ملاحظات ایمنی در تونل‌های ماشین‌روی شهری (مطالعه موردی: تونل توحید تهران)

مقاله پژوهشی

مهدی آشتیانی*، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، مازندران، ایران
علیرضا نوری، دانش آموخته دکتری، مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، شهرداری تهران، تهران، ایران
امیرعلی مصطفوی مقدم، دانش آموخته دکتری، شرکت مهندسین مشاور Hatch، ونکوور، بریتیش کلمبیا، کانادا
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.ashtiani@nit.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰۱/۲۲- پذیرش: ۹۸/۰٤/۲۸
صفحه۲۲-۱

چکیده

اهمیت بالای نقش فضاهای زیرزمینی در شبکه حمل و نقل شهری و هزینه زیاد اجرا و بهره‌برداری آن‌ها، مسأله ملاحظات ایمنی در این نوع زیرساخت‌ها را همواره در درجه اول اهمیت قرار داده است. تونل توحید یکی از مهمترین پروژه‌های عمرانی شهری در تهران است که در حین بهره‌برداری، با برخی حوادث و رویدادهای مرتبط با عدم ایمنی کاربران و سازه تونل توأم بوده است. در این مقاله، مطالعاتی بر روی آئین‌نامه‌ها و گزارش‌هایی که در ایران و جهان به منظور حفظ ایمنی تونل‌ها ارائه شده‌اند، صورت گرفته است. در این خصوص، مواردی در تونل توحید تا حدودی مغایر با ضوابط ایمنی تونل‌ها تشخیص داده شده‌اند که در برخی موارد قابل رفع هستند. مشکلاتی از قبیل احتمال آتش‌سوزی، احتمال ورود سیلاب، نشت آب زیرزمینی و فاضلاب به داخل تونل، احتمال وقوع تصادف به دلیل شیب نسبتاً زیاد تونل و عدم رعایت قوانین توسط رانندگان و تعمیر و نگهداری نامناسب تونل نیز باید بیشتر و جدی‌تر مورد توجه قرار گیرند تا پیامدهای ناگواری را به همراه نداشته باشند. بطور کلی، توجه به موارد اشاره شده در این مقاله می‌تواند الگویی را برای سایر پروژه‌های تونل‌سازی در آینده فراهم آورد تا با استفاده از تجربیات به دست آمده در تونل توحید، از تکرار این مشکلات برای سایر تونل‌ها تا حد زیادی جلوگیری شود. در انتهای این تحقیق، براساس مطالعه بر روی آیین‌نامه‌های مختلف داخلی و خارجی، چک لیستی به منظور بررسی ارضاء ملاحظات ایمنی در تونل توحید تهیه شده است و اجزاء و آیتم‌های مختلف تونل مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: فضاهای زیرزمینی، ایمنی، چک‌لیست ملاحظات ایمنی تونل، تونل ماشین‌رو، تونل توحید

۱- مقدمه

توسعه شهر تهران و در پی آن، توسعه زیرساخت‌های حمل و نقل شهری از یک سو و عدم پاسخگویی روش‌های جداسازی زمانی ترافیک از سوی دیگر، در سال‌های اخیر منجر به توسعه زیرساخت‌های جداسازی مکانی ترافیک در مواردی که توجیه اقتصادی و ترافیکی به صورت همزمان داشته باشد، گردیده است. در این ارتباط، یکی از مهمترین پروژه‌هایی که در سال‌های اخیر به مرحله بهره‌برداری رسید، پروژه تونل توحید بوده است. علیرغم مزایای زیاد ساخت تونل توحید، بروز عوامل نامطلوبی همچون ورود آب زیرزمینی و حتی رواناب به داخل تونل، بروز تصادفات شدید و همچنین کیفیت نامطلوب هوای تونل منجر به ایراد انتقاداتی در مورد تونل گردیده است. بروز این مشکلات، در گام اول منجر به ارائه راهکارهایی از قبیل ممنوعیت تردد موتورسواران از داخل تونل، اعمال دقیق مقررات محدودیت سرعت از طریق نصب

دوربین‌های کنترل سرعت، تعبیه سیستم خودکار پایش خط اضطرار و همچنین راه‌اندازی سیستم هوشمند کنترل کیفیت هوای تونل گردید. بطور کلی، پس از تأمین ایمنی سازه تونل، یکی از مهمترین عوامل در راستای کاهش ریسک تردد در تونل‌ها، تأمین ملزومات ایمنی برای آنها می‌باشد. اصولاً ملزومات ایمنی تردد در تونل شامل مواردی چون تأمین مقطع عرضی مناسب، فاصله دید کافی در تونل و تعبیه سیستم‌های فعال و غیر فعال ایمنی، تهویه و تخلیه اضطراری است. شکل ۱ به طور خلاصه اجزاء یک سیستم ایمنی تونل را بر اساس شناسایی مکانیزه و خودکار حوادث نشان می‌دهد (CETU, 2003). در این مقاله، برخی از ضوابط آئین‌نامه‌های مرتبط با تونل‌سازی در کشورهای دیگر ارائه شده و پس از آن نحوه رعایت این قبیل ضوابط در تونل توحید تهران مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، با بررسی شماری از عوامل خطرساز و تأثیرگذار بر ایمنی تونل‌های شهری و با بررسی اجمالی تجربیات سایر کشورهای جهان و در نهایت ارزیابی تونل توحید، سعی گردیده که راهکارهایی برای به حداقل رسانیدن هزینه‌های ناشی از عدم ایمنی پروژه‌های آتی مشابه در سطح کشور ارایه شود.

شکل ۱ . اجزاء سیستم ایمنی تونل (CETU, 2003)

۲- فاکتورهای کلیدی در ارزیابی ایمنی تونل‌ها

به منظور پیشگیری از بروز مخاطرات، از راهکارهای ویژه‌ای در تأمین و حفظ ایمنی تونل‌های شهری استفاده می‌گردد. برخی از این موارد و راهکارها شامل تأمین مقطع عرضی و فاصله دید استاندارد در تونل، تعبیه پیاده‌روهای استاندارد در تونل، تعبیه سیستم تهویه مناسب با در نظر گرفتن ملزومات مقابله با آتش‌سوزی، تعبیه و تفکیک نورپردازی مسیر در دو حالت عادی و اضطراری، اعمال محدودیت سرعت، اعمال ممنوعیت سبقت و ... می‌باشند که در ادامه به معرفی و تشریح آن‌ها پرداخته شده است.

۲-۱- مقطع عرضی تونل

بر اساس گزارش ایمنی تونل‌ها که توسط پیارک[1] در سال ۲۰۰۱ منتشر شده است، طراحی مقطع عرضی تونل به پارامترهای مختلفی بستگی داشته که ایمنی تونل را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند (PIARC, 2001). تعداد دهانه‌های حفاری شده و همچنین تعداد خط عبور موجود در هر دهانه اثر مستقیمی بر شدت و تعداد تصادفات رخ داده در تونل دارد. عرض خطوط عبور نیز می‌تواند نرخ تصادفات را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین شیب عرضی راه می‌تواند تأثیر چشمگیری بر امکان تخلیه مواد خطرناک مایع از مسیر تونل و دور ساختن این مواد از داخل آن داشته باشد. علاوه بر این تعبیه شانه و خط عبور اضافی در کناره مسیر (در ایران منتهی‌الیه سمت راست مسیر) می‌تواند علاوه بر افزایش ایمنی تردد خودروها، درمواقع ضروری توسط خودروهای امدادی مورد استفاده قرار گیرد. تعبیه حصار ایمنی میان سواره رو و محل عبور عابرین احتمالی از تونل نیز می‌تواند ایمنی تونل را افزایش دهد. اما از سوی دیگر این تسهیلات ممکن است مشکلاتی را برای خودروهای دچار نقص فنی و یا امدادی به وجود آورند (PIARC, 2001).

۲-۲- تعبیه پیاده‌روها در تونل

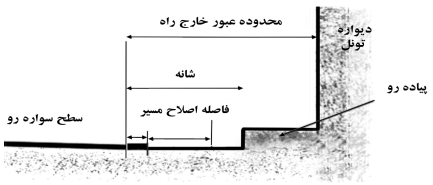
یکی از مهمترین المان‌ها در تونل‌ها جهت حفظ ایمنی نیروهای امدادرسان و پرسنل تعمیر و نگهداری، تعبیه مسیرهایی به عنوان پیاده‌رو می‌باشد که حتی الامکان با ایجاد اختلاف ارتفاع از سطح سواره‌رو، جدا شده و نیز جهت ایمنی بیشتر، توسط گاردریل محافظت گردد. با وجود اینکه این المان‌ها در نگاه اول از اهمیت چندانی برخوردار نیستند، اما تعبیه آن‌ها می‌تواند راه‌حلی مؤثر و ایمن به منظور امدادرسانی و همچنین تخلیه اضطراری افراد پیاده باشد. مقایسه مشخصات پیاده‌رو در تونل‌ها براساس آئین‌نامه کشورهای مختلف در جدول ۱ ارائه شده است. در این ارتباط، آئین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران (نشریه ۱۶۱، ۱۳۷۵) ورود عابرین پیاده به تونل‌ها را جز برای مأمورین تعمیر و نگهداری و امداد مجاز ندانسته است و حداقل عرض پیاده رو را برای تونل‌های با مقطع منحنی برابر ۶۰ سانتیمتر و برای تونل‌های با دیواره قائم برابر ۷۵ سانتیمتر در نظر گرفته است. همچنین بر اساس این آئین‌نامه، حداقل ارتفاع پیاده رو از لبه راه برابر ۲۰ سانتیمتر و حداکثر آن برابر ۴۰ سانتیمتر می‌باشد.

۲-۳- عرض منطقه خارج راه و فاصله دید در تونل

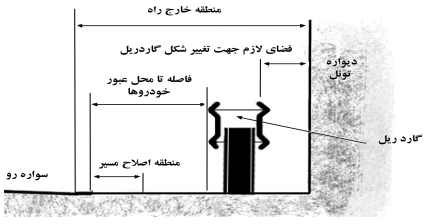
طبق تعریف پیارک به فضای میان لبه داخلی خط کشی راه و پوشش دیواره تونل، مسیر خارج راه[۲] اطلاق می‌شود (شکل ۲ را ببینید). مسیرخارج راه، در حقیقت شانه و مسیرهای تردد احتمالی عابرین و همچنین حفاظ‌ها و گاردریل‌های کناره راه (در صورت وجود) را شامل می‌شود (PIARC, 2002).

