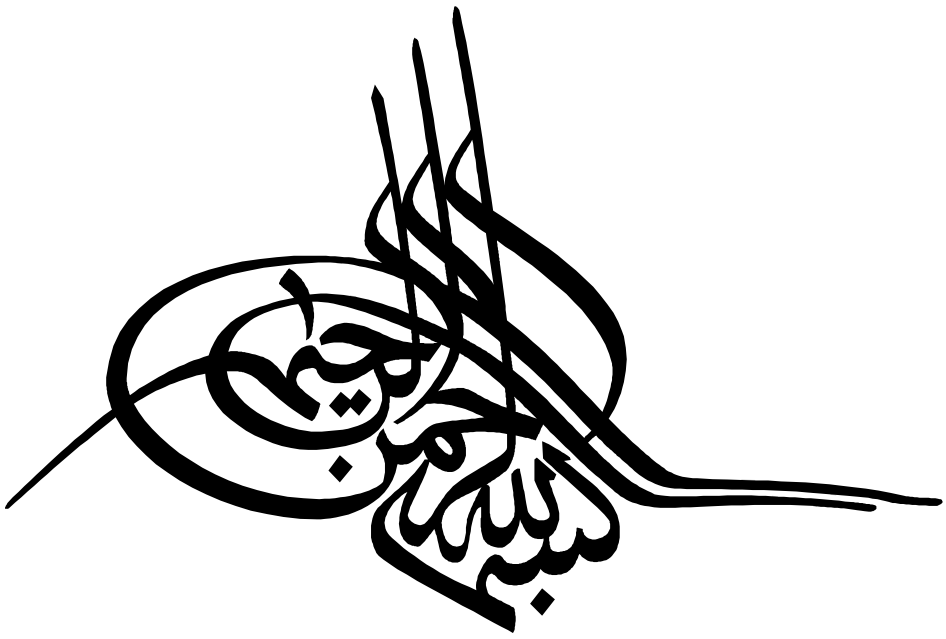
وزارت راه و ترابري
معاونت آموزش، تحقيقات و فناوري

مجمع جهاني راه (پيارك)

مشخصات سطح راه

دفتر مطالعات فناوری و ایمنی

دبیرخانه مجمع جهانی راه (پیارک) در ایران


بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت راه و ترابری
معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری
دفتر مطالعات فناوری و ایمنی

دبیرخانه مجمع جهانی راه (پیارک) در ایران

مشخصات سطح راه

این مجموعه ترجمه‌اي است از گزارشي تحت عنوان:

Surface Characteristics

توجه: هدف از تهیه این‌گونه مجموعه‌ها، طرح موضوعات تخصصي در قالب انتقال فناوري از طريق نشر منابع تخصصي معتبر مي‌باشد. لذا بـه كليـه بهـره‌بـرداران توصيه مي‌گردد جهت كاربرد اعداد و استانداردهاي مورد اشاره بـه اصـل منـابع مراجعه نمايند. بديهي است ناشر هيچ گونه مسؤوليتي در خصوص پيامدهاي سوء ناشي از عدم توجه به توصيه فوق را متقبل نخواهد شد.

« این گزارش با مشارکت شرکت مهندسین مشاور بن‌سازه اسکان تهیه و منتشر گردیده است »

عنوان و نام پدیدآور : مشخصات سطح راه/ تهیه و تالیف دبیرخانه مجمع جهانی راه (پیارک)؛ مترجم شهروز بنی‌احمد، محمدعلی منجمی، علیرضا فتح‌الهی‌فرد.
مشخصات نشر : تهران: وزارت راه و ترابری، معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری، دفتر مطالعات فناوری و ایمنی، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری : د، ۵۱ ص.: جدول، نمودار.
شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۵۶۱۵-۱۸-۰ ISBN: 978-600-5615-18-0
وضعیت فهرست‌نویسی : فیپا
یادداشت : عنوان اصلی: Surface Characteristics
موضوع : روسازی
شناسه افزوده : بنی‌احمد، شهروز، ۱۳٤٦، مترجم
شناسه افزوده : منجمی، محمدعلی، ۱۳٤٦، مترجم
شناسه افزوده : فتح‌الهی فرد، علیرضا، ۱۳٤٦، مترجم
شناسه افزوده : انجمن بین‌المللی دائمی کنگره‌های راه (ایران). دبیرخانه
شناسه افزوده : ایران. وزارت راه و ترابری. دفترمطالعات فناوری و ایمنی
رده‌بندی کنگره : TE۲۵۰/م۵ ۱۳۹۰
رده‌بندی دیویی : ٦۲۵/۸۵ شماره کتابشناسی ملی :۲۳٤۰۷۹۷

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

عنوان گزارش : **مشخصات سطح راه**
تهیه و تألیف : **دبیرخانه مجمع جهانی راه (پیارک)**
تاریخ تألیف : **۱۹۹۵ میلادی**
مترجمین : **شهروز بنی‌احمد- محمدعلی منجمی- علیرضا فتح‌الهی فرد**
ناظر : **ناصر پورمعلم (نماینده اول پیارک در ایران)**
ویرایش : **محسن رحیمی- مرتضی خادمی بحرینی**
ناشر : **وزارت راه‌وترابری- معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- دفتر مطالعات فناوری و ایمنی**
مشارکت در تهیه و نشر : **شرکت مهندسین مشاور بن‌سازه اسکان**
نوبت چاپ : **اول**
تاریخ انتشار : **بهار ۱۳۹۰**
کد انتشار : **۹۰/RRRI/۳۰۹**
شابک : **۹۷۸-۶۰۰-۵۶۱۵-۱۸-۰**
تیراژ : **۱۰۰۰ نسخه**
قیمت : **۲۰۰۰ 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: ۸۸٦٤٦۱۳۹ web:www.rahiran.ir

* کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است *

بسمه تعالی

وزارت راه و ترابری به عنوان متولی اصلی صنعت حمل‌ونقل کشور، نیازمند استفاده از بخش وسیعی از خدمات مهندسی در زمینه طراحی، ساخت، نگهداری و بهره‌برداری از اجزای سیستم حمل‌ونقل می‌باشد. از این‌رو ضروری است که دانش فنی مورد نیاز به طور 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 زمینه مسایل 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 بر آن 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.

از جمله فعالیت‌های کمیته تخصصی مشخصات سطح راه (C1) در سال‌های ۹۵-۱۹۹۱، می‌توان به آزمون بین‌المللی مقایسه اندازه‌گیری‌های اصطکاک و بافت، تهیه فهرستی از تجهیزات اندازه‌گیری مشخصات سطح راه و آخرین پیشرفت‌ها در زمینه آسفالت متخلخل اشاره نمود. برای تبیین وضعیت موجود بازرسی‌های خرابی رویه راه، از بسیاری کشورها و مؤسسات تحقیق و توسعه مرتبط نظرسنجی شد. نظرسنجی برای هر دو بازرسی‌های چشمی و خودکار و در دو بخش مجزا صورت گرفت و جمع‌بندی نتایج پرسشنامه‌ها، منجر به تهیه یک گزارش خوب از وضعیت بازرسی‌های چشمی در جهان و همچنین یک‌سری اطلاعات اولیه از توسعه سیستم‌های خودکار در این زمینه شد که در گزارش حاضر به طور خلاصه به آن پرداخته می‌شود.

امید است که با تلاش‌های صورت‌گرفته در دفتر مطالعات فناوری و ایمنی و همکاری افرادی که در تهیه این گزارش ما را یاری رساندند، گامی مؤثر در جهت ایجاد تحول، نوآوری و ارتقای عملکردها برداشته شود.

معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری

دفتر مطالعات فناوری و ایمنی

مشخصات سطح راه

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱. مقدمه ۱

۲. تجهیزات اندازه‌گیری، روش‌ها و هماهنگ‌سازی ۲

۲-۱. مقدمه ۲

۲-۲. لاستیک‌های استاندارد برای آزمایش‌های اصطکاک ۲

۲-۳. فهرست تجهیزات اندازه‌گیری مشخصات سطح راه ٤

۲-٤. آزمایش بین‌المللی مقایسه و هماهنگ‌سازی تجهیزات اندازه‌گیری بافت و اصطکاک ۵

۲-٤-۱. مقدمه ۵

۲-٤-۲. تحلیل ۷

۲-٤-۲-۱. مقایسه‌های دستگاه به دستگاه ۷

۲-٤-۲-۲. تکرارپذیری اندازه‌گیری‌ها ۸

۲-٤-۳. شاخص بین‌المللی اصطکاک ۸

۲-٤-٤. نتیجه‌گیری ۱۰

۲-۵. تدارک یک آزمایش بین‌المللی برای مقایسه دستگاه‌های اندازه‌گیری بافت طولی و عرضی ۱۱

۳. تأثیر متقابل وسیله‌نقلیه/ راه ۱۲

۳-۱. مقدمه ۱۲

۳-۲. بازنگری انتظارات صنعت خودروسازی از صنایع راه و لاستیک ۱۳

۳-۳. اقداماتی برای گسترش ارتباط صنایع خودروسازی، لاستیک و راه ۱۵

۳-٤. سروصدای لاستیک - راه از دیدگاه صنعت لاستیک‌سازی ۱۵

۳-۵. مشخصات بافت راه و سیاست‌ها ۱۸

٤. مروری بر آخرین پیشرفت‌ها در طراحی رویه‌های کم‌سروصدا ۲۰

٤-۱. چرا باید به تأثیر سطح راه بر سروصدای ترافیک توجه داشت؟ ۲۰

٤-۲. مکانیسم‌های تولید سروصدا ۲۰

٤-۳. کاهش سروصدا با طرح مناسب رویه راه ۲۱

عنوان **صفحه**

٤-٣-١. رویه‌های متراکم ٢١
٤-٣-٢. رویه‌های نفوذپذیر ٢٣
٤-٤. عملکرد درازمدت رویه‌های کم‌سروصدا ٢٥
٤-٥. روش‌های اندازه‌گیری کارایی صوتی رویه‌ها و کنترل مشخصات فنی طرح ٢٧
٤-٥-١. کلیات ٢٧
٤-٥-٢. اندازه‌گیری کارایی صوتی کلی ٢٧
٤-٥-٣. اندازه‌گیری پارامترهای طراحی صوتی ٢٨
٤-٥-٤. تعریف "رویه مبنا" و "رویه آزمایشی" ٢٩
٤-٦. نیازهای تحقیقاتی ٢٩
٤-٦-١. کارایی صوتی رویه‌های راه برای خودروهای سنگین ٢٩
٤-٦-٢. تأثیر متقابل بافت و جذب صوتی رویه ٣٠
٤-٦-٣. تأثیر متقابل لاستیک - راه ٣٠
٤-٦-٤. تأثیر امپدانس مکانیکی ٣٠
٤-٦-٥. عملکرد درازمدت رویه‌های نفوذپذیر ٣٠
٤-٧. برآورد پتانسیل تأثیر کاهش سروصدا بر کیفیت محیط زیست ٣١

٥. اثرات مشخصات سطح راه بر بارهای دینامیک چرخ ٣٢
٥-١. مقدمه ٣٢
٥-٢. فرهنگ اصطلاحات و تعاریف ٣٢
٥-٣. تأثیرات وسیله‌نقلیه ٣٣
٥-٣-١. تأثیر سیستم تعلیق ٣٤
٥-٣-٢. تأثیرات لاستیک ٣٥
٥-٤. تأثیرات نیمرخ راه ٣٦
٥-٥. نیمرخ دینامیک راه ٣٧
٥-٦. سیستم‌های تعلیق پیشرفته ٣٨
٥-٧. نتیجه‌گیری ٣٩

٦. روش‌های ارزیابی خرابی سطح راه ٤٠
٦-١. مقدمه ٤٠
٦-٢. بازدیدهای چشمی ٤٠

عنوان **صفحه**

٦-٢-١. حوزه کاربرد ٤٠
٦-٢-٢. نتایج پرسشنامه‌ها ٤٠
٦-٢-٣. فهرست انواع خرابی و روش‌های کمی کردن وسعت و شدت ٤٢
٦-٢-٤. شاخص‌های ترکیبی ٤٤
٦-٢-٥. گام‌هایی به سوی هماهنگ‌سازی ٤٤
٦-٣. بازرسی‌های خودکار خرابی رویه راه ٤٥
٦-٣-١. مقدمه ٤٥
٦-٣-٢. دامنه کاربرد و اهداف سیستم‌های خودکار ٤٥
٦-٣-٣. نتایج پرسشنامه ٤٦
٦-٣-٣-١. تصویربرداری ٤٦
٦-٣-٣-٢. پردازش تصویر ٤٦
٦-٣-٤. ملاحظات ٤٧
٦-٤. نتیجه‌گیری ٤٨
مراجع ٤٩

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: مقایسه مقادیر ضریب اصطکاک به‌دست‌آمده با لاستیک‌های ASTM و پیارک ٤
شکل ۳-۱: تأثیر متقابل نامنظمی‌های رویه راه و رفتار لاستیک یا وسیله‌نقلیه ۱۳
شکل ۳-۲: سروصدا و ارتعاش ناشی از تأثیر متقابل وسیله‌نقلیه - لاستیک – سطح راه ١٤
شکل ٤-۱: سروصدای لاستیک - وسیله‌نقلیه که از ارتعاش لاستیک و مکش هوا ایجاد می‌شود ۲۱
شکل ٤-۲: تغییر شکل لاستیک به ازای سه بافت رویه با طول موج‌های متفاوت و دامنه یکسان ۲۲
شکل ٤-۳: مفهوم قشر رویه متخلخل نازک برای رویه‌های کم‌سروصدا ۲۳
شکل ٤-٤: مثال‌هایی از رویه‌های متخلخل نازک و ضرایب جذب اندازه‌گیری‌شده بر حسب فرکانس برای ساختارهای‌دولایه ۲٤
شکل ٤-٥: نمودار فوقانی: نتایج اندازه‌گیری SPB بر روی یک رویه متراکم آسفالتی با دانه‌بندی ۱٦/۰ ..... ۲۸
شکل ٤-٦: تراز سروصدای حاشیه راه به ازای ترکیبات مختلف لاستیک و رویه راه ۳۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: مقایسه مقادیر GF60 و F60 ..... ۱۰
جدول ۳-۱: بخشنامه کمیسیون اروپا درباره سروصدای وسایل نقلیه ۱٦
جدول ۳-۲: چکیده تدابیر و سیاست‌های کشورهای مختلف در زمینه اصطکاک جاده‌های خیس ۱۹
جدول ٦-۱: فهرست انواع خرابی ٤۳

۱. مقدمه

برنامه کاری کمیته تخصصی مشخصات سطح راه (C1) در سال‌های ۹۵-۱۹۹۱ [۱۱]، بیشتر اختصاص به ادامه و تکمیل فعالیت‌هایی داشت که در کنگره هجدهم در بروکسل تعیین گردید و سپس استمرار آن در کنگره نوزدهم مطرح شد و به تصویب رسید [۱و۲] که از جمله این فعالیت‌ها می‌توان به آزمون بین‌المللی مقایسه اندازه‌گیری‌های اصطکاک و بافت، تهیه فهرستی از تجهیزات اندازه‌گیری مشخصات سطح راه و آخرین پیشرفت‌ها در زمینه آسفالت متخلخل اشاره نمود. دو خط‌مشی اصلی در این زمینه عبارتند از:

- ایجاد هماهنگی بین روش‌های مختلف اندازه‌گیری مشخصات سطح روسازی با اطمینان از لحاظ کردن اغلب تجهیزاتی که در حال حاضر به کار گرفته می‌شوند. قطعاً این هماهنگی از طریق استانداردسازی‌هایی که توسط ISO[۱] وCEN[۲] (استاندارد اروپایی) آغاز شده، گسترش می‌یابد،
- دانش روزافزون در خصوص پدیده تأثیر متقابل راه – وسیله‌نقلیه (و لاستیک آن) که در آن واحد، مورد توجه سازندگان وسایل نقلیه، مدیران شبکه‌های جاده‌ای و از همه مهمتر، کاربران وسیله‌نقلیه و راه می‌باشد. این موضوع به همکاری بیشتر محققین مهندسی وسیله‌نقلیه و راه نیاز دارد.

حوزه فعالیت‌های C1 گسترش یافته و روش‌های تعیین کمّیت و بررسی خرابی روسازی را نیز به عهده گرفته است. این موضوع به طور قطع مورد علاقه بسیاری از مدیران شبکه‌های جاده‌ای است، زیرا:

- در بسیاری از کشورها، مرمت روسازی جایگزین روش‌های مقاوم‌سازی سازه روسازی می‌شود،
- هم روش‌های ارزیابی شبکه جاده‌ای و هم سیستم‌های تعمیر و نگهداری، بررسی وضعیت خرابی‌ها (ترک‌ها، ترک‌خوردگی پوست سوسماری و ...)، شرایط تغییر شکل (هموواری طولی و عرضی) و خصوصیات بافت را شامل می‌شوند،
- و نهایتاً اینکه، روز به روز تجهیزات کامل‌تری برای بررسی همه این مشخصات مختلف در حال ظهورند.

---

۱. کارگروه ISO/TC 43/SC 1/WG 33 در زمینه سروصدا و ISO/TC 43/SC 1/WG 39 در زمینه بافت

۲. کارگروه CEN/TC 227/WG 5در زمینه مشخصات سطح مصالح روسازی

۲. تجهیزات اندازه‌گیری، روش‌ها و هماهنگ‌سازی

۲-۱. مقدمه

روش‌های متنوعی برای اندازه‌گیری مشخصات سطح راه در سال‌های اخیر در جهان توسعه یافته‌اند. تنوع روش‌ها به حدی است که بعضاً حتی ادارات راه در یک کشور از روش‌ها و دستگاه‌های مختلفی برای اندازه‌گیری استفاده می‌کنند. این امر سبب شد که پیارک و به ویژه کمیته تخصصی مشخصات سطح راه (C1)، بر آن شوند که امکان‌پذیری مقایسه روش‌های اندازه‌گیری و هماهنگ‌سازی آنها و نتایج‌شان را بررسی کنند. امروزه نیاز به هماهنگ‌سازی به شدت احساس می‌شود. زیرا از یک طرف، تجهیزات اندازه‌گیری با تلفیق فناوری‌های مدرن، روز به روز پیشرفته‌تر شده و چند سیستم جدید را در برمی‌گیرند و از طرف دیگر، گرایش و نیاز به استانداردسازی در بازار رو به رشد جهان بیشتر می‌شود. لذا C1 احساس نمود که در این شرایط پیچیده باید از طرق زیر به صنعت راه کمک کرد:

- حفظ مراجع موجود پیارک، به ویژه لاستیک استاندارد آزمایش پیارک،
- بررسی تفاوت موجود در روش‌های اندازه‌گیری در مورد همه مشخصه‌های سطح راه،
- انجام پژوهش فوق با دیدگاه و هدف هماهنگ‌سازی روش‌های اندازه‌گیری مشخصات سطح راه.

۲-۲. لاستیک‌های استاندارد برای آزمایش‌های اصطکاک

کمیته تخصصی C1 در اواخر دهه ۶۰ (که *کمیته تخصصی لغزندگی* نام داشت)، کار استانداردسازی لاستیک‌های مورد استفاده در دستگاه‌های آزمایش مقاومت لغزندگی را آغاز نمود و موفق شد در سال ۱۹۷۵، یک لاستیک مرجع استاندارد را معرفی نماید که امروزه در سطح گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای آگاهی از تاریخچه و مشخصات لاستیک استاندارد پیارک به مرجع [۱٤] مراجعه کنید.

برای جلوگیری از دگرگونی قابل توجه خصوصیات لاستیک‌ها بر اثر مرور زمان، لازم است که تولید و عرضه آنها به تعداد کم و با حداکثر عمر ۱۰ سال باشد. C1 مسؤولیت دارد که به صورت دوره‌ای و چند سال پس از استفاده از لاستیک‌ها توسط مصرف‌کننده، تولیدات جدیدی را به آنها عرضه نماید. تولیدکننده این لاستیک‌ها، شرکت مالویا (Maloya) در سوییس بود که اعلام کرد بیش از این نمی‌تواند تولید سری‌های جدید را تضمین نماید. بنابراین پیارک مجبور شد که به دنبال سازنده دیگری باشد. در این راستا، C1 در سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۹۱، مطالعه‌ای درباره شرایط و الزامات کشورهای عضو برای تولید لاستیک پیارک انجام داد، ضمن اینکه با توجه به تعدد سازندگان، گزینه‌های دیگری نیز به عنوان لاستیک استاندارد بررسی شدند.

در مورد توانایی برآوردن نیازهای بازار در دو گزینه کوتاه‌مدت (کمتر از یک سال) و بلندمدت (بیش از یک سال)، از کشورهای عضو C1 نظرسنجی شد. نتایج نشان دادند که اغلب این کشورها، توانایی تولید لاستیک در کوتاه‌مدت (و نه بلندمدت) برای سایر کشورهای متقاضی را دارند.

در خصوص لاستیک‌های جایگزین، قالب‌های لاستیک پیارک به یک شرکت ساخت لاستیک‌های مخصوص (شرکتی که برای ASTM لاستیک‌های ویژه می‌ساخت) برای بررسی فرستاده شدند. این شرکت، چند لاستیک شیاردار معمولی ساخت که اولاً از نوع لاستیک‌های کج‌لایه بودند، در حالی که لاستیک‌های پیارک رادیال هستند و ثانیاً، فرمول ترکیبی لاستیک‌های ASTM در ساخت آنها به کار رفته بود. لذا لازم بود که ابتدا مشخص شود آیا لاستیکی از این نوع و با فرمول ترکیبی در یک مدل پیارک، پذیرفتنی هست یا خیر؟ آزمایش‌هایی توسط چند عضو کمیته صورت گرفتند تا نتایج اندازه‌گیری‌های اصطکاک در لاستیک‌های فوق را با لاستیک پیارک مقایسه نمایند.

آزمایش‌های مقایسه‌ای با پنج دستگاه اندازه‌گیری زیر صورت گرفت:

- تریلر DWW هلندی (نیروی ترمز، نسبت لغزش ثابت ۸۶٪) (C5)،
- استرادوگراف دانمارکی (نیروی جانبی، زاویه ۱۲ درجه) (C8)،
- اودولیوگراف بلژیکی (نیروی جانبی، زاویه ۲۰ درجه) (C10)،
- اصطکاک‌سنج اشتوتگارت آلمانی (نیروی ترمز، چرخ قفل‌شده) (D lE)،
- تریلر LCPC فرانسوی (نیروی ترمز، چرخ قفل‌شده) (D6).

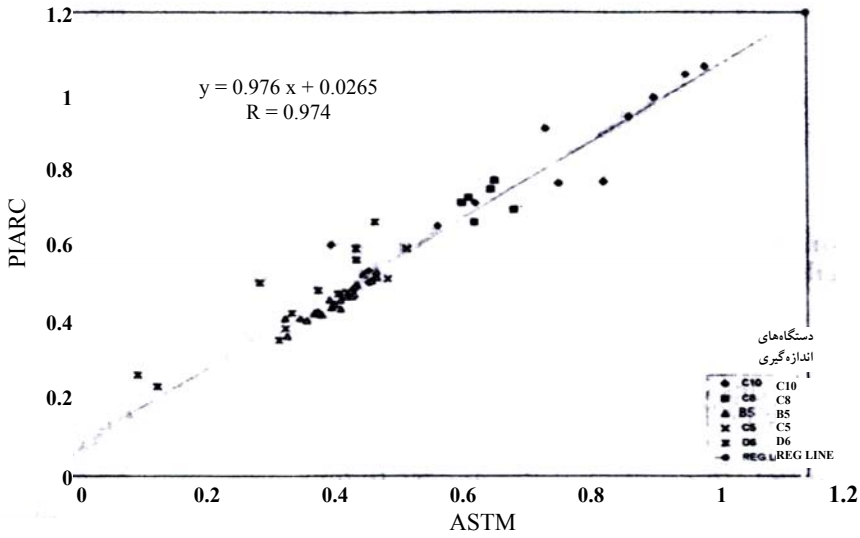
محل‌های آزمایش، به بهترین نحو انتخاب شدند و نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند که مقادیر ضریب اصطکاک، محدوده گسترده‌ای از ارقام ممکن از خیلی کم (رویه بسیار صاف آینه‌مانند از جنس اپوکسی خالص در LCPC نانت فرانسه) تا بالای ۱۰۰٪ (رویه زبر با چسباننده اپوکسی بر روی پلی در بلژیک) را پوشش می‌دهند. نتایج رسم‌شده در شکل(۲-۱) نشان می‌دهند که رگرسیون خطی آنها با خط تعادل (٤٥ درجه)، اختلاف چندانی ندارد که به معنی عدم وجود اختلاف سیستماتیک بین دو نوع لاستیک است. با این وجود، یک اختلاف جزیی در نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش فرانسوی‌ها وجود دارد، ولی همان طور که در آزمایش بین‌المللی نیز مشاهده شد، اثر آن در محدوده تجدیدپذیری خاص چنین دستگاه‌هایی باقی می‌ماند. همچنین نتایج نشان دادند که اختلافی بین مقادیر لغزش ثابت یا ضریب نیروی جانبی (SFC)[1] وجود ندارد.

فرمول ترکیبی لاستیک ASTM با هدف به حداقل رساندن حساسیت به گرما توسط شرکت‌های آمریکایی طراحی شده بود. لذا برای همبستگی نمایش‌یافته در شکل(۲-۱)، اصلاحاتی در اندازه‌گیری‌های لاستیک پیارک از نظر درجه حرارت صورت گرفت. این کار به همراه آزمایش‌های مقایسه پاندولی در سوییس، حساسیت لاستیک‌های ASTM به درجه حرارت‌های عادی در آزمایش اصطکاک را از بین برد.

در نهایت، یک شرکت هلندی به نام Vredestein BV با ساخت لاستیک رادیال پیارک با فرمول ASTM موافقت نمود. برنامه‌ریزی برای آزمایش مقایسه‌ای مجموعه‌ای از این لاستیک‌های جدید با لاستیک‌های Maloya، مشابه مقایسه فوق، در تعدادی از کشورهای عضو انجام شده است. بنابراین، به نظر می‌رسد که نیازهای آتی لاستیک‌های آزمایش به وسیله Vredestein BV برطرف شده، ضمن اینکه لاستیک‌های مخصوص آمریکایی نیز به عنوان رزرو موجود هستند.

