



The evaluation of luminance in a road tunnel based on CIE88-2004 standard to reduce road accidents

Ahmad Mehri†, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Iranshahr University of Medical Sciences, Iranshahr, Iran, & Department of occupational hygiene, School of Public Health, Hamadan university of medical sciences, Hamadan, Iran

Javad Sajedifar†, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Neyshabur University of Medical Sciences, Neyshabur, Iran, & Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Milad Abbasi, PhD Candidate, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Mehdi Jalali, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Neyshabur University of Medical Sciences, Neyshabur, Iran

Jamshid Gholampour, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Tahmineh Salehian, MSc of Midwifery, Department of Nursing & Midwifery, Iranshahr University of Medical Sciences, Iranshahr, Iran

Seyed Abolfazl Zakerian, (* Corresponding author) Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. zakerian@tums.ac.ir

Yoosef Faghiehnia Torshizi, Occupational Health Research Center, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

† These authors contributed equally to this work.

Abstract

Background and aims: Traffic safety is a major concern all around the world. In Iran, the number of road accidents and their fatalities is significantly higher than the world standard. The need for road tunnels increased with the development of road transport to reduce traffic congestion, reduce travel time and save energy. The construction of these tunnels created visual problems associated with the physiological mismatch of the drivers' eyes at the inlet and outlet of the tunnel resulting in an increased risk of traffic accidents. Therefore, standards were developed to improve safety and reduce traffic accidents in these tunnels, including CIE 88-2004, PR-22-05 and IESNA. In order to safely cross the road tunnel, it is essential that all drivers have sufficient information about the road ahead, potential obstacles, and the presence and performance of other drivers. Therefore, one of the key factors in preventing accidents in road tunnels is the installation of lighting systems. The purpose of lighting in road tunnels is to provide an appropriate degree of safety for drivers during entry, transit and exit of the road tunnel, both over the day and night. According to CIE 88-2004, the purpose of road tunnel lighting is to create a safe and comfortable environment throughout the tunnels so that drivers along the road will have sufficient information on the road, possible obstacles and the direction of movement of other vehicles. According to the CIE Technical Report, drivers have different visual problems as they approach, enter, and exit the tunnel. One of the main causes of road accidents in tunnels is the lack of design of an optimal lighting system. Therefore, the aim of this study is to evaluate the luminance in a road tunnel based on CIE88-2004 standard in order to reduce the number of accidents caused by visual problems.

Methods: In the present study, CIE88-2004 was used to evaluate the luminance in road tunnels. Early stages in assessing and evaluating luminance road tunnels include the determination of safety stop distance, equivalent veiling luminance, atmospheric luminance and wind screen luminance. The safety stop distance is equal to the sum of the distance between the barrier processing in the brain and the driver's motor response to the brake, so that this distance prevents the vehicle from colliding with potential obstacles in road tunnels. Equivalent veiling luminance is caused by the reflection of light from the environment around the tunnel, to the drivers' eyes, resulting in reduced contrast in the tunnels. Luminosity caused by factors such as dust in the atmosphere that make light scattering is called atmospheric luminance. One of the main reasons for the reduction of contrast in the eyes of drivers is due to the diffusion of light in the windshield. To determine the equivalent veiling luminance, photographic camera with 35mm lens and Holiday-Stiles was used. In order to determine the brightness of the equivalent view, the percentage of environmental factors (sky, road, rock, building and grassland) were determined by drawing a polarized halide diagram on the tunnel entrance photo and considering the networking of each segment of the rings. It should be noted that in some areas, the luminance level was not included in the luminance calculations due to the dashboard and the roof of the car, which prevents drivers from glaring. To determine the atmospheric luminance and wind screen luminance, HAGNER luminance meter model S3 was used. After determining the equivalent

Keywords

Tunnel,
Lighting design,
Luminance,
Illuminance,
CIE88-2004,
Traffic accidents

Received: 23/09/2018

Published: 29/07/2020

veiling luminance, atmospheric luminance and wind screen luminance of the vehicle, the required luminance in different areas of the study tunnel was designed using the CIE88-2004 standard. According to CIE-88-2004, in order to prevent road accidents caused by poor lighting, road tunnels are divided into 5 areas: access zone, threshold zone, transition zone, interior zone and exterior zone. The access zone is the distance before entering the tunnel which is equal to the length of the safety stop distance. The threshold zone is the first area inside the tunnel that requires a great deal of artificial lighting to manage and control the adverse effects of the black hole phenomenon. In the transition zone, due to the driver's transition from the bright environment outside the tunnel to the dark environment inside the tunnel, the eye must adapt to these changes in brightness. The interior zone is the longest area in the tunnel and usually requires low illuminance levels. Exterior zone; this area again prepares the eyes for sunlight and usually requires a high level of illuminance to adapt the eye from the tunnel to the light outside the tunnel.

Results: In determining the safety stop distance, the average reaction time was set to 1 second according to the CIE standard recommendation. Based on the tunnel location and the 10-year data of Ilam Weather Station No. 40780, the average annual rainfall was 73.8 days. According to the Paris recommendation, the coefficient of friction between the road and the tire in places where the average annual rainfall is more than 75 hours, the road condition is considered wet in access zone of tunnel. Therefore, the coefficient of friction between the road and the tire was 0.35, taking into account the wet road surface and the maximum speed allowed by vehicles passing through the tunnel. Then the safety stop distance in the tunnel was set 69.6 m. After estimating luminance in all polarized halide diagram rings, the equivalent veiling luminance was determined equal to 127.5 candela per m². Also, the wind screen luminance and atmospheric luminance were measured 234.4 and 308 candela per m², respectively. Then, according to these measurements, the required luminance levels in the first and the end of the second part of the threshold zone were determined as 576 and 230.6 candela/m², respectively. Then, according to the safety stop distance (69.6 m) and heavy traffic volume, the required luminance level of the interior zone was 6.2 candela/m². After determining the luminance in the interior zone of the tunnel, the type of tunnel (long, very long) must be specified. Therefore by reducing the length of the threshold zone (69.6 m), transition zone (432 m) and exterior zone (89.6 m) of the entire tunnel length (1200 m), the length of interior zone (608.8 m) was determined. Thus, by dividing the maximum permissible speed of vehicles inside the tunnel by the length of the interior zone, the time interval by the interior zone was determined to be 33.8 seconds. Because the time interval in the interior zone for studied tunnel was more than 30 seconds, the tunnel was classified as very long tunnel and the luminance in the second part of the interior zone was 2.3 Candela/m². Also, according to the CIE standard, the luminance at the end of the exterior zone increased by 5 times compared to the second part of the interior zone, which equals 11.5 candela per square meter.

Conclusion: Lighting in road tunnels is of particular importance as neglecting it can cause major problems with driver safety such as black hole phenomena (before entering the tunnel), mismatch (during tunnel entry) and white hole phenomena (as exiting the tunnel). In this study, the required luminance (designed) in the initial part of the threshold zone was 576 candela per square meter with respect to the equivalent veiling luminance resulted from the tunnel surrounding, wind screen luminance and atmospheric luminance. This amount of luminosity required at the tunnel entrance can be reduced in appropriate ways such as; installation of asymmetric lighting systems inside the tunnel (of course, asymmetric lighting systems have some disadvantages, such as the high need for the high ceiling, also, not adjusting asymmetric lighting systems in the opposite direction of traffic can increase the flicker effect). Another way to reduce the required luminance is to reduce the luminance of the surrounding of tunnel environment. By changing the surfaces around the tunnel from high reflective materials to low reflective materials (planting grass and trees), the level of luminance can be significantly reduced in the eyes of drivers in the tunnel access zone. In road tunnels, drivers should identify road barriers at least at safety stop distance to prevent accidents. Effective ways to quickly adapt the drivers' eyes to the dark inside the tunnel have been investigated, including the installation of semi-transparent structures to move the threshold zone to the outside of the tunnel. This allows the use of sunlight to achieve the desired luminance. Although most problems occur at tunnel entrances, the eye matching from low luminance inside the tunnel to high luminance outside the tunnel in the exterior zone of tunnel should not be ignored. Although this process is relatively fast, however, a high difference in luminance between the end of the tunnel and the environment outside the tunnels should be avoided.