جدول ۱. مقایسه مشخصات پیاده‌رو در تونل‌ها براساس آئین‌نامه کشورهای مختلف (PIARC, 2002)

کشور	عرض محدوده قابل استفاده برای عابرین (متر)	عرض محدوده ایمنی (متر)	عرض پیاده رو (متر)	ارتفاع پیاده رو از سطح روسازی (متر)
اتریش	۰/۷	۰/۳	۱	۰/۱۸
فرانسه	۰/٦	۰/۰٦	حداقل ۰/٦٦	حداکثر ۰/۲۵
اسپانیا	۰/۷۵	–	۰/۷۵	۰/۱۵-۰/۲
سوئیس	۰/۷	۰/۳	حداقل ۱	۰/۱۸
انگلستان	۱	–	۱	۰/۰۷۵
آمریکا	۰/۵-۰/۷	–	۰/۵-۰/۷	–
ژاپن	۰/۵ یا ۰/۲۵	–	۰/۵ یا ۰/۲۵	۰/۲۵
نروژ	۰/۷۵	–	۰/۷۵	۰/۱
آلمان	۱	–	۱	۰/۰۷



(الف) در حالت تعبیه معبر عابرین پیاده



(ب) در حالت نصب گاردریل

شکل ۲. جزئیات محدوده مسیر خارج راه (PIARC, 2002)

در نظر گرفتن پیاده‌رو و شانه در کناره راه، علاوه بر اینکه موجب تضمین ایمنی تردد عابرین و همچنین بهبود کیفیت خدمت دهی به خودروهای معیوب و ازکار افتاده می‌گردد، فاصله دید را در تونل‌هایی که دارای قوس طولی هستند نیز بهبود می بخشد که می‌تواند به توقف ایمن رانندگان در شرایط بروز حادثه کمک نماید. در آئین‌نامه‌های بسیاری از کشورها فاصله دید را مرتبط با سرعت طرح، قوس و شیب مسیر در نظر می‌گیرند. در این ارتباط، جدول ۲ مشخصات موردنیاز جهت تأمین فاصله ایمن توقف برای یک مسیر در داخل تونل را نشان می‌دهد (DMRB 1.1, 1998; DMRB 6.1.2, 2005). براساس آئین‌نامه راه‌های ایران فاصله دید در تونل‌های واقع در آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها ۱۲۰ متر و در راه‌های اصلی ۸۰ متر توصیه شده است.

۲-٤- پروفیل قائم مسیر

تفاوت سرعت بین خودروها و هر گونه کاهش سرعت ناگهانی می‌توانند ایمنی تردد در یک مسیر را به شدت تحت تأثیر قرار دهند. همچنین تأمین فاصله دید و فضای عبور کافی برای خودروهای سنگین از اهمیت شایانی در تونل‌ها برخوردار است. بر اساس آئین‌نامه کشور انگلستان در مسیرهای دارای قوس‌های مقعر که شعاع کمتر از ٦۰۰۰ متر دارند، باید در طراحی ارتفاع تونل، ارتفاعی اضافی به منظور عبور خودروهای سنگین با ارتفاع زیاد درنظر گرفته شود. همچنین در این گونه قوس‌ها، کمترین مسافت دید توقف[3] باید در تراز قرارگیری چشم راننده که معمولاً در ارتفاع دو متری از سطح روسازی می‌باشد، اندازه‌گیری و کنترل گردد. در صورتی که امکان تأمین کمترین فاصله مجاز دید در داخل تونل فراهم نگردد، ارتفاع تونل باید افزایش یابد. طبیعتاً این راهکار موجب افزایش هزینه ساخت تونل‌ها شده و لذا در صورت عدم امکان تأمین منابع مالی، باید سرعت مجاز تونل بر اساس فاصله دید موجود کاهش یابد.

در آئین‌نامه طرح هندسی راه‌های کشور، برای تأمین فاصله دید ایمن در قوس‌های مقعر[4]، تأمین طول قوس حداقل در تونل الزامی می‌باشد (نشریه ١٦١، ١٣٧٥). حداقل طول قوس در تونل تابعی از اختلاف شیب طرفین قوس (A) و سرعت طرح (V) تونل می‌باشد. جدول ۳ مقادیر حداقل طول قوس و حداقل فاصله دید توقف به ازای شیب طرفین در قوس مقعر تونل توحید را نشان می‌دهد. شایان ذکر است که جهت محاسبه مقادیر مذکور، مقدار سرعت طرح برابر سرعت طرح تونل توحید (٦۰ کیلومتر بر ساعت) فرض شده است.

جدول ۲. مشخصات مسیر جهت تأمین فاصله ایمن توقف (DMRB 1.1, 1998; DMRB 6.1.2, 2005)

سرعت طرح (km/h)	۱۲۰	۱۰۰	۸۰	٦۰	٤۰
کمترین شعاع قوس (متر)	۸۰۰	٤۷۰	۲٦۰	١٦۰	۱۰۰
فاصله توقف ایمن (متر)	۲۸۰	۱۸۰	۱۳۰	۸۰	٤۰
عرض مورد نیاز (متر)	۱۲/۲	۸/٥	۸	٤/۹	۲
عرض منطقه خارج راه (متر) (با فرض تردد رانندگان با فاصله ۱/٥ متر از لبه راه)	۱۰/۷	۷	٦/٥	۳/٤	۰/٥

جدول ۳. حداقل طول قوس و حداقل فاصله دید توقف در قوس‌های مقعر (نشریه ١٦١، ١٣٧٥)

شیب طرفین قوس، A (%)	حداقل طول قوس (متر)	حداقل فاصله دید توقف (متر)
۹	١٥٥	۱۰٤
۹/٥	١٦٤	۹۹
۱۰	۱۷۲	۹٦

۲-۵- شیب تونل

۲-۵-۱- شیب طولی

در آئین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران (نشریه ۱٦۱، ۱۳۷۵) اینگونه بیان شده است که در مسیرهای سربالایی، شیب تونل نباید از ۲٪ تجاوز نماید. لذا، توصیه می‌گردد این مقدار در محدوده ۱/۵٪ باقی بماند. علت این امر، ممانعت از کاهش سرعت وسایل نقلیه سنگین برای جلوگیری از افزایش تراکم ترافیک در داخل تونل، کاهش احتمال خرابی وسایل نقلیه و همچنین کاهش میزان آلاینده‌ها در داخل تونل می‌باشد. همچنین، بر اساس توصیه این آئین‌نامه، تعبیه مسیرهای سرازیری با شیب تند در تونل‌های یک‌طرفه نیز بسیار خطرناک بوده و توصیه شده که حداکثر شیب در تونل‌های کوتاه‌تر از ۵۰۰ متر، از ٤٪ تجاوز ننماید (نشریه ۱٦۱، ۱۳۷۵). از سوی دیگر، بر اساس توصیه پیارک، شیب‌های طولی در مسیر سرازیری نیز با توجه به ایجاد اختلاف سرعت میان خودروهای سنگین و سبک می‌توانند موجب افزایش نرخ تصادفات در داخل تونل گردند. در آئین‌نامه‌های کشورهای مختلف دنیا برای حداکثر شیب یک مسیر سربالایی، مقادیر متفاوتی ارائه شده است. به عنوان مثال، بر اساس آئین‌نامه کشور انگلستان، شیب های بیش از ٦٪ در تونل‌ها چندان مطلوب نمی‌باشد (DMRB 78, 1999). این در حالی است که بر اساس آئین‌نامه نروژ، در تونل‌ها حداکثر شیب در مسیرهای سربالایی بر اساس ترافیک عبوری و تعداد جهت عبور در تونل مشخص می گردد که مقادیر آن در جدول ٤ ارائه شده است (PIARC, 2004).

جدول ٤. ماکزیمم شیب سربالایی درتونل بر اساس آئین‌نامه نروژ (PIARC, 2004)

پارامتر	عبور ترافیک از یک جهت		عبور ترافیک از دوجهت	
متوسط ترافیک عبوری روزانه	بیش از ۱۵۰۰۰	۱۵۰۰۰- ۰	بیش از ۱۵۰۰	۱۵۰۰- ۰
ماکزیمم شیب مجاز (٪)	٦	۷	۷	۸

۲-۵-۲- شیب عرضی تونل

در خصوص مقدار شیب عرضی تونل، توصیه‌های مختلفی در آئین‌نامه‌های کشورهای دنیا و ایران ارائه شده است. به عنوان مثال، براساس توصیه آئین‌نامه کشور انگلستان به منظور تأمین راحتی رانندگان در برابر تغییرات شتاب جانبی ناشی از قوس‌های افقی، تأمین بر بلندی اجباری می‌باشد. همچنین، در صورتی که بر بلندی مسیر از ۲/۵٪ بیشتر نباشد، باید به منظور تأمین امکان زهکشی مسیر راه، شیب جانبی (عرضی) به میزان ۲/۵٪ تأمین گردد (DMRB 78, 1999). همچنین بر اساس آئین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران، مقدار شیب عرضی راه در تونل بین یک الی ۱/۵٪ در نظر گرفته می‌شود (نشریه ۱٦۱، ۱۳۷۵).

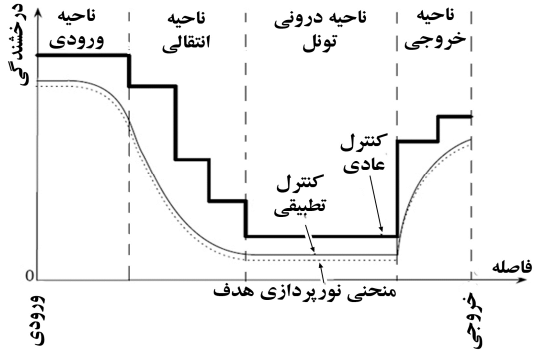
۲-٦- تهویه مناسب با در نظر گرفتن ملزومات مقابله با آتش‌سوزی

سیستم تهویه تونل باید بتواند درشرایط عادی قادر به تأمین هوای مطلوب برای کاربران خود باشد. همچنین این سیستم باید قادر باشد در شرایط اضطراری نظیر وقوع آتش‌سوزی، امکان تخلیه دود را به سرعت فراهم نماید. این در حالی است که مسیرهای خروج اضطراری باید عاری از دود باقی بمانند. در آئین‌نامه تأسیسات ایمنی راه، به منظور تهویه تونل‌هایی چون تونل توحید که به طور طبیعی فاقد شفت قائم بوده و حفر آن نیز برای تونل امکان‌پذیر نمی‌باشد، می‌توان با نصب تعدادی جت فن با فاصله‌های معین که قدرت و فواصل آنها از یکدیگر در طراحی محاسبه می‌شود، تمام حجم هوای داخل تونل را از دهانه‌ای به دهانه دیگر به جریان واداشت. در این سیستم همواره بایستی جهت جریان تخلیه هوا همسو با جهت ترافیک عبوری باشد تا بتوان از دیگر نیروی محرک هوا که همان حرکت وسایل نقلیه می‌باشد، به نحو مطلوبی بهره برد.

