جمهوری اسلامی ایران
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

مستندات و مبانی فنی
دستورالعمل طرح، اجرا و نگهداری
آسفالت متخلخل

نشریه شماره ۲ـ۳۸۴

معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی
امور نظام فنی و اجرایی
nezamfanni.ir

وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
bhrc.ac.ir

۱۳۹۴

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه طرح، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرح‌های عمرانی به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرح‌ها، کیفیت طراحی و اجرا (عمرمفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. نظام فنی و اجرایی کشور به کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری از طرح‌ها را مورد تأکید جدی قرار داده است.

بنا بر مفاد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور موظف به تهیه و ابلاغ ضوابط، مشخصات فنی، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای اجرایی مورد نیاز طرح‌های عمرانی کشور می‌باشد. با توجه به تنوع و گستردگی طرح‌های عمرانی، طی سالهای اخیر سعی شده است در تهیه و تدوین این گونه مدارک علمی از مراکز تحقیقاتی و توان فنی دستگاه‌های اجرایی ذیربط استفاده شود. از این رو ضوابط فنی مربوط به طرح، اجرا و نگهداری آسفالت متخلخل در دو جلد با عنوان‌های «دستورالعمل طرح، اجرا و نگهداری آسفالت متخلخل (ضابطه شماره ۱ـ۳۸۴)» و «مستندات و مبانی فنی دستورالعمل طرح، اجرا و نگهداری آسفالت متخلخل (ضابطه شماره ۲ـ۳۸۴) با همکاری پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری (وقت) و مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و بهره‌مندی از توان علمی و تخصصی جمعی از کارشناسان باتجربه کشور تهیه شده است.

علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردیده، معهذا این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این آیین‌نامه از کارشناسان محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ارسال کنند. کارشناسان سازمان پیشنهادات دریافت شده را بررسی کرده و در صورت نیاز به اصلاح در متن ضابطه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق سایت اینترنتی معاونت برای بهره‌برداری عموم اعلام خواهند کرد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در سمت میانی بالای صفحات نشریه، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ به روزرسانی آن نیز اصلاح خواهد شد. از این‌رو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

omoorepeyman.ir

بدینوسیله معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی از تلاش و جدیت رئیس و کارشناسان امور نظام فنی و اجرایی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ناظرین و مجری محترم پروژه و همچنین از تمام عزیزان متخصص همکار در امر تهیه و نهایی کردن این نشریه تشکر و قدردانی می‌کند و از ایزد منان توفیق روز افزون همه این بزرگواران را آرزومند است.

معاون فنی و توسعه امور زیربنایی

تابستان ۱۳۹۴

omoorepeyman.ir

اعضای تهیه و کنترل

ضابطه شماره ۲ـ۳۸۴ با عنوان "مستندات و مبانی فنی دستورالعمل طرح، اجرا و نگهداری آسفالت متخلخل"

اعضای گروه تدوین

کوروش جایروند	کارشناس ارشد راه و ترابری	مهندسین مشاور فرا رهساز فن
علیرضا خاوندی	دکتری راه و ترابری	دانشگاه زنجان و مهندسین مشاور فرا رهساز فن

اعضای گروه نظارت:

حیدر مطاعی	کارشناس عمران	سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای
محسن ابوطالبی	دکترای راه و ترابری	دانشگاه اراک

اعضای گروه هدایت و راهبری پروژه:

احمد منصوریان	دکترای راه و ترابری	پژوهشکده حمل و نقل
آرمین جراحی	کارشناس ارشد راه و ترابری	پژوهشکده حمل و نقل
علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
طاهر فتح الهی	رئیس گروه امور نظام فنی	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

omoorepeyman.ir

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده‌ی گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هر گونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را بصورت زیر گزارش فرمایید:

۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایراد مورد نظر را بصورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این امور، نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان دانشسرا، ، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی و کشور، امور نظام فنی و اجرایی ـ مرکز تلفن ۳۳۲۷۱
Email: tsb.dta@mporg.ir web: nezamfanni.ir

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فهرست عناوین

عنوان	صفحه
فصل اول- بررسی و مطالعه منابع موجود در خصوص آسفالت متخلخل و ارایه کاربرد، مزایا و معایب استفاده از آن	
1-1- مقدمه	3
1-2- تاریخچه	4
1-2-1- واژه شناسی آسفالت متخلخل	4
1-2-2-ایده و تاریخچه	4
1-3- مزایای آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت سنتی	6
1-3-1- اثرات محیطی (کاهش صدا)	6
1-3-2- موارد ایمنی	7
1-3-2-1- پاشش آب	7
1-3-2-2- انعکاس نور	9
1-3-2-3- پدیده آب لغزی و مقاومت لغزشی	10
1-3-2-4- اثر بر تصادفات ..	10
1-4- معایب آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت‌های متداول	12
1-4-1- هزینه‌های ساخت	12
1-4-2- عمر	12
1-4-3- نگهداری و تعمیرات	13
فصل دوم ــ بررسی تجربه داخلی اجرای آسفالت متخلخل در شمال کشور و تجربیات کشورهای خارجی در زمینه کاربرد، اجرا و نگهداری آسفالت متخلخل (حداقل یک کشور آمریکایی و دو کشور اروپایی(هلند و اسپانیا))	
2-1- بررسی تجربه داخلی اجرای آسفالت متخلخل در شمال کشور	15
2-1-1- اندازه گیری مقاومت لغزشی	17
2-1-2- نفوذپذیری آسفالت متخلخل	17
2-1-3- کاهش آلودگی صوتی	18
2-2- تجربیات کشورهای خارجی	20
2-2-1- بررسی تجربیات کاربرد آسفالت متخلخل در هلند	20
2-2-1-1- پیش شرطهای استفاده از آسفالت متخلخل در هلند	22
2-2-1-2- آزمایشهای انجام شده در هلند	23
الف- خصوصیات سازه ای آسفالت متخلخل	24
ب- استفاده از سیستم دو لایه ای آسفالت متخلخل	27
2-2-2- سابقه کاربرد آسفالت در اسپانیا	29
2-2-2-1- مطالعات و آزمایش‌های انجام شده در اسپانیا با قیر اصلاح شده با پلیمر	30
2-2-3- سابقه کاربرد آسفالت متخلخل در سوئیس	39
2-2-4- سابقه کاربرد آسفالت متخلخل در اتریش	40
2-2-5-سابقه کاربرد آسفالت متخلخل در فرانسه	41
2-2-5-1- آزمایش‌های مرکز تحقیقات اروپایی اکسون در مونت سینت ایگنان	43
2-2-6- آلمان	49
2-2-7- انگلستان	51
2-2-8- ژاپن	51
2-2-9- نیوزیلند	52
2-2-10- سابقه کاربرد آسفالت متخلخل در ایالات متحده امریکا	53

omoorepeyman.ir

2-2-10-1- مطالعه NCAT در باره تجربه آسفالت متخلخل در ایالتهای امریکا 55
2-2-10-2- تجربه ایالت جرجیا 59
2-2-10-3- تجربه کاربرد آسفالت متخلخل در ایالت لویزانا 64
2-11- نگهداری و ترمیم آسفالت متخلخل 68
2-11-1- نگهداری ظرفیت زهکشی 69
2-11-2- تجربیات نگهداری زمستانی آسفالت متخلخل 71
فصل سوم- بررسی روشهای تعیین میزان زهکشی آسفالت متخلخل و ارایه روش مناسب تعیین میزان زهکشی آزمایشگاهی و میدانی آسفالت متخلخل و تعیین متغیرهای مؤثر
3-1- مقدمه 77
3-2- بررسی روش‌های تعیین میزان زهکشی آزمایشگاهی و میدانی آسفالت متخلخل 78
3-2-1- بررسی روش‌های آزمایشگاهی تعیین میزان زهکشی آسفالت متخلخل 78
الف) آزمایش هد افتان 79
ب) تست با هد ثابت 80
3-2-2- بررسی روش‌های میدانی تعیین میزان زهکشی آسفالت متخلخل 83
3-3- عوامل موثر بر زهکشی روسازیهای آسفالتی مختلخل 94
3-3-1- کلیات . 94
3-3-2- اثر مصالح سنگی بر نفوذپذیری روسازی آسفالتی 95
3-3-3- اثر نوع دانه‌بندی بر نفوذپذیری روسازی آسفالتی 96
3-3-4- اثر ضخامت اجرایی بر نفوذپذیری روسازی آسفالتی 97
3-3-5- کاهش ظرفیت زهکشی بعد از اجرای رویه های آسفالت متخلخل 98
3-3-6- اثر بستر بر توانایی زهکشی روسازیهای آسفالتی متخلخل 100
3-3-7- اثر اجرا بر توانایی زهکشی روسازیهای آسفالتی متخلخل 101
3-4- ارائه روش مناسب برای تعیین میزان زه‌کشی آزمایشگاهی و میدانی آسفالت متخلخل 102
3-4-1- کلیات 102
3-4-2- مقایسه میان روشهای آزمایشگاهی تعیین نفوذپذیری 103
3-4-3- مقایسه میان روشهای میدانی تعیین نفوذپذیری 103
3-4-4- ارائه روش مناسب برای تعیین میزان زه‌کشی آزمایشگاهی و میدانی آسفالت متخلخل 106
3-4-4-1- تعیین میزان زه‌کشی آزمایشگاهی در داخل کشور 107
3-4-4-2- تعیین میزان زه‌کشی میدانی در داخل کشور 107
فصل چهارم- تعیین روش مناسب برای تعیین میزان صوت در آسفالت متخلخل و تعیین متغیرهای مؤثر
4-1- بررسی روش‌های تعیین میزان صوت و تجهیزات مورد نیاز 113
4-1-1- اندازه‌گیری میزان صوت ترافیک برای ارزیابی روسازی‌ها 118
4-1-1-1- اندازه‌گیری کنار مسیر 118
4-1-1-2-اندازه‌گیری منشأ (صدای حاصل از تماس چرخ و روسازی) 121
4-2- تعیین متغیرهای موثر بر میزان صوت در آسفالت متخلخل 127
4-2-1- معرفی 127
4-2-2- طبیعت صدای بین روسازی – تایر 128
4-2-3-انتشار صدا از یک منبع 130
4-2-4-اثر ترافیک و وسیله نقلیه روی صدای ترافیک 133
4-2-4- مقایسه سطح صدای آسفالت متخلخل با سایر سطوح 137
4-2-5- عوامل موثر بر جذب صدا در آسفالت متخلخل(درصد فضای خالی، ضخامت لایه و منحنی دانه‌بندی) 141
4-2-6- مقایسه میزان سطح صدا در آسفالت متخلل یک لایه و آسفالت متخلخل دولایه با تغییرات در عوامل موثر بر سطح صدا 143

omoorepeyman.ir

4-2-6-1- آسفالت متخلخل یک لایه 143
4-2-6-2- آسفالت متخلخل دو لایه 144
4-3-ارائه روش مناسب برای تعیین میزان صوت در آسفالت متخلخل 152

فصل پنجم- ارایه روش مناسب برای تعیین مقاومت لغزندگی در آسفالت متخلخل و تعیین متغیرهای مؤثر

5-1- مقدمه 161
5-2- ارزیابی مقاومت لغزشی 162
5-3- مفاهیم پایه مقاومت لغزشی و استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده 166
5-4- روشهای اندازه‌گیری مقاومت لغزشی 168
5-4-1- روش چرخ قفل شده 168
5-4-2- روش پاندول انگلیسی 169
5-4-3- روش لغزش ثابت 170
5-4-4- روش لغزش متغیر 172
5-4-5- روش انحراف از مسیر 172
5-5- بافت روسازی 174
5-6- همبستگی‌های میان اندازه‌گیری‌های لغزش 175
5-7- تغییر مقاومت لغزشی با زمان، ترافیک و آب و هوا 175
5-8- جمع بندی و انتخاب روش اندازه گیری 178

فصل ششم - تعیین نوع قیر، افزودنیهای مناسب، حدود مشخصات مناسب مصالح سنگی و حدود رواداری دانه‌بندی‌های مناسب برای تولید آسفالت متخلخل و تهیه چک لیست‌های لازم

6-1- بررسی قیرهای مورد استفاده در آسفالت متخلخل و تعیین نوع مناسب با توجه به شرایط 183
6-1-1- بررسی قیرهای مورد استفاده در آسفالت متخلخل در کشورهای مختلف 183
6-1-1-1- قیر خالص 183
6-1-1-2- قیر پلیمری 185
6-1-1-2-1- انواع اصلاح‌کننده های پرکاربرد در آسفالت متخلخل 188
6-1-1-2-2- بررسی تجربیات استفاده از قیر اصلاح شده در آسفالت متخلخل 190
6-1-2- پارامترهای مؤثر در انتخاب قیر در آسفالت متخلخل 194
6-1-2-1- جاری شدن قیر 195
6-1-2-2- مقاومت سایشی(آزمایش کانتابرو) 196
6-1-2-3- عریان شدگی 198
6-1-2-5- ترافیک 199
6-1-2-6- دانه‌بندی آسفالت متخلخل 200
6-1-3- آزمایش های عملکردی آسفالت متخلخل 201
6-1-4- تعیین نوع مناسب قیر 202
6-2- بررسی افزودنی‌های (الیاف) مورد استفاده و تأثیر آن بر عملکرد آسفالت متخلخل و تعیین نوع مناسب و مشخصات آن 203
6-2-1- افزودنی‌های الیافی 203
6-2-1-1-1- الیاف سلولزی 205
6-2-3-4- آهک 206
6-2-4- تعیین نوع مناسب افزودنی (الیاف) و مشخصات آن 206
6-3- بررسی مشخصات مصالح سنگی مورد استفاده در آسفالت متخلخل و تعیین حدود مشخصات آن 208
6-3-1- مشخصات مصالح سنگی در اسپانیا 208
6-3-2- مشخصات مصالح سنگی در بریتانیا 209
6-3-3-مشخصات مصالح سنگی در ایتالیا 210
6-3-4-مشخصات سنگدانه‌ها در افریقای جنوبی 210

omoorepeyman.ir

6-3-5- مشخصات سنگدانه‌ها در ایالت جرجیا 210
6-3-6- مشخصات سنگدانه‌ها در ایالت فلوریدا 211
6-3-7- مشخصات سنگدانه‌ها در ایالت تگزاس 211
6-3-8- مشخصات سنگدانه‌ها در NCAT 211
6-3-9- خصوصیات مصالح سنگی مورد استفاده در آسفالت متخلخل در کشور مالزی 211
6-3-10- خصوصیات مصالح سنگی مورد استفاده در آسفالت متخلخل در ایالت کالیفرنیای شمالی 212
6-3-11- مشخصات مصالح سنگی مورد استفاده در آسفالت متخلخل در FHWA 213
6-3-12- خصوصیات مصالح سنگی مصرفی و حدود دانه‌بندی مجاز در مخلوط آسفالتی متخلخل بر اساس کتابچه راهنمای ساختار آسفالت متخلخل برای مدیریت روان‌آب 214
6-3-13- استاندارد UNHSC برای تعیین خصوصیات مصالح سنگی مورد استفاده در آسفالت متخلخل 215
6-3- 13-1- مصالح سنگی درشت‌دانه 215
6-3-13-2- مصالح سنگی ریزدانه 215
6-3-14- مصالح سنگی مصرفی در طرح اختلاط آسفالت متخلخل در کانادا 216
6-3-15- پیشنهاد انتخاب مصالح سنگی مصرفی برای ساخت آسفالت متخلخل 217
6-4- بررسی انواع دانه‌بندی‌های مورد استفاده در آسفالت متخلخل در کشورهای مختلف و تعیین دانه‌بندی‌های مناسب و حدود رواداری آنها با توجه به عملکرد وظیفه‌ای مورد انتظار از آسفالت متخلخل 219
6-4-1- دانه‌بندی های مورد استفاده در آسفالت متخلخل در کشورهای اروپایی 219
6-4-2- دانه‌بندی‌های مورد استفاده در امریکا و سایر کشورها 224
6-4-3- دانه‌بندی آسفالت متخلخل بر اساس استاندارد NAPA، NCAT و UNHSC 227
6-4-4- توصیه FHWA در مورد دانه‌بندی مورد استفاده در مخلوط‌های آسفالت متخلخل 228
6-4-5- توصیه انستیتو آسفالت برای دانه‌بندی آسفالت متخلخل (مرکز تحقیقات و دفتر اجرایی) 230
6-4-6- حدود دانه‌بندی مجاز مخلوط آسفالتی متخلخل بر اساس کتابچه راهنمای ساختار آسفالت متخلخل برای مدیریت روان‌آب 231
6-4-7- دانه‌بندی مورد استفاده برای طرح آسفالت متخلخل مورد استفاده در مالزی 233
6-4-8- نظریه اتحادیه مهندسی بزرگراه ژاپن در مورد دانه‌بندی آسفالت متخلخل 234
6-4-9- معرفی دو نوع دانه‌بندی جدید آسفالت متخلخل مورد استفاده در سوئیس و ژاپن 237
6-4-10- دانه‌بندی مورد استفاده در طرح اختلاط آسفالت متخلخل در کانادا 238
6-4-11- مقایسه دانه‌بندی‌های کشورهای مختلف 239
6-4-12- پیشنهاد انتخاب دانه‌بندی مناسب برای ساخت آسفالت متخلخل 241

فصل هفتم- تعیین روند مناسب طراحی اختلاط آسفالت متخلخل و ارائه چک لیست های لازم

7-1- بررسی روشهای طرح اختلاط آسفالت متخلخل در چند کشور دارای تجربه در این زمینه 247
7-1-1- مروری بر روش‌های طرح اختلاط در ایالتهای آمریکا 250
7-1-1- 1- روش FWHA (1990): 250
7-1-1- 2- روش طرح اختلاط NCAT 251
7-1-2- روش طرح اختلاط هانسون 255
7-1-3- روش طرح اختلاط آسفالت متخلخل در اسپانیا 256
7-1-4- روش طرح اختلاط آسفالت متخلخل در هلند 259
7-1-5- روش طرح اختلاط استرالیا 260
7-1-6- روش طرح اختلاط در بریتانیا 261
7-1-7- روش طرح اختلاط بلژیک 261
7-1-8- مشخصات آسفالت متخلخل در استاندارد اروپا 262
7-1-9- تشریح آزمایش‌های عملکردی 262
7-1-9-1- آزمایش اصلاح شده لوتمن (AASHTO T-283) 263
7-1-9-2- آزمایش کانتابرو 264
7-1-9-3- تعیین خصوصیات جاری شدن قیر در مخلوط آسفالتی نامتراکم- (Draindown) 265

omoorepeyman.ir

2-7- تعیین روند مناسب طراحی اختلاط آسفالت متخلخل و نحوه انجام آزمایشها و ارایه چک لیستهای لازم 267
1-2-7- روند کلی طرح اختلاط 267
2-2-7- انتخاب مصالح 269
1-2-2-7- انتخاب مصالح سنگی 269
1-2-2-7- انتخاب قیر 270
3-2-7- انتخاب دانه‌بندی طرح 271
4-2-7- تعیین درصد قیر و ارزیابی عملکردی مخلوط 272
فصل هشتم- بررسی روش‌های مختلف اجرا و نگهداری آسفالت متخلخل
1-8- بررسی روش اجرا و تأثیر آن بر عملکرد آسفالت متخلخل 277
1-1-8- کلیات اجرای مخلوط آسفالتی متخلخل 277
2-1-8- تراکم مصالح 281
2-8- عوامل مؤثر بر کاهش دوام و عملکرد وظیفه‌ای آسفالت متخلخل و بررسی تأثیر نگهداری بر افزایش عملکرد وظیفه‌ای مورد انتظار 281
1-2-8- دوام 282
1-1-2-8- عمر خدمت‌دهی مخلوط 282
2-1-2-8- عمر قیر 283
2-2-8- خصوصیات وظیفه‌ای 284
1-2-2-8- نفوذپذیری و ظرفیت کاهش صوت 286
3-2-2-8- نفوذپذیری مخلوط‌های آسفالتی متخلخل در آزمایش‌های میدانی و آزمایشگاهی 287
4-2-2-8- ظرفیت سازه‌ای 288
3-8- بررسی روش‌های نگهداری زمستانی و کلی آسفالت متخلخل و تعیین روش مناسب نگهداری 290
1-3-8- نگهداری دوره‌ای 290
2-3-8- نگهداری زمستانی 295
1-2-3-8- ملاحظات عملیات نگهداری زمستانی برای آسفالت متخلخل 296
2-2-3-8- راهکاری ویژه برای عملیات نگهداری زمستانی آسفالت متخلخل 297
3-3-8- نگهداری پیشگیرانه 299
4-3-8- نگهداری اصلاحی 300
5-3-8- ترمیم 300
فصل نهم - عملیات آزمایشگاهی و اجرای فاز میدانی
1-9- بازدید از محورهای شمالی و بررسی امکانات موجود 305
1-1-9- استان گیلان 305
2-1-9- استان مازندران 305
1-2-1-9- معرفی محورهای پیشنهادی در استان مازندران 306
2-2-1-9- جمع بندی 311
2-9- انجام طرح اختلاط 311
1-2-9- انتخاب دانه‌بندی 311
2-2-9- انتخاب الیاف سلولوزی 311
3-2-9- انتخاب قیر 313
4-2-9- انجام آزمایش‌های طرح اختلاط 314
1-4-2-9- آزمایش‌های مربوط به محور ساری- جویبار 314
2-4-2-9- آزمایش‌های مربوط به کمربندی نوشهر – چالوس 317
3-4-2-9- آزمایش‌های مربوط به محور ساری- قائم شهر 320
4-4-2-9- نتیجه گیری 331
3-9- اجرا 331
1-3-9- اقدامات اولیه 331

omoorepeyman.ir

9-3-2- انتخاب موقعیت اجرای لایه آسفالت متخلخل 331
9-3-3- آماده سازی سطح روسازی موجود 331
9-3-4- اجرای لایه اندود سطحی 331
9-3-5- تولید مخلوط آسفالت متخلخل 332
9-3-6- پخش و تراکم 332
9-4- نظارت بر اجرای قطعات آزمایشی متخلخل و انجام آزمایش‌های کنترل کیفیت 341
9-5- انجام آزمایش‌های میدانی 342
9-5-1- آزمایش نفوذپذیری 342
9-5-2- آزمایش صوت 344
9-5-3- آزمایش مقاومت لغزشی 348
9-6 جمع بندی 352
فصل دهم: مقایسه فنی و اقتصادی (هزینه‌های ساخت) آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی
10-1- مقایسه فنی آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی 355
10-1-1- مصالح سنگی 355
10-1-2- دانه بندی مصالح سنگی 355
10-1-3- مشخصات قیرها 358
10-1-4- طرح اختلاط 359
10-2- مقایسه اقتصادی آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی 359
10-2-1- هزینه های ساخت 360
10-2-2- هزینه های تعمیر و نگهداری 361
10-2-3- منفعت آسفالت متخلخل در زمینه ایمنی راهها 362
10-2-4- منفعت آسفالت متخلخل در زمینه زیست محیطی 363
10-2-5- مقایسه اقتصادی اجرای سیستم‌های عایق صوتی و آسفالت متخلخل 364
10-2-5-1- هزینه احداث سیستم عایق صوت در ساختمان 364
10-2-5-2- هزینه ناشی از احداث سیستم دیوار حائل صوتی 365
10-2-5-3- هزینه ناشی از اجرای آسفالت متخلخل 365
10-2-6- تحلیل هزینه - فایده 367
10-2-6-1- دوره بررسی 368
10-2-6-2- فاکتورهای سود و هزینه 368
10-2-7- مقایسه بتن آسفالتی با آسفالت متخلخل 369
10-2-8- نتیجه گیری 372
پیوست 1- روش طرح اختلاط FHWA برای طراحی رویه‌های با دانه‌بندی باز
1- مشخصات مصالح 375
2- داده‌های اولیه 375
3- حجم قیر 376
4- ظرفیت حجمی مصالح سنگی درشت‌دانه 379
5- حجم بهینه مصالح ریزدانه 381
6- درجه حرارت بهینه اختلاط 382
7- مقاومت در مقابل اثر آب 383

omoorepeyman.ir

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل2-1- نحوه جذب و انعکاس صوت در رویه آسفالت متخلخل	19
شکل 2-2- پلان بزرگراه های دارای رویه آسفالت متخلخل در هلند (خطوط آبی) تا سال 2005	21
شکل2-3- درصد بزرگراههای دارای رویه آسفالت متخلخل	23
شکل 2-4- کرنش در عمق لایه رویه آسفالتی در مقایسه با آسفالت متخلخل	24
شکل 2-5- تغییر شکل در آسفالت معمولی و آسفالت متخلخل در آزمایش اثر چرخ	25
شکل2-6- اختلاف حرارتی میان آسفالت معمولی و آسفالت متخلخل در مقایسه با رویه استاندارد	26
شکل2-7- اثر کاهش بر منحنی های طراحی در رویه های آسفالت متخلخل	26
شکل 2-8- آسفالت متخلخل دو لایه در هلند با اندازه مصالح سنگی 6 تا 8 میلیمتر در لایه بالایی	28
شکل2-9- آسفالت متخلخل دو لایه	29
شکل 2-10- مقاومت در برابر تغییر شکل پلاستیک	32
شکل 2-11- اثر نوع قیر در مقاومت کششی	32
شکل 2-12- اثر نوع قیر در ازمایش کانتابرو	34
شکل2-13- اثر قیر بر چسبندگی	34
شکل2-14- تغییر نفوذپذیری با زمان	37
شکل2-15- نسبت افت منافذ	38
شکل2-16- مدول دینامیکی در دمای $40^{\circ}C$	45
شکل 2-17- مدول دینامیکی در دمای $30^{\circ}C$	45
شکل2-18- مدول دینامیکی در دمای $20^{\circ}C$	46
شکل2-19- مدول دینامیکی در دمای $10^{\circ}C$	46
شکل2-20- آزمایش خزش	47
شکل 2-21- زوال در اثر خستگی در برابر تعداد دفعات بارگذاری	47
شکل2-22- چرخه ذوب – انجماد برای نمونه خشک	48
شکل2-23- چرخه ذوب- انجماد برای نمونه اشباع	49
شکل2-24- آسفالت متخلخل در توکیو-ژاپن در جریان بارش باران	52
شکل2-25- نمایی از رویه آسفالت متخلخل در امریکا	54
شکل2-26- مقایسه آسفالت متخلخل آریزونا با آسفالت متخلخل جرجیا	54
شکل2-27- ضریب های نفوذ پذیری OGFC و PEM	55
شکل 2-28- کاربرد آسفالت متخلخل بر حسب طبقه بندی ترافیک	56
شکل2-29- ضریب های نفوذ پذیری OGFC و PEM	64
شکل 2-30- میزان شیار شدگی ناشی از اعمال بار بر روی نمونه های طرح شماره 1	67
شکل 2-31- میزان شیار شدگی ناشی از اعمال بار بر روی نمونه های طرح شماره 2	67
شکل3-1– شماتیک دستگاه نفوذسنج با هد افتان	79
شکل 3-2- شماتیک دستگاه تست هد ثابت	80
شکل3-3– نفوذسنج آزمایشگاهی FDOT	82
شکل3-4- نفوذسنج میدانی NCAT	83
شکل3-5– نفوذسنج میدانی AIP	86
شکل 3-6– گیج فشار دیجیتالی	88
شکل3-7– نحوه اجرای اتصال سیلیکونی	88
شکل3-8- نحوه جایگذاری دستگاه و استقرار حلقه فشاری سیلیکونی	89
شکل3-9- روند قرائت با AIP	90

omoorepeyman.ir

شکل3-10- تصویر شماتیک نفوذ سنج میدانیFWA 92
شکل3-11- رابطه درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی و نفوذپذیری با توجه به حداکثر اندازه اسمی سنگدانه 95
شکل3-12- رابطه بین نفوذپذیری و نسبت ضخامت به اندازه ماکزیمم نسبی سنگ‌دانه‌ها 98
شکل3-13- توزیع تکرارپذیری قرائتهایAIP برای اساس0/75 105
شکل3-14- توزیع تکرارپذیری قرائتهایAIP برای اساس5/. 105
شکل3-15- دستگاه نفوذسنج تولید شده در دانشگاه علم‌وصنعت ایران 107
شکل4-1- منابع تولید صدا در کامیون‌ها 114
شکل4-2- منابع تولید صدا و میزان آنها در اتومبیل ها 115
شکل4-3- برآیند صوت تولیدشده در سرعت‌های ثابت برای خودروی سواری مدل s40، در دنده‌های مختلف 116
شکل 4-4- برآیند صوت تولیدشده در سرعت‌های ثابت و حالت شتاب‌گیری برای کامیون سبک ولوو مدل F12 117
شکل 4-5- اندازه‌گیری‌های کنار مسیر 119
شکل 4-6- تریلر صوت CPX 123
شکل4-7- تریلر صوت NCAT 123
شکل 4-8- نمایش محل قرارگیری میکروفن بر روی تریلر CPX در موسسه NCAT 124
شکل4-9-جانمایی میکروفن‌های اندازه‌گیری شدت صوت بر روی وسیله نقلیه 125
شکل4-10- اثر اضافه شدن منابع نقطه ای بر سطح صدا 130
شکل4-11- اثر فاصله از منابع نقطه ای بر سطح صدا 131
شکل4-12- اثر فاصله از خط ترافیک بر سطح صدا 132
شکل4-13- اثر فاصله و زمین طبیعی بر سطح صدا 133
شکل4-14- اثر سرعت وسیله نقلیه بر سطح صدای ایجاد شده(مقایسه میان سرعت 70 و 90 کیلومتر بر ساعت) 134
شکل4-15- تاثیر انواع وسایل نقلیه سبک، متوسط و سنگین بر روی سطح صدا با سرعت ثابت و به فاصله 10 متر 136
شکل4-16- مقایسه میان سطح صدای انواع روسازیهای مختلف 137
شکل4-17- عملکرد صدای ناشی از رویه های مختلف روسازی 138
شکل4-18- رابطه بافت-نویز 139
شکل4-19- منحنی‌های میزان ارتباط میان طول موج روسازی و فرکانس بر حسب هرتز 141
شکل 4-20- نحوه جذب و انعکاس صوت را در آسفالت متخلخل 142
شکل4-21- مقایسه ضریب جذب صدای رویه آسفالت متخلخل(P)و رویه بتن آسفالتی (d) در فرکانسهای مختلف 142
شکل4-22- مقایسه سطح صدا در مقاطع مختلف در سرعت 80 کیلومتر بر ساعت به فاصله 10 متر 145
شکل4-23- پلان مقاطع مختلف مورد استفاده در تحقیق 147
شکل4-24- آسفالت ضخیم دو لایه‌ای با حفره‌ها و ذرات ریز در لایه بالایی و حفره‌ها و ذرات درشت در لایه پایینی 149
شکل4-25- میزان سطح صدا در چهار قطعه در سالهای مختلف 151
شکل4-26- میزان کاهش صدا در سه قطعه آسفالت متخلخل در سالهای مختلف نسبت به بتن آسفالتی مرجع 152
شکل4-27- مجموعه متداول اندازه‌گیری صوت بروش کنار مسیر در دو فاصله 7/5 و 15 متری از خط وسط مسیر عبور 153
شکل4- 28- مجموعه متداول اندازه‌گیری صوت به‌دو روش CPI و CPX 154
شکل 4-29- روش اندازه‌گیری کنارجاده‌ای 155
شکل4-30- روش اندازه‌گیری صدای حاصل از تماس چرخ و سطح راه 156
شکل 5-1- طرح شماتیک ایجاد آب‌لغزی 163
شکل 5-2- بافت سطحی بر روی بتن 165
شکل 5-3- بافت سطحی بر روی رویه‌های آسفالت سنتی 165
شکل5-4- تجهیزات اندازه گیری مقاومت لغزشی به روش چرخ قفل شده 169
شکل5-5- دستگاه پاندول انگلیسی 170
شکل 5-6 نمایی از دستگاه SCRIM 174

omoorepeyman.ir

شکل 5-7 نمایی از چرخ دستگاه SCRIM 174
شکل 5-8- نمونه ای از تغییر مقاومت لغزشی به واسطه باران 176
شکل 5-9- نمونه ای از تغییر فصلی در مقاومت لغزشی 179
شکل 5-10- نمونه ای از کاهش مقاومت لغزشی در اثر عبور ترافیک 178
شکل 6-1- افزایش خاصیت چسبندگی آسفالت با قیر پلیمری 187
شکل 6-2- فرمول مولکولی مواد تشکیل دهنده SBS 188
شکل 6-3- پلیمر SBS 188
شکل 6-4- اتصال بین سنگ‌دانه‌ها توسط قیر 198
شکل6-5- سنگدانه‌ای با شرایط مناسب برای استفاده در دانه‌بندی مخلوط آسفالتی متخلخل 213
شکل6-6- مصالح سنگی درشت‌دانه و ریزدانه مصرفی در ساخت مخلوط‌های آسفالتی متخلخل 216
شکل6-7- دانه‌بندی مورد استفاده در طرح اختلاط آسفالت متخلخل در هلند با حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی 16 میلیمتر 221
شکل6-8- دانه‌بندی مورد استفاده در طرح اختلاط آسفالت متخلخل در اسپانیا با حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی 12 میلی‌متر 222
شکل6-9- نمودار حدود دانه‌بندی آسفالت متخلخل توصیه‌شده توسط NAPA 228
شکل6-10- نمودار دانه‌بندی پیشنهادی FHWA 229
شکل6-11- نمودار دانه‌بندی پیشنهادی انستیتو آسفالت برای دانه‌بندی آسفالت متخلخل 230
شکل6-12- نمودار حدود دانه‌بندی مجاز مخلوط آسفالتی متخلخل بر اساس کتابچه راهنمای ساختار آسفالت متخلخل برای مدیریت روان‌آب 232
شکل 6-13- نمودار دانه‌بندی مورد تأیید برای آسفالت متخلخل در مالزی 233
شکل6- 14- نمودار حدود دانه‌بندی مجاز مخلوط آسفالتی متخلخل بر اساس نظریه اتحادیه مهندسی بزرگراه ژاپن برای حداکثر اندازه اسمی دانه 13 میلی‌متر و مناطق معتدل 234
شکل6- 15- نمودار حدود دانه‌بندی مجاز مخلوط آسفالتی متخلخل بر اساس نظریه اتحادیه مهندسی بزرگراه ژاپن برای حداکثر اندازه دانه 13 میلی‌متر و مناطق سردسیر 235
شکل6- 16- نمودار حدود دانه‌بندی مجاز مخلوط آسفالتی متخلخل بر اساس نظریه اتحادیه مهندسی بزرگراه ژاپن برای حداکثر اندازه اسمی دانه 19 میلی‌متر 236
شکل6-17- نمودار مقایسه‌ای دو دانه‌بندی متداول و جدید آسفالت متخلخل در ژاپن و سوئیس 237
شکل6-18- دانه‌بندی آسفالت متخلخل مورد استفاده در طرح اختلاط آسفالت متخلخل در کانادا 238
شکل 7-1- روش طرح اختلاط هانسون 256
شکل7-2- نمودار تعیین درصد قیر بهینه 258
شکل8-1- آسفالت ضخیم دو لایه‌ای با حفره‌ها و ذرات ریز در لایه بالایی و حفره‌ها و ذرات درشت در لایه پایین 279
شکل8-2- سیستم زهکشی در آسفالت متخلخل 279
شکل 8-3- آسفالت متخلخل دو لایه‌ای 280
شکل 8-4- یکی از ماشین‌های تمیزکننده در کشورهای اروپایی 293
شکل 8-5- ماشین تمیزکننده در کشور ژاپن 295
شکل 8-6- عملکرد سیستم حرارتی در آسفالت متخلخل 299
شکل 9-1 موقعیت محورهای پیشنهادی در استان مازندران 306
شکل 9-2- کارخانه اسفالت 307
شکل9-3-کمربندی نوشهر – چالوس 308
شکل9-4- کارخانه آسفالت محور کمربندی نوشهر 308
شکل9-5- موقعیت محور ساری- قائم شهر 309
شکل9-6- محور ساری- قائم شهر 310
شکل9-7- کارخانه آسفالت محور ساری-قائم شهر 310
شکل 9-8- ساختار شیمیایی الیاف سلولزی 312
شکل9-9- جذب سطحی قیر روی الیاف 312

omoorepeyman.ir

شکل 9-10- نمودار دانه بندی فیلر 322
شکل9- 11- نمودار دانه بندی ماسه 322
شکل9- 12- نمودار دانه بندی شن درشت 323
شکل9-13- نمودار دانه بندی شن ریز 323
شکل9-14- نمودار دانه بندی شن متوسط 324
شکل 9-15- نمودار دانه بندی مخلوط مصالح سنگی 324
شکل 9-16- نمودار میزان فرونشست قیر به ازای درصدهای مختلف قیر 326
شکل 9-17 سبد انجام آزمایش ریزش قیر 326
شکل 9-18- نمودار افت وزنی نمونه(کانتابرو) به ازای درصدهای مختلف قیر 327
شکل9-19- نمودار میزان نسبت مقاومت کششی به ازای درصدهای مختلف قیر 328
شکل9-20- الیاف سلولزی مورد استفاده در طرح اختلاط 329
شکل 9-21- تراکم نمونه‌ها با چکش مارشال 329
شکل 9-22 نمونه‌های تهیه شده برای انجام آزمایش 330
شکل 9-23 دپوی مصالح سنگی 332
شکل 9-24 مخازن قیر کارخانه آسفالت 333
شکل 9-25 فیلر پودر سنگ آهک 333
شکل9-26 کارخانه آسفالت 334
شکل9-27 اضافه کردن الیاف و فیلر بصورت دستی 334
شکل9-28 اضافه کردن الیاف و فیلر بصورت دستی 335
شکل 9-29 کارخانه آسفالت در حین تولید و بارگیری آسفالت متخلخل 335
شکل 9-30 کارخانه آسفالت در حین تولید و بارگیری آسفالت متخلخل 336
شکل 9-31 اجرای آسفالت متخلخل 336
شکل 9-32 هدایت ترافیک 337
شکل 9-33 ترافیک ایجاد شده در زمان اجرای آسفالت متخلخل 337
شکل 9-34 اجرای آسفالت متخلخل 338
شکل 9-35 استفاده از از غلتکهای چرخ فلزی استاتیکی برای تراکم مخلوط آسفالت متخلخل 339
شکل 9-36 عبور ترافیک عبوری از لاین های اجرا شده 339
شکل 9-37 عبور ترافیک عبوری از لاین های اجرا شده 340
شکل 9-38 هدایت ترافیک و عبور ترافیک عبوری از لاین های اجرا شده 340
شکل 9-39 سطح آسفالت متخلخل پس از اجرا 341
شکل 9-40 آب‌بندی اطراف دستگاه نفوذپذیرسنج برای انجام آزمایش 343
شکل 9-41 زهکش شدن آب از درون آسفالت متخلخل و جاری شدن آن بر روی لایه بیندر 344
شکل 9-42 انجام آزمایش صوت 346
شکل 9-43 انجام آزمایش صوت و میکروفون در کنار راه 346
شکل 9-44 انجام آزمایش صوت و میکروفون در کنار راه 347
شکل 9-45 عبور ترافیک پس از انجام آزمایش صوت 347
شکل 9-46 انجام آزمایش پاندول انگلیسی بر روی آسفالت متخلخل 349
شکل 9-47 انجام آزمایش پاندول انگلیسی بر روی آسفالت متخلخل 350
شکل 9-48 انجام آزمایش پاندول انگلیسی بر روی آسفالت معمولی 350

