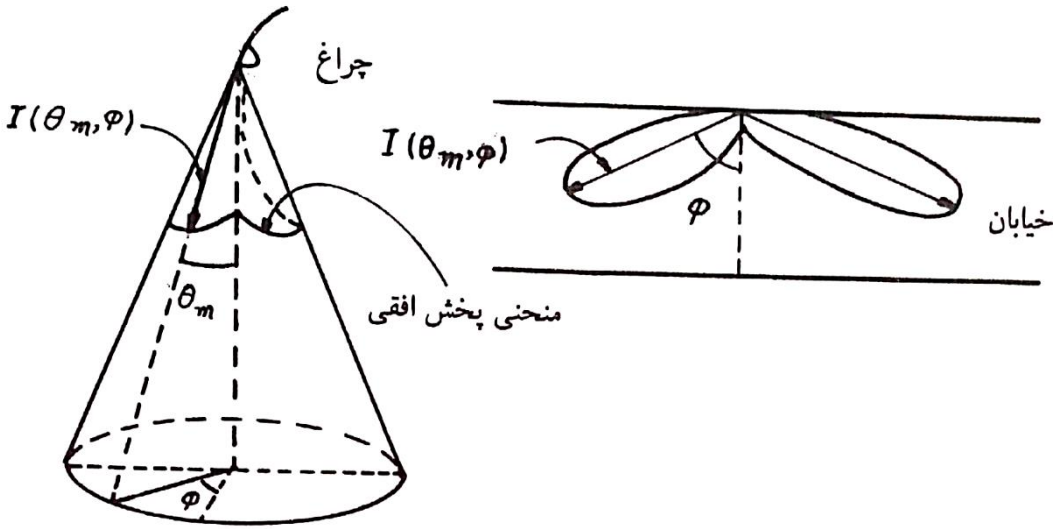
تقسیم‌بندی فوق در برخی کشورها ازجمله انگلستان و آلمان معمول نیست و در این کشورها چراغهای خیابانی اغلب به سه نوع قطع شده ، نیمه قطع شده و قطع نشده تقسیم‌بندی می‌شوند. در نوع قطع شده شدت نور ما کزیمم چراغ به زاویه عمودی حدود ۶۵ درجه از محور عمود محدود می‌شود. در نوع نیمه قطع شده شدت نور ما کزیمم در زاویه عمودی حدود ۷۵ درجه از محور عمود اتفاق می‌افتد و در نوع سوم یعنی قطع نشده اقدامی برای محدود کردن شدت نور ما کزیمم چراغ به زاویه‌های عمودی کوچکتر انجام نگرفته و لذا این نوع چراغها از نقطه‌نظر چشم‌زدگی، چراغهای مناسبی نیستند و تنها در خیابانهای خیلی خلوت یا کوچه‌ها از آنها استفاده می‌شود.

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات چراغ‌های مورد استفاده در معابر

۶ـ۲ـ۲ـ منحنی پخش افقی نور

این منحنی تغییرات شدت نور چراغ را در زاویه عمودی θ_m و زوایای افقی صفر تا ۳۶۰ درجه مشخص می‌سازد. θ_m زاویه عمودی است که شدت نور ما کزیمم چراغ در آن اتفاق می‌افتد. جهت تصور بهتر می‌توان این منحنی را چگونگی توزیع شدت نور بر سطح مخروطی که از زاویه θ_m می‌گذرد فرض کرد (شکل ۶ـ۴).



شکل ۶ـ۴ : منحنی پخش افقی نور

دانشگاه صنعتی سهند/دانشکده مهندسی برق/گروه قدرت/درس تأسیسات الکتریکی/کاظم وارثی

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات چراغ‌های مورد استفاده در معابر

پخش نور چراغ در صفحه افق با توجه به شکل هندسی محیطی که می‌خواهیم روشنایی آنجا را تأمین کنیم می‌تواند متقارن یا غیرمتقارن باشد.

در خیابانها به‌علت داشتن شکل هندسی مستطیلی معمولاً از چراغ با منحنی پخش غیرمتقارن استفاده می‌شود، زیرا به این طریق می‌توان از تابش نور به مناطقی که روشنایی آنجا مدّ نظر نیست جلوگیری کرد و بیشتر شار نوری چراغ را به سطح خیابان تابانید و در نتیجه به بازدهی سیستم روشنایی افزود.

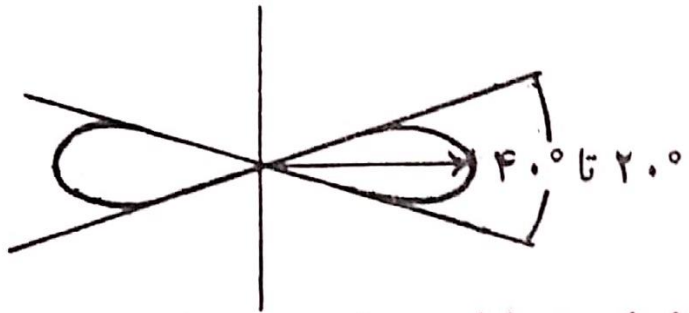
✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات چراغ‌های مورد استفاده در معابر

در میادین و چهارراهها به‌علت وجود تقارن می‌توان از چراغ با پخش افقی متقارن استفاده کرد به شرط آنکه در وسط میدان یا چهارراه نصب شود.

انجمن مهندسان روشنایی آمریکا چراغهای خیابانی را براساس چگونگی پخش افقی نور آنها به ۵ نوع زیر تقسیم‌بندی می‌کند:

نوع I ـ پخش دو طرفی (شکل ۶ ـ ۵ ـ الف) که برای نصب در وسط خیابان مناسب است. در این منحنی، عرض افقی اشعه در $\theta_m = 75^\circ$ بین ۲۰ تا ۴۰ درجه است.



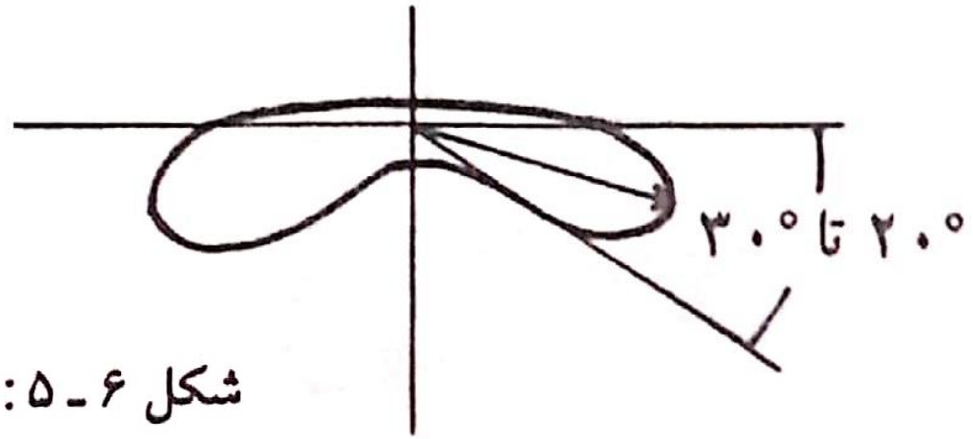
شکل ۶ ـ ۵ : انواع پخش افقی چراغهای خیابانی الف ـ نوع I

دانشگاه صنعتی سهند/دانشکده مهندسی برق/گروه قدرت/درس تأسیسات الکتریکی/کاظم وارثی

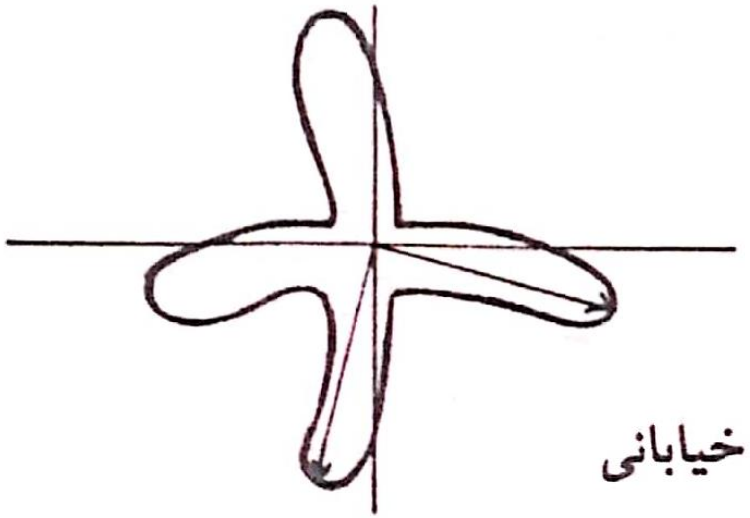
✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات چراغ‌های مورد استفاده در معابر

نوع II ـ پخش غیرمتقارن باریک (شکل ۶ ـ ۵ ـ ب) که در خیابانهای باریک به‌صورت نصب یک طرفه و در خیابانهای پهنتر به‌صورت نصب روبه‌رو مورد استفاده قرار می‌گیرد. عرض افقی اشعه در $\theta_m = 75^\circ$ بین ۲۰ تا ۳۰ درجه است. از نوع چهارپر این چراغ جهت نصب در یکی از گوشه‌های چهارراه استفاده می‌شود (شکل ۶ ـ ۵ ـ پ).



ب ـ نوع II



پ ـ نوع II چهار پر

شکل ۶ ـ ۵ : انواع پخش افقی چراغهای خیابانی

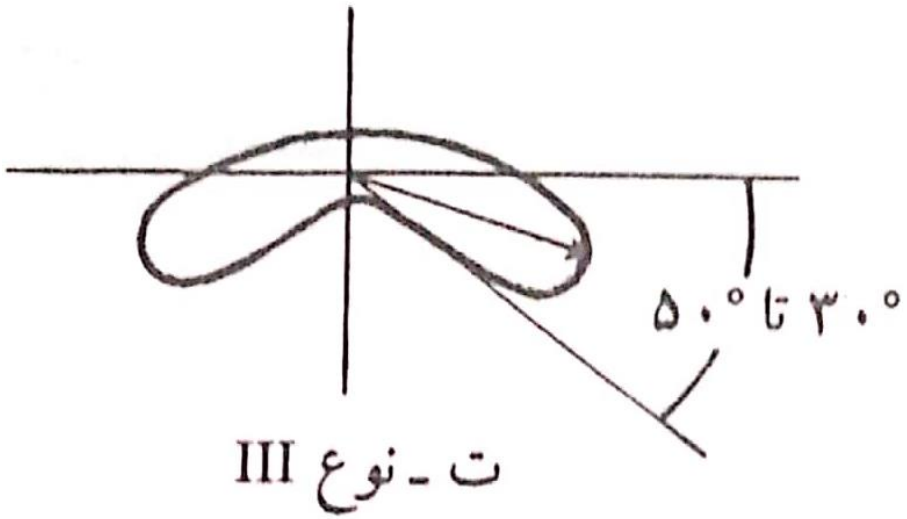
دانشگاه صنعتی سهند/دانشکده مهندسی برق/گروه قدرت/درس تأسیسات الکتریکی/کاظم وارثی

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات چراغ‌های مورد استفاده در معابر

نوع III ـ پخش غیرمتقارن با عرض متوسط (شکل ۶ ـ ۵ ـ ت) که در خیابانها با عرض متوسط و زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. عرض افقی اشعه این چراغ در $\theta_m = 75^\circ$ بین ۳۰ تا ۵۰ درجه می‌باشد.



