Civil and Project Journal, 2024, 6(8), 43-56
https://doi.org/10.22034/cpj.2024.461863.1299

Civil and Project Journal
http://www.cpjournals.com/

Research Article

Investigating the Impact of Sustainable Lighting Parameters on the Performance of Nighttime Construction Operations in Transportation Infrastructure

Yasaman Mataji[1], Vahid Faghihi[2]*

1-M.Sc. Student, Construction Engineering and Management Group, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.
2*-Assistant Professor, Construction Engineering and Management Group, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Receive Date: 08 May 2024; Revise Date: 14 June 2024; Accept Date: 16 June 2024; Published: 16 June 2024

Abstract:

Constructing and maintaining transportation infrastructure during the day face numerous challenges. Nighttime work is considered an alternative to overcome these challenges, offering benefits such as more efficient delivery of materials, reduced traffic, ease of transporting heavy equipment, and accelerated project completion. However, implementing operations during nighttime creates new management challenges, as conventional management and safety practices for daytime construction are unsuitable for a nighttime environment. One of the most important and effective challenges in this regard is providing suitable lighting in the workplace for the workers, as appropriate lighting directly affects safety and work quality. This study aims to investigate the lighting parameters that impact the performance of construction operations during nighttime in transportation infrastructure projects. The findings of this research will assist contractors and decision-makers in ensuring appropriate lighting in the workplace during operations so that improper lighting conditions do not hinder workers' safety, reduce efficiency, or increase energy consumption and costs.

Keywords: *Transportation Infrastructure, Nighttime, Work Area Safety, Sustainable Lighting, Illuminance Intensity, Glare, Light Uniformity.*

Cite this article as: Mataji, Y. and Faghihi, S. V. (2024). Investigating the Impact of Sustainable Lighting Parameters on the Performance of Nighttime Construction Operations in Transportation Infrastructure. *Civil and Project, 6*(8), 43-56. https://doi.org/10.22034/cpj.2024.461863.1299

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2023 by the authors.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Corresponding author E-mail address: vfaghihi@ut.ac.ir*

نشریه عمران و پروژه، ۱۴۰۳، ۶ (۸) ، ۴۳-۵۶ / متاجی, یاسمن و فقیهی, سیدوحید
https://doi.org/10.22034/cpj.2024.461863.1299

نشریه عمران و پروژه
http://www.cpjournals.com/

بررسی اثر پارامترهای روشنایی پایدار بر اجرای عملیات عمرانی در شیفت شب زیرساخت‌های حمل و نقل

یاسمن متاجی[۱]، سید وحید فقیهی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده مهندسی عمران، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲*- استادیار،گروه مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده مهندسی عمران، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۹ اردیبهشت ۱۴۰۳؛ تاریخ بازنگری: ۲۵ خرداد ۱۴۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۲۷ خرداد ۱۴۰۳، تاریخ انتشار آنلاین: ۰۱ آبان۱۴۰۳

چکیده:

ساخت و نگهداری زیرساخت‌های حمل و نقل در طول روز با چالش‌های متعددی روبه‌رو است. کار در شیفت شب به عنوان جایگزینی برای غلبه بر این چالش‌ها، مزایایی مانند تحویل کارآمدتر مصالح، کاهش ترافیک، سهولت جابه‌جایی تجهیزات سنگین و تسریع روند تکمیل پروژه را ارائه می‌دهد. با این حال اجرای عملیات در شیفت شب چالش‌های مدیریتی جدیدی را به همراه دارد، چرا که رویه‌های مدیریتی و ایمنی متداول در ساخت و سازهای روزانه، برای محیط شبانه مناسب نیستند. یکی از چالش‌های مهم و موثر در این زمینه ایجاد نور مناسب در محل کار کارگران می‌باشد و روشنایی مناسب محل کار به طور مستقیم با ایمنی و کیفیت کار ارتباط دارد. هدف از این پژوهش، بررسی پارامترهای روشنایی مؤثر بر اجرای عملیات عمرانی در شیفت شب در پروژه‌های زیرساخت‌های حمل و نقل است. یافته‌های این پژوهش به پیمانکاران و تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند از روشنایی مناسب منطقه‌ی کار کارگران در حین عملیات اطمینان حاصل کنند تا شرایط نوری نامناسب مانع ایمنی کارگران، کاهش بهره‌وری، مصرف بیش از حد انرژی و افزایش هزینه‌ها نشود.

کلمات کلیدی:

زیرساخت‌های حمل‌ونقل، شیفت شب، ایمنی منطقه کار، روشنایی پایدار، شدت روشنایی، خیرگی، یکنواختی نور.

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: vfaghihi@ut.ac.ir

۱- مقدمه

زیرساخت‌های حمل و نقل، از جمله بزرگراه‌ها، راه‌ها و جاده‌ها، شریان‌های حیاتی هر جامعه‌ای محسوب می‌شوند و عملکرد صحیح و ایمن آنها برای توسعه اقتصادی و اجتماعی ضروری است. با افزایش حجم ترافیک و نیاز به تعمیر و نگهداری مستمر این زیرساخت‌ها، یافتن روش‌های نوین برای انجام این عملیات به امری ضروری تبدیل شده است(سیلورستوف[۱] و همکاران، ۲۰۲۰). در دو دهه اخیر، شاهد افزایش قابل توجهی در اجرای پروژه‌های ساخت و ساز و تعمیر و نگهداری بزرگراه‌ها در شیفت شب در ایالات متحده بوده‌ایم(سیلورستوف و همکاران، ۲۰۲۰). هدف از این رویکرد، جلوگیری یا کاهش ترافیک سنگین و روان‌تر شدن تردد در جاده‌ها است. این رویه در سایر کشورهای پیشرفته نیز رواج یافته و آژانس‌های حمل و نقل در تلاش هستند تا با به حداقل رساندن ترافیک در زمان انجام عملیات تعمیر و نگهداری، از بروز اختلال در تردد و فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی جلوگیری کنند(نفخ[۲] و همکاران، ۲۰۲۲).

با وجود استفاده روزافزون از ساخت و ساز شبانه به عنوان یک استراتژی برای انجام پروژه‌های نگهداری و بازسازی جاده‌ها توسط وزارتخانه‌های حمل و نقل ایالتی[۳] و سایر نهادهای متولی راه‌ها و علیرغم تدوین و تصویب مقررات و استانداردها منطقه کار شبانه توسط مدیریت بزرگراه‌های فدرال[۴] در حال حاضر آمارهای اخیر نشان می‌دهد که تعداد مجروحان پروژه‌های ساخت بزرگراه در شب همچنان در حال افزایش است(نناجی[۵] و همکاران، ۲۰۲۰). این موضوع سبب شده است تا تصویر کاملی از مزایا و معایب ساخت و ساز شبانه برای بسیاری از نهادهای جاده‌ای ارائه نشود(هیاری و ال‌رایس[۶] ، ۲۰۰۶). پژوهش‌های متعددی در زمینه ساخت و ساز و تعمیر و نگهداری شبانه پروژه‌های زیرساخت‌های حمل و نقل انجام شده و این موضوع از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در حالی که انجام عملیات عمرانی در شب می‌تواند به کاهش چشمگیر ترافیک و روان‌تر شدن تردد منجر شود، نگرانی‌هایی در خصوص ایمنی رانندگان و کارگران حاضر در محل کار شبانه وجود دارد(الرحمان[۷]، ۲۰۰۸؛ نناجی و همکاران، ۲۰۲۰). نور کم و یا نور بیش از حد در محل کار می تواند باعث افزایش خطرات در منطقه کار شود، چراکه کیفیت کار و ایمنی کارگران در شب به دلیل نور ناکافی و نامناسب تحت تأثیر قرار می‌گیرد(هیاری و ال‌رایس، ۲۰۰۶). ایجاد نور مناسب و بهبود شرایط نورپردازی یک اقدام به سمت پایداری، کاهش مصرف انرژی، افزایش ایمنی و کاهش هزینه‌ها می‌باشد(عزام[۸] و همکاران، ۲۰۲۳).

