

بررسی تطابق مقادیر روشنایی جاده‌های دسترسی و پارکینگ با استانداردهای فنی و ملاحظات اقتصادی

۱. مقدمه:

پیرو قرارداد طراحی روشنایی نیروگاه خورشیدی، مقادیر روشنایی جاده‌های داخلی (۲۰ لوکس) در اسناد قید گردیده است. این گزارش با هدف ارزیابی دقیق این مقادیر بر اساس استانداردهای معتبر بین‌المللی و همچنین بررسی ملاحظات اقتصادی و عملیاتی نیروگاه خورشیدی تهیه شده است.

۱. تحلیل روشنایی جاده‌های دسترسی بر اساس استاندارد EN13201:

استاندارد اروپایی EN13201، روشنایی معابر را بر اساس کلاس‌های مختلف (مانند C, P, M, ...) دسته‌بندی می‌کند که هر کلاس، متناسب با نوع کاربری، حجم تردد، و سطح ایمنی مورد نیاز، سطوح روشنایی مشخصی را تعیین می‌نماید.

- کلاس P: این کلاس عموماً برای معابر پیاده‌رو، فضاهای عمومی کم‌تردد، و مسیرهای خدماتی در نظر گرفته می‌شود که اولویت، ایمنی عابرین و قابلیت تشخیص موانع در سطح پایین‌تری نسبت به معابر اصلی ترافیکی قرار دارد.

- تطابق با جاده‌های داخلی نیروگاه: با توجه به ماهیت کم‌تردد و عمدتاً خدماتی جاده‌های داخلی نیروگاه، دسته‌بندی این مسیرها در معابر پیاده‌رو و کم‌تردد در کلاس P قرار می‌گیرند.

3. Lighting Classes

In the European Standard EN 13201-2:2015 "Road lighting - Part 2: Performance requirements" [2] a lighting class is defined by a set of photometric requirements aiming at the visual needs of certain road users in certain types of road areas under specified environmental conditions. In this European Standard [2] there are basically three different sets of lighting classes described: Lighting classes M classes for areas intended for motorized traffic, lighting classes C classes for conflict areas, and lighting classes P for pedestrian and low speed areas.

شایان ذکر است که تعیین سطوح روشنایی بالاتر از حد نیاز واقعی در این کلاس، منجر به انحراف از الزامات استاندارد و افزایش هزینه‌های غیرضروری می‌گردد.

۲. ملاحظات اقتصادی و عملیاتی روشنایی:

تعیین سطوح روشنایی باید با رویکرد بهینه‌سازی هزینه و عملکرد صورت پذیرد. افزایش سطح روشنایی (لوکس) به طور مستقیم منجر به پیامدهای زیر می‌شود:

- افزایش توان مصرفی: بالاتر بودن لوکس به معنای نیاز به توان (وات) بیشتر برای چراغ‌ها، که مستقیماً هزینه برق مصرفی را در طول دوره بهره‌برداری افزایش می‌دهد.

روشنایی مد نظر	توان مصرفی (KW)	تلفات (KW)	میانگین طول شب در سال (ساعت)	تعداد روز در سال	میانگین قیمت برق در سال (ریال)	هزینه کل برق مصرفی برای روشنایی (ریال)	اختلاف هزینه سالانه طرح استاندارد و قرارداد (ریال)
مطابق قرارداد	۶۶	۰.۶۶	۱۱.۹۱	۳۶۵	۸۵,۰۰۰.۰۰	۲,۶۸۲,۶۲۶,۲۶۵	۲,۱۴۶,۱۰۱,۰۱۲.۰۰
طرح استاندارد	۱.۳۲	۰.۱۳۲				۵۳۶,۵۲۵,۲۵۳	

همانطور که در جدول فوق مشاهده می‌گردد، طرح استاندارد ارائه شده در پیوست این گزارش، هزینه مصرف برق نیروگاه را بالغ بر ۲ میلیارد ریال در سال کاهش می‌دهد. از آنجاییکه هدف از تاسیس نیروگاه خورشیدی، بهره‌وری اقتصادی و کمک در کاهش ناترازی برق کشور می‌باشد، این افزایش مصرف خارج از استاندارد، توجیه فنی و اقتصادی نخواهد داشت.

