



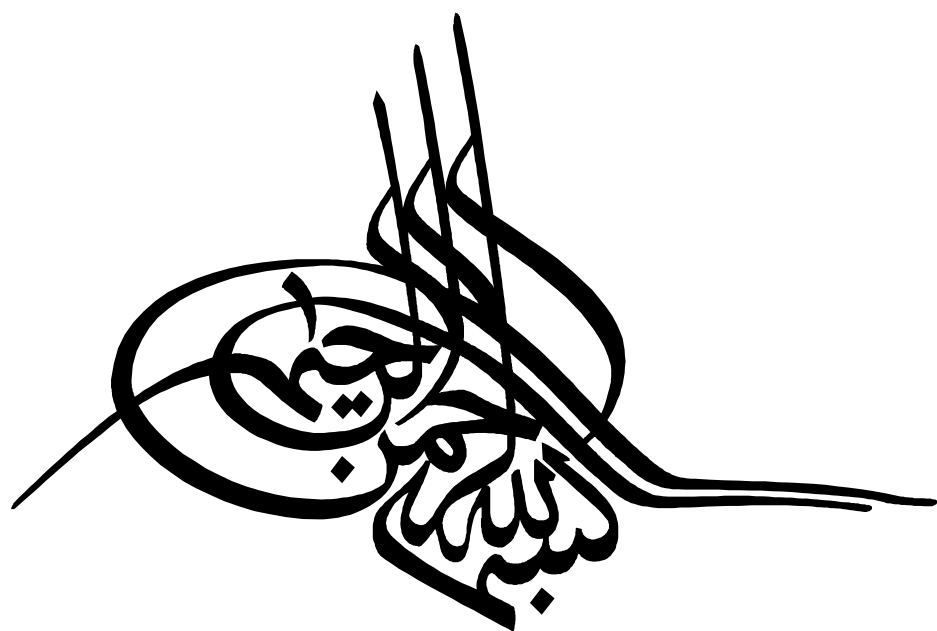
وزارت راه و ترابری
معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری

مجمع جهانی راه (پیارک)

آسفالت متخلخل

دفتر مطالعات فناوری و ایمنی

دبیرخانه مجمع جهانی راه (پیارک) در ایران



وزارت راه و ترابری
معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری



دبیرخانه مجمع جهانی راه (پی‌آر‌ک) در ایران

آسفالت متخلخل

(گزارش کمیته TC4-3)

این مجموعه ترجمه‌ای است از گزارشی تحت عنوان:

Porous Asphalt

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



معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری

دفتر مطالعات فناوری و ایمنی - گروه مطالعات تطبیقی

عنوان گزارش	: آسفالت متخلخل
تهیه و تألیف	: دبیرخانه مجمع جهانی راه (پیارک) - گزارش کمیته TC4-3
مترجم	: فریده امیرفرهنگی
ویرایش فنی	: مهندس رضا پورسحاب - مهندس کیوان بمانا
ناشر	: پژوهشکده حمل و نقل
نوبت چاپ	: اول
تاریخ انتشار	: بهار ۱۳۸۶
کد انتشار	: 86/RRRI/228
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۶۲۹۹-۹۰-۰
تیراژ	: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت	: ۱۰۰۰ تومان
لیتوگرافی	: باران
چاپ و صحافی	: پژمان
نشانی	: میدان آرژانتین - ابتدای بزرگراه آفریقا - اراضی عباس آباد - ساختمان شهید دادمان - وزارت راه و ترابری - طبقه سیزدهم شمالی - واحد اطلاع رسانی و نشر پژوهش ها
	تلفکس: ۸۲۲۴۴۱۶۴
	وب سایت فروش نشریات http://shop.rahiran.ir
	دسترسی: web:www.rahiran.ir
	۸۸۹۶۹۴۵۱
	دفتر مرکزی فروش (انتشارات رنگین قلم)

* کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است *

این گزارش با حمایت مالی پژوهشکده حمل و نقل منتشر می گردد

بسمه تعالی

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

با گسترش استفاده از آسفالت متخلخل در طول دهه‌های گذشته، پیشرفت‌های چشمگیری نیز در زمینه ساخت و به‌کارگیری آن حاصل شده است. بارزترین خصوصیت آسفالت متخلخل قابلیت زهکشی آن است که به دلیل وجود درصد بالایی از فضای خالی و تخلخل‌ها و ارتباطات موجود بین این تخلخل‌ها صورت می‌گیرد.

این گزارش مشتمل بر ۵ فصل می‌باشد. فصل اول شامل مروری بر عوامل مؤثر بر انتخاب نوع آسفالت سطح راه می‌باشد. فصل دوم در خصوص ترکیب مخلوط آسفالت متخلخل، نوع و خصوصیات مصالح سنگدانه‌ای و قیر و هرگونه مصالح افزودنی که عمدتاً برای کاهش زهکشی و ته‌نشین شدن قیر در مخلوط آسفالتی مورد استفاده قرار می‌گیرند، بحث می‌کند. در فصول سوم و چهارم به عملکرد سطوح پوشیده شده با آسفالت متخلخل، تعمیر و نگهداری و نگهداری زمستانی این سطوح و در نهایت جنبه‌های اقتصادی کاربرد آسفالت متخلخل پرداخته می‌شود. فصل پنجم نیز نتایج به دست آمده را ارائه می‌نماید.

امید است که با تلاشهای صورت گرفته 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 ارتقاء عملکردها برداشته شود. در پایان از پژوهشکده حمل و نقل، به جهت حمایت از انتشار این مجموعه تشکر و قدردانی می‌گردد.

معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری

دفتر مطالعات فناوری و ایمنی

مختصری در خصوص پیارک

انجمن بین‌المللی دائمی کنگره‌های راه (پیارک) با هدف جمع‌آوری و انتشار اطلاعات در خصوص مسایل مربوط به جاده و ترافیک آن، اصلاح و استاندارد کردن شیوه‌های طراحی، اجرایی، اداری و مالی و نگهداری راهها، یکنواخت کردن علایم و نشانه‌ها، کدهای مربوط به آمد و شد در شاهراههای کشورهای مختلف و پیش‌بینی شبکه ارتباطی لازم متناسب با پیشرفت‌های اقتصادی و اجتماعی کشورها در سال ۱۹۰۸ همزمان با برگزاری اولین کنگره آن و با شرکت ۲۷ کشور جهان در پاریس تشکیل شد.

این انجمن، با مشارکت کشورهای مختلف هر چهار سال یکبار در زمان و مکانی که توسط دولت‌های عضو مورد توافق قرار می‌گیرد، کنگره‌ای را برگزار می‌کند و هم‌اکنون با تغییر نام به مجمع جهانی راه با بیش از ۲۰۰۰ نماینده از ۱۰۵ کشور عضو به کار خود ادامه می‌دهد. در سال ۲۰۰۳ میلادی بیست‌ودومین کنگره این مجمع در شهر دوربان آفریقای جنوبی برگزار گردید.

اهداف کلی و اولیه پیارک را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

- ۱- بهبود ارتباطات بین‌المللی
 - ۲- تدوین سیاست‌های حمل‌ونقل جاده‌ای
 - ۳- ارتقای کیفیت برنامه‌ریزی، ساخت، بهسازی و نگهداری راهها
 - ۴- ارتقای کیفیت اجرایی و مدیریت سیستم‌های راه
- امروزه این اهداف شکل جدیدی پیدا کرده و با سرعت بیشتری تعقیب می‌گردد که عبارتند از:
- ۱- افزایش همکاری بین‌المللی

۲- پیشرفت هر چه سریعتر و جهت‌دار نمودن سیاست‌های برنامه‌ریزی، ساخت، بهسازی و نگهداری راهها

طی سال‌های اخیر، فعالیت‌های مجمع جهانی راه (پیارک) در ایران گسترش یافته و با تشکیل دبیرخانه این مجمع در معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری وزارت راه و ترابری و معرفی اعضا، سعی بر آن شده که هر چه بیشتر با مرکز پیارک در فرانسه ارتباط لازم برقرار شود. اعضای که برای این مجمع در نظر گرفته شده شامل یک عضو اصلی و یک عضو مکاتبه‌ای برای هر یک از کمیته‌های ۱۸ گانه مندرج در زیر می‌باشند:

۱- بخش "مدیریت و اداره سیستم راه"

- TC1-1: کمیته اقتصاد سیستم راه
- TC1-2: کمیته سرمایه‌گذاری در سیستم راه
- TC1-3: کمیته عملکرد ادارات راه
- TC1-4: کمیته مدیریت عملکرد شبکه راه

۲- بخش "حمل و نقل پایدار" با عضویت اعضای اصلی و مکاتبه‌ای کمیته‌های تخصصی:

- TC2-1: کمیته توسعه پایدار و حمل و نقل جاده‌ای
- TC2-2: کمیته راههای بین شهری و حمل و نقل یکپارچه
- TC2-3: کمیته مناطق شهری و طراحی یکپارچه شهری
- TC2-4: کمیته حمل و نقل بار و حمل و نقل ترکیبی
- TC2-5: کمیته نیازهای راههای برون شهری و قابلیت دسترسی

۳- بخش "ایمنی راهها"

- TC3-1: کمیته ایمنی راهها
- TC3-2: کمیته مدیریت ریسک در راهها
- TC3-3: کمیته عملیات تونل‌های راه
- TC3-4: کمیته راهداری زمستانی

۴- بخش "کیفیت و زیرساختهای راه"

- TC4-1: کمیته مدیریت منابع مالی در زیرساختهای راه
- TC4-2: کمیته اثرات متقابل راه و وسیله نقلیه
- TC4-3: کمیته روسازی راه
- TC4-4: کمیته پلها و سازه‌های مرتبط
- TC4-5: کمیته عملیات خاکی، زهکشی و بستر روسازی

ریاست پیارک در ایران بر عهده آقای دکتر مرتضی قارونی نیک بوده، آقای مهندس اصغر نادری سمت دبیر پیارک و آقای مهندس مهران قربانی مسئولیت دبیرخانه پیارک در ایران را عهده‌دار می‌باشند. با توجه به اهداف اصلی مجمع جهانی راه، دبیرخانه پیارک در ایران با بازنگری در تشکیلات و اعضای خود به جهت رسیدن به ترکیب ایده‌آل چه به لحاظ امکانات و تسهیلات و چه به لحاظ نیروهای تخصصی فعال امیدوار است که بتواند در ارتقای سطح دانش فنی و تخصصی زیرمجموعه‌های مختلف حمل و نقل جاده‌ای کشور سهم و نقش خود را ایفاء نماید.

دبیرخانه پیارک در ایران

آسفالت متخلخل

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه.....	۱
۱- معیار انتخاب آسفالت متخلخل.....	۴
۱-۱- مقدمه.....	۴
۱-۲- کارکردهای سطح راه.....	۴
۱-۳- آسفالت متخلخل.....	۵
۱-۴- کارکرد در حمل و نقل.....	۶
۱-۵- مزایای آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت سستی.....	۶
۱-۵-۱- جنبه‌های ایمنی.....	۶
۱-۵-۱-۱- پدیده اسکی روی آب.....	۶
۱-۵-۱-۲- مقاومت لغزشی.....	۶
۱-۵-۱-۳- پدیده پاشش.....	۷
۱-۵-۱-۴- انعکاس نور.....	۷
۱-۵-۱-۵- سرعت رانندگی.....	۸
۱-۵-۱-۶- پایداری ساخت.....	۸
۱-۵-۱-۷- اثرات آسفالت متخلخل بر تصادفات.....	۸
۱-۵-۲- موضوع آسایش حین رانندگی.....	۹
۱-۵-۳- اثرات زیست محیطی.....	۹
۱-۵-۳-۱- کاهش سروصدا.....	۹
۱-۵-۳-۲- مقاومت غلشی.....	۱۰
۱-۵-۳-۳- استفاده از لاستیک ضایعاتی.....	۱۰
۱-۶- معایب آسفالت متخلخل در مقایسه با آسفالت سستی.....	۱۱
۱-۶-۱- هزینه‌های ساخت.....	۱۱
۱-۶-۲- طول عمر.....	۱۲

- ۱-۶-۳- تعمیر و نگهداری.....۱۲
- ۱-۶-۴- نگهداری زمستانی.....۱۳
- ۱-۷-۷- تحلیل هزینه- فایده.....۱۳
- ۱-۷-۱- تعریف موضوع.....۱۳
- ۱-۷-۲- فاکتورهای هزینه.....۱۳
- ۱-۷-۳- فاکتورهای سود.....۱۳
- ۲- توصیف، واقعیات و پیشنهادها.....۱۵
- ۱-۲- مشخصات مصالح.....۱۵
- ۱-۱-۲- مقدمه.....۱۵
- ۲-۱-۲- سنگدانه‌هایی که اندازه‌ای تقریباً بیش از ۲ میلیمتر دارند.....۱۶
- ۳-۱-۲- ماسه (متشکل از دانه‌هایی به اندازه تقریبی ۰/۰۸ تا ۳-۲ mm).....۱۷
- ۴-۱-۲- فیلرها (پرکننده‌ها).....۱۷
- ۵-۱-۲- افزودنی‌های تثبیت‌کننده قیر.....۱۷
- ۶-۱-۲- افزودنی برای چسبندگی و پیوستگی.....۱۸
- ۷-۱-۲- قیرها.....۱۸
- ۱-۷-۱-۲- قیر معدنی یا قیر خالص.....۱۸
- ۲-۷-۱-۲- قیرهای اصلاح‌شده.....۱۹
- ۲-۲- طرح اختلاط.....۲۰
- ۳-۲- تولید، حمل و پخش.....۲۱
- ۱-۳-۲- تولید.....۲۱
- ۲-۳-۲- حمل.....۲۳
- ۳-۳-۲- پخش.....۲۳
- ۴-۲- خصوصیات اولیه روسازیها.....۲۵
- ۱-۴-۲- خصوصیتی غیر از خصوصیات سطحی.....۲۵
- ۲-۴-۲- خصوصیات اصلی رویه.....۲۶
- ۱-۲-۴-۲- صافی و همواری طولی.....۲۶
- ۲-۲-۴-۲- مقاومت لغزشی.....۲۶
- ۳-۲-۴-۲- صدای حرکت غلتشی چرخ خودروها (صدای غلتشی).....۲۷

- ۳۰.....۴-۲-۴-۲- ظرفیت زهکشی
- ۳۱.....۵-۲- مشخصات فنی ساخت
- ۳۲.....۱-۵-۲- لایه غیرقابل نفوذ زیرین
- ۳۲.....۲-۵-۲- شیب عرضی کافی لایه زیرین
- ۳۲.....۳-۵-۲- زهکشی آب
- ۳۲.....۱-۳-۵-۲- راههای برون شهری
- ۳۳.....۲-۳-۵-۲- راههای درون شهری
- ۳۶.....۳-۳-۵-۲- راه بر روی ابنیه فنی
- ۳۶.....۴-۳-۵-۲- خطکشی راهها
- ۳۷.....۳- عملکرد
- ۳۷.....۱-۳- تغییر در طول زمان
- ۳۷.....۱-۱-۳- شیارشدگی
- ۳۷.....۲-۱-۳- تخلخل
- ۳۸.....۳-۱-۳- تغییرات تدریجی قیر
- ۳۸.....۴-۱-۳- رفتار مکانیکی
- ۳۸.....۵-۱-۳- یکپارچگی و انسجام سطح
- ۳۹.....۶-۱-۳- مقاومت لغزشی
- ۴۰.....۷-۱-۳- صدای غلتشی
- ۴۰.....۲-۳- تعمیر و نگهداری
- ۴۰.....۱-۲-۳- نگهداری راههای با رویه آسفالتی متخلخل
- ۴۱.....۲-۲-۳- دلایل نگهداری از راهها
- ۴۱.....۳-۲-۳- محافظت از خصوصیات زهکشی
- ۴۲.....۴-۲-۳- تعمیر سایر شکل های خرابی
- ۴۳.....۱-۴-۲-۳- نگهداری جزئی
- ۴۳.....۲-۴-۲-۳- نگهداری اساسی
- ۴۵.....۵-۲-۳- چند نکته در مورد بازیافت
- ۴۵.....۶-۲-۳- چند نکته در مورد سیستم های مدیریت نگهداری راهها

۳-۳- نگهداری زمستانی.....	۴۵
۳-۳-۱- پیشینه مطلب.....	۴۵
۳-۳-۲- تجارب گزارش شده.....	۴۶
۳-۳-۳- مه منجمد/ شبنم یخ زده.....	۴۷
۳-۳-۴- سطوح مرطوب یخ زده/ شبنم.....	۴۷
۳-۳-۵- برف/ تگرگ.....	۴۷
۳-۳-۶- نمکهای یخ زدا.....	۴۸
۳-۳-۷- سیاست نگهداری زمستانی آسفالت متخلخل.....	۵۰
۳-۴- تأثیر استفاده از آسفالت متخلخل در محیط آکوستیک.....	۵۱
۳-۴-۱- مقدمه.....	۵۱
۳-۴-۲- تأثیر مفید آسفالت متخلخل در برابر صدا.....	۵۱
۳-۴-۳- پدیده فیزیکی مربوطه.....	۵۴
۳-۴-۴- اندازه گیری خصوصیات فیزیکی مربوطه.....	۵۶
۳-۴-۴-۱- مگابافت.....	۵۶
۳-۴-۴-۲- نفوذپذیری.....	۵۷
۳-۴-۴-۳- جذب صوت.....	۵۷
۳-۴-۵- میزان تأثیر متغیرهای فنی.....	۵۹
۳-۴-۶- بهینه سازی آکوستیک.....	۶۲
۳-۴-۷- توسعه در طول زمان.....	۶۴
۴- جنبه های اقتصادی.....	۶۶
۴-۱- هزینه های تولید.....	۶۷
۴-۲- دوام آسفالت متخلخل.....	۶۸
۴-۳- نتایج.....	۶۹
۵- نتایج.....	۷۰
۵-۱- نتیجه گیری در مورد معیار انتخاب.....	۷۰
۵-۲- نتیجه گیری از نقطه نظر فنی.....	۷۰
۵-۲-۱- مصالح.....	۷۰

۷۱	 ۲-۲-۵ طرح اختلاط
۷۱	 ۳-۲-۵ تولید، حمل و پخش
۷۲	 ۴-۲-۵ خصوصیات اولیه
۷۲	 ۵-۲-۵ ویژگیهای سازه‌ای
۷۳	 ۳-۵ عملکرد
۷۳	 ۱-۳-۵ توسعه و پیشرفت در طول زمان
۷۳	 ۲-۳-۵ تعمیر و نگهداری
۷۴	 ۳-۳-۵ نگهداری زمستانی
۷۴	 ۴-۳-۵ اثرات زیست‌محیطی
۷۵	 ۴-۵ جنبه‌های اقتصادی

مقدمه

استفاده از آسفالت متخلخل که ماکادام قیری نفوذپذیر نیز نامیده می‌شود، در طول دهه گذشته به صورت چشمگیری افزایش یافته و نظیر بسیاری از ابداعات و نوآوریها، موضوع بسیاری از مباحث علمی بوده است. پیارک با آگاهی از این موضوع، گروه اجرایی متشکل از دو کمیته خود را که در مورد راههای انعطاف‌پذیر و خصوصیات سطحی راهها فعالیت دارند، به کار گرفت تا مطالب ارزشمندی از این موضوع تهیه و ارائه نمایند.



کامیون بر روی سطح آسفالت سستی و در هوای بارانی



همان کامیون بر روی سطح آسفالت متخلخل و در هوای بارانی

این گزارش ادعایی در مورد جامع و کامل بودن خود ندارد، لیکن به عنوان مجموعه‌ای از اطلاعات، تجارب و منابع تلقی می‌شود. جهت بررسی موضوع کاربرد آسفالت متخلخل از زوایای مختلف، گروه تهیه‌کننده گزارش حاضر به سراغ تصمیم‌گیران و نیز کارشناسان فناوری، که گمان می‌رود هر دو علاقه‌ای در خصوص موضوع داشته باشند، رفته است.

این گزارش به چهار بخش اصلی تقسیم می‌شود:

فصل اول پیرامون معیاری برای استفاده از آسفالت متخلخل بحث می‌کند. بارزترین خصوصیت این آسفالت، قابلیت زهکشی آن است که به دلیل وجود درصد بالایی از فضای خالی و تخلخل‌ها و ارتباطات موجود بین این تخلخل‌ها صورت می‌گیرد. فصل اول ابتدا به مرور عواملی می‌پردازد که به طور کلی در انتخاب نوع آسفالت مورد استفاده در سطح راه‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد. از جمله این مزایا می‌توان به عدم وجود پدیده اسکی روی آب، مقاومت لغزشی بهبودیافته، حذف عملی پاشش آب در پشت وسایل نقلیه، کاهش مزاحمت ناشی از انعکاس نور و نهایتاً مقاومت در برابر تغییر شکل اشاره کرد. سایر مزایایی که در این فصل به آن پرداخته شده است، در خصوص آسایش و راحتی راننده و اثرات محیطی استفاده از این نوع آسفالت بوده و شامل کاهش قابل توجه میزان سروصدا و مقاومت غلشی است.

برای رعایت انصاف، معایب کاربرد آسفالت متخلخل نیز ارائه شده است. عمده معایب کاربرد این ماده عبارتند از هزینه‌های اجرا، عمر کوتاه (اگرچه در این مورد تعریف دقیق‌تری ارائه خواهد شد)، نگهداری دشوارتر و پرهزینه‌تر و رفتار متفاوت زمستانی. فصل اول با یک نتیجه‌گیری و یک تجزیه و تحلیل تجربی هزینه-فایده به پایان می‌رسد.

فصل دوم ماهیتی کاملاً فنی داشته و ابتدا روی مصالح تشکیل‌دهنده آسفالت متخلخل تمرکز دارد. در واقع این فصل ما را با ترکیب مخلوط آسفالت متخلخل، نوع و خصوصیات مصالح سنگدانه‌ای و ماسه‌ها و ریزدانه‌ها، ماهیت و خصوصیات و اصلاح احتمالی قیر و نیز هر گونه مواد افزودنی که عمدتاً برای کاهش زهکشی و ته‌نشین شدن قیر در مخلوط آسفالتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، آشنا می‌سازد. در ادامه با روشهای مورد استفاده جهت طراحی مخلوط بتن آسفالتی آشنا می‌شویم. در میان سایر مطالب ذکر شده در فصل دوم، آزمایشهای متعددی نیز ارائه می‌شوند که تعیین میزان مناسب قیر از طریق آنها امکان‌پذیر است. در واقع طرح اختلاط بتن آسفالتی اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد، زیرا قابلیت زهکشی و انسجام مواد قیری (اندود شده) مستقیماً به آن وابسته است. از جمله مسائل مطرح شده در این فصل تعدادی از اندازه‌گیریهای خاص است که طی ساخت آسفالت متخلخل، حمل و پخش آن (به خصوص غلتک‌زنی آن) انجام می‌شوند. بخش بعدی فصل دوم در مورد خصوصیات اولیه مخلوط، یعنی خصوصیات اصلی نظیر نفوذپذیری و درصد تخلخل، خصوصیات سطح راه، همچنین مقاومت لغزشی، اختلال سروصدا و قابلیت زهکشی بحث می‌کند. این فصل با مرور خصوصیات سازه‌ای مورد نیاز جهت حصول اطمینان از زهکشی مناسب آبی که در سطح متخلخل نفوذ می‌کند، یعنی لایه نفوذناپذیر زیرین با شیب عرضی کافی و عدم وجود هر گونه مانع برای جریان آب پایان می‌یابد.

فصل سوم به عملکرد سطوحی که با آسفالت متخلخل پوشانیده شده‌اند، توجه خاصی دارد. در ابتدای این فصل به پیشرفتهایی که در طول زمان به دست آمده‌اند، پرداخته می‌شود. خصوصیتی که در این فصل مورد توجه قرار می‌گیرند، عبارتند از: شیارشدگی، تخلخل، قیر و مسأله پیرشدگی آن، رفتار مکانیکی، یکپارچگی سطح، مقاومت لغزشی و اختلال سروصدا. نتیجه این که این گسترش و توسعه، که همواره به صورت تخریب و زوال خصوصیات کاربردی مخلوط ظاهر می‌شود، در پایان به موضوع نگهداری و محافظت از آسفالت متخلخل جهت کاهش تخریب آن منتهی می‌گردد. محافظت از آسفالت متخلخل صرفاً مانع از تخریب آن شده و تنها قصد حفظ قابلیت زهکشی آن و کنترل انسداد منافذ سطحی را دارد، این نگهداری اصلاحی می‌باشد و می‌تواند به صورت تعمیرات موضعی یا کلی صورت گیرد. در این فصل، روشهای مختلف نگهداری ارائه می‌شود. بخش بعدی این فصل، بیشتر پیرامون موضوع نگهداری از آسفالت متخلخل در طول

زمستان که با شیوه‌های نگهداری سایر سطوح آسفالتی تفاوت دارد، بحث می‌کند، زیرا نگهداری حجم زیاد نمک یخ‌زدا بر روی سطح راه، کار مشکلی است. در این رابطه شرایط مختلف آب‌وهوایی در نظر گرفته می‌شوند. این فصل با مطالعه کامل تأثیر آسفالت متخلخل بر روی محیط آکوستیک (خصوصیات صدایی محیط) به پایان می‌رسد. در مورد پدیده فیزیکی مذکور به همراه روشهای موجود جهت اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی مربوطه به تفصیل بحث خواهد شد.

فصل چهارم بر جنبه‌های اقتصادی کاربرد آسفالت متخلخل تأکید می‌کند. با استفاده از نتایج تحقیقات انجام‌یافته در کمیته‌های فنی پیارک، جهت مقایسه قیمت آسفالت متخلخل و سایر مواد قیری، تحقیقاتی صورت گرفته و در این راستا طرح اختلاط مصالح و نوع قیری که در این مخلوط به کار می‌رود، مد نظر قرار گرفته است.

جهت پایان دادن به این مقدمه و به عنوان پیش‌گفتار باید بر این نکته تأکید کنیم که این گزارش مجموعه‌ای از گزارشهای نویسندگان متعدد را در بر می‌گیرد و هیچ گونه سبک و یا حتی موضوعی برای فعالیت مشترک پیشنهاد نمی‌کند. بنابراین مجموعه حاضر توجه خواننده را به وجود موضوعات فرعی دیگری که احتمالاً در این مجموعه آورده نشده‌اند، و البته ارتباطی به اطلاعات ارائه شده در آن ندارند، جلب می‌کند.

۱- معیار انتخاب آسفالت متخلخل

۱-۱- مقدمه

این فصل پیرامون معیارهای انتخاب آسفالت متخلخل بحث می‌کند. دلیل اصلی در توجه به کاربرد این نوع خاص از روسازی سطح راه، خصوصیت زهکشی لایه رویه راه است. زهکشی به خاطر وجود درصد زیادی فضای خالی (بیش از ۲۰٪) و ارتباط فی‌مابین این فضاهای خالی امکان‌پذیر است، زیرا این حفره‌ها به آب (و هوا) اجازه می‌دهند که به طرف کناره‌های راه جریان پیدا کنند. آسفالت متخلخل در مقایسه با سایر رویه‌های سنتی، مزایا و معایب خاص خود را دارد. انتخاب آسفالت متخلخل به جای نوع دیگری از رویه سطح راه، مستلزم فرآیند خاص تصمیم‌گیری است. این انتخاب باید به صورت منطقی بررسی شود؛ بنابراین نقطه شروع کار باید عملکرد راه (سطح راه) بوده و معیار انتخاب نیز باید مبتنی بر منطق باشد. لذا معیار مذکور مقایسه بین سودها و هزینه‌ها (از جمله خصوصیات غیر مادی) است. سودهای حاصله باید بیش از هزینه‌ها باشد. هنگامی که بین دو یا چند گزینه تنها یک مورد باید انتخاب شود، گزینه‌ای باید انتخاب گردد که دارای بالاترین نسبت سود به هزینه است.

۱-۲- کارکردهای سطح راه

اولین کارکرد سطح راه، ایجاد شرایط لازم برای حمل‌ونقل است. فراهم ساختن شرایطی برای حمل‌ونقل ایمن و راحت، زیرمجموعه‌ای از این کارکرد محسوب می‌شود. طرح راه و انتخاب نوع رویه آن باید در چارچوب روشی باشد که حداقل هزینه‌ها را داشته و تمام کاربریها و کارکردهای راه را در نظر گرفته باشد. هزینه‌های مطرح شده در انتخاب رویه راه، شامل هزینه‌های طراحی و ساخت و نیز هزینه‌های نگهداری و تعمیر آن است. بنابراین در بحث هزینه‌ها، عمر کارکرد رویه راه، مسأله‌ای مهم به شمار می‌رود. عمر مفید رویه (که به عنوان مثال به صورت چند سال یا بر اساس تعداد محور عبوری مجاز بیان می‌شود)، با توجه به کارکردهای مختلف راه تغییر می‌کند. هنگام بررسی هزینه‌های کلی طرح می‌بایست مسائلی همچون تعمیر و روکش کردن لایه رویه سطح نیز مدنظر قرار بگیرند. اما مسائل دیگری نیز حائز اهمیت هستند: پیش از هر مسأله‌ای، تأثیر نوع رویه بر محیط زیست اهمیت دارد. در چارچوب مسائل مربوط به محیط زیست، معمولاً بر مسائلی نظیر سروصدا و کاهش آن تأکید می‌شود. سایر خصوصیات زیست‌محیطی همچون استفاده از منابع طبیعی، استفاده از نمک جهت بهره‌برداری از رویه راه در طول زمستان، مقاومت غلته‌شی و غیره نیز باید مورد توجه قرار بگیرند.

به طور خلاصه کارکردهای سطح راه عبارتند از:

- ایجاد شرایط لازم برای حمل‌ونقل
- ارتقای سطح ایمنی حمل‌ونقل
- بهبود راحتی حمل‌ونقل

این کارکردها باید با کمترین هزینه در موارد ذیل همراه باشند:

- طراحی و ساخت

- نگهداری، اجرای روکش جدید، تعمیر و لکه‌گیری و بازسازی

- تأثیر بر محیط زیست

۱-۳- آسفالت متخلخل

به طور کلی، برتری نوع خاصی از روکش یا لایه رویه سطح راه بر سایر انواع آن در یک کشور، به موقعیت اقتصادی کشور، سرعت تردد، تراکم و ترکیب ترافیک بستگی دارد. در مواقعی که حجم ترافیک کم و بار آن سبک است، استفاده از آجر و سنگ جهت روسازی راهها (سنگفرش و آجرفرش) یا حتی روسازی شنی بدون رویه مناسب است. با این حال، در مورد راههای جدیدالاحداثی که بار ترافیکی سنگینی دارند، تنها می‌توان از روکش "پیوسته" استفاده کرد. اساساً این نوع روکشها از مصالح سنگدانه‌ای و قیر تشکیل شده و معمولاً مواد دیگری نیز به آنها افزوده می‌شود. مصالح شامل مخلوط سنگدانه‌ای، شن یا سنگ شکسته بوده و ماده چسباننده می‌باشد که اکثراً از مواد قیری یا سیمان پرتلند تشکیل می‌شود. خصوصیات مصالح سنگدانه‌ای مختلف، چسباننده‌های گوناگون و مواد افزودنی مختلف، تفاوت چشمگیری با یکدیگر دارند. ما در این گزارش منحصرأ پیرامون آن دسته از رویه‌های آسفالتی بحث می‌کنیم که چسباننده مورد استفاده در آنها از قیرهای طبیعی یا معدنی تشکیل شده، مصالح سنگدانه‌ای آنها از نوع شکسته و آلوده شده بوده و دانه‌بندی ناپیوسته و باز آنها در ترکیب با مقدار کمی ماستیک، سبب به وجود آمدن درصد بالایی از فضای خالی (بیش از ۲۰٪) در آسفالت متخلخل می‌شود.

روسازیهای آسفالتی دارای سطحی پیوسته بوده و نسبت به آب، نفوذناپذیر هستند. به علاوه این گونه راهها تا حدی انعطاف‌پذیر بوده و لذا می‌توانند در مقابل تغییرات خاک بستر انعطاف داشته باشند. این خصوصیات در عملکرد سطح راه ضروری هستند. تجربه ثابت کرده است که اگر این خصوصیات در راهها تغییر کنند، عمر مفید آنها به طور چشمگیری کاهش می‌یابد. راههایی که دارای سطوح آب‌بندی‌شده هستند، نقص بسیار بزرگی دارند، چرا که آب باران و برف روی سطح راه باقی مانده و احتمالاً باعث اختلال در عملکرد سطح راه می‌گردد. در مفهوم تخصصی‌تر، آب باران معمولاً به شیوه‌ای بسیار جدی بر مسأله ایمنی راهها تأثیر می‌گذارد. در حقیقت مقاومت لغزشی تنها در شرایط مرطوب و بارندگی اندازه‌گیری می‌شود، زیرا میزان مقاومت سطوح خشک در برابر سرخوردگی "همیشه" خوب است.

اصولاً به دو طریق می‌توان تأثیر عمده منفی آب بر روی سطح راه را کاهش داد: با ذخیره کردن آب در زیر سطح راه، یا زهکشی و تخلیه آن. راه دوم عملاً بیشتر مؤثر واقع می‌شود، زیرا مقدار قابل توجهی از آب ذخیره شده در زیر سطح راه با تردد چرخهای خودروها به بیرون مکیده می‌شود، در حالی که آب زهکشی شده "دیگر در سطح راه باقی نمی‌ماند". با این حال باید یادآور شد که حتی سطحی که کاملاً زهکشی شده است، ممکن است هنوز هم تا حدی مرطوب باشد، در نتیجه میزان مقاومت لغزشی سطح مرطوب نسبت به مقاومت سطح خشک کمتر باشد.

آسفالت متخلخل در مقایسه با آسفالت سستی دارای مزایای متعددی است. مزایای مذکور به این واقعیت مربوط می‌شوند که در آسفالت متخلخل، سطح راه دارای مجاری زهکشی است که اجازه می‌دهند آب در زیر سطح فوقانی راه زهکشی شود. این آب معمولاً به طرف شانه‌های راه تخلیه می‌شود. این مجاری زهکشی خصوصیات دیگری نیز دارند. مهمترین خصوصیت آنها جذب سروصدا است. علاوه بر این، جابهای هوا که در شکافهای بسته سطوح سستی وجود دارند،

تشکیل نشده و مجدداً سبب کاهش میزان سروصدا می‌شوند. این مجاری معیایی نیز دارند. به عنوان مثال، نمک، شوراب و رنگ موجود بر روی سطح راهها نیز به همان شیوه زهکشی آب باران تخلیه می‌شوند. معایب و مزایای فوق در رابطه با نیازهای کاربردی که قبلاً یادآور شدیم، بیشتر مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت.

۴-۱- کارکرد در حمل و نقل

در شرایط بارندگی، بیشتر رانندگان سرعت خود را کاهش می‌دهند. در عمل مشاهده می‌شود که کاهش سرعت در هوای بارانی معمولاً به هیچ وجه نمی‌تواند برای کاهش بیشتر خطر وقوع تصادف در هوای بارانی کافی باشد. کاهش سرعت در آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت سنتی کمتر است. این افزایش نسبی سرعت، تأثیر مفیدی بر ظرفیت راهها می‌گذارد. تجارب به دست آمده در هلند حاکی از آن است که در مواردی که بار ترافیکی راه تقریباً به حداکثر ظرفیت خود می‌رسد، این تأثیر می‌تواند چشمگیر باشد. با این وجود، در بسیاری از مواردی که بار ترافیکی متوسط است، تأثیر افزایش نسبی سرعت می‌تواند منفی باشد. در فصل بعدی پیرامون تأثیر زیانبار افزایش سرعت بر ایمنی راهها بحث خواهد شد.

۵-۱- مزایای آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت سنتی

۱-۵-۱- جنبه‌های ایمنی

۱-۵-۱-۱- پدیده اسکی روی آب^۱

یکی از خطرات مهمی که حین رانندگی در هوای بارانی پیش روی رانندگان قرار دارد، پدیده اسکی روی آب است. به عبارت دیگر لایه‌ای از آب بین لاستیک خودرو و سطح راه تشکیل شده و تماس بین آنها را از بین می‌برد. در این حالت، لاستیک خودرو (و در نتیجه خود خودرو) روی آب "شناور" خواهد شد و مقاومت لغزشی به صفر نزدیک شده و در نتیجه هدایت خودرو و ترمز کردن، کاملاً غیرممکن می‌شود. پدیده اسکی روی آب عمدتاً به میزان باران و ظرفیت زهکشی راه بستگی دارد. همچنین سرعت تردد و تا حد زیادی، نوع آج لاستیک خودرو نیز عوامل مهمی در این رابطه به شمار می‌روند. پدیده اسکی روی آب در آسفالت متخلخل، حتی زمانی که مجاری توسط گرد و خاک انباشته می‌شوند، در سرعتهای معمولی رخ نمی‌دهد. به همین دلیل، آسفالت متخلخل ابتدا بر روی باندهای پرواز فرودگاهها آزمایش شد. در واقع شاید عدم وجود پدیده اسکی روی آب، مهمترین تأثیر مفید آسفالت متخلخل باشد.

۱-۵-۱-۲- مقاومت لغزشی

حتی زمانی که پدیده اسکی روی آب اتفاق نمی‌افتد، آب باران می‌تواند به میزان چشمگیری از مقاومت لغزشی سطح راهها بکاهد. آسفالت متخلخل می‌تواند در هر شرایطی، حتی زمانی که سطح راه مرطوب باقی می‌ماند، این عامل را حذف نماید. این مسأله ثابت می‌کند که تأثیر بافت ریزدانه که به میزان قابل توجهی به ایجاد مقاومت لغزشی در جاده‌های خشک کمک می‌کند، کاهش خواهد یافت. مقاومت آسفالت متخلخل مرطوب در برابر لغزندگی در سرعتهای بالا نسبت به مقاومت

آسفالت سنتی مرطوب در مقابل لغزندگی بیشتر بوده، اما به اندازه مقاومت لغزشی راههای خشک نخواهد بود. در واقع، مقاومت لغزشی آسفالت متخلخل مرطوب در سرعتهای پایین نسبت به مقاومت آسفالت سنتی مرطوب بیشتر نخواهد بود.