شکل10-1- حدود دانه‌بندی آسفالت متخلخل در قیاس با آسفالت معمولی 357

omoorepeyman.ir

شکل10-2- مقایسه هزینه‌های اجرای آسفالت متخلخل، عایق نمودن ساختمان و دیوار حایل صوتی در راه‌های مختلف 367
شکل پ1-1- نمودار تعیین ثابت سطح مصالح 378
شکل پ1-2- تعیین درجه حرارت بهینه اختلاط 382

omoorepeyman.ir

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول 1-1- خلاصه هزینه‌های اضافی و سود ناشی از استفاده از آسفالت متخلخل به جای آسفالت معمولی	11
جدول 2-1- دانه بندی مورد استفاده در آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی	16
جدول2-2- مشخصات قیر پایه و قیر پلیمری	16
جدول2-3- مشخصات مخلوط آسفالت متخلخل و معمولی	16
جدول2-4- سطح صدای معادل در سرعت50 km/h با موتور روشن	19
جدول2-5- اندازه گیری های سطح صدای معادل در دو سرعت با موتور خاموش	19
جدول 2-6- مشخصات قیرهای استفاده شده در آزمایش	31
جدول 2-7- اثر درجه حرارت و درصد قیر بر روی مقاومت کششی نهایی	33
جدول 2-8- میزان منافذ و افت در دو نوع مخلوط آسفالت متخلخل در آزمایش سایش کانتابرو	34
جدول 2-9- اثر نوع قیر بر درصد وزن خشک	35
جدول 2-10- مسیر تغییرات نفوذپذیری با زمان	37
جدول 2-11- کارهای جاده‌ای انجام شده	38
جدول 2-12- مشخصات کلی آسفالت متخلخل در سوئیس	39
جدول 2-13- مشخصات قیرهای مورد استفاده در آزمایش	44
جدول 2-14- قیرهای مورد استفاده در آسفالت متخلخل در ایالتهای امریکا[33]	57
جدول 2-15- دانه‌بندی های مورد استفاده در آسفالت متخلخل در ایالتهای امریکا[33]	58
جدول 2-16- دانه‌بندی های مورد استفاده در آسفالت متخلخل در ایالتهای امریکا[33]	59
جدول 2-17- مشخصات مخلوطهای آسفالت متخلخل مورد استفاده[33]	66
جدول 2-18- میزان شیارشدگی بر حسب میلیمتر	67
جدول 2-19- مقایسه درصد فضای خالی براساس اندازه‌گیری به روش آشتو و روش CoreLok	68
جدول 2-20- ضریب نفوذپذیری[33]	68
جدول4-1-حدود اندازه صدای فعالیتهای مختلف بر حسب دسی‌بل	129
جدول4-2- اثر کاهش سرعت در میزان کاهش صدا	135
جدول4-3- تاثیر تغییر حجم ترافیک در کاهش صدا	135
جدول4-4- تفاوت در آلودگی صوتی بین وسایل نقلیه در حال شتاب گیری و وسایل نقلیه با سرعت های ثابت 30 و50 km/h	136
جدول 4- 5- تاثیر عوامل روسازی بر تولید صدا	140
جدول4-6- مقاطع مختلف مورد استفاده در تحقیق	148
جدول4-7- میزان کاهش صدا در قطعات مختلف آسفالت متخلخل نسبت به بتن آسفالت مرجع	150
جدول 6-1- قیرهای مورد استفاده در آسفالت متخلخل در کشورهای مختلف	184
جدول 6-2- تغییر خصوصیات قیر با افزودن پلیمر	190
جدول6-3- تأثیر میزان قیر در جاری شدن قیر در یک نمونه آسفالتی متخلخل	196
جدول6-4- تأثیر نوع و افزودنی‌های مختلف در جاری شدن قیر در آسفالت متخلخل	197
جدول 6-5– تأثیر میزان قیر در از دست دادن مصالح در آزمایش سایشی کانتابرو	197
جدول 6-6- تأثیر ترافیک برانتخاب نوع قیر	199
جدول 6-7- انتخاب قیر برای آسفالت متخلخل در اسپانیا	199
جدول6-8- دانه‌بندی مختلف آسفالت متخلخل	200
جدول6-9- تأثیر نوع دانه‌بندی و مقادیر قیر در دوام مخلوط آسفالتی متخلخل	201
جدول6-10- عمر خستگی مخلوط های آسفالتی متخلخل	201
جدول 6-11- مشخصات الیاف مختلف مورد استفاده در آسفالت	204

omoorepeyman.ir

جدول 6-12- نتایج آزمایش کانتابرو 205
جدول 6-13- مشخصات الیاف سلولزی 207
جدول 6-14- مشخصات الیاف معدنی 207
جدول 6-15- مشخصات سنگدانه‌ها در اسپانیا 209
جدول 6-16- مشخصات سنگدانه‌ها در بریتانیا 209
جدول 6-17- مشخصات سنگدانه‌ها در ایتالیا 210
جدول6-18-مشخصات سنگدانه هادرافریقای جنوبی 210
جدول 6-19- مشخصات سنگدانه‌ها در ایالت جرجیا 210
جدول 6-20- مشخصات سنگدانه‌ها در ایالت فلوریدا 211
جدول 6-21- مشخصات سنگدانه‌ها در ایالت تگزاس 211
جدول 6-22- مشخصات سنگدانه‌ها در NCAT 211
جدول 6-23- حدود رواداری مجاز برای خصوصیات فیزیکی مصالح سنگی 212
جدول 6-24- حدود رواداری برای کنترل کیفیت مصالح سنگی مصرفی در مخلوط آسفالتی متخلخل 214
جدول6-25- خصوصیات مصالح سنگی مصرفی 216
جدول 6-26- مشخصات مصالح سنگی مصرفی در مخلوط‌های آسفالت متخلخل 218
جدول 6-27- دانه‌بندی‌های آسفالت متخلخل مورد استفاده در کشورهای اروپایی 220
جدول 6-28- دانه‌بندی‌های آسفالت متخلخل مورد استفاده در کشورهای اروپایی 223
جدول 6-29- دانه‌بندی‌های مورد استفاده در استرالیا، افریقای جنوبی و امریکا 225
جدول 6-30- دانه‌بندی‌های مورد استفاده در ایالتهای امریکا 226
جدول6-31- حدود دانه‌بندی مورد استفاده در مخلوط آسفالتی متخلخل 227
جدول6-32- حدود دانه‌بندی پیشنهادی FHWA برای مخلوط‌های آسفالتی متخلخل 229
جدول6-33- دانه‌بندی آسفالت متخلخل توصیه‌شده توسط انستیتو آسفالت 230
جدول6-34- حدود دانه‌بندی مجاز جهت تهیه مخلوط آسفالتی متخلخل 231
جدول 6-35- حدود دانه بندی پیشنهادی اتحادیه مهندسی بزرگراه ژاپن 234
جدول 6-36-حدود دانه بندی آسفالت متخلخل توصیه شده 242
جدول1-7- دانه بندی مورد توصیه NCAT 253
جدول7-2-آزمایشهای تعیین حجم قیر بهینه 254
جدول7-3- محدودیتهای آزمایش کانتابرو برای اسپانیا 259
جدول7-4- محدودیت‌های آزمایش کانتابرو برای استرالیا 260
جدول 7-5- مشخصات فیزیکی و مقاومتی مخلوط آسفالت متخلخل در استاندار اروپا 262
جدول 7-6- مشخصات مصالح سنگی مصرفی در مخلوط‌های آسفالت متخلخل 270
جدول 7-7- مشخصات فیزیکی و مقاومتی مخلوط آسفالت متخلخل 274
جدول 8-1 - عمر خدمت‌دهی متداول مخلوط 282
جدول 8-2- نوع لایه روسازی و تأثیر آن در تولید صوت 284
جدول 8-3- عمر وظیفه‌ای متداول 285
جدول 8-4- نوع راه و دوره مؤثر کاهش صوت در آن در مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز 287
جدول 8-5- نتایج آزمایش sweep متناوب روی مخلوط آسفالت متخلخل در دمای 40 درجه سانتی‌گراد. 289
جدول 8-6- مقایسه روش‌های تمیز کردن مخلوط‌های آسفالتی متخلخل 294

جدول9-1- حدود دانه‌بندی آسفالت متخلخل 311
جدول9-2- نتایج آزمایش بر روی قیر منتخب 313
جدول9-3- نتایج آزمایش بر روی قیر منتخب 313

omoorepeyman.ir

جدول 9-4- مشخصات مصالح سنگی مصرفی محور ساری- جویبار در مخلوط آسفالت متخلخل 314
جدول9-5- وزن مخصوص مصالح سنگی محور ساری- جویبار 314
جدول 9-6- تعیین وزن مخصوص نمونه‌های آسفالتی متخلخل قیر خالص برای دانه‌بندی شماره 2 315
جدول 9-7- تعیین وزن مخصوص نمونه‌های آسفالتی متخلخل با قیر پلیمری برای دانه‌بندی شماره 2 316
جدول 9-8- نتایج آزمون کانتابرو برای نمونه‌های آسفالتی متخلخل با دانه‌بندی شماره 2 316
جدول 9-9- نتایج آزمون ریزش قیر برای نمونه‌های آسفالتی متخلخل با دانه‌بندی شماره 2 317
جدول9- 10- نتایج آزمون حساسیت رطوبتی برای نمونه‌های با دانه‌بندی شماره 2 317
جدول 9-11- مشخصات مصالح سنگی مصرفی کمربندی نوشهر- چالوس 318
جدول 9-12 وزن مخصوص مصالح سنگی مصرفی کمربندی نوشهر-چالوس 318
جدول9-13- تعیین وزن مخصوص نمونه‌های آسفالتی متخلخل با دانه‌بندی شماره 1 319
جدول9-14- نتایج آزمون کانتابرو برای نمونه‌های آسفالتی متخلخل با دانه‌بندی شماره 1 320
جدول 9-15- مشخصات مصالح سنگی مصرفی محور ساری- قائم شهر 321
جدول9- 16- وزن مخصوص روی مصالح سنگی محور ساری- قائم شهر 321
جدول9-17- نتایج آزمایش ریزش قیر به ازای درصدهای مختلف قیر و 0/3 درصد الیاف 325
جدول9-18- نتایج آزمایش کانتابرو به ازای درصدهای مختلف قیر و 0/3 درصد الیاف 327
جدول 9-19- نتایج آزمایش لوتمن به ازای درصدهای مختلف قیر و 0/3 درصد الیاف 328
جدول9-20 نتایج آزمایش نفوذپذیری آسفالت متخلخل 343
جدول 9-21 میزان تراز حداکثر صدا روی آسفالت متخلخل 345
جدول 9-22 میزان تراز حداکثر صدا روی آسفالت معمولی 345
جدول 9-23 نتایج آزمایش پاندول انگلیسی بر روی آسفالت متخلخل 348
جدول 9-24 نتایج آزمایش پاندول انگلیسی بر روی آسفالت معمولی 349
جدول 9-25 مقایسه عمق بافت رویه آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی 351
جدول 10-1- مشخصات مصالح سنگی در مخلوط‌های آسفالت متخلخل در قیاس با آسفالت معمولی 356
جدول 10- 2- حدود دانه‌بندی آسفالت متخلخل در قیاس یا آسفالت معمولی 357
جدول 10-3– هزینه ناشی از کاهش فضای داخلی ساختمان به دلیل اجرای دیوار ضخیم‌تر در هر کیلومتر 364
جدول 10-4- هزینه ناشی از اجرای دیوار ضخیم‌تر در هر کیلومتر 364
جدول 10-5- هزینه ناشی از استفاده از پنجره دو جداره 365
جدول 10-6 آنالیز قیمت بتن آسفالتی بر اساس فهرست بهای رشته راه، باند فرودگاه و زیرسازی راه آهن 1388 370
جدول 10-7- آنالیز قیمت آسفالت متخلخل بر اساس فهرست بهای رشته راه، باند فرودگاه و زیرسازی راه آهن 1388 371

omoorepeyman.ir

فصل1

بررسی و مطالعه منابع موجود در خصوص آسفالت متخلخل و ارایه کاربرد، مزایا و معایب استفاده از آن

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

1- بررسی و مطالعه منابع موجود در خصوص آسفالت متخلخل و ارایه کاربرد، مزایا و معایب استفاده از آن

1-1- مقدمه

به‌طور کلی تمام آسفالت‌های رایج (سرد و گرم) با دانه‌بندی توپر دارای سطحی صاف و تقریباً غیرقابل نفوذ می‌باشند که این صاف بودن و غیرقابل نفوذ بودن در هنگام بارندگی موجب کاهش ایمنی وسایل نقلیه می‌شود. به هنگام باران به علت کندی زهکشی آب سطحی در رویه‌های آسفالتی رایج (که از عرض رویه صورت می‌گیرد) پدیده پاشش بوسیله تایر وسایل نقلیه حتی از یک لایه نسبتاً نازک از آب بر روی رویه جاده ایجاد می‌شود که این پدیده مشکلات ذیل را بوجود می‌آورد :

الف- کاهش دید حرکت

ب- پدیده آب لغزی که مفهوم آن تشکیل لایه‌ای از آب بین لاستیک و جاده است، باعث قطع ارتباط بین آنها می‌گردد و در این حالت مقاومت لغزشی کاهش پیدا کرده و کنترل وسیله نقلیه مشکل می‌گردد.

ج- مشکل دیگری که در هنگام بارندگی در رویه‌های متداول اتفاق می‌افتد انعکاس نور از رویه جاده می‌باشد که مانع دید و موجب بروز حادثه می‌گردد.

عوامل یاد شده موجب شد که محققین به سمت استفاده از آسفالت متخلخل که کاربرد اولیه آن کاهش آب باران موجود از روی رویه‌های فرودگاه‌ها بود، گرایش پیدا کنند که اکنون به عنوان لایه رویه در روسازی راهها استفاده می‌شود.

آسفالت متخلخل یکی از رویه‌های آسفالتی نو است که از دهه 1980 میلادی مورد استفاده وسیع قرار گرفته است.

آسفالت متخلخل، عبارت است از یک مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی گسسته که پس از تراکم دارای درصد فضای خالی زیاد (تقریباً بیشتر از20٪) می‌شود. این درصد زیاد فضای خالی، شبکه‌ای از مجاری را در جسم مخلوط پدید می‌آورد که هم بمنزله مخزنی برای جذب مقدار زیاد آب، برف و باران و هم بعنوان لایه زهکشی برای تخلیه آب به سمت شانه‌های راه، عمل می‌کند.

مزیت اصلی استفاده از این مخلوط تخلیه سریع آب از رویه جاده، کاهش آب لغزی و افزایش ایمنی وسایل نقلیه است. با زهکشی آب از میان منافذ مخلوط آسفالتی به جای عرض رویه، ضریب اصطکاک بین تایر وسیله نقلیه و رویه

omoorepeyman.ir

درحد مطلوب حفظ خواهد شد. همچنین مخلوطهای آسفالتی متخلخل Splash و پاشش را کاهش می‌دهند و قابلیت دید در شب و رویت نوار ترافیکی تفکیک خطوط را بهبود می بخشند که همه این عوامل در افزایش ایمنی موثر است.

1-2- تاریخچه

1-2-1- واژه شناسی آسفالت متخلخل

در بریتانیا آسفالت متخلخل در ابتدا به نام لایه اصطکاکی با دانه‌بندی باز (Open Graded Friction Course Asphalt) شناخته می‌شد، سپس به عبارت Pervious Macadam و خلاصه در سال 1992 به عبارت Porous Asphalt معروف گردید.

که طرح واژه‌شناسی CEN برای مصالح بزرگراه‌ها نیز این عبارت را انتخاب کرده است [2]. آسفالت متخلخل در کشورهای مختلف اسامی مختلفی دارد که برخی از آنها عبارتند از:

Drain Asphalt در فرانسه [2]، Fluster Asphalt (Whispering Asphalt) در آلمان [2] و Pop-Corn Mix یا Rice-Bubble و یا Plant-Mix Seal [5] و Open Graded Friction Course در آمریکا [2].

ولی به طور کلی در اروپا غالباً از عبارت‌های Pervious Asphalt، Porous Asphalt و Porous Friction Course برای واژه آسفالت متخلخل استفاده می‌شود [2].

بعضی مهندسین بین رویه‌های متخلخل (Porous Surfacings) و مخلوطهای با دانه‌بندی باز (Open-Graded mix) بر حسب اهداف شکل‌گیری آنها برای کاهش پاشش و اهداف بعدی برای داشتن قیر کافی به منظور پوشش و چسبندگی بین مصالح سنگی تفاوت قایل شده‌اند [2].

1-2-2- ایده و تاریخچه

ایده اصلی برای استفاده از آسفالت متخلخل به منظور کاهش مؤثر مقدار آب باران موجود بر روی لایه‌های روسازی فرودگاه‌ها بوده است که به تبع آن آب لغزی و لغزش هواپیما کاهش می‌یافت. برای رسیدن به این هدف بایستی مقدار فضای خالی بین مصالح سنگی در لایه رویه زیاد می‌بود. شرط استفاده از آن این بوده است که از یک لایه قیر غیرقابل نفوذ به منظور محافظت از بقیه روسازی و زیرسازی از اثرات تخریبی نفوذ آب در زیر لایه آسفالت متخلخل استفاده شود.

omoorepeyman.ir

اداره هوایی بریتانیا در اواسط دهه 1950 یک ماکادام با ماکزیمم اندازه 10mm با دانه‌بندی باز که فضای خالی آن بعد از اجرا حدود 20٪ بوده را مورد استفاده قرار داد که مشخص شد این اقدام خیلی نتیجه‌بخش می‌باشد [2]. هنگامی که آسفالت متخلخل به منظور این هدف ساخته شد هنوز به عنوان لایه اصطکاکی فرودگاه (Airfield Friction Course) شناخته می‌شد. به دنبال این اقدام تحقیقاتی به وسیله آزمایشگاه تحقیق جاده ای بریتانیا برای سازگار کردن این مصالح به منظور استفاده از آن در بزرگراه‌ها انجام شد. ملاحظه شد که مسدود شدن فضای خالی مشکل بزرگی در بزرگراهها نسبت به فرودگاه‌ها خواهد بود و در نتیجه یک تغییر عمده در این اقدام، پذیرش دانه‌بندی 0-20mm بر اساس فرضیاتی بود که فضای خالی بیشتری نسبت به مصالح با بزرگترین اندازه 10mm ارایه می‌داد و به تبع آن منافذ برای مدت طولانی‌تری باز می‌ماند. اما اولین آزمایش‌های جاده‌ای، بر روی جاده فرعی (Jacobs, 1983)، به طور کامل موفقیت آمیز نبود. به طوری که آسفالت متخلخل در محل بعد از چند سال کارایی خود (نفوذپذیری) را از دست داد، با وجود این سازه آن برای 15 سال دست نخورده باقی ماند. دلایل این امر به طور کامل روشن نبود، اما آن را با مقدار نسبتاً زیاد مصالح ریزدانه در ناپایدار کردن اسکلت مصالح سنگی درشت و نیز حجم ترافیک خیلی کم جاده در آن زمان مرتبط کرده بودند [2].

در سال‌های دهه 1980 آگاهی از مزایای بالقوه آسفالت متخلخل افزایش یافت، آزمایش‌های جاده‌ای مهمی در بیشتر کشورهای اروپایی انجام شد و مشخصات استانداردی را برای مصالح و طرح اختلاط ارایه دادند که در برخی موارد این مشخصات مورد بازنگری قرار گرفته است.

از عوامل اصلی کاربرد آسفالت متخلخل علاوه بر بهبود ایمنی در رویه های خیس، ایجاد سطحی صاف، ایمن و بی سر و صدا در مسیر حرکت وسایل نقلیه است. متعارف ترین موارد کاربرد رویه ها در سواره روهای عریض عبارتند از آزادراهها، بزرگراهها و محوطه فرودگاهها

از کاربردهای خاص آن به استفاده از آن در نقاط گود نیمرخ طولی راهها در مناطق تپه ماهوری و در محلهای جمع شدن آب و راکد ماندن آب بویژه در تغییر دور و نیز در تونلهایی که سفره آب زیر زمینی بالاتر از کف تونل واقع شده است و تراوش آب از کف تونل موجب خرابی لایه آسفالت و جمع شدن آب در تونل می گردد، می توان اشاره کرد.

omoorepeyman.ir

1-3- مزایای آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت سنتی

مزایای آسفالت متخلخل در دو بخش محیطی و ایمنی قابل بحث هستند، که در ادامه به بیان آنها پرداخته می‌شود.

1-3-1- اثرات محیطی (کاهش صدا)

یکی از مزایای آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت معمولی کاهش صدا می‌باشد که به طور متوسط در حدود 3db می‌باشد [4].

ناهنجاری‌های صوتی ناشی از ترافیک به اصواتی گفته می‌شوند که منبع تولید آنها وسایل نقلیه موتوری سبک و سنگین استفاده کننده از راهها می‌باشند که خود شامل دو بخش اصوات تولید شده از قوای محرکه خودرو نظیر صدای موتور و تمامی متعلقات آن، سیستم خروج گاز (اگزوز) و دستگاه انتقال قدرت و اصوات تولید شده از تماس چرخ و سطح راه می‌باشند. لذا ناهنجاری‌های صوتی ناشی از ترافیک به‌عنوان آلاینده‌های محیطی شناخته می‌شوند. در سرتاسر جهان صدای ایجاد شده توسط سیستم‌های حمل و نقلی بیشترین نقش را در آلودگیهای صوتی دارد که در این میان آلودگی صوتی بزرگراه‌ها نقش برجسته‌ای دارد و لذا محققان بدنبال راه‌حل‌های کاهش صدای تولید شده بوده‌اند. یکی از اقدامات صورت گرفته نصب موانع صدا می‌باشد، اما موانع صدا معمولاً بدترکیب، خطرناک و بسیار گران هستند و به‌همین دلیل سمت و سوی تحقیقات به طرف اصلاح نوع روسازی و یا بافت آن کشیده شد.

میزان صدا در راه‌های با روکش بتنی بین 5 تا 7 دسی بل بیشتر از راه‌های با آسفالت معمولی است. هنگامی که منازل مسکونی یا مجموعه‌ای تفریحی در اطراف راه قرار دارند، خصوصیت تقلیل صدای آسفالت متخلخل از اهمیت بیشتری برخوردار می‌گردد. در هلند و بلژیک این خصوصیات (کاهش صدا) عامل مهمی در استفاده از آسفالت متخلخل در سال‌های اخیر بوده است و همین امر موجب کاهش استفاده از بتن علی‌رغم نقاط قوت زیاد بخصوص مسئله نگهداری و عمر گردیده است.

کاهش صدا متشکل از دو جزء می‌باشد. یکی صدای ناشی از غلطش چرخ‌ها کاهش پیدا می‌کند و دیگر اینکه صداهایی که از موتور اتومبیل به طرف پائین منتشر می‌شود نیز تا حدودی جذب می‌شوند و مانع از انعکاس آن می‌شوند [4].

omoorepeyman.ir

دلیل عمده پذیرش استفاده از آسفالت متخلخل در هلند وجود قانونی است که به موجب آن مسئولین راه مجبورند در نواحی مسکونی در صورتی که میزان صدا از حد معین قانونی بالاتر باشد، نسبت به نصب موانع صدا اقدام نمایند. موانع صدا معمولاً دارای ظاهر نازیبا و ناهنجار، خطرناک و بسیار گران هستند. خصوصیات کاهش صدای آسفالت متخلخل به متولیان راهها در چند کشور این اجازه را داد که از موانع صدا احتراز کنند.

1-3-2- موارد ایمنی

1-2-3-1- پاشش آب

چرخ‌های غلتان آب را از حوضچه‌های کوچک روی سطح به بالا پرتاب می‌کنند (شتک) بعلاوه آنها آب سطحی را به صورت پودر در می آورند (پاشش).

از نظر فیزیکی پاشش و شتک دو پدیده کاملاً متفاوت هستند، ولی در عمل می‌توان آنها را با هم مورد بحث قرار داد، بخصوص از آنجا که آنها معمولاً با هم اتفاق می‌افتند. قطرات ریز آب در فضا مانند باران یا مه دید را کم می کنند. در این مورد کاهش دید بسیار شدیدتر از مه واقعی است و اندازه قطرات آب ناشی از شتک و پاشش از اندازه قطرات مه بزرگتر و همچنین تراکم آنها نیز بیشتر است[3].

مقدار قابل توجهی از پاشش می‌تواند به وسیله تایر وسایل نقلیه حتی از لایه نسبتاً نازک از آب بر روی رویه جاده تولید شود. زهکشی سطحی از رویه‌های غیرقابل نفوذ مرسوم همچنین برای جلوگیری از تولید پاشش به کندی کار می‌کند [3].

به وضوح مشخص شده است (Nichlolls and Daines, 1992) که مقدار پاشش تولید شده به طور مستقیم مرتبط با سرعت وسیله نقلیه می‌باشد. این اندازه‌گیری به وسیله ارزیابی‌های عکسبرداری و موضوعی تکمیل شده‌اند (Daines, 1992) و نتیجه گرفتند که در سرعت 50Km/h (30mph) پاشش می‌نیمم است، اما در سرعت 110Km/h (70mph) وسیله نقلیه جلویی در میان پاشش آب محو می‌شود. به تجربه ثابت شده است که پاشش مسئله جدی سرعت‌های بالای 80Km/h می‌باشد، بنابراین مشکل پاشش بیشتر در رویه جاده‌های با سرعت بالا (راههای برون شهری) مطرح بوده و برای معابر شهری که ترافیک با سرعت کمتری در آنها جریان دارد، زیاد مطرح نمی‌باشد[3].

omoorepeyman.ir

یک لایه رویه آسفالت متخلخل به ضخامت 50mm دارای مقدار منافذ بالای 20٪، ظرفیت جذب بالای 11/5mm باران را اگر به طور آنی ریزش کند، دارا می باشد. در حقیقت، این وضعیت، در شرایط بارانی خیلی شدید اتفاق خواهد افتاد. همچنین زهکشی آب باران همزمان با تشکیل فیلم‌های پیوسته آب نزدیک رویه آسفالت متخلخل شروع می‌شود. در نهایت، یک لایه رویه آسفالت متخلخل برای جلوگیری از شکل‌گیری آب بر روی لایه رویه برای مدت قابل توجهی و کاهش خیلی زیادی در مدت زمان پاشش این پریود قادر است[6].

فرض اینکه گرفتگی منافذ آسفالت متخلخل با مصالح آواری خاصیت کاهش پاشش را بدون اثر خواهد کرد، معقول می‌باشد، با این وجود، مشاهده شده است (Daines, 1992) که آسفالت متخلخل به طور کامل مسدود شده با قابلیت انتقال هیدرولیکی پائین، کمتر از لایه رویه رولد آسفالت معمولی پاشش تولید می‌کند. دلایل زیادی برای این مشاهدات وجود دارد، با وجود این حتی هنگامی که مقدار منافذ پائین است، ممکن است که لایه آسفالت متخلخل نفوذپذیر باقی بماند، به طوری که امکان عبور مقدار زیادی آب از داخل منافذ آن وجود داشته، و بدین وسیله آب موجود بر روی رویه و مقدار پاشش را کاهش دهد. به نظر می‌رسد در موارد زیر قابلیت انتقال هیدرولیکی پیش‌بینی شده ضعیف‌تر از تولید پاشش است. یافته‌های آزمایش TRL بر روی A38 (Daines, 1992) این نظریه را تقویت می‌کند که:

- آسفالت متخلخل قابلیت انتقال هیدرولیکی پائین دارد، اما در کاهش پاشش در سرعت‌های نزدیک به 90Km/h مؤثر است.
- این معادله (S = 270 Hc + 25 SP) نشان می‌دهد که هنگامی که قابلیت انتقال هیدرولیکی به صفر سقوط می‌کند و عمق بافت هنوز 2mm باقی مانده است، در آن زمان مقدار پاشش آب باران بر روی رویه آسفالت متخلخل نسبت به رولد آسفالت گرم 50% کمتر می‌باشد [3].

$$S = 270\ Hc + 25\ SP$$

که در آن:

S : نسبت کاهش پاشش به رولد آسفالت

$Hc = \left(S^{-1}\right)$: قابلیت هدایت هیدرولیکی نسبی

$Sp = (mm)\ Sand - Patch$: عمق بافت

omoorepeyman.ir

1-3-2-2- انعکاس نور

استفاده کنندگان از وسایل نقلیه موتوری باید به راه پیش خود توجه کنند. در سرعت‌های نرمال راه باید از فاصله قابل توجه رؤیت شود (حدود 50 تا 100 متر جلوتر از وسیله نقلیه). از آنجائی که ارتفاع چشم انسان درون اتومبیل حدود 1/2m بالاتر از سطح جاده است، بنابراین راننده وسیله نقلیه، جاده را با زاویه حدود 1 درجه یا کمتر می‌نگرد. تحت چنین زاویه‌های بیشتر سطوح، نور را به شدت منعکس می‌کنند و وقتی که سطح صاف باشد معمولاً به صورت آینه به نظر می‌رسد. این حالتی است که در مورد سطوح پوشیده با آب حادث می‌شود، آب حاصل از یک باران کوچک روی سطح آسفالت سنتی باعث به وجود آمدن چنین حالتی می‌گردد. اما آسفالت متخلخل حتی در صورتی که مرطوب باشد و حتی زمانی که با زاویه خیلی کم نگریسته شود، نور را پخش می‌کنند[2].

انعکاس نور هم در روز مهم است و هم در تاریکی، در روز یک سطح افقی با انعکاس آینه‌ای آسمان را منعکس می‌کند. حتی آسمان ابری به طور نسبی بسیار روشن است، به طوری که سطح راه تقریباً به روشنی آسمان خواهد بود. علاوه بر آن در نور انعکاسی تمام خصوصیات سطح راه به خصوص خط‌کشی‌ها محو شده و به نظر غیر قابل رویت می‌گردند. در مورد راه‌های دارای روشنایی شب‌ها نیز وضع به همین صورت می‌باشد.

در راه‌های بدون روشنایی که دید در شب توسط منعکس کننده‌ها تأمین می‌شود، اثر آب جدی‌تر است. لایه آب از نفوذ نور لامپ ماشین‌ها در منعکس کننده‌ها جلوگیری کرده و بنابراین غیر قابل دیدن می‌گردند.آسفالت متخلخل میزان آب را بر روی سطح راه کم نموده و علاوه بر آن استفاده از خط‌کشی‌های پروفیلد (خطوط شکسته با میخ‌های انعکاسی) شرایط ایمنی بهتری را ایجاد می‌کند.

در نهایت، سطح راه دارای انعکاس پخشی موجب صرفه‌جویی در تأسیسات روشنایی راه می‌گردد، زیرا سطح راه دارای روشنایی بیشتر بوده و همچنین دارای یکنواختی بهتری است. در راه‌های بدون روشنایی، سطح آسفالت متخلخل در حالت خشک و یا حتی مرطوب از بروز انعکاس آینه‌ای نور لامپ ماشین‌های مقابل جلوگیری می‌نماید. بنابراین استفاده از رویه آسفالت متخلخل زنندگی نور ماشین جلو را در شرایط مرطوب کاهش می‌دهد (Daines, 1992). [2]

اگر چه هیچ معیار قابل استفاده‌ای برای تعریف این مزایا وجود ندارد، اما نمی‌توان تردید داشت که هر سهمی برای بهبود قابلیت دید، سهمی در افزایش ایمنی دارد [2].

omoorepeyman.ir

1-3-2-3- پدیده آب لغزی[1] و مقاومت لغزشی[2]

یکی از خطرات عمده رانندگی در باران پدیده آب لغـزی (آب پیمـایی) اسـت. یعنـی تشـکیل لایـه‌ای از آب بـین لاستیک و جاده که باعث قطع ارتباط بین آنها می‌گردد.

پدیده آب لغزی می‌تواند در شرایط خیلی مرطوب که وسایل نقلیه با سرعت‌های نسبتا بالا حرکت می‌کنند، اتفـاق بیفتد. بنابراین برای کاهش خطر این پدیده، آسفالت متخلخل برای اولین بار در باندهای فرودگاه‌هـا مـورد اسـتفاده قـرار گرفت. در حقیقت توسعه اصلی آن در فرودگاه‌ها بود [2]. بنابراین هنگامی که لایه‌ای از آب بین لاستیک و جاده تشـکیل می‌شود در این حالت تایر روی آب شناور خواهد شود و مقاومت لغزشی به مقدار قابل توجهی کاهش می یابد و در نتیجه ترمز کردن و کنترل فرمان کاملا غیر ممکن خواهد شد.

تحقیقات انجام شده توسط TRL در سال‌های دهه 1950 و 1960 روابطی بین مقاومت لغزشی، سـرعت و بافـت درشت (بافت ماکروسکوپی) برقرار کرد (Roe Etal, 1988). سپس به تأثیر بافت ماکروسکوپی و میکروسـکوپی بـر روی تصادفات گسترش یافت. بر پایه این روابط، صاحبان امر در بزرگراه‌ها در کشورهای اروپایی حـداقل مقـادیر را بـرای بافـت ماکروسکوپی به منظور کاهش دادن زیان مقاومت لغزشی به صورت افـزایش سـرعت بـرای کـاهش دادن خطـر تصـادفات لغزشی و آب لغزی معین کردند.

1-3-2-4- اثر بر تصادفات

مطالعه تصادف‌ها نیاز به تعداد زیادی از راه‌های نمونه دارد، زیرا توزیـع آمـاری تعـداد تصـادفات از توزیـع پواسـون پیروی می‌کند. در نتیجه مطالعات تصادفات قابل دسترس از نظر تعداد تصـادف‌هـا روی جـاده‌ای دارای پوشـش آسـفالت متخلخل جهت انجام مقایسه با تصادف‌ها در راه‌های با پوشش آسفالت سنتی، کفایت نمـی‌کنـد. ولـی تقریـب اولیـه را بـا فرض اینکه آسفالت متخلخل مرطوب تقریباً برابر با ایمنی آسفالت سنتی خشک می‌باشد، می‌توان بدست آورد [3].

در هلند تعداد کل تصادف‌های ثبت شده در تمام جاده‌ها با سرعت 100Km/h یا بیشتر بین سال‌های 1983 تـا 1988، 11300 مورد می‌باشد. از این تعداد 1729 مورد یا 15/3٪ در هوای بارانی اتفاق افتاده است. این به معنـای خطـر

1 - Aquaplaning

2- Skid-Resistance

omoorepeyman.ir

سه برابر تصادف در باران می‌باشد و اگر فرض شود کـه آسـفالت متخلخـل خشـک دارای همـان درجـه ایمنـی در سـطح آسفالت معمولی خشک می‌باشد، در این صورت استفاده از آسـفالت متخلخـل در تمـام راه‌هـا باعـث جلـوگیری از حـدود 1100 تصادف خواهد شد (معادل 10٪ کل).

به هر حال مزایای ایمنی زیادی از آسفالت متخلخل مورد انتظار است. با استفاده از این حقیقت که تا سـال 1989 بیش از 250 کیلومتر راه در هلند دارای رویه آسفالت متخلخل بوده‌اند، بررسی دقیق‌تـری در ایـن مـورد در دسـت اقـدام است [2].

در شرایط بارانی معمولاً مردم تمایل بیشتری به استفاده از اتومبیـل نشـان مـی‌دهنـد کـه باعـث شـلوغ‌تـر شـدن خیابان‌ها و کاهش ظرفیت در حدود 10٪ خواهد شد و تعداد زیادی از خیابان‌ها و جاده‌ها در این شرایط با ظرفیت کامـل مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه آسفالت متخلخل از تصادفات در شرایط بارانی می‌کاهد، بنـابراین اسـتفاده از آسفالت متخلخل موجب کاهش در هزینه‌های اقتصادی می‌شود.

محاسبات نشان می‌دهد که هزینه تصادفات در هلند سالانه 352 میلیون فرانک می‌باشد که تعداد قابل توجهی در ارتباط با آب گرفتگی معمول در هنگام بارندگی است. با اجرای آسفالت متخلخل 25 میلیون فرانک صرفه‌جویی مـی‌شـود که با احتساب ارزش زمان ناشی از افزایش سرعت در رویه‌های متخلخل میـزان سـود حاصـله بسـیار بیشـتر از ایـن حـد می‌باشد [2].

با تخمین تعداد تصادفات می‌توان سود اقتصادی ناشی از استفاده از آسفالت متخلخل را محاسبه کرد (جدول 1-1) .

جدول 1-1- خلاصه هزینه‌های اضافی و سود ناشی از استفاده از آسفالت متخلخل به جای آسفالت معمولی (هلند)

هزینه های سالانه	سود سالانه	
هزینه های اضافی آسفالت متخلخل	ایمنی ترافیک	ظرفیت ترافیک
شبکه ملی راهها ($90km^2$)	110×10^6	50×10^6	25×10^6
شاهراهها($60km^2$)	72×10^6	24×10^6	20×10^6
سایر راهها($30km^2$)	36×10^6	26×10^6	10×10^6
شاهراههای با بیش از 35000 وسیله نقلیع در روز($18\ km^2$)	22×10^6	9×10^6	10×10^6

omoorepeyman.ir

1-4- معایب آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت‌های متداول

به طور کلی معایب آسفالت متخلخل را می‌توان در سه گروه طبقه‌بندی کرد:

1-4-1- هزینه‌های ساخت

بالا بودن هزینه‌های ساخت آسفالت به دلیل نیاز به مصالح با مقاومت بالا در مقابل سایش و شکستگی و مواد چسباننده اصلاح شده می‌باشد. علاوه بر این موارد عامل دیگری که موجب افزایش هزینه‌های ساختمانی آسفالت متخلخل می‌گردد نیاز به یک لایه آب‌بندی شده در زیر لایه آسفالت متخلخل می‌باشد.

در نهایت آسفالت متخلخل قابل انعطاف‌تر از بیشتر مخلوط‌های آسفالتی است. مدول سختی آن 75٪ مدول مخلوط بتن آسفالتی می‌باشد. در برخی از کشورها چنین فرض می‌شود که یک لایه 4 سانتیمتری از آسفالت متخلخل معادل یک لایه 3 سانتیمتری از مخلوط بتن آسفالتی می‌باشد. با وجود این برخی کشورها هستند که این دو را معادل می‌دانند زیرا آسفالت متخلخل حساسیت کمتری نسبت به تغییرات دما از خود نشان می‌دهد و علاوه بر آن درجه حرارت آن ممکن است پائین‌تر از مخلوط آسفالتی متراکم باشد. لذا پیشنهاد نسبت برابری ضخامت معادل بین آسفالت متخلخل و روکش‌های معمولی مشکل می‌باشد و در نتیجه نمی‌توان به سادگی این فاکتور را در بررسی‌های سود و هزینه به حساب آورد [3].

1-4-2- عمر

موضوع دیگری که موجب افزایش هزینه می‌گردد عمر کوتاه آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت سنتی است. در هلند اغلب این موضوع به صورت یک قانون در آمده است که آسفالت متخلخل هر 9 سال یک بار باید بازسازی شود در حالی که بتن آسفالتی ممکن است عمری حدود 12 سال داشته باشد[3].

این موضوع مربوط به عمر رویه می‌باشد (تا خرابی) و حد آن زمانی است که بر اثر ترک و شیار زیاد بازسازی کامل مورد نیاز باشد. برای سایر قابلیت‌های رویه متخلخل بخصوص کاهش شتک (Splash) و پاشش و کاهش صدا به دلیل احتمال گرفتگی مجاری زهکش، عمری کوتاهتری (حدود 60 تا 70٪) در نظر گرفته می‌شود، از طرف دیگر به

omoorepeyman.ir

دلیل نوع ساختار آسفالت متخلخل ایجاد شیار روی سطح آسفالت متخلخل بر خلاف آسفالت سنتی کمتر ایجاد می‌شود از این نظر می‌توان گفت که عمر طولانی‌تری دارد.

1-4-3- نگهداری و تعمیرات

عامل دیگری که موجب تفاوت در هزینه‌های آسفالت متخلخل و مخلوط‌های معمولی می‌گردد، هزینه تعمیر و نگهداری بیشتر آسفالت متخلخل است، زیرا لازم است که به نحو دقیق به ترکیب اصلی مخلوط نزدیک گردد تا خصوصیات زهکشی آن از دست نرود. علاوه بر آن در روی آسفالت متخلخل نمک بیشتری در زمستان مورد نیاز است و این هزینه نگهداری زمستانی را افزایش می‌دهد[3].

omoorepeyman.ir

فصل 2

بررسی تجربه داخلی اجرای آسفالت متخلخل در شمال کشور و تجربیات کشورهای خارجی در زمینه کاربرد، اجرا و نگهداری آسفالت متخلخل

(حداقل یک کشور آمریکایی و دو کشور اروپایی (هلند و اسپانیا))

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

2- بررسی تجربه داخلی اجرای آسفالت متخلخل در شمال کشور و تجربیات کشورهای خارجی در زمینه کاربرد، اجرا و نگهداری آسفالت متخلخل(حداقل یک کشور آمریکایی و دو کشور اروپایی (هلند و اسپانیا))

2-1- بررسی تجربه داخلی اجرای آسفالت متخلخل در شمال کشور

تنها تجربه داخلی در زمینه تحقیقات میدانی اجرای یک قطعه آزمایشی در شمال ایران در بزرگراه آمل- بابل می‌باشد که در اردیبهشت ماه 83 اجرا شده است. این پروژه بطول تقریبی 500 متر در کیلومتر 5 محور آمل- بابل و در دو خط عبور و به ضخامت حدود 4 سانتیمتر اجرا شده است. هدف از اجرای این پروژه میدانی بررسی عملکرد و ارزیابی مشخصه های زهکشی، مقاومت لغزشی و کاهش آلودگی صوتی بود.

به منظور ارزیابی مشخصات آسفالت متخلخل قطعه ای از محور یاد شده که یکسال قبل از اجرای آسفالت متخلخل رویه آن (لایه توپکا) با آسفالت معمولی اجرا شده بود، بعنوان قطعه مرجع برای مقایسه مقاومت لغزشی و میزان کاهش صدا در نظر گرفته شد.

طرح اختلاط آسفالت متخلخل بر اساس ساخت نمونه های مارشال و آزمایش کانتابرو انجام گرفت. دانه‌بندی مورد استفاده دانه‌بندی PA-12 اسپانیا بود. حدود دانه‌بندی و دانه‌بندی کارگاهی آسفالت متخلخل و دانه‌بندی کارگاهی آسفالت معمولی در جدول 2-1 ارایه شده است. قیر مورد استفاده در آسفالت متخلخل قیر اصلاح شده با پلیمر بود. قیر پایه 60/70 و نوع پلیمر مورد استفاده SBS بوده است. مشخصات قیر استفاده شده در آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی در جدول 2-2 نشان داده شده است. همچنین مشخصات مخلوط های آسفالت متخلخل و معمولی در جدول 2-3 ارایه شده است.

omoorepeyman.ir

جدول 2-1- دانه‌بندی مورد استفاده در آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی

درصد وزنی رد شده از هر الک			
اندازه الک (mm)	حدود دانه‌بندی آسفالت متخلخل	دانه‌بندی کارگاهی آسفالت متخلخل	دانه‌بندی کارگاهی آسفالت معمولی
19	100	100	100
12/5	70-100	92	93
9/5	50-80	66	82
#4	15-30	19	56
#8	10-22	13	43
#30	6-13	7	-
#50	-	-	17
#200	3-6	3/5	5

جدول2-2- مشخصات قیر پایه و قیر پلیمری

مشخصات قیر	درجه نفوذ °C	نقطه نرمی °C	ویسکوزیته	
			135 °C	165 °C
قیر پایه 60/70	60	80	370	-
قیر پلیمری	66	50	1263	370

جدول2-3- مشخصات مخلوط آسفالت متخلخل و معمولی

مشخصات مخلوط	آسفالت معمولی	آسفالت متخلخل
درصد قیر	5/4	5
درصد فضای خالی	4/3	20
درصد فضای خالی مصالح سنگی (VMA)	15/8	24
وزن مخصوص حقیقی (g/cm^3)	2/345	2/1

omoorepeyman.ir

2-1-1- اندازه‌گیری مقاومت لغزشی

برای ارزیابی مقاومت لغزشی آسفالت متخلخل از آزمایش پاندول انگلیسی مطابق با استاندارد ASTM E 303-74 در شرایط مرطوب بر روی نقاط مختلف آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی انجام شد. این دستگاه از یک کفشک لاستیکی تشکیل شده، که به آونگی که بر روی نمونه ای از سطح مورد بررسی نوسان می کند، متصل می باشد. نتیجه این آزمایش بعنوان اعداد پاندول انگلیسی (BPN) گزارش می شود.

آزمایش پاندول انگلیسی یک روز پس از اجرا، بر روی آسفالت متخلخل و یکسال بعد از اجرای آسفالت معمولی اجرا شد. مقدار متوسط BPN برای آسفالت متخلخل برابر با 55 و مقدار متوسط BPN برای آسفالت معمولی برابر با 50 بود. علی رغم انجام آزمایش یک روز پس از اجرای آسفالت متخلخل، نتایج آزمایش نشان دهنده بیشتر بودن مقاومت لغزشی آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت معمولی می‌باشد. لازم به توضیح است که میزان ضخامت فیلم قیری در اوایل اجرای آسفالت متخلخل زیاد است به همین دلیل با عبور ترافیک در آینده ضخامت فیلم قیری کاهش یافته و در نتیجه میزان مقاومت لغزشی افزایش می یابد.

2-1-2- نفوذپذیری آسفالت متخلخل

آزمایش ارزیابی نفوذپذیری آسفالت متخلخل با استفاده از نفوذ سنجی که مطابق با نفوذسنج IVT سوئیس ساخته شده بود، انجام گرفت. میزان نفوذپذیری عبارت است از مدت زمان لازم بر حسب ثانیه تا آب از خط صفر نفوذپذیر سنج به عدد 8 برسد. اگر مدت زمان لازم برای رسیدن به عدد 4 نفوذپذیر سنج بیش از 300 ثانیه باشد، نفوذپذیری غیرکافی است. مدت زمان اندازه گیری شده نفوذپذیری بین 10 ثانیه (برای مخلوطهای آسفالتی با نفوذ پذیری بالا) تا بی نهایت (برای مخلوطهای بسیار متراکم معمولی یا آسفالت متخلخلی که منافذ آن پرشده است) متغیر می باشد [10].

نفوذپذیری اولیه برای آسفالت متخلخل در حالت نو 23 تا 105 ثانیه و مقدار متوسط برای نفوذپذیری اولیه برای بیشتر آسفالتهای متخلخل 40 ثانیه (3/4 لیتر در ثانیه) است. انحراف معیار هم بین 30 تا 50 درصد مقدار متوسط تغییر می کند. و در صورتی که مقدار انحراف معیار در حد 30 درصد مقدار میانگین باشد، آسفالت متخلخل را میتوان همگن فرض کرد [10].

برای بالا رفتن میزان دقت نفوذپذیری، اندازه گیری در یک محل چند بار تکرار می شود. میزان کاهش نفوذپذیری با زمان بستگی به نوع محیط، حجم ترافیک، نوع مخلوط آسفالتی، روش اجرایی و سرعت خودروها دارد.

omoorepeyman.ir

پس از اجرا چندین اندازه‌گیری در نقاط مختلف از خطوط سبقت و کناری با دستگاه صورت گرفت، که نشان دهنده میزان نفوذپذیری در حدود 12 ثانیه بود. این به مفهوم نفوذپذیری مناسب آن است.