Conflicts of interest: None

Funding: Tehran University of Medical Sciences

How to cite this article:

Mehri A, Sajedifar J, Abbasi M, Jalali M, Gholampour J, Salehian T, Zakerian SA, Faghihnia Torshizi Y. The evaluation of luminance in a road tunnel based on CIE88-2004 standard to reduce road accidents. *Iran Occupational Health*. 2020 (29 Jul);17:23.

*This work is published under CC BY-NC-SA 3.0 licence



ارزیابی درخشندگی در یک تونل جاده‌ای براساس استاندارد CIE88-2004 در جهت کاهش تصادفات رانندگی

احمد مهری: مربی، کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی در محیط کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، و گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی در محیط کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، ایران

جواد ساجدی فر: مربی، کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی در محیط کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی نیشابور، ایران، و گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی در محیط کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

میلاذ عباسی: دانشجوی دکتری تخصصی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

مهدی جلالی: مربی، کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی در محیط کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی نیشابور، ایران

جمشید غلامپور: گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی در محیط کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

تهمینه صالحیان: کارشناس ارشد مامایی، گروه پرستاری و مامایی، دانشکده پرستاری و مامایی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

سید ابوالفضل ذاکریان: (*نویسنده مسئول) گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی در محیط کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران. zakerian@tums.ac.ir

یوسف فقیه نیا ترشیزی: مرکز تحقیقات بهداشت کار، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: ایمنی ترافیکی یک نگرانی عمده در سراسر جهان است. در کشور ایران، آمار تصادفات جاده‌ای و تلفات ناشی از آن به مقدار قابل ملاحظه‌ای بیشتر از استاندارد جهانی است. آن‌چنان‌که با میزان بروز سالیانه ۳۲ مورد در صد هزار نفر، دومین علت مرگ‌ومیر و شایع‌ترین علت مصدومیت‌ها می‌باشد. یکی از علل اصلی در ایجاد حوادث جاده‌ای در تونل‌ها عدم طراحی سیستم روشنایی مطلوب می‌باشد. بنابراین هدف از مطالعه حاضر ارزیابی درخشندگی در یک تونل جاده‌ای براساس استاندارد CIE88-2004 در جهت کاهش تصادفات احتمالی ناشی از مشکلات بصری می‌باشد.

روش بررسی: در این مطالعه برای ارزیابی درخشندگی در تونل‌های جاده‌ای از استاندارد CIE88-2004 استفاده شد. مراحل اولیه در ارزیابی درخشندگی در تونل‌های جاده‌ای شامل تعیین فاصله توقف ایمن، درخشندگی دید معادل، درخشندگی اتمسفری و درخشندگی شیشه خودرو می‌باشد. برای تعیین درخشندگی دید معادل از دوربین عکاسی YASHICA108 با لنز ۳۵ میلی‌متری و نمودار قطبی هالیدی استفاده شد. برای تعیین درخشندگی اتمسفری و درخشندگی شیشه خودرو از درخشندگی سنج HAGNER مدل S3 استفاده شد. به منظور طراحی روشنایی، استاندارد CIE-88-2004 در جهت جلوگیری از تصادفات جاده‌ای ناشی از عدم روشنایی مناسب، تونل‌های جاده‌ای را به ۵ ناحیه دسترسی، آستانه، گذار، داخلی و خروجی تقسیم‌بندی می‌کند.

یافته‌ها: با توجه به موقعیت تونل و اطلاعات ۱۰ ساله ایستگاه شماره ۴۰۷۸۰ هواشناسی شهر ایلام، میانگین بارش سالیانه باران ۷۳/۸ روز مشخص گردید. با توجه به توصیه پاریس، ضریب اصطکاک بین جاده و تایر در مکان‌هایی که میانگین بارش سالانه بیش از ۷۵ ساعت باشد، وضعیت جاده در ناحیه دسترسی تونل خیس در نظر گرفته می‌شود. بنابراین با در نظر گرفتن سطح خیس جاده و حداکثر سرعت مجاز وسایل نقلیه عبوری از این تونل، ضریب اصطکاک بین جاده و تایر ۰/۳۵ مشخص گردید. سپس فاصله توقف ایمن در تونل مربوطه ۶۹/۶ متر تعیین شد. در این مطالعه سطح درخشندگی دید معادل $127/5 \text{ cd/m}^2$ تعیین شد. همچنین سطح درخشندگی شیشه خودرو و درخشندگی اتمسفری به ترتیب $238/4 \text{ cd/m}^2$ و 308 cd/m^2 تعیین شد. به توجه به این داده‌ها سطح درخشندگی موردنیاز در ابتدا و انتهای ناحیه گذار به ترتیب 248 cd/m^2 و $127/4 \text{ cd/m}^2$ تعیین شد. همچنین درخشندگی در ناحیه داخلی $6/2 \text{ cd/m}^2$ و در ابتدا و انتها ناحیه خروجی به ترتیب 5 cd/m^2 و 12 cd/m^2 تعیین شد.

نتیجه گیری: در تونل‌های جاده‌ای، رانندگان باید موانع جاده‌ای را حداقل به فاصله توقف ایمن شناسایی کنند تا از وقوع حوادث جلوگیری نمایند. راهکارهایی در جهت بهبود روشنایی و کاهش عوارض ناشی از روشنایی نامناسب در تونل‌های جاده‌ای ارائه می‌شود که از جمله می‌توان به استفاده از چراغ‌های نامتقارن در ورودی تونل‌ها و استفاده از سطوح با ضریب انعکاس پایین و کاشت علفزار و درختان در محیط اطراف تونل در جهت کاهش درخشندگی دید معادل و نصب ساختارهای نیمه شفاف در ورودی تونل‌ها اشاره نمود.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت کننده: دانشگاه علوم پزشکی تهران

شیوه استناد به این مقاله:

Mehri A, Sajedifar J, Abbasi M, Jalali M, Gholampour J, Salehian T, Zakerian SA Faghiniha Torshizi Y. The evaluation of luminance in a road tunnel based on CIE88-2004 standard to reduce road accidents. Iran Occupational Health. 2020 (29 Jul);17:23.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC-SA 3.0 صورت گرفته است

کلیدواژه‌ها

تونل،
طراحی روشنایی،
درخشندگی،
روشنایی،
CIE88-2004،
تصادفات ترافیکی

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۷/۰۱

تاریخ چاپ: ۹۹/۰۵/۰۸

مقدمه

از عوامل کلیدی در جهت جلوگیری از حوادث در تونل‌های جاده‌ای، نصب سیستم روشنایی است. هدف از روشنایی در تونل‌های جاده‌ای کسب درجه مناسبی از ایمنی برای رانندگان در حین ورود، عبور و خروج هم در طول روز و هم در طول شب است (۲۱). براساس استاندارد CIE 88 هدف از روشنایی در تونل‌های جاده‌ای ایجاد یک محیط ایمن و راحت در سرتاسر تونل‌ها می‌باشد آن‌چنان‌که رانندگان در تمامی طول مسیر جاده‌ای اطلاعات کافی در ارتباط با جاده، موانع احتمالی و مسیر حرکت دیگر خودروها را داشته باشند (۲۲). بر طبق گزارش فنی CIE، "رانندگان هنگام نزدیک شدن، ورود و خروج از تونل، مشکلات بینایی مختلفی برایشان ایجاد می‌شود (۱۲، ۱۳، ۲۳). از قبیل: مشکلات بینایی قبل از ورود به تونل: شامل درخشندگی دید ناشی از انعکاسات محیط اطراف تونل می‌باشد که باعث کاهش کنتراست تصاویر موانع جاده‌ای در شبکه چشم می‌گردد و نتیجه آن کاهش عملکرد بینایی می‌شود که اصطلاحاً به پدیده حفره سیاه مشهور است (۲۴). آمار منتشرشده توسط Norway Highway Bureau نشان می‌دهد که ۶۳/۷ درصد تصادفاتی که در تونل‌ها رخ می‌دهند، در ورودی تونل هستند (۲۵).