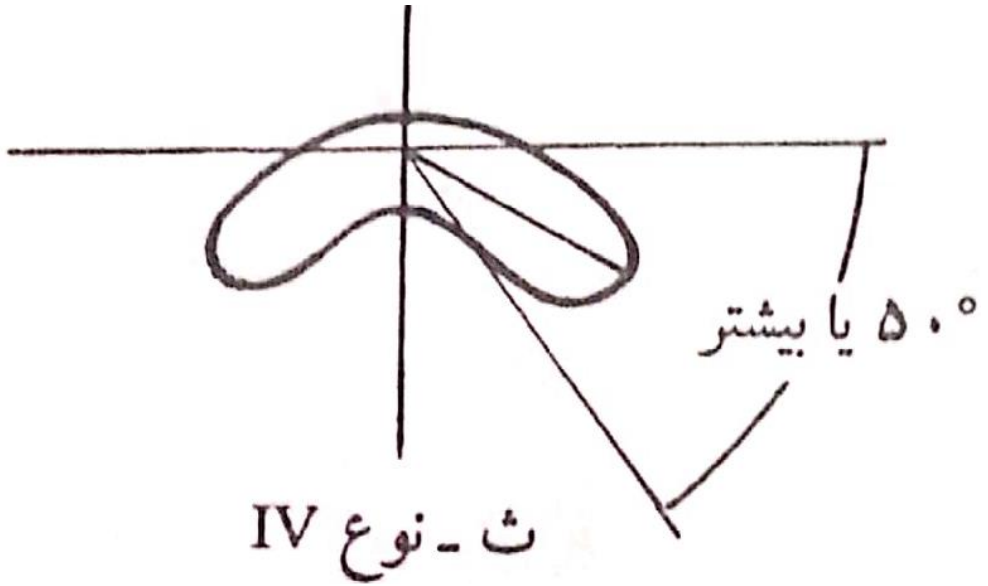
ت ـ نوع III

شکل ۶ ـ ۵ : انواع پخش افقی چراغهای خیابانی

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات چراغ‌های مورد استفاده در معابر

نوع IV ـ پخش غیرمتقارن پهن (شکل ۶ ـ ۵ ـ ث) که برای نصب در خیابانهای عریض مناسب است. در این نوع چراغ عرض افقی اشعه در $\theta_m = 75^\circ$ بیشتر از ۵۰ درجه است.



ث ـ نوع IV

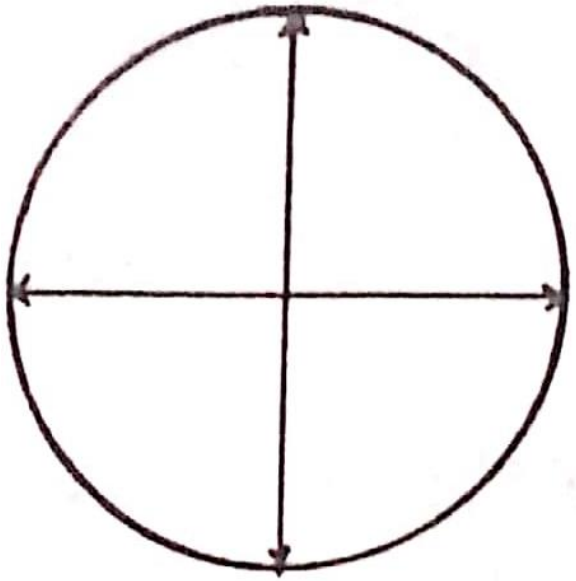
شکل ۶ ـ ۵ : انواع پخش افقی چراغهای خیابانی

دانشگاه صنعتی سهند/دانشکده مهندسی برق/گروه قدرت/درس تأسیسات الکتریکی/کاظم وارثی

✓ روشنایی معابر

❖ مشخصات چراغ‌های مورد استفاده در معابر

نوع V ـ پخش متقارن (شکل ۶ـ۵ـج) که برای چهارراهها مناسب است، در این نوع پخش برای هر زاویه عمودی θ مقدار شدت نور حول زوایای افقی ثابت می‌ماند.



ج ـ نوع V

شکل ۶ ـ ۵ : انواع پخش افقی چراغهای خیابانی

دانشگاه صنعتی سهند/دانشکده مهندسی برق/گروه قدرت/درس تأسیسات الکتریکی/کاظم وارثی

✓ روشنایی معابر

❖ منحنی‌های ایزوکاندل

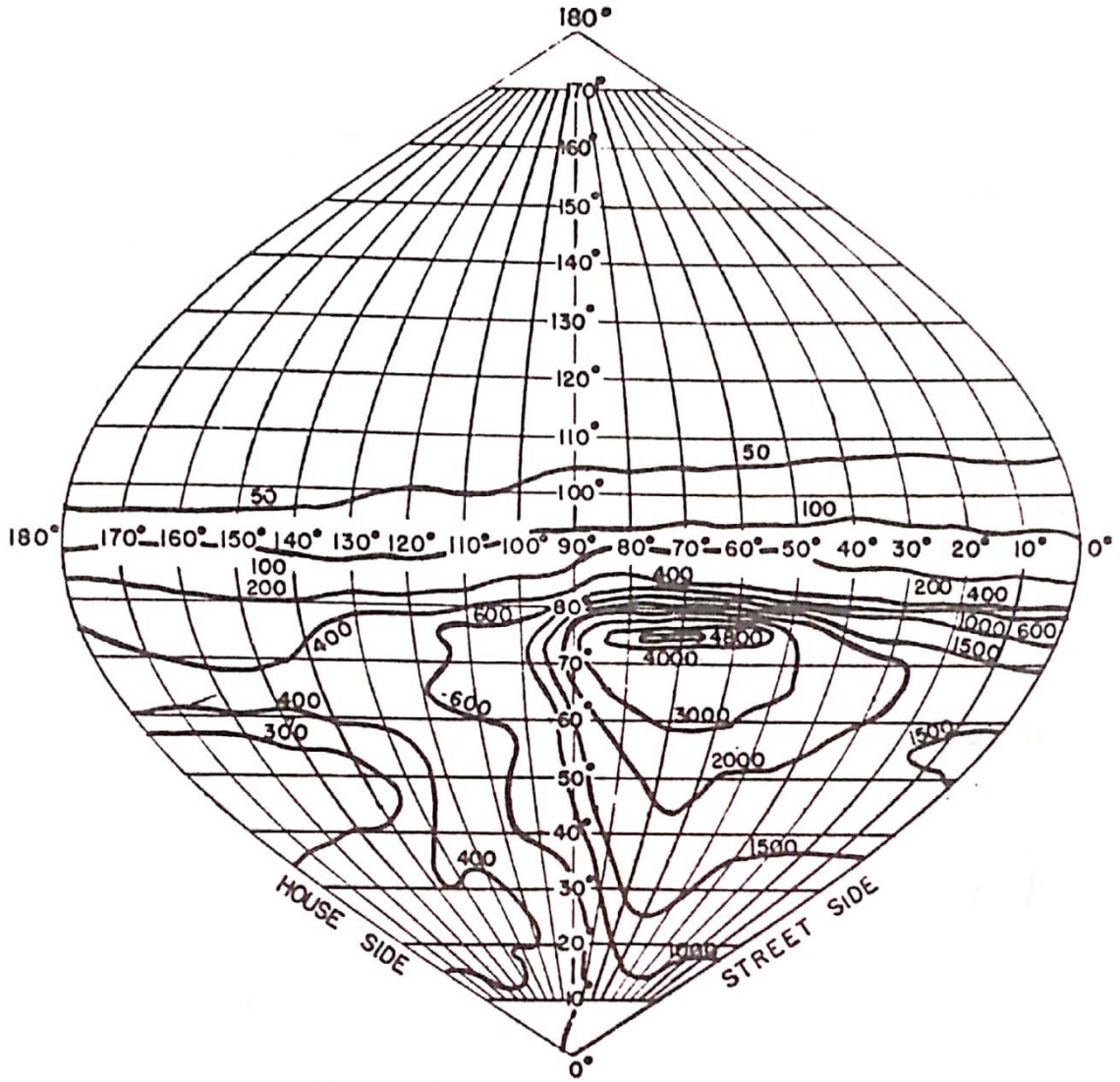
۶ـ۳ـمنحنیهای ایزوکاندل

چنانکه در قسمت قبل گفته شد منحنیهای پخش افقی و عمودی نور از آنجا که برای جهات خاص فضایی ترسیم می‌شوند یک دید محدود نسبت به چگونگی پخش نور چراغ در فضا ارائه می‌دهند. جهت مشخص نمودن کیفیت توزیع شدت نور در تمام جهات فضایی $I(\theta ، \phi)$ از منحنیهای ایزوکاندل استفاده می‌شود.

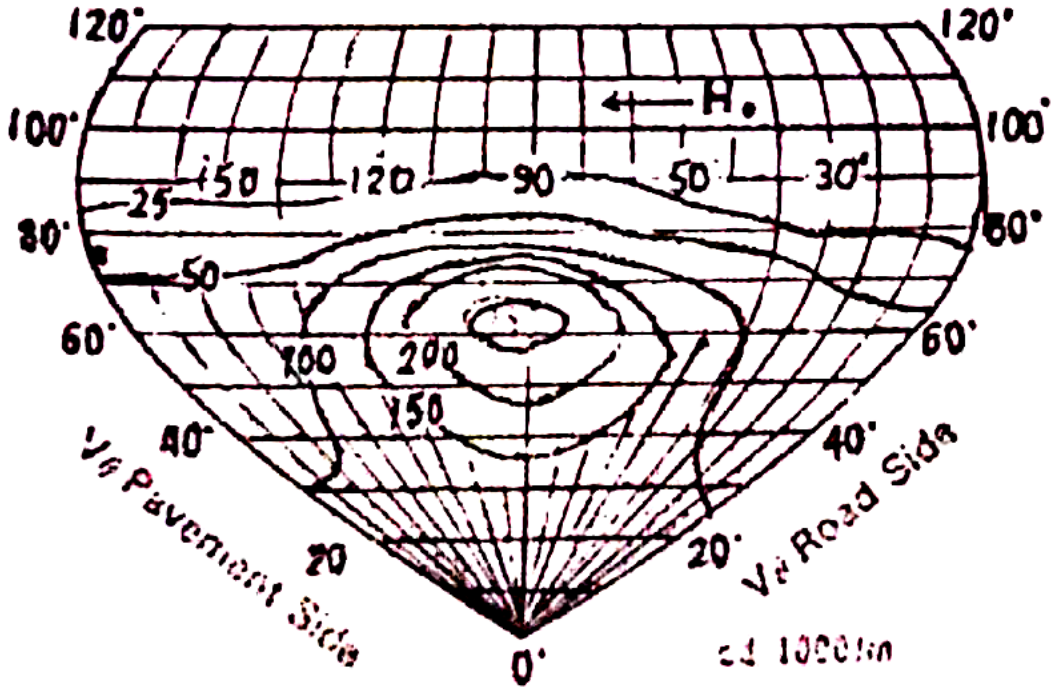
شکل (۶ـ۶ـالف و ب) نمونه‌هایی از این منحنیها را نشان می‌دهد.

روشنایی

✓ روشنایی معابر



الف ـ منحنیهای ایزوکاندل چراغ نوع III با پخش عمودی متوسط برای لامپ رشته‌دار (۱۰۰۰۰ لومن)



ب ـ منحنیهای ایزوکاندل چراغ نوع K378 شرکت میتسویی ژاپن (۱۰۰۰۰ لومن)