---

1. Sideway Force Coefficient



شکل ۲-۱: مقایسه مقادیر ضریب اصطکاک به‌دست‌آمده با لاستیک‌های ASTM و پیارک.

۲-۳. فهرست تجهیزات اندازه‌گیری مشخصات سطح راه

کمیته تخصصی C1 از سال ۱۹۸۹ و بعد از بررسی مقدماتی تجهیزات اندازه‌گیری همواری عرضی و طولی [۱۶]، کار تهیه فهرست دستگاه‌های اندازه‌گیری مشخصات سطح راه در سراسر جهان را آغاز نمود. حاصل این کار، فهرست جامعی از تجهیزات اندازه‌گیری همواری طولی، خرابی مقطع عرضی (شیارشدگی)، بافت و مقاومت لغزشی (اصطکاک بین روسازی و لاستیک) روسازی‌ها و استهلاک رویه‌های راه [۷] می‌باشد. اطلاعات در قالب جداول (برای هر دستگاه یک جدول) و یک فهرست دوزبانه ارایه شده‌اند.

در هر جدول، دستگاه و اصول کاربرد آن تشریح شده‌اند. باید توجه داشت که هزینه تعیین‌شده برای هر دستگاه مربوط به سال‌های جمع‌آوری اطلاعات (۱۹۹۲-۱۹۹۰) می‌باشد.

از آنجا که تدوین این فهرست، پنج سال طول کشیده (۱۹۹۳-۱۹۸۹)، احتمال دارد که تاکنون برخی دستگاه‌ها دچار تغییراتی شده باشند که گزارش نشده‌اند. علاوه بر این، برخی دستگاه‌ها برای اهداف خاص در زمان خاصی بوده و هم اکنون استفاده نمی‌شوند یا از رده خارج شده‌اند.

همه اطلاعات جمع‌آوری‌شده در این سند از افراد علاقمندی که به نظرسنجی کمیته تخصصی C1 پاسخ داده‌اند، اخذ شده و پاسخ‌های آنها عیناً منعکس گردیده‌اند. لذا پیارک، مسؤولیتی در قبال دقت و صحت اطلاعات مذکور ندارد، ولی در مقابل، اسامی و نشانی افراد ذیربط برای اخذ اطلاعات بیشتر در فهرست آمده است.

فهرست، مشتمل بر ۱۰۷ قلم است که بر اساس نوع پارامتر اندازه‌گیری، به پنج گروه طبقه‌بندی شده‌اند:

- تجهیزات ثبت خرابی سطح راه،
- تجهیزات اندازه‌گیری نیمرخ طولی و عرضی،
- تجهیزات اندازه‌گیری بافت،

- تجهیزات اندازه‌گیری مقاومت لغزشی،
- تجهیزات چندمنظوره (شامل سیستم‌هایی است که بیش از یکی از اندازه‌گیری‌های آمده در گروه‌های دیگر را انجام می‌دهند).

هر دستگاه در قالب جدولی با اطلاعات زیر تشریح می‌شود:

نام دستگاه: نام دستگاه

کارکرد: اصول اندازه‌گیری

قطعات: اجزای اصلی دستگاه

خروجی: داده‌های خروجی

اندازه‌گیری: کمیت‌های اندازه‌گیری‌شده

سرعت: سرعت دستگاه در حین کار

تعداد اپراتورها: تعداد افراد مورد نیاز برای کار با این دستگاه

دقت: دقت خروجی‌ها

نرخ: اندازه نمونه (یا درصد پوشش) یا نرخ جمع‌آوری‌ها

روش: روش تحلیل دستگاه نصب‌شده

کابران: ادارات (کشورها یا ایالت‌ها) استفاده‌کننده از این دستگاه در زمان چاپ گزارش (۱۹۹۱)

سایر کارکردها: دیگر کارکردهای دستگاه (دستگاه چندمنظوره)

قیمت: قیمت دستگاه در سال ۱۹۹۱ و کشور تولیدکننده

توضیحات: ـــــ

تماس: افراد داوطلب برای پاسخگویی به نظرسنجی‌های مربوط به دستگاه. کاربران نسبت به تولیدکنندگان ارجحیت دارند.

۲-٤. آزمایش بین‌المللی مقایسه و هماهنگ‌سازی تجهیزات اندازه‌گیری بافت و اصطکاک

۲-٤-۱. مقدمه

کمیته تخصصی C1 در کنگره جهانی مراکش اعلام کرد [۱ و۲] که انجام یک آزمایش بین‌المللی برای هماهنگ‌سازی روش‌های مختلف اندازه‌گیری بافت و مقاومت لغزشی سطح راه در سراسر جهان را آغاز نموده است. نتایج این آزمایش بی‌شک برای دستیابی به عدم تعارض و تضاد در مدیریت روسازی در کشورهای مختلف ارزشمندند. علاوه بر این، استانداردسازی مشخصات مصالح روسازی ایجاب می‌کند که روش‌های مختلف اندازه‌گیری، هماهنگ شوند. این ایده، خیلی زود با تأیید همگانی، چه از نظر سودمندی و چه از نظر به‌موقع بودن روبرو شد، چرا که در همان زمان، سیاست‌های خاص و اقدامات فنی مفیدی در این زمینه شروع شد که عبارتند از:

- CEN، کمیته استانداردسازی اروپا، در اوایل سال ۱۹۹۲ کارگروهی برای وضع استانداردهای اندازه‌گیری مشخصات سطح راه تشکیل داد (CEN/TC 227/WG 5)،
- کشورهای شرقی اعلام کردند که از استاندارد اروپایی پیروی می‌کنند،
- در ژاپن، توجه به وضع استانداردها و مشخصات فنی برای مقاومت لغزشی راهها افزایش یافت،
- SHRP[1]، برنامه راهبردی تحقیقات راه آمریکا، در اوج موفقیت بود.

در گذشته، تلاش‌های بسیاری برای ایجاد همبستگی بین داده‌های دستگاه‌های اندازه‌گیری اصطکاک صورت گرفت و بعضاً نیز همبستگی خوبی به ویژه هنگام یکسان بودن سطح راه مورد آزمایش حاصل شد، ولی هیچ‌گاه یک همبستگی کلی وجود نداشته است. این تجربیات ثابت کرده که برای برقراری رابطه بین داده‌های به‌دست‌آمده از روش‌های مختلف اندازه‌گیری اصطکاک مثل چرخ قفل‌شده، لغزش و نیروی جانبی، لازم است تأثیر بافت سطح راه نیز لحاظ گردد. بدین دلیل است که در این مطالعه از مدل‌هایی برای تحلیل داده‌های اصطکاک روسازی استفاده می‌شود که مشخصات بافت سطح راه را نیز به خوبی لحاظ می‌کنند.

هدف کلی آزمایش، هماهنگ‌سازی بسیاری از روش‌های مختلف اندازه‌گیری اصطکاک روسازی است که در کشورهای مختلف به کار می‌روند. برای نیل به این هدف، باید اقدامات زیر صورت گیرند:

- توسعه و ارزیابی روابط بین اندازه‌گیری‌های اصطکاک و بافت به‌دست‌آمده از دستگاه‌های مختلف بر حسب تغییرات پارامترهای فیزیکی آزمایش شامل بافت، سرعت، زاویه لغزش، لاستیک آزمایش، اقلیم و مصالح،
- کمّی‌سازی روابط بین اندازه‌گیری‌های اصطکاک و بافت به‌دست‌آمده از دستگاه‌های مختلف در شرایط تعریف‌شده به‌منظور ساده‌سازی مبادله و هماهنگ‌سازی اطلاعات فنی،
- کمّی‌سازی تکرارپذیری و خطاهای اندازه‌گیری هر دستگاه. سنجش درصد نمونه‌گیری یا اندازه نمونه لازم برای دستیابی به دقت قابل قبول در هر دستگاه اندازه‌گیری.
- معرفی یک شاخص جهانی اصطکاک که همه دستگاه‌های اندازه‌گیری بتوانند در هر سیستمی آن را ارزیابی و گزارش نمایند.

برای تعیین رابطه بین اصطکاک و بافت در دستگاه‌های مختلف، نیاز به یک بانک اطلاعاتی بزرگ می‌باشد و در نتیجه تصمیم بر آن شد که آزمایش‌های متعددی برای دستیابی به دامنه گسترده‌ای از ارقام مربوط به بافت و اصطکاک و با پوشش دادن انواع بسیاری از روسازی توسط هر دستگاه صورت گیرد. استفاده از مسیرهای آزمایشگاهی منتفی بود، زیرا تجربه مطالعات گذشته نشان داده که بسیاری از متغیرهای جاده‌های واقعی لحاظ نمی‌شوند. در واقع مسیرهای آزمایشگاهی برای کالیبره کردن دستگاه مناسبند، ولی برای تعیین رابطه بین بافت و اصطکاک در جاده‌های پرتردد، مناسب نیستند. محل آزمایش با دقت بسیار انتخاب شد، زیرا نه تنها به انواع مختلف بافت و اصطکاک نیاز است؛ بلکه کیفیت سطح راه از نظر ساییدگی و صیقلی بودن نیز اهمیت فراوانی دارد. در این

1. Strategic Highway Research Program

راستا، تصمیم بر آن شد که جاده‌های پرتردد در مناطق با اقلیم‌های مرطوب و خشک برای آزمایش استفاده شوند و در نهایت، با پیشنهاد کشورهای اسپانیا و بلژیک به عنوان میزبان موافقت گردید.

٤٧ سیستم اندازه‌گیری با قابلیت اندازه‌گیری ٦٧ پارامتر (٣٣ پارامتر بافت و ٣٤ پارامتر اصطکاک) از ١٦ کشور اتریش، بلژیک، کانادا، دانمارک، فرانسه، آلمان، بریتانیا، ایتالیا، ژاپن، هلند، نروژ، لهستان، اسپانیا، سوئد، سوییس و ایالات متحده آمریکا در این آزمایش شرکت یافتند.

آزمایش در مقیاس واقعی و در ٥٤ محل (سایت) در ماه‌های سپتامبر و اکتبر ١٩٩٢ در بلژیک و اسپانیا انجام شد که ٢٨ سایت در بلژیک (٢ سایت در یک فرودگاه، ٤ سایت در مسیرهای مسابقه و ٢٢ سایت در راههای سرویس) و ٢٦ محل در اسپانیا (٨ سایت در فرودگاه‌ها و ١٨ سایت در راههای سرویس) قرار داشتند [١٣].

همه داده‌های جمع‌آوری‌شده در یک بانک اطلاعاتی وارد شدند. فایل‌های این بانک اطلاعاتی شامل شرح دستگاه، مشخصات محل آزمایش، شرایط آب‌وهوایی و کمیّت‌های اندازه‌گیری بافت و اصطکاک هستند. به هر شرکت‌کننده، فرصت داده شد تا داده‌های خود را بازبینی کرده و در صورت لزوم تصحیح نماید. فایل‌ها در یک فرمت یکسان درآخرین نسخه بانک اطلاعاتی ذخیره شدند. فلاپی‌دیسک محتوی بانک اطلاعاتی را می‌توان از ادارات مرکزی پیارک دریافت کرد. نتایج تحلیل داده‌های بانک اطلاعاتی نیز در یک گزارش فنی پیارک ارایه گردید [٥].

٢-٤-٢. تحلیل

٢-٤-٢-١. مقایسه‌های دستگاه به دستگاه

در ابتدا، یک رابطه خطی بین هر دستگاه با بقیه دستگاه‌ها بدون در نظر گرفتن نوع سیستم، لاستیک آزمایش و اصول اندازه‌گیری تعیین شد. به طور کلی، همبستگی دستگاه‌ها در شرایط اجرایی آزمایش، رضایت‌بخش بود. میانگین ضرایب همبستگی (R) رگرسیون خطی دستگاه به دستگاه برای دستگاه‌های اندازه‌گیری اصطکاک در گزارش آمده است. دامنه این ضرایب از حداقل ٠/٦٧ تا حداکثر ٠/٨٦ است.

سه پارامتر درشت‌بافت را می‌توان به سه گروه طبقه‌بندی کرد: MPD[1] یا میانگین عمق نیمرخ‌ها که از تقسیم نیمرخ بافت کل سطح به چند بخش، محاسبه عمق بافت هر بخش و در نهایت تعیین میانگین عمق بافت بخش‌ها به دست می‌آید؛ RMS[2] که میانگین جذر مربعات ناهمواری‌های (یا به عبارت دیگر دامنه‌های) رسم‌شده در نیمرخ بافت است؛ و زمان تخلیه[3] که زمان لازم برای تخلیه حجم معینی از آب درون یک استوانه با کف لاستیکی در آزمایش تخلیه‌سنج می‌باشد. روابط خطی عمق بافت متوسط یا MTD[4] که از آزمایش لکه ماسه‌ای به دست می‌آید، با پارمترهای فوق ارزیابی شد. به‌طور کلی، دامنه ضرایب همبستگی بسیار خوب بوده و مقادیر مربوط به هر دستگاه در گزارش ارایه شده‌اند.

---

1. Mean Profile Depth
2. Root Mean Square
3. Outflow Time
4. Mean Texture Depth

۲-٤-۲-۲. تکرارپذیری اندازه‌گیری‌ها

دقت بین نتایج اندازه‌گیری‌های متوالی را تکرارپذیری اندازه‌گیری گویند. برای بررسی تکرارپذیری اندازه‌گیری‌ها، دو بار اندازه‌گیری با هر دستگاه به ازای سه سرعت متفاوت انجام شد. قدر مطلق تفاضل‌های دو اندازه‌گیری، تعیین شده و انحراف معیار آنها، مقدار تکرارپذیری را به دست می‌دهد. تکرارپذیری به ازای هر سرعت و به طور مجزا برای هر یک از سه سیستم اندازه‌گیری اصطکاک محاسبه شد. محدوده میانگین این اعداد برای هر یک از سه نوع دستگاه اندازه‌گیری اصطکاک از ۰/۰۱۵ تا ۰/۰۳٤ و میانگین کل نیز ۰/۰۲۸ بود.

۲-٤-۳. شاخص بین‌المللی اصطکاک (IFI)[1]

با توجه به وجود سه سیستم اندازه‌گیری اصطکاک (لغزش، چرخ قفل‌شده و نیروی جانبی) مشخص شد که برای هماهنگ‌سازی نتایج اندازه‌گیری‌ها نیاز به یک پارامتر درشت‌بافت می‌باشد. به عبارتی شاخص اصطکاک باید شامل دو عدد باشد: یکی در ارتباط با درشت‌بافت و دیگری در رابطه با سیستم اندازه‌گیری اصطکاک. هدف آن است که تمامی سیستم‌ها برای یک روسازی مشخص، مقادیر یکسانی را برآورد نمایند.

ابتدا ضروری است که یک مقدار واقعی را به عنوان هدف و مبنای مقایسه داشته باشیم. از آنجا که این مقدار برای اصطکاک وجود نداشت، به ازای دامنه گسترده‌ای از سرعت‌های لغزش، مقادیر اصطکاک با هر سه روش اندازه‌گیری شدند و برای هر سایت، یک منحنی سرعت – اصطکاک ترسیم گردید. به این منحنی‌ها، "منحنی‌های طلایی" اطلاق می‌شود که مقادیر واقعی اصطکاک را در بردارند.

معادله منحنی‌های طلایی را می‌توان با دو عدد GF60 و GV به شکل زیر نوشت:

$$GF(S) = GF60 * \exp[(60 - S)/GV]$$

که در آن:

S، سرعت لغزش بر حسب km/h،

GF(S)، رابطه واقعی سرعت – اصطکاک یک روسازی،

GF60، عدد اصطکاک طلایی[2]،

GV، عدد سرعت طلایی[3] می‌باشند.

در این معادله، GV در ارتباط با درشت‌بافت لحاظ شد و در این آزمایش، به خوبی با دستگاه‌های اندازه‌گیری بافت تعیین گردید. در واقع، در کل نیاز بود که یک رگرسیون خطی بین مقادیر اندازه بافت و مقدار پیش‌بینی‌شده (Vp) عدد سرعت طلایی صورت گیرد. لذا داریم:

$$Vp = a + b * TX$$

TX، یک پارامتر درشت‌بافت بوده و a و b، ثابت‌های معادله رگرسیونی فوق هستند.

---

1. International Friction Index
2. Golden Value Friction Number
3. Golden Value Speed Number

میانگین ضرایب همبستگی برای رگرسیون هر یک از سه پارامتر درشت‌بافت همراه با مقادیر a و b در همه سیستم‌های اندازه‌گیری بافت در گزارش آمده است. از ۱۰ سیستم اندازه‌گیری نیمرخ‌های درشت‌بافت، ضرایب همبستگی به‌دست‌آمده در ۷ مورد آنها بین ۰/۹۰ تا ۰/۹۵ بوده و ۳ مورد باقی‌مانده نیز ضرایب بین ۰/۷۹ تا ۰/۸۱ داشته‌اند. بعضی از سیستم‌ها، بیش از یک پارامتر را اندازه‌گیری می‌کردند که البته پارامتری که بهترین همبستگی را داشت، انتخاب شد. در نهایت، نتیجه‌گیری شد که پارامتر MPD که در حال استانداردسازی توسط ایزو است [۱۷]، بهترین ضریب همبستگی را داشته و به عنوان نماینده پارامترهای بافت در تحلیل اصطکاک مورد استفاده قرار گرفت.

اصطکاک در هر یک از سیستم‌های سه‌گانه بر حسب سرعت لغزش (S) که وابسته به نوع سیستم اندازه‌گیری و سرعت وسیله‌نقلیه (V) است، اندازه‌گیری می‌شود:

در سیستم چرخ قفل‌شده: $S = V$

در سیستم لغزش ثابت: $S = V$ * درصد لغزش

در سیستم نیروی جانبی: $S = V * \sin(Q)$ و Q برابر است با زاویه انحراف.

برای تعیین GF60، ابتدا لازم است که مقدار اصطکاک در سرعت ۶۰ km/h با استفاده از مقدار اندازه‌گیری‌شده اصطکاک (FRS) در هر سرعت لغزشی (S) و سرعت پیش‌بینی‌شده با دستگاه اندازه‌گیری بافت (Vp) منطبق شود:

$$FR60 = FRS * \exp[(S - 60)/Vp]$$

که در آن:

FR60، مقدار اصطکاک تطبیق‌یافته سیستم در S = ۶۰ km/h،

FRS، اصطکاک اندازه‌گیری‌شده در سرعت S،

S، سرعت لغزش که در بالا تعریف شد، می‌باشند.

در نهایت برای هماهنگ‌سازی باید از طریق رگرسیون مقدار تطبیق‌یافته با عدد اصطکاک طلایی، دستگاه را کالیبره کرد:

$$F60 = A + B * FR60 + C * TX$$

با ترکیب معادلات فوق، F60 بر حسب مقادیر بافت و اصطکاک (FRS و TX) بیان می‌شود:

$$F60 = A + B * FRS * \exp[(S - 60)/(a + b * TX)] + C * TX$$

که در آن:

A، B و C، ثابت‌های کالیبراسیون دستگاه می‌باشند. مقدار C در اغلب دستگاه‌ها، معنی‌دار نبوده و عدد صفر، لحاظ شده است.

F60، برآوردی از عدد اصطکاک طلایی (GF60) و Vp، برآوردی از عدد سرعت طلایی (GV) است. کمیت‌های F60 و Vp، بیانگر شاخص بین‌المللی اصطکاک (IFI) می‌باشند.

با استفاده از میانگین عمق نیمرخ‌ها (MPD) به عنوان اندازه بافت، مقادیر A و B (وC برای سیستم‌هایی که از لاستیک‌های آج‌دار یا نقش‌دار استفاده می‌کنند) در هر سیستم اندازه‌گیری اصطکاک تعیین شد.

میانگین قدر مطلق تفاضل‌های F60 و GF60 برای هر دستگاه محاسبه گردید و نتایج تحت عنوان میانگین تفاضل مطلق سیستم اندازه‌گیری خلاصه شدند. میانگین تفاضل مطلق در واقع میزان خطای برآورد مقدار واقعی اصطکاک GF60 است که بر مبنای F60 که حاصل اندازه‌گیری توأم دستگاه‌های بافت و اصطکاک می‌باشد، به دست آمده است. نتایج این اندازه‌گیری در جدول (۲-۱) خلاصه شده‌اند.

جدول ۲-۱: مقایسه مقادیر GF60 و F60.

	نیروی جانبی	لغزش ثابت	چرخ قفل‌شده
میانگین تفاضل مطلق	۰/۰۲۸	۰/۰۳۳	۰/۰۳۰
ضریب همبستگی	۰/۹۳۸	۰/۹۰۸	۰/۹٤۰
انحراف معیار	۰/۰٤۰	۰/۰٤۲	۰/۰٤٥

۲-٤-٤. نتیجه‌گیری

یافته اصلی آزمایش بین‌المللی، پیشنهاد شاخصی مشترک و مشخص به نام شاخص بین‌المللی اصطکاک (IFI) است که باید از این پس در همه اندازه‌گیری‌های اصطکاک راهها و باندهای پرواز و با یک خطای قابل قبول (۰/۰۳± عدد اصطکاک) گزارش شود. IFI شامل دو عدد F60 و Vp است که از میانگین عمق نیمرخ بافت و اغلب مقادیر اصطکاک محاسبه‌شده با سیستم‌های شرکت‌کننده در آزمایش بین‌المللی مشتق شده‌اند. دو کمیت مزبور باید در تمامی مطالعات اعم از بررسی تصادفات، مدیریت عملیات تعمیر و نگهداری، عملیات بهره‌برداری فرودگاه و غیره استفاده شوند. ارایه IFI در هر گزارش مطالعاتی، نتایج مطالعه را در سراسر جهان، قابل استفاده و مفید می‌کند.

ضمن تحقق چهار فعالیت پیش‌بینی‌شده، بعضاً مزایای بیشتری نسبت به آنچه پیش‌بینی می‌شد، کسب گردید. مزایای مستقیم و غیر مستقیم ناشی از این موفقیت عبارتند از:

- ادارات راه و مقامات مسؤول فرودگاه‌ها، قادرند که خود را با یک استاندارد بین‌المللی وفق دهند، بدون آنکه ناچار باشند روش‌های کنترل فعلی یا اطلاعات تجربی و سوابق خود را جایگزین کنند.
- سیستم‌های مختلف، قابل مبادله خواهند بود.
- تولیدکنندگان قادرند از طریق مشخصات استاندارد، محدوده توزیع محصولات خود را گسترش دهند.
- پیمانکارانی که می‌خواهند در خارج از کشور فعالیت کنند، قادرند خود را با مشخصاتی که بر مبنای روش‌های کنترل محلی هستند، وفق دهند.
- سازندگان تجهیزات آزمایشگاهی، گسترش بازار خود را می‌بینند.

- متخصصین و محققین، معلومات بیشتری در مورد مقاومت لغزشی و تأثیر بافت کسب می‌کنند.
- کاربران راه و فرودگاه، قادرند گزارش‌هایی از وضعیت اصطکاک در یک مقیاس یکسان در کشورهای مختلف به دست آورند که از نظر بهبود ایمنی، مفید خواهد بود.

۲-۵. تدارک یک آزمایش بین‌المللی برای مقایسه دستگاه‌های اندازه‌گیری بافت طولی و عرضی

در گذشته، مطالعاتی برای مقایسه دستگاه‌های اندازه‌گیری هموارى طولی انجام شده است. قابل توجه‌ترین آنها، آزمایش بین‌المللی ناهمواری راه (IRRE)[1] بانک جهانی برای وضع استانداردهای کالیبراسیون و همبستگی است [۱۸ و ۱۹]. این آزمایش در سال ۱۹۸۲ در برزیل انجام شد و همه انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری هموارى در آن شرکت داشتند. در این آزمایش، شاخص بین‌المللی ناهمواری (IRI)[2] معرفی شد.

از سال ۱۹۸۲، تجهیزات جدیدی به بازار آمد که نیمرخ‌های طولی، عرضی و عمق شیارشدگی جای چرخ را اندازه‌گیری می‌کنند. لذا ضروری است که علاوه بر به‌روزرسانی مطالعه مزبور، نیمرخ عرضی نیز لحاظ گردد.

به همین دلیل کمیته تخصصی C1، فرصت را مغتنم شمرد تا شرایط را برای یک آزمایش بین‌المللی جدید در زمینه نیمرخ‌نگار بررسی کند (برای اجرا بعد از کنگره مونترال).

هدف کلی این آزمایش، هماهنگ‌سازی روش‌های مختلف رسم نیمرخ بافت سطح روسازی در کشورهای مختلف جهان بود. برای این منظور، انجام فعالیت‌های زیر ضروری بود:

- توسعه و بررسی روابط بین نیمرخ‌های طولی (و پس از آن عرضی) به‌دست‌آمده از دستگاه‌های مختلف اندازه‌گیری بر حسب تغییرات پارامترهای فیزیکی مثل بافت، سرعت، اقلیم و نوع روسازی و ... .
- کمّی کردن روابط بین پارامترهای هموارى طولی محاسبه‌شده از نیمرخ‌های دستگاه‌های مختلف در شرایط خاص برای تسهیل مبادله و هماهنگ‌سازی اطلاعات فنی.
- کمّی کردن روابط بین پارامترهای نیمرخ عرضی (شیب عرضی، شیارشدگی و غیره) محاسبه‌شده از دستگاه‌های مختلف در شرایط تعریف‌شده به منظور تسهیل مبادله و هماهنگ‌سازی اطلاعات فنی.
- کمّی کردن تکرارپذیری و خطاهای اندازه‌گیری (هم خطای تکرار و هم خطای دقت) هر دستگاه. سنجش درصد نمونه‌گیری یا اندازه نمونه لازم برای دستیابی به دقت قابل قبول در هر دستگاه اندازه‌گیری صورت خواهد گرفت.

1. International Road Roughness Experiment
2. International Roughness Index

۳. تأثیر متقابل وسیله‌نقلیه/ راه

یک حوزه تبادلی میان مهندسین صنعت خودرو و راه

پیشگفتار

همان طور که در مراکش (سال ۱۹۹۱) عنوان شد، پیارک در تلاش است تا درک دوجانبه مهندسان وسیله‌نقلیه و راه را در پیشبرد صنعت حمل‌ونقل گسترش دهد. بسیاری از فعالیت‌های کمیته تخصصی C1 نیز در این راستاست که از آن جمله آزمایش‌های تأیید مشخصات راه در شرایط واقعی می‌باشد.