مشکلات بینایی بعد از ورود به تونل: وقتی رانندگان از یک محیط روشن وارد محیط تاریک می‌شوند، قبل از اینکه راننده بتواند وضعیت داخلی تونل را درک کند نیاز به یک فاصله زمانی دارد که این پدیده تطابق بصری نامیده می‌شود (۲۶). دلیل این پدیده، تغییر ناگهانی در میزان درخشندگی است و نشان‌دهنده این حقیقت است که بینایی افراد به تدریج و کم‌کم انطباق می‌پذیرد. عقیده بر این است که انطباق چشم از محیط‌های روشن به تاریک نیازمند یک مدت‌زمان نسبتاً طولانی می‌باشد که ممکن است حداقل ۸ دقیقه طول بکشد (۲۷). این مدت‌زمان انطباق با تاریکی در حین رانندگی خطر بزرگی را متوجه ایمنی رانندگان خواهد کرد. به این دلیل تونل‌های جاده‌ای نیازمند روشنایی قوی‌تری در هنگام روز می‌باشند به طوری‌که چشم راننده هنگام ورود به تونل، عملکرد بینایی خود را از دست ندهد (۲۸).

مشکلات بینایی در خروجی تونل: در طول روز، وقتی

تاکنون پژوهش‌هایی راجع به اثرات عوامل زیان آور مختلف بر سلامتی و ایمنی انسان و پارامترهای تاثیرگذار بر شدت و ضعف این عوامل زیان آور صورت گرفته است (۱-۸). با این حال ایمنی ترافیکی یک نگرانی عمده در سراسر جهان است (۹، ۱۰). سالانه حدود ۱/۵ میلیون نفر در اثر تصادفات جاده‌ای جان خود را از دست می‌دهند و ۵۰ میلیون نفر مجروح می‌شوند. این ارقام بالغ بر ۲/۱ درصد از مرگ‌ومیرها در جهان را به خود اختصاص می‌دهد و تصادفات جاده‌ای را در رتبه نهم شایع‌ترین علل مرگ‌ومیر قرار می‌دهد (۱۱). در کشور ایران، آمار تصادفات جاده‌ای و تلفات ناشی از آن به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای بیشتر از استاندارد جهانی است (۱۲، ۱۳). آن‌چنان‌که با میزان بروز سالیانه ۳۲ مورد در صد هزار نفر، دومین علت مرگ‌ومیر و شایع‌ترین علت مصدومیت‌ها می‌باشد (۱۴). با توسعه حمل‌ونقل جاده‌ای و در راستای کاهش بار ترافیک، کاهش زمان مسافرت و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، نیاز به احداث تونل‌های جاده‌ای افزایش یافت (۱۵). احداث این تونل‌ها مشکلات بصری در ارتباط با عدم تطابق فیزیولوژیکی چشم رانندگان به ورودی و خروجی تونل را ایجاد کرد که نتیجه آن افزایش ریسک حوادث رانندگی بود (۱۶). بنابراین در جهت ارتقاء ایمنی و کاهش حوادث رانندگی در این تونل‌ها استانداردهای تدوین شد که از جمله می‌توان به استاندارد CIE 88-2004، PR-22-05 و IESNA اشاره نمود (۱۶، ۱۷). داده‌های آماری نشان می‌دهد که تصادفات جاده‌ای در تونل‌ها نسبت به جاده‌ها کمتر رایج است و تنها ۲ درصد از تصادفات در تونل‌ها اتفاق می‌افتند (۱۱). باین‌حال، تونل‌ها به‌عنوان محیط‌های ترسناک در نظر گرفته می‌شوند که شدت تصادفات در آن‌ها جدی‌تر است (۱۸). در تصادفی که در تونلی در چین رخ داد باعث کشته شدن ۴۰ نفر و جراحت ۱۲ نفر شد. همچنین در تصادف دیگری که در تونلی در ژاپن رخ داد باعث کشته شدن ۲ نفر و مجروح شدن ۷۰ نفر شد (۱۹). به‌منظور عبور ایمن از تونل جاده‌ای، ضروری است که تمامی رانندگان اطلاعات کافی درباره مسیر جاده پیش رو، موانع احتمالی و همچنین حضور و عملکرد دیگر رانندگان داشته باشند (۲۰). بنابراین یکی

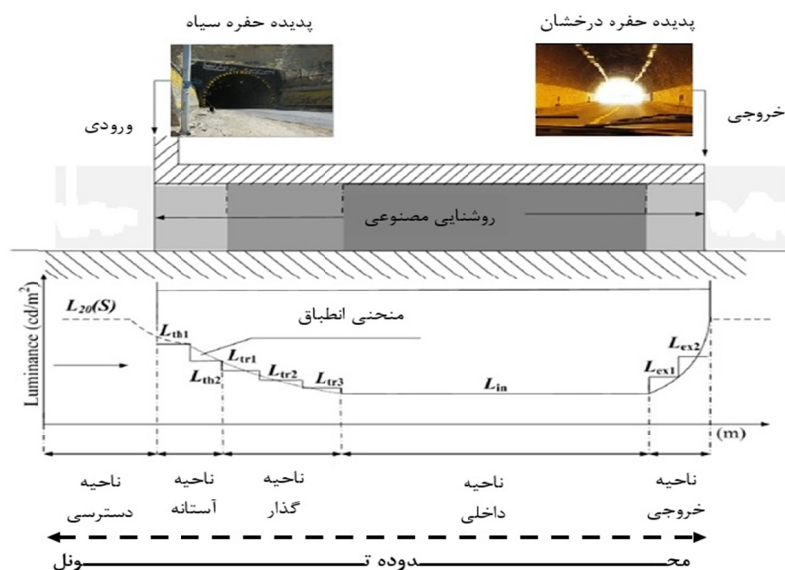
تونل‌ها کاهش داد (۳۲، ۳۳). ماژولینگ و همکارانش در مطالعه خود نشان دادند که با بهبود روشنایی در تونل‌ها می‌توان میزان حوادث رانندگی را به‌طور مؤثری کاهش داد (۳۲). در کشورمان تونل‌های جاده‌ای متعددی طراحی شده است که هنوز مطالعه جامعی در ارتباط با روشنایی در این تونل‌ها صورت نگرفته است. بنابراین هدف از مطالعه حاضر بررسی روشنایی در یکی از تونل‌های بسیار طویل واقع در استان ایلام و ارائه راهکارهایی در جهت بهبود روشنایی در این تونل‌ها می‌باشد.

روش بررسی

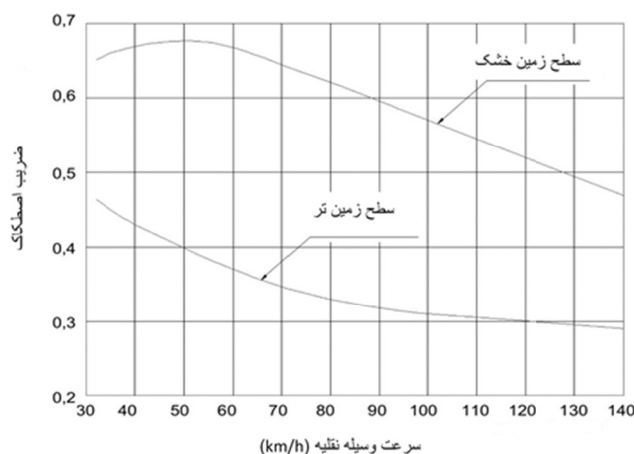
با توجه به مشکلات ناشی از پدیده حفره سیاه در حین نزدیک شدن به تونل، تطابق چشم رانندگان در داخل تونل و همچنین پدیده حفره درخشان در خروجی تونل‌های جاده‌ای، استاندارد CIE-88-2004 در جهت جلوگیری از تصادفات جاده‌ای ناشی از عدم روشنایی مناسب، تونل‌های جاده‌ای را به ۵ ناحیه دسترسی (Access zone)، آستانه (Threshold zone)، گذار (Transition zone)، داخلی (Interior zone) و خروجی (Exterior zone) تقسیم‌بندی کرد (شکل ۱). ناحیه دسترسی فاصله‌ای قبل از ورود به تونل می‌باشد که مسافت آن برابر با طول فاصله توقف ایمن می‌باشد. ناحیه آستانه اولین ناحیه در داخل تونل است

یک وسیله نقلیه از داخل یک تونل طولانی عبور می‌کند و به خروجی تونل نزدیک می‌شود، به علت درخشندگی بالا در انتهای تونل، خروجی تونل به‌صورت یک حفره درخشان ظاهر می‌شود (۲۹). این خیرگی شدید باعث کاهش عملکرد بصری رانندگان می‌شود (۳۰).