از روش تهویه هوای فوق الذکر که به روش تهویه طولی معروف می‌باشد، در تونل‌های با طول بین ۵۰۰ متر تا ۲۰۰۰ متر استفاده می‌شود. در تونل‌های با طول بیش از ۲۰۰۰ متر، به علت افزایش تراکم گازهای سمی در داخل تونل و همچنین افزایش سرعت هوا بیش از حد استاندارد (۸ متر بر ثانیه)، استفاده از این سیستم در آئین‌نامه تأسیسات ایمنی راه‌های ایران توصیه نمی‌گردد. البته این آئین‌نامه سرعت استاندارد هوا در خروجی تونل‌های یک طرفه را تا سرعت ۱۰ متر بر ثانیه مجاز می‌داند که بر این اساس استفاده از سیستم جت فن در تونل توحید تهران بلامانع می‌باشد (نشریه ۵-۲٦۷، ۱۳۸٤).

۲-۷- نورپردازی داخل تونل در دو حالت عادی و اضطراری

بر اساس گزارش پیارک، در تونل‌ها بیشترین نرخ تصادفات معمولاً در محل ورود به تونل‌ها اتفاق می‌افتد که این امر عمدتاً ناشی از مشکل کاهش ناگهانی دید راننده در لحظه ورود به تونل به دلیل عدم وجود نور کافی در آن ناحیه می‌باشد. لذا به منظور کنترل نرخ تصادفات در طول شبانه روز، نورپردازی کافی در محل ورودی‌های تونل الزامی می‌باشد. البته بایستی توجه داشت که میزان نورپردازی با ورود به قسمت‌های داخلی تونل کاهش می‌یابد. در این ارتباط، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور توصیه‌هایی را در مورد ملزومات نورپردازی بهینه ارائه نموده و بیان داشته که عملاً افزایش شدت نورپردازی بیش از مقادیر توصیه شده، تأثیری بر ایمنی تونل نخواهد داشت (PIARC, 2001). بر اساس آنچه که در شکل ۳ نشان داده شده است، یک تونل یک طرفه را می توان به نواحی زیر تقسیم‌بندی نمود:



شکل ۳. تقسیم بندی مناطق تطبیق چشم راننده با نور محیط در داخل یک تونل یک طرفه (Ceriotti et al., 2011)

۱) **ناحیه ورودی**[۵]**:** اولین ناحیه در داخل تونل ناحیه ورودی بوده که بایستی به حد کافی روشن باشد تا اینکه رانندگانی که در ناحیه قبل از ورودی تونل قرار دارند بتوانند موانع احتمالی را در دهانه تونل تشخیص داده و عکس‌العمل مناسب را از خود بروز دهند. در غیر اینصورت با غافلگیر شدن رانندگان در محیط تاریک و اقدام آنها جهت کاهش سرعت و همچنین عدم دید کافی از سوی رانندگان پشتی، احتمال بروز تصادف افزایش می‌یابد. حداقل طول این ناحیه بایستی برابر مسافت توقف مطمئن (SSD) باشد.

۲) **ناحیه انتقال**[٦]: این ناحیه می‌تواند شامل یک تا سه زیرناحیه باشد. با توجه به اینکه در زمان ورود به این ناحیه، چشم راننده با روشنایی محیط تطبیق یافته است، سیستم کنترل روشنایی، معمولاً در هر زیر ناحیه روشنایی تونل را بطور تدریجی کاهش می‌دهد تا به این ترتیب مصرف برق به حداقل برسد. به عبارت بهتر، در این نواحی با ورود به هر زیر ناحیه، روشنایی کمتری به آن اعمال می‌شود.

۳) **ناحیه درونی تونل**[۷]: این ناحیه که معمولاً طولانی‌ترین بخش تونل را تشکیل می‌دهد از حداقل روشنایی قابل قبول برای تشخیص موانع با فرض تطبیق کامل چشم راننده با تاریکی برخوردار است. جدول ۵ مقدار مورد نیاز درخشندگی این ناحیه را بر اساس آئین‌نامه تأسیسات ایمنی راه بیان نموده است (نشریه ۵-۲٦۷، ۱۳۸٤).

٤) **ناحیه خروج**[۸]: در این ناحیه سیستم کنترل روشنایی نور بیشتری را اعمال می‌کند تا چشم راننده به نحو مطلوب‌تری

آمادگی مواجهه و تطبیق با نور محیط خارج تونل را کسب نماید. همچنین این امکان را به راننده می‌دهد تا در صورتی که به علت قرارگیری در پشت یک وسیله نقلیه بزرگتر از خود (نظیر کامیون) قادر به دیدن زمینه درخشان دهانه خروجی تونل نباشد، بتواند چشم خود را با میزان روشنایی آن موقعیت در این ناحیه تطبیق دهد.

جدول ۵. میزان درخشندگی لازم برای ناحیه درونی تونل بر اساس مسافت توقف طرح و تعداد وسیله نقلیه (نشریه ۵-۲۶۷، ۱۳۸٤)

مسافت توقف طرح (متر)	درخشندگی ناحیه داخلی بر حسب شمع بر متر مربع		
	عبور کمتر از ۱۰۰ وسیله نقلیه در ساعت	عبور بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت	عبور بیش از ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت
٦٠	١	٢	٣
١٠٠	٢	٤	٦
١٦٠	٥	١٠	١٥

۲-۸- مشخصات سطح روسازی

نوع و کیفیت روسازی اجراشده در تونل‌ها نقش مهمی را در افزایش ایمنی، سلامت و همچنین راحتی کاربران تونل ایفا می‌کند. به عبارت دیگر نوع و کیفیت روسازی اجرا شده در داخل تونل‌ها بایستی به گونه‌ای باشد که علاوه بر آنکه موجب افزایش کیفیت تردد در داخل تونل گردد، رنگ آن به صورتی باشد که مانعی در برابر روشنایی تونل تلقی نگردد. از سوی دیگر مقاومت آن در برابر آتش‌سوزی به نحوی باشد که خود دچار حریق نشده و یا سوختن آن موجب تولید و انتشار گازهای سمی در محیط نگردد. بر اساس گزارش پیارک، کیفیت روسازی در تونل چه از نظر میزان تأمین اصطکاک و چه از نظر کیفیت سرویس‌دهی باید حداقل در سطح کیفیت روسازی مسیر خارج از تونل بوده تا بدین طریق از تغییرات ناگهانی سرعت و تغییر مسیرهای ناگهانی جلوگیری به عمل آید. در این بین، انتخاب مصالح مناسب روسازی و روش اجرای مناسب آن حاصل یک ارزیابی فنی - اقتصادی خواهد بود که در آن تمام شرایط مؤثر بر روسازی مدنظر قرار گیرد.

۲-۸-۱- برخورداری سطح روسازی از مقاومت کافی در برابر لغزش

برخورداری سطح روسازی از مقاومت کافی در برابر لغزش نقش بسیار مهمی را در ایمنی تردد ایفا می‌کند. نکته‌ای که در اینجا بایستی مد نظر قرار گیرد آن است که مقاومت در برابر لغزش سطح آسفالت داخل تونل‌ها بسیار سریعتر از خارج تونل‌ها کاهش می‌یابد. دلیل این پدیده آن است که خرده‌های لاستیک و ذرات دود و گرد و غبار در خارج تونل‌ها توسط باد و باران از روی سطح روسازی راه شسته شده و پاک می‌شود. اما در درون تونل‌ها این مواد بر روی سطح روسازی باقی مانده و لذا به تدریج موجب کاهش مقاومت روسازی در برابر لغزش می‌گردد.

۲-۸-۲- ایمنی روسازی حین سرویس‌دهی و زمان تصادف

آتش‌سوزی‌های رخ داده در برخی تونل‌های بلند اروپا مابین سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۵ منجر به انجام مطالعاتی گردید که بر اساس آنها مقرراتی جهت تأمین ایمنی تونل‌ها وضع گردید. در همین زمان استفاده از روسازی بتنی بجای روسازی آسفالتی در داخل تونل‌ها نیز مطرح گردید. موضوع اخیر توسط کمیته C5 پیارک مورد بررسی قرار گرفت و بیان گردید که علیرغم سوختن آسفالت در فازهای ثانویه و پیشرفته آتش‌سوزی، این ماده در فازهای اولیه شروع آتش که تخلیه افراد از داخل تونل آغاز می‌شود، تأثیر چندانی بر وسعت و شدت آتش‌سوزی نخواهد داشت و لذا استفاده از آن به عنوان روسازی درون تونل مجاز می‌باشد. با این وجود، همانگونه که بیان گردید سوختن آسفالت در فازهای ثانویه آتش‌سوزی می‌تواند در افزایش دمای تولید شده و همچنین تولید و انتشار گازهای سمی در هنگام آتش‌سوزی تونل مؤثر باشد (EAPA, 2008).

بر اساس آئین‌نامه ایمنی راه‌های ایران نیز، از لحاظ مقاومت در مقابل آتش‌سوزی، رویه بتنی بر رویه آسفالتی برتری دارد، هر چند عملیات تعمیر رویه بتنی به مراتب دشوارتر و زمانبرتر از رویه آسفالتی می‌باشد.

۲-۸-۳- برخورداری از رنگ مناسب جهت بازتاب نورکافی

به دلیل رنگ روشن بتن و افزایش بازتاب نور در روسازی بتنی، استفاده از این نوع روسازی درساخت تونل می‌تواند موجب کاهش جذب نور توسط محیط گردیده و در نتیجه بازدهی سیستم روشنایی داخل تونل را افزایش دهد. اهمیت این مورد به حدی است که بر اساس آئین‌نامه تأسیسات ایمنی راه‌ها، برای اینکه بتوان نور کافی و استانداردی را برای مسیرهای جاده‌ای تأمین نمود، میزان روشنایی مورد نیاز برای روسازی‌های آسفالتی بایستی در حدود دو برابر مقدار مشابه خود برای روسازی‌های بتنی باشد. با این حال نکته ای که در اینجا برای روسازی‌های بتنی حایز اهمیت می‌باشد، آن است که بایستی به منظور افزایش تضاد رنگ بین سطح آنها و خط کشی، از خط کشی‌های ویژه بهره گرفت تا بدین وسیله ایمنی تردد را بتوان به نحو مناسبی افزایش داد.

۲-۸-٤- برخورداری از سطح مسطح در جهت طولی و عرضی

یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر سرعت تردد خودروها در داخل تونل و همچنین افزایش کیفیت رانندگی در داخل تونل، مسطح بودن طولی و عرضی روسازی و عدم وجود پستی و بلندی در سطح روسازی می‌باشد. در شرایط استفاده از روسازی آسفالتی در داخل تونل، به دلیل عدم نیاز به تعبیه درزهای اجرایی که در روسازی بتنی رایج می‌باشد، عموماً صدای عبور چرخ وسایل نقلیه از روی درز حذف شده و کیفیت تردد مناسبی تأمین می‌گردد. در روسازی‌های بتنی به دلیل ایجاد صدای مذکور در حین حرکت، راننده به طور ناخودآگاه اقدام به کاهش سرعت نموده که این امر می‌تواند بر کیفیت تردد تأثیر منفی گذارد.

