بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

بهینه سازی روشنایی در تونل‌ها به کمک سامانه‌های کنترل هوشمند روشنایی

نگارش:
علی عباسی

استاد راهنما: آقای دکتر محمد حسین رفان
استاد راهنما: آقای دکتر سید زین‌العابدین موسوی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی برق(کنترل)

اسفند ۱۳۹۱

مدیریت تحصیلات تکمیلی

بسمه تعالی

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب علی عباسی متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن‌ها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. در صورت اثبات تخلف(در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو

امضاء

تهران- لویزان – کدپستی ۱۶۷۸۸- صندوق پستی ۱۶۳-۱۶۷۸۵ تلفن ۹-۲۲۹۷۰۰۶۰ (داخلی ۲۳۴۷) نمابر ۲۲۹۷۰۰۱۱
پست الکترونیکی sru@sru.ac.ir

سپاسگزاری

نخستین سپاس به پیشگاه حضرت دوست که هر چه هست از اوست.

سپاس از فهیم فرزانه جناب آقای دکتر محمد حسین رفان که راه زندگیم آموخت، سپاس از اندیشمند آگاه جناب آقای دکتر سید زین العابدین موسوی که راه تلاشم آموخت، سپاس از راه روحم پدرم، سپاس از مادرم که مهر و دعایش راهگشایم هست، سپاس از یار سختی‌هایم همسرم، و سپاس از اساتید و کارکنان خردمند و مهربان در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.

در پایان برای این بزرگان پیروزی و بهروزی از درگاه خداوند را دارم.

اسفند ۱۳۹۱

علی عباسی

چکیده:

هدف اصلی از نصب سامانه روشنایی در تونل این است که با جلوگیری از کاهش ناگهانی سطح روشنایی در تونل، شرایط دید مناسب برای رانندگان در طول شب و هم در طول ساعات روز فراهم شود. از دیگر روی مصرف انرژی الکتریکی در سامانه روشنایی تونل‌ها به دلیل شرایط خاص آن بسیار بالا بوده و بهینه‌سازی در سامانه های روشنایی تونل‌ها یک امر ضروری است.

در این تحقیق با بهره‌گیری از کنترل فازی یک سامانه هوشمند روشنایی تونل طراحی شده و به کمک تجهیزات مدرن روشنایی این سامانه به گونه‌ای برنامه ریزی شده است تا تمامی نیازهای استاندارد روشنایی تونل را پوشش دهد. نتایج بدست آمده از این سامانه دستیابی به روشنایی استاندارد و ایمن به منظور عبور رانندگان، کاهش پیک بار و مصرف انرژی الکتریکی خواهد بود.

کلید واژه: روشنایی تونل، کاهش مصرف انرژی، کنترل فازی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... و
فهرست شکل‌ها ..... ز

فصل ۱- کلیات تحقیق ۱
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- موانع و مشکل‌های پیشرو در روشنایی تونل ۵

فصل ۲- مقایسه و بررسی فعالیت‌های انجام شده در تعدادی از تونل‌های جهان و ایران ۸
۲-۱- مقدمه ۹
۲-۲- برخی فعالیت‌های انجام شده در ایالات متحده آمریکا ۹
۲-۲-۱- تجهیزات و امکانات تونل شریان مرکزی بوستون ۹
۲-۲-۲- تونل ترانسکولاو در ایالت هاوایی آمریکا ۱۰
۲-۳- برخی فعالیت‌های انجام شده در اروپا ۱۲
۲-۳-۱- تونل سلاطین در ترکیه ۱۲
۲-۳-۲- تونل نورث بریج در اتریش ۱۳
۲-۳-۳- تونل اِستراهف در چکسلواکی ۱۴
۲-۴- برخی فعالیت‌های انجام شده در ژاپن ۱۵
۲-۴-۱- عوامل مؤثر در افزایش ایمنی تونل ۱۵
۲-۴-۲- سیستم کنترل روشنایی ۱۵
۲-۴-۳- تونل کیوشو در ژاپن ۱۶
۲-۵- آمار تونل‌های راه ایران و امکانات نصب شده در آن‌ها ۱۶
۲-۶- موقعیت و مشخصات تونل قافلانکوه ۱۹
۲-۶-۱- سیستم روشنایی تونل ۲۰
۲-۶-۲- سیستم تهویه تونل ۲۱
۲-۶-۳- مشکلات موجود در تونل قافلاکوه ۲۳
۲-۷- موقعیت و مشخصات تونل کندوان ۲۴
۲-۷-۱- مشکلات مربوط به تونل کندوان ۲۵
۲-۸- موقعیت و مشخصات تونل امیر کبیر ۲۶
۲-۹- نتیجه گیری ۲۷