بنابراین باتوجه به رشد روز افزون استفاده از ساخت و ساز شبانه در پروژه‌های زیرساخت‌های حمل و نقل، ضرورت بررسی مزایا و معایب و شناسایی عوامل مختلف مؤثر بر این روش با در نظر گرفتن شرایط و الزامات پروژه می‌تواند به تصمیم گیری در انتخاب روش مناسب برای اجرای عملیات در زیرساخت‌های حمل و نقل کمک شایانی کند.

۲- روش تحقیق

هدف این پژوهش بررسی و تحلیل پارامترهای روشنایی است که بر عملیات ساخت و نگهداری شیفت شب در پروژه‌های زیرساخت حمل و نقل تأثیر می‌گذارند. این بخش روش جامع پژوهش را که شامل مرور ادبیات ساختارمند و تلفیق یافته‌های منابع مختلف است، تشریح می‌کند.

برای اطمینان از اینکه موضوع به طور کامل بررسی شده‌است، مرور ادبیات شامل مراحل زیر بوده است:

[1] Seliverstov
[2] Nafakh
[3] Department of Transportation (DOT)
[4] Federal Highway Administration (FHWA)
[5] Nnaji
[6] Hyari & El-Rayes
[7] Elrahman
[8] Azzam

۱. **شناسایی و انتخاب کلمات کلیدی:** کلمات کلیدی مرتبط براساس تحقیقات اولیه شناسایی شدند. کلمات انتخاب شده عبارت بودند از: زیر ساخت‌های حمل و نقل[۹]، نگهداری جاده[۱۰]، ساخت و ساز شبانه[۱۱]، ایمنی محل کار[۱۲]، پارامترهای روشنایی[۱۳]، روشنایی پایدار[۱۴]، شدت روشنایی[۱۵]، خیرگی[۱۶] و نسبت یکنواختی[۱۷].

۲. **جستجو در پایگاه‌های داده:** برای جمع آوری ادبیات مرتبط پایگاه‌های داده علمی متعددی جست‌وجو شدند که این جست‌وجو محدود به مقالات علمی داوری شده، مقالات کنفرانسی و استانداردهای معتبر می‌شد. این پایگاه‌ها شامل گوگل اسکولار[۱۸]، Elsevier و ASCE Library بودند.

۳. **بررسی و انتخاب:** در جست‌وجوی اولیه تعداد زیادی از مقالات انتخاب و براساس عناوین و چکیده‌ها برخی از آن‌ها حذف شدند، سپس مقالاتی که مستقیماً به شیفت کاری در شب برای زیرساخت‌های حمل و نقل اشاره کرده بودند، برای بررسی دقیق‌تر انتخاب شدند.

۴. **استخراج و تلفیق داده‌ها:** از مقالات منتخب، عوامل مهم تأثیرگذار بر عملیات ساخت و نگهداری شبانه زیرساخت‌های حمل و نقل شناسایی شدند، سپس یافته‌ها تلفیق شدند تا موضوعات مشترک و مرتبط با پارامترهای روشنایی استخراج شود.

۵. **شناسایی پارامترهای روشنایی:** پارامترهای کمی و کیفی مؤثر بر روشنایی مناسب در منطقه کاری شبانه شناسایی شدند.

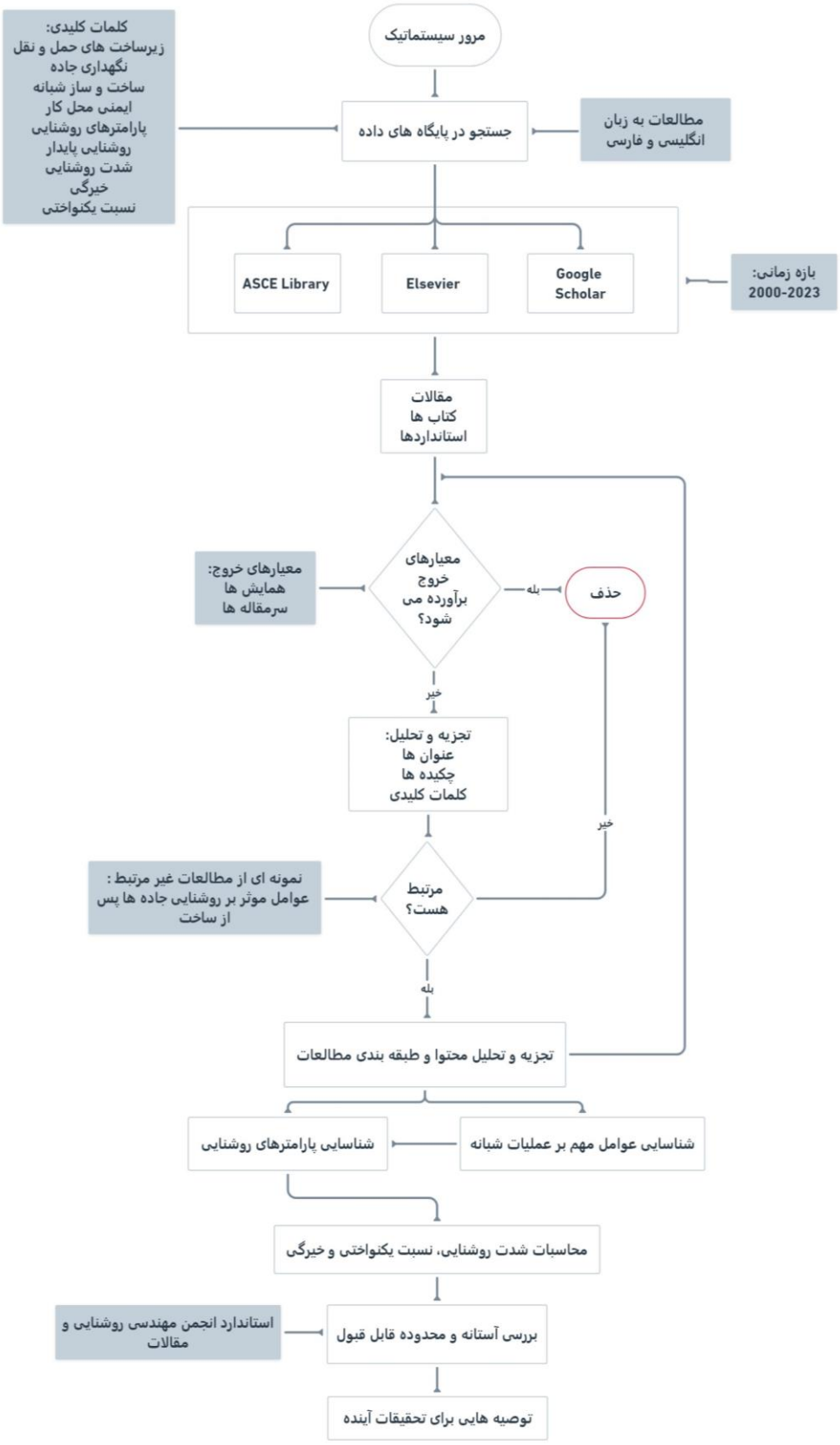
۶. **پارامترهای کمی:** محاسبات پارامترهای کمی، از جمله شدت روشنایی، نسبت یکنواختی و خیرگی مورد بررسی قرار گرفتند و عوامل موثر بر آنها شناسایی شدند.