۱-۵-۳- پدیده پاشش

چرخهای خودروی در حال حرکت، آب موجود در چاله‌های کوچک سطح راه را به بیرون پاشیده و علاوه بر این، چرخهای مذکور، آب موجود در سطح راه را به صورت باران ریز یا پودر در می‌آورند (پاشش). این دو پدیده فیزیکی کاملاً متفاوت از هم بوده، اما به دلیل این که معمولاً با هم اتفاق می‌افتند، در ارتباط با یکدیگر مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند. قطرات کوچک آب، همانند باران و یا مه، قابلیت دید محیط را کاهش می‌دهند. این مقدار کاهش دید، معمولاً به مراتب شدیدتر از کاهش دید در مه واقعی است، زیرا قطرات آب موجود در حالت پاشش نسبت به قطرات آب موجود در مه بزرگتر بوده و تراکم آنها نیز بیشتر است. در صورتی که مه واقعی دارای چنین تراکمی باشد، به صورت باران ریزدانه نشست کرده و به سرعت ناپدید می‌شود. میزان دقیق محدوده دید در "ابره‌ای" ناشی از پاشش، قابل اندازه‌گیری نبوده، اما اغلب اوقات کمتر از ۵ تا ۱۰ متر است. میزان دامنه دید تا این اندازه در مه واقعی کوتاه نیست. قابلیت دید ضعیف، تنها به عقب و طرفین خودروها و به خصوص کامیونها محدود می‌شود. لذا احتمال می‌رود تأثیر پاشش، کاملاً متفاوت از تأثیر مه باشد. با این حال، اطلاعات لازم در این رابطه در دسترس نیستند. تأثیر دیگر پاشش، تیره کردن و کثیف نمودن شیشه‌های جلوی خودروهاست، زیرا آب پاشیده‌شده معمولاً با آلاینده‌هایی همراه است. در اغلب اوقات، به خصوص زمانی که روی راههای پوشیده‌شده از برف، نمک پاشیده می‌شود، برف‌پاکن‌های خودروها کارایی لازم را ندارند. در بسیاری از کشورها مقابله با پدیده پاشش، دلیل اصلی استفاده از آسفالت متخلخل است.

۱-۵-۴- انعکاس نور

کاربران خودروهای موتوری می‌بایست دید کاملی از مسیر پیش روی خود داشته باشند. در رانندگی با سرعت متوسط، راه پیش روی خودرو باید از فاصله زیاد مثلاً از ۵۰ الی ۱۰۰ m قابل دید باشد. از آنجایی که ارتفاع دید در اتومبیلها حدود ۱/۲۰ m بالاتر از سطح جاده است، راننده مسیر مقابل را با زاویه دید ۱ درجه یا کمتر مشاهده می‌کند. هنگامی که از چنین زوایایی به جاده نگاه می‌شود، سطح بسیاری از راهها، نورهای موجود در مسیر حرکت خودرو را به شدت منعکس می‌کنند. در واقع وقتی سطح راه مرطوب است، معمولاً شبیه به آینه عمل می‌کند. این حالت در سطح پوشیده با آب چشمگیرتر است. آب بر جای مانده از بارش کوتاه‌مدت بر روی سطح آسفالت سنتی، سبب به وجود آمدن سطح آینه‌ای می‌شود. از سوی دیگر، آسفالت متخلخل حتی زمانی که مرطوب است، و حتی زمانی که با زاویه کمتر از زاویه دید به جاده نگرسته می‌شود، باز هم به میزان قابل توجهی موجب پخش نور می‌شود. پخش نور در روشنایی روز و در تاریکی مهم است. در طول روز، سطح افقی با انعکاس آینه‌ای، آسمان را منعکس می‌کند. در این حالت حتی آسمان ابری نیز خیلی روشن به نظر می‌رسد، به طوری که سطح جاده تقریباً به اندازه آسمان روشن می‌شود. علاوه بر این، تمام خصوصیات سطح راهها تحت تأثیر نور منعکس‌شده ناپدید می‌شوند. خصوصاً علائم راهها غیرقابل مشاهده می‌گردند. مشابه این تأثیر، شب‌هنگام و در زیر روشنایی معابر احساس می‌شود.

در راههای فاقد روشنایی که دید در شب توسط منعکس کننده های نور تأمین می شود، تأثیر آب هم بسیار شدید است. به عبارت دیگر، لایه آب مانع از ورود نور چراغهای جلویی اتومبیل در انعکاس دهنده های نور می شود، بنابراین چراغهای مذکور به نوعی اندودکاری شده و نور آنها غیرقابل مشاهده می گردد. آسفالت متخلخل میزان آب موجود بر روی راه را کاهش داده و با استفاده از علامتگذاری های مقطعی راهها (خطوط شکسته، یا گل میخهای انعکاسی)، موقعیتهای موجود را بیش از پیش بهبود می بخشد. در نهایت، سطح راهی که باعث پخش نور می شود با تضمین روشنایی و وضوح بیشتر سطح راه و یکنواختی بهتر آن، نصب روشنایی راهها را مقرون به صرفه تر می سازد.

در راههای فاقد روشنایی، سطح آسفالت متخلخل در حالت خشک (بدون بارندگی) و در شرایط بارندگی نیز مانع از انعکاسهای آینه ای که به وسیله چراغهای جلوی خودروهای مقابل ایجاد می شود، خواهد شد. در این راستا آسفالت متخلخل تا حد زیادی باعث کاهش نور خیره کننده ای می گردد که در چنین حالتی ایجاد می شوند.

۵-۱-۵-۱-۵- سرعت رانندگی

همان طور که قبلاً ذکر شد، در هنگام بارندگی سرعت رانندگی بر روی سطح آسفالت متخلخل معمولاً بیش از سرعت رانندگی در آسفالت سنتی است. افزایش سرعت معمولاً به معنی افزایش خطر وقوع تصادف و نیز افزایش شدت تصادفات است. دانستن این نکته که با افزایش میزان وقوع تصادفات ناشی از سرعتهای بالاتر رانندگی تا چه میزان از اثرات مفید آسفالت متخلخل در تأمین ایمنی کاسته می شود، بسیار حائز اهمیت است. جهت دانستن این مطلب، دو راه وجود دارد: انجام مطالعات مربوط به سرعت، و نگاهی به تصویر کلی ایمنی. با این وجود، جزئیات دقیق و کافی از هیچ یک از موارد بالا وجود نداشته و ما را به نتیجه ای روشن و گویا نمی رساند.

۵-۱-۵-۱-۶- پایداری ساخت

آسفالت متخلخل علی رغم داشتن تخلخل بیشتر و مقدار قیر نسبتاً زیادتر، خود مقاومت زیادی در برابر تغییر شکل دائمی از خود نشان داده و نیز اثری از شیارشدگی بر روی این آسفالت دیده نمی شود. آسفالت متخلخل اغلب به عنوان "لایه ضد شیارشدگی" شناخته می شود.

۵-۱-۵-۱-۷- اثرات آسفالت متخلخل بر تصادفات

مطالعات پیرامون مسأله تصادف، مستلزم داشتن تعداد نمونه زیادی از راههاست، زیرا پراکندگی آماری در تعداد تصادفات معمولاً بسیار قابل توجه است. پراکندگی آماری به این دلیل رخ می دهد که تصادفات صورت گرفته از توزیع پواسون تبعیت می کنند. علاوه بر این، مطالعاتی که در حال حاضر بر روی تصادفات انجام می شوند، به اندازه کافی در برگیرنده تعداد تصادفاتی نیستند که روی جاده هایی با سطح آسفالت متخلخل رخ می دهند و لذا امکان مقایسه دقیق این نوع تصادفات با تعداد تصادفاتی که در راههایی با آسفالت سنتی صورت می گیرند، وجود ندارد. با این حال، با فرض این که آسفالت متخلخل مرطوب به اندازه آسفالت سنتی خشک "ایمن" است، می توان احتمالات مقدماتی را ارائه داد (پیش از این

در چند مورد عدم صحت کامل این فرضیه بیان شده است). تعداد کل تصادفات ثبت شده در تمام راههای هلند (با سرعت مجاز 100 Km/h و یا بیشتر) و طی سالهای ۱۹۸۳ تا ۱۹۸۹ حدود ۱۱۳۰۰ مورد بوده است. از این تعداد، ۱۷۲۹ مورد یا $15/3\%$ در هوای بارانی رخ داده است. با این وجود، فرکانس بارندگی در این دوره زمانی به طور متوسط تقریباً بیشتر از 5% است. بنابراین، خطر وقوع تصادفات در شرایط بارندگی سه برابر می باشد. در صورتی که سطح آسفالت متخلخل خیس به اندازه سطح آسفالت معمولی خشک، ایمن باشد، کاربرد آسفالت متخلخل در تمام راهها از وقوع بیش از ۱۱۰۰ مورد تصادف، یعنی حدود 10% از کل تصادفات جلوگیری به عمل خواهد آورد. حال دلایلی وجود دارد که نشان می دهد باور این تصور ذهنی بسیار خوش بینانه خواهد بود. با این وجود انتظار می رود که استفاده از آسفالت متخلخل در تأمین ایمنی، تأثیر مفید و چشمگیری داشته باشد. با توجه به این واقعیت که تا پایان سال ۱۹۸۹ بیش از ۲۵۰ کیلومتر از راههای هلند به آسفالت متخلخل مجهز خواهند شد، می توان ارزیابی دقیق تری از تأثیر این نوع آسفالت بر تأمین ایمنی راهها انجام داد.

۱-۵-۲- موضوع آسایش حین رانندگی

به نظر می رسد آسفالت متخلخل، می تواند عمده‌تاً از طریق کاهش اثر "پاشش" با موضوع بهبود آسایش حین رانندگی ارتباط داشته باشد، که پیش از این مطالبی در این خصوص ذکر شده است. دومین ارتباط بین آسفالت متخلخل و بهبود وضعیت رانندگی به لحاظ کاهش سروصدا در اتومبیل می باشد. از این رو گاهی اوقات آسفالت متخلخل را "آسفالت کم صدا"^۱ نیز می نامند. با آنکه خصوصیات تأمین آسایش حین رانندگی می تواند از استراتژیهای طراحی راه باشد و تأکید زیادی بر این موضوع می شود، لیکن تعیین مقدار کمی آن غیرممکن است. بنابراین نمی توان مسأله آسایش حین رانندگی را به صورت یک کمیت در آنالیز هزینه- فایده به حساب آورد.

۱-۵-۳- اثرات زیست محیطی

۱-۵-۳-۱- کاهش سروصدا

به طور متوسط، میزان سروصدای ناشی از ترافیک پرحجم یا متراکم بر روی آسفالت متخلخل حدود 3 db(A) پایین تر از میزان سروصدای تولید شده در آسفالت سنتی است. دلایلی وجود دارند که ثابت می کنند با قدیمی تر شدن عمر رویه راه، میزان تقلیل سروصدا نیز کاهش می یابد، که احتمالاً به دلیل انسداد حفره ها و تخلخلهای موجود در سطح راه می باشد.

در بسیاری از راههایی که سطح آنها از روکش بتن سیمانی پوشانده شده است، میزان سروصدا $5 \text{ الی } 7 \text{ db(A)}$ بالاتر از میزان سروصدای تولید شده بر روی آسفالت معمولی است. به خصوص هنگامی که منازل یا مناطق تفریحی در نزدیکی مسیر عبور وسایل نقلیه موتوری یا راههای شلوغ و پر رفت و آمد قرار می گیرند، معمولاً خصوصیات کاهش سروصدا در آسفالت متخلخل اهمیت بسیاری پیدا می کند. خصوصیات کاهش سروصدا عامل مهمی از خصوصیات تأمین ایمنی راهها بوده و به همین خاطر در سالهای اخیر، آسفالت متخلخل در مقیاس بزرگی از راههای هلند و بلژیک به کار رفته است. علی رغم این که روکش بتنی دارای نکات مثبت زیادی به خصوص در زمینه نگهداری و بالا بودن عمر می باشد، این دلایل

منجر به کاهش استفاده از بتن سیمانی در روسازی راهها شده است. در حال حاضر در هلند، تحقیقات مربوط به ساخت رویه بتن سیمانی راهها با زهکشی مخصوص و خصوصیات کاهش سروصدا در دست بررسی است.

کاهش صدا شامل دو مؤلفه است. همان طوری که در فصل دیگری از این گزارش توصیف می شود، صدای تولیدشده ناشی از غلتیدن لاستیکها کاهش می یابد. به علاوه، صدایی که از خود اتومبیل تولید شده و رو به پایین حرکت می کند، تا حدی توسط سطوح آسفالت متخلخل جذب می گردد، در حالی که در سطوح راههای سستی، صدای مذکور انعکاس یافته و مجدداً به خود خودرو بر می گردد.

دلیل اصلی مقبولیت کاربرد آسفالت متخلخل در هلند، وجود قانونی است که ادارات حمل و نقل را موظف می کند تا در صورتی که میزان صدا در مناطق مسکونی بیشتر از حداکثر مقدار مجاز قانونی باشد، اقدام به نصب موانع صدا (صداگیرها) در سراسر راه نمایند. در حال حاضر این صداگیرها معمولاً ظاهری نامناسب داشته و خطرناک و گران قیمت هستند. ویژگی آسفالتهای متخلخل در کاهش صدا (به خصوص در شرایطی که روسازی آسفالت متخلخل تازه باشد) در مواردی به ادارات حمل و نقل اجازه می دهد تا از نصب صداگیرها اجتناب کنند. در این حالت نسبت سود/هزینه آسفالت متخلخل در ارزیابی اقتصادی مثبت بود و تمام سودها و مزایای دیگر حاصل از کاربرد این ماده تنها "سود خالص" در نظر گرفته شدند. "هدف اصلی استفاده" از آسفالت متخلخل، کاهش صدا است. این خصوصیت آسفالت متخلخل خود به خود تردد در راههای برون شهری با سرعت بالا را محدود می سازد. زیرا کاهش صدا به شدت وابسته به سرعت است که این نکته بسیار نامطلوب می باشد. با این وجود تجاربی که به تدریج به دست می آیند، به خصوص تجاربی که در زمینه مقاومت در برابر لغزندگی و کاهش پاشش به دست آمده اند، نشانگر اهمیت سایر مزایای آسفالت متخلخل می باشند.

۱-۳-۲- مقاومت غلتشی

مزیت دیگر آسفالت متخلخل در رابطه با به کارگیری آن در شبکه راهها، کاهش مقاومت غلتشی است. در حال حاضر تنها چند داده کلی در این خصوص در دسترس است. با این حال به نظر می رسد تحت شرایط خاص، صرفه جویی در میزان سوخت می تواند کاملاً چشمگیر باشد. در این رابطه مقادیر حدوداً ۱ تا ۲٪ گزارش شده است. درجه مقاومت غلتشی به سطح راه بستگی دارد. کاهش نیروی پسای آسفالت متخلخل در مقایسه با آسفالت گرم کوبیده شده تا حدی بیشتر بوده، اما در مقایسه با آسفالت درشت دانه که لایه متراکم دارد، مزیت کمتری داشته و یا حتی فاقد برتری است. این داده ها در تجزیه و تحلیل هزینه-فایده قابل استفاده اند.

۱-۳-۳- استفاده از لاستیک ضایعاتی

در بسیاری از کشورها ضایعات لاستیک حاصل از تایرهای کهنه و فرسوده اتومبیل ها یکی از مشکلات بزرگ زیست محیطی به شمار می رود. استفاده از ضایعات خرده لاستیک در روسازی راهها راهی برای دفع ضایعات برجای مانده است. با این حال، تجارب به دست آمده حاکی از آن است که این نوع کاربرد لاستیک ضایعاتی در آسفالت، اغلب مزیتی بیشتر از دفع این مواد دارد. کیفیت بسیاری از خصوصیات راههای آسفالتی با استفاده از خرده لاستیک بهبود پیدا می کند. مهمترین بهبود کیفیت راهها، کاهش صدا و افزایش طول عمر است. هنگام استفاده از خرده لاستیک در آسفالت متخلخل،

افزایش طول عمر، گاهی بسیار چشمگیر به نظر می‌رسد. افزایش طول عمر روسازی تا رسیدن به گسیختگی از حدود ۹ سال تا ۱۲ سال گزارش شده است. باید به این نکته توجه کرد که در نتیجه انسداد حفره‌ها و تخلخل‌های سطح راه، عمر مفید و کاربردی آسفالت متخلخل نسبت به عمر مفید آن تا مرحله گسیختگی بسیار کوتاه‌تر خواهد بود. در بخشهای بعدی پیرامون این نکته بیشتر بحث خواهیم کرد.

۱-۶- معایب آسفالت متخلخل در مقایسه با آسفالت سنتی

۱-۶-۱- هزینه‌های ساخت

ارائه تصویر کلی از تفاوت هزینه‌های ساخت بین آسفالت متخلخل و آسفالت سنتی کار مشکلی است. به طور کلی فرض بر این است که ساخت آسفالت متخلخل گران‌تر از آسفالت سنتی است. ویژگی مهمی که در ساخت آسفالت متخلخل در نظر گرفته می‌شود، عبارتند از نیاز به آن دسته از مصالح سنگدانه‌ای که مقاومت بیشتری در برابر فرسایش و ضربه داشته و طی مراحل ساخت آسفالت متخلخل، باید پردازش دقیق‌تری در مورد دمای مخلوط و درجه حرارت و رطوبت هوا صورت بگیرد. با این حال، به موازات آنکه ادارات حمل و نقل، طراحان و پیمانکاران تجارب بیشتری در کاربرد آسفالت متخلخل به دست می‌آورند، این فاکتور هزینه اضافی نیز کاهش خواهد یافت. علاوه بر این، هزینه ظاهراً زیاد مصالح سنگی از کشوری به کشور دیگر متفاوت است.

از یک سو آسفالت متخلخل در مقایسه با ترمیم و اصلاح سطحی آسفالت سنتی، مستلزم مصالح سنگدانه‌ای بیشتری با ارزش سنگی صیقلی شده (psv)^۱ بالا می‌باشد، زیرا این سنگدانه‌ها در تمام مخلوط به کار رفته و تنها در لایه بالایی غلتک‌خورده استفاده نمی‌شود، اما از طرف دیگر، در این حالت میانگین ارزش psv احتمالاً پایین‌تر خواهد بود. در نهایت به دلایلی کاملاً روشن، مقایسه بین آسفالت متخلخل و آسفالت سنتی به سطح مبنا بستگی دارد. آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت بسته به قیر بیشتر و در مقایسه با بتن آسفالتی گرم متراکم شده به قیر کمتری احتیاج دارد.

فاکتور دیگری که بر هزینه‌های ساخت آسفالت متخلخل تأثیر می‌گذارد، ضرورت رعایت مشخصات خط‌کشی راه است. از آنجایی که بخشی از ماده مورد استفاده در خط‌کشی راه، زهکشی شده و از بین می‌رود، مواد بیشتری در این خصوص مورد نیاز است. از سوی دیگر، در نتیجه استفاده از بافت درشت سطحی، حتی اگر بخش رویه خط‌کشی راه به سرعت از بین برود، خط‌کشی‌های مذکور عمر مفید طولانی‌تری خواهند داشت.

گفته می‌شود هزینه استفاده از رنگ معمولی برای خط‌کشی راههای دارای رویه با آسفالت متخلخل تقریباً معادل استفاده از خط‌کشی‌های ترموپلاستیک در راههای با آسفالت سنتی است.

فاکتور دیگری که باید در هزینه‌های ساخت آسفالت متخلخل در نظر گرفته شود، نیاز به داشتن لایه آب‌بندی‌شده در زیر لایه فوقانی آسفالت متخلخل است. در برخی موارد، این نیاز باعث افزایش هزینه‌های ساخت می‌شود.

در نهایت آسفالت متخلخل اغلب انعطاف بیشتر و سختی کمتری نسبت به بسیاری از سایر مخلوط‌های رویه راه دارد. مدول سختی آن، ۷۵٪ مدول سختی مخلوط متراکم می‌باشد. در بعضی از کشورها لایه ۴ سانتیمتری آسفالت متخلخل با لایه ۳ سانتیمتری مخلوط متراکم یکسان در نظر گرفته می‌شود. سایر کشورها محافظه‌کارانه برخورد کرده و مدول سختی

1- Polished Stone Value

آسفالت متخلخل را معادل ۵۰٪ مدول سختی مخلوط متراکم برآورد می‌کنند. با این حال، برخی از کشورها نیز مدول سختی هر دو را یکسان در نظر می‌گیرند، زیرا آسفالت متخلخل حساسیت کمتری نسبت به تغییرات درجه حرارت داشته و نیز درجه حرارت آن حدود ۲ درجه سانتیگراد کمتر از دمای مخلوط متراکم است. بنابراین تصور ضخامت یکنواخت بین آسفالت متخلخل و آسفالت‌های معمولی کار آسانی نبوده و نتیجتاً وارد کردن این فاکتور در ارزیابی‌های هزینه-فایده آسان نخواهد بود.

در جمع‌بندی مطالب فوق‌الذکر، به نظر می‌رسد ساخت آسفالت متخلخل در مجموع گران‌تر از ساخت آسفالت سستی باشد. با این حال استثنای مهمی در این قانون وجود دارد. علاوه بر این، میزان تفاوت بین آسفالت سستی و آسفالت متخلخل و نیز دائمی یا موقتی بودن این تفاوت هنوز کاملاً مشخص نیست.

۱-۶-۲- طول عمر

ویژگی دیگری که موجب افزایش هزینه ساخت آسفالت متخلخل می‌شود، عمر مفید کوتاه‌تر آسفالت متخلخل در مقایسه با آسفالت سستی است. در کشور هلند، اغلب این نکته که آسفالت متخلخل باید بعد از حدود ۹ سال نوسازی شود، یک قاعده کلی محسوب می‌گردد، در حالی که بتن آسفالتی معمولی با لایه متراکم، طول عمری حدوداً دوازده ساله دارد. روشن است که مسأله طول عمر به میزان قابل توجهی به انواع مختلف دو راه مورد مقایسه بستگی دارد. این قانون نمی‌تواند تعمیم داده شود، زیرا اغلب اوقات، این مقادیر از کشوری به کشور دیگر کاملاً متفاوت است.

این نکته به عمر "سازه‌ای" رویه راه (تا زمان وقوع گسیختگی) مربوط می‌شود و در واقع هنگامی است که ترک‌ها و شیارشدگی رویه راه به حدی شدید هستند که نوسازی کامل رویه راه ضروری به نظر می‌رسد، یعنی عمر روسازی به پایان خود رسیده است. گفته می‌شود در مورد سایر کارکردها، به خصوص در مورد کاهش پاشش آب در هوای بارانی و نیز کاهش سروصدا به دلیل مسدود شدن مجاری زهکشی، گاهی اوقات عمر روسازی تا حد چشمگیری کوتاه‌تر می‌شود (حدود ۶۰ تا ۷۰٪). از سوی دیگر، در نتیجه نوع ساختمان آسفالت متخلخل، مسأله شیارشدگی در این آسفالت برخلاف آسفالت سستی چندان شایع نیست. در این حالت، عمر آسفالت متخلخل طولانی‌تر می‌شود. به نظر می‌رسد که مصالح سنگدانه‌ای سخت‌تر و نیز ویژگی‌های عایق‌بندی حرارتی بهتر که ناشی از وجود مجاری مخصوص زهکشی است، از مزایای آسفالت متخلخل به شمار می‌روند. بنابراین بحث پیرامون "طول عمر" رویه آسفالت متخلخل برخلاف بحث در مورد مخلوط معمولی متراکم غیرممکن به نظر می‌رسد. لذا وارد کردن بحث طول عمر در ارزیابی‌های هزینه-فایده کار مشکلی خواهد بود.

۱-۶-۳- تعمیر و نگهداری

فاکتور دیگری که موجب تفاوت در هزینه آسفالت متخلخل و مخلوط‌های معمولی می‌شود، نگهداری پرهزینه آسفالت متخلخل است. تعمیر آسفالت متخلخل اغلب گران‌تر است، زیرا در تعمیر رویه‌ای با این نوع آسفالت، مخلوط قسمت تعمیر شده ضرورتاً باید با مخلوط رویه اصلی (مخلوط اصلی) انطباق بیشتری داشته باشد تا از ویژگی‌های زهکشی

آن کاسته نشود. به علاوه وصله‌ها و تکه‌های تعمیر روی آسفالت متخلخل واضح‌تر به نظر می‌رسند، که این امر در دراز مدت سبب می‌شود روکش مجدد سطح راه پیش از موعد مقرر انجام شود (به لحاظ حفظ زیبایی ظاهری سطح راه).

۱-۶-۴- نگهداری زمستانی

در فصل زمستان نمک بیشتری برای پاشیدن روی آسفالت متخلخل مورد نیاز است، این امر هزینه نگهداری این نوع آسفالت را در طول زمستان افزایش می‌دهد. نمک پاشیده شده روی سطح راه در شانه‌های آن جمع شده و تأثیر منفی روی محیط زیست می‌گذارد. آسفالت متخلخل به علت داشتن ویژگیهای خاص حرارتی خود واکنش متفاوتی نسبت به تشکیل یخ از خود نشان داده و در این رابطه متفاوت از ماکادام غیرقابل نفوذ عمل می‌کند.

۱-۷-۷- تحلیل هزینه- فایده

۱-۷-۱- تعریف موضوع

در بخشهای قبلی گفته شد که در حال حاضر هنوز هم بسیاری از مشخصات هزینه‌ها و مزایای آسفالت متخلخل به طور کامل مشخص نشده‌اند. آن دسته از خصوصاتی که تعریف شده هستند، معمولاً تنها می‌توانند در داخل چارچوب تعریفی که از سوی یک اداره راه و یا حداکثر در محدوده یک کشور ارائه شده‌اند، به صورت کمی مطرح شوند. در بعضی موارد، داده‌های مربوط به هزینه‌ها و سودها در فصلهای بعدی این گزارش ارائه خواهند شد، به طوری که ارزیابی محدود مقایسه کمی بین هزینه‌ها و سودها امکان‌پذیر باشد. آنالیز ارائه شده در این بخش تنها از لحاظ کیفی خواهد بود.

۱-۷-۲- فاکتورهای هزینه

پیش از این گفته شد که ساخت آسفالت متخلخل از بسیاری جهات گران‌تر است. هزینه ساخت آسفالت متخلخل به ازای هر کیلومتر از راه را با نشانه C_D نشان خواهیم داد. (برای آسفالت متخلخل و C_T برای آسفالت سستی). همچنین طول عمر آسفالت متخلخل متفاوت از آسفالت سستی است (به ترتیب N_D و N_T)، بنابراین هزینه‌های سالانه به ازای هر کیلومتر از راه به ترتیب C_D / N_D و C_T / N_T خواهد بود. هزینه‌های سالیانه نگهداری به ازای هر کیلومتر از راه به ترتیب M_D و M_T است، لذا میزان تفاوت هزینه‌های سالیانه به ازای هر کیلومتر از راه به صورت ذیل است:

$$\left(\frac{C_D}{N_D} \right) - \left(\frac{C_T}{N_T} \right) + (M_D - M_T)$$

۱-۷-۳- فاکتورهای سود

کاهش صدا تنها در صورتی سود مالی خواهد داشت که مسأله "طول عمر" کامل رویه راه به قدر کافی اهمیت داشته باشد. در واقع کاربرد آسفالت متخلخل جایگزین استفاده از موانع صوتی (صداگیرها) می‌شود. هزینه نصب موانع صوتی به ازای هر کیلومتر از راه و طول عمر آن در قالب چند سال، به ترتیب به صورت C_B و N_B نشان داده می‌شود.

استفاده از آسفالت متخلخل، ممکن است باعث کاهش درصد احتمال تصادفات به میزان P شود. هزینه هر تصادف با نشانه A نشان داده می‌شود. تعداد تصادفاتی که به واسطه اجرای آسفالت متخلخل از وقوع آنها جلوگیری می‌شود، با حجم ترافیک V تناسب دارد. منافع مالی حاصل از کاربرد آسفالت متخلخل به عنوان فاکتور ایمنی به ازای هر سال و به ازای هر کیلومتر از راه به صورت ذیل نشان داده می‌شود:

$$P \times A \times V$$

کاهش انرژی (کاهش در مقاومت غلتشی) با درصد q نشان داده می‌شود. هزینه انرژی به ازای هر واحد از ترافیک B است. مجدداً منافع حاصله با حجم ترافیک تناسب دارند. صرفه جویی پولی انرژی به ازای هر کیلومتر از راه و به ازای هر سال به صورت ذیل بیان می‌شود:

$$q \times B \times V$$

تجزیه و تحلیل کامل هزینه - فایده به ازای هر کیلومتر از راه و به ازای هر سال به صورت ذیل نوشته می‌شود:

$$K = \frac{\text{سودها}}{\text{هزینه‌ها}} = \frac{\left(\frac{C_B}{N_B}\right) + V(pA + qB)}{\left(\frac{C_D}{N_D}\right) - \left(\frac{C_T}{N_T}\right) + (M_D - M_T)}$$

اگر K بزرگتر یا برابر با یک باشد، آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت سنتی مقرون به صرفه خواهد بود.

۲- توصیف، واقعیات و پیشنهادها

۱-۲- مشخصات مصالح

۱-۱-۲- مقدمه

روشن است که انتخاب مصالح برای آسفالتهای خیلی باز یا متخلخل، بر اساس ویژگیهایی که از این مخلوط انتظار می‌رود و نیز شرایط ساخت، حمل، پخش، غلتک‌زنی و سرویس‌دهی آنها تعیین می‌شود. بنابراین به عنوان مقدمه این فصل، مرور اجمالی این مشخصات و شرایط مفید خواهد بود.

مشخصه اصلی آسفالت متخلخل، که در عین حال کارکرد جذب صوت را نیز به همراه دارد، حجم زیاد حفره‌های باز و به‌هم‌پیوسته است (از ۲۰ تا ۲۴ درصد در زمان پخش) که موجب جریان آب و جذب صدای رویه راه شده (یعنی همان اهدافی که به دنبال آن بودیم) و نیز به عنوان عاملی مضر، به هوا و نور یعنی فاکتورهایی که موجب کهنگی قیر (از بین رفتن ماده چسباننده) می‌شوند، اجازه ورود می‌دهد.

این درصد زیاد تخلخل عمدتاً ناشی از وجود مقدار بسیار زیاد مصالح سنگدانه‌ای با ابعاد بیش از ۲mm (حدود ۸۷-۸۳٪) و دانه‌بندی باز و ناپیوسته است. لذا حجم ملات (ماسه - فیلر - قیر) و ماستیک (فیلر - قیر) بسیار کم است. بنابراین چسبندگی و انسجام تقریباً به صورت انحصاری از طریق قیر ایجاد می‌شود، در حالی که مقاومت در برابر تغییر شکل دائمی از طریق اصطکاک و تماس بین دانه‌های سنگی و در درجه دوم بین دانه‌های ماسه می‌باشد. در این مورد، تیز گوشه سنگدانه‌ها نقش کلیدی ایفا می‌کند.

بنابراین در جایی که مسأله چسبندگی و انسجام مطرح می‌شود، باید مطمئن بود که قیر چنین انسجامی را ایجاد می‌کند. این انسجام و چسبندگی نباید بیش از حد تحت تأثیر گذشت زمان و فرآیند کهنگی قرار گیرد.

در نهایت بایستی پیوستگی خوب و دائمی بین سنگدانه و قیر ایجاد شود. به عبارت دیگر می‌بایست چسبندگی بین این دو ماده به خصوص در حضور آب، که به طور ذاتی می‌تواند در داخل مخلوط مذکور نفوذ نماید، وجود داشته باشد. تمامی این خصوصیات و پایداری آنها در طول زمان، ماندگاری و دوام مصالح آسفالت متخلخل را تضمین می‌کند. این پایایی در وسیع‌ترین شکل خود، موضوع مطالعه گسترده در میان کتابهای مختلف بوده و نتیجه آن در دسامبر ۱۹۸۹ توسط ای. جی. جی کلامپ در هلند چاپ شده است.

قبل از اینکه نگاه دقیق‌تری به مصالح سازنده مخلوط آسفالت متخلخل بیندازیم، خلاصه‌بندی موضوعاتی نظیر ضخامت این مصالح ضروری به نظر می‌رسد، زیرا رعایت نسبت خاص ضخامت و حداکثر اندازه سنگدانه، امری کلی است. در این خصوص، دو دیدگاه کاملاً متمایز وجود دارد:

- دیدگاه آمریکایی که به موجب آن مصالح اندودشده به ضخامت ۲ cm، حداکثر اندازه دانه ۱۰ mm و با ناپیوستگی دانه‌بندی ۲/۷ پخش می‌شوند. باید به این نکته توجه کرد که در این حالت، قابلیت زهکشی از اهمیت زیادی برخوردار نیست، بلکه اولین نکته‌ای که بر روی آن تأکید می‌شود، چسبندگی بین تایلر و جاده است که به علت ناهمواری یا زبری هندسی آشکار سطح راه به وجود می‌آید.

- دیدگاه اروپایی که در آن مجموعاً ضخامتی حدود ۴ cm از مصالح اندودشده با حداکثر اندازه دانه ۱۴ mm و گاهی اوقات، حداکثر اندازه دانه ۲۰ mm، (به خصوص در کشور انگلستان) مد نظر می‌باشد. با این وجود، مصالح با حداکثر اندازه دانه ۱۰ mm کنار گذاشته نشده و معمولاً به عنوان ترکیبی مناسب در فرانسه به کار گرفته می‌شوند. دانه‌بندی معمولاً ناپیوسته بوده (ناپیوستگی ۲/۷ یا ۲/۱۰) و تنها در کشور انگلیس دانه‌ها کاملاً از هم فاصله نداشته، بلکه مقدار ماسه به کاررفته در آنها خیلی کم است. در کشور اسپانیا نیز ناپیوستگی یک قاعده محسوب نمی‌شود.

۲-۱-۲- سنگدانه‌هایی که اندازه‌ای تقریباً بیش از ۲ میلیمتر دارند

اغلب اوقات حداکثر اندازه مصالح سنگدانه‌ای نه تنها از ۱۴ mm بیشتر نبوده، بلکه از ۱۰ mm و ۲۰ mm نیز کمتر است. این دانه‌بندی ذرات ضرورتاً از طریق شکستن مصالح سنگی به دست می‌آید. در مورد مصالح شکسته رودخانه‌ای که به صورت طبیعی خرد شده‌اند، نسبت اضلاع گردگوشه باید خیلی کم باشد. "نسبت شکل" ذرات باید خیلی بالا باشد. برآورد کلی حاکی از آن است که یکی از ویژگیهای مصالح سنگدانه‌ای باید "ارزش سنگی صیقلی‌شده" (PSV) باشد: به عنوان مثال، PSV مورد نیاز در بلژیک و سوئیس حداقل ۵۰ است. میزان PSV مورد نیاز بعضی از کشورها به دلایلی که عملاً مشکل هستند، یا به دلیل عدم وجود مصالح سنگدانه‌ای خیلی سخت، خیلی بالا نیست. یکی دیگر از دلایل عدم نیاز به PSV خیلی زیاد در برخی از کشورها این احساس است که بافت درشت سطحی نسبت به بافت ریز سنگدانه‌ای درشت، اهمیت بیشتری دارد. نمونه‌ای از این دیدگاه در دو مقاله چاپ شده در اسپانیا درج شده است که دومین مقاله، حداقل PSV را محدود به ۴۰ کرده و در مشخصات فنی چاپ شده در ایتالیا، این مقدار حداقل ۴۴ تعیین شده است. کشورهای متعددی از جمله بلژیک، ایتالیا و اتریش، استفاده از مقادیر به‌دست‌آمده از آزمایش لس‌آنجلس را پیشنهاد می‌کنند. در اتریش نیز با انجام آزمایش لس‌آنجلس بر روی نمونه‌ای که ده بار در معرض انجماد-ذوب قرار گرفته است، عدم آمادگی و قابلیت سنگ موجود در مصالح سنگدانه‌ای در مقابل یخبندان بررسی شد. بلژیک نیز چارچوبی برای نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش میکرو-دوال^۱ در حضور آب (MDE) تعیین می‌کند. مقادیر کمی به‌دست‌آمده از آزمایش لس‌آنجلس (LA) و میکرو-دوال (MDE) در این کشور به شدت ترافیک بستگی دارد.

در مورد نیاز به وجود چسبندگی مناسب بین قیر و مصالح سنگی در حضور آب، اتفاق نظر وجود دارد. از سوی دیگر، هیچگونه توافقی در مورد نوع آزمایش مورد استفاده جهت اندازه‌گیری این ویژگی صورت نگرفته است. در برخی از کشورها آزمایشهای فشار نسبی و کشش غیرمستقیم بر روی قیر و مصالح سنگی، قبل و بعد از غوطه‌ور شدن این مصالح در آب انجام می‌شود. به عنوان مثال، در فرانسه نسبت غوطه‌وری/تراکم باید بیش از ۰/۷۵ باشد. در این رابطه روش اسپانیایی طرح اختلاط که اصطلاحاً "Cantabric" نام دارد (آزمایش سایش لس‌آنجلس بدون گوی‌های فولادی) بسیار مطمئن به نظر می‌رسد. در واقع این روش شرایطی فراهم می‌آورد که مقاومت نمونه‌های آزمایش "مارشال" در برابر سایش، قبل و بعد از اشباع‌شدگی در آب (غوطه‌ورسازی به مدت ۴ روز) مقایسه شود.