البته این حرکت به طور موازی با صنعت خودروسازی و صنایع وابسته آن صورت گرفته است، ضمن آن که دولت‌ها نیز از نظر بهبود ایمنی و کاهش تخریب محیط زیست به آن علاقمندند. چنین حرکت‌هایی را می‌توان در فعالیت‌های اتحادیه اروپا مشاهده کرد که از آن جمله، وضع قوانینی برای استفاده از یک استاندارد مشخصات سطح راه ایزو در مورد سروصدای لاستیک می‌باشد.

این فصل به بحث درباره فعالیت‌های تحقیقاتی در زمینه ارتباط وسیله‌نقلیه و اجزای آن با مشخصات راه از دیدگاه تأثیر احتمالی بر بهبود حمل‌ونقل جاده‌ای می‌پردازد.

همچنین اطلاعات جدیدی در مورد مشخصات جاده‌های با سطح خیس و ارتباط با تصادفات و تبعات مالی آن ارایه می‌شود.

۳-۱. مقدمه

C1 پیش از این، گزارش کاملی از نظرسنجی از سازندگان وسایل نقلیه و لاستیک در مورد انتظار آنان از یک رویه مطلوب به ترتیب اهمیت ارایه کرده بود [۲۵].

سیستم مدلسازی در چرخه تولیدات صنعت خودروسازی، روز به روز توسعه می‌یابد. چرخه قدیمی ساخت نمونه اولیه، آزمایش و در نهایت ارایه به بازار، تحت عنوان ساخت و آزمایش، روز به روز جای خود را به چرخه جدیدی می‌دهد که در آن، فرق چندانی بین نمونه اولیه و محصول معرفی‌شده به بازار وجود ندارد. فعالیت‌ها و تحقیقات مستمری در مؤسسات صنعتی و دانشگاهی در زمینه مدلسازی پایداری و هدایت وسیله‌نقلیه و مدلسازی لاستیک صورت می‌گیرند. در حال حاضر، استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری همچون ADAMS، بسیار گسترش یافته و هر روزه، مدل‌های پیچیده‌تری از لاستیک به بازار معرفی می‌شوند و تعیین گشتاور و نیروی واقعی لاستیک با تجهیزات آزمایشگاهی پیشرفته‌ای همچون "Flat Trac" (نشان تجاری یکی از محصولات شرکت MTS، شرکت تولیدکننده تجهیزات آزمایشگاهی) امکان‌پذیر شده است.

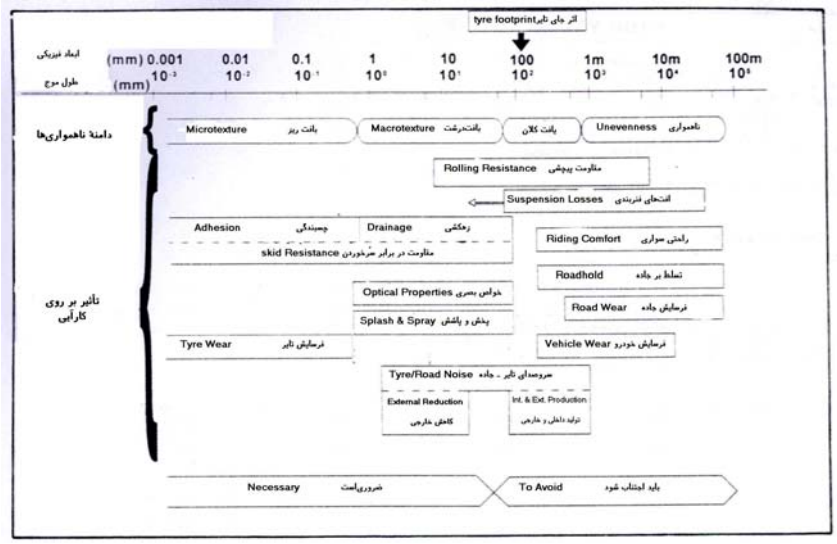
داده‌های پیچیده مربوط به لاستیک در حال تبدیل به منحنی‌ها و ثابت‌هایی مثل ثابت PACEJKA هستند و با ابتکار دانشگاه دلفت هلند، صنایع لاستیک و خودروسازی در حال همکاری با یکدیگر در یک تشکل واحد می‌باشند. SMITHERS نیز در حال ارایه یک مدل پیشرفته لاستیک با استفاده از نرم‌افزار ADAMS و داده‌های Flat Trac می‌باشد.

مدلسازی لاستیک و وسیله‌نقلیه پیشرفت می‌کند، اما در خصوص معرفی تأثیر غالب مشخصات بافت راه در این مدل‌ها، اقدامات به نسبت اندکی گزارش شده‌اند [۲۰] که از آن جمله، مدلسازی بافت راه در زمینه ارتباط چسبندگی راه‌های دارای سطح مرطوب با بافت درشت و ریز رویه در دانشگاه ایالتی پنسیلوانیاست. همچنین برنامه‌های تحقیقاتی دیگری در اداره فدرال راههای ایالات متحده آمریکا (FHWA)[1]، آزمایشگاه تحقیقات حمل‌ونقل (TRL) و شرکت لاستیک‌های SP در حال اجرا هستند (سال ۱۹۹۵). این شرکت، کار مطالعه پایداری وسیله‌نقلیه/ لاستیک در حدود چسبندگی، بر حسب داده‌های درشت‌بافت را در دست اجرا دارد (سال ۱۹۹۵).

۳-۲. بازنگری انتظارات صنعت خودروسازی از صنایع راه و لاستیک

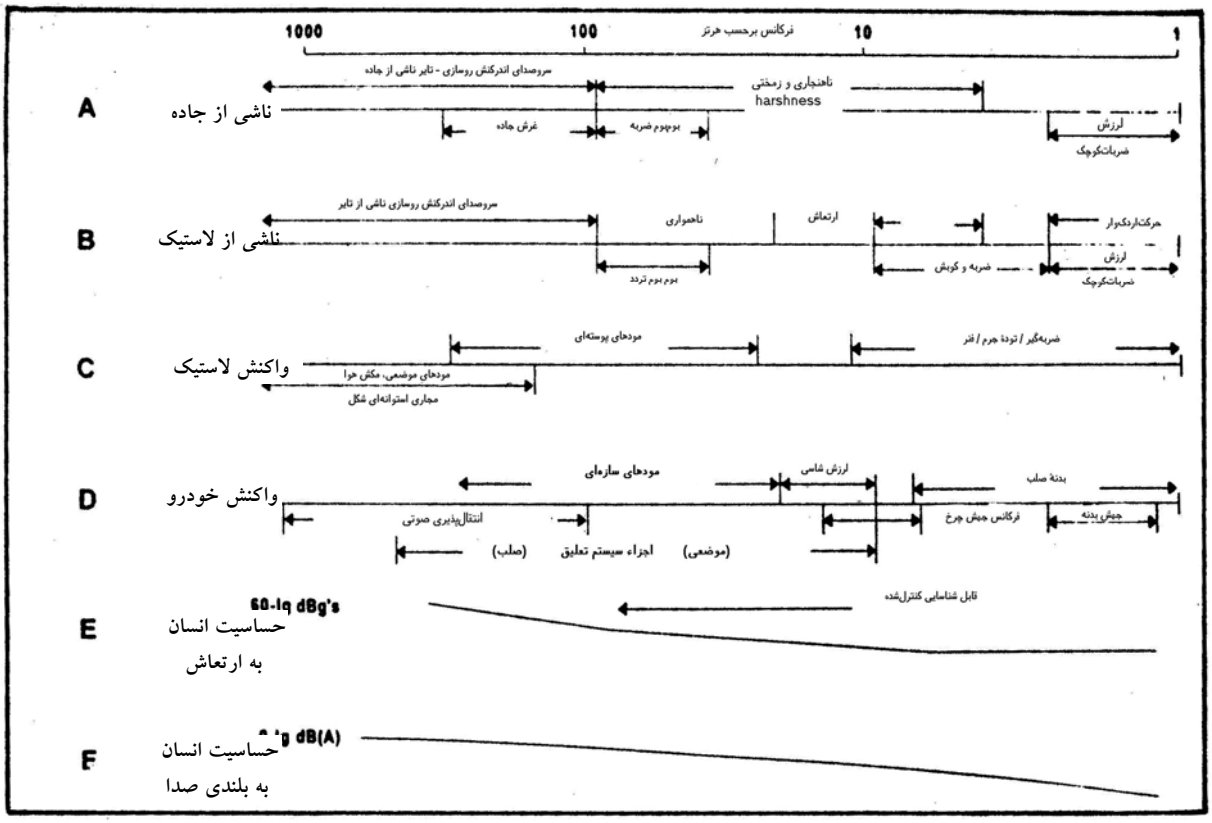
معمولاً دستیابی به جزییات کامل طراحی و آزمایش‌های مورد نیاز مدل‌های لاستیک و وسیله‌نقلیه، بدون هماهنگی بین سازندگان آنها میسر نیست. از طرفی، داده‌ها و اطلاعات مربوط به بافت سطح راه، نظیر بانک اطلاعاتی آزمایش بین‌المللی پیارک در زمینه بافت و اصطکاک یا آنچه از طریق ابزارهای مدرن تهیه و ارایه می‌شود، روز به روز متقاضیان بیشتری پیدا می‌کند. قطعاً آزمایش‌ها و تجارب جدید در زمینه ناهمواری طولی و عرضی و سروصدا، در شناخت اثرات بافت رویه راه بر لاستیک و وسیله‌نقلیه بسیار مفید خواهند بود.

پیارک دانش و اطلاعات در زمینه تأثیر متقابل بافت راه و رفتار لاستیک/ وسیله‌نقلیه را گسترش و ارتقا داده است. در شکل‌های (۳-۱) (که به‌روزشده شکل دیگری است [٤]) و (۳-۲)، این روابط بر حسب تواتر و اصطلاحات مختلف به‌کاررفته در صنایع مرتبط نمایش داده شده‌اند. حرکت به سوی یکپارچه‌سازی دانش و معلومات در این زمینه، برای پیشرفت سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای ضروری است و پیچیدگی و فقدان رابطه منطقی بین آنها، ایجاب می‌کند تا مشارکت و همیاری مهندسی راه و وسیله‌نقلیه بیشتر شود.



شکل ۳-۱: تأثیر متقابل نامنظمی‌های رویه راه و رفتار لاستیک یا وسیله‌نقلیه [٤].

1. Federal Highway Administration



شکل ۳-۲: سروصدا و ارتعاش ناشی از تأثیر متقابل وسیله‌نقلیه - لاستیک - سطح راه.

شاید توسعه سیستم‌های تعلیق (فنربندی) فعال و نیمه فعال، ترمز ABS، سیستم‌های کنترل لغزش و غیره را بتوان به عنوان واکنش‌های مهندسی خودروسازی به کاستی‌های راه تلقی کرد. بکارگیری سیستم‌های گران‌تر نیز قطعاً کاربرد چندانی ندارد، زیرا هزینه چنین سیستم‌های پیشرفته‌ای را مالک وسیله‌نقلیه می‌پردازد، لذا حداقل ۲۰ سال طول می‌کشد تا درصد قابل ملاحظه‌ای از خودروها به این سیستم‌ها مجهز شوند.

در حال حاضر، قسمتی از خرابی راهها ناشی از تبدیل روزافزون لاستیک‌های کامیون‌ها از اندازه بزرگ گرفته تا کوچک، به لاستیک‌های رادیال سیمی و گسترش استفاده از چرخ‌های کوچک با لاستیک‌های پهن است که سبب افزایش سطح تماس لاستیک و راه و در نتیجه، افزایش خرابی سطح راه می‌شود [۲۱]. در برخی از کشورهای اروپایی و آمریکا نیز، بررسی‌هایی درباره خصوصیات خرابی سازه راه در ابعاد مختلف در حال اجرا هستند. اطلاعات تمامی این موارد را باید به صنایع ساخت لاستیک، سیستم تعلیق و کامیون انتقال داد تا قبل از ساخت و معرفی هر محصول جدیدی، بتوان مقبولیت آن را با مدلسازی ارزیابی کرد. در اینجاست که مفهوم آزمایش تأیید رسمی برای کامیون‌های سنگین، معنا می‌یابد. بنابراین لازم است متخصصین صنایع ساخت اتومبیل و لاستیک، دانش و معلومات بیشتری درباره تأثیر مشخصات فنی راه بر لاستیک، سیستم تعلیق و وسیله‌نقلیه از نظر ایمنی و هزینه‌های راهبری داشته باشند. این موضوع از دیرباز، یکی از حوزه‌های همکاری مهندسین اتومبیل، لاستیک و راه معرفی شده است.

۳-۳. اقداماتی برای گسترش ارتباط صنایع خودروسازی، لاستیک و راه

امروزه شاید بتوان گرایش به سمت شناخت و بسط بیشتر ارتباط تولیدکننده و مصرف‌کننده را در صنعت راه مشاهده نمود که از نمونه‌های آن، توسعه سیستم‌های اخذ عوارض در فرانسه است که یک سیستم تجاری است و از نتایج آن می‌توان به وضع استانداردهای فنی بالاتر برای راهها اشاره نمود.

در سال‌های اخیر، سه کنفرانس پایه مهندسی با مشارکت مهندسان شاخه‌های مختلف علمی در جهان برگزار شده که از اهداف آنها، نزدیکی و گسترش ارتباط متخصصین این رشته‌ها بوده است. کمیته‌های ASTM در آمریکا نیز برای چندین سال، کارگاه‌های آموزشی چند رشته‌ای با شرکت مهندسان صنعت لاستیک و راه را برگزار کرده است.

در این زمینه، C1 نیز بعد از اولین میزگرد کنگره نوزدهم، پیشنهاد داد تا طی کنگره بیستم، یک کنفرانس- تبادل‌نظر با شرکت متخصصین صنایع مرتبط برگزار شود.

در حال حاضر باور بر این است که حرکت‌های مثبتی برای ارتقای شناخت رفتار وسیله‌نقلیه، لاستیک و راه وجود دارد. آن چه در حال حاضر مورد نیاز است، جداسازی مستمر مشخصات عملکردی راه و تقسیم وظایف منطقی اجزای این سیستم‌های به هم وابسته می‌باشد.

۳-٤. سروصدای لاستیک – سطح راه از دیدگاه صنعت لاستیک‌سازی

از سال ۱۹۷٦، همه خودروهای جدید در کشورهای اتحادیه اروپا ملزم شده‌اند که قبل از ورود به بازار، از نظر ایجاد سروصدا در آزمایش تأیید نوع خودرو[1] بررسی شوند تا سروصدای آنان از حد مجاز بیشتر نباشد. از آن تاریخ تاکنون، حداکثر سروصدای مجاز بسته به نوع وسیله‌نقلیه، بین dBA ۸-۱۲ کاهش یافته است و کاهش بعدی نیز در سال ۲۰۰۰ خواهد بود (سال ۱۹۹۵- زمان چاپ این گزارش). وضع این قوانین توسط کمیسیون اروپا و با حضور نمایندگان صنایع خودرو و لاستیک‌سازی، مؤسسات تحقیقاتی، آزمایشگاهی و استاندارد در اروپا صورت می‌گیرد.

قوانین مزبور منجر به تولید وسایل نقلیه کم‌صداتری شده، ولی نشانه‌های کاهش سروصدای ترافیک اندک هستند. شاید این امر ناشی از افزایش شدت ترافیک، افزایش سرعت وسایل نقلیه یا عدم پیشرفت مهندسان راه و لاستیک در این زمینه باشد. در حال حاضر، توجه به سروصدای لاستیک و راه بیشتر شده، زیرا پس از سروصدای خود وسیله‌نقلیه، بیشترین سهم را تولید سروصدای کل ترافیک دارد. برای حداقل کردن این سهم، ایزو پیشنهاد استفاده از یک رویه استاندارد در آزمایش‌های تأیید خودرو را داد. رویه‌های دیگری نیز برای آزمایش‌های مختلف خودرو – راه پیشنهاد شد که توسط C1 بررسی شده و در مرجع [۲٤] آمده است. آزمایش‌های خاصی نیز برای سروصدای وسایل نقلیه کندرو و پرشتاب نیاز است تا شرایط ترافیک درون‌شهری را عیناً در برگیرند.

---

1. Vehicle Type Approval Test

این وضعیت بغرنج، کمیسیون اروپایی را به چالش کشید (جدول ۳-۱) که موجب معرفی رویه استاندارد ایزو شد و پیشنهاد گردید یک آزمایش تأیید مخصوص سروصدای لاستیک نیز برقرار گردد. همبستگی رویه‌های مختلف استاندارد ایزو که تاکنون به کار رفته، حاکی از تحقق و اشاعه نتایج آن است. توجه ویژه‌ای نیز به محدودیت‌های شرایط آب‌وهوایی شده که دریچه‌ای به سوی آزمایش قابل قبول بسیاری از میادین آزمایشی باز می‌کند. مطالعات بیشتری در این زمینه‌ها در حال اجرا هستند.

جدول ۳-۱: بخشنامه کمیسیون اروپا درباره سروصدای وسایل‌نقلیه.

سال	کامیون	اتومبیل
۱۹۷۵	dBA 91	dBA 82
۱۹۸۰	dBA 87	dBA 80
۱۹۸۸	٤dBA 8	dBA 77
۱۹۹۵	dBA 80	٤dBA 7

البته مشکلاتی نیز وجود دارند که به طور خلاصه، پیامدهای احتمالی این وضعیت را بررسی می‌کنیم. برای مثال، فرض کنید یک وسیله‌نقلیه به خاطر نوع لاستیک آن، در آزمایش تأیید مردود شود. از آنجا که شرایط آزمایش وسیله‌نقلیه و لاستیک متفاوت می‌باشند، ممکن است لاستیک در آزمایش تأیید مخصوص سروصدای لاستیک قبول شود. متأسفانه تاکنون، تعریف روشنی از دامنه اندازه لاستیک در پیش‌نویس قانون ارایه نشده و لذا ممکن است همه سایزهای یک نمونه تجاری به خاطر مردودی یک سایز آن در آزمایش تأیید نشوند. از دیگر موضوعات سؤال‌برانگیز، تأثیر پهنای لاستیک است که مسأله بالا را پیچیده‌تر می‌کند.

همه لاستیک‌های مدل جدید از اکتبر ۱۹۹۵ و تمامی مدل‌های موجود از اکتبر ۱۹۹٦ ملزم هستند که پیش از عرضه به بازار، نمره قبولی از آزمایش حاشیه‌ای[1] (اندازه‌گیری سروصدا از کنار راه در حالت حرکت خودرو با موتور خاموش) با سرعت بالا را کسب کنند. تا این زمان نیز، حدود مشخصی برای قبولی در آزمایش حاشیه‌ای منتشر نشده‌اند، اما مقادیر ٤dBA 7 برای اتومبیل‌ها و dBA ۷۸ برای کامیون‌ها پیشنهاد گردیده‌اند.

با توجه به بافت درشت نسبتاً کمی که در رویه استاندارد ایزو به کار رفته، سروصدای غالب در آزمایش حاشیه‌ای، مربوط به بافت رویه لاستیک خواهد بود. لذا ممکن است لاستیک‌سازان برای رفع این نقیصه، طرح‌هایی در ساخت رویه‌های لاستیک به کار برند که منجر به کاهش چسبندگی لاستیک در جاده‌های مرطوب شود. بدین دلیل، بعضی از کشورها به دنبال برقراری یک آزمایش تأیید مخصوص چسبندگی لاستیک در جاده‌های مرطوب نیز می‌باشند.

هر گونه آزمایش‌های قانونی در خصوص لاستیک، نیاز به امکانات و تجهیزات پیشرفته دارد که داده‌های با دقت مورد نیاز و قابل تکثیر را فراهم می‌سازند. تأسیس مراکز صنعتی در این راستا، بهتر از بکارگیری خود

1. Coast-By Test

شرکت‌هاست. وضعیت لاستیک‌های با رویه تعویض‌شده، واردات لاستیک به اروپا و فروش لاستیک‌های دست‌دوم، همچنان نامشخص است.

تحقیقات نشان می‌دهند که بافت سطح راه در بسیاری از راهها، عامل اصلی تولید سروصداست. بنابراین منطقی است که در گام بعدی برای کاهش سروصدای لاستیک – راه، یک آزمایش ویژه برای تأیید مصالح رویه راه نیز صورت گیرد. در بررسی علل ایجاد سروصدای لاستیک – راه، ابتدا باید رویه‌های با ناهمواری کم را در نظر داشت.

مؤثرترین عامل ایجاد سروصدای لاستیک – راه، بافت سطح راه است که منشأ حدود dBA ۱۲ است و پس از آن سرعت بالاتر از حد معمول است که حدود dBA ٦ یا بیشتر بر روی بعضی راهها، ایجاد سروصدا می‌کند. عوامل بعدی به ترتیب پهنای لاستیک، بافت رویه لاستیک، درجه حرارت پیرامون و قابلیت تجدید آزمایش هستند.

سروصدای لاستیک – راه با افزایش پهنای لاستیک زیاد می‌شود، به طوری که با افزایش پهنای یک لاستیک صاف از ۱۳۵ به ۲۱۵ میلی‌متر، سروصدای ایجادشده حدود dBA ٤ افزایش خواهد یافت. همچنین لاستیک‌های زمستانی و چهار فصل نسبت به یک لاستیک صاف، به ترتیب حدود dBA ٤-۳ و dBA ۳-۲ سروصدای بیشتری ایجاد می‌کنند.

بر روی یک راه با سطح صاف که مکانیسم تولید سروصدا به رویه لاستیک ارتباط دارد، نقاط شروع و پایان تماس لاستیک و راه مهم هستند. در نقطه شروع تماس، آج‌های رویه لاستیک به سطح راه ضربه زده و اثر شیپوری[1] را تشدید می‌کنند. جابجایی‌های بسیار کوچک آج‌های لاستیک، سبب به وجود آمدن یک سری مجاری استوانه‌ای‌شکل در شیارهای رویه لاستیک شده و پدیده مکش هوا رخ می‌دهد. ممکن است که هر کدام از این مکانیسم‌ها، با قسمت‌های شاخی‌شکل (نوک‌تیز) به‌وجودآمده در جلو، عقب و شاید کناره‌های سطح تماس لاستیک با راه تشدید شوند. نقطه پایان تماس راه و لاستیک نیز یک حالت رهاشدگی[2] ایجاد می‌شود که به اثر شیپوری عقب سطح تماس کمک می‌کند.

سازه لاستیک به جز پهنای آن، تأثیر چندانی در ایجاد سروصدا ندارد، اگر چه ثابت شده که بافت رویه راه یا لاستیک، موجب پیچش صدا در داخل لاستیک می‌شود. طراح می‌تواند سروصدای لاستیکی با پهنای ثابت را با تغییر زاویه تماس لاستیک و راه در نقاط ابتدا و انتهای تماس کاهش دهد. این کار با کاهش سختی آج‌ها از طریق تعبیه مجراهایی در ساختار آج یا کم کردن آج‌ها و یا با کم کردن پهنای شیارهای طولی و عرضی رویه لاستیک، تا حدی که تأثیر قابل ملاحظه‌ای در انتقال آب نداشته باشد، انجام داد.

طیف سروصدا بر روی سطحی همچون رویه استاندارد ایزو که بافت درشت اندکی دارد یا رویه‌های آسفالتی مشابه، متشکل از هارمونی‌های رویه لاستیک با تواترهای بحرانی است که با سرعت افزایش می‌یابد. تشدیدهایی نیز ناشی از شکل و اندازه حفره‌های هوا و رویه لاستیک رخ می‌دهد.

---

1. Horn Effect
2. Snap Out

تأثیر ساختمان لاستیک، کوبش یا تشدیدهای ناشی از حفره‌های هوای داخلی می‌باشد که در حال حاضر زیاد مهم نیستند. تشدیدهای مواد جانبی نیز به مکانیسم‌های تولید سروصدا مربوطند.

در آخر لازم به یادآوری است که برای کاهش سروصدای ناشی از لاستیک، باید به سایر خصوصیات لاستیک به ویژه ایمنی، آسیبی وارد نشود و پیشنهاد می‌گردد که در گام بعدی، آزمایش تأیید رویه راه از نظر ایمنی (و نه تنها سروصدا)، تعریف و برقرار شود.

۳-۵. مشخصات بافت راه و سیاست‌ها

در نظر بود که در این بخش، گزارش مبسوطی از نتایج بازنگری اطلاعات موجود درباره بافت سطح راه و ارتباط آن با عملکرد وسیله‌نقلیه، با تمرکز بر موضوع تصادفات ناشی از خیس بودن سطح راه ارایه شود. متأسفانه پاسخ‌های دریافتی از پرسش‌شوندگان در این زمینه بسیار محدود بودند (جدول ۳-۲).

این امر، نشان‌دهنده فقدان سیاست‌های اجرایی در این زمینه یا عدم علاقه به انتشار اطلاعات می‌باشد و جای تأسف دارد، زیرا بررسی‌های به‌عمل‌آمده در بریتانیا، کشوری که سیاست بهبود مستمر بافت راه را برای چندین سال است که اجرا می‌کند، حاکی از آن است که بازگشت سرمایه با کاهش تصادفات، نزدیک به پنج برابر می‌شود. در این کشور، تدابیر و سیاست‌ها بر مبنای درجه‌بندی ریسک تصادف در محل‌های مشخصی است که آمار تصادفات، ثبت و بهره‌برداری می‌شود و راهکار مقرون‌به‌صرفه‌ای نیز به شمار می‌رود. با در نظر گرفتن تعداد تصادفات در واحد مسافت، می‌توان نقاط مختلف یک بزرگراه دارای ترافیک سنگین را درجه‌بندی کرد. با آنکه اصلاح نقاط سیاه به سادگی امکان‌پذیراست، ولی باید در نظر داشت که اصلاح یک بزرگراه طویل و گسترده همواره ممکن نیست. در این حالت، شاید تکامل آسفالت زهکش متخلخل با دانه‌بندی مناسب در حل این معضل مفید باشد.