۷. **بررسی استاندارد انجمن مهندسی روشنایی[۱۹]:** پس از شناسایی پارامترهای کمی مؤثر بر روشنایی مطلوب، با مطالعه استاندارد انجمن مهندسی روشنایی آستانه و محدوده‌ی قابل قبول هر یک از پارامترها براساس این استاندارد و مقالات مشخص شد.

مرور جامع ادبیات، درک روشنی از پارامترهای کلیدی روشنایی که بر ساخت و ساز شبانه در زیرساخت‌های حمل و نقل تأثیر می‌گذارند، ارائه داد. یافته‌های تلفیق شده بینش‌های ارزشمندی را فراهم می‌کنند تا شرایط روشنایی پایدار، ایمنی کارگران و بهره‌وری را افزایش دهد و در عین حال مصرف انرژی و هزینه‌ها را به حداقل برساند.

تصویر (۱) روند نمای پژوهش را نشان می‌دهد.

[9] Transportation infrastructure
[10] Road maintenance
[11] Nighttime construction
[12] Work area safety
[13] Lighting parameters
[14] Sustainable lighting
[15] Illuminance
[16] Glare
[17] Uniformity ratio
[18] Google Scholar
[19] Illuminating Engineering Society (IES)



شکل۱-روندنمای پژوهش

۳- عوامل مؤثر بر ساخت و نگهداری راه‌ها در شب

همان‌طور که قبل‌تر اشاره شد، به دلیل چالش‌های موجود در ساخت و ساز و نگهداری راه‌ها، بزرگراه‌ها و جاده‌ها در طول روز، فعال شدن شیفت شب به عنوان یک راه‌حل جایگزین مطرح می‌شود. این راه‌حل به دلایل زیر می‌تواند مؤثر باشد:

- **کاهش ترافیک:** یکی از مهم‌ترین مزایای ساخت و ساز شبانه، کاهش ترافیک در طول روز است. با انجام عملیات در شب، تردد وسایل نقلیه در جاده‌ها به حداقل می‌رسد و این امر سبب روان‌تر شدن ترافیک و صرفه‌جویی در زمان می‌شود(الکیسی و نصار[۲۰]، ۲۰۰۵).
- **استفاده از تجهیزات سنگین:** در طول روز، استفاده از تجهیزات سنگین در جاده‌ها به دلیل ترافیک سنگین ممکن است با محدودیت‌هایی مواجه باشد. در حالی که در شب، می‌توان بدون ایجاد مزاحمت برای ترافیک، از این تجهیزات به طور کامل استفاده کرد(چینچور و خیر[۲۱]، ۲۰۱۴).
- **تسریع روند پروژه:** با انجام عملیات در شب، می‌توان از ساعات بیشتری برای انجام کار استفاده کرد و این امر سبب تسریع روند پروژه و تکمیل آن در زمان کوتاه‌تر می‌شود(حماد[۲۲] و همکاران، ۲۰۱۶).

با این حال، برای اجرای موفقیت‌آمیز شیفت شب در پروژه‌های ساخت و نگهداری راه‌ها، باید به عوامل متعددی توجه داشت. این عوامل شامل ایمنی کارگران، کنترل ترافیک، بهره‌وری، کیفیت ساخت و ساز، شرایط رانندگی، هزینه ساخت و ساز، نارضایتی ساکنان، روشنایی مناسب و مصرف انرژی می‌باشند(هوانگ و تانگ[۲۳]، ۲۰۲۲). در جدول (۱) این عوامل به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

جدول۱ : عوامل تأثیرگذار بر ساخت و نگهداری راه‌ها در شب(هوانگ و تانگ، ۲۰۲۲)

عامل	توصیف
ایمنی پرسنل	ایمنی کارگران، وسایل نقلیه و عابران در طول شب کاهش می‌یابد و منجر به تصادفات و جراحات می‌شود.
کنترل ترافیک	برای کاهش تأثیرات منفی و تضمین عبور ایمن وسایل نقلیه، کنترل ترافیک ضروری است. در غیر این صورت، ترافیک و تصادفات افزایش می‌یابد.
بهره‌وری	کار در شب بهره‌وری را کاهش می‌دهد و خستگی بیشتری به دنبال دارد که منجر به کاهش کیفیت کار می‌شود.
کیفیت ساخت و ساز	به دلیل عدم نور کافی و عدم عادات کاری شبانه، کیفیت ساخت و ساز کاهش می‌یابد و ممکن است منجر به دوباره‌کاری شود.
شرایط رانندگی	به دلیل نور کم و دید محدود، شرایط رانندگی خطرناک‌تر می‌شود و احتمال وقوع تصادفات افزایش می‌یابد.
هزینه	به دلیل نیاز به تجهیزات و روشنایی خاص برای کار در شب و دستمزد بالای کارگران، هزینه‌های ساخت و ساز افزایش می‌یابد.
نارضایتی	صدای ناشی از ساخت و ساز در شب می‌تواند باعث نارضایتی ساکنین اطراف شود.
روشنایی	روشنایی نامناسب می‌تواند به کارگران آسیب برساند و باعث خستگی و کاهش بهره‌وری شود.
انرژی	به دلیل نیاز به روشنایی مصنوعی در شب، مصرف انرژی افزایش می‌یابد.

بررسی دقیق این عوامل می‌تواند به برنامه‌ریزی بهتر و کاهش مشکلات مرتبط با این نوع عملیات کمک کند. علاوه بر این، شناخت مزایا و معایب انجام عملیات ساخت و ساز در شب نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مزایا و معایب این نوع

[20] Al-Kaisy & Nassar
[21] Chinchore & Khare
[22] Hammad
[23] Huang & Tang

عملیات را باتوجه به عوامل مؤثر بر آن می‌توان در پارامترهای مربوط به ترافیک، ساخت و ساز، اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی مطابق جدول (۲) طبقه‌بندی کرد(الکیسی و نصار، ۲۰۰۵).