- افزایش سرمایه‌گذاری اولیه: انتخاب چراغ‌های با توان بالاتر، دکل‌های بلندتر، و افزایش تعداد واحد روشنایی، سرمایه‌گذاری اولیه برای خرید تجهیزات، نصب، و زیرساخت‌های مرتبط (مانند کابل کشی و تابلو برق) را بالا می‌برد.

- افزایش هزینه‌های نگهداری: تعداد بیشتر تجهیزات و دکل‌ها، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات را نیز افزایش می‌دهد.

- اثرات منفی بر پنل‌های خورشیدی:

- سایه‌اندازی (Shading): افزایش تعداد و ارتفاع دکل‌های روشنایی، احتمال سایه‌اندازی بر روی پنل‌های خورشیدی را افزایش می‌دهد. این سایه‌اندازی، حتی به صورت موضعی، می‌تواند راندمان تولید انرژی نیروگاه را به طور قابل توجهی کاهش دهد و عملاً هدف اصلی احداث نیروگاه را تحت تاثیر قرار دهد. برآوردهای اولیه این شرکت حدود **۳ میلیارد ریال** زیان سالانه بخاطر سایه‌اندازی را نشان می‌دهد.

- خیرگی (Glare): نور بیش از حد یا نامناسب می‌تواند موجب خیرگی و کاهش دید اپراتورها و دوربین‌های مداربسته گردد.

با توجه به موارد فوق، به نظر می‌رسد تعیین سطح روشنایی ۲۰ لوکس برای جاده‌های داخلی نیروگاه، که در دسته معابر کم‌تردد قرار می‌گیرند، بیش از حد نیاز (Over-lighting) باشد. این مقدار اضافی، هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم

قابل توجهی را تحمیل کرده و مهم‌تر از آن، با افزایش احتمال سایه‌اندازی بر روی پنل‌ها، می‌تواند به بهره‌وری و بازدهی کلی نیروگاه آسیب برساند.

۳. اصلاح مقادیر و پیشنهاد:

- پیشنهاد می‌شود سطح روشنایی جاده‌های داخلی بر اساس کلاس P استاندارد EN13201 و با توجه به حجم واقعی تردد و الزامات ایمنی عملیاتی تعیین گردد. محاسبه دقیق این کلاس مطابق استاندارد EN13201 در پیوست آورده شده است.

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهاد نهایی:

با تأکید بر اولویت ایمنی، بهینه‌سازی هزینه‌ها، و حداکثرسازی راندمان تولید انرژی نیروگاه خورشیدی، پیشنهاد می‌شود مطابق با استانداردهای فنی و با در نظر گرفتن اثرات سایه‌اندازی بر پنل‌ها، سطح روشنایی جاده‌های دسترسی نیروگاه بازنگری و در صورت لزوم، تعدیل گردد. این اقدام منجر به کاهش قابل ملاحظه هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری، ضمن حفظ سطح ایمنی مورد نیاز، خواهد شد.

پیوست «آ»

محاسبه کلاس روشنایی

در استاندارد اروپایی EN 13201-2:2015 «روشنایی جاده - بخش ۲: الزامات عملکرد»، کلاس روشنایی توسط مجموعه‌ای از الزامات نورسنجی تعریف می‌شود که نیازهای بصری برخی از کاربران جاده را در انواع خاصی از مناطق جاده‌ای تحت شرایط محیطی مشخص هدف قرار می‌دهد. معیارهای کیفیت روشنایی که باید در نظر گرفته شوند، به نوع و کاربرد مناطق ترافیکی بستگی دارند. مقادیر تعیین شده برای این معیارها در ابتدا از کارهای تجربی گرفته شده بودند، اما در طول چند دهه با تجربه و مبانی علمی تعدیل شده‌اند.