۲-۱-۳- ماسه (متشکل از دانه‌هایی به اندازه تقریبی ۰/۰۸ تا ۳-۲ mm)

مطالب چاپ‌شده پیرامون ماهیت ماسه طبیعی یا شکسته بسیار نادر است. اگر چه می‌توان با احتمال قریب به یقین تصور کرد که ماسه به دلایلی که پیش از این ارائه شد، باید از طریق شکستن سنگ سخت به دست آید. برخی از کشورها مانند بلژیک و هلند در این مورد ایده‌های کاملاً روشنی دارند. مقاله مشخصات فنی ایتالیایی که پیش از این نام برده شد، حداقل میزان ماسه شکسته در فرایند شکستن ماسه را ۸۰٪ تعیین می‌کند.

۲-۱-۴- فیلرها (پرکننده‌ها)

در مورد موضوع پرکننده‌ها (فیلرها) عقاید و نظریه‌های متفاوتی وجود دارد. برخی معتقدند فیلر ماده‌ای است که به صورت طبیعی در خود ماسه وجود دارد. عده‌ای نیز معتقدند که فیلر ساخته شده به خصوص سنگ آهک و حتی سیمان ضرورتاً باید به ماسه اضافه شود (اسپانیا). عده دیگری که از اکثریت برخوردارند، کسانی هستند که با اضافه کردن ۱ تا ۲ درصد هیدروکسید کلسیم (آهک شکفته) جهت تقویت چسبندگی بین قیر و مصالح سنگی موافق بوده و در واقع بر آن اصرار می‌ورزند. مقاله مشخصات فنی ایتالیایی که پیش از این ذکر شد، "ارزش ماسه‌ای مصالح سنگی" را بیش از ۷۰٪ تعیین می‌کند (جهت اجتناب از ذرات ریز مضر). این موضوع به شکل نسبتاً گسترده‌تری در مرور منابع توسط ای. جی. جی. کلامپ مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۱-۵- افزودنی‌های تثبیت‌کننده قیر

در مقدمه گفته شد که ظاهراً نفوذ هوا و نور در مخلوط‌های خیلی باز، مشکل کهنگی و پیرشدگی قیر را به همراه می‌آورد. به عنوان یک واکنش منطقی در مقابل این خطر، روش کلی عبارت است از افزایش مقدار قیر جهت اندودکاری مصالح سنگی. با این حال روشن است که با تأکید بیشتر بر روی عدم کاهش بی‌جهت درصد تخلخل‌ها در مصالح متخلخل و عدم به مخاطره انداختن پایداری آن، افزایش مقدار قیر محدودتر خواهد شد. به علاوه، افزایش بیش از اندازه و فراتر از حد تعیین شده قیر موجب پدیده جدی‌تری خواهد شد که به همگن نبودن مشخصات لایه نهایی مواد متخلخل و یا به عبارت دیگر، روان شدن و ته‌نشین شدن قیر در مخلوط در طی مرحله ساخت، حمل و پخش و غلتک‌زنی خواهد انجامید. جهت تثبیت قیر، به وسیله سفت کردن به روش گرم و یا سرد، مطالعات متعددی درباره اثرات افزودن انواع مختلف مواد معدنی و الیاف ارگانیک^۱ در چند کشور انجام گرفت. یکی از این مواد آزبست^۲ است (که در کشور فرانسه کاربرد دارد). با این وجود باید یادآوری کرد که استفاده از این ماده در برخی از کشورها ممنوع اعلام شده است. میزان ماده افزودنی اضافه شده به وزن کلی مصالح سنگی در حدود ۱ تا ۱/۵ درصد است. الیاف سنگی "لایه دیاباز"^۳ نیز به صورت آزمایشی (در کشور هلند) و به میزان حدوداً ۰/۳ تا ۰/۵ درصد مورد استفاده قرار گرفته است. در نهایت برای تمام کردن مطلب باید به الیاف سلولزی اشاره کرد که کاربرد آنها مثلاً در بلژیک در بخشی از این گزارش که به آزمایشهای مقاومت قیر

۱- لاستیک هم به صورت پودر و هم به شکل ذرات دانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از این نوع ماده افزودنی در بخش بعدی و در مبحث قیرهای اصلاح‌شده پلیمری مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

2- Asbestos

3- Diabase

در برابر ته‌نشین شدن می‌پردازد، اشاره شده است. این آزمایشها به دو روش اجرا شده و بیان می‌کنند که مقدار الیاف موجود حدود ۰/۳ تا ۰/۵ درصد وزن کل مصالح سنگی را تشکیل می‌دهد. دو روش آزمایش مقاومت در برابر ته‌نشین شدن که در بخش بالا اشاره شد، به ترتیب روش زهکشی M.E و روش کی. شلبرگر و دبلو. فاندروپن هستند. استفاده از الیاف شیشه‌ای (فایبرگلاس) نیز مورد توجه قرار گرفته است.

۶-۱-۲- افزودنی برای چسبندگی و پیوستگی

اگر چه اغلب اوقات در مورد اطمینان از وجود پیوستگی و چسبندگی مفید بحث می‌شود، اما در رابطه با کاربرد عوامل خاص ایجاد کننده چسبندگی و پیوستگی، مطالب چندان زیادی در دسترس نیست. تنها دو مرجع به این موضوع اشاره کرده‌اند. اولین مطلب که در کشور سوئد تهیه شده است، به مسأله نیاز به ترکیب ماده افزودنی عامل چسبندگی و پیوستگی در آسفالت متخلخل اشاره کرده و بیان می‌کند که این ماده افزودنی معمولاً یکی از مشتقات آمینه بوده و پایداری حرارتی و ذخیره‌ای آن ضروری به نظر می‌رسد. دومین مطلب که در فرانسه تهیه شده است و البته از صراحت کامل برخوردار نیست، در مورد کاربرد مواد افزودنی در قیر بحث می‌کند.

۷-۱-۲- قیرها

این موضوع بسیار گسترده و پیچیده است. به نظر می‌رسد به دلیل وجود اطلاعات حجیم و پراکنده و پیچیده در این خصوص، ارائه خلاصه‌ای منسجم و قابل قبول، غیرممکن باشد. لذا تنها می‌توان به طور خلاصه به چند موضوع اصلی اشاره کرد.

۱-۷-۱-۲- قیر معدنی یا قیر خالص

تمام کشورهایی که از آسفالت متخلخل استفاده می‌کنند، عملاً کارهای اولیه خود را با مواد اندود شده با قیر معدنی یا طبیعی خالص انجام می‌دهند. اگر چه برخی از کشورها از جمله هلند که مرحله تجربه استفاده از قیر را به خوبی پشت سر گذاشته‌اند، هنوز هم از این ماده استفاده می‌کنند، زیرا این کشورها معتقدند انجام آنالیز معتبر هزینه- فایده که بتواند علی‌رغم هزینه زیاد قیرهای اصلاح شده نسبت به سایر مواد، مزایای کاربرد آنها را نشان دهد، امری غیرممکن است. در بلژیک، قیر خالص (۸۰/۱۰۰) تنها برای راههایی با حجم ترافیک پایین استفاده می‌شود. در میان سایر منابع، مقاله‌ای که در فرانسه تهیه شده است (به بخش ۲-۱-۶ مراجعه کنید)، استفاده از قیر معدنی خالص ۶۰/۷۰ و قیر معدنی ۸۰/۱۰۰ را ذکر می‌کند. منبع اسپانیایی بیان می‌کند که در ۲۰ درصد مخلوطهای آسفالتی متخلخل، قیر معدنی خالص ۶۰/۷۰ و ۸۰/۱۰۰ استفاده شده است. در مورد سوئیس باید به این مطلب توجه نمود که برای قیرهای معدنی اصلاح شده با پلیمر یا قیرهای معدنی همراه با مواد افزودنی (مثلاً الیافها)، استاندارد تهیه شده است. در انگلیس، استاندارد بریتانیایی BS 4987 که در سال ۱۹۸۸ تهیه شد، قیر معدنی ۸۰/۱۰۰ را توصیه می‌کند. در مورد قیرهای معدنی اصلاح شده به کار رفته در ایتالیا نیز باید استاندارد تهیه شود (Auto Strade). تصور این که استفاده از الیافهای سخت کننده موجب کاهش کاربرد قیر معدنی خالص خواهد شد، نامعقول به نظر نمی‌رسد.

۲-۱-۷-۲- قیرهای اصلاح شده

مطالب پیشین در مورد تولید لایه‌های ضخیم اندود قیری که بتوانند در برابر کهنگی و پیرشدگی مقاومت کرده و در عین حال، هنگام گرم شدن یا قرار گرفتن در معرض دمای هوا در راهها، پایداری خود را از دست ندهند، به سرعت طراحان را بر آن داشت که با افزودن پلیمرها، اقدام به تهیه و استفاده از قیرهای اصلاح شده نمایند. تنوع قیرهای اصلاح شده از حوصله این بحث خارج بوده و تعداد آنها به گونه‌ای است که تلاش برای خلاصه‌بندی آنها در این مقوله بی‌فایده خواهد بود.

با این وجود، جهت ارزیابی بیشتر موضوع، می‌توان قیرهای اصلاح شده را به دو گروه عمده تقسیم نمود:

- قیرهای اصلاح شده با پلیمرهای نو
- قیرهای اصلاح شده با پلیمرهای بازیافتی

• قیرهای اصلاح شده با پلیمرهای نو

در میان پلیمرهای جدید مورد استفاده در اصلاح قیرهای معدنی باید به پلاستومرها و به خصوص الاستومرها اشاره نمود. تنوع پلیمرها بسیار زیاد بوده و بدون تهیه گزارش کامل و بدون ارائه توضیحاتی در خصوص اهمیت این مواد، باید به پلیمرهایی از قبیل PE, APP, SBR, SB, EPDM, EVA, SBS و غیره اشاره نمود. در این میان باید پودر لاستیک طبیعی را نیز نام برد.

قیرهای اصلاح شده اغلب در کارخانه تولید می‌شوند. با این حال می‌توان در کارخانه آسفالت و حتی در میکسر نیز به اقدام به تولید آن کرد.

• قیرهای اصلاح شده با پلیمرهای بازیافتی

این نوع قیر مخلوطی است از حدود ۷۸ تا ۸۰ درصد قیر ۸۰/۱۰۰، ۳ درصد روغن آروماتیک و ۱۰ تا ۲۰ درصد پودر لاستیک حاصل از بازیافت تایرهای مستعمل. این نوع قیر در مخزن متحرک مخصوصی که در نزدیک کارگاه اندودکاری نصب شده است، تولید می‌گردد.

تهیه این نوع قیر حدود دو ساعت به طول انجامیده و مستلزم تورم و حرارت زیاد ذرات لاستیک است. ویسکوزیته نهایی آن بسیار بالا و حدود ۱۰ پواز در دمای ۲۰۵ درجه سانتیگراد می‌باشد.

به طور کلی، قیر حاصل از لاستیک، RA^۱ (آسفالت لاستیکی) نامیده می‌شود. این نوع قیر برای اولین بار در آمریکا یعنی به طور دقیق در ایالت آریزونا و اندکی پیش از دهه ۱۹۷۰ توسط اچ. مک دونالد ابداع شد. این ماده در سال ۱۹۸۰ و بعد از دو بار اقدام به گردهمایی مقامات رسمی کشورها، پیمانکاران و نمایندگان صنایع تولید قیر، تحت عنوان فرایند اصلاح قیر از طریق پلیمرهایی نظیر لاستیک بازیافتی در بلژیک معرفی گردید. پس از آن و بعد از مطالعات متعدد و پیشرفتهای مربوطه، کاربرد ماده مذکور در اروپا و دیگر نقاط توسعه یافت.

۲-۲- طرح اختلاط

پس از مدت زمان کوتاهی معلوم شد که ساختار خیلی باز حاصل از کاربرد مصالح سنگی با نسبت بسیار زیاد و اندازه‌ای بزرگتر از ۳-۲ mm و وجود اسکلت سنگی بدین معناست که روشهای قدیمی طرح اختلاط، دیگر کاربردی نخواهند داشت. بنابراین جهت ارزیابی این خطر و در صورت نیاز، جهت تعریف یک یا چند روش مناسب برای اختلاط، مطالعاتی صورت گرفت.

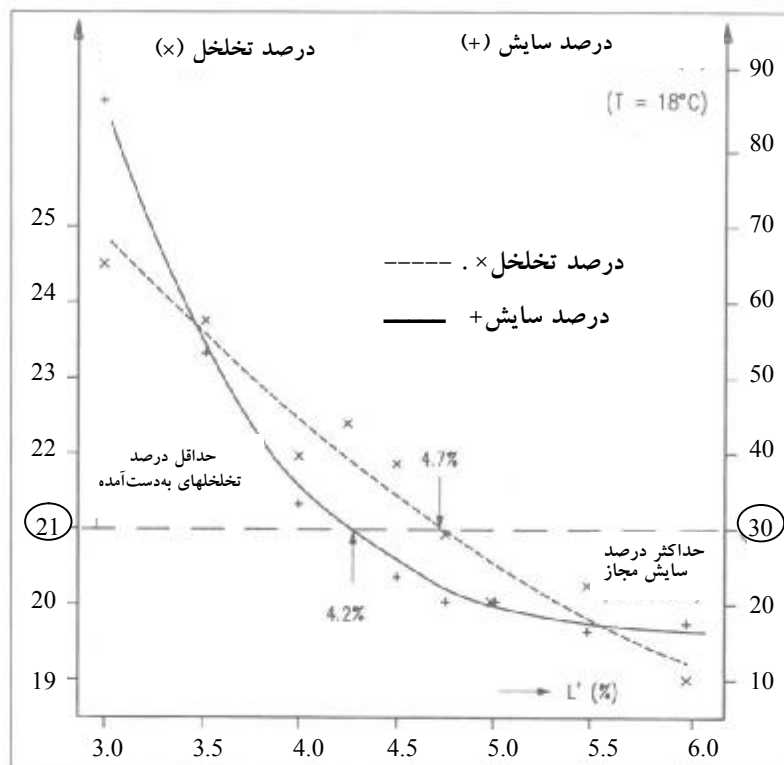
مجدداً در سال ۱۹۸۱ سه محقق اسپانیایی گزارشی مقدماتی، اما بسیار جالب در گردهمایی قیرهای معدنی اروپا (Euro bitume) در شهر کان ارائه کردند. این گزارش که پیش از این، اولین گزارش از نوع خود بود، نشان داد که آزمایش مارشال کارایی لازم را ندارد، زیرا با وجود تغییر مقدار قیر، تفاوتی در نتایج حاصله مشاهده نشد. از آن پس گرایش بیشتری برای پذیرش این نتیجه‌گیری وجود داشت و دیگر محققان نیز آن را تأیید کردند. با این حال (Auto strade) در ایتالیا توجهی به این دیدگاه ندارد، زیرا حداقل مقادیر عددی سختی و پایداری آزمایش مارشال برای سه نوع از دانه‌بندیهای انجام یافته مشخص است. باید یادآوری نمود که این مشخصات فنی روی آن دسته از نمونه‌های آزمایشی مصالح اندودشده‌ای اعمال می‌شود که مستقیماً از کارخانه مخلوط‌کننده مصالح و یا از دستگاه فینشر گرفته شده‌اند.

علاوه بر این، سه محقق اسپانیایی فوق‌الذکر به این نتیجه رسیدند که آزمایش کشش غیرمستقیم در واقع چیزی نبود که به آن نیاز داشتند. با این حال این نتیجه‌گیری توسط Auto strade تأیید نشد، زیرا طبق مشخصات فنی آن، Auto strade این حق را برای خود محفوظ می‌داند که با استفاده از آزمایشهایی از این قبیل، به بررسی محصولات بپردازد. لذا محققین، آزمایش سایش را ترتیب دادند که از آن زمان تاکنون با نامهای آزمایشی "Cantabro"، "Cantabre" یا "Cantabric" شناخته شده است. در واقع، ایده مطرح شده در این آزمایش عبارت است از قرار دادن تک تک نمونه‌های آزمایش مارشال در معرض ۳۰۰ دور چرخش در دیگ (مخلوط‌کن) آزمایش لس‌آنجلس. این دیگ فاقد گویهای فولادی قبلی بوده و درجه حرارت مشخصی دارد (18°C یا 25°C). نمودار سایش ایجاد شده که به صورت کاهش جرم بیان می‌شود، بر اساس مقدار قیر موجود رسم می‌گردد. با افزایش مقدار قیر، جرم نمونه‌ها در اثر سایش کاهش یافته، منحنی سیر نزولی طی کرده و هنگامی که قیر به درصد مشخصی می‌رسد، منحنی فوق پهن تر می‌شود. ظاهراً تعیین درصد مشخص قیر معدنی به حداقل قیر مورد نیاز جهت حصول اطمینان از دستیابی به چسبندگی ارتباط دارد. امروزه این ایده که افت جرم نمونه آزمایش شده در دمای 18°C باید کمتر از ۳۰ درصد بوده و افت جرم نمونه آزمایش شده در دمای 25°C باید ۲۵ درصد (و گاهی ۲۰ درصد) باشد، ایده‌ای پذیرفته شده است.

در حال حاضر تعدادی از کشورها از جمله بلژیک از این روش برای تعیین حداقل مقدار قیر استفاده می‌کنند. از سوی دیگر، حداکثر مقدار قیر باید بر اساس دو معیار انتخاب شود: حداقل درصد تخلخلی که باید بدان دست یافت و عدم ته‌نشین شدن و روان‌شدگی قیر. تلفیق نتایج آزمایش Cantabric و آزمایش مقدار تخلخل (حفره‌ها و فضاهای خالی) به صورت مفید و در نموداری نظیر آنچه که در شکل قبل دیده می‌شود، جمع‌بندی شده است.

قبل از پرداختن به این دو معیار، باید یادآور شد که در فرانسه آزمایش طرح اختلاط که به صورت فشار برشی چرخشی انجام می‌شود، مورد تأیید قرار گرفته است. کاربرد مطالعه "دورایز" تنها برای ارزیابی مقاومت بتن آسفالتی در برابر عریان‌شدگی است (نسبت غوطه‌وری به تراکم باید بیش از ۷۵/۰ باشد). در این راستا آزمایش Cantabric مطمئن به نظر

می‌رسد، زیرا از این طریق می‌توان قبل و بعد از اشباع شدن مخلوط، به سنجش مقدار سایشهای آن پرداخته و نتایج حاصله را مطالعه نمود.



نمونه‌ای از افزایش درصد تخلخل و درصد سایش نمونه‌های مارشال مخلوطهای آسفالتی متخلخل حاوی قیر خالص در بلژیک

در رابطه با تعیین درصد تخلخل و فضاهاهی خالی باید گفت که این فعالیت بیشتر اوقات در زمان اختلاط و یا حین کنترل تولید آن در محل کارگاه و بر روی نمونه‌های آزمایش مارشال انجام می‌شود. سومین جنبه کلیدی مطالعه طرح اختلاط عبارت است از تعیین حداکثر مقدار قیر که به واسطه آن، ته‌نشین شدن و روان‌شدگی قیر در مخلوط امکان‌پذیر شود.

۳-۲- تولید، حمل و پخش

۳-۲-۱- تولید

به دلیل مشکلاتی که جزء لاینفک تولید مخلوطهای آسفالت متخلخل در کارخانجات مداوم (پیوسته) یا در دیگهای مخلوط‌کننده می‌باشند، باید گفت که در تولید آسفالت‌های متخلخل در کارخانجات مداوم در مقایسه با تولید مخلوطهای فوق در کارخانجات سنتی ناپیوسته هیچ تفاوتی مشاهده نشد. در آسفالت متخلخل تنها باید به کنترل دما نسبت به

مخلوطهای متراکم توجه بیشتری معطوف داشت. هم‌چنین کنترل دمای قیر و مصالح سنگی و نیز انتخاب اولیه مصالح سنگی و بدون استفاده از سرند، نیاز به توجه بیشتری دارند.

در مورد قیر و به خصوص در مورد قیرهای اصلاح‌شده دقت زیادی باید به عمل آورد تا دستورالعملهای سازندگان این مخلوطها دقیقاً اجرا شوند. اگر چه از دستورالعملهایی که در مشخصات فنی پروژه قید شده‌اند نیز نباید غافل شد. این دستورالعملها توجه خاصی به ویسکوزیته قیر و حساسیت آن نسبت به حرارت دارند، به طوری که اصلاح یا تغییر خصوصیات قیر، منجر به تخریب مواد افزودنی نهایی نشود. به همین ترتیب دمای مصالح سنگی نیز باید طوری انتخاب شود که به دمای نهایی مورد نیاز برای تولید مخلوط برسد و در صورتی که سازنده مخلوط می‌خواهد از خطر وارفتگی و جدا شدن اجزای تشکیل‌دهنده مخلوط به دلیل وجود مقدار زیاد قیر جلوگیری کند، باید دقت زیادی به عمل آورد تا دمای مصالح سنگی از حد مجاز ذکرشده تجاوز نکند.

به دلیل استفاده کم از ماسه در مخلوط آسفالت متخلخل، باید دقت بسیار زیادی در مورد دمای اختلاط مصالح به عمل آورد، شاید حتی کاهش دمای اختلاط در مقایسه با دمای اختلاط آسفالت سنتی ضروری باشد تا بدین ترتیب بتوان از بروز مشکلاتی که با گرمایش زیاد مصالح سنگی به وجود می‌آیند، اجتناب کرده و در عین حال، خطر قرار گرفتن قیر در معرض شوک حرارتی را به حداقل رساند. در هر صورت، هنگام استفاده از قیر اصلاح‌شده، متوسط دما از ۱۰ تا ۲۰°C بیشتر خواهد بود.

در مورد قیرهای اصلاح‌شده‌ای که در پالایشگاه تولید نشده است، باید دقت نمود که جهت دستیابی به توزیع همگن پلیمر در قیر معدنی (در کارخانه یا در کارگاه) می‌توان افزودنی‌های اصلاح‌کننده را با قیر مخلوط کرد. این کار به صورت مکانیکی و از طریق عوامل روانساز، یعنی با استفاده از پلیمرهایی با وزن مولکولی کم و یا استفاده از آسیابهای کلوئیدی انجام می‌شود.

مورد اخیر در شبکه بزرگراههای ایتالیا کاربرد بسیار گسترده‌ای داشته است، ولی تعداد زیادی از کشورها (به خصوص فرانسه و بلژیک) به جز در مواردی که قیر با لاستیک بازیافتی اصلاح شده است، از قیرهای اصلاح‌شده به اصطلاح "آماده مصرف" استفاده می‌کنند.

با توجه به ماهیت متغیر نصب و تجهیزات مربوطه و نیز قیرها و مواد افزودنی به کار رفته و جدا از مشخصات فنی که برای هر پروژه به طور جداگانه ارائه می‌شوند، بهترین راه، آنالیز منطقی اولیه رفتار قیرهای تهیه شده است تا این اطمینان حاصل شود که تولید می‌تواند تحت شرایط مناسبی صورت گیرد و محصول نهایی یکنواخت باشد (به این معنی که اجزای مختلف مخلوط، قابل تفکیک از هم نباشند).

بعد از این که مصالح سنگی توزین شدند، در درون میکسر (مخلوط‌کن) ریخته می‌شوند. این مصالح در درون میکسر خشک شده و به دمای مناسب برای پخش در سطح راه می‌رسند. قیر و فیلر به صورت جداگانه افزوده می‌شوند. طی این مرحله، در مواردی که از قیر اصلاح‌شده استفاده می‌شود، دمای مصالح سنگی در مجموع، ۱۰ تا ۲۰°C بیشتر از ارقام مربوط به دما در صورت استفاده از قیرهای معمولی است. زمان مورد نیاز برای مخلوط کردن مصالح در کارخانه لزوماً نباید طولانی‌تر از مدت زمان مورد نیاز برای تهیه مخلوطهای قیری سنتی باشد. دمای تولید مخلوط، یکی از فاکتورهایی است که بیشترین تأثیر را بر کیفیت محصول و عملکرد سطح می‌گذارد. در واقع، بر حسب نوع قیر مورد استفاده، دمای تولید نیز

متغیر خواهد بود. اگر دما خیلی بالا باشد، قیر بیشتر به حالت سیال در آمده و وضعیتی به وجود می‌آورد که در آن قیر به صورت چکه‌چکه نشت می‌کند.

در مورد قیرهای اصلاح‌شده، دمای اندودکاری مصالح سنگی در مجموع بالاتر از دمای مورد استفاده در مورد قیرهای معمولی است. در این حالت توصیه می‌شود که قیر اصلاح‌شده، بلافاصله پس از تولید، استفاده شود، اگر چه در شرایطی که بتوان قیر را در درون ظروف عایق حرارت ریخت، با توجه به نیاز به تهیه مخلوط به طور دائمی، امکان افزایش مدت زمان ذخیره تا چند روز وجود دارد.

۲-۳-۲- حمل

به محض تولید آسفالت متخلخل در کارخانه، باید آن را به وسیله کامیونها به محل پروژه انتقال داده و اقدام به پخش آن کرد. حمل، خود عملیاتی حساس بوده و در صورتی که در تهیه آسفالت متخلخل از قیرهای اصلاح‌شده نیز استفاده شود، حساسیت موضوع افزایش می‌یابد، زیرا تصور بر این است که به محض پایین آمدن دمای مخلوط، عملاً تا حد زیادی از کارایی آن کاسته می‌شود. علاوه بر این، طی مرحله حمل، لرزه‌های ایجاد شده بر مصالح آسفالتی می‌تواند منجر به جدا شدن دانه‌های مصالح سنگی و قیر شود. خصوصاً هنگامی که مقدار قیر بسیار زیاد بوده و فاصله بین محل تولید و محل اجرای پروژه زیاد باشد، جدایی دانه‌ها بیشتر می‌شود. در مواردی که محصول تولید شده باید به جاهای دورتر حمل شود، بهتر است از خطر وقوع پدیده ته‌نشین شدن قیر و جدایی سنگدانه‌ها جلوگیری شود. جهت اطمینان از این موضوع، دمای محصول تولید شده باید در حد مناسب، یعنی در چارچوب مقداری که قبلاً اشاره شد، تنظیم گردد. در این رابطه باید دمای محیط بیرون، فاصله بین کارخانه و محل اجرای پروژه و نوع سیستم مورد استفاده در حمل نیز مورد توجه قرار گیرد. این فرایند باید شامل رعایت دانه‌بندی بر اساس مشکلات ناشی از شرایط خاص تولید، حمل و پخش باشد.

شرایط آب‌وهوای محل اجرای پروژه نیز توجه خاصی می‌طلبد. در صورتی که دمای محیط پیرامون محل انجام پروژه پایین باشد، نباید اجازه داد مخلوطهای آسفالت متخلخل پخش شوند، زیرا اعتقاد بر این است که سرد شدن مخلوطهای قیری از کارایی لازم آنها می‌کاهد.

۲-۳-۳- پخش

با فرض این که قوانین اجرای صحیح پخش مخلوطها، نه‌تنها در مورد شرایط آب‌وهوایی مناسب برای پخش مخلوط، بلکه در رابطه با پشتیبانی لازم از کار رعایت شده باشند، پخش مخلوطهای متخلخل با فینیشر، مشکلات خاصی نسبت به پخش مخلوطهای سنتی نخواهد داشت. بدیهی است که اگر چنین شرایطی فراهم نشود، مشکلاتی ایجاد خواهد شد، زیرا میزان مصالح سنگی مخلوط زیاد بوده و صاف و تراز کردن سطح نهایی آن سخت‌تر شده و مشکلات بیشتری در مرحله غلتک‌زنی و تراکم مخلوط به وجود خواهد آورد.

بدیهی است طرح اختلاط مخلوط آسفالتی تحت شرایط فوق‌الذکر (و در رابطه با ترکیب مخلوط، به خصوص در مورد انتخاب صحیح مقدار ماسه و قیر) نقطه‌ای حساس و بحرانی در ایجاد شرایط مطلوب برای دستیابی به آسفالت متخلخل مرغوب و با عملکردی مناسب به شمار می‌رود. با این وجود، فرایند پخش آسفالت نیز نقش مهمی در دستیابی به بهترین نتایج

ممکن ایفا می‌کند. جدا از ثابت نگه داشتن طرح اختلاط، فاکتورهای مهمی که روی کارایی و کیفیت این نوع از مخلوطهای قیری، به خصوص از نقطه نظر قابلیت زهکشی تأثیر می‌گذارند، عبارتند از درجه حرارت و فرایند تراکم. در مورد مخلوطهای متخلخل، به علت حساسیت بیشتر آنها نسبت به حرارت، توجه به روشها و مقادیر خاص، اهمیت بیشتری دارند. هنگام استفاده از مخلوطهای قیری اصلاح‌شده، درجه حرارتی که در آغاز پخش آسفالت متخلخل پیشنهاد می‌شود، دقیقاً 20°C بیشتر از درجه حرارت شرایط عادی است.

پخش آسفالت متخلخل به صورت دستی سبب بروز مشکلات عدیده مرتبط با مخلوطهای قیری با دانه‌بندی باز می‌گردد. لذا به دلیل مشکلاتی که در رابطه با تراز سطح به وجود می‌آید، مرحله پخش مصالح مستلزم تلاش و دقت بیشتری است. مخلوط آسفالتی که توسط ماشین روی سطح راه ریخته می‌شود، دارای نقایصی است که به واسطه تغییرات نهایی در درجه حرارت، به خصوص در نقاط شهری به وجود آمده و تسطیح آن به صورت دستی کار مشکلی است. به منظور اجتناب از بی‌نظمی‌های احتمالی در پخش، در هر شرایطی فینیشر باید به ابزاری جهت کنترل اتوماتیک مجهز باشد. در هر دو مرحله ساخت و تعمیرات راه، نظارت بر ضخامت درست سطح ضروری است. ضخامت ناکافی که خطر سرد شدن سریع مخلوط آسفالتی را در پی دارد، مانع از دستیابی به خصوصیات مکانیکی و آکوستیکی مناسب یا مقاومت در برابر ترک‌خوردگی می‌شود.

در رابطه با تراکم باید گفت که تراکم مخلوط آسفالت متخلخل باید به اندازه تراکم مخلوطهای آسفالتی سنتی قوی و سخت باشد تا حدالمقدور از تراکم ثانویه کاسته شود. در نتیجه جهت دستیابی به تراکم صحیح آسفالت متخلخل، غلتکها باید کاملاً نزدیک به فینیشرها و درست پشت سر آنها حرکت کرده و جهت حفظ دمای مخلوط در حد مناسب و کافی خود، کار غلتک‌زنی باید بلافاصله بعد از پخش آغاز شود.

دمای تراکم تأثیری بر میزان تراکم نهایی ندارد، مگر این که درجه حرارت شدیداً افت پیدا کند، که در هر صورت منجر به تخریب خصوصیات مکانیکی خواهد شد. نتیجه فوق بر این واقعیت تأکید دارد که ویژگیهای تخلخل‌رو سازی، خود به عنوان تابعی از خصوصیات ذاتی مخلوط بوده (ترکیب دانه‌بندی) و بدون توجه به تدابیر لازم در مرحله پخش به دست می‌آید.

از انجام تراکم همراه با ویرره باید جلوگیری کرد، چرا که در مورد آسفالت متخلخل، ویرره منجر به تراکم بسیار زیاد سطح آسفالت متخلخل می‌شود. مصالح سنگی باید کاملاً سفت و سخت به یکدیگر فشرده شوند. این امر تعداد حفره‌ها و فضاهای خالی بین دانه‌ها و به تبع آن، درجه زهکشی را کاهش می‌دهد. با این حال، دلیل اصلی عدم استفاده از غلتکهای لرزشی، خطر آسیاب شدن مصالح سنگی است، اگر چه گاهی اوقات برای ایجاد ارتباط بین دانه‌های مصالح سنگی از این نوع غلتک نیز استفاده می‌شود.

در مورد آسفالت متخلخل، پیشنهاد می‌شود از غلتکهای چرخ لاستیکی صاف با حداکثر وزن ۱۲-۱۰ تن و ۲ تا ۳ بار استفاده شود. این مقدار غلتک‌زنی، نسبت به مقدار غلتک‌زنی لازم برای تراکم سطوح سنتی به مراتب کمتر است. استفاده از غلتکهای چرخ لاستیکی در برخی از کشورها چندان رایج نیست، یا در واقع استفاده از آنها ممنوع است (به علت کنده شدن سطح راه به دلیل چسبیدن مصالح سنگی به تایرها).

در تراکم باید به روشهای سنتی نظیر تعیین موقعیت و محل قرارگیری غلتکها در رابطه با فینیشرها، همپوشانی باندهای تراکم و رعایت فاصله بین غلتکها نیز توجه کرد. در موارد خاص انجام پروژه در تابستان، یعنی مواقعی که مقطع راه باید در همان روز اجرای پروژه برای تردد ترافیک بازگشایی شود، جهت اجتناب از وضعیتی که در آن مخلوط قیری به چرخهای خودروهای در حال تردد می‌چسبد، به خصوص مناطقی که تحت تأثیر تنش مماسی زیادی بوده‌اند، توصیه می‌شود که به محض سرد شدن آسفالت متخلخل، به ویژه در مناطق شهری، مقادیر کمی فیلر روی سطح روسازی پخش شود. هنگام پخش آسفالت متخلخل، باید دقت زیادی به عمل آید تا آسفالت مذکور با شانه‌های راه (در مناطق برون شهری) و جدولها (در مناطق درون شهری) به خوبی متصل شود. هدف از این کار، اطمینان از زهکشی آب از لبه‌های خارجی تر لایه و اجتناب از وضعیتی است که در آن، روسازی همواره مرطوب بوده، یا مواردی است که آب به پی جاده نفوذ می‌کند. با فرض این که با رعایت "مشخصات فنی ساخت" (بخش ۲-۵-۳) می‌توان نحوه انتقال بین آسفالت متخلخل و شانه‌های راه را رعایت کرد، ما در این بخش از گزارش پیرامون ایجاد درزها، نواحی انتقال و شبیه‌های طولی بحث خواهیم کرد. اجرای لبه‌ها و ایجاد درزها در مورد آسفالت متخلخل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

وقتی تراز رویه آسفالت متخلخل بالاتر از تراز شانه راه است، لبه‌های آن نباید با قیر پوشانده شوند، تا بدین ترتیب امکان زهکشی آب وجود داشته باشد. شانه‌های راه در هر شرایطی، حتی زمانی که در مجاورت سیستم زهکشی آب قرار دارند، نباید موجب سکون آب در هسته روسازی شوند.

در خصوص ایجاد درز در آسفالت متخلخل، می‌توان با تنظیم فینیشر در مسیر مناسب و انجام دقیق عملیات تراکم، درز عرضی صحیحی به دست آورد. در مورد ایجاد درزهای طولی، بهترین کار، استفاده از دو فینیشر همزمان در صورت امکان برای اجتناب از به وجود آمدن درز است. با این حال، راه حل مذکور به ظرفیت بالقوه کارخانه تولید آسفالت بستگی دارد. در صورتی که این ظرفیت کافی نباشد، درزهای عرضی زیادی ایجاد خواهد شد. این امر به نوبه خود باعث ناهمواری سطح روسازی خواهد شد. اصلاح درز سرد با استفاده از قیر (جهت اطمینان از اتصال مناسب)، به خصوص بین دو نوار آسفالت متخلخل توصیه نمی‌شود (به علت جلوگیری از زهکشی طولی). علاوه بر این، تداوم حرارت در زمان توقف فعالیت فینیشر ممنوع بوده و افزایش حرارت به وسیله تشعشع به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

وقتی رویه راه آسفالت متخلخل به آسفالت متراکم تغییر می‌کند، می‌بایست یک نوار انتقالی اجرا گردد تا کار زهکشی آب از سطح متخلخل آسانتر شده و لذا از تجمع آب باران که موجب بروز پدیده پاشش آب می‌شود، جلوگیری به عمل آمده و مانع از نفوذ آب به پی راه شود. آخرین نکته مهم این است که جهت اجتناب از خطر پیدایش مجدد آب بر سطح راه، رویه آسفالت متخلخل نباید در بالادست شیب طولی خاتمه یابد.

۴-۲- خصوصیات اولیه روسازیه‌ها

۴-۲-۱- خصوصیات غیر از خصوصیات سطحی

همانند تمامی لایه‌های آسفالتی، ضخامت و نیمرخ (پروفیل) آسفالت متخلخل باید مطابق معیار باشد. روشن است که طرح اختلاط آسفالت متخلخل باید با نتایج مطالعه طرح اختلاط مطابقت داشته باشد. این نکته از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا تغییر در طرح اختلاط، تأثیر مهمی بر دوام مخلوط و به خصوص بر خصوصیت مهم آن، یعنی ظرفیت

زهکشی دارد. در خصوص ظرفیت زهکشی (که در جای دیگر همین گزارش مکرراً مورد تأکید قرار گرفته و ذکر آن در این بخش ارزش خاص خود را دارد) باید گفت در مورد آسفالت متخلخل نیاز به لایه پشتیبانی‌کننده غیرقابل نفوذ (گاهی اوقات، وجود یک غشاء ضروری است) و خروجی‌هایی در طرفین راه دوچندان می‌شود.

به طور کلی در مورد زهکشی، در تمام مراحل پخش و نگهداری می‌بایست گامهایی در جهت اجتناب از مسدود شدن فضاهای خالی و حفره‌های متصل به یکدیگر برداشته شود. این به مفهوم عدم اندودکاری سطوح عمودی درزهای اجرایی و دقت بسیار زیاد در خط‌کشی راهپاست (انسداد توسط رنگهای خط‌کشی راه).

