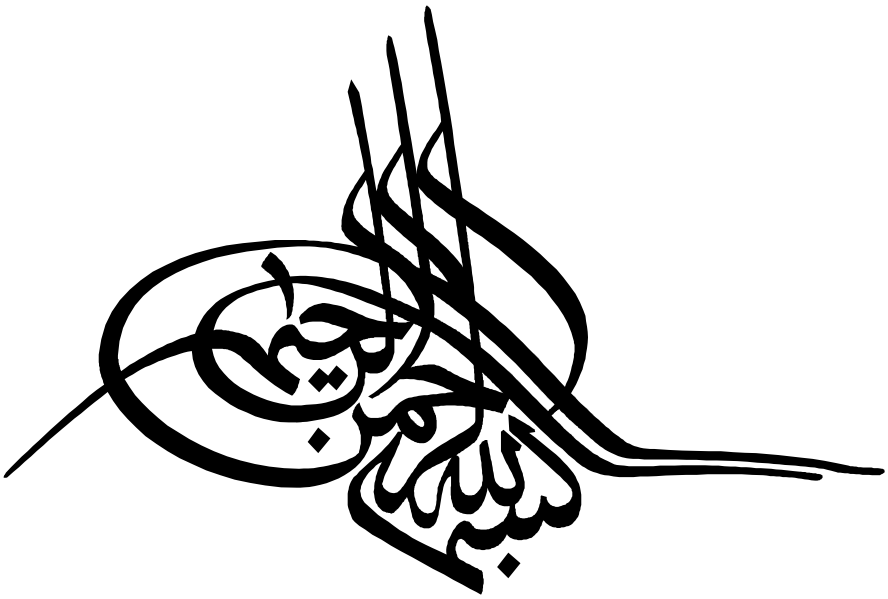
وزارت راه و ترابری
معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری

مجمع جهانی راه (پیارک)

طراحی مقطع عرضی تونل‌های دو طرفه راه

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com



PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

وزارت راه و ترابری

معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری

دبیرخانه مجمع جهانی راه (پیارک) در ایران

طراحی مقطع عرضی تونل‌های دو طرفه راه

این مجموعه ترجمه‌ای است از گزارشی تحت عنوان:

Cross Section Design for Bi-Directional Road Tunnels

توجه: هدف از تهیه این‌گونه مجموعه‌ها، طرح موضوعات تخصصی در قالب انتقال فناوری از طریق نشر منابع تخصصی معتبر می‌باشد. لذا به کلیه بهره‌برداران توصیه می‌گردد جهت کاربرد اعداد و استانداردهای مورد اشاره به اصل منابع مراجعه نمایند. بدیهی است ناشر هیچ گونه مسؤولیتی در خصوص پیامدهای سوء ناشی از عدم توجه به توصیه فوق را متقبل نخواهد شد.

دفتر مطالعات فناوری و ایمنی

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

عنوان و نام پدیدآور :طراحی مقطع عرضی تونل‌های دو طرفه راه/ تهیه و تالیف دبیرخانه مجمع جهانی راه (پیارک) در ایران؛ مترجم فرخ نوذری.؛ [برای] وزارت راه و ترابری، معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری.
مشخصات نشر :تهران: وزارت راه و ترابری، دفتر مطالعات فناوری و ایمنی، ۱۳۸۸.
مشخصات ظاهری :۳۸ص.: جدول. ؛ ۲۲×۲۹س‌م.
شابک :۹۷۸-۶۰۰-۵۶۱۵-۱۰-۴ ISBN: 978-600-5615-10-4
یادداشت :کتاب حاضر ترجمه گزارشی است تحت عنوان:
"Cross Section Design for Bi-Direction Road Tunnels "
موضوع :تونل‌سازی-- طرح و محاسبه
موضوع :تونل‌ها -- طرح و ساختمان
شناسه افزوده :نوذری، فرخ، مترجم
شناسه افزوده :انجمن بین‌المللی دائمی کنگره‌های راه (ایران). دبیرخانه
شناسه افزوده :ایران. وزارت راه و ترابری. معاونت آموزش تحقیقات وفناوری
شناسه افزوده :ایران. وزارت راه و ترابری. دفترمطالعات فناوری و ایمنی
رده‌بندی کنگره :TA۸۰۵/ط۴۴ ۱۳۸۸
رده‌بندی دیویی :۶۲۴/۱۹۳ شماره کتابشناسی ملی: ۸۹۱۰۸۷۱

معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- دفتر مطالعات فناوری و ایمنی

عنوان گزارش : **طراحی مقطع عرضی تونل‌های دو طرفه راه**
تهیه و تألیف : **دبیرخانه مجمع جهانی راه (پیارک)**
ناظر : **ناصر پورمعلم، نماینده اول پیارک در ایران**
تاریخ تألیف : **۲۰۰۴ میلادی**
مترجم : **فرخ نوذری**
ویرایش‌فنی و ادبی : **محمدرضا ایزدی رقیچه- محسن رحیمی**
ناشر : **وزارت راه‌وترابری- معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری - دفتر مطالعات فناوری و ایمنی**
نوبت چاپ : **اول**
تاریخ انتشار : **پاییز ۱۳۸۹**
کد انتشار : **۸۹/RRRC/۲۸۹**
شابک : **۹۷۸-۶۰۰-۵۶۱۵-۱۰-۴**
تیراژ : **۱۰۰۰ نسخه**
قیمت : **۱۵۰۰ تومان**
لیتوگرافی : **باران**
چاپ و صحافی : **شامران**
نشانی : **میدان آرژانتین- ابتدای بزرگراه آفریقا- اراضی عباس‌آباد- ساختمان شهید دادمان- وزارت راه‌وترابری- طبقه سیزدهم شمالی- دفتر مطالعات فناوری و ایمنی**
تلفکس: ۸۸۶۴۶۱۳۹ **web:www.rahiran.ir**

*** کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است***

این گزارش با همکاری و حمایت مالی آموزشکده علمی- کاربردی تکنولوژی راه و ترابری (شهید تفویضی) منتشر می‌گردد

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

بسمه تعالی

وزارت راه و ترابری به عنوان متولی اصلی صنعت حمل‌ونقل کشور، نیازمند استفاده از بخش وسیعی از خدمات مهندسی در زمینهٔ طراحی، ساخت، نگهداری و بهره‌برداری از اجزاء سیستم حمل‌ونقل می‌باشد. از این‌رو ضروری است که دانش فنی مورد نیاز بطور مستمر در اختیار مدیران و کارشناسان مربوطه قرار گرفته تا نیازهای مطالعاتی و تحقیقاتی آنها مرتفع گردد. معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری وزارت راه و ترابری درصدد است ضمن شناسایی نیازهای اساسی بخشهای مختلف وزارت متبوع و انجام تحقیقات علمی ـ کاربردی در زمینهٔ مسائل فنی حمل‌ونقل و همچنین استفاده از آخرین دستاوردها و انجام مبادلات علمی با مجامع و سازمانهای علمی و تخصصی ذیربط، به رفع این نیازها بپردازد. در همین راستا این معاونت برآن است تا با تهیه و تدوین مجموعه گزارش‌های تخصصی، دانش فنی مورد نیاز را به شکلی مناسب در اختیار بخشهای مختلف وزارت متبوع و سایر متخصصان قرار دهد.

این گزارش توسط گروه کاری ۴ (هندسه و سیستم ارتباطات تونل) و تحت نظر و تائید کمیته تونل‌های راه پیارک تهیه شده است. کار بر روی این گزارش از سپتامبر ۲۰۰۱ آغاز شد و ادامه فعالیت گروه کاری شماره ٤ (WG4) طی سال‌های ۱۹۹۸ الی ۲۰۰۱ به شمار می‌رود که نتیجه آن گزارشی تحت عنوان "طرح هندسی مقطع عرضی تونل‌های یک‌طرفه راه" بود که توسط پیارک منتشر گردید [۱]. روش کلی و اصطلاحات مستندات قبلی همراه با بسط آن جهت در برگرفتن تونل‌های تک گالری دوطرفه مورد استفاده قرار گرفته است. نسخه پیش‌نویس این گزارش شامل بررسی استانداردها و توصیه‌های مرتبط و همچنین اسناد و مدارک مختلف پیارک و سایر سازمان‌های بین‌المللی می‌گردد، که اخیراً در خصوص سوانح تاسف‌باری که از سال ۱۹۹۹ در تونل‌ها روی داده است، اقداماتی را انجام داده‌اند.

نتیجه‌گیری‌ها و توصیه‌های گزارش بر اساس روش‌های اجرایی متداول در کشورهای مختلف و همچنین نظرات کارشناسان گروه‌کاری ۴ کمیته تونل‌های راه ارائه شده است. اگرچه راهکارهای دیگری نیز علاوه بر موضوعاتی که در این گزارش بررسی شده وجود دارد و استانداردهای ملی برای برخی از وضعیت‌هایی که در این گزارش بیان شده است، ممکن است روش‌های متفاوتی را در نظر بگیرند.

گروه کاری شماره ٤ امیدوار است این گزارش بتواند اطلاعات مورد نیاز طراحان و کارفرمایان تونل‌ها را به منظور تصمیم‌گیری در زمینه ابعاد هندسی تونل فراهم سازد.

امید است که با تلاش‌های صورت گرفته توسط آقای مهندس مهران قربانی دبیر مجمع جهانی راه در ایران و مدیرکل محترم و آقای مهندس مهران غلامی معاون محترم مدیرکل دفترمطالعات فناوری و ایمنی و همکاری افرادی که در تهیهٔ این گزارش ما را یاری رساندند، ضمن تشکر و قدردانی، گامی مؤثر در جهت ایجاد تحول، نوآوری و ارتقاء عملکردها برداشته شود.

ناصر پورمعلم

معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری

نماینده اول پیارک در ایران

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

طراحی مقطع عرضی تونل‌های دو طرفه راه

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱. مقدمه **۱**

۱-۱. اهداف گزارش ۱

۱-۲. ملاحظات ایمنی ۱

۱-۳. مفاهیم و اجزاء ۳

۲. خلاصه‌ای از استانداردهای بین‌المللی و توصیه‌های اصلی در مورد تونل‌های دوطرفه **۷**

۲-۱. فرانسه ۷

۲-۲. نروژ ۸

۲-۳. اسپانیا ۹

۲-۴. انگلستان ۱۰

۳. سرعت و تراکم ترافیک **۱۲**

۳-۱. خصوصیات عمومی ترافیک ۱۲

۳-۲. محاسبات ظرفیت و سرعت ۱۳

۳-۲-۱. ظرفیت تئوری و ظرفیت عملی ۱۴

۳-۲-۲. ظرفیت خطوط عبوری با کابرد عمومی ۱۴

۳-۲-۳. ظرفیت خط عبوری سربالایی (فراز) ۱۸

۳-۲-۴. توزیع ترافیک بین جهات تردد ۱۹

۳-۲-۵. ظرفیت روزانه ۱۹

۴. میزان خرابی‌ها و تصادفات **۲۰**

۵. راستای افقی **۲۲**

۶. راستای قائم **۲۳**

۷. هندسه مقطع عرضی **۲۴**

۷-۱. عرض خط عبوری ۲۴

۷-۲. عرض فاصله آزاد شانه راه ۲۴

۷-۳. نوار میانه مرکزی ۲۶

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

عنوان **صفحه**

۷-۴. پیاده‌رو ۲۷
۷-۵. توصیه‌ها ۲۹
۷-۶. عرض قسمت خارج از سواره‌رو و فواصل دید ۳۰
۷-۷. حفاظ‌های ایمنی جداکننده جهت حرکت ترافیک ۳۱
۷-۸. فضای آزاد قائم ۳۲

۸. اجزای خاص ۳۵

۹. عملیات تعمیر و نگهداری ۳۶

۱۰. مراجع ۳۸

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱. اصطلاحات و تعاریف مورد استفاده در این گزارش ۳
جدول ۲. انواع مقاطع تونل (فرانسه) ۷
جدول ۳. طبقه‌بندی تونل‌ها برحسب نوع مقطع و میزان ترافیک عبوری (نروژ) ۸
جدول ۴. تغییر رتبه تونل‌ها (نروژ) ۹
جدول ۵. تعیین حداکثر شیب با توجه به نوع تونل و میزان ترافیک عبوری ۹
جدول ۶. ابعاد مقطع عرضی در تونل‌های دوطرفه (اسپانیا) ۱۰
جدول ۷. اصلاح ظرفیت مبنای ترافیک برای هر خط عبوری (انگلستان) ۱۰
جدول ۸. حداقل سرعت طرح در تونل (انگلستان) ۱۱
جدول ۹. تنظیم عرض خط عبوری FA ۱۵
جدول ۱۰. تنظیم فضای آزاد کناری FW ۱۶
جدول ۱۱. مقادیر فاکتور معادل Eq بر حسب طول و درجه شیب ۱۸
جدول ۱۲. خصوصیات توصیه‌شده برای تونل‌های دوطرفه دارای دو خط عبوری ۲۹
جدول ۱۳. فاصله آزاد مورد نیاز در سرعت‌های متفاوت تردد ۳۰
جدول ۱۴. فاصله دید تأمین‌شده توسط قسمت خارج از سواره‌رو (بر حسب متر) ۳۰
جدول ۱۵. حداکثر سرعت ایمن در تونل (بر حسب Km/h) ۳۱
جدول ۱۶. مقایسه ارتفاع آزاد (بلندی تاق) در کشورهای مختلف ۳۳
جدول ۱۷. حداکثر سرعت ترافیک توصیه‌شده در تونل بر اساس عرض موثر خط عبوری (فرانسه) ۳۶

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱. تقسیم‌بندی اولیه ناحیه رویه‌شده (سکو) ۵
شکل ۲. تقسیم‌بندی ثانویه سکو و سواره‌رو ۶
شکل ۳. خطوط عبوری و خط‌کشی‌ها ۶
شکل ۴. نمودار میزان خرابی نسبت به شیب ۲۰
شکل ۵. اجزا و کارکردهای ناحیه خارج از سواره‌رو در حالت وجود پیاده‌رو ۲۵
شکل ۶. اجزا و کارکردهای ناحیه خارج از سواره‌رو در حالت وجود حفاظ ایمنی (نیوجرسی) ۲۵
شکل ۷. اجزا و کارکردهای ناحیه خارج از سواره‌رو در حالت وجود گاردریل انعطاف‌پذیر ۲۵

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

۱. مقدمه

۱-۱. اهداف گزارش

هدف از تهیه این گزارش ارایه تحلیلی از تجربیات، توصیه‌ها و استانداردهای بین‌المللی است که راه‌حل‌ها و معیارهای طراحی را برای انتخاب مقطع عرضی تونل‌های دوطرفه راه فراهم می‌آورد.

به علاوه، در گزارش حاضر جنبه‌های مختلف طراحی تونل‌های دوطرفه از قبیل تراکم ترافیک و ظرفیت، شیب‌های طولی و شعاع قوس‌ها، از نقطه نظر ایمنی ترافیک و کارایی، تحت شرایط عادی و استثنایی و همچنین از نظر بهره‌برداری و عملیات تعمیر و نگهداری تونل مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۲. ملاحظات ایمنی

معیار اصلی در انتخاب برای احداث تونل یک دالانی یا دو دالانی، حجم ترافیک و ایمنی آن است. سایر عوامل از قبیل درصد وسایل‌نقلیه سنگین، طول، شیب و غیره نیز باید مدنظر قرار گیرند. به هنگام پیش‌بینی بلندمدت حجم ترافیک روزانه (AADT)[1] بیش از ۱۰۰۰۰ وسیله‌نقلیه در هر باند، تونل دو دالانی با ترافیک یک‌طرفه در هر دالان باید مدنظر قرار گیرد.

معیار اصلی طراحی تونل‌های دوطرفه تفاوت چندانی با معیارهای مورد استفاده برای تعیین مقطع راه‌های سطحی با تراکم ترافیک مشابه ندارد. هر چند جنبه‌های خاصی وجود دارد که راه حل‌های انتخابی برای تونل‌ها را نسبت به سایر انواع راه‌ها متمایز می‌سازد.

تفاوت تونل‌ها (در بین سایر مسیرها) نسبت به راه‌های سطحی عمدتاً به دلیل موارد زیر است:

- هیچ فعالیت خارجی که منجر به حواس‌پرتی شود وجود نداشته اما خطر یکنواختی مسیر وجود دارد،
- شرایط متعادل زمستانی،
- شرایط روشنایی ثابت در طول روز و سال به استثنای منطقه ورودی تونل،
- مشکل قضاوت در مورد شیب‌ها و فرازها،
- مشکل تخمین فاصله نسبت به وسیله‌نقلیه جلویی،
- محدودیت دسترسی به منظور ایمنی، امدادرسانی در مواقع اضطراری و غیره.

این شرایط موجب می‌شود طراحی برخی اجزای راه در تونل نسبت به راه‌های سطحی متفاوت باشد. دو معیار وجود دارد که در تمام تونل‌های دوطرفه باید رعایت شوند و هر دو معیار باید هنگام تعیین مقطع عرضی تونل مدنظر قرار گیرند:

- **معیار ایمنی** به منظور پیشگیری از تصادف، به خصوص تصادفات یا سوانحی که به علت وخیم‌تر شدن شرایط ناشی از محدودیت تونل، منجر به برخوردهای رو در رو (شاخ به شاخ) یا آتش‌سوزی می‌شوند. به طور کلی تونل‌ها باید به نحوی طراحی شوند که کاربران بتوانند در مواقع اضطراری برای تضمین ایمنی خود اقدام نمایند.

1. Annual Average Daily Traffic:AADT

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

- **معیار هزینه** که از هزینه ساخت تاسیسات زیربنایی مشتق می‌شوند. در مورد تونل هزینه هر متر آن می‌تواند چندین برابر بیشتر از راه سطحی مجاور آن باشد. به علاوه، باید به این واقعیت توجه داشت که هزینه ساخت تونل با هر گونه افزایش در مقطع عرضی آن، نسبت به راه سطحی بسیار سریع‌تر افزایش می‌یابد. اگرچه، هزینه تونل دو دالانی کمتر از دو برابر هزینه تونل تک دالانی است (حتی بدون لحاظ خروجی‌های اضطراری).

این دو معیار می‌توانند منجر به ایجاد چالش‌ها و مشکلاتی در طراحی تونل‌های راه گردند. معیارهای مربوط به ایمنی میل به افزایش مقطع عرضی (شانه عریض راه، پیاده‌روهای عریض که به راحتی بتوان در آن حرکت نمود، تسهیلات برای افراد معلول، میدان دید زیاد، امکان عبور از کنار وسیله‌نقلیه متوقف در هر نقطه از تونل، غیره) دارند. معیارهای اقتصادی منجر به مقطع‌های عرضی می‌شوند که محدودیت بیشتری نسبت به معیارهای راه‌های سطحی با شرایط هندسی و تراکم ترافیک مشابه دارند.

در هر صورت اصول اساسی خاصی وجود دارد که باید برای تونل‌های دوطرفه رعایت شوند:

- طراحی تونل باید با شرایط هندسی، روشنایی، سیستم تابلوها و علائم و خط‌کشی راه که به بهترین نحو شرایط ایمنی ترافیک را بهبود می‌بخشد، هماهنگ باشد.
- امکان عبور یک وسیله‌نقلیه سنگین از کنار وسیله‌نقلیه سنگین دیگر که متوقف است بدون هیچ‌گونه اختلالی در ترافیک مسیر مخالف فراهم باشد.
- در صورتی که فقط یک باند برای یک یا هر دو جهت وجود داشته باشد سبقت از وسیله‌نقلیه در حال حرکت باید مطلقاً ممنوع باشد.
- نقطه حداقل ظرفیت مقطع عرضی تونل برای عبور ترافیک وسایل‌نقلیه باید قبل از ورود به تونل یا در مقطع ورودی تونل در هر دو جهت قرار داشته و هرگز نباید در قسمت میانی یا خروجی تونل طراحی شود.

در این گزارش اقدامات ایمنی مربوط به زیرساخت تونل (خروجی‌های اضطراری، تونل‌های فرار، نقاط دور زدن وسایل‌نقلیه- توقفگاه‌ها) و همچنین تاسیساتی که باید در درون تونل به عنوان تابعی از طول و نوع تونل، متوسط تراکم ترافیک روزانه در سال و در نتیجه سیستم‌های تهویه، شناسایی حوادث، شناسایی و خاموش‌سازی حریق یا نیازمندی‌هایی نظیر آن، مورد بررسی قرار نگرفته است. اگرچه در طراحی مقطع تونل لحاظ نمودن تمام این موارد (به دلیل آن که بر ابعاد مقطع عرضی تأثیر می‌گذارند) اهمیت دارد. در بخش‌های بعدی شرایط مقطع عرضی به منظور تضمین ترافیک ایمن ارایه شده و طراح باید هرگونه اصلاحات در طراحی را که برای ارائه سایر کاربردها مورد نیاز است و همچنین نصب تاسیسات متفاوت مورد نیاز برای هر نوع خاصی از تونل را مدنظر قرار دهد.