۲-۹- اعمال محدودیت سرعت

براساس آئین‌نامه طرح هندسی راه‌ها، عموماً به دلایل اقتصادی، طرح و تعبیه ابعاد کافی برای مقطع عرضی و همچنین تجهیز تونل‌ها به منظور حذف تأثیر ناشی از تغییر ناگهانی محیط غیرممکن است. بنابراین سرعت طرح تونل‌ها عموماً کمتر از سرعت طرح مسیری در نظر گرفته می‌شود که راه در آن قرار گرفته است (نشریه ١٦١، ١٣٧٥). بزرگای سرعت طرح نه تنها مشخصات هندسی تونل را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد، بلکه طول مربوط به نورپردازی اضافی در محل ورودی تونل، موقعیت نقطه آغاز نورپردازی کمتر در محل هایی که فاصله دید مناسب برای توقف تأمین شده باشد، عملکرد پیستونی وسایل نقلیه در تهویه تونل و همچنین میزان آلودگی هوای تونل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر اساس این آئین‌نامه، سرعت طرح تونل‌های واقع در آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها برابر ۸۰ کیلومتر بر ساعت و در راه‌های اصلی ٦٠ کیلومتر بر ساعت می‌باشد (نشریه ١٦١، ١٣٧٥).

اعمال محدودیت سرعت می‌تواند تأثیرات بسیار مثبتی بر افزایش ایمنی کاربران مسیر داشته باشد. اما از سوی دیگر اعمال محدودیت‌های کاهش سرعت در دهانه ورودی یا داخل تونل، می‌تواند تأثیرات نامطلوبی همچون ایجاد ازدحام و ترافیک سنگین در مسیرهای پرتردد و همچنین افزایش زمان سفر کاربران در بر داشته باشد. با این وجود، کاهش سرعت به طور کلی می‌تواند شدت تصادفات را کاهش دهد.

۲-۱۰- اعمال ممنوعیت سبقت

براساس توصیه پیارک، سبقت در تونل‌های دوطرفه با یک خط عبور در هر طرف معمولاً ممنوع است. با این وجود سبقت در تونل‌های یک طرفه عموماً می‌تواند برای خودروهای سواری آزاد باشد و تنها توصیه شده که ممنوعیت سبقت در مورد خودروهای سنگین اعمال گردد (PIARC, 2004).

۲-۱۱- ملزم نمودن خودروهای عبوری به رعایت فاصله ایمن

یکی از مهمترین مشکلاتی که عموماً گریبانگیر رانندگان در شهر تهران می‌باشد، عدم رعایت فاصله طولی مناسب به خصوص در بزرگراه‌ها می‌باشد. این موضوع اگرچه ممکن است

در تونل‌ها موجب کاهش ظرفیت تردد آنها گردد، در هنگام رخداد آتش‌سوزی در صورت رعایت حداقل فاصله طولی خودروها از یکدیگر (چه در زمان حرکت و چه در زمان توقف) تعداد کمتری از خودروها دچار حریق می‌گردند و همچنین حریق دیرتر منتشر می‌شود. با این وجود، اعمال قوانین مربوط به رعایت فاصله طولی بین خودروها معمولاً دشوار است.

۲-۱۲- تعبیه دوربین نظارتی مدار بسته

بر اساس توصیه پیارک اغلب تونل‌ها به دو دلیل عمده به دوربین‌های نظارتی درون تونل و در محدوده ورودی‌ها مجهز می گردند:

الف) به منظور کنترل رفت و آمد خودروها و تشخیص عبور خودروهای غیر مجاز از تونل و یا سایر تخلفات

ب) جهت شناسایی بروز حوادث احتمالی در تونل و فراهم آوردن اطلاعات لازم جهت انجام عملیات امداد و نجات در شرایط اضطراری. در آئین‌نامه اتریش، در تونل‌های با طول بیش از ۱۵۰۰ متر یا تونل‌های با نرخ خطر بالا که به اتاق کنترل با حضور اپراتور مجهز می‌باشند، استفاده از یک سیستم دوربین نظارتی مدار بسته برای پایش ترافیک تونل ضروری است. همچنین، بر اساس آئین‌نامه فرانسه، لزوم یا عدم لزوم تعبیه سیستم دوربین مدار بسته در تونل بر اساس طول تونل و نرخ تردد روزانه خودرو مشخص می‌گردد که در جدول ٦ ذکر شده است (جوهری‌مجد، ١٣٨٦).

جدول ٦. لزوم یا عدم لزوم تعبیه سیستم دوربین مدار بسته در تونل بر اساس استاندارد فرانسه (جوهری‌مجد، ١٣٨٦)

نرخ تردد (خودرو در روز)	موقعیت	طول (متر)				
		<۲۰۰	<۷۵۰	<۱۰۰۰	<۲۰۰۰	>۲۰۰۰
بیش از ۵۰۰۰	درون‌شهری	غیر لازم	ممکن	لازم		
	برون شهری	غیر لازم	ممکن		لازم	
کمتر از ۵۰۰۰	درون‌شهری	غیر لازم	ممکن			لازم
	برون شهری	غیر لازم			ممکن	لازم

در آلمان تونل‌های با طول کمتر از ۱۰۵۰ متر و ترافیک سبک، نیاز به تعبیه دوربین‌های مدار بسته ندارند. اما برای تونل‌های بالای ۱۰۵۰ متر، یا دارای ترافیک سنگین و یا با تقاطعات زیرزمینی باید دوربین‌ها به فواصل ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر از یکدیگر نصب شوند (جوهری‌مجد، ١٣٨٦).

۲-۱۳- تعبیه سیستم خودکار تشخیص و اعلام حوادث

بر اساس توصیه پیارک، یک سیستم تشخیص رخداد حادثه باید قادر به تشخیص بروز تغییر در وضعیت جریان ترافیک عبوری در تونل مانند توقف یا کاهش قابل توجه در سرعت تردد خودروها باشد. حوادث و رویدادها می‌توانند روزمره و معمول نظیر زمان پیک عبور خودروها از داخل تونل بوده و یا اینکه مانند وقوع تصادف، غیر منتظره و یا نامعمول باشند. در چنین شرایطی، سیستم‌های خودکار می‌توانند با استفاده از سنجش خودکار حوادث، امکان عکس‌العمل سریع و مناسب برای کنترل ترافیک و عملکرد به موقع در مواقع حادثه را به وجود آورند. هنگامی که این سیستم در کنار دوربین‌های مداربسته مورد استفاده قرار گیرد، اپراتور دوربین‌ها به سرعت می‌تواند با تغییر در روند جریان ترافیک به مشاهده دقیق‌تر محل بروز حادثه پرداخته و تصمیمات لازم را دراین خصوص اتخاذ نماید. این موضوع می‌تواند منجر به عملکرد و سرویس‌دهی مؤثرتر تونل شده و در بسیاری از موارد موجب جلوگیری از بروز تصادف مابین خودروهایی گردد که به محل بروز حادثه نزدیک می‌گردند. مزیت دیگر این سیستم عدم اتکا به وسائل ارتباطی نظیر تلفن، سایر تجهیزات اضطراری تونل و همچنین عدم نیاز به زیر نظر داشتن تمامی نقاط تونل توسط اپراتور می‌باشد (PIARC, 2001).

۲-۱٤- تعبیه سیستم خودکار تشخیص حریق

سیستم‌های کنترل حریق شامل سیستم‌های تشخیص حریق، کنترل تهویه و اطفاء حریق می‌باشند که بخش اول آن یعنی سیستم‌های خودکار تشخیص رخداد آتش‌سوزی به منظور اعمال عکس‌العمل سریع در برابر آتش‌سوزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش‌های مختلفی برای تشخیص حریق وجود دارند که عمدتاً بر اساس تشخیص حرارت کار می‌کنند و به منظور تدقیق عملکرد این سیستم از سایر حسگرها همچون حسگر مادون قرمز استفاده می‌شود.

۲-۱۵- سیستم‌های هشداردهنده و اطلاع‌رسانی داخل تونل

بر اساس دستور العمل پیارک، به منظور اطلاع‌رسانی به رانندگان خودروهای عبوری از داخل تونل از روش‌هایی مانند سیستم پخش پیام با بلندگو، سیستم پخش کانال‌های رادیویی و سیستم تابلوهای پیام متغیر ترافیکی می‌توان استفاده نمود.

استفاده از بلندگو برای تونل‌های با طول بیش از ۱۰۰۰ متر در محل ایستگاه‌های توقف اضطراری، پست‌های اضطراری در داخل تونل، همچنین در مجاورت درب‌های اضطراری (در صورت وجود)، در داخل دالان‌های اضطراری و مسیرهای تخلیه اضطراری مسافران (در صورت استفاده برای تخلیه اضطراری) توصیه می‌گردد. برای پوشش صوتی هرچه بهتر این مکان‌ها توصیه می‌شود بلندگوهای بوقی شکل ۱۰ واتی، به فاصله هر ۵ متر بر روی دیوار نصب گردند. مزیت این نوع بلندگوها آن است که موجب انعکاس صدا در تونل و دالان‌ها نمی‌شوند. محل قرارگیری بلندگوها بایستی ۲ متر بالاتر از سطح زمین باشد (جوهری‌مجد، ۱۳۸٦).

برای تونل‌های با طول بیش از ۱۰۰۰ متر، نصب سیستم پوشش کانال‌های رادیویی، بی سیم و تلفن همراه نیز الزامی می‌باشد. در این ارتباط، برای تونل‌های با طول بیش از ۵۰۰ متر نیز درصورتی که متوسط تردد روزانه در سال[۹] بیش از ۱۰۰۰۰ خودرو باشد، نصب این نوع سیستم‌ها ضروری خواهد بود. بعلاوه، برای تمامی تونل‌های با طول بیش از ۵۰۰ متر که قوس‌های موجود در آنها موجب عدم برقراری ارتباط مناسب بی‌سیم شود، نصب سیستم رادیویی دست کم به منظور پوشش‌دهی ارتباط رادیویی بی‌سیم بین پرسنل تعمیر و نگهداری امداد تونل توصیه می‌گردد. در خصوص تونل‌هایی که پخش پیام اضطراری از طریق رادیو برای آنها امکان پذیر است، فرکانس های رادیویی پخش پیام باید بر روی تابلوهایی قبل از ورود به داخل تونل، در محل ورودی آن و همچنین با فواصل ۵۰۰ متر از یکدیگر در داخل تونل در معرض دید رانندگان قرار گیرند (جوهری‌مجد، ۱۳۸٦). تابلوهای مشخص کننده حداکثر سرعت مجاز در داخل تونل باید در خارج از تونل نصب شده و همچنین برای تونل‌های بیش از ۱۰۰۰ متر باید به فواصل ۵۰۰ متر از یکدیگر در داخل تونل نیز نصب گردد. همچنین باید در محل دهانه ورودی به تونل‌هایی که دارای سیستم پایش به‌هنگام می‌باشند، تابلوهای پیام متغیر قرار گیرند تا در صورت وقوع تصادف و یا بروز هر نوع مشکل دیگری در تونل آن را به اطلاع رانندگان برسانند (جوهری‌مجد، ۱۳۸٦).