روشنایی

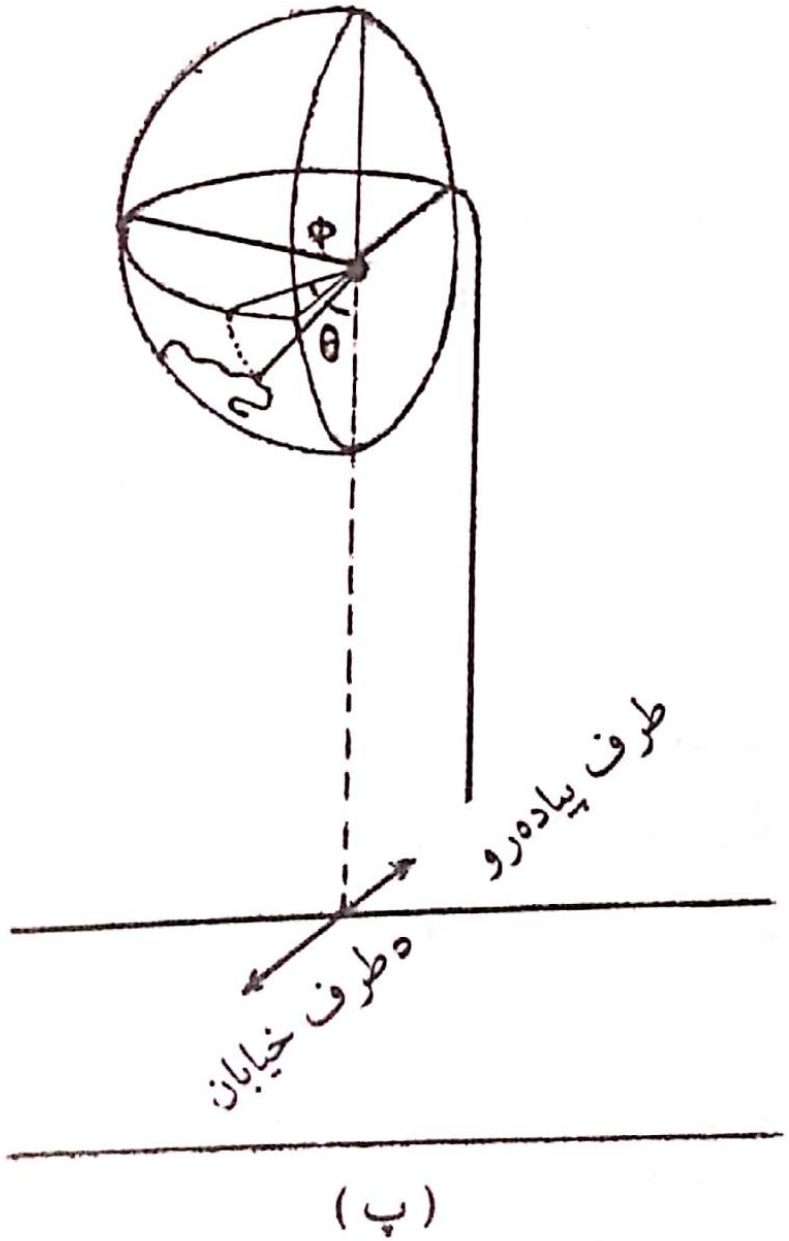
✓ روشنایی معابر

❖ منحنی‌های ایزوکاندل

نموداری که منحنیهای ایزوکاندل بر روی آن کشیده شده‌اند در حقیقت سطح نیمکره شکل ۶ـ۶ـپ است که چراغ در مرکز آن قرار دارد. خواص مهم این نمودار این است که اولاً سطح کل نمودار با سطح نیمکره برابر است. ثانیاً هر شکل بر روی نیمکره اصلی که به این نمودار منتقل شود مساحت خود را حفظ خواهد کرد. (اثبات این حقیقت و مورد استفاده آن را بعداً می‌بینیم.) علت استفاده از نیمکره به جای تمام کره این است که پخش نور چراغ نسبت به صفحه عمودی که از چراغ و پایه آن می‌گذرد تقارن کامل دارد.

روشنایی

✓ روشنایی معابر



(پ)

✓ روشنایی معابر

❖ منحنی‌های ایزوکاندل

از آنجا که چراغ حداکثر نور خود را به طرف پایین منتشر می‌سازد، قسمت بالای نمودار بلااستفاده مانده و معمولاً حذف می‌شود. (شکل ۶ـ۶ـب)

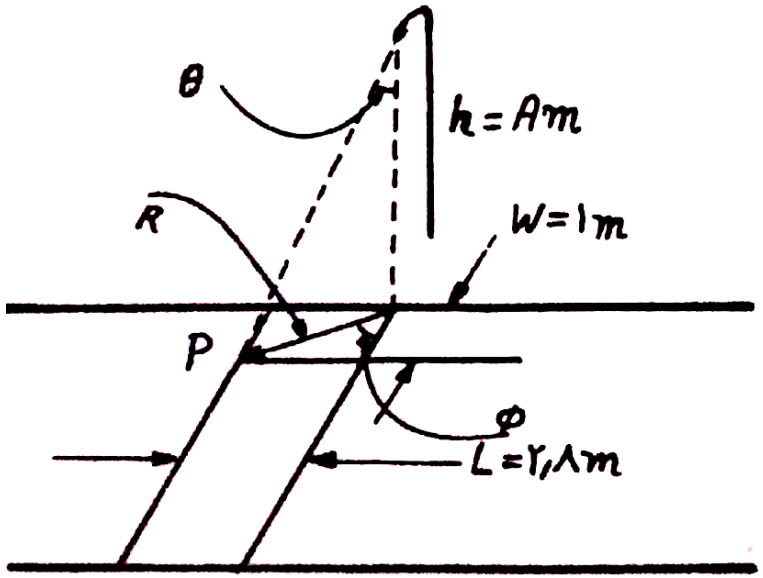
منحنیهای ایزوکاندل مکان هندسی جهاتی از فضا هستند که دارای شدت نور یکسان می‌باشند: مقدار شدت نور بر هر یک از منحنیها نوشته می‌شود. این منحنیها برای شار نوری مشخص معمولاً ۱۰۰۰ یا ۱۰۰۰۰ لومن ترسیم می‌شوند. محور عمودی مقادیر θ و محور افقی مقادیر ϕ را مشخص می‌سازد.

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ منحنی‌های ایزوکاندل

مثال ۶ـ۱ جهت تأمین روشنایی خیابانی از چراغ نوع III با پخش عمودی متوسط که منحنی ایزوکاندل آن در شکل ۶ ـ ۶ ـ الف نشان داده شده، استفاده شده است. مطلوب است شدت روشنایی حاصل از یک چراغ در نقطه P روی سطح خیابان. شار نوری لامپ مورد استفاده ۱۳۵۰۰ لومن می‌باشد.



شکل ۶ ـ ۷ : وضعیت چراغ در مثال ۶ ـ ۱

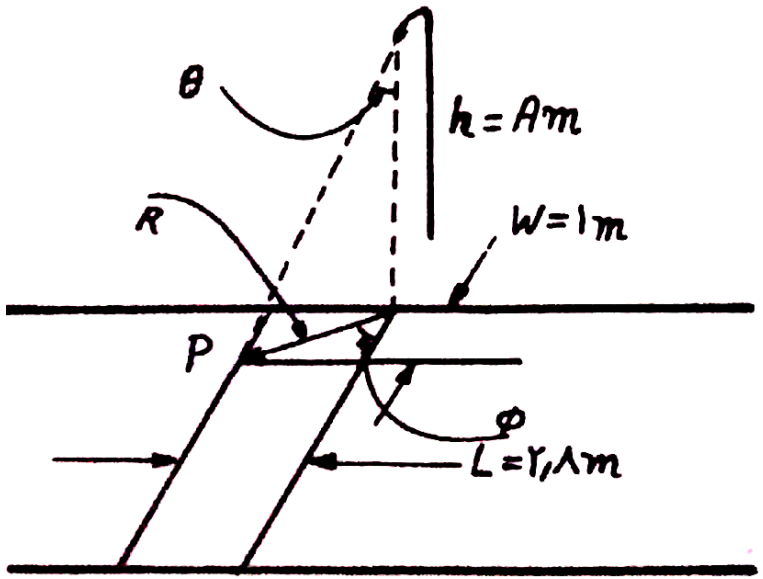
✓ روشنایی معابر

❖ منحنی‌های ایزوکاندل

$$\phi = \tan^{-1}\frac{L}{W} = \tan^{-1}\frac{2.8}{1} = 703.3^{\circ}$$

$$R = \sqrt{L^2 + W^2} = \sqrt{(2.8)^2 + (1)^2} = 2.97 \quad \text{متر}$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{R}{h} = \tan^{-1}\frac{2.97}{8} = 20.36^{\circ}$$



شکل ۶ ـ ۷ : وضعیت چراغ در مثال ۶ ـ ۱

دانشگاه صنعتی سهند/دانشکده مهندسی برق/گروه قدرت/درس تأسیسات الکتریکی/کاظم وارثی

✓ روشنایی معابر

❖ منحنی‌های ایزوکاندل

با مقادیر به‌دست آمده θ و ϕ از روی منحنی شکل ۶ـ۶ـالف مقدار شدت نور برای ۱۰۰۰۰ لومن به‌دست می‌آید.

$$I' = 1000 \text{ cd}$$

جهت چراغ با لامپ ۱۳۵۰۰ لومن

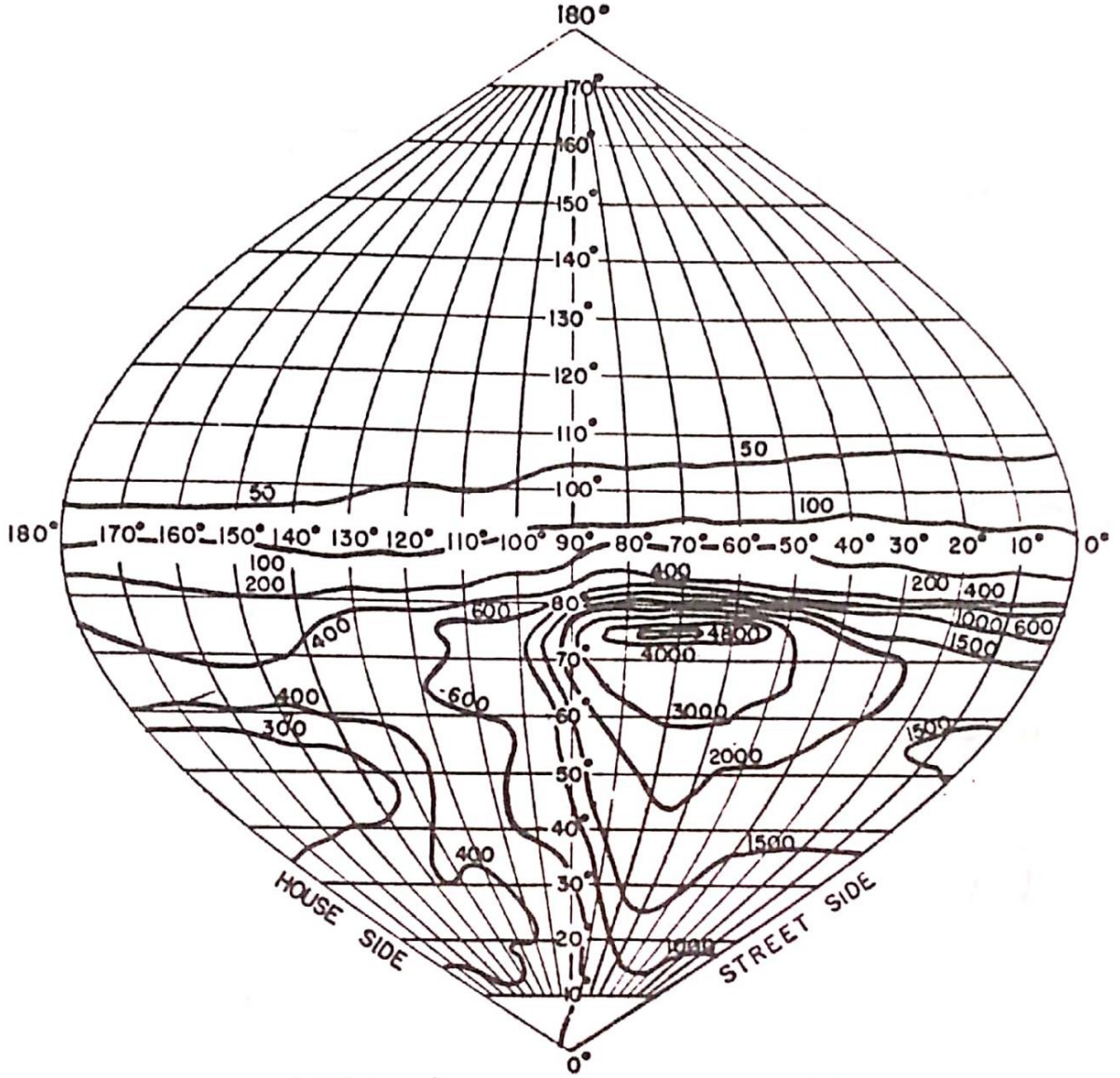
$$I = 1000 \times \frac{13500}{1000} = 1350 \text{ cd}$$

لوکس

$$E = \frac{I}{h^2} \cos^3\theta = \frac{1350}{(8)^3} (0.937)^3 = 17.38$$

روشنایی

✓ روشنایی معابر



الف ـ منحنیهای ایزوکاندل چراغ نوع III با پخش
عمودی متوسط برای لامپ رشته‌دار (۱۰۰۰۰ لومن)