در این گزارش هیچ‌گونه بحث و بررسی در مورد شرایط سیستم تابلوها و علائم، روشنایی، رنگ و شکل دیواره‌ها، سواره‌رو، سقف و سایر اجزاء درون تونل نیز نشده است. اگرچه تمام این موارد جنبه‌های بسیار مهمی هستند و طراحی مناسب آنها می‌تواند ایمنی ترافیک را افزایش دهد.

به اختصار می‌توان گفت «به طور کلی تونل‌ها ایمن‌تر از راه‌های سطحی مشابه خود هستند و می‌توان آنها با سطح ایمنی بالا و با هزینه معقولانه‌ای احداث نمود.»

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

۱-۳. مفاهیم و اجزاء

به منظور تسهیل ارتباط و مقایسه بین‌المللی، وجود یک مجموعه اصطلاحات به نحوی که مفهوم مورد نظر به طور شفاف و روشنی قابل درک باشد، بسیار مطلوب است. این اصطلاحات در جدول (۱)و شکل‌های (۱)، (۲) و (۳)ارایه شده‌اند.

طبق ساختار نشریه قبلی گروه کاری شماره ٤، "طرح هندسی مقطع عرضی تونل‌های یک‌طرفه راه"، دو قسمت اصلی در مقطع عرضی وجود دارد:

۱- سواره‌رو، شامل محوطه واقع در محدوده خط کشی‌های کناره راه

۲- خارج از سواره‌رو، شامل مناطقی در پلان که خارج از سواره‌رو قرار دارد و در برگیرنده خط‌کشی‌های حاشیه‌ای سواره‌رو، شانه راه، باندهای اضطراری، پیاده‌روها، توقف‌گاه‌ها و حفاظ‌های ایمنی می‌شود.

تفکیک بین این دو قسمت توجیه‌پذیر است زیرا در مورد کاربرد و ابعاد سواره‌رو توافق وجود دارد. در حالی که ابعاد و الزامات اجزاء راه خارج از سواره‌رو در کشورهای مختلف بسیار متفاوت است.

جدول ۱: اصطلاحات و تعاریف مورد استفاده در این گزارش.

اصطلاح	تعریف
AADT[1]	متوسط ترافیک روزانه در سال. کل جریان ترافیک در سال بخش بر ۳۶۵ روز که به صورت تردد تعداد وسیله‌نقلیه در روز بیان می‌شود.
خطوط عبوری اضافی	تمامی خطوط عبوری اضافه شده به اولین خط عبوری که جهت آنها با جهت ترافیک یکسان باشد و به منظور افزایش ظرفیت، توسط انواع مختلف وسایل‌نقلیه مورد استفاده قرار می‌گیرند.
ظرفیت	حداکثر میزان جریان قابل تردد که وسایل‌نقلیه می‌توانند از یک نقطه یا بخش یکنواختی از راه عبور نمایند.
سواره‌رو	قسمتی از راه که در بهره‌برداری عادی ترافیک، عبور و مرور در آن جریان دارد و حد فاصل بین لبه‌های داخلی خط‌کشی‌های حاشیه راه را شامل می‌شود.
خط عبوری کندرو یا فراز	خط عبوری کندرو اضافه که در سمت راست سواره‌رو در کشورهایی که از سمت راست رانندگی می‌کنند قرار دارد و در کشورهایی که از سمت چپ رانندگی می‌کنند در سمت چپ قرار دارد؛ این خط عبوری ویژه حرکت وسایل‌نقلیه سنگین در سربالایی‌ها است.
بلندی تاق	ارتفاع بین سطح فوقانی روسازی و سقف تونل، شامل فاصله آزاد نگهداری، رواداری‌های ساخت و فاصله آزاد تجهیزات می‌گردد.
سرعت طراحی	سرعت تئوری که به عنوان پارامتری برای طراحی اجزاء راه استفاده می‌شود. حد سرعت واقعی یا برنامه‌ریزی‌شده، در برخی کشورها می‌تواند متفاوت باشد.
خط‌کشی حاشیه راه	خط‌کشی مشخص‌کننده محدوده سواره‌رو
خط عبوری اضطراری	محوطه‌ای از شانه راه به منظور توقف وسایل‌نقلیه در موارد اضطراری.
سرعت جریان آزاد FFS[2]	میانگین فضایی سرعت ترافیک، متوسط سرعت وسایل‌نقلیه موجود در طول بخش معینی از راه هنگامی که شدت ترافیک کم است و هیچ نوع وسیله‌نقلیه سنگین در راه وجود ندارد.

1. Free Flow Speed: FFS

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

جدول ۱: اصطلاحات و تعاریف مورد استفاده در این گزارش (ادامه).

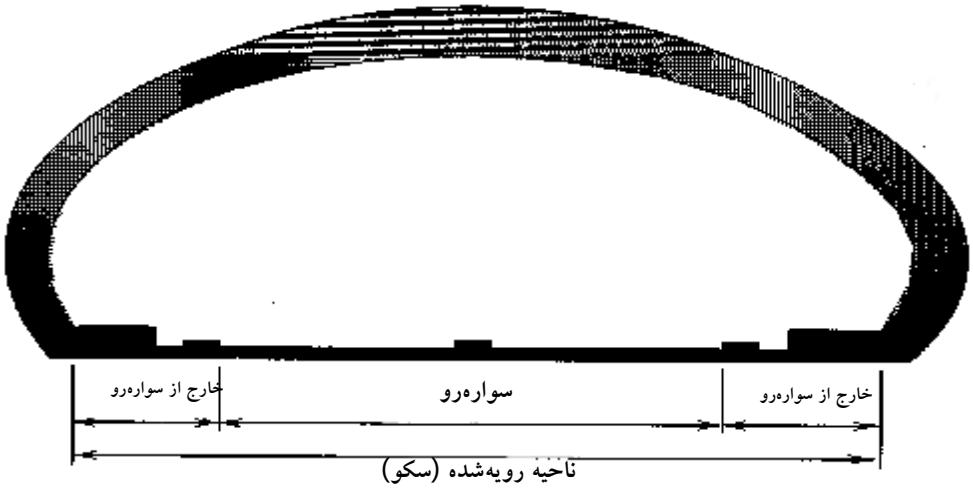
اصطلاح	تعریف
گاردریل (نرده حفاظ)	تیر افقی انعطاف‌پذیر یا شکننده‌ای که به منظور جلوگیری از برخورد وسایل‌نقلیه به دیواره‌های کناری تونل، بر روی پایه‌هایی نصب می‌گردد.
شانه سخت	فاصله بین لبه داخلی خط‌کشی کناره راه و جدول یا گاردریل در صورت وجود و دیواره تونل در صورت عدم وجود گاردریل یا جدول.
جدول	جزئی از سازه که لبه پیاده‌رو را شکل می‌دهد.
فاصله آزاد جانبی	فاصله بین دیواره یا سایر موانع و لبه سواره‌رو
سطح سرویس	کیفیت شرایط بهره‌برداری در قالب جریان ترافیک، با احتساب سرعت، زمان سیر، آزادی مانور و راحتی.
ارتفاع آزاد (حداقل فاصله آزاد + حاشیه راحتی)	فاصله آزادی که همواره باید حفظ شود برای مثال پس از بازسازی رویه به منظور تضمین عبور ایمن ترافیک مجاز.
حداقل ارتفاع آزاد	ارتفاع طراحی شده برای عبور وسایل‌نقلیه سنگین به علاوه رواداری لازم برای حرکت‌های دینامیک وسیله‌نقلیه.
آزادراه	نام کلی برای راه سریع‌السیر، شاهراه، آزادراه یعنی راه دارای سواره‌رو مضاعف با عملکرد بسیار بالا که در آن تردد وسایل‌نقلیه کندرو، عابرین پیاده و دوچرخه‌سواران ممنوع است.
فاصله تا مانع	حداقل میزان شانه‌راه به عنوان حاشیه اطمینان و راحتی.
راه خارج از سواره‌رو	منطقه بین لبه داخلی خط‌کشی‌های کناره‌راه و دیواره تونل که شامل شانه سخت و پیاده‌رو و/یا جدول و/یا گاردریل می‌گردد.
محوطه رویه‌شده (سکو) (سواره‌رو + پیاده‌روها)	محوطه رویه‌شده به منظور تأمین ایمنی وسایط نقلیه
فاکتور ساعت اوج PHF[1]	فاکتوری که تغییرات ترافیک را در ساعت اوج مشخص می‌کند. به یک دوره ۱۵ دقیقه‌ای دلالت داشته و از طریق تقسیم کل جریان در ساعت اوج بر چهار برابر حداکثر شدت در مدت ۱۵ دقیقه‌ای آن ساعت محاسبه می‌شود.
محل عبور عابرین	بخشی از پیاده‌رو که برای عبور ایمن عابرین در نظر گرفته شده است.
حاشیه ایمنی عابرین	حاشیه‌ای (منطقه‌ای) در پیاده‌رو بین جدول و محل عبور عابرین
باند اصلاح مسیر	بخشی از شانه سخت از لبه خارجی خط‌کشی حاشیه راه به منظور اصلاح مسیر در صورت عبور تصادفی از خط‌کشی حاشیه راه در نظر گرفته می‌شود.
سرعت مرجع	حد سرعت برنامه‌ریزی‌شده
تونل راه (جاده‌ای)	راه محصور به طول حداقل پنج برابر عرض سواره‌رو
مسیر راه (سواره‌رو + شانه راه)	فاصله بین جدول‌های پیاده‌رو یا بین گاردریل‌ها (یا حفاظ‌های ایمنی) که تحت بهره‌برداری عادی ترافیک مورد استفاده قرار می‌گیرد.
جدول کوتاه	جدول با ارتفاع کم که تحت شرایط ترافیک عادی، وسایل‌نقلیه از روی آن عبور نمی‌کنند اما در شرایط اضطراری یا وقوع تصادف، وسایل‌نقلیه می‌توانند از روی آن عبور کنند.

1. Peak Hour Factor:PHF

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

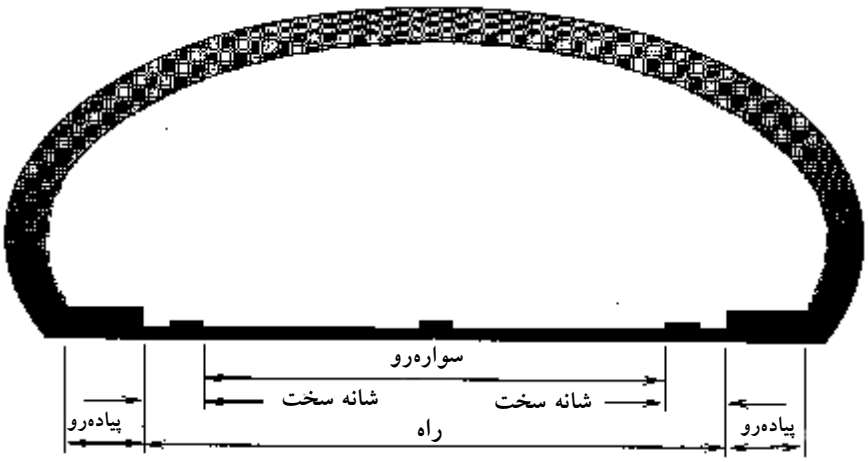
جدول ۱: اصطلاحات و تعاریف مورد استفاده در این گزارش (ادامه).

اصطلاح	تعریف
حفاظ ایمنی (همچنین حفاظ نوع بتنی نیز نامیده می‌شود.)	بلوک بتنی که وسایل‌نقلیه در حال برخورد با دیواره تونل را به طور ایمن به مسیر سواره‌رو هدایت می‌کند.
میانگین فضایی سرعت	میانگین سرعت وسایل‌نقلیه که در هر لحظه مشخص از زمان در طول معینی از راه یا خط عبوری قرار دارند.
سرعت نقطه‌ای (سرعت میانگین زمانی)	میانگین سرعت وسایل‌نقلیه که از نقطه ثابتی از راه یا خط عبوری در فاصله زمانی معینی عبور می‌کنند.
اشل سازه	چارچوب خاصی که درون آن هیچ‌گونه سازه ثابت، اتصالات یا تجهیزات ثابتی مجاز نباشد.
خط عبوری	قسمتی از راه برای حرکت پشت سر هم وسایل‌نقلیه که در محدوده بین لبه داخلی خط‌کشی حاشیه و خط‌کشی محور راه قرار دارد.
خط‌کشی خطوط عبوری	خط‌کشی که مرز بین خطوط عبوری را نشان می‌دهد.
پیاده‌رو	ناحیه‌ای برای عبور پرسنل نگهداری یا رانندگان پس از وقوع سانحه رانندگی یا در موارد اضطراری
ارتفاع تاق پیاده‌رو	بلندی تاق که باید در بالای پیاده‌روها حفظ شود.

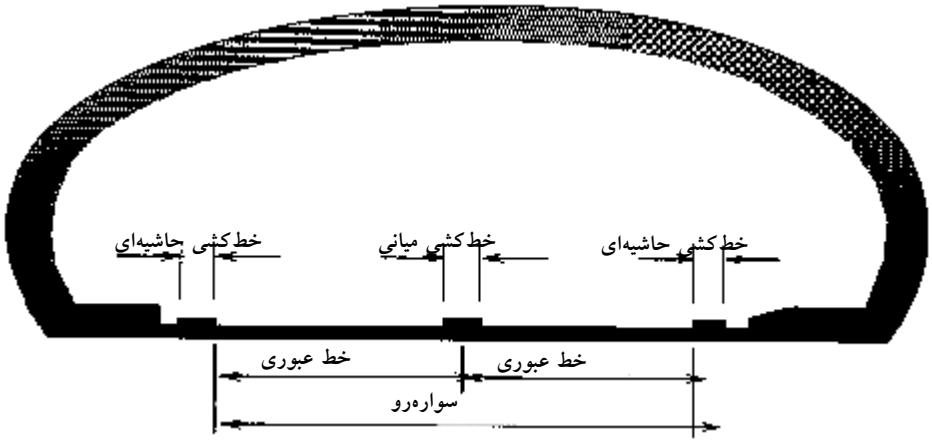


شکل ۱: تقسیم‌بندی اولیه ناحیه رویه‌شده (سکو).

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com



شکل ۲: تقسیم‌بندی ثانویه سکو و سواره‌رو.



شکل ۳: خطوط عبوری و خط‌کشی‌ها.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

۲. خلاصه‌ای از استانداردهای بین‌المللی و توصیه‌های اصلی در مورد تونل‌های دوطرفه

کشورهای کمی دارای مقررات در زمینه تونل‌های راه دوطرفه هستند. دستورالعمل‌های ملی یا توصیه‌ها باید در جای خود مدنظر قرار گیرند، بنابراین به صورت کشور به کشور ارایه شده‌اند زیرا مقایسه پارامتری آنها مطلوب نبوده و ممکن است دریافت و فهم فلسفه دستورالعمل را با مشکل مواجه سازد.

۲-۱. فرانسه: مجموعه اسناد راهنمای تونل‌ها ابعاد و هندسه CETU-۱۹۹۰ [۵]

- ظرفیت
  - در تونل‌های دوطرفه شهری PCPH[1] ۲۲۰۰ (سواری در ساعت)، گرچه مقادیر فراتر از PCPH ۳۰۰۰ نیز شناسایی شده است.
  - در تونل‌های دوطرفه کوهستانی PCPH ۲۳۵۰
- سرعت. سرعت توصیه‌شده نباید بیش از (Km/h) ۸۰ باشد.
- سبقت در تونل‌های دوطرفه دارای دو خط عبوری ممنوع است.
- به طور کلی، در نظر گرفتن رابط ورودی یا خروجی در تونل‌ها مجاز نیست، به استثنای مواردی وجود آنها ضروری باشد مانند مناطق شهری که در این حالت مطالعه ویژه‌ای در این زمینه مورد نیاز است.
- شیب توصیه شده در صورتی که طول آن بیش از(m) ۴۰۰ باشد نباید بیش از ۲٪ باشد.
- در صورتی که سرعت وسایل‌نقلیه سنگین به کمتر از (Km/h) ۵۰ کاهش یابد خط عبوری کندرو باید طراحی شود. عرض این خط عبوری اضافه باید ۳ متر باشد.
- عرض خطوط عبوری: در مناطق شهری حداقل ۳ متر و به طور کلی ۳/۵ متر است.
- شانه‌های تثبیت‌شده (سخت) با عرض بین ۱ و ۲ متر ممنوع است.

جدول ۲: انواع مقاطع تونل (فرانسه).

نوع مقطع (m)	خطوط عبوری (m)	شانه راه (m)	پیاده‌رو (m)
T ۱۰/۲ مقطع بزرگ	۲ × ۳/۵	۲ × ۱	۲ × ۰/۶۰
T ۹/۴مقطع متوسط	۲ × ۳/۵	۲ × ۰/۶۰	۲ × ۰/۶۰
T ۸/۸ مقطع حداقل	۲ × ۳/۵	۲ × ۰/۳۰	۲ × ۰/۶۰
مقاطع بدون خط‌کشی حاشیه راه (*)			
T ۸/۲۰	۲ × ۳/۵	–	۲ × ۰/۶۰
T ۷/۲۰	۲ × ۳/۵	–	۲ × ۰/۶۰

(*) برای این مقاطع خط‌کشی باید بر روی جدول‌ها رنگ‌آمیزی شود.

1. Passenger Car Per Hour: PCPH

- معیارهای تعیین‌کننده مقطع تونل‌های دوطرفه شامل موارد زیر هستند:
  - × یکنواختی راه‌های دسترسی
  - × برآورده نمودن الزامات ترافیک (AADT، درصد وسایل‌نقلیه سنگین، میزان رشد تا افق طرح و غیره)
- سطح سرویس مورد نیاز، حتی در مواقعی که سانحه‌ای در داخل تونل روی می‌دهد، و سطح تراکم ترافیک که باید برای نوع سفر طراحی شود.
- هزینه زیرساخت
- فضای مورد نیاز برای تاسیسات تونل
- در صورتی که عبور دو کامیون از کنار هم ضروری در نظر گرفته شود حداقل عرض به میزان ۸/۸۵ متر تعریف می‌شود.
- فاصله‌های دید مورد نیاز به طور کلی با جدول ارائه‌شده در این گزارش مطابق است.
- پیشنهاد شده منطقه ایمنی مرکزی ایجاد گردد (نوار میانه مرکزی)
- در صورتی که نصب حفاظ ایمنی میانی لازم باشد ارتفاع آن باید حداقل ۴۵ سانتی‌متر باشد.
- بلندی تاق در راه‌های اصلی ۴/۵۰ متر است و حداقل باید ۴/۳۰ متر باشد.

۲-۲. نروژ: دستورالعمل طراحی برای تونل‌های راه نروژ [۲]

- چندین نوع تونل (T ۵/۵ الی T۹/۵) تعریف می‌نماید که عرض کلی بین دیواره‌های تونل از ۵/۵ متر الی ۹/۵ متر بر اساس طبقه تونل متغیر است. این طبقه‌بندی که با حروف A، B، C، D، E، F مشخص شده است به عنوان تابعی از ترافیک (که به صورت متوسط ترافیک روزانه در سال یا AADT و حداکثر شدت در ساعت –HImax[1]- تعریف می‌شوند) و طول تونل بیان می‌گردند:

جدول ۳: طبقه‌بندی تونل‌ها برحسب نوع مقطع و میزان ترافیک عبوری (نروژ).

طبقه‌بندی تونل	AADT (وسیله‌نقلیه در روز)	نوع مقطع
A	کمتر از ۳۰۰	T ۵/۵
B	کمتر از ۵۰۰۰	T ۸/۵
C	کمتر از ۷۵۰۰	T ۹/۵
D	کمتر از ۱۰۰۰۰	T ۹/۵
E	کمتر از ۱۵۰۰۰	تونل مضاعف (۲ × T۸/۵)
F	بیش از ۱۵۰۰۰	تونل مضاعف (۲ × T۹/۵)

1. Maximum Hourly Intensity:MHI

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

- اگر طول تونل بیش از ۲/۵ کیلومتر باشد، طبقه‌بندی تونل می‌تواند یک رتبه بالاتر باشد:

جدول ۴: تغییر رتبه تونل‌ها (نروژ).