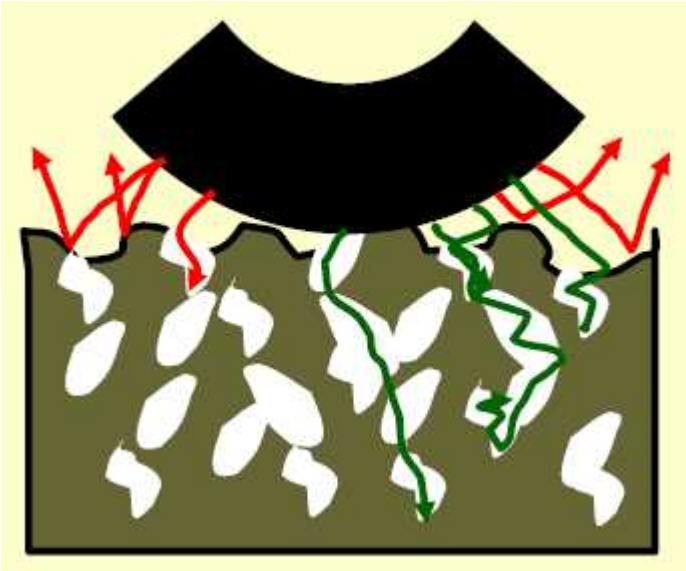
2-1-3- کاهش آلودگی صوتی

اندازه‌گیری میزان صدا بر روی آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی با استفاده از دستگاه آنالیز صدا مدل 2236 ساخت شرکت (B&K) دانمارک توسط شرکت کنترل کیفیت هوای تهران انجام گرفت. وسیله نقلیه مورد استفاده برای آزمایش میزان صدا، اتومبیل پژو 405 بود. اندازه‌گیری ها بر روی دو نوع آسفالت در سرعتهای 50 km/h و 80 km/h در دو حالت موتور روشن و موتور خاموش انجام گرفت. میکروفون در دو موقعیت به فاصله های 3/5 و 7/5 متر از لبه روسازی قرار داده شد. نتایج آزمایش صدا در جداول 2-4 و 2-5 ارایه شده است. نتایج نشان دهنده کاهش میزان صدا در آسفالت متخلخل به مقدار 5/3 تا 7/5 دسی بل در وضعیت موتور روشن و 2 تا 3 دسی بل در و ضعیت موتور خاموش در سرعت 50 km/h در مقایسه با آسفالت معمولی می‌باشد. در سرعت80km/h میزان کاهش صدا در آسفالت متخلخل به مقدار 4/5 تا 4/7 دسی بل در وضعیت موتور روشن و 4/7 تا 5/5 دسی بل در وضعیت موتور خاموش در مقایسه با آسفالت معمولی می‌باشد.

کاهش صدا بصورت تفاوت در متوسط سطح صدای اندازه‌گیری شده بر روی قطعات ساخته شده با آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی بیان شده است.

در حقیقت دلیل کاهش صدا در آسفالت متخلخل همان طور که در شکل2-1 نشان داده شده است، ناشی از ساختار باز و وجود منافذ در آن می‌باشد. صدای تولید شده ناشی از تماس چرخ با روسازی و صدای موتور پس از برخورد با رویه آسفالت متخلخل بدلیل وجود ساختار باز و وجود منافذ در آن کاملا منعکس نمی‌شوند بلکه مقدار از انرژی آن جذب و مستهلک می‌شود. در حالیکه در آسفالت معمولی بدلیل ساختار متراکم و بسته آن، کل انرژی صوتی تولید شده پس از برخورد با آن تقریبا منعکس می گردد.

omoorepeyman.ir



شکل2-1- نحوه جذب و انعکاس صوت در رویه آسفالت متخلخل

جدول2-4- سطح صدای معادل بر حسب دسی بل در سرعت50 km/h با موتور روشن

نوع رویه / فاصله	3/5m	7/5 m
آسفالت متخلخل	76/4	70
آسفالت معمولی	81/7	77/5

جدول2-5- اندازه‌گیری های سطح صدای معادل بر حسب دسی بل در دو سرعت با موتور خاموش

فاصله / نوع رویه	3/5m		7/5 m	
	50km/h	80km/h	50km/h	80km/h
آسفالت متخلخل	67/5	69/6	64	65/8
آسفالت معمولی	70/5	74/1	65/9	70/5

omoorepeyman.ir

جمع بندی

- علی رغم تجربه اول در اجرای آسفالت متخلخل تجربه نسبتا موفقی بود. قطعه مورد نظر پس از گذشت سه سال از عمر آن، دارای ظاهر سالمی بوده و خرابی عمده ای در حال حاضر در آن مشاهده نمی‌شود.
- بر اساس نتایج آزمایش های انجام شده، مشخصات عملکردی مورد انتظار شامل میزان کاهش صدا، نفوذپذیری و مقاومت لغزشی در مقایسه با آسفالت معمولی دارای عملکرد و نتایج رضایت بخش می‌باشد.
- بدلیل عدم تکرار آزمایش ها در طول سه سال پس از اجرا، در خصوص عملکرد وظیفه ای آن از جمله میزان کاهش صدا، نفوذپذیری و مقدار فضای خالی و مقاومت لغزشی اظهار نظری نمی‌توان کرد.
- در خصوص مقایسه مشخصات آسفالت متخلخل با آسفالت معمولی با توجه به فاصله زمانی اجرای بین این دو، قضاوت مناسبی در همه زمینه ها بدست نمی دهد.
- آزمایشهای عملکردی فقط یک بار اجرا شدند و قطعه در طول این چند سال مانیتورینگ نشده است. که لزوم یک متولی خاص با برنامه مدون مانیتورینگ برای چنین تحقیقات میدانی ضروری می سازد.

2-2- تجربیات کشورهای خارجی

2-2-1- بررسی تجربیات کاربرد آسفالت متخلخل در هلند

هلند در شمال اروپا قرار دارد و از آب و هوای معتدل با متوسط درجه حرارت 1/7 ˚C در ژانویه و 17 ˚C در جولای برخوردار می باشد. بارش سالانه آن حدود 800 میلی متر است که در تمام طول سال به طور یکسان توزیع شده است. علیرغم بهار معتدل به علت شرایط متغیر اغلب مه گرفتگی و لغزندگی سطح جاده وجود دارد [6] . سطح بالای بارش در هلند باعث می شود که سطح جاده ها در 13 درصد مواقع مرطوب یا خیس باشد. به منظور ارتقاء ایمنی در هر شرایطی مرکز مطالعات راه گروهی را به منظور تهیه دستورالعمل برای بهبود خصوصیات سطح راه تعیین کرد.

تحقیقات در مورد آسفالت متخلخل و مزایای آن نسبت به آسفالت معمولی از سال 1972 در هلند آغاز شد. تمام تلاشها در این تحقیقات در این جهت بوده که با یک مدیریت صحیح استفاده از مصالح ، هزینه های اضافی را تا حدامکان محدود کند. اما این نوع آسفالت دارای هزینه های اضافی ناشی از عمر کوتاهتر و نگهداری گرانتر و ضخامت بیشتر نسبت به آسفالت معمولی بود که باید با ارزیابی سود حاصله نسبت به هزینه های اضافی نسبت به کاربرد یا عدم کاربرد آن

omoorepeyman.ir

تصمیم گیری می شد. اداره کارهای عمومی هلند یا ریجکس واتر استات (RUKS Water Staat) مسئولیت اجرای رویه های آسفالت متخلخل از جمله بزرگراههای شهری را به عهده گرفت.

آسفالت متخلخل برای اولین بار در اوایل دهه 1980 وارد کشور هلند شد، اگرچه در ابتدا کاربرد آسفالت متخلخل به منظور افزایش ایمنی انجام گرفت ولی این خصوصیات کاهش صدای آن بود که منجر به گسترش دامنه کاربرد آن در سالهای دهه 1980 در این کشور شد [6]. در سال 1987 تصمیم بر آن شد تا لایه رویه آسفالت متخلخل در مقیاس وسیع و گسترده انجام شود و سه سال بعد یعنی در سال 1990 تصمیم گرفته شد تا شبکه اصلی بزرگراه های این کشور (که 3200 کیلومتر هستند) از این نوع آسفالت پوشیده شود. همچنین تصمیم گرفته شد تا در راههایی با ترافیک سنگین، از آسفالت متخلخل 0/16 mm با ضخامت لایه 50 mm استفاده شود. تا سال 2005 ، بالغ بر 65 درصد بزرگراه های این کشور دارای روکش آسفالت متخلخل بودند. شکل 2-2 پلان بزرگراه های دارای رویه آسفالت متخلخل و شکل 2-3 درصد بزرگراههای دارای رویه آسفالت متخلخل را نمایش می دهد. [7]

شکل 2-2- پلان بزرگراه های دارای رویه آسفالت متخلخل در هلند(خطوط آبی) تا سال 2005

omoorepeyman.ir

2-2-1-1- پیش شرطهای استفاده از آسفالت متخلخل در هلند

قبل از کاربرد رویه های آسفالت متخلخل در هلند پیش شرطهایی باید رعایت شود. ریجکس واتراستارت فرض کرد که نسبت هزینه به سود دهی آسفالت متخلخل در هر پروژه ای باید کمتر از آسفالت معمولی باشد و فقط در این شرایط استفاده از رویه آسفالت متخلخل قابل توجیه اقتصادی است.[6].

ریجکس معتقد بود بسیاری از عواملی که باید در این تصمیم گیری در تابع هزینه به سود دهی منظور گردند، جنبه سیاسی داشته و جنبه اقتصادی ندارند. زیرا عقیده عمومی این بود که مشکل ایمنی جاده ها، جلوگیری از آب گرفتگی و آلودگی های زیست محیطی نقش مؤثری را ایفا می کند.

بعد سیاسی مسئله به سود بالقوه اقتصادی استفاده کنندگان از جاده ها در اثر کاهش تصادفات در مقایسه با افزایش هزینه های ناشی از این انتخاب می باشد.

در هلند عواملی که بر اساس آن ارزیابی هزینه به سود دهی انجام می گیرد، عبارت از خصوصیات سازه ای (نظیر عمر خدمت دهی و مقاومت مکانیکی رویه آسفالت)، هزینه تهیه مواد و مصالح، ایمنی جاده، عکس العمل های ترافیکی (کمترین مشکلات ترافیکی در شرایط سطح خیس جاده) هزینه های نگهداری و مسئله کاهش صدا می باشد.

در این کشور روی پلها و حتی پلهای فلزی و روگذرها، آسفالت متخلخل اجرا شده است. مسئله ویژه‌ای که کارشناسان این کشور موفق به حل آن شده اند، جلوگیری از نفوذ آب و نمک به لایه های زیرین روسازی می باشد [6].

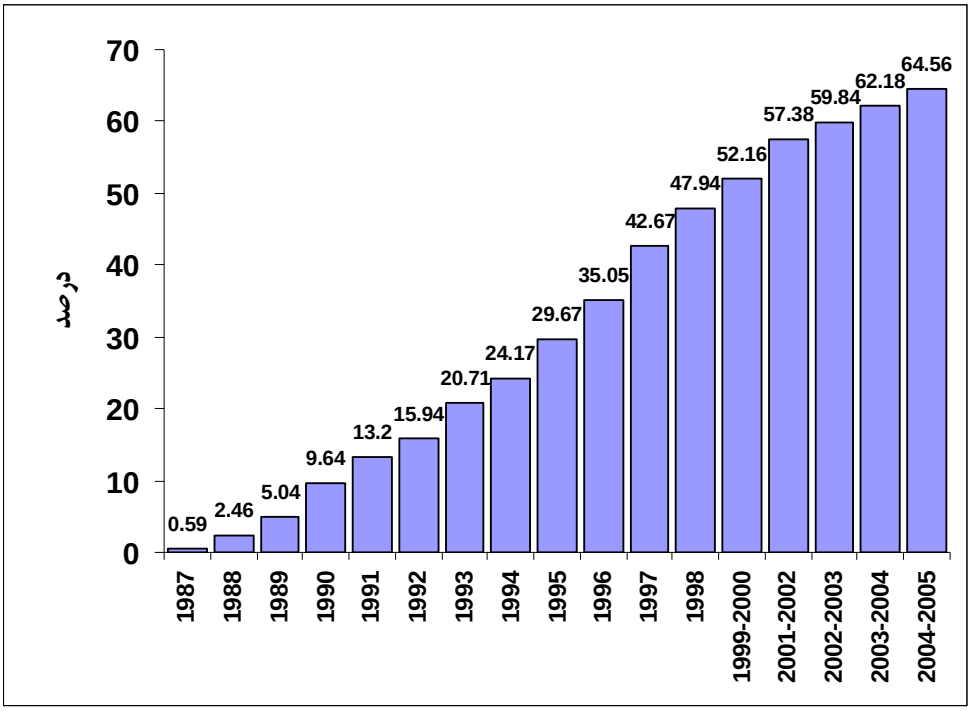
در حال حاضر بخاطر حجم ترافیک و افزایش روزافزون وسایل نقلیه، کاهش صدا مسئله مهمی است و در کشور هلند برای راههایی که روزانه 3500 وسیله نقلیه دارند از این آسفالت استفاده می شود و بخاطر افزایش ایمنی تردد تمام راههای ملی تا سال 2010 و تمامی راهها اصلی با آسفالت متخلخل روکش خواهد شد.

در هلند از یک لایه 50 mm آسفالت متخلخل به طور معمول استفاده می شود. علت این انتخاب ظرفیت بالای ذخیره سازی آب در این ضخامت از لایه است. مقدار استفاده از آسفالت متخلخل در هلند تا پایان سال 1995 در حدود 25 میلیون متر مربع بوده است[2].

از سال 1990 به بعد، مسیرهایی آزمایشی با آسفالت متخلخل دو لایه در هلند به عنوان بخشی از یک پروژه تحقیقاتی در مقیاس وسیع اجرا شد. مزیت لایه رویی با دانه‌بندی ریز، پیشگیری از بسته شدن منافذ در لایه زیرین آسفالت متخلخل با دانه‌بندی درشت می‌باشد. بدین طریق، قابلیت هدایت هیدرولیک سالم و دست نخورده باقی می ماند. تجارب

omoorepeyman.ir

مفید حاصله از پروژه های تحقیقاتی منجر به ایجاد بخشهای آزمایشی جدید در بزرگراه A – 17 در سال 1995 و پس از آن در بسیاری دیگر از جاها گردید.



شکل2-3- درصد بزرگراههای دارای رویه آسفالت متخلخل

2-2-1-2- آزمایشهای انجام شده در هلند

بطور کلی، قیرهای اصلاح شده فقط برای اهداف ویژه مورد استفاده قرار می گیرند. خرابی های معمول شن زدگی و پیر شدگی سریع قیر می‌باشد که مشکلی جدی در نظر گرفته می‌شود. بدلیل شن زدگی، متوسط طول عمر سرویس دهی 10 سال است. از سال 1990 روش طرح و مخلوط، تغییر نکرده است و نیز اینکه شن زدگی در 76 درصد از موارد، دلیل نگهداری یا نوسازی لایه رویه می‌باشد. متوسط طول عمر سرویس دهی 10 تا 12 سال است و در قوسهای تند، پس از سه سال، شن زدگی بروز می‌کند.

برای بهبود چسبندگی قیر و سنگدانه از فیلر سنگ آهک استفاده می شود که هیدارت آهک آن کمتر از 25 درصد باشد. ترکیب مخلوط آسفالت متخلخل بر اساس آزمایش مارشال به گونه ای انتخاب می شود که حداقل 20 درصد فضای خالی حاصل شود و حداقل و حداکثر درصد فضای خالی بعد از تراکم به ترتیب 15٪ و 25٪ می باشد.

omoorepeyman.ir

الف- خصوصیات سازه ای آسفالت متخلخل

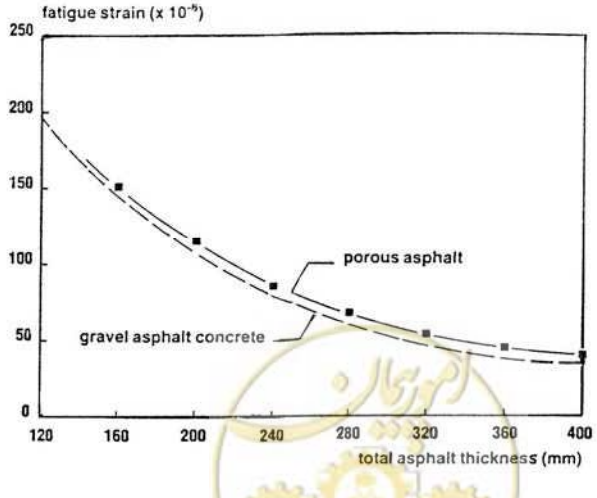
1. مدول الاستیسیته

در روسازی آسفالتی موجود با مدول الاستیسیته دینامیکی 7500 مگانیوتن بر متر مربع و خصوصیات خستگی مواد تشکیل دهنده مدل می شوند در این مدل در محاسبه مقاومت خستگی روسازی از این واقعیت که ترکهای ناشی از خستگی از سطوح زیرین به سطح بالایی نفوذ می کند صرف نظر شده است. مدول دینامیکی اولیه آسفالت متخلخل برابر 5400 مگانیوتن بر متر مربع فرض می شود که تقریباً 80٪ آسفالت معمولی و 70 درصد آسفالت شنی می باشند. اگر مقادیر در مدل مفروض قرار داده شود شکل 2-4 حاصل می شود [6].

2. مشخصه عمر و شیاری شدن

آسفالت متخلخل عمر کوتاهتری دارد زیرا قیر در آن با شتاب بیشتری اکسید می شود که برای جبران آن افزایش سختی قیر به کار رفته توصیه می شود. از طرف دیگر نفوذ آب در بخش زیرین لایه رویه باعث شیاری شدن سطح راه می شود که اثر نامطلوبی بر چسبندگی بین مواد می گذارد و از چسبیدن خوب به لایه اساس جلوگیری می کند که در امر انتقال بار از لایه رویه زیرین مشکل ایجاد می کند. محاسبات با برنامه کامپیوتری BISAR نشان می دهد که چسبندگی بد بین دو لایه ظرفیت باربری را 2 تا 10 درصد کاهش می دهد [6].

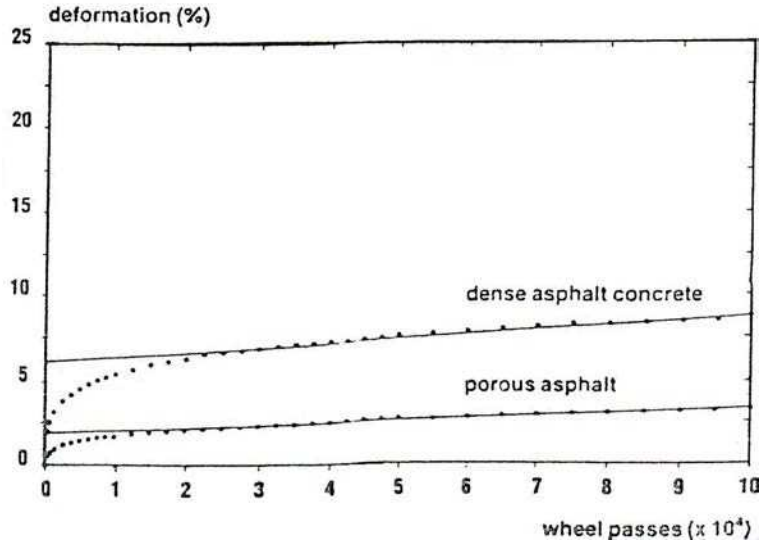
آزمایش اثر چرخ مقاومت خوب مخلوطهای آسفالت متخلخل به کار گرفته شده در هلند را در برابر تغییر شکل نشان می دهد (شکل 2-5).



شکل 2-4- کرنش

omoorepeyman.ir

در عمق لایه رویه آسفالتی در مقایسه با آسفالت متخلخل وقتی در معرض بار استاندارد 100KN قرار می گیرد.



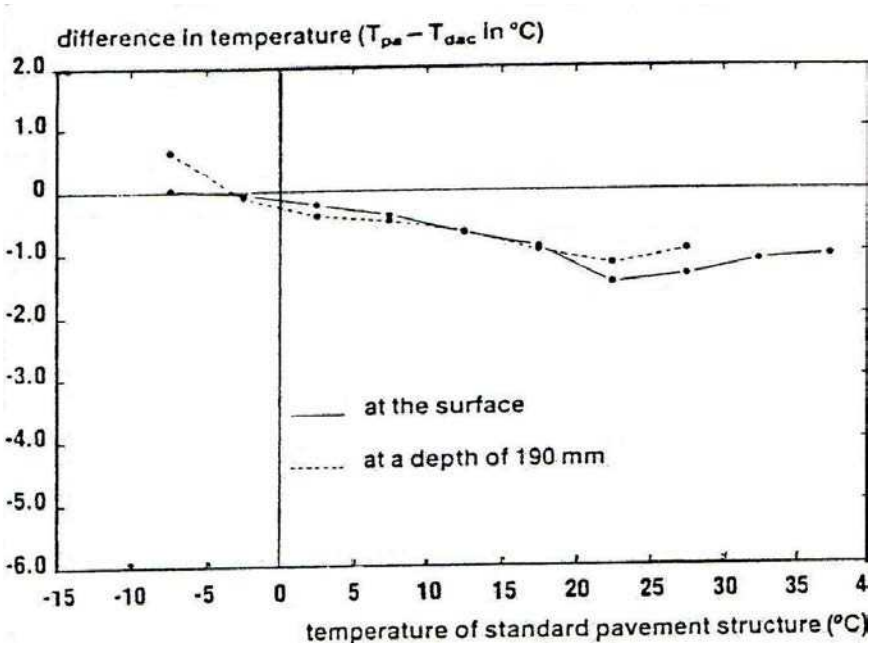
شکل 2-5- تغییر شکل در آسفالت معمولی و آسفالت متخلخل در آزمایش اثر چرخ

3. اثرات حرارت بر ابعاد

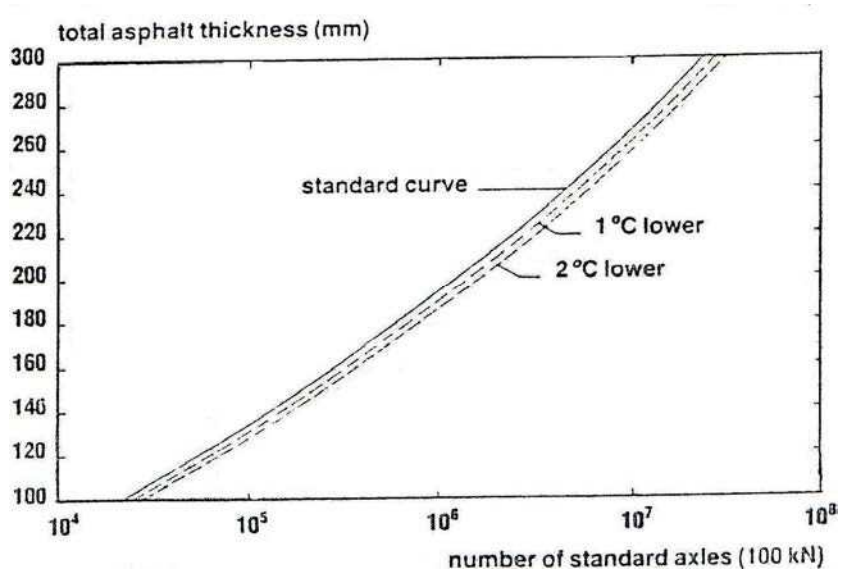
عمل مکش و پمپاژ هوا توسط تایر در منافذ آسفالت متخلخل باعث به جریان افتادن بیشتر هوا در منافذ می گردد، که این پدیده باعث نزدیکتر شدن حرارت رویه در رویه آسفالت متخلخل به حرارت هوای محیط می شود. این امر به خصوص در فصل تابستان بسیار اهمیت دارد زیرا در آسفالت معمولی حرارت رویه تا 60 درجه بالا می رود که تحت این شرایط سختی مصالح کاهش می یابد. با نصب دستگاههای اندازه گیری می توان گرادیان حرارت در آسفالت معمولی و متخلخل را با یکدیگر مقایسه کرد (شکل 2-6).

میانگین وزنی درجه حرارت در طول یک سال در رویه های آسفالت متخلخل حدود 1 درجه سانتیگراد از رویه های معمولی پایین تر بود. در نتیجه سختی سازه ای رویه های آسفالت متخلخل از آب و هوای گرم کمتر اثر می پذیرد و در مقایسه با رویه های معمولی سختی نسبی سازه ای به طور موثری افزایش پیدا می کند که باعث کرنش در قسمت تحتانی سازه و افزایش عمر خستگی می شود (شکل 2-7).

omoorepeyman.ir



شکل2-6- اختلاف حرارتی میان آسفالت معمولی و آسفالت متخلخل در مقایسه با رویه استاندارد



شکل2-7- اثر کاهش بر منحنی های طراحی در رویه های آسفالت متخلخل

4. عمر خدمت دهی

با توجه به آمار جمع آوری شده از 11 مقطع آزمایشی با طول 10 کیلومتر در جاهای مختلف هلند به خصوص در بزرگراه های پر ترافیک با رفت و آمد روزانه 60 هزار وسیله نقلیه این نتیجه حاصل شد که عمر خدمت دهی آسفالت

omoorepeyman.ir

متخلخل در شرایط آب و هوایی هلند 10 سال می باشد که قابل مقایسه با 12 سال عمر خدمت دهی برای آسفالت معمولی می باشد.

خرابی های عمده، شن زدگی و پیرشدگی سریع قیر می‌باشد که مشکلی جدی در نظر گرفته می‌شود. بدلیل شن زدگی، متوسط طول عمر سرویس دهی 10 سال است. آقای Padoms 5 سال بعد چنین گزارش می دهد که از سال 1990 طرح و مخلوط، تغییر نکرده است و نیز اینکه شن زدگی در 76 درصد از موارد، دلیل نگهداری یا نوسازی لایه رویه می‌باشد. متوسط طول عمر سرویس دهی 10 تا 12 سال است و در قوسهای تند، پس از سه سال، شن زدگی بروز می‌کند.

ب- استفاده از سیستم دو لایه ای آسفالت متخلخل

از سال 1990 به بعد، مسیرهایی آزمایشی با آسفالت متخلخل دو لایه در هلند به عنوان بخشی از یک پروژه تحقیقاتی در مقیاس وسیع اجرا شد(Bochove). مزیت لایه رویه با دانه‌بندی ریز، پیشگیری از مسدود شدن منافذ در لایه زیرین آسفالت متخلخل با دانه‌بندی درشت می‌باشد. بدین طریق، قابلیت هدایت هیدرولیکی دست نخورده باقی می ماند. تجارب مفید حاصله از پروژه‌های تحقیقاتی منتهی به ایجاد بخشهای آزمایشی جدید در بزرگراه A-17 در سال 1995 و پس از آن در بسیاری دیگر از محل‌ها گردید. شکل2-8 نمایی از آسفالت متخلخل دو لایه را نشان می دهد.

آزمایشهایی در هلند [9] از یک سیستم دو لایه آسفالت متخلخل شامل موارد زیر انجام شده است :

- یک لایه بیندر ذخیره کننده به ضخامت 55 میلیمتر با حداکثر اندازه مصالح سنگی 16 میلیمتر بدون نیاز به مصالح با کیفیت بالا اجرا شد.
- یک لایه رویه به ضخامت 15 میلیمتر با حداکثر مصالح سنگی 8 میلیمتر با مصالح سنگی با کیفیت بالا اجرا شد.

هر دو لایه با استفاده از قیر اصلاح شده با لاستیک ساخته شده بودند. اهداف این سیستم عبارت بودند از :

- تهیه یک مخزن بزرگ برای آب در لایه اساس
- کاهش تقاضا برای مصالح سنگی با کیفیت بالا برای لایه رویه
- تهیه رویه خیلی راحت

omoorepeyman.ir

عملکرد این تجربه به مدت 5 سال عالی بود (Van, Bochov,1996) مدعی بودند که سیستم دو لایه‌ای برای استفاده گسترده از آن امکان پذیر است.

مشخصه‌های اصلی سیستم عبارتند از :

- رویه با دانه‌بندی ریز (8 میلیمتر) خیلی راحت تر از آسفالت متخلخل مرسوم در هلند است.
- رویه با دانه‌بندی ریز (8 میلیمتر) به صورت یک الک عمل می کند، به طوری که از ورود گرد و غبار جلوگیری کرده و باعث تمیز باقی ماندن لایه اول آسفالت متخلخل می شود.
- مصالح ماسه ای ریز در لایه بالایی باقی می مانند به طوری که برداشتن کامل آنها با استفاده از روش Hydrovac (شستشوی با فشار آب) امکان پذیر است.
- لایه رویه می تواند بدون تخریب لایه بیندر هنگامی که ضروری باشد برداشته یا جایگزین شود.

شکل 2-8- آسفالت متخلخل دو لایه در هلند با اندازه مصالح سنگی 6 تا 8 میلیمتر در لایه بالایی

omoorepeyman.ir

شکل2-9- آسفالت متخلخل دو لایه

2-2-2- سابقه کاربرد آسفالت در اسپانیا

استفاده از آسفالت متخلخل در اسپانیا از ابتدای دهه 1980 میلادی آغاز شد. اولین کاربرد آسفالت متخلخل در سال 1980 برای 4 جاده آزمایشی در بزرگراههای شمالی در نواحی با بارندگی زیاد بود و هدف از بکارگیری آسفالت متخلخل بهبود ایمنی ترافیک در رویه های خیس بود. نتایج مطلوب حاصل از این تجربه باعث ساخت روسازهای جدیدتری با آسفالت متخلخل در سالهای بعد شد. اما استفاده وسیع از این نوع آسفالت از سال 1986 به بعد پس از برطرف شدن تردیدهای اولیه در مورد دوام آسفالت متخلخل بوده است [10]. تا پایان سال 1995 بیش از 31 میلیون متر مربع آسفالت متخلخل در اسپانیا اجرا شده است.

در اسپانیا آسفالت متخلخل برای انواع جاده ها و بزرگراهها مورد استفاده قرار می گیرد. متداولترین نوع آسفالت متخلخل در اسپانیا یک لایه 4 cm است که دارای دانه بندی 0-12 mm همراه با مقدار کمی ماسه (حدود 15 درصد)، 5 درصد قیر خالص یا اصلاح شده با 20 درصد فضای خالی آسفالت می باشد. در ابتدای طرح میزان فضای خالی به 15 تا 18 درصد محدود شد. اما با اثبات دوام خوب مخلوط های آسفالت متخلخل با بیش از 20 درصد فضای خالی و مشکلات مخلوطهای با درصد پایین، از درصد فضای خالی بالاتر از 20 درصد رایج شد [10].

omoorepeyman.ir

هم اکنون هدف از استفاده از این روسازی ها تغییر کرده و این نوع آسفالت فقط برای بهبود شرایط رانندگی بکار نمی-رود، بلکه ایجاد سطح صاف و ایمن و بی صدا برای هر آب و هوایی از عوامل اصلی کاربرد آن در این کشور می‌باشد.

از مهمترین جاده‌های ساخته شده با رویه آسفالت متخلخل در اسپانیا بزرگراه NVI با طول 44 کیلومتر بین راس روزاس و ویلابا با ترافیک روزانه 20000 وسیله نقلیه شامل 2000 کامیون (با بار محوری 13 تن) می باشد. جاده های دیگر به طول 70 کیلومتر بین بائو و بهوبیا با ترافیک روزانه 9000 وسیله نقلیه که 1200 وسیله نقلیه آن کامیون و جاده 23 کیلومتری در آسا با ترافیک 800 تا 1200 کامیون در روز با همین آسفالت می‌باشد [10].

در اسپانیا از سه گروه دانه بندی P-12 ، PA -12 و PA-10 استفاده می شود. دانه بندی نوع P-12 در 5mm دارای ناپیوستگی می باشد که با این نوع دانه بندی می توانیم فضای خالی بیش از 25 درصد حاصل گردد [11و12] .

دانه بندی های P-12 وPA -12 با 10 تا 15 درصد ذرات کوچکتر از 2/5 mm و 3 تا 4/5 درصد فیلر متداول تر است. با این ترکیب فضای خالی بیش از 20 درصد حاصل می شود.

مقاومت در برابر اضمحلال از تحلیل آزمایش کانتابرو (NLT-325/86) بر روی یک نمونه مارشال که با 50 ضربه به هر طرف آن ساخته شده است بدست می آید. افت وزنی نمونه پس از 300 دور چرخش درام برحسب درصد بیان می شود [11و12].

2-2-1- مطالعات و آزمایش‌های انجام شده در اسپانیا با قیر اصلاح شده با پلیمر

دانه‌بندی بکار رفته در این آزمایشها از نوع پیوسته باز از سنگ مرمر با حداکثر اندازه سنگدانه 10 میلیمتر با درصد عبوری از الک 5، 2/5 و 0/08 میلیمتری به ترتیب برابر با 30، 10 و 4 درصد می‌باشد.

دو نوع قیر با درجه نفوذ مشابه یکی قیر معمولی 70-60 و دیگری قیر پلیمری با دانه‌بندی فوق استفاده شده است. مشخصات دو نوع قیر مورد استفاده در جدول 2-6 داده شده است.

omoorepeyman.ir

1. مقاومت در برابر تغییر شکل‌های پلاستیک

در دمای 60 درجه سانتیگراد برای نمونه‌های ساخته شده با درصد قیر 4 و 4/5 برای هر دو نمونه قیر معمولی و پلیمری نمونه‌های ساخته شده با قیر پلیمری به وضوح عملکرد بهتری داشتند (شکل 2-10) این آزمایش با استفاده از اثر چرخ استاندارد و اندازه‌گیری اثر این چرخ بر حسب میلی‌متر انجام می‌گیرد. استفاده از قیر پلیمری می‌تواند کاهش تخلخل آسفالت در اثر عبور ترافیک را کاهش دهد.

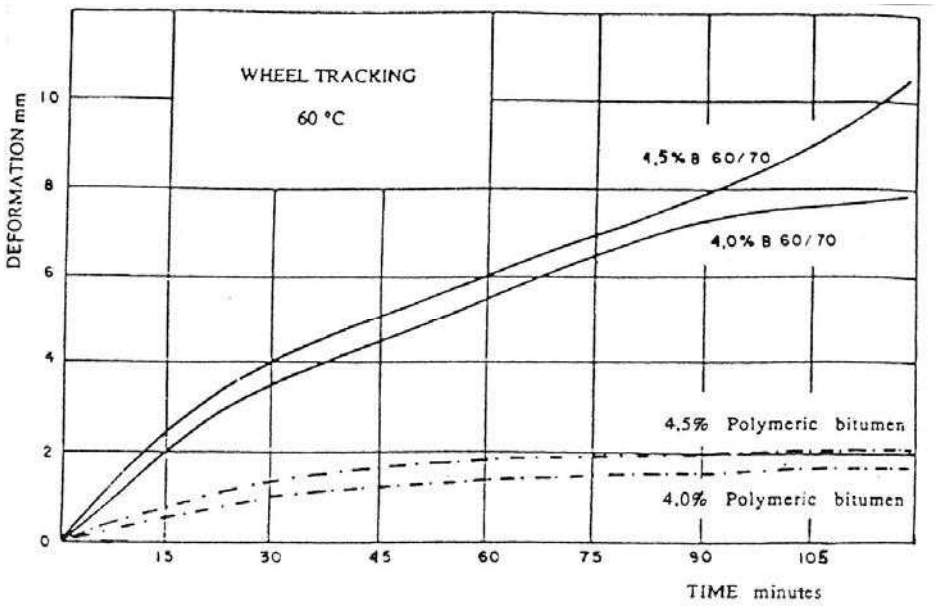
جدول 2-6- مشخصات قیرهای استفاده شده در آزمایش [10]

مشخصات	قیر 70-60	قیر پلیمری
درجه نفوذ در دمای 25 ^{o}C	65	70
درجه نرمی ^{o}C	50	68
شاخص نفوذ ^{o}C	-0/5	1/9
نقطه شکنندگی ^{o}C	-8	-13
شاخص خمیری ^{o}C	58	81

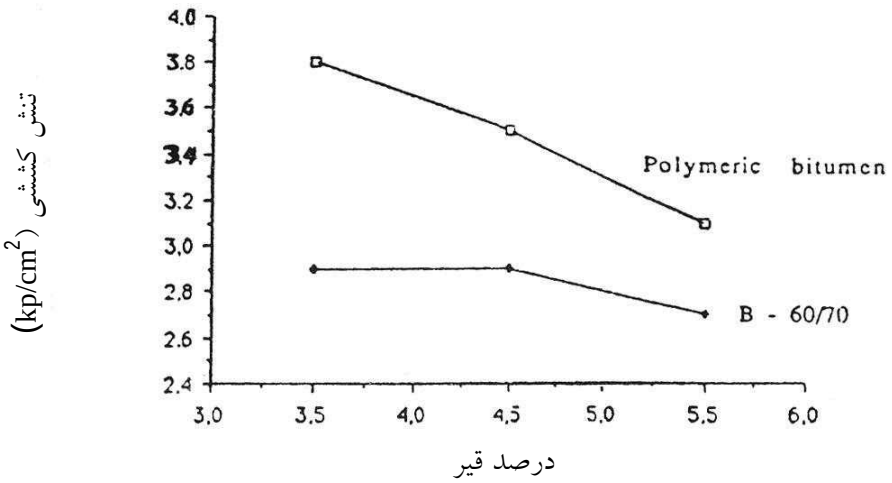
2. مقاومت کششی غیر مستقیم

تأثیر نوع قیر بر مقاومت کششی را می‌توان با انجام آزمایش مارشال بر روی نمونه‌ها ارزیابی کرد. آزمایش‌ها در دو دمای 5 و 45 درجه سانتی‌گراد و با سرعت اعمال نیرو برابر 50/8 میلی‌متر بر دقیقه انجام می‌گیرد و نمونه‌ها با 50 ضربه چکش استاندارد بر هر طرف نمونه ساخته می‌شوند. نمونه‌ها با دو نوع قیر خالص و پلیمری با 3/5، 4/5 و 5/5 درصد قیر ساخته شده است نتایج آزمایش در شکل 2-11 و جدول 2-7 نشان داده شده است. همانگونه که دیده می‌شود در این مورد نیز نمونه‌های با قیر پلیمری به وضوح عملکرد بهتری نسبت به نمونه‌های عادی دارند.

omoorepeyman.ir



شکل 2-10- مقاومت در برابر تغییر شکل پلاستیک



شکل 2-11- اثر نوع قیر در مقاومت کششی (کشش غیر مستقیم در دمای $45^{\circ}C$)

omoorepeyman.ir

جدول 2-7- اثر درجه حرارت و درصد قیر بر روی مقاومت کششی نهایی

	مقاومت کششی نهایی (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)					
درصد مقدار قیر	%3/5		%4/5		%5/5	
درجه حرارت°C / نوع قیر	5	45	5	45	5	45
قیر پلیمری	71/5	3/8	72/5	3/5	70/1	3/1
قیر 60/70	65/4	2/9	69/6	2/9	71	2/7

3. مقاومت در برابر اضمحلال و خرد شدن نمونه

برای ارزیابی میزان اضمحلال نمونه از آزمایش کانتابرو استفاده می‌شود در این آزمایش نمونه‌های مارشال را در درون درام دستگاه آزمایش لس‌آنجلس (بدون گوی فلزی) قرار داده و درصد وزن مضمحل شده از نمونه اولیه را پس از 300 بار چرخش درام دستگاه به دست می‌آوریم. این آزمایش طبق استانداردهای اسپانیا انجام می‌شود. در این آزمایش طبق استانداردهای طراحی اسپانیا نمونه‌ها باید شرایط زیر را داشته باشد:

1- درصد فضای خالی نمونه‌ها باید بیش از 18٪ باشد و معمولاً توصیه می‌شود این مقدار بیش از 20٪ باشد.

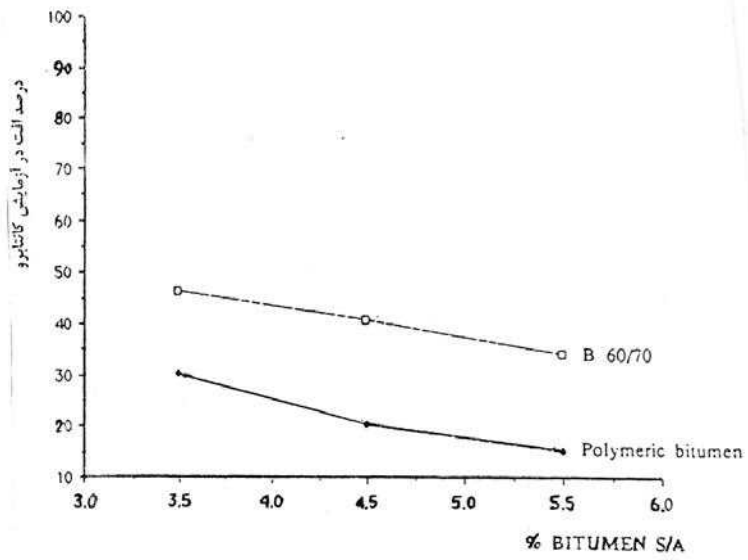
2- درصد افت وزنی نمونه پس از انجام آزمایش در دمای $25^{\circ}C$ کمتر از 35٪ وزن اولیه نمونه باشد و اگر آزمایش در دمای $18^{\circ}C$ انجام گیرد این مقدار کمتر از 30٪ باشد.

3- نمونه‌های مارشال باید با 50 ضربه در هر طرف آن ساخته شده باشد.

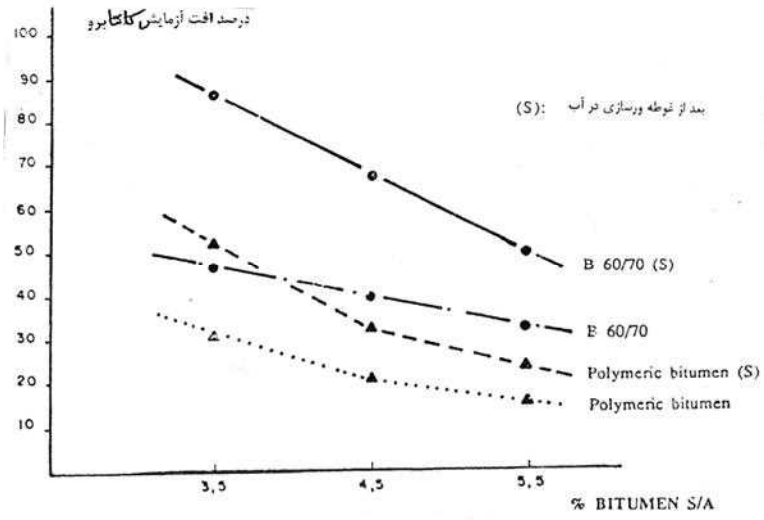
در این مورد هم قیر پلیمری به وضوح عملکرد بهتری نسبت به قیر خالص دارد. (جدول 2-8 و شکل 2-12)

در صورت غوطه‌ورسازی نمونه‌ها در آب قبل از آزمایش درصد افت در نمونه پلیمری 9 تا 22 درصد و در نمونه عادی 18 تا 40 درصد افزایش می‌یابد. (شکل 2-13)

omoorepeyman.ir



شکل 2-12- اثر نوع قیر در ازمایش کانتابرو



شکل2-13- اثر قیر بر چسبندگی

جدول 2-8- میزان منافذ و افت در دو نوع مخلوط آسفالت متخلخل در آزمایش سایش کانتابرو مرجع

نوع قیر	60/70			پلیمری		
درصد قیر	3/5	4/5	5/5	3/5	4/5	5/5
درصد فضای خالی	24/1	22/2	20/2	24/1	22/1	19/5
افت در حالت خشک	46	40	33	30	20	15
افت بعد از غوطه‌وری در آب	86	65	50	52	32	24

omoorepeyman.ir

4. فرونشست قیر

این مشکل که معمولاً خاص آسفالت متخلخل است و در اثر زهکشی قیر از منافذ و فرونشست آن به پایین لایه آسفالت متخلخل رخ می‌دهد و باعث از دست رفتن قیر سطح لایه و در نهایت اضمحلال لایه می‌شود. این مشکل به خصوص وقتی رخ می‌دهد که آسفالت با درصد کم ریزدانه و درصد بالای قیر ساخته می‌شود. در نمونه‌های آسفالت متخلخل ممکن است که فرونشست قیر به قسمت تحتانی لایه آسفالت در هنگام عبور و مرور رخ دهد که با از دست رفتن قیر سطح لایه، رویه به سرعت تحت ترافیک عبوری مضمحل می‌گردد. آزمایش‌های انجام شده به منظور تعیین تأثیر نوع قیر در فرونشست قیر نشان می‌دهد که استفاده از قیر پلیمری موجب کاهش قابل توجه فرونشست قیر می‌شود.