روشنایی موردنیاز تونل‌های جاده‌ای به عوامل متعددی همچون موقعیت جغرافیایی تونل، شرایط جوی، سرعت وسایل نقلیه، شرایط سطح جاده (خشک یا تر) بستگی دارد که این عوامل آن را از دیگر محیط‌های روشنایی متمایز کرده است. روشنایی در تونل‌های جاده‌ای متأثر از روشنایی طبیعی و مصنوعی می‌باشد که این مشخصه، روشنایی در تونل‌ها را از دیگر محیط‌ها مجزا کرده است که در صورت عدم توجه به این مقوله می‌تواند سبب افزایش حوادث، ترس و دلهره، خستگی و کاهش آسایش و راحتی گردد (۳۱). روشنایی در تونل‌های جاده‌ای باید طوری طراحی گردد که راننده در طول شبانه‌روز در حین عبور از تونل بدون تغییر در سرعت و مسیر حرکت خود در یک محیط ایمن مسیر خود را ادامه دهند و اطلاعات کافی در ارتباط با جاده، موانع احتمالی و مسیر دیگر وسایل نقلیه را داشته باشد (۱۷). مطالعات نشان دادند که با طراحی مناسب روشنایی در تونل‌ها و با در نظر گرفتن تمام معیارهایی که برای روشنایی مطلوب داخل تونل موردنیاز است، می‌توان میزان حوادث رانندگی را در



شکل ۱- نواحی مختلف تونل و مشکلات مختلف بصری در این نواحی



نمودار ۱- تعیین ضریب اصطکاک بین جاده و تایر

که روشنایی مصنوعی زیادی را به منظور مدیریت و کنترل آثار نامطلوب ناشی از پدیده حفره سیاه می‌طلبد. ناحیه گذار، در این ناحیه با توجه به گذر رانندگان از محیط روشن بیرون تونل به محیط تاریک داخل تونل باید چشم به این تغییرات روشنایی تطابق پیدا کند. ناحیه داخلی طولانی‌ترین ناحیه در تونل است و معمولاً نیازمند سطوح روشنایی کمی می‌باشد. ناحیه خروجی؛ این ناحیه دوباره چشم‌ها را آماده دریافت نور خارجی خورشید می‌کند و معمولاً مستلزم سطح درخشندگی بالایی در جهت تطابق چشم از محیط داخل تونل به محیط روشن بیرون از تونل می‌باشد.

$$SD = U \times t_0 + \frac{U^2}{2 \times g \times (f \pm s)} \quad \text{معادله ۱:}$$

پژوهش حاضر مطالعه‌ای است که به بررسی وضعیت روشنایی در تونل آزادی واقع در استان ایلام می‌پردازد. تونل مربوطه دارای طول ۱۲۰۰ متر، عرض ۱۰/۶ متر و دارای ۲ ردیف چراغ می‌باشد که ارتفاع سطح زمین تا چراغ تونل‌ها ۶ متر و فاصله جانبی بین دو چراغ ۳/۴ متر می‌باشد.

اولین گام در طراحی روشنایی در تونل‌های جاده‌ای شامل تعیین:

- ۱- فاصله توقف ایمن
- ۲- درخشندگی دید معادل
- ۳- درخشندگی اتمسفری و
- ۴- درخشندگی شیشه خودرو می‌باشد که به صورت زیر تعیین می‌گردد.

۱- تعیین فاصله توقف ایمن: فاصله توقف ایمن برابر مجموع فاصله بین پردازش مانع در مغز و واکنش

بنابر توصیه استاندارد CIE88-2004، ضریب اصطکاک بین جاده و تایر از طریق نمودار ۱ و با توجه به حداکثر سرعت وسایل نقلیه و سطح زمین (تر- خشک) تخمین زده می‌شود (۱۷). قابل ذکر است که طول فاصله توقف ایمن از محیط بیرونی تونل تا ابتدای ورودی تونل را ناحیه دسترسی (شکل ۱) گویند.

۲- تعیین درخشندگی دید معادل: درخشندگی دید معادل در اثر انعکاس نور از محیط اطراف تونل، مصالح و سازه‌های مصنوعی به چشم رانندگان ایجاد می‌گردد که نتیجه آن کاهش کنتراست موانع در داخل تونل می‌باشد. در این مطالعه برای تعیین درخشندگی دید معادل از دوربین عکاسی YASHICA108 با لنز ۳۵ میلی‌متری استفاده شد که قابلیت گرفتن عکس در زاویه افقی به میزان ۵۶ درجه و در زاویه عمودی ۳۸ درجه را داشت (۳۶). سپس با توجه به توصیه استاندارد CIE88-2004 دوربین مربوطه در فاصله

درخشندگی دید معادل: درخشندگی دید معادل

درخشندگی اتمسفری و

درخشندگی شیشه خودرو می‌باشد که به صورت زیر تعیین می‌گردد.

تعیین فاصله توقف ایمن: فاصله توقف ایمن برابر مجموع فاصله بین پردازش مانع در مغز و واکنش

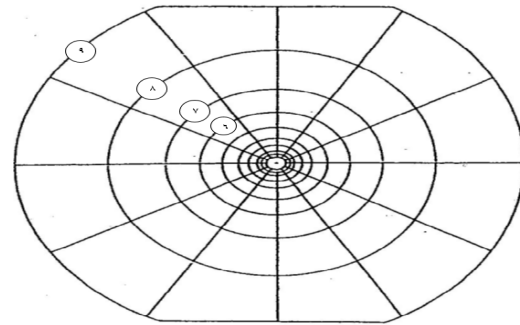
درخشندگی سنج HAGNER مدل S3 داخل جعبه هدف‌گیری و میزان درخشندگی اتمسفری اندازه‌گیری شد (۳۸).

۴- تعیین درخشندگی شیشه خودرو (L_{ws}): یکی از علل اصلی در کاهش کنتراست موانع در چشم رانندگان ناشی از پخش نور در شیشه خودروها می‌باشد. در ابتدا بخش داخلی و خارجی شیشه خودرو کاملاً تمیز گردید، سپس خودرو در فاصله توقف ایمن از ورودی تونل (فاصله دسترسی) قرار گرفت و یک نقطه ثابت تاریک در داخل دیواره تونل در نظر گرفته شد. یک‌بار دستگاه درخشندگی سنج در ارتفاع چشم رانندگان و در داخل خودرو (درخشندگی در داخل خودرو (L_{ext})) و بار دیگر در بیرون خودرو (درخشندگی در خارج خودرو (L_{int})) نصب شد و با توجه به معادله ۳ درخشندگی شیشه خودرو تخمین زده شد (۳۸). قابل ذکر است با توجه به مطالعات قبلی، ضریب عبور شیشه خودرو (τ_{ws})، ۰/۸ در نظر گرفته شود.

$$L_{ws} = L_{int} - (\tau_{ws} \cdot L_{ext}) \quad \text{معادله ۳}$$

پس از تعیین درخشندگی دید معادل، درخشندگی اتمسفری و درخشندگی شیشه خودرو، با استفاده از استاندارد CIE88-2004 درخشندگی موردنیاز در نواحی مختلف تونل مورد مطالعه طراحی گردید. در این مطالعه برای طراحی درخشندگی در نواحی مختلف تونل از نرم‌افزار TULIP3 استفاده گردید.

۱- طراحی درخشندگی ناحیه آستانه: ناحیه آستانه تونل دارای طولی به مسافت فاصله توقف ایمن می‌باشد که به دو بخش مساوی تقسیم می‌گردد. درخشندگی در بخش اول ناحیه آستانه تونل (L_{th}) میزانی ثابت است که با توجه به معادله ۵ تعیین می‌شود. با توجه به اینکه درخشندگی موردنیاز در ورودی تونل بسیار بالا می‌باشد، بنابراین استاندارد CIE توصیه می‌کند که شرایط دیدن موانع در ورودی تونل‌ها به نحوی ایجاد گردد که موانع با کنتراست منفی (درخشندگی مانع از درخشندگی جاده کمتر باشد) ایجاد گردد. در این مطالعه کنتراست در ورودی تونل (C_m)، ۰/۲۸- در نظر گرفته شد که حداقل کنتراست قابل قبول برای دیدن موانعی با ضریب انعکاس (ρ) ۰/۲ به فاصله دسترسی از ورودی تونل می‌باشد. با توجه به اینکه در تونل



شکل ۲- نمودار قطبی هالیدی

دسترسی از ورودی تونل (طول فاصله توقف ایمن) و در ارتفاع ۱/۳۱ متری از چشم رانندگان نصب و از ورودی تونل عکس گرفته شد. پس از ظهور عکس ورودی تونل، نمودار قطبی هالیدی (شکل ۲) که براساس معادله Holiday-Stiles طراحی شده است، بر روی عکس مربوطه ترسیم شد. با توجه به مسیر حرکت خودروها و پوشش محیط اطراف تونل (آسمان، جاده، صخره، ساختمان، علفزار)، درخشندگی در هر بخش از حلقه‌های نمودار قطبی هالیدی تعیین شد (۱۷). لازم به ذکر است که نمودار قطبی هالیدی شامل ۹ حلقه می‌باشد که هر کدام از این حلقه‌ها به ۱۲ بخش تقسیم شده است.