روشن است که در مرحله بررسی خصوصیات بنیادی قابلیت نفوذپذیری سطح راه در محل پروژه دقت خاصی را باید مبذول داشت. مطالعات بین‌المللی نشان می‌دهند که روشها و تجهیزات مورد استفاده در اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری متغیر بوده و نتایج حاصل از این برآوردها، که اغلب در واحدهای مختلف بیان می‌شوند، غیر قابل مقایسه می‌باشند. به نظر می‌رسد مطالعه این تفاوتها موضوع جالبی می‌تواند باشد. توجه به این نکته نیز مفید خواهد بود که پیش از این، حداقل چهار کشور از اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری استفاده کرده‌اند. این روش اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری که در کشور اسپانیا ابداع شده است، در چهار کشور اسپانیا، اتریش، بلژیک و هلند کاربرد دارد.

خصوصیت مهم دیگر لایه متخلخل، درصد تخلخل آن است. استانداردسازی روش اندازه‌گیری، که در بخش مطالعه تحقیقات پیشین نیز بدان اشاره شد، ارزشمند می‌باشد. در میان سایر مطالب، باید به این نکته خاص توجه کرد که تخلخل سطح راه، بخش مهم سیستم "کانال‌کشی" بوده و انجام زهکشی را تضمین می‌نماید.

نقش اساسی تخلخلها و فضاهای خالی سطح راه بیانگر این نکته است که چرا تمام کشورهای استفاده‌کننده از این نوع روسازها از حداقل مقدار حفره‌ها و تخلخلها استفاده می‌کنند. نیاز به میزان تخلخلها در سطح راه، اغلب در دو سطح تعیین می‌شود: اولاً در مورد نمونه‌های آزمایشگاهی، به منظور مطالعه طرح اختلاط مصالح آسفالتی و ثانیاً در مورد لایه‌های پخش‌شده و نهایی سطح راه. نمونه‌های آزمایشگاهی اغلب از نوع نمونه‌های آزمایش مارشال هستند.

۲-۴-۲- خصوصیات اصلی رویه

۲-۴-۲-۱- صافی و همواری طولی

با فرض این که آسفالت متخلخل می‌تواند همانند آسفالت سنتی شکل بگیرد، دستیابی به همان سطح صاف حاصله در مخلوطهای متراکم امکان‌پذیر خواهد بود. ناگفته پیداست که لایه اساس باید قبل از پخش آسفالت متخلخل، هموار و صاف شود. در واقع وقتی آسفالت متخلخل روی سطح راه ریخته می‌شود، تشخیص خرابیهای احتمالی به مراتب آسان‌تر از تشخیص آن در روسازیهای متراکم خواهد بود. نتیجه‌گیری کلی حاکی از آن است که پخش آسفالت متخلخل می‌تواند مشابه پخش آسفالت متراکم باشد.

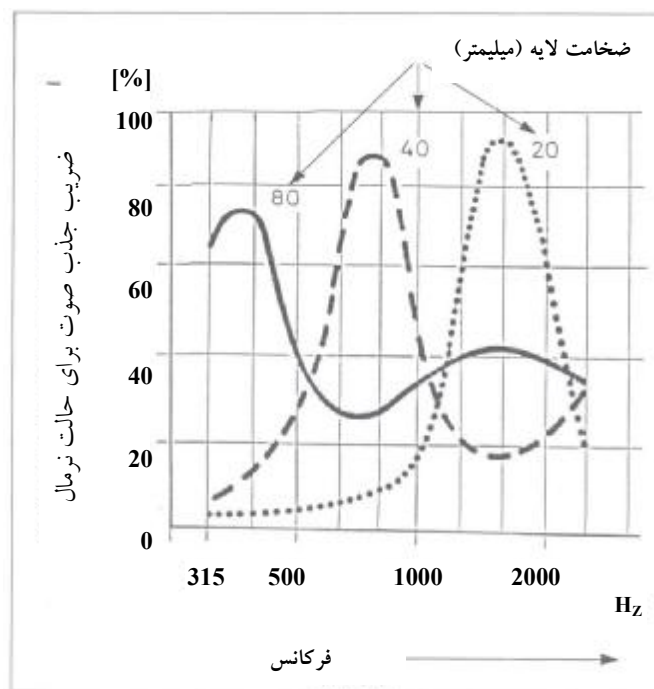
۲-۴-۲-۲- مقاومت لغزشی

سطح لایه رویه آسفالت متخلخل با فقدان و یا کمبود ملات قیری مشخص می‌شود. به علاوه، این نوع سطح حاوی سنگریزه و شن بوده و این سنگریزه‌ها تحت تأثیر سایش شدید ناشی از تردد ترافیک قرار می‌گیرند. لذا تنها سنگدانه‌هایی

که مقاومتی بالا در برابر صیقلی شدن دارند، به کار برده می‌شوند. اندود ضخیم قیری که عامل پوشش سنگ‌دانه‌ها است، می‌تواند منجر به مقاومت اولیه ناچیز سطح راه در برابر لغزندگی شود.

۲-۴-۲-۳- صدای حرکت غلتشی چرخ خودروها (صدای غلتشی)^۱

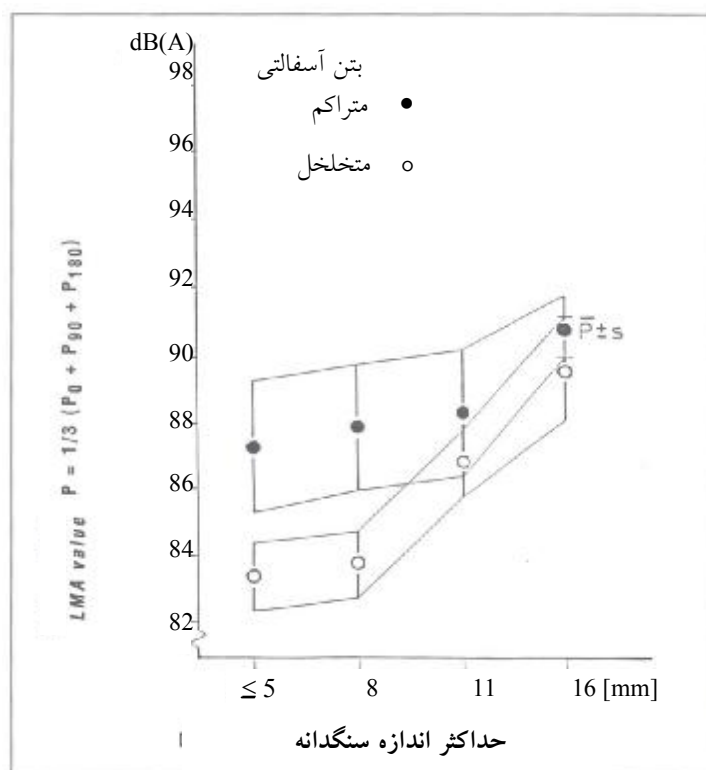
این نکته که اجرای روسازیهای آسفالت متخلخل با مقدار تخلخل‌های بالاتر از حدود ۱۵٪، خصوصیات آکوستیکی مطلوبی از خود نشان می‌دهند، در برآوردها و مطالعات بسیار زیادی مورد تأیید قرار گرفته و امروزه به عنوان یک واقعیت تأیید می‌شود. تأثیر حفرات باز موجود در لایه رویه در کاهش صدا و اختلالات صوتی تا حدی وابسته به جذب صدا می‌باشد (شکل ۱)، اما عمدتاً به گسترش صدای کاهش‌یافته‌ای بستگی دارد که به علت شرایط آیرودینامیکی مطلوب در منطقه تماس سطح روسازی- لاستیک خودرو ایجاد می‌شود. همچنین با کاهش حداکثر اندازه مصالح سنگی در مخلوط آسفالتی، صدای لاستیک خودرو نیز کاهش می‌یابد (شکل ۲).



شکل ۱- ضریب جذب صوت برای حالت نرمال، به عنوان تابعی از فرکانس و ضخامت لایه آسفالت متخلخل

این واقعیات حاکی از اهمیت زیاد بهینه‌سازی منطقه تماس می‌باشند. سطح روسازی حتی‌المقدور باید از اجزای تیز و کوچک زیادی تشکیل یافته و بدین ترتیب تا جایی که امکان دارد، کمتر موجب تحریک تاپر در حال حرکت گردد. وضعیت ایده‌آل در این مورد سطحی است که از نقاط برجسته و متراکم بسیار زیادی تشکیل شده است. این نقاط به حالت

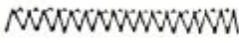
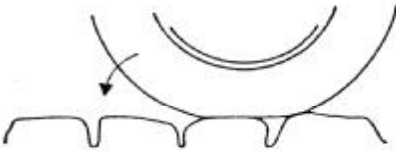
عمودی بوده و به صورت کاملاً منظم در سراسر سطح توزیع می‌شوند. لاستیک در حال حرکت دارای ویبره و لرزش بسیار پایینی بوده و در حرکت متوالی و سریع خود با تک تک این نقاط در تماس خواهد بود (شکل ۳).



شکل ۲- مقایسه صدای حاصل از حرکت چرخ خودرو بر روی آسفالت متخلخل و لایه سطح آسفالت متخلخل، سرعت: ۶۰ km/h، تایر پیارک

این بدان معناست که سطوح دارای بافت درشت ناچیز، باید بهبود یابند. با این حال، ظرفیت جابجایی هوا در این گونه سطوح به اندازه کافی زیاد بوده و لذا تا حد امکان باید از منابع آیرودینامیک صدا در سطح تماس (فشار هوا و صدای جریان آن در سطح تماس لاستیک با جاده) اجتناب شود.

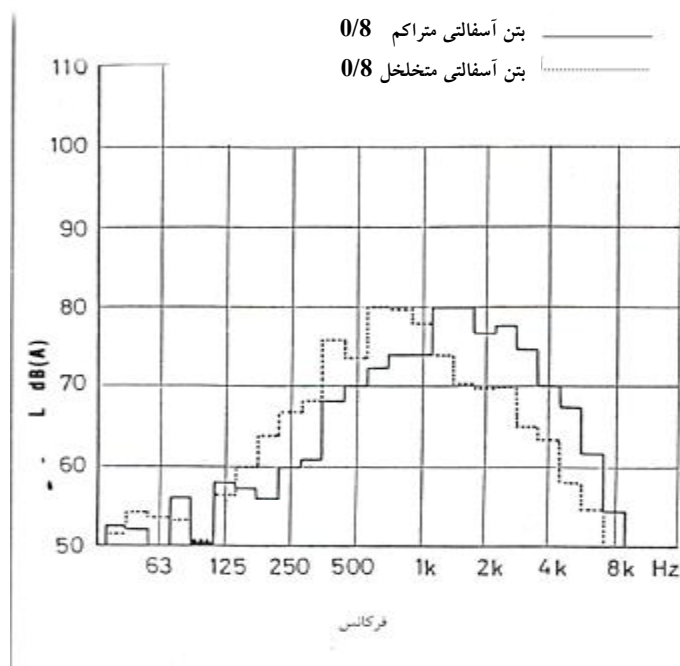
به علاوه باید دقت کرد که آسفالت متخلخل تغییری در فرکانس صدای تایر ایجاد می‌کند، به گونه‌ای که مقدار فرکانس اندازه‌گیری شده صدا در فرکانسهای بالاتر کاهش یافته و در فرکانسهای پایین‌تر نیز تا حدی افزایش می‌یابند. در شکل ۴ نمونه‌ای دیده می‌شود که در آن تمام مقادیر مشابه اندازه‌گیری شده روی هر دو سطح ثبت شده‌اند. فرکانسهای بالاتری که توسط انسانها دریافت می‌شوند، بیش از فرکانسهای پایین‌تر موجب ناراحتی می‌گردند.

از آن جایی که جذب صدا بالاتر بوده و منابع صوتی آیرودینامیکی کاهش یافته اند، از لحاظ آکوستیکی بهتر است		
	سطح باز (میزان تخلخل بالا)	سطح بسته
از آنجایی که حرکت تیر کمتر می باشد، از لحاظ آکوستیکی بهتر است.	سطح زیر و تخلخلهای ریز 	ترتیب بزرگی طول موج از ۱ تا ۱۰  بافت «کاغذ سمباده ای» یا سطح زیر
	دانه بندی درشت 	از ۱۰ تا ۵۰  بدون ملات، دانه بندی درشت
	جاده قلوه سنگی 	از ۵۰ تا ۳۰۰

شکل ۳- نمایش سطوح روسازی با توجه به امکان بهینه سازی



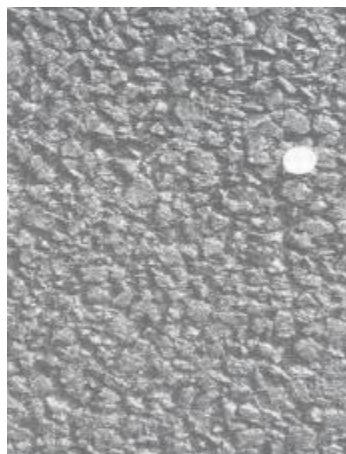
اندازه گیری میزان زهکشی: اندازه گیری ظرفیت زهکشی در محل



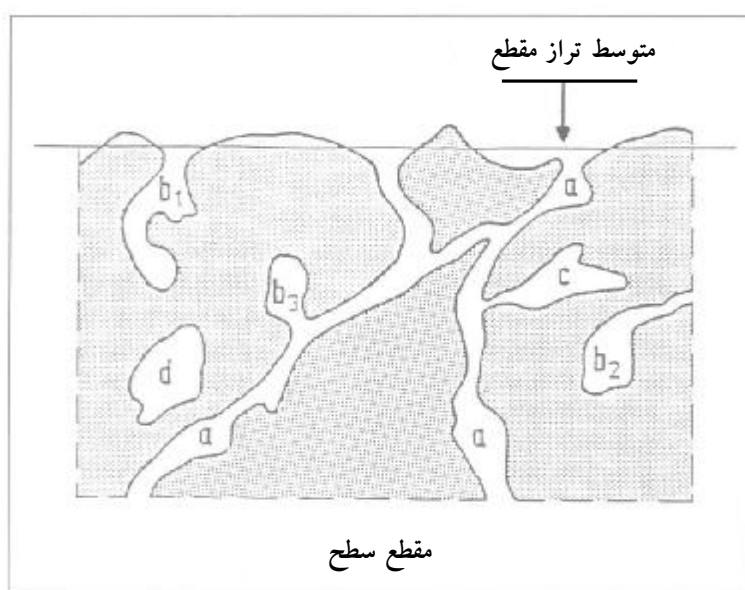
شکل ۴- مقایسه طیفهای فرکانس در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت برای بتن آسفالتی متراکم ۰/۸ و بتن آسفالتی متخلخل ۰/۸

۴-۲-۴-۲- ظرفیت زهکشی

مسلماً ساختار حفره‌های موجود در آسفالت متخلخل برای زهکشی سطح و خصوصیات آکوستیکی آن اهمیت زیادی دارد. تنها حفره‌های باز، که در رویه راه قابل دستیابی هستند، برای زهکشی آب و جذب صدا می‌توانند مؤثر باشند. در این رابطه باید توجه داشت که به طور تقریبی یک چهارم تا یک سوم از تعداد کل حفره‌های موجود در آسفالت متخلخل، متشکل از حفره‌های بسته‌ای است که هیچ ارتباطی با یکدیگر نداشته و هیچ تأثیر مفیدی بر زهکشی سطح و کاهش صدای آن ندارند (به شکل ۵ مراجعه کنید). در اولین برآورد تقریبی، می‌توان از طریق میزان نفوذپذیری آب Q (لیتر/ دقیقه)، تأثیر وجود حفره‌ها در آسفالت متخلخل را مورد ارزیابی قرار داد.



بافت سطح



توضیح در مورد تخلخلها			نوع	تأثیر مفید با توجه به	
				نفوذپذیری آب	جذب صوت
باز (قابل دسترسی)	پیوسته و مرتبط به هم		a	+	+
	غیر پیوسته	قابل دسترسی از سطح	b1	=	+
		در داخل مقطع	b2	=	؟
		کانال بن بست	b3	=	؟
بسته	تحت فشار جوی، خارج از دسترسی آب		c	=	=
	کاملاً مسدود		d	=	=

شکل ۵- طبقه‌بندی حفره‌ها

۵-۲- مشخصات فنی ساخت

آسفالت متخلخل باید به آب باران اجازه دهد تا در سطح راه نفوذ کرده و از اطراف زهکشی گردد. آب بر روی لایه زیرین جریان یافته و به اطراف جاده تخلیه شود. جهت دستیابی به این هدف، شرایط ذیل باید مهیا شوند:

- لایه زیرین باید نفوذناپذیر (ناتراوا) باشد،
- شیب عرضی لایه زیرین باید کافی باشد،
- لایه آسفالت متخلخل نباید در یک فضای محدود و مسدود قرار گرفته باشد، تا به آب سطحی اجازه دهد براحتی از سطح راه تخلیه شود.

این سه شرط ضروری سبب می‌شوند خصوصیات ساختاری آسفالت متخلخل از پیش تعیین و انتخاب شوند. در ادامه پیرامون این مطلب بحث خواهد شد.

۲-۵-۱- لایه غیرقابل نفوذ زیرین

داشتن لایه زیرین غیرقابل نفوذ، یا غیرقابل نفوذ کردن آن، یکی از ضروریات اجرای آسفالت متخلخل است. هنگام ساخت یک جاده جدید یا روکش کردن جاده آسفالتی با آسفالت متخلخل، آسفالت زیرین باید تا حد ممکن غیرقابل نفوذ باشد. استفاده از لایه اندود سطحی با قیر امولسیون به میزان ۳۰۰ تا ۵۰۰ گرم بر متر مربع، به ضد آب نمودن سطح زیرین کمک می‌کند. در خصوص ترکها و شکافهای موردی در سطح، ابتدا ترکهای پهن و تمیز شده آب‌بندی می‌شوند. همین کار در مورد درزها و ترکهای موجود در روسازیهای بتن سیمانی قدیمی نیز انجام می‌شود.

اگر کل سطح به صورت تصادفی دارای ترک باشد، بهسازی تمام سطح راه برای غیرقابل نفوذ ساختن آن الزامی است. بنابراین توصیه می‌شود به جای آب‌بندی معمولی، رویه را با غشایی متشکل از یک رویه ضخیم جایگزین کرد. این غشاء و رویه ضخیم، نه تنها سطح راه را با لایه‌ای ضد آب اندود می‌کند، بلکه تمرکز تنش در ناپیوستگی‌ها را کمتر کرده و از بافت درشت دانه می‌کاهد (مثلاً از بتن شیاردار).

غشاء مذکور از قیر یا قیر پلیمری ساخته شده و به عنوان قیر گرم و یا یک امولسیون به کار می‌رود. میزان پخش این غشاء ۱ تا 3 kg/m^2 قیر است، که به شرایط لایه زیرین بستگی دارد. سطح راه ابتدا قیرپاشی شده و سپس با شن‌ها و خرده سنگهای کوچک (۴-۷، ۲-۴ mm، ...) یا حتی درشت‌تر (مثلاً ۱۰-۷ mm) پوشانده می‌شود.

از مخلوط قیر-لاستیک نیز می‌توان به عنوان قیر در این نوع غشاء استفاده کرد. بهتر است از این مخلوط برای جذب تنش‌ها و بویژه جهت تأخیر در انعکاس ترکها و درزهای موجود در لایه بتن سیمانی استفاده شود. بعد از انجام تراکم، هر گونه شن و خرده‌سنگ سست اضافی موجود به وسیله جاروی مکشی برداشته می‌شود. بدین ترتیب غشاء مذکور تا زمان اجرای روکش آسفالت متخلخل به روی ترافیک باز خواهد بود.

۲-۵-۲- شیب عرضی کافی لایه زیرین

جهت اجتناب از تجمع آب در آسفالت متخلخل، باید به موارد ذیل توجه کرد:

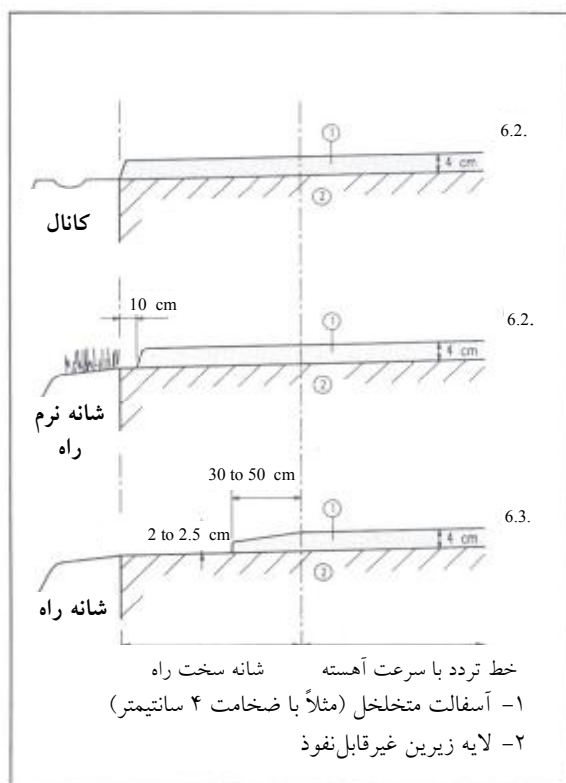
- شیب عرضی لایه زیرین کافی باشد،
- هر گونه حفره موجود در این لایه با آسفالت گرم پر شود،
- هر گونه شیاری که مانع از جریان آب می‌گردد، مسطح شده یا مجدداً شکل داده شود.

۲-۵-۳- زهکشی آب

۲-۵-۳-۱- راههای برون‌شهری

در بسیاری از شاهراهها، شانه سخت راه نیز با آسفالت متخلخل پوشانده می‌شود (شکل ۶-۱). بین پوشش آسفالت متخلخل و منطقه شانه خاکی راه می‌بایست نواری به عرض حداقل ۱۰ سانتیمتر قرار گیرد، به طوری که زهکشی آب از طریق رویه راه شتاب بیشتری به خود گرفته و از اشباع آب و سرریز شدن آن اجتناب شود (شکل ۶-۲). شانه‌های نرم راه نیز تا حد امکان باید قبل از ریخته شدن آسفالت متخلخل ساخته شده باشند. در غیر این صورت، این خطر وجود خواهد داشت که طرفین لایه آسفالتی با مواد موجود در این شانه‌ها آلوده یا مسدود شوند. در صورتیکه

آسفالت متخلخل بر روی شانه سخت راه ریخته نشود، باید ترتیبی اتخاذ نمود تا آسفالت مذکور حداقل بر روی بخشی از شانه پخش شود (شکل ۶-۳). در واقع جهت کم کردن اثر چنین فعالیتهای اجرایی حساس (اختلاف ارتفاعی حدود ۴ cm در لبه سواره‌رو)، لایه آسفالت متخلخل باید عرض اضافی ۳۰ تا ۵۰ cm و شیب تدریجی داشته و ضخامت لایه آسفالتی به تدریج کاهش یافته و از ۴ cm به ۲-۲/۵ cm می‌رسد. با تراکم بیشتر لایه آسفالت متخلخل بر روی شانه سخت راه نسبت به جاهای دیگر، نیازی به شیب‌دار کردن لایه نبوده و بدین ترتیب از تخلخل بالای لبه‌های راه محافظت به عمل می‌آید.



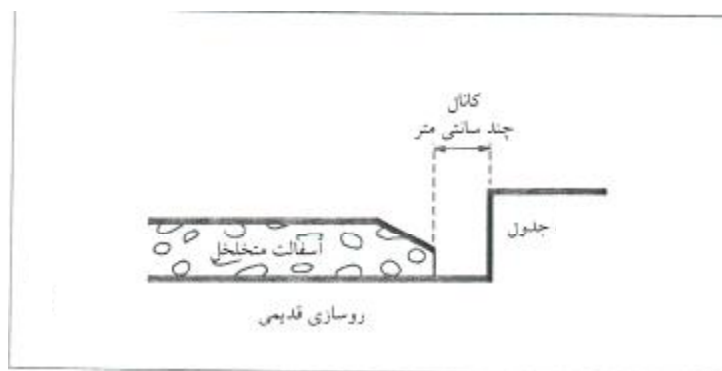
شکل ۶- سه نمونه از سطوح آسفالت متخلخل که بر روی شانه سخت راه کشیده می‌شوند

۲-۵-۳-۲- راههای درون‌شهری

آسفالت متخلخل بیش از هر جای دیگری در راههای شریانی پرسرصدای موجود در مناطق شهری استفاده می‌شود. به طور کلی با قرار گرفتن روسازی در فضای کوچک بین جدولها، زهکشی جانبی باید به درستی طراحی شود. هنگام پخش لایه آسفالت متخلخل بر روی روسازی موجود، کانال زهکشی عریض (حدود ۱۰ cm) بین آسفالت متخلخل و جدول تعبیه می‌شود. این راه حل برای ایجاد زهکشی مسیر موجب سقوط عابرین پیاده یا دوچرخه‌سواران و عدم راحتی تردد افراد معلول می‌گردد، به علاوه، جدول دیگر به اندازه کافی مؤثر واقع نشده و به عنوان مانعی برای متوقف ساختن وسایل نقلیه لغزنده عمل نخواهد کرد. علاوه بر این، صاحبان گاراژها برای تردد راحت خود، اقدام به گذاشتن تیرهای چوبی یا سایر اشیا در کانال نموده و لذا موانعی بر سر راه جریان عادی آب ایجاد خواهند کرد.

همچنین هنگام اجرای لایه آسفالت متخلخل می‌توان چند سانتیمتر مانده به جدول، کار را متوقف کرده و بدین ترتیب کانال باریکی در این فاصله ایجاد نمود (شکل ۷). مشکل این نوع از کانالها نظافت آنهاست. پر کردن قسمتی از این

کانال‌ها با آسفالت ماستیک به عنوان راه حلی برای مشکل نظافت آنها محسوب می‌شود، اما در این حالت، کانال مانع از جریان کامل آب به سمت خروجی‌ها می‌گردد.



شکل ۷- لبه‌های سطح آسفالت متخلخل بر روی روسازی که در میان جدولها محصور شده

راه حل دیگر، ادامه دادن لایه آسفالت متخلخل در امتداد جدول و همسطح کردن شبکه‌های آبروها با سطح آسفالت است. جهت تأمین راحتی دوچرخه‌سواران، ارتفاع شبکه آبروها باید بالا باشد. بنابراین می‌بایست در بخش فوقانی دیوار جانبی هر آبرو حفره‌هایی (به قطر ۲۵ mm) ایجاد شوند، تا آبی که در لایه متخلخل جمع شده است، به تدریج از طریق این حفره‌ها تخلیه گردد. به طور کلی وجود برشهای اره‌ای ساده در بخش فوقانی دیوار جانبی آبرو نامناسب هستند، زیرا این برشهای دندان‌ه‌ای سریعاً مسدود می‌شوند (شکل ۸). هنگام اجرای روکش، این نوع طرح از میزان تأثیر مفید جدولها در حفاظت از عابرین پیاده می‌کاهد.



شکل ۸- برشهای دندان‌ه‌ای در بخش فوقانی آبرو جهت ایجاد شرایط لازم برای زهکشی آب جمع‌شده در آسفالت متخلخل

بنابراین بهترین کاری که می‌توان انجام داد، برداشتن ۴ سانتیمتر از روسازی موجود است. این کار بوسیله تراش و قبل از اجرای عملیات پخش آسفالت متخلخل صورت می‌گیرد.

در مواردی که پروفیل راه دارای شیب طولی نباشد، راه‌حلهای فوق اجازه نمی‌دهند زهکشی آب به صورت مؤثر و مفید انجام شود. جهت تسهیل جریان آب به سوی آبروها می‌توان زهکش‌ها را به صورت طولی و با شیب کافی در زیر لایه آسفالت متخلخل قرار داد. این زهکش جمع‌آوری‌کننده می‌تواند به صورت ناودانی (مقطع فلزی U شکل) معکوس و مشبکی باشد که در شیار ساخته‌شده در لایه زیرین قرار می‌گیرد (شکل ۹).



شکل ۹- بکارگیری ناودانی (مقطع فلزی U شکل) سوراخدار جهت تسهیل جریان آب به طرف آبگذرها



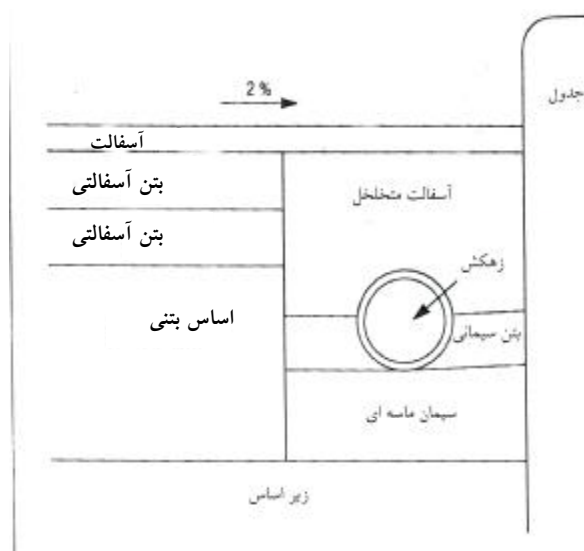
شکل ۱۰- زهکش‌های عرضی

روش دیگری که پیش از این نیز در بلژیک مورد استفاده قرار گرفته است، عبارت است از ایجاد ترانشه (کانال) در امتداد جدول و در پایین‌ترین سطح شیب عرضی مجهز به یک دریچه طولی در انتها و پر کردن آن با آسفالت متخلخل. این کانال زهکشی به عنوان مخزن واسطه عمل کرده و سبب می‌شود تا وقتی که آب موجود در سطح راه به وسیله زهکشی تخلیه نشده است، در این قسمت جمع شود (شکل ۱۱).

زهکش‌های جمع‌آوری‌کننده به صورت عرضی نیز کار گذاشته می‌شوند (شکل ۱۰).

- در راههای با شیب زیاد (شیب تند)، در نقاط گود راه و به منظور جلوگیری از سرریز آب در این نقاط،

- در پایان مقطع آسفالت متخلخل که بالاتر از مقطع آسفالت متراکم در سربالاییها قرار دارد، جهت جلوگیری از سرریز شدن آب بر روی روسازی متراکم.



شکل ۱۱- کاربرد آسفالت متخلخل در مناطق شهری (شامل استفاده از زهکش جمع‌آوری‌کننده، بلژیک)

در پایان باید یادآور شد که به منظور تسهیل کار زهکشی جانبی در مناطقی با شیب عرضی صفر، راه حلی ارائه شده است. این راه حل به ایجاد شیارهایی در لایه زیرین که با آسفالت متخلخل پوشانیده می‌شوند، تأکید می‌کند. این شیارها با نزدیک شدن به یک لبه روسازی، یعنی محلی که زهکشی جانبی باید در آن صورت بگیرد، عمیق‌تر شده و نیز با آسفالت متخلخل پر می‌شوند.

۲-۵-۳-۳- راه بر روی ابنیه فنی

از آن جایی که قطع ناگهانی عملیات پخش آسفالت متخلخل بر روی شیب سرازیری (جهت اجتناب از برون‌زدگی آب و عدم پیوستگی راه برای کاربر) توصیه نمی‌شود، به نظر می‌رسد بهتر است تغییر نوع رویه بر روی ابنیه فنی انجام نشود. هیچ دلیلی برای عدم استفاده از رویه‌های آسفالت متخلخل بر روی پل‌ها وجود ندارد. با این حال باید توجه کرد که لایه زیرین کاملاً ضد آب باشد. البته بهتر است در نقاط گود از دستگاههای زهکشی مؤثر آب (به عنوان مثال از زهکشی‌های عرضی قبل از ایجاد درزها) استفاده کرد (با توجه به زاویه درزهای عرضی در سازه) تا مانع از هر گونه بالا آمدن آب به سطح راه شود، در غیر این صورت تکنیک آسفالت متخلخل بی‌فایده خواهد بود.

۲-۵-۳-۴- خط‌کشی راهها

باید دقت کرد مصالح مورد استفاده در خط‌کشی راهها مانع از نفوذ آب در لایه متخلخل راه نشوند. این امر بخصوص در مورد لایه‌های نازک (۲ cm) و مواد ترموپلاستیک بیشتر رخ می‌دهد.

۳- عملکرد

۳-۱- تغییر در طول زمان

۳-۱-۱- شیارشدگی

به استثنای چند مورد خاص (به عنوان مثال، ساخت زهکشهای عرضی زیرین در آسفالت متخلخل در اتريش) و بدون توجه به نوع مخلوط مورد استفاده و حتی با وجود سنگین ترین بار ترافیکی، هیچ گونه تغییر شکل دایمی از نوع شیارشدگی مشاهده نشده است. این امر ناشی از ضخامت ناچیز لایه رویه و خصوصیت قفل و بست اسکلت دانه‌ای مخلوط است.

۳-۱-۲- تخلخل

این پارامتر از طریق مطالعات در محل و یا اندازه‌گیری نفوذپذیری و تخلخل موجود از روی نمونه‌های اخذشده از محل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

کاهش میزان تخلخل به فشرده شدن خود مخلوط در مراحل بعدی (تراکم ثانویه) و انسداد خلل و فرجها نسبت داده می‌شود. تشخیص تأثیر این دو فاکتور بر تغییر تخلخل در طول زمان، کاری سخت یا حتی غیرممکن است. طبق نظر کارشناسان سوییسی، تراکم ثانویه مخلوط نمی‌تواند دلیل اصلی کاهش میزان تخلخل باشد.

تغییر میزان خلل و فرجها سبب می‌شود مخلوطها برای یک هدف دوگانه تصحیح و تعدیل شوند. از یک سو پایداری آنها در گذر زمان افزایش می‌یابد و از سوی دیگر مخلوطها در ابتدا کار خود را با مقدار تخلخل بیشتری شروع می‌کنند، تا تعداد آنها در طول عمر مفید مخلوط کافی بوده باشد. فرانسه و اسپانیا نیز در تجربیات خود نشان دادند که با مقدار تخلخل اولیه ۲۰٪ یا کمتر، شاهد تغییرات سریعی در تراکم بوده‌اند (توجه: مقدار تخلخل در تمام کشورها به یک شیوه مورد ارزیابی قرار نمی‌گیرد).

در اسپانیا این مسأله در قالب کاهش تخلخل بیان شده و از طریق تست‌های تراوایی (نفوذ آب) در موقعیت واقعی و بر حسب ترافیک از ۲ تا ۹ سال اندازه‌گیری می‌شود.

در فرانسه این مسأله تحت عنوان تغییرات میزان تخلخل، یعنی برای طرحهای اختلاط مصالح با مقدار تخلخل ۱۸ تا ۲۰٪ بیان می‌شود. کاهش مقدار تخلخل از ۵ تا ۱۰٪ و در یک دوره ۳ تا ۱۰ ساله متغیر است. مقدار تخلخل‌ها نیز در ۱۰ تا ۱۲ درصد تقریباً ثابت می‌ماند.

این مسأله منجر به انتخاب آن دسته از طرح اختلاطهایی می‌شود که درصد عبوری آنها از الک ۲mm حدود ۱۵ درصد می‌باشد. این بدان علت است تا مقدار تخلخل بدست‌آمده در شرایط واقعی بیش از ۲۰٪ باشد. برای تعیین تفاوت‌های موجود در خصوصیات عملکردی بر حسب انواع قیرهای مورد استفاده (اصلاح‌شده، خالص و قیر همراه با مواد افزودنی) تاکنون هیچگونه اطلاعاتی در مورد داده‌های به‌کاررفته جهت مقایسه ارائه نشده است. یکی از دلایل آن ناشی از این واقعیت است که تقریباً در تمامی موارد، مخلوطهای خاص تهیه‌شده با در نظر گرفتن تستهای آزمایشگاهی، هنگامی انتخاب می‌شوند که سطوح ترافیک سنگین وجود داشته باشند.

۳-۱-۳- تغییرات تدریجی قیر

اثر ضخامت افزایش یافته اندود قیری در اطراف سنگدانه‌ها در مخلوط آسفالت متخلخل به واسطه نفوذ هوا و آب متعادل می‌گردد. البته نفوذ هوا و آب، حداقل در مقایسه با موارد مشاهده‌شده در مخلوطهای متراکم، منجر به مقداری سایش می‌شوند.

جدول ۱- تغییر تدریجی نفوذپذیری در بخشهای مختلف راه

نفوذپذیری				
۵ و ۶ سال	۴ سال	۳ سال	۲ سال	
۱۲۰	۱۸۰	۸۰	۸۰	در مسیر سمت چپ
۸۰	۱۲۰	۶۵	۸۵	در مسیر سمت راست
۳۰۰	۳۰۰	۸۵	۸۵	خارج از مسیر تردد چرخ خودرو
۳۸۰	۴۵۰	۱۹۰	۱۲۰	روی شانه‌ها

به علاوه باید توجه داشت که میزان نفوذپذیری در مقطع عرضی روسازی متغیر است. این مسأله ناشی از تغییرات بوجود آمده ناشی از پدیده شستشو است که در نتیجه عمل مکش- فشار تایرها بر روی مخلوط و در حین بارندگی است و به ترافیک بستگی دارد. در این راستا خطوطی که سنگین‌ترین بار ترافیکی را دارند، در مجموع، نفوذپذیری بیشتری نسبت به خطوط سبقت داشته و این خطوط نیز به نوبه خود نفوذپذیری بیشتری نسبت به شانه‌های سخت راه دارند، که در صورت امکان برای توقفهای اضطراری تعبیه می‌شوند. همچنین شانه‌های سخت راه تحت تأثیر رسوبات جامد بر جای مانده از آب موجود در خطوط سواره‌رو قرار می‌گیرند. به همین ترتیب، میزان نفوذپذیری در مسیر عبور چرخهای خودروها بیشتر می‌شود.

۳-۱-۴- رفتار مکانیکی

زمانی که آسفالت متخلخل بر روی روسازیهای با خصوصیات سازه‌ای مناسب اجرا می‌شود، هیچ نشانه‌ای دال بر خرابی مربوط به خستگی از خود نشان نمی‌دهد.