فصل ۳- استانداردها و تجهیزات روشنایی تونل ۲۹
۳-۱- مقدمه ۳۰

۳-۲- هدف اصلی از نصب یک سامانه روشنایی ۳۰
۳-۲-۱- سطوح روشنایی در تونل ۳۰
۳-۳- تعاریف روشنایی ۳۲
۳-۳-۱- شار یا جریان نوری (Ø) ۳۲
۳-۳-۲- ضریب بهره نوری(η) ۳۲
۳-۳-۳- شدت نوری (I) ۳۲
۳-۳-۴- درخشندگی یا تراکم نوری (L) ۳۳
۳-۳-۵- شدت روشنایی (E) ۳۳
۳-۳-۶- درخشندگی متوسط ۳۴
۳-۳-۷- خیرگی ۳۴
۳-۳-۸- ضریب یکنواختی کلی ۳۴
۳-۳-۹- ضریب یکنواختی طولی ۳۴
۳-۳-۱۰- ضریب بهره (CU) ۳۴
۳-۴- تعاریف نواحی تقسیم بندی تونل ۳۵
۳-۴-۱- ناحیه دسترسی ۳۵
۳-۴-۱-۱- درخشندگی ناحیه دسترسی ($L20$) ۳۵
۳-۴-۲- دهانه یا ورودی تونل ۳۵
۳-۴-۳- نقطه تطابق ۳۵
۳-۴-۴- فاصله دید توقف ۳۵
۳-۴-۵- ناحیه آستانه ۳۵
۳-۴-۵-۱- درخشندگی ناحیه آستانه (Tth) ۳۶
۳-۴-۶- ناحیه انتقال ۳۶
۳-۴-۶-۱- درخشندگی ناحیه انتقال (Lth) ۳۶
۳-۴-۷- ناحیه میانی ۳۷
۳-۴-۷-۱- درخشندگی ناحیه میانی (Lin) ۳۸
۳-۴-۸- ناحیه خروج ۳۸
۳-۴-۹- چراغ ۳۸
۳-۴-۱۰- پدیده سوسو زدن ۳۸
۳-۴-۱۱- کنتراست ۳۹
۳-۴-۱۲- انعکاس ۳۹
۳-۴-۱۳- لامپ فلورسنت ۳۹
۳-۴-۱۴- لامپ سدیم بخار پرفشار ۳۹
۳-۴-۱۵- لامپ سدیم کم فشار ۳۹
۳-۴-۱۶- لوور ۳۹
۳-۴-۱۷- ضریب بهره‌برداری ۴۰
۳-۴-۱۸- توزیع روشنایی در تونل ۴۰

۳-۵- سامانه‌های سنجش و کنترل هوشمند روشنایی تونل‌ها ۴۱
۳-۵-۱- حسگرها و عملگرها ۴۱
۳-۵-۲- نحوه اندازه گیری نور خارج و داخل تونل توسط دوربین درخشندگی ۴۲
۳-۵-۲-۱- شیوه های سنجش نور ۴۲
۳-۵-۳- حسگر سرعت خودرو ۴۵
۳-۵-۳-۱- حسگرهای ترافیکی نصب شده در زیر جاده ۴۵
۳-۵-۳-۲- حلقه القایی ۴۵
۳-۵-۳-۳- حسگر پیزو الکتریک ۴۶
۳-۵-۳-۴- حسگرهای ترافیکی بدون تماس با جاده ۴۶
۳-۵-۳-۵- حسگرهای مادون قرمز لیزری ۴۶
۳-۵-۴- سامانه های کنترل ترافیک ۴۷
۳-۶- بررسی امکان‌سنجی کاربرد دیودهای نوری جهت روشنایی تونل ۴۷
۳-۶-۱- تاریخچه دیودهای نوری ۴۸
۳-۶-۲- مشخصات عملکردی ۵۰
۳-۶-۲-۱- ولتاژ تغذیه و توان مصرفی پایین ۵۰
۳-۶-۳- بهره نوری ۵۱
۳-۶-۴- طول عمر زیاد ۵۱
۳-۶-۵- ضریب وضوح رنگ (CRI[۳]) ۵۱
۳-۶-۶- اندازه کوچک ۵۱
۳-۶-۷- کنترل نوری ۵۲
۳-۶-۸- عدم وجود پرتوهای فرابنفش و مادون قرمز ۵۲
۳-۶-۹- عدم جذب حشرات به دیودهای نوری ۵۲
۳-۶-۱۰- ویژگی‌های عملکردی خاص ۵۲
۳-۷- روش‌های کنترل شدت روشنایی ۵۳
۳-۷-۱- سامانه کنترلی 1-10 V ۵۳
۳-۷-۱-۱- مزایای سامانه کنترلی 1-10 V ۵۵
۳-۷-۱-۲- معایب سامانه کنترلی 1-10 V ۵۵
۳-۷-۲- سامانه کنترلی DALI ۵۵
۳-۷-۲-۱- نحوه سیم کشی سامانه DALI ۵۸
۳-۷-۲-۲- قابلیت‌های سامانه DALI ۶۰
۳-۷-۲-۳- نحوه برنامه ریزی سامانه DALI ۶۱
۳-۷-۲-۴- مزایای سامانه DALI ۶۱
۳-۷-۲-۵- معایب سامانه DALI ۶۱