مقاطع تونل دوطرفه	خطوط عبوری (m)	شانه راه (m)	پیاده‌رو (m)
T۵/۵ طبقه A در راه‌های محلی یا فرعی	۲ × ۲/۷۵	-	-
T ۸/۵طبقه B یا C در راه‌های اصلی	۲ × ۳/۲۵	۲ × ۱/۰۰	-
T ۹/۵طبقه C یا D در راه‌های اصلی	۲ × ۳/۲۵	۲ × ۱/۲۵	-
T۱۱/۵ طبقه D،C،B هنگامی که سه خط عبوری یا خط عبوری اضطراری لازم باشد	۲ × ۳/۲۵+۱ × ۳/۰۰	۲ × ۱/۰۰	-

- خط عبوری کندرو با عرض ۳/۵۰ متر (حداقل ۳/۰ متر)
- خطوط عبوری با عرض ۳/۵۰ متر (حداقل ۳/۰ متر)
- بلندی تاق برای خطوط عبوری و شانه راه برابر با ۴/۶۰ متر
- به طور کلی فاصله دیدی که باید حفظ گردد با جدول ارائه‌شده در این گزارش مطابق است.
- حداکثر درجه شیب به صورت تابعی از نوع تونل، متوسط ترافیک روزانه در سال (AADT)، طول و وجود خط عبوری کندرو بیان می‌شود:

جدول ۵: تعیین حداکثر شیب با توجه به نوع تونل و میزان ترافیک عبوری.

نوع تونل	دوطرفه		یک طرفه	
AADT (وسیله‌نقلیه در روز)	≤۱۵۰۰	>۱۵۰۰	≤۱۵۰۰۰	>۱۵۰۰۰
حداکثر شیب	%۸	%۷	%۷	%۶

- اگر خط عبوری کندرو وجود داشته باشد، شیب می‌تواند ۱% افزایش یابد.
- خط عبوری کندرو: اگر طول شیب بلندتر از ۱ کیلومتر باشد یا شیب بیش از ۶% باشد پس از محلی که اختلاف در سرعت بین وسایل‌نقلیه سبک و سنگین بیش از ۱۵ کیلومتر بر ساعت شود خط عبوری کندرو باید مورد استفاده قرار گیرد و حداقل باید به طول یک کیلومتر امتداد داشته باشد.

۲-۳. اسپانیا: استاندارد ۳/۱ دستورالعمل I.C طرح راه، فوریه ۱۹۹۶ [۴]

- مقطع عرضی: باید به نحوی طراحی شود که ظرفیت در افق طرح، در ۲۰ سال آینده، را نیز برآورده سازد.
- در سال افق راه‌های اصلی باید مقداری حاشیه (ذخیره) ظرفیت داشته باشند.
- نوار میانه مرکزی به لحاظ ایمنی در نظر گرفته می‌شود.
- ابعاد مقطع عرضی عبارتند از:

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

جدول ۶: ابعاد مقطع عرضی در تونل‌های دوطرفه (اسپانیا).

اجزای مقطع	طول کمتر یا مساوی با ۵۰۰ متر	طول بیشتر از ۵۰۰ متر	
		راه‌های اصلی	سایر راه‌ها
عرض راه	مشابه راه بیرون تونل	۳/۵	۳/۵
شانه راه	مشابه راه بیرون تونل	۱/۵	۱
نوار مرکزی	ندارد	۱	۱
پیاده‌رو	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵
بلندی تاق بالای خطوط عبوری و شانه راه	۵	۵	۵
بلندی تاق بالای پیاده‌رو	۲	۲	۲

خطوط عبوری کندرو:

- از احداث خط عبوری کندرو در درون تونل‌ها باید اجتناب گردد.
- احداث خط عبوری کندرو در صورت وجود یکی از شرایط ذیل ضرورت دارد:
  - ✖ شرایط ترافیک نشانگر سطح سرویس‌دهی بدتری از میزان ظرفیت برای افق طرح باشد.
  - ✖ سرعت وسایل‌نقلیه سنگین کمتر از ۴۰(Km/h) باشد.

شیب‌ها:

- تونل‌های با طول کمتر از ۵۰۰ متر باید شیب ثابتی داشته باشند.
- از ایجاد شیب‌های بیش از ۳ % باید اجتناب گردد.
- از احداث خط عبوری کندرو در داخل تونل‌ها باید اجتناب شود، محاسبه حداکثر شیب به منظور دستیابی وسایل‌نقلیه سنگین به سرعت حرکت ۶۰(Km/h) لازم است.

۲-۴. انگلستان: BD2 (DMRB1.1) بخش سوم و TD27/96، مقطع عرضی و بلندی تاق [۳]

- از ایجاد تقاطع در داخل تونل‌ها باید اجتناب گردد.
- کاهش مقاطع عرضی داخل تونل در مقایسه با مقاطع خارج از تونل قابل قبول است
- ظرفیت مبنا ۱۸۰۰ وسیله در ساعت برای هر خط عبوری شامل ۵% وسایل‌نقلیه سنگین، که با تنظیم بهتر شیب می‌توان نسبت‌های دیگری از وسایل‌نقلیه سنگین را نیز عبور داد:

جدول ۷: اصلاح ظرفیت مبنای ترافیک برای هر خط عبوری (انگلستان).

درصد وسایل‌نقلیه سنگین (%)	شیب (%)	
	بیشتر از ۲%	بیشتر از ۴%
%۵	-	%-۱۵
%۱۰	%-۵	%-۲۰
%۱۵	%-۱۰	%-۲۵
%۲۰	%-۱۵	%-۳۰

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

- پیروی از محاسبات ظرفیت HCM-۱۹۹۵ [۱۴]
- پیشنهاد حداقل سرعت طرح برای تونل‌ها:

جدول ۸: حداقل سرعت طرح در تونل (انگلستان).

حداقل سرعت طرح (km/h)	نوع تونل	
	برش و پوشش	حفاری
توصیه شده	همانند راه بیرون تونل	۸۵
حداقل مطلق	همانند راه بیرون تونل	۷۰

- پیشنهاد استفاده از ضرایب اصطکاک بالاتر در داخل تونل نسبت به محیط خارج،
- اجازه سبقت در تونل‌های دوطرفه با فرض میزان دید خوب، اما اگر طول تونل کمتر از ۴۰۰ متر باشد توصیه نمی‌شود.
- تأمین فاصله توقف ایمن تقریباً مطابق با آنچه در جدول این گزارش ارایه شده است.
- شیب‌ها بیش از ۶% نباشند.
- خط عبوری کندرو توصیه نمی‌شود.
- بلندی تاق پیاده‌روها ۲/۳۰ متر،
- بلندی تاق خطوط عبوری و پیاده‌روها (همانند خارج+۰/۵ متر)،
- پیاده‌رو برای عابرین به عرض ۱ متر که ۰/۶۰ متر آن باید بلندی تاق بدون محدودیت داشته باشد. در غیر این صورت پیاده‌رو برای عابرین به طور کلی در عمل مجاز نیست.
- ارتفاع جدول‌های کوتاه پیاده‌روها ۰/۷۵ متر،
- عرض خطوط عبوری ۳/۶۰ متر است (استاندارد .RD27std).
- عرض شانه راه بزرگتر یا برابر با ۱/۱۵ متر است (استاندارد .RD27std).

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

۳. سرعت و تراکم ترافیک

۳-۱. خصوصیات عمومی ترافیک

- حرکت ترافیک در تونل دوطرفه مانند راه سطحی مشابه آن بوده ولی یکسان با آن نیست. به نظر می‌رسد در تونل ظرفیت حمل‌ونقل کمی بیشتر است. طبق برخی گزارش‌ها این امر به خاطر تمرکز حواس بیشتر رانندگان و کاهش مانورهایی است که موجب اختلال جریان حرکت وسایل‌نقلیه می‌گردد [۱۶].
- مرجعی که در این قسمت برای محاسبه ظرفیت مورد استفاده قرار گرفته است، دستورالعمل ظرفیت راه‌ها است، که در سال ۲۰۰۰ منتشر شد [۱۵] و در آن انواع راه‌ها با ترافیک دوطرفه بررسی شده است. انواع راه‌ها عبارتند از: راه‌های دوطرفه با دو خط عبوری که ویژگی آن تأثیر شدید متقابل بر جریان حرکت مسیر مخالف است و راه‌های دوطرفه دارای چند خط عبوری که ترافیک به روش‌های مختلف از حفاظ‌های فیزیکی گرفته تا خط‌کشی ساده راه تفکیک شده است. در راه‌های دارای چند خط عبوری حرکت جریان‌های ترافیک مقابل بر یکدیگر تأثیر نداشته یا به میزان بسیار کمی تأثیر می‌گذارد.
- در قسمتی از راه سطحی دارای یک خط عبوری برای هر جهت و بدون هیچ‌گونه جداکننده فیزیکی بین دو جهت حرکتی مخالف، تأثیرات متقابل زیادی بین دو جریان ترافیکی با جهت مخالف وجود دارد. این بدان معناست که رفتار رانندگان (پس از کنترل وجود فاصله دید کافی و عدم حضور هیچ‌گونه مانعی بر سر راه) به شدت تحت تأثیر احتمال سبقت قرار دارد.
- هنگامی که تأثیرات متقابل دو جهت حرکت بر یکدیگر بسیار کم باشد یا به دلیل وجود جداکننده فیزیکی یا اعمال قوانین راه، سبقت تحت هر شرایطی ممنوع باشد، بهره‌برداری از راه تا حد بسیار زیادی همانند راه‌های چندخطه است.
- در مورد تونل‌های دارای یک خط عبوری در هر جهت، شباهت‌های بسیار بیشتری با عملکرد راه‌های چندخطه نسبت به راه‌های دوخطه وجود دارد. در تونل‌های دوطرفه پدیده غالب تونل‌های یک طرفه که به علت افزایش تعداد آنها در جاده‌ها و عادی شدن شرایط آنها برای رانندگان توجه خاصی هنگام رانندگی به وجود نمی‌آورد، رایج نیست. از طرف دیگر، امروزه رانندگان حتی هنگام عبور از تونل دارای دو خط عبوری نیز دقت و توجه بیشتری دارند. همچنین رانندگان آگاهند که در داخل تونل سبقت ممنوع است. طبق برخی مطالعات، توزیع موقعیت مکانی و وسایل‌نقلیه در خطوط عبوری درون تونل نسبت به محیط باز بیرون کمتر است که شاهد دیگری برای پدیده مبتنی بر توجه بیشتر در رانندگی را ارایه می‌نماید [۱۰ و ۱۱].
- تونل‌های دوطرفه دارای چندین خط عبوری در هر جهت، معمولاً شباهت زیادی با راه‌های چندخطه دارند. به طور کلی تونل‌های دوطرفه با بیش از چهار خط عبوری به استثنای مناطق شهری چندان رایج نبوده و معمولاً دارای خط‌کشی و حفاظ جداکننده فیزیکی میانی هستند. در مورد تونل‌های دارای چندین خط عبوری در هر جهت، به خصوص اگر شرایط هندسی و روشنایی بهترین کیفیت را داشته باشد، می‌توان رفتار در این نوع تونل‌ها را همانند تونل‌های یک طرفه قلمداد نمود که در این‌صورت ظرفیت و سرعت حرکت در آنها باید مطابق با پاراگراف‌های مربوطه در گزارش "طرح هندسی مقطع عرضی تونل‌های یک‌طرفه راه" (پیارک، ۲۰۰۱) مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد [۱].

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

- یک حالت ویژه وجود خط عبوری کندرو در جهت سربالایی تونل است. در این حالت تصمیم‌گیری باید در رابطه با شرایط غالب جریان تردد برای هر مورد خاص انجام شود:
  - × اگر خط عبوری اضافه فقط به عنوان خط ویژه تردد وسایل‌نقلیه سنگین که با سرعت بسیار کمتری نسبت به سایر وسایل‌نقلیه که در خط عبوری سریع حرکت می‌کنند عمل نماید، عملکردی است که مختص خط عبوری کندرو می‌باشد.
  - × اگر انواع مختلف وسایل‌نقلیه از خط عبوری اضافه استفاده کنند و عملکرد آن مشابه سایر خطوط عبوری باشد و فقط برای افزایش ظرفیت استفاده شود باید به عنوان یک خط عبوری در راه‌های چندخطه قلمداد شود.
- هنگام انجام مطالعات ظرفیت، تعریف اینکه آیا بخش‌های مختلف تونل باید به صورت مجزا یا کل تونل به صورت یکجا در نظر گرفته شود، الزامی است. البته اگر مقطع عرضی متفاوت باشد مقطع حداقل تعیین‌کننده ظرفیت کلی خواهد بود. در رابطه با مقطع طولی لازم است مطالعه‌ای در خصوص در نظر گرفتن یک شیب متوسط به جای شیب‌های متفاوت یا بررسی مجزای هر یک از شیب‌راهه‌ها انجام شود. در این موارد باید برآوردهای گوناگونی به منظور تعیین نقطه‌ای که بیشترین محدودیت ظرفیت را ایجاد می‌نماید، انجام شود. این محل معمولاً با نقطه‌ای که وسایل‌نقلیه سنگین کمترین سرعت را دارند، منطبق است.
- به طور خلاصه، با توجه به محدودیت‌های ذکرشده، این قسمت تغییرات مربوط به جریان ترافیک درون تونل دوطرفه را با توجه به تغییرات هندسی و طرح، همچنین تغییرات و ترکیب ترافیک مورد نیاز توصیف می‌کند. بدین منظور از دستورالعمل ظرفیت راه (HCM-2000) [۱۵] و همچنین مطالعات گوناگون دیگری که به بررسی تونل‌های دوطرفه که در مجموع حداکثر چهار خط عبوری دارند، استفاده شده است. برای جداول ضرایب و روش‌های کلی از HCM سال ۲۰۰۰ استفاده شده است اگرچه در مواردی محاسبات ارایه شده با مستندات مرجع متفاوت است. یک استثناء فاکتور معادل برای کامیون‌ها بر روی رمپ (شیب‌راهه) است که از نسخه HCM سال ۱۹۹۵ [۱۴] استفاده شده است زیرا فاکتورهای معادل نسخه HCM سال ۲۰۰۰ از کامیون‌های با قدرت بالا نسبت به وزن آنها گرفته شده و با وضعیت معمول اکثر کشورها منطبق نیست.

۳-۲. محاسبات ظرفیت و سرعت

روش برآورد ظرفیت تونل شامل تعیین ظرفیت‌های جزئی هر یک از دو جهت حرکت به صورت جداگانه و مستقل است. در اغلب موارد که از یک خط عبوری برای هر یک از جهت‌ها استفاده می‌شود، محاسبه با روش خطوط عبوری برای بهره‌برداری عمومی، به شرح زیر انجام می‌شود. از طرف دیگر، اگر بیش از یک خط عبوری در هر جهت وجود داشته باشد، تحلیل ابتدا شامل تعیین جریان تردد غالب در هر جهت حرکت در تونل تحت شرایط تراکم بالای ترافیک یعنی تحت شرایط نزدیک به وضعیت ظرفیت کامل یا اشباع می‌گردد. همانگونه که در بالا ذکر شد ممکن است خط عبوری کندرو به طور انحصاری مختص به وسایل‌نقلیه سنگین بدون وجود وسایل‌نقلیه سبک یا وجود اندک آن باشد، یا حتی هر دو خط عبوری تقریباً به حد یکسانی توسط انواع خودروها اشغال شوند.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

فاکتور متمایزکننده برای این موارد معمولاً وجود سرازیری یا سربالایی تند و درصد بالای وسایل‌نقلیه سنگین است که تمایل به استفاده از خط عبوری کندرو دارند در حالی که در طراحی بدون وجود وسایل‌نقلیه سنگین یا با وجود اندک، آن تمایل به ایجاد وضعیتی، مشابه راه‌های دارای چند خط عبوری وجود دارد. در تونل‌های تحت شرایط نزدیک به حد ظرفیت، تمایل به استفاده از خطوط عبوری به صورت یکسان و عبور وسایل‌نقلیه سنگین از خط کندرو وجود دارد. در حالی که تحت شرایط تراکم کم ترافیک، کامیون‌ها تمایل به اشغال انحصاری خط عبوری کندرو را داشته و از خط عبوری سریع فقط برای سبقت استفاده می‌کنند. در این رابطه شرکت مسئول بهره‌بردای از تونل باید تلاش کند خطوط عبوری سریع در تونل‌های دارای بیش از یک خط عبوری در هر جهت، فقط هنگامی که ظرفیت خط عبوری کندرو برای تراکم ترافیک کفایت نمی‌کند استفاده شوند، زیرا ایمنی ترافیک در صورت وجود یک خط عبوری آزاد بین دو جهت حرکت درون تونل بیشتر است. البته در مواردی که سبقت وسایل‌نقلیه سنگین از یکدیگر در تونل ممنوع شده باشد، خط عبوری سریع فاقد این نوع وسایل‌نقلیه خواهد بود. این اقدام کنترلی، ایمنی را تحت شرایط تراکم ترافیک کم تا متوسط افزایش می‌دهد، اما می‌تواند سبب محدودیت ظرفیت تونل گردد زیرا کمترین سرعت حرکت وسیله‌نقلیه بر شرایط سرعت حرکت در خط عبوری کندرو تحمیل می‌شود. روش کار بدین‌صورت است که در صورت وجود خط عبوری کندرو که به عنوان خط فراز تخصیص داده شده است، ابتدا باید ظرفیت خط فراز را تعیین نمود و سپس ظرفیت خط عبوری سریع را بدون وجود یا با تعداد کمی وسیله‌نقلیه سنگین تعیین نمود. مرحله اول، محاسبه ظرفیت ترافیک عادی یک یا دو خط عبوری با کاربرد یکسان است. سپس ظرفیت اضافه‌ای که توسط خط فراز فراهم می‌شود برآورد می‌گردد.

۳-۲-۱. ظرفیت تئوری و ظرفیت عملی

ظرفیت تئوریک قسمتی از راه به صورت حداکثر شدت وسایل‌نقلیه‌ای که طی مدت ۱۵ دقیقه تردد نمایند، تعریف می‌شود و واحد آن برحسب وسیله‌نقلیه بر ساعت بیان می‌گردد. این حداکثر مطلق نبوده بلکه بیشتر به تکرارپذیری دلالت دارد. تعریف ظرفیت بدین شیوه فقط وابسته به هندسه مقطع است و به درصد حضور وسایل‌نقلیه سنگین بستگی ندارد. بدیهی است که حداکثر شدت هنگامی است که ترافیک به طور انحصاری توسط وسایل‌نقلیه سبک و رانندگان معمولی ایجاد شده باشد.

در صورتی که ظرفیت بر اساس تعداد وسیله‌نقلیه بیان شود و درصد وسایل‌نقلیه سنگین را مدنظر قرار دهیم ظرفیت عملی تعریف می‌شود و به صورت حداکثر ظرفیت وسایل‌نقلیه در یک ساعت است که قابلیت عبور از قسمتی از راه در ظرف مدت ۱۵ دقیقه را دارند و با توجه به ترکیب ترافیکی رایج در محل به دست می‌آید.

۳-۲-۲. ظرفیت خطوط عبوری با کاربرد عمومی

این بخش برای تمام مواردی که یک خط عبوری در هر جهت حرکت مدنظر قرار می‌گیرد و همچنین محاسبه ظرفیت خط عبوری سریع هنگامی که خط عبوری کندرو، خط فراز (سربالایی) باشد و باید به صورت جداگانه در نظر گرفته شود، کاربرد دارد. این بخش همچنین می‌تواند برای تعیین ظرفیت کل ترافیک ترکیبی دو خط عبوری با کاربرد مشابه و جهت حرکت یکسان بکار برده شود.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

ظرفیت در دو مرحله تعیین می‌شود؛ ابتدا ظرفیت تئوری بر اساس سرعت جریان آزاد (FFS) محاسبه می‌شود. در مرحله دوم تنظیم این ظرفیت تئوری بر اساس حضور وسایل‌نقلیه سنگین و نوع رانندگان برای دستیابی به ظرفیت عملی انجام می‌شود.

سرعت جریان آزاد (FFS) عبارت است از سرعت متوسط فضایی (میانگین همساز سرعت) وسایل‌نقلیه سبک هنگامی که تراکم چندانی که سبب تاخیر سایر وسایل‌نقلیه گردد، وجود ندارد. FFS را می‌توان از طریق مشاهده مستقیم تعیین نمود و باید اطمینان داشت که شدت ترافیک خط عبوری مورد مطالعه بیش از ۱۴۰۰ pcph (سواری در ساعت) نبوده و هیچ نوع وسیله‌نقلیه دیگری وجود نداشته باشد. اگر FFS به صورت مستقیم سنجیده شود هیچ‌گونه تنظیم دیگری ضروری نیست، اما باید دقت شود تا سرعت در طول تونل یا بخشی از آن که تحت مطالعه است به طور دقیق و صحیح اندازه‌گیری شود. این سرعت باید از طریق اندازه‌گیری زمان سفر در کل طول بخش مورد بررسی محاسبه شود. محاسبه متوسط سرعت در هر نقطه باعث ایجاد خطا در نتایج می‌گردد.