پس از تعیین درخشندگی تمامی حلقه‌ها ($\sum L_{ije}$)، با توجه به معادله ۲، درخشندگی دید معادل محاسبه شد.

$$L_{seq} = 5.1 \times 10^{-4} \sum L_{ije} \quad \text{معادله ۲}$$

۳- تعیین درخشندگی اتمسفری (L_{atm}): درخشندگی ناشی از عواملی همچون گردوغبار موجود در اتمسفر را که باعث پراکنش نور می‌گردند را درخشندگی اتمسفری می‌نامند. در تعیین درخشندگی اتمسفری، استانداردها توصیه نمودند که اندازه‌گیری در زمانی صورت گیرد که اتمسفر دارای بیشترین پراکنش نور باشد. بررسی‌ها نشان داده‌اند که حداکثر درخشندگی اتمسفری در ظهر روزهای تابستان رخ می‌دهد (۳۷). بنابراین در این مطالعه برای تعیین درخشندگی اتمسفری، در یک ظهر تابستان محفظه‌ای مکعبی دوداندود با ابعاد ۰/۵×۰/۵ متر را که در یک طرف آن روزه‌ای ایجاد شده بود در اطراف تونل قرار داده شد. سپس به فاصله توقف ایمن از ورودی تونل (فاصله دسترسی) و با استفاده از دستگاه

جدول ۱- میزان درخشندگی موردنیاز در ناحیه داخلی تونل‌های بسیار

فاصله توقف ایمن	حجم ترافیک (بخش اول ناحیه داخلی)		حجم ترافیک (بخش دوم ناحیه داخلی)	
	سبک	سنگین	سبک	سنگین
۱۶۰ متر	۶	۱۰	۲/۵	۴/۵
۶۰ متر	۳	۶	۱	۲

ثانیه اول ناحیه داخلی، با توجه به جدول ۱ میزان درخشندگی تعیین می‌گردد و در مابقی فاصله زمانی باقیمانده ناحیه داخلی با توجه به تطابق کامل چشم رانندگان از طریق جدول ۱ درخشندگی لازم در بخش دوم ناحیه داخلی تعیین می‌گردد. باید توجه داشت که برای فاصله توقف ایمن که در بین مقادیر بیان شده در جدول ۱ قرار دارد باید از طریق درون‌یابی میزان درخشندگی لازم در هر دو بخش ناحیه داخلی تعیین گردد (۳۹).

$$L_{tr} = L_{th}(1.4 + t)^{-1.4} \quad \text{معادله ۶:}$$

۴- طراحی درخشندگی ناحیه خروجی: در طول روز، درخشندگی بالای نور طبیعی در خروجی تونل سبب ایجاد پدیده حفره درخشان می‌گردد. برای غلبه بر این مشکل، استاندارد CIE88-2004 بیان می‌نماید که با توجه به تطابق سریع چشم رانندگان به درخشندگی بیرون تونل (حدود ۳۰ برابر سریع‌تر نسبت به تطابق به تاریکی)، در این ناحیه شیب افزایش درخشندگی سریع‌تر باشد به طوری که به طول فاصله توقف ایمن بعد از خروج از ناحیه داخلی تونل، باید میزان درخشندگی به طور صعودی تا ۵ برابر درخشندگی در ناحیه داخلی افزایش یابد و این افزایش درخشندگی تا ۲۰ متری قبل از خروج از تونل ادامه داشته باشد (۳۹).

یافته‌ها

در تعیین فاصله توقف ایمن در ابتدا میانگین زمان واکنش با توجه به توصیه استاندارد CIE در رانندگان ۱ ثانیه تعیین شد. با توجه به موقعیت تونل و اطلاعات ۱۰ ساله ایستگاه شماره ۴۰۷۸۰ هواشناسی شهر ایلام، میانگین بارش سالیانه باران ۷۳/۸ روز مشخص گردید. با توجه به توصیه پاریس، ضریب اصطکاک بین جاده و تایر در مکان‌هایی که میانگین بارش سالانه بیش از ۷۵

مورد مطالعه در ورودی تونل‌ها از چراغ‌های متقارن (پخش یکنواخت نور در سطح جاده و مانع) استفاده شده است، بنابراین ضریب کنتراست (q_c) که برابر با نسبت درخشندگی سطح جاده به روشنایی در راستای عمودی نسبت به جاده می‌باشد برابر با ۰/۲ در نظر گرفته شد. همچنین در این معادله ضریب عبور شیشه خودرو (τ_{ws}) و ضریب عبور اتمسفری (τ_{atm}) به ترتیب ۰/۸ و ۱ در نظر گرفته شد (۱۷). سپس در بخش دوم ناحیه آستانه در جهت تطابق تدریجی چشم به تاریکی داخل تونل میزان درخشندگی به تدریج کاهش می‌یابد، آن‌چنان‌که درخشندگی در انتهای ناحیه آستانه تونل به ۴۰ درصد میزان درخشندگی در بخش اول تونل کاهش یابد.

$$L_m = \frac{(\tau_{ws} \cdot L_{atm} + L_{ws} + L_{seq})}{(\tau_{ws} \cdot \tau_{atm})} \quad \text{معادله ۴:}$$

$$L_{th} = \frac{L_m}{c_m \left(\frac{\rho}{\pi \cdot q_c} - 1 \right)^{-1}} \quad \text{معادله ۵:}$$

۲- طراحی درخشندگی ناحیه گذار: سطح درخشندگی در ناحیه گذار (L_{tr}) همانند بخش دوم ناحیه آستانه براساس تطابق تدریجی چشم رانندگان دارای سیر نزولی می‌باشد. بنابراین برای تعیین درخشندگی موردنیاز در فواصل مختلف این ناحیه از طریق معادله ۶ و براساس زمان عبوری از ناحیه گذار (t)، درخشندگی لازم در فواصل مختلف این ناحیه براساس درصدی از درخشندگی بخش اول ناحیه آستانه به دست می‌آید (۳۹).

۳- طراحی درخشندگی ناحیه داخلی: ناحیه بعدی پس از ناحیه گذار، ناحیه داخلی می‌باشد که برای تعیین درخشندگی در این ناحیه باید ۲ مشخصه در نظر گرفته شود. در ابتدا باید با توجه به تعداد خودروهای عبوری در تونل، از طریق استاندارد CIE88-2004 حجم ترافیک (سبک، سنگین) به دست آید. سپس از طریق فاصله زمانی طی شده در ناحیه داخلی توسط رانندگان، نوع تونل (طویل یا بسیار طویل) مشخص شود. در مطالعه روشنایی در تونل‌های جاده‌ای، اگر فاصله زمانی طی شده توسط رانندگان در ناحیه داخلی بیش از ۳۰ ثانیه باشد آن‌ها را تونل‌های بسیار طویل می‌نامند. بنابراین در این تونل‌ها با توجه به تطابق نسبی چشم رانندگان در ۳۰