فصل ۴- مقدمه بر فازی و سامانه کنترلی پیشنهادی روشنایی تونل ۶۲

۴-۱- مقدمه ۶۳
۴-۲- تاریخچه مختصری از سامانه فازی ۶۳

۴-۲-۱- انواع سامانه‌های کنترلی فازی ۶۶
۴-۲-۲- سامانه‌های فازی کجا و چگونه استفاده می‌شوند ۶۸
۴-۲-۳- زمینه‌های تحقیق عمده در تئوری فازی ۶۹
۴-۲-۴- کنترل فازی ۷۱
۴-۲-۴-۱- شاخصه های مهم سامانه های فازی ۷۱
فصل ۵- شبیه سازی و طراحی کنترلر هوشمند روشنایی تونل ۷۳
۵-۱- شیوه‌های متداول کنترل روشنایی تونل ۷۴
۵-۱-۱- کنترل پله ای روشنایی تونل ۷۴
۵-۱-۲- کنترل بر اساس نور بیرونی تونل ۷۵
۵-۲- طراحی کنترلر فازی هوشمند روشنایی تونل ۷۵
۵-۲-۱- پیکره کنترلر فازی روشنایی تونل ۷۵
۵-۲-۲- مدل فازی کنترل روشنایی تونل ۷۶
۵-۲-۲-۱- توابع عضویت ورودی ۷۷
۵-۲-۲-۲- تابع عضویت خروجی ۷۹
۵-۲-۲-۳- قوانین طرح شده برای سامانه فازی کنترل روشنایی تونل ۷۹
۵-۲-۲-۴- نتایج استفاده از کنترل فازی به منظور کنترل هوشمند روشنایی تونل ۸۴
۵-۳- ویژگی‌های بکار گیری دیودهای نوری در روشنایی تونل ۸۵
۵-۳-۱- جایگزینی دیودهای نوری به جای چراغ‌های معمول روشنایی تونل ۸۶
۵-۳-۲- نتایج شبیه سازی روشنایی تونل با دیود نوری ۱۱۲ وات ۸۸
۵-۴- استفاده از پروتکل ارتباطی DALI به منظور کنترل شدت روشنایی چراغ‌های تونل ۸۹
۵-۵- بهره گیری از نور روز در آستانه تونل‌ها و کاهش مصرف انرژی الکتریکی ۹۰
۵-۵-۱- اقلیم شناسی ایران از نظر تابش نور خورشید ۹۰
۵-۵-۲- شبیه سازی روشی جدید در روشنایی منطقه آستانه تونل ۹۱
۵-۵-۳- ویژگی‌های بکار گیری کرکره در بخش دسترسی تونل ۹۵
فصل ۶- نتیجه گیری و منافع اقتصادی ۹۷
۶-۱- مقدمه ۹۸
۶-۲- منافع اقتصادی حاصل از انجام این طرح ۹۸
۶-۲-۱- هزینه‌های سامانه روشنایی قدیم ۹۹
۶-۲-۲- هزینه‌های سامانه روشنایی جدید ۹۹
۶-۲-۳- مقایسه انرژی مصرفی سامانه قدیم و جدید ۹۹
فهرست مراجع ۱۰۱
واژه نامه‌ی انگلیسی به فارسی ۱۰۴

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: آمار تونل‌های راه کشور ۱۸
جدول ۲-۲: مشخصات تونل‌های بالای ۱۰۰۰ متر ۱۹
جدول ۳-۱: مقادیر توصیه شده برای ضریب K [۳]. ۳۶
جدول ۳-۲: مسافت توقّف مطمئن بر اساس سرعت مجاز ترافیک [۳]. ۳۷
جدول ۳-۳: ارتفاع تونلd بر حسب ارتفاع تونل [۳]. ۳۷
جدول ۳-۴: درخشندگی متوسط در ناحیه میانی تونل [۳]. ۳۸
جدول ۳-۵:پدیده تطبیق به سطح روشنایی جدید نسبت به سطح روشنایی قبلی [۳]. ۴۰
جدول ۵-۱: قوانین طرح شده برای کنترل فازی روشنایی تونل ۸۰
جدول ۵-۲: مقایسه مشخصه‌های کاربردی انواع چراغ‌ها ۸۷
جدول ۵-۳: نتایج محاسبات روشنایی تونل با چراغ دیودهای نوری ۱۱۲ وات ۸۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ :نمایی از تونل ترنسکولاو [۶]. ۱۱
شکل ۲-۲ :نمایی از اتاق کنترل تونل ترنسکولاو[۶]. ۱۱
شکل ۲-۳: تابلوهای تخصیص خط، خروج اضطراری و سیستم تهویه در داخل تونل سلاطین[۶]. ۱۳
شکل ۲-۴ : نماهایی از تجهیزات اتاق کنترل تونل نورث بریج[۶]. ۱۴
شکل ۲-۵: نمایی از تونل قافلانکوه در استان آذربایجان شرقی [۶]. ۲۰
شکل ۲-۶:یکی از لامپ‌های بخار سدیمی موجود در تونل قافلانکوه ۲۱
شکل ۲-۷ : حسگر روشنایی نصب شده در خارج از تونل قافلانکوه ۲۱
شکل ۲-۸: نمایی از فن‌های طولی موجود در تونل قافلانکوه ۲۲
شکل ۲-۹: موتورهای استفاده شده در فن‌های تونل قافلانکوه ۲۲
شکل ۲-۱۰: پروانه های فن‌های تونل قافلانکوه ۲۲
شکل ۲-۱۱ :دهانه شمالی تونل کندوان [۶]. ۲۴
شکل ۲-۱۲ :دهانه جنوبی تونل کندوان[۶]. ۲۵
شکل ۲-۱۳: نمایی از سیستم روشنایی و فن‌های موجود در تونل کندوان ۲۵
شکل ۲-۱۴ :مدخل تونل امیرکبیر/کوشک [۶]. ۲۷
شکل ۳-۱: نواحی تقسیم بندی روشنایی تونل [۱۷]. ۳۲
شکل ۳-۲: بازتاب نور به چشم بیننده[۳]. ۳۳
شکل ۳-۳: نحوه اندازه گیری درخشندگی توسط نورسنج [۵]. ۴۲
شکل ۳-۴: تفاوت قرارگیری نورسنج درخشندگی و روشنایی را نشان می‌دهد[۵]. ۴۳
شکل ۳-۵: نحوه قرارگیری نورسنج درخشندگی در خارج از تونل [۵]. ۴۴
شکل ۳-۶: نمایی از حسگر لیزری مادون قرمز در تونل [۶]. ۴۷
شکل ۳-۷: چشم انداز رشد دیودهای نوری [۱۵]. ۴۸
شکل ۳-۸: نمونه های از چراغ‌های دیودهای نوری جهت استفاده در روشنایی تونل ۵۰
شکل ۳-۹: رابطه بین ولتاژ کنترلی عملگر و درصد شار نوری لامپ [۱۸]. ۵۴
شکل ۳-۱۰: نحوه سیم کشی و مدار کنترلی [۱۸]. ۵۴
شکل ۳-۱۱: سیر تکامل و توانایی کنترلی سامانه کنترل روشنایی [۱۸]. ۵۶
شکل ۳-۱۲: نمونه سیگنال فرمان و بازگشت سامانه DALI [۱۸]. ۵۷
شکل ۳-۱۳: رابطه بین مقدار شدت روشنایی لامپ و سیگنال فرمان [۱۸]. ۵۸
شکل ۳-۱۴: نحوه سیم کشی عملگر DALI [۱۸]. ۵۹
شکل ۳-۱۵: دیاگرام تک خطی سیم کشی سامانه DALI [۱۸]. ۶۰