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ منحنی‌های ایزولوکس

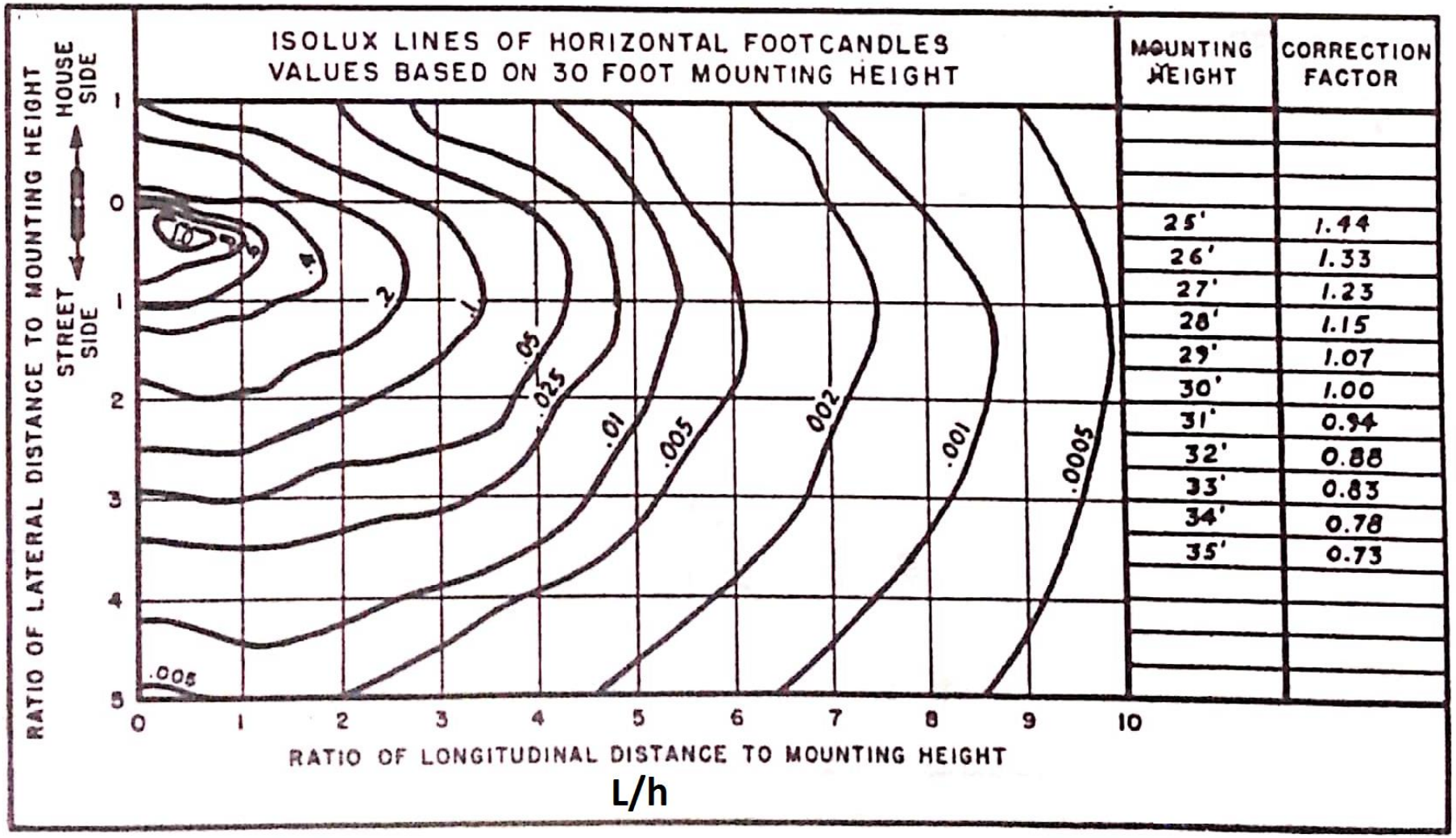
۶ـ۴ـ منحنیهای ایزولوکس

این منحنیها چگونگی توزیع شدت روشنایی اولیه حاصل از چراغ بر سطح خیابان را مشخص می‌سازد. در شکل ۶ـ۸ دو نمونه از این منحنیها نشان داده شده است این منحنیها مکان هندسی نقاطی در سطح خیابان هستند که دارای شدت روشنایی یکسان می‌باشند. مقادیر شدت روشنایی یا به‌صورت حقیقی برای شار نوری مشخص (شکل ۶ـ۸ـالف) و یا به‌صورت تراز شده (تمام مقادیر بر شدت روشنایی ماکزیمم تقسیم شده) (شکل ۶ـ۸ـب) روی منحنیها نوشته می‌شود.

روشنایی

Illuminance		
1	=	10.7639
Foot-candle		Lux

✓ روشنایی معابر



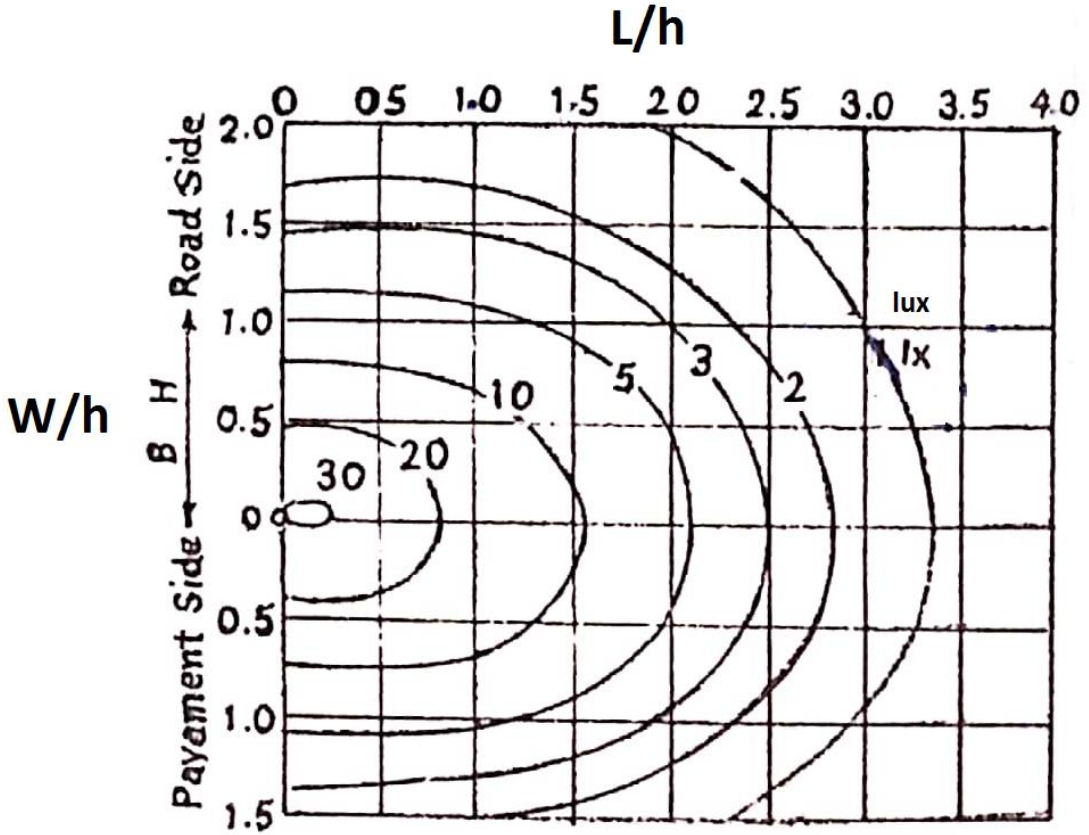
MOUNTING HEIGHT	CORRECTION FACTOR
25'	1.44
26'	1.33
27'	1.23
28'	1.15
29'	1.07
30'	1.00
31'	0.94
32'	0.88
33'	0.83
34'	0.78
35'	0.73

شکل ۶ـ۸ـالف

1 foot = 0.305 m

روشنایی

✓ روشنایی معابر



شکل ۶ـ۸ـب

Conversion Factor (CF) Changes in Mounting Hight.
6m = 2.78
8m = 1.56
10m = 1.00
12m = 0.70

- B/H Ratio between horizontal distance (B) and mounting hight (H).
- Figures on the curves show the initial illuminance

✓ روشنایی معابر

❖ منحنی‌های ایزولوکس

این منحنیها برای چراغ با ارتفاع نصب معین کشیده شده و همراه با آن ضرایب تصحیح، جهت ارتفاعهای نصب مختلف داده می‌شود.

شکل (۶ـ۸ـالف) منحنیهای ایزولوکس چراغ نوع H738 شرکت میتسوبی ژاپن با لامپ جیوه‌ای ۲۴۰۰۰ لومن و شکل (۶ـ۸ـب) منحنیهای ایزولوکس چراغ نوع III با پخش عمودی متوسط می‌باشد. تصویر چراغ بر سطح خیابان در نقطه (۰ , ۰) واقع شده است. محور عمودی نسبت $\frac{W}{h}$ و محور افقی نسبت $\frac{L}{h}$ برای هر نقطه می‌باشد (W و L و h در شکل ۶ـ۷ نشان داده شده است).

دانشگاه صنعتی سهند/دانشکده مهندسی برق/گروه قدرت/درس تأسیسات الکتریکی/کاظم وارثی

✓ روشنایی معابر

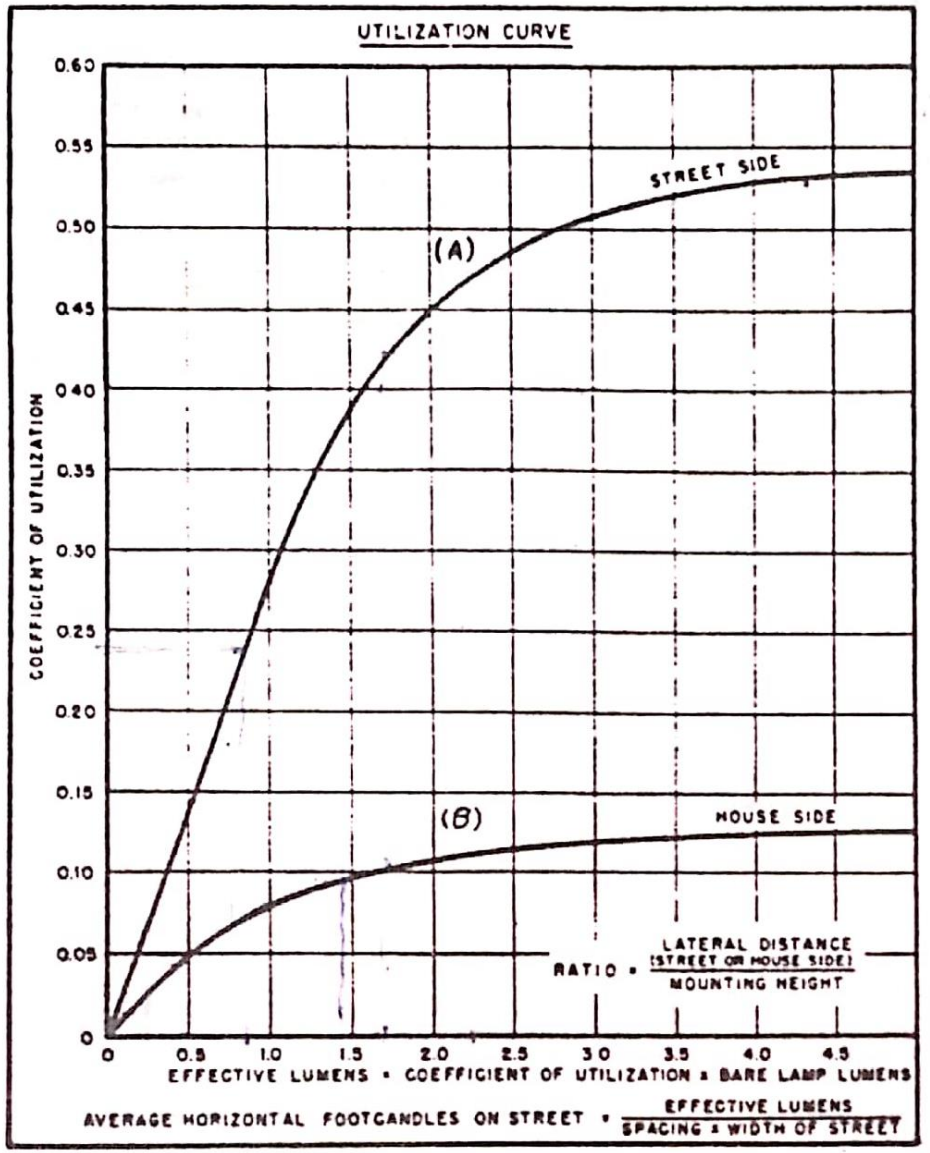
❖ منحنی ضریب بهره

۶ـ۵ـ منحنی ضریب بهره (CU)