ترتیب ۵۷۶ و ۲۳۰/۶ کاندلا بر مترمربع تعیین شد. سپس با توجه به فاصله توقف ایمن ۶۹/۶ متر و حجم سنگین ترافیک، سطح درخشندگی موردنیاز ناحیه داخلی ۶/۲ کاندلا بر مترمربع تعیین شد. پس از تعیین درخشندگی در ناحیه داخلی تونل، باید نوع تونل (طول، بسیار طول) مشخص گردد. بنابراین باکم کردن طول ناحیه آستانه، ناحیه گذار و ناحیه خروجی از کل طول تونل، طول ناحیه داخلی به دست آمد که با توجه به طول تونل ۱۲۰۰ متر به ترتیب طول نواحی آستانه، گذار، داخلی و خروجی به ترتیب ۶۹/۶، ۴۳۲، ۶۰۸/۸ و ۸۹/۶ تعیین شد. بنابراین با تقسیم حداکثر سرعت مجاز وسایل نقلیه در داخل تونل بر طول ناحیه داخلی، فاصله زمانی طی شده در ناحیه داخلی برابر با ۳۳/۸ ثانیه تعیین شد. به سبب اینکه فاصله زمانی در ناحیه داخلی تونل مورد مطالعه بیش از ۳۰ ثانیه بود، در نتیجه این تونل در رده تونل‌های بسیار طول قرار گرفت و میزان درخشندگی در بخش دوم ناحیه داخلی ۲/۳ کاندلا بر مترمربع تعیین شد. همچنین با توجه به توصیه استاندارد CIE، میزان درخشندگی در انتهای ناحیه خروجی نسبت به بخش دوم ناحیه داخلی تا ۵ برابر افزایش یافت که برابر با ۱۱/۵ کاندلا بر مترمربع می‌باشد. درخشندگی محاسبه شده از معادلات بالا با توجه به فرآیند تطابق چشم رانندگان به تاریکی داخل

ساعت باشد، وضعیت جاده در ناحیه دسترسی تونل خیس در نظر گرفته می‌شود (۴۰). بنابراین با در نظر گرفتن سطح خیس جاده و حداکثر سرعت مجاز وسایل نقلیه عبوری از این تونل، با استفاده از نمودار ۱، ضریب اصطکاک بین جاده و تایر ۰/۳۵ مشخص گردید. سپس فاصله توقف ایمن در تونل مربوطه ۶۹/۶ متر تعیین شد. به منظور تعیین درخشندگی دید معادل، با ترسیم نمودار قطبی هالیدی بر روی عکس ورودی تونل و با توجه به شبکه بندی هر بخش از حلقه‌ها، درصد عوامل محیطی (آسمان، جاده، صخره، ساختمان، علفزار) تعیین شد. سپس با توجه به جدول ۱ درخشندگی در هر بخش از حلقه‌ها به دست آمد که در جدول ۲ نشان داده شده است. قابل ذکر است که در برخی از بخش‌ها، میزان درخشندگی به سبب وجود داشبورد و سقف خودروها که مانع از تابش نور در چشم رانندگان می‌گردد در محاسبات درخشندگی در نظر گرفته نشد. پس از تخمین درخشندگی در کل حلقه‌های نمودار قطبی هالیدی، سطح درخشندگی دید معادل برابر با ۱۲۷/۵ کاندلا بر مترمربع تعیین شد. همچنین سطح درخشندگی شیشه خودرو و اتمسفری به ترتیب ۲۳۸/۴ و ۳۰۸ کاندلا بر مترمربع اندازه‌گیری شد. سپس با توجه به این اندازه‌گیری‌ها سطح درخشندگی موردنیاز در بخش اول و انتهای بخش دوم ناحیه آستانه به

جدول ۲- میزان درخشندگی در هر بخش از حلقه‌های نمودار هالیدی

بخش‌ها	حلقه‌ها								
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	عدم محاسبه
۲	۰	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵
۳	۰	۰	۰	۲/۹	۴/۵	۴/۵	۴/۳	۴/۷	۴/۷
۴	۰	۰	۰	-/۲	۳/۸	۲/۸	۱	۱	۱
۵	۰	۰	۰	۰	۰/۹۵	۱	۱	۱	۱/۸
۶	۰	۰	۰	۰/۰۵	۱	۱	۱	۱/۵	عدم محاسبه
۷	۰	۰	۰	۰/۱	۱	۱	۱	۱/۶	عدم محاسبه
۸	۰	۰	۰	۰	۰/۵۵	۱	۱	۱/۱	۲
۹	۰	۰	۰	۰	۳/۶	۳/۴	۱/۱۵	۱	۱/۰۲
۱۰	۰	۰	۰	۲/۵	۴/۵	۴/۶	۴/۸	۴/۸	۴/۸
۱۱	۰	۲/۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵
۱۲	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	عدم محاسبه
درخشندگی هر حلقه	۱۰	۱۷/۵	۲۰	۲۵/۷۵	۳۹/۶	۳۹/۹	۳۵/۲۵	۳۶/۷	۲۵/۳۲
درخشندگی کل حلقه‌ها	$\sum L_{ij} = 250 \cdot 0.3 \frac{kcd}{m^2}$								

جدول ۳- تغییرات پلکانی درخشندگی در نواحی مختلف تونل در ساعات مختلف شبانه‌روز در لاین جنوبی مسیر رانندگی

ناحیه		آستانه (Threshold)											گذار (Transition)			داخلی (Interior)		خروجی (Exit)	
		TH1	TH2	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	IN1	IN2	EX1	EX2	EX3					
تغییرات پلکانی در هر بخش از ناحیه تونل طول هر تغییر پله‌ای (متر)		۵۳	۱۸	۱۷	۱۷	۶۰	۱۱۶	۳۶	۱۸۱	۵۴۲	۹۰	۲۱	۲۱	۲۸					
اولین سطح تغییرات پلکانی درخشندگی در تونل ($\frac{cd}{m^2}$)		۵۷۶	۴۱۲	۲۴۸	۱۴۰	۹۴	۳۸	۱۵	۱۲/۴	۶/۲	۲/۳	۵	۸	۱۲					
دومین سطح تغییرات پلکانی درخشندگی ($\frac{cd}{m^2}$)		۲۳۵	۱۶۸	۱۰۱	۵۷	۳۸	۱۵	۶/۲			۲/۳	۵	۸	۱۲					
سومین سطح تغییرات پلکانی درخشندگی ($\frac{cd}{m^2}$)		۹۵	۶۸	۴۱	۲۳	۱۶		۶/۲			۲/۳	۵	۸	۱۲					
چهارمین سطح تغییرات پلکانی درخشندگی ($\frac{cd}{m^2}$)		۳۸	۲۷	۱۶	۹/۳			۶/۲			۲/۳	۵	۸	۱۲					
پنجمین سطح تغییرات پلکانی درخشندگی در تونل ($\frac{cd}{m^2}$)		۱۶						۶/۲			۲/۳	۵	۸	۱۲					
ششمین سطح تغییرات پلکانی درخشندگی در تونل ($\frac{cd}{m^2}$)											۲/۳								
هفتمین سطح تغییرات پلکانی درخشندگی در تونل ($\frac{cd}{m^2}$)																			

توجه به درخشندگی دید ناشی از محیط اطراف تونل، شیشه خودرو و اتمسفر، میزان درخشندگی لازم (طراحی شده) در بخش اولیه ناحیه آستانه تونل برابر با ۵۷۶ کاندلا بر مترمربع تعیین گردید. این میزان درخشندگی موردنیاز در ورودی تونل را می‌توان به شیوه‌های مناسبی کاهش داد که از جمله می‌توان به نصب سیستم‌های روشنایی نامتقارن در داخل تونل کاهش داد که البته چراغ‌های نامتقارن دارای برخی معایب هستند که از جمله می‌توان به نیازمندی بالای چراغ‌های نامتقارن به سقف بلند اشاره نمود.