این نوع آسفالت، روز به روز طرفداران بیشتری در صنعت خودروسازی به دست می‌آورد [۲۲]. مشخصات آسفالت زهکش از لحاظ کاهش سروصدای لاستیک و جاده، به خوبی مستند شده است [۸] و ارزش آسفالت متخلخل در کاهش سروصدای ترافیک روز به روز بیشتر شناخته می‌شود. حذف پاشش و توان ارتقای چسبندگی راههای با سطح خیس همراه با اجرای ساده و پیشرفته، دلایل اصلی گرایش سازندگان خودرو به سمت حمایت از اجرای چنین سطوحی در آزادراهها می‌باشد. از دید صنعت خودروسازی، وجود آزمایش تأیید رویه راه در استانداردهای بین‌المللی آینده اجتناب‌ناپذیر است.

جدول ۳-۲: چکیده تدابیر و سیاست‌های کشورهای مختلف در زمینه اصطکاک راههای با سطح خیس.

نام کشور	چکیده سیاست
استرالیا	مستقیماً بر اساس تدابیر و سیاست‌هایی است که در بریتانیا به کار می‌روند.
بلژیک	راههای جدید باید دارای حداقل اصطکاک ۰/٤٥ در سرعت ۸۰ km/h برای راه‌های اصلی و در سرعت ۵۰ km/h برای سایر راهها (اندازه‌گیری‌شده با اودولیوگراف) باشند. سنجش در سایر راهها با استفاده از SCRIM[1] صورت می‌گیرد و بافت مشخصی معرفی نشده است.
فرانسه	در لایه پوششی (فوقانی) راههای جدید، باید دانه‌بندی مطابق با مشخصات فنی به کار رود. همه درشت‌بافت‌ها نیز باید طبق مشخصات فنی باشند. کنترل بافت و اصطکاک راههای در حال بهره‌برداری با SCRIM و RUGOLASER (ناهمواری‌سنج لیزری) در سرعت ٦۰ km/h تعیین می‌شود.
آلمان	سنجش راهها با SCRI M صورت می‌گیرد و حدود مجاز مشخصی ندارد.
مجارستان	سنجش راههای جدید با SCRIM است و حداقل حدود مجاز، تعیین شده ولی منتشر نشده است.
ژاپن	ضریب اصطکاک ۰/۳ در سرعت ٦۰ km/h برای جاده‌های کلاس A و ۰/۲ در سرعت ۸۰ km/h برای بزرگراه‌ها (سنجش با لاستیک‌های صاف انجام می‌شود) [١٤]
اسپانیا	هر یک تا دو سال، سنجش با SCRIM صورت می‌گیرد و درصورت پایین‌تر بودن از حد مجاز، اقدامات اصلاحی انجام می‌شود.
سوئد	مقادیر اندازه‌گیری‌شده با لغزش‌سنج ۱۱BV[2] یا اصطکاک‌سنج SAAB[3] و با روش ارایه‌شده در دستورالعمل تعیین اصطکاک رویه راه (VVMB,104:1990) اداره کل راه و ترابری سوئد، نباید از ۰/۵ کمتر شود.
بریتانیا	مقادیر اصطکاک با SCRIM اندازه‌گیری می‌شود؛ بر اساس درجه‌بندی ریسک تصادف، منتشر شده و طی مراحلی تعمیر یا تعویض رویه‌ها انجام می‌شود.
آمریکا	هر ایالت برنامه کاهش لغزش خاص خود را دارد که توسط اداره فدرال راههای ایالات متحده آمریکا به آنها دیکته شده است. همه داده‌ها نیز با آزمایش سیستم چرخ‌قفل‌شده (ASTM E-274) به دست می‌آیند.

1. Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Machine(SCRIM)
2. Skidometer
3. Saab Friction Tester

٤. مروری بر آخرین پیشرفت‌ها در طراحی رویه‌های کم‌سروصدا

٤-١. چرا باید به تأثیر سطح راه بر سروصدای ترافیک توجه داشت؟

اتحادیه اروپا در مطالعه‌ای که اخیراً انجام داد، تأثیر منابع مختلف آلودگی صوتی بر مردم اروپا را برآورد نمود [٢٦]. نتایج حاکی از آن بودند که سروصدای ترافیک، مهمترین عامل آلودگی صوتی محیط زیست می‌باشد و حدود ١٢٥ میلیون نفر از ١٨٦ میلیون شهروند اروپایی، مزاحمت‌های صوتی را به ترافیک جاده‌ها نسبت دادند. علاوه بر این باید اضافه کرد که مزاحمت صوتی به طور کلی، اثرات مخربی همچون ایجاد پارازیت در ارتباطات، اختلال خواب و اثرات مختلف جسمی - روحی از بیماری‌های قلبی - عروقی گرفته تا اختلالات روانی در انسان را به دنبال دارد.

حال که سروصدای ترافیک تا این اندازه بر کیفیت محیط زیست زندگی ما تأثیرگذار است، پس هر اقدامی برای کاهش آن نه تنها موجه بلکه ضروری است. این کار ساده نیست و قطعاً برای هر راه‌حل اساسی، لازم است مکانیسم‌های مختلف تولید سروصدا را با توجه به قدرت منبع سروصدا رتبه‌بندی کرده و سپس، سروصدای غالب را کاهش داد. در مورد سروصدای ترافیک جاده‌ها به نظر می‌رسد سروصدای خودرو همواره منبع اصلی و غالب آلودگی صوتی نیست و سروصدای غالب در هنگام شب ناشی از تماس لاستیک و سطح راه است. این مسأله در سرعت‌های بالای ٥٠ km/h، مشهود است. در نتیجه در چنین شرایطی، اولویت مقابله با آلودگی صوتی ناشی از آمدوشد خودروها، به کاهش سروصدای لاستیک - راه اختصاص دارد.

از آنجا که هم لاستیک و هم سطح راه در ایجاد این سروصدا دخالت دارند لذا باید اقدامات لازم در مورد هر دوی آنها صورت گیرند. در این فصل، عمدتاً به اقدامات مربوط به سطح راه پرداخته می‌شود، ضمن آن که در بخش ٤-٦، به مسأله تأثیر متقابل لاستیک - راه و طراحی لاستیک‌های کم‌سروصدا اشاره شده است.

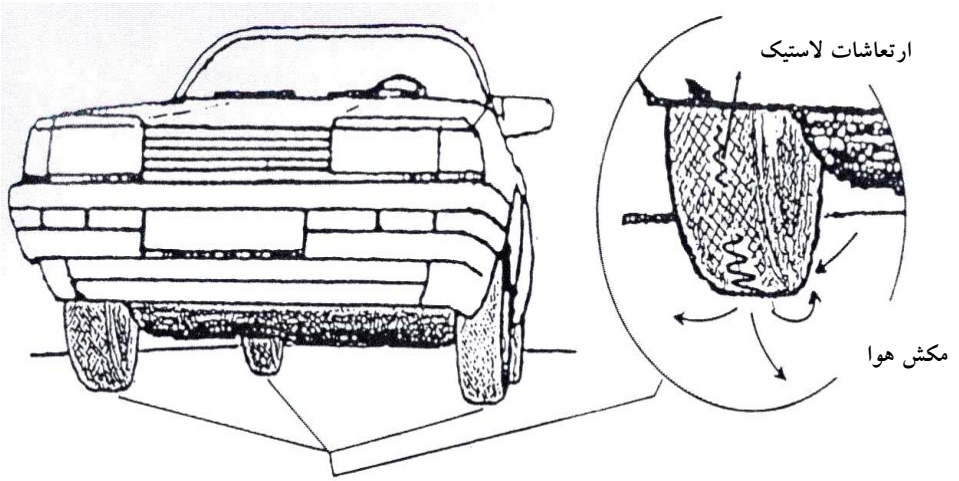
٤-٢. مکانیسم‌های تولید سروصدا

مکانیسم‌های اصلی ایجاد سروصدای لاستیک - راه، مکش هوا و ارتعاش لاستیک است. در شکل (٤-١)، هر دو مکانیسم نشان داده شده است. سروصدای مکش هوا که ناشی از اختلاف فشار دو لبه ابتدایی و انتهایی سطح تماس لاستیک و سطح راه است و ارتعاش لاستیک که ناشی از ناهمواری‌های سطح لاستیک و راه یا به عبارت دیگر، بافت سطح راه و نیمرخ سطح تماس‌یافته لاستیک با راه می‌باشد. باید توجه داشت که حتی با داشتن یک لاستیک و سطح راه کاملاً صاف نیز سروصدای لاستیک - راه به علت مکش هوا وجود خواهد داشت. در مرجع [٢٣]، کتب و مقالات فراوانی در ارتباط با این موضوع معرفی شده است.

از نظر سطح راه، عوامل زیر در ایجاد سروصدا دخیل هستند:

- طول موج‌های بین ١ تا ١٠٠ میلی‌متر از بافت سطح راه (شکل ٣-١)،
- امپدانس آکوستیک سطح راه، به ویژه ضریب جذب صدا (نشانه a) که از امپدانس در دامنه فرکانس‌های ١٢٥ هرتز تا ٤ کیلوهرتز مشتق می‌شود،
- امپدانس مکانیکی سطح راه در دامنه فرکانس‌های فوق.

بنابر اطلاعات موجود، امپدانس مکانیکی، تأثیر چندانی در ایجاد سروصدا در مصالح ساختمانی متعارف ندارد. لذا در این بررسی، بیشتر به دو مقوله بافت و جذب صوتی پرداخته شده است.



شکل ٤-١: سروصدای لاستیک – وسیله‌نقلیه که از ارتعاش لاستیک و مکش هوا ایجاد می‌شود.

٤-٣. کاهش سروصدا با طرح مناسب رویه راه

٤-٣-١. رویه‌های متراکم

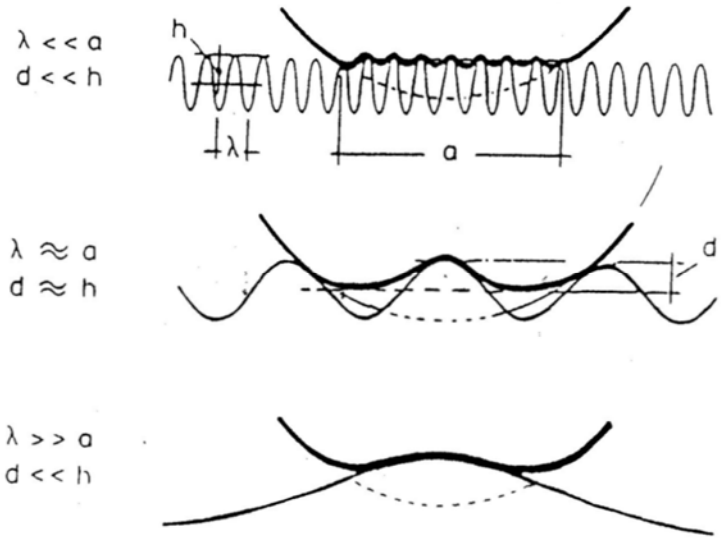
از نظر صوتی، رویه متراکم به رویه‌ای اطلاق می‌شود که مقدار حفره‌های هوای آن، قابل چشم‌پوشی باشد (کمتر از ۸٪). چنین رویه‌هایی به شدت بازتابنده هستند، به طوری که امپدانس صوتی آنها، بی‌نهایت و ضریب جذب صوتی آنها نزدیک به صفر است. در این حالت، ایجاد صدا منحصراً به بافت سطح راه بستگی دارد.

در پنج سال اخیر، فعالیت‌های انجام‌شده در خصوص بهینه‌سازی بافت سطح راه از نظر حداقل کردن صدای لاستیک – جاده، عمدتاً به راههای با رویه بتن‌سیمانی اختصاص داشته و مبانی تئوری این فعالیت‌ها نیز به کارهای SANDBERG و DESCORNET برمی‌گردد.

راهکار اساسی، تلاش در رساندن عمق بافت سطح راه به طول موج‌های حدود ۱۰ میلی‌متر و بیشتر و درشت‌بافت به طول موج‌های ۱۰-۲ میلی‌متر است. شکل(٤-٢)، به خوبی این موضوع را نشان می‌دهد. در شکل وسط، طول موج بافت سطح راه و لاستیک مساوی و حدود چند سانتی‌متر است و بنابراین، تغییر شکل لاستیک به حداکثر رسیده و به دنبال آن، ارتعاش لاستیک و سروصدای آن بالاست. در حالت‌های دیگر، تغییر شکل لاستیک کمتر است ضمن اینکه با کم کردن طول موج‌های بافت سطح راه (شکل بالایی)، هوای زیر لاستیک فرصت گریز داشته و لذا سروصدای مکش هوا نیز کاهش می‌یابد.

برای عینیت بخشیدن به این تئوری، اخیراً راههایی با رویه بتن‌سیمانی با دانه‌بندی نمایان و پوشش زبر با چسباننده اپوکسی طراحی و ساخته شده‌اند. برای کاهش بیشتر سروصدا و افزایش ایمنی، ماله‌کشی طولی نیز بر روی

سطح این راهها اجرا می‌شود. همچنین گزارش‌شده که برخی رویه‌های بتن‌سیمانی برس‌خورده و بتن‌آسفالتی متـراکم نوع SMA[1]، سروصدای نسبتاً کمی ایجاد می‌کنند.



شکل ٤-۲: تغییر شکل لاستیک به ازای سه بافت رویه با طول موج‌های متفاوت و دامنه یکسان (حداکثر تغییرشکل در $l = a$).

با توجه به تنوع سیستم‌های اندازه‌گیری، رده‌بندی این رویه‌ها و مقایسه با دیگر رویه‌های کم‌سروصدا همواره سـاده نیست، اما از نتایجی که اخیراً منتشر شده [۲۷و۲۸]، می‌توان گفت که:

- سروصدای حاشیه راه با استفاده از رویه‌های بتن‌سیمانی با دانه‌بندی نمایان (حداکثر اندازه دانـه ۸ mm) و روکش سطحی با چسباننده اپوکسی (با دانه‌های ۳ mm)، به محدوده سروصدای شـناخته‌شـده بـرای رویه‌های متراکم آسفالتی با دانه‌بندی ١٦-۰ میلی‌متر کاهش می‌یابد و بعضاً در سـرعت‌هـای خیلـی بـالا (بیش از ۱۲۰km/h) نیز بهتر عمل می‌کنند.
- برای رویه‌های بتن‌سیمانی برس‌خورده و SMA نیز نتایج مشابهی گزارش شده است.

البته، تقریباً همه تحقیقات انجام‌شده در مورد خودروهای سواری بوده اسـت. دربـاره خـودروهـای سـنگین، اطلاعات کمی در دسترس می‌باشد، اما نشانه‌هایی مبتنی بر سودمند بودن رویه‌های متـراکم بـرای ایـن خودروهـا در سرعت‌های پایین مشاهده شده است [۲۸].

کشورهای اتریش، بلژیک، فرانسه، آلمان و هلند در صدر کشورهای اروپایی مصرف‌کننده این روش هـستند، ضمن اینکه کشورهای اسپانیا، استرالیا، ژاپن و بریتانیا نیز اخیراً استفاده از این روش را گزارش کرده‌اند.

1. Stone Mastic Asphalt

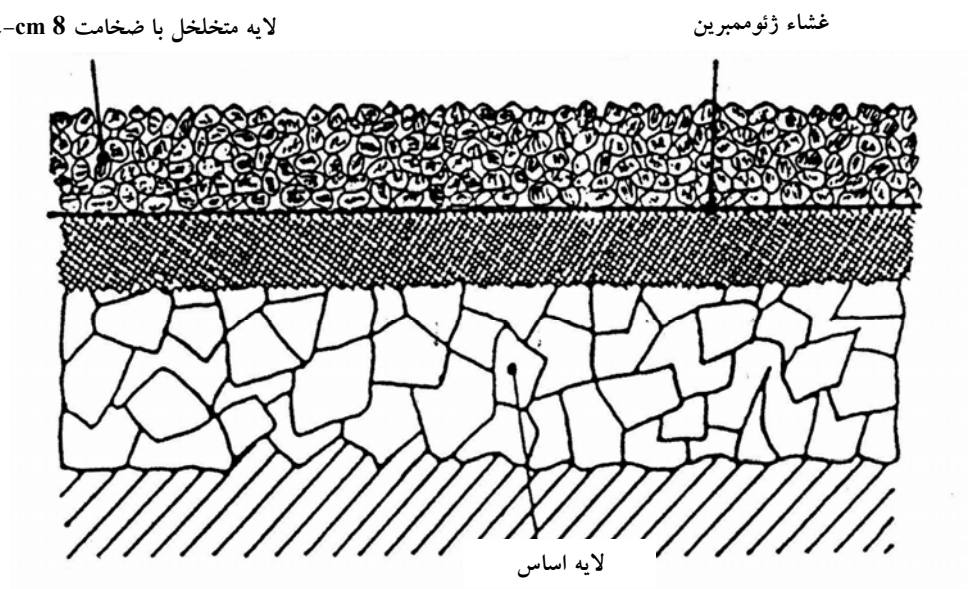
٤-۳-۲. رویه‌های نفوذپذیر

در رویه‌های نفوذپذیر (یا متخلخل یا زهکش) علاوه بر بافت سطح، خاصیت جذب صوتی رویه نیز در ایجاد سروصدا مؤثر است. به طور کلی، جذب صوتی از اهمیت بیشتری در این رویه‌ها برخوردار است و بعضاً به آن "*پاداش جذبی*[1]" نیز می‌گویند، زیرا نه تنها در کاهش صدای ناشی از مکش هوا و ارتعاش لاستیک تأثیر فراوانی دارد؛ بلکه از انتشار سروصدا نیز جلوگیری می‌کند.

هدف از طراحی این رویه‌ها، جذب حداکثر صدا در محدوده فرکانس‌های معمول ترازهای صوتی کنار راه است. مقدار این هدف را باید در محدودیت‌های طراحی در خصوص حداقل کردن هزینه و الزامات مهندسی راه جستجو کرد.

در این زمینه در چند سال اخیر، مفهوم "روکش سطحی متخلخل نازک[2]" به عنوان آینده‌دارترین نوع رویه کم‌سروصدا معرفی شده و در بسیاری از کشورها، به طور گسترده‌ای به کار رفته است (شکل ٤-۳).

مفهوم این رویه از دیدگاه مهندسی راه، همانند رویه‌های زهکش شناخته‌شده‌ای است که معمولاً از بتن آسفالتی ساخته می‌شوند [۸]. امروزه استفاده از این رویه‌ها، بسیار زیاد شده و اولین دلیل آن نیز، زهکشی و سروصدای کم این رویه‌ها است. اگر چه بنابر تجربیات اخیر، نمی‌توان گفت که هر رویه زهکشی، توانایی کاهش سروصدای تردد را نیز داشته باشد.



شکل ٤-۳: مفهوم قشر رویه متخلخل نازک برای رویه‌های کم‌سروصدا.

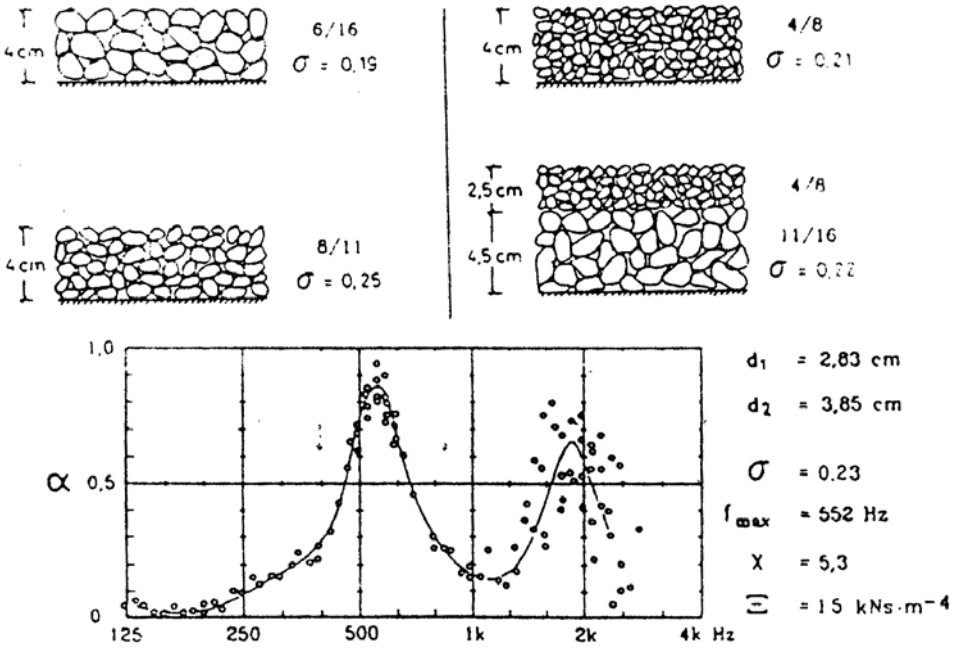
1. *Absorption Bonus*
2. *Thin Porous Surface Layer*

از دیدگاه صوتی، ساختار نمایش‌یافته در شکل(٤-٣)، به عنوان یک لایه متخلخل نازک بر روی یک قشر اساس بازتابنده صوت محسوب می‌شود. چگونگی جذب صوت چنین رویه‌هایی با تئوری کلاسیک مشخص می‌شود و مدل‌های تجربی ریاضی نیز از آن مشتق شده است [٢٩و٣٠]، به طوری که بتوان رویه‌های نفوذپذیر را با توجه به مشخصات صوتی معلوم، طراحی کرد [٣١]. پارامترهای مرتبط عبارتند از:

- تخلخل یا به عبارتی حفرات هوای موجود در مصالح قشر رویه (σ)،
- مقاومت جریان خاص؛ مقاومت مصالح در مقابل حرکت هوا از درون خود که با نسبت اختلاف فشار به سرعت هوا در واحد ضخامت قشر رویه بیان می‌شود (Ξ)،
- عامل سازه‌ای، یک عدد بدون بعد که نشان می‌دهد به چه میزانی، سرعت صوت درون قشر رویه از سرعت آن در هوا کمتر است (χ)،
- ضخامت قشر رویه (d).

از بین پارامترهای فوق، تخلخل و ضخامت قشر رویه مهمترند. تخلخل باید تا آنجا که ممکن است بالا باشد و در هر حال از ٢٠٪ بیشتر باشد تا رویه در اغلب فرکانس‌ها، قدرت جذب بالایی داشته باشد و ضخامت نیز باید به حدی باشد که حداکثر جذب را برای فرکانس‌های مورد نظر ایجاد کند.

در شکل(٤-٤)، نمونه‌هایی از رویه‌های بهینه‌شده نمایش یافته است، ضمن اینکه برای یکی از آنها، نمودار ضریب جذب بر حسب فرکانس نیز رسم شده است. سایر پارامترها نیز مشخص شده‌اند [٣١].



شکل ٤-٤: مثال‌هایی از رویه‌های متخلخل نازک و ضرایب جذب اندازه‌گیری‌شده بر حسب فرکانس برای ساختارهای‌دولایه.

با این تفاصیل، به نظر می‌رسد دانش فنی موجود در مورد جذب صوتی رویه‌های نفوذپذیر کافی است، ولی در مورد خواص بافت این رویه‌ها، کاستی‌هایی وجود دارد. به عبارتی تا کنون مشخص نیست که چه طیفی از بافت را می‌توان با رویه متخلخل ترکیب کرد تا سروصدای ترافیک به حداقل برسد (به بند ٤-٣-١)، ضمن اینکه حداکثر اندازه دانه نیز از ۸ میلی‌متر تجاوز نکند.

یک راه‌حل کمّی در باب موضوع چگونگی تأثیر توأماً بافت و جذب رویه‌های متخلخل در مرجع [۳۲] معرفی شده است. در این مقاله آمده است که سروصدای غیر قابل پیش‌بینی رویه‌های زهکش کلاسیک با حداکثر اندازه دانه ۸ mm و بیشتر، ناشی از اثرات بافت است. همچنین علت عملکرد ضعیف چنین رویه‌هایی در رانندگی با سرعت‌های کم (۷۰km/h و کمتر) نیز تشریح شده است.

به رغم روشن نشدن موضوع بافت، *رویه‌های متخلخل نازک* با جذب بهینه‌شده و حداکثر اندازه دانه ۸ mm برای ساخت راههای با روسازی کم‌سروصدا به کار می‌روند و تراز سروصدای حاشیه آنها در مقایسه با رویه‌های آسفالتی متراکم استاندارد با دانه‌بندی ١٦ mm-٠، به میزان ۵-۳/۵ دسی‌بل کمتر است. این مقدار کاهش، برای همه سرعت‌های ۱۳۰km/h-۵۰ قابل دستیابی است، در صورتی‌که ضخامت کلی لایه، حدود ۷ cm باشد (مشابه ساختار دولایه در شکل ٤-٤).

چنین کاهشی در لایه‌های نازک‌تر (d =٤-٥ cm) را فقط برای سرعت‌های بالا خواهیم داشت. تجارب سوئدی‌ها نشان می‌دهند که در جاده‌های با سرعت تردد بالا، ممکن است اندازه دانه‌ها به حد ۱۲-۱۰ mm افزایش یابد، بدون اینکه در کاهش سروصدا تأثیر گذارد [۳۳]. در شکل ٤-۵، نتایج مربوط به خودروهای سواری در سرعت‌های مختلف ارایه شده است (برای آشنایی با روش اندازه‌گیری به‌کاررفته، ٤-۵-۲).

اغلب تحقیقات و تجارب به‌دست‌آمده در زمینه این رویه‌ها، مربوط به مخلوط‌های آسفالتی است. البته در مورد این که چرا نمی‌توان این قواعد را برای مخلوط‌های بتن سیمانی به کار برد، یک دلیل اساسی وجود ندارد. تلاش‌هایی در این زمینه در کشورهای هلند، فرانسه و اخیراً در ژاپن و اسپانیا صورت گرفته‌اند و همگی از آینده‌ای روشن خبر داده‌اند، ولی مسایل فنی حل‌نشده فراوانی نیز آشکار کرده‌اند.

٤-٤. عملکرد درازمدت رویه‌های کم‌سروصدا

از بین دو نوع رویه‌های کم‌سروصدا، یعنی رویه‌های با بافت بهینه‌شده (عمدتاً از نوع بتن‌سیمانی) و رویه‌های با جذب صوتی بهینه‌شده، به نظر می‌رسد که دومی با عملکرد ضعیف‌تری در درازمدت مواجه باشد و همه کشورهایی که از این نوع رویه استفاده کرده‌اند به این موضوع اذعان کرده‌اند. تا زمانی که موضوع کارایی صوتی مد نظر است، مسایلی همچون گرفتگی حفرات ناشی از انباشته شدن ذرات آشغال یا توده‌های متراکم و مسایل تعمیر و نگهداری مربوط به آن را خواهیم داشت.