به منظور اعلان هشدار به راننده نسبت به وقایع روی داده درداخل تونل نصب دست کم دو سری تابلوی پیام متغیر در خارج از تونل، یک تابلو در نزدیکی دهانه تونل و دیگری به فاصله حدود ۵۰۰ متر قبل از شروع تونل لازم می‌باشد. این تابلوها بهتر است همراه با چراغ های خطر بوده و در بالای مسیر سواره‌رو نصب گردند. در خارج از تونل باید شدت روشنایی و وضوح سیگنال چراغ‌های خطر و تابلوهای پیام متغیر به اندازه‌ای باشد که چراغ‌های خطر از فاصله ۵۰۰ متری و تابلوهای پیام متغیر از فاصله ۳۰۰ متری قابل رؤیت باشند. همچنین برای فراهم نمودن شرایط مناسب دید رانندگان، تابلوهایی که در بالای خطوط عبور قرار می‌گیرند باید زاویه قرارگیری آنها کمی متمایل به سطح جاده باشد. زاویه قرارگیری تابلوهایی که در کنار جاده تعبیه شده و یا به دیواره تونل نصب هستند نیز بایستی نسبت به محور مسیر کمتر از ۹۰ درجه باشد تا رویت نمودن آنها برای رانندگان آسان‌تر گردد.

۲-۱٦- تعبیه تجهیزات اعلان هشدار و خروجی‌های اضطراری

بر اساس گزارش پیارک، در خصوص شرایط بکارگیری و فواصل تعبیه تجهیزات اعلان هشدار نظیر دستگاه‌های تلفن اضطراری و کلیدهای پخش آژیر هشدار، کشورهای مختلف از

ضوابط متفاوتی برخوردار می‌باشند. این ضوابط در جدول ۷ به طور خلاصه گردآوری و ارائه شده است.

در جدول ۸ مشخصات مربوط به کپسول‌های آتش‌نشانی همراه با محل نصب آنها و در جدول ۹ مشخصات شیرهای آتش‌نشانی در برخی کشورها به همراه فواصل قرارگیری آنها ارائه شده است (جوهری‌مجد، ۱۳۸٦).

جدول ۷. توصیه آئین‌نامه کشورهای مختلف در مورد استفاده از پخش آژیر هشدار و تلفن اضطراری در داخل تونل‌ها (جوهری‌مجد، ۱۳۸٦)

کشور	کلید پخش آژیر هشدار	دستگاه تلفن اضطراری	توضیحات
استرالیا	در هر ایستگاه اضطراری و در هر دو سوی تونل	در هر ۲۵۰ تا ۵۰۰ متر یک دستگاه	مختص تونل‌های با طول ۵۰۰ متر به بالا
فرانسه	–	در هر ۲۰۰ متر یک دستگاه	برای تونل‌های با طول بیش از ۲۰۰ متر
ژاپن	–	–	تعبیه این تجهیزات برای تونل‌های بیش از ۵۰۰ متر لازم می‌باشد.
هلند	–	در هر ۵۰ متر یک دستگاه	–
سوئد	تنها در برخی تونل‌ها الزامیست	در تمامی تونل‌ها الزامیست	به فواصل نصب اشاره نشده است
سوئیس	–	در هر ۱۵۰ متر یک دستگاه	–
انگلستان	–	در هر ۵۰ متر یک دستگاه و همچنین در نزدیکی دهانه‌های تونل	–
آمریکا	–	–	استفاده از هر دو سیستم برای تونل‌های با طول بیش از ۲٤۰متر الزامی است.
توصیه پیارک	استفاده از این سیستم اختیاری است	درهر ۲۰۰ متر یک دستگاه	–

بر اساس گزارش پیارک، خروجی‌های اضطراری برای تونل‌های درون‌شهری بایستی در هر ۲۰۰ متر تعبیه شود. در تونل‌های دارای ترافیک سنگین این فاصله معمولاً کوتاه‌تر انتخاب می‌شود. همچنین برای تونل‌های برون‌شهری در صورتی که طول تونل از ۵۰۰ متر تجاوز نماید در هر ٤۰۰ متر یک درب خروج اضطراری باید تعبیه شود (PIARC, 1999).

جدول ۸ مقایسه مشخصات و فواصل تعبیه کپسول‌های آتش‌نشانی در کشورهای مختلف (Kim et al., 2007)

کشور	مشخصات مربوط به تعبیه کپسول آتش‌نشانی	
	ظرفیت کپسول	فاصله توصیه شده
اتریش	٦ و ۹ کیلوگرم	۲۵۰ متر
فرانسه	٦ کیلوگرم	۲۰۰ متر
آلمان	٦ کیلوگرم	۱۵۰ متر
کره جنوبی	۳/۳ کیلوگرم	۵۰ متر
ژاپن	٦ کیلوگرم	۵۰ متر
نروژ	٦ کیلوگرم	٦۲/۵ – ۲۵۰ متر
سوئد	٦ کیلوگرم	۱۵۰ متر
آمریکا	۹ کیلوگرم (ماکزیمم)	۹۰ متر

جدول ۹. مقایسه مشخصات و فواصل تعبیه شیرهای آتش‌نشانی در داخل تونل‌ها در کشورهای مختلف (Kim et al., 2007)

کشور	مشخصات شیرهای آتش‌نشانی	
	سرعت خروج آب (لیتر بر میلی‌متر) فشار جریان آب (متر بر پاسگال)	فاصله نصب (متر)
اتریش	۱۲۰۰ ۰/٦	۲۵۰
فرانسه	۱۰۰۰ ۰/٦	۲۰۰
آلمان	۱۲۰۰ ۱ –۰/٦	۱۵۰
ژاپن	۱۳۰ ۰/۱۷	۵۰
کره جنوبی	۱۳۰ ۰/۱۷	۵۰

۳- بررسی ارضای ملاحظات ایمنی در تونل توحید تهران

تونل توحید تهران که به نوعی یکی از بزرگترین پروژه‌های شهری در تهران در سال‌های اخیر بوده است، با هدف تأمین دسترسی بزرگراه شهید چمران به بزرگراه شهید نواب صفوی و کاهش زمان سفر و کاهش بار ترافیکی تقاطع‌های میان این دو بزرگراه، احداث گردید. با وجود مزایایی که تونل توحید در شبکه حمل و نقل داشته است، برخی موارد مانند بسته بودن تونل در ساعاتی از شب، ورود آب زیرزمینی به تونل و جاری شدن آب سطحی به درون تونل و بروز تصادفات شدید و حتی منجر به فوت موجب ایراد برخی انتقادات به تونل توحید گردیده است. در این بخش به منظور شناخت از وضعیت ایمنی در این تونل، به بررسی برخی از ملاحظات ایمنی به شرح ذیل پرداخته شده است.

۳-۱- مقطع عرضی تونل

در تمامی‌کشورهای توسعه یافته، سرعت طرح تونل‌ها بزرگتر و یا مساوی ٦۰ کیلومتر بر ساعت بوده است و بر مبنای آن عرض خطوط عبور در داخل تونل بیش از ۳/۲۵ متر در نظر گرفته شده است. با این حال، براساس استاندارد کشور هلند، در صورت عدم تردد خودروهای سنگین در داخل تونل، مقدار عرض هر خط عبور می‌تواند تا ۲/۸۵ متر نیز در نظر گرفته شود. طبق اندازه‌گیری‌های میدانی انجام شده در تونل توحید، عرض خطوط عبور در بزرگراه چمران برابر با ۳/٤ متر و در بزرگراه شهید نواب صفوی برابر ۳/۲ متر بوده که این مقدار در داخل تونل توحید به ۲/۹ متر می‌رسد. با توجه به ممنوعیت تردد خودروهای سنگین در داخل تونل توحید و بر اساس آنچه که در بخش‌های قبلی بیان گردید، مطابق آئین‌نامه هلند عرض تعبیه شده برای عبور خودروها کافی می‌باشد. در تونل توحید، عرض شانه تعبیه شده برای توقف خودروهایی که ممکن است در تونل دچار نقص فنی شوند، ۲ متر بوده که با در نظر گرفتن عرض خط‌کشی مسیر، مجموعاً فضایی به عرض ۱۱ متر جهت تردد خودروها در هر یک از تونل‌ها تأمین شده است. بر اساس آنچه که در نشریه شماره ۱۰٦ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور بیان شده است، در تونل‌های طویل نظیر تونل توحید تهران تعبیه یک توقفگاه اضطراری در هر ۵۰۰ متر توصیه گردیده است؛ اما بر اساس گزارش طراحی مقطع عرضی که از سوی پیارک ارائه گردیده است، با توجه به تحقیقات انجام شده در دو کشور

نروژ و اسپانیا تنها در حدود ٪ ٤٠ از خودروهای دارای نقص فنی قادر خواهند بود تا خود را به توقفگاه‌های اضطراری برسانند. با توجه به این تحقیقات با تعبیه خط امداد در سرتاسر کناره راه طبیعتاً تعداد بیشتری از خودروهای معیوب می‌توانند خود را به کناره امن راه برسانند که رعایت این موضوع در تونل توحید تهران، در کنار حضور دائمی‌خودروهای امدادی در طرفین مسیر موجب شده است تا امنیت بیشتری برای خودروهای دارای نقص فنی فراهم گردد (PIARC, 2002).

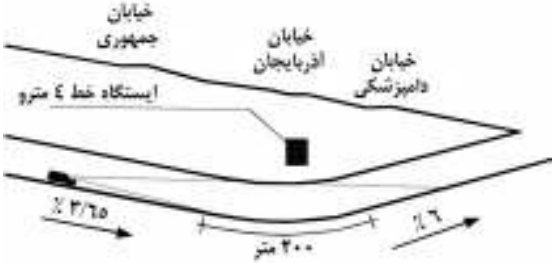
طبق آیین نامه طرح هندسی راه، توصیه شده است حداقل ارتفاع آزاد تونل از سطح سواره‌رو تا تراز زیر تأسیسات تونل همانند سیستم روشنایی و سیستم‌های تهویه ۵/۲ متر باشد. این در حالی است که ارتفاع آزاد تونل در مسیر ۵ متر بوده و قبل از ورودی تونل تابلوی محدودیت ارتفاع ٤/٥ متر نیز نصب گردیده است.