همچنین عدم تنظیم چراغ‌های نامتقارن در خلاف مسیر حرکت ترافیک می‌تواند باعث افزایش خیرگی و اثر فلیکر گردد (۴۱). روش دیگری در کاهش درخشندگی موردنیاز شامل کاهش درخشندگی محیط اطراف تونل می‌باشد. با تغییر سطوح اطراف تونل از مصالحی با سطوح انعکاسی بالا به موادی با سطوح انعکاسی پایین (کاشت علفزار و درختان) می‌توان این میزان درخشندگی را در چشم رانندگان در ناحیه دسترسی تونل به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش داد (۴۲). بررسی‌ها نشان داده‌اند که استفاده از موادی که رنگ‌های تیره‌تر و ضرایب انعکاسی کمتر دارند می‌تواند تا ۵۷ درصد درخشندگی ناحیه آستانه تونل را کاهش داد (۲۰). در مطالعه دیگری، ۴ گونه متفاوت از گیاهان به‌عنوان کاندیدهایی برای کاشتن در اطراف ورودی تونل‌ها مورد تست قرار گرفتند. در نتیجه، ivy (Hedera helix) به‌عنوان بهترین کاندید برای کاشتن در اطراف

تونل طراحی شده است. در این معادلات تغییرات درخشندگی در فواصل مختلف تونل به‌صورت منحنی‌های نزولی (در ابتدا تونل) و صعودی (در انتهای تونل) می‌باشند که نصب سیستم‌های روشنایی که بتواند این تغییرات منحنی شکل درخشندگی در نواحی مختلف تونل را تأمین نماید عملاً غیرممکن است. CIE توصیه می‌نماید که در نصب سیستم‌های روشنایی، درخشندگی در هر ناحیه به‌صورت پله‌ای تغییر کند و در حین اعمال این تغییرات درخشندگی باید ملاحظاتی در نظر گرفته شود، از جمله اینکه حداکثر نسبت درخشندگی از یک پله به پله دیگر نباید بیش از ۳ برابر شود و پله آخر درخشندگی در ناحیه گذار نباید بیش از ۲ برابر درخشندگی در ناحیه داخلی باشد. بنابراین با توجه به دستورالعمل‌های مطرح‌شده توسط استاندارد CIE88-2004 در ارتباط با تغییرات پله‌ای در نواحی مختلف تونل و همچنین با حفظ درخشندگی ناحیه داخلی تونل، تغییرات درخشندگی در طول شبانه‌روز را به ۷ سطح تقسیم شد (جدول ۳).

بحث

روشنایی در تونل‌های جاده‌ای از اهمیت خاصی برخوردار است که عدم توجه به آن سبب بروز مشکلاتی در ارتباط با ایمنی رانندگان می‌شود که از جمله می‌توان به پدیده حفره سیاه (قبل از ورود به تونل)، عدم تطابق چشم (حین ورود به تونل) و پدیده حفره درخشان (در حین خروج از تونل) اشاره نمود (۲۸). در این مطالعه با

نادیده گرفته شود. اگرچه این فرایند نسبتاً سریع است، با این وجود بایستی از اختلاف بالای درخشندگی بین انتهای تونل و محیط بیرون تونل‌ها اجتناب شود (۴۷). توزیع فضایی تصادفات ترافیکی در تونل‌های بزرگراهی نشان می‌دهد که وقوع تصادفات در خروجی تونل‌ها بالا می‌باشند (۴۸). مادامی‌که در طول روز وسایل نقلیه به خروجی تونل‌ها نزدیک می‌شوند، راننده در تشخیص دادن اطلاعات محیط جاده پیش رو به علت پدیده حفره درخشان و فرایند تطابق نور مشکل دارد. در این شرایط، این امر ممکن است به‌آسانی منجر به خطای شناختی شود. اگر رفتارهای رانندگی به‌صورت صحیح و مؤثر اصلاح نشوند، تصادفات ترافیکی شدیدی رخ خواهند داد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه با توجه به درخشندگی محیط اطراف تونل، شرایط آب و هوایی، سطح خیس یا خشک جاده، سرعت ترافیک، حجم ترافیک و فاصله توقف ایمن، درخشندگی موردنیاز در نواحی مختلف تونل طراحی گردید تا از ایجاد پدیده حفره سیاه در حین نزدیک شدن به تونل، عدم تطابق در داخل تونل و پدیده حفره درخشان در حین خروج از تونل جلوگیری گردد. مطالعات مختلف راهکارهایی را در جهت بهبود روشنایی و کاهش عوارض ناشی از روشنایی نامناسب در تونل‌های جاده‌ای ارائه نموده‌اند که از جمله می‌توان به استفاده از چراغ‌های نامتقارن در ورودی تونل‌ها و استفاده از سطوح با ضریب انعکاس پایین و کاشت علفزار و درختان در محیط اطراف تونل در جهت کاهش درخشندگی دید معادل و نصب ساختارهای نیمه شفاف در ورودی تونل‌ها اشاره نمود.

تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل از یک پایان‌نامه دانشجویی مصوب در گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی در محیط کار دانشگاه علوم پزشکی تهران می‌باشد.

ورودی تونل‌ها پیشنهاد شد. این بدان معنی است که کاشت این چنین گونه‌هایی در اطراف تونل‌های جاده‌ای در خوش‌بینانه‌ترین حالت می‌تواند درخشندگی موردنیاز را تا ۵۰ درصد کاهش دهد (۴۳). دومین فاکتور مربوط به درخشندگی دید ناشی از انعکاسات شیشه جلو خودرو می‌باشد. درخشندگی دید شیشه خودرو پدیده‌ای است که داشبورد یا بخشی از داشبورد بر روی شیشه جلو خودرو منعکس می‌شود و تصاویری را روی شیشه خودرو ایجاد می‌کند (۴۴). نتایج یک مطالعه نشان داد که تحت شرایط آزمایشگاهی، در حدود ۶۰ درصد از درخشندگی دید شیشه جلو خودرو مربوط به تصویر منعکس شده‌ی داشبورد است. حدود ۴۰ درصد scattered light به انعکاسات شیشه خودرو مربوط است که در این بین ۱۸ درصد آن به کثیفی شیشه جلو خودرو مربوط است که به‌آسانی می‌تواند از سطوح داخلی و خارجی شیشه جلو خودرو پاک شود و در حدود ۲۲ درصد دیگر که بعد از تمیز کردن شیشه جلو همچنان باقی می‌ماند (۴۵). در این مطالعه قبل از اندازه‌گیری درخشندگی، شیشه خودرو به‌طور کامل تمیز گردید. سپس درخشندگی شیشه خودرو $238/4$ کاندلا بر مترمربع اندازه‌گیری شد که با مقایسه با مقادیر طبقه‌بندی‌شده درخشندگی شیشه خودرو استاندارد CIE88-2004 می‌توان نتیجه گرفت میزان درخشندگی دید (Veiling levels) در سطح بالایی قرار داشت. نورهای مزاحم ناشی از آتمسفر به‌شدت به شرایط آب و هوایی (همچون مه)، نوع ذرات معلق در آتمسفر (آئروسول) وابسته است. در این مطالعه درخشندگی آتمسفری برابر با 380 کاندلا بر مترمربع اندازه‌گیری شد که با مقایسه با جدول مقادیر طبقه بندی شده درخشندگی آتمسفر استاندارد CIE88-2004 می‌توان نتیجه گرفت این میزان درخشندگی دید در سطح بالایی است. روش‌های مؤثری در جهت تطابق سریع چشم رانندگان به تاریکی داخل تونل بررسی شده است که از جمله می‌توان به نصب ساختارهای نیمه شفاف در جهت تغییر مکان ناحیه آستانه به خارج تونل اشاره کرد. این اقدام امکان استفاده از نور خورشید را برای رسیدن به روشنایی مورد نیاز فراهم می‌کند (۴۶). اگرچه بیشترین مشکلات در ورودی‌های تونل‌ها رخ می‌دهد، اما تطابق در خروجی تونل‌ها از درخشندگی پایین داخل تونل به درخشندگی بالا خارج تونل نباید