شکل ۴-۱: تابع تعلق برای" بالا "که محور افقی نشانه سرعت اتومبیل و محور عمودی نشانه مقدار "بالا"[۱۹]. ۶۵
شکل ۴-۲: ساختار اصلی سامانه‌های فازی خالص[۱۹]. ۶۶
شکل ۴-۳: ساختار اصلی سامانه فازی TSK [۱۹]. ۶۷
شکل ۴-۴: ساختار یک سامانه فازی با فازی ساز و غیر فازی ساز [۱۹]. ۶۸
شکل ۴-۵: سامانه کنترل کننده حلقه باز [۱۹]. ۶۸
شکل ۴-۶: سامانه کنترل کننده حلقه بسته [۱۹]. ۶۹
شکل ۴-۷: طبقه بندی تئوری فازی [۱۹]. ۷۰
شکل ۴-۸: نمای کلی یک سامانه فازی با فازی ساز و غیر فازی ساز(مدل ممدانی) [۲۰]. ۷۲
شکل ۵-۱: مدل کنترل فازی شدت روشنایی تونل ۷۷
شکل ۵-۲: تابع عضویت روشنایی دهانه تونل ۷۷
شکل ۵-۳: تابع عضویت سرعت خودروها ۷۸
شکل ۵-۴: تابع عضویت ترافیک خودروها ۷۸
شکل ۵-۵: تابع عضویت شدت روشنایی تونل ۷۹
شکل ۵-۶: نمایشگر سطوح کنترلر فازی روشنایی تونل ۸۵
شکل ۵-۷: خروجی حاصل از شبیه سازی کنترلر فازی روشنایی تونل ۸۵
شکل ۵-۸: میزان تابش نور خورشید در ایران [۴۶]. ۹۰
شکل ۵-۹: مقایسه شدت تابش نور خورشید [۴۶]. ۹۱
شکل ۵-۱۰: منحنی کاهش شدت روشنایی در تونل ۹۱
شکل ۵-۱۱: آرایش چراغ‌ها و نتایج شبیه‌سازی روشنایی در تونل ۹۲
شکل ۵-۱۲: چیدمان کرکره نصب شده در دهانه تونل ۹۳
شکل ۵-۱۳: مدل شبیه سازی شده کرکره در دهانه تونل ۹۴
شکل ۵-۱۴: نتایج حاصل از شبیه سازی نصب کرکره در دهانه تونل ۹۴
شکل ۵-۱۵: مقایسه شدت روشنایی و یکنواختی دو روش روشنایی ۹۵
شکل ۵-۱۶: جابجایی نقاط آستانه، میانی و پایانی روشنایی تونل ۹۵

فصل ۱- کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

نور از هنگام خلقت، تا زمان استفاده از آتش به عنوان رهنمای تاریکی‌ها و تاکنون که روشنی بخش شب‌ها و روزها است، مهم‌ترین عنصر حیات موجودات بوده و هست به طوری که تلألؤ زیبای نور ناشی از سپیده دم منادی حیات و گرمی نور آتش هیزم نوید امنیت را به همراه داشته است و به همین سبب بود که گاه خورشید، گاه ماه و گاه ستارگان پرستیده می‌شدند. از عظمت و قداست نور همین بس که خداوند در قرآن کریم، خود را نور آسمان‌ها و زمین معرفی می‌کند تا وسعت پاکی و عظمت هدایت‌گری خود را به انسان بنمایاند. نور سمبل هدایت و تاریکی نماد شقاوت بوده و هست و انسان همواره جهت غلبه بر شقاوت به نور پناهنده شده است. هم اکنون نیز در تمام ادیان نور را مقدس می‌دانند. بشر امروزی نیز نور را بسیار ساده‌تر از قبل تولید و برای استفاده از آن بر اساس دانش کسب شده، روش‌های و قوانین مخصوص تدوین کرده است، از این رو استفاده صحیح و بهینه از این نعمت الهی به منظور حفظ جان افراد در هنگام گذر از جاده‌ها و تونل‌ها یک امر ضروری است و شایسته است که متخصصین در این زمینه تمامی تلاش خود در جهت بهره-گیری از آن را نمایند.