۳-۲- قوس قائم

عموماً تعبیه قوس قائم محدب در راستای طولی تونل‌ها به دلیل تسهیل عملیات زهکشی صورت می‌گیرد و تعبیه قوس مقعر در شرایط طبیعی در تونل چندان مرسوم نیست. با این وجود گاهی اوقات به دلیل ملاحظات خاص طرح و موقعیت ویژه آن تعبیه قوس قائم مقعر در تونل اجتناب ناپذیر می‌باشد. بر این اساس، در خصوص تونل توحید و همانگونه که در شکل ٤ نشان داده شده است، با توجه به قرارگیری ایستگاه مربوط به خط ٤ متروی تهران در بالای تونل، اجرای طرح نیازمند تعبیه قوس قائم مقعر برای مسیر تونل بوده است. در کلیه تونل‌ها به ویژه آن‌هایی که در راستای طولی خود از قوس‌های قائم برخوردار می‌باشند، تأمین فاصله ایمن توقف یکی از ارکان کلیدی افزایش ایمنی پروژه می‌باشد.

علاوه بر این، درتونل‌های دارای قوس مقعر، همانگونه که در آئین‌نامه BD 78/99 ذکر شده است، علاوه بر تأمین مسافت دید توقف، باید توجه داشت که وجود سقف تونل موجب محدودیت دید می‌گردد و بایستی تأثیر آن بر مسافت ایمن توقف مورد ارزیابی قرار گیرد. با مشاهده شکل شماتیک پروفیل طولی تونل توحید (شکل ٤)، می‌توان دریافت که اختلاف شیب طرفین قوس مقعر تعبیه شده برای آن برابر ٪ ۹/٦٥ =A می‌باشد. با توجه به جدول ۳ برای یک تونل با سرعت طرح ٦٠ کیلومتر بر ساعت و اختلاف شیب طولی ٪ ۹/٥، مقدار حداقل طول قوس قائم باید برابر ١٦٤ متر و برای اختلاف شیب ٪ ۱۰، برابر ۱۷۲ متر باشد. با درونیابی این دو مقدار حداقل طول قوس برای طرح تونل باید ١٦٦/٤ متر درنظر گرفته شود که این مقدار در تونل توحید برابر ۲۰۰ متر بوده و به این معنا می‌باشد که ضابطه آئین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران در این خصوص ارضاء شده است. علاوه بر این، براساس جدول ۳ برای یک تونل با سرعت طرح ٦٠ کیلومتر بر ساعت برای اختلاف شیب طولی ٪ ۹/٥، مقدار حداقل فاصله دید توقف باید برابر ۹۹ متر و برای اختلاف شیب ٪ ۱۰، این مقدار باید برابر ۹٦ متر باشد. با درونیابی این دو مقدار حداقل فاصله دید توقف برای اختلاف شیب ۹/٦٥ درصد به میزان ۹٦/۹ متر به دست خواهد آمد.

از سوی دیگر، با توجه به تأثیر ارتفاع سقف بر حوزه دید راننده در داخل تونل، بررسی‌هایی بر روی آن در محل قوس قائم در نقشه‌ها صورت گرفته که بر اساس نتایج حاصله، سقف تونل در طول قوس مانعی در برابر دید رانندگان خودروها نخواهد بود. به عبارتی دیگر، فاصله دید مورد نیاز بیش از ۲۰۰ متر تأمین گردیده که در واقع معیار ارائه شده در آئین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران را تأمین می‌نماید.



شکل ٤. وضعیت بزرگترین قوس قائم موجود در تونل توحید

۳-۳- تعبیه پیاده روها در تونل

با توجه به مقطع عرضی تونل توحید، عرض رفوژ میانی از کناره ستون‌ها تا لبه بزرگراه و همچنین عرض پیاده‌روها در طرفین تونل همگی برابر ۰/٦ متر در نظر گرفته شده است که این اعداد با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش ۲-۲ و بالاخص بر اساس آئین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران قابل قبول می‌باشد. همچنین عرض پیاده‌روی در نظر گرفته شده برای تونل توحید، بر اساس آئین‌نامه کشورهای فرانسه، ایالات متحده، ژاپن و پیارک نیز قابل‌قبول می‌باشد. با این حال، نکته‌ای که در اینجا حائز اهمیت می‌باشد آن است که با وجود طراحی و اجرای عرض مناسب برای پیاده رو درتونل، همانگونه که در شکل ۵-الف مشاهده می‌شود در برخی قسمت‌ها، پیاده‌رو فاقد روسازی مناسب بوده و عملاً اشخاص پیاده از جمله پرسنل تعمیر و نگهداری تونل مجبور به استفاده از خط امداد برای تردد می‌باشند. همچنین همانگونه که در شکل ۵-ب مشاهده می‌گردد، تعبیه تابلوهای شبرنگ در محل پیاده‌رو نیز عملاً امکان تردد در طول مسیر را برای متصدیان تعمیر و نگهداری تونل دشوار می‌نماید.

(الف) عدم اجرای کامل روسازی پیاده‌رو

(ب) وجود مانع در محل پیاده‌رو

شکل ۵. مشکلات پیاده رو در کناره مسیر تونل توحید

۳-٤- تهویه مناسب با در نظر گرفتن ملزومات مقابله با آتش‌سوزی

تهویه هوای تونل توحید با توجه به عدم کارکرد تهویه طبیعی بر اساس تهویه مکانیکی صورت می‌گیرد. این امر با تعبیه جت‌فن‌هایی با فواصل طولی مشخص از یکدیگر در هر تونل و هدایت هوا توسط آنها درطول مسیر و نهایتاً به خارج فضای تونل اتفاق می‌افتد.

همانگونه که در بخش ۲-٦ عنوان گردید، بر اساس آئین‌نامه تأسیسات ایمنی راه، از روش تهویه طولی با جت فن در تونل‌های با طول بین ۵۰۰ متر تا ۲۰۰۰ متر استفاده می‌شود. در تونل‌های با طول بیش از ۲۰۰۰ متر به علت افزایش تراکم گازهای سمی در محل خروجی تونل و همچنین افزایش سرعت هوا به میزان بیش از حد استاندارد (۸ متر بر ثانیه)، استفاده از این نوع سیستم در آئین‌نامه تأسیسات ایمنی راه‌های ایران توصیه نشده است. البته براساس این آئین‌نامه سرعت استاندارد هوا در خروجی تونل‌های یک طرفه تا مقدار ۱۰ متر بر ثانیه مجاز می‌باشد که بر این اساس استفاده از سیستم جت فن در تونل توحید تهران به دلیل یکطرفه بودن تونل بلامانع می‌باشد.

همچنین عملکرد این سیستم زمانی به بهترین حالت خود خواهد رسید که اولاً جهت حرکت هوا با جهت تردد خودروهای عبوری یکسان بوده و ثانیاً در تونل‌های موازی، تونل‌ها بایکدیگر مرتبط نبوده و هر یک به طور مجزا نقش یک استوانه کامل که فاقد هرگونه منفذ در جداره خود بوده را ایفا نمایند تا شرایط یک طرفه بودن تونل به نحو مطلوبی احراز گردد. بدین منظور، علیرغم انسداد فضای بین ستون‌های تونل رفت و برگشت و ایجاد چندین بازشو، پیشنهاد می‌گردد که پارتیشن‌های انسداد و درب‌های ارتباطی دو طرف تونل، ضد آتش و مقاوم در برابر سیلاب باشند. در این ارتباط، استانداردهای سایر کشورها فاصله بین درب‌های ارتباطی را بین ۱۰۰ الی ۱۵۰ متر پیشنهاد نموده‌اند.

۳-۵- نورپردازی تونل

در تونل توحید امکان تطابق چشم راننده با نور محیط در هنگام ورود به تونل که محیطی با نور کمتر (در هنگام روز) محسوب می‌گردد، با تعبیه تعداد بیشتری از چراغ‌ها در ورودی تونل به نحو مناسبی رعایت شده است. شایان ذکر است با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات دقیق و همچنین دستگاه‌های مرتبط با سنجش میزان نور، مدل بررسی صرفاً به صورت کیفی می‌باشد.

۳-٦- مشخصات روسازی

همانگونه که پیش‌تر بیان گردید، روسازی آسفالتی در زمان سوختن موجب بروز حرارت و گرمای بیشتر در محل آتش‌سوزی شده و بر اساس آئین‌نامه ایمنی راه‌های ایران (نشریه ۵-۲٦۷، ۱۳۸٤)، از لحاظ مقاومت در مقابل آتش‌سوزی، مقاومتی به مراتب کمتر از رویهٔ بتنی دارد. دیگر مشکل عمده روسازی آسفالتی را می‌توان عمر نسبتاً کوتاه‌تر آن نسبت به روسازی بتنی دانست که بر اساس آنچه بیان گردید می‌تواند هزینه چرخه عمر روسازی را افزایش دهد. همانگونه که در شکل ٦ مشاهده می‌گردد، با توجه به اجرای روسازی آسفالتی در تونل توحید به ضخامت تقریبی ۱۰ سانتیمتر بر روی دال ضخیم بتنی، در صورت اجرای خوب و اصولی این آسفالت می‌توان پایداری و دوام مناسب و در نتیجه کاهش هزینه‌های چرخه عمر را برای این نوع روسازی متصور بود.

شکل ٦. روسازی ترکیبی بتنی و آسفالتی تونل توحید

۳-۷- اعمال محدودیت سرعت

یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر بروز تصادفات، تردد خودروها با سرعتی بیش از سرعت مجاز در نظر گرفته شده در طول مسیر می‌باشد. همچنین پارامتر سرعت وسیله نقلیه تأثیر کاملاً مستقیمی بر تغییر نوع تصادفات داشته بطوری‌که با افزایش سرعت تردد، تصادفات از حالت تصادف خسارتی به جرحی و حتی فوتی می‌تواند تبدیل گردد. لذا در این خصوص، به منظور جلوگیری از افزایش سرعت خودروها در تونل توحید از دوربین‌های هوشمند سرعت‌سنج مجهز به سامانه تشخیص و قرائت پلاک استفاده گردیده است. استقرار این دوربین‌ها تأثیر قابل توجهی بر رعایت سرعت مجاز تردد مشخص شده بر روی تابلوهای سرعت متغیر تونل توسط رانندگان خودروها داشته است.

۳-۸- اعمال ممنوعیت سبقت

با توجه به مخاطرات محتمل ناشی از سبقت خودروها در تونل، در تمامی طول تونل توحید سبقت ممنوع اعلام شده است و این قانون از طریق ترسیم خطوط ممتد در داخل تونل اعمال گردیده است. همچنین حرکت در میان خطوط می‌تواند تأثیر بسیاری بر ایجاد نظم ترافیکی تونل داشته باشد. با توجه به امکان تغییر خط غیر ضروری در تونل از سوی رانندگان، می‌توان با تعبیه چشم گربه‌ای‌ها[۱۰] بر روی خطوط عبور ممتد امکان تغییر خط غیر ضروری رانندگان در درون تونل را کاهش داد.