در این آزمایش 1000 gr از مخلوط آسفالتی در ظرفی ریخته می‌شود و به مدت یک ساعت در اون با درجه حرارت 140 درجه تا 160 درجه سانتیگراد قرار داده می‌شود سپس محتویات ظرف خالی می‌شود و قسمت‌هایی که به دیواره ظرف چسبیده توزین می‌شود. (در صورتی که آزمایش با ویبره کردن همراه باشد قبل از تخلیه محتویات ظرف به منظور تراکم، نمونه به مدت 15 دقیقه تکان داده می‌شود) [12]

نتایج حاصله از این آزمایش حاکی از آن است که در نمونه‌های آزمایش شده در دمای 140 درجه سانتی‌گراد و همراه با ویبره‌کردن میزان فرونشست قیر برای نمونه‌های ساخته شده با قیر پلیمری به وضوح درصد بسیار پایین‌تری نسبت به نمونه‌های ساخته شده به قیر خالص است. (جدول2-9)

جدول 2-9- اثر نوع قیر بر درصد وزن خشک

	بدون ارتعاش		**همراه با ارتعاش**	
	قیر 5%		**قیر 5%**	
درجه حرارت / نوع قیر	140	160	140	160
قیر پلیمری	1/4	1/9	1/8	4
قیر 60/70	1/6	2	5/1	513

omoorepeyman.ir

5. رابطه میزان تخلخل و مقاومت در برابر اضمحلال

در آسفالت متخلخل باید نوعی سازگاری بین تخلخل و مقاومت در برابر اضمحلال برقرار باشد و ضمن بالا بودن درصد فضای خالی نمونه، مقاومت در برابر اضمحلال نیز باید در حدی باشد که در برابر تنش‌های مماسی چرخ و مکش ایجاد شده در اثر ترافیک مقاومت کافی وجود داشته باشد. این دومشخصه با یکدیگر رابطه معکوس دارند و با تقویت یکی معمولاً از مقدار دیگری کاسته می‌شود، به گونه‌ای که بعضی مواقع با مصالح معمولی امکان تولید آسفالتی با نفوذپذیری بالا و مقاومت کافی در برابر تنش‌های سایشی وجود ندارد.

تجربه نشان می‌دهد که در درصدهای تخلخل کمتر از 20 تا 21 درصد، منافذ آسفالت به سرعت پر می‌شود و دوام نفوذپذیری در مدت طولانی بستگی به وجود درصد بالای تخلخل دارد جدول 2-10 نشان دهنده نفوذپذیری آسفالت متخلخل پس از گذشت 7/5 سال می‌باشد که بیانگر موارد زیر است:

1- اختلاف در زمان پر شدن منافذ در خطوط با سرعت مختلف به علت تفاوت در میزان مکش ناشی از سرعت حرکت اتومبیل در آن خطوط می‌باشد. به همین دلیل در خط سرعت منافذ دیرتر پر می‌شود (شکل 2-14)

2- وقتی درصد تخلخل پائین می‌آید منافذ به سرعت پر می‌شود.

3- فقط در قیر پلیمری پس از 7/5 سال هنوز مقدار نفوذپذیری رضایت‌بخش است.

شکل 2-15 نشان دهنده آن است که در تخلخل بالای 20٪ فقط در قیر پلیمری میزان کاهش مقاومت در برابر اضمحلال در آزمایش کانتابر و کمتر از 30٪ می‌باشد.

6. رفتار دو نوع آسفالت ساخته شده با قیر خالص و پلیمری در عمل

نتایج بدست آمده در جاده‌هایی که از آسفالت متخلخل با دو نوع قیر خالص و پلیمری ساخته شده‌اند، تقریباً همان نتایجی است که در آزمایشگاه گرفته شد.

جدول 2-11 نشان دهنده نتایج حاصله از استفاده از قیر پلیمری در آسفالت متخلخل همراه با مشخصات دانه‌بندی و درصد قیر به کار رفته در آن و میزان افت‌وزنی در آزمایش کانتابرو می‌باشد.

omoorepeyman.ir

7. نفوذپذیری

بعد از یک سال استفاده از راه، به تدریج، آثار گرفتگی در سطح آسفالت مشاهده شد. زمان عبـور آب بـا نفوذپـذیر سنج بین 16 تا 35 ثانیه گزارش شده است.

با این حال آسفالت متخلخل هنوز ضریب نفوذپذیری 20×10^{-2} cm/s را داراست که از نفوذپـذیری ماسـه بیشـتر است.

جدول 2-10- مسیر تغییرات نفوذپذیری با زمان [10]

نوع مخلوط	زمان تخلیه بر حسب ثانیه با نفوذپذیر سنج LCS							
	پلیمری P-10		P-10 (10و4)		P-10 (15و4)		P-12 (10و4)	
محل	خط‌کناری	خط‌میانی	خط‌کناری	خط‌میانی	خط‌کناری	خط‌میانی	خط‌کناری	خط‌میانی
بعد از 4 ماه	35		50		55		65	
بعد از 16 ماه*	38		90		100		70	
بعد از 2 سال	70	55	190	110	300	185	500	150
بعد از 7/5 سال	250	74	350	240	500	190	500	

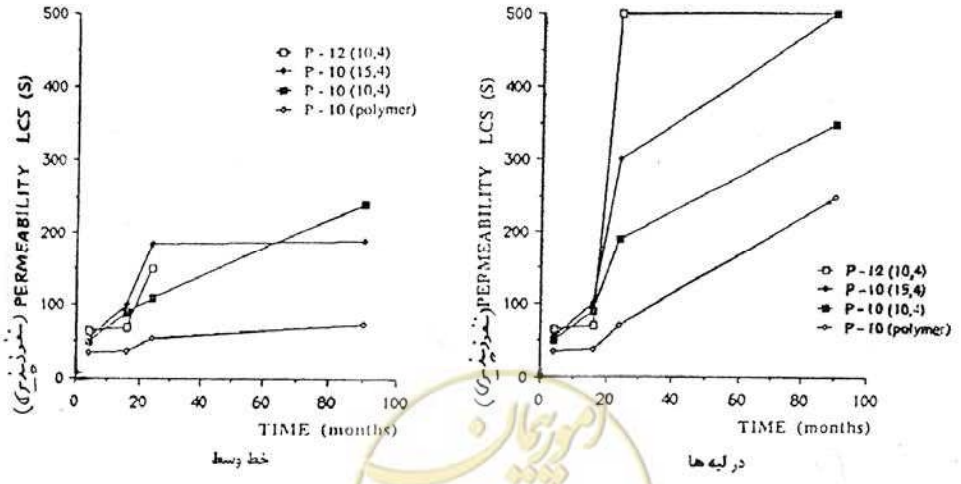
* مقدار متوسط

P-a (b,c)

a- حداکثر اندازه دانه سنگی

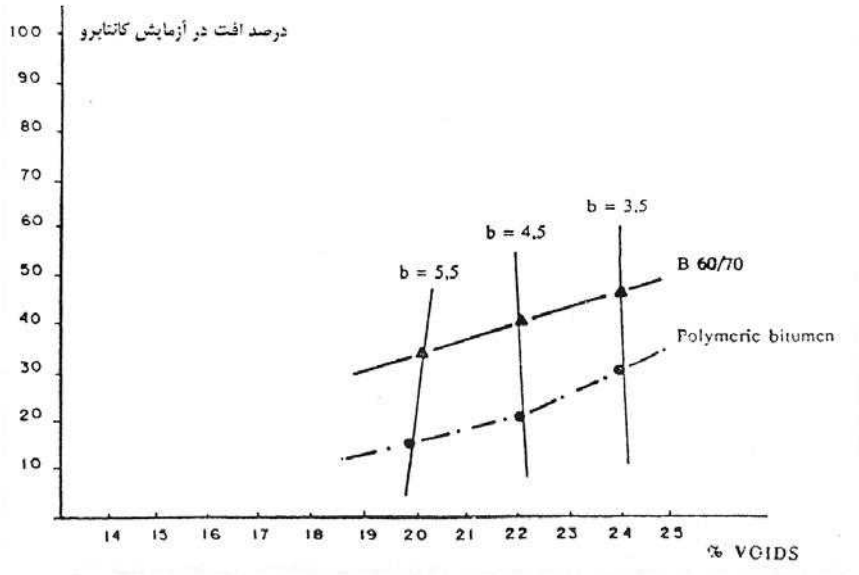
b- درصد دانه‌های سنگی کوچکتر از 2/5 میلی‌متر

c- درصد دانه‌های سنگی که کوچکتر از 0/08 میلی‌متر



شکل2-14- تغییر نفوذپذیری با زمان

omoorepeyman.ir



شکل2-15- نسبت افت منافذ

جدول 2-11- کارهای جاده‌ای انجام شده

تاریخ	محل	دانه‌بندی‌درصد عبوری از الک‌های استاندارد					درصد قیر	درصد منافذ	افت کانتابرو	
		12/5	10	5	2/5	0/08			خشک	مرطوب
1980/4	سولارز	100	85	36	18	5/5	4/5	20	12	-
1980/12	اورنز	100	87	25	16	3/5	4/5	20	12	-
1982/2	سولارز	100	82	32	14	3/5	4/8	20	14	-
1986/4	پامپونا	100	87	36	15	4	4/6	21	13	-
1986/4	بیل‌بائو	100	85	35	13	3/5	4/5	21	12	-
1985	اورنز	100	87	25	16	4	4/5	20	15	-
1986/3	بیل‌بائو	100	94	31	11	4	4/5	22/5	13	29
1986/7	بیل‌بائو	98	82	24	12	4/1	4/3	22	8	-
1987	ایریوزون	100	87	28	13	4	4/5	21	18	35
1987/9	اویدو	100	86	28	16	4	4/4	20	16	37
1987/10	لاس‌روزاس	100	84	22	14	4	4/5	22/5	12	24
1988/1	لاآوانزادا	100	85	27	13	4	4/3	23	14	-
1988/3	لیوگو	100	91	21	17	4	4	22	17	22
1988/3	لیوگو	100	86	19	12	4	4/5	21/6	10	-
1988/6	لاکرونا	96	59	20	14	4/7	4/5	21/4	12	22

omoorepeyman.ir

1988/9	پونت‌ودرا	100	87	29	21	4/7	4/5	21/4	13	15
1988/9	پانسیا	84	77	21	17	4	4/5	22/3	11	22
1988/21	اورنز	100	82	28	16	4	4/5	22/5	11	22
1988/12	بارسلونا	100	87	28	15	2	4/5	21/7	16	28

3-2-2- سابقه کاربرد آسفالت متخلخل در سوئیس

از سال 1982 انستیتوی مهندسی حمل و نقل و ترافیک بزرگراهها و آزاد راهها و راه آهن زوریخ یک برنامه تحقیقاتی دراز مدت در مورد رفتار آسفالت متخلخل را آغاز کرده است. نتایج تحقیقات برای دو گروه، جاده های با سرعت بالا و راههای شهری با سرعت طرح کمتر به طور جداگانه ای ارائه شده است. در این کشور تجربه نشان داده است که آسفالت متخلخل در جاده های با سرعت طرح بالا بسیار مثبت بوده است. حال آنکه در نواحی شهری دچار مشکلات مختلفی می باشد و مزایای اولیه به سرعت از بین رفته است. همچنین تمام پتانسیل کاهش صدا در نواحی شهری برای سرعتهای کمتر نمود پیدا نمی‌کند.

اولین باری که در سوئیس آسفالت متخلخل استفاده شد ، در سال 1972 در فرودگاه زوریخ بود. استفاده از آسفالت متخلخل در جاده ها به اواخر دهه 1970 و اوایل دهه 1980 میلادی باز می‌گردد [15].

آزمایش روسازی در سوئیس

برنامه تحقیقاتی روی 17 قطعه 150 متری انجام گرفت که در مجموع 212 کیلومتر طول را در بر می‌گرفت و قدیمی ترین قطعات در سال 1979 و بیش از نیمی دیگر از این مجموعه در سالهای 1985 و 1986 ساخته شده است.

دلیل کاربرد آسفالت متخلخل نیز در این قطعات کاهش صدا، ایمنی ترافیک و آزمایش مصالح بود. مشخصات کلی مصالح بکار رفته در ساخت آسفالت متخلخل در کشور سوئیس در جدول (2-12) نشان داده شده است.

جدول 2-12- مشخصات کلی آسفالت متخلخل در سوئیس [15]

دانه بندی	0-16	0-10
حداکثر اندازه سنگدانه ها (mm)	16	10
ضخامت لایه(mm)	45-50	28-42
درصد قیر	4/23-4/99	4/65-5/82
درصد فضای خالی (برای نمونه مارشال)	10/9-22/5	14/9-17
درصد فضای خالی (برای نمونه مغزه گیری شده)	14/6-19/6	14/6-21/1

omoorepeyman.ir

2-2-4- سابقه کاربرد آسفالت متخلخل در اتریش

پیشینه استفاده از آسفالت در کشور اتریش به سال 1984 بر می گردد. مسئله تصادفات جاده ای در شرایط مرطوب بودن جاده و سروصدای ترافیک برای ساکنین اطراف جاده ها مورد توجه متولیان امر در این کشور قرار گرفت ولی هیچ گونه اقدام مؤثری تا سال 1984 انجام نشد، تا اینکه در یکی از جاده‌های ترانزیت AIPS حدود 30000 متر مربع آسفالت متخلخل اجرا گردید. هدف از اجرای این آسفالت با دانه بندی باز (یا گسسته) صرفاً کاهش سرو صدا و رضایت ساکنین مقیم اطراف جاده بود [13]. این آسفالت بخاطر مسئله زیست محیطی از طرف مردم بنام Political Asphalt نامیده شده است [13].

در سال 1992 چیزی در حدود 18٪ کل جاده های اصلی این کشور پوشیده از آسفالت متخلخل بود. از آن زمان به بعد استفاده از آسفالت متخلخل کم شد، که دلیل عمده آن پایین بودن قابلیت این نوع آسفالت بود، چون بعد از بروز خرابی در سطح این آسفالت، تعمیر و نگهداری آن مشکل بوده و پس از تعمیر هم دیگر خاصیت تخلخل آسفالت از بین می رود.

در انتهای سال 1995 مقدار استفاده از آسفالت متخلخل در اتریش به حدود 8 میلیون متر مربع بوده رسیده است. [2].

این نوع آسفالت در این کشور با دانه بندی باز از نوع ماکادام ابتدا با حداکثر اندازه سنگدانه ها 12/5mm تهیه و اجرا شد. سپس اندازه حداکثر سنگدانه ها mm 11 با 80 تا 85 درصد شکستگی انتخاب شد. بر طبق مشخصات این کشور این نوع آسفالت برای جاده هائی که سرعت در آنها زیاد است (بیشتر از 75km/hr) بکار می رود. رایج ترین آسفالت متخلخل مورد استفاده در اتریش مخلوط mm 0-11 با ضخامت 40mm و میزان قیر 5/2 درصد است. در این کشور تنها از قیرهای اصلاح شده استفاده می‌شود. نوع دیگر این آسفالت بنام Micro dram Asphalt با حداکثر اندازه دانه ها 11mm یا 8mm و ضریب دانه بندی (Power Line) حدود 0/58 می باشد که در این کشور مورد استفاده قرار می گیرد. این آسفالت در جاده های اصلی و فرعی بکار می رود و در شهرها کاربرد ندارد. اختلاف این دو نوع آسفالت در حجم فضای خالی آنها است [13].

در حال حاضر از قیرهای پلیمری- اصلاح شده به طور وسیعی در این کشور استفاده می شود. در اتریش هنگامی که مقدار منافذ به زیر 8٪ می‌رسد با فشار آب آنرا پاک می‌کنند، تا فضای خالی در حد مطلوب باقی بماند.

omoorepeyman.ir

در حالت کلی عملکرد آسفالت متخلخل در اتریش رضایت بخش است اما حساسیت به شن زدگی سطح آسفالت در این کشور موجب شده تا مردم به سمت استفاده از آسفالت معمولی روی آورند و از آن استقبال بیشتری بکنند و مسئولان هم در پی حمایت مردم، استفاده از آسفالت متخلخل را تا حد زیادی متوقف کرده‌اند. [14].

2-2-5- سابقه کاربرد آسفالت متخلخل در فرانسه

شبکه راههای فرانسه در حدود ۱،۹۵۴،۰۰۰ کیلومتراست. آب و هوای فرانسه معتدل، شرق آن مواجه با زمستانهای سخت (سیکل ذوب ـ انجماد) و زمستان غرب آن تحت تأثیر آب و هوای اقیانوسی شدید نیست. بطور کلی آسفالت متخلخل در راههای ملی و آزاد راههای این کشور بکار می‌رود.

در کشور فرانسه، استفاده از آسفالت متخلخل در سال 1976 آغاز شده و از سال 1984 تا 1990 افزایش یافته و سپس تثبیت شد. از سال 1990 روند استفاده از این نوع آسفالت اندکی کند شد و عمده دلیل کند شدن روند استفاده از این نوع آسفالت، ملاحظات مربوط به نگهداری آنها در زمستان است. در سال 1995 میلادی بیش از 60٪ کل بزرگراه-های فرانسه برای زیر پوشش قرار گرفتن آسفالت متخلخل مد نظر قرار گرفت و 15٪ این نواحی هم تاکنون عملیات روکش آسفالت آنها از نوع متخلخل به پایان رسیده است. اغلب مناطق زیر پوشش آسفالت متخلخل در فرانسه از آسفالت با ضخامت 40 میلیمتر استفاده می‌کنند و قیری را که به این منظور استفاده می‌کنند دارای درجه نفوذ 50/70 است. در بزرگراههایی که برای اجرای رویه آسفالت متخلخل به شرکت های مربوطه واگذار گردیده است از قیرهای اصلاح شده با پلیمر یا الیاف تقریبا بطور انحصاری استفاده می‌شود.

استفاده از آن در داخل شهر خیلی معمول نیست. در سال 1990 حدود ۲،۸۰۰،۰۰۰ متر مربع از این آسفالت برای راههای اصلی جدید احداث و نگهداری در این کشور مصرف شده، و در برنامه نگهداری راههای ملی ۱،۳۰۰،۰۰۰ متر مربع استفاده می شود. در سال 1989 حدود 12/5 درصد از کل روکش های راههای ملی آسفالت متخلخل بوده است. بطور کلی از بدو شروع تا سال 1995 بالغ بر 25 میلیون متر مربع آسفالت متخلخل در فرانسه اجرا گردیده است [2]. با توجه به تحقیقات آزمایشگاهی و بخش خصوصی به سه منظور از آسفالت متخلخل در فرانسه استفاده می شود[16]:

- روکش : ضخامت روکش 2 و یا 4 سانتی متر با دانه بندی مختلف (10-0 یا 14-0) و فضای خالی بیشتر از 20 درصد.

omoorepeyman.ir

- کاهش صدا : در فرانسه حد بهینه آسفالت برای صداگیری 15mm می باشد.
- آسفالت مخزنی : برای مناطقی کاربرد دارد که از نظر زهکشی مسئله دارند (ظرفیت کافی برای زهکشی ندارند) یا اصولاً غیر زهکش هستند. در این حالت ساختمان رویه راه بعنوان یک دریافت کننده (مخزن) در شرایط بارندگی شدید عمل می کند و آب بصورت یک جریان پیوسته به سیستم زهکش هدایت می شود. در این حالت ضخامت لایه آسفالتی زیاد (معمولاً دو لایه) بوده و از مصالح شنی با دانه بندی باز استفاده می شود. ضمناً زیر لایه آسفالتی نیز بایستی غیر قابل نفوذ باشد (در طول مدت دو سال اخیر برای 100 جا در جنوب غربی فرانسه بکار رفته است) [16].

طبق اظهار نظر مهندسین این کشور میزان تصادفات در شرایط خیس بودن جاده با کاربرد این آسفالت کاهش یافته است. بعنوان مثال جاده a7 بین Vlence و Lyon قبل از روکش آسفالت متخلخل در سالهای 1979 و 1985 حدود 52 مورد تصادف گزارش شده بود در حالیکه بعد از روکش آسفالت متخلخل در سالهای 1985 و 1989 هیچ تصادفی در این قطعه گزارش نشده است. در جاده های کمربندی نظیر شهرهای بوردو و تولوز و سایر شهرها در حال حاضر با این آسفالت روکش شده است.

به منظور تسهیل توسعه کاربرد این نوع آسفالت و ارایه اطلاعات عملی مورد نیاز به صاحبان کار، به ابتکار مؤسسه سترا (مؤسسه مطالعات فنی راهها و آزاد راهها) گروه کاری ایجاد شد، که کارشناسان اداره راهها، پیمانکاران راهها، شهرداری ها و آزمایشگاه مرکزی پل و راه به آن پیوستند. این گروه در مارس 1988، اطلاعیه ای تهیه و منتشر نمود. آزمایشگاه مرکزی پل و راه ، که از سالها قبل، تحقیقات مربوط به رویه‌های زهکش را رهبری می‌کرد، اقدامات خود را در زمینه تعیین فرمول آزمایشگاهی، تصویرهای حاصل از آب، ویژگی های صوتی و بالاخره نگهداری زمستانی شدت بخشید [16].

پیمانکاران فرانسوی، آزمایشاتی را با مخلوط های mm 6-0 را هم با میزان تخلخل بسیار زیاد (بین 25٪ تا 28%) بدون استفاده از شن (یا با میزان شن اندک) مورد انجام داده اند. این مخلوط ها تماما تا حد زیادی اصلاح شده اند زیرا تا حد زیادی نسبت به تنش های افقی (و به دنبال آن شن زدگی) حساس می باشند. مزایای استفاده از چنین لایه هایی با دانه‌بندی ریز، آلودگی صوتی کم و مقاومت سرخوردگی زیاد (بدلیل بافت ریز) می‌باشد.

omoorepeyman.ir

دوام آسفالت متخلخل خوب طراحی شده با دوام آسفالت معمولی یکسان می‌باشد. (Bonnot) میزان تخلخل بالا موجب پیر شدگی سریع قیر شده اما ضخامت لایه قیر موجب جلوگیری از این نتیجه در گرایش غیر عادی شن زدگی می‌کند. Bonnot نتیجه گیری می‌کند که آسفالت متخلخل باید عمدتا بر روی بزرگراههای دارای ترافیک زیاد و راههای سریع السیر شهری با سرعت تردد مجاز 80 یا 100 کیلومتر بر ساعت که در آنها قوسهایی با شعاع کمتر از 300 متر (R<300 m) وجود نداشته باشد، مورد استفاده قرار گیرد.

2-2-5-1- آزمایش‌های مرکز تحقیقات اروپایی اکسون در مونت سینت ایگنان

در مرکز تحقیقات اروپایی اکسون به منظور تاثیر و مقایسه قیرهای پلیمری و قیرهای اصلاح شده با لاستیک در آسفالت متخلخل تحقیقات انجام شده است. در این تحقیقات از نمونه‌هایی با دانه‌بندی 10-0 میلی‌متر و با درصد خالی بیش از 20٪ و چگالی تقریبی 2 با ضخامت و شرایط آب و هوایی و ترافیکی یکسان استفاده شده است. [17]

87٪ سنگ شکسته 10-6 میلی‌متر، 11٪ سنگ شکسته 2-0 میلی‌متر، 2٪ فیلر

درصد قیر برای آسفالت متخلخل با قیر خالص 70-60 برابر 4/7 درصد، برای آسفالت متخلخل با قیر اصلاح شده(PMA) برابر 5/5 درصد و برای آسفالت لاستیکی(ARB) برابر 6/8 درصد می‌باشد. خصوصیات قیرهای بالا به شرح جدول 2-13 می‌باشد. درجه حرارت اختلاط برای آسفالت معمولی 60/70 برابر 150 درجه سانتی‌گراد برای PMA برابر 160 درجه سانتگراد و برای RAM برابر 180 درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

در این‌جا از آسفالت لاستیکی به اختصار به ARB[1] و آسفالت متخلخل با قیر لاستیکی به PARC[2] و از آسفالت متخلخل به عنوان PAC[3] نامبرده می‌شود.

مدول دینامیکی مخلوط‌های گرم برای چهار درجه حرارت 10، 20، 30 و 40 درجه سانتی‌گراد و شش فرکانس 20، 10، 30، 0/3 و 0/1 هرتز محاسبه شده است (شکل‌های 2-16تا 2-19)

1- Asphalt Ruber Bitumen

2 - Porous Asphalt Rubber Conerete

3 - Porous Asphalt Conerete

omoorepeyman.ir

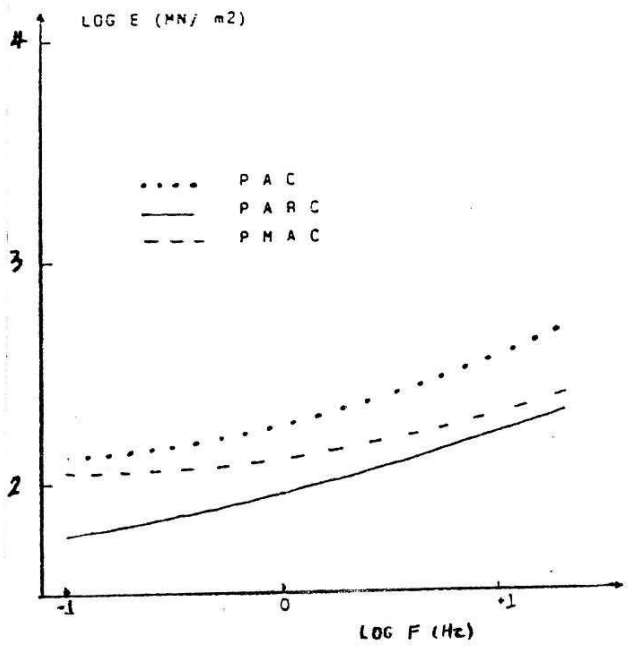
توجه داشته‌باشید که مخلوط‌های متخلخل ضریب سختی کمتری نسبت به مخلوط‌های آسفالت معمولی دارند (تقریباً نصف) در درجه حرارت کم PARC دارای انعطاف‌پذیری بیشتری است که این امر در دمای پائین و سرد زمستان مزیت بزرگی محسوب می‌شود.

جدول 2-13- مشخصات قیرهای مورد استفاده در آزمایش

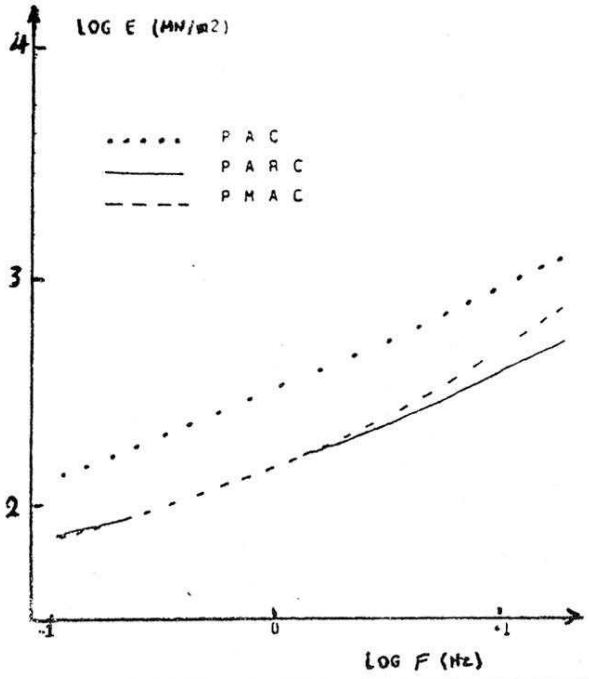
	آسفالت با قیر 60/70	PMA	ARB
چگالی در $25\ ^oC$	1/03	1/01	1/03
درجه نفوذ در دمای $10\ ^oC$	15	18	22
درجه نفوذ در دمای $15\ ^oC$	-	-	32/5
درجه نفوذ در دمای $20\ ^oC$	-	52	46
درجه نفوذ در دمای $25\ ^oC$	61	97	68
درجه نفوذ در دمای $30\ ^oC$	96	135	105
نقطه نرمی (^oC)	50/2	83	63/2
نقطه شکست (^oC)	-12	-19	-

آزمایش خزش دینامیکی در دمای 30 C ◦ و تحت بار محوری 0/3MPa (45Psi) و فشار جانبی یکسان 0/1 MPa (15Psi) روی تمام نمونه‌ها انجام می‌گیرد (شکل2-20) با وجود سختی کم PARC رفتار خوبی در مقابل خزش و شیاری شدن از خود نشان می‌دهد. (اندازه‌گیری گودافتادگی مسیر حرکت چرخ به وسیلهٔ شمشه در طول جاده را آزمایش شیار شدن گویند)

omoorepeyman.ir

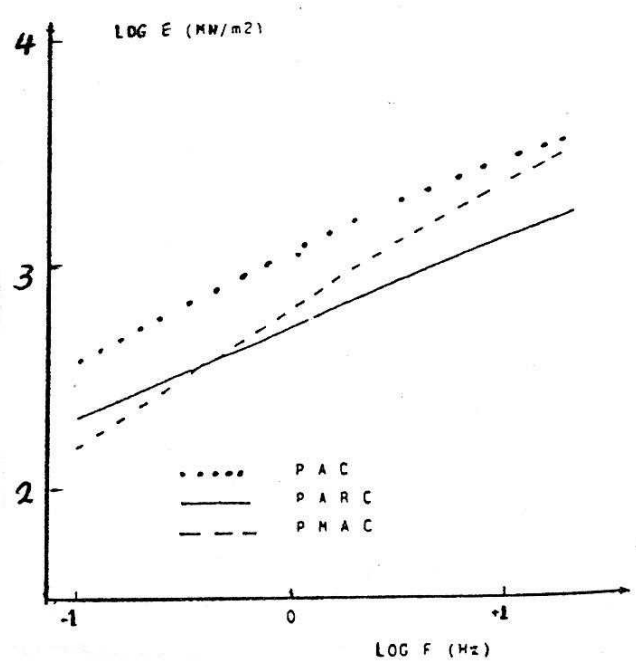


شکل2-16- مدول دینامیکی در دمای 40 ○C

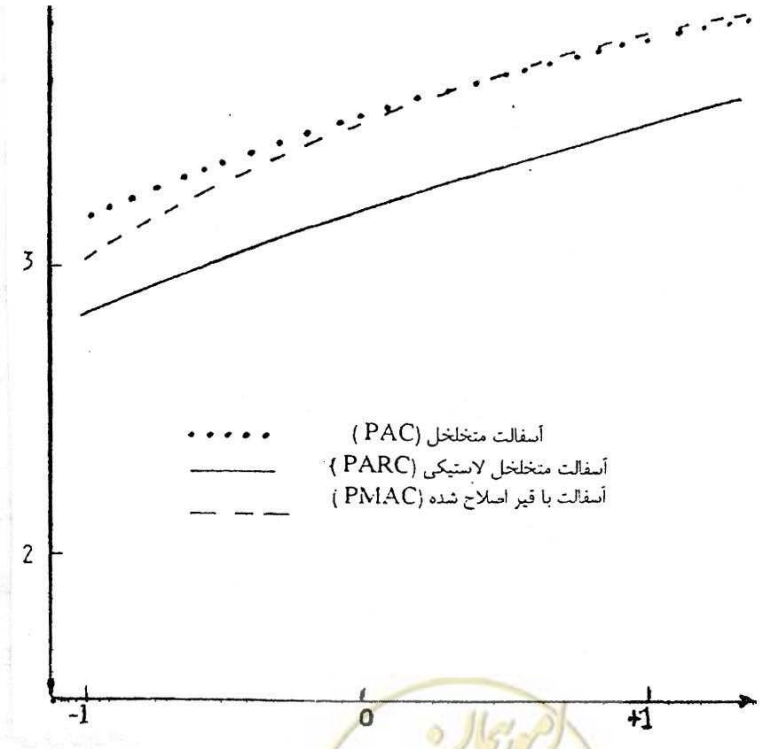


شکل 2-17- مدول دینامیکی در دمای 30 ○C

omoorepeyman.ir



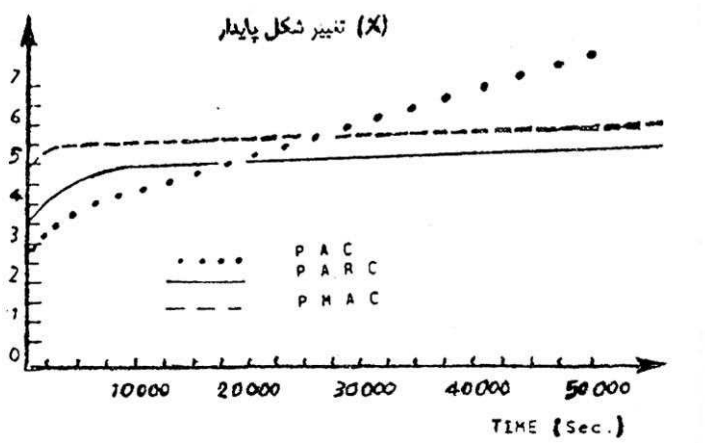
شکل2-18- مدول دینامیکی در دمای 20 ○ C



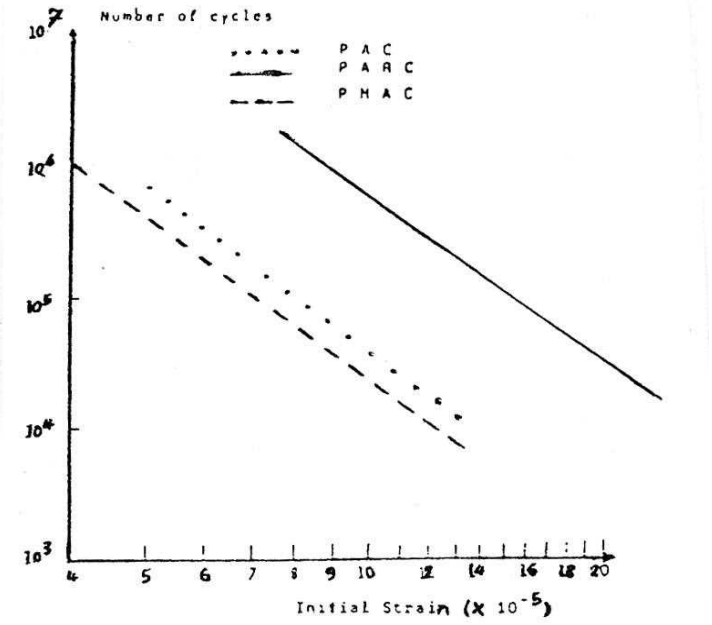
شکل2-19- مدول دینامیکی در دمای 10 ○ C

omoorepeyman.ir

نمونه‌ها با همان روش آزمایش مدول دینامیکی برای آزمایش خستگی آماده می‌شود اما ضخامت قسمت وسط آن کاهش می‌یابد تا گسیختگی در این قسمت رخ دهد.(شکل2-21)



شکل2-20- آزمایش خزش



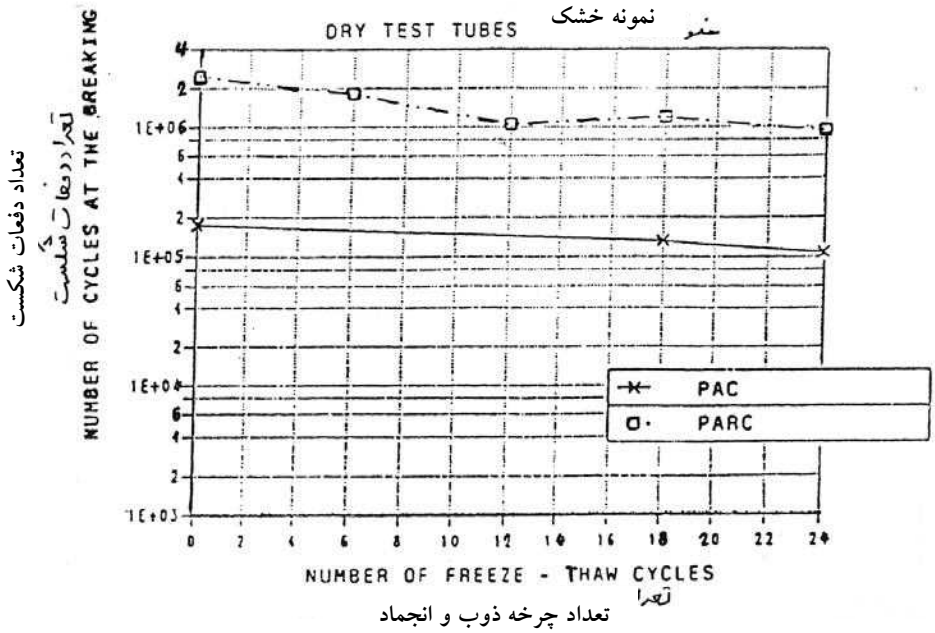
شکل 2-21- زوال در اثر خستگی در برابر تعداد دفعات بارگذاری

omoorepeyman.ir

آزمایش چرخه ذوب-انجماد و مقاومت در برابر یخزدگی با نمک

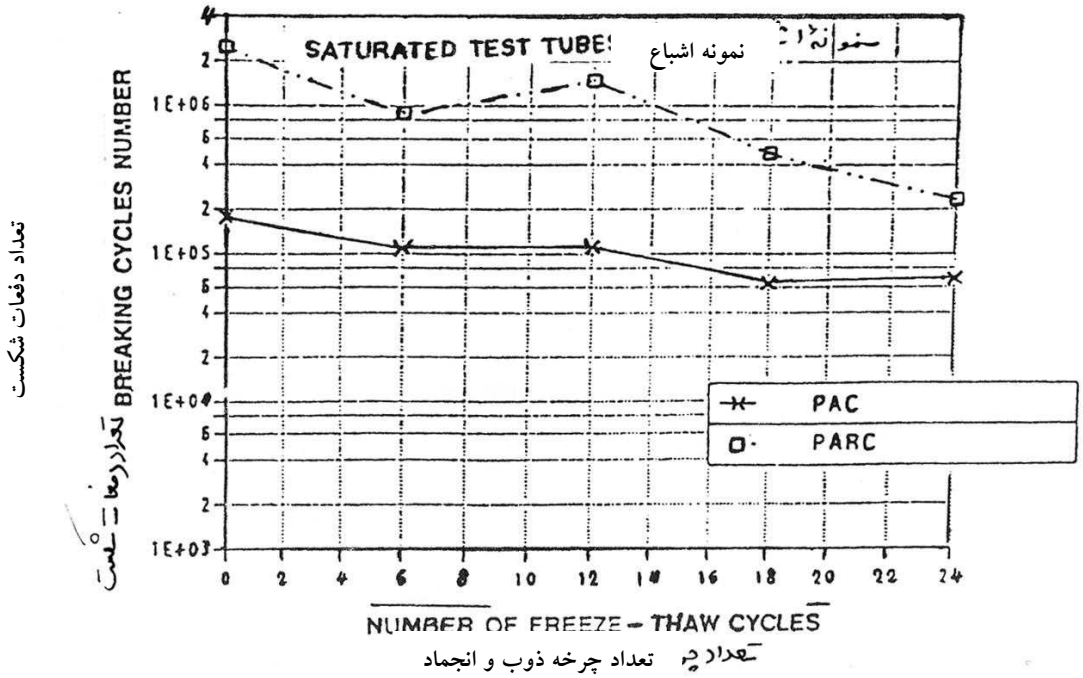
حساسیت برای چرخه ذوب و انجماد توأم با خستگی برای دو نمونه PAC و PARC در حالت‌های تـر و خشـک در شکل‌های 2-22 و 2-23 نشان داده شـده اسـت. آزمـایش‌هـای فـوق بـر روی نمونـه‌هـایی کـه مـدت 24 سـاعت در دما C ◦20- به سر برده‌اند انجام شد. مقدار کرنش اولیه برای نمونه‌های PAC برابر 8×10^{-5} می باشد و برای نمونه‌هـای PARC در مقابل خستگی رفتار بهتری نسبت به نمونه‌های PAC ثبت گردیده است. هدف از آزمایش یخزدایی با نمـک تخمین و مقایسه رفتار مکانیکی نمونه‌های PARC و PAC پس از غوطه‌ور سازی در محلول‌های آب‌نمک (با استفاده از نمک‌های پتاسیم و کلسیم) در دماهای 18 درجه سانتی گراد و 5- درجه سانتی گراد می‌باشد.

آزمایش‌های خستگی بر روی نمونه‌های مختلف PARC و PAC قبل و بعد از 8 روز غوطه‌ورسازی در آب همـراه با املاح نمک پتاسیم با غلظت 0/25kg/L و کلرید کلسیم با غلظت 0/8 درصد انجام می‌گیرد.



شکل2-22- چرخه ذوب – انجماد برای نمونه خشک

omoorepeyman.ir



شکل2-23- چرخه ذوب- انجماد برای نمونه اشباع

مقاومت خستگی نمونه‌های PARC حساسیتی نسبت به 8 روز غوطه‌وری در محلول آب نمک از خود نشان نداد ولی نمونه‌های PAC با قیر 60/70 کاهش بین 25 تا 60 درصد از خود نشان دادند.