۳-۱-۵- یکپارچگی و انسجام سطح

با توجه به مقدار تخلخل‌های زیاد موجود در سطح راه، غالباً این پرسش مطرح می‌شود که آیا بواسطه جریان‌شدگی سنگدانه‌ها، خطر تخریب و زوال روسازی وجود دارد. این مسأله عمدتاً به کهنگی و پیرشدگی قیر و در نتیجه به کاهش دوام مخلوط متخلخل مربوط می‌شود.

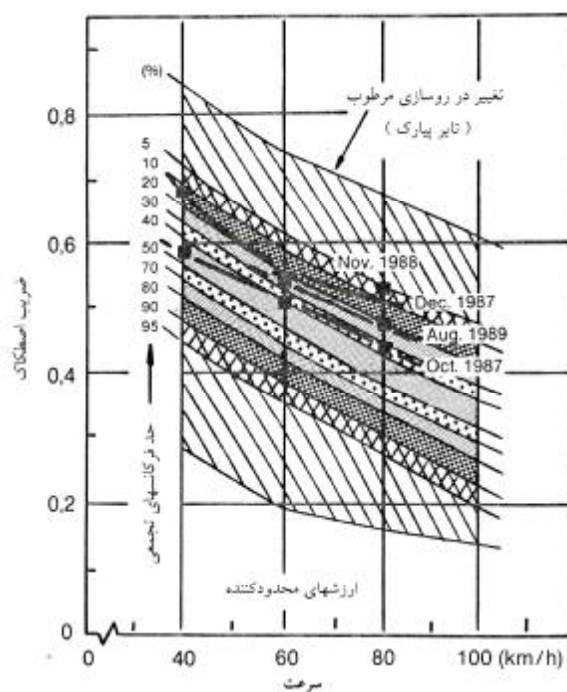
در این راستا، ضخامت اندود قیری سنگدانه‌ها (و لذا مقدار قیر به‌کاررفته) باید در حد مطلوب باشد. مقدار قیر بهینه، که بین ۴/۵ تا ۵ درصد متغیر است، در درازمدت متضمن رفتار مناسب و محافظت از تخلخل روسازی خواهد بود. در این مورد، قیرهای مخصوص با غشاء ضخیم، عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهند. اما در مورد تغییرات تدریجی تخلخل

در طول زمان، اطلاعات موثق در این زمینه برای مقایسه چندان زیاد نیست. در هلند عمر مفید رویه در مقایسه با عمر ۱۲ ساله مخلوطهای متراکم ۱۰ سال است.

پارامتر "طول عمر" عبارت است از مدت زمانی که طی آن سطح آسفالت تحت تأثیر خرابیها قرار نمی گیرد. با این وجود، دو شرکت راهسازی معتقدند که مخلوطهای متخلخل، عمر نسبتاً طولانی تری دارند. در تجزیه و تحلیل نظریه این دو شرکت باید گفت که احتمالاً منظور از طول عمر، مقاومت لغزشی روسازی است.

از سوی دیگر، اگر دوام در قالب خصوصیات آکوستیکی کاهش صوت یا افت تخلخل اندازه گیری شود، به طور کلی، طول عمر آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت معمولی کوتاه تر خواهد بود.

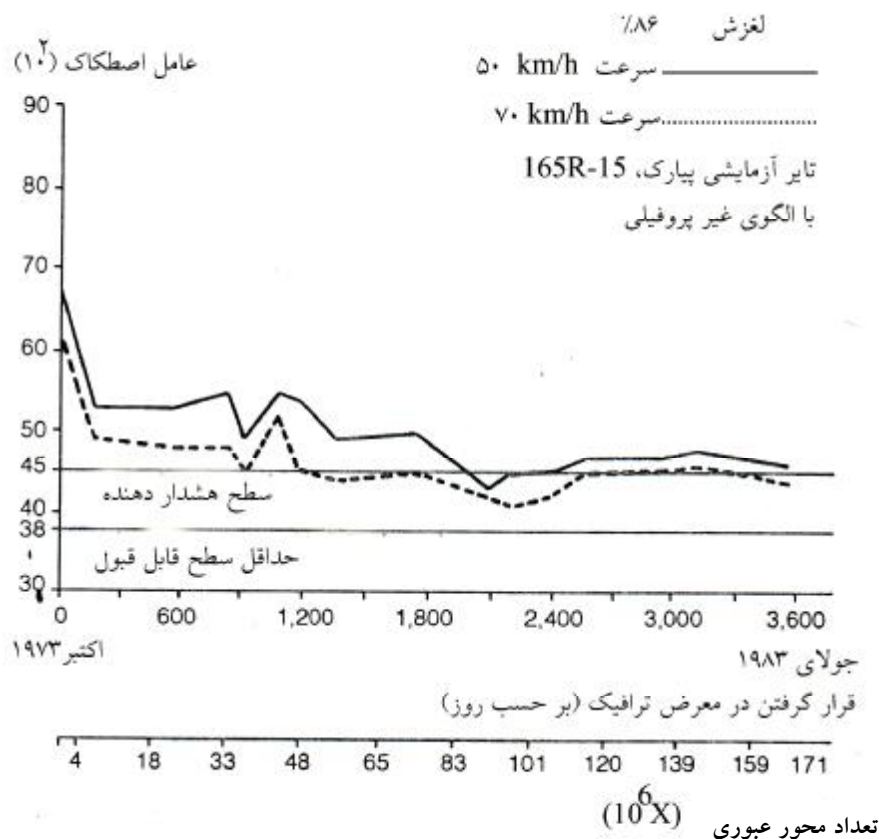
تخلخل بالای ذاتی نیز منبع یک سری از مشکلات در خصوص ریخته شدن موادی همچون هیدروکربنها (عریان شدگی سریع) و یا محصولات سمی (مشکل استخراج اجزای تصفیه نشده) است.



شکل ۱۲- نمونه ای از تغییرات مقاومت لغزشی سطح بتن آسفالتی متخلخل 0/11

۳-۱-۶- مقاومت لغزشی

شکل ۱۲ بیانگر نمونه ای از تغییرات تدریجی مقاومت لغزشی بتن آسفالتی متخلخل 0/11 است. این مخلوط در شهر برلین و طی تابستان ۱۹۸۷ ریخته شده است. مقاومت لغزشی این مخلوط بین سالهای ۱۹۸۷ و ۱۹۸۸ به علت سایش اندود قیری اطراف سنگدانه ها افزایش یافته است. سپس میزان مقاومت لغزشی همین مخلوط تا سال ۱۹۸۹، به علت قرار گرفتن در معرض ترافیک، تا حدی کاهش یافت. مقدار مقاومت لغزشی اندازه گیری شده، هنوز هم بالاتر از حد مجاز بوده و هیچ مقطعی از راه، نشانه ای دال بر ناکافی بودن مقاومت لغزشی از خود نشان نداده است. آزمایشهای مشابهی نیز در هلند انجام شد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- نمونه‌ای از کاهش مقاومت لغزشی آسفالت متخلخل به عنوان تابعی از زمان

۳-۱-۷- صدای غلشی

مشکل حفظ و نگهداری خصوصیات کنترل صدای بتن آسفالتی متخلخل تحت بار ترافیک، هنوز هم به قوت خود باقی است. زمانی که حفره‌ها و تخلخل‌های سطح راه در معرض فشار ناشی از تردد چرخهای خودروها قرار می‌گیرند، در محل حرکت ترافیک به حالت باز باقی می‌مانند. حفره‌های موجود در خارج از این محدوده و در فاصله بین چرخهای خودروها با گرد و خاک پر شده و لذا خصوصیات کلی جذب صوت روسازی تنها بعد از ۲ تا ۳ سال به شدت تغییر می‌کند. طبق برآورد، کاهش خصوصیت جذب صوت طی چند سال اول استفاده از روسازی در حدود ۰/۵ تا ۱ dB(A) در سال است. بنابراین اساساً طول عمر مطرح شده در قالب کنترل صدا کوتاه‌تر از طول عمر عادی سطح راه است.

۳-۲- تعمیر و نگهداری

۳-۲-۱- نگهداری راههای با رویه آسفالتی متخلخل

اجرای فعالیت نگهداری طی چرخه عمر راههای بتن آسفالتی، جهت برآورده ساختن حداقل نیازهای عملکردی آنها امری ضروری است. بطور کلی از آنجا که کاربران راهها با شرایط ناامن ترافیکی مواجه می‌شوند، مسأله نگهداری راهها، امری اجتناب‌ناپذیر است.

در سالهای اخیر، مسأله نگهداری راهها با هزینه کم و استراتژیهای مدیریت نگهداری راهها در سطح جهانی مورد توجه قرار گرفته است. تلاش در جهت یافتن راهی جهت بهینه‌سازی و مقرون‌به‌صرفه نمودن کار می‌باشد. استفاده از آسفالت متخلخل با این استراتژیهای نگهداری مطابقت می‌کند. این فصل به خصوصیات فنی نگهداری آسفالت متخلخل توجه خاصی معطوف داشته است. البته ذکر پاره‌ای از مسائل مربوط به استراتژیهای نگهداری راهها امری اجتناب‌ناپذیر است.

۳-۲-۲- دلایل نگهداری از راهها

همانگونه که قبلاً اشاره شد، نگهداری از راهها جهت برآورده ساختن نیازهای عملکردی صورت می‌گیرد (هنگام بحث پیرامون آسفالت متخلخل باید تفاوت بین خواسته‌های عملکردی از آن، در مقایسه با خواسته‌های عملکردی از آسفالتهای متراکم مشخص شود). مخلوطهای متراکم به چند دلیل، از جمله مقاومت لغزشی، همواری طولی و عرضی سطح، ترک‌خوردگی، ظرفیت باربری و اضمحلال، نیاز به تعمیر و نگهداری دارند.

تمام موارد فوق‌الذکر، خصوصیات هستند که قابلیت ترافیکی راه و ایمنی جان کاربر راهها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در مورد زمان اجرای عملیات نگهداری راهها و نوع آن، می‌توان با رعایت استانداردهای تعیین‌شده و از طریق اقدامات مشخص، تصمیم گرفت. معیار فوق‌الذکر در مورد آسفالت متخلخل نیز صادق است. با این وجود، هنگام بحث پیرامون آسفالت متخلخل، موضوع جدیدی مطرح می‌شود. خصوصیت و عملکرد مهم آسفالت متخلخل، مقدار تخلخل بسیار بالای آن است که منجر به خصوصیات زهکشی و کاهش صدا می‌گردد. در ادامه بیشتر به مسأله نگهداری و محافظت از این گونه ویژگیها خواهیم پرداخت.

۳-۲-۳- محافظت از خصوصیات زهکشی

به علت وجود آلودگی، میزان ظرفیت زهکشی در طول عمر لایه سطح راه، سیر نزولی طی می‌کند. بر حسب نوع راه، فرایند کاهش ظرفیت زهکشی می‌تواند سریع یا آهسته باشد. آلودگی عمدتاً موجب تغییر خصوصیات زهکشی و کاهش صدا می‌شود. مطابق ملاحظات و مشاهدات صورت‌گرفته، آسیبهای ناشی از آلودگی، در مجموع، سریع‌تر از سایر خرابیها اتفاق افتاده، لذا پیش از آنکه عملیات نگهداری از راهها به خاطر سایر دلایل انجام شود، درصد زیادی از خصوصیات کارکردی از بین رفته‌اند. آلوده‌ترین بخش راهها عمدتاً مناطقی هستند که ترافیک کمتری دارند. با این وجود، ظرفیت زهکشی در پرتددترین قسمت راهها نیز پایین است.

جدول ۲- آزادراه بیلانو- بهویا: تغییرات تدریجی خصوصیات سطحی مخلوط آسفالت متخلخل

در ابتدا	۱ ماه	۶ ماه	۱ سال	۲/۵ سال
۱۶	۲۰	۲۴	۲۹	۳۵
۰/۴۹	۰/۵۵	۰/۶۱	۰/۶۱	
	۵۰-۷۰		۷۰-۷۵	۶۰-۷۵
نفوذپذیری LCS ضریب اصطکاک طولی (پاندول TRRL) ضریب نیروی جانبی (دستگاه SCRIM)				

بسیاری از محققان، موضوع تمیز کردن لایه آلوده آسفالت متخلخل را مورد آزمایش و بررسی قرار داده‌اند. روشهای معمول جهت این کار، پاکسازی از طریق آب با فشار بالا و یا استفاده از کامیونهای جاروب مکشی است.



دستگاه نظافت کننده

نتایج کار کمیته اجرایی هلندی در خصوص نگهداری از آسفالت متخلخل نشان می‌دهد که ظرفیت زهکشی می‌تواند به صورت موقت بهبود یابد، اما این ظرفیت به سرعت رو به زوال گذاشته و به همان مقدار قبلی خود می‌رسد (در واقع نتایج حاصله تا به امروز رضایت‌بخش نبوده‌اند). با این حال، باید یادآوری کرد که بهبود خصوصیات فنی، هنوز هم با تطبیق و توسعه ماشین‌آلات مورد استفاده برای این هدف خاص امکان‌پذیر است. آزمایشهایی که تاکنون انجام شده‌اند، در قالب این نوع از اطلاعات کاربردی بیان نشده‌اند. این بدان معنی است که تاکنون پاکسازی سطح راه به صورت فنی و در قالب طرح نگهداری دوره‌ای راهها اجرا نشده است.

۳-۲-۴- تعمیر سایر شکل‌های خرابی

نگهداری جزئی و نگهداری اساسی راهها با یکدیگر متفاوت است. نگهداری جزئی راهها شامل تعمیرات موضعی در ابعاد نسبتاً کوچک بوده و در عین حال که لایه اصلی هنوز هم در شرایط خوبی به سر می‌برد، به علت آسیبهای جزئی ایجادشده، انجام آن ضروری است. نگهداری اساسی راهها زمانی به اجرا در می‌آید که شرایط کل لایه به گونه‌ای باشد که نیازمند تعمیرات اساسی باشد.

قبل از اینکه نگاه دقیق‌تری به این موضوع داشته باشیم، شاید تعیین اینکه کدام نمونه‌های خرابی نیاز به محافظت و نگهداری دارند، مفید باشد. به طور کلی، نمونه‌های مذکور شامل انواعی از خرابی‌های ذکر شده در بخش ۲-۳-۲ می‌باشند، اما تعدادی از این خرابی‌ها نظیر ناهمواری و ظرفیت باربری به رفتار کل سازه بستگی داشته و مشخصاً به آسفالت متخلخل ارتباط ندارند. شیارشدگی یا ترک‌خوردگی عملاً به ندرت اتفاق می‌افتد، با این حال می‌بایست ترکهای انعکاسی را یک استثنا محسوب کرد.

یکی از دلایل عمده انجام عملیات تعمیر و نگهداری در راهها، از بین رفتن مصالح است. با این وجود، مقاومت لغزشی به نوع مصالح سنگی معدنی و استانداردهای ملی بستگی دارد. بنابراین نگهداری از راهها عمدتاً در مورد آن دسته از نمونه‌های خرابی که اخیراً ذکر شد، انجام خواهد گرفت.

۳-۲-۴-۱- نگهداری جزئی

خرابی موضعی آسفالت متخلخل، اغلب به دلیل از بین رفتن مصالح، خواه در نتیجه خرابی مکانیکی و خواه در نتیجه سایر عوامل است.

از بین رفتن مصالح به صورت موضعی می‌تواند به شیوه‌ای عادی و بدون هیچ گونه مشکلی و با به‌کارگیری آسفالت ماستیک یا آسفالت گرم تعمیر شود. ناحیه تعمیرشده نوعی گسستگی در زهکشی آب از خود نشان می‌دهد. البته در صورتی که منطقه تعمیرشده رویه راه محدود باشد، مشکل گسستگی مذکور چندان جدی نخواهد بود.

آزمایشهای متعددی بر روی کاربرد مخلوط متخلخل به صورت سرد همراه با قیر روان انجام شده است. میزان مقاومت این مخلوطها در برابر سایش هنوز هم نامعلوم است. در طول تعمیر مشخص می‌شود که تمامی عملیات حرارتی (جهت برداشتن مصالح کهنه) موجب تخریب آسفالت متخلخل می‌گردد. ظاهراً مصالح باقیمانده به شدت کهنه بوده، بطوریکه بعد از اصلاح حرارتی، مصالح باقیمانده در اثر تردد ترافیک به طور کامل و به آرامی کنده می‌شوند.

مسئله حساسیت آسفالت متخلخل نسبت به خرابیهای مکانیکی (مثلاً لاستیکهای پهن کامیونهای سنگین) در هلند مورد توجه قرار گرفته است. این حساسیت خود را به صورت شیارهای طولی در رویه راه نشان می‌دهد. تجارب بدست‌آمده حاکی از آن است که تعمیر چنین شیارهایی ضرورتی ندارد. به طور کلی تخریب و تغییر شکل اساسی، به ندرت رخ می‌دهد.

علاوه بر این، گزارشهایی در خصوص تجارب بدست‌آمده از تعمیر ترکهای انعکاسی ارائه شده است. در تعمیر این نوع ترکها از خرده‌سنگها در مخلوط درزبندی استفاده می‌شود. اصلاح حرارتی آسفالت متخلخل که اغلب قبل از تراشیده شدن مصالح صورت می‌گیرد، موجب بروز خرابیهایی در مرحله بعدی می‌شود، زیرا آسفالت متخلخل مجاور که برداشته نشده است، سریع‌تر کنده می‌شود.

۳-۲-۴-۲- نگهداری اساسی

اگر عمر لایه فوقانی به پایان برسد، نگهداری اساسی از راهها ضروری خواهد بود. آمریکا از روشهای تجدید حیات (دوباره جوان کردن) آسفالت متخلخل در محل برای افزایش طول عمر آسفالت متخلخل استفاده می‌کند.

دلیل اصلی نگهداری اساسی راهها از بین رفتن مصالح است که در نتیجه کاهش قدرت چسبندگی قیر، یعنی سخت شدن قیر (کهنگی) و جریان‌شدگی سنگدانه اتفاق می‌افتد. در این بخش از گزارش، در خصوص این فرایند فیزیکی و شیمیایی توضیح بیشتری داده نمی‌شود.

پیشنهادی که برای افزایش چرخه عمر راهها داده می‌شود، استفاده از جوان‌کننده‌ها است. این روش شامل پاشیدن یک امولسیون رقیق می‌باشد. در این روش اندود جدیدی بر روی مصالح سنگی کشیده می‌شود که می‌تواند خصوصیات

ویسکوزیته قیر سخت شده را بهبود بخشد. آزمایشهایی از این قبیل، در هلند و بلژیک نیز انجام شده است، ولی با موفقیت کامل همراه نبوده است. مسأله مقاومت لغزشی ناکافی نیز در هلند مورد ارزشیابی قرار گرفته است. نگهداری اساسی از راهها که منجر به نوسازی و ترمیم کلی راه می شود، با روشهای ذیل قابل اجرا می باشد:

الف) جایگزینی لایه

برداشتن لایه در پایان عمر آن کاری نسبتاً آسان و بی خطر است. با این وجود، روش فوق غالباً به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نبوده و لذا بهترین روش نمی باشد. تعویض لایه از طریق تراشیدن آسفالت متخلخل به روش سرد و یا گرم صورت می گیرد. از آن جا که لایه مذکور چندان قوی نیست، مقدار انرژی لازم برای برداشتن آن محدود می باشد. می توان نخاله ها و ضایعات برداشته شده را انبار نموده و یا بازیافت کرد. در این خصوص در ادامه بیشتر بحث خواهد شد. بعد از برداشته شدن لایه قدیمی و کهنه می توان به راحتی لایه جدیدی را جایگزین کرد. در مورد این نکته که بستر راه (از لحاظ اجرایی) دارای شرایط سرویس دهی برای عمر جدید لایه باشد، باید مطمئن شد. در صورت نیاز می بایست تعمیراتی انجام شده و یا از لایه های تقویت کننده و پشتیبان استفاده نمود.

ب) نوسازی در محل (به عنوان مثال، شکل دادن مجدد و یا بازیافت در محل)

در مورد بازیافت مصالح باید گفت، بازیابی مواد در محل می تواند روش مفیدی باشد. به نظر می رسد تنها در کشور هلند آزمایشهایی در مورد بازیابی و احیای مجدد آسفالت متخلخل انجام شده است. با این وجود، باید توجه داشت که تجربه هلند در مورد بازیابی مصالح، تنها به شکل دهی مجدد و بازیافت مصالح به صورت درجا محدود می شود. در این بخش از گزارش، توضیحات کوتاهی در مورد هر دو آزمایش ارائه می شود.

در آزمایش شکل دهی مجدد، ابتدا ۲ cm از آسفالت متخلخل قدیمی در خط سمت راست راه برداشته شده و جای آن آسفالت متخلخل جدید با ضخامت ۲ cm ریخته می شود. ضخامت کل لایه آسفالت متخلخل ۴ الی ۶ cm بوده است. این آزمایش کاملاً موفق نبود، زیرا پنج سال بعد، قسمتی که مجدداً روسازی شده بود، آسیبهای قابل توجهی از خود نشان می داد (کنده شدن).

در روش بازیافت در محل تلاش می شد تا آسفالت متخلخل قدیمی و کهنه به صورت آسفالت متخلخل جدید بازیافت شود. این آزمایش با شکست مواجه شد، زیرا لایه مذکور دارای مقدار آب بیشتری بوده و در نتیجه دمای به دست آمده کافی نبود. به علاوه، مصالح قدیمی و جدید به شکل رضایت بخشی مخلوط نشده بودند.

ج) نگهداری لایه با استفاده از یک یا چند لایه جدید با ظرفیت زهکشی یا بدون ظرفیت زهکشی

پیشنهاد سوم برای نگهداری اساسی راهها، روکش کردن و پوشش دادن آسفالت متخلخل قدیمی با یک لایه جدید است. این لایه جدید می تواند دارای ظرفیت زهکشی بوده، یا فاقد این خصوصیت باشد. استفاده از این لایه روکش از لحاظ فنی آسان است، اگر چه ابتدا باید چند سؤال در این خصوص پرسیده شود. آیا باید آزمایشها و ارزیابیهای برای جلوگیری از ورود آب به لایه آسفالت متخلخل قدیمی انجام پذیرد؟ در صورت منفی بودن پاسخ، تأثیر آب تصفیه نشده در درازمدت چه خواهد بود؟ در صورت مثبت بودن پاسخ چه آزمایشهایی باید انجام یافته و تأثیر آنها چیست؟

بسیاری از کشورها تجارب خود را در مورد تعمیر لایه در پایان عمر آن و همچنین اجرای روکش با آسفالت متراکم و یا آسفالت متخلخل، با استفاده از اندود سطحی و یا بدون استفاده از آن گزارش کرده‌اند. با این حال در تمامی این موارد، دوره مشاهده نسبتاً کوتاه بوده است (حداکثر چند سال). در حقیقت نمی‌توان نتایج معتبری از عملکرد این کشورها به دست آورد. با این وجود، نتایج عملکرد این کشورها تاکنون مثبت بوده است.

۳-۲-۵- چند نکته در مورد بازیافت

در برخی از کشورها که تعداد آنها در حال افزایش نیز هست، بازیافت مصالح امری کاملاً رایج و عادی است. بدین منظور و در جهت نیل به این هدف، سیستم‌های کنترل کیفی که در سراسر جهان پذیرفته شده‌اند، در حال توسعه هستند. در مورد آسفالت متخلخل چند سؤال دیگر نیز مطرح می‌شود:

هنگام استفاده از قیر معمولی، میزان نفوذپذیری در پایان دوره عمر قیر به میزان قابل توجهی کاهش می‌یافت. در این رابطه حتی مقادیر نفوذ ۱۰ (mm ۰/۱) نیز اندازه‌گیری شده‌اند.

تاکنون هیچ تجربه‌ای در مورد استفاده مجدد از این آسفالت گزارش نشده است، با این حال انتظار می‌رود که درصد ناپیزی از آن به آسفالت جدید اضافه شود.

هنگام استفاده از قیرهای اصلاح‌شده، این سؤال مطرح می‌گردد که آیا می‌توان از سیستم کنترل کیفیت، که برای بازیافت آسفالت با قیر معمولی در نظر گرفته شده است، بهره گرفت.

به لحاظ آلودگی آسفالت متخلخل، که می‌تواند شامل تجمع مواد آلی و نیز مواد غیرآلی (فلزات سنگین) باشد، محدودیتهای بیشتری به لحاظ زیست‌محیطی وارد شده و در نتیجه مسأله بازیافت غیرممکن می‌شود.

۳-۲-۶- چند نکته در مورد سیستم‌های مدیریت نگهداری راهها

در بسیاری از کشورها زمان صحیح و مناسب نگهداری راهها با استفاده از بیشترین معیارهای عینی و هدفمند ممکن، که با سیستم مدیریت راهها ارتباط دارند، تعیین می‌شود. اقدامات مربوط به نگهداری راهها مبتنی بر خصوصیات سطحی و سازه‌ای روسازی است. پردازش داده‌های اندازه‌گیری‌شده بوسیله مدلها صورت می‌گیرد. با این حال، اغلب اوقات خصوصیات قابل مشاهده روسازی نیز معرفی و توصیف می‌شوند. به طور کلی ظرفیت باربری روسازی از طریق اندازه‌گیری میزان افت‌وخیز روسازی و خصوصیات ظاهری (ترک‌خوردگی) سطح راه تعیین می‌گردد. ترکهای خستگی آسفالت متخلخل اغلب قابل مشاهده نیستند.

تمام مطالب فوق به این معنا هستند که می‌بایست سیستم ارزشیابی دیگری برای آسفالت متخلخل در نظر گرفته شود.

۳-۳- نگهداری زمستانی

۳-۳-۱- پیشینه مطلب

در طول چند دهه اخیر، اهمیت ساخت و مدرنیزه کردن بزرگراههای اصلی و شاهراهها در توسعه اقتصادی قطعی شده است. یقیناً نگهداری از راهها در طول فصل زمستان برای پاسخ به نیازهای روزافزون کاربران، پیشرفتهایی داشته است.

رانندگان وسایل نقلیه تمایل دارند در هر فصلی از سال، در شرایط رانندگی مناسب و ایمن تردد نمایند. حتی با وجود شرایط نامناسب حمل و نقل در زمستان، بخشهای صنعت و تجارت، تمایلی به پذیرش توقف تولید و توزیع محصولات خود در زمستان ندارند. اخیراً نیز استراتژیهای حمل و نقل فوری و بدون تأخیر، ابعاد و زوایای جدیدی را در خدمات راهداری زمستانی ایجاد نموده‌اند.

نقش راهداری در طول زمستان، پاک کردن برف و یخ از سطح راهها با هزینه‌ای قابل قبول است، به طوری که رانندگان بتوانند تحت هر شرایطی، به استثنای شرایط خاص زمستانی، از راههای اصلی شبکه جاده‌ای به صورت تقریباً عادی استفاده کنند. لایه‌های فوقانی برف به صورت مکانیکی برداشته شده، اما آخرین بقایای برف و یخ بوسیله عوامل یخ‌زدا حل می‌شوند.

در ۲۵ سال گذشته نگهداری زمستانی راهها به صورت چشمگیری در اکثر کشورها توسعه یافته است. اهداف، مدیریت، سازماندهی و ابزار مورد استفاده در میان کشورها تفاوت زیادی با هم دارند. برخی از این تفاوتها ناشی از دلایل تاریخی بوده، اما عمدتاً با شرایط آب‌وهوایی محلی و منطقه‌ای ارتباط دارند. با این حال، اکنون می‌توان براساس تجارب چندساله، خط‌مشی کلی نگهداری زمستانی راهها را تعریف کرد. سیاست کلی نگهداری از راهها، سرویس‌دهی مناسب و کارآمد شبکه راهها را تضمین می‌نماید.

در مورد نگهداری زمستانی سطوح غیرمتخلخل راه، تجارب گسترده‌ای بدست آمده است. ارائه آسفالت متخلخل به عنوان نوع جدیدی از لایه رویه راه، نگاه دقیق‌تر به استراتژیهای نگهداری راهها در طول زمستان را ضروری می‌سازد. در تمام کشورهایی که آسفالت متخلخل مورد استفاده قرار گرفته است، رفتار این ماده (آسفالت متخلخل) در زمستان به صورتی متفاوت مورد مشاهده و نظارت قرار می‌گیرد.

۳-۲-۳- تجارب گزارش شده

تمام کشورهای استفاده‌کننده از آسفالت متخلخل، در مقایسه با آسفالت متراکم و غیرمتخلخل، روشهای متفاوتی برای حفظ و نگهداری از لایه‌های آسفالت متخلخل در طول زمستان اتخاذ کرده‌اند. دلایل اصلی این تفاوت عبارتند از:

- رفتار متفاوت آسفالت متخلخل در برابر دما،
 - مشکل تأمین مقدار کافی نمک در سطح راه، به دلیل ساختار باز مخلوط آسفالت متخلخل.
- بخش اعظم تحقیق در این زمینه در فرانسه، بلژیک، اتریش، سوئیس و هلند انجام شده است. این کشورها از جمله کشورهایی هستند که مدت زمان زیادی از آسفالت متخلخل استفاده کرده و در مورد این نوع آسفالت، تجارب نسبتاً بیشتری به دست آورده‌اند.

نتیجه‌ای که هم در شرایط آزمایشگاهی و هم در محل به دست آمد، حاکی از آن بود که رفتار آسفالت متخلخل در شرایط زمستانی نسبت به رفتار مخلوط متراکم در فصل زمستان، گاهی بهتر و گاهی بدتر است. مسأله مهم، محل اتصال آسفالت متخلخل و آسفالت متراکم است. آسفالت متخلخل مانع از پراکنش مناسب نمک بوسیله ترافیک شده و در نتیجه

نمک کافی بر روی باند عبوری خودروها باقی نمی‌ماند. مهمترین اثرات انواع مختلف لغزندگیها در بخشهای بعدی و به صورت خیلی خلاصه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۳-۳-۳- مه منجمد/ شبنم یخ زده

یخ در درجه حرارت- رطوبت معین و در اثر تقطیر و انجماد تشکیل می‌شود. آسفالت متخلخل در مقایسه با آسفالت متراکم، رفتار متفاوتی در برابر تغییرات دمایی از خود نشان می‌دهد. این نتیجه که تشکیل یخ بر روی آسفالت متخلخل سریع‌تر از تشکیل آن بر روی مخلوط متراکم است، نه تنها به صورت عملی مورد مطالعه قرار گرفته است، بلکه با اندازه‌گیریهای انجام‌شده در شرایط واقعی نیز تأیید شده است. هر دو کشور فرانسه و هلند ثابت کرده‌اند که دمای آسفالت متخلخل نسبت به مخلوطهای متراکم ۱ الی ۲ درجه سانتیگراد پایین‌تر است. این بدان معناست که این نوع رویه راه می‌تواند در مدت زمان بیشتری در شرایط دمایی بحرانی قرار گیرد.

مطالعات انجام‌شده در اتریش بیانگر این نکته بود که عملکرد آسفالت متخلخل در محدوده دمایی ۰ تا ۵- درجه سانتیگراد، متفاوت است. عملکرد آسفالت متخلخل در دماهای پایین‌تر در مقایسه با مخلوطهای متراکم تفاوتی ندارد. پاشیدن نمک برای جلوگیری از تشکیل یخ، تأثیر کمتری دارد. مفهوم این جمله آن است که گاهی اوقات، افزایش تعداد دفعات پخش نمک لازم بوده، و اینکه زمان پخش نمک، نسبت به آسفالت متراکم، متفاوت است. برخی از کشورها (فرانسه/ هلند) تمایل زیادی به استفاده از سیستم‌های هشداردهنده الکترونیکی دارند.

۳-۳-۴- سطوح مرطوب یخ زده/ شبنم

وجود شبنم یا باران بر روی سطح سرد راه موجب تشکیل یخ می‌گردد که این وضعیت به دلیل شرایط با تغییرات سریع و تشکیل یخ بر روی سطح راهها، بسیار خطرناک می‌باشد. در این حالت، پاشیدن مواد جلوگیری‌کننده از تشکیل یخ نیز تأثیر چندانی نداشته و به علت زهکشی سریع آب‌نمکهای حاصل از ذوب، می‌بایست مواد بیشتری در طول دوره‌های بارندگی پاشیده شود. پاشیدن آب‌نمک (محلول نمک) روی سطح راه تأثیری نخواهد داشت.

۳-۳-۵- برف/ تگرگ

بررسی نتایج حاصل از مطالعه شرایط بارش برف/تگرگ نیز نشان می‌دهند که پاشیدن مواد جلوگیری‌کننده از تشکیل یخ و نشستن برف بر روی سطح جاده تأثیر کمتری دارد. نه تنها برف‌روب‌ها، بلکه خود ترافیک نیز باعث فشرده شدن برف در داخل خلل و فرج آسفالت متخلخل می‌شود، لذا لایه سطح آسفالت متخلخل به سرعت با برف پوشانده شده و تا مدت‌های طولانی، ظاهری پوشیده از برف سفید خواهد داشت. احتمال می‌رود این حالت، تأثیر مطلوبی بر ایمنی ترافیک داشته باشد، زیرا ظاهر پوشیده از برف سطح راه سبب احساس ناامنی از سوی رانندگان شده و لذا در چنین مکانهایی نحوه رانندگی رانندگان از اعتدال بیشتری برخوردار خواهد بود. همچنین به دلیل وجود سنگها، میزان مقاومت لغزشی سطح راه کافی خواهد بود. از سوی دیگر، گزارشهای دیگری نیز

حاکی از آن است که ترافیک موجب مکیده شدن برفهای موجود در تخلخلهای سطح راه شده، در نتیجه سطح راه تا مدت‌های طولانی لغزنده باقی خواهد ماند. به علت پر شدن تخلخل‌ها با برف، برای آب کردن برف‌ها می‌باید نمک بیشتری روی سطح راه پاشیده شود. نمک ($NaCl$) بیش از اندازه نیز به علت واکنش اندوترمیک (حاصل از گرمای درونی)، منجر به تشکیل یخ در لایه آسفالت متخلخل می‌شود.

جدول ۳- شکلهای مختلف استفاده از نمک

	انگلیس	سوئیس	سوئد	هلند	ژاپن	ایتالیا	آلمان	فرانسه	دانمارک	بلژیک	اتریش
NaCl جامد	VC	VC	VC	VC	VC	VC	VC	VC	VC	VC	VC
شوراب NaCl			RE		VC	RE		RE			RE
ذرات $CaCl_2$		LC			VC	VC	RE	RE		VC	
شوراب $CaCl_2$					VC	VC				RE	
مخلوط جامد NaCl/ $CaCl_2$		VC				RE		LC			LC
روش نمک مرطوب محلول NaCl+ $CaCl_2$	RE	LC		VC		RE	VC	LC		RE	VC
روش نمک مرطوب محلول NaCl+ NaCl	RE	RE	VC	LC					VC		LC

راهنما:

D = مقطعی

عدم استفاده = جای خالی

VC = بسیار متداول

LC = نه چندان متداول

RE = مورد استفاده در شرایط خاص

۳-۳-۶- نمکهای یخ‌زدا

بسیاری از کشورها جهت حفظ و نگهداری از راه‌ها در فصل زمستان از مواد شیمیایی استفاده می‌کنند. این مواد از لحاظ ماهیت و نیز از نظر شکل و ظاهر، متفاوت از یکدیگر هستند. جدول ۳ اشکال مختلف نمکهای مورد استفاده در کشورهای مختلف و میزان کاربرد این مواد را نشان می‌دهد:

- کلرید سدیم به شکل جامد، پرمصرف‌ترین عامل یخ‌زدا است. تمام کشورها از نمک‌سنگ استفاده کرده، برخی از کشورها نیز (بلژیک، فرانسه، ایتالیا) از نمک دریا و برخی نیز (بلژیک، سوئیس، هلند) از نمک

خلأ (نمک مکنده)^۱ استفاده می کنند.

- دومین محصولی که بیشترین کاربرد را دارد، کلرید کلسیم است.
- تنها تعداد معدودی از کشورها از $NaCl$ یا $CaCl_2$ بصورت محلول استفاده می کنند. در ایتالیا آب نمک $NaCl$ اشباع مورد استفاده قرار می گیرد. همین آب نمک با غلظت ۲۰٪ در ژاپن و با غلظت ۲۶-۲۳٪ در فرانسه استفاده می شود. $CaCl_2$ نیز با غلظت حدوداً ۲۶ تا ۳۰٪ در ایتالیا، ۳۳٪ در بلژیک و ۳۵٪ در ژاپن به کار می رود.

جدول ۴- مقدار متوسط پاشیدن نمک $NaCl$ (گرم بر سانتیمتر مربع)

کشور	به صورت ترمیم کننده	به صورت پیشگیری کننده
آلمان	۱۰-۲۰ (عموماً) ۲۰-۳۰ (گاهی اوقات)	-
بلژیک	۲۰-۳۰	۷-۲۰
دانمارک	> ۱۰	۵-۱۰
فرانسه	۲۰-۳۰	۱۰-۱۵
ایتالیا	۱۵-۳۰	۱۰-۱۵
ژاپن	< ۱۰۰	> ۱۰
هلند	۵-۲۰	-
انگلیس	۲۰-۴۰	۱۰-۲۰
سوئد	۲۰	۵-۱۰
سوئیس	۱۵-۲۰	۱۰-۱۵

جدول ۵- مقدار متوسط پاشیدن ذرات $CaCl_2$ (گرم بر سانتیمتر مربع)

کشور	به صورت ترمیم کننده	به صورت پیشگیری کننده
بلژیک	۲۰-۳۰	۷-۲۰
فرانسه	۲۰-۳۰	-
ایتالیا	۱۰-۲۰	۵-۱۰
ژاپن	۱۰-۵۰	۱۰-۵۰
سوئیس	۱۵-۴۰	۱۵۰-۳۰

۱- نمک خلأ (نمک مکنده): این نمک بوسیله روشی از استخراج تولید می شود که طی آن، نمک سنگ در محل مورد استفاده در آب حل شده و در داخل گمانه های باریک تزریق می شود. بنابراین محلول نمک موجود بازیافت شده و سپس تحت تأثیر فرایند تبخیر قرار می گیرد. این ماده موجب کریستالیزه شدن (بلوری شدن) نمک گشته و آن را به صورت دانه های کوچک، منظم و گرد در می آورد.