۳-۹- اجبار به رعایت فاصله طولی ایمن

متأسفانه به دلیل عدم امکان همکاری ارگان‌های ذیربط، امکان دسترسی به اطلاعات تصادفات تونل توحید موجود نبوده است. ولی با توجه به مختصر اطلاعات در دسترس، در بازه هفت ماهه مذکور تصادفات ثبت شده در محل ورودی و خروجی تونل منتهی به بزرگراه شهید نواب صفوی، ۲۱ مورد بوده است که علت وقوع پنج مورد از آنها، عدم رعایت فاصله طولی مناسب مابین خودروها بوده است که رقمی در حدود ۲۴٪ کل تصادفات این ورودی را تشکیل می‌دهد. با وجود اینکه آمار مذکور متعلق به بزرگراه‌های منتهی به دو انتهای تونل توحید بوده و در واقع مربوط به داخل تونل نمی‌باشد، اما با توجه به مشابهت رفتار رانندگان در داخل و خارج تونل این آمار می‌تواند تخمینی از میزان وقوع تصادفات جلو به عقب در تونل را ارائه نماید. در بازدیدهای میدانی صورت گرفته از تونل مشاهده گردید که بسیاری از رانندگان فاصله طولی مناسب را رعایت نمی‌کنند که این موضوع احتمال رخداد تصادفات جلو به عقب را افزایش می‌دهد. متأسفانه اجبار نمودن رانندگان به افزایش فاصله طولی بسیار دشوار می‌باشد، که این امر به دلیل عدم امکان اندازه‌گیری فاصله طولی بین خودروها در سرعت‌های پایین و ترافیک سنگین و همچنین عدم وجود قانون صریح به منظور صدور برگه اخطاریه برای رانندگان متخلف (با رعایت سرفاصله ایمن کمتر از ۲ ثانیه) است.

۳-۱۰- سیستم‌های هشداردهنده و اطلاع‌رسانی داخل تونل

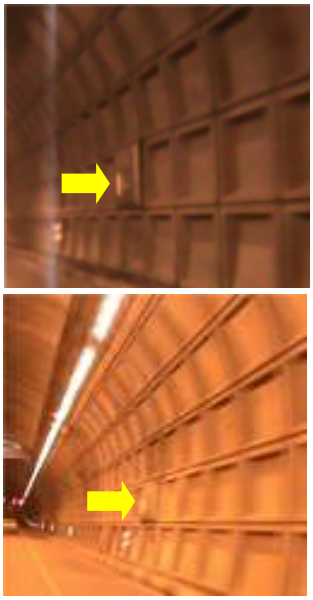
در بررسی‌های به عمل آمده بر روی تونل توحید تهران، استفاده از سیستم پخش پیام توسط بلندگو مشاهده نگردید. با توجه به بروز برخی تخلفات توسط موتورسواران و حتی توقف آن‌ها در تونل و بروز خرابی خودروها، استفاده از این سیستم می‌تواند رابطی میان سیستم کنترل تونل و کاربران تونل باشد. علاوه بر این، تعبیه این سیستم در تونل می‌تواند در زمان بروز حادثه، راهکارهای ارائه شده از سوی مسئولین اتاق کنترل تونل را در اختیار کاربران تونل قرار دهد.

بر خلاف این موضوع که در گزارش سیستم‌های کنترل هوشمند تونل استفاده از رادیو در تونل برای تونل‌های طویل‌تر از ۱۰۰۰ متر الزامی تلقی شده است، در تونل توحید امکان استفاده از رادیو وجود نداشته و امکان دریافت فرکانس‌های رادیویی توسط کاربران وجود ندارد. در این خصوص، پیشنهاد می‌گردد علاوه بر تأمین پوشش رادیویی درون تونل، فرکانس خاصی به امر ارتباط مسئولین کنترل تونل با رانندگان در حال عبور از تونل اختصاص یابد. همانگونه که پیش‌تر بیان گردید، برای هشدار به راننده نسبت به وقایع تونل، نصب دست کم دو سری تابلوی پیام متغیر سه خطّه به همراه چراغ های خطر در بالا دست مسیر، در خارج از تونل یکی در نزدیکی دهانه تونل و دیگری به فاصله حدود ۵۰۰ متر از آن لازم می‌باشد.

۳-۱۱- تعبیه تجهیزات و خروجی های اضطراری

بر اساس برداشت‌های محلی انجام گرفته در تونل توحید، کپسول‌ها و شیرهای آتش‌نشانی در فاصله کمتر از ۵۰ متر از یکدیگر قرار گرفته‌اند که در صورت تأمین فشار آب کافی و همچنین وزن مناسب کپسول‌های آتش‌نشانی، می‌توان ابراز نمود که ضوابط استانداردهای اروپایی و آمریکایی (جدول‌های ۷ و ۸) را به نحو مناسبی ارضا نموده‌اند. همچنین در داخل تونل توحید، تلفن‌های اضطراری در فواصل کمتر از ۱۰۰ متر از یکدیگر قرار گرفته‌اند که بر اساس مقادیر ارائه شده در جدول ۷، استانداردهای کشورهای فرانسه و استرالیا را برآورده می‌سازند.

همانگونه که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد، علیرغم تأمین تجهیزات اضطراری به میزان کافی، به دلیل انتخاب رنگ کابینت تلفن اضطراری با رنگی نزدیک به زمینه بتنی اطراف آن، رویت آن در هنگام خطر برای کاربران ممکن است دشوار باشد. همچنین با توجه به عدم تعبیه چراغ‌های مجزا و اضطراری برای این تجهیزات، در صورت قطع احتمالی برق چراغ‌های تونل یا محدود شدن دید بر اثر دود ناشی از آتش‌سوزی، امکان دسترسی کاربر به این تجهیزات تا حدود زیادی مشکل خواهد بود.



شکل ۷. دشوار بودن یافتن کابینت تلفن اضطراری و تجهیزات آتش‌نشانی در تونل توحید

بر اساس آنچه در بخش ۲-۱۶ عنوان گردید، خروجی‌های اضطراری بایستی برای تونل‌های درون‌شهری در هر ۲۰۰ متر تعبیه شده و در تونل‌های با ترافیک سنگین این فاصله بایستی کوتاه‌تر انتخاب شود. در حال حاضر، خروجی‌های موجود در تونل توحید، تنها دو دهانه ورودی به تونل به همراه درب‌های ارتباطی بین دو تونل بوده که در صورت عدم بروز آتش‌سوزی همزمان در داخل تونل‌ها، خروج از فضای دودآلود داخل تونل را تا حدودی تسهیل می‌نماید، اگرچه، پارتیشن‌های انسداد و درب‌های ارتباطی، باید ضد آتش باشند.

همانگونه که در شکل ۸-الف مشاهده می‌گردد، علائم نشانگر مسیر خروج از تونل در تمامی‌طول مسیر تعبیه گردیده است. این علائم که صرفاً بصورت شبرنگ هستند، به اندازه‌ای کوچک در نظر گرفته شده‌اند که در صورت دودآلود بودن مسیر تنها از خط‌های سمت راست قابل مشاهده بوده و افرادی که در خط‌های وسط و یا چپ تونل قرار دارند در تشخیص آن دچار مشکل می‌گردند. در شکل ۸-ب نمونه مناسبی از نشانگرهای مسیر خروج که در تونل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند نمایش داده شده است (جوهری‌مجد، ۱۳۸۶).

(الف) نحوه نامناسب استفاده از نشانگرها (تونل توحید)

(ب) نحوه صحیح استفاده از نشانگر (جوهری‌مجد، ۱۳۸٦)

شکل ۸. علائم نشانگر مسیر خروج در تونل‌ها

۳-۱۲- ورود آب زیرزمینی به تونل

تونلسازی در فضاهای زیرسطحی حاوی آب زیرزمینی، همواره مخاطره آمیز بوده و می‌تواند مشکلات و چالش‌های بسیاری را در حین بهره‌برداری، متوجه تونل‌ها نماید. در مرحله بهره‌برداری، پوشش آب‌بند تونل‌ها باید قبلاً برای فشار هیدرواستاتیک ناشی از محیط اشباع پیرامون خود طراحی شده باشد. همچنین، به منظور ورود هرگونه آب احتمالی به داخل تونل نیز بایستی علاوه بر تعبیه سیستم زهکشی، از ژئوممبرین‌ها به منظور پوشش کلی محیط تونل استفاده نمود. در این ارتباط، سیستم‌های زهکشی تونل‌ها نیازمند نگهداری و تعمیرهای دوره‌ای منظم به منظور حصول اطمینان از فرآیند دائمی زهکشی می‌باشند. با توجه به پایین بودن سطح آب‌زیرزمینی و خشک بودن محیط حفاری در زمان اجرای تونل توحید، متأسفانه سیستم زهکشی مناسبی برای تونل توحید تعبیه نشده و از ژئوممبرین نیز مابین خاک و پوشش نهایی تونل استفاده نشده است. این موضوع، در حال حاضر با ورود آب‌های سطحی، فاضلاب و سایر منابع آب‌های راه یافته به محل تونل، مشکلات عدیده ای را برای دست اندرکاران مدیریت شهری و کاربران تونل ایجاد نموده است. همچنین این موضوع، مشکلاتی از قبیل نشت آب به داخل تونل و افتادن قطرات آب بر روی وسائط نقلیه عبوری و ایجاد رعب و وحشت در حین رانندگی، خیس شدن سطح روسازی و احتمال افزایش تصادفات، اضمحلال پوشش نهایی تونل در نتیجه املاح موجود در آب و فاضلاب، خرابی سیستم‌های الکتریکی و مکانیکی موجود در تونل و ... را بوجود آورده است. لذا، موضوع نشت آب زیرزمینی و فاضلاب به تونل توحید، مسئله مهمی است که در اسرع وقت باید نسبت به رفع جدی آن اقدام نمود.

۳-۱۳- ورود آب‌های سطحی و سیلاب

در مناطق با نزولات جوی بالا و یا در شهرهایی که سیستم‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی بطور مؤثری اجرا نشده و یا عمل نمی‌کنند (مانند اکثر شهرهای ایران)، به هنگام بارندگی، همواره معابر دچار آب‌گرفتگی شده و آب‌های سطحی در قالب سیلاب‌های کوچک در معابر و خیابان‌ها جریان می‌یابند. در این بین، سازه‌های زیرزمینی مانند ایستگاه‌های مترو، تونل‌های شهری، شبکه‌های تأسیساتی و ... از جمله مستعدترین نواحی برای ورود آب‌های سطحی به داخل آن‌ها می‌باشند. در صورتی که این نوع سازه‌های زیرزمینی در برابر ورود آب‌های سطحی و سیلاب‌ها محافظت نشوند، امکان آب‌گرفتگی آن‌ها و حتی احتمال مسدود شدن‌شان نیز وجود خواهد داشت. در این بین، شیب طولی ناحیه ورودی یا خروجی تونل در واقع عاملی جهت تسهیل ورود آب‌های سطحی به داخل تونل محسوب می‌گردد. به عبارت دیگر، شیب طولی تونل سبب خواهد شد تا آب با سرعت قابل توجهی وارد تونل گردد.