اگر مشاهده مستقیم امکان‌پذیر نباشد، محاسبات را می‌توان بر اساس سرعت جریان آزاد مبنا (BFFS)[1]، که فقط به هندسه تونل و حدود سرعت وابسته است، انجام داد. همچنین می‌توان آن را به صورت اندکی کمتر از سرعت طراحی قسمت (Km/h ۱۰-۸)، یا به صورت اندکی بیش از حد سرعت ترافیک اعمال شده (Km/h ۱۵-۸) برآورد نمود. درصورت تعیین FSS بر اساس BFFS از طریق بکارگیری فاکتورهای کاهنده که به موارد زیر وابسته هستند تعیین شود:

- F_A- عرض باند ترافیک، هنگامی که کمتر از ۳/۶ متر (۱۲ft) است،
- F_W- فضای آزاد کناری در طرفین مسیر حرکت (بخش خارج از سواره‌رو + نوار میانه مرکزی در صورت وجود)،
- F_M- نوع جداکننده بین دو جهت حرکت.

$$FFS=BFFS-F_A-F_W-F_M \quad (۱)$$

فاکتور تنظیم عرض خط عبوری و فاکتور تنظیم شانه راه در جداول زیر نشان داده شده است:

جدول ۹: تنظیم عرض خط عبوری F_A.

عرض خط عبوری (m)	کاهش BFFS (km/h)
۳/۶۰	۰/۰
۳/۵۰	۱/۰
۳/۴۰	۲/۱
۳/۳۰	۳/۱
۳/۲۰	۵/۶
۳/۱۰	۸/۱
۳/۰۰	۱۰/۶

1. Basic Free Flow Speed: BFFS

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

جدول ۱۰: تنظیم فضای آزاد کناری F_W.

عرض کلی شانه راه (m)	کاهش BFFS (km/h)
۳/۶۰	۰/۰
۳/۰۰	۰/۶
۲/۴۰	۱/۵
۱/۸۰	۲/۱
۱/۲۰	۳/۰
۰/۶۰	۵/۸
۰/۰۰	۸/۷

فضای آزاد کناری باید به صورت کل مسیر خارج از سواره‌رو به علاوه نوار میانه مرکزی جداکننده جهات حرکت در صورت وجود در نظر گرفته شود. در محاسبات عرض بیش از ۱/۸۰ متر برای هیچ یک از دو فاکتور در نظر گرفته نمی‌شود. یعنی قسمت خارج از سواره‌رو با عرض بیش از ۱/۸۰ متر همان ۱/۸۰ متر در نظر گرفته می‌شود و برای نوار میانه مرکزی نیز مقدار بیش از ۱/۸۰ متر همان مقدار ۱/۸۰ متر در نظر گرفته می‌شود. فضای آزاد کناری شامل عرض پیاده‌روها نیز می‌شود مگر اینکه ارتفاع پیاده‌روها به طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر از شانه راه قرار گیرند یا حدود پیاده‌رو با حفاظ صلب یا انعطاف‌پذیر جدا شود. اگر جداکننده بین جهات حرکت فقط خط‌کشی تک یا دوبل بر روی روسازی راه باشد، اندازه فضای آزاد مرکزی صفر است.

فاکتور کاهنده برای نوع نوار میانه F_M، فقط در صورتی در نظر گرفته می‌شود که هیچ حفاظی بین جهات تردد نصب نشده یا نوار میانه مرکزی وجود نداشته باشد و مقدار آن (km/h) ۲ است. این کاهش به علت تأثیر عدم ایمنی است که در اثر ترافیک دوطرفه به وجود می‌آید و هنگامی که حفاظ میانی یا نوار مرکزی ایمنی وجود داشته باشد تأثیری بر رانندگان نمی‌گذارد.

هنگامی که FFS برحسب (km/h) به صورت مشاهده مستقیم یا از طریق فاکتورهای کاهنده اعمال شده بر BFFS محاسبه گردید، ظرفیت تئوری هر یک از خطوط عبوری (TCPL)[1] از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$TCPL=(FFS*۱۰+۱۲۰۰) \quad \text{(سواری در ساعت در هر خط عبوری)} \qquad (۲)$$

به عبارت دیگر برای FFS معادل (km/h)۷۰، مقدار TCPL برابر با ۱۹۰۰ است. تعیین ظرفیت تئوری بالاتر از ۲۲۰۰ امکان‌پذیر نبوده و هیچ اطلاعات قابل اطمینانی برای سرعت جریان آزاد کمتر از (km/h)۶۰ در دسترس نیست.

اگر دو خط عبوری برای یک جهت حرکت وجود داشته باشد و خط عبوری کندرو، خط فراز نباشد ظرفیت تونل در این جهت حرکت دو برابر تونل با یک خط عبوری خواهد بود.

1. Theoretical Capacity Per Lane: TCPL

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

تعیین ظرفیت عملی، PCPL[1]، از طریق ظرفیت تئوری (TCPL) با اعمال فاکتورهای کاهنده جبرانی زیر انجام می‌شود:

- فاکتور ساعت اوج ترافیک،PHF[2]، که بیانگر رابطه شدت ساعتی ظرفیت تقسیم بر چهار برابر حداکثر تعداد وسایل‌نقلیه در دوره زمانی ۱۵ دقیقه‌ای در ساعت اوج ترافیک است. این فاکتور شامل پراکندگی شدت ترافیک در ساعت اوج ترافیک بوده و برای محاسبه ظرفیت عملی بکار می‌رود که به صورت حداکثر شدت ظرفیت قابل تردد در مدت ۱۵ دقیقه بیان می‌گردد. این فاکتور معمولاً بین ۰/۹۲ برای مواردی که جریان ترافیک کاملاً یکنواخت است و ۰/۸۰ متغیر است. مقدار آن یا باید از طریق مشاهده به دست آید یا مقادیر پیش‌فرض مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- فاکتور نوع راننده، f_p، بر اساس میزان آگاهی و عادت رانندگان در عبور از تونل است. مقدار آن بین ۱/۰۰ الی ۰/۸۵ است. مقدار ۱/۰۰ برای رانندگانی بکار می‌رود که از تونل به صورت روزمره عبور می‌کنند و ۰/۸۵ برای افرادی که گاهی از تونل استفاده می‌کنند یا افرادی که قبلاً از این تونل یا تونل‌های مشابه آن عبور نکرده‌اند.
- فاکتور وسایل‌نقلیه سنگین در شیب‌ها، f_{hv}، نشانگر تأثیر نوع وسایل‌نقلیه کندرو بر جریان حرکت وسایل‌نقلیه سبک (سواری‌ها) است.

فاکتور تنظیم وسایل‌نقلیه سنگین f_{hv} از فاکتور معادل E_q وسایل‌نقلیه سنگین (اتوبوس و کامیون) در میان وسایل‌نقلیه سبک به دست می‌آید و در ارتباط با تقاضای ظرفیت برای وسایل‌نقلیه سنگین (کامیون، اتوبوس، تریلر) و سواری‌های شخصی تعیین می‌شود. مقدار فاکتور معادل E_q بین ۱/۵ تا ۲ برای اتوبوس‌ها و کامیون‌ها متغیر است و به طول و درجه شیب، بستگی دارد. مقادیر آن در جدول (۱۱) ارایه شده است.

هنگامی که فاکتور E_q تعیین گردید، بر اساس شیب و طول آن، درصد وسایل‌نقلیه سنگین f_{hv} به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$f_{hv} = \frac{1}{(1+P_c(E_q-1))} \qquad (۳)$$

که در آن: P_c : عبارت است از نسبت وسایل‌نقلیه سنگین در کل جریان ترافیک، (CP): ظرفیت عملی، از طریق ضرب ظرفیت تئوریک (TC)[3]، در سه فاکتور فوق محاسبه می‌شود:

$$CP=TC\times PHF\times fhv\times fP \qquad (۴)$$

1. Practical Capacity Per Lane: PCPL
2. Peak Hour Factor: PHF
3. Theoretical Capacity: TC

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

جدول۱۱: مقادیر فاکتور معادل E_q بر حسب طول و درجه شیب.

شیب (%)	طول شیب (m)	E_q فاکتور معادل در شیب					
		درصد وسایل‌نقلیه سنگین (%)					
		۴	۶	۸	۱۰	۱۵	۲۰
کمتر از ۲	همه	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
۲	۰-۴۰۰	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
	۴۰۰-۸۰۰	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
	۸۰۰-۱۲۰۰	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
	۱۲۰۰-۱۶۰۰	۲	۲	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
	۱۶۰۰-۲۴۰۰	۳	۳	۲/۵	۲/۵	۲	۲
	> ۲۴۰۰	۳/۵	۳	۲/۵	۲/۵	۲	۲
۳	۰-۴۰۰	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
	۴۰۰-۸۰۰	۲/۵	۲	۲	۲	۲	۱/۵
	۸۰۰-۱۲۰۰	۴	۳/۵	۳/۵	۳	۲/۵	۲
	۱۲۰۰-۱۶۰۰	۵/۵	۴/۵	۴	۴	۳/۵	۳
	۱۶۰۰-۲۴۰۰	۶	۵	۴/۵	۴	۴	۳
	> ۲۴۰۰	۶	۵	۴/۵	۴/۵	۴	۳
۴	۰-۴۰۰	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
	۴۰۰-۸۰۰	۴	۳/۵	۳	۳	۳	۲/۵
	۸۰۰-۱۲۰۰	۷	۶	۵/۵	۵	۴/۵	۴
	۱۲۰۰-۱۶۰۰	۸	۶/۵	۶	۵/۵	۴	۴/۵
	> ۱۶۰۰	۸	۷	۶	۶	۵	۵
۵	۰-۴۰۰	۲	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
	۴۰۰-۸۰۰	۴/۵	۴	۳/۵	۳	۳	۲/۵
	۸۰۰-۱۲۰۰	۷	۶	۵/۵	۵	۴/۵	۴
	۱۲۰۰-۱۶۰۰	۹	۸	۷	۷	۶	۶
	۱۶۰۰-۲۴۰۰	۹/۵	۸	۷/۵	۷	۶/۵	۶
	> ۲۴۰۰	۹/۵	۸	۷/۵	۷	۶/۵	۶

۳-۲-۳. ظرفیت خط عبوری سربالایی (فراز)

در مواردی که خط عبوری کندرو خط فراز باشد، ظرفیت عملی را می‌توان از شدت کل وسایل‌نقلیه سنگینی که از خط عبوری با توجه به شیب و طول آن می‌تواند عبور کند، به طور تقریبی برآورد نمود. بدین منظود می‌توان از فرمول زیر استفاده کرد:

$$PCcl=(10\times V_{HCV}+1200)/E_T \qquad (۵)$$

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

که در آن: V_{HGV} سرعت متوسط وسایل‌نقلیه سنگین در شیب تحت شدت ترافیک بالا است. اگر نتوان آن را به طور مستقیم مشاهده کرد می‌توان از فرمول زیر برآورد نمود:

$$V_{HGV}=[۰/۳۰ \times [(\text{قدرت}/\text{وزن})]] /(i + ۰/۰۱۵) \qquad (۶)$$

که در آن نسبت قدرت/ وزن وسایل‌نقلیه سنگین به صورت kW بر تن وزن، و درجه شیب "i" به صورت نسبتی از یک بیان می‌شود[۱].

E_T عبارت است از مقدار معادل وسایل‌نقلیه سنگین یا کامیون‌ها، که از جدول فوق در ستون مربوط به ۲۰% یا بیشتر وسایل‌نقلیه سنگین محاسبه شده است. اگر کل جریان ترافیک شامل وسایل‌نقلیه سنگین یا کامیون به اندازه کافی برای اشباع خط فراز نباشد، کل ظرفیت استفاده شده و برخی از سواری‌ها در بین کامیون‌ها در خط ویژه وسایل‌نقلیه کندرو حرکت خواهند کرد، اما به ندرت ظرفیت باقی‌مانده به طور کارآمد یا به طور کامل مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد.

برای مثال اگر ET یک خط فراز به طول ۳۰۰۰ متر و شیب ۳% برابر با ۳ باشد در حالی که سرعت متعادل V_{HGV} برای کامیون‌ها با قدرت (kW/Tn) ۸ برابر با (km/h) ۵۳ باشد ظرفیت عملی خط فراز عبارت است از:

وسیله‌نقلیه سنگین در ساعت PCcl=(۱۰×۵۳+۱۲۰۰)/۳=۵۷۷

۳-۲-۴. توزیع ترافیک بین جهات تردد

هنگامی که ظرفیت هریک از جهات تردد درون تونل به طور جداگانه تعیین گردید دو مقدار به دست آمده با یکدیگر جمع می‌شود تا ظرفیت کل تونل تعیین شود. اگر در حال حاضر یا در آینده تقاضای ترافیک کافی برای اشباع همزمان دو جهت تردد وجود داشته باشد ظرفیت کل به سادگی، جمع ظرفیت هر دو جهت خواهد بود. اگرچه، به طور معمول هرگاه تقاضای کمی در یک جهت وجود داشته باشد در جهت دیگر تقاضا معمولاً حداکثر است. اگر این مطلب همواره صادق باشد ظرفیت توام تونل عبارت است از مجموع حداکثر ظرفیت یک جهت به علاوه میزان تقاضای همزمان جهت دیگر به شرط آنکه این مقدار کمتر از ظرفیت محاسبه شده باشد. تونل می‌تواند به طور کارآمدی شدت ترافیک بیشتری در یکی از دو جهت حرکت را فراهم نماید اما اگر نتواند میزان تقاضا را برآورده کند (حداقل در یک جهت) با شدت کلی که جمع هر دو جهت و کمتر از ظرفیت عملی محاسبه شده خواهد بود، تونل اشباع خواهد شد.

۳-۲-۵. ظرفیت روزانه

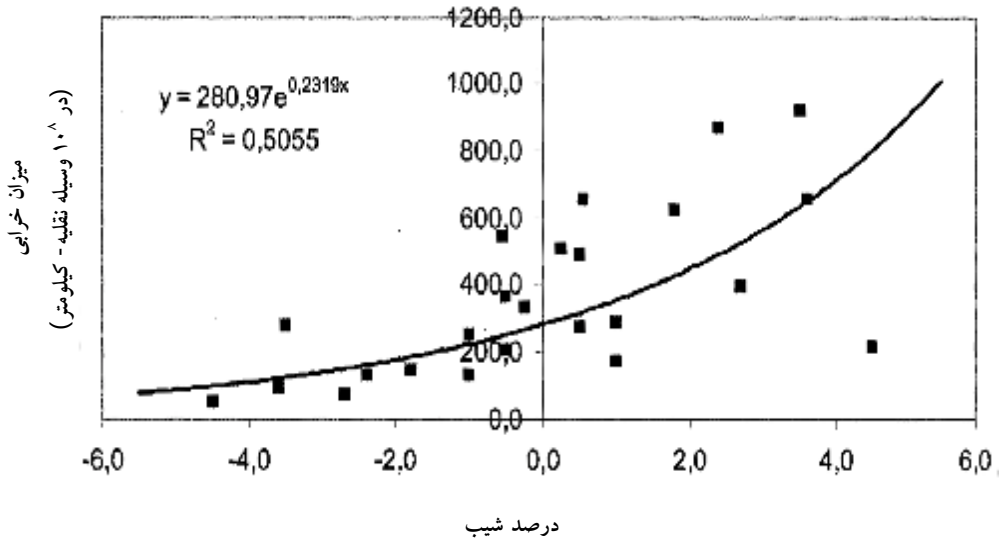
معمولاً ظرفیت عملی به صورت وسیله‌نقلیه در روز بجای وسیله‌نقلیه در ساعت بیان می‌گردد. رابطه بین حداکثر AADT و ظرفیت به نوع ترافیک و محیط اطراف تونل وابسته است، AADT در مناطق پرتراکم شهری یا راه‌های شهری ۱۱ برابر و در راه‌های برون‌شهری با ترافیک ایام تعطیلات ۶ برابر بیشتر است.

۱- این فرمول سرعت یکنواخت (پایدار) وسایل نقلیه سنگین را در شیب طولانی برآورد می‌کند، صرف نظر از اثر مقاومت هوا و با فرض اینکه عملکرد انتقال نیروی موتور کامیون ۸۰% و ضریب مقاومت به راه (Kgm/ton)۱۵ است.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

۴. میزان خرابی‌ها و تصادفات

- مقایسه اطلاعات بین کشورهای مختلف به علت تفاوت در تعریف مجروحین، خرابی‌ها و غیره دشوار است. اگرچه مقایسه برخی از جنبه‌های عمومی اطلاعات کلی موجود امکان‌پذیر است.
- نرخ خرابی تقریبی در تونل‌های دوطرفه در حدود ۷۵۰ خرابی برای هر ۱۰۸ وسیله‌نقلیه در کیلومتر با پراکندگی ۴۰%± برآورد شده است. این مقدار تقریباً ۲۵% بیشتر از تونل‌های یک طرفه است. خرابی به صورت توقف وسیله‌نقلیه در درون تونل به هر دلیلی به استثنای تراکم ترافیک تعریف می‌شود [۶ و ۷].
- شیب تونل تأثیر زیادی در تعداد و فراوانی خرابی‌ها دارد. بدیهی است که این میزان در سربالایی‌ها بیشتر از سرپایینی‌ها است. به نظر می‌رسد این موضوع به دلیل این واقعیت است که رانندگان تمایل دارند در صورت امکان به هر طریقی از تونل خارج شوند [۶، ۷ و۹].



شکل ۴: نمودار میزان خرابی نسبت به شیب.

- درون تونل‌ها در مکان‌هایی که توقفگاه وجود دارد، حتی در مواردی که این مناطق توقف به وضوح مشخص شده‌اند، استفاده از آنها در بیش از ۴۰% موارد توقف غیرعادی است [۷]، بنابراین به نظر می‌رسد وجود توقفگاه مزیت فراوانی دارد، اما جایگزین محوطه‌های مورد نیاز برای توقف وسایل‌نقلیه در کنار راه‌های سطحی نمی‌شود.
- نرخ تصادفات نسبت به خرابی‌های درون تونل بسیار کمتر است. در کشورهای مختلف تفاوت‌های زیادی بین تعریف جراحت شدید و جزئی وجود دارد، حتی در برخی موارد تلفات مربوط به تصادفات فقط در صورتی که مدت زمان کوتاهی پس از سانحه اتفاق افتد، در آمارها لحاظ می‌شوند. در نتیجه مطالبی که در اینجا بیان می‌شود موارد کلی است و مقادیری که مدنظر قرار گرفته‌اند مربوط به وضعیت تونل مورد بحث می‌باشد.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

- به طورکلی، تونل‌ها دارای شاخص تصادف مشابه با راه سطحی معادل خود یا کمتر از آن هستند [۸، ۹ و ۱۲]. در بسیاری از موارد این نرخ‌ها کمتر است. نرخ تصادفات منجر به جرح در تونل‌های دوطرفه بین ۲۵% الی ۳۰% بیش از تونل‌های یک‌طرفه است. اگرچه همه مطالعات نتایج مشابهی را نشان نمی‌دهند همانطور که برای نرخ خرابی‌ها نیز به همین صورت است [۸، ۷ و ۱۲].
- منطقه‌ای با تمرکز تصادفات در نزدیکی دهانه تونل وجود دارد و حتی در برخی از مراجع [۸] این منطقه تمرکز به حدود پنجاه متر خارج از تونل امتداد می‌یابد. علت این وضعیت چرخش و مانور ورود به نظر می‌رسد که در این مناطق نسبتاً متداول است. فاکتور تعیین‌کننده دیگر کیفیت روشنایی است هم برای تصادفات در ورودی تونل به علت ضعف در سازگاری با تاریکی و همچنین برای تصادفات در قسمت مرکزی هنگامی که هیچ سیستم روشنایی در تونل وجود نداشته باشد [۸]. با این همه قسمت مرکزی تونل ایمن‌ترین منطقه است.
- هرگاه عرض خط عبوری کمتر از ۳ متر باشد، تصادفات ناشی از برخورد رو در رو افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد [۸]. تصادفات از عقب (برخورد از عقب به وسیله‌نقلیه جلویی) با رشد AADT، به علت تأثیر تراکم افزایش می‌یابد.
- نرخ تصادفات، که به صورت تصادف منجر به جرح در هر ۱۰۰ میلیون وسیله‌نقلیه- کیلومتر بیان می‌شود با افزایش طول تونل همچنین AADT بالاتر کاهش می‌یابد. علت کاهش در رابطه با طول تونل، اثر منطقه نزدیک به ورودی است که در تونل‌های بلند اهمیت نسبتاً کمتری دارد در حالی که کاهش نرخ تصادفات نسبت به افزایش AADT در هر نوع راهی از جمله راه‌های سطحی وجود دارد [۸].
- افزودن خط عبوری وسایل‌نقلیه کندرو باعث بهبود ایمنی در تونل‌ها می‌شود.
- شیب‌های تند (بیش از ۹%) تعداد تصادفات را افزایش می‌دهد [۸]. هرچند تأثیر شیب یا شیب‌راهه بر تصادفات هنگامی که شیب جزئی باشد، مشخص نیست.
- هیچ مطالعه‌ای که امکان بیان رابطه روشنی بین خصوصیات طرح (قوس‌های افقی و قائم) یا عرض فضای آزاد کناری با نرخ تصادفات را نشان دهد، موجود نیست. گرچه برخی وضعیت‌های خاص منجر به میزان بیشتر تصادفات می‌شوند. صرف نظر از این مورد تونل‌هایی که با خصوصیات ابعادی مناسب طراحی شده‌اند، افت قابل توجه میزان تصادفات را نشان می‌دهند.
- شواهدی وجود دارد که نرخ تصادف در تونل‌هایی که دارای شیب در قسمت داخلی ورودی یا خروجی هستند چندین برابر بیشتر از تونل‌های مشابه بدون این خصوصیات است [۵].