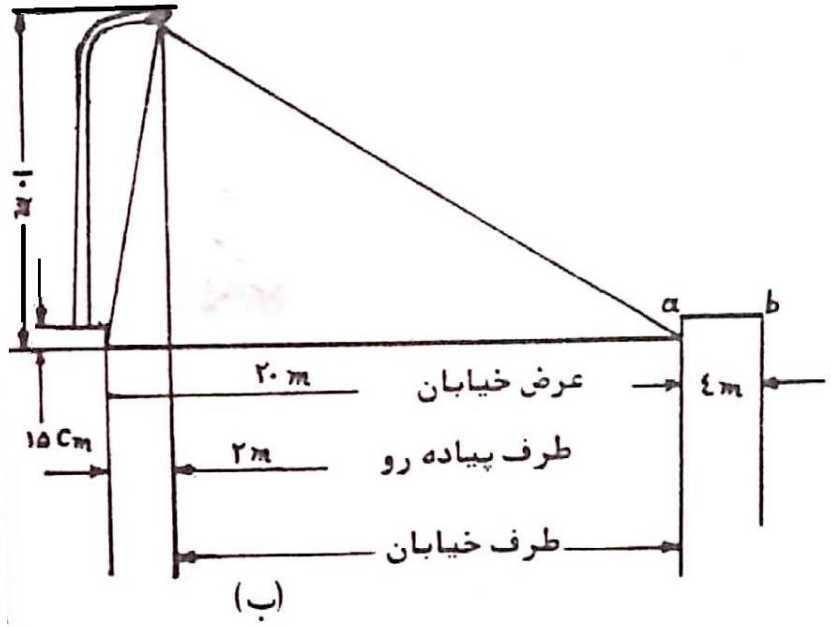
از کل شار نوری که توسط لامپ تولید می‌شود، مقداری به سطح خیابان می‌تابد. مقداری در چراغ تلف می‌شود و بالاخره مقداری نیز به محیط اطراف خیابان می‌تابد. جهت تعیین نسبت نور تابیده شده به سطح خیابان به کل نور تولیدی لامپ از منحنی ضریب بهره استفاده می‌شود. در شکل ۶ـ۹ـالف یک نمونه از این منحنیها که مربوط به چراغ نوع III با پخش عمودی متوسط است آورده شده است. محور افقی نسبت طرف خیابان یا پیاده‌رو به ارتفاع نصب چراغ و محور عمودی، ضریب بهره را مشخص می‌سازد.

روشنایی

✓ روشنایی معابر



نسبت طرف خیابان یا پیاده رو به ارتفاع نصب (الف)



شکل ۶ ـ ۹ : منحنی ضریب بهره

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ منحنی ضریب بهره

دو منحنی داده شده است که یکی برای طرف خیابان و دیگری برای طرف پیاده‌رو مورد استفاده قرار می‌گیرد. طرف خیابان و طرف پیاده‌رو در شکل (۶ـ۹ـب) نشان داده شده است.

لازم به تذکر است که منحنی ضریب بهره و سایر منحنیهای نوری که توسط سازندگان چراغها ارائه می‌شود، برای چراغ معین با لامپ مشخص داده می‌شود. در صورت استفاده از لامپ با شکل و اندازه فیزیکی مختلف می‌توان با تقریب آنها را به کار گرفت.

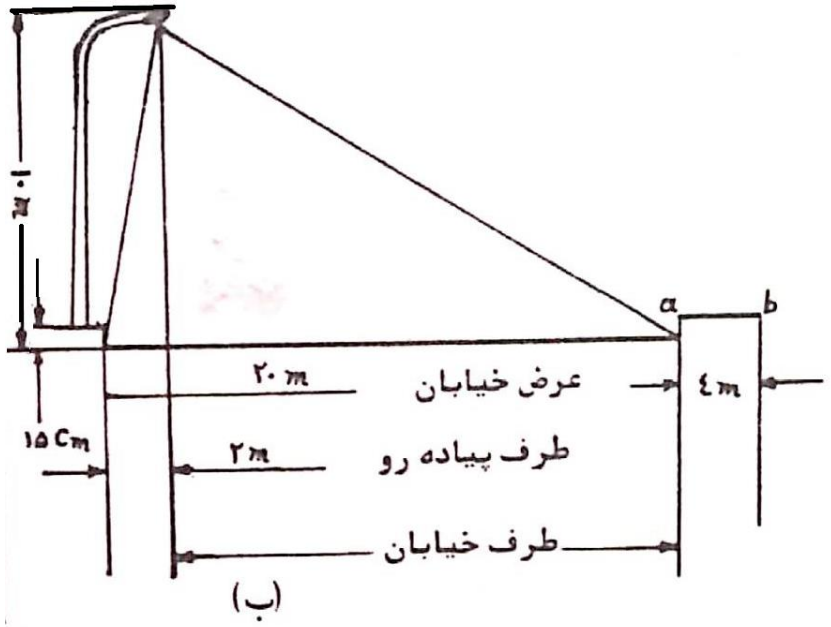
✓ روشنایی معابر

❖ منحنی ضریب بهره

مثال ۶ـ۲ خیابان شکل ۶ـ۹ـب از چراغ نوع III با پخش عمودی متوسط که منحنی ضریب بهره آن در شکل ۶ـ۹ـالف نشان داده شده استفاده شده است. شار نوری لامپ ۲۳۰۰۰ لومن می‌باشد.

الف ـ مقدار شار نوری چراغ که به سطح خیابان تابیده می‌شود چقدر است؟

ب ـ مقدار شار نوری چراغ که به پیاده‌رو تابیده می‌شود چقدر است؟



شکل ۶ـ۹ : منحنی ضریب بهره

دانشگاه صنعتی سهند/دانشکده مهندسی برق/گروه قدرت/درس تأسیسات الکتریکی/کاظم وارثی

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ منحنی ضریب بهره

الف :

$$\frac{\text{فاصله طرف خیابان}}{\text{ارتفاع نصب}} = \frac{18}{10} = 1.8$$

با استفاده از منحنی ۶ ـ ۹ ـ الف $CU_s = 0.432$

$$\frac{\text{فاصله طرف پیاده‌رو}}{\text{ارتفاع نصب}} = \frac{2}{10} = 0.2$$

با استفاده از منحنی ۶ ـ ۹ ـ الف $CU_p = 0.023$

کل جهت خیابان $CU = 0.432 + 0.023 = 0.455$

✓ روشنایی معابر

❖ منحنی ضریب بهره

لومن شار نوری تابیده شده به خیابان $= 23000 \times 0.455 = 10465$

ب :

$$\frac{\text{فاصله ob}}{\text{ارتفاع نصب}} = \frac{18 + 4}{10 - 0.15} = \frac{22}{9.85} = 2.33$$

$$CU_{ob} = 0.468$$

$$\frac{\text{فاصله oa}}{\text{ارتفاع نصب}} = \frac{18}{10 - 0.15} = \frac{18}{9.85} = 1.83$$

$$CU_{oa} = 0.44$$

جهت پیاده‌رو سمت راست $CU = 0.468 - 0.44 = 0.028$

لومن شار نوری تابیده شده به پیاده‌رو سمت راست $= 23000 \times 0.028 = 644$

دانشگاه صنعتی سهند/دانشکده مهندسی برق/گروه قدرت/درس تأسیسات الکتریکی/کاظم وارثی

✓ روشنایی معابر

❖ محاسبات روشنایی معابر

۶ـ۶ـ محاسبات روشنایی معابر

در محاسبات روشنایی خارجی ازجمله روشنایی معابر به‌علت فقدان سطوح منعکس‌کننده قابل توجه تنها روشنایی حاصل از تابش مستقیم از منبع نور حائز اهمیت می‌باشد. شدت روشنایی متوسط اولیه بر سطح خیابان از رابطه (۶ـ۱) به‌دست می‌آید

$$E_m = \frac{\Phi \times CU}{L \times W} \quad \text{اولیه} \qquad (۶ـ۱)$$

در این رابطه Φ شار نوری لامپ، CU ضریب بهره نوری، L فاصله دو پایه متوالی و W عرض خیابان می‌باشد.

دانشگاه صنعتی سهند/دانشکده مهندسی برق/گروه قدرت/درس تأسیسات الکتریکی/کاظم وارثی

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ محاسبات روشنایی معابر

از آنجا که بر اثر گذشت زمان به علل مختلف ازجمله کثیف شدن سطح چراغ و کم شدن نور لامپ روشنایی حاصله بر سطح خیابان کمتر می‌شود، شدت روشنایی متوسط بر سطح خیابان از رابطه (۶ـ ۲) به‌دست می‌آید:

$$E = \frac{\Phi \times CU \times LLF}{L \times W} \qquad (۶ـ۲)$$

LLF ضریب کاهش نور بر اثر کار کردن و کهنه شدن لامپ و چراغ می‌باشد و به عوامل متعددی بستگی دارد که اهم آنها ضریب کاهش نور بر اثر کثیف شدن سطح چراغ (LDDF) و ضریب کاهش نور بر اثر فرسودگی لامپ (LLDF نسبت شار نوری لامپ در وسط عمر فعال به شار نوری اولیه لامپ) می‌باشد و معمولاً به‌صورت منحنیهایی توسط سازندگان چراغها داده می‌شود.

روشنایی

✓ روشنایی معابر

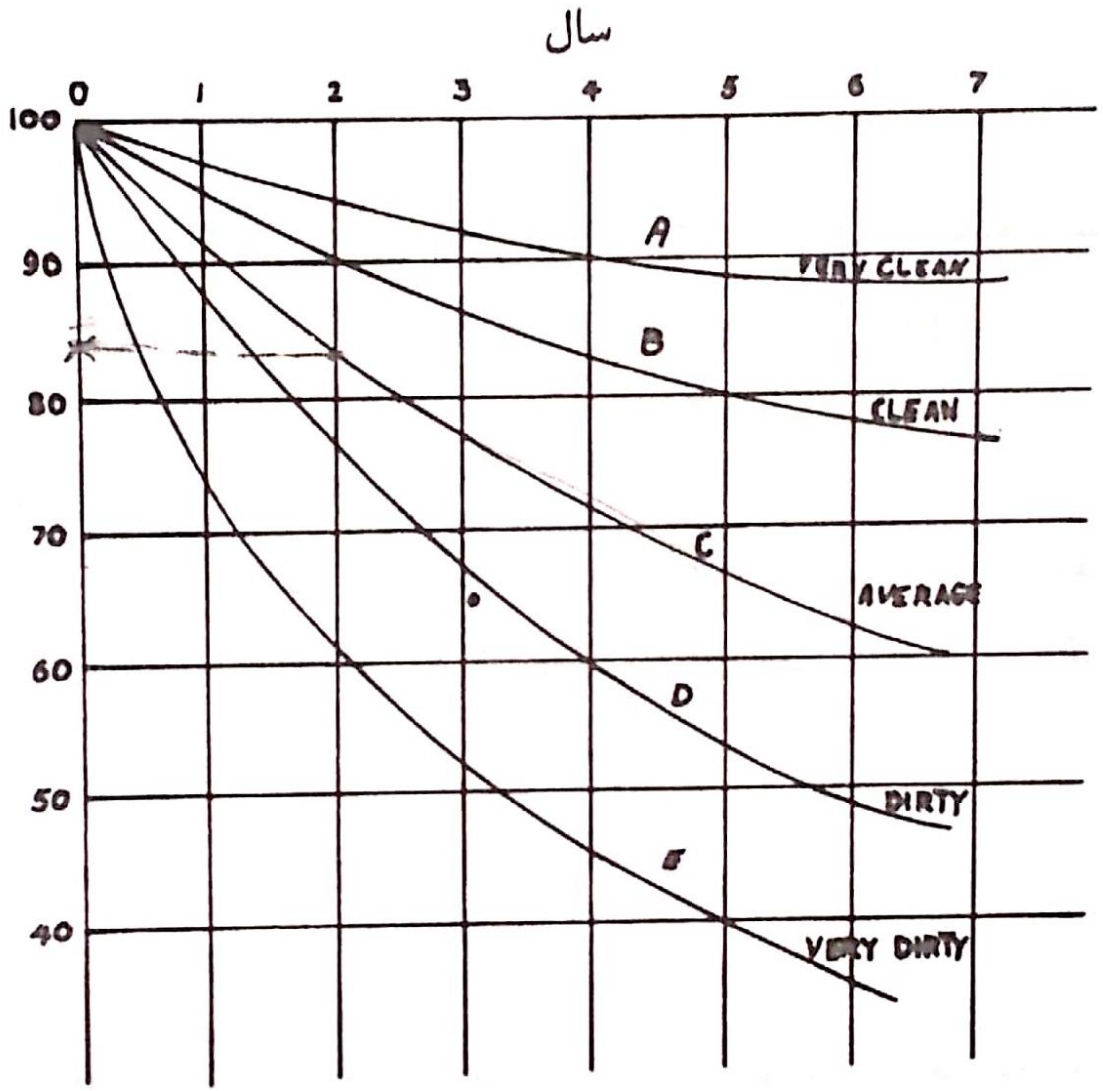
❖ محاسبات روشنایی معابر

LLDF تابع نوع محیطی که چراغ در آن نصب شده، حجم ترافیک، نوع وسایل نقلیه (بنزینی یا گازوئیلی)، نفوذپذیری چراغ از گرد و غبار و فاصله زمانی بین گردگیریهاست.