جدول۲ : مزایا و معایب عملیات ساخت و نگهداری راه‌ها در شب

پارامتر	عامل	مزایا	معایب
ترافیک	تراکم	کاهش قابل توجه در ترافیک و تأخیرات رانندگان(الرحمان، ۲۰۰۸).	-
	کنترل ترافیک	انعطاف در منطقه کاری به دلیل تداخل کمتر ترافیکی و بهبود سطح خدمات افزایش می‌یابد(الرحمان، ۲۰۰۸).	به کنترل ترافیک پیشرفته نیاز است که باعث بالا رفتن هزینه‌ها می‌شود(هیاری و ال‌رایس، ۲۰۰۶).
	ایمنی	کاهش تردد ها در شب منجر به کاهش تصادفات می‌شود(الکیسی و نصار، ۲۰۰۵).	تصادفات ممکن است به دلیل دید کم و کاهش هشیاری کارگران و رانندگان افزایش یابد(الکیسی و نصار، ۲۰۰۵). روشنایی نامناسب می‌تواند باعث خیرگی رانندگان عبوری شود(نفخ و همکاران، ۲۰۲۲).
ساخت	کیفیت	دمای پایین‌تر در شب می‌تواند بر روی کیفیت کار کارگران و کیفیت مواد تأثیر مثبت بگذارد(وحید[24] و همکاران، ۲۰۱۴).	کاهش بهره‌وری کارگران و عدم تامین نور مناسب می‌تواند تأثیر منفی بر کیفیت بگذارد(الکیسی و نصار، ۲۰۰۵).
	بهره‌وری	تداخل کمتر ترافیکی می‌تواند بر بهره‌وری و کارایی کارگران تاثیر مثبت بگذارد(نفخ و همکاران، ۲۰۲۲).	کاهش دید در شب می‌تواند بر بهره‌وری کارگران تأثیر منفی بگذارد(نفخ و همکاران، ۲۰۲۲).
	تجهیزات	جابه‌جایی تجهیزات سنگین در شب راحت‌تر می‌باشد(چینچور و خیر، ۲۰۱۴).	تعمیر تجهیزات در طول شب ممکن است با مشکل مواجه شود(چینچور و خیر، ۲۰۱۴).
	عملیات کاری	تسریع در تکمیل پروژه به دلیل کار در دو شیفت کاری(حماد و همکاران، ۲۰۱۶).	برنامه‌ریزی کاری پیچیده‌تر می‌شود و مقررات محلی ممکن است کار در شب را محدود کند(حماد و همکاران، ۲۰۱۶).
اقتصادی	کسب و کارها	حذف کار در طول روز می‌تواند تأثیرات منفی بر مشاغل را کاهش دهد(الکیسی و نصار، ۲۰۰۵).	فعالیت‌های حمل و نقلی که به شب متکی هستند، تحت تأثیر قرار می‌گیرند(چینچور و خیر، ۲۰۱۴).
	رانندگان	کاهش ترافیک باعث صرفه جویی در زمان و مصرف سوخت رانندگان می‌شود(چینچور و خیر، ۲۰۱۴).	-
	ساخت	کاهش تداخلات ترافیکی می تواند هزینه‌ها را کاهش دهد(هیاری و ال‌رایس، ۲۰۰۶).	هزینه‌های تحویل مواد، حق الزحمه‌ها، هزینه‌های روشنایی و هزینه‌های کنترل ترافیک در شیفت شب افزایش می‌یابد(الرحمان، ۲۰۰۸).
اجتماعی	شرایط رانندگان	کاهش تأخیر و ترافیک در روز شرایط مناسب را برای راننده‌ها ایجاد می‌کند(الکیسی و نصار، ۲۰۰۵).	نگرانی‌ها در مورد خستگی و خواب‌آلودگی راننده‌ها افزایش می‌یابد(الکیسی و نصار، ۲۰۰۵).
	سلامت کارگران	کاهش ترافیک‌ها باعث کاهش آلودگی می‌شود در نتیجه کارگران کمتر درمعرض آلودگی قرار می‌گیرند(الرحمان، ۲۰۰۸).	خواب و زندگی اجتماعی کارگران دچار اختلال می‌شود و نارضایتی آن‌ها را همراه دارد(الرحمان، ۲۰۰۸).
زیست‌محیطی	آلودگی صوتی	-	صدا و لرزش‌ها در شیفت شب نارضایتی ساکنان را به همراه دارد(الکیسی و نصار، ۲۰۰۵).
	آلودگی نوری	-	روشنایی بیش از حد می‌تواند آلودگی نوری در محیط های اطراف ایجاد کند(نفخ و همکاران، ۲۰۲۲).
	هوا	آلودگی هوا به دلیل کاهش ترافیک‌ها کاهش می‌یابد(الکیسی و نصار، ۲۰۰۵).	-
	مصرف سوخت	به دلیل کاهش ترافیک، سوخت کمتری توسط وسایل نقلیه مصرف می‌شود(الکیسی و نصار، ۲۰۰۵).	-

بنابراین یکی از چالش‌های کلیدی در اجرای عملیات ساخت و ساز در شیفت شب، تأمین روشنایی مناسب در محل کار است. روشنایی مناسب نه تنها بر ایمنی و کارایی کارگران، بلکه بر کیفیت نهایی کار و هزینه‌های پروژه نیز تأثیر می‌گذارد.

[24] Wahid

۴- روشنایی پایدار

پایداری[۲۵] به عنوان یک ضرورت و راه‌حل مناسب برای مسائل زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی امروزه در کشورهای در حال توسعه مورد تأکید قرار گرفته‌است و طرح‌های پایدار نه تنها به بهبود شرایط زندگی شهروندان کمک می‌کنند بلکه به حفاظت از محیط‌زیست، کاهش تأثیرات منفی و ارتقای مسائل اقتصادی نیز می‌پردازند(زاوادسکاس[۲۶] و همکاران، ۲۰۱۸). روشنایی پایدار به معنای طراحی سیستمی است که هم‌زمان مسائل زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی را برآورده سازد.

- **اجتماعی:** از نظر بعد اجتماعی، کارگران در شیفت شب برای انجام فعالیت‌های مؤثر در محیط کار و تعامل کارآمد با تجهیزات، به روشنایی مطلوب نیازمند هستند. این نیاز، مبنایی برای طراحی و اجرای سیستم‌های روشنایی پایدار و مطلوب در فضاهای کاری است. روشنایی مناسب ایمنی و بهره‌وری را افزایش می‌دهد و به بهبود کیفیت کار و رضایت شغلی نیز کمک می‌کند(نفخ و همکاران، ۲۰۲۲).
- **اقتصادی:** در بعد اقتصادی، روشنایی پایدار به معنای استفاده از تجهیزات روشنایی کمتر با بهره‌وری بالا و طراحی بهینه است به گونه‌ای که هزینه‌های نصب و نگهداری کاهش یابد و در هزینه‌های عملیاتی صرفه‌جویی شود(هیاری و ال‌رایس، ۲۰۰۶).
- **زیست‌محیطی:** در بعد زیست‌محیطی استفاده از منابع نوری کارآمد و تکنولوژی‌های پیشرفته برای عملیات شبانه، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد و به حفاظت از محیط‌زیست کمک می‌کند. همچنین، با جلوگیری از آلودگی نوری تنوع زیستی حفظ می‌شود و اختلالات زیست‌محیطی کاهش می‌یابد(نفخ و همکاران، ۲۰۲۲).

بنابراین روشنایی مطلوب، مفهومی جامع است که شامل مؤلفه‌های کمی و کیفی متعددی می‌شود(یاسوکوجی[۲۷] و همکاران، ۲۰۱۸). مؤلفه‌های کمی شامل شدت روشنایی، یکنواختی نور(هیاری و ال‌رایس، ۲۰۰۵؛ هیاری و ال‌رایس، ۲۰۰۶) و کنترل خیرگی(نفخ و همکاران، ۲۰۲۲) و مؤلفه‌های کیفی شامل طراحی مناسب محیط، جنبه‌های هنری، روانشناسی و زیبایی، طیف روشنایی منابع و دمای رنگ آن‌ها می‌باشد(گلمحمدی، ۱۳۹۵). تأمین تمامی معیارهای روشنایی مطلوب در بالاترین سطح، با چالش‌های اقتصادی، اجتماعی و اجرایی متعددی همراه است. طراحان سیستم‌های روشنایی باید با در نظر گرفتن این محدودیت‌ها، به دنبال راه‌حل‌هایی باشند که ضمن تأمین روشنایی مناسب، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه و از نظر اجتماعی و فرهنگی قابل قبول باشند.