جدول ۶- مقدار متوسط پاشیدن نمک مرطوب (گرم بر سانتیمتر مربع)

کشور	به صورت ترمیم کننده	به صورت پیشگیری کننده
آلمان	۱۰-۲۰ > ۳۰ (در موارد خاص)	۱۰-۱۵
اتریش		۱۰
بلژیک	۲۰-۳۰	۷-۲۰
دانمارک	> ۱۰	۵-۱۰
فرانسه	-	۱۰-۱۵
هلند	۵-۲۰	۵-۷
سوئد	۱۵	۵
سوئیس	-	۵-۱۵

در اتریش، فرانسه و سوئیس از مخلوط $CaCl_2$ و $NaCl$ برای آب کردن برف و یخ موجود در مناطق کوهستانی سرد استفاده می‌شود. بر حسب دمای روسازی، مقدار $CaCl_2$ موجود در این مخلوط جامد بین ۱۰ تا ۵۰٪ است. بسیاری از کشورها به طور پیوسته از نمک مرطوب، یعنی محلول $CaCl_2$ یا $NaCl$ استفاده می‌کنند. محلول $CaCl_2$ حاوی ۳۳ - ۱۶٪ کلرید کلسیم ($CaCl_2$) است، این محلول با نسبت‌های مختلف، از ۵ تا ۳۰٪، به نمک جامد اضافه می‌شود. محلول $NaCl$ حاوی ۲۵-۲۰٪ کلرید سدیم بوده و با نسبت‌های بیش از ۳۰٪ به نمک جامد اضافه می‌شود (دو لیتر از محلول با پنج کیلوگرم از کلرید سدیم خشک). وقتی کلرید سدیم در شکل جامد خود استفاده می‌شود، برای حالت پیشگیری کننده، معمولاً ۵ تا ۲۰ گرم بر متر مربع و برای حالت ترمیم کننده، معمولاً ۵ تا ۳۵ گرم بر متر مربع از این ماده بر روی سطح راه پاشیده می‌شود (به جدول ۴ رجوع کنید). هنگام استفاده از کلرید کلسیم جامد، مقدار نمک پاشیده شده باید مطابق مقادیر ذکر شده در جدول ۵ باشد. مقدار متوسط کاربرد نمک مرطوب در جدول ۶ آورده شده است.

۷-۳-۳- سیاست نگهداری زمستانی آسفالت متخلخل

به طور کلی نتیجه‌ای که از مطالب پیشین گرفته می‌شود، حاکی از آن است که کاربرد نوع خاصی از نگهداری زمستانی بر روی آسفالت متخلخل عملاً با مشکلات متعددی مواجه می‌شود. مقاطعی که لایه سطحی روی آنها از آسفالت متخلخل پوشانده شده است، قبل و یا بعد از سطوح پوشانده شده با بتن آسفالتی متراکم قرار دارند که این سطوح نیازمند استفاده از روش‌های متفاوت پخش عوامل یخ‌زدا می‌باشند (مقدار پاشیدن عوامل یخ‌زدا بر روی سطوحی که با بتن آسفالتی متراکم پوشانده می‌شوند، بر حسب نوع و میزان این عوامل، متفاوت خواهد بود). به این ترتیب روش پخش عوامل یخ‌زدا روی سطوح پوشانده شده با آسفالت متخلخل در نقاط همجوار با سطوح فوق‌الذکر مشابه با روش پخش در آن مقاطع خواهد بود. به طور مشابه این مسأله در مورد پاکسازی سطح از برف توسط برف‌روب نیز اتفاق می‌افتد.

برخی از کشورها بر ضرورت پخش بیشتر عوامل یخ‌زدا تأکید دارند، که نتیجتاً مقدار نمک بیشتری به ازای هر متر مربع از راه پاشیده می‌شود. هیچ یک از این کشورها از مقدار نیاز خود به نمک نکاسته‌اند و نیاز بیشتر آسفالت متخلخل به نمک را نیز جایز شمرده‌اند. با این وجود، داده‌های کمی در این مورد در دسترس نیست.

درباره نحوه استفاده از نمکها یا در مورد مقدار نمکهای مورد استفاده، هیچ گونه پیشنهاد یا توصیه کلی نمی‌توان ارائه داد، به جز اینکه به طور کلی باید از پاشیدن آب‌نمک بر روی آسفالت متخلخل اجتناب کرد. به علت رفتار متفاوت آسفالت متخلخل در برابر دما که موجب شرایط بحرانی زیادی می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که در لحظه تصمیم‌گیری برای پاشیدن عوامل یخ‌زدای جلوگیری‌کننده، باید تغییرات دمایی آسفالت متخلخل را نیز در نظر گرفت.

نتیجه کلی حاکی از آن است که رفتار متغیر آسفالت متخلخل، منجر به وضعیتهای غیرقابل قبول به لحاظ ایمنی نمی‌شود مسلماً اگر عواملی را که مسبب عملکرد متفاوت آسفالت متخلخل هستند، در نظر بگیریم، در مورد عدم وجود وضعیتهای خطرناک مطمئن خواهیم شد.

برخی از محققان (بلژیکی و سویسی) به این نتیجه رسیده‌اند که علی‌رغم رفتار متفاوت آسفالت متخلخل، در مجموع هیچ وضعیت خطرناکی وجود ندارد. به عبارت دیگر، برحسب شرایط خاص موجود، آسفالت متخلخل گاهی اوقات ایمن‌تر از مخلوط متراکم بوده و گاهی اوقات نیز ایمنی کمتری نسبت به آن دارد.

۳-۴- تأثیر استفاده از آسفالت متخلخل در محیط آکوستیک

۳-۴-۱- مقدمه

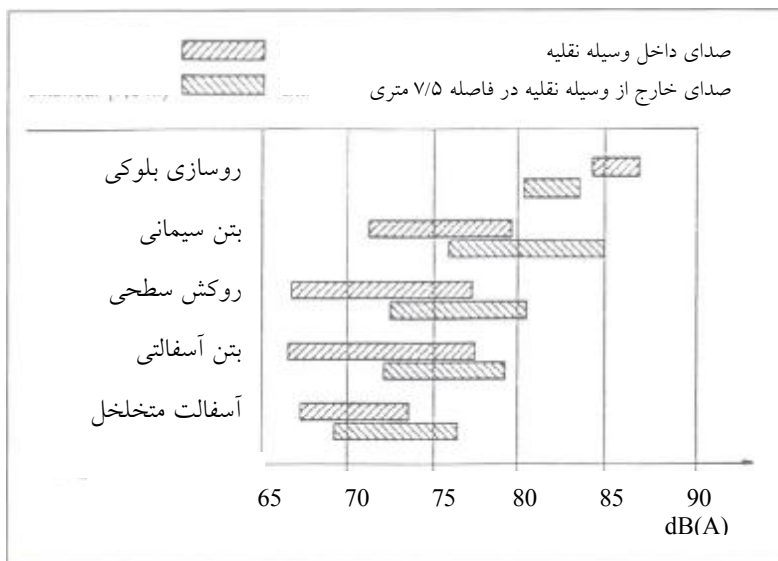
طبق مطالعه‌ای که اخیراً توسط OECD انجام شده است، ۵۰٪ از جمعیت کشورهای عضو این سازمان در معرض میزانی از صدا و اختلالات صوتی قرار دارند که از آستانه ایجاد ناراحتی صوتی تجاوز کرده و ۱۵٪ از این جمعیت بطور دائم تحت تأثیر صداهای نامطلوب و غیرقابل قبول قرار گرفته‌اند. در حال حاضر، ترافیک منبع اصلی صداها و اختلالات صوتی "خارجی" محسوب می‌شود. صدای رفت‌وآمد هواپیماها و قطارها هر یک تنها یک درصد از جمعیت را تحت تأثیر قرار می‌دهند. طبق همین مطالعه، فعالیتهایی که از اوایل دهه هفتاد و در جهت محدودسازی تدریجی صدای وسایل نقلیه انجام گرفته‌اند، تنها برای حفظ وضعیت موجود در برابر افزایش ترافیک کافی بوده‌اند. در حال حاضر و بعد از تلاشهای صنایع موتوری جهت کاهش سروصدای مکانیکی، عامل اصلی افزایش میزان صدا در تمام انواع وسایل نقلیه حتی در سرعتهای معمولی، تماس بین لاستیک خودرو و سطح راهها است. نتیجتاً هر گونه کاهش منبع سروصدا مستلزم کاهش صدای تماس لاستیک خودرو/ سطح راه است. بدین ترتیب مشخص است که در این راستا نه تنها لاستیکها، بلکه خصوصیات سطح راهها نیز باید بهبود یابند. لذا روسازیهایی که با آسفالت متخلخل پوشانده شده‌اند، وسیله جدیدی برای مبارزه با سروصدای ترافیک محسوب می‌شوند.

۳-۴-۲- تأثیر مفید آسفالت متخلخل در برابر صدا

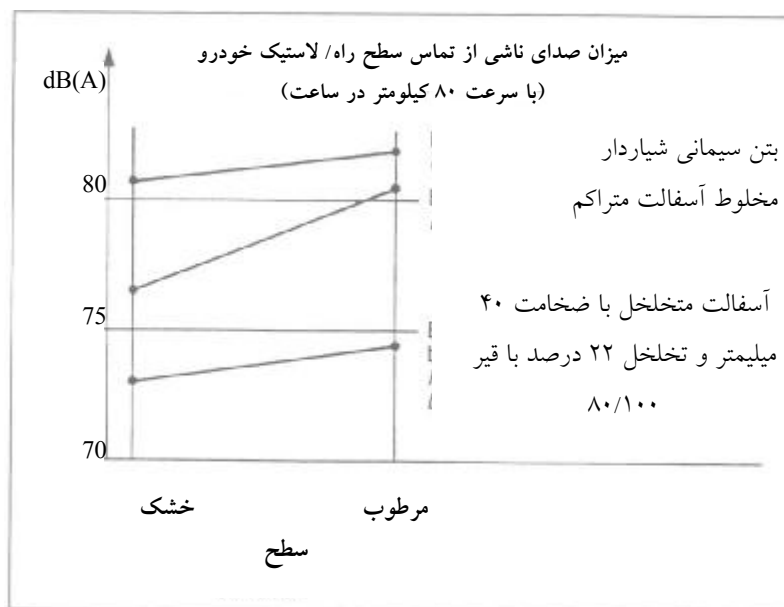
در واقع منظور از تأثیر مفید، کاهش میزان صدا در کاربرد آسفالت متخلخل در مقایسه با هر نوع دیگری از مصالح به‌کاررفته در روسازی سطح راههاست، در صورتی که تمام خصوصیات دیگر آسفالت متخلخل و هر ماده پوشاننده سطح راهها را برابر در نظر بگیریم. البته این تأثیر مفید به شرایط متعددی بستگی دارد که عبارتند از:

- ۱) خصوصیات آسفالت متخلخل مورد نظر. باید به این مطلب توجه داشت که میزان صداهایی که تحت شرایط مشخص و بر روی رویه‌هایی از یک جنس اندازه گرفته می‌شوند، از لحاظ خصوصیات تکنولوژیکی و افزایش احتمالی خود بسیار متغیر هستند. این قاعده در مورد آسفالت متخلخل نیز صادق است (شکل ۱۴).
- ۲) سطحی که به عنوان یک مبنا در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که سطح مبنا دارای سروصدای بیشتری باشد، تأثیر مفید آسفالت متخلخل نیز بیشتر خواهد بود. به همین دلیل است که آسفالت متخلخل، اغلب با رویه متراکم متشکل از مصالح مشابه یا بتن آسفالتی مقایسه می‌شود.
- ۳) منبع صدای مورد نظر. این منبع می‌تواند بعنوان مثال یکی از موارد ذیل باشد:
 - خودروی آزمایشی که با سرعت حرکت ثابت کار می‌کند.
 - خودروی آزمایشی که با موتور خاموش و در دنده خلاص کار می‌کند، تا صدای تماس بین لاستیک خودرو/سطح راه را اندازه بگیرد.
 - جریان ترافیکی که شامل درصد مشخصی از خودروهای سنگین است.
 - یک سری از خودروهایی که برای آزمایش‌های برنامه‌ریزی شده در نظر گرفته شده‌اند، یا به منظور نمونه‌برداری آماری، از جریان ترافیکی انتخاب شده‌اند.
- در حالت‌های مختلف فوق‌الذکر، سرعت خودرو، لاستیک‌های مورد استفاده و نسبت خودروهایی که از طبقه‌های متعدد انتخاب شده‌اند، عوامل مهمی هستند که باید مورد توجه قرار گیرند.
- ۴) محل اندازه‌گیری. در صورتی که تمام شرایط برابر باشند، تأثیر مفید آسفالت متخلخل بر حسب اینکه طرفین جاده فضای باز بوده (مثلاً در نقاط برون‌شهری) یا با ساختمانها احاطه شده باشد (مثلاً در نقاط درون‌شهری)، متفاوت خواهد بود.
- ۵) واحد صدا و شاخص صوت مورد استفاده. البته ارقام بدست‌آمده با توجه به شاخص یا واحد مورد نظر، مفهوم متفاوتی خواهند داشت. واحد dB(A) مفهوم جهانی دارد و تا جایی که ما اطلاع داریم، صوت زیور (Zwicker) حداقل در یک کشور (اتریش) کاربرد دارد. در مورد شاخص صوت باید گفت، میزان انرژی هم‌ارز (Leq) عمدتاً جهت تعیین خصوصیات صدای حاصل از جریان‌ات ترافیکی به کار رفته و در موارد نادر برای تک تک خودروها (به صورت جداگانه) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مورد تعیین خصوصیات صوتی تک تک خودروها، اغلب از شاخص حداکثر میزان صدا (L_p یا L_{max}) استفاده می‌شود. باید یادآوری نمود که تعریف مفهوم Leq، به زمان مشخصی از روز یا هر گونه اولویت بین دوره‌های مختلف زمانی (مثلاً روز/شب) که به عنوان یک مبنا در نظر گرفته می‌شود، بستگی دارد. لذا تعاریف ارائه‌شده از سوی کشورهای مختلف تا حدی متفاوت از یکدیگر هستند. طبق اطلاع ما صدای ترافیک حداقل در یک کشور (انگلستان) با توجه به مقدار افزایش آن نسبت به یک سقف مشخص در طول ۱۰٪ از زمان تعیین می‌شود.
- ۶) شرایط آب‌وهوایی. تأثیر مفید آکوستیکی آسفالت متخلخل در آب‌وهوای بارانی نسبتاً بیشتر است، زیرا آب موجود بر روی آسفالت متخلخل سریعتر از آب موجود بر روی یک ماده متراکم زهکشی و تخلیه می‌گردد

(شکل ۱۵). از سوی دیگر هنگامی که تخلخل‌ها و حفره‌های آسفالت با برف یا آب‌نمک مسدود می‌شوند، انتظار می‌رود تأثیر مفید آکوستیکی با افت نسبی مواجه گردد.



شکل ۱۴- نوسانات صدای ناشی از تماس سطح جاده/لاستیک خودرو در هر یک از انواع مختلف روسازی (خارج از خودرو و داخل آن در سرعت ۸۰ km/h)

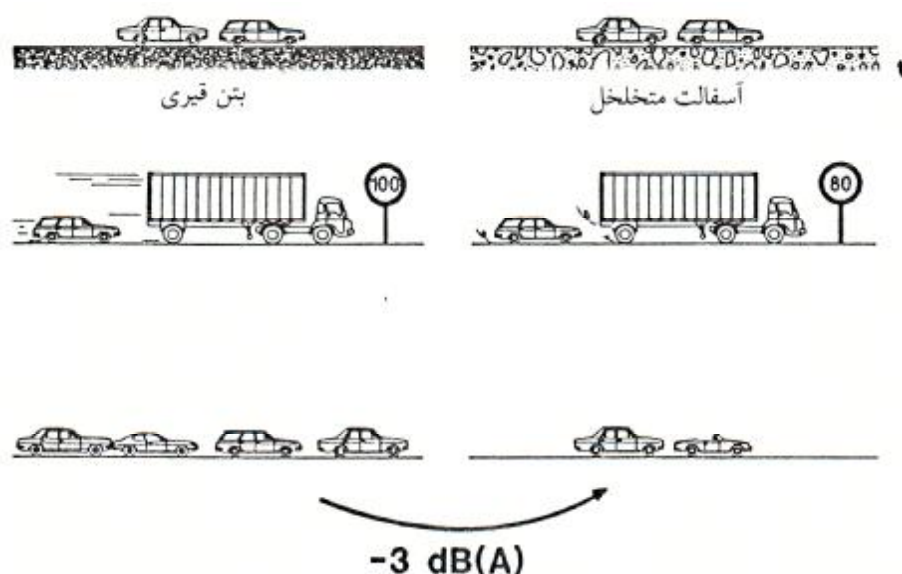


شکل ۱۵- افزایش میزان صدای حاصل از تماس سطح راه/لاستیک خودرو بر روی سطح مرطوب

در بررسی عوامل زیادی که بر میزان کاهش صدا تأثیر گذاشته و در بخش مرور مقالات و منابع مختلف بدانها اشاره شده است، بیان میزان تأثیر مفید کاهش صدا در آسفالت متخلخل به صورت یک مقدار مشخص، کار مشکلی است. با این

حال، برای ارائه چند ایده در این مورد، عدد 3 dB(A) را به عنوان میانگین تقریبی برای کاهش صدا پیشنهاد می‌کنیم و انتظار داریم که میزان کاهش صدای آسفالت متخلخل با کیفیت متوسط در مقایسه با رویه‌های معمولی متداول به این رقم برسد. بر حسب عوامل متعددی که در بالا اشاره شد، محدوده نتایج حاصله از افزایش صدا به میزان 3 dB(A) تا کاهش صدا به میزان 9 dB(A) است.

برای خوانندگانی که با شیوه‌های سنجش و اندازه‌گیری صدا آشنایی ندارند، پیشنهاد می‌شود به چند نکته در مورد روشهای فوق (شکل ۱۶) مراجعه نموده تا مفهوم ارقام ارائه‌شده در واحد dB(A) روشن گردد.



شکل ۱۶- متوسط کاهش میزان صدا تا 3 dB(A) توسط آسفالت متخلخل در مقایسه با بتن آسفالتی در حالت کاهش سرعت ترافیک تا ۲۰ درصد و کاهش شدت ترافیک به میزان نصف. سایر موارد یکسان می‌باشند

۳-۴-۳- پدیده فیزیکی مربوطه

منبع انتشار صدای تماس لاستیک خودرو/ سطح راه، دو نوع پدیده فیزیکی می‌باشد. این پدیده‌ها به وسیله فرکانس‌های آکوستیکی موجود و نیز از طریق حساسیت متفاوت نسبت به خصوصیات سطح راه قابل تشخیص هستند. اولین مؤلفه عامل انتشار صدا فرکانسهای پایین طیف صداست ($<1000\text{Hz}$). این مؤلفه ناشی از لرزشهای تایر است که به واسطه ناهمواریهای سطح حرکت با طول موجی تقریباً برابر با شعاع متوسط سطح تماس لاستیک خودرو/ سطح راه یعنی 50 تا 100 mm به وجود آمده و طبق تعریف پیارک^۱، در داخل محدوده "مگابافت"^۲ قرار دارد. میزان صدایی که با این نوع از پدیده فیزیکی ارتباط دارد، تابعی صعودی از دامنه نوسان مگابافت است.

۱- به مقاله کمیته تخصصی خصوصیات سطحی راهها، گزارش ارسالی کمیته به گنگره بروکسل، مرجع پیارک 18.01.B، ۱۹۸۷ مراجعه نمایید

هنگامی که این لرزشها از طریق سیستم تعلیق خودرو انتقال می‌یابند، موجب بروز رزونانس‌هایی شده که تا حدی با هم جفت می‌شوند. در نتیجه صدای داخل خودروها عمدتاً بوسیله دامنه نوسان مگابافت سطح رویه راه تعیین می‌شود. یکی از دلایل فیزیکی اولیه مربوط به صدای کم آسفالت متخلخل در داخل و خارج از خودرو، در مقدار مگابافت ناچیز آن نهفته است، که ناشی از عدم وجود مصالح سنگدانه‌ای برآمده از سطح جاده و تأثیر صاف نمودن سطح توسط غلtek متراکم‌کننده است.

دومین مؤلفه صدای حاصل از تماس سطح راه/تایر در خارج از خودرو با پدیده فعل‌وانفعال پیچیده متقابلی ارتباط دارد که در سطح المانهای آج لاستیک و منطقه تماس تایر (با جاده) رخ می‌دهد.

این پدیده‌ها عمدتاً تأثیر مکش و دمش هوا در داخل فضاهای خالی آج لاستیک (پمپاژ هوا) و ارتعاشات مماسی آج لاستیک (چسبیدن و لغزیدن) می‌باشد. دامنه نوسان و جهت این نوع انتشار صوت به تأثیر بزرگنمایی ایجادشده توسط انعکاس‌های امواج صوتی بر روی دیوارهای جانبی بستگی دارد که توسط آج لاستیک و سطح جاده در لبه‌های جلویی و عقبی سطح تماس تشکیل یافته‌اند (تأثیر شیپوری). این منبع صدا عامل فرکانسهای بالای طیف صدا ($>1000\text{Hz}$) بوده و میزان صدای ایجادشده، تابعی نزولی از دامنه نوسان ناهمواریهای سطح با طول موجهایی در سطح شیارهای موجود آج لاستیک، یعنی ۲ تا ۵ mm است که در داخل محدوده بافت درشت قرار دارد. اگر چه این منبع صدا در داخل خودرو قابل درک است، اما در واقع هیچ تأثیری بر میزان صدای داخل خودرو بر حسب dB(A) ندارد.

این واقعیت که در اینجا رابطه معکوسی بین میزان صدا و دامنه نوسان بافت وجود دارد، با این فرضیه که پدیده پمپاژ هوا بر سایر عوامل غلبه می‌کند، به بهترین شکل توضیح داده می‌شود. در واقع به راحتی می‌توان درک کرد که صدای مکش از طریق سطح تماسی که در سراسر شیارهای موجود در طرح آج لاستیک به حالت نرم و صاف وجود دارد، تقویت می‌شود. به عبارت دیگر، سطح تماس ناهموار موجود در تایرها نیز حفره‌هایی برای دمش هوا ایجاد کرده، یعنی امکان خروج و تخلیه جانبی را فراهم آورده، در نتیجه میزان تغییرات بوجود آمده در فشار هوای موجود در خلل و فرج سطح لاستیک را محدود می‌کند. حال نفوذپذیری آسفالت متخلخل در اینجا همان نقشی را ایفا می‌کند که بافت درشت رویه‌های متراکم با تضمین تخلیه عمودی هوا به جای تخلیه جانبی آن ایفا می‌کرد. این مسأله در مقایسه با رویه‌های آسفالتی متراکم، منجر به کاهش چشمگیر انتشار صدای تماس لاستیک/سطح راه در محدوده فرکانس بالای ۱۰۰۰ هرتز می‌شود.

توضیحات فیزیکی که تاکنون ارائه شده‌اند، به مسأله کاهش انتشار صدای ناشی از حرکت چرخ خودرو (صدای غلته‌شی) پرداخته‌اند. علاوه بر این، سطوح آسفالت متخلخل بدون توجه به منبع تولید صدای خودرو و در مراحل مختلف انتشار آن، قادر به جذب صدای تعمیم‌یافته از سوی خودرو هستند (شکل ۱۷).

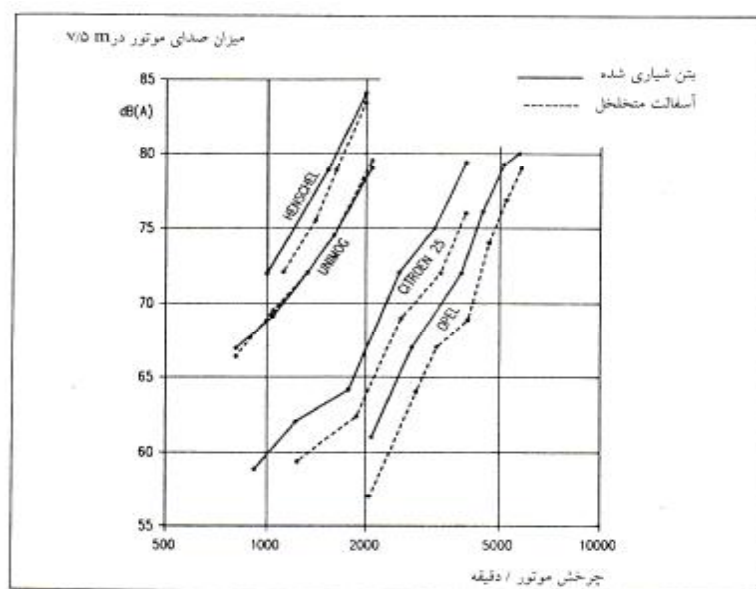
در محل نزدیک به لاستیک خودرو، خصوصیت جذب صدا توسط سطح جاده کاهش یافته، یا حتی منجر به حذف اثر شیپوری شده، در نتیجه نقش بیشتری در حذف صدای تایر ایفا می‌کند.

فضای بین بدنه خودرو و سطح راه، صحنه بروز انعکاس‌های چندگانه بین دو صفحه موازی است. در اینجا نیز بخشی از انرژی آکوستیک که توسط تمام منابع صوتی واقع در زیر خودرو از جمله تایرها، اگزوز، لرزشهای موتور و جعبه دنده تولید می‌شود، از طریق آسفالت متخلخل جذب می‌گردد.

نهایتاً بخشی از سطح آسفالت متخلخل نیز که بین خودرو و گیرنده امواج صوتی قرار دارد، مقداری از صدای تولیدشده تمام منابع صوتی فوق‌الذکر را جذب می‌کند.

مشاهده می‌شود که کاهش صدا بر روی سطوح آسفالت متخلخل، ناشی از پدیده‌های فیزیکی متعددی است که ارزیابی اهمیت نسبی آنها کار مشکلی بوده و احتمالاً تحت تأثیر شرایط موجود دستخوش تغییر نیز می‌شوند. در میان مطالب فوق‌الذکر باید به این مطلب اشاره کرد که جذب صدا تنها عامل مهم نیست. به طور خلاصه خصوصیات تعیین‌کننده عملکرد آکوستیکی سطح آسفالت متخلخل عبارتند از:

- ۱) مگابافت آن (که انتشار صدای ناشی از حرکت چرخ خودرو با فرکانس پایین و میزان صدای داخلی را تعیین می‌کند)،
- ۲) نفوذپذیری آن (که انتشار صدای ناشی از حرکت چرخ خودرو با فرکانس بالا و میزان کاهش صدای حاصل از پاشش آب در هوای بارانی را تعیین می‌کند)،
- ۳) ضریب جذب صوت آن (که انتشار صدای پخش شده توسط منابع مختلف را تعیین می‌کند).



شکل ۱۷- مقایسه بین میزان صدای موتور خودروهای در حال حرکت بر روی آسفالت متخلخل و بر روی سطح غیر جاذب

۳-۴-۴- اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی مربوطه

۳-۴-۴-۱- مگابافت

مگابافت به عنوان محدوده ناهمواری‌های سطح راه با طول موجهای بین ۵۰ و ۵۰۰ میلیمتر، یعنی محدوده بین بافت درشت و ناهمواری تعریف می‌شود. با این وجود تاکنون هیچ گونه مشخصات فنی برای تعیین میزان دامنه نوسان آن ارائه نشده است. مسأله میزان دامنه نوسان مگابافت تا به امروز برای اهداف تحقیقاتی و از طریق تجزیه و تحلیل طیف پروفیل راه به وسیله یک سنسور (حس‌گر) لیزری از راه دور مورد ارزیابی قرار گرفته است. در مورد آسفالت متخلخل، اندازه‌گیری

مگابافت با مشکل چگونگی تفسیر پروفیل دارای ناپیوستگی (خلل و فرج موجود در سطح راه) همراه بوده و هنوز هم بدون پاسخ مانده است.

۳-۴-۴-۲- نفوذپذیری

این خصوصیت، در محل و با استفاده از دستگاه نفوذسنج اندازه گرفته می‌شود. اصول و کاربرد این دستگاه بر روی سطوح بسته از مدت‌ها پیش ارائه شده است. اسپانیایی‌ها نسخه‌ای از این دستگاه را ارائه کرده‌اند که با میزان جریان آب بیشتر و برای استفاده بر روی آسفالت متخلخل سازگاری دارد. روش کار این دستگاه مبتنی بر اندازه‌گیری زمان ریزش آب از یک ستون با ارتفاع فرضی و با سطح آسفالت متخلخل است. میزان هدایت هیدرولیکی در قالب عکس زمان ریزش (جریان خروجی) تعریف می‌شود. آزمایش نفوذپذیری یک روش معمولی بوده و بیش از آنکه اقدام به سنجش خصوصیت فیزیکی اساسی مصالح مورد استفاده در رویه راه کند، سعی در ارزیابی ظرفیت زهکشی سطوح راه دارد.

۳-۴-۴-۳- جذب صوت

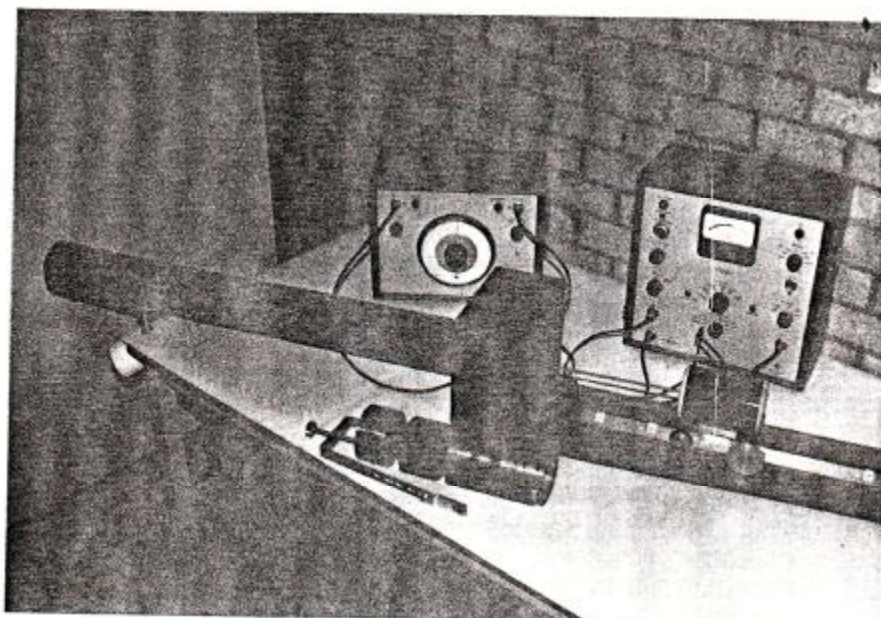
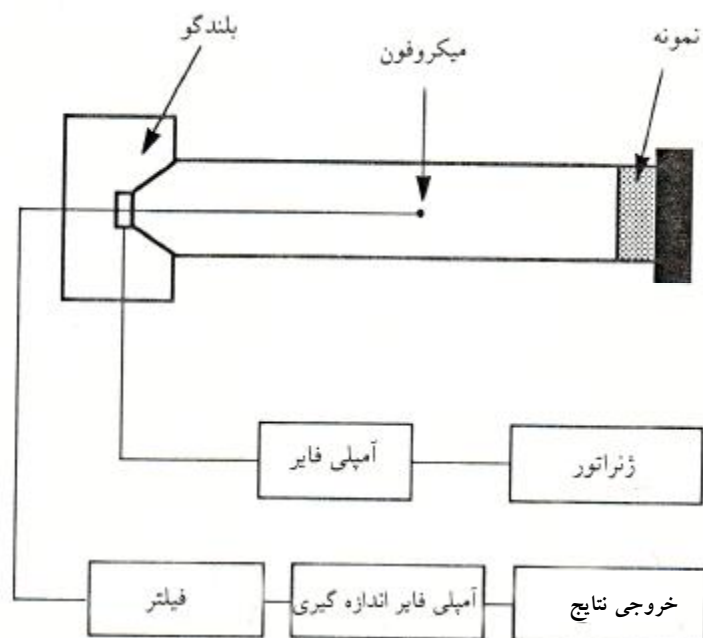
ضریب جذب صوت به عنوان بخشی از انرژی صوتی است که در هنگامی که موج صدا توسط سطح مصالح منعکس می‌شود، جذب سطح می‌گردد. به طور کلی، مسأله جذب صوت به فرکانس صدای مورد نظر (یا در صورتی که صدا مطلق نباشد، به طیف آن) و به زاویه برخورد موج صوتی بستگی دارد.

جهت اندازه‌گیری میزان جذب در مطالعات و مشخصات فنی مربوط به سطوح آسفالت متخلخل، از دو روش استفاده می‌شود. یکی از این دو روش که روشی کلاسیک در علم آکوستیک به شمار می‌رود، در آزمایشگاه و بر روی نمونه‌های مغزه‌گیری شده انجام می‌شود. قطر نمونه‌های مذکور ۱۰ سانتیمتر بوده و ممکن است از محل پروژه اخذ شده و یا در آزمایشگاه ساخته شوند. هدف از انجام این روش، تعیین منحنی ضریب جذب صوت با شدت نرمال و برحسب فرکانس آن است. نمونه مورد نظر در انتهای لوله به اصطلاح *kundt* یا امپدانس قرار گرفته (شکل ۱۸) و موج ایستا در آن تولید می‌شود. جذب انرژی توسط ماده مورد آزمایش، در قالب دامنه نوسان مربوط به مؤلفه موج پیش‌رونده نشان داده می‌شود. این دامنه نوسان که به وسیله بررسی میکروفونی در گره‌های موج ایستا تشخیص داده می‌شود، امکان ارزیابی ضریب جذب صوت را فراهم می‌آورد.

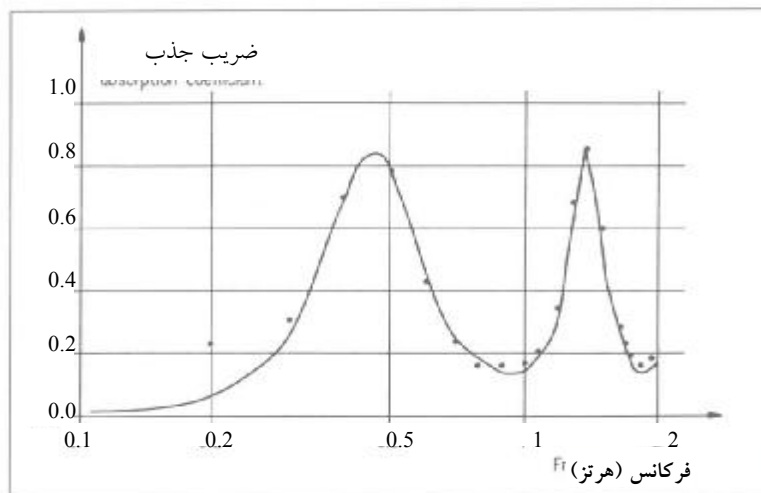
برای سنجش جذب صوت در محل، از روشهای دیگری استفاده می‌شود. روش ضربه که توسط LCPC (فرانسه) ابداع شده است، از یک طپانچه هشداردهنده به عنوان منبع تولید صدا در تمام جهات و با طیف گسترده‌ای از فرکانس‌ها استفاده می‌کند. از تفاوت بین سیگنال مستقیم و سیگنالی که توسط سطح مورد آزمایش منعکس می‌گردد، می‌توان منحنی فرکانس- جذب را برای شدت نرمال تعیین کرد (شکل ۱۹). در واقع، روش ضربه (IMPULSE) شکل تعدیل‌یافته استاندارد AFNOR با مشخصات S31-099 است که برای تعیین ضریب جذب صوت مواد جاذب صدا در شرایط واقعی به کار می‌رود. مواد جاذب صدا در ساخت جدارهای عایق صوتی به کار می‌روند.