یکی از نیاز های بایسته هر جامعه ای، ساختار زیر بنایی حمل و نقل و یا به عبارت دیگر جاده‌ها و خیابان‌ها می‌باشد که به وسیله آن پیوندهای درون شهری و برون شهری مردم تا مین می‌گردد. تونل‌ها به لحاظ ساختار بسته‌ای که دارند به نقاطی حساس در شبکه حمل و نقل شهری و برون شهری تبدیل شده‌اند. از عوامل مهم در تونل‌ها می‌توان به بحث در زمینه روشنایی پرداخت که خود دارای استانداردهای خاص می‌باشد و شرایط اقلیمی و دسترسی تونل هر کدام می‌تواند در میزان درخشندگی و شدت روشنایی یک تونل نقش بسزایی را ایفا نمایند.

انسان، خودرو و جاده، هر یک از عوامل فوق ممکن است علت اولیه حوادث رانندگی باشد. تصادف‌ها رانندگی منجر به جرح، مرگ، معلولیت و درد، کاهش بهره‌وری، سوگواری، مشکلات اجتماعی، روانی و همچنین تخریب گسترده‌ی اموال می‌شوند؛ در حالی که برنامه ریزی مناسب در حمل و نقل می‌تواند بر افزایش سطوح ایمنی و کاهش میزان موارد یاد شده تأثیر مستقیم بگذارد. بحران ایمنی معابر، مرگ‌ومیر، آسیب‌ها و هزینه های ناشی از حوادث رانندگی یکی از چالش‌های مهم سلامت، بهداشت عمومی و توسعه کشورها است و قربانیان اصلی آن افرادی هستند که اغلب آن‌ها در سنین ۱۵ تا ۴۴ ساله و به ویژه جوانان هستند.

در ایران حوادث رانندگی دومین علت مرگ‌ومیر بعد از بیماری‌های قلب و عروق را به خود اختصاص می‌دهند و بیشترین علت مراجعه به مراکز اورژانس و ا تاق‌های عمل، حوادث رانندگی در

اثر کمبود ایمنی معابر است. تجزیه و تحلیل دقیق تصادف‌ها تا حد زیادی بستگی به آگاهی رانندگان، وسائل نقلیه، راه‌ها و ارتباط میان آن‌ها دارد [۱ و ۲].

طبق آمارهای اعلام شده توسط وزارت کشور و پلیس راهنمایی و رانندگی، خسارت‌های مالی تصادف‌ها معابر به سالانه هفت تا هشت هزار میلیارد تومان رسیده که این رقم معادل چهار درصد تولید ناخالص داخلی به قیمت‌های جاری است در صورتی که میانگین جهانی هزینه های سوانح جاده ای بین ۱ تا ۲ درصد تولید ناخالص ملی کشورها است [۱ و ۲].

این میزان خسارت مالی تصادف‌ها جاده ای که معادل هفت تا هشت هزار میلیارد تومان در سال اعلام شده تنها شامل ارقام ملموس و خسارت‌های فیزیکی، پرداخت خسارت خودرو، هزینه های بیمارستانی، پرداخت دیه فوت و نقص عضو است و اگر خسارت‌های معنوی و ارزش حال فرصت‌های از دست رفته مربوط به افراد فوت شده و مجروحان حادثه را به آن اضافه کنیم رقم خسارت تصادف-ها نزدیک به هشت تا ده درصد تولید ناخالص داخلی کشور است.

به عبارت دیگر، علاوه بر خسارت روزانه معادل ۲۰ میلیارد تومان برای تصادف‌ها، باید هزینه روزانه بی سرپرست شدن و از دست دادن نان آور خانواده و نبود نیروی انسانی و ارزش‌های مادی و معنوی افراد را اضافه کنیم. از نظر این دسته از کارشناسان در محاسبه خسارت تصادف‌ها معابر، باید ارزش سال‌های از دست رفته افراد فوت شده و ارزش افزوده سال‌های عمر افرادی که در تصادفات دچار نقص عضو می‌شوند توانایی خود را از دست داده و دیگر نمی‌توانند چون گذشته کار و فعالیت اقتصادی داشته باشند مورد توجه قرار گیرد .بنابراین تنها نباید به رقم دیه فوت یا دیه نقص عضو اکتفا کنیم؛ از دست رفتن ۲۸ هزار نفر در تصادف‌های سالانه معابر و ۲۰۰ هزار مجروح و زخمی به جای مانده، حلقه فعالیت‌های اقتصادی و نظام هزینه و درآمد خانوارها و امید خانوارها به انباشت سرمایه انسانی را با گسست اساسی مواجه کرده است [۱].