کلاس‌های روشنایی P عمدتاً برای عابران پیاده و دوچرخه‌سواران رکاب‌زن و رانندگان وسایل نقلیه موتوری با سرعت کم و مسیرهای کم تردد، مسیرهای داخلی کارخانه‌های صنعتی کم تردد و نیروگاه‌ها، خطوط اضطراری یا پارکینگ و برای سایر مناطق جاده‌ای که به طور جداگانه یا در امتداد یک مسیر ترافیکی یا یک جاده مسکونی قرار دارند، در نظر گرفته شده‌اند. وظایف و نیازهای بصری رانندگی در مسیر کم تردد از بسیاری جهات با رانندگان جاده‌های شهری و برون شهری معمول متفاوت است. سرعت حرکت عموماً بسیار کمتر است و اشیاء مرتبط برای دیدن، نزدیک‌تر از اشیاء مهم جاده‌های معمولی هستند. این امر در پارامترها و گزینه‌های مرتبط برای انتخاب کلاس روشنایی P برای یک منطقه ترافیکی کم سرعت منعکس شده است.

جدول ۱: معیارهای انتخاب کلاس روشنایی P مطابق استاندارد EN13201

Parameter	Options	Weighting Value
Design speed	Low	1
	Very low (walking speed)	0
Use intensity	Busy	1
	Normal	0
	Quiet	-1
Traffic composition	Pedestrians, cyclists and motorized traffic	2
	Pedestrians and motorized traffic	1
	Pedestrians and cyclists only	1
	Pedestrians only	0
	Cyclists only	0
Parked vehicles	Present	1
	Not present	0
Ambient luminance	High	1
	Moderate	0
	Low	-1
Facial recognition	Necessary	Additional requirements
	Not necessary	No additional requirements

جدول ۱ پارامترهای مختلف برای انتخاب کلاس روشنایی P را به همراه گزینه‌های ممکن و مقادیر وزنی مرتبط، همانطور که در گزارش فنی CEN/TR 13201-1 ذکر شده است، فهرست می‌کند. برای تعیین کلاس روشنایی P که برای یک موقعیت معین، مثلاً یک ترکیب ترافیکی خاص، اعمال می‌شود، باید مقادیر وزنی مناسب انتخاب و جمع شوند تا مجموع به دست آید. سپس عدد کلاس روشنایی P به صورت ۶ منهای مجموع مقادیر وزنی محاسبه می‌شود. انتخاب دقیق مقادیر وزنی، اعداد کلاس بین یک تا شش را به دست می‌دهد.

جدول ۲: معیارهای انتخاب کلاس روشنایی P مطابق استاندارد EN13201 برای جاده‌های درون نیروگاه ۲۰ مگاواتی
زارچ

Parameter	Options	Weighting Value
Design speed	Low	1
	Very low (walking speed)	0
Use intensity	Busy	1
	Normal	0
	Quiet	-1
Traffic composition	Pedestrians, cyclists and motorized traffic	2
	Pedestrians and motorized traffic	1
	Pedestrians and cyclists only	1
	Pedestrians only	0
	Cyclists only	0
Parked vehicles	Present	1
	Not present	0
Ambient luminance	High	1
	Moderate	0
	Low	-1
Facial recognition	Necessary	Additional requirements
	Not necessary	No additional requirements

با توجه به رابطه گفته شده و مقادیر انتخاب شده در جدول فوق، کلاس جاده مربوطه P6 می‌شود.

با رجوع به جداول استاندارد، برای کلاس P6 مقادیر روشنایی زیر را داریم.