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

۵. راستای افقی

- در قوس‌های افقی حداقل شعاع مورد نیاز برای سرعت طرح تونل باید رعایت شود. به علاوه، تضمین اینکه شانه راه در قوس‌ها دید کافی برای رویت وسایل‌نقلیه متوقف را فراهم می‌نماید، ضروری است. توصیه‌ها و استانداردهای هر کشور مقادیر یکسانی برای این پارامترها ارایه می‌نماید بنابراین همسان‌سازی بعدی آنها ضرورتی ندارد.
- اجتناب از مسیر مستقیم ضرورتی ندارد اما طول مسیر مستقیم نباید بیش از (m)۱۵۰۰ باشد زیرا اثر تمرکز بیش از اندازه برای یک نقطه می‌تواند باعث حواس‌پرتی راننده یا حتی موجب افزایش ناخودآگاه سرعت شود.
- به دلیل مشابه، در چند متری انتهای تونل باید قوس افقی نرمی به سمتی که باعث محدودیت دید نشود، وجود داشته باشد در حالی که در تونل‌های دوطرفه بهتر است میدان دید بیشتری در جهت ورود به تونل فراهم گردد زیرا در اکثر موارد کاهش میدان دید ناشی از تغییر میزان روشنایی در این قسمت وجود دارد. اگر راستای تونل تقریباً شرقی- غربی باشد، مسیر منحنی‌شکل انتهای تونل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا به هنگام طلوع و غروب خورشید از خیره شدن رانندگان به خروجی تونل جلوگیری می‌کند.
- ورودی و خروجی تونل محل‌هایی هستند که احتمال تصادف در آن بیشتر است و در نظر گرفتن تمهیدات مناسب در آنها به منظور تضمین سازگاری تدریجی با تغییر شرایط روشنایی اهمیت فراوانی دارد. این اقدامات جدا از سیستم روشنایی تونل می‌تواند طراحی ورودی‌های تونل، جهت مسیر و همچنین سایر تمهیداتی که به تمرکز حواس راننده کمک می‌کنند را در بر گیرد.
- در صورتی که سرعت متوسط مشخصی هنگام عبور از داخل تونل باید حفظ گردد، حداقل شعاع افقی باید این سرعت را اجازه دهد. اگرچه در قوس‌ها، خصوصاً در قوس‌هایی که میدان دید محدود می‌شود، سرعت مجاز با توجه به فاصله توقف و میدان دیدی که شانه‌های راه فراهم می‌کنند، محدود می‌شود. ایجاد فاصله آزاد مورد نیاز برای ترکیب مشخصی از سرعت و شعاع قوس در تونل دشوار است بنابراین در طراحی باید به این جنبه دقت لازم شود.
- حداکثر سرعت توصیه شده در تونل‌های دوطرفه (km/h)۹۰ است، یا در صورتی که هندسه تونل (مقطع، قوس‌ها یا شیب) شامل سایر فاکتورهای محدودکننده باشد کمتر خواهد بود. در این حالت حد سرعت باید با سرعت ایمن در ترافیک معمول تونل مطابقت نماید.
- با وجود اینکه در تونل‌ها بارندگی تأثیر نامطلوبی که باعث کاهش ضریب مقاومت لغزشی شود، نمی‌گذارد و همچنین مزیت پاک‌کنندگی رویه راه را نیز ندارد، بنابراین توصیه می‌شود ضریب مقاومت لغزشی هنگام محاسبه فاصله توقف و شعاع قابل قبول قوس با آنچه در خارج از تونل است یکسان یا مقداری کمتر باشد.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

۶. راستای قائم

- معمولاً طراحی تونل شامل تعیین نقطه رأس در قسمتی از تونل می‌گردد که در این حالت همانند حالتی که برای نقطه قعر وجود دارد، باید دقت شود این نقطه هیچ مشکلی را برای سیستم تهویه تونل به وجود نیاورد.
- شیب‌های تند مسیر (بیش از ۳/۵%) تهویه را مشکل‌تر می‌کند از آنجا که اثر دودکشی (تمایل گازها به صعود با توجه به اختلاف ارتفاع نقاط مختلف تونل در مقایسه با سطح مبنا) قوی‌تر شده و باید بر مقاومت قابل توجهی برای ایجاد جریان هوا در برابر این اثر غلبه نمود [۱۳] این موضوع به هنگام بروز حریق به علت تمایل بیشتر گازهای داغ به صعود اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.
- شیب‌های مسیر تونل نباید بیش از ۴% در تونل‌های دوطرفه شود در مواردی که اجرای شیب‌های تندتر ضروری است در طراحی سیستم تهویه باید این تأثیرات را به‌دقت مدنظر قرار داد.
- اگر تصمیم براین باشد که خط عبوری اضافه‌ای در جهت سربالایی ایجاد گردد در صورت امکان باید این مسیر از ابتدا تا انتهای تونل طراحی شود تا از ادغام ترافیک و سبقت‌گیری که موجب ایجاد خطرات بیشتری در درون محدوده‌های تونل می‌گردد، جلوگیری شود.
- هرگونه تغییر در شیب داخل تونل باید با استانداردهای هندسی راه‌های خارج تونل مطابقت نماید. در صورتی که فاصله آزاد قائم تونل کاهش یابد یا هرگونه فرورفتگی در شیب باعث کاهش جدی فاصله میدان دید شود، توجه مضاعفی باید به شرایط خارج از تونل گردد.
- به منظور جلوگیری از به وجود آمدن مقطعی با ظرفیت ترافیک حداقل داخل تونل، هرگونه تغییر شیب روسازی ترجیحاً باید از شیب زیاد به کم باشد. هرگاه این نوع شیب‌بندی امکان‌پذیر نباشد، به عنوان مثال در تونل‌های زیردریایی، توجه لازم باید به گره‌های ترافیکی ممکن ناشی از کاهش ظرفیت محل درون تونل معطوف گردد.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

۷. هندسه مقطع عرضی

نکات مربوط به این مبحث شامل بررسی قسمت‌های مختلف مقطع عرضی تونل‌های دوطرفه بر اساس استانداردهای جهانی، همچنین نتایج مطالعات گوناگون در خصوص این جنبه‌ها است. خلاصه‌ای از موضوعاتی که باید مدنظر قرار گیرند در مبحث توصیه‌ها ارایه شده است.

۷-۱. عرض خط عبوری

- به طورکلی توصیه‌های بین‌المللی تا حد زیادی استفاده از عرض خطوط عبوری برابر با ۳/۲۵ متر یا بیش از آن با مقدار توصیه شده ۳/۵ متر تأکید دارند، که همواره در صورتی که تونل حامل ترافیک وسایل‌نقلیه سنگین باشد باید مورد استفاده قرار گیرد. عرض خط عبوری می‌تواند بخشی از خط‌کشی وسط راه را در بر گیرد. در آمریکای شمالی، عرض توصیه شده برای خطوط عبوری ۳/۶۵ متر (۱۲ft) است.
- خط‌کشی وسط راه باید به صورت زوجی و ممتد باشد تا به طور موثری از هرگونه سبقت‌گیری ممانعت نماید. عرض هر خط‌کشی نباید کمتر از ۱۵ سانتی‌متر باشد.
- همچنین توصیه شده است خط‌کشی‌های وسط مسیر در تونل به‌منظور جلوگیری از تصادفات رو در رو به علت ورود به خط عبوری ترافیک مقابل باید به صورت نوار صداساز و لرزآور (Rumble Strip) رنگ‌آمیزی شود. همچنین نتایج مطلوبی را می‌توان از طریق استفاده از نصب شب‌نما یا گل‌میخ‌های کوچکی که درون روکش راه قرار می‌گیرند، به دست آورد و هدایت ترافیک را بهبود بخشید و از این طریق تصادفات ناشی از ورود به خط عبوری ترافیک مقابل را کاهش داد [۱۱].

۷-۲. عرض فاصله آزاد شانه راه

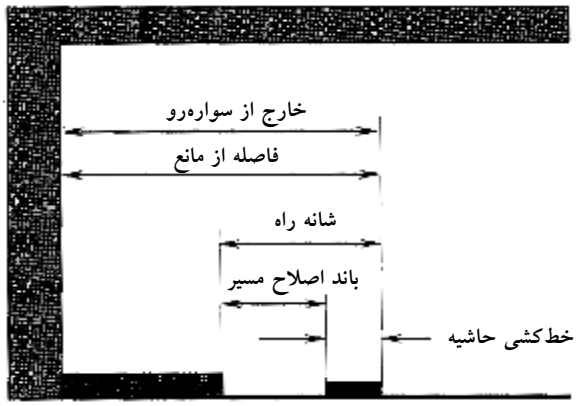
بین توصیه‌های کشورهای مختلف تفاوت‌های قابل توجهی در این رابطه وجود دارد. اگر فاصله آزاد و پیاده‌رو همزمان در نظر گرفته شوند یعنی کل مسیر خارج از سواره‌رو، این تفاوت‌ها بسیار کمتر خواهد بود.

مسیر خارج از سواره‌رو شامل فاصله آزاد شانه راه و پیاده‌رو در صورت وجود می‌گردد. همچنین باید فضای کافی برای حفاظ‌های ایمنی در صورتی که در مقطع در نظر گرفته شده باشد، وجود داشته باشد. این موارد در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده‌اند.

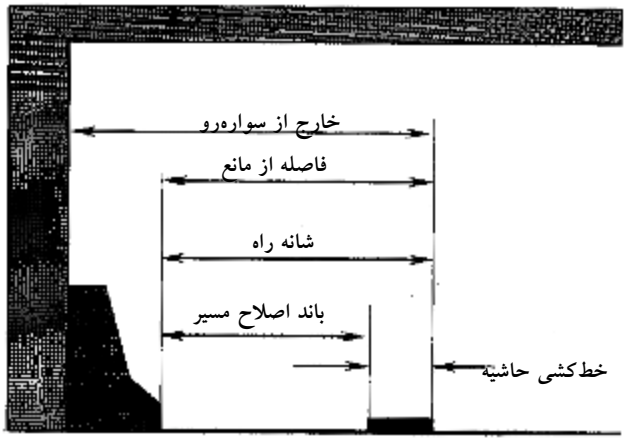
- در تونل‌های دوطرفه، عرض هر دو فاصله آزاد در سمت چپ و راست باید با یکدیگر برابر باشد. تنها استثنا، که در ادامه توضیح داده خواهد شد، می‌تواند تونل‌های با بیش از یک خط عبوری در هر طرف باشد.
- عملکردهای فاصله آزاد شانه راه (هنگامی که حداکثر در نظر گرفته شوند) عبارت است از:
  - ✕ افزایش ظرفیت خط عبوری،
  - ✕ تأمین باند اصلاح مسیر، که امکان اصلاح مسیر رانندگانی که از خط‌کشی کناره راه عبور کرده‌اند و هدایت آنها به مسیر اصلی را فراهم می‌سازد،
  - ✕ تأمین فضای لازم برای توقف وسیله‌نقلیه خراب،

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

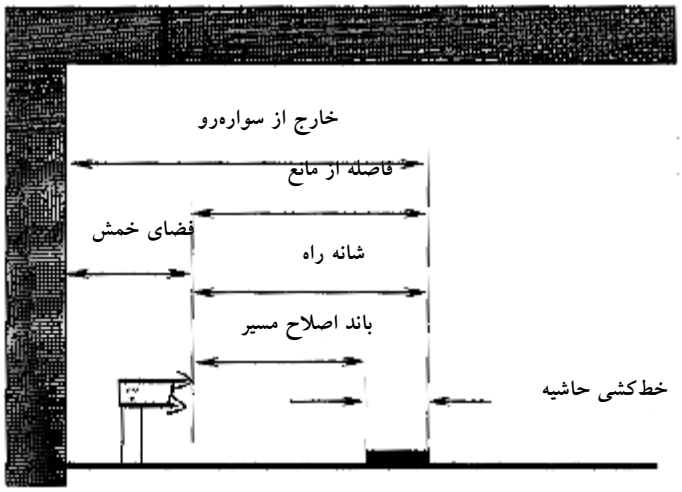
- تأمین خط عبوری اضطراری برای دسترسی سرویس‌های نجات،
- تسهیل در فعالیت‌های تعمیر و نگهداری.



شکل ۵: اجزا و کارکردهای ناحیه خارج از سواره‌رو در حالت وجود پیاده‌رو.



شکل ۶: اجزا و کارکردهای ناحیه خارج از سواره‌رو در حالت وجود حفاظ ایمنی (نیوجرسی).



شکل ۷: اجزا و کارکردهای ناحیه خارج از سواره‌رو در حالت وجود گاردریل انعطاف‌پذیر.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

- رعایت معیارهای ایمنی در رابطه با حداقل عرض مسیر (خطوط عبوری + فاصله آزاد شانه راه) ۸/۵۰ متر بسیار اهمیت دارد زیرا این فاصله برای سبقت وسیله‌نقلیه سنگین از وسیله‌نقلیه دیگر که متوقف است، بدون ایجاد اختلال در حرکت ترافیک مقابل مورد نیاز است (۳×۲/۵۰+۴×۰/۲۵m). این معیار برای تمامی موارد باید رعایت گردد بنابراین عرض فاصله آزاد شانه راه باید مکمل خط عبوری باشد تا عرض کلی به دست آید. با این حال در تعدادی از کشورهای اروپایی سبقت به هنگام خرابی (نقص فنی) ممنوع است در نتیجه عرض کمتری مورد نیاز است اما ترافیک در این جهت تا زمان برطرف شدن خرابی متوقف می‌ماند.
- به علاوه در بعضی از کشورها توصیه شده در فاصله آزاد شانه راه باید امکان توقف وسیله‌نقلیه بدون ایجاد مانع یا محدودیت در ترافیک مسیر مقابل وجود داشته باشد. این بدان معنی است که عرض توصیه شده خط عبوری به علاوه فضای آزاد شانه راه باید بیش از ۵/۵۰ متر باشد که در اکثر توصیه‌های بین‌المللی برای تونل‌های دوطرفه مهم عنوان شده است.
- بهترین وضعیت ممکن برای فضای آزاد شانه راه، امکان توقف کامل وسیله‌نقلیه خارج از مسیر سواره‌رو است که این موضوع به حداقل عرض ۲/۵۰ متر نیاز دارد.
- برخی کشورها فضای مورد نیاز برای پیاده شدن رانندگان از وسیله‌نقلیه متوقف را نیز در نظر گرفته و عرض فضای آزاد شانه راه را به ۳ متر افزایش می‌دهند [۵].
- عرض فضای آزاد شانه راه ۰/۷۵ الی ۲ متر در برخی از کشورها توصیه نشده است به استثنای جاهایی که نوار میانه مرکزی وجود داشته باشد یا هنگامی که تونل بیش از یک خط عبوری برای هر جهت حرکت داشته باشد. فضای آزاد شانه راه کمتر از ۲ متر می‌تواند سبب بروز مشکلاتی برای وسایل‌نقلیه هنگام توقف شود به نحوی که بخشی از خط عبوری را اشغال نموده و در نتیجه هنگام سبقت سایر وسایل‌نقلیه از وسیله‌نقلیه متوقف، منطقه خطرناکی ایجاد شود.
- در صورتی که از نرده‌های ایمنی از نوع انعطاف‌پذیر یا بتنی برای لبه خارجی فضای آزاد شانه راه یا کناره دیواره تونل، در صورت وجود پیاده‌رو، استفاده شود برای ایجاد فضای لازم جهت نصب آن باید عرض کلی تونل افزایش یابد به نحوی که عرض فضای آزاد شانه راه و پیاده‌رو حفظ گردد.

۳-۷. نوار میانه مرکزی

- یک راه حل ممکن برای محدود ساختن عرض کلی تونل بدون کاهش بیش از اندازه ملاحظات ایمنی عبارت است از در نظر گرفتن نوار یا باند بدون ترافیک که دو خط عبوری درون تونل را از یکدیگر تفکیک می‌کند. این نوار دارای عملکردهای زیر است:
  - × تفکیک ترافیک دو جهت حرکت، بهبود ایمنی تونل،
  - × قسمتی از آن جایگزین شانه راه در کناره‌ها می‌شود و امکان سبقت از وسیله‌نقلیه متوقف در کنار راه را بدون اشغال خط عبوری مقابل فراهم می‌سازد.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

- خط عبوری اضطراری آزادی را فراهم می‌آورد، عرض آن برای دسترسی وسایل‌نقلیه سرویس‌های امدادی کافی است.

- از طرف دیگر، نوار میانه مرکزی می‌تواند تحت شرایط خاصی خطرآفرین باشد:
  - در صورتی که وسیله‌نقلیه دارای نقص فنی بر روی نوار میانه مرکزی متوقف شود، توقف وسیله‌نقلیه روی نوار مرکزی مطلقاً ممنوع است بجز برای وسایل‌نقلیه امدادی دارای علائم هشداردهنده کافی. احتمال خطر توقف در روی نوار مرکزی را می‌توان از طریق خط کشی کاملاً مشخص برای نوار میانه مرکزی به نحوی که با خطوط عبوری یا مناطق مخصوص توقف و پارک اشتباه گرفته نشود، به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد.
  - توقف وسیله‌نقلیه در کنار شانه راه در منطقه‌ای که میدان دید ضعیف باشد (قوس‌های راست‌گرد در کشورهایی که از سمت راست رانندگی می‌کنند). محل‌هایی از تونل که به علت کاهش شعاع قوس یا پهنای کم شانه راه میدان دید کافی برای توقف با سرعت متوسط ترافیک وجود ندارد، تعبیه نوار میانه مرکزی همراه با شانه راه باریک یا بدون وجود شانه راه خطرناک است. در این موارد شانه راه کناری با عرض کافی برای توقف ایمن وسایل‌نقلیه بدون هیچ‌گونه کاهش عرض حتی در صورت وجود نوار میانه مرکزی باید تعبیه گردد.
- در صورتی که از نوار مرکزی استفاده شود، باید عرضی بین ۱ تا ۲/۵ متر داشته باشد و به استثنای موارد فوق عرض فضای آزاد شانه راه می‌تواند به حداقل ۰/۵۰ متر کاهش یابد.

۴-۷. پیاده‌رو

- تقریباً توصیه تمامی مقررات بین‌المللی این است که در تونل‌ها باید پیاده‌رو به منظور استفاده پرسنل و در صورت بروز سوانح برای استفاده سرنشینان جهت رسیدن به اهداف زیر تعبیه گردد:
  - تأمین سطح سرویس بالاتر. عرض پیاده‌رو به علاوه عرض فضای آزاد شانه راه، ظرفیت سواره‌رو بیشتری را فراهم می‌آورد. اگرچه این عملکرد در عرض‌های بیش از ۱/۸۰ متر (فضای آزاد شانه راه + پیاده‌رو) افزایش نمی‌یابد،
  - تأمین هدایت رانندگان به کمک خط ایجادشده به وسیله جدول‌ها،
  - همچنین جدول‌ها می‌توانند از برخورد اتومبیل‌هایی که از خط‌کشی حاشیه راه عبور کرده‌اند با دیواره تونل جلوگیری نمایند. این عملکرد مشابه با عملکردی است که برای گاردریل‌ها در نظر گرفته شده است اما به ندرت با ارتفاع معمول جدول‌ها موثر خواهد بود،
  - امکان بازشدن درب، هم برای اتومبیل‌های متوقف و هم برای تجهیزات داخل تونل (درب‌های فرار اضطراری، درب‌های ایستگاه SOS و غیره)،
  - امکان دسترسی ایمن افرادی که در تونل مجبور به توقف شده‌اند به تلفن‌های اضطراری داخل تونل،
  - در برخی موارد، امکان انتظار افراد نیازمند کمک پس از نقص فنی یا تصادف در شرایط ایمن‌تر،

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

- ✖ امکان انجام تعمیرات در شرایط ایمن‌تر،
- ✖ محلی برای نصب آبگذرها، کابل‌ها و سایر تاسیسات تونل.
- برای پیاده‌روها سه حالت مختلف وجود دارد:

الف- پیاده‌روهایی که فقط کاربردهای فوق را دارند

در این حالت حداقل عرض ۰/۶۰ متر و عرض توصیه شده ۰/۷۵ متر است. سطح پیاده‌رو باید بین ۷ الی ۱۵ سانتی‌متر بالاتر از سواره‌رو و جدول قائم (نه جدول لبه کوتاه) قرار گیرد و بلندی تاق در پیاده‌رو باید ۲/۳۰ متر باشد. ضروری است که تمام تونل‌ها حداقل دارای این نوع پیاده‌رو باشند[۱].