با مرگ هر نان آور خانوار یا عضو مؤثر خانواده، خسارت جبران ناپذیری از نظر اقتصادی به خانواده‌ها وارد می‌شود که با پرداخت دیه قابل جبران نیست و برای اقتصاد کشور نیز خسارت جبران ناپذیری محسوب می‌شود .از طرفی این هزینه‌ها حتی با پوشش‌های بیمه ای ۱۰۰ درصد نیز قابل جبران نیستند. بنابراین، تصادف‌ها معابر علاوه بر سالانه هفت تا هشت هزار میلیارد تومان خسارت، حلقه ارزش افزوده اقتصادی و انباشت سرمایه انسانی در سال‌های آینده را با خسارت‌های جبران ناپذیری همراه می‌کند که آثار زیان بار اقتصادی و معنوی آن حداقل تا ۳۰ سال تداوم خواهد داشت [۲].

جایگاه و نقش حمل و نقل در ابعاد مختلف اقتصادی، سیاسی و اجتماعی جوامع امروزی بر کسی پوشیده نیست. حمل و نقل یکی از پایه های اصلی توسعه پایدار و متوازن در جوامع بشری محسوب شده و در واقع شبکه های حمل و نقل با مؤلفه های مهمی همچون اقتصاد، امنیت و عدالت اجتماعی ارتباط تنگاتنگ دارند. در فرآیند توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورها، همبستگی مستقیم میان گسترش حمل و نقل و دستیابی به نرخ رشد اقتصادی بیشتر وجود دارد. به عبارت دیگر همراه

با افزایش تولید ناخالص داخلی، میزان ارزش افزوده بخش حمل و نقل نیز افزایش می‌یابد و به همین دلیل است که توسعه و رشد اقتصادی وابسته به توسعه بخش حمل و نقل است و فعالیت‌های حمل و نقل از جمله فعالیت‌های اساسی و زیربنایی برای رشد و تحول اقتصاد به حساب می‌آید.

تونل راهی است محصور که از بین کوه‌ها، تپه‌ها و یا حتی زیر زمین عبور می‌کند و به منظور کاهش ترافیک و تسهیل در تردد در راه‌های شهری و برون شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. همگام با ازدیاد تونل‌ها و افزایش تعداد وسایل نقلیه عبوری، مسئله تأمین سامانه روشنایی تونل‌ها مورد توجه قرار گرفته است.

هدف از نصب سامانه روشنایی در تونل این است که رانندگان وسایل نقلیه بتوانند سرعت، درجه ایمنی و آسایشی را که قبل از ورود به تونل داشته‌اند، در داخل تونل نیز حفظ کنند. این امر در صورتی محقق می‌شود که رانندگان دید کاملی نسبت به مسیر جلوی خود داشته باشند. همچنین تأمین روشنایی در تونل‌ها محیطی مناسب برای تردد وسایل نقلیه و اشخاص پیاده ایجاد می‌کند به طوری که دید سریع، دقیق و راحت در آن‌ها امکان‌پذیر می‌شود. ایمنی و آسایش استفاده کننده از تونل، به دلیل تاریکی همواره در خطر است. مشاهده شده است که بیش از ۵۰ درصد مرگ و میرهای مربوط به تونل در اثر کمبود نور و کاهش دید راننده بوده است. میزان تصادفات منجر به فوت به دلیل عدم تطابق در تونل افزایش می‌یابد. مطالعات نشان داده است که روشن کردن تونل‌ها میزان تصادفات را به مقدار زیادی کاهش داده است.

تفاوت عمده روشنایی تونل‌ها و روشنایی معابر، نیاز به تأمین روشنایی تونل‌ها در روز است. یک راننده لازم است که قابلیت رؤیت مناسبی در فاصله مشخصی از حوزه دید خود داشته باشد تا در صورت مشاهده ناگهانی یک مانع بتواند به سرعت عکس‌العمل نشان داده و در فاصله یاد شده اتومبیل را متوقف نماید. حال اگر این فاصله به داخل یک تونل منتهی گردد وجود روشنایی کافی در داخل تونل به منظور حفظ میدان دید لازم برای راننده، کاملاً ضروری است. زیرا در صورتی که سطح روشنایی داخل تونل به حد کافی نباشد، راننده قادر به دیدن در داخل آن نخواهد بود. این پدیده، به نام "اثر حفره سیاه" خوانده می‌شود [۳].

به هنگام نزدیک شدن و ورود به یک تونل، چشمان راننده سعی در تطابق با محیط تاریک اطراف دارد. تطابق عمل پیوسته‌ای است که در نتیجه آن، می‌توان در داخل تونل و در طول مشخصی، نسبت به کاهش سطح روشنایی، آن هم به صورت مرحله‌ای اقدام نمود به طوری که به یک حد ثابت از سطح روشنایی در ناحیه داخلی تونل دست یافت. به هنگام خروج از تونل در روز، عمل تطابق چشم، با سطح درخشندگی بالاتر (واقع در محیط بیرون از تونل) به مراتب سریع‌تر صورت می‌گیرد. در زمان خارج شدن از تونل، راننده باید به منظور داشتن امکان برای مانورهای ناگهانی و سریع در ناحیه خروج از تونل، دید کافی از پشت سر خود نیز داشته باشد [۳].

تأثیر روشنایی تونل‌ها بر محیط اطراف آن هیچ‌گاه نباید فراموش شود. محیط اطراف می‌تواند یک محیط باز و یا محیطی با ساختمان‌های دارای تراکم زیاد و یا ساختمان‌های تاریخی و مهم

باشد. بنابراین باید اثرات نوع لامپ انتخابی، پخش نور و چراغ‌ها در طراحی روشنایی تونل‌ها در نظر گرفته شود.