References

1. Sajedifar J, Kokabi AH, Dehghan SF, Mehri A, Azam K, Golbabaie F. Evaluation of operational parameters role on the emission of fumes. *Indust Health*. 2017.
2. Sajedifar J, Nassiri P, Monazzam MR, Shamsipour M, Ramezani R. The effect of battery charge levels of Mobile phone on the amount of Electromagnetic waves emission. *J Environ Health Sci Engin*. 2019;17(1):151-9.
3. Goudarzi G, Shirmardi M, Naimabadi A, Ghadiri A, Sajedifar J. Chemical and organic characteristics of PM_{2.5} particles and their in-vitro cytotoxic effects on lung cells: The Middle East dust storms in Ahvaz, Iran. *Sci Total Environ*. 2019;655:434-45.
4. Jalali M, Aliabadi M, Farhadian M, Negahban S. Investigation of the variation of urine density as a biomarker of dehydration conditions in workers employed in hot workplaces. *Iran Occup Health*. 2014;11(2):99-110.
5. Aliabadi M, Farhadian M, Jalali M, Jahangiri M, Negahban AR. A new empirical approach for predicting heat strain in workers exposed to hot indoor environments. *Indoor Built Environ*. 2018;27(5):597-605.
6. Taheri F, Kavusi A, Faghihnia Torshozi Y, Farshad AA, Saremi M. Assessment of validity and reliability of Persian version of System Usability Scale (SUS) for traffic signs. *Iran Occup Health*. 2017;14(1):12-22.
7. Moridi P, Moradi A, Taheri F, Yarahmadi R, AsgharFarshad A. Prioritization of effective factors in traffic accident based on multiple criteria decision making in the traffic police (Tehran city). *Iran Occup Health*. 2018;15(5):21-9.
8. Saremi M, Torshizi YF, Rostamzadeh S, Taheri F, editors. How Much Traffic Signs in Iran Are Usable? A Use of System Usability Scale (SUS). Congress of the International Ergonomics Association; 2018: Springer.
9. Mehri A, Farhang Dehghan S, Hajizadeh R, Zakerian SA, Mohammadi H, Abbasi M. Survey of discomfort glare from the headlamps of cars widely used in Iran. *Traffic Injur Prev*. 2017;18(7):711-5.
10. Mehri A, Sajedifar J, Abbasi M, Naimabadi A, Mohammadi AA, Teimori GH, et al. Safety evaluation of lighting at very long tunnels on the basis of visual adaptation. *Saf Sci*. 2019;116:196-207.
11. Arias AV, Lopez SM, Fernandez I, Martinez-Rubio JL, Magallares A. Psychosocial factors, perceived risk and driving in a hostile environment: driving through tunnels. *Int J Glob Environ Issues*. 2008;8(1-2):165-81.
12. Bahadorimonfared A, Soori H, Mehrabi Y, Delpisheh A, Esmaili A, Salehi M, et al. Trends of fatal road traffic injuries in Iran (2004–2011). *PLoS One*. 2013;8(5):e65198.
13. Mostafa Aderesi az MG, beheshti H. Relationship speed and the maximum speed permitted IN safety data network: rahvar; [cited 2017 December 31]. Available from: <http://rahvar120.ir/>.
14. Khosravi Shadmani SH, Ainy E, Zayeri F, MR M. Comparison of Road Traffic Death Occurrence within Urban and Metropolitan Roads Focusing on Environmental Factors. *Hakim Research*. 2012;15(4).
15. Peña-García A, Nguyen T. A Global Perspective for Sustainable Highway Tunnel Lighting Regulations: Greater Road Safety with a Lower Environmental Impact. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(12):2658.
16. america(IESNA) ieson. American national standard practice for tunnel lighting. IESNA PR-22-052. ۰۰۵
17. Commission Internationale de l'Éclairage. Guide for the lighting of road tunnels and underpasses. CIE 2004.
18. Yeung JS, Wong YD. Road traffic accidents in Singapore expressway tunnels. *Tunnel Underground Space Technol*. 2013;38:534-41.
19. He S, Liang B, Pan G, Wang F, Cui L. Influence of dynamic highway tunnel lighting environment on driving safety based on eye movement parameters of the driver. *Tunnel Underground Space Technol*. 2017;67:52-60.
20. Onaygil S, Güler Ö, Erkin E. Determination of the effects of structural properties on tunnel lighting with examples from Turkey. *Tunnel Underground Space Technol*. 2003;18(1):85-91.
21. Gil-Martín L, Peña-García A, Jiménez A, Hernández-Montes E. Study of light-pipes for the use of sunlight in road tunnels: From a scale model to real tunnels. *Tunnel Underground Space Technol*. 2014;41:82-7.
22. Peña-García A, Gil-Martín L, Hernández-Montes E. Use of sunlight in road tunnels: An approach to the improvement of light-pipes' efficacy through heliostats. *Tunnel Underground Space Technol*. 2016;60:135-40.
23. Khosravi Shadmani F, Soori H, Ainy E, Zayeri F, Mehmandar M. Comparison of road traffic death occurrence within urban and metropolitan roads focusing on environmental factors. *Hakim*. 2012;15(4):339-45.
24. Qin X, Zhang X, Qi S, Han H. Design of solar optical fiber lighting system for enhanced lighting in highway tunnel threshold zone: a case study of Huashuyan Tunnel in China. *Int J Photoenergy*. 2015;2015.
25. Lai J, Qiu J, Chen J, Wang Y, Fan H. Application of wireless intelligent control system for HPS lamps and LEDs combined illumination in road tunnel. *Comput Intellig Neurosci*. 2014;2014:53.
26. Leitao S, Pires ES, de Moura Oliveira P,

- editors. Road tunnels lighting using genetic algorithms. Intelligent System Applications to Power Systems, 2009 ISAP'09 15th International Conference on; 2009: IEEE.
27. Peña-García A, Escribano R, Gil-Martín L, Espín-Estrella A. Computational optimization of semi-transparent tension structures for the use of solar light in road tunnels. *Tunnel Underground Space Technol.* 2012;32:127-31.
28. Yang C, Fan S, Wang Z, Li W. Application of fuzzy control method in a tunnel lighting system. *Math Comput Model.* 2011;54(3-4):931-7.
29. Salata F, Golasi I, Bovenzi S, Vollaro EdL, Pagliaro F, Cellucci L, et al. Energy optimization of road tunnel lighting systems. *Sustainability.* 2015;7(7):9664-80.
30. Qin L, Dong L, Xu W, Zhang L, Yan Q, Chen X. A "vehicle in, light brightens; vehicle out, light darkens" energy-saving control system of highway tunnel lighting. *Tunnel Underground Space Technol.* 2017;66:147-56.
31. Martens M, Compte S, Kaptein NA. The effects of road design on speed behaviour: a literature review. The TRIS and ITRD database. 1997.
32. Ma ZL, Shao CF, Zhang SR. Characteristics of traffic accidents in Chinese freeway tunnels. *Tunnel Underground Space Technol.* 2009;24(3):350-5.
33. Mehri A, Dehghan SF, Abbasi M, Beheshti MH, Sajedifar J, Jafari SM, et al. Assessment of contrast perception of obstacles in a tunnel entrance. *Health Prom Perspect.* 2018;8(4):268.
34. Güler Ö, Onaygil S. A New Criterion for Road Lighting: Average Visibility Level Uniformity. *J Light Vis Environ.* 2003;27(1):39-46.
35. Gil-Martín L, Peña-García A, Hernández-Montes E, Espín-Estrella A. Tension structures: A way towards sustainable lighting in road tunnels. *Tunnel Underground Space Technol.* 2007;26(1):223-11.
36. Mehri A, Hajizadeh R, Dehghan SF, Nassiri P, Jafari SM, Taheri F, et al. Safety evaluation of the lighting at the entrance of a very long road tunnel: a case study in Ilam. *Saf Health Work.* 2017;8(2):151-5.
37. STANDARD B. code of practice for the design of road lighting -part 2. BS 5489-2. 2003. p. 0.
38. Tesson M, Monié B. Road tunnel lighting design: Simplification. *Light Res Technol.* 1989;21(4):171-9.
39. Yeung JS, Wong YDJT, Technology US. Road traffic accidents in Singapore expressway tunnels. *Publons.* 2013;38:534-41.
40. Parise G, Martirano L, Pierdomenico S, editors. An adaptive criterion to design the lighting system in the road tunnels. Industry Applications Conference, 2007 42nd IAS Annual Meeting Conference Record of the 2007 IEEE; 2007: IEEE.
41. Buraczynski JJ, Li TK, Kwong C, Lutkevich PJ. Tunnel lighting systems. *Tunnel Saf Secur.* 2010;56:553-6.
42. Wang S, Huang X. Analysis of Methods on Evaluating the "Black Hole Effect" in Tunnel Entrance Zones. *CICTP.* 2015;2015:2864-75.
43. Peña-García A, López J, Grindlay A. Decrease of energy demands of lighting installations in road tunnels based in the forestation of portal surroundings with climbing plants. *Tunnel Underground Space Technol.* 2015;46:111-5.
44. Dunsäter A, Andersson M. Daytime veiling glare in automobiles caused by dashboard reflectance. Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling; 2008.
45. Mefford ML. Daytime veiling luminance from windshields: Effects of scattering and reflection. 2003.
46. Peña-García A, Gil-Martín L. Study of pergolas for energy savings in road tunnels. Comparison with tension structures. *Tunnel Underground Space Technol.* 2013;35:172-7.
47. Schreuder DA. The lighting of vehicular traffic tunnels: Technische Hogeschool Eindhoven; 1964.
48. Zhao WH, Liu HX. Drivers' visual feature variation in long-tunnel exit of expressway. *ICTIS 2011: Multimodal Approach to Sustained Transportation System Development: Information, Technology, Implementation.* 2011:45-52.