در شکل (۶ـ۱۰) نمونه‌ای از این منحنی (LDDF) که جهت اغلب چراغهای خیابانی قابل استفاده می‌باشد نشان داده شده است.

روشنایی

✓ روشنایی معابر



شکل ۶ ـ ۱۰ : منحنی ضریب کاهش نور بر اثر کثیف شدن سطح چراغ

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ محاسبات روشنایی معابر

محور افقی فاصله زمانی بین گردگیری چراغها برحسب سال و محور عمودی ضریب کاهش نور LDDF را نشان می‌دهد. پنج منحنی جهت وضعیتهای مختلف داده شده است.

منحنی A (خیلی تمیز) جهت معابر آسفالت، تمیز، بدون مواد چسبنده در هوا، ترافیک آهسته و ممنوع برای کامیونها به کار می‌رود.

منحنی B (تمیز) جهت معابری مانند بالا بجز با ترافیک متوسط سواریها و کامیونها، و آزادراههای واقع در مناطق محدود نشده.

منحنی C (متوسط) جهت معابر مانند بالا با حجم ترافیک بیشتر.

منحنی D (کثیف) جهت مناطق محدود شده به وسیله ساختمانها با حجم ترافیک سواری و کامیون بالاتر از حد متوسط.

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ محاسبات روشنایی معابر

منحنی E (خیلی کثیف) جهت مناطق تجاری، صنعتی با عبور کامیونها، اتوبوسها، وجود گرد و غبار چسبنده در هوا و ترافیک سنگین.

برای به‌دست آوردن فاصله پایه‌های متوالی جهت تأمین شدت روشنایی متوسط لازم در سطح خیابان از رابطه (۶ـ۳) به شکل زیر استفاده می‌شود:

$$L = \frac{\phi \times CU \times LLF}{E \times W} \qquad (۶-۳)$$

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ محاسبات روشنایی معابر

در محاسبات یکنواختی، نقاطی را در سطح خیابان که می‌توانند شدت روشنایی ماکزیمم یا مینیمم داشته باشند حدس زده، و شدت روشنایی نقاط مذکور را با استفاده از روش نقطه به نقطه (در صورت داشتن مقدار شدت نور در جهات لازم) و یا با استفاده از منحنیهای ایزولوکس به‌دست می‌آوریم.

نسبت شدت روشنایی مینیمم به ماکزیمم و مینیمم به متوسط نبایستی از مقادیر مندرج در جدول ۶ ـ ۵ کمتر باشد.

لازم به تذکر است که در محاسبه شدت روشنایی یک نقطه می‌بایست نور حاصل از چند چراغ مجاور که نقش قابل توجهی در روشنایی نقطه مذکور دارند را درنظر گرفت.

✓ روشنایی معابر

❖ لامپهای مورد استفاده در روشنایی معابر

۶ـ۷ـ لامپهای مورد استفاده در روشنایی معابر

لامپهایی که در روشنایی معابر مورد استفاده قرار می‌گیرند انواع مختلف دارند. لامپ رشته‌دار که دارای امتیازهایی از قبیل ارزانی لامپ، سادگی، نور طبیعی، عدم احتیاج به وسایل اضافی جهت کنترل، و دارای عیوبی ازجمله عمر کم، مصرف زیاد برق و در نتیجه هزینه سالانه افزونتر می‌باشد.

لامپ جیوه‌ای که دارای بازده خوب و عمر زیاد می‌باشد، به وفور در روشنایی معابر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

لامپ سدیم دارای نور تقریباً زرد، بازده بسیار خوب و عمر طولانی است و در جاده‌ها که تنها روشنایی و دید مورد نظر باشد و رنگ نور و اشیاء اهمیت چندانی نداشته باشد از آن استفاده می‌شود.

✓ روشنایی معابر

❖ لامپهای مورد استفاده در روشنایی معابر

در بعضی خیابانها که روشنایی تابلوهای تجارتی کمبود طیف نور لامپ سدیم را جبران می‌کنند نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

لامپ متال هلاید دارای رنگ نور خوب، بازده خوب، عمر زیاد می‌باشد و در مناطقی که وضوح رنگ اشیاء نیز حائز اهمیت باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. لامپ فلورسنت که امروزه کمتر در روشنایی معابر مورد استفاده قرار می‌گیرد دارای بهره نوری، عمر و بازده خوب می‌باشد.

از معایب این لامپ عمر کوتاه و احتیاج به چراغهای طویل و وسایل کنترل می‌باشد.

در جدول ۶ ـ ۷ انواع این لامپها که در روشنایی معابر مورد استفاده قرار می‌گیرند مقایسه شده‌اند.

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ لامپهای مورد استفاده در روشنایی معابر

جدول ۶ـ۷: مقایسه لامپهای مورد استفاده در معابر

نوع	وات	بهره نوری تقریبی (لومن بر وات)	عمر تقریبی (ساعت)
جیوه‌ای	۱۷۵ ـ ۱۰۰۰	۵۵	۲۴۰۰۰
متال هلاید	۱۷۵ ـ ۱۰۰۰	۹۰	۱۲۰۰۰
سدیم فشار زیاد	۴۰۰	۱۱۰	۱۶۰۰۰
	۱۰۰۰	۱۳۰	۱۶۰۰۰
سدیم فشارکم	۶۰ ـ ۱۸۰	۱۸۰	۱۱۰۰۰
رشته‌دار	۲۰۰ ـ ۱۰۰۰	۱۸	۱۰۰۰
فلورسنت	۴۰ ـ ۱۲۰	۷۰	۶۰۰۰

حداکثر ۶۸۰ لومن بر وات

✓ روشنایی معابر

❖ ترتیب نصب چراغ‌های خیابانی

۶ـ۸ـ ترتیب نصب چراغهای خیابانی

ترتیب نصب نمونه چراغهای خیابانی در شکل ۶ـ ۱۱ نشان داده شده است.

نصب روبه‌رو برای خیابانهای پهن، نصب زیگزاگ جهت خیابان با عرض متوسط و نصب یکطرفه جهت خیابانهای باریک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

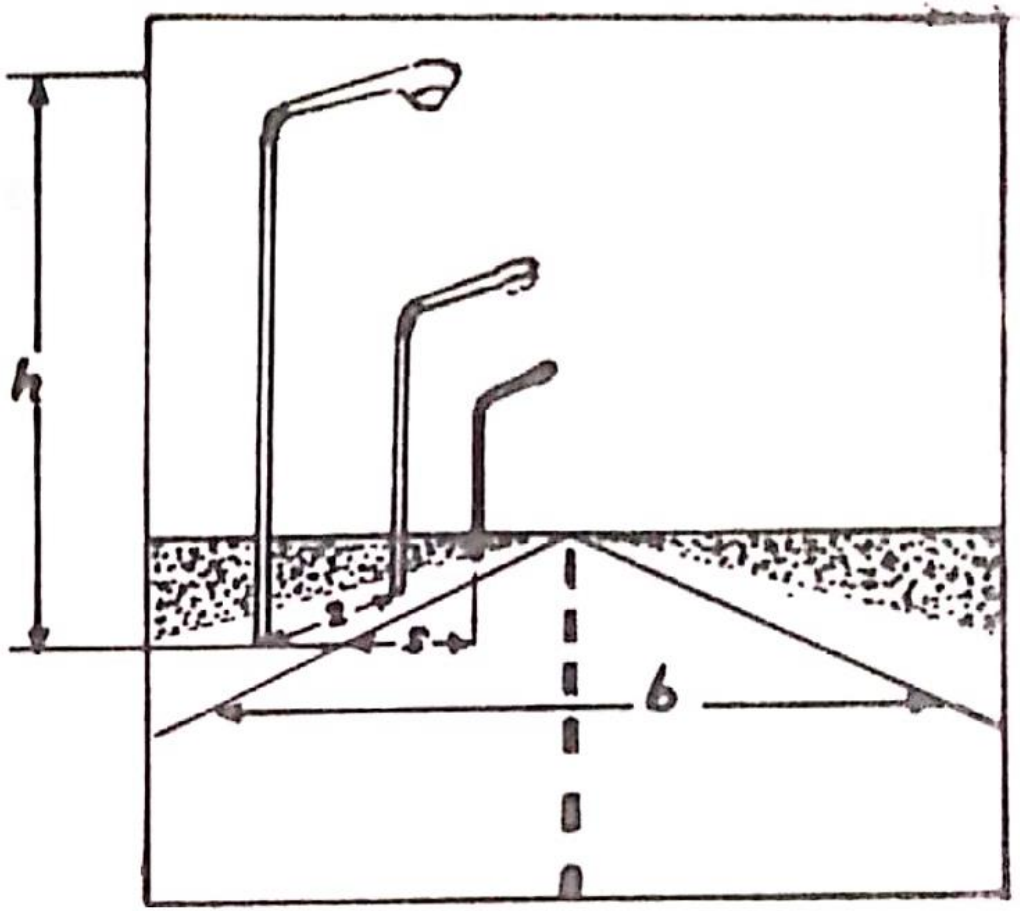
نصب در وسط بلوار به‌علت هزینه کمتر جهت پایه و کابل‌کشی اقتصادیترین وضع جهت بلوار می‌باشد. گاهی نیز از نصب در وسط خیابان با کابل هوایی استفاده می‌شود، مخصوصاً در مناطقی که درختان اطراف خیابان با پوشاندن چراغ مانع از نورتابی آن به سطح خیابان می‌شود. در این نوع نصب می‌بایست از چراغ نوع ۱ استفاده شود.

دانشگاه صنعتی سهند/دانشکده مهندسی برق/گروه قدرت/درس تأسیسات الکتریکی/کاظم وارثی

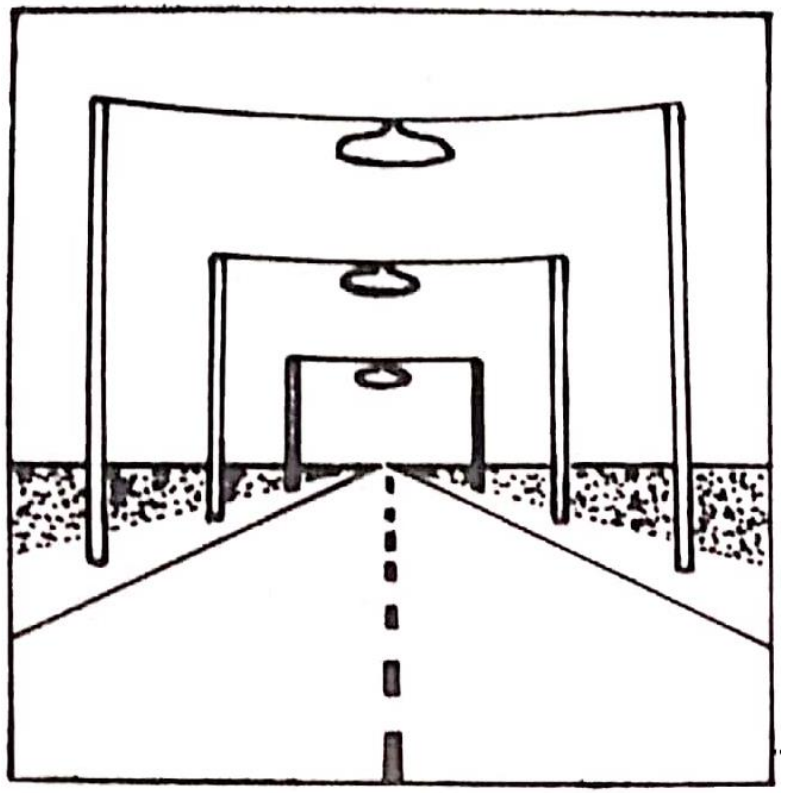
روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ ترتیب نصب چراغ‌های خیابانی