اگرچه هزینه‌های مربوط به احداث تأسیسات روشنایی قابل توجه است ولی این هزینه‌ها، تا اندازه زیادی، از طریق صرفه‌جویی‌هایی که به سبب پرهیز از تصادفات نصیب اجتماع خواهد شد جبران می‌گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهد نسبت سود به هزینه روشنایی تونل‌ها بسیار بالا است و از نظر اقتصادی احداث این سامانه‌ها به خوبی قابل توجیه است.

۱-۲- موانع و مشکل‌های پیش‌رو در روشنایی تونل

هدف اصلی از نصب یک سامانه روشنایی کارآمد و مناسب در یک تونل این است که با جلوگیری از کاهش ناگهانی سطح روشنایی در تونل، شرایط دید مناسب برای رانندگان هم در طول شب و هم در طول ساعات روز فراهم شود.

در طول شب، مقدار درخشندگی در سطح جاده در تونل باید به صورت ثابت بوده و برابر با مقدار درخشندگی در سطح جاده ای است که به تونل منتهی می‌شود. اما در طول روز، از آنجا که میزان روشنایی محیط بیرونی بسیار بالا است، لازم است که درخشندگی تونل در ناحیه ورودی افزایش پیدا کند تا از پدیده حفره سیاه در مقابل دید راننده جلوگیری شود و سپس این مقدار درخشندگی پس از تطابق چشم راننده به تدریج کاهش می‌یابد .در خروجی تونل هم مقدار درخشندگی باید افزایش پیدا کند تا رانندگان در اثر نور بیرون تونل دچار خیرگی نشوند.

در طول روز، وقتی رانندگان به تونل نزدیک می‌شوند، از نظر تطابق چشمی با دو مشکل روبرو می‌شود. اولین مشکلی که با آن مواجه می‌شوند، تطابق حجمی است. میدان دید راننده در بیرون تونل بسیار وسیع است، یعنی همان میدان دیدی که از پشت شیشه جلوی ماشین می‌توان مشاهده کرد .وقتی راننده به تونل نزدیک می‌شود، ورودی تونل، در بخش کوچکی از میدان دید وی قرار دارد. هرچه راننده به تونل نزدیک‌تر می‌شود، میدان دید وی محدودتر شده و تقریباً محدود به دهانه ورودی تونل می‌شود، یعنی تقریباً ۲ درجه، سپس یک مشکل دیگر پدید می‌آید که به مشکل اولی اضافه می‌شود، تطابق چشمی در مدت زمان کوتاه .وقتی راننده وارد تونل می‌شود، چشم راننده، به صورت ناگهانی از یک محیط با درخشندگی بالا (در شرایط روز) در یک محیط با درخشندگی بسیار کم قرار می‌گیرد .در نتیجه چشم وی نیاز به زمان معینی برای تطابق دارد .در طی این مدت، خودرو وی مسافتی را هم طی می‌کند و هرچه سرعت راننده بیشتر باشد، این مسافت نیز بیشتر خواهد بود. اگر شرایط برای تطابق زمانی چشم راننده فراهم نشود، راننده قدرت دید خود را نسبت به موانعی که ممکن است در سر راه وی قرار بگیرند از دست می‌دهد که می‌تواند خطرات جانی به دنبال داشته باشد [۳ و ۴].

در عین حال، وقتی راننده به ورودی تونل نزدیک می‌شود، متوسط درخشندگی در میدان دید وی کاهش پیدا می‌کند و هر چه که راننده بیشتر وارد تونل می‌شود، در میدان دید او سهم قسمت مربوط به ورودی تونل بیشتر می‌شود.

برای غلبه کردن بر این شرایط پر تنش، بخش اولیه تونل که به آن ناحیه آستانه[1] گفته می‌شود، تا یک محدوده معینی که برابر با فاصله ایمن توقف[2] است به میزان زیادی روشن می‌شود .هرچه سرعت خودروهای عبوری بیشتر باشد، طول ناحیه توقف نیز بیشتر خواهد بود .با تأمین روشنایی زیاد در ورودی تونل، راننده از بیرون از تونل، قادر به دیدن موانع احتمالی در درون تونل خواهد بود. بعد از ناحیه آستانه، ناحیه گذار[3] وجود دارد که در آن درخشندگی سطح جاده از دید راننده، در یک فاصله معینی که بر اساس سرعت مجاز رانندگی تعیین می‌شود، به تدریج کم می‌شود .نحوه کاهش درخشندگی بر اساس یک منحنی است که باعث می‌شود تطابق زمانی چشمی به صورت مناسب انجام شود .علاوه بر این، با خروج از ناحیه آستانه، مشکل تطابق چشمی هم دیگر وجود ندارد. در انتهای ناحیه گذار، درخشندگی تا مقداری که برای درخشندگی در ناحیه میانی[4] تونل تعریف شده است کاهش پیدا می‌کند. از نظر تطابق چشمی، در ناحیه خروج حساسیت‌های کمتری وجود دارد [۵ و ۶].

این ناحیه طوری روشن می‌شود که راننده را برای وارد شدن به درخشندگی زیاد در بیرون تونل آماده کند و وی امکان دیدن موانع را در ناحیه خروجی داشته باشد .نیاز به داشتن روشنایی بیشتر در ناحیه خروجی بستگی به عوامل مختلفی دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از جهت تونل و میزان پیچیدگی در انتخاب مسیر توسط راننده یا میزان خطرات احتمالی در ناحیه خروجی.