۴-۱- پارامترهای کیفی

مؤلفه‌های کیفی برای تأمین روشنایی مطلوب شامل موارد زیر می‌باشد(گلمحمدی، ۱۳۹۵).

- **طراحی مناسب محیط:** طراحی فضا با در نظر گرفتن اصول ارگونومی و روانشناسی، می‌تواند به ایجاد محیطی کارآمد و دلنشین کمک کند.
- **جنبه‌های هنری، روانشناسی و زیبایی‌شناسی:** استفاده از نور در طراحی فضا می‌تواند به ایجاد حس آرامش، انگیزه و خلاقیت در افراد کمک کند.

[25] Sustainability
[26] Zavadskas
[27] Yasukouchi

- **طیف روشنایی منابع:** منابع نور با طیف‌های مختلف، اثرات متفاوتی بر ادراک انسان و محیط دارند. انتخاب طیف مناسب نور می‌تواند به ارتقای کیفیت دید و ایجاد فضایی دلنشین کمک کند.
- **دمای رنگ:** دمای رنگ نور به گرمی یا سردی آن اشاره دارد. انتخاب دمای رنگ مناسب می‌تواند به ایجاد حس تعادل و آرامش در فضا کمک کند.

۲-۴- پارامترهای کمی

عوامل کمی مهم در تعیین روشنایی مناسب منطقه کاری شامل موارد زیر می‌باشد:

- **شدت روشنایی:** این پارامتر نشان می‌دهد که یک محیط چه مقدار روشن است و میزان مطلوب شدت روشنایی بر اساس نوع فعالیت و کاربری فضا تعیین می‌شود(زائونر و پلیشکه[۲۸]، ۲۰۲۱).
- **یکنواختی نور:** توزیع نور در سراسر فضای کار باید طوری باشد که سایه‌های مزاحم ایجاد نشود و به طور یکنواخت در محل کار توزیع شود(هیاری و ال‌رایس، ۲۰۰۵).
- **کنترل خیرگی:** باید از خیرگی ناشی از نورپردازی جلوگیری شود، زیرا این امر می‌تواند باعث خستگی چشم و کاهش تمرکز شود. با انتخاب مصالح مناسب و طراحی صحیح سیستم روشنایی، می‌توان از ایجاد این پدیده جلوگیری شود(نفخ و همکاران، ۲۰۲۲).

۱-۲-۴- شدت روشنایی

شدت روشنایی، یکی از مفاهیم کلیدی در علم نورپردازی است که به سنجش میزان نوری که به یک سطح می‌رسد، می‌پردازد. این کمیت، نشان‌دهنده‌ی جریان نور بر حسب لومن در واحد زمان (ثانیه) است. در سیستم‌های اندازه‌گیری متداول، شدت روشنایی با واحد لوکس[۲۹] سنجیده می‌شود(کافمن و هاینز[۳۰]، ۱۹۸۱).

در علم نورپردازی، قانون عکس مجذور فاصله از اصول بنیادی برای محاسبه شدت روشنایی در یک نقطه خاص از یک منبع نور نقطه‌ای به شمار می‌رود. این قانون بیان می‌کند که شدت نور تابیده شده از منبع نور با مجذور فاصله آن نقطه از منبع نور نسبت معکوس دارد. به عبارت دیگر، هرچه فاصله از منبع نور بیشتر باشد، شدت نور در آن نقطه کمتر خواهد بود(شاو[۳۱] و همکاران، ۲۰۱۸). رابطه (۱) بر پایه قانون عکس مجذور فاصله می‌باشد و برای محاسبه شدت روشنایی در نقطه i از یک منبع نور نقطه‌ای p، استفاده می‌شود(انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی[۳۲]، ۲۰۲۲):

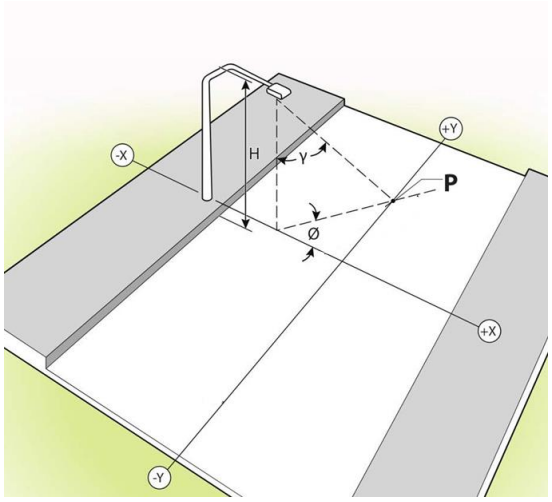
$$E_{pi}=\frac{I_{pi}(\emptyset,\gamma)\times(\cos\gamma)^3\times LLF}{H^2} \quad (۱)$$

که پارامترهای آن مطابق تصویر(۲) به شرح زیر می‌باشد:

- E_{pi}: شدت روشنایی نقطه P توسط منبع نور i ام را برحسب لوکس بیان می‌کند.
- $\emptyset$: زاویه فتومتری افقی برحسب درجه، زاویه‌ای است که بین محور افقی (سطح زمین) و جهت تابش نور از منبع نور در یک صفحه افقی ایجاد می‌شود. این زاویه نشان می‌دهد که نور در چه جهتی در سطح افق پخش می‌شود.

[28] Zauner & Plischke
[29] Lux
[30] Kaufman & Haynes
[31] Shaw
[32] Illuminating Engineering Society of North America

- γ: زاویه فتومتری عمودی برحسب درجه، زاویه‌ای است که بین محور عمودی و جهت تابش نور از منبع نور در یک صفحه عمودی (عمود بر سطح زمین) ایجاد می‌شود. به عبارت دیگر، این زاویه نشان می‌دهد که نور در چه جهتی در صفحه عمودی (از بالا به پایین یا از پایین به بالا) پخش می‌شود.
- $I_{pi}(\emptyset,\gamma)$: شدت نور منبع i ام در نقطه P تحت زاویه $\emptyset$ و زاویه γ برحسب کاندلا[۳۳] می‌باشد.
- H: فاصله عمودی بین منبع نور و سطح را برحسب متر بیان می‌کند.
- LLF: معیاری بی بعد برای سنجش افت نوردهی تجهیزات روشنایی می‌باشد. با گذشت زمان، عوامل مختلفی مانند گرد و غبار، فرسودگی و آلودگی می‌توانند منجر به کاهش میزان نور خروجی شوند. مقدار توصیه شده برای این فاکتور در شرایط معمولی ۰,۷ تا ۰,۹ است. با این حال، در مکان‌هایی که با سطوح بالای گرد و غبار و آلاینده‌ها مواجه هستیم، به منظور ارائه برآوردی دقیق‌تر از افت نور، ممکن است لازم باشد از مقادیر پایین‌تر، مانند ۰,۵، برای این فاکتور استفاده شود(شاو و همکاران، ۲۰۱۸).