اصولاً نتایج حاصل از این روش با نتایج بدست آمده از روش لوله "Kundt" برابر هستند. سایر روشهای اندازه‌گیری جذب صوت در شرایط واقعی، که از دستگاههای مختلف نیز استفاده می‌کنند، سعی دارند تا از طریق سطح مورد آزمایش

در امتداد مسیر انتشار صوت، به تعیین خصوصیات کاهش میزان صوت پردازند. در این راستا کاهش نرمال میزان صدا بعنوان تابعی از فاصله ناشی از واگرایی امواج صوتی در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱۸- دستگاهی برای اندازه‌گیری آزمایشگاهی برخورد نرمال ضریب جذب صدا توسط نمونه آسفالت متخلخل (لوله Kundt)



شکل ۱۹- نمونه‌ای از منحنی فرکانس - جذب برخورد نرمال سطح آسفالت متخلخل

۳-۴-۵- میزان تأثیر متغیرهای فنی

وقتی دامنه وسیع تغییرات موجود بین لایه‌های مختلف به‌کاررفته در آسفالت متخلخل مورد توجه قرار می‌گیرد، مشاهده می‌شود که جهت بهبود شرایط موجود فعالیت زیادی باید صورت گیرد. به همین دلیل، اخیراً مطالعاتی در زمینه تعیین ترکیب بهینه مخلوط‌های آسفالت متخلخل، به خصوص از لحاظ آکوستیک صورت گرفته است. این مطالعات به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول مطالعاتی هستند که مبتنی بر اندازه‌گیری میزان صدای تولیدشده از سوی خودرو بوده و بر روی مقاطعی از راه‌های آزمایشی با ترکیب‌های متفاوت انجام می‌شوند. این بدان معنی است که هدف این گونه تحقیقات، بهینه‌سازی کاهش واقعی میزان صدا بوده، در حالیکه هدف مطالعات گروه دوم، عمدتاً بهینه‌سازی میزان جذب صداست. متغیرهای فنی که قبل از هر چیز، بر عملکرد آکوستیکی سطح آسفالت متخلخل تأثیر می‌گذارند، عبارتند از:

- ضخامت
- میزان تخلخل
- منحنی دانه‌بندی
- نوع و میزان قیر

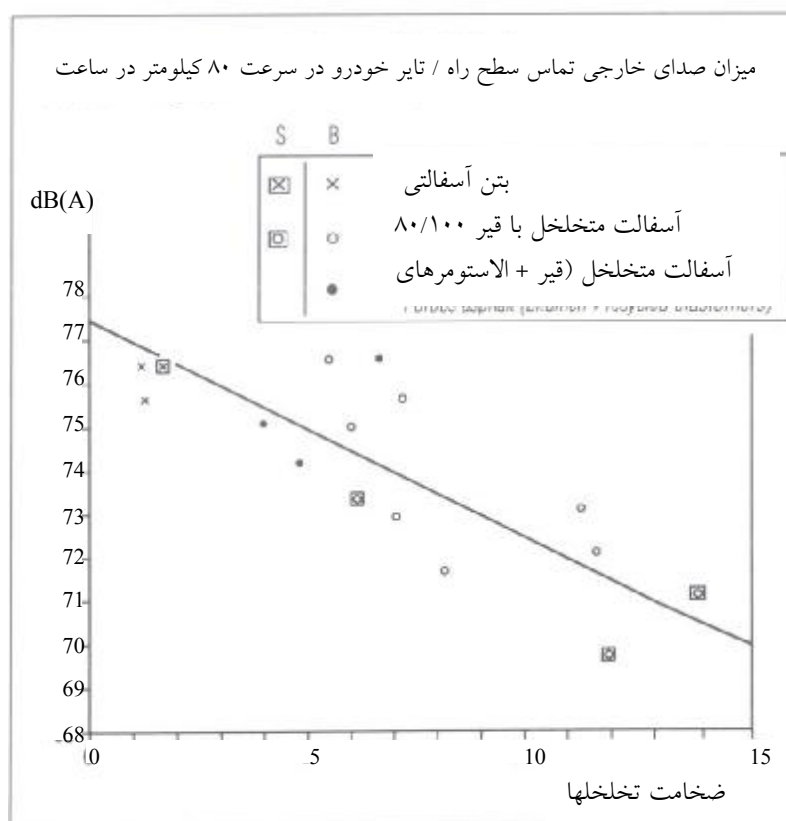
تحقیقاتی که بر روی دوازده مقطع آزمایشی در بلژیک انجام گرفته است، نشان می‌دهند که تغییرات صدای تماس سطح راه/لاستیک خودرو به میزان ۶ dB(A) (خودرویی که با سرعت ۸۰ km/h در حال حرکت است) در این مقاطع آزمایشی، هم به ضخامت لایه (بین ۲۰ تا ۴۰ میلیمتر) و هم به میزان تخلخل (بین ۱۵ تا ۲۵ درصد) مربوط می‌شود. تأثیر ارتباط این دو متغیر در قالب یک پارامتر جداگانه، یعنی حاصلضرب ضخامت لایه در میزان تخلخل بیان می‌شود که همان ضخامت معادل حجم تخلخل‌ها (ev) می‌باشد. با استفاده از این پارامتر، میزان کاهش صدا در dL بر حسب dB(A) در مورد بتن آسفالتی به این صورت بیان می‌شود:

$$dL=0.005 \text{ ev}$$

این نتیجه با تحقیقات مشابه در سوئد تأیید شده است (شکل ۲۰).

نتیجه مطالعه‌ای که به صورت نظری و عملی در نروژ انجام یافت، حاکی از آن بود که در ضخامتهای یکسان، میزان تخلخل، مهمترین عامل محسوب می‌شود. به عنوان مثال، وقتی میزان تخلخل آسفالت متخلخلی با ضخامت ثابت لایه ۵۰ میلیمتر، از ۱۶٪ به ۲۱٪ افزایش می‌یابد، کاهش میزان صدای جریان ترافیک با ۵۰۰ خودرو در هر ساعت، که ۱۰٪ آن را خودروهای سنگین تشکیل داده و سرعت متوسط آنها ۵۰ km/h است، در مورد بتن آسفالتی از ۰/۷ به ۳/۵ dB(A) افزایش پیدا می‌کند.

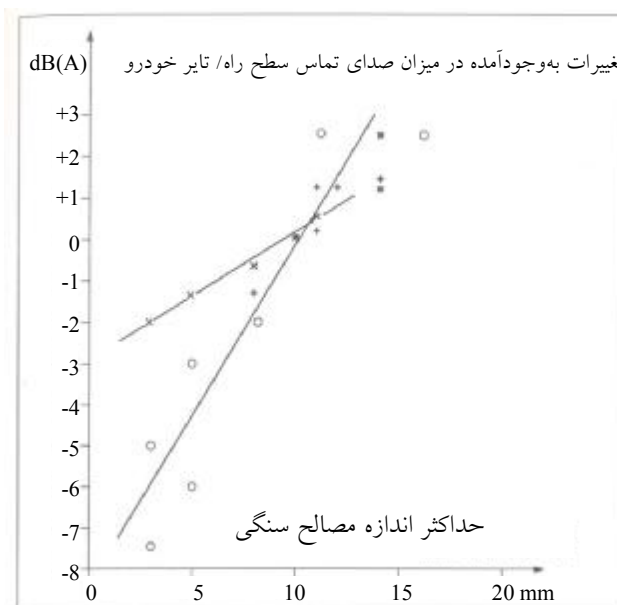
باید این واقعیت را پذیرفت که هر چه به ضخامت و میزان تخلخل لایه افزوده می‌شود، میزان کاهش صدا نیز بیشتر خواهد شد. جدای از دو مطالعه‌ای که در بالا بدان اشاره شد، تا جایی که ما اطلاع داریم، سایر مطالعات روشی ارائه نداده‌اند تا بدان طریق، میزان تأثیر ضخامت لایه یا مقدار تخلخل آن بر کاهش صدا و به صورت مستقل از هر عامل دیگر تعیین شود.



شکل ۲۰- تأثیر ضخامت معادل تخلخلها بر میزان صدای تماس سطح راه/ تأثیر خودرو در آسفالت متخلخل در مقایسه با سطوح آسفالتی متراکم

(B) اندازه‌گیریهای انجام‌یافته در بلژیک

(A) اندازه‌گیریهای انجام‌یافته در سوئد



شکل ۲۱- تغییرات بوجود آمده در میزان صدای حاصل از تماس سطح راه/ تایر خودرو

با حداکثر اندازه مصالح سنگی به کاررفته در آسفالت متخلخل، بر اساس تجارب مختلف

(o) اسپرینگ بورن، تریلر اندازه گیری کننده نوسانات صدا با سرعت ۵۰ کیلومتر در ساعت

(+) استیون، ماشین در دنده خلاص به ترتیب با سرعتهای ۵۰ و ۱۰۰ کیلومتر در ساعت

(*) بومونت، ماشین در دنده خلاص با سرعت ۹۰ کیلومتر در ساعت

تأثیر دانه بندی، موضوع تحقیقات متعددی در آلمان و فرانسه بوده است (شکل ۲۱). مطالعه اسپرینگ بورن مبتنی بر اندازه گیری صدای تایر در حال حرکت (صدای غلتشی) است. تایر مورد استفاده در این مطالعه، تایر شیاردار پیارک بوده و این تایر روی تریلری با طراحی ویژه سوار شده و میکروفونی در محل مجاورت تایر با سطح راه نصب می شود. سرعت مبنا ۵۰ km/h است. با افزایش اندازه مصالح سنگی به حداکثر میزان خود، یعنی از ۳ mm به ۱۶ mm، میزان صدای به دست آمده در هفت مقطع تحت آزمایش، به بیش از ۱۰ dB(A) رسید. این مقدار تغییر، بسیار وسیع تر از نتایج حاصل از سایر مطالعاتی بود که به اندازه گیری میزان صدای تماس راه/ تایر وسیله نقلیه ای پرداخته بودند که با دنده خلاص حرکت می کرد. به عنوان مثال، استیون میزان تغییر صدای حاصل از حرکت اتومبیلی با سرعت مبنای ۵۰ km/h و با حداکثر افزایش اندازه مصالح سنگی از ۳ mm به ۱۱ mm را حدود ۲/۳ dB(A) برآورد کرده و معتقد است با افزایش اندازه مصالح سنگی به ۱۶ mm، میزان تغییر صدا به ۴/۵ dB(A) خواهد رسید. به نظر استیون، تأثیر اندازه مصالح سنگی تحت تأثیر میزان سرعت خودرو افزایش می یابد. در سرعت بین ۵۰ و ۱۰۰ km/h، میزان تغییر صدا حدوداً دو برابر می شود. بسیاری از مقاطع آزمایشی احداث شده در فرانسه و در فاصله زمانی ۱۹۸۷ تا ۱۹۸۹ موضوع مقالات متعددی بوده اند و از زوایای مختلف، به بحث و بررسی تأثیر دانه بندی بر صدای اتومبیل در حالت حرکت پرداخته اند. دِلن و فائور نمونه گسترده ای از مقاطع را در نظر گرفتند که حداکثر اندازه مصالح سنگی آنها از ۶ تا ۲۰ mm متغیر بود. اما نتیجه کار آنها تنها همبستگی ضعیف بین

میزان صدای خارجی و اندازه مصالح سنگی را نشان می‌داد. از سوی دیگر، همبستگی بین میزان صدای داخل اتومبیل و اندازه مصالح سنگی از اهمیت بیشتری برخوردار است. به عبارتی، در صورتی که اندازه مصالح سنگی در محدوده ۶ تا ۱۶ mm ۲۰ تغییر کند، میزان افزایش صدا حدود ۴ dB(A) خواهد بود.

در نهایت باید به این نکته توجه کرد که هیچ نشانه‌ای دال بر اینکه افزودن لاستیک بازیافت شده یا به طور کلی افزودن الاستومرها به قیر، کمک قابل توجهی به کاهش میزان صدا می‌کند، وجود ندارد (شکل ۲۰). با این وجود، افزودن مواد فوق‌الذکر به قیر، موجب انعطاف‌پذیری و عملکرد مناسب آن می‌شود. متقابلاً می‌توان در این مورد گفت که از آن جایی که مواد افزودنی فوق برای افزایش مقاومت مکانیکی و مقدار قیر بیشتر با هم ترکیب می‌شوند، دستیابی به مقدار تخلخل بیشتر جهت عملکرد آکوستیکی مناسب را با مشکل مواجه می‌سازند. اعتقاد بر این است که سایر انواع مواد افزودنی، نظیر انواع مختلف الیافها به لحاظ مکانیکی و بدون تأثیر بر میزان تخلخل، همان مزایا را دارند. لیکن مطالعات انجام‌یافته نتوانسته‌اند نتایج معتبری برای تأیید میزان تأثیر احتمالی این افزودنی‌ها بر عملکرد آکوستیک ارائه دهند.

به طور خلاصه می‌توان گفت برای اطمینان از میزان تأثیر مفید و چشمگیر مواد افزودنی بر عملکرد آکوستیک آسفالت متخلخل (یعنی کاهش صدای ترافیک به میزان ۳dB(A) در مقایسه با سطوح آسفالتی متراکم)، باید حداقل شرایط مطرح‌شده ذیل فراهم باشد. این شرایط، جزیی از مشخصات فنی بلژیک، فرانسه و هلند به شمار می‌روند:

۱. میزان تخلخل: حداقل ۲۰٪

۲. حداکثر اندازه مصالح سنگی: بین ۱۰ تا ۱۶ mm

۳. ضخامت: حداقل ۴۰ mm

۳-۴-۶- بهینه‌سازی آکوستیک

در حالیکه مطالعات آزمایشی ذکرشده در بخشهای قبلی این گزارش، سعی در دستیابی به تأثیر مفید و مناسب آکوستیکی آسفالت متخلخل داشتند، همزمان با این مطالعات، روش علمی‌تری در رابطه با بهینه‌سازی آکوستیکی ارائه شده است که هنوز هم در حال توسعه می‌باشد. این روش به جای تأثیر مفید کلی آکوستیکی، بر جذب مناسب صدا تأکید می‌کند. در این راستا مطالعات انجام‌یافته عمدتاً بر کاربرد آسفالت متخلخل در چارچوب نظریه ارائه‌شده توسط آتن‌بروف و در جهت پیش‌بینی امپدانس آکوستیکی مواد متخلخل، دانه‌ای یا الیافی تأکید داشته‌اند. در بخش بعدی خلاصه‌ای از نتایج نظری پایه ارائه می‌شود. این نتایج با جزییات بیشتر و توسط کارشناسان موضوع، یعنی هامت در فرانسه و فون مایر در هلند نگاشته شده‌اند. ضریب جذب صوت (α) با تابش نرمال لایه‌ای از آسفالت متخلخل که بر روی سطح غیرقابل نفوذ کشیده شده است (یا به عبارت دقیق‌تر، سطحی با امپدانس آکوستیکی نامحدود)، از طریق فرمول ذیل محاسبه می‌شود:

$$\alpha = 1 - \frac{(z - pc)^2}{(z + pc)^2}$$

$$z = pc \frac{\sqrt{k}}{\Omega} \sqrt{1 - i \frac{R\Omega}{2\pi f p k}} \cdot \text{Coth} \left\{ i e \frac{2\pi f \sqrt{k}}{C} \sqrt{1 - i \frac{R\Omega}{2\pi f p k}} \right\}$$

در این فرمول :

$$\sqrt{-1} = i$$

$$P = \text{چگالی هوا}$$

$$C = \text{سرعت انتشار صوت در هوا}$$

$$f = \text{فرکانس صوت}$$

$$e = \text{ضخامت لایه}$$

$$\Omega = \text{تخلخل}$$

$$R = \text{مقاومت جریان هوا}$$

$$k = \text{ضریب شکل}$$

سه پارامتر آخر، خصوصیات فیزیکی ماده هستند که به صورت ذیل تعریف می‌شوند: تخلخل عبارت است از نسبت بین حجم تخلخل‌های متصل به هم (هم به صورت مشترک و مرتبط با سطح بالایی و مرتبط با سطح زیر لایه) و حجم کلی مصالح. R و K در قالب ضرایب مربوط به مقاومت اینرسی به کار رفته و در معادله حرکت اجباری هوا از طریق لایه‌ای از مصالح به صورت ذیل بیان می‌شوند:

$$\frac{k}{\Omega} p \frac{\delta u}{\delta t} + R\mu = -\frac{\delta P}{\delta X}$$

در این رابطه:

$$\mu = \text{حجم هوای عبوری از واحد سطح و یا حجم جریان هوا از لایه}$$

$$P = \text{تفاوت فشار بین دو سطح از لایه}$$

به عنوان نمونه، یکی از مشخصات منحنی ضریب جذب در مقابل فرکانس، وجود یک رشته از رزونانس‌های (تشدیدکننده‌های) فرکانسهایی است که عامل تشکیل تصاعد عددی به شمار می‌آیند (شکل ۱۹). فرکانس‌ها و دامنه‌های نوسان حداکثر و حداقل به خصوصیات فیزیکی فوق‌الذکر و به ضخامت لایه، یعنی چهار پارامتر مربوط می‌شوند. در واقع از لحاظ عملی، این اولین نقطه اوج جذب صداست که تأثیر مفید مصالح را در قالب کاهش صدای ترافیک تعیین می‌کند. جهت بهینه‌سازی خصوصیات لایه به‌کاررفته از این (از نظر تأثیر مفید لایه در کاهش صدای ترافیک)، می‌بایست بعد از دستیابی به حداکثر نقطه جذب صدا، لایه مذکور بیشترین عرض و دامنه نوسان ممکن را داشته و در عین حال، فرکانس آن با فرکانس غالب در طیف صدای مورد نظر تنظیم شده باشد. از لحاظ تئوری می‌توان با اعمال نظر بر مقادیر کمی چهار پارامتر مربوطه (e, Ω, R, K) به این هدف دست یافت. اگر چه با دانش فعلی، تنها می‌توان مقادیر عددی دو پارامتر اول را از پیش تنظیم کرده و با ترکیب مناسبی از مصالح موجود بر اساس قوانین اجرای عملیات مهندسی به آنها دست یافت. دو پارامتر دیگر، تنها بعد از تعیین دو پارامتر اول قابل دستیابی هستند. در واقع برای تعیین پارامتر (R) باید از روش اندازه‌گیری در آزمایشگاه استفاده کرده و برای تعیین پارامتر (k) نیز می‌بایست تئوری منحنی جذب صدا را با منحنی رسم‌شده مطابقت داد. بدین ترتیب، در حال حاضر روابط بین پارامترهایی که از لحاظ آکوستیکی با هم ارتباط دارند و پارامترهای منحنی که در دسترس مهندس راه باشند، به اندازه کافی دقیق نبوده و لذا امکان ارائه روشی منطقی برای طراحی

که از نقطه نظر آکوستیک مناسب باشد، وجود ندارد. با این وجود، کم‌وبیش می‌توان از روشهای تجربی نظیر روش فون مایر استفاده نمود و ترکیب مناسبی از مصالح فرضی را تعیین نموده و به تحقیق پیرامون روابط نظری بین مسأله آکوستیک و خصوصیات فنی ادامه داد.

به علاوه، صرف‌نظر از ارائه معیاری جداگانه جهت تعیین میزان مؤثر بودن مصالح به لحاظ آکوستیکی، شرایط و نیازهای دیگری نیز باید مورد توجه قرار گیرند. به همین دلیل تلاشهایی برای ایجاد و توسعه گزینه‌ها یا مطالبی فراتر از تکنولوژی آسفالت متخلخل انجام یافته است. فون مایر در مطالعات خود به این نتیجه رسید که بهینه‌سازی آکوستیک، بیشتر به آن دسته از مصالح سنگی کوچکی توجه دارد که قابلیت نفوذ را کاهش داده و حساسیت نسبت به انسداد و گرفتگی حفره‌ها در لایه را افزایش می‌دهند. بنابراین، وی سیستمی دولایه‌ای متشکل از دو مخلوط متخلخل با ترکیب متفاوت ارائه داد. در مقوله‌ای دیگر، آزمایشهایی در فرانسه و بر روی سازه‌های متخلخل بسیار ضخیم جهت استفاده در مناطق شهری انجام شده است. هر دو راه حل فوق‌الذکر، راهی برای کاهش صدای ترافیک و مخزنی برای جذب و تخلیه آب حاصل از بارانهای شدید به شمار می‌آیند.

۳-۴-۷- توسعه در طول زمان

تعدادی از گزارشهایی که اخیراً ارائه شده‌اند، شامل نتایج مشاهدات توسعه و پیشرفت عملکرد آکوستیکی آسفالت متخلخل در قطعاتی از راه‌ها می‌باشند که در معرض ترافیک و آب‌وهوا قرار گرفته‌اند. در فرانسه علی‌رغم افت قابل توجه قابلیت نفوذپذیری هجده مقطع آزمایشی (اگر چه میزان این افت هنوز مشخص نشده است)، بعد از گذشت یک سال از انجام سرویس، هیچگونه تغییری در آنها مشاهده نمی‌شود. در آلمان، میزان صدای تماس سطح راه / لاستیک خودرو در مقاطع آزمایشی دستخوش تغییرات قابل توجهی شده بود. اگر چه تغییرات فوق دارای درجات مختلف و با توجه به حداکثر اندازه مصالح سنگی به‌کاررفته در مخلوط بود. میزان صدای تماس راه/ تایر مقاطع آزمایشی فوق، بعد از ۳۴ ماه نگهداری و با استفاده از یدکی مخصوص دانشگاه فنی برلین اندازه‌گیری شد و میزان مذکور برای مصالح سنگی با اندازه ۳، ۵، ۸، ۱۱ و ۱۶ mm به ترتیب $+۳/+۵$ ، $+۱/۵/+۴$ ، $+۲$ ، -۲ و 2 dB(A) بوده است. در واقع، مقاطعی که از ابتدا پرسروصداترین مقاطع بوده‌اند (مصالح سنگی با اندازه بزرگتر)، نسبت به قبل، سروصدای کمتری داشتند، در حالی که مقاطعی با صدای کمتر (مصالح سنگی با اندازه کوچکتر) نسبت به قبل سروصدای بیشتری داشتند.

در انگلیس ۱۵ مقطع آزمایشی به مدت ۴۸ ماه مورد نظارت و مشاهده قرار گرفتند. علی‌رغم متوسط افت نفوذپذیری این مقاطع تا ۱۷٪ نسبت به مقدار نفوذپذیری اولیه، میزان صدای تعیین‌شده بر اساس آمار مربوط به حداکثر صدای تولیدشده از سوی وسایل نقلیه، به طور متوسط در محدوده $\pm 1\text{ dB (A)}$ ثابت باقی مانده بود. در بلژیک، صدای حاصل از تماس سطح راه و لاستیک خودرو به صورت مکرر (توسط ماشین آزمایشی) و بر روی سه مقطع آزمایشی در مدت ۵۲ ماه اندازه‌گیری شد. میزان صدا در دو مقطع با ضخامت لایه ۴ cm به ترتیب $1/۵\text{ dB (A)}$ و ۲ و بر روی مقطعی با لایه‌ای به ضخامت ۲ cm حدود 4 dB(A) افزایش یافته بود.

در سوئد میزان تفاوت در مقدار صدای حاصل از تماس سطح راه/لاستیک خودرو بین دو مقطع مجاور از راه، یک مقطع با بتن آسفالتی و دیگری با آسفالت متخلخل در شهر گوتنبرگ اندازه‌گیری شد و معلوم گردید که میزان صدای مذکور پس از یک سال از $4/8 \text{ dB (A)}$ اولیه به 2 dB (A) و در پایان سال دوم به 0 dB (A) کاهش یافته است. این کاهش سریع خصوصیت آکوستیکی به کاربرد گسترده لاستیکهای دارای گل‌میخ مربوط می‌شود. مشاهداتی که تاکنون انجام یافته‌اند، بسیار کوتاه‌مدت بوده و شرایط آزمایشی و شرایط محیطی آنقدر متفاوت بوده‌اند که نمی‌توان در خصوص عملکرد آکوستیکی آسفالت متخلخل با گذشت زمان به نتایج کلی نهایی دست یافت. با این وجود می‌توان گفت:

(۱) به جز تحت شرایط کاملاً خاص، نظیر ضخامت کم، میزان تخلخل یا اندازه مصالح سنگی، یا ترافیک بسیار مضر (لاستیک دارای گل‌میخ)، انتظار می‌رود بعد از سه تا چهار سال نگهداری از راهها، میزان صدا به ثبات رضایت‌بخشی رسیده باشد. به عبارت دیگر، حداکثر افزایش میزان صدا 2 dB(A) باشد.

(۲) به نظر نمی‌رسد انسداد تدریجی حفره‌ها که خود را در قالب کاهش چشمگیر نفوذپذیری نشان می‌دهد، تأثیر تعیین‌کننده‌ای بر عملکرد آکوستیکی داشته باشد. تأثیر ناچیز انسداد تدریجی بر عملکرد آکوستیکی توسط آزمایش ثابت شده است. در این آزمایش، تخلخل‌های سطح راه به صورت تعمدی مسدود شده و سپس با فشار آب تمیز گردید. در این حالت، تغییرات، نسبتاً ناچیز و به میزان تنها 2 dB(A) بود.

۴- جنبه‌های اقتصادی

جهت پاسخ به سؤال مربوط به هزینه‌های اضافی ساخت لایه روسازی با مخلوط آسفالت متخلخل، تعریف گزینه جایگزین که بتوان کاربرد ویژه مخلوط آسفالت متخلخل را با سایر مخلوطها مقایسه کرد، الزامی است. در واقع، مقایسه هزینه‌های هر واحد خام به ازای هر متر مربع و ضخامت در قالب میلیمتر کافی نخواهد بود. شرایط محلی نیز باید مورد توجه بوده و عملیات رایج برای استفاده و ترکیب لایه‌های مختلف روسازی و البته دوام محصولات به‌دست‌آمده باید مقایسه شوند. این مقایسه شامل مسائل مختلفی است که جنبه کاملاً فنی دارند. با این وجود، در مواردی خاص همچون مخلوطهای آسفالت متخلخل و توجه به مزایای آنها، خصوصیات دیگری نیز باید مورد بحث و بررسی قرار گیرند، حتی اگر امکان تعیین مقدار کمی اهمیت آنها وجود نداشته باشد. این امر در مورد مزایای مربوط به ایمنی راهها و اثرات آن بر محیط زیست (کاهش آلودگی صوتی ناشی از ترافیک راهها) صادق می‌باشد.

ارائه پاسخی جامع و قانع‌کننده به کل موضوع یا به موارد خیلی تخصصی‌تر، نه تنها در مورد این گزارش خاص، بلکه به صورت کلی، اگر غیرممکن نباشد کار بسیار سختی خواهد بود. برای قضاوت جامع و کامل در مورد مخلوطهای آسفالت متخلخل عوامل اقتصادی مختلفی مورد توجه قرار می‌گیرند. فصل چهارم این گزارش به دلایل عملی، به بحث و بررسی مسایل کلانی که در یک قضاوت و بررسی اقتصادی باید به آنها پرداخته شود، نمی‌پردازد. مسایلی که به مزایای مختلف فنی مخلوطهای آسفالت متخلخل، که در قسمتهای قبلی این گزارش بحث شده، اشاره دارند و در این جا از نقطه نظر مزایای اقتصادی مورد توجه قرار می‌گیرند. اگر چه این بدان معنا نیست که اهمیت آنها باید نادیده انگاشته شود.

• مزایای مخلوطهای آسفالت متخلخل در زمینه ایمنی راهها

این مزایا ضرورتاً به دلیل کاهش تعداد تصادفات خواهند بود که از طرفی ناشی از کاهش خطر سرخوردگی روی آب به هنگام بارندگی و از سوی دیگر به علت بهبود شرایط دید برای رانندگی در هوای بارانی است. با این وجود، سؤال در مورد نتیجه معکوس این مزیت که ناشی از افزایش سرعت و در نتیجه دید بهتر است، همچنان بی‌پاسخ می‌ماند.

• مزایای مخلوطهای آسفالت متخلخل در زمینه آلودگی زیست‌محیطی

در سالهای اخیر بسیاری از کشورها بدون توجه به هدف اولیه کاربرد آسفالت متخلخل، یعنی زهکشی سریع و کارآمد آب موجود در سطح راه و لذا کاهش و یا حتی حذف خطر لغزندگی، تصمیم به استفاده از این ماده گرفته‌اند. هدف اولیه کاربرد آسفالت متخلخل، یافتن راه حلی در داخل خود سطح روسازی بود که به کاهش آلودگی صوتی ناشی از ترافیک (خصوصاً صدای ناشی از حرکت چرخ خودرو) نیز مربوط می‌شد. این فصل قصد ندارد پیرامون فرصتی که چنین گزینه‌ای تحت تمام شرایط ممکن در اختیار دارد، بحث کند. در واقع تأثیر مفید چنین انتخابی برای راههای شهری با حداکثر سرعت مجاز 50 km/h ، یعنی مناطقی که صدای موتور خودروها در هر شرایطی به گوش می‌رسد و نیز مناطقی که پتانسیل تمیز شدن تخلخل‌ها و حفره‌های پر شده توسط خود ترافیک به علت کاهش سرعت خودروها به شدت افت پیدا می‌کند، هنوز هم جای سؤال دارد. با این وجود، یقیناً می‌توان موقعیتهایی را ذکر کرد که کاربرد مخلوطهای آسفالت متخلخل

در آنها به کاهش صدای ترافیک مربوط می‌شود. امروزه حتی اگر تعیین میزان کمی این نوع از مزایا به صورت عملی غیر ممکن باشد، باز هم از نقطه نظر تأثیر آنها بر مسائل سیاسی حائز اهمیت هستند.

جهت اطمینان از زهکشی و تخلیه آب جمع شده در داخل لایه‌های آسفالت متخلخل، اقدامات و تمهیدات خاصی باید صورت گیرد و در این رابطه می‌بایست هزینه‌های اضافی این اقدامات و تمهیدات را نیز در نظر گرفت.

استفاده از مخلوط آسفالت متخلخل به صورت عادی مشکلی برای راههای برون‌شهری بوجود نمی‌آورد (یعنی در مناطقی که مخلوطهای آسفالت متخلخل در مجموع به عنوان لایه روکش بر روی سطح موجود کشیده شده و آب نفوذیافته در لایه آسفالت متخلخل می‌تواند به راحتی و بدون هیچ مانعی از کناره‌ها به بیرون جریان پیدا کند) اما به طور کلی در راههای شهری (راههایی که دارای پیاده‌رو هستند) شرایط لازم برای جریان آزاد آب از کناره‌های راه به بیرون وجود نخواهد داشت. بنابراین انجام برآوردهای فنی خاص و پرهزینه بر حسب شرایط و امکانات محلی ضروری به نظر می‌رسد. علاوه بر این، هزینه‌های نهایی ناشی از بهسازی‌های انجام‌یافته را نیز باید مورد توجه قرار داد. بهسازی‌های مذکور در جهت مقاوم‌سازی لایه‌های زیرین (بخصوص در مورد ترک‌ها) و به منظور جلوگیری از نفوذ آب موجود بر روی سطح راه به داخل روسازی انجام می‌یابند.

بنابراین مقایسه هزینه‌های مطرح شده در این فصل، تنها به بررسی هزینه‌های تولید مخلوطهای آسفالتی متخلخل در مقایسه با آسفالت متراکم محدود خواهد شد، زیرا این نوع مخلوطها (با همان ضخامت) در تمام موارد تجدید و نوسازی لایه‌های رویه راه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در موارد خاص، موارد ذیل بررسی شده‌اند:

– هزینه تولید مخلوط در کارکرد طرح اختلاط مصالح (نوع قیر)

– دوام مخلوطهای آسفالت متراکم

اطلاعات مورد نیاز جهت انجام این نوع مقایسه هزینه‌ها از طریق پرسشنامه جمع‌آوری شده است. پرسشنامه مذکور در میان اعضای کمیته‌های فنی پیارک و زیرگروهی که در زمینه مخلوطهای آسفالت متخلخل فعالیت دارند، توزیع شده است. پاسخهای ارائه شده به این پرسشنامه در جدول ۷ آورده شده است.

۴-۱- هزینه‌های تولید

تجزیه و تحلیل پاسخهای ارائه شده به این پرسشنامه نشان می‌دهد که در اکثر کشورهایی که استفاده از مخلوطهای آسفالت متخلخل را شروع کرده‌اند، استفاده از قیرهای اصلاح شده توصیه می‌شود. بنابراین، اولین عامل افزایش قیمت از همان ابتدا مشخص می‌گردد. میزان قیمت‌های ذکر شده در پاسخ به این پرسشنامه نشان می‌دهد که هزینه قیرهای اصلاح شده به طور متوسط دو برابر هزینه قیرهای معمولی است. تنها استثناء موجود، کشور ایتالیا با نسبت قیمت ۷ به ۱ بود. بنابراین مخلوطهای آسفالت تولیدی با قیرهای اصلاح شده ضرورتاً گران‌تر بوده و در مورد مخلوطهای آسفالت متراکم متداول به طور متوسط بین ۳۰ تا ۵۰ درصد و در مورد مخلوط آسفالت متخلخل، کمی بیشتر از این مقدار است (به علت استفاده از مصالح سنگی با کیفیت بالا) که البته از حالتی به حالت دیگر متفاوت خواهد بود. بالاترین قیمت مخلوطهای متخلخل، دو برابر قیمت مخلوطهای متراکم تهیه شده از قیر معمولی است.

۴-۲- دوام آسفالت متخلخل

مقایسه هزینه‌ها بدون توجه به موضوع دوام، مقایسه کاملی نخواهد بود. به نظر می‌رسد ارائه نتایج موثق و معتبر در این مورد خیلی زودهنگام و تا حدی مشکل باشد، زیرا تجارب بدست آمده در این زمینه هنوز هم کافی نبوده و در خصوص یافتن راهی برای تعریف واقعی دوام آسفالت متخلخل، توافق کلی صورت نگرفته است. در واقع، مشاهده عملکرد آسفالت متخلخل در درازمدت یا به لحاظ زمانی کافی نبوده و یا تنها در مورد تولیدات / طرح اختلاط مصالح صورت می‌گرفته است که به لحاظ زمان ساخت و جایگزینی آنها با سایر مخلوطهای آسفالتی با پتانسیل عملکرد بالاتر منسوخ شده‌اند.

جدول ۷- مقایسه هزینه‌های مخلوطها (بر اساس پاسخهای ارائه شده به پرسشنامه)

کشور	قیمت				کاربرد اجباری قیر اصلاح شده برای آسفالت متخلخل
	مقدار قیر اصلاح شده در هر کیلوگرم ^۱	مخلوط متراکم با قیر اصلاح شده ^۲	آسفالت متخلخل با قیر معمولی ^۲	آسفالت متخلخل با قیر اصلاح شده ^۲	
استرالیا	۲/۴	۱/۳	۱/۲	۱/۵	
اتریش	۱/۵ تا ۲/۰	۱/۱	۱/۰	۱/۲ تا ۲/۰	بلی
بلژیک	۲/۳		۱/۲	۱/۵	بلی
فنلاند	۲/۱	۱/۶			خیر
فرانسه	۱/۷ تا ۲/۰	۱/۳ تا ۱/۲	۱/۰	۱/۳ تا ۱/۲	بلی
آلمان	۱/۸ تا ۵/۷	۱/۴ تا ۱/۱	۱/۳ تا ۱/۵	۲/۴ تا ۲۰/۷	
ایتالیا	۷/۱	۱/۵		۲/۰	بلی
ژاپن	۲/۵ تا ۳/۰	۱/۳ تا ۱/۶	۱/۷	۲/۱ تا ۲/۴	خیر
هلند	۱/۷	۱/۳	۱/۰	۱/۲	خیر
نروژ	۲/۳ تا ۲/۷	۱/۳ تا ۱/۷	۱/۰ تا ۱/۲	۱/۳ تا ۱/۶	بلی
سوئیس	۲/۲	۱/۵	۱/۱	۱/۶	خیر
ترکیه	۲/۴ تا ۲/۸	۱/۵			خیر
انگلیس	۳/۲	۳/۰	۲/۰	۳/۳	بلی

۱- نسبت هزینه در مقایسه با قیر معمولی اصلاح نشده

۲- نسبت هزینه در مقایسه با مخلوط متراکم حاوی قیر معمولی

مسئله دوام آسفالت متخلخل را از جنبه‌های متعددی می‌توان بررسی نمود و در این راستا مناسب‌ترین معیارها برای بررسی موضوع، معیارهایی هستند که در هر مورد خاص، منجر به انتخاب آسفالت متخلخل شوند. همان طور که مباحث گسترده در فصلهای قبل و بخش مرور منابع مربوطه نشان می‌دهند، سه جنبه مختلف دوام را می‌توان مورد توجه قرار داد. امروزه اعتقاد بر این است که رفتار و عملکرد مخلوطهای آسفالت متخلخل از نقطه نظر رفتار سازه‌ای و مقاومت مکانیکی، در مجموع با رفتار و عملکرد مخلوطهای آسفالت متراکم سنتی قابل مقایسه می‌باشد. با این وجود، کیفیت و ویژگیهای

خاص این نوع از مصالح که در نهایت منجر به انتخاب آن به لحاظ کاربرد و قبول هزینه‌های بیشتر استفاده از آن می‌شود، در مورد مسأله دوام، نتایجی مشابه دیگر خصوصیات مکانیکی به دست نمی‌دهد. دوام کاهش یافته به لحاظ "تخلیه و زهکشی"، از جنبه‌ای دیگر، خصوصیات مربوطه را تحت تأثیر قرار خواهد داد. لذا از نقطه نظر ایمنی ترافیکی، یعنی کاهش خطر پدیده اسکی روی آب و آلودگیهای جزیی ناشی از پاشش آب ("دوام ایمنی")، نفوذپذیری آسفالت متخلخل باید به مقدار قابل توجهی افت کند تا مزایای آن به تدریج از بین بروند.

در مقابل، در مورد کاهش صدا (دوام کاهش صدا) به نظر می‌رسد که انسداد اولیه نیز بر مقدار پتانسیل کاهش صدا، که می‌توانست ظرف چند سال از بین رفته باشد، تأثیر گذاشته و در این مورد، هزینه کلی مخلوط آسفالت متخلخل را در مقایسه با مخلوط آسفالت سنتی به نسبت ۴ یا ۵ برساند. با این وجود، همان طور که قبلاً ذکر شد، باید یادآوری نمود که بحث پیرامون دوام آسفالت متخلخل ارتباطی به مزایای کاربرد این ماده ندارد.

۳-۴- نتایج

از هزینه‌های مصرفی نمی‌توان برخی از هزینه‌های ایجادشده در خود محل پروژه (تجهیز کارگاه، ساخت و ساز اضافی برای تخلیه جانبی) را تعمیم داد. هزینه‌های مصالح مورد استفاده در آسفالت متخلخل با توجه به کاربرد مرسوم یا حتی اجباری قیر اصلاح شده در بسیاری از کشورها، ۳۰ تا ۱۰۰٪ بیشتر از هزینه مصالح به کاررفته در مخلوطهای سنتی است. دوام کمتر خصوصیت "نفوذپذیری" مصالح می‌تواند منجر به افزایش هزینه تا ۴ یا ۵ برابر مخلوطهای سنتی شود. لذا با توجه به موقعیت و دیدگاه، هزینه‌های افزایش یافته آسفالت متخلخل می‌تواند در محدوده‌ای وسیع و از ۵۰٪ تا ۴۰۰٪ متغیر باشد. هدف مطالعه حاضر، تعیین مقدار کمی مزایای مربوط به کاربرد آسفالت متخلخل که با کاهش میزان تصادف ارتباط دارد و همچنین تعیین مقدار افزایش ظرفیت ترافیکی و مزایای مربوط به محیط زیست (آلودگی صوتی کمتر و عدم نیاز به استفاده از گزینه‌های حفاظت در برابر صدا، نظیر صداگیرها، پنجره‌های مخصوص، غیره) نمی‌باشد. هیچ یک از این مزایا قابل تعمیم نبوده و تعیین مقدار کمی آنها بسیار مشکل است، زیرا تعیین ارزش کمی برخی از مزایا مستلزم استفاده از تخمین‌های زیادی است.