در ابتدا باید گفت که گرفتگی حفرات تا یک حد مشخص، لزوماً کارایی صوتی رویه را تضعیف نمی‌کند و فقط زمانی که حفرات به طور کامل مسدود شدند، عمل زهکشی به شدت مختل می‌شود. مقادیر جریان زهکشی و

تراز سروصدای حاشیه راه، همیشه به یکدیگر ارتباط ندارند، مگر زمانی که مقدار جریان زهکشی به عدد صفر نزدیک می‌شود. در چنین حالتی، میزان کاهش سروصدا توسط رویه نفوذپذیر نیز به صفر می‌رسد و در بعضی حالات، حتی افزایش اندکی نیز در تراز سروصدا (در مقایسه با یک رویه آسفالتی متراکم) خواهیم داشت.

تحقیقات اخیر درباره تأثیر گرفتگی بر عملکرد درازمدت صوتی رویه‌های نفوذپذیر، حاکی از تفاوت قابل توجه بین دو نوع تک‌لایه‌ای متداول و دولایه‌ای (که نمونه‌ای از آن در شکل ٤-٤ نمایش یافته است) می‌باشد.

اغلب اطلاعات اولیه درباره رویه‌های تک‌لایه‌ای، به یک پژوهش سیستماتیک و مستند در آلمان تعلق دارند [٣٤]. پژوهش مزبور بر روی یک لایه آسفالت نفوذپذیر با ضخامت ٤ cm و حداکثر اندازه دانه ۱۱ mm و در راهی با ترافیک سنگین و سرعت حداکثر ۸۰ km/h صورت گرفته است.

در طول پنج سال، نرخ زهکشی به تدریج کاهش و ناگهان به صفر رسید و توانایی کاهش سروصدا نیز البته نه با همان روال ولی در همان مدت، به صفر رسید. به عبارتی پس از پنج سال، دو مزیت عملکردی خاص این رویه یعنی ظرفیت زهکشی و کاهش سروصدا به کلی محو شدند، در حالی که از نظر سازه‌ای، خرابی قابل توجهی مشاهده نشد. این امر نشان‌دهنده ناهمخوانی طول عمر سازه‌ای و عملکردی رویه‌های نفوذپذیر است. گزارشی در مورد چگونگی حفظ کارایی اولیه رویه با تمیز کردن حفره‌ها، در این پژوهش ارایه نشده اما تلاش‌هایی توسط سایرین و آنهم از طریق شستشوی رویه با فشار آب صورت گرفته و کم و بیش، نتایج رضایت‌بخشی نیز کسب شده است، ولی در کل موفق نبوده‌اند.

در حال حاضر، اطلاعات اندکی در مورد عملکرد درازمدت رویه‌های دولایه در دسترس است، زیرا مدت چندانی از معرفی آن نمی‌گذرد و اکنون در تعدادی از جاده‌های درون‌شهری هلند اجرا می‌شود. این نوع رویه همان طور که گزارش شده از کارایی صوتی ممتاز (شکل ٤-٥) و عملکرد درازمدت ظاهراً خوبی برخوردار است [٣٥]. بدین دلیل که لایه فوقانی، همچون یک فیلتر عمل کرده و فقط ذرات بسیار ریز آشغال از آن عبور می‌کنند که پس از رسیدن به لایه درشت‌دانه زیرین، با زهکشی افقی آب باران دفع می‌گردند. گرفتگی لایه فوقانی را می‌توان به راحتی با فشار آب برطرف کرد، زیرا درشت‌دانه زیرین، ضمن اینکه همچون یک رهاکننده فشار آب پس از برخورد به رویه عمل می‌کند، موجب جریان سریع آب در لایه فوقانی می‌شود. پیشرفته شدن ماشین‌های شستشو با فشار آب نیز استفاده مجدد از آب مصرفی در طول عملیات را امکان‌پذیر کرده است.

تاکنون اندازه‌گیری کارایی صوتی چنین رویه‌هایی پس از گذشت چند سال از عمر خدمت‌دهی صورت نگرفته، ولی اندازه‌گیری مکرر نرخ زهکشی یکی از اولین رویه‌های دولایه ساخته‌شده، نشان می‌دهد که پس از گذشت دو سال از خدمت‌دهی در یک ترافیک درون‌شهری سنگین، خرابی معنی‌داری در زهکشی به وجود نیامده است. لذا، به طور ضمنی می‌توان نتیجه گرفت که به کارایی صوتی آن نیز آسیبی نرسیده است.

٤-٥. روش‌های اندازه‌گیری کارایی صوتی رویه‌ها و کنترل مشخصات فنی طرح

٤-٥-١. کلیات

چگونگی نمایش و اندازه‌گیری کارایی صوتی به روشی قابل اعتماد و تجدیدپذیر، موضوع بسیاری از تحقیقات گسترده در سال‌های اخیر بوده است. بسیاری از سازندگان، مالکان و مسؤولان راهها، به روشن شدن هر چه سریعتر این موضوع نیازمندند، زیرا الزامات اجرایی و فنی راجع به کیفیت محیط زیست، از اولویت‌های کاری آنهاست.

در حال حاضر، این کار توسط چند کارگروه تحت عنوان ISO/TC 43/SC 1 در حال استاندارد شدن است. در ادامه، شمه‌ای از موضوعات بارز ارایه خواهد شد.

٤-٥-٢. اندازه‌گیری کارایی صوتی کلی

این موضوع به مشخصات فنی روشی برای اندازه‌گیری تأثیر رویه راه بر تراز سروصدای ترافیک در حاشیه راه اختصاص دارد. کارگروه ISO/TC 43/SC 1/WG 33، روشی به نام SPB یا عبور آماری[1] (اندازه‌گیری سروصدا از کنار راه در حالت حرکت خودرو با موتور روشن) را پیشنهاد کرده است که بر اساس اندازه‌گیری تعداد زیادی از خودروهای عبوری در شرایط واقعی ترافیک است [٣٦]. در شکل (٤-٥)، مثال‌هایی از نتایج این روش ارایه شده است (توجه: این نتایج، لزوماً استانداردهای نهایی ایزو نبوده و شاید بازنگری و اصلاح شوند).

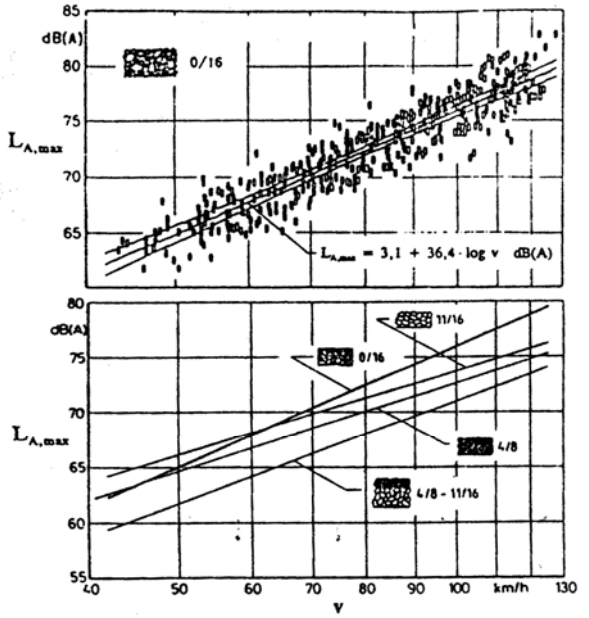
روش SPB، برای رتبه‌بندی رویه‌ها از نظر سروصدای ترافیک در شرایط معلوم، بسیار مناسب است. در این زمینه، یک رویه استاندارد به عنوان سطح مبنای مقایسه نیز در حال معرفی شدن است.

یک سطح مبنای مناسب برای مثال، یک رویه آسفالتی متراکم شناخته‌شده با دانه‌بندی ۱۲ mm-۰ یا ١٦ mm-۰ است که طبق تعریف، شاخص سروصدای آن معادل صفر دسی‌بل است. سایر رویه‌ها نیز با اختلاف سروصدای خود و رویه مبنا در حاشیه راه یعنی ΔL متمایز می‌شوند (شکل ٤-٥).

در حال حاضر، کارگروه مزبور در حال بررسی روش مکملی برای سنجش کارایی کلی است. این روش را "دنباله‌بند" یا تریلر می‌نامند که اجرای آن از روش SPB ساده‌تر است، ولی اندازه‌گیری سروصدا، نه از حاشیه راه، بلکه از کنار لاستیک دنباله‌بند انجام می‌شود. یک رابطه ثابت اما وابسته به سرعت، بین دو روش وجود دارد، ولی در رویه‌های مختلف، این رابطه متفاوت است.

---

1. Statistical Pass-By Method



میزان کاهش سروصدا برای خودروهای سواری

ΔL_A (dB)	
60 km/h	120 km/h
0	0
-0,5	-3,0
-1,0	-4,0
-4,0	-5,5

0/16
11/16
4/8
4/8 - 11/16

شکل ٤-٥: نمودار فوقانی: نتایج اندازه‌گیری SPB بر روی یک رویه متراکم آسفالتی با دانه‌بندی ۱٦/۰ (رویه مبنا)
نمودار تحتانی: رگرسیون‌های نتایج SPB رویه‌های نفوذپذیر شکل(٤-٤) در مقایسه با رویه مبنا (خط ضخیم ۱٦/۰)

٤-٥-٣. اندازه‌گیری پارامترهای طراحی صوتی

میزان کارایی صوتی کل یک رویه، می‌تواند نتایج نهایی حاصل از اجرای آن را معلوم کند. برای این امر، به پارامترهای صوتی نیاز است که با اندازه‌گیری سریع و به موقع آنها، میزان کارایی کلی محاسبه شود. پارامترهای مزبور، باید قابل برآورد در مرحله طراحی باشند تا بتوان از تأثیر یک تغییر احتمالی در هنگام طراحی آگاهی یافت. پارامترهایی که برای این امر معرفی شده‌اند، بافت و ضریب جذب می‌باشند (٤-١-٢).

کارگروه ISO/TC 43/SC 1/WG 39، در حال تعیین یک روش اندازه‌گیری استاندارد برای بافت است. پیشنهاد این کارگروه (هر چندکه نسخه اول آن، عملاً عملکرد را از نظر سروصدا نمی‌سنجد)، روشی است که پس از رسم نیمرخ، امکان تحلیل طول موج‌ها را نیز تسهیل می‌بخشد [۱۷].

روشی که در حال حاضر برای اندازه‌گیری جذب صوتی به کار می‌رود، بر اساس مغزه‌گیری‌هایی است که در یک تیوپ ـ امپدانس مطابق با استاندارد DIN 52215 تعبیه شده است. در شکل(٤-٤)، مثال‌هایی از این روش نمایش یافته است. البته اجرای میدانی این روش، چندان آسان نیست و خرابی‌هایی نیز در سطح راه به وجود

می‌آیند، در نتیجه به یک روش درجای فوری[1] نیاز است که اکنون توسط کارگروه ISO/TC 43/SC 1/WG 38 در حال تهیه است. فعلاً دو روش مناسب، مورد بحث است؛ روش میدانی آزاد[2] [۳۷و۳۸] و روش لوله‌ای[3] که در آن لوله درون سطح جاده، بدون مغزه‌گیری جایگذاری می‌شود [۳۹].

٤-٥-٤. تعریف "رویه مبنا[4]" و "رویه آزمایشی"

امکان دارد بین دو مفهوم رویه مبنا و رویه آزمایشی که در مقالات و گزارش‌های اخیر مقوله لاستیک - راه ارایه می‌شوند، اشتباه شود. رویه مبنا، همان طور که در بخش ٤-٥-٢ اشاره شد و مثال‌هایی از آن در شکل(٤-٥) نمایش داده شده است، به عنوان مبنای مقایسه کارایی صوتی رویه‌های مختلف به شمار می‌رود. به عبارتی کارایی صوتی رویه راه زمانی معنی می‌یابد که کاهش سروصدای ناشی از اجرای آن نسبت به رویه مبنا سنجیده شود. در حال حاضر، به دلیل عدم معرفی یک رویه مبنا و نبود یک تعریف مشترک، بسیاری از داده‌های مربوط به رویه‌های بررسی‌شده را نمی‌توان ارزیابی کرد.

رویه آزمایشی، تعریف کاملاً جداگانه‌ای دارد و اخیراً یک نمونه از آن برای بهبود تجدیدپذیری اندازه‌گیری (دقت بین نتایج اندازه‌گیری‌ها وقتی که شرایط اندازه‌گیری متفاوت باشد) در آزمایش تأیید وسیله‌نقلیه، توسط کارگروه ISO/TC 43/SC 1/WG 27 معرفی شده است. با وجود این که صدای موتور خودرو در این آزمایش‌ها تقریباً به حداکثر خود می‌رسد، تأثیر رویه راه بر مقدار کلی سروصدا قابل چشم‌پوشی نیست. مشخصات فنی این رویه در استاندارد ایزو ١٠٨٤٤(سال ١٩٩٤) ارایه شده است. به طور کلی، استفاده از چنین رویه‌ای در هر آزمایشی، امکان‌پذیر است.

٤-٦. نیازهای تحقیقاتی

ساخت و توسعه رویه‌های کم‌سروصدا، از ده سال قبل آغاز شده و پیشرفت‌های خوبی نیز حاصل گردیده است، ولی هنوز هم بسیاری از مسایل مهم حل نشده‌اند. در ادامه، به نیازهای پژوهشی در این زمینه اشاره می‌شود.

٤-٦-١. کارایی صوتی رویه‌های راه برای خودروهای سنگین

با توجه به صرف زمان و هزینه زیاد برای آزمایش‌های خودروهای سنگین، تمامی تحقیقات و تجاربی که تا کنون گزارش شده، در مورد خودروهای سبک بوده‌اند؛ در حالی که عمدتاً سروصدای غالب در حاشیه راه، به خودروهای سنگین تعلق دارد. لذا، به پژوهش در این زمینه برای پر کردن خلاءهای اطلاعاتی نیاز است. نتایج برخی گزارش‌های سطحی، حاکی از آن است که رویه‌های نفوذپذیر، عملکرد ضعیف‌تری در برابر خودروهای سنگین در مقایسه با خودروهای سبک دارند. برای رویه‌های فشرده با بافت بهینه‌شده، شاید وضعیت متفاوت باشد.

---

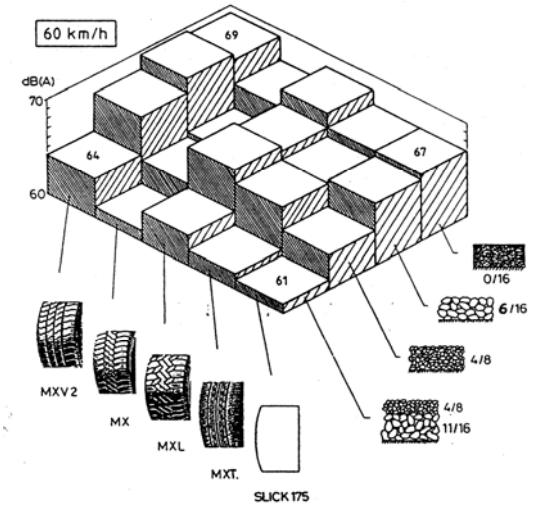
1. Quick In-Situ Method
2. Free – Field Method
3. Tube Method
4. Reference Surface

٤-٦-٢. تأثیر متقابل بافت و جذب صوتی رویه

هنوز روشن نیست که چگونه می‌توان با بهسازی تأثیر متقابل بافت و جذب صوتی، خواص بافت رویه را برای بهبود کارایی صوتی رویه‌های دولایه تغییر داد تا کاهش بیشتری در سروصدای ایجادشده حاصل شود. همچنین موضوع اندازه‌گیری نیمرخ‌های (بافت) مرتبط با سروصدا در رویه‌های دولایه نیز حل نشده است.

٤-٦-٣. تأثیر متقابل لاستیک - راه

همان طور که در شکل (٤-٦) آمده، روشن است که سروصدای منتشرشده از سطح راه به نوع لاستیک نیز بستگی دارد. با تطابق دقیق لاستیک و رویه راه، می‌توان تا حدود دو دسی‌بل از سروصدا کاست [٤٠]. به طور کلی باید پژوهش‌های بنیادی بیشتری توسط صنعت خودرو صورت گیرد.



شکل ٤-٦: تراز سروصدای حاشیه راه به ازای ترکیبات مختلف لاستیک و رویه راه.

٤-٦-٤. تأثیر امپدانس مکانیکی

در مرجع [٤١]، استفاده از رویه‌هایی با امپدانس مکانیکی پایین و جذب بالا نظیر پوروالاستیک[1] توصیه شده که به طور فوق‌العاده‌ای از سروصدای لاستیک - راه می‌کاهند. البته این رویه‌ها هنوز تحت آزمایش بوده و برای استفاده به بازار معرفی نشده‌اند. مسایل مهندسی راه در ارتباط با این نوع از رویه‌ها، موضوع پژوهش‌های بعدی می‌باشد.

٤-٦-٥. عملکرد درازمدت رویه‌های نفوذپذیر

به این موضوع در بخش ٤-١-٤ اشاره شد، ولی لازم است در مورد معرفی و اجرای روش‌های مؤثر تعمیر و نگهداری این رویه‌ها، تحقیقات لازم صورت گیرد تا نیازهای نگهداری آنها برای حفظ کارایی صوتی در دوره

1. Poro-Elastic

عمرشان مشخص شود. تلاش‌هایی نیز باید به طراحی رویه‌های نفوذپذیر کم‌سروصدا با کیفیت صوتی بلندمدت اختصاص یابند.

٤-۷. برآورد پتانسیل تأثیر کاهش سروصدا بر کیفیت محیط زیست

در پایان این فصل، تلاش می‌شود برآوردی از تأثیر کلی استفاده از رویه‌های کم‌سروصدا بر کاهش تعداد افرادی که از سروصدای ترافیک رنج می‌برند، صورت گیرد.

ابتدا باید دید که توان بالقوه کاهش سروصدا با چنین راهکاری به چه میزان است. به طور محافظه‌کارانه، کاهشی که از طریق معرفی گسترده رویه‌های کم‌سروصدا، استفاده فراوان از لاستیک‌های مناسب همراه با اجرای سیستم تعمیر و نگهداری کارآمد می‌توان انتظار داشت، حدود ۵ dB در وضعیت فعلی است. با این تفاصیل، می‌توان میزان کاهش در تعداد افرادی که در اروپا در معرض آلودگی صوتی ناشی از ترافیک هستند را به کمک ارقام ارایه‌شده در مرجع [۲٦]، برآورد کرد. برآوردی که می‌توان در اینجا انجام داد، هرچند بسیار ابتدایی و بدون مطالعه کافی است، ولی پیش‌بینی می‌شود با این کار، تعداد افراد در معرض آلودگی صوتی ترافیک از ۱۲۵ میلیون نفر (٤-۱-۱) به حدود ۷۳ میلیون نفر کاهش یابد.

به عبارتی معرفی گسترده پیشرفته‌ترین رویه‌های کم‌سروصدا همراه با روش‌های مناسب تعمیر و نگهداری و ارتقای کیفیت لاستیک‌های کم‌سروصدا، موجب رهایی بیش از ۵۰ میلیون اروپایی از آزار سروصدای ترافیک می‌شود. رقمی که نشان‌دهنده ارزش بالای فعالیت در این زمینه است.

۵. اثرات مشخصات سطح راه بر بارهای دینامیک چرخ

۵-۱. مقدمه

این حقیقت به خوبی روشن است که گستردگی و شدت خرابی راه، منحصراً به خاطر بارهای استاتیکی خودرو نیست بلکه نوسانات قائم و ضربات پیاپی چرخ هم در ایجاد خرابی سهیم است و میزان آن برای یک سرعت و ناهمواری معلوم، به مشخصات فنی خودرو بستگی دارد.

خودرویی را در نظر بگیرید که با چرخ‌های کاملاً گرد و میزان بر روی یک راه کاملاً صاف و مستقیم، با سرعتی ثابت در حرکت است. تنها نیرویی که این خودرو به سطح راه وارد می‌کند، برابر با نیرویی است که یک خودروی ساکن بر آن وارد می‌کند، یعنی فقط بار ثابت استاتیکی. لیکن وجود چنین حالتی عملاً امکان‌پذیر نیست، زیرا در چرخ‌های خودروی در حال حرکت، یک حرکت نوسانی قائم وجود دارد که دامنه حرکت آن، بر اساس بار چرخ و طول موج‌های وابسته به سرعت تعیین می‌شود.

در واقع ایجاد یک راه کاملاً صاف و ایده‌آل، عملاً امکان‌پذیر نیست و ناهمواری‌های موجود در سطح راه، نیروهایی دینامیکی در جهت قائم به چرخ دوار وارد می‌کنند که بر بار استاتیکی افزوده می‌گردند. زمانی که مثلاً، لاستیک با یک ناهمواری برخورد می‌کند، فشرده شده و همچون یک فنر عمل می‌کند. نیروی فنری مزبور، سبب بلند شدن چرخ و سپس سیستم تعلیق و خود خودرو شده و در هنگام برگشت، به راه نیرویی علاوه بر نیروی استاتیکی وارد می‌کند. مقدار این نیروی دینامیکی، تابعی از طول موج و دامنه ناهمواری‌های نیمرخ جاده، طراحی، سرعت، وزن و توزیع جرم وسیله‌نقلیه، سختی و خصوصیات میرایی لاستیک و سیستم تعلیق و نهایتاً برای سیستم‌های دو یا سه‌محوره (تریلی‌ها و امثال آن)، خصوصیات میرایی سیستم‌های تقسیم بار می‌باشد.

تغییرات بار دینامیکی یک کامیون با چرخ‌های میزان[1] بر روی یک راه صاف، بسیار ناچیز است. با ظهور ناهمواری در سطح راه، این تغییرات افزایش یافته و خرابی راه را تشدید می‌کند و کلاً، یک چرخه افزایش ناهمواری سطح راه و بار چرخ شروع می‌شود. در اینجا، یک سیستم تعلیق و فنربندی کارآمد که بتواند نوسانات بار چرخ را به حداقل برساند، در کاهش شدت خرابی راه مؤثر است.

میزان خرابی سطح راه، تقریباً متناسب با توان چهارم بارهای استاتیکی است. این بدان معنی است که اگر بار دینامیکی از بار استاتیکی بیشتر باشد، خرابی راه بسیار زیاد می‌شود و اگر کمتر باشد، تأثیر به مراتب کمتری در خرابی خواهد داشت. بنابراین خودروهایی که دامنه نوسان بار دینامیکی آنها بزرگ است، موجب خرابی بیشتری در سطح راه خواهند شد.

۵-۲. فرهنگ اصطلاحات و تعاریف

میرایی بحرانی[2]: حداقل میرایی است که به یک سیستم جابجاشده امکان می‌دهد بدون نوسان به موقعیت اولیه خود بازگردد.

---

1. Balanced Wheels
2. Critical Damping

میرایی خشک: در یک سیستم نوسانی میرا، به اتلاف انرژی ناشی از یک نیروی مقاوم مستقل از سرعت و جابجایی که جهت آن در خلاف جهت سرعت باشد، میرایی (اصطکاکی) خشک یا کولمب گویند.

نسبت میرایی (کسری از میرایی بحرانی): نسبت ضریب میرایی واقعی به ضریب میرایی بحرانی در یک سیستم میرای لزج را نسبت میرایی می‌گویند.

میرایی لزج[1]: در یک سیستم نوسانی میرا، به اتلاف انرژی ناشی از یک نیروی مقاوم متناسب با سرعت و در خلاف جهت حرکت، میرایی لزج یا ویسکوز گویند. در واقع این نوع میرایی، مقاومتی است که سیال اطراف یک جسم در مقابل حرکت آن به وجود می‌آورد.

همه تعاریف بالا، طبق مرجع [٤٤] ارایه شده‌اند.

RMS (جذر میانگین مربعات): به ریشه دوم میانگین مربع مقادیر یک تابع یک متغیره، z(x)، در فاصله x1 و x2، جذر میانگین مربعات یا RMS گویند.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{x_2 - x_1} \bullet \int_{x_1}^{x_2} Z^2(x)\,dx}$$

۵-۳. تأثیرات وسیله‌نقلیه

همان طور که در بالا اشاره شد، بار دینامیکی که وسیله‌نقلیه به راه وارد می‌کند، متأثر از طراحی سازه‌ای خودرو است. این حقیقت در چهل سال گذشته، یکی از موضوعات مطالعاتی در سراسر جهان بوده و یکی از آخرین مقالات منتشره در این زمینه [٤٥]، شرح کاملی از این پدیده را ارایه می‌کند.

پارامترهای وسیله‌نقلیه که بر خرابی راه تأثیرگذارند عبارتند از سختی و خصوصیات میرایی سیستم تعلیق، سختی و خصوصیات میرایی لاستیک و خصوصیات میرایی سیستم تقسیم بار در خودروهای دو یا سه‌محوره.

نیروهای یک چرخ با تحرک بالا، عمدتاً در دو دامنه فرکانس خاص وجود دارند: ۱-٤ Hz و 5-8 Hz. دامنه کمتر در ارتباط با جابجایی قائم (جهش[2])، چرخیدن حول محور افقی عرضی (خمش[3]) و چرخیدن حول محور افقی طولی (پیچش[4]) بدنه خودرو است. دامنه بزرگتر نیز در ارتباط با جهش و پیچش محور بین بدنه و فنرهای لاستیک و همچنین، مودهای خمشی شاسی[5] است.

فرکانس بارهای دینامیکی چرخ، به طور عادی پایین هستند. سازمان توسعه و همکاری اقتصادی (OECD)، دو مستثنی از این قاعده را تشریح کرده است [٤٥] که عبارتند از سیستم‌های فنربندی گازی و سیستم‌های فنربندی چندمحوری با مودهای خمشی شاسی دارای میرایی ضعیف.