2-2-6- آلمان

در آلمان یک برنامه تحقیقاتی بین سال های 1986 تا سال 1993 برای یافتن پتانسیل کاهش آلودگی صوتی آسفالت متخلخل (Larmmindernde Asphalt) انجام شده است[21]. دانه‌بندی های معمول مورد استفاده (mm 0-8) و (mm 0-11) می‌باشد. مخلوط آسفالت متخلخل برای داشتن درصد فضای خالی بیشتر از 20 درصد طراحی شده که در عمل فضای خالی آن بین 15 تا 25 درصد متغیر می‌باشد. از قیرهای اصلاح شده نیز استفاده بطور گسترده استفاده شده است. (Reichelt) نتیجه این تحقیقات، مخلوط‌هایی درشت دانه (mm 0-16) با میزان تخلخلی کمتر از 15 درصد بود که طول عمر سازه ای خوبی داشته، اما ویژگی‌های کاهش سر و صدای آنها چندان قابل توجه نبود. مخلوط‌های با دانه‌بندی ریز (mm 0-8) از لحاظ کم کردن سر و صدا بهتر عمل می‌کنند اما طول عمر سازه‌ای آنها کمتر است. آزمایش‌های میدانی جدیدی در سال 1993 بر روی آسفالت‌های دارای درصد فضای خالی زیاد و کم انجام شد، که نتایج تحقیق بیانگر طول عمر خدمت دهی بین 5 تا 7 سال برای این نوع آسفالت‌ها بود. به منظور افزایش عمر

omoorepeyman.ir

خدمت دهی از قیرهای اصلاح شده متفاوت، عملیات تراکمی و اثرات همواری این نوع آسفالت‌ها مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت اما مشخص شد که شن زدگی بعد از 5 سال اتفاق می‌افتد. بنابراین وزارت حمل و نقل کشور آلمان بر آن شده است تا از آسفالت متخلخل فقط در صورتی که هزینه موانع صوتی زیاد باشد، استفاده کند.[18]

بر اساس گزارش آقای Suss برای رسیدن به آسفالتی با طول عمر سازه‌ای طولانی‌تر، دستورالعمل اجرای آسفالت متخلخل مورد بازنگری قرار گرفت، بطوریکه حداقل مقدار قیر افزایش یافته و تنها استفاده از قیرهای اصلاح شده پلیمری مجاز می‌باشد.

آقای Ripke هم به پنج نسل آسفالت متخلخل در آلمان اشاره دارد؛ اولین و دومین نسل همان آسفالتی که تحت نام آسفالت Reichelt آن را می شناسند، سومین نسل که به سال 1996 تا 2004 بر می‌گردد، دارای درصد فضای خالی بالاتر از 22٪ است، چهارمین نسل (1998-2004) همان آسفالت دو لایه‌ای مورد استفاده در هلند می‌باشد و پنجمین نسل آسفالت آلمان (از سال 2003 به این طرف) آسفالتی است با ضخامت متغیر که بر روی پروژه های تحقیقات میدانی در مقیاس گسترده اجرا می‌شود. در تمام موارد یاد شده دوام سازه‌ای آسفالت بر حسب دوامی که در برابر شن‌زدگی دارند، ارزیابی می‌شوند. شن زدگی عمدتا مرتبط با سخت شدگی قیر و افزایش نقطه نرمی است که از 1/5 تا 2 درجه سانتیگراد در سال گزارش شده است. برای بتن آسفالتی افزایش نقطه نرمی تقریبا 1 درجه سانتیگراد در سال گزارش شده است. همچنین افزایش نقطه نرمی در مقاطع آزمایشی در آلمان و دیگر نتایج آزمایشی مرتبط با عملکرد هفت نوع مخلوط متفاوت بعد از 6-4 سال گزارش شده است. [18]

بر اساس گزارشSchäfer نسل سوم آسفالت متخلخل در آلمان بعد از سال 1996 با دانه‌بندیmm 0/8 و قیر پلیمری در ضخامت 40 میلیمتر با درصد فضای خالی حداقل 22 درصد اجرا شده است. که عملکرد آنها در کاهش آلودگی صوتی بیشتر از 6 سال و عملکرد سازه ای آنها بیشتر از 10 سال بوده است.

همچنین Schäfer عنوان نموده که از آسفالت متخلخل دو لایه برای اولین بار در بهار سال 2004 به عنوان قطعه آزمایشی در بخشی از یک اتوبان آلمان استفاده شده است. Schäfer همچنین ماشین فینیشر compact module را برای پخش آسفالت متخلخل دو لایه مطرح ساخته است. [20]

omoorepeyman.ir

2-2-7- انگلستان

آقای Bowski و همکاران گزارش کردند که مشخصات مربوط به آسفالت متخلخل در انگلستان بر اساس میزان رفت و آمد بر روی جاده‌ها تعیین می‌شود و قدمتی 20 ساله دارد. آنها اعلام نمودند که در انگلیس از لایه‌ای ضخیم با ضخامت 50 mm با سنگدانه هایی با ماکزیمم اندازه 20 mm و با کیفیت بالا استفاده می‌شود. بر اساس بررسی‌های انجام شده اشاره داشتند، که طول عمر آسفالت متخلخل بدلیل بسته شدن منافذ و سخت شدگی قیر محدود می‌شود. بررسی‌های انجام شده نشان داده که همه ساله کاهشی معدل 20 درصد در درجه نفوذ وجود داشته و شکست زود هنگام زمانی روی می‌دهد که نفوذ قیر کمتر از 15 بود. لذا اقدامات اصلاحی بعدی برای حل مسئله سخت‌شدگی قیرها با افزایش ضخامت فیلم قیری اما در عین حال با کاهش زهکشی قیر همراه بود. پس از انجام آزمایشهای مختلف در انگلستان روشن شد که درجه نفوذ قیرها در آسفالت متخلخل باید 100 و 200 باشد و استفاده از اصلاح کننده‌های مختلف، مجاز اعلام گردید. بر اساس تصمیم‌گیری سال 1992 استفاده از آسفالت متخلخل در راههای پر رفت و آمد و بزرگراهها، مجاز شمرده شد. این تصمیم‌گیری منجر به استفاده گزینشی از آسفالت متخلخل در برخی از محل‌های حساس می‌شود. آقای Bowski چنین نتیجه‌گیری می‌کند که هزینه زیاد استفاده از آسفالت متخلخل منجر به محدود شدن استفاده از این نوع آسفالت شده و از آنجایی که انواع جدید آسفالتهای نازک، بسیاری از خواص سودمند آسفالت متخلخل را بدون هیچگونه مشکلی دارند، انتظار می‌رود که اینگونه آسفالت‌ها مورد استفاده قرار گیرند. این راهبرد توسط Wright نیز مورد تأیید قرار گرفته است.[23]

2-2-8- ژاپن

استفاده از آسفالت متخلخل در ژاپن به سال 1987 برمی گردد.(Motomatsu) در اولین بخش‌هایی که به طور آزمایشی در ژاپن به زیر پوشش آسفالت متخلخل قرار گرفتند؛ از قیر اصلاح شده با پلیمر SBS استفاده شد و بواسطه ترافیک سنگین و شرایط نامساعد جوی حاکم بر محل در نظر گرفته شده برای آزمایش، مخلوط های مربوط به آزمایش در چند سال مضمحل شدند. بنابراین از نوعی قیر استفاده شد که میزان پلیمر آن تغییر داده شده بود و حاوی بیش از SBS %9 بود. دلیل اصلی استفاده از آسفالت متخلخل در کشور ژاپن، افزایش ایمنی تردد و جلوگیری از شیارشدگی روسازی بود. در سال 1998 مقامات ژاپنی تصمیم گرفتند در تمام بزرگراه‌های این کشور از آسفالت متخلخل بعنوان رویه

omoorepeyman.ir

استفاده کنند. این ایده بسیار موفقیت‌آمیز بود و در پایان سال 2002 بیش از 40٪ بزرگراه‌های ژاپن با آسفالت متخلخل روکش شد. بنا به گزارش EAPA در سال 2003، در مجموع بیش از 152 میلیون متر مربع از سطح راه‌های کشور ژاپن، دارای رویه آسفالت متخلخل است. در همین سال یعنی در سال 2003 کل مساحت راه‌هایی که در هلند پوشیده از آسفالت متخلخل بودند، تنها 50 میلیون متر مربع بود.

شکل2- 25 عملکرد دو نوع آسفالت را در خلال بارش باران در بزرگراهی در توکیوی ژاپن نشان می‌دهد که در بخش دارای آسفالت متخلخل وضوح دید بهتر نسبت به بخش دارای روکش آسفالت قابل مشاهده است.[24]

شکل2-24- آسفالت متخلخل در توکیو-ژاپن در جریان بارش باران

2-2-9- نیوزیلند

برای اولین بار استفاده از این نوع آسفالت در سال 1975 در این کشور مطرح شد و تأکید بر این بود تا میزان درصد فضای خالی باقیمانده آسفالت بیش از 14٪ باشد. در دهه 1980 میلادی مشخصه این نوع آسفالت تغییر داده شد و به میزان درصد فضای خالی بیش از 20٪ توجه شد، اما به علت کم اثر بودن این میزان درصد فضای خالی در عملکرد آسفالت، تصمیم گرفته شد، تا یک تحقیق برای حداکثر نمودن میزان درصد فضای خالی(بالای 30٪) پیاده سازی و اجرا شود. مخلوطهای استانداردی که در نیوزیلند استفاده می‌شود عبارتند از مخلوطهای 20 میلی متر و 14 میلی متر. در سالهای اخیر مطالعاتی بر سر استفاده از آسفالت دو لایه 70 میلی‌متر آغاز شده است. [25]

omoorepeyman.ir

2-2-10- سابقه کاربرد آسفالت متخلخل در ایالات متحده امریکا

در امریکا آسفالت متخلخل بنام لایه اصطکاکی با دانه بندی باز[1](OGFC) شناخته می شود که در سال 1950 در مناطق مختلف امریکای شمالی برای بهبود مقاومت اصطکاکی روسازیهای آسفالتی استفاده می گردید [30].

از زمانی که در سالهای دهه 1950 و 1960 آسفالت متخلخل مطرح شد، اداره راه و ترابری جرجیا2(GDOT) از این مخلوطها بعنوان رویه های پوششی متخلخل با ضخامت کم به طور عمده بر روی بزرگراههای داخل ایالت استفاده کرده است. [26]

FHWA3 روش طراحی را برای آسفالت متخلخل را در سال 1974 توسعه داد که تحت عنوان (FHWA Report No.FHWA-RD-74-2,January1974) ارائه و در سال 1990 آن را بازنگری کرد که تحت عنوان (FHWA Technical Advisory T5040,31 dated December ,1996OGFC) گزارش نمود [29].

در آمریکا در سالهای اخیر حرکت به سمت استفاده از تکنولوژی های اروپایی در روکش رویه روسازی ها با آسفالت متخلخل آغاز شده است. اخیرا یک تور تحقیقی تحت عنوان FHWA/AASHTO به بررسی تکنولوژیهای اروپایی در تولید و استفاده از آسفالت متخلخل اقدام کرده است و کار بررسی خود را در پنج کشور اروپایی از جمله دانمارک و هلند آغاز نموده است. مخلوط OGFC که در گذشته در آمریکا مورد استفاده قرار می گرفت با آسفالت متخلخل مورد بحث ما تفاوتهای بسیار دارد. تفاوت عمده آسفالت متخلخل استفاده شده در ایالات متحده امریکا با آسفالت متخلخل مورد استفاده در اروپا در درصد فضای خالی آنها می باشد که در امریکا حداکثر 15٪ و در اروپا تا بیش از 20٪ می رسد [21]. نمایی از روکش آسفالت متخلخل در امریکا در شکل 2-26 نشان داده شده است.

1- Open-Graded Friction Course
2- Georgia Department of Transportain
3 - Federal Highway Administration

omoorepeyman.ir

شکل2-25- نمایی از رویه آسفالت متخلخل در امریکا

بطور کلی چند ایالت امریکا از جمله جرجیا، تگزاس، اورگون، فلوریدا و آریزونا دارای تجربه و کارهای تحقیقات میدانی بیشتری در این زمینه در مقایسه با سایر ایالتها می باشند. شکل2-27 تفاوت در نوع آسفالت متخلخل در دو ایالت جرجیا(سمت راست شکل) و ایالت آریزونا(سمت چپ شکل) نشان می دهد.

شکل2-26- مقایسه آسفالت متخلخل آریزونا با آسفالت متخلخل جرجیا[31]

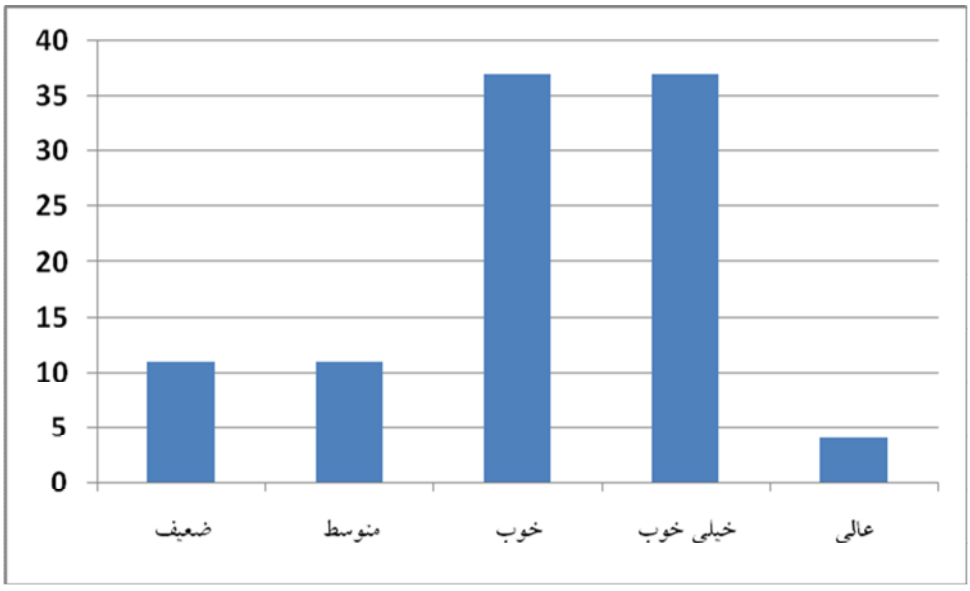
omoorepeyman.ir

2-2-10-1- مطالعه NCAT در باره تجربه آسفالت متخلخل در ایالتهای امریکا

در سال 1998، NCAT بررسی درباره روشهای طراحی و عملکرد آسفالت متخلخل در سطح ایالت‌های مختلف امریکا انجام داد. در 43 ایالت که به پرسشنامه‌های ارسالی پاسخ دادند. بر اساس این مطالعه 8 درصد ایالتها اصلا از آسفالت متخلخل استفاده نمی‌کنند. 38 درصد ایالتها استفاده می‌کنند. و 38 درصد نیز بدلیل دوام کم آن استفاده از آنرا متوقف نموده‌اند. [33]

بر اساس این گزارش 33 درصد ایالتها متوسط عمر خدمت دهی آسفالت متخلخل را 10 تا 12 سال بیان کرده اند، 30 درصد 8 تا 10 سال گزارش نموده، 17 درصد کمتر از 6 سال و 10 درصد هر دوی 6 تا 8 و بیشتر از 12 سال گزارش نموده‌اند.

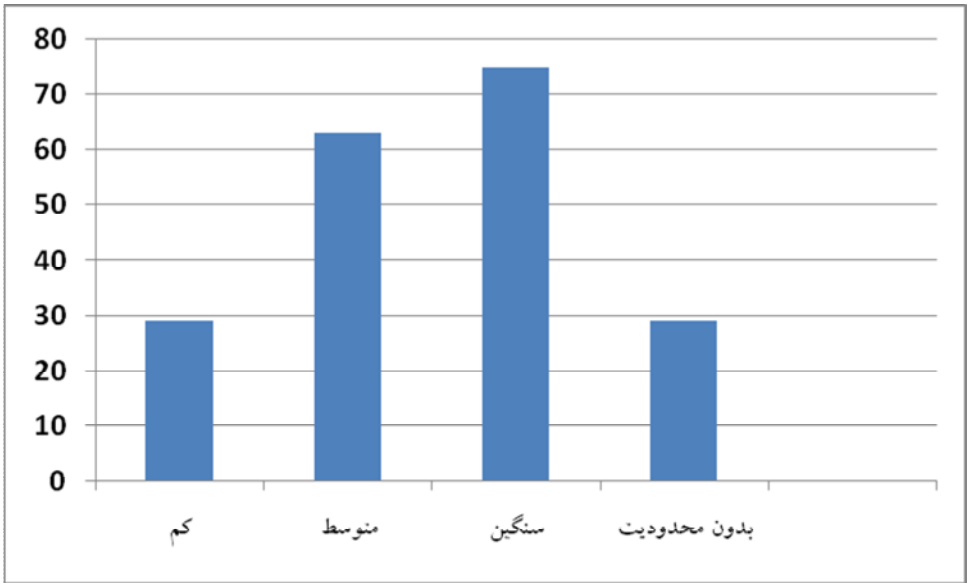
عملکرد آسفالت متخلخل بر حسب دوام از ضعیف تا عالی رتبه بندی شده است. 37 درصد ایالتها، عملکرد خیلی خوب، 37 درصد عملکرد خوب، 11 درصد عملکرد متوسط، 11 درصد عملکرد ضعیف و 4 درصد عملکرد عالی گزارش نموده‌اند. رتبه‌بندی عملکردها در شکل 2-28 نشان داده شده است. [33]



شکل 2-27- عملکرد آسفالت متخلخل در ایالت‌های مختلف امریکا

omoorepeyman.ir

موارد کاربرد آسفالت بر حسب میزان ترافیک سنگین، متوسط، کم و بدون محدویت مشخص شده است. 75 درصد ایالتها از آسفالت متخلخل در راههای با ترافیک سنگین استفاده کرده، 63 درصد بر روی راههای با ترافیک متوسط و بیست و نه درصد هم بر روی هر دوی ترافیک کم و بدون محدویت استفاده کرده‌اند. شکل 2-29 طبقه‌بندی ترافیک را نشان می‌دهد.



شکل 2-28- کاربرد آسفالت متخلخل بر حسب طبقه بندی ترافیک

بر پایه این گزارش 52 درصد ایالتها بررسی شده از قیرهای اصلاح شده در آسفالت متخلخل استفاده نمی‌کنند. درحالیکه 48 درصد از قیرهای اصلاح شده استفاده می‌کنند. جدول 2-14 قیرهای مورد استفاده در هر ایالت را نشان می‌دهد.

دانه‌بندی‌های مورد استفاده در هر ایالت در جداول 2-15 و 2-16 نشان داده شده است. بر پایه گزارش، ایالتهایی که نتایج مطلوبی از آسفالت متخلخل گرفته‌اند، از دانه‌بندی‌های درشت‌تر استفاده کرده، در حالیکه ایالتهایی که نتایج نامطلوبی کسب نموده‌اند، از دانه‌بندی‌های ریزتر استفاده کرده‌اند.

omoorepeyman.ir

جدول 2-14- قیرهای مورد استفاده در آسفالت متخلخل در ایالتهای امریکا[33]

ایالت	نوع قیر
Alabama	PG 76-22
California	AR 2000, 4000, 8000
Colorado	AC 20R
Florida	AC 30
Georgia	PG 76-22
Hawaii	AR 80
Idaho	----
Illinois	AC 10
Kentucky	PG 64-22
Louisiana	PG 70-22
Maryland	AC 20
Michigan	----
Nevada	AC 20P, AC 30
New Jersey	AC 20
New Mexico	----
North Carolina	AC 20P
South Carolina	PG 64-22
Ohio	AC 20
Oregon	PBA 5, PBA 6
Pennsylvania	AC 20
Rhode Island	AC 20
Texas	AC 20, AC 10
Utah	PG 64-34
Vermont	AC 20
Wyoming	AC 20, AC 10

omoorepeyman.ir

جدول 2-15- دانه‌بندی های مورد استفاده در آسفالت متخلخل در ایالتهای امریکا[33]

ایالت	درصد عبوری اندازه الک (mm)								
	19	12/5	9/5	4/75	2/36	2	0/6	0/3	0/075
Alabama		100	90-100	30-50	5-7				3-6
	100	90-100	40-70	5-30	4-12				3-6
California		100	78-89	28-37	7-18				
Colorado		100	90-100	35-57	12-33			3-15	2-8
		100	90-100	40-60	20-47			4-18	2-9
Florida		100	85-100	10-40	4-12				2-5
Georgia	100	85-100	55-75	15-25	5-10				2-4
Hawaii			100	30-50	5-15				2-5
Idaho	100	95-100	30-80	35-46			8-15		2-5
Illinois	100	90-100	30-50	10-18					2-5
Kentucky		100	90-100	25-50	5-15				2-5
Louisiana	100	90-100	30-50	10-30		5-20			2-6
			90-100	20-50	5-15				2-6
Maryland		100	90-100	20-40	5-15				0-5
Missouri		100	90-100	30-50	8-15				2-5

omoorepeyman.ir

جدول 2-16- دانه‌بندی های مورد استفاده در آسفالت متخلخل در ایالتهای امریکا[33]

ایالت	درصد عبوری اندازه الک (mm)								
	25	19	12/5	9/5	6/3	4/75	2/36	1/18	0/075
Nevada			100	90-100		35-55		5-18	0-3
				95-100		40-65		12-22	0-4
New Jersey			100	80-100		30-50	5-15		2-5
New Mexico			100	90-100		25-55	0-12		0-4
North Carolina			100	75-100		22-50	5-15		1-3
		100	85-100	55-75		15-25	5-10		2-4
Ohio			100	85-96		28-45	9-17		2-5
Oregon		99-100	90-98		25-40		2-12		1-5
	99-100	85-96	55-71		15-30		5-15		1-6
Pennsylvania				100		30-50	5-15		0-5
Rhde Island		90-100				20-50	5-15		2-5
South Carolina			100	98-100		40-70	2-20		0-2
Texas		100	95-100	50-80		0-8	0-4		
Utah			100	92-100		36-44	14-20		2-4
Vermont			100	95-100		30-50	5-15		2-5
Wisconsin			100	97-100		25-45	10-25		2-7
			100	97-100		20-40	10-20		2-7

2-2-10-2- تجربه ایالت جرجیا

بدلیل تجربه نسبتاً موفق و تحقیقات انجام شده در ایالت جرجیا تجربیات این ایالت در زمینه آسفالت متخلخل بیان می‌شود. از ابتدای تکوین OGFC، اداره راه و ترابری جرجیا تلاش نموده است تا به منظور دستیابی به بالاترین سطح عملکرد ممکن، این مخلوط را اصلاح نماید. به دلیل موفقیت حاصل شده پس از انجام این اصلاحات، اداره راه و ترابری

omoorepeyman.ir

جرجیا خط مشی استفاده از OGFC را بعنوان سطح رویه نهایی بر روی تمامی پروژه های بین ایالتی و مسیرهای ایالتی که دارای حجم ترافیک روزانه ای متجاوز از 25000 اتومبیل بوده و در مناطق کاهش سرعت قرار ندارند، اجرا نموده است. از سال 1993 تقریبا 850000 تن OGFC بر روی بزرگراههای جورجیا پخش شده است. [26]

مخلوطهای آسفالت متخلخل قبلی استفاده شده در ایالات متحده امریکا مستعد خرابی زودرس بخاطر شرایط آب و هوایی بودند. در اوایل سال 1990 ، GDOT آسفالت متخلخل با دانه بندی 12/5mm را توسعه داد و امروزه بعنوان مخلوط استاندارد GDOT شناخته می‌شود. این مخلوط بر اساس استاندارد GDOT تا سال 1993 به طور وسیعی استفاده شد. این مخلوط ترکیبی از مصالح سنگی، قیر اصلاح شده پلیمری (PMAC)، الیاف تثبیت کننده و آهک هیدارته بوده است. از این نوع مخلوط به طور نمونه در یک نرخ $41\ kg/m^2$ بکار گرفته شد که این معادل با ضخامت بالای 16mm پخش است. هر چند نرخ پخش در امریکا اخیراً به $50\ kg/m^2$ افزایش یافته است.

استفاده از قیر پلیمری موجب افزایش ضخامت فیلم قیری شده که محافظ خوبی در برابر هوازدگی می‌باشد. الیاف معدنی معمولا به مقدار 0/4 درصد از کل مخلوط به آسفالت متخلخل 12/5 میلیمتری افزوده شده است. این عنصر تشکیل دهنده، قیر را در مدت اختلاط و پخش، تثبیت کرده تا آنرا در مقابل زهکش شدن قیر محافظت کند. همچنین با به هم پیوند دادن الیاف در فیلم ضخیم قیری، مقاومت ماده را نیز افزایش می دهد. آهک هیدراته بعنوان ماده ضد عریان شدگی به آسفالت متخلخل و تمامی مخلوط های مورد استفاده در شبکه راههای ایالت جورجیا از جمله مخلوط های دارای دانه‌بندی توپر که در زیر آسفالت متخلخل قرار دارند، افزوده می‌شود.

اداره راه و ترابری ایالت جرجیا ارزیابی مخلوط متخلخل اروپایی (PEM)[1] را در سال 1992 آغاز نمود و مشخص شد که PEM نفوذ پذیری بیشتری نسبت به لایه اصطکاکی با دانه بندی باز مرسوم دارد. این بهبود زهکشی را به دانه بندی درشت تر و افزایش ضخامت لایه PEM (32mm) می توان نسبت داد. PEM به طور نمونه در یک نرخ پخش kg/m^2 75 بکار برده می شود و همین امر باعث شد که از جولای 1998 ، مشخصات GDOT استفاده از PEM بر روی همه پروژه های داخل ایالت که در آن سه یا بیشتر از سه تا خط در جهت یکسان داشت لازم الاجرا کرد [26].

1 - Porous European Mix

omoorepeyman.ir

همچنانکه مشخصات مصالح برای لایه های اصطکاکی با دانه بندی باز توسعه داده می شد، GDOT بـر آن شـد تا به طور پیوسته مشخصات مصالح مخلوط را بهبود بخشد. مشخصات اصلی سنگدانه، از قبیل سالم بودن و سـایش، طـی توسعه این مخلوط تغییر نکردند. با این وجود، دانه‌بندی های مصالح سنگی و روشهای آزمایش مشخصات قیر بـه منظـور افزایش نفوذ پذیری و دوام آسفالت متخلخل اصلاح شده اند.

نتایج مخلوط اروپایی اداره راه و ترابری ایالت جرجیا را دلگرم کرد که تجربـه ای را بـا دانـه بنـدی درشـت تـر از یـک اصلاح کننده پلیمری و الیاف معدنی بعلاوه آهک هیدارته بعنوان فیلر شروع کند .یـک پـروژه تحقیقـاتی (GDOT9110) برای ارزیابی مؤثر بودن این تغییرات و برای تعیین اصلاحات بیشتر شروع شد. پروژه اثر درشت بودن دانه بنـدی مخلـوط را ثابت کرد. دانه بندی درشت تر قابلیت نفوذ پذیری و مقاومت در برابر شیاری شدن بیشتر را می دهد.

دانه‌بندی

دانه‌بندی های مورد استفاده در این تحقیق شامل آسفالت متخلخل با حداکثر اندازه اسمی9/5 mm (آسفالت متخلخـل سنتی رایج در جرجیا) ،12/5 mm (آسفالت متخلخل اصلاح شده در جرجیـا) و12/5 mm (آسـفالت متخلخـل رایـج در اروپا) بوده است. مخلوط 12/5 میلیمتری اصلاح شده، 2 تا 3 برابر آب بیشتری را نسـبت بـه آسـفالت متخلخـل سـنتی پیشین زهکشی می‌کند. آسفالت متخلخل اصلاح شده(12/5 میلیمتری) تقریبا 15 درصد درشت تـر از مخلـوط آسـفالت متخلخل سنتی می‌باشد تا شبکه زهکشی مرتبطی را فراهم آورد. علاوه بر این، آسفالت متخلخل مـورد اسـتفاده در اروپـا تقریبا 10 درصد درشت‌تر از آسفالت متخلخل اصلاح شده(12/5 میلیمتری) در جرجیا می‌باشد.

قیر اصلاح شده پلیمری

به طور عمده از دو پلیمـر Styreme Butadiene(SB) و Styrene Butadiene Styrene (SBS) بـرای اصـلاح چسـباننده استفاده نمود که در مخلوط های OGFC بکار گرفته شده نتیجه گرفت که ایـن پلیمرهـا سـه بهبـود عمـده در مخلـوط بوجود می‌آورند:

1- سختی چسباننده به 10-8 بار بیشتر از قیر خالص افزایش می‌یابد.
2- نقطه نرمی قیر خالص تقریباً 122˚C افزایش می‌یابد.

omoorepeyman.ir

3- فیلم قیری نرم‌تر و انعطاف‌پذیرتر از قیر اصلاح نشده نخواهد بود.

بعلاوه برای تهیه سختی بیشتر در درجه حرارت‌های بالاتر، قیر اصلاح شده پلیمری (PMAC) در درجه حرارت‌های سرد (شرایط آب و هوایی سرد) از قیر خالص نرمتر است. این می‌تواند مقاومت بیشتری در برابر ترک‌های ناشی از درجه حرارت پائین فراهم نماید.

نتایج مقایسه‌ای از خصوصیات قیر اصلاح شده با پلیمر و قیر خالص بیانگر این بود که مخلوط پلیمری ویسکوزیته بیشتری نسبت به قیر خالص پایه (AC-20) دارا بوده و علاوه بر آن خصوصیت الاستیک آن بیشتر می‌باشد. نتایج آزمایش بازگشت الاستیک نشان داد که بازگشت پذیری قیر اصلاح شده تقریبا 4 برابر بیشتر از قیر پایه است. آزمایش لعاب نازک قیری دارای تاثیرات بسیار مشابهی بر هر دو قیر پلیمری و قیر خالص داشت، اما کشش پذیری قیر پلیمری در دمای $4^{\circ}C$ تقریبا سه برابر قیر خالص بود. به دلیل ویسکوزیته بیشتر قیر پلیمری، دمای اختلاط مخلوط به $154^{\circ}C$ افزایش یافت.

از زمان توسعه و تکمیل درجه بندی قیرهای (Superpave) PG، آزمایش‌های تجربی متوقف شده است، و هم اکنون قیر PG76-22 سوپرپیو استفاده می‌شود. یک زاویه فاز لازم کمتر از 75 برای کمک به اطمینان از این امر که پلیمر اصلاحی با مشخصه‌های درجه چسباننده مطابقت می‌کند اضافه شده است. این مقدار به واسطه آزمایش‌های چسباننده سوپرپیو بر روی کل PMAC قبلی استفاده شده به وسیله GDOT به دست آمده بود. در بسیاری از اولین پروژه های GDOT، قیر خالص در کارگاه محلی اصلاح شد.

از آنجایی که از سال 1993، تقاضا برای قیر اصلاح شده افزایش یافت، اصلاح قیر خالص با پلیمر در کارخانه های مرکزی تولید قیر اصلاح شده انجام گرفت. قیر خالص پایه معمولا با مقدار تقریبی 4-4/5 درصد پلیمر بر حسب وزن قیر، اصلاح شده است.

هم اکنون در ایالت‌های مختلف آمریکا از قیر AC-20 و PG76-22 یا همراه با الیاف و پلیمر اصلاح کننده استفاده می‌شود [29].

omoorepeyman.ir

قابلیت فرونشست قیر مخلوطهای OGFC اصلاح شده GDOT می تواند با استفاده از یک آزمایش که توسط مرکز ملی تکنولوژی آسفالت (NCAT) توسعه داده شده تعیین شود. که حداکثر آن را 0/3 درصد در مورد قیرهای اصلاح شده ذکر شده است [29].[1]

بررسی مرکز تکنولوژی آسفالت[2] بیانگر این است که عمده ایالتهایی که تجربه رضایت بخشی از OGFC گزارش داده اند از قیرهای اصلاح شده پلیمری استفاده کرده اند. همچنین دانه‌بندی مصالح سنگی استفاده شده بوسیله این ایالتها تمایل به سمت استفاده از مصالح درشت تر نسبت به دانه‌بندی توصیه شده FHWA دارد. مقدار بکار گرفته شده در این OGFC جدید نسبت به OGFC قبلی بیشتر می‌باشد.

ویژگی های نفوذ پذیری OGFC

مهمترین مشخصه آسفالت متخلخل نفوذ پذیری بوده که معیاری از قابلیت یک ماده برای انتقال مایعات می‌باشد. همانطور که قبلا ذکر شد، مزیت اولیه استفاده از آسفالت متخلخل از میان برداشتن سریع آبهای سطحی از رویه راهها در طول بارش های سبک تا متوسط بوده که موجب کاهش آب لغزی وسایل نقلیه و افزایش ایمنی رانندگان می‌گردد. با زهکشی آب از طریق خلل و فرج مخلوط به جای زهکشی آب از سطح رویه، ضریب اصطکاک میان تایرهای وسایل نقلیه و سطح خیس افزایش می‌یابد. این ضریب اصطکاک توسط دانه‌بندی آسفالت متخلخل اصلاح شده که اندکی درشت تر از آسفالت متخلخل سنتی است، تامین می‌گردد. علاوه بر این، پدیده شتک و پاشش آب کاهش یافته و قابلیت دید علایم ترافیکی با نفوذ پذیری آسفالت متخلخل بهبود می‌یابد.

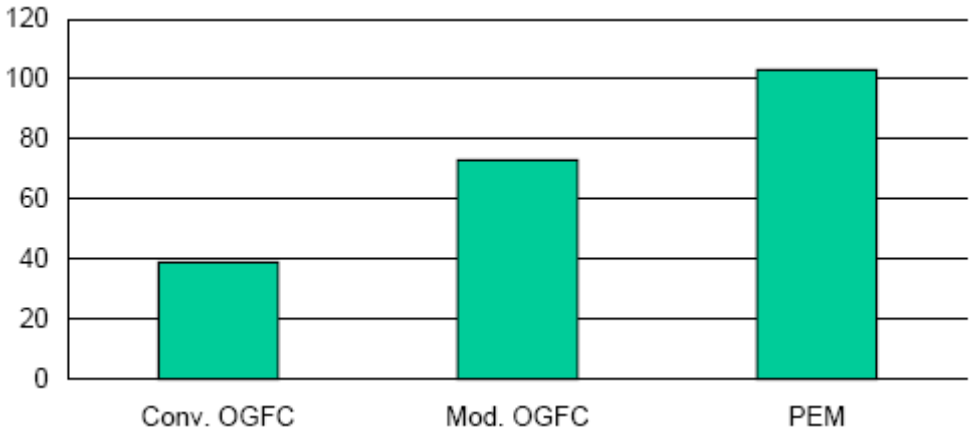
طرحهای اختلاط آزمایشگاهی برای OGFC و PEM به ترتیب 18-20% و 20-24 % فضای خالی را مشخص می کنند. GDOT آزمایش نفوذ پذیری را با استفاده از نفوذپذیر سنج با افت هد انجام می‌دهد. این ابزار کاربر را قادر می‌سازد تا ضریب نفوذپذیری را برای مخلوط تحت آزمایش به صورت متر بر روز اندازه‌گیری کند. نتایج آزمایشها نشان داده است که آسفالت متخلخل اصلاح شده معمولا با سرعت 73m/day زهکشی می‌شود، که بسیار بهتر از آسفالت متخلخل سنتی مورد استفاده در جرجیا (39 m/day) می‌باشد. آسفالت متخلخل مورد استفاده در اروپا تقریبا 100 m/day زهکشی

1

2.Natinal Center Asphalt Technology

omoorepeyman.ir

می‌شود. شکل 2-30، مقایسه ای از نفوذپذیری OGFC سنتی، OGFC اصلاح شده، و PEM را نشان می‌دهد. به دلیل نفوذ پذیری خیلی زیاد PEM، مشخصات GDOT امروزه مستلزم استفاده از PEM در تمامی پروژه های روکش بین ایالتی می‌باشد، جایی که شیب های عرضی معمول، آب را در سه یا چند خط و در مسیری یکسان هدایت و تخلیه می کنند.



شکل2-29- ضریب های نفوذ پذیری OGFC و PEM

2-2-10-3- تجربه کاربرد آسفالت متخلخل در ایالت لویزانا

شروع استفاده از آسفالت متخلخل در ایالت لوییزانا به اواخر دهه 1960 و اوایل دهه 1970 میلادی بر می‌گردد، که به منظور بهبود مقاومت لغزشی رویه از آن بر روی راههای با ترافیک بیشتر از 4000 وسیله نقلیه در روز استفاده نمود. در اواخر سال 1980، رویه آسفالت متخلخل دچار مشکلاتی نظیر شن‌زدگی و در نتیجه کاهش قابلیت خدمت دهی شدند. بررسی مشکلات و خرابی‌های پروژه‌های اجرا شده بیانگر ارتباط این نوع خرابیها با رطوبت و درجه حرارت محیط داشت. مشکل درجه حرارت مرتبط با هر دوی مخلوط و آب و هوا می‌شد و مشکل رطوبت بطور کلی با نوع مصالح سنگی ارتباط داشت.

برای مشخص کردن این موضوع، تغییراتی در مشخصات شامل موارد حداکثر مقدار رطوبت مصالح سنگی، حداقل درجه حرارت محیط و فصل اجرا داده شد. براساس این تغییرات، مهلت قانونی استفاده از آسفالت متخلخل بعنوان لایه رویه برای مدت طولانی‌تری تمدید شد.[33]

omoorepeyman.ir

بایستی توجه داشت که مقدار قیر طرح مخلوط لایه اصطکاکی با دانه‌بندی باز در سال 1979 بطور عمده‌ای کاهش یافت. این کاهش در مقدار قیر و استفاده از قیر خالص باعث اکسیداسیون سریع و در نتیجه شن زدگی در مسیر عبور چرخ وسایل نقلیه گردید. این مشکل در آن زمان، تشخیص داده نشد.

در یک سال نیم بعد، 12 قطعه دارای رویه آسفالت متخلخل، خرابی در آن پدیدار نشد. با وجود این بدلیل زمستانهای 82 تا 83 که خیلی شدید بود، آسفالت متخلخل‌های اجرا شده قبلی به انتهای عمر خود که در حدود 8 تا 11 سال می شد،رسیده بودند. علاوه بر آن بدلیل بحران نفتی دهه هفتاد میلادی و افزایش بهای نفت خام، مقدار قیر مصرفی کاهش یافت. در آغاز سال 1984 با صدها مایل رویه آسفالت متخلخل در انتهای عمر خدمت دهی و دارای خرابی شن زدگی، یک بحران سیاسی اجتماعی ایجاد شد و باعث پایان دومین مهلت قانونی برای استفاده از آسفالت متخلخل گردید، که تاکنون پابرجاست.

در سال 1984 آخرین قطعه بر روی LA 48 بطول 10 مایل با قیر اصلاح شده اجرا شد. دو قطعه آزمایشی (هر یک 4 خط مایل) با استفاده از قیر اصلاح شده با لاتکس (مشابه با PG 70-22 رایج) و قیر اصلاح شده با پلیمرهای الاستومری(مشابه با PG 76-22 رایج) اجرا شد. این قطعات با قیر به میزان 0/7 درصد بیشتر از (مشابه مقدار مورد استفاده در سالهای 60 تا 70 میلادی) میزان قیر (قیر خالص AC-30) مورد استفاده در مقاطع کنترلی، اجرا شده بودند. در این مقاطع علاوه بر استفاده از قیر اصلاح شده، از الیاف نیز برای افزایش فیلم قیری دور مصالح سنگی و کاهش زهکش شدن قیر نیز استفاده شد. در حدود یک سال پس از اجرا در مقاطع کنترلی و محل دوربرگردانها و در حدود دو سال پس از اجرا در مسیر عبور چرخ و خارج از مسیر چرخ شن‌زدگی ایجاد شد، این در حالی است که مقاطع اجرا شده با قیر پلیمری دارای عملکرد خوبی بوده و دچار شن‌زدگی نشده بودند. قطعات اجرا شده با قیر پلیمری عمری در حدود 15 تا 17 سال داشته و تا زمان ترمیم آنها که در سالهای 1999-2001 انجام شد، قابلیت خدمت دهی داشتند.

با گذشت بیش از بیست سال و عملکرد خوب قطعات اجرا شده با قیر پلیمری، دپارتمان راه و ترابری لوییزانا دوباره تصمیم بر استفاده از آسفالت متخلخل گرفت. در سال 2003 بر روی بزرگراه یک قطعه آزمایشی بطول 250 متر به ضخامت 19 میلیمتر اجرا شد. در این تحقیق میدانی از قیر PG76-22 اصلاح شده با پلیمر به میزان 6/6 درصد و از دو نوع دانه‌بندی با حداکثر اندازه اسمی 12/5 میلیمتر به همراه 0/1 درصد الیاف و 0/6 درصد وزنی قیر مواد ضد عریان شدگی استفاده شده است. آزمایشهای شیارشدگی و میزان نفوذپذیری بر روی نمونه ها انجام شد. برای تعیین وزن

omoorepeyman.ir

مخصوص نمونه ها از ابزار CoreLok استفاده شده است. دانه‌بندی و سایر مشخصات مخلوط ها در جدول 2-17 ارایه شده است

جدول 2-17- مشخصات مخلوطهای آسفالت متخلخل مورد استفاده[33]

	درصد عبوری			
اندازه الک (mm)	طرح 1	طرح 2	نمونه از تولید کارخانه	دانه‌بندی مرجع
19	100	100	100	100
12/5	98	92	91	85-100
9/5	58	64	66	55-75
4/75	14	16	26	10-25
2/36	9	8	18	5-10
#16	7	6	16	
#30	6	5	15	
#50	5	4	14	
#100	3/8	3/4	10	
#200	2/8	2/3	6/1	2-4
مقدار قیر طرح	6/6	6/6	6/8	
وزن مخصوص حقیقی	1/916	2/173		
وزن مخصوص نظری	2/374	2/368	2/389	
ظرفیت فضای خالی (VCA)	33	23		18
درصد فضای خالیT166	19/3	8/2		
نفوذپذیری روز/متر	84	138		75

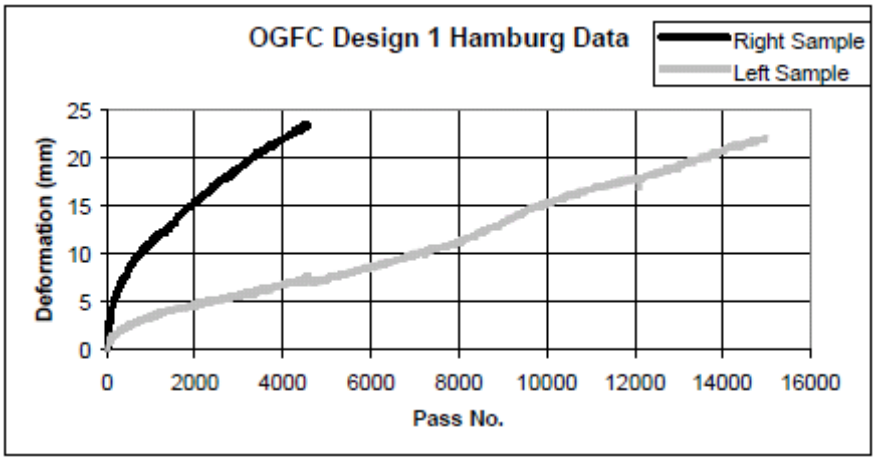
نمونه‌ها تحت آزمایش شیارشدگی با 20000 عبور با سرعت 56 عبور در دقیقه در دمای 50 درجه سانتیگراد قرار گرفتند که نتایج آن در جدول2-18 و شکلهای 2-31 و 2-32 نشان داده شده است. نتایج نشان دهنده این است که طرح شماره 1 معیار شیار شدگی را برآورده نکرده است.

omoorepeyman.ir

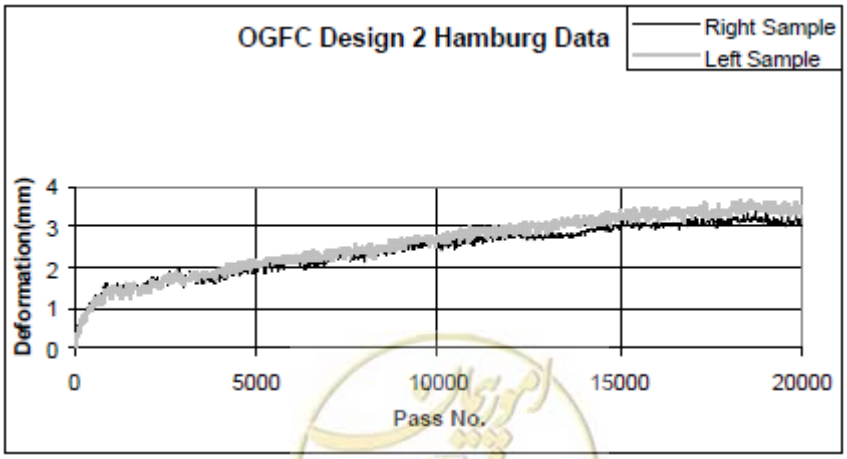
جدول 2-18- میزان شیارشدگی بر حسب میلیمتر

تعدا عبور	طرح 1*		طرح 2	
	نمونه 1	نمونه 2	نمونه 1	نمونه 2
14981	21/98			
4591		23/38		
20000			3/50	3/14
			متوسط = 3/32	

*نمونه ها قبل از 20000 عبور خراب شدند



شکل 2-30- میزان شیار شدگی ناشی از اعمال بار بر روی نمونه های طرح شماره 1



شکل 2-31- میزان شیار شدگی ناشی از اعمال بار بر روی نمونه های طرح شماره 2

omoorepeyman.ir

جدول 2-19- مقایسه درصد فضای خالی براساس اندازه‌گیری به روش آشتو و روش CoreLok

	درصد فضای خالی					
	طرح 1		طرح 2		نمونه کرگیری شده	
بر اساس طرح اختلاط	19/3		8/2			
	نمونه 1	نمونه 2	نمونه 1	نمونه 2	نمونه 1	نمونه 2
براساس استفاده از ابزارCoreLok	19/4	27/6	14/3	13/8	16/7	17/6
متوسط	23/5		14/1		17/1	
بر اساس آشتوT166					11/2	10/6
متوسط					10/9	

جدول 2-20- ضریب نفوذپذیری[33]

	ضریب نفوذپذیری (روز/متر)					
	طرح 1		طرح 2		نمونه کرگیری شده	
	نمونه 1	نمونه 2	نمونه 1	نمونه 2	نمونه 1	نمونه 2
نتایج میدانی	69	58	99	70	78	65
متوسط	63		85		72	

2-11- نگهداری و ترمیم آسفالت متخلخل

با توجه به ساختار روسازی آسفالت متخلخل، راه‌کارهای نگهداری و تعمیر آن، کاملا شبیه روسازی آسفالتی با دانه‌بندی متراکم نمی‌باشد. مهم‌ترین روش‌های نگهداری پیشگیرانه در مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز، فاگ سیل(fog seal) می‌باشند.