با این حال، هنگامی که تعادل بین هزینه‌ها و مزایا می‌بایست در مورد انتخاب آسفالت متخلخل رعایت شود، مقدار کمی هر یک از مزایای مصالح فوق باید به صورت جداگانه و در بهترین حد ممکن برآورد گردد.

۵- نتایج

۵-۱- نتیجه‌گیری در مورد معیار انتخاب

به نظر می‌رسد مزایای آسفالت متخلخل در رابطه با مسأله ایمنی (یعنی کاهش پدیده اسکی روی آب و حفظ خصوصیات مقاومت لغزشی فوق‌العاده این مصالح در هوای بارانی به صورت دائمی، همچنین عدم وجود پدیده پاشش آب پشت سر خودروها و انعکاس نور) بدون هیچگونه تعصب و غرض پذیرفته شده است. با این حال، با توجه به قدمت نه چندان زیاد آسفالت متخلخل، نمی‌توان تأثیر مفید آن را بر آمار تصادفات محاسبه کرد.

همچنین به نظر می‌رسد تأثیر مطلوب آسفالت متخلخل بر محیط زیست تأیید شده باشد. تأثیر مطلوب آسفالت متخلخل در مقایسه با آسفالت متراکم سنتی، عمدتاً به لحاظ کاهش میزان صدا -3 dB(A) در مقایسه با آسفالت سنتی متراکم و 7 dB(A) در مقایسه با رویه بتنی - و مقاومت غلشی و بهبودهای حاصله در وضعیت رانندگی و ایجاد محیط امن و راحت برای رانندگی است.

لیکن هر مزیتی، معایبی نیز به همراه خود دارد. در مورد آسفالت متخلخل نیز می‌توان به معایبی همچون هزینه‌های تهیه و ساخت، طول عمر و در مجموع، تعمیر و نگهداری اشاره کرد. آسفالت متخلخل به آن دسته از مصالح سنگی نیاز دارد که مقاومت بیشتری در برابر سایش و خردشدگی از خود نشان دهند و همچنین قیرهای به‌کاررفته در این نوع آسفالت، معمولاً با استفاده از الاستومرها اصلاح می‌شوند. بدین ترتیب، هزینه‌های ساخت و تهیه آسفالت متخلخل بیشتر از سایر آسفالت‌ها می‌باشد. علاوه بر این، لایه آسفالت متخلخل جهت تخلیه و زهکشی آب موجود، به لایه زیرین غیرقابل نفوذ و مصالح مخصوص نیاز دارد.

به نظر می‌رسد مسأله اقتصادی دیگری که از جمله معایب آسفالت متخلخل به شمار می‌رود، طول عمر کوتاه‌تر این آسفالت باشد. البته در مورد تعریف موضوع طول عمر این آسفالت، شک و تردید وجود دارد. منظور از طول عمر، مدت زمانی است که طی آن آسفالت واقعاً به صورت متخلخل باقی مانده و حفره‌های به‌هم‌پیوسته و کانالهای داخل این نوع آسفالت از گل و لای و رسوب پر نشده باشد. همچنین منظور از طول عمر آسفالت متخلخل می‌تواند دوره کاربری آن تا وقتی باشد که سطح لایه آسفالت متخلخل، دیگر قادر به انجام وظیفه خود نباشد. بین این دو، نسبت ۱ به ۳ و یا حتی ۱ به ۴ وجود دارد.

هزینه و قابلیت انجام فعالیتهای تعمیر و نگهداری - به خصوص نظافت، تعمیر و نگهداری زمستانی -، موضوع مباحث زیادی بوده است. وجود شک و تردید در این موارد، ارائه یک تحلیل دقیق هزینه - را مشکل می‌سازد.

۵-۲- نتیجه‌گیری از نقطه نظر فنی

۵-۲-۱- مصالح

میزان تخلخل تمام مخلوطهای آسفالت متخلخل بین ۲۰ و ۲۴٪ است. این میزان تخلخل بواسطه استفاده از مقدار زیادی از مصالح درشت‌دانه (بین ۸۳ تا ۸۷ درصد) و در بیشتر اوقات نیز به دلیل فاصله‌های موجود در دانه‌بندی مخلوط بدست می‌آید. به علت وجود مصالح ریزدانه به میزان کم، انسجام بین ذرات، عمدتاً از طریق قیر بوجود می‌آید.

در تهیه آسفالت متخلخل از دو روش استفاده می‌شود: در روش آمریکایی، "لایه اصطکاکی" $2/5$ سانتیمتر ضخامت داشته و مصالح سنگی $10-0$ mm هستند و در روش اروپایی، ضخامت لایه مذکور (که در واقع لایه زهکشی است) 4 سانتیمتر است. اندازه مصالح سنگی به کاررفته در این لایه $10-0$ ، $14-0$ و یا $20-0$ mm است.

در هر حال، مصالح سنگی به کاررفته در تهیه آسفالت متخلخل باید کیفیت بالایی داشته و به علت تنش‌های فوق‌العاده ناشی از تماس مستقیم بین ذرات درشت‌دانه، مقاومت خاصی در برابر صیقلی شدن، خردشدگی و سایش از خود نشان دهند. بدین منظور از آزمایشهای سایش تسریع‌شده، آزمایش لس‌آنجلس و آزمایش میکرو-دوال مرطوب استفاده می‌شود. این آزمایشها احتمالاً با دوره‌های انجماد-ذوب نیز همراه هستند.

در مورد قیر، وضعیت تا حدی پیچیده است. اگر چه عملاً بسیاری از کشورها در ابتدا مخلوطهای آسفالت متخلخل خود را با قیرهای خالص طراحی کردند (عموماً از قیر با درجه نفوذ $80/100$ استفاده کردند)، ولی تعداد قابل توجهی از این کشورها به استفاده دائمی یا تقریباً انحصاری از قیرهای اصلاح‌شده روی آورده‌اند. به طور کلی جهت بهبود قیرها الاستومرهای محدودی به آنها اضافه می‌شود. گاهی اوقات الاستومرهای به کاررفته در قیرها از محصولات بازیافتی (آسفالت لاستیکی) هستند. ظاهر الیاف سخت‌کننده‌ای که عمدتاً برای ممانعت از زهکشی و ته‌نشین شدن قیر در مخلوط به کار می‌روند، می‌توانند موجب ترغیب استفاده مجدد از قیرهای معمولی شوند.

۵-۲-۲- طرح اختلاط

ساختار دانه‌ای کاملاً متمایز آسفالت متخلخل موجب شده است که روشهای سنتی طرح اختلاط مصالح، خصوصاً روش مارشال و آزمایش تنش، به سرعت اعتبار خود را از دست بدهند.

محققان اسپانیایی روش Cantabric را ارائه کرده‌اند که در بسیاری از کشورها مورد تأیید و استفاده قرار گرفته است. این روش آزمایش که یک آزمایش سایش است، در استوانه آزمایش سایش لس‌آنجلس و بدون پر کردن آن با ماده ساینده انجام می‌گیرد.

تعیین حداکثر میزان قیر غالباً از طریق حد مجاز ته‌نشین شدن قیر در مخلوط صورت می‌گیرد که در این خصوص، حداقل از دو روش می‌توان استفاده کرد.

۵-۲-۳- تولید، حمل و پخش

تهیه و ساخت مخلوط آسفالت متخلخل تفاوت چندانی با مخلوطهای قدیمی و سنتی ندارد. با این وجود، کنترل درجه حرارت این نوع مخلوط توجه خاصی می‌طلبد. اگر پلیمرها در کارخانه آسفالت به مخلوط اضافه می‌شوند (همچنانکه در برخی از کشورها شاهد هستیم)، در این صورت می‌بایست تمهیداتی خاص، نظیر آسیاب کلئیدی در نظر گرفته شود.

آب‌وهوا و شرایط جوی، همچنین توجه به درجه حرارت‌های پیشنهادشده از جمله عوامل مهمی هستند که طی مراحل انتقال حمل و پخش آسفالت متخلخل باید مورد توجه قرار گیرند.

از آنجایی که درصد تخلخل‌ها عمدتاً با اندازه ذرات به‌کاررفته در ترکیب مخلوط آسفالتی ارتباط دارد، تراکم آسفالت متخلخل نیز باید به اندازه تراکم آسفالت‌های معمولی کامل باشد. بهتر است برای متراکم نمودن آسفالت متخلخل از غلتک‌های چرخ فولادی یا صاف استفاده شود. در واقع بهتر است از غلتک‌های لرزه‌ای و غلتک‌های چرخ لاستیکی استفاده نشود. علاوه بر این، در ایجاد درزها نیز باید نهایت دقت به عمل آید تا از وجود چسبندگی کامل بین نوارهای مجاور اطمینان حاصل شده و در عین حال، ظرفیت و توانایی زهکشی در سراسر طول و عرض لایه حفظ شده باشد.

۵-۲-۴- خصوصیات اولیه

مهمترین خصوصیت اصلی آسفالت متخلخل در کنار خصوصیتی همچون ترکیب مخلوط و ضخامت، میزان تخلخل این نوع آسفالت است. دامنه تغییرات میزان تخلخل از ۱۸ تا ۲۴٪ است. در میان خصوصیات سطحی آسفالت متخلخل، اولین ویژگی که باید بدان اشاره کرد، مقاومت این نوع سطح در برابر لغزندگی است که با توجه به کیفیت مصالح سنگی به‌کاررفته در تولید آن و بافت درشت قوی آن، می‌توان از این ویژگی مطمئن بود. اگر چه با به کار بردن لایه ضخیمی از قیر که به صورت یک لایه اندود بر روی مصالح سنگی ریخته می‌شود، ویژگی مقاومت لغزشی آسفالت متخلخل کاهش پیدا می‌کند. خصوصیت سطحی دیگر این نوع آسفالت، قابلیت زهکشی است. این ویژگی یا از طریق انجام آزمایش نفوذپذیری بر روی نمونه‌های مغزه‌گیری شده و یا با سنجش جریان خروجی در محل واقعی اجرای پروژه و به شیوه اسپانیایی اندازه‌گیری می‌شود. این روش در کشورهای زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. باید یادآوری نمود که یک‌چهارم تمام تخلخل‌های موجود در مخلوط آسفالت متخلخل، مسدود و غیرقابل دسترسی بوده و لذا از لحاظ قابلیت زهکشی و کاهش میزان صدا هیچ عملکردی از خود نشان نمی‌دهند. هنگام بحث پیرامون تأثیر کاربرد آسفالت متخلخل بر محیط زیست به این موضوع نیز اشاره خواهیم داشت.

۵-۲-۵- ویژگیهای سازه‌ای

هدف از ساخت آسفالت متخلخل، جلوگیری از تجمع و نفوذ آب وارد شده به لایه متخلخل در لایه زیرین می‌باشد. در حقیقت، ساختار آسفالت متخلخل به گونه‌ای است که هر گونه مانع موجود بر سر راه جریان آب را برداشته و موجب زهکشی جانبی آن می‌گردد.

اگر لایه زیرین دارای ترک بوده و یا قابل نفوذ شده باشد، می‌توان با بکارگیری غشایی که شامل لایه ضخیمی از قیر الاستومر بوده و به همراه شن‌ها و خرده‌سنگها بر روی لایه زیرین ریخته می‌شود، آن را کاملاً ضدآب کرد. همچنین غشاء مذکور، موجب توزیع تنش‌ها و ناپیوستگی‌ها می‌شود.

لایه زیرین باید دارای شیب عرضی کافی بوده و عمق هر یک از شیارهای موجود نباید مانع از جریان آزاد گردد. به همین دلیل، لبه‌های سطح رویه در مناطق برون‌شهری نباید به صورت شانه‌های خاکی درست شده باشد. لایه آسفالت متخلخل در شاهراهها تنها روی بخشی از شانه سخت راه کشیده می‌شود. در این حالت نباید فراموش کرد که وجود یک افتادگی لبه به میزان ۴ سانتیمتر می‌تواند برای ترافیک خطرناک باشد.

در مناطق شهری که روسازیها در میان جداول کناری محصور می‌شوند، می‌توان از مصالح مختلفی در این کانالها استفاده کرد تا شرایط لازم برای زهکشی مسیر فراهم آمده و نیاز کاربران راهها و عابرین پیاده برآورده شود. در مورد محل آبروها و نیز جویهای بین لایه‌های آسفالت متخلخل و آسفالت متراکم مطالعات خاصی می‌توان انجام داد. در نهایت باید دقت کافی به عمل آید تا رنگها و مواد مورد استفاده در خط‌کشی راهها وارد تخلخل‌ها و حفره‌های آسفالت متخلخل نشده و لذا مانعی بر سر راه تخلیه و زهکشی ایجاد نکنند.

۵-۳- عملکرد

۵-۳-۱- توسعه و پیشرفت در طول زمان

اسکلت‌بندی و قفل‌ویست مصالح سنگی سبب می‌شود که آسفالت متخلخل در هر شرایطی و حتی زیر سنگین‌ترین بار ترافیکی نیز مقاومت فوق‌العاده‌ای در برابر شیارشدگی داشته باشد. برحسب حجم ترافیک و شرایط زیست محیطی، میزان تخلخل آسفالت متخلخل در یک دوره ۳ تا ۱۰ ساله در مجموع ۵ الی ۱۰٪ کاهش خواهد یافت. دلیل کاهش مقدار تخلخل، تراکم ثانویه لایه آسفالت متخلخل و انسداد تخلخل‌ها بوسیله گل‌ولای می‌باشد. لیکن سهم هر یک از این پدیده‌ها در فرایند کاهش میزان تخلخل قابل ارزیابی نیست. علی‌رغم ضخامت بیشتر لایه نازک قیر در اطراف سنگدانه‌ها، فرایند کهنگی و پیرشدگی قیر در آسفالت متخلخل، حداقل با فرایند مذکور در مخلوطهای معمولی قابل مقایسه است. این فرایند به چرخش جریان هوا و آب در کانالهای زهکشی نسبت داده می‌شود.

بر اساس ترافیک و موقعیت مسیر تردد در مقطع عرضی روسازی، مسأله نفوذپذیری و زهکشی آسفالت متخلخل به شیوه‌ای کاملاً متفاوت مطرح می‌گردد. به طور کلی خطوطی که حجم زیادی از ترافیک را از خود عبور می‌دهند و خصوصاً در مسیرهای حرکت چرخ خودروها، یعنی محلی که فشار تایر و تأثیر مکش به حداکثر میزان خود می‌رسد، زهکشی بهتری نسبت به خطوط کم‌ترافیک، نظیر خطوط سبقت از خود نشان می‌دهند. به همین ترتیب، خطوط کم‌ترافیک نیز زهکشی بهتری نسبت به شانه‌های سخت راه دارند، زیرا ذرات جامد در این شانه‌ها انباشته شده و موجب انسداد آنها می‌شوند. اگر چه آسفالت متخلخل از لحاظ تعداد تخلخل غنی است، اما به نظر می‌رسد عملکرد آن پس از گذشت زمان، کاملاً مشابه عملکرد آسفالت معمولی باشد. با این حال، آسفالت متخلخل جدا از معایب و محدودیتهای خود، ویژگی ارزشمند مقاومت لغزشی را حفظ می‌کند.

از سوی دیگر این سؤال که آیا خصوصیات آکوستیکی آسفالت متخلخل تحت تأثیر ترافیک حفظ می‌شود یا خیر، همچنان بدون پاسخ باقی مانده است. در واقع منبع اصلی ابهام در تعریف طول عمر آسفالت متخلخل این سؤال است که: آیا باید به کارایی خصوصیات آکوستیک و زهکشی آسفالت متخلخل اهمیت بدهیم، یا به دنبال کارکرد سطح راه باشیم؟

۵-۳-۲- تعمیر و نگهداری

با استفاده از جاروب‌ها یا ماشینهای مکش و یا حتی آب پرفشار می‌توان آسفالت متخلخل را (البته به صورت تقریبی) تمیز کرد. البته این تجهیزات نیز باید بهینه‌سازی شوند. تاکنون نتایج حاصل از کارکرد این تجهیزات جهت تمیز کردن آسفالت متخلخل ناامیدکننده بوده و سبب شده است که طرح نظافت دوره‌ای آسفالت متخلخل به اجرا در نیاید.

نگهداری جزئی از آسفالت متخلخل به شیوه‌های سنتی و با استفاده از مواد قیری غیرمتخلخل انجام می‌شود. مواد متخلخل پیش‌ساخته‌ای نیز وجود دارند که با قیر دمیده ترکیب می‌شوند، اما نتایج به دست آمده از این گونه محصولات تاکنون خیلی جامع و قطعی نبوده‌اند.

روش مرسوم در نگهداری اساسی آسفالت متخلخل عبارت است از برداشتن لایه آسفالت متخلخل از طریق تراشیدن آن و جایگزینی آن با یک لایه جدیدتر. لایه‌های آسفالت متراکم و متخلخل با لایه اساس نفوذپذیر یا بدون وجود این لایه روی سطح راه ریخته می‌شوند، لیکن تجارب به‌دست‌آمده در این زمینه خیلی تازه بوده و به لحاظ مقیاس، آنقدر محدود هستند که نمی‌توان به نتایج معتبری دست یافت.

جهت افزایش طول عمر آسفالت متخلخل می‌توان به کمک آب‌بند (امولسیون قیری نازک)، لایه مذکور را مجدداً احیا (جوان) نمود. تجدید عمر آسفالت متخلخل سبب می‌شود که مقاومت لغزشی آن موقتاً کاهش یابد. میزان تأثیر احیای مجدد لایه آسفالت متخلخل تاکنون مشخص نشده است.

جهت نگهداری معقول و منطقی لایه آسفالت متخلخل، ارائه روشی که منحصراً برای این نوع آسفالت کاربرد داشته باشد، ضروری به نظر می‌رسد.

۳-۳-۵- نگهداری زمستانی

جهت نگهداری از آسفالت متخلخل در طول فصل زمستان، بر حسب تجارب محلی، از انواع مختلف مواد شیمیایی یخ‌زدا استفاده می‌شود.

اگر چه نگه داشتن مقدار زیادی از نمک یخ‌زدا بر روی سطح آسفالت متخلخل، کار مشکلی است، اما به دلایل عملی، روش دیگری نیز برای پاشیدن نمک یخ‌زدا استفاده نمی‌شود. در برخی موارد نیز استفاده از نمک به میزان بیشتر گزارش شده است.

به دلیل تفاوت رفتار حرارتی آسفالت متخلخل، مقدار نمک یخ‌زدای پاشیده شده بر روی آسفالت متخلخل باید بیش از سایر انواع روسازیها باشد. آسفالت متخلخل در کاهش ایمنی راهها در طول زمستان نقشی ندارد. توالی مقاطع آسفالت متخلخل و غیر متخلخل در یک راه موجب بروز مشکلاتی در انتقال ناقص نمکهای یخ‌زدا بوسیله ترافیک و از آسفالت متخلخل به آسفالت متراکم می‌شود.

۴-۳-۵- اثرات زیست محیطی

از آن جا که ترافیک راهها یکی از منابع اصلی تولید صداست و نیز از آنجایی که امروزه دیگر صدای ترافیک راهها منشأ مکانیکی نداشته، ولی صدای حاصل از تماس سطح راه / تایر خودرو افزایش یافته است، آسفالت متخلخل می‌تواند با کاهش مستقیم این صدا در منبع تولید خود، راهی مؤثر برای کنترل این نوع از صدا باشد.

به استثنای شرایط خاص، خوشبختانه میزان صدا در آسفالت متخلخل در طول زمان یا ثابت مانده و یا حداکثر به میزان ۲ dB(A) افزایش یافته است. باید یادآوری نمود که انسداد حفره‌های موجود در آسفالت متخلخل نمی‌تواند آسیبی به عملکرد آکوستیکی این نوع آسفالت وارد کند.

۴-۵- جنبه‌های اقتصادی

هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری در زمینه تولید و کاربرد آسفالت متخلخل به وضعیت منطقه‌ای و خصوصیات مصالح انتخابی بستگی دارد. از آن جایی که بسیاری از کشورها نیازمند استفاده از قیر اصلاح شده در آسفالت هستند، قیمت مصالح بکار رفته در این نوع آسفالت از ۳۰ تا ۱۰۰ درصد بیشتر از قیمت مصالح به‌کاررفته در مخلوطهای آسفالت سستی است.

مقایسه هزینه‌ها تنها زمانی کامل خواهد بود که دوام انواع مختلف مخلوطها مورد توجه قرار گیرد که در این صورت، تعاریف ارائه‌شده در این مورد نیز به شکل یکپارچه در خواهند آمد. جهت انجام این مقایسه، مزایای افزایش ایمنی و کاهش آلودگی محیط‌زیست نیز باید به لحاظ کمی مشخص گردد. گزارش حاضر به مسأله هزینه‌ها اشاره‌ای نکرده است.

فهرست انتشارات

عنوان	سال انتشار	قیمت (ریال)
الف) پروژه‌های تحقیقاتی		
۱. کاربرد آب و مصالح محلی چابهار برای ساخت بلوکهای ساختمانی	بهار ۸۳	۱۱/۰۰۰
۲. شیوه‌های طراحی و کاربرد حفاظها و ضربه‌گیرهای ایمنی در راهها	بهار ۸۳	۱۳/۰۰۰
۳. ضوابط طراحی و اجرای روسازی راه‌آهن بدون بالاست	بهار ۸۳	۱۴/۰۰۰
۴. بررسی و مقایسه فنی و اقتصادی رویه‌های بتنی و آسفالتی	بهار ۸۳	۲۷/۰۰۰
۵. بررسی مسائل کمی و کیفی مصرف قیر در راههای کشور	زمستان ۸۳	۱۶/۰۰۰
۶. ضوابط طراحی و اجرای آسفالت ماستیک	بهار ۸۴	۱۱/۰۰۰
۷. راهنمای طراحی و ایمن‌سازی پایه علائم راه	بهار ۸۴	۱۱/۰۰۰
۸. بررسی عوامل مؤثر در ارزیابی و توجیه فنی و اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی پروژه‌های راه و راه‌آهن	تابستان ۸۴	۲۴/۰۰۰
۹. راهنمای طراحی و اجرای سیستم زهکشی آبهای سطحی و زیرسطحی راه، راه‌آهن و فرودگاه (و نقشه‌های اجرایی)	تابستان ۸۴	۲۳/۰۰۰
۱۰. روش‌های جدید طرح مخلوط‌های آسفالتی بر اساس عملکرد و پیشنهاد روش مناسب برای کشور	تابستان ۸۴	۱۳/۰۰۰
۱۱. راهنمای تثبیت لایه‌های خاکریز و روسازی راهها	تابستان ۸۴	۱۸/۰۰۰
۱۲. تسلیح خاکریز و بستر راهها با استفاده از ژئوگرید	تابستان ۸۴	۱۴/۰۰۰
۱۳. سیستم‌های هوشمند حمل و نقل ریلی	پاییز ۸۴	۲۰/۰۰۰
۱۴. ظرفیت باربری محوری شمعها	زمستان ۸۴	۱۷/۰۰۰
۱۵. تثبیت شیب شیروانی خاکریزها و خاکبرداری‌ها	بهار ۸۵	۱۴/۰۰۰
۱۶. روش‌های نوین تعیین مشخصات و ارزیابی روسازی راه	بهار ۸۵	۱۰/۰۰۰
۱۷. روش‌های بازیافت سرد و گرم آسفالت و امکان‌سنجی اقتصادی آن در ایران	بهار ۸۵	۱۵/۰۰۰
۱۸. بررسی و ارائه روش‌های ساماندهی اخذ عوارض در آزادراههای کشور	بهار ۸۵	۲۲/۰۰۰
۱۹. معیارهای طرح مخلوط‌های آسفالتی برای مناطق گرمسیر، سردسیر و شیبهای تند جاده‌ها	بهار ۸۵	۲۰/۰۰۰
۲۰. کاربرد پلیمر در بهبود خواص قیرها و مخلوط‌های آسفالتی	تابستان ۸۵	۱۷/۰۰۰
۲۱. مدیریت پل	پاییز ۸۵	۷۵/۰۰۰

۲۵/۰۰۰	۸۵	زمستان	۲۲. آشنایی با جداسازهای لرزه‌ای و تاثیر آنها بر عملکرد پلها
۲۵/۰۰۰	۸۵	زمستان	۲۳. آب و هوا و ایمنی جاده‌ها

ب) گزارش‌های تخصصی

۱۰/۰۰۰	۸۲	تابستان	۱. ممیزی ایمنی راه
۱۰/۰۰۰	۸۲	پاییز	۲. پیشنهاداتی برای آزمایش ژئوتکستایلها
۱۰/۰۰۰	۸۲	پاییز	۳. راهنمایهای سودمند برای طراحی و ساخت خاکریزهای راه
			۴. روشها و شرایط لازم برای عملیات خاکی به منظور کاهش اثرات زیست محیطی پروژه‌های راه
۱۰/۰۰۰	۸۲	پاییز	۵. آلودگی ناشی از دی اکسید نیتروژن در تونلهای راه
۱۰/۰۰۰	۸۳	بهار	۶. ایمنی در تونلها
۱۰/۰۰۰	۸۳	بهار	۷. مدیریت ترافیک و کیفیت سرویس
۱۰/۰۰۰	۸۳	بهار	۸. بهینه سازی شبکه‌های موجود بین شهری
۱۰/۰۰۰	۸۳	بهار	۹. بیست و دومین همایش جهانی راه پیارک
۱۰/۰۰۰	۸۳	بهار	۱۰. یارانه‌ها هزینه‌ها و منافع اجتماعی حمل و نقل عمومی
۱۰/۰۰۰	۸۳	بهار	۱۱. برنامه‌ریزی و بودجه در شبکه راهها
۱۰/۰۰۰	۸۳	بهار	۱۲. روش‌های مشارکت همگانی در توسعه پروژه راه
۱۱/۰۰۰	۸۳	بهار	۱۳. قیمت‌های بین‌المللی سوخت (بنزین و گازوئیل)
۱۱/۰۰۰	۸۳	بهار	۱۴. سیاست حمل و نقل اروپایی تا سال ۲۰۱۰
۱۰/۰۰۰	۸۳	بهار	۱۵. مبانی تحلیل اقتصادی
۱۰/۰۰۰	۸۳	بهار	۱۶. گزارش سالانه ژوئیه ۲۰۰۳ GRSP
۱۰/۰۰۰	۸۳	بهار	۱۷. راهنمای ممیزی ایمنی راه
۱۰/۰۰۰	۸۳	تابستان	۱۸. راهنمای فیلم‌های IRF
			۱۹. انتخاب مصالح و طراحی روسازی‌های انعطاف‌پذیر برای آمدوشد و شرایط آب و هوایی سخت
۱۶/۰۰۰	۸۳	تابستان	۲۰. راههای دسترسی به مناطق برون شهری
۱۰/۰۰۰	۸۳	تابستان	۲۱. روش‌های ساده نگهداری راه
۱۱/۰۰۰	۸۳	تابستان	۲۲. تجهیزات اتوماتیک بررسی ترک خوردگی روسازی راه
۱۰/۰۰۰	۸۳	پاییز	۲۳. ارتقاء و بهبود عملکرد داخلی راهها
۱۰/۰۰۰	۸۳	پاییز	۲۴. تأمین مالی و ارزیابی اقتصادی

۱۰/۰۰۰	۸۳	پاییز	۲۵. بهبود تأمین منابع مالی و مدیریت نگهداری راه
۱۰/۰۰۰	۸۳	پاییز	۲۶. بازیافت روسازی‌های انعطاف‌پذیر موجود
۱۰/۰۰۰	۸۳	پاییز	۲۷. حمل‌ونقل هوشمند
۱۰/۰۰۰	۸۳	پاییز	۲۸. محیط زیست و پروژه‌های راهسازی
۱۰/۰۰۰	۸۳	پاییز	۲۹. تقسیم مسئولیت برای داشتن جاده‌های ایمن‌تر
۱۰/۰۰۰	۸۳	زمستان	۳۰. فرآیند تصمیم‌گیری در اعمال سیاست‌های پایدار حمل‌ونقل جاده‌ای
۱۰/۰۰۰	۸۳	زمستان	۳۱. کیفیت خدمات جاده‌ای
۱۰/۰۰۰	۸۳	زمستان	۳۲. روش‌هایی برای ارزیابی خطر وقوع زمین لغزه‌ها
۱۰/۰۰۰	۸۳	زمستان	۳۳. روش‌های ارزیابی اقتصادی برای پروژه‌های راه در کشورهای عضو پیارک
۱۰/۰۰۰	۸۳	زمستان	۳۴. راهنمای ارزیابی سیستم‌های نگهدارنده خاک
۱۰/۰۰۰	۸۴	بهار	۳۵. آشنایی با مفاهیم مدیریت روسازی
			۳۶. راهنمای انعقاد قرارداد، نحوه انتخاب و مدیریت مشاوران در فعالیت‌های مهندسی پیش از ساخت
۱۰/۰۰۰	۸۴	بهار	۳۷. تضمین کیفیت در عملیات خاکی
۱۰/۰۰۰	۸۴	بهار	۳۸. رویه‌های بتنی مسلح پیوسته
۱۰/۰۰۰	۸۴	بهار	۳۹. طبقه‌بندی تونل‌ها، دستورالعمل‌ها، تجربیات موجود و پیشنهادات
۱۰/۰۰۰	۸۴	بهار	۴۰. نقش مدل‌های اقتصادی و اجتماعی - اقتصادی در مدیریت راه
۱۰/۰۰۰	۸۴	تابستان	۴۱. حمل‌ونقل ترکیبی، اقداماتی جهت تشویق به استفاده از حمل‌ونقل عمومی
۱۰/۰۰۰	۸۴	تابستان	۴۲. پیشرفت مدیریت و تأمین بودجه نگهداری راه‌ها در آفریقا
۱۱/۰۰۰	۸۴	پاییز	۴۳. برنامه ملی ایمنی ترافیک کشور ترکیه
۱۷/۰۰۰	۸۴	پاییز	۴۴. بررسی توسعه حمل‌ونقل در منطقه اسکاپ در سال ۲۰۰۳، آسیا و اقیانوسیه
۱۰/۰۰۰	۸۴	زمستان	۴۵. تبادل فناوری و توسعه
۱۰/۰۰۰	۸۴	زمستان	۴۶. راه‌های دارای رویه بتنی
۱۰/۰۰۰	۸۴	زمستان	۴۷. تجدید ساختار بخش راه
۱۰/۰۰۰	۸۴	زمستان	۴۸. حمل‌ونقل کالا
۱۰/۰۰۰	۸۴	زمستان	۴۹. گزارش سالانه ژوئن ۲۰۰۴ GRSP
۱۰/۰۰۰	۸۴	زمستان	۵۰. بکارگیری مصالح حاصل از بازیافت رویه‌های آسفالتی و بتن خرد شده در خاکریز
۱۰/۰۰۰	۸۴	زمستان	۵۱. تراکم ترافیک در آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها
۱۰/۰۰۰	۸۴	زمستان	۵۲. کاربرد بتن غلتکی در راهسازی
۱۰/۰۰۰	۸۴	زمستان	۵۳. راهنمای تأمین روشنایی راه‌ها

۱۰/۰۰۰	۸۴	زمستان	۵۴. راهسازی در نواحی بیابانی
۱۰/۰۰۰	۸۵	بهار	۵۵. مدیریت عملکرد پلها
۱۲/۰۰۰	۸۵	بهار	۵۶. سیستم مدیریت ایمنی در صنعت حمل و نقل ریلی
۱۰/۰۰۰	۸۵	بهار	۵۷. راهنمای ممیزی سیستم مدیریت ایمنی هوایی
۱۰/۰۰۰	۸۵	بهار	۵۸. توسعه ابزارهای سنجش عملکرد
۳۰/۰۰۰	۸۵	تابستان	۵۹. نگهداری نواحی کنار راه و زهکشی (جلد اول)
۳۰/۰۰۰	۸۵	تابستان	۶۰. تعمیر و نگهداری راههای شوسه (جلد دوم)
۲۵/۰۰۰	۸۵	تابستان	۶۱. تعمیر و نگهداری راههای دارای رویه آسفالتی (جلد سوم)
۱۵/۰۰۰	۸۵	تابستان	۶۲. نگهداری سازه ها و ادوات کنترل ترافیک (جلد چهارم)
۱۰/۰۰۰	۸۵	تابستان	۶۳. فناوری و اقدامات ابتکاری کنترل ترافیک در اروپا
۱۰/۰۰۰	۸۵	تابستان	۶۴. معرفی سیستم مدیریت ریسک
۱۲/۰۰۰	۸۵	تابستان	۶۵. تعمیر و مقاوم سازی زیرسازه پلها
۲۰/۰۰۰	۸۵	پاییز	۶۶. الگوی مناسب برای بهره برداری و نگهداری تونل های جاده ای
۲۶/۰۰۰	۸۵	پاییز	۶۷. مدیریت ایمنی راه
۱۰/۰۰۰	۸۵	پاییز	۶۸. مطالعه ای بر مدیریت ریسک در راهها
۱۲/۰۰۰	۸۵	پاییز	۶۹. گزارش جهانی در خصوص پیشگیری از صدمات ناشی از تصادفات جاده ای
۱۰/۰۰۰	۸۵	پاییز	۷۰. ارزیابی و تأمین بودجه نگهداری راه در کشورهای عضو پیارک
۱۰/۰۰۰	۸۵	پاییز	۷۱. حفاظت کاتدیک عرشه پلها
۱۰/۰۰۰	۸۵	پاییز	۷۲. روش های بهبود ایمنی در راههای بین شهری
۱۰/۰۰۰	۸۵	زمستان	۷۳. اندودهای آب بندی آسفالت
۱۰/۰۰۰	۸۵	زمستان	۷۴. مخلوط های آسفالتی با مقاومت بالا در برابر شیارشدگی
۱۰/۰۰۰	۸۵	زمستان	۷۵. مروری بر مدیریت دارایی در راهها
۱۰/۰۰۰	۸۵	زمستان	۷۶. مدیریت راه
۱۰/۰۰۰	۸۵	زمستان	۷۷. بزرگراه آسیایی و توسعه
۱۰/۰۰۰	۸۶	بهار	۷۸. راههای با روسازی انعطاف پذیر
۱۰/۰۰۰	۸۶	بهار	۷۹. سیستم های مدیریت سوانح رانندگی مورد استفاده در تونل ها
۱۰/۰۰۰	۸۶	بهار	۸۰. آسفالت متخلخل

ج) کتب

۱۵/۰۰۰	۸۳	تابستان	۱. فرهنگ جامع دریایی
--------	----	---------	----------------------

۳۹/۰۰۰	۸۳	تابستان	۲. برنامه‌ریزی و طراحی فرودگاه (دو جلد)
۱۰/۰۰۰	۸۳	تابستان	۳. فرهنگ و اصطلاحات فنی و مهندسی راه
۱۲۵/۰۰۰	۸۴	پاییز	۴. راهنمای ایمنی راه (پیارک)
۴۰/۰۰۰	۸۴	پاییز	۵. فرهنگ مصور دریایی (همراه با نسخه الکترونیک)

د) ضوابط

۵۰/۰۰۰	۸۴	زمستان	۱. آیین‌نامه نحوه بارگیری، حمل و مهار ایمن بار وسایل نقلیه باربری جاده‌ای
۲۶/۰۰۰	۸۴	زمستان	۲. راهنمای تهیه مشخصات فنی، جزئیات و نقشه‌ها در پل و سازه‌های راه
			۳. دستورالعمل مطالعات و طراحی سیستم‌های ایمنی، روشنایی، تهویه، کنترل و برق تونل‌های جاده‌ای
۲۰/۰۰۰	۸۵	زمستان	۴. دستورالعمل آزمایش‌های استاتیکی شمع‌ها
۲۰/۰۰۰	۸۵	زمستان	۵. دستورالعمل تحویل موقت و قطعی راه‌ها

ه) لوح فشرده

۳۴/۵۰۰	۸۳	پاییز	۱. نشریات Austroads (شامل ۱۸۶ عنوان از نشریات وزارت راه استرالیا و نیوزلند در موضوعات مختلف بصورت فایل pdf)
۳۴/۵۰۰ (قیمت واحد)	۸۳	زمستان	۲. فیلم‌های آموزشی راه IRF (شامل ۱۰۷ فیلم در ۴۲ لوح فشرده)
۳۴/۵۰۰	۸۴	بهار	۳. نشریات SWOV (شامل ۱۳۸ عنوان از نشریات DRI, VTI, SWOV, NCHRP در موضوعات مختلف بصورت فایل pdf)
۴۷/۵۰۰	۸۴	پاییز	۴. آیین‌نامه ایمنی راه‌ها (مجموعه هفت جلدی منتشر شده از سوی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی)
۵۰/۰۰۰	۸۵	پاییز	۵. آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران

Ministry of Roads and Transportation
Deputy of Education Research and Technology

Porous Asphalt



WORLD ROAD ASSOCIATION – PIARC

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

Porous Asphalt

THE BUREAU OF TECHNOLOGY & SAFETY STUDIES

PIARC SECRETARIAT IN IRAN

86/RRRI/228

ISBN: 964-6299-90-3



9 789646 299900