شکل۲-زوایای هندسی در محاسبات شدت روشنایی(انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی، ۲۰۲۲)

مطابق رابطه (۲) در محیط‌هایی با بیش از یک منبع نور، شدت روشنایی سطح برابر با مجموع روشنایی‌های ناشی از منابع نور متعدد در تمامی نقاط سطح می‌باشد.

$$E_{total}=\sum_{p=1}^{p}\sum_{i=1}^{i}E_{pi} \qquad (۲)$$

هم‌چنین برای محاسبه میانگین شدت روشنایی برحسب لوکس یک محیط از رابطه (۳) که نسبت مجموع شدت روشنایی سطح (برحسب لوکس) به مجموع تعداد نقاط است، استفاده می‌کنیم.

$$E_{avg}=\frac{E_{total}}{p} \qquad (۳)$$

بنابراین میانگین شدت روشنایی معیار مناسبی برای ارزیابی سطح روشنایی مناسب یک محیط می‌باشد که جدول (۳) سطوح روشنایی مورد نیاز برای فعالیت های مختلف ساخت و ساز راه‌ها را براساس استاندارد انجمن مهندسی روشنایی نشان می‌دهد(انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی، ۲۰۲۲). این اطلاعات می تواند برای طراحی سیستم‌های روشنایی و اطمینان از اینکه کارگران در محیط های کاری ایمن و سالم کار می‌کنند، استفاده شود(الکیسی[۳۴] و همکاران، ۲۰۰۳).

[33] Candela (cd)
[34] Al-kaisy

جدول۳: سطوح روشنایی توصیه شده (الکیسی و همکاران، ۲۰۰۳)

سطح یک: ساخت و ساز عمومی
حداقل: ۴۰ لوکس هدف: ۱۱۰-۵۵ لوکس حداکثر: ۲۷۰ لوکس
مکان‌هایی که کارگران در نزدیکی تجهیزات با سرعت کم هستند و اشیایی که باید دیده شوند نسبتا بزرگ هستند.
سطح دو: ساخت و ساز تخصصی
حداقل: ۸۰ لوکس هدف: ۱۶۰-۱۱۰ لوکس حداکثر: ۳۸۰ لوکس
نصب علائم راهنمایی و رانندگی، خط‌کشی آسفالت و عایق بندی و درزگیری.
سطح سه: عملیات با دقت بالا
حداقل: ۱۶۰ لوکس هدف: ۳۲۰-۲۲۰ لوکس حداکثر: ۴۸۰ لوکس
نصب سیستم روشنایی بزرگراه، نصب علائم راهنمایی و رانندگی و تعمیر روسازی.

۲-۲-۴- یکنواختی نور

توزیع یکنواخت نور در منطقه کاری، از ایجاد نقاط تاریک و خیرگی ناخواسته جلوگیری می‌کند و به ایجاد حس تعادل و تناسب در محیط کمک می‌کند. رابطه (۴) نشان می‌دهد برای محاسبه یکنواختی نور یک منطقه که پارامتری بدون بعد می‌باشد از نسبت میانگین شدت روشنایی (E_{avg}) به حداقل شدت روشنایی (E_{min}) محاسبه شده در آن محیط، استفاده می‌شود(هیاری و ال‌رایس، ۲۰۰۵).

$$Uniformity\ Ratio = \frac{E_{avg}}{E_{min}} \qquad (۴)$$

لازم به ذکر است که هرچه مقدار نسبت یکنواختی کاهش یابد، به این معنی که تفاوت بین تاریک‌ترین نقطه و میانگین شدت روشنایی در منطقه کاری کمتر شود، یکنواختی نور در محل پروژه بهبود می‌یابد. نسبت یکنواختی مناسب نور در یک محیط از ۳ تا ۱۰ بسته به نوع محیط متغیر است(انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی، ۲۰۲۲).

۳-۲-۴- خیرگی

خیرگی حالتی است که به واسطه درخشندگی‌های[۳۵] زیاد درون میدان دید ایجاد می‌شود. این درخشندگی‌ها بیشتر از میزان درخشندگی هستند که چشم به آن عادت کرده‌است و باعث آزار، ناراحتی یا کاهش عملکرد و دید می‌شود.

خیرگی محدود کننده[۳۶]زمانی رخ می‌دهد که نوری با شدت بسیار بالا به طور مستقیم به چشم وارد شود و باعث افت دید موقت و تاری دید شود. این نوع از خیرگی با استفاده از نسبت درخشندگی پوشش[۳۷] قابل ارزیابی می‌باشد که این نسبت به شدت روشنایی عمودی و درخشندگی سطح آسفالت وابسته می‌باشد(ال‌رایس[۳۸] و همکاران، ۲۰۰۷).

نسبت روشنایی پوششی پارامتری بی بعد است که از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$Veiling\ Luminance\ Ratio = \frac{max \sum_{i=1}^{i} (L_V)_{wi}}{L_{avg}} \qquad (۵)$$

[35] Luminance
[36] Disability Glare
[37] Veiling Luminance Ratio
[38] El-Rayes

در این رابطه $max\ \sum_{i=1}^{i}(L_V)_{wi}$ بیشترین خیرگی محدود کننده برحسب لوکس است که کارگر در نقطه w توسط منبع نور i تجربه می‌کند و L_{avg} متوسط درخشندگی روسازی محاسبه شده برحسب لوکس می‌باشد.

رابطه (۶) تا (۹) محاسبات خیرگی محدود کننده را طبق استاندارد انجمن مهندسی روشنایی نشان می‌دهد(انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی، ۲۰۲۲).

$$(L_V)_{wi}=(\frac{K}{\theta^n})_{wi} \quad (۶)$$

$$K_{wi}=10\times VE_{wi} \quad (۷)$$

$$VE_{wi}=\frac{I_{wi}\times\sqrt{\Delta x_{wi}{}^2+\Delta y_{wi}{}^2}}{\left(\sqrt{\Delta x_{wi}{}^2+\Delta y_{wi}{}^2+(h-h_w)^2}\right)^3} \quad (۸)$$

$$n=\begin{cases}2.3-(0.7\times\log\theta_{wi}) & \theta_{wi}<2^\circ\\ 2 & \theta_{wi}\geq 2^\circ\end{cases} \quad (۹)$$

پارامتر های موجود در این روابط به شرح زیر می‌باشند:

- w: محل قرار گیری کارگر.
- i : محل قرار گیری منبع نور i ام.
- $(L_V)_{wi}$: خیرگی محدود کننده برحسب لوکس است که کارگر در نقطه w توسط منبع نور i تجربه می‌کند.
- VE_{wi}: شدت روشنایی عمودی توسط منبع نور i در نقطه w برحسب لوکس می‌باشد.
- I_{wi}: شدت نور منبع i ام در نقطه w برحسب کاندلا می‌باشد.
- Δx_{wi}: فاصله نقطه w از نقطه i در راستای محور x برحسب متر.
- Δy_{wi}: فاصله نقطه w از نقطه i در راستای محور y برحسب متر.
- h_w: فاصله عمودی سطح زمین تا چشم کارگر برحسب متر.
- θ_{wi}: مطابق شکل (۳) زاویه بین فاصله نقطه p و منبع نور i ام از چشم کارگر در نقطه w برحسب درجه می باشد.