تونل توحید نیز با توجه به شیب طولی اتوبان چمران، حد فاصل پل گیشا تا دهانه ورودی تونل، که در حدود ۳/۲ درصد می‌باشد و همچنین شیب ٦ درصد رمپ شمالی تونل، یکی از مستعدترین شرایط برای ورود آب‌های سطحی و سیلاب را داراست. تا آنجایی هم که از شواهد مشخص است متأسفانه تمهیداتی برای مدیریت شرایط سیلابی در این تونل درنظر گرفته نشده است. در این ارتباط، آب‌گرفتگی تونل توحید می‌تواند خطراتی را متوجه افرادی که در حال عبور از تونل می‌باشند و همچنین سیستم‌های الکتریکی، مکانیکی و ... داخل تونل نماید. از این‌رو، شاید یکی از راهکارهای پیشگیری از ورود سیلاب به داخل تونل، استفاده از درب‌های مقاوم در برابر سیلاب، مشابه دریچه‌های سرریز سدهای بتنی باشد.

٤- جمع‌بندی و ارایه چک‌لیست کنترل ارضاء ملاحظات ایمنی در تونل توحید تهران

بر اساس موارد ارائه شده در این مقاله، نهایتاً چک‌لیست ارائه شده در قالب جدول ۱۰ برای تونل توحید تکمیل شده است. با توجه به عدم وجود پایگاه اطلاعاتی مدون از اسناد و مدارک مربوط به طراحی، اجرا و نگهداری و همچنین حوادث رخ داده در تونل و پراکندگی این اسناد در پایگاه‌های داده سازمان‌ها و ادارات مختلف و همچنین محدودیت دسترسی به اطلاعات مذکور و محدودیت نشر این اطلاعات، تکمیل این چک‌لیست بسیار زمان‌بر بوده و در برخی از موارد نیازمند بازبینی می‌باشد. لذا، تاکید می‌گردد که مدون‌سازی و مستندسازی اطلاعات یک پروژه به عنوان اولین گام کنترل ارضاء ملاحظات ایمنی تلقی شده و از اهمیتی حیاتی برخوردار است. همچنین با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات و داده‌های برخی از دستگاه‌ها نظیر دستگاه‌های سنجش میزان نور و آلودگی، این شاخص‌ها به صورت نامشخص در چک لیست وارد شده است که در واقع علیرغم اهمیت بسیار زیادی که دارند، امکان بررسی آنها فراهم نبوده است.

جدول ۱۰. چک لیست بررسی ارضاء برخی ملاحظات ایمنی در تونل توحید

آیتم مورد ارزیابی		آئین نامه مبنای بررسی	تایید یا عدم تایید			توضیحات
			بلی	خیر	نامشخص	
مقطع عرضی در تونل	حداقل عرض	آئین نامه کشور هلند ROA	✓			
	حداقل ارتفاع	BD 78/99	✓			
	تعبیه توقفگاه اضطراری	نشریه ۱۰٦ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی	✓			با توجه به تعبیه خط اضطرار و امکان بکارگیری آن جهت توقف اضطراری خودروهای نیازمند تعمیر و همچنین حضور خودروهای امداد رسان مختص تونل این ضابطه تا حدودی رعایت شده است.
	سایر	-			✓	
حداقل فاصله دید در تونل		BD 78/99	✓			
پیاده‌روها در تونل	حداقل عرض	PIARC		✓		با توجه به روسازی نامناسب و تعبیه شبرنگ‌ها در پیاده‌رو، مقدار عرض استاندارد تعبیه شده قابل استفاده نمی‌باشد.
	حداقل ارتفاع	PIARC	✓			
	حداکثر ارتفاع	PIARC	✓			
حداقل عرض منطقه خارج راه		PIARC	✓			
پروفیل	قائم	نشریه ٦١ سازمان	✓			با توجه به کم بودن سرعت تردد قابل قبول است.

آیتم مورد ارزیابی		آئین نامه مبنای بررسی	تایید یا عدم تایید			توضیحات
			بلی	خیر	نامشخص	
مسیر		مدیریت و برنامه‌ریزی				
	افقی	نشریه ٦١ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی	✓			با توجه به کم بودن سرعت تردد قابل قبول است.
محدودیت شیب در تونل	حداقل شیب طولی	نشریه ٦١ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی	✓			با توجه به کم بودن سرعت تردد قابل قبول است.
	حداکثر شیب طولی	-			✓	بر اساس نشریه ١٦١ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، شیب از مقدار مجاز بیشتر است. بر اساس آئین نامه انگلستان و نروژ شیب قابل قبول است. نظر به عدم تردد خودروهای سنگین و تعبیه خط اضطرار برای خودروهای معیوب، شیب بر اساس نشریه ١٦١ نیز می‌تواند قابل قبول باشد،
	حداقل شیب عرضی تونل	نشریه ١٦١ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی	✓			با توجه به کم بودن سرعت تردد قابل قبول است.
	حداکثر شیب عرضی تونل	نشریه ١٦١ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی	✓			با توجه به کم بودن سرعت تردد قابل قبول است.
تهویه مناسب	کیفیت هوای درون تونل	سیستم‌های کنترل هوشمند تونل			✓	عدم دسترسی به دستگاه‌های موردنیاز
	عدم کاهش فاصله دید	سیستم‌های کنترل هوشمند تونل			✓	عدم دسترسی به دستگاه‌های موردنیاز
نورپردازی مسیر در دو حالت عادی و اضطراری	حالت عادی	سیستم‌های کنترل هوشمند تونل			✓	عدم دسترسی به دستگاه‌های موردنیاز
	حالت اضطراری	سیستم‌های کنترل هوشمند تونل			✓	عدم دسترسی به دستگاه‌های موردنیاز
مشخصات سطح روسازی درون تونل	مقاومت در برابر لغزش	EN 13036-4			✓	عدم دسترسی به دستگاه‌های موردنیاز
	ناهمواری سطح روسازی	-			✓	به دلیل عدم دسترسی به دستگاه‌های لازم بررسی تنها به صورت کیفی انجام گرفت.
اعمال محدودیت سرعت		-	✓			
اعمال ممنوعیت سبقت		-		✓		تجهیزات و ملزومات لازم در این خصوص در تونل وجود ندارد.
اجبار به رعایت فاصله ایمن میان خودروهای عبوری		-		✓		تجهیزات و ملزومات لازم در این خصوص در تونل وجود ندارد.
تعبیه دوربین نظارتی مدار بسته		سیستم‌های کنترل هوشمند تونل			✓	به دلیل عدم وجود مستندسازی قابل دسترس، بررسی امکان‌پذیر نبوده است.
تعبیه سیستم خودکار تشخیص و اعلام حوادث		سیستم‌های کنترل هوشمند تونل			✓	به دلیل عدم وجود مستندسازی قابل دسترس، بررسی امکان‌پذیر نبوده است.
تعبیه سیستم خودکار تشخیص حریق		سیستم‌های کنترل هوشمند تونل			✓	به دلیل عدم وجود مستندسازی قابل دسترس، بررسی امکان‌پذیر نبوده است.
تعبیه سیستم‌های هشداردهنده		سیستم‌های کنترل			✓	به دلیل عدم وجود مستندسازی قابل دسترس، بررسی

آیتم مورد ارزیابی	آئین نامه مبنای بررسی	تایید یا عدم تایید			توضیحات
		بلی	خیر	نامشخص	
	هوشمند تونل				امکان‌پذیر نبوده است.
تعبیه سیستم اطلاع‌رسانی داخل تونل	سیستم‌های کنترل هوشمند تونل			✓	به دلیل عدم وجود مستندسازی قابل دسترس، بررسی امکان‌پذیر نبوده است.
تعبیه سیستم اطفاء حریق	آئین نامه کشور ژاپن و کره جنوبی	✓			آئین نامه ژاپن و کره جنوبی از سخت‌گیرترین آئین‌نامه‌ها در این زمینه بوده و وجود فاصله مناسب تعبیه تجهیزات اطفاء حریق این دو آئین نامه را نیز تأمین می‌نماید.
تعبیه خروجی‌های اضطراری	PIARC		✓		تعداد خروجی‌های اضطراری تایید نمی‌گردد.

۵- پی‌نوشت‌ها

1. PIARC
2. Off-Carriageway
3. Stopping Sight Distance (SSD)
4. Full Overtaking Sight Distance
5. Entrance Zone
6. Transition Zone
7. Interior Zone
8. Exit Zone
9. Average Annual Daily Traffic (AADT)
10. Cat’s Eyes

٦- مراجع

- جوهری‌مجد، و. (۱۳۸٦)، "سیستم‌های کنترل هوشمند تونل"، وزارت راه و شهرسازی، معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری، پژوهشکده حمل ونقل، ص.۵۳۸.

- نشریه ۱٦۱، (۱۳۷۵)، "آیین‌نامه طرح هندسی راه‌ها"، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت راه و شهرسازی، معاونت امور فنی- معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری، پژوهشکده حمل و نقل، ص.۳۷۹.

- نشریه ۵-۲٦۷ (۱۳۸٤) "آیین‌نامه ایمنی راه‌ها: تأسیسات ایمنی راه"، وزارت راه و شهرسازی، معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری، پژوهشکده حمل و نقل، ص.۸۵.

- Ceriotti M., Corrà M., Orazio L., Doriguzzi R. and Facchin D.,(2011), "Is There Light at the Ends of the Tunnel? Wireless Sensor - Networks for Adaptive Lighting in Road Tunnel", 10th International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN), Chicago, USA, 12-14 April.

- CETU, (2003), "Guide to road tunnel safety documentation: safety documentation objectives", Tunnel study centre, pp. 19.

- DMRB 1.1, (1998), "Highway Structures: Technical Approval of Highway Structures", Design manual for roads and bridges, BD2, pp. 77.

- DMRB 78, (1999), "Highway Structures Design (Substructures and Special Structures) Materials: Design of road tunnels", Design manual for roads and bridges, BD 78/99, pp. 187.

- DMRB 6.1, (2005),"Road Geometry: Cross sections and headrooms", Design manual for roads and bridges, TD27, pp. 72.

- EAPA, (2008), "Asphalt pavements in tunnels", European Asphalt Pavement Association, pp. 23.

- Kim H.K., Lönnermark A. and Ingason H., (2007), "Comparison of Road Tunnel Design

- PIARC, (2002), "Cross section design in Uni-directionnal Tunnels", Technical Committee on Road Tunnel Operation, World Road Association, B.05.11, pp. 96.

- PIARC, (2004), "Cross section design for bi-directional road tunnels", Technical Committee on Road Tunnel Operation, World Road Association, B.05.11, pp. 72.

Guidelines", Fire Technology, SP Report 2007:08, pp. 62.

- PIARC, (1999), "Fire and Smoke Control in Road Tunnels: Exits and Other Safety Facilities", B.05.05, pp. 290.

-PIARC, (2001), "Safety in Tunnels: Transport of dangerous goods through road tunnels", Technical Committee on Road Tunnel Operation, World Road Association, ITRD number: E110101, pp. 89.