ب- پیاده‌رو به‌منظور تردد میزان مشخصی عابر یا دوچرخه‌سوار

- به طورکلی این راهکار توصیه نمی‌شود و در صورتی که هیچ راه دیگری وجود نداشته باشد باید مورد استفاده قرار گیرد. هرگاه که امکان داشته باشد تردد عابرین و دوچرخه‌سواران باید در تونلی دیگر یا در دالانی مجزا از تونل راه انجام پذیرد.
- در صورت استفاده از پیاده‌رو باید سطح آن حداقل ۵۰ سانتیمتر بالاتر از سطح سواره‌رو قرار گرفته و نوعی حفاظ برای آن تعبیه گردد. پیاده‌رو نیز باید با نیاز سایر کاربران سازگار بوده و در نتیجه باید مجهز به امکاناتی برای دسترسی از خطوط عبوری باشد.

ج- پیاده‌رویی که حدود آن به وسیله جدول‌های لبه کوتاه مشخص می‌شود

- این نوع پیاده‌رو باید پارک وسایل‌نقلیه در پیاده‌رو را در موارد اضطراری تسهیل کند.
- این طرح به وسایل‌نقلیه‌ای که به علت نقص فنی یا هر علت دیگری متوقف می‌شوند امکان می‌دهد تا عرض کمتری از سواره‌رو را اشغال کنند و به دیواره تونل نزدیک‌تر شوند.
- عقیده بر این است که در تصادفات ناشی از خروج وسیله‌نقلیه از مسیر که رایج‌ترین علت سوانحی است که در آن یک وسیله‌نقلیه نقش دارد، وجود این نوع جدول پیامدهای جدی کمتری را در بر دارد. در این رابطه اختلاف نظرهای قابل توجهی وجود دارد که قبل از قبول یا رد این فرضیه نیاز به انجام آزمایش‌های بیشتری در این رابطه می‌باشد.

در صورتی که از این جدول استفاده شود، طراحی معمول آن به صورت زیر خواهد بود:

- شیب جدول لبه کوتاه حداکثر ۳۰ درجه نسبت به افق برای عبور چرخ از روی آن است. ارتفاع آن معمولاً بین ۷ الی ۱۵ سانتی‌متر بالاتر از سطح سواره‌رو است.
- این نوع جدول و پیاده‌رو باید توان مقاومت در برابر بار محوری ۱۰/۵ تن را داشته باشند تا وسایل‌نقلیه سنگین صدمه‌ای به پیاده‌رو یا هرگونه تسهیلات و تاسیسات زیرزمینی وارد نکنند.

۱- با این وجود، برخی کشورها ترجیح می‌دهند هیچ جدولی در تونل‌های دوطرفه وجود نداشته باشد، زیرا وجود جدول را برای افراد معلول خطرناک می‌دانند، همچنین برخورد اتومبیل با جدول در برخی موارد ممکن است باعث واژگون شدن اتومبیل شود. همچنین استدلال می‌کنند که وجود جدول امکان دور زدن را درون تونل دشوار می‌کند.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

- هنگام استفاده از این نوع جدول بلندی تاق در بالای پیاده‌رو باید بیش از آنچه قبلاً برای استفاده عابرین ذکر گردید، در نظر گرفته شود و باید مشابه بلندی تاق قسمت سواره‌رو باشد.
- هنگام استفاده از این نوع پیاده‌رو، نیمی از عرض آن را می‌توان به عنوان شانه راه در نظر گرفت و بدین ترتیب عرض فضای آزاد شانه راه نیز می‌تواند به همین میزان کاهش یابد.

۷-۵. توصیه‌ها

در جدول زیر خصوصیات توصیه شده برای تونل‌های دوطرفه دارای دو خط عبوری خلاصه شده است. ابعادی که به صورت حداقل مشخص شده‌اند باید برای هر میزان ترافیک یا طولی از تونل استفاده شوند. ابعادی که برای قسمت‌های دارای محدودیت تعیین شده‌اند را می‌توان برای تونل‌های با اهمیت خاص مورد استفاده قرار داد. اگرچه هرگاه که امکان‌پذیر باشد، آن قسمت باید با ابعاد توصیه شده مطابقت نماید. این توصیه‌ها بر اساس روش‌های متداول در کشورهای مختلف و همچنین نظریات کارشناسان گروه کاری شماره ٤ کمیته تونل‌های راه پیارک تهیه شده است. هر چند ممکن است برای مسائلی که در اینجا بررسی شده راهکارهای دیگری وجود داشته باشد و استانداردهای ملی روش‌های دیگری را برای برخی از وضعیت‌هایی که در این گزارش بیان شده است، استفاده کنند.

جدول ۱۲: خصوصیات توصیه‌شده برای تونل‌های دوطرفه دارای دو خط عبوری.

نوع مقطع	نوار میانه مرکزی (m)	خطوط عبوری (m)	فضای آزاد شانه راه (m)	پیاده‌روها (m)	پیاده‌رو با جدول لبه کوتاه (m)	عرض کلی بین دیواره‌ها (m)
حداقل بدون پیاده‌رو	-	۳/۵۰	۰/۷۵	-	-	۸/۵۰
حداقل به علاوه پیاده‌رو	-	۳/۵۰	۰/۷۵	۰/۶۰	-	۹/۷۰
حداقل همراه با پیاده‌رو دارای جدول لبه کوتاه	-	۳/۵۰	۰/۵۰	-	۰/۶۰	۹/۲۰
دارای محدودیت همراه با پیاده‌رو	-	۳/۵۰	۲/۰۰	۰/۶۰	-	۱۲/۲۰
دارای محدودیت همراه با پیاده‌رو دارای جدول لبه کوتاه	-	۳/۵۰	۱/۷۵	-	۰/۶۰	۱۱/۷۰
دارای محدودیت همراه با نوار میانه مرکزی	۲/۰۰	۳/۵۰	۰/۵۰	۰/۶۰	-	۱۱/۲۰
بدون محدودیت	-	۳/۵۰	۲/۵۰	۰/۶۰	-	۱۳/۲۰

عرض توصیه شده برای هر خط عبوری اضافه ۳/۵۰ متر است. عرض فضای آزاد شانه راه در جهت تونل با بیش از یک خط عبوری نباید کاهش یابد زیرا هرگونه وسیله‌نقلیه متوقف موجب مانورهای خطرآفرین حتی در تراکم پایین ترافیک می‌شود.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

برخی از کشورها عرض پیاده‌رو بیش از ۰/۶۰ متر را توصیه می‌کنند و در صورت تأمین فضا برای حرکت صندلی چرخدار عرض ۱/۰۰ الی ۱/۲۰ متر در نظر گرفته می‌شود.

۶-۷. عرض قسمت خارج از سواره‌رو و فواصل دید

- قسمت خارج از سواره‌رو عبارت است از فاصله آزاد شانه راه به علاوه عرض پیاده‌رو، این نوار علاوه بر تأمین وظایفی که برای آن طراحی شده باید فاصله دید کافی را در قوس‌های درون تونل فراهم آورد به نحوی که هنگام وجود مانع بتوان به طور ایمن توقف کرد.
- در اکثر کشورها، استانداردها موضوعات مربوط به فاصله دید و فاصله توقف نسبت به میزان سرعت، شعاع قوس و شیب مسیر را در بر می‌گیرند.
- جدول ۱۳ فاصله آزاد مورد نیاز اکثر کشورها تحت شرایط یکسان و سرعت‌های متفاوت تردد را نشان می‌دهد[۱].

جدول ۱۳: فاصله آزاد مورد نیاز در سرعت‌های متفاوت تردد.

سرعت نقطه‌ای (Km/h)	۴۰	۶۰	۸۰	۱۰۰	۱۲۰
حداقل شعاع (m)	۱۰۰	۱۶۰	۲۶۰	۴۷۰	۸۰۰
فاصله ایمن توقف (m)	۴۰	۸۰	۱۳۰	۱۸۰	۲۸۰
عرض جانبی مورد نیاز (m)	۲/۰	۴/۹	۸	۸/۵	۱۲/۲
عرض خارج از سواره‌رو مورد نیاز، با فرض اینکه راننده در فاصله ۱/۵ متری از لبه خط عبوری قرار گرفته است	۰/۵	۳/۴	۶/۵	۷	۱۰/۷

تذکر: در صورتی که باند سراشیبی باشد، فاصله ایمن توقف باید افزایش یابد.

- جدول زیر نیز میدان دید تأمین‌شده توسط قسمت خارج از سواره‌رو را با توجه به عرض‌های مختلف به صورت تابعی از شعاع قوس نشان می‌دهد.

جدول ۱۴: فاصله دید تأمین‌شده توسط قسمت خارج از سواره‌رو (بر حسب متر).

عرض قسمت خارج از سواره‌رو (m)	شعاع قوس (m)				
	۱۰۰	۱۶۰	۲۶۰	۴۷۰	۸۰۰
۱	۴۵	۵۷	۷۲	۹۷	۱۲۷
۲	۵۳	۶۷	۸۶	۱۱۵	۱۵۰
۳	۶۱	۷۶	۹۷	۱۳۰	۱۷۰
۴	۶۷	۸۵	۱۰۸	۱۴۴	۱۸۸

تذکر: فاصله‌ها با فرض اینکه راننده در موقعیت ۱/۵ متری از لبه خط عبوری قرار گرفته است ارایه شده‌اند.

۱- فاصله توقف ایمن با توجه به شیب صفر درصد، زمان دو ثانیه برای مشاهده و عکس‌العمل و ضریب اصطکاک متغیر از ۰/۳۵ (سرعت ۹۰Km/h) تا ۰/۳۹ (سرعت ۴۰Km/h) محاسبه شده است.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

- جدول زیر حداکثر سرعت ایمن را نشان می‌دهد یعنی سرعتی که فاصله دید کافی را برای امکان توقف وسیله‌نقلیه به صورت تابعی از شعاع قوس و فضای آزاد بین خطوط عبوری و دیواره کناری فراهم می‌آورد.

جدول ۱۵: حداکثر سرعت ایمن در تونل (بر حسب Km/h).

عرض قسمت خارج از سواره‌رو (m)	شعاع قوس (m)				
	۱۰۰	۱۶۰	۲۶۰	۴۷۰	۸۰۰
۱	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰
۲	۵۰	۵۵	۶۵	۸۰	۹۰
۳	۵۵	۶۰	۷۰	۸۵	۹۵
۴	۵۵	۶۵	۸۰	۹۰	۱۰۰

تذکر: سرعت‌ها مطابق با شرایط قبلی محاسبه شده‌اند.

تذکر: در صورتی که باند سراشیبی باشد، سرعت ایمن باید کاهش یابد.

- در صورتی که فاصله دید کافی نباشد، سرعت تردد در داخل تونل باید به نحوی تنظیم شود که ایمنی کافی حفظ گردد.

۷-۷. حفاظ‌های ایمنی جداکننده جهت حرکت ترافیک

خطر اصلی برای ترافیک در تونل‌های دوطرفه برخورد رو در رو (شاخ به شاخ) است زیرا این نوع سوانح شدیدترین عواقب و همچنین شدیدترین احتمال شروع آتش‌سوزی را دارند. سوانح مربوط به برخورد از عقب به اتومبیل جلویی که در یک جهت حرکت روی می‌دهد، معمولاً وخامت کمتری دارد. این نوع تصادفات معمولاً به علت عدم تمرکز لحظه‌ای راننده وسیله‌نقلیه‌ای که به اتومبیل جلویی برخورد می‌کند، به وجود می‌آید و گاهی اوقات به علت نبود دید کافی و فاصله کم نسبت به سرعت حرکت تشدید می‌شوند.

احتمال تصادف رو در رو را می‌توان از طریق نصب حفاظ‌های ایمنی که دو مسیر ترافیک را از یکدیگر تفکیک می‌کنند، به طور قابل توجهی کاهش داد. هنگام استفاده از این نوع حفاظ‌های ایمنی موارد زیر باید مدنظر قرار گیرند:

- حفاظ نباید مانع سبقت گرفتن از وسیله‌نقلیه‌ای که به علت نقص فنی متوقف شده، گردد. این امر بدین معنی است که فضای موجود برای هر مسیر ترافیک نباید کمتر از ۵/۵۰ متر، معادل عرض دو وسیله‌نقلیه سنگین به علاوه فضای آزاد عبور باشد.
- فضای اشغال شده توسط حفاظ در حدود ۰/۵۰ متر است. علاوه بر این فضای آزاد شانه راه در طرفین حفاظ نباید کمتر از ۰/۵۰ متر باشد. بنابراین حداقل عرض نوار میانه مرکزی دارای حفاظ ۱/۵۰ متر است (فضای آزاد شانه راه ۰/۵ × ۲ + ۰/۵ متر فضای اشغال حفاظ). بر اساس معیار فوق، حفاظ‌های ثابت یا غیرقابل عبور در صورتی که عرض تونل از ۱۲/۵۰ متر بیشتر نباشد، نباید نصب شوند.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

- حفاظ‌ها از دور زدن جلوگیری می‌کنند بنابراین در صورتی که این نوع مانور برای موارد اضطراری خاص در تونل، مطلوب در نظر گرفته شود این نوع حفاظ را نباید در تونل نصب نمود.
- هنگام برنامه‌ریزی برای هرگونه عملیات تعمیر و نگهداری در رابطه با تاسیسات داخل تونل، وجود حفاظ‌های میانی راه باید مدنظر قرار گیرد.
- این نوع حفاظ‌ها دسترسی وسایل‌نقلیه اورژانس را در تونل با مشکلات بیشتری مواجه می‌سازد.
- هنگامی که تصمیم بر نصب این‌گونه حفاظ‌ها گرفته شد باید توجه داشت که بهره‌برداری از تونل از طریق کاربرد حفاظ‌های صلب ایمنی (از نوع بتنی) عمدتاً به خاطر نیاز کمتر به عملیات تعمیر و نگهداری آنها نسبت به گاردریل‌های فلزی انعطاف‌پذیر، به طور محسوسی ساده‌تر خواهد بود.
- در تصادف سواری‌ها و حتی وسایل‌نقلیه سنگین، حفاظ‌های ایمنی صلب به علت ایجاد سد بهتری در برابر عبور وسایل‌نقلیه نسبت به گاردریل‌های انعطاف‌پذیر ایمن‌تر هستند. از آنجا که اکثر برخوردها با درجه انحراف کمی صورت می‌گیرد، مزیت هدایت مجددی که گاردلریل‌های انعطاف‌پذیر فراهم می‌آورند چندان حیاتی نیست.
- امکان دیگر، نصب حفاظ‌های ایمنی قابل حمل است که متشکل از قسمت‌هایی است که روی پایه‌هایی که در روسازی تونل نصب شده‌اند متصل می‌شوند بدین طریق واکنش به تصادفات بهبود می‌یابد.
- اگرچه نصب شب‌نما، نوارهای لرزاننده، چشم‌گربه‌ای یا خط‌کشی به منظور تفکیک دو جهت حرکت، بیشتر جنبه ذهنی و روانی دارد تا محدودیت فیزیکی، با این وجود ایمنی در تونل را به طور چشمگیری بهبود می‌بخشد. تنها اثر منفی این اقدامات خساراتی است که ممکن است به وسایل‌نقلیه وارد شود یا به علت سست شدن در اثر عبور ترافیک باعث تصادفاتی شوند که این موارد هنگام انتخاب آنها باید مدنظر قرار گیرد.
- این نوع حفاظ باید فقط به عنوان راه‌حل موقتی در عملیات تعمیر و نگهداری یا علل دیگری نصب شوند. در صورت استفاده دائمی، باید دو تونل یک طرفه مدنظر قرار گیرد.

۸-۷. فضای آزاد قائم

جدول (۱۶) فهرستی از فضای آزاد و رواداری‌ها را مطابق با آنچه در برخی از کشورها عمل می‌شود، ارایه نموده است.

- **حداقل ارتفاع آزاد (بلندی تاق)** بالای سواره‌رو باید برابر با حداکثر ارتفاع (طراحی) وسایل‌نقلیه سنگین (HGV) که مجاز به استفاده از راه هستند به علاوه فضای لازم برای امکان حرکت دینامیک وسیله‌نقلیه ناشی از ناهمواری‌های روسازی و تجهیزات تعلیق وسیله‌نقلیه باشد. این فضای اضافه عملکردی مشابه اختلاف بین عرض خط عبوری و عرض وسایل‌نقلیه دارد. در اتحادیه اروپا حداکثر ارتفاع وسایل‌نقلیه سنگین ۴/۰۰ متر است. اگر به این حداکثر ارتفاع ۰/۲۰ متر حاشیه به منظور پوشش حرکت‌های قائم وسایل‌نقلیه سنگین اضافه شود حداقل ارتفاع مورد نیاز ۴/۲۰ متر خواهد بود.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

جدول ۱۶: مقایسه ارتفاع آزاد (بلندی تاق) در کشورهای مختلف.

کشور و نام دستورالعمل یا سایر منابع	حداقل ارتفاع آزاد بالای سواره‌رو (m)	ارتفاع آزاد بالای سواره‌رو (m)	رواداری اضافی به عنوان حاشیه ایمنی برای تابلوها، چراغ‌های روشنایی، فن‌ها و غیره (m)	رواداری برای تابلوها، چراغ‌های روشنایی، فن‌ها و غیره (m)	رواداری برای روسازی و ساخت و سازهای بعدی
اتریش RVS 9.232		۴/۷۰	تعریف نشده	حداقل ۰/۲۰	مشخص نشده
دانمارک (تجربی)	۴/۰۰	۴/۶۰	۰/۲۰	تعریف نشده	تعریف نشده
فرانسه CETU		۴/۵۰ (راه در شبکه بین‌المللی) ۴/۷۵ (راه‌های با رتبه بالا)	۰/۱۰	تعریف نشده	۰/۰۵-۰/۱۰
				رواداری کلی ۰/۳۰-۰/۴۰	
آلمان RAS-Q1996/RABT94	۴/۲۰	۴/۵۰	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده
ژاپن، طرح راه		۴/۵۰	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده
هلند ROA	۴/۲۰	۴/۵۰	۰/۲۰	۰/۳۰	تعریف نشده
نروژ،راهنمای طراحی تونل‌های راه	تعریف نشده	۴/۶۰	۰/۱۰	تعریف نشده	۰/۱۰
اسپانیا دستورالعمل ۱-۳	تعریف نشده	۵/۰۰	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده
سوئد- تونل ۹۹		۴/۵۰	۰/۲۰	۰/۴۰	
سویس (تونل‌های مستطیلی شکل)	تعریف نشده	۴/۵۰	۰/۲۰	۰/۴۰	
سویس (تونل‌های تخم‌مرغی شکل)	تعریف نشده	۴/۵۰			
انگلستان TD27(DMRB6.1.2)	۵/۱۰	۵/۳۵	۰/۲۵	۰/۴۰	تعریف نشده
ایالات متحده آمریکا AASHTO	تعریف نشده	۴/۹۰ (آزادراه‌ها) ۴/۳۰ (سایر راه‌ها)	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده

- علاوه بر این حداقل مقدار فضای اضافه‌ای برای احساس راحتی رانندگان وسایل‌نقلیه سنگین لازم است. این حاشیه راحتی برابر با فاصله آزاد افقی تا موانع است. حداقل ارتفاع به علاوه فاصله آزاد حاشیه راحتی برابر است با بلندی تاق. اگر برای این حاشیه راحتی یا فاصله تا مانع مقدار ۰/۳۰ متر در نظر گرفته شود بلندی تاق حداقل ۴/۵۰ متر خواهد بود.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

- به منظور جلوگیری از وارد شدن خسارت به تجهیزات نصب شده در بالای سواره‌رو برای مثال از طریق برزنت‌های باز شده از بالای کامیون‌ها، معمولاً رواداری اضافه‌ای اعمال می‌گردد.
- رواداری برای بی‌دقتی‌ها در ساخت، انحراف در سقف و امکان اجرای روکش روسازی بعدی نیز باید در نظر گرفته شود.

با توجه به موارد فوق می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که:

- ارتفاع آزاد عبارت است از جمع ارتفاع طراحی وسایل‌نقلیه سنگین (HGV)[1]، فضای لازم در نظر گرفته شده برای حرکت دینامیک HGV و فاصله راحتی.
- این ارتفاع با در نظر گرفتن رواداری‌هایی برای جلوگیری از وارد آمدن خسارت به تجهیزات و لایه روسازی مجدد در آینده و امکان وجود بی‌دقتی‌های ساخت باید افزایش یابد.