الف ـ نصب یک طرفه

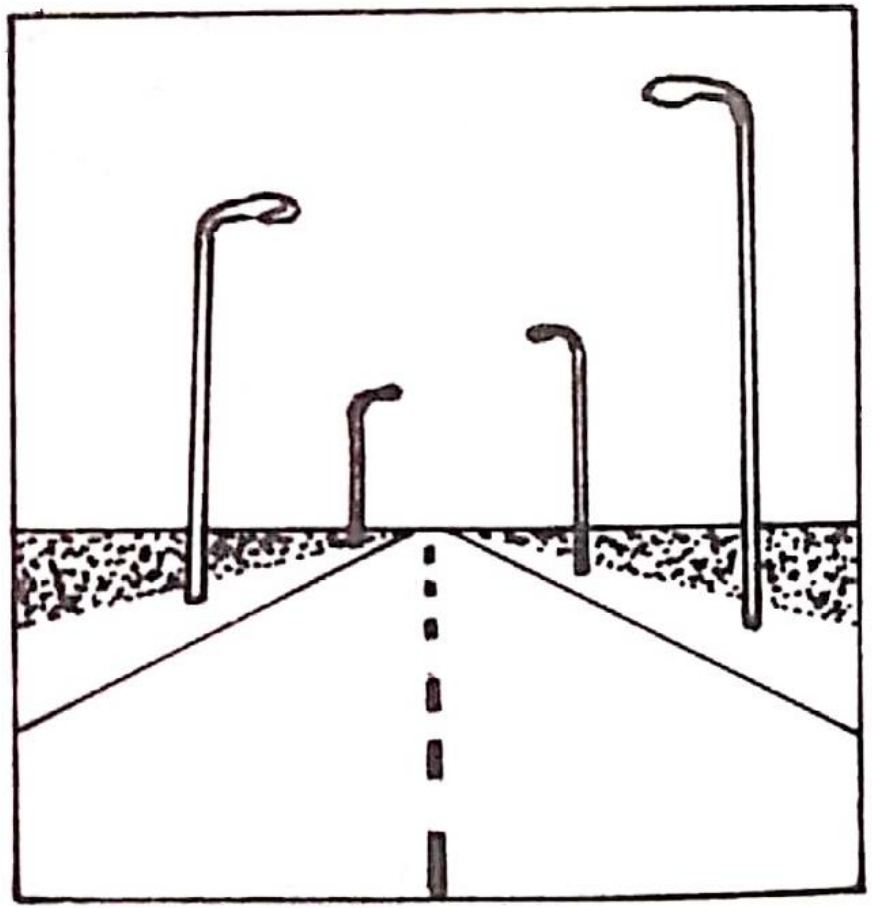


ب ـ نصب در وسط خیابان با کابل هوایی

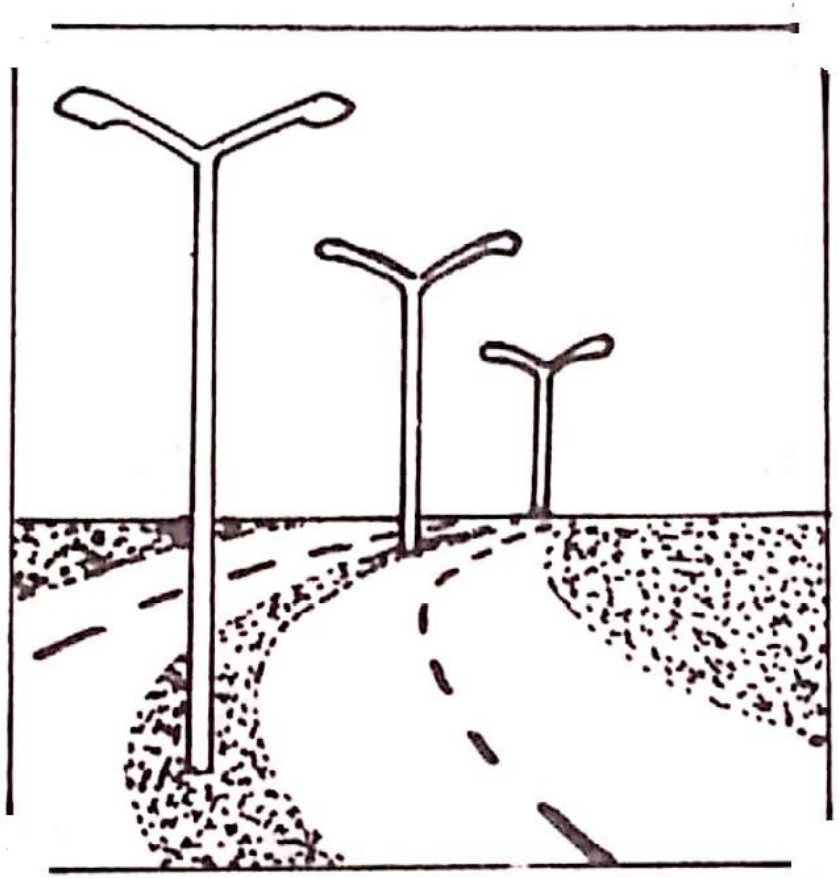
روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ ترتیب نصب چراغ‌های خیابانی



ت ـ نصب زیگزاگ

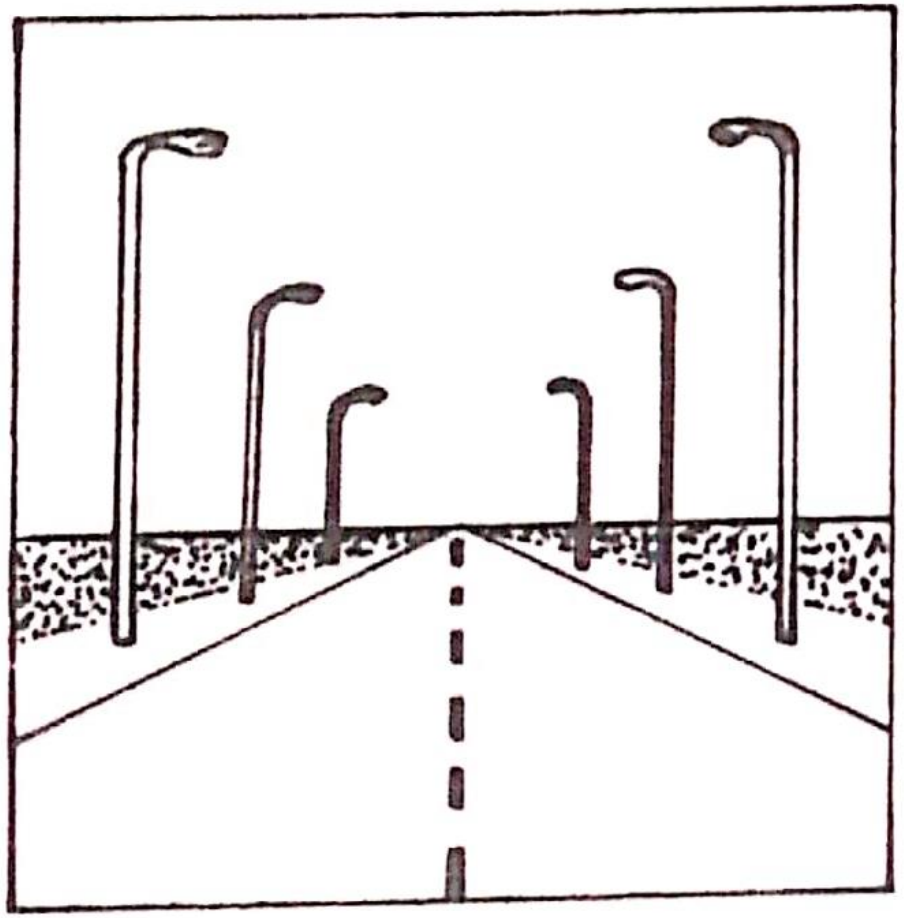


پ ـ نصب در وسط بلوار

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ ترتیب نصب چراغ‌های خیابانی



ث ـ نصب روبه‌رو

✓ روشنایی معابر

❖ طراحی روشنایی معابر

۶ـ۹ـطراحی روشنایی معابر

به‌طور خلاصه طراحی روشنایی معابر شامل مراحل زیر خواهد بود:

الف ـ انتخاب شدت روشنایی متوسط لازم با توجه به نوع معبر و وضعیت ترافیک از جدولهای ۶ـ۱ و ۶ـ۲ و ۶ـ۴.

ب ـ انتخاب نوع چراغ و ترتیب نصب با توجه به نوع خیابان.

پ ـ انتخاب ارتفاع نصب و لامپ مورد استفاده با درنظرگرفتن جدول شماره ۶ـ۶.

ت ـ محاسبه فاصله نصب پایه‌های متوالی با استفاده از رابطه (۶ـ۳).

$$L = \frac{\phi \times CU \times LLF}{E \times W}$$

ث ـ محاسبه یکنواختی و مقایسه با مقادیر توصیه شده.

دانشگاه صنعتی سهند/دانشکده مهندسی برق/گروه قدرت/درس تأسیسات الکتریکی/کاظم وارثی

✓ روشنایی معابر

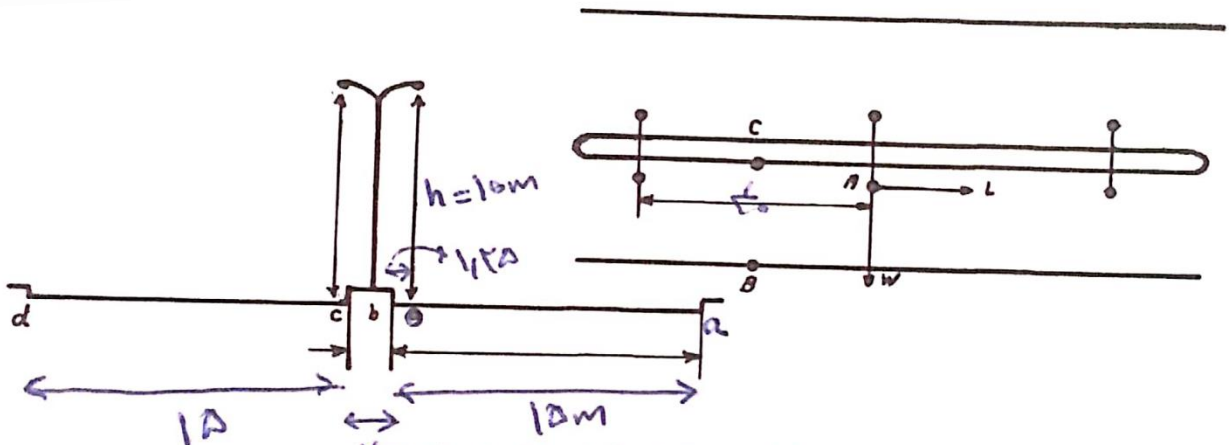
❖ طراحی روشنایی معابر

ج - در صورتی که نسبت یکنواختی بیشتر یا کمتر از حد مورد نظر باشد، می‌بایست با تغییر ارتفاع نصب، نوع لامپ و یا در صورت امکان ترتیب نصب چراغ، محاسبات را تکرار نمود تا یکنواختی مطلوب حاصل شود.

✓ روشنایی معابر

❖ طراحی روشنایی معابر

مثال ۶ـ۳ سیستم روشنایی بلواری در شکل ۶ ـ ۱۲ ترسیم شده است. در صورتی که از چراغ مدل شرکت میتسویی ژاپن و لامپ ۲۵۰ وات جیوه‌ای با شار نوری ۱۳۷۰۰ لومن استفاده شده باشد، مطلوب است بررسی سیستم. مشخصات نوری چراغ در شکل ۶ـ۱۳ نشان داده شده است. خیابان ازنظر حجم ترافیک متوسط، عبور و مرور عابرین سبک، ازنظر گرد و غبار چسبنده تمیز، طبقه‌بندی می‌شود. چراغها هر ۵ سال یکبار گردگیری می‌شوند.