تحقیقات انجام شده در ایالت اُرگون در مورد نتایج استفاده از fog seal، نشان می‌دهد که روسازی آسفالت متخلخل بافت زبر و خاصیت نفوذپذیری خود را برای کاهش لغزندگی حفظ می‌کند. پس از بکار بردن fog seal کاهش اولیه در

omoorepeyman.ir

اصطکاک روسازی مشاهده می‌شود که پس از تردد یک ماهه وسایل‌نقلیه از روی آن، اصطکاک روسازی به حالت اولیه بر می‌گردد [30].

مهم‌ترین خرابی که رویه آسفالت متخلخل اتفاق می‌افتد، جدا شدن دانه‌ها می‌باشد. که در نهایت منجر به ایجاد چاله می‌گردد. این چاله‌ها، با عملیات لکه‌گیری مرمت می‌شوند. و از مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز در تعمیر و لکه‌گیری رویه های آسفالت متخلخل استفاده می‌گردد. در صورتی‌که سطح کمی آسیب دیده باشد می‌توان از مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی متراکم در لکه‌گیری این روسازی‌ها استفاده نمود. توصیه شده از درزگیری ترک‌ها، تا حد امکان در این روسازی‌ها استفاده نگردد.

توصیه شده از مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی متراکم برای استفاده در قسمت‌های آسیب دیده استفاده نگردد زیرا این عمل منجر به کاهش عمر مخلوط آسفالتی متخلخل به دلیل عدم حذف آبهای سطحی و جمع شدن آنها می‌گردد.

نتایج تحقیقات انجام شده در هلند نشان می‌دهد بازیافت مخلوط آسفالتی متخلخل، منجر به ایجاد نفوذپذیری، دوام و نتایج مطلوب مانند مخلوط اولیه می‌گردد [30].

2-11-1- نگهداری ظرفیت زهکشی

همانطور که اشاره شد، مزایای آسفالت متخلخل شامل موارد ایمنی و کاهش آلودگی صوتی ناشی ساختار باز و وجود منافذ خیلی زیاد در مقایسه با آسفالت معمولی می باشد. بعلت بسته شدن منافذ خصوصیت زهکشی و کاهش آلودگی صوتی کاهش می یابد. این کاهش میزان زهکشی در مسیرهای غیر عبور وسایل نقلیه زودتر اتفاق می افتد. روشهای معمول مورد استفاده در کشورهای مختلف برای حل مشکل پر شدن منافذ آسفالت متخلخل عبارتند از:

- اجتناب از پرشدگی؛
- برداشتن (پاک کردن) مواد پرکننده.

برای باز نگهداشتن منافذ می توان با دستگاه های مخصوص مکش و جاروکشی همراه با فشار آب اقدام به شستشوی سطح آسفالت متخلخل نمود. پاک سازی دوره ای تا زمانی که نفوذپذیر در حد قابل قبولی است می تواند اثرات مثبتی در دوام نفوذپذیری در آسفالت متخلخل داشته باشد.

omoorepeyman.ir

براساس تجربیات کشورهای دارای تجربه در این مورد، راهکارهای را به منظور کاهش پر شدن منافذ بشرح زیر ارایه داده اند:

- حفظ قابلیت هدایت هیدرولیکی در بالاترین حد آن، با رعایت حداقل 20٪ فضای خالی و استفاده از مصالح سنگی که اندازه بزرگترین دانه آن بیش از 11 میلیمتر باشد.
- عدم استفاده از مصالح سنگی با اشکال غیر متعارف.
- آب بندی سطح خطوط عبوری که تحت ترافیک قرار نگرفته‌اند، مانند شانه‌های صلب، این کار در مسیر A1 در فرانسه با موفقیت انجام شده است، ولی در هلند با عدم موفقیت مواجه گردیده است.
- عدم استفاده از آسفالت متخلخل در تقاطع‌های راههای بدون رویه
- عدم استفاده از آسفالت متخلخل در راههای کم ترافیک و یا با سرعت تردد پایین
- تمیز کردن منافذ.

هنگامی که ظرفیت زهکشی در حد غیر قابل قبولی پایین باشد، سطح روسازی را می‌توان با یک آسفالت متخلخل، با و یا بدون برداشتن لایه قدیمی، دوباره روکش کرد، یا همانطور که در اتریش انجام شده است، روسازی را به صورت بازیافت گرم تجدید نمود.

تعداد تمیز کردن در آژانس‌های مختلف حمل‌ونقل متفاوت می‌باشد و تحقیقات در این زمینه ادامه دارد و هنوز روش واحد و جامعی برای این منظور وجود ندارد [30].

کشورهای اروپا، از روش بازیابی وظیفه‌ای[1] استفاده می‌کنند در این روش، تمیزکردن به صورت تعداد کمی در سال انجام می‌گردد و ماشین تمیزکننده با سرعت کم حرکت می‌کند و از فشار بالای هوا و آب استفاده می‌نماید.

در بلژیک دستورالعمل کلی برای اجتناب از پر شدن منافذ و یا تمیز کردن سطح وجود ندارد. ولی، برخی ادارات، شروع به پاک کردن پر شدگی‌ها کرده‌اند.

بر اساس تجربیات فرانسه، آسفالت متخلخل 6-0 میلیمتر در برابر پرشدگی بسیار حساس می‌باشد. آسفالت متخلخلی با فضای خالی اولیه 30٪ تولید شده و پس از مشاهدات سه ساله، ملاحظه گردید که نفوذپذیری آن در حد بالایی باقی

1- Function recovery

omoorepeyman.ir

مانده است. برای تمیز کردن منافذ از ماشینهای تمیز کننده با فشار آب بالا استفاده می‌شود، آب آلوده جمع‌آوری و بازیافت می‌گردد. در سال 1993، 0/6 کیلومتر مربع از شانه‌های آزادراه‌های برون شهری و روسازی‌های آزادراه‌های شهری تمیز شده‌اند. به منظور جلوگیری وقوع مجدد پرشدگی تمیز کردن بطور منظم انجام می شود. به این ترتیب، قابلیت هدایت هیدرولیکی می‌تواند 10 تا 20 درصد افزایش یابد. در سطوح پر شده (قابلیت هدایت هیدرولیکی کوچکتر از 0/3cm/s) تمیز کردن دیگر موثر نیست. در آزاد راه پاریس، این کار تقریباً سه بار در سال انجام می‌شود.

در هلند راهنمایی وجود دارد که توصیه می‌کند آسفالت متخلخل در شانه‌های صلب باید دوبار در سال تمیز شود. ادارات راه برای تصمیم‌گیری در این خصوص که آیا این توصیه را اجرا کنند یا خیر، مختار هستند. پیمانکاران یک « ماشین تمیز کننده[1] » ساخته‌اند که در هنگام حرکت در راه با سرعت 1km/h، قادر به پخش 360 لیتر آب در دقیقه با فشار 130 بار است. آب به همراه گرد و خاک بازیافت می‌شود.

2-11-2- تجربیات نگهداری زمستانی آسفالت متخلخل

نگهداری مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز با توجه به ساختار آن در فصل زمستان از حساسیت زیادی برخوردار می‌باشد و در مابقی فصول سال حساسیت بسیار کمتری وجود دارد. همانطور که در بخشهای قبلی بیان شد، آسفالت متخلخل دارای مزایایی از بهبود ایمنی تردد وسایل نقلیه و کاهش آلودگی صوتی است. گزارشهای متناقضی درباره عملکرد آسفالت متخلخل در شرایط زمستان بیان شده است. که این رویه هنگامی که در معرض شرایط ذوب و انجماد قرار می گیرد دچار مشکل می‌شود. (Kandhal and Mallick, 1998; Heystraeten and Diericx, 2002) این در حالی است که برخی گزارشهای دیگر بیانگر عملکرد خوب آن در این شرایط است.(Iwata et al., 2002) در تحقیقی که در ژاپن انجام شده است، عملکرد آسفالت متخلخل با آسفالت معمولی در شرایط زمستانی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج این بررسی بشرح زیر است[34]:

- در مدت شرایط برفی، درجه حرارت رویه آسفالت متخلخل در حدود 0/2 درجه سانتیگراد کمتر از درجه حرارت رویه آسفالت معمولی است. که این موضوع مهمی در کنترل شرایط برفی و یخی نیست.
- در مدت بارش برف، شرایط رویه هر دو نوع رویه یکسان است

1- Declogging machine

omoorepeyman.ir

- جمع شدن محلول نمک بر روی هر دو نوع رویه تفاوت خیلی زیادی ندارد.
- در شرایط برف متراکم، رویه آسفالت متخلخل عدد اصطکاک بیشتری نسبت به رویه آسفالت معمولی دارا می‌باشد.
- بر پایه نتایج این مطالعه، بدلیل افزایش اصطکاک بر روی رویه آسفالت متخلخل در شرایط برف متراکم احتمال کاهش وقوع تصادفات وجود دارد. علاوه بر آن بر اساس این تحقیق هیچ گونه اصلاحاتی برای نگهداری زمستانی رویه آسفالت متخلخل لازم نیست.

از طرف دیگر بر اساس تحقیق انجام شده در بلژیک که توسط Heystraeten and Diericx در سال 2002 انجام شد، روشن شد که منافذ رویه روسازی موجب کاهش مقدار فعالیت شیمیایی بر روی رویه شده و بنابراین نمک بیشتری نسبت به آسفالت معمولی لازم است. این موضوع ایجاب می‌کند که عوامل راهداری دوباره نسبت به پخش نمک اقدام نموده یا اینکه از محلول‌های ویژه ضد یخ برای تامین عملکرد رضایت بخش استفاده کنند.

در تگزاس عامل‌های ضدیخ در عملیات نگهداری زمستانی نسبت به مایع‌های ضدیخ و ماسه مورد توجه بیشتری قرار می‌گیرد. با این وجود FWHA توصیه می‌کند که برای کنترل یخزدگی از مایع‌های ضدیخ و ماشین‌های برف‌روب استفاده شود. پخش ماسه برای بالابردن اصطکاک منجر به پرشدگی فضای خالی آسفالت متخلخل می‌گردد و در نتیجه سبب کاهش زهکشی و خاصیت کاهش صدا (دو خاصیت کاربردی آسفالت متخلخل) می‌گردد[30].

در هلند گزارش شده است که برای نگهداری زمستانی از آسفالت متخلخل 25 درصد محلول آب نمک بیشتری در تعداد دفعات بیشتر استفاده شده است. استفاده بیشتر از محلول‌های کلرید مایع نسبت به نمکهای جامد در ایتالیا، استرالیا و سوئیس گزارش شده است. نگهداری پیشگیرانه در انگلستان برای روسازیهای آسفالت متخلخل با استفاده از نمک‌زنی قبل از بارش برف و با تعداد بیشتری نسبت به آسفالت معمولی انجام می‌شود.[30].

جمع بندی

به طور کلی از آنجایی که نوع دانه بندی و خصوصیات آب و هوایی کشورها مورد مطالعه با هم تفاوتهایی دارند، عملکرد آسفالتهای حاصله نیز در مواردی با هم متفاوت می باشد بگونه ای که ممکن است در مواردی نسبت به یک پارامتر چند عدد متفاوت بدست آید.

omoorepeyman.ir

به طور کلی با توجه به آزمایش‌های انجام شده در کشورهای مختلف به وضوح مزایای استفاده از قیرهای اصلاح شده با پلیمر را در ساخت آسفالت متخلخل نشان می‌دهد که به طور خلاصه به شرح زیر است:

1- تغییر در مواد و مصالح مورد استفاده در آسفالت متخلخل (دانه‌بندی، اصلاح کننده‌ها و الیاف) بهبود عمده‌ای در مشخصه‌های عملکردی ایجاد می‌کند.

2- استفاده از قیر پلیمری موجب افزایش مقاومت و طول عمر، چسبندگی و دوام آسفالت می‌گردد.

3- میزان افت برای حداقل مقدار تخلخل لازم در آزمایش کانتابرو برای قیر پلیمری در مقایسه با قیر خالص با همان درجه نفوذ کمتر است.

4- برای آسفالت متخلخل با قیر پلیمری می‌توان بدون کاهش مقاومت در برابر سایش مخلوط‌هایی با درصد تخلخل بیشتر بدست آورد.

5- افزودنیهای الیافی بطور چشمگیری زهکش شدن قیر را کاهش می دهند.

6- مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز، دارای مقاومت و نفوذپذیری اولیه بالاتری می‌باشند.

7- در مخلوط‌های آسفالتی با قیر پلیمری تغییر شکل‌های پلاستیک ایجاد شده در دماهای پائین به طور فوق‌العاده‌ای کاهش می‌یابد.

8- آسفالت متخلخل مستلزم روشهای اجرایی ویژه و عملیات نگهداری مناسب و صحیح بوده تا مشخصه های عملکردی آن در حد مطلوبی باقی بماند.

مراجع فصل اول و دوم

1. **بررسی و مقایسه مشخصات فنی آسفالت متخلخل با بتن آسفالتی، پایان نامه کارشناسی ارشد، کورش جایروند -1380**
2. Surface Asphalt Edited Nicholls , 1998
3. Porous Asphalt Piarc Pub. 1993
4. Sound absorbtion and winter performance of Porous Asphalt pavement , By: G. Gamomilla, M.Malgarini and S.Gerasio, TRR ,No.۱۲۶۵،۱۹۹۰.
5. EUROPEAN ASPHALT STUDY TOUR, FHWA,1990.
6. Van der Zwan, J., T. Goeman, H. Gruis, J. Swart, and R. Oldenburger, "Porous Asphalt Wearing Courses in the Netherlands: State of the Art Review," Transportation Research Record 1265,
7. Jan Voskuilen, Experiences with Porous Asphalt in the Netherlands,2006.

omoorepeyman.ir

8. Jan Voskuilen, Verhoef P.N.W: Causes of premature ravelling failure in porous asphalt Unpublished,2004.
9. van Bochove, G.G. Porous Asphalt (two-layered) – Optimizing and Testing. In Procedures, 2nd Eurasphalt & Eurobitume Congress Barcelona 2000
10. Porous Asphalt mixtures in spain , By: A.Ruiz , R.Alberola , F. Perez and B.Sanchez , TRR , no. ۱۲۶۵،۱۹۹۰.
11. Perez-Jimenez, F.E., and J. Gordillo, "Optimization of Porous Mixes Through the Use of Special Binders," Transportation Research Record 1265, TRB, National Research Council, Washington D. C., 1990.
12. Ruiz A.: Mixture design porous asphalt in spain,1997.
13. Litzka J.: Austrian experiences with porous asphalt, 1997.
14. Litzka J.: Austrian experiences with winter maintenance on porous asphalt,**2002**.
15. ISENRING T, KOFTER H, "Experience with Porous Asphalt in Switzerland, TRR, No. **۱۲۶۵،۱۹۹۰**.
16. Bonnot J.: French experience on porous asphalt European conference on porous asphalt,**1997**.
17. Advantge of Asphalt rubber binder for porous Asphalt in Concrete . By: A.Sainton - TRR No , 1265 , 1990.
18. Reichelt P.: Porous asphalt, experience in Germany European conference on porous asphalt,1997.
19. Ripke O.: Reducing traffic noise by optimising hot-mix asphalt surface courses,2004.
20. Shäfer V.: Experiences with porous asphalt of a new generation on the motorway A**2** in Northern Germany,**2004**.
21. QUIET PAVEMENTS A SCANNING TOUR OF DENMARK, THE NETHERLANDS, FRANCE, ITALY and THE UNITED KINGDOM, FHWA&AASHTO,2005.
22. Bowskill G.J., Colwill D.M.: Experience with porous asphalt in the United Kingdom,1997.
23. Wright M.: Thin and quiet An update on quiet road surface products Highways & Transportation January/February **2000**.
24. Motomatsu S., Takahashi S., Uesaka K., Ouki H.: How the property and performance of polymer modified bitumen should be evaluated in porous asphalt mix,2004.
25. Patrick J., Cook G.: Results of a trial of high void content open graded porous asphalt AAPA.2003.
26. Georgia Department of Transportation's Progress in Open - Graded Friction course Development. TRR , no. 1616,1999.
27. Method for Desiging Open - Graded Friction Course mixtures. Kentucky Method , 64-424-99.
28. Younger, Krey, R.G. Hicks, and Jeff Gower, "Evaluation of Porous Pavements Used in Oregon, Volumes I and II," Oregon Department of Transportation, FHWA-OR-RD-95-13B, Salem, December, 1994.
29. Design , Construction and Performane of New - Gerenation open - Graded Friction Courses. By: Rajib b.Mallick, Prithvi S.Kandhal, L.Allen Cooley and Donald E.watson. NCAT Report No. 2001-01 , Aprill 2000

omoorepeyman.ir

فصل 3

بررسی روش‌های تعیین میزان زهکشی آسفالت متخلخل و ارایه روش مناسب تعیین میزان زهکشی آزمایشگاهی و میدانی آسفالت متخلخل و تعیین متغیرهای مؤثر

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

3- بررسی روشهای تعیین میزان زهکشی آسفالت متخلخل و ارایه روش مناسب تعیین میزان زهکشی آزمایشگاهی و میدانی آسفالت متخلخل و تعیین متغیرهای مؤثر

3-1- مقدمه

همانطور که در بخشهای قبلی اشاره شد، زهکشی آسفالت‌های معمول مورد استفاده با دانه‌بندی توپر بدلیل غیر قابل نفوذ بودن سطح آن از عرض رویه صورت می‌گیرد، که این طریقه زهکش شدن آب از رویه در هنگام بارندگی باعث ایجاد پدیده های آب لغزی، کاهش دید حرکت و ایجاد پاشش و شتک شده و همین عوامل موجب کاهش ایمنی وسایل نقلیه می‌شود. در حالیکه در آسفالت متخلخل بدلیل وجود فضای خالی زیاد در آن(بالای 20٪) شبکه‌ای از مجاری را در جسم مخلوط پدید می‌آورد که هم بمنزله مخزنی برای جذب مقدار زیاد آب، برف و باران و هم بعنوان لایه زهکشی برای تخلیه آب به سمت شانه‌های راه، عمل می‌کند. و همین عملکرد موجب بهبود ایمنی و حذف پدیده های یاد شده در هنگام بارندگی می‌شود.

یک لایه رویه آسفات متخلخل به ضخامت 50 میلی‌متر دارای مقدار منافذ بالای20٪، ظرفیت جذب بالای 11/5 میلی‌متر باران را اگر به طور آنی ریزش کند، دارد. همچنین شروع زهکشی به همان زودی فیلم‌های پیوسته آب نزدیک رویه آسفالت متخلخل برقرار می‌شود. در نهایت، یک لایه رویه آسفالت متخلخل برای جلوگیری از شکل‌گیری آب بر روی لایه رویه برای مدت قابل توجه و کاهش چشمگیر در مدت زمان پاشش این پریود مؤثر است[2]. آسفالت متخلخل باعث کاهش خیلی زیاد مقدار آب واقع بر روی لایه سواره‌رو شده و حتی هنگامی که اشباع شده باشد، بخاطر منافذش فشار هیدرولیکی را از بین می‌برد.

در مجموع آنچه مطرح گردید مزیت اصلی استفاده از این مخلوط زهکشی سریع آب از رویه جاده، کاهش آب لغزی و افزایش ایمنی وسایل نقلیه می‌باشد. با زهکشی آب از میان منافذ مخلوط آسفالتی به‌جای سطح رویه، ضریب اصطکاک بین تایر وسیله نقلیه و رویه در حد مطلوب حفظ می‌شود. همچنین استفاده از مخلوط‌های آسفالت متخلخل باعث کاهش دو مسأله پرتاب آب از حوضچه‌های کوچک روی سطح به سمت بالا و پاشش می‌شوند و قابلیت دید در شب و رویت نوار ترافیکی تفکیک خطوط را بهبود می‌بخشند که همه این عوامل در افزایش ایمنی مؤثرند.

omoorepeyman.ir

3-2- بررسی روش‌های تعیین میزان زهکشی آزمایشگاهی و میدانی آسفالت متخلخل

3-2-1- بررسی روش‌های آزمایشگاهی تعیین میزان زهکشی آسفالت متخلخل

به میزان توانایی مصالح در انتقال ذرات آب هدایت هیدرولیکی گفته می‌شود. اگرچه این خصوصیت به میزان تخلخل مصالح بستگی دارد اما بیشتر به درصد فضای خالی مصالح ارتباط پیدا می‌نماید. در واقع درصد فضای یک مسیر داخلی را برای عبور ایجاد می‌نماید. جریان در تخلخل بطور معمول تابع قانون دارسی می‌باشد اگرچه در بعضی موارد تئوریهای غیردارسی بهتر جریان مایع را پیش‌بینی می‌کنند با در نظر داشتن مصالح، خواص مخلوط نوع تئوری حاکم بر جریان را معین می‌کند. برای جریان‌های لایه‌ای (ورقه‌ای) با عدد رینولذر میان 1 تا 10 قانون‌دارسی معتبر می‌باشد که از معادله زیر تبعیت می‌کند:

$$V = Ki$$

که در آن:

K ضریب نفوذپذیری مصالح، i شیب هیدرولیکی عبوری از میان نمونه یا کاهش هد در واحد طول و V دبی ویژه یا معادل سرعت متوسط عبوری جریان در نمونه می‌باشد.

شیب هیدرولیکی از رابطه $i = \frac{h}{l}$ بدست می‌آید که آن l طول مسیر آب در نمونه و h اختلاف هد آب ورودی و خروجی می‌باشد. اگر شیب هیدرولیکی و دبی ویژه مشخص باشد از این رابطه می‌توان در تعیین ضریب نفوذپذیری (K) استفاده نمود. وقتی عدد رینولذر از 10 تجاوز می‌کند قانون دارسی معتبر نمی‌باشد و معمولاً رفتار جریان از شکل اصلاح شدهٔ قانون‌دارسی تبعیت می‌کند.

$$V = Ki^m$$

که در آن m پارامتر غیردارسی می‌باشد که برای جریان ورقه‌ای یک و برای جریان آشفته نیم می‌باشد.

آزمایش‌های هد ثابت و هد افتان روش‌های معمول تست آزمایشگاهی هستند که در تعیین نفوذپذیری مخلوط‌های آسفالتی بکار گرفته می‌شود. در ذیل به شرح مختصر هریک از آزمایش‌های تعیین میزان نفوذپذیری می‌پردازیم:

الف) آزمایش هد افتان[۴،۳]

در آزمایش هد افتان ضروری است که تغییرات در هد و اندازه دبی نسبت به زمان تعیین گردد. ساختار شماتیک دستگاه در شکل3-1 آورده شده است. این دستگاه از یک سیلندر فلزی با یک غشای انعطاف‌پذیر بر روی سیلندر تشکیل شده است تا امکان اعمال فشار هوا بر روی آن وجود داشته باشد.

omoorepeyman.ir

نمونه آسفالت در داخل صفحات پلاستیکی که بر روی ته و بالای آن قرار دارند جای می‌گیرد و برای این منظور از گیره‌هایی استفاده شده است تا نمونه را تحت فشار قرار داده و آب‌بندی نماید. در صفحه بالا سوراخی برای اتصال به لوله با ارتفاع آب متغیر به سیلندر وجود دارد. در صفحه پائین نیز سوراخی برای اتصال به لوله خروجی وجود دارد که جریان آب مستقیماً به داخل مخزن وارد می‌شود و به یک لوله سرریز متصل است تا هد در مخزن ثابت بماند. تنظیم هوای میان فضای سیلندر و غشاء با استفاده از یک پمپ صورت می‌گیرد. فشار روی آب بند غشائی لاستیکی اعمال می‌شود و آب از اطراف نمونه آسفالتی خارج می‌شود. سیلندر با ارتفاع آب متغیر دائماً با آب پر می‌شود تا از ایجاد حبابهای هوا جلوگیری گردد.

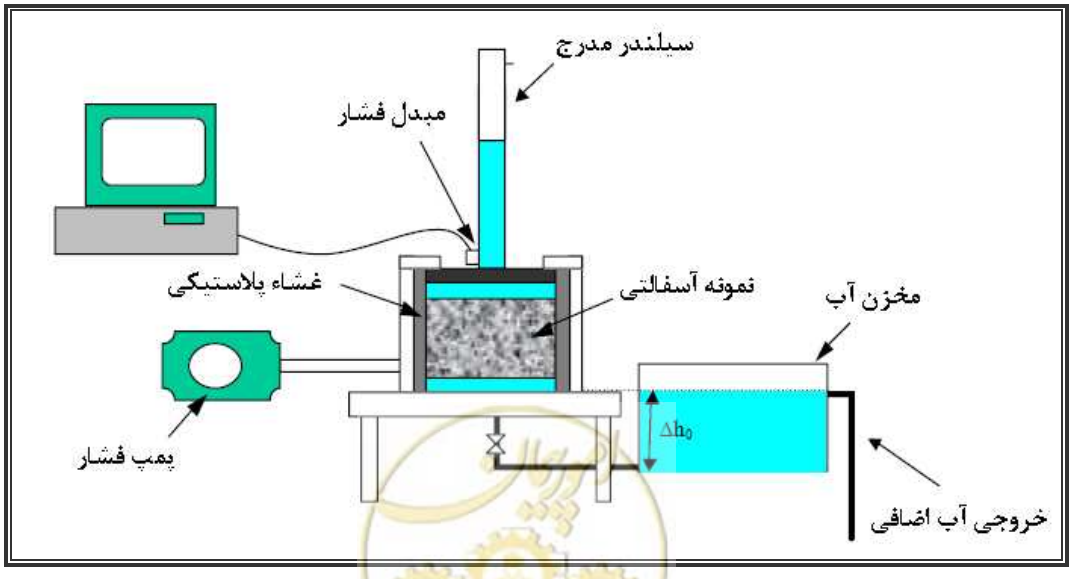
برای شروع آزمایش، شیر در ته تراوایی‌سنج باز می‌شود تا آب وارد نمونه گردد. در ادامه افت هد در طول زمان ثبت می‌گردد و با تحلیل رگرسیون، دبی ویژه با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$V = \frac{dh}{dt}$$

ضریب نفوذپذیری (K) و پارامتر غیردارسی را نیز می‌توان با لگاریتم رابطه اصلاح‌شده دارسی بدست آورد.

$$\log v = \log k + m \log i$$

که در نمودار لگاریتمی m از شیب خط بدست می‌آید و نیز با قرار دادن i=1، k نیز بدست می‌آید. برای هر نمونه چندین دفعه تست تکرار می‌گردد تا پاسخ‌های دقیق حاصل گردد.



شکل3-1– شماتیک دستگاه نفوذسنج با هد افتان[4].

omoorepeyman.ir

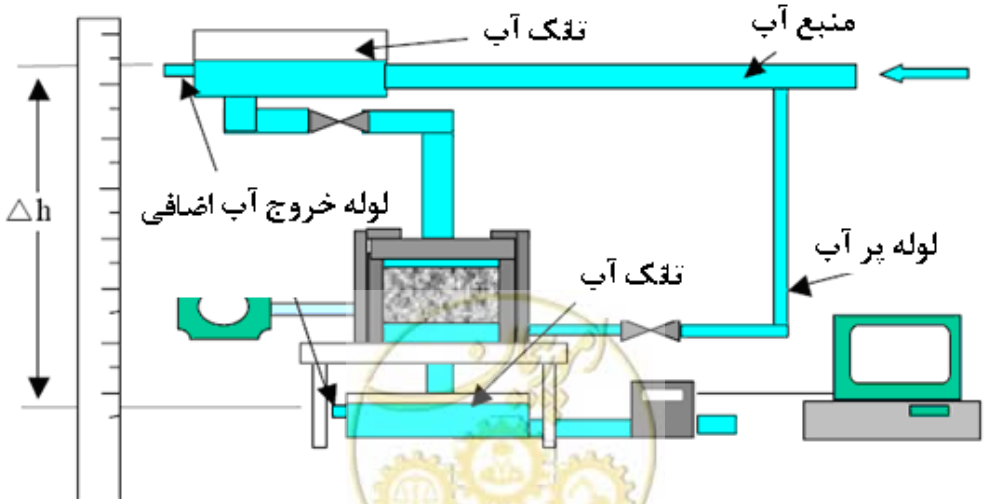
FWA در سال 1997 یک دستگاه تست هد افتان آزمایشگاهی ساخت که در آن می‌توان با ایجاد شیب‌های هیدرولیکی مختلف در یک بار انجام تست، ضریب نفوذپذیری مصالح متخلخل را بدست آورد. به عبارت دیگر انجام یک تست هد افتان که در آن شیب هیدرولیکی با زمان تغییر می‌کند معادل انجام چند تست هد ثابت در شیب‌های هیدورلیکی مختلف است. این خاصیت برای اندازه‌گیری نفوذپذیری مصالحی همچون آسفالت متخلخل بسیار با اهمیت است. FWA در سال 1997، h را به عنوان معادله چند جمله‌ای از زمان بیان نمود که در آن $h = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$ می‌باشد. a0، a1، a2 و a3 که از داده‌های آزمایشگاهی و تحلیل رگراسیون بدست می‌آیند. دبی ویژه یا سرعت نیز از رابطه $v = \frac{dh}{dt} = a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2$ بدست می‌آید.

ب) تست با هد ثابت[۴،۳]

ساختار شماتیک دستگاه تست نفوذپذیری با هد ثابت در شکل (2-3) نشان داده شده است. تمام اجزای این دستگاه شبیه دستگاه تست با هد افتان می‌باشد به جز اینکه مجرای ورودی سیلندر به لوله با ارتفاع آب ثابت متصل می‌باشد (سطح آب ثابت است). برای شروع تست شیر ورودی آب باز می‌شود و وقتی تعادل بین دبی ورودی و خروجی حاصل می‌شود، دبی ویژه محاسبه می‌گردد. ضریب نفوذپذیری (k) و پارامتر غیردارسی (m) را می‌توان در دو حالت مختلف هد ثابت و تعیین دبی آنها در این هد، بدست آورد.

$$V_2 = Ki_2^m$$

$$V_1 = Ki_1^m$$



شکل 3-2- شماتیک دستگاه تست هد ثابت[4].

omoorepeyman.ir

دستگاه اداره حمل و نقل فلوریدا[1] (FDOT) [5]

مطالعه دیگری برای ارزیابی دستگاه ساخت اداره حمل و نقل فلوریدا جهت اندازه‌گیری نفوذپذیری مخلوط‌های آسفالتی در آزمایشگاه صورت گرفت. بعد از حصول تصویب FDOT، دستگاه به سرعت در صنعت حمل و نقل محبوبیت بدست آورد و بعنوان استانداردی برای امور آزمایشگاهی در آمد و در حال حاضر نیز بعنوان یک روش استاندارد آزمایش ASTM پذیرفته شده است. دستگاه در شکل3-3 نمایش داده شده است.

بعنوان یک تست آزمایشگاهی، این دستگاه بدلیل نیاز به عمل بر روی مغزه‌های جدا شده از سطح راه مخرب می‌باشد. برای درزگیری نمونه و مجموعهٔ دستگاه از نوعی لاستیک انعطاف‌پذیر به نام لاتکس[2] استفاده گردید.

دستگاه شامل یک لوله استوانه‌ای مدرج قائم، دو حلقهٔ فشار قابل انبساط، یک لولهٔ آلومینیومی 6 اینچی که به لاستیک انعطاف پذیر متصل می‌شود، یک شیر آزادسازی آب و یک پمپ هوا با درجه‌بندی می‌باشد بعنوان قسمتی از روند آزمایش نمونهٔ مورد آزمایش باید در یک محفظه 26 اینچی ارتفاع جیوه بمدت 15 دقیقه، اشباع شود. پس از آن نمونه در داخل محفظه قرار داده می‌شود. سپس لولهٔ استوانه‌ای قائم از آب پر می‌شود. شیر باز می‌شود و زمان لازم برای افت ارتفاع آب از سطح اولیه تا سطح نهایی ثبت می‌شود. زمان بسته به ابعاد نمونه در معادلهٔ مربوطه قرار می‌گیرد تا ضریب نفوذپذیری بدست آید.

در مجموع این آزمایش برای نمونه‌هایی که جریان یک بعدی در آنها شکل می‌گیرد، مناسب است. در صورت اعمال دقت مناسب و زمان کافی برای انجام تست، دستگاه بخوبی کار می‌کند. وجوه منفی این دستگاه و کار با آن، امکان خطای انسانی و زمانبری روند آزمایش می‌باشند.

omoorepeyman.ir

۱- Florida Department of Transportation
۲- Latex

شکل3-3– نفوذسنج آزمایشگاهی FDOT [5].

نفوذسنج آزمایشگاهی گروه مهندسین ارتش[5]

این دستگاه جهت تعیین نفوذپذیری در نمونه‌های آزمایشگاهی است و توسط گروه مهندسین ارتش ساخته شد. این دستگاه از یک سیلندر ساده جهت اندازه‌گیری نفوذپذیری استفاده می‌کند. این دستگاه قابلیت کار در دو حالت هد ثابت و افت هد را داراست. ثابت شده که کار با این دستگاه ساده و راحت است ولی نتایج حاصل از کار قابل اعتماد نیستند. اندازه نمونه‌های 2/5 اینچی بسیار کوچک‌تر از اندازه‌ای هستند که بتوان رفتار میدانی را با آن توصیف کرد. همچنین زمان مورد نیاز برای انجام این آزمایش و نیز مشکل تعیین نفوذپذیری برای سطوح با شدت نفوذپذیری زیاد نیز قابل ذکر می‌باشند. ظاهراً هیچ یک از چهار دستگاه نامبرده شده قادر نیستند جواب کاملاً صحیحی بدهد وقتی که در یک لحظه موضوع زمان انجام آزمایش، مسأله اندازه‌گیری نفوذپذیری در سطوح با نفوذپذیری بالا وجود دارد.

omoorepeyman.ir

3-2-2- بررسی روش‌های میدانی تعیین میزان زهکشی آسفالت متخلخل

نفوذسنج میدانی NCAT [5]

مرکز ملی تکنولوژی آسفالت[1] مطالعه‌ای را با عنوان نفوذپذیری مخلوط‌های آسفالتی سوپرپیو با عنوان ارزیابی نفوذسنج‌های میدانی که در آن 4 نوع نفوذسنج آب در محل ارزیابی شدند، انجام داد. بعد از انجام آزمایش‌های گسترده، سه دستگاه شامل سیلندرهای مدرج با ابعاد مختلف انتخاب شدند. دستگاه افت هد آب را در یک دوره زمانی معین اندازه‌گیری می‌کند. این دوره زمانی، بسته به اختلاف‌های افت هد، بمنظور تعیین ضریب نفوذ مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل آزمایش برای مصالح با نفوذپذیری کم مناسب‌تر است. آزمایش افت هد شامل تعیین مقدار افت هد در مورد سطح مورد بررسی در طول یک دوره زمانی معین می‌باشد. در معادله محاسبه نفوذپذیری (قانون دارسی)، طول نمونه باید تعیین شده باشد. بنابراین عمق موثر برای این کار 2/5 سانتیمتر است. همچنین فرض بر این است که نمونه اشباع است و جریان در کل طول نمونه بصورت آرام می‌باشد.

شکل3-4- نفوذسنج میدانی NCAT [5]

omoorepeyman.ir

1 - NCAT

ضریب نفوذپذیری بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$k = \left(\frac{a \times L}{A \times t}\right) \times Ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

که در آن:

k= ضریب نفوذپذیری

a= سطح مقطع لولهٔ ایستاده

L= ضخامت موثر تخمینی نمونه

A= سطح مقطع نمونه

t= زمان سپری شده در مدت افت هد

h_1= تراز آب در بالاترین حد

h_2= تراز آب در پایین‌ترین حد

در مطالعات صورت گرفته توسط NCAT، مشخص شد چندین عامل بر روی نفوذپذیری مخلوط آسفالتی گرم (HMA) تاثیر گذارند. این عاملها شامل توزیع اندازه مصالح، شکل مصالح، ترکیب مولکولی قیر، میزان حفره‌های هوا، درجهٔ اشباع مخلوط، نوع جریان سیال در داخل مخلوط و دما می‌شوند.

همچنین مشخص شد که نفوذپذیری با کاهش در میدان و اندازه حفرات، کاهش می‌یابد. شکل مصالح نیز بر روی نفوذپذیری تاثیر می‌گذارد به این صورت که مصالح با گوشه‌داری بیشتر، باعث ایجاد جریان آشفته می‌شوند که خود این مسأله منجر به کاهش نرخ جریان می‌شود.

درجهٔ اشباع نیز بر روی نرخ جریان آب درون مخلوط بسیار تاثیرگذار است. درجهٔ اشباع به مقدار آب موجود در حفرات مخلوط بستگی دارد. بنابر تحقیقات صورت گرفته مشخص شد که درجهٔ اشباع یک مخلوط به طور معکوس متناسب با میزان نفوذپذیری مخلوط است. فاکتور دیگر که تاثیرگذار بر نفوذپذیری است، میزان تراکم صورت گرفته در حین اجرای مخلوط است. نتایج حاکی از این است که تراکم بیشتر، سطحی صاف‌تر و با نفوذپذیری کمتر را نتیجه می‌دهد. عمده کار در پروژه اخیر بر اساس نتایج افت هد نفوذ سنج‌های بکار گرفته شده برای انجام تست روی نمونه‌های آزمایشگاهی بوده است. ذکر این نکته مهم است که قانون دارسی برای جریان یک بعدی شبیه آنچه که در مورد کارهای

omoorepeyman.ir

آزمایشگاهی صورت گرفته است، عملی است. اندازه‌گیری نفوذپذیری میدانی مشکل‌تر است چون آب در هر دو جهت افقی و قائم جریان می‌یابد.

نتیجه‌گیری حاصل از گزارش NCAT مشخص می‌کند که از دستگاه NCAT می‌توان برای اندازه‌گیری نفوذپذیری میدانی لایه‌های آسفالتی استفاده کرد. این نتیجه منجر به این مسأله شد که مرکز حمل و نقل کنتاکی1 در صدد ارزیابی دستگاه NCAT بر آید[5].

علی‌رغم اینکه اکثر مراحل کار با دستگاه مطلوب بود، در این میان برخی مشکلات نیز مشاهده گردید. مشکل عمده ناتوانی دستگاه جهت رسیدن به وضعیت اشباع در مدت زمان قابل قبولی بود. زمان مورد نیاز برای رسیدن به وضعیت اشباع در لایه‌های با نفوذپذیری کم برای انجام یک آزمایش بیش از یک ساعت بود. بعد از انجام آزمایشات توسط مرکز حمل و نقل کنتاکی، مشخص شد که دستگاه آزمایش NCAT قابلیت مناسب برای کارهای میدانی را ندارد. همچنین بدلیل زمان‌بر بودن آزمایش، مادهٔ درزگیر سیلیکونی جهت آب‌بندی دستگاه و سطح آسفالتی به شدت سخت شده بود و جدا کردن آن مشکل گردید. مشکل دیگر عدم توانایی دستگاه در آزمایش در نواحی با شیب زیاد است و علت آن سر خوردن دستگاه بر روی سطح است.

اما به هر حال هنگامی که دستگاه بر روی سطح مناسب و با زمان کافی آزمایش مورد استفاده قرار می‌گرفت، جوابها قابل قبول بودند. بدلیل اینکه نتایج حاصله از انجام آزمایش در شرایط مناسب، منطقی بنظر می‌رسیدند، تصمیم بر این شد که از این دستگاه بعنوان یک داور برای مقایسه دیگر دستگاه‌های آزمایش نفوذپذیری استفاده شود.

دستگاه نفوذسنج هوای AIP[2][5]

بعد از تکمیل ارزیابی دستگاه‌های نفوذسنج بحث شده، هدف بعدی توسعه روش میدانی سریع و با قابلیت تکرار تعیین میزان نفوذپذیری مخلوط‌های آسفالتی بود. همانطور که اشاره شد، اکثر نفوذسنج‌ها دارای مشکلات مشابهی هستند. وجه دیگری که در مورد این نوع آزمایشها مطلوب است، قابلیت حمل دستگاه و بازدهی است. مدل ساخت این دستگاه می‌بایست با قابلیت کاربری ساده و سبک و نیز دارای دوام مناسب برای دفعات متوالی برداشت در میدان باشد.

۱- Kentucky Transportation Center

۲- Air Induced Permeameter

omoorepeyman.ir

مهمترین مسأله مرتبط با این دستگاه تکرارپذیری دفعات آزمایش آن می‌باشد. همچنین روشهای دیگر در مقایسه با این روش، برای استفاده در میدان کار سخت بودند و دستگاه جدید برای فائق آمدن بر این مشکل می‌بایست سریع و مبرا از خطا باشد. تصمیم اول بر این بود که از خلاء بجای آب با هوای فشرده در این دستگاه، استفاده شود. استفاده از خلاء این مزیت را دارد که دستگاه را خود ایزوله کند. استفاده از خلاء بجای آب، راحتی کار و نیز حمل و نقل راحت‌تر را در پی دارد.