برای محاسبات دقیق‌تر خیرگی محدود کننده سن کارگر باید در نظر گرفته شود. طبق استاندارد انجمن مهندسی روشنایی خیرگی محدود کننده‌ای که در رابطه (۶) محاسبه شد، باید در فاکتور سن[39] ضرب می‌شود. فاکتور سن مطابق رابطه (۱۰) برحسب سن کارگر محاسبه می‌شود.

$$AF=1+\left(\frac{Age}{70}\right)^4 \quad (۱۰)$$

هم‌چنین برای محاسبه متوسط شدت روشنایی روسازی (برحسب لوکس) از رابطه (۱۱) و (۱۲) استفاده می‌شود.

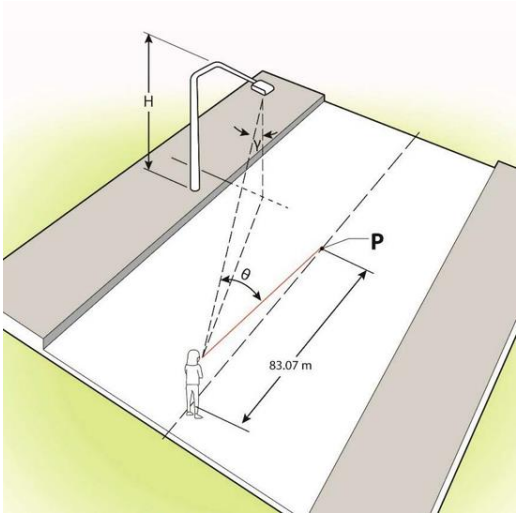
[39] Age Factor

$$L_{avg}=\frac{\sum_{p=1}^{p}\sum_{i=1}^{i} L_{wpi}}{p} \qquad (۱۱)$$

$$L_{wpi}=\frac{I_{wpi}\times r_{wpi}}{h^2} \qquad (۱۲)$$

که در این روابط L_{wpi} شدت روشنایی روسازی منعکس شده ناشی از منبع نور i در نقطه p به چشم کارگر در موقعیت w برحسب لوکس می‌باشد، پارامتر r ضریب بازتاب سطح (بدون بعد) و پارامتر I شدت نور (برحسب کاندلا) می‌باشد.

مطابق تصویر (۳) در محاسبات نسبت درخشندگی پوششی ارتفاع چشم کارگر ۱,۴۵ متر بالاتر از سطح جاده و با زاویه‌ی دید یک درجه به سمت پایین در نظر گرفته می‌شود. این هندسه، موقعیت کارگر را در ۸۳,۰۷ متری جلوتر از هر نقطه محاسبه قرار می‌دهد. کارگر به هر نقطه که نگاه می‌کند، این رابطه هندسی ثابت را حفظ می‌کند(انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی، ۲۰۲۲).



شکل۳- روابط هندسی موقعیت کارگر در محاسبات نسبت درخشندگی پوششی(انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی، ۲۰۲۲)

حداکثر نسبت درخشندگی پوششی محاسبه شده از روابط بالا باید از حداکثر مقدار این نسبت براساس جدول (۴) کمتر باشد تا محیط مناسبی برای کارگران ایجاد شود(بویس[40]، ۲۰۰۸).

جدول۴ : حداکثر نسبت روشنایی پوششی

نوع راه	حداکثر نسبت روشنایی پوششی
آزاد راه، بزرگراه و جاده‌های اصلی	۰,۳
جاده‌های محلی	۰,۴

بنابراین طبق روابط بالا پارامترهای مؤثر بر نسبت درخشندگی پوششی شامل ارتفاع نصب، توان خروجی، زاویه چرخش و زاویه هدف لامپ‌ها و ویژگی‌های روسازی می‌باشد.

[40] Boyce

۵- بحث و نتیجه‌گیری

مهم‌ترین مزایای ساخت و ساز، تعمیر و نگهداری در شیفت شب زیرساخت‌های حمل و نقل کاهش تأخیرها، اختلالات ترافیکی و تسریع در تکمیل پروژه می‌باشد در حالی که مهم‌ترین نگرانی در عملیات شبانه کاهش دید در شب برای کارگران است. مطالعات نشان داد که روشنایی مناسب در شیفت شب نقش کلیدی را در ارتقای ایمنی، بهره‌وری، سلامت و رضایت شغلی کارکنان و کیفیت نهایی پروژه ایفا می‌کند. کنترل حدود و آستانه‌ی پارامترهای کمی مؤثر بر روشنایی در عملیات شبانه می‌تواند محیط کاری مناسب‌تری را برای کارگران فراهم کند.

این پژوهش نشان می‌دهد که دستیابی به روشنایی پایدار و مناسب در منطقه کاری شبانه مستلزم رعایت موارد زیر است:

- تأمین شدت روشنایی کافی برای انجام فعالیت‌ها و توزیع یکنواخت نور در سطح کارگاه از عوامل کلیدی در کاهش حوادث و افزایش کارایی و بهره‌وری می‌باشند.
- شدت روشنایی مناسب بسته به نوع و سطح پیچیدگی کارهایی که در محیط انجام می‌شود، متفاوت است. بر اساس سطح کار که در جدول ۳ به سه دسته تقسیم شده است، شدت روشنایی باید در محدوده ۴۰ تا ۴۸۰ لوکس تنظیم شود. کارهای سطح یک که نیاز به دقت کمتری دارند، ممکن است به حداقل شدت روشنایی ۴۰ لوکس نیاز داشته باشند. در مقابل، کارهای سطح سه که نیاز به دقت بالاتری دارند، نیازمند شدت روشنایی بیشتری هستند و ممکن است به حداکثر ۴۸۰ لوکس برسند. این آستانه‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که اطمینان حاصل شود هر نوع فعالیت در محیط کار دارای روشنایی کافی و مناسب برای حفظ ایمنی و کارایی می‌باشد.
- برای توزیع یکنواخت نور در محیط کار، ضروری است که نسبت یکنواختی نور، که بیانگر توزیع همگن روشنایی در سرتاسر محیط کاری است، در محدوده‌ای بین ۳ تا ۱۰ قرار گیرد. این بدان معناست که تفاوت میان نواحی روشن و کم‌نور در محیط کار نباید زیاد باشد تا کارگران بتوانند به راحتی و بدون ایجاد خستگی چشم یا کاهش دید، وظایف خود را انجام دهند. حفظ این نسبت یکنواختی به کاهش سایه‌ها و نواحی بسیار روشن یا بسیار تاریک کمک می‌کند، که در نهایت منجر به افزایش ایمنی و کارایی در محیط کار می‌شود.
- علاوه بر شدت روشنایی و یکنواختی نور، کنترل خیرگی نیز از پارامترهای قابل اندازه‌گیری مهم در عملیات شبانه می‌باشد زیرا کنترل آن از ایجاد مزاحمت‌های بصری و خستگی چشم کارگران جلوگیری می‌کند، که در نهایت به بهبود تمرکز و عملکرد آنها می‌انجامد. خیرگی را می‌توان با نسبت درخشندگی پوششی ارزیابی کرد و برای ایجاد محیط کاری مناسب برای کارگران این نسبت حداکثر می‌تواند ۰,۴ در نظر گرفته شود.
- چیدمان، تعداد، نوع، زاویه تابش، زاویه چرخش، ارتفاع و توان خروجی منابع روشنایی از مؤلفه‌های مؤثر بر شدت روشنایی، نسبت یکنواختی و خیرگی محدودکننده می‌باشند که بر روشنایی مطلوب منطقه کاری تاثیرگذار هستند.
- برای ایجاد روشنایی مناسب و ایجاد نور کافی در شیفت شب، لازم است خصوصیات پروژه و جزئیات موجود و حیاتی در سایت پروژه با در نظر گرفتن سن و توانایی بینایی کارگران بررسی و شناسایی شود.