---

1. Viscous Damping
2. Bounce
3. Pitch
4. Roll
5. Bogie

۵-۳-۱. تأثیر سیستم تعلیق

تمامی محققین در این زمینه اتفاق نظر دارند که خصوصیات میرایی سیستم تعلیق خودرو، مهمترین عامل تأثیرگذار بر بار دینامیکی چرخ در فرکانس‌های پایین است. در فرکانس‌های بالای 2 ۵Hz، بارهای دینامیکی چرخ کلاً به سختی لاستیک وابسته هستند. کار سیستم‌های تعلیق در وسیله‌نقلیه، بر اساس میرایی لزج، خشک یا ترکیبی از هر دو است. بکارگیری میرایی لزج به تنهایی برای از بین بردن ارتعاش، فقط در تئوری قابل تصور است و میرایی خشک نیز اگر چه وجودش اجتناب‌ناپذیر است، ولی در طرح‌های مدرن سیستم‌های تعلیق، به دنبال آن هستند که این نوع میرایی را تا حد ممکن کاهش دهند. در هر فنری به ازای هر یک از میرایی‌های فوق، یک نسبت میرایی بهینه وجود دارد که در آن، تغییرات بار چرخ متحرک به مقدار کمینه خود می‌رسد. همچنین فقط یک ترکیب بهینه این دو نوع میرایی وجود دارد که در آن، تغییرات بار دینامیکی به حداقل خود می‌رسد. در این ترکیب بهینه، این دو نوع میرایی الزاماً برابر نیستند و میرایی لزج است که کمترین بار دینامیکی چرخ را ایجاد می‌کند. ولی در هر حال، باید در نظر داشت که وجود میرایی کولمب از عدم وجود آن، به مراتب بهتر است.

از نمونه‌های بارز سیستم‌های فنربندی با حداقل میرایی خشک، سیستم گازی (بادی یا هیدرولیکی هم می‌گویند) است. تحقیقات نشان داده که با استفاده از این سیستم، تغییرات بار دینامیکی در یک راه ناهموار به حداقل می‌رسد. البته در مقایسه‌ای که بر روی اتوبوسی با دو فنربندی گازی و فولادی صورت گرفت [٤٦]، به طور غیر منتظره‌ای نتایج معکوسی به دست آمد و تغییرات بار دینامیکی در اتوبوس با فنربندی گازی بیشتر بود. بررسی‌های به‌عمل‌آمده بر روی فنربندی‌ها نشان داد که کمک فنر گازی، فرسوده و از کار افتاده بوده است.

تنها عامل تأثیرگذار بر میرایی لرزش‌های خودرو، فقط خصوصیات میرایی کمک فنر نیست، بلکه فاصله کمک‌فنرها در روی یک محور، یعنی عرض مسیر ضربه‌گیر، نیز از اهمیت زیادی برخوردار است و حتی‌الامکان باید بزرگ باشد تا بارهای چرخ متحرک کم شوند.

سختی فنر سیستم تعلیق، تأثیر اندکی بر بار چرخ متحرک دارد. در واقع اثر تغییر این پارامتر، به خصوصیات میرایی سیستم تعلیق وابسته است و هر گونه تغییر سختی یک سیستم میرایی بهینه، چه کمتر شود و چه بیشتر، سبب افزایش تغییرات بار چرخ متحرک می‌شود. به طور کلی، فنر با سختی کم مطلوب‌تر است و میرایی، متناسب با آن تنظیم شده است.

مطالب و یافته‌های بالا، برای خودروهای دو یا سه‌محوره نیز صادق هستند. هدف این سیستم‌ها، افزایش ظرفیت باربری از طریق افزایش تعداد چرخ‌هاست. طرح‌های شاسی این خودروها، دارای سیستم‌های تقسیم باری است که کل بار را بین دو یا سه محور، به طور یکنواخت تقسیم می‌کند. بررسی‌ها نشان داده که بعضی از این سیستم‌ها که در حالت سکون، تقسیم بار (استاتیکی) تقریباً یکسانی بین محورها دارند در حال حرکت و هنگام تقسیم بار دینامیک، به شدت نامتعادل عمل می‌کنند. حال آنکه، سیستم‌های با قابلیت تقسیم بار استاتیکی کمتر، تغییرات بار دینامیکی به مراتب کمتری ایجاد می‌کنند [٤٧].

نمونه‌ای از سیستم‌های اول، به نام محورهای مرکب تیر متحرک[1] معروفند. این سیستم متشکل از یک تیر سخت با قابلیت چرخش حول محور مرکزی خود است که دو محور شاسی را به هم وصل کرده است.

هنگام حرکت خودرو در یک راه ناهموار، ارتعاش نامیرایی در این تیر سراسری ایجاد می‌شود که منجر به تغییرات بار دینامیکی بسیار شدیدی می‌شود.

در حال حاضر، OECD، پروژه‌ای تحقیقاتی به نام DIVINE برای معرفی سیستم‌های تعلیق سازگار با راه[2]، یعنی سیستم‌هایی که منجر به کاهش خرابی راه شوند، در دست اجرا دارد. در این پروژه، مقایسه بین سیستم‌های تعلیق مدرن (سازگار با راه) و سایر سیستم‌های قدیمی صورت می‌گیرد و شامل شش بخش تحقیقاتی است که عبارتند از: ۱) مطالعات فرسایش راه با استفاده از یک مسیر آزمایش مدور، ۲) اندازه‌گیری تنش و کرنش در راه، ۳) اندازه‌گیری بارهای چرخ متحرک با استفاده از شبیه‌ساز راه (مرتعش‌کننده)[3]، ٤) مقایسه مدل‌های ریاضی وسیله‌نقلیه، ٥) آزمایش تکرارپذیری مکانی[4] و ٦) اندازه‌گیری بارهای دینامیکی بر روی پل‌ها.

۵-۳-۲. تأثیرات لاستیک

اگر چه میرایی، مهمترین عامل در بررسی سیستم‌های تعلیق به شمار می‌آید، ولی از نظر تأثیر لاستیک بر روی بار چرخ متحرک، اهمیت چندانی ندارد، زیرا برای یک لاستیک جدید و در دامنه فرکانس‌های این پدیده، اصلاً میرایی وجود ندارد. مهمترین عامل در اینجا، ضریب فنریت قائم لاستیک[5] است، ضمن اینکه میزان فشار در سطح تماس لاستیک – راه نیز بر خرابی راه تأثیرگذار است.

برای کاستن از فرسایش راه، باید ضریب فنریت (ارتجاعی) لاستیک تا حد ممکن کم باشد. چند راه وجود دارد که به صورت جداگانه یا ترکیبی به کار می‌روند؛ اولاً با کاهش فشار لاستیک، ثانیاً با افزایش سایز لاستیک و ثالثاً با اصلاح استخوان‌بندی لاستیک. مهم است بدانید که نباید برای کاهش ضریب فنریت لاستیک در امتداد قائم، از صلبیت لاستیک در امتداد جانبی هزینه کرد، زیرا افزایش حرارت ناشی از تغییر شکل لاستیک، عمر سرویس لاستیک را به خطر می‌اندازد. همچنین باید در نظر داشت که خصوصیات لاستیک در هدایت خودرو، تأثیر بسیار مهمی دارد و لذا تلاش برای کاهش خرابی راه، نباید منجر به کاهش ایمنی گردد.

کاهش میزان فشار در سطح تماس لاستیک – راه نیز به نظر می‌رسد که تأثیر اندکی بر راه، خصوصاً لایه‌های رویه آن داشته باشد. البته نظرات محققین مختلف متفاوت است. امروزه در برخی خودروهای سنگین به جای استفاده از دو لاستیک کنار هم (زوج‌لاستیک)، از لاستیک‌های پهن که به لاستیک‌های تکی پهن[6] نیز معروفند، استفاده می‌شود که پهنای این لاستیک‌ها به مراتب از ارتفاع‌شان بیشتر است. با این روش در فشارهای نسبتاً کم

1. Walking-Beam Tandem Axle
2. Road-Friendly Suspensions
3. Road Simulator(Shaker)
4. Spatial Repeatability Testing
5. Tyre Vertical Spring Rate
6. Super Single

(۴۵۰–۵۵۰ kPa) در مقابل ۶۰۰–۸۰۰ kPa در سیستم‌های زوج‌لاستیک)، بار چرخ بر سطح بیشتری از راه پخش شده و در نتیجه، تنش کمتر می‌شود. البته امروزه این نظریه هم وجود دارد که فشار لاستیک باید تا حد ممکن بالا باشد تا لاستیک‌های متعارف، بتوانند بارهای معادل را تحمل کنند.

از مزایای غیر قابل بحث لاستیک‌های پهن، وزن کم آنهاست که برای هر محور، حدود ۱۵۰kg افت وزن و به عبارتی، افت جرم نوسانی به دنبال دارد. کاهش جرم نوسانی نیز به کاهش بارهای چرخ متحرک در دامنه فرکانس‌های ۱۵–۸ Hz می‌انجامد.

مزیت بعدی لاستیک‌های پهن در مقایسه با زوج‌لاستیک، پهنای کمتر آنهاست که موجب کمتر شدن عرض مسیر ضربه‌گیر و فنر و در نتیجه افزایش سختی پیچشی خودرو و نهایتاً، کاهش تغییرات بار چرخ متحرک می‌شود.

یک محور با زوج‌لاستیک، ۸ لاستیک دارد، در حالی که همان محور با چرخ پهن، چهار لاستیک دارد. بنابراین مقاومت پیچشی و ضریب فنریت محورهای با چرخ پهن نیز کمتر است. مقاومت پیچشی کمتر، سبب فرسایش بیشتر سطح راه و ضریب فنریت کمتر، سبب فرسایش کمتر سطح راه می‌شود.

از معایب لاستیک‌های پهن نیز تمرکز بیشتر فشار در سطح تماس لاستیک – راه است که منجر به خرابی بیشتر راه می‌شود. با در نظر گرفتن همه عوامل، لاستیک‌های پهن نسبت به زوج لاستیک‌ها در محوری یکسان، آسیب بیشتری به راه وارد می‌کنند، به طوری که خرابی ناشی از یک لاستیک پهن با بار ۸۰kN ، برابر خرابی یک زوج لاستیک با بار ۱۰۰ kN می‌باشد.

۵-٤. تأثیرات نیمرخ راه

همان طور که اشاره شد، نیروهای چرخ متحرک در دو دامنه فرکانسی ۱–٤ Hz و ۸–۱۵ Hz قرار دارند. با استفاده از معادله:

$$v = f \times l$$

که در آن:

v : سرعت خودرو بر حسب متر برثانیه (m/s)،

f : فرکانس تشدید بر حسب هرتز (Hz)،

l : طول موج بر حسب متر (m)،

می‌توان برای هر سرعتی، طول موجی از نیمرخ سطح راه که موجب بارهای بزرگ در چرخ شده یا خود به وسیله بار چرخ ایجاد می‌شوند را محاسبه کرد.

از آنجا که بارهای چرخ متحرک ایجادشده در خودروهای سنگین در ساییدگی سطح راه دخیل هستند، لازم است فقط سرعت‌های معمول این خودروها در بررسی مد نظر باشند. سرعت معمول این خودروها از کشوری به کشور دیگر متفاوت است، ولی کلاً در محدوده ۷۰–۱۱۰km/h (۲۰–۳۰m/s) می‌باشد.

با توجه به فرمول بالا، بارهای بزرگ چرخ در دامنه فرکانس ۱-٤Hz ناشی از طول موج‌های ۳۰ m-۵ می‌باشند و طول موج‌های ۳/۸ m-۱/۳ نیز، خودرو را در دامنه فرکانس‌های ۱۵Hz-۸ به لرزش می‌اندازند. بنابراین لازم است که اولاً در نیمرخ سطح راه، از ایجاد طول موج‌های ۳۰ m-۵ اجتناب شود و ثانیاً، از آنجا که بعضی از خودروها نیز در دامنه فرکانس‌های ۱۵ Hz-۸ به حداکثر بار دینامیکی در چرخ‌ها می‌رسند، ضروری است که از ایجاد طول موج‌های ۳/۸ m-۱/۳ نیز در سطح راه اجتناب شود.

همچنین باید توجه داشت که ضربات مکرر ناشی از ضایعات کوچک روی سطح راه مثل گودال‌ها[1] نیز موجب تحریک فرکانس‌های تشدید خودرو و به دنبال آن، افزایش بار دینامیکی می‌شود. بنابراین به طور کلی باید از ایجاد طول موج‌های زیر ۳۰ m در حین ساخت یا تعمیر رویه راه اجتناب شود.

از دیگر مباحث مربوط به تأثیر متقابل وسیله‌نقلیه و رویه راه، پدیده تکرارپذیری مکانی است. زمانی‌که یک خودرو با یک گودال یا دست‌انداز[2] در راه برخورد می‌کند یک حرکت نوسانی قائم در آن به وجود آمده و بارهای چرخ متحرک به صورت تابعی سینوسی در طول راه تغییر می‌کند که طول موج آن به سرعت و خصوصیات سیستم تعلیق خودرو بستگی دارد. تقریباً همه خودروهای سنگین، فرکانس تشدید یکسانی دارند و به خاطر قوانین راهنمایی و رانندگی، مجبورند با سرعت‌های نسبتاً یکسانی تردد نمایند. بنابراین برای همه خودروهای عبوری از یک راه، حداکثر بار چرخ در محل دست‌انداز رخ می‌دهد. هر گونه تغییر در سختی راه نیز اثر مشابهی دارد و مانند یک دست‌انداز عمل می‌کند. در روی عرشه پل‌ها، این مسأله به خوبی مشهود است.

با این تفاصیل، خرابی سطح راه در این نقاط متمرکز شده و به شکست زودهنگام می‌انجامد. تاکنون این پدیده، تحت بررسی دقیق قرار نگرفته ولی در حال حاضر، یکی از بخش‌های مطالعاتی پروژه DIVINE[3] در سازمان توسعه و همکاری اقتصادی (OECD)، به این موضوع اختصاص دارد.

نتیجه‌گیری کلی از مطالب بالا این است که علاوه بر طول موج‌های فوق در سطح راه، باید از ایجاد تغییر در سختی رویه راه و دست‌انداز نیز پرهیز شود.

۵-۵. نیمرخ دینامیک راه

رویه راه در برخورد با یک نیروی قائم، عکس‌العملی از خود نشان می‌دهد که مقدار آن به طرح راه، درجه حرارت لایه پوششی، مقدار آب موجود در لایه‌های زیرین و شرایط سازه‌ای راه بستگی دارد. اندازه‌گیری متناوب عکس‌العمل سطح راه تحت یک بار، در محاسبات ظرفیت باربری راه به کار می‌رود. عکس‌العمل سطح راه، به احتمال زیاد در طول آن متغیر بوده و ممکن است که یک حرکت جهشی در خودروی عبوری ایجاد کند که منجر به افزایش تغییرات بار چرخ و نهایتاً افزایش بارهای ناشی از برخورد با ناهمواری‌های سطح راه شود. این پدیده در

1. Pot Hole
2. Road Bump
3. Dynamic Interaction Between Vehicles & Infrastructure Experiment Profile

جاده‌هایی که ظرفیت باربری پایینی دارند ممکن است به تغییرات زیاد بار دینامیکی چرخ و به دنبال آن شکست در رویه راه منجر شود. مشخص است که با شروع شکست نیز فرسایش رویه راه افزایش می‌یابد.

از دیگر نمونه‌های بارز نیمرخ دینامیک راه، می‌توان به تغییر شکل لبه آن دسته از دال‌های بتنی که به خاطر اثر پدیده مکش، تکیه‌گاهی ندارند یا تغییرات ناگهانی سختی راه در انتهای پل‌ها اشاره کرد.

۵-٦. سیستم‌های تعلیق پیشرفته

بنا به گفته CROLLA & ABOUL NOUR [٤٣]،می‌توان سیستم‌های تعلیق پیشرفته را به دسته‌های فعال، نیمه‌فعال[1]، کم‌فعال و سوییچی تقسیم کرد که همگی کنترل‌شده هستند. سیستم فعال، همان سیستم تعلیق متعارف است که به یک فعال‌ساز[2] با قابلیت اتلاف یا در صورت لزوم، تولید انرژی مجهز شده است. فعال‌ساز در سیستم تعلیق نیمه‌فعال، فقط قابلیت اتلاف انرژی را دارد و به شکل یک ضربه‌گیر متغیر موازی با فنر می‌باشد. در سیستم‌های کم‌فعال، فعال‌ساز به صورت سری با یک فنر غیر فعال عمل می‌کند و نهایتاً در سیستم سوییچی، ضربه‌گیر با زدن یک کلید، در حالت‌های نرم یا سفت عمل می‌کند.

این سیستم‌ها در آغاز راه خود هستند و تا کنون خودروهای مجهز به این سیستم‌ها، به صورت عمده فروش نرفته‌اند. چند گزارش مطالعاتی نیز نشان می‌دهند که قابلیت این سیستم‌ها در کاهش فرسایش خودرو و راه، کاهش مخاطره خرابی مواد حمل‌شده و بهبود راحتی رانندگی از آینده خوبی برخوردار است.

AURELL [٤٢] در مقاله خود به توانایی یک سیستم تعلیق نیمه‌فعال در کاهش ۱۷٪ RMS نیروی دینامیک چرخ در مقایسه با یک سیستم غیر فعال اشاره کرده، ضمن اینکه سیستم سوییچی نیز کاهش اندکی داشته است.

WILKINSON [٤٨]، بارهای دینامیکی ناشی از سیستم‌های فعال، نیمه‌فعال، سوییچی و غیر فعال را در روی یک آزادراه و یک راه فرعی اندازه‌گیری کرد. وی اطلاعاتی درباره میزان ناهمواری مسیرها نداده ولی فرض بر این است که آزادراه، به مراتب از راه فرعی هموارتر بوده است. به طور کلی، سیستم نیمه‌فعال بهترین نتایج را ارایه داد.

بار چرخ ایجادشده با این سیستم در راه فرعی، دوسوم بار ایجادشده توسط سیستم غیر فعال بود، در حالی که سیستم‌های فعال و سوییچی در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند، ولی در هر حال، حدود ۲۰-۱۵٪ از بار دینامیکی را در مقایسه با سیستم‌های غیر فعال کاسته‌اند. در آزادراه، مقدار بار کاهش‌یافته در سیستم فعال در مقایسه با سیستم غیر فعال، حدود ۱۰٪ بوده است.

در نتیجه انتظار می‌رود که سیستم‌های پیشرفته، شایستگی خود را در جاده‌های ناهموار و پردست‌انداز نشان خواهند داد ضمن اینکه با دانش کنونی، سیستم‌های فعال نسبت به سیستم‌های نیمه‌فعال ارزان‌تر، برتری و مزیتی ندارند.

---

1. Semi-Active Suspension
2. Actuator

در هر حال باید در نظر داشت که سیستم‌های تعلیق پیشرفته، ممکن است که نه برای کاهش بار دینامیک بلکه با هدف بهینه‌سازی و راحتی رانندگی ساخته شوند. بنابراین وجود یک سیستم تعلیق پیشرفته در یک کامیون، صرفاً به معنای سازگاری سیستم تعلیق با راه نمی‌باشد.

۵-۷. نتیجه‌گیری

نتایج عمده عبارتند از:

- خصوصیات میرایی سیستم تعلیق خودرو، عامل اساسی تأثیرگذار بر تغییرات بارهای دینامیک چرخ در فرکانس‌های پایین است،
- سختی فنر سیستم تعلیق، تأثیر ناچیزی در این زمینه دارد،
- تغییرات بارهای دینامیک چرخ در فرکانس‌های بالای ۲۵ Hz، کاملاً به خصوصیات سختی لاستیک بستگی دارد،
- مهمترین عامل تأثیرگذار لاستیک در بارهای دینامیک چرخ، ضریب فنریت آن است که باید تا حد ممکن کم باشد،
- لاستیک‌های پهن در مقایسه با زوج‌لاستیک در روی یک محور مشابه، ساییدگی و فرسایش بیشتری در سطح راه ایجاد می‌کنند،
- در هنگام ساخت و تعمیر رویه راه، باید از ایجاد طول موج‌های بیش از ۳۰m، گودال‌ها، دست‌اندازها و تغییر در سختی رویه راه اجتناب شود،
- سیستم‌های تعلیق پیشرفته در مقایسه با سیستم‌های متعارف غیر فعال، ممکن است بار چرخ متحرک را به میزان ۲۰-۱۵٪ در جاده‌های فرعی و ۱۰٪ در آزادراه‌ها کاهش دهند.

٦. روش‌های ارزیابی خرابی سطح راه

٦-١. مقدمه

مطالب این فصل به بررسی دو نوع ارزیابی خرابی سطح راه اختصاص دارد که اولی بازدیدهای چشمی متعارف و دیگری، فناوری‌های جدیدی است که تکیه بر پردازش تصویر با خودکارسازی فعالیت‌های دشوار جمع‌آوری اطلاعات مربوط به خرابی سطح راه دارند. در این گزارش به طور خلاصه، نتایج دو نظرسنجی از کشورهای عضو C1 و مؤسسات تحقیق و توسعه (R & D) مرتبط ارایه می‌شود که به نوعی می‌توان آن را گزارش وضع موجود نامید. در بخش ٦-٢، نتایج پرسشنامه‌های مربوط به روش‌های چشمی و در بخش ٦-٣، نتایج پرسشنامه‌های مربوط به روش‌های اتوماتیک گزارش شده است. C1 قصد دارد که بعد از کنگره بیستم، ادامه این کار را با پیشنهاد ایجاد یک روش هماهنگ، به ویژه برای روش‌های متنوع و بی‌شمار خودکار دنبال کند.

٦-٢. بازدیدهای چشمی

٦-٢-١. حوزه کاربرد

هدف پرسشنامه پیارک، ارایه وضعیت موجود بازدیدهای چشمی و انواع خرابی‌ها در ارزیابی شرایط رویه راه است. کشورهای الجزایر، استرالیا، بلژیک، کبک کانادا، جمهوری چک، فنلاند، فرانسه، مجارستان، ژاپن، مراکش، مکزیک، هلند، لهستان، پرتغال، اسلواکی، اسپانیا، سوئد، سوییس و ایالات متحده آمریکا به این پرسشنامه‌ها پاسخ دادند.

از دیدگاه کاربردی، بازرسی‌ها یکی در سطح شبکه[1] است که معمولاً برای توصیف شرایط رویه و در بعضی موارد، برای تعیین قسمت‌های نیازمند تعمیر به کار می‌رود و دیگری که جزییات کامل‌تری دارد در سطح پروژه[2] است که فقط برای قسمت‌های از پیش‌تعیین‌شده برای تعمیر به کار می‌رود تا روش مورد نیاز تعمیر یا تعویض را مشخص نموده و به برنامه‌ریزی کمک کند. در هر دو سطح، برای سیستم‌های مدیریت روسازی، اطلاعات ورودی تهیه می‌شود.

٦-٢-٢. نتایج پرسشنامه‌ها

انواع بازدید: بازدیدهای روسازی در همه کشورها به استثنای یکی، از کل مسیر صورت می‌گیرد. در چهار مورد نیز بر پایه نتایج بازدید از کل مسیر، قسمت‌هایی با روش‌های نمونه‌گیری تعیین و با جزییات کامل بررسی می‌شوند (مثلاً مشخصات کامل قسمت‌های ١٠٠ متری در هر سه کیلومتر و غیره).

---

1. Network Level
2. Project Level

روش و سرعت: در اکثریت کشورها (۱۶ مورد)، بازدید به وسیله خودرو و معمولاً با سرعت ۳۰ km/h انجام می‌شود و در کشورهای معدودی، بازدید با پیاده‌روی صورت می‌گیرد. در ۱۰ کشور نیز، بازدیدهای پیاده به طور موازی یا بعد از بازدیدهای سواره از کل مسیر انجام شده است.

گروه بازدید: معمولاً از دو نفر، یک راننده و یک بازرس، تشکیل می‌شود. چهار کشور از یک یا دو نفر، یک کشور فقط از یک نفر و یک کشور نیز از سه نفر در تیم بازدید استفاده می‌کنند.

زمان بازرسی: حدود نیمی از کشورها، پیشنهاد بازدید از نیمه بهار تا نیمه پاییز را داده‌اند ضمن اینکه برخی، زمان بین نیمه بهار و ابتدای تابستان یا انتهای زمستان و ابتدای بهار را توصیه کرده‌اند.

دامنه بازرسی: در اکثر کشورها (۱۵ مورد)، کل شبکه یا بخش عمده آن بازدید می‌شود. در هفت کشور نیز بازدیدها نه تنها در سطح شبکه بلکه به طور موازی، در سطح پروژه نیز صورت می‌گیرد تا جزییات خرابی بخش‌های برنامه‌ریزی‌شده برای تعمیر نیز به دست آید. در چهار کشور نیز بازدیدها فقط در سطح پروژه انجام می‌شود.

دوره تکرار: بازدید چشمی در ۹ کشور، هر سال انجام می‌شود، در حالی که در کشورهای دیگر هر دو الی چهار سال و در بالاترین حد نیز در یک کشور، هر پنج‌سال تکرار می‌شود. میانگین دوره تکرار بازدیدها، ۱/۹ سال با انحراف معیار ۱/۱ سال است که به معنی محدوده نرمال بین ۳-۱ سال تکرار بازدیدهاست.

فرمت جمع‌آوری داده‌ها: نتایج نشان می‌دهند که ۱۲ کشور در قالب فرم‌هایی اطلاعات را جمع‌آوری می‌کنند. ۱۲ کشور با استفاده از فایل‌های کامپیوتری و ۹ کشور از صفحه کلیدهای خاص (شامل گردآورنده قابل حمل اطلاعات) استفاده می‌کنند. بیش از نیمی از کشورها، ترکیبی از روش‌های فوق را به کار می‌برند.

گزارش‌دهی: ۷ کشور، هم گزارش‌های تصویری و هم شاخص‌های محاسبه‌شده[1] را ارایه می‌کنند. ۵ کشور، فقط گزارش‌های تصویری و ۷ کشور نیز فقط شاخص‌های محاسبه‌شده را ارایه می‌کنند.

پردازش داده‌ها: در همه کشورها به صورت خودکار انجام می‌شود. داده‌های جمع‌آوری‌شده به روش دستی، با روشی خودکار مورد پالایش، ذخیره‌سازی، پردازش و ارزیابی قرار می‌گیرد، اگر چه در ۶ کشور، روش‌های دستی نیز به خوبی اجرا می‌شود.

کاتالوگ‌های خرابی[2]: کاتالوگ‌های خرابی در اکثر کشورها (۱۶ مورد) استفاده می‌شود و در بقیه کشورها نیز در دست تهیه است. کاتالوگ‌های خرابی، ابزار بسیار مفیدی برای بازدیدهای چشمی هستند.