اندازهٔ ابعاد سرتاسر دستگاه بر مبنای اندازهٔ اسمی مصالح مورد آزمایش محاسبه می‌شود. یکی از مشکلات مربوط به برخی دستگاه‌های قبلی این بود که اندازه نمونه مورد ارزیابی را اندازه‌گیری نمی‌کردند. بنابراین محفظهٔ داخلی دستگاه بگونه‌ای انتخاب شد که دارای قطر 8 اینچ باشد. حلقهٔ درزگیری که در تماس با سطح مورد اندازه‌گیری است، باید دارای ابعاد مناسب باشد تا تمام راه‌های محتمل برای عبور هوا را ببندد. یک حلقهٔ 3 اینچی انتخاب گردید که ابعاد آن دو برابر بزرگترین اندازه اسمی مصالح (1/5 اینچ در برخی از مخلوطها) می‌باشد. شکل زیر نمونه‌ای از دستگاه AIP را نمایش می‌دهد.

شکل3-5– نفوذسنج میدانی AIP[5]

از یک مولد خلاء بمنظور ایجاد خلاء مورد نیاز برای دستگاه استفاده شد.

omoorepeyman.ir

دستگاه AIP براساس تولید نیروی هوای فشرده در فشار (lb/ft3) 68 و عبور آن از میان ونتوری مولتی پورت[1] کـار می‌کند. این وضعیت، خلاء را در داخل محفظه‌ای که هوا را به حفره‌های مخلوط هدایت می‌کنـد، بـرده و قرائـت خـلاء را روی اندازه‌گیر درج می‌کند. قرائت‌های بالا در دستگاه AIP به معنی نفوذپذیری کم و قرائت‌های کم در دسـتگاه بمعنـی نفوذپذیر بالاست.

روش انجام آزمایش

روش انجام آزمایش که در ادامه توضیح داده خواهد شد، جزئیات نحوه کار با دستگاه AIP را توضیح می‌دهد.

راه‌اندازی اولیه

اولین قدم در نحوه آزمایش کنترل کامل دستگاه AIP می‌باشد. هرگونه ضربه و آسیب به دستگاه را بررسی کنید.

اندازه‌گیر خلاء دیجیتالی را روشن نموده و کنترل کنید کـه در حالـت قرائـت بـر حسـب میلیمتـر جیـوه قـرار دارد. (شکل3-6).

با روشن کردن صفحه نمایش فشار باد، عدد بر حسب میلیمتر جیوه قرائت شود. بعد از آن اندازه‌گیـر را صـفر کنیـد و این عمل را نگه‌داشتن دکمه که بر روی آن صفر نوشته شده است بمدت 5 ثانیه انجام دهید. این عمـل بایـد روزی یـک مرتبه انجام شود. در حال استفاده از دستگاه، کنترل کنید که حلقهٔ فشار سیلیکونی عاری از هرگونه خرده مصـالح و مـواد مختلف قبل از شروع هر آزمایشی است. وجود خردهٔ مصالح و مواد می‌تواند عدد قرائت را کاهش دهد و رسیدن بـه جـواب صحیح را دچار مشکل می‌کند.

omoorepeyman.ir

۱- Multi – port Venturi

شکل 3-6– گیج فشار دیجیتالی[5]

درزگیر فشاری سیلیکونی

بعد از چک کردن تمیزی حلقهٔ درزگیر، مادهٔ رزین سیلیکونی غیر اکریلیک به ضخامت 0/5 اینچ در فاصله یک اینچ از لبهٔ بیرونی حلقه به منظور آببندی ریخته شود.(شکل3-7)

شکل3-7– نحوه اجرای اتصال سیلیکونی[5]

omoorepeyman.ir

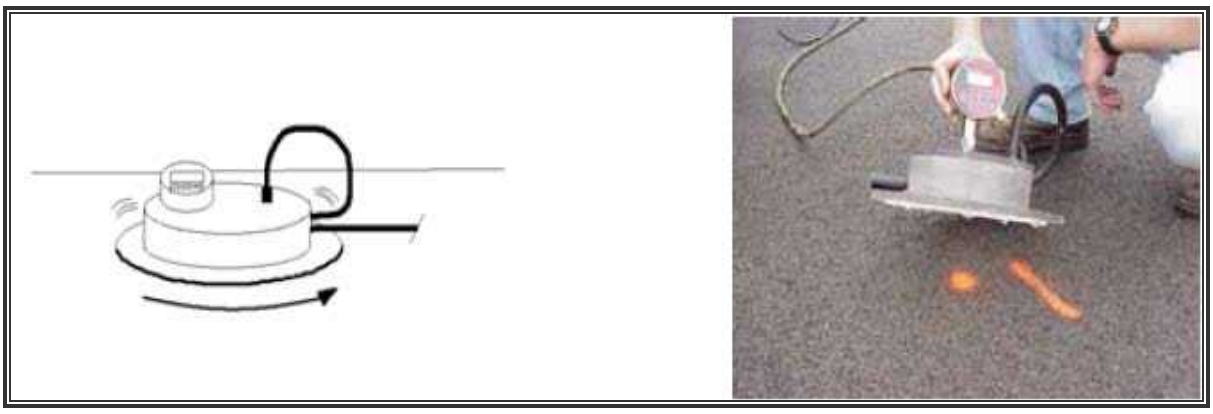
جایگذاری دستگاه در محل

بعد از انجام مراحل ذکر شده، دستگاه بر روی سطح آسفالتی قرار می‌گیرد. دستگاه را در مرکز قسمت مشخص شده قرار دهید و دقت کنید که دستگاه را در جهات جانبی در حین جاگذاری و بعد از آن حرکت ندهید. دستگاه را با نیرویی کمتر از 50 پوند و با چرخشی در حدود 0/125 دور بر روی سطح تثبیت کنید.

چرخش دستگاه امکان پر کردن منافذ و حفرات با سیلیکون را بمنظور تأمین آب‌بندی مناسب فراهم می‌آورد. (شکل3-8)

مرحله قرائت

شیر روی نفوذسنج را بمنظور اجازهٔ عبور جریان هوا در میان ونتوری باز کنید. عدد روی نمایشگر دیجیتال اندازه‌گیر خلاء شروع به بالا رفتن می‌کند. وقتی که این عدد به مقدار حداکثر خود می‌رسد، آزمایش تمام می‌شود و شیر می‌تواند بسته شود. زمان آزمایش بسته به میزان نفوذپذیری مخلوط آسفالتی تغییر می‌کند ولی باید مدت آن بیش از 15 ثانیه باشد.



شکل3-8- نحوه جایگذاری دستگاه و استقرار حلقه فشاری سیلیکونی[5]

صفحهٔ تحتانی دستگاه را تمیز کنید و بزرگترین عدد بدست آمده توسط نفوذسنج را با فشار دکمه‌ای که روی آن HI/LO نوشته شده ثبت کنید. اینکه با دستگاه به مدت زیادی کار نکنید مهم است چون این عمل ممکن است موجب لایه لایه شدگی یا برآمدگی روسازی شود. این موضوع، علی‌الخصوص برای روسازی‌های آسفالتی گرم و تازه اجرا شده

omoorepeyman.ir

مهمتر است. بعنوان یک قاعده انجام این تست برای روسازی‌های با دمای بالاتر از 130 درجهٔ فارنهایت توصیه نمی‌شود. شکل3-9 روند قرائت را نشان می‌دهد.

شکل3-9- روند قرائت با AIP

نفوذسنج LCS

در اسپانیا میزان نفوذپذیری به صورت از دست رفتن تخلخل بیان می‌شود و این عمل بوسیله اندازه‌گیری میزان نفوذ آب در محل از 2 سال تا 9 سال که بستگی به ترافیک دارد، صورت می‌گیرد. در این روش درصد تراکم می‌تواند به طور غیرمستقیم با نفوذپذیری کنترل شود. بدین ترتیب که با نفوذپذیرسنج LCS زمان نفوذ 1/735 لیتر آب در سطح 7 سانتیمتر مربع از روسازی را اندازه‌گیری می‌کنند. در آزمایشگاه قبلاً رابطه بین درصد فضای خالی و میزان تراکم محاسبه می شود و سپس با استفاده از زمان نفوذپذیری درصد فضای خالی از رابطه زیر بدست می آید[6]:

$$H = \frac{58/6}{T^{0/305}}$$

که در آن H درصد فضای خالی و T زمان زهکشی آب برحسب ثانیه می‌باشد.

در حال حاضر چهار کشور اسپانیا، بلژیک، اتریش و هلند ازنفوذسنج LCS که در اسپانیا طراحی شده، استفاده می‌کنند.

نفوذسنج IVT

در کشور سوئیس بمنظور تعیین میزان نفوذپذیری مخلوط آسفالتی متخلخل از نفوذسنج IVT استفاده می‌کنند. نفوذپذیر IVT از استوانه‌ای به قطر190mmو ارتفاع 250mm تشکیل شده است،که روی آن 5 خط با فاصله 20mm از یکدیگر وجود دارد. و خط صفر در فاصله 120mm از کف استوانه قرار دارد.

omoorepeyman.ir

میزان نفوذپذیری در این آزمایش عبارت است از مدت زمان لازم برحسب ثانیه تا آب از خط صفر نفوذسنج به عدد 8 برسد. اگر مدت لازم برای رسیدن به عدد 4 نفوذسنج بیش از 300 ثانیه باشد، نفوذپذیری غیرکافی است. مدت زمان اندازه‌گیری شده نفوذپذیری بین10 ثانیه (برای مخلوطهای آسفالتی با نفوذپذیری بالا) تا بی نهایت (برای مخلوطهای بسیار متراکم معمولی یا آسفالت متخلخلی که منافذ آن پر شده است) متغیر می‌باشد[6].

نفوذپذیری اولیه برای آسفالت متخلخل در حالت نو23 تا 105 ثانیه و مقدار متوسط برای نفوذپذیری اولیه برای بیشتر آسفالتهای متخلخل40 ثانیه(0/75 لیتر در ثانیه) است. انحراف معیار هم بین 30 تا 50 درصد متوسط تغییر می-کند و در صورتی که مقدار انحراف معیار در حد 30 درصد مقدار میانگین باشد، آسفالت متخلخل را می‌توان همگن فرض کرد[6]. در ضمن برای بالا رفتن میزان دقت آزمایش، اندازه‌گیری در یک محل چند بار تکرار می‌شود.

میزان کاهش نفوذپذیری با زمان به نوع محیط، حجم ترافیک، نوع مخلوط آسفالتی، روش اجرا و سرعت خودروها بستگی دارد. در بیشتر موارد میزان نفوذپذیری تا 5 سال در حد قابل‌قبولی باقی می‌ماند. در میان دو نوع دانه‌بندی 0-16mm و 0-10mm مورد استفاده در سوئیس، دانه‌بندی 0-16 عملکرد بهتری نسبت به دیگری از خود نشان داده است.

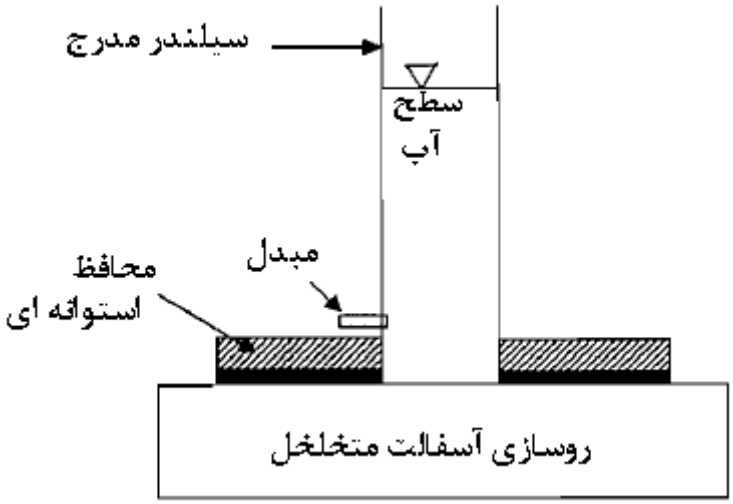
نفوذسنج میدانی FWA[3]

روش تست هد افتان که در قسمت‌های قبلی توضیح داده شد یک ایده مناسبی را برای ساخت دستگاه سنجش نفوذپذیری واحدهای سطحی روسازی به‌صورت غیرمخرب و میدانی ارائه می‌نماید. بر این اساس FWA در سال 2000 دستگاهی را برای سنجش میدانی نفوذپذیری رویه‌های متخلخل در میدان ارایه نمود. تصویر شماتیک را از دستگاه ساخته شده توسط FWA در سنگاپور را نشان می‌دهد.

این دستگاه میدانی قابل حمل بوده و دارای یک سیلندر پیرکس به قطر 150 میلیمتر است که به یک دریچه ویژه متصل شده است. یک محافظ استوانه‌ای فلز خارجی بر روی پایه دستگاه قرار داده شده است که برای محکم نشستن نفوذسنج بر روی سطح روسازی و برای عدم نفوذ آب از میان پایه دستگاه در زیر آن یک آستر لاستیکی قرار داده شده است. یک مبدل با دقت بالا بر روی دیواره داخلی سیلندر در پایه دستگاه نفوذسنج قرار داده شده است. مبدل می‌تواند تا 0/3 میلیمتر تغییرات در سطح آب را اندازه‌گیری نماید در ابتدا دریچه در وضعیت بسته قرار دارد. با 4

omoorepeyman.ir

لیتر آب سیلندر پر می‌شود تا ارتفاع آن به 230 میلیمتر برسد. سپس با باز شدن دریچه اندازه‌گیری افت هد آب آغاز می‌گردد. برای یک سطح روسازی متخلخل با نفوذپذیری 10 میلیمتر بر ثانیه و یا بالاتر، این تست کمتر از 2 دقیقه به اتمام می‌رسد(شکل3-10)



شکل3-10- تصویر شماتیک نفوذ سنج میدانیFWA [3].

نفوذسنج میدانی بیرمنگام[1][5]

این دستگاه برای اندازه‌گیری نفوذپذیری میدانی، ساخته شده و اصلاح شده در دانشگاه بیرمنگام است. با استفاده از یک نفوذسنج، ظرفیت زهکشی سطحی نمونه‌های آزمایشگاهی تعیین می‌شود. نفوذسنج دانشگاه بیرمنگام شامل یک سیلندر شفاف با یک حفره در محل تماس با سطح روسازی است که خروجی آب توسط آن کنترل می‌شود. یک حلقه لاستیکی بمنظور درزبند کردن اتصال بین استوانه و سطح بکار می‌رود که وزنه‌ای بر روی دستگاه به این عمل کمک می-کند. دستگاه از افت هد بمنظور اندازه‌گیری جریان در نمونه مورد آزمایش بهره می‌برد. معایب مرتبط به کار با این دستگاه، نشتی بعلت فشار بالای اعمالی داخلی محفظهٔ استوانه‌ای و مدت طولانی انجام هر آزمایش می‌باشد.

نفوذسنج میدانی ASTM[5]

این دستگاه برای اندازه‌گیری میدانی نفوذپذیری، توسط انجمن آزمایشها و مصالح آمریکا (ASTM) ساخته شد. این دستگاه نرخ جریان فشاری یا مکشی هوا در فشار پایین در روسازی را اندازه‌گیری می‌کند. نتایج حاصله با این دستگاه

[1] - Birmingham

omoorepeyman.ir

بدلیل تئوری که پشت این دستگاه قرار داشت، غیر قابل استناد بودند. این روش کار نیازمندی‌های جریان ایده‌آل را بدلیل افت هد بکار گرفته شده برای تولید فشار هوا برآورده نمی‌کرد. دستگاه افت فشار ثابتی را ایجاد می‌کرد که برای جبران اختلالات ناشی از این مسأله باید اصلاحاتی باید صورت می‌گرفت که به جواب صحیح ختم شود. اصلاحاتی برای تبدیل به یک مقدار میانگین فشار ثابت باید بکار گرفته می‌شد که این اصلاحات از یک سطح روسازی به سطح دیگر متفاوت بود. همبستگی بین نتایج حاصل از این دستگاه با دستگاه‌های دیگر وجود نداشت. اما این‌گونه مشاهده شد که همبستگی مناسبی بین نتایج حاصل از این دستگاه و نتایج نفوذپذیری مغزه‌گیری‌ها وجود داشت. قابلیت تکرارپذیری آزمایش‌ها توسط این دستگاه قابل قبول بود. دیگر معایب شامل خطای کاربر و نتایج خروجی فشار کم هوا و تاثیر آن در عدم کارآئی برا ی روسازی‌های با نفوذپذیری بالا می‌باشد.

نفوذسنج میدانی دانشگاه پنسیلوانیا[5]

این دستگاه که برای اندازه‌گیری نفوذپذیری میدانی بکار گرفته شده، ساخت دانشگاه پنسیلوانیا می‌باشد که در آن از هوای فشرده که به سمت محفظه آزادسازی و بعد از آن با فشار به سمت روسازی هدایت می‌شود، استفاده می‌گردد. این محفظه آزادسازی با استفاده از یک درزگیر تجاری به سطح روسازی متصل و درزگیری می‌شد. با استفاده از قرائت‌های فشار در محفظهٔ آزادسازی اندازه‌گیری نرخ جریان هوا، این دستگاه بنظر می‌رسد که این دستگاه مناسب‌ترین جوابها را ارائه می‌کند.

نتایج مقایسه قرائت‌های نفوذپذیری هوا در مقابل قرائت‌های نفوذپذیری آب، ضریب همبستگی 0/92 ($R^2 = 0.92$) را نشان دادند. دستگاه همچنین دارای قابلیت تکرارپذیری بالایی بود. برخی از معایب مرتبط با این تجهیزات، هزینهٔ بالای دستگاه، ناتوانی دستگاه در قرائت‌های صحیح برای آسفالت متخلخل، ترکیدن قسمت حلقهٔ درزگیر بین محفظه و آسفالت در سطوح بسیار صاف و روش آزمایش پیچیده که ممکن است منجر به خطای کاربر گردد.

omoorepeyman.ir

3-3- عوامل موثر بر زهکشی روسازیهای آسفالتی مختلخل

3-3-1- کلیات

قابلیت هدایت هیدرولیکی یکی ازخصوصیات مهم آسفالت متخلخل است. احتمالاً تراکم روسازی اجرا شده مهمترین فاکتور تاثیرگذار بر نفوذپذیری می‌باشد. وقتی درصد فضای خالی روسازی اجرا شده افزایش پیدا می‌کند نفوذپذیری نیز افزایش می‌یابد. مطابق تحقیقاتی که توسط GUWE در سال 2000گردید ظرفیت زهکشی آسفالت متخلخل، به میزان زیادی به درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی یا تخلخل مربوط می‌شود که بطور داخلی با یکدیگر مربوط می‌شوند. فضاهای خالی مستقلی که با یکدیگر ارتباط ندارند تاثیر زیادی بر ظرفیت زهکشی آسفالت متخلخل ندارند. Abdullah در سال 1996 از تحقیقاتش نتیجه گرفت که افزایش فضای خالی مصالح سنگی و درصد فضای خالی مخلوط به همراه دانه‌بندی مصالح‌سنگی درشت‌دانه‌تر سبب افزایش نفوذپذیری آسفالت متخلخل می‌گردد.[7،8].

قابلیت هدایت هیدرولیکی با گذشت زمان کاهش می‌یابد. علت آن است که فضاهای خالی با مواد خارجی پر می‌گردد. در مطالعات میدانی Kraemer در سال 1990، زمان زهکشی اولیه از25 تا 75 ثانیه، بعد از سه سال به 80 تا 100 ثانیه و پس از 9 سال به 160 تا 400 ثانیه افزایش پیدا کرده است. تجربه در تعدادی از کشورها همچون آمریکا نشان داده است که بعد از 2 تا 3 سال فرسایش مصالح سنگی سبب پرشدن فضاهای خالی و کاهش ظرفیت زهکشی می شود(Mallick در سال 2000). همچنین تحقیقات FWA در سال 2000 در سنگاپور نشان داده است که با سپری شدن زمان، ظرفیت زهکشی آسفالت متخلخل کاهش می‌یابد که علت اصلی آن پرشدن فضاهای خالی با خاکروبه‌های باقیمانده از چرخ ماشینها و یا محموله وسایل نقلیه می‌باشد[۸،۷].

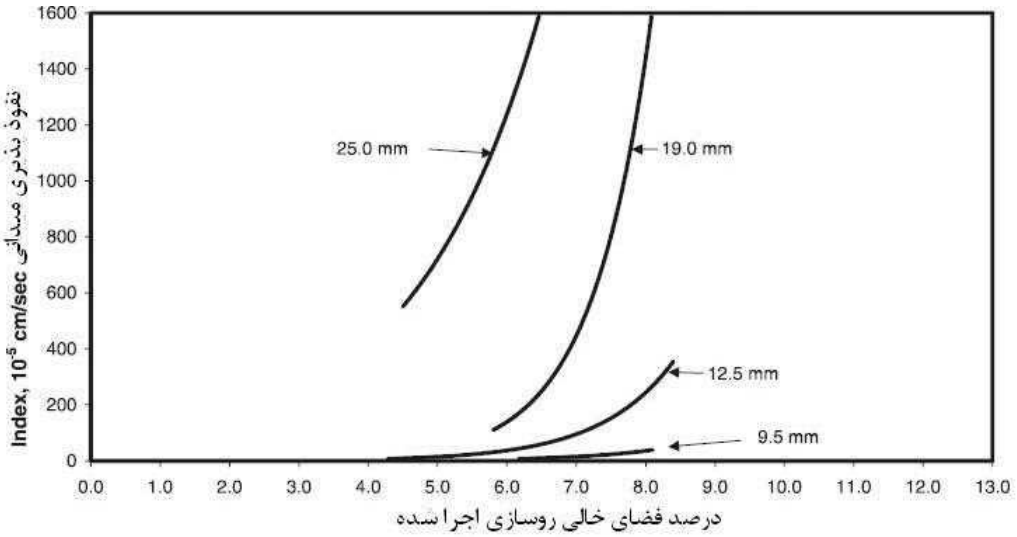
بنابراین در مجموع می‌توان عوامل موثر بر زهکشی را عواملی دانست که در درصد فضاهای خالی و شکل‌گیری آبراه-های داخلی نقش دارند و همچنین به عامل هایی اشاره کرد که سبب جلوگیری از کاهش ظرفیت هیدرولیکی روسازی متخلخل در طول زمان می‌شوند. در کنار این عوامل باید توجه داشت که شرایط بستر که بر آن رویه آسفالت متخلخل اجرا می‌شود و همچنین نحوه و شرایط تراکم نیز نقش بسزایی در توانایی زهکشی روسازی های متخلخل دارند.

omoorepeyman.ir

3-3-2- اثر مصالح سنگی بر نفوذپذیری روسازی آسفالتی

اندازه ماکزیمم مصالح سنگی:

تحقیقات نشان داده است که با تفاوت در ماکزیمم اندازه اسمی مصالح سنگی دانه‌بندی (NMAS) خاصیت نفوذپذیری تغییر می‌کند. وقتی NMAS افزایش پیدا می‌کند، نفوذپذیری افزایش پیدا می‌کند.



شکل3-11- رابطه درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی و نفوذپذیری با توجه به حداکثر اندازه اسمی سنگدانه[9].

دلیل این مطلب آن است که وقتی NMAS افزایش می‌یابد، اندازه فضای خالی مستقل در مخلوط متراکم شده افزایش می‌یابد. افزایش در اندازه فضای مستقل منجر به آن می‌شود که پتانسیل اتصال از داخل فضاهای خالی افزایش پیدا نماید. وجود این اتصال داخلی منجر به نفوذپذیری در روسازیها می‌گردد. اتصال داخلی فضاهای خالی مسیری را برای جریان یافتن آب فراهم می‌نماید[9].

شکل دانه‌ها:

مقدار تخلخل کل نمونه‌ها به شکل دانه‌های تشکیل‌دهنده آن بستگی دارد. اگر شکل دانه‌ها کروی یا مکعبی و یا تا حد مجاز دراز و پهن باشند، حجم فضای خالی نمونه‌ها متفاوت خواهد بود. چنانچه شکل دانه‌ها مکعبی و طرز قرار گرفتن آنها یکنواخت باشد فضای خالی بیشتری وجود خواهد داشت.

omoorepeyman.ir

نسبت ابعاد دانه‌ها:

نقش نسبت ابعاد دانه‌ها در میزان تخلخل مهم تر از شکل دانه‌ها است زیرا وجود ذرات ریز در مجموع دانه‌های ریز و درشت باعث می‌شود که منافذ موجود مسدود شوند و در نتیجه از میزان تخلخل کل کاسته شود. هرچه ابعاد دانه‌ها یکنواختر باشد تخلخل بیشتر است.

آرایش دانه‌ها:

برای مثال اگر هشت عدد از سنگ‌دانه‌ها در دو طبقه چهارتایی طوری قرار گیرند که مراکز هر 4 دانه کروی در یک سطح افقی باشند در این صورت می‌توان هشت کره مذکور را وضعیت‌های مختلف قرار داد. بسته به وضعیت قرار گرفتن دانه‌ها، تخلخل و درصد فضای خالی فرق می‌کند.

3-3-3- اثر نوع دانه‌بندی بر نفوذپذیری روسازی آسفالتی

شکل دانه‌بندی مخلوط از جمله فاکتورهای دیگری است که بر روی نفوذپذیری تاثیر می‌گذارد. دانه‌بندیهایی که از زیر خط تراکم ماکزیمم عبور می نمایند نسبت به دانه‌بندی ریزی که از روی خط تراکم عبور می‌نمایند نفوذپذیری کمتری دارند. مانند NMAS، شکل دانه‌بندی بر اندازه درصد فضای‌خالی مستقل در روسازی متراکم شده اثر می‌گذارد. دانه‌بندی درشت‌تر که شامل سنگدانه‌های درشت می‌باشد، درصد فضای‌خالی پیوسته یا متصل به هم را نتیجه می‌دهد و در نتیجه پتانسیل اتصال داخلی فضاهای خالی افزایش پیدا می‌کند. ساختار باز در آسفالت متخلخل برای خاصیت زهکشی سطحی و خصوصیات صوتی دارای اهمیت قاطع می باشد. تنها منافذ باز که از سطح قابل دسترس باشد می‌تواند برای زهکشی آب و جذب صدا مؤثر باشد. در این مورد باید در نظر داشت که حدود $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{3}$ کل فضای خالی آسفالت متخلخل را منافذ بسته و غیرمرتبط تشکیل می‌دهند که از نظرزهکشی و جذب صدا هیچ اثری ندارند. از آنجا که NMAS بزرگتر و دانه‌بندی درشت‌تر پتانسیل بیشتری جهت نفوذپذیری دارند، می‌توان جمع‌بندی نمود که حجم مصالح سنگی ریزدانه، نفوذپذیری در روسازی‌های آسفالتی گرم را کنترل می‌نماید [۱۲،۹].

omoorepeyman.ir

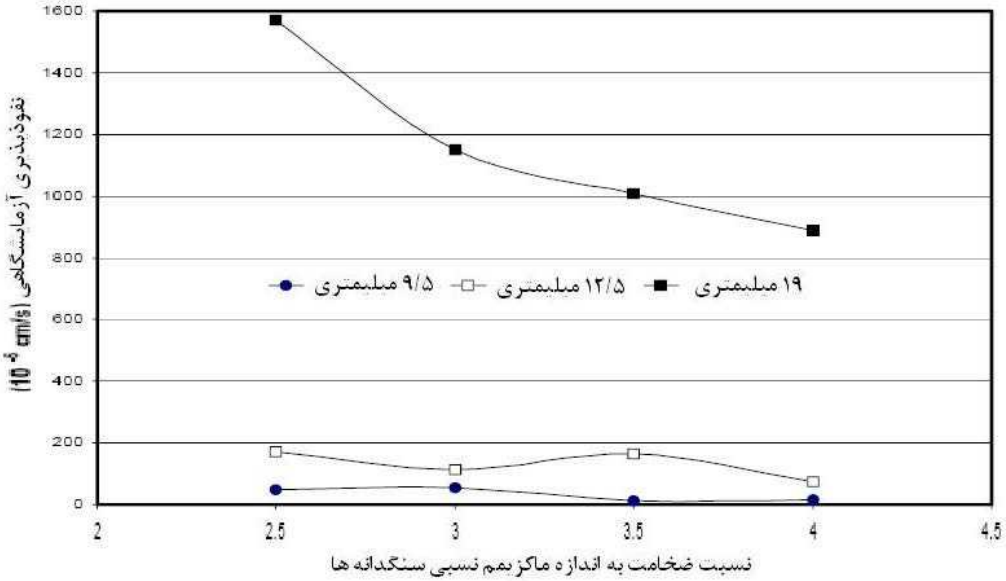
3-3-4- اثر ضخامت اجرایی بر نفوذپذیری روسازی آسفالتی

وقتی ضخامت اجرایی افزایش پیدا می‌کند، پتانسیل نفوذپذیری کاهش پیدا می‌نماید. دو دلیل متفاوت برای این عملکرد روسازیهای ضخیم وجود دارد. اول آنکه معمولا لایه‌های ضخیم‌تر در محل راحت‌تر متراکم می‌شوند، زیرا یک لایه ضخیم گرما را بهتر نگه می‌دارد و فرصت بیشتری را ایجاد می‌کند تا مصالح سنگی بطور مناسبی جایگیری نمایند از این رو دانسیته روسازیها افزایش پیدا می‌کند. و اما دلیل دوم، نفوذپذیری نتیجه‌ای از اتصال داخلی فضاها می‌یابد. در یک مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی توپر همه فضاهای خالی به هم متصل نمی‌باشند. وقتی ضخامت لایه افزایش پیدا می‌نماید، شانس تشکیل مسیری از فضاها برای عبور آب کاهش می‌یابد. به این دلیل روسازیهای نازک پتانسیل بیشتری برای نفوذ پذیری دارند[9].

شکل3-12 نشان می‌دهد که نفوذپذیری روسازی آسفالتی با ضخامت نمونه‌ها مرتبط می‌باشد. این شکل نتایج حاصل از کار آزمایشگاهی بر روی مغزه‌هایی که در آزمایشگاه متراکم شده‌اند، را نشان می‌دهد.

این پروژه شامل دانه‌بندی‌های درشت با اندازه NMAS، 9/5، 12/5و 19 میلیمتر می‌گردد. این شکل نشان می‌دهد، که وقتی ضخامت افزایش پیدا می‌کند (نسبت ضخامت به NMAS افزایش پیدا می‌کند) نفوذپذیری کاهش پیدا می‌نماید. در آیین‌نامه بلژیک ضخامت 4 سانتیمتر برای آسفالت متخلخل توصیه شده است. این ضخامت برای هلند 5 سانتیمتر می‌باشد. متداولترین نوع آسفالت متخلخل در اسپانیا یک لایه 4 سانتیمتری است. در فرانسه ضخامت لایه آسفالت متخلخل بصورت یک روکش 2 تا 4 سانتیمتری توصیه می‌شود[9].

omoorepeyman.ir



شکل3-12- رابطه بین نفوذپذیری و نسبت ضخامت به اندازه ماکزیمم نسبی سنگ‌دانه‌ها[9].

3-3-5- کاهش ظرفیت زهکشی بعد از اجرای رویه های آسفالت متخلخل

میزان کاهش نفوذپذیری با زمان بستگی به نوع محیط، حجم ترافیک، نوع مخلوط آسفالتی، روش اجرایی و سرعت خودروها دارد. در بیشتر موارد تا 5 سال نفوذپذیری در حد قابل قبولی باقی می ماند. این افت می‌تواند به طرق زیر به حداقل رسانده شود:

- انتخاب درست مخلوط آسفالتی؛
- بهینه‌سازی میزان قیر برای به دست آوردن دوام و تخلخل؛
- استفاده از مصالح سنگی مقاوم در برابر سائیدگی؛
- حداقل فضای خالی 20٪؛
- ضخامت لایه 50 میلیمتر؛
- حداقل شیب عرضی 2/5٪؛
- اجتناب از تراکم بیش از حد؛
- دستیابی به زبری (بافت درشت) بیشتر[11].

دو روش برای حل مشکل پر شدن منافذ وجود دارد[10]:

omoorepeyman.ir

- اجتناب از پرشدگی؛
- برداشتن (پاک کردن) مواد پرکننده.

برای بازنگهداشتن منافذ می توان با دستگاههای مخصوص مکش و جاروکشی همراه با فشار آب اقدام به شستشوی سطح آسفالت متخلخل نمود. پاک سازی دوره ای تا زمانی که نفوذپذیر در حد قابل قبولی است می تواند اثرات مثبتی در دوام نفوذپذیری در آسفالت متخلخل داشته باشد.

پر شدن منافذ را نیز می‌توان به طرق زیر کاهش داد:

- حفظ قابلیت هدایت هیدرولیکی در بالاترین حد آن، تا هر زمان که ممکن باشد، با استفاده از حداقل 20% فضای خالی و مصالح سنگی که اندازه بزرگترین دانه آن بیش از 11 میلیمتر باشد.
- اجتناب از استفاده از مصالح سنگی با اشکال غیر متعارف. در هنگام استفاده از الیاف در قیر اصلاح شده با پلیمر، میزان آن باید محدوده به 3٪ در وزن قیر باشد.
- آب بندی سطح خطوط عبوری که تحت ترافیک قرار نگرفته‌اند، مانند شانه‌های صلب، با دوغاب آب‌بندی این کار در مسیر A1 در فرانسه با موفقیت انجام شده است، ولی در هلند با عدم موفقیت مواجه گردیده است.
- عدم استفاده از آسفالت متخلخل در تقاطع‌های راههای بدون رویه یا هر کجا که سرعت ترافیک پایین است.
- تمیز کردن منافذ: معلوم گردیده است که شانه‌های سخت، خطوط عبوری مخصوص ماشینهای چرخ زنجیری و سایر خطوط عبوری که به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید سالی یکبار با استفاده از دستگاه‌های پیشرفته مخصوص تمیز شوند. این ماشینها در اتریش، فرانسه، هلند، اسپانیا و سایر کشورها به کار می‌روند. این ماشینها خیلی کارآ نیستند و هنوز نیاز به پیشرفت دارند. مواد جامدی که در اثر عملیات تمیز کردن بدست می‌آیند، آلوده به فلزات سنگین می‌باشند و باید در محل‌های مناسبی تخلیه گردند.

هنگامی که ظرفیت زهکشی در حد غیر قابل قبولی پایین باشد، سطح روسازی را می‌توان با یک آسفالت متخلخل، با و یا بدون برداشتن لایه قدیمی، مجدداً روکش کرد، یا همانطور که در اتریش انجام شده است، روسازی را به صورت بازیافت گرم تجدید نمود.

انتخاب اندازه مصالح سنگی، قابلیت هدایت هیدرولیکی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بزرگی اندازه اسمی مصالح سنگی مفید است. آسفالت نیاز به حداقل 20٪ فضای خالی برای حفظ خاصیت نفوذپذیری آب دارد. ترافیک زیاد، سریع و

omoorepeyman.ir

سنگین به نفوذپذیری (تخلخل) کمک می‌کند. ترافیک و شرایط محیطی نباید در پر شدن تاثیر بگذارند. در بعضی از کشورها دستگاه‌های خاصی برای تمیز کردن منافذ ساخته شده است.

3-3-6- اثر بستر بر توانایی زهکشی روسازیهای آسفالتی متخلخل[11]

آسفالت متخلخل باید فقط باید بر روی روسازیهایی که از نظر سازه‌ای سالم هستند اجرا شوند و علاوه بر این باید روسازی فوق که به عنوان یک لایه نفوذ ناپذیر عمل می‌کند دارای حداقل ترکها، شیارها، گودالها و روزدگی قیر باشد. مقدار زیاد فضای خالی اجازه می‌دهد آب بصورت قائم درمخلوط نفوذ کرده و به سطح لایه نفوذناپذیر رسیده و ازآنجا بصورت عرضی(افقی) به سمت کناره مسیر هدایت شود. وجود شیارها و خرابیها در لایه نفوذناپذیر سبب خرابی روسازی در زمان کوتاهی خواهد شد ولازم است قبل از اجرای آسفالت متخلخل، روسازی موجود مورد بررسی قرار گیرد. از طرف دیگر اجرای آسفالت متخلخل بر روی روسازی دارای قیرزدگی، باعث می‌شود به علت جابجایی آزاد قیر در زیر لایه متخلخل، خواص زهکشی آسفالت متخلخل تغییر کند.

برای جلوگیری از تجمع آب در آسفالت متخلخل و افزایش توانایی زهکشی این مخلوط، لازم است لایه روسازی نفوذ ناپذیر دارای شیب عرضی باشد و سطح آن کاملاً صاف و یکنواخت باشد.

در اتصال یک رویه متخلخل به شانه‌ها باید دقت کافی نمود و شرایط را بخوبی جهت خروج آب از لبه‌های خارجی آسفالت متخلخل مهیا کرد. لازم است هیچ مانعی در حرکت آب وجود نداشته و شیب‌شانه‌ها نیز به‌حد کافی باشد. در خیابانهای شهری که از جداول کناری استفاده می‌شود باید کانیوها و جوی کناری ظرفیت لازم را جهت جمع‌آوری آبهای سطحی داشته باشند در این خصوص می‌توان دتایل‌های زیادی با توجه به شرایط محل ارائه نمود. نمونه‌ای از این دتایل‌ها در شکل زیر آمده است.

روش دیگری که اکنون در بلژیک مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارت است از ایجاد یک کانال در امتداد جداول در پایین-ترین تراز شیب عرضی که مجهز به یک دریچه طولی در انتها بوده و با آسفالت متخلخل پر شده است. این کانال مانند یک مخزن واسطه عمل کرده و آب‌سطحی جمع شده را به سمت دریچه‌های تخلیه هدایت می‌کند این روش برای روسازیهای نو و بازسازی شده قابل استفاده است.

در طول مسیر نیز می‌توان از زهکشی عرضی نیز در محل خط‌القعرها و قوسهای قائم کاسه‌ای استفاده کرد. همچنین باید به جزئیات مناسب زهکشی در محلهای قوس‌های افقی و قائم توجه کافی نمود. در بسیاری از راهها شانه‌ها نیز با آسفالت

omoorepeyman.ir

متخلخل پوشیده می‌شوند. برای تسریع تخلیه آب از سطح و جلوگیری از اشباع و سرریزشدن آب لازم است یک نوار به عرض حداقل 10 سانتی‌متر بین پوشش آسفالت متخلخل و شانه‌خاکی وجود داشته باشد. در روسازیهایی که شانه از مصالح خاکی و نرم است باید آسفالت متخلخل قبل از شانه تمام شود زیرا خطر اختلاط مصالح شانه و آسفالت متخلخل و مسدود شدن مصالح وجود دارد.

3-3-7- اثر اجرا بر توانایی زهکشی روسازیهای آسفالتی متخلخل[11]

واضح است که باید دقت لازم در مورد کنترل کارگاهی خصوصیات اساسی نفوذپذیری بعمل آید. نه تنها میزان مطلق اندازه‌گیری‌ها بلکه پراکندگی آنها که نشانه ناهمگنی و جداشدگی دانه‌هاست مهم هستند. اگرچه طرح اختلاط، نقطه بحرانی در ایجاد شرایط مناسب برای بدست آوردن یک آسفالت متخلخل با کیفیت خوب و عملکرد مناسب می‌باشد با وجود این، پخش نیز همانند تولید و حمل در بدست آوردن یک ترکیب مناسب، نقش مهمی ایفا می‌نماید. به طور خاص عوامل عمده در کیفیت و موثر بودن این نوع مخلوط قیری بخصوص از نظر قابلیت زهکشی، بجز حفظ نمودن طرح اختلاط، عبارتند از درجه حرارت هنگام پخش، نوع غلتک‌زنی و در نظر گرفتن مقادیر مجاز. به علت وجود منافذ در مخلوط آسفالت متخلخل، در هنگام اجرا کاهش درجه حرارت آن از آسفالت معمولی بیشتر است لذا درجه حرارت اولیه حدود 20 درجه سانتیگراد بالاتر از درجه حرارت آسفالت معمولی توصیه می‌شود. در تراکم مخلوط آسفالتی باید همانند آسفالت معمولی عمل کرده و بلافاصله پس از پخش آسفالت توسط فینیشر، اقدام به غلتک‌زنی نمود. نباید مقدار دمای آسفالت کمتر از 120 درج سانتیگراد گردد. در مخلوطهای متخلخل از ویبره کردن مصالح اجتناب می‌شود زیرا این امر سبب تراکم بیش از حد، خرد شدن مصالح و کاهش فضای خالی می‌گردد.

واضح است که باید دقت لازم در مورد کنترل کارگاهی خصوصیات اساسی نفوذپذیری بعمل آید. نه تنها میزان مطلق اندازه‌گیری‌ها بلکه پراکندگی آنها که نشانه ناهمگنی و جداشدگی دانه‌هاست مهم هستند. بررسی منابع علمی نشان می‌دهد که وسایل و روشهای مورد استفاده در اندازه‌گیری نفوذپذیری متفاوت بوده و نتایج اندزه‌گیری‌ها اغلب به واحدهای مختلف بیان می‌گردند که قابل مقایسه نیستند [1].

omoorepeyman.ir

3-4- ارائه روش مناسب برای تعیین میزان زه‌کشی آزمایشگاهی و میدانی آسفالت متخلخل

3-4-1- کلیات

در مورد اندازه‌گیری و ارزیابی عملکرد زهکشی مخلوط‌های آسفالتی متخلخل مورد استفاده در راه‌ها، روش سیستماتیکی وجود ندارد. مزیت بزرگ استفاده از این نوع مخلوط‌ها بخصوص در نواحی با شدت بارندگی زیاد و میزان حجم قابل توجه روان آب، قابلیت زهکشی مناسب و خشک کردن سطح جاده برای رانندگی حتی در شرایط بارندگی شدید است. این مساله سطح ایمنی در جاده‌ها را از نظر خطرات لغزندگی، آب لغزی، کاهش میدان دید راننده بطور قابل توجهی بالا می‌برد.

درحال حاضر تعدادی از دستگاه‌های میدانی و آزمایشگاهی برای مقایسه ظرفیت زهکشی مخلوط‌های متخلخل وجود دارد که برخی از آنها عبارتند از:

نفوذسنج FDOT ساخت اداره حمل و نقل فلوریدا، نفوذسنج بلژیکی[1]، نفوذسنج آی‌وی‌تی سوئیسی[2] و یک نمونه اندازه‌گیر زهکشی ال‌سی‌اس اسپانیایی[3].

همه این دستگاه‌ها شامل یک لوله شفاف استوانه‌ای هستند که در آنها زمان لازم برای افت هد آب در یک فاصله ثابت در طول استوانه توسط یک زمان‌سنج اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین با اندازه‌گیری زمان برای عبور یک حجم ثابت و آب از یک سیلندر آب به سمت یک دال متخلخل، متوسط نرخ جریان آب تخلیه شده از روسازی تخمین زده می‌شود. اختلاف در چنین تجهیزاتی اساساً شامل:

1- اندازه لوله استوانه‌ای و حجم آب مورد استفاده برای آزمایش.

2- روش درزگیری انجام گرفته بین لوله استوانه‌ای و دال روسازی.

3- نحوه نگهداشتن و حفظ آب بالای دال قبل از شروع آمایش.

4- نحوه اندازه‌گیری زمان از شروع تا پایان آزمایش می‌شود.

این فاکتورها عمده‌ترین خصوصیاتی هستند که بر دقت، سرعت و راحتی کار با یک دستگاه تاثیرگذار می‌باشند[12].