شکل ۶ ـ ۱۲ : بلوار مثال ۶ ـ ۳

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ طراحی روشنایی معابر

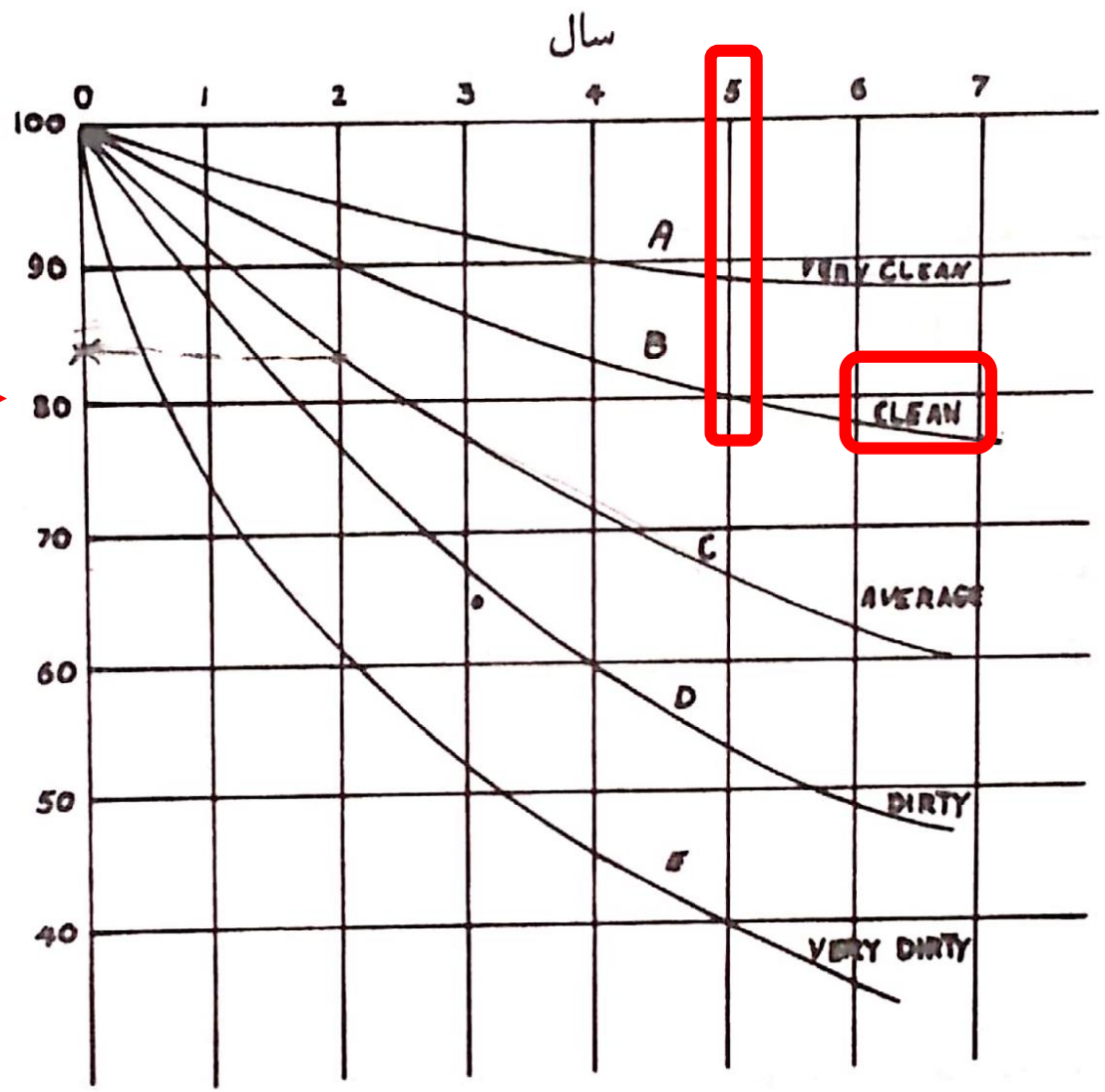
جدول ۶ـ۲ : شدت روشنایی متوسط خیابان براساس حجم عابرین و ترافیک
(توصیه انجمن مهندسان روشنایی آمریکا)

حجم عبور و مرور عابرین پیاده	حجم ترافیک تعداد وسایل نقلیه عبوری از دو طرف در ساعت در هنگام شب			
	خیلی سبک (زیر ۱۵۰)	سبک (۱۵۰ـ۵۰۰)	متوسط (۵۰۰ـ۱۲۰۰)	سنگین (بالاتر از ۱۲۰۰)
	شدت روشنایی (لوکس)	شدت روشنایی (لوکس)	شدت روشنایی (لوکس)	شدت روشنایی (لوکس)
سنگین	۶	۹	۱۱	۱۳
متوسط	۴	۶	۹	۱۱
سبک	۲	۴	۶	۹

روشنایی

✓ روشنایی معابر

LDDF



شکل ۶ ـ ۱۰ : منحنی ضریب کاهش نور بر اثر کثیف شدن سطح چراغ

✓ روشنایی معابر

❖ طراحی روشنایی معابر

با توجه به جدول ۶ـ ۲ مقدار شدت روشنایی متوسط لازم برابر ۶ لوکس به‌دست می‌آید. از روی منحنی شکل (۶ـ ۱۰) ضریب LDDF را برابر ۰/۸ می‌خوانیم.

ضریب LLDF را برابر ۰/۹ فرض کرده و خواهیم داشت:

$$LLF = LLDF \times LDDF = 0.9 \times 0.8 = 0.72$$

از منحنی طرف خیابان $\frac{oa}{h} = \frac{15 - 1.25}{10} = 1.375$ $CU_{oa} = 0.27$

از منحنی طرف پیاده‌رو $\frac{ob}{h} = \frac{1.25}{10} = 0.125$ $CU_{ob} = 0.04$

از منحنی طرف پیاده‌رو $\frac{oc}{h} = \frac{3.25}{10} = 0.325$ $CU_{oc} = 0.01$

از منحنی طرف پیاده‌رو $\frac{od}{h} = \frac{18.25}{10} = 1.825$ $CU_{od} = 0.26$

دانشگاه صنعتی سهند/دانشکده مهندسی برق/گروه قدرت/درس تأسیسات الکتریکی/کاظم وارثی

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ طراحی روشنایی معابر

$$CU_{cd} = CU_{od} - CU_{oc} = 0.26 - 0.01 = 0.25$$

$$CU = CU_{oa} + CU_{ob} + CU_{od} = 0.27 + 0.04 + 0.25 = 0.56$$

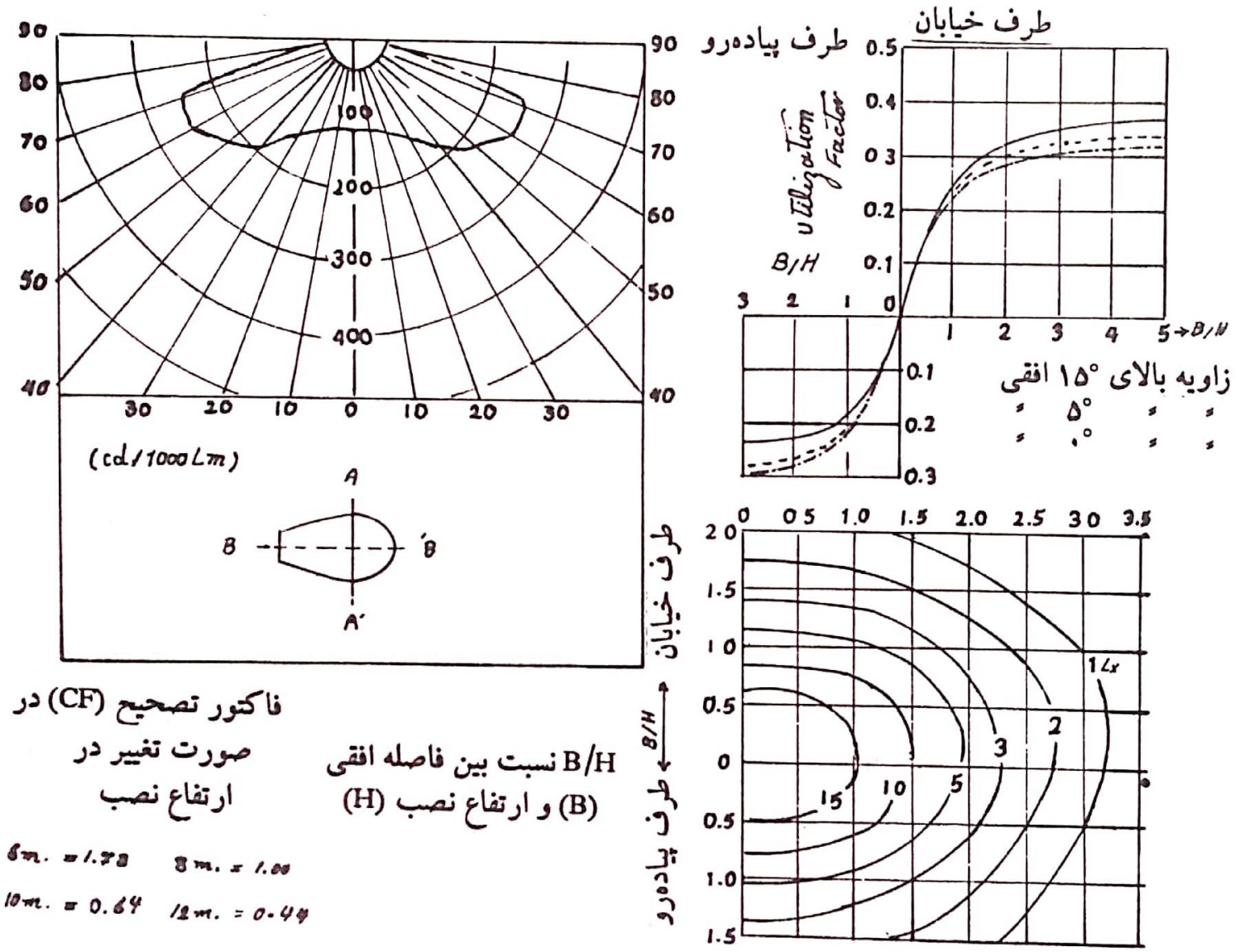
شدت روشنایی متوسط در سطح خیابان برابر است با:

$$E = \frac{2 \times 13700 \times 0.56 \times 0.72}{30 \times 40} = 9.2 \text{ لوکس}$$

لوکس $6 <$

روشنایی

✓ روشنایی معابر



شکل ۶ ـ ۱۳ : مشخصات چراغ مدل H738 شرکت میتسویی

روشنایی

✓ روشنایی معابر

❖ طراحی روشنایی معابر

ارتفاع نصب با توجه به شار نوری لامپ و جدول (۶ـ۶) ازنظر چشم‌زدگی مناسب است. نسبت یکنواختی را با استفاده از منحنیهای ایزولوکس شکل ۶ـ۱۳ محاسبه می‌کنیم. این منحنیها برای ارتفاع نصب ۸ متر ترسیم شده و همراه با آن ضریب تصحیح ۰/۶۴ برای ارتفاع نصب ۱۰ متر داده شده است.

محاسبات یکنواختی در جدول همین صفحه مندرج است. همچنان که از نتیجه محاسبات پیداست نسبت شدت روشنایی حداقل به متوسط، کمتر از مقدار استاندارد می‌باشد.

نقطه	L	W	$\frac{L}{h}$	$\frac{W}{h}$	E (لوکس) از منحنی	E تصحیح شده
A_1	۰	۰	۰	۰	۱۵	۹/۶
A_2	۰	۴	۰	۰/۴	۱۵	۹/۶
A_3	۴۰	۴	۴	۰/۴	۰/۵	۰/۳۲
A_5	۴۰	۴	۴	۰/۴	۰/۵	۰/۳۲
A_4	۴۰	۰	۴	۰	۰/۵	۰/۳۲
A_6	۴۰	۰	۴	۰	۰/۵	۰/۲۲
					جمع	۲۰/۴۸
B_1	۲۰	۱۳/۷۵	۲	۱/۳۷۵	۱/۸	۱/۱۵۲
B_4	۲۰	۱۳/۷۵	۲	۱/۳۷۵	۱/۸	۱/۱۵۲
B_2	۲۰	۱۷/۷۵	۲	۱/۷۷۵	۰/۹	۰/۵۷۲
B_3	۲۰	۰۱۷/۷۵	۲	۱/۷۷۵	۰/۹	۰/۵۷۲
					جمع	۳/۴۵۶
C_1	۲۰	۱/۲۵	۲	۰/۱۲۵	۴/۵	۲/۸۸
C_4	۲۰	۱/۲۵	۲	۰/۱۲۵	۴/۵	۲/۸۸
C_2	۲۰	۲/۷۵	۲	۰/۲۷۵	۴	۲/۵۶
C_3	۲۰	۲/۷۵	۲	۰/۲۷۵	۴	۲/۵۶
					جمع	۱۰/۸۸

✓ روشنایی معابر

$$\text{متوسط اولیه} = \frac{9.2}{0.72} = 12.78$$

$$\frac{E_{MIN}}{E_m} = \frac{3.456}{12.78} = \frac{1}{3.7} < \frac{1}{3}$$

$$\frac{E_{MIN}}{E_{MAX}} = \frac{3.456}{20.48} = \frac{1}{5.9} > \frac{1}{6}$$