1. Heavy Goods Vehicles: HGV

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

۸. اجزای خاص

در طراحی محل ورودی و خروجی تونل توجه خاصی باید انجام شود. این محل‌ها همانگونه که قبلاً ذکر گردید، معمولاً مراکز ایجاد تصادفات هستند و در هر حالتی، مناطق تغییر سریع شرایط روشنایی هستند.

به منظور اطمینان از اینکه شکل تونل، خط‌کشی راه و روشنایی ورودی‌ها و خروجی‌های تونل باعث انحراف توجه رانندگان نمی‌شود بلکه باعث تمرکز بیشتر و بهبود هدایت به سمت مرکز باند تردد می‌گردد، باید توجه خاصی صورت گیرد.

هرگونه سیستمی که به تغییر تدریجی میزان روشنایی کمک کند، همچون منطقه انتقال خارج از تونل (که از طریق تونل کاذب دارای دریچه‌هایی در سقف که به تدریج ابعاد آنها کاهش می‌یابد)، می‌توان به طور موثری سازگاری با میزان روشنایی محل ورودی تونل را بهبود بخشید. همچنین بهینه‌سازی خط‌کشی‌های راه و طراحی ورودی بدون وجود اجزایی که توجه راننده را منحرف سازد، به بهبود ایمنی کمک می‌کند. بر اساس مطالعات انجام‌شده در اتریش، ورودی‌های تونل قیفی شکل به رنگ روشن بیشترین احساس ایمنی و هدایت را به رانندگان می‌دهند، در حالی که ورودی‌های تیره یا احاطه‌شده با دیواره‌های کاملاً مرئی یا حفاظ‌هایی که جهت حرکت را قطع می‌کنند، ایمنی کمتری را برای رانندگان القاء می‌کنند [۱۰].

هرگونه تغییری در تعداد خطوط عبوری در درون تونل باید فقط در شرایط استثنایی صورت پذیرد زیرا می‌تواند باعث انحراف‌های اجباری و ناگهانی و تغییر در جریان حرکت ترافیک گردد. در صورتی که کاهش یک خط عبوری از عرض سواره‌رو ضرورت داشته باشد این اقدام نباید در درون تونل انجام شود. اگرچه مواردی وجود دارد که به علت افزایش شیب طولی و به منظور جلوگیری از به وجود آمدن منطقه محدودیت ظرفیت در درون تونل، باید به سواره‌رو یک خط عبوری اضافه گردد. در این حالت نیز توصیه می‌شود ابتدای خط عبوری اضافه قبل از ورودی تونل باشد و در صورتی که این عمل امکان‌پذیر نباشد مطالعات خاصی در زمینه فاصله دید، خط‌کشی راه و سیستم علائم در منطقه تعریض باید انجام پذیرد.

به طور کلی، رابط‌های ورودی و خروجی در تونل‌ها توصیه نمی‌شود زیرا این‌گونه راه‌ها معمولاً با نرخ بالای تصادفات همانند مناطق باز همراه هستند. بعضی از استانداردهای ملی این موارد را ممنوع کرده است [۳ و ۵]. هر چند ممکن است در برخی موارد خاص، خصوصاً در تونل‌های مناطق شهری ضروری باشند. به هنگام طراحی یکی از این نقاط مطالعات خاصی در زمینه طرح، میدان دید، روشنایی و خط‌کشی راه با لحاظ نمودن امکان امتداد خط عبوری تندرو در محل ورودی تونل یا خط عبوری کندرو در رمپ خروجی به محوطه‌ای خارج از تونل ضروری است.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

۹. عملیات تعمیر و نگهداری

به لحاظ پیچیدگی تأسیسات در تونل‌های مدرن امروزی، عملیات تعمیر و نگهداری دائمی مورد نیاز است. تمهیدات ایمنی که باید بکار گرفته شوند پس از سوانح تأسف‌باری که در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ روی داد سبب تشدید این اقدامات در بسیاری از استانداردهای ملی و بین‌المللی گردید و نتیجتاً موجب استفاده فزاینده از تجهیزات پیچیده شد. این نوع تجهیزات نیازمند نگهداری و تأیید مستمر کارکرد هستند تا بهره‌برداری کامل از آنها در تمامی مواقع تضمین گردد.

بنابراین بهتر است قبلاً مطالعاتی برای انتخاب تجهیزاتی که باید در تونل نصب شوند با تأکید خاص بر جنبه‌های فنی، عملکردی و اقتصادی و همچنین الزامات تعمیر و نگهداری این تاسیسات انجام پذیرد.

برنامه‌ریزی عملیات نگهداری که بر ترافیک وسایل‌نقلیه تأثیر می‌گذارد، بسیار اهمیت دارد زیرا این عملیات ممکن است موجب وقوع تصادفاتی برای کاربران تونل یا کارگرانی که با تجهیزات نگهداری مشغول کار هستند، شود. در صورت امکان تجهیزات باید به نحوی استفاده شوند که ضرورت انجام عملیاتی که بر جریان ترافیک تأثیر می‌گذارد، کاهش یافته یا کارگران مشغول کار با تجهیزات در معرض هیچ‌گونه خطری قرار نگیرند.بسیاری از این تمهیدات باید در طراحی زیرساخت یا هنگام نصب لحاظ گردند زیرا انجام اصلاحات در تونلی که از آن بهره‌برداری می‌شود بسیار پرهزینه و گاهی غیرممکن است.

- برای مثال، تجهیزات تونل باید به نحوی باشد که بسیاری از عملیات تعمیر و نگهداری تجهیزات را بتوان در کارگاه یا در مکان‌های دیگری که خللی در جریان ترافیک ایجاد نمی‌کنند، انجام داد. به علاوه، برای وسایل‌نقلیه کارگرانی که عملیات نگهداری را انجام می‌دهند، باید پارکینگ‌های ایمن وجود داشته باشد، به‌نحوی که مسافت طی‌شده در پیاده‌رو برای رسیدن به محل کار تا حد امکان کوتاه باشد.
- هرگونه عملیات نگهداری که به اجبار بر جریان ترافیک تأثیر می‌گذارد (چراغ‌های روشنایی، تجهیزات تهویه هوا که از تاج آویزان هستند و غیره) باید به نحوی انجام شود که تأثیر آن بر منطقه سواره‌رو تا حد امکان کم باشد.
- وجود منطقه‌ای در تونل که کارگران مشغول کار هستند، باید کاملاً مشخص گردد و نصب علائم و تابلوهای هشداردهنده همیشه باید از خارج تونل و در هر دو سمت حرکتی آغاز گردد.
- در منطقه انجام عملیات، سرعت ترافیک باید با عرض موثر موجود خطوط عبوری تنظیم گردد. عرض موجود نباید شامل فضای مورد نیاز برای سیستم علائم و تابلوهای راه در منطقه کاری و همچنین مناطق مورد نیاز برای حفاظت کارگران گردد. جدول (۱۷) حداکثر سرعت ترافیک توصیه‌شده را به عنوان تابعی از عرض موثر موجود خط عبوری بر اساس دستورالعمل فرانسه نشان می‌دهد.

جدول ۱۷: حداکثر سرعت ترافیک توصیه‌شده در تونل بر اساس عرض موثر خط عبوری (فرانسه).

عرض خط عبوری موجود (m)	حداکثر سرعت توصیه‌شده (km/h)
۳/۵۰	حد سرعت مجاز در تونل یا حداکثر ۸۰
۳/۰۰	۶۰
۲/۷۰	۱۰ الی ۲۰
کمتر از ۲/۷۰	جریان متناوب ترافیک

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

- برخی کشورها محدودیت کلی در محل انجام عملیات نگهداری داشته و حداکثر سرعت را ۳۰ الی ۵۰ کیلومتر در ساعت تعیین می‌کنند.
- در حالتی که عرض موجود خط عبوری کمتر از ۲/۷۰ متر باشد، عبور و مرور فقط به صورت تناوبی در دو جهت باید انجام شود به این صورت که تردد هر جهت در قسمتی از زمان صورت می‌گیرد که این امر با استفاده از راه‌بندها یا چراغ‌های راهنمایی امکان‌پذیر است. جریان تناوبی ترافیک باید در کل طول تونل انجام شود و خطوط عبوری باید به وسیله مخروط‌ها یا دیگر راه‌بندهای سبک در محل ورودی و در منطقه انجام عملیات از یکدیگر تفکیک شوند. جریان تناوبی ترافیک به طور چشمگیری ظرفیت تونل را کاهش می‌دهد و به علاوه هر چه تونل بلندتر باشد زمان انتظار در ورودی‌های تونل برای عبور وسایل‌نقلیه مسیر مقابل بیشتر خواهد بود. سیستم علامت‌دهی باید ۲۰۰ متر قبل از منطقه انجام عملیات با استفاده از ابزارها و تجهیزات علامت‌دهی کافی مطابق با طراحی خاص هر تونل انجام شود. همچنین تقویت و تشدید سطح روشنایی در این منطقه و نصب تابلوهای هشداردهنده مطلوب خواهد بود.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

١٠. مراجع

1. Cross section design for uni-directional road tunnels. C5-WG4 Committee on Road Tunnels. 2001.05.11.B.
2. Norwegian Design Guide for Road Tunnels.2002.
3. Design of Road Tunnels. (Draft 1998) and BD2 (DMRB 1.1) part III, and TD27/96 cross sections and headrooms. UNITED KINGDOM.
4. Standard 3.1 –I.C.Instructions for Roadways. Layout. Ministerio de Fomento. SPAIN.February 1996
5. Dossier pilote des tunnels. Geometrie.CETU-1990.
6. Pannes, accidents et incendies dans les tunnels routiers francais. S.Lingelser CETU-1998.
7. Road Safety in Tunnels. PIARC C5-WG4 Committee on Road Tunnels 1995. 05.04.B.
8. Studies on Norwegian Road Tunnels. Norwegian Public Roads Administration.1997.
9. Accidents I Breakdowns als Tunnels de Vallvidrera. TABASA 1996 a 2000.Spain.
10. Psychological aspects of tunnel safety. Osterreichische Autobahnen und Schnellstrassen. AG.2002.
11. Driving behaviour and subjective experience. A driving simulator study. TNO Human Factors. The Netherlands.2002.
12. Tyne & Wear Traffic Accident Data Unit. Report 2000.UK.
13. Fire and Smoke control in road tunnels. C5 Committee PIARC-1999.05.05.B.
14. HCM-1995. Highway Capacity Manual. Special Report 209. TRB.1995
15. HCM-2000. Highway Capacity Manual. TRB.2000.
16. World Road Congresses; Technical Committee on Road Tunnels PIARC; Vienne 1979, Sydney 1983; Brussels 1987, Montreal 1995.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

فهرست انتشارات معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری

عنوان	تاریخ انتشار		قیمت(ریال)
الف) گزارش‌های تخصصی			
۱. ممیزی ایمنی راه	تابستان	۸۲	۱۰/۰۰۰
۲. پیشنهاداتی برای آزمایش ژئوتکستایل‌ها	پاییز	۸۲	۱۰/۰۰۰
۳. راهنماییهای سودمند برای طراحی و ساخت خاکریزهای راه	پاییز	۸۲	۱۰/۰۰۰
۴. روشها و شرایط لازم برای عملیات خاکی به منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی پروژه‌های راه	پاییز	۸۲	۱۰/۰۰۰
۵. آلودگی ناشی از دی اکسید نیتروژن در تونل‌های راه	پاییز	۸۲	۱۰/۰۰۰
۶. ایمنی در تونلها	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۷. مدیریت ترافیک و کیفیت سرویس	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۸. بهینه‌سازی شبکه‌های موجود بین شهری	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۹. بیست و دومین همایش جهانی راه پیارک	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۱۰.یارانه‌ها هزینه‌ها و منافع اجتماعی حمل‌ونقل عمومی	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۱۱.برنامه‌ریزی و بودجه در شبکه راه‌ها	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۱۲.روشهای مشارکت همگانی در توسعه پروژه راه	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۱۳.قیمت‌های بین‌المللی سوخت (بنزین و گازوییل)	بهار	۸۳	۱۱/۰۰۰
۱۴.سیاست حمل‌ونقل اروپایی تا سال ۲۰۱۰	بهار	۸۳	۱۱/۰۰۰
۱۵.مبانی تحلیل اقتصادی	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۱۶.گزارش سالانه ژوئیه ۲۰۰۳ GRSP	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۱۷.راهنمای ممیزی ایمنی راه	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۱۸.راهنمای فیلم‌های IRF	تابستان	۸۳	۱۰/۰۰۰
۱۹.انتخاب مصالح و طراحی روسازی‌های انعطاف‌پذیر برای آمدوشد و شرایط آب‌وهوایی سخت	تابستان	۸۳	۱۶/۰۰۰
۲۰.راه‌های دسترسی به مناطق برون‌شهری	تابستان	۸۳	۱۰/۰۰۰
۲۱.روشهای ساده نگهداری راه	تابستان	۸۳	۱۱/۰۰۰
۲۲.تجهیزات اتوماتیک بررسی ترک خوردگی روسازی راه	تابستان	۸۳	۱۰/۰۰۰
۲۳.ارتقاء و بهبود عملکرد داخلی راه‌ها	پاییز	۸۳	۱۰/۰۰۰
۲۴.تأمین مالی و ارزیابی اقتصادی	پاییز	۸۳	۱۰/۰۰۰
۲۵.بهبود تأمین منابع مالی و مدیریت نگهداری راه	پاییز	۸۳	۱۰/۰۰۰
۲۶.بازیافت روسازی‌های انعطاف‌پذیر موجود	پاییز	۸۳	۱۰/۰۰۰
۲۷.حمل‌ونقل هوشمند	پاییز	۸۳	۱۰/۰۰۰
۲۸.محیط زیست و پروژه‌های راهسازی	پاییز	۸۳	۱۰/۰۰۰
۲۹.تقسیم مسؤولیت برای داشتن جاده‌های ایمن‌تر	پاییز	۸۳	۱۰/۰۰۰
۳۰.فرآیند تصمیم‌گیری در اعمال سیاست‌های پایدار حمل‌ونقل جاده‌ای	زمستان	۸۳	۱۰/۰۰۰

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

۳۱. کیفیت خدمات جاده‌ای	زمستان	۸۳	۱۰/۰۰۰
۳۲.روشهایی برای ارزیابی خطر وقوع زمین لغزه‌ها	زمستان	۸۳	۱۰/۰۰۰
۳۳.روشهای ارزیابی اقتصادی برای پروژه‌های راه در کشورهای عضو پیارک	زمستان	۸۳	۱۰/۰۰۰
۳۴.راهنمای ارزیابی سیستم‌های نگهدارنده خاک	زمستان	۸۳	۱۰/۰۰۰
۳۵.آشنایی با مفاهیم مدیریت روسازی	بهار	۸۴	۱۰/۰۰۰
۳۶.راهنمای انعقاد قرارداد، نحوه انتخاب و مدیریت مشاوران در فعالیت‌های مهندسی پیش از ساخت	بهار	۸۴	۱۰/۰۰۰
۳۷.تضمین کیفیت در عملیات خاکی	بهار	۸۴	۱۰/۰۰۰
۳۸.رویه‌های بتنی مسلح پیوسته	بهار	۸۴	۱۰/۰۰۰
۳۹.طبقه‌بندی تونل‌ها، دستورالعمل‌ها، تجربیات موجود و پیشنهادات	بهار	۸۴	۱۰/۰۰۰
۴۰.نقش مدل‌های اقتصادی و اجتماعی- اقتصادی در مدیریت راه	بهار	۸۴	۱۰/۰۰۰
۴۱.پیشرفت مدیریت و تأمین بودجه نگهداری راه‌ها در افریقا	تابستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۴۲.حمل‌ونقل ترکیبی، اقداماتی جهت تشویق به استفاده از حمل‌ونقل عمومی	تابستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۴۳.برنامه ملی ایمنی ترافیک کشور ترکیه	پاییز	۸۴	۱۱/۰۰۰
۴۴.بررسی توسعه حمل‌ونقل در منطقه اسکاپ در سال ۲۰۰۳، آسیا و اقیانوسیه	پاییز	۸۴	۱۷/۰۰۰
۴۵.تبادل فناوری و توسعه	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۴۶.راه‌های دارای رویه بتنی	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۴۷.تجدید ساختار بخش راه	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۴۸.حمل‌ونقل کالا	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۴۹.گزارش سالانه ژوئن ۲۰۰۴ GRSP	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۵۰.بکارگیری مصالح حاصلا از بازیافت رویه‌های آسفالتی و بتن خرد شده در خاکریز	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۵۱.تراکم ترافیک در آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۵۲.کاربرد بتن غلتکی در راهسازی	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۵۳.راهنمای تأمین روشنایی راه‌ها	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۵۴.راهسازی در نواحی بیابانی	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۵۵. مدیریت عملکرد پل‌ها	بهار	۸۵	۱۰/۰۰۰
۵۶. سیستم مدیریت ایمنی در صنعت حمل‌ونقل ریلی	بهار	۸۵	۱۲/۰۰۰
۵۷. راهنمای ممیزی سیستم مدیریت ایمنی هوایی	بهار	۸۵	۱۰/۰۰۰
۵۸. توسعه ابزارهای سنجش عملکرد	بهار	۸۵	۱۰/۰۰۰
۵۹. نگهداری نواحی کنار راه و زهکشی (جلد اول)	تابستان	۸۵	۳۰/۰۰۰
۶۰. تعمیر و نگهداری راه‌های شوسه (جلد دوم)	تابستان	۸۵	۳۰/۰۰۰
۶۱. تعمیر و نگهداری راه‌های دارای رویه آسفالتی (جلد سوم)	تابستان	۸۵	۲۵/۰۰۰
۶۲. نگهداری سازه‌ها و ادوات کنترل ترافیک (جلد چهارم)	تابستان	۸۵	۱۵/۰۰۰
۶۳. فناوری و اقدامات ابتکاری کنترل ترافیک در اروپا	تابستان	۸۵	۱۰/۰۰۰
۶۴. معرفی سیستم مدیریت ریسک	تابستان	۸۵	۱۰/۰۰۰
۶۵. تعمیر و مقاوم‌سازی زیرسازه پل‌ها	تابستان	۸۵	۱۲/۰۰۰
۶۶. الگوی مناسب برای بهره‌برداری و نگهداری تونل‌های جاده‌ای	پاییز	۸۵	۲۰/۰۰۰

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

۶۷. مدیریت ایمنی راه	پاییز	۸۵	۲۶/۰۰۰
۶۸. مطالعه‌ای بر مدیریت ریسک در راه‌ها	پاییز	۸۵	۱۰/۰۰۰
۶۹. گزارش جهانی در خصوص پیشگیری از صدمات ناشی از تصادفات جاده‌ای	پاییز	۸۵	۱۰/۰۰۰
۷۰. ارزیابی و تأمین بودجه نگهداری راه در کشورهای عضو پیارک	پاییز	۸۵	۱۰/۰۰۰
۷۱. حفاظت کاتدیک عرشه پل‌ها	پاییز	۸۵	۱۰/۰۰۰
۷۲. روش‌های بهبود ایمنی در راه‌های بین‌شهری	پاییز	۸۵	۱۰/۰۰۰
۷۳. اندودهای آب‌بندی آسفالت	زمستان	۸۵	۱۰/۰۰۰
۷۴. مخلوط‌های آسفالتی با مقاومت بالا در برابر شیارشدگی	زمستان	۸۵	۱۰/۰۰۰
۷۵. مروری بر مدیریت دارایی در راه‌ها	زمستان	۸۵	۱۰/۰۰۰
۷۶. مدیریت راه	زمستان	۸۵	۱۰/۰۰۰
۷۷. بزرگراه آسیایی و توسعه	زمستان	۸۵	۱۰/۰۰۰
۷۸. راه‌های با روسازی انعطاف‌پذیر	بهار	۸۶	۱۰/۰۰۰
۷۹. سیستم‌های مدیریت سوانح رانندگی مورد استفاده در تونل‌ها	بهار	۸۶	۱۰/۰۰۰
۸۰. نقش و جایگاه اداره راه	بهار	۸۶	۱۰/۰۰۰
۸۱. آسفالت متخلخل	بهار	۸۶	۱۰/۰۰۰
۸۲. مطالعه تطبیقی فعالیت‌های مدیریت پل	تابستان	۸۶	۱۲/۰۰۰
۸۳. روکش سطحی راه	تابستان	۸۶	۱۰/۰۰۰
۸۴. بودجه و عملیات نگهداری راه (یک دیدگاه آسیایی)	تابستان	۸۶	۱۴/۰۰۰
۸۵. رویکرد چندوجهی برای سیستم حمل‌ونقل	تابستان	۸۶	۱۰/۰۰۰
۸۶. راهنمای انتخاب و انجام آزمایش‌های فرآورده‌های خط‌کشی راه	پاییز	۸۶	۱۰/۰۰۰
۸۷. محدودیتهای وزن و ابعاد وسایل‌نقلیه- تجارب و روندها	پاییز	۸۶	۱۰/۰۰۰
۸۸. آزمون بین‌المللی هماهنگ‌سازی اندازه‌گیری پروفیل طولی و عرضی راه و گزارش آنها	پاییز	۸۶	۱۲/۰۰۰
۸۹. راهنمای سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند- ویراست دوم	زمستان	۸۶	۶۰/۰۰۰
۹۰. دستیابی به کیفیت در عملیات راهسازی	بهار	۸۷	۱۰/۰۰۰
۹۱. نکاتی در خصوص راه‌های برون‌شهری	بهار	۸۷	۱۰/۰۰۰
۹۲. روند جاری در زمینه ایمنی تونل	بهار	۸۸	۱۹/۰۰۰
۹۳. نگهداری تابلوها، خط‌کشی‌ها و سایر تجهیزات ایمنی راه	بهار	۸۸	۱۰/۰۰۰
۹۴. آشنایی با مفاهیم اولیه مدیریت و مهندسی ایمنی راه	بهار	۸۸	۲۰/۰۰۰
۹۵. سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS) در کشورهای در حال توسعه	بهار	۸۸	۴۸/۰۰۰
۹۶. مدیریت و ارزیابی پل‌های پس‌کشیده بتنی	بهار	۸۸	۲۳/۰۰۰
۹۷. انواع سازه‌های منتخب برای پل‌های جدید	تابستان	۸۸	۳۲/۰۰۰
۹۸. راهنمای بازرسی و مرمت آبگذر	تابستان	۸۸	۲۶/۰۰۰
۹۹. چارچوب مفهومی شاخص‌های عملکردی برای بخش راه	تابستان	۸۸	۲۰/۰۰۰
۱۰۰. طرح راهبردی آشتو برای ایمنی راه	تابستان	۸۸	۲۲/۰۰۰
۱۰۱. توصیه‌هایی برای افزایش ایمنی پیشگیرانه در تونل‌ها	تابستان	۸۸	۲۸/۰۰۰
۱۰۲. روسازی‌های نیمه صلب	تابستان	۸۸	۴۰/۰۰۰
۱۰۳. طراحی مقطع عرضی تونل‌های دوطرفه	پاییز	۸۹	۱۵/۰۰۰