نقاط مبنا: نقاط مبنا در بازدید از اهمیت خاصی برخوردارند زیرا نتایج بازدید تا حدود زیادی به پلان و مکان مناسب آنها بستگی دارد. تنوع فراوانی در بین کشورها با توجه به تجارب و عرف‌شان وجود دارد. به‌طور خلاصه، سیستم زنجیره km + m (یعنی مثلاً ۱۰۰ متر از هر ۳ کیلومتر) در ۱۰ کشور، سیستم‌های نقطه گرهی[3] در ۱۰ کشور و نقاط مبنا در ۹ کشور استفاده می‌شود. در بعضی اوقات نیز، ترکیبی از این روش‌ها استفاده می‌شود.

---

1. Calculated Indices
2. Distress Catalogues
3. Node Point Systems

آموزش پرسنل: آموزش عملی و تئوری پرسنل در زمینه خرابی‌های احتمالی روسازی و روش‌های بازدید چشمی، سالی یک‌بار در هر ۱۹ کشور اجرا می‌شود. مهمترین فاکتورهای آموزشی، از دیدگاه تکرارپذیری و تجدیدپذیری فرآیند بازدید، عنوان شده‌اند.

٦-٢-٣. فهرست انواع خرابی و روش‌های کمی کردن وسعت[1] و شدت[2]

هر ۱۹ کشور، انواع خرابی در روسازی‌های انعطاف‌پذیر را طبقه‌بندی کرده‌اند و ۱۰ کشور، این کار را برای روسازی‌های صلب (بتنی) هم انجام داده‌اند.در جدول(٦ـ١)، فهرستی از انواع خرابی‌ها برحسب اولویت اول و دوم همراه با سطح جمع‌آوری داده‌ها (شبکه و پروژه) نمایش یافته است.

منظور از وسعت در این جدول، اندازه خرابی است که بر حسب واحد طول/مساحت، درصدی از طول/مساحت یا به صورت یک عدد از طول کل قسمت روسازی (معمولاً ۱۰۰ متر) می‌باشد. واحدهای بکاررفته برای وسعت انواع مختلف خرابی که بیشترین کاربرد را در هر دو سطح شبکه و پروژه داشته‌اند، در جدول (٦-١) ارایه شده‌اند.

در صورت بکارگیری درصد طول/مساحت، ارزیابی آن نیز معمولاً با طبقه‌بندی همان درصدها انجام می‌شود که ۳ یا ٤ دسته هستند مثل کوچکتر از ۱۰٪، ۵۰-۱۰٪ و بزرگتر از۵۰٪. روش ارزیابی در این موارد، به صورت پیاده یا سواره با سرعت کم است.

برای بازدید چشمی سواره با سرعت بالاتر، واحدهای طول/مساحت و یا عددی از طول کل مناسب‌ترند. معمولاً در این موارد و در سطح شبکه، ارزیابی فقط بر مبنای بیشترین سطح شدت روی‌داده صورت می‌گیرد.

شاخص شدت در اکثر کشورها (۱۵ مورد) استفاده می‌شود که عمدتاً در دو یا سه دسته قرار دارند. اغلب واحدهای این شاخص، در جدول(٦ـ١) آمده است. برای هر نوع خرابی، حدود متنوعی در تعریف شدت خرابی در بین کشورها بکار می‌رود.

روش‌های پیچیده‌تری نیز برای طبقه‌بندی این شاخص در بعضی کشورها بکار می‌رود. مثلاً در فرانسه دامنه ارقام هر طبقه‌بندی مربوط به تغییرشکل روسازی ناشی از فرورفتگی‌های موضعی، شیارافتادگی جای چرخ و غیره، توسط ادارات محلی و بر اساس آن سطح از شبکه جاده‌ای که به تعمیرات نیاز دارد، دیکته می‌شود.

---

1. Extent
2. Severity

جدول ٦-١: فهرست انواع خرابی.

اولویت	خرابی	سطح	نوع	وسعت ۱	وسعت ۲	شدت
روسازی‌های انعطاف‌پذیر (Flexible Pavements)						
۱	تغییرشکل‌های موضعی Local Deformations	NP	PTA	٪ از A	nb	عمق
۱	فرورفتگی موضعی Local Depression	P	A	٪ از A	nb	عمق
۱	نشست‌ها Settlement	P	A	٪ از A	nb	عمق
۱	ترک‌خوردگی‌ها Cracking Group	NP	LTA			
۱	ترک‌های طولی Longitudinal Cracks	NP	L	٪ از L	L	عرض+ توصیف
۱	ترک‌های عرضی Transverse Cracks	NP	T	nb		عرض+ توصیف
۱	ترک‌خوردگی پوست‌سوسماری Alligator Cracking	NP	A	٪ از L	L	عرض+ توصیف
۱	از بین رفتن مصالح Material Losses Group	NP	PLA			
۱	گودال‌ها Potholes	NP	P	٪ از L	nb	قطر + nb
۱	کرموشدگی Ravelling	P	A	٪ از A	A	سطح گسترش
۱	هوازدگی Weathering	P	A	٪ از A	A	سطح گسترش
۱	پوسته‌شدگی Scaling	P	A	٪ از A	A	سطح گسترش
۱	لکه‌گیری موضعی Local Patching	NP	A	٪ از L	٪ از A	سطح گسترش
۱	مکش‌ها Pumping Group	P	TA	٪ از L		
۱	رو زدن قیر Bleeding	P	A	٪ از A		توصیفی
۲	پس‌روی جانبی Lateral Shoving	P	T	٪ از L		عمق
۲	پس‌روی عرضی Transverse Shoving	P	T	٪ از L	٪ از A	عمق
۲	ترک‌های خستگی Fatigue Cracks	NP	L	٪ از L	L	عرض+ توصیف
۲	ترک‌های کناری Edge Cracks	NP	L	٪ از L	L	عرض+ توصیف
۲	درزهای ساختمانی(طولی) Constraction Joints	NP	L	٪ از L	L	عرض+ توصیف
۲	ترک‌خوردگی انعکاسی Reflection Cracking	NP	T	٪ از L	nb	عرض+ توصیف
۲	درزهای ساختمانی(عرضی) Constraction Joints	P	T	٪ از L	nb	عرض+ توصیف
۲	ساییدگی (معمولی) Abrasion (normal)	P	L	٪ از A		
۲	شیارشدگی جای چرخ Rutting	NP	L	٪ از L	L	میانگین عمق
روسازی‌های صلب (Rigid Pavements)						
۱	شکستگی‌های گوشه Corner Breaks	P	P	٪ از A		سطح گسترش
۱	ترک‌خوردگی‌ها Cracking Group	NP	LTA			
۱	ترک‌های طولی Longitudinal Cracks	NP	L	٪ از L		عرض+ توصیف
۱	ترک‌های عرضی Transverse Cracks	NP	T	nb		عرض+ توصیف
۱	لکه‌گیری موضعی Local Patching	NP	A	٪ از L		سطح گسترش
۱	مکش Pumping	P	T	٪ از L		توصیفی
۱	پوسته‌شدگی Scaling	P	A	٪ از A		سطح گسترش
۱	خرابی درزبند Joint Sealant Damage	P	T	٪ از L		توصیفی
۱	پکیدگی درز Joint Spalling	P	T	٪ از L		توصیفی
۲	کمانش (تورم) Blow-up	P	A	٪ از A		
۲	ترک‌های قطری (مورب) Diagonal Cracks	NP	A	٪ از L		عرض+ توصیف
۲	ترک‌های انقباضی Shrinkage Cracks	P	A	٪ از A		عرض
۲	سوراخ‌شدگی‌ها Punchouts	P	A	٪ از A		عمق
۲	گسلش Faulting	NP	T	٪ از L		
۲	پکیدگی لبه Edge Spalling	P	L	٪ از L		عمق

سطح: N= شبکه P= پروژه(اولویت اول تنها p به معنای ودوم سطح N است)

نوع: P= نقطه‌ای T= عرضی L= طولی A= مساحت

وسعت: A= مساحت به m^2 L= طول به متر nb= عدد

شدت: عمق، عرض یا قطر(mm) ، توصیفی و سطح گسترش

٦-٢-٤. شاخص‌های ترکیبی

شاخص‌های ترکیبی در ١٤ کشور برای نمایش نتایج بازرسی چشمی به کار می‌رود. محاسبه این شاخص‌ها به طرق مختلف صورت می‌گیرد که عبارتند از: میانگین، میانگین وزنی، تابع تجمعی[1] (آزاد) و مقادیر مقایسه‌ای.

هنگام ارزیابی گروهی از خرابی‌ها نظیر ترک‌ها در بازدیدهای چشمی روسازی، از مقدار میانگین به عنوان شاخص اصلی استفاده می‌شود (روش مورد استفاده در اسپانیا).

در هشت روش نیز از ضرایب وزنی استفاده می‌شود که مقادیر بزرگ‌تر را معمولاً برای خرابی‌های سازه‌ای در نظر می‌گیرند، زیرا در عمر باقیمانده روسازی، مؤثرترند. طبقه‌بندی راه یا ترافیک نیز معمولاً در نظر گرفته می‌شود. هر چه متغیر بزرگتر باشد، مقدار ضریب وزنی نیز بزرگتر است. به عنوان مثال، شاخص میانگین وزنی مورد استفاده در مجارستان عبارت است از:

$$Index = f(p_i e_i s_i)$$

که در آن:

p_i: ضریب وزنی خرابی i،

e_i: وسعت خرابی i،

s_i: شدت خرابی i.

از شاخص‌های مقایسه‌ای[2] نیز زیاد استفاده می‌شود (٧ کشور). به عنوان مثال، شاخص مورد استفاده در سوییس:

$$Index = 5 - f(p_i e_i s_i)/10$$

یا شاخص چشمی V در بلژیک:

$$V = V\max - f(p_i e_i)$$

از شاخص‌های وزنی و مقایسه‌ای، معمولاً در روش‌هایی استفاده می‌شود که وسعت بر حسب درصدی از طول/مساحت است.

نوع دیگر شاخص‌های ترکیبی، شاخص‌های بدون انتها[3] یا آزاد می‌باشند. این شاخص‌ها معمولاً یک درجه‌بندی پیوسته با مقدار صفر برای عدم وجود خرابی هستند که امکان نمایش هر مقداری، بدون محدودیت تا هر سطحی بر روی آن وجود دارد. برای انواع مختلف خرابی، نقاطی جداگانه مشخص شده است. از این شاخص‌ها، معمولاً در روش‌هایی استفاده می‌شود که وسعت خرابی برحسب ابعاد طول/ مساحت یا عددی از طول کل بیان می‌شود.

٦-٢-٥. گام‌هایی به سوی هماهنگ‌سازی

یکی از حوزه‌های مدیریت روسازی که فاقد یک قاعده مشخص در مدل‌های تصمیم‌سازی و کاربرد فرایندهاست، خرابی رویه راه می‌باشد. کمیته فنی C1 پیارک، گام‌هایی مقدماتی برای هماهنگ‌سازی روش‌های

1. Add-Up Function
2. Deduct Value Indices
3. Open-Ended

بازرسی چشمی روسازی، پردازش داده‌ها و ارایه نتایج آن برداشته است. در اولین مرحله، اطلاعات مربوط به روش‌های بازرسی چشمی در کشورهای مختلف از طریق پرسشنامه‌هایی جمع‌آوری شد که مهمترین نتایج آن در بخش‌های ٦-٢-١ تا ٦-٢-٤ ارایه گردید.

با استفاده از نتایج این نظرسنجی، می‌توان پیشنهادهایی برای هماهنگ‌سازی روش‌ها ارایه داد که شامل تعریف خرابی و توصیه‌هایی برای کمّی‌سازی وسعت و شدت و محاسبه شاخص‌ها باشند. این پیشنهادها همچنین می‌تواند شامل نتایج مطالعات دیگری در این زمینه، مثل مفهوم یک شاخص ترک‌خوردگی جهانی باشد [٤٩]. چنین عملیاتی در هر دو سطح شبکه و پروژه، قابل اجرا است.

٦-٣. بازرسی‌های خودکار خرابی رویه راه

٦-٣-١. مقدمه

برای کسب اطلاعات راجع به سیستم‌های جمع‌آوری و پردازش خودکار داده‌های خرابی رویه راه، مطالعه‌ای بر روی سیستم‌های موجود انجام شد. پاسخ‌های ارایه‌شده حاکی از وجود چهار سیستم کلی به قرار زیر بودند:

- بازرسی چشمی و پردازش دستی توسط متصدی آن،
- جمع‌آوری تصاویر و پردازش دستی توسط متصدی آن،
- جمع‌آوری تصاویر و پردازش نیمه‌خودکار با دخالت متصدی آن،
- جمع‌آوری و پردازش خودکار تصاویر.

بنا به تصمیمات اخذشده در C1، گزارش حاضر به تحلیل ١١ سیستم خودکار و نیمه خودکار زیر می‌پردازد که دارای تحلیل تصویر یا نظر کارشناسی هستند:

- سیستم Roadware Corporation, WISECRAX از کشور کانادا،
- سیستم‌های CETE Méditerranée, MACADAM و Technologies Nouvelles از کشور فرانسه،
- سیستم‌های Nichireki و PASCO از کشور ژاپن،
- سیستم RST, PAVUE-System از کشور سوئد،
- سیستم IMAC, Ecole Polytechnique Fédéral de Lausanne, CREHOS از کشور سوییس،
- سیستم University of Birmingham از بریتانیا،
- سیستم‌های Case University of Ohio و MHM Associates, ARIA و Roadman PCES از آمریکا.

٦-٣-٢. دامنه کاربرد و اهداف سیستم‌های خودکار

دامنه کاربرد این سیستم‌ها، تحلیل خودکار انواع خرابی‌های ترک‌خوردگی، از بین رفتن مصالح و رو زدن قیر می‌باشد. خرابی‌های نوع تغییر شکل رویه را معمولاً با استفاده از دیگر دستگاه‌ها، بازبینی و پردازش می‌کنند.

هدف سیستم‌های خودکار، حذف متصدی اندازه‌گیری و کمّی‌سازی انواع مختلف خرابی است. در برخی موارد خاص نیز با توجه به استمرار بازرسی، وسعت خرابی و روش ارایه نتایج (از ترسیم دقیق یک خرابی گرفته تا محاسبه یک شاخص واحد به نمایندگی از همه خرابی‌ها)، ممکن است اهداف دیگری دنبال شود. برای پوشش این اهداف، سیستم‌های متنوع با کارایی و بازده مختلف نیز عرضه می‌شود.

٦-٣-٣. نتایج پرسشنامه

٦-٣-٣-١. تصویربرداری

طول مسیر تصویربرداری[1]: در سه سیستم (ویدیو، دیجیتال)، تصاویر قسمت‌هایی از راه (که با روش‌های نمونه‌گیری تعیین می‌شوند) تهیه می‌شود و در ٨ سیستم باقیمانده، از کل مسیر به صورت پیوسته تصویربرداری می‌شود.

شرایط عملیات: پنج سیستم با قابلیت تصویربرداری در روز، سه سیستم با قابلیت تصویربرداری در شب با روشنایی مخصوص بر روی فیلم ٣٥ میلی‌متری و نهایتاً، سه سیستم نیز با قابلیت تصویربرداری در شبانه‌روز با روشنایی مخصوص و با استفاده از سیستم‌های ویدیویی و دیجیتال می‌باشند.

سرعت عملیات: اکثر خودروها با سرعت‌های بین ٦٠-٩٠km/h تصویربرداری می‌کنند ضمن اینکه دو سیستم ویدیویی نیز با سرعت‌های کمتر، حدود ٥٠ km/h عمل می‌کنند.

سطح پوشش عرض راه: عملاً همه سیستم‌ها به گونه‌ای طراحی‌شده‌اند که یک باند عبوری را به طور کامل پوشش دهند اما اغلب تا ٤/٥ متر و یک سیستم نیز ٤/٨ متر از عرض راه را پوشش می‌دهد.

پشتیبانی تصویر[2]: ذخیره تصاویر در سه سیستم با فیلم‌های ٣٥ میلی‌متری است؛ از ٦ سیستم ویدیویی، یکی با سنسور فراصوتی (اولتراسونیک)، یکی با سنسورهای لیزری، یکی با سیستم تصویربرداری دیجیتال و یکی نیز با سیستم لیزری کار می‌کند. دو سیستم باقیمانده نیز اصلاً تصاویر را ذخیره نمی‌کنند.

٦-٣-٣-٢. پردازش تصویر

پردازش تصویر: پردازش در اکثر سیستم‌ها (٩ مورد) بعد از تصویربرداری و در دفتر انجام می‌شود، ضمن اینکه دو سیستم نیز قابلیت پردازش‌های جزیی، بلافاصله پس از تصویربرداری را دارند. دو سیستم باقیمانده نیز که قابلیت ذخیره و جمع‌آوری تصاویر را ندارند، برای پردازش فوری تصویر در محل طراحی شده‌اند.

پوشش طولی[3]: گزارش ٩ سیستم، مسیر کامل راه را در برمی‌گیرد و دو سیستم دیگر، قسمت‌های نمونه‌گیری‌شده را تحلیل و گزارش می‌کنند.

---

1. length of Image Collection
2. Image Support
3. Length Coverage

انواع رویه‌ها: همه سیستم‌ها برای پردازش رویه‌های آسفالت طراحی شده‌اند ضمن اینکه ۹ سیستم، قابلیت پردازش رویه‌های بتنی را نیز دارند.

شناسایی اشیاء: ٦ سیستم، قابلیت شناسایی اشیاء و اشکال روی سطح راه را دارند ضمن اینکه فقط سه سیستم قابلیت شناسایی و تعیین موقعیت خط‌کشی سطح راه را دارند.

شناسایی خرابی‌ها: شناسایی ترک‌های منفرد یا پوست‌سوسماری[1] در همه سیستم‌ها امکان‌پذیر است. ترک‌های تا mm ۱ توسط ۵ سیستم، ترک‌های تا mm ۲ توسط ۳ سیستم و ترک‌های تا mm ۳ نیز توسط ۲ سیستم قابل شناسایی هستند.

نمایش داده‌ها: ۵ سیستم، قابلیت نمایش اطلاعات در چند قالب اعم از نمودارها، شاخص‌ها، جداول و هیستوگرام‌ها را دارند. فرمت نمایش داده‌ها بیشتر به صورت شاخص‌های محاسبه‌شده (۹ سیستم)، نمودار (۸ سیستم) و پس از آن به صورت جداول و هیستوگرام (٦ سیستم) است.

روش‌های پردازش: همه سیستم‌ها از الگوریتم‌های مختلفی در محاسبات استفاده می‌کنند که در خروجی‌ها ذکر نمی‌شود. روش‌های تشخیص بافت[2] که رایج‌ترین ابزار تحلیل تصویر هستند در ٦ سیستم، نظرات کارشناسی ذخیره‌شده در حافظه در یک سیستم و روش شناسایی سه‌بعدی در یک سیستم به کار می رود.

سرعت پردازش: سرعت پردازش از ۸ تا ۸۰۰ کیلومتر در روز، در بین سیستم‌ها متغیر است و سریعترین آنها، با روش نمونه‌گیری (پردازش ناپیوسته) و شدت پردازش ٢٤ ساعت در روز کار می‌کند. به استثنای سیستم‌های پرکار، دامنه معمول سرعت پردازش از ۳۰ تا ۱۰۰ کیلومتر در روز است.

وضعیت توسعه سیستم‌ها: ارزیابی وضعیت آتی سیستم‌ها با توجه به پاسخ‌های داده‌شده، مشکل است و به طور غیر قطعی می‌توان گفت:

- برای یک سیستم، از سال ۱۹۹۱ به دنبال اضافه کردن قابلیت پردازش در محل (فوری) هستند، لیکن سخت‌افزار مورد نیاز تا آن زمان موجود نبوده است،
- دو سیستم، در حال توسعه هستند،
- نمونه‌های پیشرفته‌تر ۷ سیستم نیز در حال طی مراحل آزمایش و تأیید قبل از ورود به بازار هستند،
- نمونه توسعه‌یافته یک سیستم نیز آماده بهره‌برداری است.

٦-۳-٤. ملاحظات

با توجه به پرسشنامه‌ها، ملاحظات زیر قابل ذکر است:

- آنالیز خرابی، اغلب به عنوان یک سیستم فرعی در دستگاه‌های چندمنظوره قرار گرفته است (ناهمواری، بافت، شیارشدگی جای چرخ و ...)

1. Alligator Cracking
2. Pattern Recognition

- تصویربرداری از رویه راه، معمولاً همزمان با سایر تصویربرداری‌های از راه انجام می‌شود.
- نیاز به بهبود کیفیت تصاویر برای پردازش خودکار، در یکی از پرسشنامه‌ها اشاره شده است.
- به خاطر تفاوت وظایف هر سیستم، یافتن نقطه اشتراکی برای مقایسه به ویژه از نظر قابلیت اجرایی، دقت تحلیل‌ها و وضعیت توسعه سیستم (تحت پژوهش، مدل اولیه، در حال بهره‌برداری، ...) مشکل است.

٦-٤. نتیجه‌گیری

برای تبیین وضعیت موجود بازرسی‌های خرابی رویه راه، از بسیاری کشورها و مؤسسات تحقیق و توسعه مرتبط نظرسنجی شد. نظرسنجی برای هر دو بازرسی‌های چشمی و خودکار و در دو بخش مجزا صورت گرفت و جمع‌بندی نتایج پرسشنامه‌ها، منجر به تهیه یک گزارش خوب از وضعیت بازرسی‌های چشمی در جهان و همچنین یک‌سری اطلاعات اولیه از توسعه سیستم‌های خودکار در این زمینه شد. با برگزاری کارگاه آموزشی پیش‌بینی‌شده در کنگره بیستم، اطلاعات بیشتری در این زمینه به دست خواهد آمد. نتایج زیر قابل ذکر است:

- روش‌های مختلف بازرسی چشمی برای سال‌های متمادی، به نحو موفقیت‌آمیزی به کار رفته‌اند. این نوع بازرسی، در موارد زیاد و با جزییات و مستندات دقیق اجرا شده است که گواه این مدعا نیز کاتالوگ‌های موجود درباره خرابی رویه می‌باشد. سیستم‌های آموزش با کامپیوتر از مدتها قبل موجود است و احتمالاً نیاز تحقیقاتی خاصی جز در خصوص ارتباط و نتایج مختلف فرمول‌های محاسبه شاخص‌ها وجود ندارد.
- سیستم‌های خودکار در حال حاضر، فاز توسعه را طی می‌کنند و تحقیقات متنوعی در سطوح مختلف در جریان است. دو گروه مستقل تحقیقاتی در این زمینه فعالند که یکی به توسعه تیم‌هایی در رابطه با روش‌های عملی بازرسی پرداخته و دیگری، عمدتاً به دنبال آنالیز تصویر خودکار مستقل از جمع‌آوری و پردازش اطلاعات می‌باشند. هر دو گروه بسیار فعال بوده و قابلیت ارایه پیشنهادهایی در زمینه روش‌های هماهنگ[1] برای کمّی کردن شدت و وسعت، فرمت ارایه اطلاعات و محاسبه شاخص‌ها را دارند. اغلب محققین نیاز دارند دامنه تحقیقات خود را از ترک‌خوردگی به تمامی انواع خرابی رویه گسترش دهند.
- کمیته C1 پیارک لازم می‌داند بعد از کنگره بیستم، در خصوص ایجاد روش‌های هماهنگ برای کمّی‌سازی شدت و وسعت انواع خرابی، فرمت ارایه اطلاعات و محاسبه شاخص اقدام نماید. ضروری است تمامی پیشنهادها، برای هر دو بازرسی‌های چشمی و خودکار خرابی سطح راه قابل اجرا باشد.

1. Harmonized Methods

مراجع

1. AIPCR/PIARC, XIXe CongrËs mondial de la Route, «Compte-rendu des travaux du Congrés», ref.19.60. B, AIPCR/PIARC, Marrakech, Sept. 1991, 3.
2. AIPCR/PIARC, XIXe CongrËs mondial de la Route, «Conclusions du Congrés», ref.19.61. B, AIPCR/PIARC, Marrakech, Sept. 1991, 2.
3. COMITE TECHNIQUE AIPCR DES CARACTERISTIQUES DE SURFACE, XVIIIe Congrés mondial de la Route, «Rapport du Comité Technique des Caractéristiques de Surface», AIPCR/PIARC, Bruxelles, Sept. 1991, 1.
4. COMITE TECHNIQUE AIPCR DES CARACTERISTIQUES DE SURFACE, XVIIIe Congrés mondial de la Route, «Rapport du Comité Technique des Caractéristiques de Surface», ref.19.01. B, AIPCR/PIARC, Marrakech, Sept. 1991, 1.
5. COMITE TECHNIQUE AIPCR DES CARACTERISTIQUES DE SURFACE, «Expérience internationale de comparison et d'harmonisation de mesures de texture et de glissance», ref. 01.04. B, AIPCR/PIARC, Paris, 1995, ISBN.
6. COMITE TECHNIQUE AIPCR DES CARACTERISTIQUES DE SURFACE, «Proceedings of second international symposium on road surface characteristics», Technische Universität Berlin, June 1992.
7. COMITE TECHNIQUE AIPCR DES CARACTERISTIQUES DE SURFACE, «Catalogue des appareils de mesure des caractéristiques de surface», ref. 01.03.B, AIPCR/PIARC, Paris, 1995, ISBN.
8. COMITE TECHNIQUE AIPCR DES CARACTERISTIQUES DE SURFACE ET COMITE TECHNIQUE DES ROUTES SOUPLES, «Porous asphalt-Enrobés drainants», ref.08.01.B, AIPCR/PIARC, Paris, 1993.
9. «Routes/Roads» 266, Bulletin de l'AIPCR, «Nouvelles de l'AIPCR», n^{o} 266, AIPCR/PIARC, Paris août 1998.
10. «Routes/Roads» 275, Bulletin de l'AIPCR, «Présentation des domaines d'activité des Comités et Groupes ad hoc», n^{o} 275, AIPCR/PIARC, Paris, III-1991.
11. «Routes/Roads» 277, Bulletin de l'AIPCR, «Programme 1992-1995 des Comités et Groupes de travail de l'AIPCR», n^{o} 277, AIPCR/PIARC, Paris, II-1992.
12. «Routes/Roads» 278, Bulletin de l'AIPCR, «Deuxiéme symposium international sur les caractéristiques de surface des chaussées», n^{o} 278, AIPCR/PIARC, Paris, III-1992.
13. «Routes/Roads» 278, Bulletin de l'AIPCR, «International experiment to compare and harmonize texture and skid resistance measurement», n^{o} 278, AIPCR/PIARC, Paris, III-1992.
14. «Routes/Roads» 280, Bulletin de l'AIPCR, «Skid resistance monitoring in Japan», n^{o} 280, AIPCR/PIARC, Paris, II-1993.
15. «Routes/Roads» 282, Bulletin de l'AIPCR, «Call for papers for the XXth World Road Congress», n^{o} 282, AIPCR/PIARC, Paris, I-1994.
16. «Routes/Roads» 265, Bulletin de l'AIPCR, «Mesure de l'uni des chaussées», n^{o} 265, AIPCR/PIARC, Paris, II-1998.