۶- محدودیت‌ها و آینده پژوهش

یکی از محدودیت‌های اصلی این پژوهش، عدم بررسی جامع بعد زیست‌محیطی روشنایی پایدار است. به ویژه، مسائلی مانند آلودگی نوری که می‌تواند تأثیرات منفی گسترده‌ای بر محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها داشته باشد. آلودگی نوری به معنی انتشار بیش از حد یا نادرست نور مصنوعی است که منجر به روشن شدن غیرضروری فضاهای بیرونی و آسمان شب می‌شود. این پدیده می‌تواند به مختل شدن چرخه‌های طبیعی حیات‌وحش، تاثیر منفی بر اکوسیستم‌ها و کاهش کیفیت زندگی انسان‌ها از طریق اختلال در خواب و افزایش استرس منجر شود. بنابراین، آلودگی نوری اهمیت بسیاری در رسیدن به روشنایی پایدار دارد و نیازمند تحقیقات جامع و دقیق‌تری است.

در آینده، پژوهش‌ها علاوه بر پارامترهای کمی، نیازمند بررسی هم‌زمان ابعاد اقتصادی، اجتماعی، و زیست‌محیطی نیز می‌باشند تا به تحقق روشنایی پایدار در ساخت و نگهداری زیرساخت‌ها در شیفت کاری شبانه دست یابند. با توجه به هزینه‌های اضافی و نیاز به تجهیزات ویژه جهت تأمین روشنایی مناسب، انجام ارزیابی‌های اقتصادی برای اجرای این نوع پروژه‌ها امر ضروری است. همچنین، استفاده از روش‌های نوین روشنایی که مصرف انرژی کمتری دارند و بهره‌وری بیشتری ارائه می‌دهند، می‌تواند به کاهش هزینه‌ها کمک کند.

علاوه بر این، در تحقیقات آینده می‌توان مدل‌هایی را برای بهینه‌سازی چیدمان، تعداد، ارتفاع، و زاویه وسایل روشنایی با در نظر گرفتن آستانه‌های موجود برای کمیت‌های روشنایی توسعه داد. این اقدامات می‌توانند به کاهش آلودگی نوری و صرفه‌جویی در مصرف انرژی کمک کرده و راهکارهای عملی و مؤثری برای دستیابی به روشنایی پایدار ارائه دهند.

مراجع

Al-Kaisy, A., & Nassar, K. (2005). Nighttime construction issues revisited. Journal of Construction Research, 6(1), 139–156. https://doi.org/10.1142/S1609945105000304

Azzam, R. A., El-Korany, T., & Eldosouky, A. I. (2023). Proposed model to study effect of lighting parameters on construction sites. Engineering Research Journal, 7(2), 195–203. https://doi.org/10.21608/ERJENG.2023.209711.1178

Boyce, P. R. (2008). Lighting for driving: Roads, vehicles, signs, and signals. CRC Press.

Chinchore, M. N. D., & Khare, P. R. (2014). Planning and selection of heavy construction equipment in civil engineering. International Journal of Engineering Research and Applications, 4(12), 29–31.

El-Rayes, K., Liu, L. Y., Soibelman, L., Hyari, K., Rehbolz, F. E., Al-Kaisy, A., & Nassar, K. (2003). Nighttime construction: Evaluation of lighting for highway construction operations in Illinois (Project VD-H1, FY 00/01, Report No. ITRC FR 00/01-2). Illinois Transportation Research Center, Illinois Department of Transportation.

El-Rayes, K., & Hyari, K. (2005). CONLIGHT: Lighting Design Model for Nighttime Highway Construction . Journal of Construction Engineering and Management, 131(4), 467–476. https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2005)131:4(467)

El-Rayes, K., Liu, L. Y., Pena-Mora, F., Boukamp, F., Odeh, I., Elseifi, M., & Hassan, M. (2007). Nighttime construction: Evaluation of lighting glare for highway construction in Illinois (Research Report FHWA-ICT-08-014). Illinois Center for Transportation.

Elrahman, O. A. (2008). Night-time road construction operations: Synthesis of practice. New York State Department of Transportation, Transportation Research & Development Bureau.

Golmohammadi, R. (2017). OEL assessment guideline for lighting (First). (EOHC), Environmental and Occupational Health Center. Persian.

Hammad, A. W. A., Akbarnezhad, A., & Rey, D. (2016). A multi-objective mixed integer programming model for minimising obtrusive effects and installation costs of night-time lighting on construction sites. In Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction (Vol. 33, pp. 1).

Huang, Y., & Tang, Y. (2022). Investigating the Impact Factors of Night Construction for Urban Road Projects. Frontiers in Business, Economics and Management, 6(2), 159–164. https://doi.org/10.54097/fbem.v6i2.3020

Hyari, K., & El-Rayes, K. (2006). Lighting Requirements for Nighttime Highway Construction. Journal of Construction Engineering and Management, 132(5), 435–443. https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2006)132:5(435)

Kaufman, J. E., & Haynes, H. (1981). IES lighting handbook: Reference volume and application volume.

Nafakh, A. J., Davila, F. V., Zhang, Y., Fricker, J. D., & Abraham, D. M. (2022). Workzone lighting and glare on nighttime construction and maintenance activities (Joint Transportation Research Program Publication No. FHWA/IN/JTRP-2022/16). West Lafayette, IN: Purdue University. https://doi.org/10.5703/1288284317379.

Nnaji, C., Jafarnejad, A., & Gambatese, J. (2020). Effects of wearable light systems on safety of highway construction workers. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, *25*(2), 04020003.

Seliverstov, S., Seliverstov, Y., Gavkalyk, B., & Fahmi, S. (2020). Development of transport infrastructure organization model for modern cities with growing effectiveness. Transportation Research Procedia, 50, 614–625.

Shaw, J. W., Bremer, W., Han, Y., Chitturi, M. V., Bill, A., & Noyce, D. A. (2018). Guidelines for work zone designers: Illumination for night construction (Guidebook No. DTHF6114H00011). Traffic Operations & Safety Laboratory, University of Wisconsin – Madison. Sponsored by Federal Highway Administration, Office of Operations.

Wahid, A. M. A., Tharim, A. H. A., Ahmad, A., Ismail, N. A., & Zainol, H. (2014). Night-time highway construction or maintenance/upgrading works: An analysis. Materials Science, Engineering and Chemistry, 8, 1–6.

Yasukouchi, A., Toda, N., & Noguchi, H. (2018). Optimal lighting conditions for office workers from the perspective of non-visual effects. KnE Life Sciences, 451–461.

Zauner, J., & Plischke, H. (2021). Designing light for night shift workers: Application of nonvisual lighting design principles in an industrial production line. Applied Sciences (Switzerland), 11(22). https://doi.org/10.3390/app112210896

Zavadskas, E. K., Šaparauskas, J., & Antucheviciene, J. (2018). Sustainability in construction engineering. Sustainability (Switzerland), 10(7), 1–7. https://doi.org/10.3390/su10072236