جدول ۳: مقادیر استاندارد برای روشنایی جاده‌های درون نیروگاه ۲۰ مگاواتی زارچ

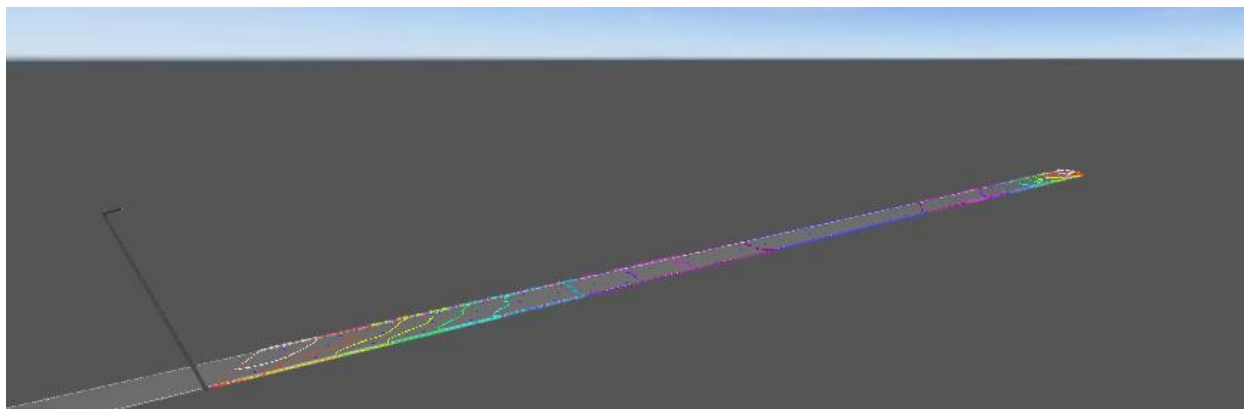
Lighting Class	Average horizontal illuminance $E_{h,av}$ in lx	Minimum horizontal illuminance $E_{h,min}$ in	Threshold increment TI in %	Additional requirement if facial recognition is necessary	
				Minimum vertical illuminance $E_{v,min}$ in lx	Minimum semi-cylindrical illuminance $E_{sc,min}$ in lx
P1	15	3.0	20	5.0	3.0
P2	10	2.0	25	3.0	2.0
P3	7.5	1.5	25	2.5	1.5
P4	5.0	1.0	30	1.5	1.0
P5	3.0	0.6	30	1.0	0.6
P6	2.0	0.4	35	0.6	0.4
P7	performance not determined			performance not determined	

برای روشنایی عابران پیاده و/یا مناطق کم‌سرعت، معیارهای روشنایی هنجاری مورد استفاده، میانگین روشنایی افقی حفظ‌شده ($E_{h,av}$) و حداقل روشنایی افقی حفظ‌شده ($E_{h,min}$) هستند. جدول ۳ نسخه اصلاح‌شده و تغییر یافته جدول مربوطه در استاندارد اروپایی EN 13201-2 است که علاوه بر این، توصیه‌هایی را برای محدود کردن خیرگی ناشی از معلولیت (که در پیوست D نشریه CIE 115:2010 ذکر شده‌اند) مشخص می‌کند.

اگر میانگین بازتاب (پخش) U مشخص باشد، کلاس‌های روشنایی مربوطه با سطح روشنایی (درخشندگی) قابل مقایسه را می‌توان با استفاده از فرمول $L_{av} = U / S \cdot E_{av}$ تعیین کرد. در مواردی که مناطق ترافیکی (مستقیم) به خوبی تعریف شده‌اند، مانند جاده مسکونی، پیاده‌رو یا مسیر دوچرخه‌سواری، به نظر می‌رسد استفاده از مفهومی مشابه نسبت روشنایی لبه که برای جاده‌های مخصوص ترافیک موتوری استفاده می‌شود، توصیه می‌شود. این امر به جلوگیری از قطع شدید روشنایی در لبه‌های منطقه ترافیکی کمک می‌کند و حس ایمنی و امنیت را بهبود می‌بخشد.

لذا با توجه به مقدار روشنایی ذکر شده در جداول استاندارد، شدت روشنایی مناسب برای جاده‌های داخلی نیروگاه برابر با میانگین 2Lux و یکنواختی ۰.۴ می‌باشد که برای جلوگیری از خیرگی رانندگان و اپراتورهای تعمیرات و نگهداری و سایر پرسنل نیروگاه، با آستانه افزایش ۳۵٪ در نظر گرفته می‌شود.

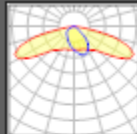
مطابق مقادیر استاندارد جهت بهینه‌ترین روشنایی ممکن، دکل‌ها در فاصله ۱۰۰ متری یکدیگر و با ارتفاع ۶ متر قرار می‌گیرند. شکل زیر چیدمان و نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزاری این محاسبات را نشان می‌دهد.



همچنین نمای بالایی سطوح روشنایی بصورت زیر می شود.



چراغ مورد استفاده نیز مشابه چراغ مازی نور **M318EULED3840-S** به مشخصات و منحنی پخش نور زیر می باشد.

Luminaire data sheet	
	
	
HALLEY 6400 lm 60W LED Urban light Luminaire ,Clear Temperad Glass , Gray Body , 4000K M318EULED3840-S	
Total luminous flux	6400 lm
Connected load	60.0 W
Description	
HALLEY LED luminaire is Mazinoor state of the art design for Urban light application.	