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

ب) کتب

۱. راهنمای ایمنی راه (پیارک)	پاییز	۸۴	۱۲۵/۰۰۰
۲. مدیریت پل	پاییز	۸۵	۷۵/۰۰۰
۳. روش‌های طراحی و اجرای آسفالت‌های حفاظتی	زمستان	۸۶	۲۰/۰۰۰
۴. تحلیل تصادفات و شناسایی و اصلاح نقاط پرتصادف	زمستان	۸۶	۱۹/۰۰۰
۵. مدیریت ایمنی در صنعت کشتیرانی	تابستان	۸۷	۲۲/۰۰۰
۶. مجموعه قوانین و مقررات حفظ حریم راه‌ها	تابستان	۸۷	ـــــ
۷. مهندسی ارزش و چالش‌های عظیم بشر در قرن بیست‌ویکم	پاییز	۸۷	۴۸/۰۰۰
۸. مدیریت ایمنی در بنادر	تابستان	۸۷	ـــــ
۹. فرهنگ اصطلاحات مهندسی راه، ترافیک و حمل‌ونقل	تابستان	۸۸	۹۰/۰۰۰
۱۰.راهبرد ملی ایمنی راه‌های ایران	بهار	۸۹	۲۵/۰۰۰

ج) لوح فشرده

۱. نشریات Austroads (شامل ۱۸۶ عنوان از نشریات وزارت راه استرالیا و نیوزلند در موضوعات مختلف بصورت فایل pdf)	پاییز	۸۳	۳۴/۵۰۰
۲. فیلم‌های آموزشی راه IRF (شامل ۱۰۷ فیلم در ۴۲ لوح فشرده)	زمستان	۸۳	۳۴/۵۰۰ (قیمت‌واحد)
۳. نشریات SWOV (شامل ۱۳۸ عنوان از نشریات DRI, VTI, NCHRP, SWOV در موضوعات مختلف بصورت فایل pdf)	بهار	۸۴	۳۴/۵۰۰

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

فهرست انتشارات پژوهشکده حمل‌ونقل

عنوان	تاریخ انتشار		قیمت (ریال)
الف) پروژه‌های تحقیقاتی			
۱. کاربرد آب و مصالح محلی چابهار برای ساخت بلوک‌های ساختمانی	بهار	۸۳	۱۱/۰۰۰
۲. شیوه‌های طراحی و کاربرد حفاظ‌ها و ضربه‌گیرهای ایمنی در راهها	بهار	۸۳	۱۳/۰۰۰
۳. ضوابط طراحی و اجرای روسازی راه‌آهن بدون بالاست	بهار	۸۳	۱۴/۰۰۰
۴. بررسی و مقایسه فنی و اقتصادی رویه‌های بتنی و آسفالتی	بهار	۸۳	۲۷/۰۰۰
۵. بررسی مسائل کمی و کیفی مصرف قیر در راههای کشور	زمستان	۸۳	۱۶/۰۰۰
۶. ضوابط طراحی و اجرای آسفالت ماستیک	بهار	۸۴	۱۱/۰۰۰
۷. راهنمای طراحی و ایمن‌سازی پایه علائم راه	بهار	۸۴	۱۱/۰۰۰
۸. بررسی عوامل مؤثر در ارزیابی و توجیه فنی و اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی پروژه‌های راه و راه‌آهن	تابستان	۸۴	۲۴/۰۰۰
۹. راهنمای طراحی واجرای سیستم زهکشی آب‌های سطحی و زیرسطحی راه، راه‌آهن وفرودگاه (و نقشه‌های اجرایی)	تابستان	۸۴	۲۳/۰۰۰
۱۰. روش‌های جدید طرح مخلوط‌های آسفالتی بر اساس عملکرد و پیشنهاد روش مناسب برای کشور	تابستان	۸۴	۱۳/۰۰۰
۱۱.راهنمای تثبیت لایه‌های خاکریز و روسازی راهها	تابستان	۸۴	۱۸/۰۰۰
۱۲.تسلیح خاکریز و بستر راهها با استفاده از ژئوگرید	تابستان	۸۴	۱۴/۰۰۰
۱۳.سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل ریلی	پاییز	۸۴	۲۰/۰۰۰
۱۴.ظرفیت باربری محوری شمع‌ها	زمستان	۸۴	۱۷/۰۰۰
۱۵.تثبیت شیب شیروانی خاکریزها و خاکبرداری‌ها	بهار	۸۵	۱۴/۰۰۰
۱۶.روش‌های نوین تعیین مشخصات و ارزیابی روسازی راه	بهار	۸۵	۱۰/۰۰۰
۱۷.طرح ضوابط مخلوط‌های آسفالتی برای مناطق گرمسیر، سردسیر و شیب‌های تند جاده‌ها	بهار	۸۵	۱۰/۰۰۰
۱۸.روش‌های بازیافت سرد و گرم آسفالت و امکان‌سنجی اقتصادی آن در ایران	بهار	۸۵	۱۵/۰۰۰
۱۹.ارائه روش‌های ساماندهی فعالیت عوارضی در آزادراههای کشور	بهار	۸۵	۲۲/۰۰۰
۲۰.کاربرد پلیمر در بهبود خواص قیرها و مخلوط‌های آسفالتی	بهار	۸۵	۱۷/۰۰۰
۲۱.آشنایی با جداسازه‌های لرزه‌ای و تأثیر آنها بر عملکرد پلها	زمستان	۸۵	۲۵/۰۰۰
۲۲.آب و هوا و ایمنی جاده‌ها	زمستان	۸۵	۲۵/۰۰۰
۲۳.روش‌های ثبت تصادفات و شناسایی نقاط پرتصادف	بهار	۸۶	۳۵/۰۰۰
۲۴.ساعت کار مجاز رانندگان حمل‌ونقل باری	بهار	۸۶	۲۰/۰۰۰
۲۵.کاربرد CBR غیراشباع در طراحی روسازی	بهار	۸۶	۲۰/۰۰۰
۲۶.سیستم‌های کنترل هوشمند تونل	تابستان	۸۶	۴۰/۰۰۰
۲۷.راهنمای ایمن‌سازی گلوگاه‌های راه	تابستان	۸۶	۲۰/۰۰۰
۲۸.راهنمای ایمن‌سازی مدارس حاشیه راهها	تابستان	۸۶	۴۵/۰۰۰
۲۹.معیارهای طراحی پل‌های خمیده فلزی	تابستان	۸۶	۱۵/۰۰۰

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

۳۰.اثر روش تراکم بر میزان قیر بهینه در طرح اختلاط بتن آسفالتی	پاییز	۸۶	۲۶/۰۰۰
۳۱.کاربرد ژئوسنتتیک‌ها در روکش‌های آسفالتی جهت کنترل ترک‌های انعکاسی	پاییز	۸۶	۴۰/۰۰۰
۳۲.آزمایش‌ها و تحلیل‌های دینامیکی در طراحی و اجرای شمع‌ها	پاییز	۸۶	۱۵/۰۰۰
۳۳.معیارهای فنی طرح مخلوط‌های آسفالتی برای مناطق گرمسیر، سردسیر و شیب‌های تند جاده‌ها	پاییز	۸۶	۲۰/۰۰۰
۳۴.راهنمای بازرسی ایمنی راه (جلد اول)	زمستان	۸۶	۳۵/۰۰۰
۳۵.راهنمای بازرسی ایمنی راه (جلد دوم)	زمستان	۸۶	۵۰/۰۰۰
۳۶.راهنمای بازرسی ایمنی راه (جلد سوم)	زمستان	۸۶	۲۷/۰۰۰
۳۷.راهنمای طراحی و اجرای خط‌کشی راهها	زمستان	۸۶	۳۰/۰۰۰
۳۸.بررسی نرم‌افزار تحلیل و طراحی روسازی راه و ارائه گزینه مناسب برای کشور	بهار	۸۷	۳۵/۰۰۰
۳۹.بررسی آزمایشگاهی اثر نوع دانه‌بندی و فضای خالی در بتن آسفالتی و شیار جای چرخ و قیرزدگی در راه‌های کشور	بهار	۸۷	۲۷/۰۰۰
۴۰.جمع‌آوری و طبقه‌بندی آسیب‌های وارده به پل‌ها در زلزله‌های گذشته	تابستان	۸۷	۲۷/۰۰۰
۴۱.تعیین هدف بهسازی لرزه‌ای پل‌های راه‌آهن	تابستان	۸۷	۱۰/۰۰۰
۴۲.راهنمای طراحی دیوارهای حائل طره‌ای	تابستان	۸۷	۳۵/۰۰۰
۴۳.راهنمای بهسازی لرزه‌ای تکیه‌گاه پل‌ها	تابستان	۸۷	۱۰/۰۰۰
۴۴.راهنمای فعالیت مراکز امدادرسانی فنی خودرو در راههای کشور	پاییز	۸۷	۳۵/۰۰۰
۴۵.راهنمای کاربری اراضی اطراف حریم راهها و راه‌آهن	پاییز	۸۷	۱۳/۰۰۰
۴۶.مبانی روشهای طراحی و احداث تونل‌های راه و راه‌آهن در مناطق لرزه‌خیز	پاییز	۸۷	۲۰/۰۰۰
۴۷.راهنمای فعالیت مراکز امدادرسانی فنی خودرو در راه‌های کشور	پاییز	۸۷	۳۵/۰۰۰
۴۸.راهنمای بکارگیری سامانه‌های کنترل سرعت هوشمند در جاده‌ها	پاییز	۸۷	۲۵/۰۰۰
۴۹.چارچوب سیستم مدیریت روسازی راهها در ایران	زمستان	۸۷	۴۱/۰۰۰
۵۰.مقررات حمل‌ونقل هوایی	زمستان	۸۷	۳۹۰/۰۰۰
۵۱.الگوی بهینه قیمت‌گذاری و تخصیص یارانه سوخت در بخش حمل‌ونقل زمینی	زمستان	۸۷	۵۵/۰۰۰
۵۲.راهکارهای کاهش هزینه احداث زیرساختهای حمل‌ونقل جاده‌ای	زمستان	۸۷	۴۰/۰۰۰
۵۳.مبانی کاربرد تزریق در سنگ‌های درزه‌دار در تونل‌ها	بهار	۸۸	۶۰/۰۰۰
۵۴.راهنمای بکارگیری سامانهٔ نظارت تصویری در جاده‌ها	بهار	۸۸	۷۰/۰۰۰
۵۵.ارزیابی اقتصادی انتشار اوراق مشارکت جهت تامین مالی طرح‌های عمرانی وزارت راه و ترابری	بهار	۸۸	۳۵/۰۰۰
۵۶.مبانی فنی و اقتصادی روش‌های حفاری تونل‌های راه و راه‌آهن	بهار	۸۸	۲۷/۰۰۰
۵۷.طراحی سیستم‌های روشنایی تونل‌های راه	تابستان	۸۸	۱۲/۰۰۰
۵۸.طراحی سیستم‌های ایمنی تونل‌های راه	تابستان	۸۸	۱۰/۰۰۰
۵۹.طراحی سیستم‌های کنترل و برق تونل‌های جاده‌ای	تابستان	۸۸	۲۰/۰۰۰
۶۰.طراحی سیستم‌های تهویه تونل‌های راه	تابستان	۸۸	۶۰/۰۰۰
۶۱.مقررات حمل‌ونقل جاده‌ای	تابستان	۸۸	۵۳۰/۰۰۰
۶۲.هزینه تصادفات (تئوری و کاربرد)	تابستان	۸۸	۷۵/۰۰۰
۶۳.مقررات حمل‌ونقل ریلی	تابستان	۸۸	۲۷۰/۰۰۰
۶۴.مبانی نظری تحلیل پل‌های سنگی	پاییز	۸۸	۱۵/۰۰۰
۶۵.بررسی علل بروز خرابی زودرس روسازی‌های آسفالتی	پاییز	۸۸	۳۵/۰۰۰
۶۶.مقررات حمل‌ونقل دریایی	پاییز	۸۸	۴۱۰/۰۰۰
۶۷.راهنمای طراحی لرزه‌های اسکله	زمستان	۸۸	۸۰/۰۰۰

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

۶۸.بررسی روش‌های آزمایشگاهی برای کنترل ترک‌های ناشی از بارگذاری و ارائه مدل پیش‌بینی ترک‌های خستگی آسفالت روسازی راههای کشور	زمستان	۸۸	۴۲/۰۰۰
۶۹.راهنمای جزئیات طرح خط‌کشی در راههای برون شهری	زمستان	۸۸	۲۸/۰۰۰
۷۰.پل‌های تاریخی ایران	زمستان	۸۸	۶۴/۰۰۰
۷۱.هزینه‌های خارجی حمل‌ونقل زمینی (شناسایی و بررسی)	بهار	۸۹	۸۷/۴۰۰

ج) کتب

1.فرهنگ جامع دریایی	تابستان	۸۳	۱۵/۰۰۰
2.برنامه‌ریزی و طراحی فرودگاه (دو جلد)	تابستان	۸۳	۳۹/۰۰۰
3.فرهنگ و اصطلاحات فنی و مهندسی راه	تابستان	۸۳	۷/۰۰۰
4.فرهنگ مصور دریایی (همراه با نسخه الکترونیک)	پاییز	۸۴	۴۰/۰۰۰
5.اضمحلال راه (در کشورهای در حال توسعه)	پاییز	۸۶	۱۰/۰۰۰
6.مهندسی زلزله مبانی و اصول بارگذاری لرزه‌ای (جلد اول)	زمستان	۸۶	۴۵۰/۰۰۰
7.معرفی آثار منتشر شده معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری و پژوهشکده حمل‌ونقل وزارت راه و ترابری	زمستان	۸۶	ـــــ
8.طرح هندسی راه‌ها و خیابان‌ها (جلد اول)	بهار	۸۷	۵۰/۰۰۰
9.طرح هندسی راه‌ها و خیابان‌ها (جلددوم)	بهار	۸۸	۳۰/۰۰۰
10. مدیریت نوین روسازی	بهار	۸۸	۷۰/۰۰۰
11.پیام‌های استاندارد در حوادث غیرمترقبه	تابستان	۸۸	۴۰/۰۰۰
12.طرح هندسی راه‌ها و خیابان‌ها (جلدسوم)	تابستان	۸۸	۴۰/۰۰۰

ج) لوح فشرده

۱. آیین‌نامه ایمنی راهها (مجموعه هفت جلدی منتشر شده از سوی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی)	پاییز	۸۴	۴۷/۵۰۰
۲. آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران	پاییز	۸۴	۵۰/۰۰۰
۳. معرفی آثار منتشر شده (معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری و پژوهشکده حمل‌ونقل وزارت راه و ترابری)	تابستان	۸۷	ـــــ
۴. تعیین هدف بهسازی لرزه‌ای پل‌های راه‌آهن	زمستان	۸۷	۵۰/۰۰۰
۵. راهنمای بهسازی لرزه‌ای تکیه‌گاه پل‌ها	زمستان	۸۷	۵۰/۰۰۰

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

فهرست ابلاغیه‌های شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل

عنوان	تهیه‌کننده	بررسی و تایید	تاریخ انتشار	قیمت
۱. آیین‌نامه نحوه بارگیری، حمل و مهار ایمن بار وسایل‌نقلیه باربری جاده‌ای	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری	زمستان ۸۴	۵۰/۰۰۰
۲. راهنمای تهیه مشخصات فنی، جزئیات و نقشه‌ها در پل و سازه‌های راه	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری	زمستان ۸۴	۲۶/۰۰۰
۳. دستورالعمل آزمایشهای استاتیکی شمعها	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- کمیته ابنیه شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	زمستان ۸۵	۲۰/۰۰۰
۴. دستورالعمل مطالعات و طراحی سیستمهای ایمنی، روشنایی، تهویه، کنترل و برق تونلهای جاده‌ای	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- کمیته ابنیه شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	زمستان ۸۵	۲۰/۰۰۰
۵. دستورالعمل تحویل موقت و قطعی راه‌ها	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- کمیته نظام‌های فنی و اجرایی شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	زمستان ۸۵	۲۰/۰۰۰
۶. راهنمای طراحی و اجرای علائم برجسته راه	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- کمیته ایمنی شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	تابستان ۸۶	۳۲/۰۰۰
۷. دستورالعمل بازرسی ایمنی راه	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- کمیته ایمنی شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	تابستان ۸۶	۲۲/۰۰۰
۸. راهنمای درزگیری رویه‌های آسفالتی	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- کمیته زیرسازی و روسازی شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	تابستان ۸۶	۱۱/۰۰۰
۹. راهنمای لکه‌گیری رویه‌های آسفالتی	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- کمیته زیرسازی و روسازی شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	تابستان ۸۶	۱۶/۰۰۰
۱۰. دستورالعمل ارزیابی زیست‌محیطی طرح‌های حمل‌ونقل جاده‌ای	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- کمیته اقتصاد شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	زمستان ۸۶	۱۲/۰۰۰
۱۱. دستورالعمل ارزیابی زیست‌محیطی طرح‌های حمل‌ونقل ریلی	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- کمیته اقتصاد شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	زمستان ۸۶	۱۲/۰۰۰
۱۲. راهنمای بکارگیری سامانه‌های هوشمند کنترل سرعت در جاده‌ها	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	بهار ۸۷	۲۷/۰۰۰
۱۳.راهنمای بکارگیری سامانه‌های نظارت تصویری در جاده‌ها هماهنگ با سایر اجزای ITS	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	بهار ۸۷	۱۹/۰۰۰
۱۴.راهنمای فهرست مطالب مطالعات پل‌ها	دفتر مطالعات فناوری و ایمنی	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	تابستان ۸۸	۲۲/۰۰۰

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

عنوان	تهیه‌کننده	بررسی و تایید	تاریخ انتشار	قیمت
۱۵.دستورالعمل بازدید ایمنی راه	دفتر مطالعات فناوری و ایمنی	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- کمیته ایمنی شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	تابستان ۸۹	۲۲/۰۰۰
۱۶.اولویت‌های توسعه فنی در امور زیرساختهای جاده‌ای	دفتر مطالعات فناوری و ایمنی	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	تابستان ۸۹	۱۰/۰۰۰

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Ministry of Roads and Transportation
Deputy of Education Research and Technology

Cross Section Design for Bi-Directional Road Tunnels

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

WORLD ROAD ASSOCIATION – PIARC

ROAD AND TRANSPORTATION MINISTRY
DEPUTY OF
EDUCATION, RESEARCH AND TECHNOLOGY
Web: www.rahiran.ir

Cross Section Design for Bi-Directional Road Tunnels

THE BUREAU OF TECHNOLOGY & SAFETY STUDIES

PIARC SECRETARIAT IN IRAN

89/RRRC/289

ISBN:978-600-5615-10-4

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com