17. ISO/DIS 13473-1, «Characteristics of pavement texture utilizing surface profiles-Part 1: Determination of mean profile depth», Final Report of ISO/TC 43/SC1/WG 39, Linköping, 1994.
18. SAYERS M.W., GILLESPIE T.D., QUEIROZ C.A.V., «The International Road Roughness Experiment establishing correlation and a calibration standard for measurements», Technical Report n^{o} 45, The World Bank, Washington, 1986.
19. SAYERS M.W., GILLESPIE T.D., PATERSON W.D.O., «Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements», Technical Report n^{o} 46, The World Bank, Washington, 1986.
20. Dodds C. J., Robson J. D., «The description of road surface roughness», «Journal of Sound and Vibration», n^{o} 31(2), pp 175-183, 1973.
21. CEBON D., «Interaction between heavy vehicles and roads», L. Ray Buckendale Lecture, SAE 1993, SP-951-SAE Transaction 93001.
22. International Road Federation (IRF), «Working group on interaction of vehicles, tyres and pavement: contribution towards reduction of traffic noise».
23. SANDBERG U., DESCORNET G., «Road surface influence on tyre/road noise- Part II», Proceedings of Inter-Noise ’80, miami, 1980.
24. DESCORNET G., «Surfaces routiéres de référence pour les essais de véhicules», «Routes/Roads» n^{o} 272, AIPCR/PIARC, Paris, III-1990.
25. LAMURE C., «Interaction route/véhicule», «Routes/Roads» n^{o} 276, AIPCR/PIARC, Paris, I-1992.
26. VON MEIER A., «Europe’s environment 1993-Noise pollution», final report, Commossion of the European Communities DG XI, Brussels, 1994.
27. 7th International Symposium on Concrete Roads, Session on «Noise Reducing Surfaces», CEMBUREAU, Nienna, 1994.
28. VON MEIER A., VAN KEULEN W., «Geluid van betonvegen», report VNC 94.1.1, Stichting CROW Ede(N.L.), 1994.
29. VON MEIER A., «A poro-elastic road surface for traffic noise reduction», Proceedings of Inter-Noise ’85, Munich, 1985.
30. HAMET J. F., BERENGIER M., «Acoustical characteristics of porous pavements: a new phenomenological model», Proceedings of Inter-Noise ’93, Leuven, 1993.
31. VON MEIER A., «Thin porous surface layers: design principles and results obtained», Proceedings if Eurosymposium on «The mitigation of traffic noise in urban areas», Nantes, 1992.
32. VON MEIER A., VAN BLOKLAND G. J., DESCORNET G., «The influence of texture and sound absorption of porous surfaces on tyre/road noise», PIARC 2nd International Symposium on Road Surface Characteristics, Technische Universität, Berlin, 1992.
33. SANDBERG U., et al, «Low noise road surfaces – A Nordic co-operation project», VTI report 388, Linköping (Sweden), 1993.
34. SPRINGBORN M., «Langzeiterfahrungen mit zwei Drainasphaltversuchs –stecken..» Strabe + Autobahn 4/93, 1993.

35. WEGENBOUMIJ J., HEIJMANS B. V., «Doorbraak in de toepassing van TWIN-LAY in de bebouwde kom», Roshmalen (NL), 1993.
36. ISO/CD 11819-1, «Acoustics-method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise. Part I: The statistical pass-by method», ISO/TC 43/SC1 doc. n° 927, 1994.
37. BERENGIER M., DELANNE Y., «Caractéristiques acoustiques intrinséques d'une structure par une méthode impulsionnelle», Bulletin de liaison des LPC., n° 139, LCPC, Paris, 1985.
38. GARAI M., «Measurement of the sound-absorption coefficient in-situ: the reflection method using periodic pseudo-random sequences of maximum length», «Applied Acoustics», n° 39, 1993.
39. VON MEIER A., JABBEN J., JONGENS A.W.D., «In-situ measurement of sound absorption by Guard tube and Ceptstrum signal processing», Proceedings of International Transport Noise Symposium, St Petersburg (Russia), 1994.
40. VON MEIER A., VAN BLOKLAND G. J., HEERKENS J.C.P., «Noise optimized road surfaces and further improvements by tyre choice», Proceedings of INTROC 90' Conference on Tyre/Road Noise, Gothenburg, 1990.
41. NILSSON N.A., ZETTERLING T., «Noise reduction mechanisms for poro-elastic road surfaces», Proceedings of INTROC 90' «Conference on Tyre/Road Noise», Gothenburg, 1990.
42. AURELL J., «On the influence of defferent suspension parameters of commercial vehicles on dynamic wheel loads», Seminar: «Road wear: The interaction between vehicle suspensions and the road», Institution of Mechanical Engineers, Automobile Division, 1991.
43. CROLLA D.A., ABOUL NOUR A.M.A., «Theoretical comparison of various active suspension systems in terms of performance and power requrements», Advanced Suspensions, Proceedings of the Institution of Mechanical engineers, ImechE 1988-9, 1988.
44. HARRIS C. M., «Shock and vibration handbook», Third edition, McGraw-Hill Book Company, 1987.
45. OECD, «Dynamic loading of pavements», Report prepared by OECD scientific expert group IR2, Paris, 1992.
46. MAGNUSSON G., «Measurement of dynamic wheel load», Swedish Road and Traffic Research Institute, Report no. 279A, Linköping, 1987.
47. SWEATMAN P. F., «A study of dynamic wheel forces in axle group suspensions of heavy vehicles», Austrailian Road Research Board, Special Report no. 27, 1983.
48. WILKINSON P. A., «advanced commercial vehicle suspensions», Seminar: «Road wear: The interaction between vehicle suspensions and the road», Institution of Mechanical Engineers, Automobile Division, 1991.
49. PATERSON W. D., "Proposal of an universal cracking indicator", 1994 TRB annual meeting, Washington, 1994.

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
٤. 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
٦. 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
١٤. سیاست حمل‌ونقل اروپایی تا سال ۲۰۱۰	بهار	۸۳	۱۱/۰۰۰
۱۵. مبانی تحلیل اقتصادی	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
١٦. گزارش سالانه ژوئیه GRSP ۲۰۰۳	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	١٦/۰۰۰
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
٢٤. تأمین مالی و ارزیابی اقتصادی	پاییز	۸۳	۱۰/۰۰۰
۲۵. بهبود تأمین منابع مالی و مدیریت نگهداری راه	پاییز	۸۳	۱۰/۰۰۰
٢٦. 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
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
۳٤.راهنمای ارزیابی سیستم‌های نگهدارنده خاک	زمستان	۸۳	۱۰/۰۰۰
۳۵.آشنایی با مفاهیم مدیریت روسازی	بهار	۸٤	۱۰/۰۰۰
۳٦.راهنمای انعقاد قرارداد، نحوه انتخاب و مدیریت مشاوران در فعالیت‌های مهندسی پیش از ساخت	بهار	۸٤	۱۰/۰۰۰
۳۷.تضمین کیفیت در عملیات خاکی	بهار	۸٤	۱۰/۰۰۰
۳۸.رویه‌های بتنی مسلح پیوسته	بهار	۸٤	۱۰/۰۰۰
۳۹.طبقه‌بندی تونل‌ها، دستورالعمل‌ها، تجربیات موجود و پیشنهادات	بهار	۸٤	۱۰/۰۰۰
٤۰.نقش مدل‌های اقتصادی و اجتماعی- اقتصادی در مدیریت راه	بهار	۸٤	۱۰/۰۰۰
٤۱.پیشرفت مدیریت و تأمین بودجه نگهداری راهها در افریقا	تابستان	۸٤	۱۰/۰۰۰
٤۲.حمل‌ونقل ترکیبی، اقداماتی جهت تشویق به استفاده از حمل‌ونقل عمومی	تابستان	۸٤	۱۰/۰۰۰
٤۳.برنامه ملی ایمنی ترافیک کشور ترکیه	پاییز	۸٤	۱۱/۰۰۰
٤٤.بررسی توسعه حمل‌ونقل در منطقه اسکاپ در سال ۲۰۰۳، آسیا و اقیانوسیه	پاییز	۸٤	۱۷/۰۰۰
٤۵.تبادل فناوری و توسعه	زمستان	۸٤	۱۰/۰۰۰
٤٦.راههای دارای رویه بتنی	زمستان	۸٤	۱۰/۰۰۰
٤۷.تجدید ساختار بخش راه	زمستان	۸٤	۱۰/۰۰۰
٤۸.حمل‌ونقل کالا	زمستان	۸٤	۱۰/۰۰۰
٤۹.گزارش سالانه ژوئن ۲۰۰٤ GRSP	زمستان	۸٤	۱۰/۰۰۰
۵۰.بکارگیری مصالح حاصل از بازیافت رویه‌های آسفالتی و بتن خرد شده در خاکریز	زمستان	۸٤	۱۰/۰۰۰
۵۱.تراکم ترافیک در آزادراهها و بزرگراهها	زمستان	۸٤	۱۰/۰۰۰
۵۲.کاربرد بتن غلتکی در راهسازی	زمستان	۸٤	۱۰/۰۰۰
۵۳.راهنمای تأمین روشنایی راهها	زمستان	۸٤	۱۰/۰۰۰
۵٤.راهسازی در نواحی بیابانی	زمستان	۸٤	۱۰/۰۰۰
۵۵. مدیریت عملکرد پلها	بهار	۸۵	۱۰/۰۰۰
۵٦. 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

٦٠. تعمیر و نگهداری راههای شوسه (جلد دوم)	تابستان	٨٥	٣٠/٠٠٠
٦١. تعمیر و نگهداری راههای دارای رویه آسفالتی (جلد سوم)	تابستان	٨٥	٢٥/٠٠٠
٦٢. نگهداری سازه‌ها و ادوات کنترل ترافیک (جلد چهارم)	تابستان	٨٥	١٥/٠٠٠
٦٣. فناوری و اقدامات ابتکاری کنترل ترافیک در اروپا	تابستان	٨٥	١٠/٠٠٠
٦٤. معرفی سیستم مدیریت ریسک	تابستان	٨٥	١٠/٠٠٠
٦٥. تعمیر و مقاوم‌سازی زیرسازه پلها	تابستان	٨٥	١٢/٠٠٠
٦٦. الگوی مناسب برای بهره‌برداری و نگهداری تونلهای جاده‌ای	پاییز	٨٥	٢٠/٠٠٠
٦٧. مدیریت ایمنی راه	پاییز	٨٥	٢٦/٠٠٠
٦٨. مطالعه‌ای بر مدیریت ریسک در راهها	پاییز	٨٥	١٠/٠٠٠
٦٩. گزارش جهانی در خصوص پیشگیری از صدمات ناشی از تصادفات جاده‌ای	پاییز	٨٥	١٠/٠٠٠
٧٠. ارزیابی و تأمین بودجه نگهداری راه در کشورهای عضو پیارک	پاییز	٨٥	١٠/٠٠٠
٧١. حفاظت کاتدیک عرشه پلها	پاییز	٨٥	١٠/٠٠٠
٧٢. روش‌های بهبود ایمنی در راههای بین‌شهری	پاییز	٨٥	١٠/٠٠٠
٧٣. اندودهای آب‌بندی آسفالت	زمستان	٨٥	١٠/٠٠٠
٧٤. مخلوط‌های آسفالتی با مقاومت بالا در برابر شیارشدگی	زمستان	٨٥	١٠/٠٠٠
٧٥. مروری بر مدیریت دارایی در راهها	زمستان	٨٥	١٠/٠٠٠
٧٦. مدیریت راه	زمستان	٨٥	١٠/٠٠٠
٧٧. بزرگراه آسیایی و توسعه	زمستان	٨٥	١٠/٠٠٠
٧٨. راههای با روسازی انعطاف‌پذیر	بهار	٨٦	١٠/٠٠٠
٧٩. سیستم‌های مدیریت سوانح رانندگی مورد استفاده در تونل‌ها	بهار	٨٦	١٠/٠٠٠
٨٠. نقش و جایگاه اداره راه	بهار	٨٦	١٠/٠٠٠
٨١. آسفالت متخلخل	بهار	٨٦	١٠/٠٠٠
٨٢. مطالعه تطبیقی فعالیت‌های مدیریت پل	تابستان	٨٦	١٢/٠٠٠
٨٣. روکش سطحی راه	تابستان	٨٦	١٠/٠٠٠
٨٤. بودجه و عملیات نگهداری راه (یک دیدگاه آسیایی)	تابستان	٨٦	١٤/٠٠٠
٨٥. رویکرد چندوجهی برای سیستم حمل‌ونقل	تابستان	٨٦	١٠/٠٠٠
٨٦. راهنمای انتخاب و انجام آزمایش‌های فرآورده‌های خط‌کشی راه	پاییز	٨٦	١٠/٠٠٠
٨٧. محدودیتهای وزن و ابعاد وسایل نقلیه- تجارب و روندها	پاییز	٨٦	١٠/٠٠٠
٨٨. آزمون بین‌المللی هماهنگ‌سازی اندازه‌گیری پروفیل طولی و عرضی راه و گزارش آنها	پاییز	٨٦	١٢/٠٠٠
٨٩. راهنمای سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند- ویراست دوم	زمستان	٨٦	٦٠/٠٠٠
٩٠. دستیابی به کیفیت در عملیات راهسازی	بهار	٨٧	١٠/٠٠٠
٩١. نکاتی در خصوص راههای برون‌شهری	بهار	٨٧	١٠/٠٠٠
٩٢. روند جاری در زمینه ایمنی تونل	بهار	٨٨	١٩/٠٠٠
٩٣. نگهداری تابلوها، خط‌کشی‌ها و سایر تجهیزات ایمنی راه	بهار	٨٨	١٠/٠٠٠

۹٤. 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	٤۸/۰۰۰
۹٦. مدیریت و ارزیابی پل‌های پس‌کشیده بتنی	بهار	۸۸	۲۳/۰۰۰
۹۷. انواع سازه‌ای منتخب برای پلهای جدید	تابستان	۸۸	۲۰/۰۰۰
۹۸. راهنمای بازرسی و مرمت آبگذر	تابستان	۸۸	۲٦/۰۰۰
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	٤۰/۰۰۰
۱۰۳. طراحی مقطع عرضی تونل‌های دوطرفه	پاییز	۸۹	۱۵/۰۰۰
۱۰٤. راهنمای ارزیابی و کاهش سروصدای ناشی از ترافیک	پاییز	۸۹	۱٦/۰۰۰
۱۰۵. مشخصات سطح راه	بهار	۹۰	۲۰/۰۰۰
۱۰٦. برآورد هزینه چرخه عمر راه‌ها	بهار	۹۰	۱۵/۰۰۰

ب) کتب

۱. راهنمای ایمنی راه (پیارک)	پاییز	۸٤	۱۲۵/۰۰۰
۲. مدیریت پل	پاییز	۸۵	۷۵/۰۰۰
۳. روش‌های طراحی و اجرای آسفالت‌های حفاظتی	زمستان	۸٦	۲۰/۰۰۰
٤. تحلیل تصادفات و شناسایی و اصلاح نقاط پرتصادف	زمستان	۸٦	۱۹/۰۰۰
۵. مدیریت ایمنی در صنعت کشتیرانی	تابستان	۸۷	۲۲/۰۰۰
٦. مجموعه قوانین و مقررات حفظ حریم راهها	تابستان	۸۷	ـــــ
۷. مهندسی ارزش و چالش‌های عظیم بشر در قرن بیست‌ویکم	پاییز	۸۷	٤۸/۰۰۰
۸. مدیریت ایمنی در بنادر	زمستان	۸۷	ـــــ
۹. فرهنگ اصطلاحات مهندسی راه، ترافیک و حمل‌ونقل	تابستان	۸۸	۱۲۵/۰۰۰
۱۰.راهبرد ملی ایمنی راه‌های ایران	بهار	۸۹	۲۵/۰۰۰
۱۱.ایجاد فناوری حمل‌ونقل، موفقیت‌ها، چالش‌ها و نیازها	تابستان	۸۹	۱۵/۰۰۰
۱۲.طرح راهبردی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند	پاییز	۸۹	۲۰/۰۰۰

ج) لوح فشرده

۱. نشریات Austroads (شامل ۱۸٦ عنوان از نشریات وزارت راه استرالیا و نیوزلند در موضوعات مختلف بصورت فایل pdf)	پاییز	۸۳	۳٤/۵۰۰
۲. فیلم‌های آموزشی راه IRF (شامل ۱۰۷ فیلم در ٤۲ لوح فشرده)	زمستان	۸۳	۳٤/۵۰۰ (قیمت‌واحد)
۳. نشریات SWOV (شامل ۱۳۸ عنوان از نشریات SWOV DRI, VTI, NCHRP, در موضوعات مختلف بصورت فایل pdf)	بهار	۸٤	۳٤/۵۰۰
٤. مجموعه ضوابط، آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های فنی حمل‌ونقل جاده‌ای	بهار	۹۰	ـــــ

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	۱٤/۰۰۰
٤. 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	۱٦/۰۰۰
٦. ضوابط طراحی و اجرای آسفالت ماستیک	بهار	۸٤	۱۱/۰۰۰
۷. راهنمای طراحی و ایمن‌سازی پایه علائم راه	بهار	۸٤	۱۱/۰۰۰
۸. بررسی عوامل مؤثر در ارزیابی و توجیه فنی و اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی پروژه‌های راه و راه‌آهن	تابستان	۸٤	۲٤/۰۰۰
۹. راهنمای طراحی واجرای سیستم زهکشی آب‌های سطحی و زیرسطحی راه، راه‌آهن وفرودگاه (و نقشه‌های اجرایی)	تابستان	۸٤	۲۳/۰۰۰
۱۰. روش‌های جدید طرح مخلوط‌های آسفالتی بر اساس عملکرد و پیشنهاد روش مناسب برای کشور	تابستان	۸٤	۱۳/۰۰۰
۱۱.راهنمای تثبیت لایه‌های خاکریز و روسازی راهها	تابستان	۸٤	۱۸/۰۰۰
۱۲.تسلیح خاکریز و بستر راهها با استفاده از ژئوگرید	تابستان	۸٤	۱٤/۰۰۰
۱۳.سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل ریلی	پاییز	۸٤	۲۰/۰۰۰
۱٤.ظرفیت باربری محوری شمع‌ها	زمستان	۸٤	۱۷/۰۰۰
۱۵.تثبیت شیب شیروانی خاکریزها و خاکبرداری‌ها	بهار	۸۵	۱٤/۰۰۰
۱٦.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	۸٦	۳۵/۰۰۰
۲٤.ساعت کار مجاز رانندگان حمل‌ونقل باری	بهار	۸٦	۲۰/۰۰۰
۲۵.کاربرد CBR غیراشباع در طراحی روسازی	بهار	۸٦	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
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

٥٦.مبانی فنی و اقتصادی روش‌های حفاری تونل‌های راه و راه‌آهن	بهار	٨٨	٢٧/٠٠٠
٥٧.طراحی سیستم‌های روشنایی تونل‌های راه	تابستان	٨٨	١٢/٠٠٠
٥٨.طراحی سیستم‌های ایمنی تونل‌های راه	تابستان	٨٨	١٠/٠٠٠
٥٩.طراحی سیستم‌های کنترل و برق تونل‌های جاده‌ای	تابستان	٨٨	٢٠/٠٠٠
٦٠.طراحی سیستم‌های تهویه تونل‌های راه	تابستان	٨٨	٦٠/٠٠٠
٦١.مقررات حمل‌ونقل جاده‌ای	تابستان	٨٨	٥٣٠/٠٠٠
٦٢.هزینه تصادفات (تئوری و کاربرد)	تابستان	٨٨	٧٥/٠٠٠
٦٣.مقررات حمل‌ونقل ریلی	تابستان	٨٨	٢٧٠/٠٠٠
٦٤.مبانی نظری تحلیل پل‌های سنگی	پاییز	٨٨	١٥/٠٠٠
٦٥.بررسی علل بروز خرابی زودرس روسازی‌های آسفالتی	پاییز	٨٨	٣٥/٠٠٠
٦٦.مقررات حمل‌ونقل دریایی	پاییز	٨٨	٤١٠/٠٠٠
٦٧.راهنمای طراحی لرزه‌های اسکله	زمستان	٨٨	٨٠/٠٠٠
٦٨.بررسی روش‌های آزمایشگاهی برای کنترل ترک‌های ناشی از بارگذاری و ارائـه مدل پیش‌بینی ترک‌های خستگی آسفالت روسازی راههای کشور	زمستان	٨٨	٤٢/٠٠٠
٦٩.راهنمای جزئیات طرح خط‌کشی در راههای برون شهری	زمستان	٨٨	٢٨/٠٠٠
٧٠.پل‌های تاریخی ایران	زمستان	٨٨	٦٤/٠٠٠
٧١.هزینه‌های خارجی حمل‌ونقل زمینی (شناسایی و بررسی)	بهار	٨٩	٨٧/٤٠٠

ج) کتب

١.فرهنگ جامع دریایی	تابستان	٨٣	١٠٨/٠٠٠
٢.برنامه‌ریزی و طراحی فرودگاه (دو جلد)	تابستان	٨٣	٣٩/٠٠٠
٣.فرهنگ و اصطلاحات فنی و مهندسی راه	تابستان	٨٣	٧/٠٠٠
٤.فرهنگ مصور دریایی (همراه با نسخه الکترونیک)	پاییز	٨٤	٤٠/٠٠٠
٥.اضمحلال راه (در کشورهای در حال توسعه)	پاییز	٨٦	١٠/٠٠٠
٦.مهندسی زلزله مبانی و اصول بارگذاری لرزه‌ای (جلد اول)	زمستان	٨٦	٤٥٠/٠٠٠
٧.معرفی آثار منتشر شده معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری و پژوهشکده حمل‌ونقل وزارت راه و ترابری	زمستان	٨٦	——
٨.طرح هندسی راه‌ها و خیابان‌ها (جلد اول)	بهار	٨٧	٥٠/٠٠٠
٩.طرح هندسی راه‌ها و خیابان‌ها (جلددوم)	بهار	٨٨	٣٠/٠٠٠
١٠.مدیریت نوین روسازی	بهار	٨٨	٧٠/٠٠٠
١١.پیام‌های استاندارد در حوادث غیرمترقبه	تابستان	٨٨	٤٠/٠٠٠
١٢.طرح هندسی راه‌ها و خیابان‌ها (جلدسوم)	تابستان	٨٨	٤٠/٠٠٠

ج) لوح فشرده

۱. آیین‌نامه ایمنی راهها (مجموعه هفت جلدی منتشر شده از سوی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی)	پاییز	۸٤	٤۷/۵۰۰
۲. آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران	پاییز	۸٤	۵۰/۰۰۰
۳. معرفی آثار منتشر شده (معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری و پژوهشکده حمل‌ونقل وزارت راه و ترابری)	تابستان	۸۷	——
٤. تعیین هدف بهسازی لرزه‌ای پل‌های راه‌آهن	زمستان	۸۷	۵۰/۰۰۰
۵. راهنمای بهسازی لرزه‌ای تکیه‌گاه پل‌ها	زمستان	۸۷	۵۰/۰۰۰

فهرست ابلاغیه‌های شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل

عنوان	تهیه‌کننده	بررسی و تایید	تاریخ انتشار	قیمت
۱. آیین‌نامه نحوه بارگیری، حمل و مهار ایمن بار وسایل نقلیه باربری جاده‌ای	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری	زمستان ۸٤	۵۰/۰۰۰
۲. راهنمای تهیه مشخصات فنی، جزئیات و نقشه‌ها در پل و سازه‌های راه	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری	زمستان ۸٤	۲٦/۰۰۰
۳. دستورالعمل آزمایشهای استاتیکی شمعها	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- کمیته ابنیه شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	زمستان ۸۵	۲۰/۰۰۰
٤. 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
٦. راهنمای طراحی و اجرای علائم برجسته راه	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- کمیته ایمنی شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	تابستان ۸٦	۳۲/۰۰۰
۷. دستورالعمل بازرسی ایمنی راه	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- کمیته ایمنی شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	تابستان ۸٦	۲۲/۰۰۰
۸. راهنمای درزگیری رویه‌های آسفالتی	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- کمیته زیرسازی و روسازی شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	تابستان ۸٦	۱۱/۰۰۰
۹. راهنمای لکه‌گیری رویه‌های آسفالتی	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- کمیته زیرسازی و روسازی شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	تابستان ۸٦	۱٦/۰۰۰
۱۰. دستورالعمل ارزیابی زیست‌محیطی طرح‌های حمل‌ونقل جاده‌ای	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- کمیته اقتصاد شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	زمستان ۸٦	۱۲/۰۰۰
۱۱. دستورالعمل ارزیابی زیست‌محیطی طرح‌های حمل‌ونقل ریلی	پژوهشکده حمل‌ونقل	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- کمیته اقتصاد شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	زمستان ۸٦	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
۱٤. راهنمای فهرست مطالب مطالعات پلها	دفتر مطالعات فناوری و ایمنی	معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- شورایعالی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل	تابستان ۸۸	۲۲/۰۰۰

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

Ministry of Roads and Transportation
Deputy of Education Research and Technology

Surface Characteristics

WORLD ROAD ASSOCIATION – PIARC

ROAD AND TRANSPORTATION MINISTRY

DEPUTY OF

EDUCATION, RESEARCH AND TECHNOLOGY

Web: www.rahiran.ir

Surface Characteristics

THE BUREAU OF TECHNOLOGY & SAFETY STUDIES

PIARC SECRETARIAT IN IRAN

90/RRRI/309