با توجه به توسعه روز افزون تونل‌ها در ایران و عدم استفاده از سامانه‌های روشنایی استاندارد می‌بایست بیش از پیش در این زمینه تحقیق و فعالیت داشت، مصرف انرژی الکتریکی در سامانه روشنایی تونل‌ها به دلیل شرایط خاص آن بسیار بالا بوده و بهینه‌سازی در سامانه های روشنایی تونل‌ها یک امر ضروری است چرا که وابستگی شدید جوامع صنعتی به منابع انرژی، به ویژه سوخت‌های فسیلی و به‌کارگیری و مصرف بی رویه آن‌ها سبب شده، این منابع که در قرن‌های متمادی در زیر لایه‌های زیرین زمین تشکیل شده، به سرعت تخلیه شود. انرژی‌های فسیلی مانند نفت و زغال سنگ پایان پذیر و تجدید ناپذیر هستند و و این در حال است که می‌توان مشتقات حاصل از این مواد را در کاربری‌های حاصل از پزشکی، صنعتی و کشاورزی با اولویت فراوان بکار گرفت، از این رو نیاز به طراحی و نصب سامانه های کنترل هوشمند در تونل‌ها با بهره گیری از

1 Threshold Zone
2 Safe Stopping Distance-SSD
3 Transition Zone
4 Interior Zone

استانداردهای روشنایی مطابق با سامانه‌های روشنایی روز دنیا مدیریت روشنایی در زمان‌های مناسب و مورد نیاز را بر عهده گرفته و از اتلاف انرژی به میزان قابل توجهی جلوگیری به عمل می‌آورد.

تحقیق پیش رو با هدف هوشمند سازی روشنایی تونل‌های سطح کشور می‌باشد، که سالانه بخش عظیمی از انرژی برق صرف روشن نگه داشتن این تونل‌ها می‌شود و شاهد هستیم به دلیل آگاهی نداشتن از استانداردهای روشنایی در اغلب تونل‌ها با خاموشی یا روشنایی نامناسب مواجه بوده و این امر، تونل‌ها را به نقاط حادثه ساز و پرخطر تبدیل ساخته است. این نقص در سامانه روشنایی تونل‌ها سالانه تعداد زیادی از مردم را ناخواسته با خطرهای جانی و مالی مواجه کرده است. حال آنکه با صرف هزینه‌هایی بسیار کمتر از پرداخت خسارت‌های مالی، جانی و روحی ناشی از این حوادث می‌توان از پیشامدهای ناگوار برای هم‌وطنان به شکل چشم گیر کاهش داده و آسایش و آرامش را در سفرها و گذر از یک تونل به این مسافران تقدیم کرد [۴].

با توجه به توسعه روز افزون تونل‌ها در ایران و عدم استفاده از سامانه‌های روشنایی استاندارد می‌بایست بیش از پیش در این زمینه تحقیق و فعالیت داشت، مصرف انرژی الکتریکی در سامانه روشنایی تونل‌ها به دلیل شرایط خاص آن بسیار بالا بوده و بهینه‌سازی در سامانه های روشنایی تونل‌ها یک امر ضروری است چرا که وابستگی شدید جوامع صنعتی به منابع انرژی، به ویژه سوخت‌های فسیلی و به‌کارگیری و مصرف بی رویه آن‌ها سبب شده، این منابع که در قرن‌های متمادی در زیر لایه‌های زیرین زمین تشکیل شده، به سرعت تخلیه شود. انرژی‌های فسیلی مانند نفت و زغال سنگ پایان پذیر و تجدید ناپذیر هستند و و این در حال است که می‌توان مشتقات حاصل از این مواد را در کاربری‌های حاصل از پزشکی، صنعتی و کشاورزی با اولویت فراوان بکار گرفت، از این رو نیاز به طراحی و نصب سامانه های کنترل هوشمند در تونل‌ها با بهره گیری از استانداردهای روشنایی مطابق با سامانه‌های روشنایی روز دنیا مدیریت روشنایی در زمان‌های مناسب و مورد نیاز را بر عهده گرفته و از اتلاف انرژی به میزان قابل توجهی جلوگیری به عمل می‌آورد [۴].

تحقیق پیش رو با هدف هوشمند سازی روشنایی تونل‌های سطح کشور می‌باشد، که سالانه بخش عظیمی از انرژی برق صرف روشن نگه داشتن این تونل‌ها می‌شود و شاهد هستیم به دلیل آگاهی نداشتن از استانداردهای روشنایی در اغلب تونل‌ها با خاموشی یا روشنایی نامناسب مواجه بوده و این امر، تونل‌ها را به نقاط حادثه ساز و پرخطر تبدیل ساخته است. این نقص در سامانه روشنایی تونل‌ها سالانه تعداد زیادی از مردم را ناخواسته با خطرهای جانی و مالی مواجه کرده است. حال آنکه با صرف هزینه‌هایی بسیار کمتر از پرداخت خسارت‌های مالی، جانی و روحی ناشی از این حوادث می‌توان از پیشامدهای ناگوار برای هم‌وطنان به شکل چشم گیر کاهش داده و آسایش و آرامش را در سفرها و گذر از یک تونل به این مسافران تقدیم کرد.

فصل ۲- مقایسه و بررسی فعالیت‌های انجام شده در تعدادی از تونل‌های جهان و ایران