1- Belgian Permea Meter (1990)
2- Swiss IVT Permeameter
3- Spanish LCS drainometer

omoorepeyman.ir

در حال حاضر تمام دستگاه‌های موجود قابلیت تصویب قطعی اندازه‌گیری عملی و منطقی میزان نفوذپذیری و زهکشی مخلوط آسفالت متخلخل را ندارند.

بررسی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که وسایل و روشهای مورد استفاده در اندازه‌گیری نفوذپذیری متفاوت بوده و نتایج اندزه‌گیری‌ها اغلب به واحدهای مختلف بیان می‌گردند که چندان قابل مقایسه نیستند [1].

3-4-2- مقایسه میان روشهای آزمایشگاهی تعیین نفوذپذیری

معمولاً اساس روش‌های معمول آزمایشگاهی تعیین نفوذپذیری مانند روشهای استاندارد توصیف شده در AASHTO T215(1982) و ASTM D2434(1998) بر مبنای تست با هد ثابت می‌باشد که در آنها ضریب نفوپذیری در جریان ثابت و تحت یک هد ثابت تعیین می‌گردد.

اما برای مصالح متخلخل با نفوذپذیری 10 میلیمتر بر ثانیه و یا بیشتر، حجم آب زیادی مورد نیاز می‌باشد تا سطح آب(هد آب) ثابت نگه داشته شود بنابراین استفاده از روش هد ثابت برای اندازه‌گیری نفوذپذیری دشوار می‌شود. برای حل این مشکل برای اندازه‌گیری نفوذپذیری این‌گونه مصالح از تست هد افتان استفاده می‌شود. در این تست هم شیب هیدرولیکی و هم دبی ویژه با زمان تغییر می‌کنند[3].

3-4-3- مقایسه میان روشهای میدانی تعیین نفوذپذیری

محققین همواره به دنبال توسعه روش میدانی سریع و با قابلیت تکرار تعیین میزان نفوذپذیری مخلوط‌های آسفالتی می‌باشند. همانطور که اشاره شد، اکثر نفوذسنج‌ها دارای مشکلات مشابهی هستند. وجه دیگری که در مورد این نوع آزمایشها مطلوب است، قابلیت حمل دستگاه و بازدهی است. مدل ساخت این دستگاه می‌بایست با قابلیت کاربری ساده و سبک و نیز دارای دوام مناسب برای دفعات متوالی برداشت در میدان باشد. مهمترین مسأله مرتبط با این دستگاه تکرارپذیری دفعات آزمایش آن می‌باشد. بطور کل یک دستگاه سنجش میدانی مناسب باید دارای خواص زیر باشد:

- سبک و قابل حمل
- ارزان بودن
- انجام آسان آزمایش
- انجام سریع آزمایش

omoorepeyman.ir

- و مهمترین خصوصیت آن تکرارپذیر بودن نتایج می‌باشد.

نفوذسنج میدانی NCAT:

علی‌رغم اینکه اکثر مراحل کار با این دستگاه مطلوب بود، در این میان برخی مشکلات نیز مشاهده گردید. مشکل عمده ناتوانی دستگاه جهت رسیدن به وضعیت اشباع در مدت زمان قابل قبولی بود. زمان مورد نیاز برای رسیدن به وضعیت اشباع در لایه‌های با نفوذپذیری کم برای انجام یک آزمایش بیش از یک ساعت بود. بعد از انجام آزمایشات توسط مرکز حمل و نقل کنتاکی، مشخص شد که دستگاه آزمایش NCAT قابلیت مناسب برای کارهای میدانی را ندارد. همچنین بدلیل زمان‌بر بودن آزمایش، مادهٔ درزگیر سیلیکونی جهت آب‌بندی دستگاه و سطح آسفالتی به شدت سخت شده بود و جدا کردن آن مشکل گردید. مشکل دیگر عدم توانایی دستگاه در آزمایش در نواحی با شیب زیاد است و علت آن سر خوردن دستگاه بر روی سطح است.

اما به هر حال هنگامی که دستگاه بر روی سطح مناسب و با زمان کافی آزمایش مورد استفاده قرار می‌گرفت، جوابها قابل قبول بودند. بدلیل اینکه نتایج حاصله از انجام آزمایش در شرایط مناسب، منطقی بنظر می‌رسیدند، تصمیم بر این شد که از این دستگاه بعنوان یک داور برای مقایسه دیگر دستگاه‌های آزمایش نفوذپذیری استفاده شود[5].

AIP:

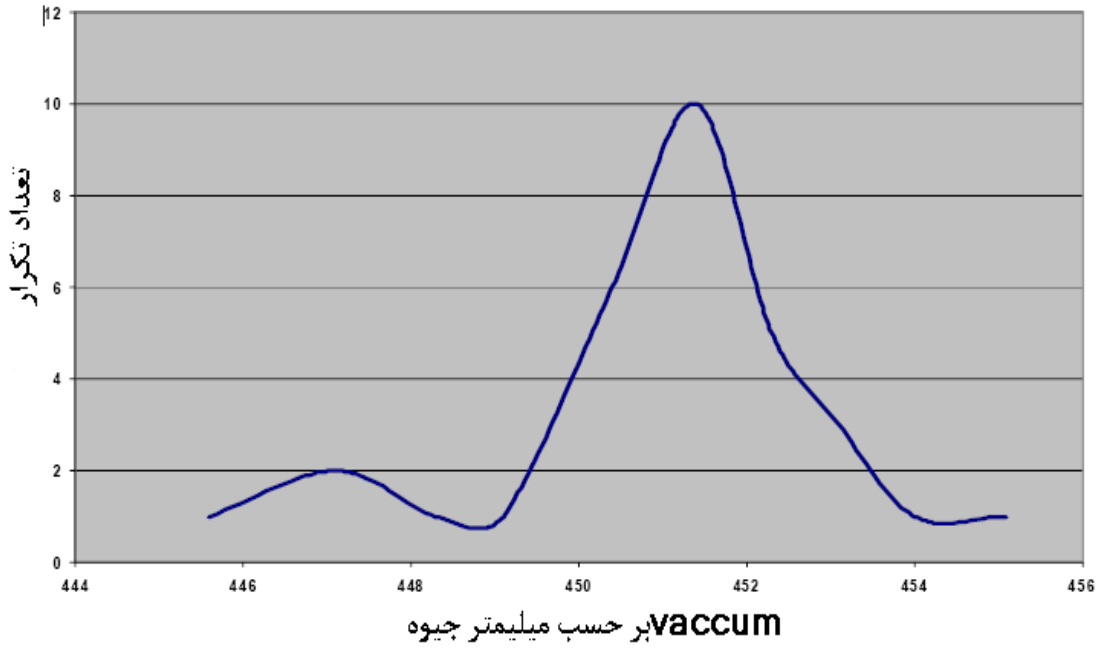
مهمترین مسأله در ارتباط با این دستگاه تکرارپذیری دفعات آزمایش آن می‌باشد. دستگاه جدید برای فائق آمدن بر این مشکل می‌بایست سریع و مبرا از خطا باشد. لذا ایده جدیدی مطرح شد که از خلاء بجای آب با هوای فشرده در این دستگاه، استفاده شود. استفاده از خلاء دارای مزایایی است از جمله آنکه استفاده از خلاء بجای آب، راحتی کار و نیز حمل و نقل راحت‌تر را در پی دارد.

در دستگاه AIP از خلا بجای آب استفاده شده است که در بخشهای قبلی بطور مفصل به آن پرداخته شده است.

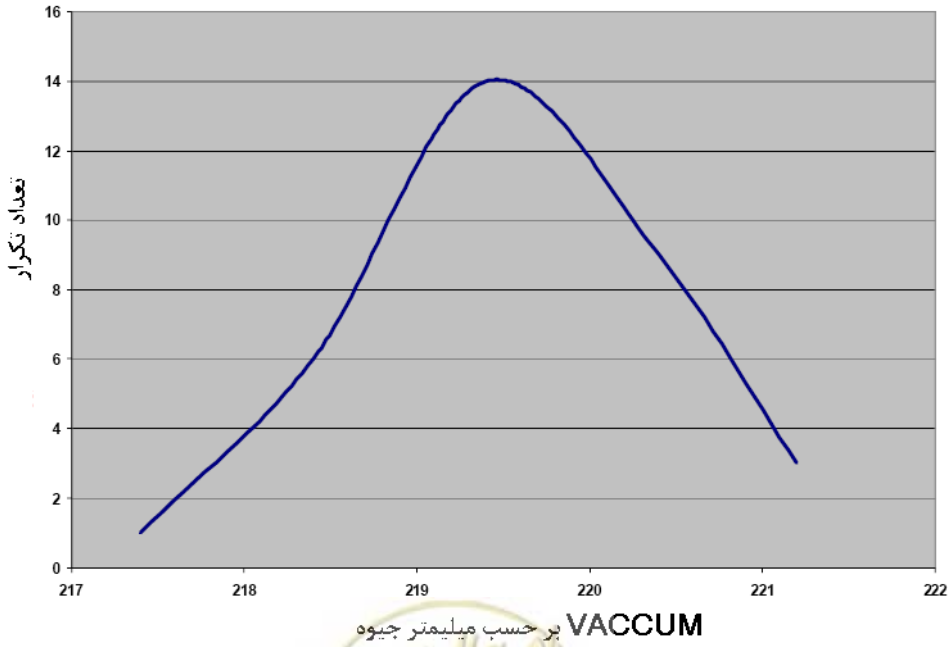
بمنظور بررسی تکرارپذیری AIP، مجموعه‌ای از آزمایشها صورت گرفت. تقریباً 30 آزمایش در یک مکان صورت گرفت. آزمایشهای تکرارپذیری بر روی سطحی با 0/5 اینچ ضخامت مخلوط آسفالتی و 0/75 اینچ مخلوط اساس صورت گرفتند. نتایج در شکلهای زیر آمده‌اند. مقدار میانگین قرائت خلاء برای اساس 0/75 اینچی، 45 میلیمتر جیوه و با

omoorepeyman.ir

انحراف معیار 2 بود و مقدار میانگین قرائت خلاء برای سطح آسفالتی 0/5 اینچی 2/9 میلیمتر جیوه با انحـراف اسـتاندارد 1 بود[5].



شکل 3-13- توزیع تکرارپذیری قرائتهای AIP برای اساس75/.[5]



شکل 3-14- توزیع تکرارپذیری قرائتهای AIP برای اساس5/.[5]

omoorepeyman.ir

از این اطلاعات و شکل‌های 3-13و 3-14 این‌گونه بر می‌آید که دستگاه AIP نسبت به نرخ‌های نفوذپذیری میدانی همبستگی دارد و آماده برای انجام پروژه‌های پژوهشی است.

3-4-4- ارائه روش مناسب برای تعیین میزان زه‌کشی آزمایشگاهی و میدانی آسفالت متخلخل

در مورد اندازه‌گیری و ارزیابی عملکرد زه‌کشی مخلوط‌های آسفالتی متخلخل مورد استفاده در راه‌ها، روش سیستماتیکی وجود ندارد. درحال حاضر تعدادی از دستگاه‌های میدانی و آزمایشگاهی برای مقایسه ظرفیت زه‌کشی مخلوط‌های متخلخل وجود دارد که عبارتند از:

نفوذسنج FDOT ساخت اداره حمل و نقل فلوریدا، نفوذسنج بلژیکی[1]، نفوذسنج آی‌وی‌تی سوئیسی[2] و یک نمونه اندازه‌گیر زه‌کشی ال‌سی‌اس اسپانیایی[3] و نمونه نفوذسنج تولیدی در دانشگاه علم و صنعت ایران توسط دکتر ابوطالبی.

همه این دستگاه‌ها شامل یک لوله شفاف استوانه‌ای هستند که در آنها زمان لازم برای افت هد آب در یک فاصله ثابت در طول استوانه توسط یک زمان‌سنج اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین با اندازه‌گیری زمان برای عبور یک حجم ثابت آب از یک سیلندر آب به سمت یک دال متخلخل، متوسط نرخ جریان آب تخلیه شده از روسازی تخمین زده می‌شود. بطور کلی اختلاف در چنین تجهیزاتی شامل موارد زیر می‌باشد:

1- ابعاد لوله استوانه‌ای و حجم آب مورد استفاده برای آزمایش

2- روش درزگیری انجام گرفته بین لوله استوانه‌ای و دال روسازی

3- نحوه نگهداشتن و حفظ آب بالای دال قبل از شروع آزمایش

4- نحوه اندازه‌گیری زمان از شروع تا پایان آزمایش.

در حال حاضر تمام دستگاه‌های موجود قابلیت تصویب قطعی اندازه‌گیری عملی و منطقی میزان نفوذپذیری و زه‌کشی مخلوط آسفالتی متخلخل را ندارند.

1- Belgian Permea Meter (1990)

2- Swiss IVT Permeameter

3- Spanish LCS drainometer

omoorepeyman.ir

3-4-4-1- تعیین میزان زه‌کشی آزمایشگاهی در داخل کشور

دستگاه نفوذسنج تولیدشده در دانشگاه علم‌وصنعت ایران نمونه مشابه یک دستگاه نفوذسنج خارجی است که با انجام آزمایش نفوذپذیری بر روی نمونه‌های متخلخل ساخته‌شده آزمایشگاهی یا نمونه‌های مغزه‌گیری‌شده، توسط این دستگاه می‌توان به میزان نفوذپذیری هر نوع مخلوط آسفالتی متخلخل دلخواهی پی برد.

شکل(3-15)-دستگاه نفوذسنج تولیدشده در دانشگاه علم‌وصنعت ایران

3-4-4-2- تعیین میزان زه‌کشی میدانی در داخل کشور

الف- دستگاه نفوذسنج میدانی NCAT

دستگاه نفوذسنج میدانی NCAT، ساخت مرکز ملی تکنولوژی آسفالت[1] که با آب کار می‌کند، ابزاری مناسب برای تعیین میزان زه‌کشی میدانی رویه‌های متخلخل می‌باشد. این دستگاه افت هد آب در سطح مورد بررسی را در یک دوره زمانی معین اندازه‌گیری می‌کند. در معادله محاسبه نفوذپذیری (قانون دارسی)، می‌بایست ضخامت لایه مورد بررسی

1 - National Center of Asphalt Technology (NCAT)

omoorepeyman.ir

تعیین شده باشد. همچنین فرض بر این است که لایه مورد بررسی در حالت اشباع است و جریان در طول آن بصورت آرام[1] می‌باشد.

ضریب نفوذپذیری لایه متخلخل بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$k = \left(\frac{a \times L}{A \times t}\right) \times Ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

که در آن:

k= ضریب نفوذپذیری

a= سطح مقطع لولهٔ ایستاده

L= ضخامت موثر تخمینی نمونه

A= سطح مقطع نمونه

t= زمان سپری شده در مدت افت هد

h1= تراز آب در بالاترین حد

h2= تراز آب در پایین‌ترین حد

ب- دستگاه تعیین میزان زه‌کشی میدانی که در شرایط خلأ کار می‌کنند (نوع دستگاه AIP):

بعد از پیدایش و بکارگیری دستگاه‌هایی که اساس اندازه‌گیری‌شان افت هد آبی بود، هدف بعدی توسعه روش میدانی سریع و با قابلیت تکرار تعیین میزان نفوذپذیری مخلوط‌های آسفالتی تعیین گردید. بر اساس آنچه در بخش‌های قبلی اشاره شد، اکثر نفوذسنج‌ها دارای مشکلات مشابهی هستند. وجه دیگری که در مورد این نوع آزمایشها می‌بایست مدنظر قرار گیرد، قابلیت حمل دستگاه و بازدهی آن است. مدل ساخت این دستگاه می‌بایست با قابلیت کاربری ساده و سبک و نیز دارای دوام مناسب برای دفعات متوالی برداشت در میدان باشد. مهمترین مسأله مرتبط با دستگاه‌های نسل جدید تکرارپذیری دفعات آزمایش آن می‌باشد. بنابراین برای دستیابی به اهداف ذکرشده تصمیم بر استفاده از خلاء بجای آب

1 - Laminar

omoorepeyman.ir

در این دستگاه‌ها، گرفته شد. استفاده از خلاء این مزیت را دارد که دستگاه را خود ایزوله می‌کند. استفاده از خـلاء بجـای آب، راحتی کار و نیز حمل و نقل راحت‌تر را در پی دارد. هم‌اکنون این روش آزمایش در ادارات مختلـف راه در جهـان در حال استفاده می‌باشد و می‌تواند بعنوان روشی معتبر و قابل اطمینان برای تعیـین میـزان نفـوذپـذیری میـدانی روسـازی متخلخل مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع

1- **Porous Asphalt, Piarc.1993**

2- **Surface ASPHALT edited NICHOLLS,1998**

3- **T.F. FWA, S.A. TAN, C.T. CHUAl and Y.K. GUWE "Expedient Permeability Measurement for Porous Pavement Surface" Center for Transportariun Researrh. Deparrnienr of Civil Engineering. National University of Singapore, I0 Kent Ridge Crescenr. Singapore.2000.**

4- **Faghri. Mohammad, H. Sadd. Martin "Performance Improvement of Open-Graded Asphalt Mixes" Department of Mechanical Engineering & Applied Mechanics University of Rhode land October 2002.**

5- **David L.Allen,David B.Schults, L.John Flecjentein. " development and proposed impelementation of a field permeability test for asphalt concrete." Kentucky transportation 2003.**

6- **Experience with porouse Asphalt in swizerland. By: T.Isenring, H. Koster and I.Scazziga. TRR No. 1265, 1990.**

7- **Dr. Meor Othman Hamzah Hardiman M. Yatim "EFFECTS OF MAXIMUM AGGREGATE SIZE ON SINGLE LAYER POROUS ASPHALT PROPERTIES AND A PROPOSAL FOR DOUBLE LAYER TO RESIST CLOGGING" iversiti Sains Malaysia 2001.**

8- **S. A. Tan, T. F. Fwa and K. C. Chai "Drainage Design of Porous Pavement System for Urban Runoff Control" National University of Singapore. presentation and publication at the 2003 TRB Annual Meeting**

9- **E. Ray Brown, M. Rosili Hainin, Allen Cooley, Graham Hurley. "Relationship of Air Voids, Lift Thickness, and Permeability in Hot Mix Asphalt Pavements" National Center for Asphalt Technology—Auburn University. NCHRP REPORT 531.**

10- " راههای با روسازی انعطاف‌پذیر" دفتر مطالعات فناوری و ایمنی مجمع جهانی راه(پیارک) در ایران. زمستان 1385.

11- بررسی و مقایسه مشخصات فنی آسفالت متخلخل با بتن آسفالتی، پایان نامه کارشناسی ارشد، کورش جایروند-1380

12- **www.patentstorm.us.**

omoorepeyman.ir

فصل 4

تعیین روش مناسب برای تعیین میزان صوت در آسفالت متخلخل و تعیین متغیرهای مؤثر

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

4- تعیین روش مناسب برای تعیین میزان صوت در آسفالت متخلخل و تعیین متغیرهای مؤثر

4-1- بررسی روش‌های تعیین میزان صوت و تجهیزات مورد نیاز

در زمانه کنونی ناهنجاری‌ها و آلاینده‌های صوتی بطور گسترده مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند. منظور از ناهنجاری‌های صوتی، صداهای غیرعادی و آزاردهنده که بر روی روند زندگی عادی افراد تاثیرگذارند، می‌باشد و هر صوتی را شامل نمی‌شوند.

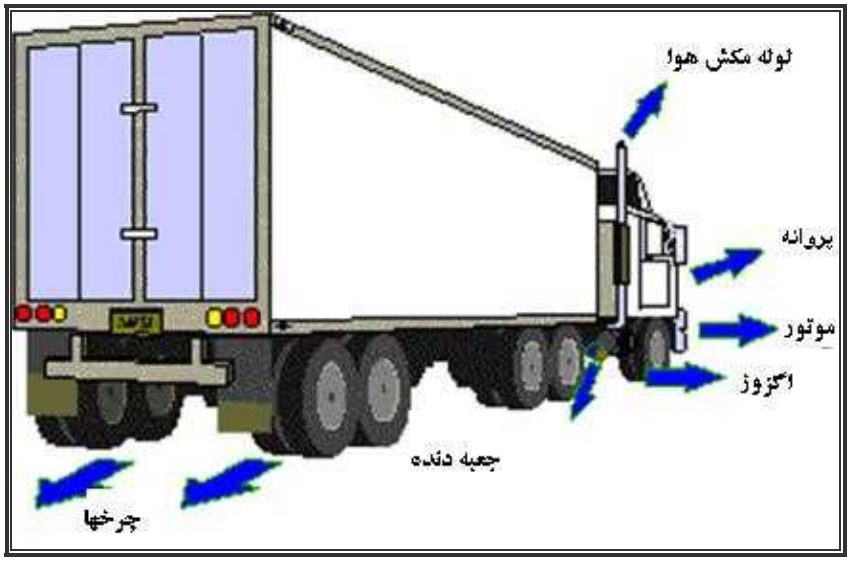
ناهنجاری‌های صوتی ناشی از ترافیک به اصواتی گفته می‌شوند که منبع تولید آنها وسایل نقلیه موتوری سبک و سنگین استفاده کننده از راهها می‌باشند. لذا ناهنجاری‌های صوتی ناشی از ترافیک به‌عنوان آلاینده‌های محیطی شناخته می‌شوند. در سرتاسر جهان صدای ایجاد شده توسط سیستم‌های حمل و نقلی بیشترین نقش را در آلودگیهای صوتی دارد که در این میان آلودگی صوتی بزرگراه‌ها نقش برجسته‌ای دارد و لذا محققان بدنبال راه‌حل‌های کاهش صدای تولید شده بوده‌اند. یکی از اقدامات صورت گرفته نصب موانع صدا می‌باشد، اما موانع صدا معمولاً بدترکیب، خطرناک و بسیار گران هستند و به‌همین دلیل سمت و سوی تحقیقات به طرف اصلاح نوع روسازی و یا بافت آن کشیده شد.

یکی از مزایای آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت معمولی اثر کاهش صدامی‌باشد که مقدار آن به‌طور متوسط در حدود 3 دسی‌بل (dB)می‌باشد. میزان صدا در راههای با روکش بتنی بین 5 تا 7 دسی‌بل بیشتر از راههای با آسفالت معمولی است.

هنگامی که منازل مسکونی یا مجموعه‌ای تفریحی در اطراف راه قرار دارند، خصوصیت تقلیل صدای آسفالت متخلخل از اهمیت بیشتری برخوردار می‌گردد. در کشورهای هلند و بلژیک این خصوصیت (کاهش صدا) عامل محرک بسیار مهمی در استفاده از آسفالت متخلخل در سالهای اخیر بوه است و همین امر موجب کاهش استفاده از بتن علیرغم نقاط قوت زیاد بخصوص مسئله نگهداری و طول عمر گردیده است [1].

کاهش صدا شامل دو جزء می‌شود. یکی کاهش صدای ناشی از غلطش چرخها (تماس چرخ با سطح راه) و دیگر تا حدودی کاهش صداهای انتشار یافته از اتومبیل (ناشی از قوای محرکه خودرو) که بطرف پایین منتشر می‌شود می‌باشد. شکل های 4-1 و4-2، منابع تولید صدا در وسایل نقلیه سنگین و سبک را نمایش می‌دهند.

omoorepeyman.ir



شکل4-1- منابع تولید صدا در کامیون‌ها[2]

صدای منتشر شده از وسیله نقلیه بطور عمده متشکل از صوت حاصل از تماس چرخ و راه و صوت تولید شده از قوای محرکه اتومبیل[1] است. صوت قوای محرکه اتومبیل شامل صدای موتور و تمام متعلقات آن، سیستم خروج گاز (اگزوز) و دستگاه انتقال قدرت می‌باشد.

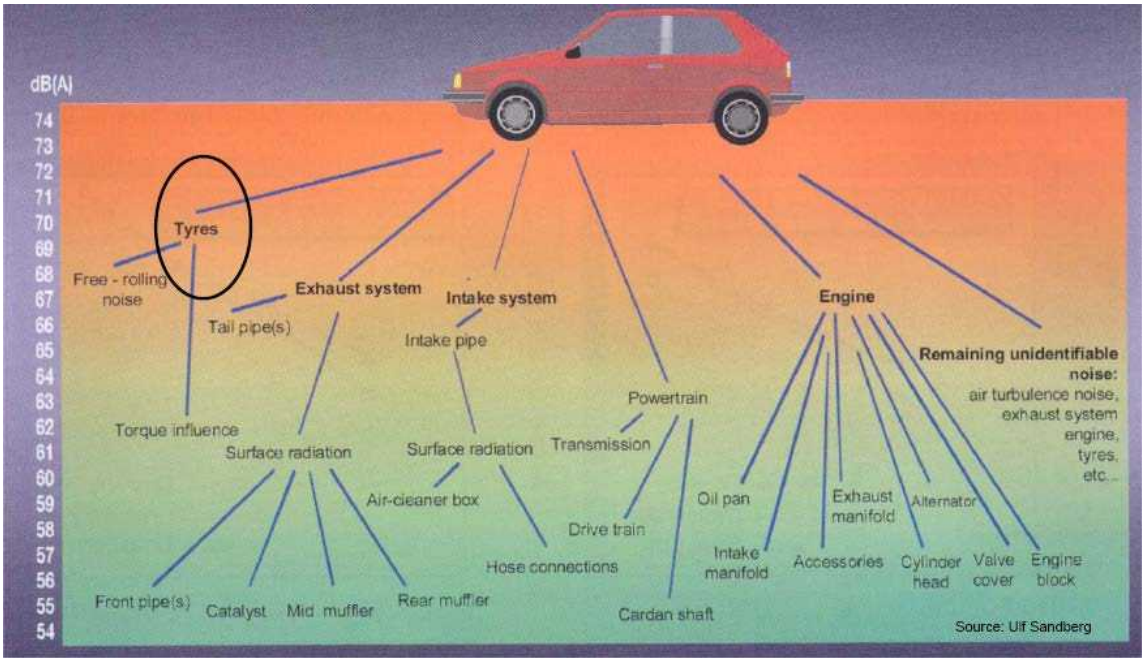
صدای حاصل از تماس چرخ و راه بخش مهمی از صدای تولید شده خودروها در سرعت‌های بیشتر از 50 کیلومتر بر ساعت برای وسایل نقلیه سبک و بیشتر از 70 کیلومتر بر ساعت برای کامیونها می باشد.

هر دو مجموعه صوت چرخ / راه و قوای محرکه ارتباط تنگاتنگی با سرعت وسیله نقلیه دارند. صدای حاصل از تماس چرخ و سطح راه با مقیاس لگاریتمی نمودار سرعت وسیله نقلیه ارتباط دارد و این گونه است که در یک مقیاس سرعت لگاریتمی، با افزایش سرعت، میزان صوت بصورت خطی افزایش می یابد. صوت تولید شده از قوای محرکه خودرو به تعداد فاکتورهای عملکردی وسیله نقلیه، بخصوص انتخاب دنده و دور موتور بستگی دارد که ارتباط آن با سرعت خودرو پیچیده‌تر از آنچه که در مورد تماس چرخ با سطح راه مطرح است، می‌باشد. در سرعت های بالا منحنی آن تقریباً از همان منحنی تماس چرخ با سطح راه پیروی می‌کند ولی در سرعت‌های پایین از این قاعده پیروی نمی‌کند. برای ساده-سازی بیشتر می‌توان این‌طور این مسأله را مطرح کرد که در سرعت‌های پایین صوت تولیدشده از قوای محرکه اتومبیل

1- Powering of the vehicle

omoorepeyman.ir

غالب است و در سرعت‌های بالا صوت حاصل از تماس چرخ و سطح راه غالب است و سرعت متقاطعی[1] نیز وجود دارد که در آن سهم هر یک از دو صوت به یک اندازه است.



شکل4-2- منابع تولید صدا و میزان آنها در اتومبیل ها[2]

هنگامی که در اوائل دهۀ 70 میلادی مسأله صوت حاصل از تماس چرخ و سطح راه بعنوان مشکل شناخته شد، سرعت متقاطع بین 50 تا 70 کیلومتر بر ساعت برای وسیله نقلیه سبک و بین 70 تا 90 کیلومتر بر ساعت برای کامیون ها در نظر گرفته شد. با مروری بر یافته‌های دهه‌های 80 و 90 متوجه می‌شویم که سرعت متقاطع برای وضعیت سرعت ثابت حرکت، 40 تا 50 کیلومتر برای وسایل نقلیه سبک و 60 تا 70 کیلومتر برای وسایل نقلیه سنگین لحاظ می‌شد که همه این مسائل دلالت بر این دارند که صوت حاصل از تماس چرخ و سطح راه در بزرگراه‌ها غالب‌است و صوت تولیدشده از قوای محرکه خودروها در مناطق شهری غالب می‌باشد.

اما مطلبی که امروزه مشخص شده‌است این است که سرعت متقاطع عددی کمتر از آنچه در گذشته تصور می‌شده می‌باشد. شکل (4-3) یک مثال متداول از صدای حاصله از یک خودروی جدید و مدرن را در سرعت‌های مختلف (اما ثابت) نمایش می‌دهد. می‌دانیم که چنانچه مکانی دارای دو منبع صدای متفاوت که بطور یکسان قوی هستند باشد، تراز

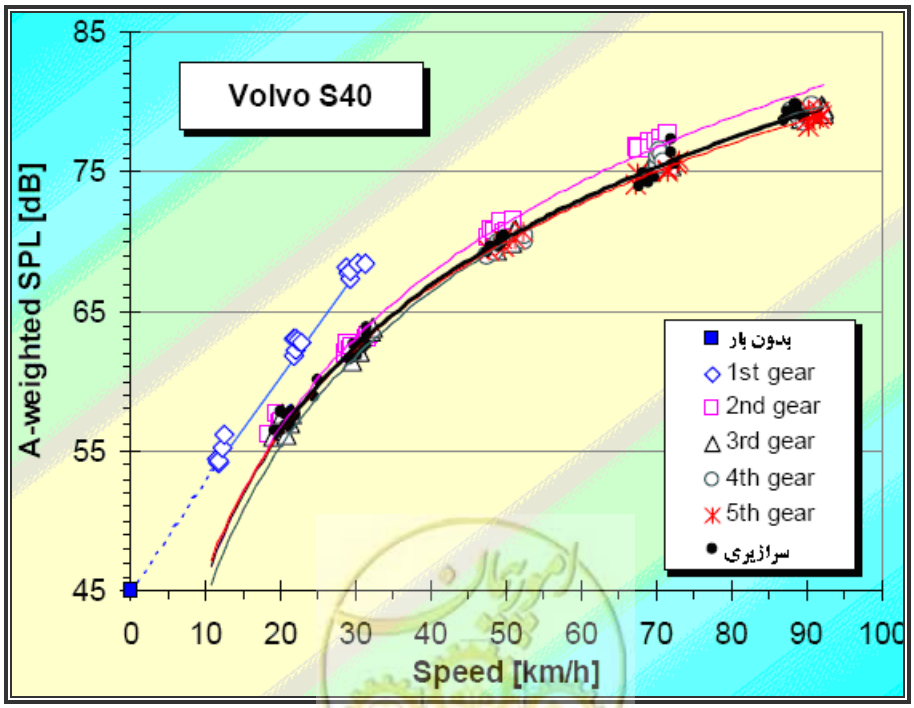
1 - Crossover Speed

omoorepeyman.ir

صوت مجموع، 3 دسی بل (dB) بیشتر از تراز صوت در وضعیت با یک منبع تولید صوت است و لذا می‌توان گفت تراز صوت حاصل از قوای محرکه خودرو معادل تراز صوت حاصل از تماس چرخ و سطح راه است هنگامی که منحنی مجموع (برآیند) به اندازه 3 دسی‌بل از صوت حاصل از تماس چرخ و سطح راه بیشتر باشد. اگر این مقدار کمتر از 3 دسی بل (dB) باشد، صوت حاصل از تماس چرخ و سطح راه غالب خواهد بود. از شکل 2 مشخص می شود که صوت حاصل از تماس چرخ سطح راه در تمامی سرعت‌ها و دنده‌ها بجز وضعیت دندهٔ 1، از صوت حاصل از قوای محرکهٔ خودرو بیشتر خواهد بود. در عمل، این بدین معنی است که در سرعت ثابت رانندگی همواره صوت حاصل از تماس چرخ و سطح راه غالب است.

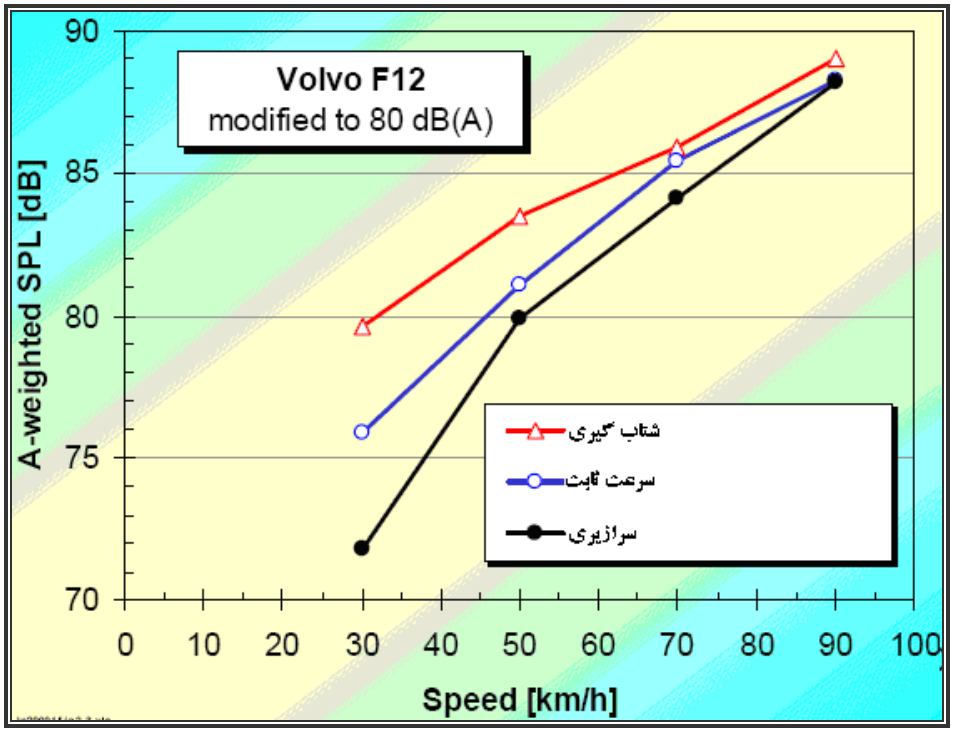
شکل 4-3، برآیند صوت تولیدشده در سرعت‌های ثابت برای خودروی سواری مدل s40، در دنده‌های مختلف را نمایش می‌دهد. این نمودارها حاصل جمع صوت چرخ/سطح جاده و قوای محرکه خودرو هستند. ترازهای صوت در حالت سرازیری (فقط برای صوت حاصل از تماس چرخ و سطح راه) نیز همچنین مشخص شده‌اند.

شکل 4-4، برآیند صوت تولیدشده در سرعت‌های ثابت و حالت شتاب‌گیری برای کامیون سبک ولوو مدل F12 را نمایش می‌دهد. همچنین ترازهای صوت برای حالت سرازیری (فقط برای صوت حاصل از تماس چرخ و سطح راه) نشان داده شده است[3].



شکل 4-3- برآیند صوت تولیدشده در سرعت‌های ثابت برای خودروی سواری مدل s40، در دنده‌های مختلف[3].

omoorepeyman.ir



شکل 4-4- برآیند صوت تولیدشده در سرعت‌های ثابت و حالت شتاب‌گیری برای کامیون سبک ولوو مدل F12 [3].

هنگامی که وسایل نقلیه در حال شتاب‌گیری می‌باشند هر دو صدای تولیدشده از تماس چرخ و سطح راه و نیز حاصل از قوای محرکه خودرو بعلت گشتاور اضافی ایجاد شده در چرخ‌ها و بارگذاری اضافی موتور افزایش می‌یابند. طبیعتاً این افزایش برای صوت حاصل از قوای محرکه خودرو بیشتر است. این بدین معنی است که این مسأله حتی در دنده 2 نیز صادق می‌باشد (اما به ندرت در دنده‌های بالاتر رخ می‌دهد).

اما در مورد وسایل نقلیه سنگین چطور؟

براساس مطالعات صورت گرفته در مورد این نوع وسایل نقلیه، صوت حاصل از تماس چرخ و سطح راه در سرعت های بالاتر از 50 کیلومتر بر ساعت غالب است (حتی در حالت شتاب گیری).

برای وسایل نقلیه با اندازه متوسط وضعیت در حالتی بین حالتهای ذکر شده قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه اکثر وسایل نقلیه امروزی برای تولید صوت به اندازه 1 تا 2 دسی‌بل (dB) کمتر از حد قانونی طراحی می‌شوند، پراکندگی زیادی بین آنها وجود ندارد[3].

در ادامه به شرح روش‌های اندازه‌گیری میزان صوت می‌پردازیم.

omoorepeyman.ir

4-1-1-اندازه‌گیری میزان صوت ترافیک برای ارزیابی روسازی‌ها

دو روش کلی برای اندازه‌گیری صوت بوجود آمده از ترافیک وجود دارد که عبارتند از :

1- اندازه‌گیری بروش کنار مسیر[1]

تأثیر انواع روسازی‌ها را بر مجموع اصوات ترافیکی اندازه‌گیری می‌کند.

2- اندازه‌گیری بروش منشأ[2]

تأثیر انواع روسازی‌هارا بر صوت ناشی از تماس چرخ و سطح در همان محل تماس اندازه‌گیری می‌کند.

4-1-1-1- اندازه‌گیری کنار مسیر

دو روش برای انجام این نوع مطالعه وجود دارد. هر دوی این روشها شامل جایگذاری میکروفن‌ها در یک فاصله مشخص از مسیر عبور وسایل نقلیه درکنار راه می‌باشند. این موضوع که از چه روشی استفاده شود، به میزان جریان ترافیک اندازه‌گیری‌شده بستگی دارد.

تجهیزات مورد نیاز برای روش‌های اندازه‌گیری صوت در کنار مسیر عبارتند از:

1- سیستم‌های اندازه‌گیری صوت مانند اندازه‌گیر میزان صوت[3] و نصب آنها در کناره مسیر

دو روش نامبرده‌شده عبارتند از:

- روش اول که روش عبوری آماری[4] است و نیازمند شمارش وسایل نقلیه سبک به‌طور مجزا در یک جریان ترافیکی است، مورد استفاده در مسیرهای با نرخ جریان ترافیکی کم می‌باشد.

1- Wayside Measurement
2- Source Measurement
3- Sound Level Meter (SLM)
4- Statistical by-pass method

omoorepeyman.ir

- روش دوم که میانگین زمانی[1] نام دارد، برای جریان‌های ترافیک بیشتر و مسیرهایی کـه در آنهـا همزمـان دو خـط مورد بررسی قرار می‌گیرند مناسب‌تر است. شکل 4-5 یک مجموعه متداول برای هر دو روش در انـدازه‌گیـری‌هـای کنـار مسیر را نمایش می‌دهد[4].

اندازه‌گیری‌های روش میانگین زمانی برای جریانهای ترافیکی بصورت متداول و بر مبنای آنچه که در اسناد FHWA با عنوان اندازه‌گیری صداهای مرتبط با راهها[2] تعریف شده‌است، صورت می‌پذیرد. این روش موقعیت قرارگیری میکروفن را با حداقل یک وضعیت مرجع در بازه فاصلهٔ حدود 30 متری از خط وسط نزدیکترین مسیری که وسیله نقلیه از آن می‌گذرد تعریف می‌کند. نتایج به صورت متداول در سطح صدای معادل (Leq) گزارش می‌شود که میانگین انرژی در یک بازهٔ زمانی 5 تا 30 دقیقه که بسته به درجه نوسان سطح صوت متغیر است، می‌باشد. برای مقایسه وضعیت‌ها، بین دو موقعیت از دو نوع روسازی ضروری است که سرعت میانگین وسایل نقلیه و حجم ترافیک بر حسب نوع وسیله نقلیه بمنظور بازنگری شرایط محیطی مشخص شوند. مقایسه بین دو سایت یا دو نوع مختلف روسازی نیازمند استفاده از یک مدل صوت ترافیکی[3] نظیر مدل صوت ترافیکی FHWATNM بمنظور تعیین فاکتورهای تصحیح جهت اعمال برای تغییرات حجم ترافیک و سرعت میانگین می‌باشد. برای مقایسه بین دو سایت، محدودیت‌های اندازه‌گیری مربوط به هندسه مسیر باید برای انتخاب سایت اعمال شود.

1- Time – averaged method

2- Measurement of Highway-Related Noise

3- Traffic Noise Model(TNM)

omoorepeyman.ir

شکل 4-5- اندازه‌گیری‌های کنار مسیر[4]

روش عبوری آماری به این صورت است که میکروفن در فاصله خاصی از کنار راه و ارتفاع خاص بالای راه قرار گیرد. در اروپا استاندارد این مقدار 7/6 متر از خط وسط نزدیکترین مسیری است که وسیله نقلیه از آن می‌گذرد و برای ارتفاع از سطح روسازی این مقدار 1/2 متر است. در آمریکا براساس استاندارد اداره بزرگراه فدرال[1] فاصلهٔ افقی 15 متر و ارتفاع 1/5 متر تعریف شده است.

هر دو روش کار، برای اندازه‌گیری خصوصیات صوتی تعداد مشخصی وسایل نقلیه کارآیی دارند. در اروپا تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز 180 دستگاه (100 دستگاه برای اتومبیل‌ها و 80 دستگاه برای وسایل با محور دوتایی یا چند محور) می‌باشند. استاندارد FHWA تعداد خاص و مشخصی را برای وسایل نقلیه مورد نیاز ذکر نمی‌کند بلکه عنوان می‌کند که تعداد نمونه‌های مورد آزمایش دلخواه است و بسته به میزان بودجهٔ در دسترس متغیر می‌باشد. اما روش کار، راهکارهایی را ارایه می‌دهد. برای مثال اگر سرعت ترافیک 50 تا 60 مایل بر ساعت باشد سطح زمین در محوطه اندازه‌گیری باید دارای زمین سخت از لحاظ آکوستیکی باشد و سایت باید از محل‌های تولید صدای غیر از ترافیک دور باشد و نیز در

1- Federal Highway Administration

omoorepeyman.ir

منطقه‌ای باشد که سرعت وسایل نقلیه ثابت باشد. سطح مسیر مورد آزمایش باید صاف و مسطح باشد. در مجموع روش آماری برای راه‌های با ترافیک زیاد قابل استفاده نیست.

در صورت استفاده از روش آماری یک تراز صدای دارای مرتبه حداکثر برای هر وسیله نقلیه ثبت می‌شود. ترازهای صوتی همه وسایل نقلیه در یک طبقه جمع‌آوری می‌شوند و نمودار صوت در مقابل سرعت رسم می‌شود. یک خط رگرسیون براساس داده‌های موجود رسم می‌شود که از آن جهت مقایسه نتایج صوتی سایت‌ها یا روسازی‌های مختلف در همان سرعت استفاده می‌شود. در هر سرعت، بازه تراز صوت برای وسایل نقلیه شخصی بین 8 تا 10 دسی بل است. بدلیل اینکه هر دو روش آماری و میانگین زمانی نمایانگر وضعیت در جامعه آماری نمی‌باشند لذا برخی روشهای ترکیب سطوح باید بمنظور تعیین تاثیر نوع روسازی بر روی صدای ترافیک در جامعه آماری بکار گرفته شوند. طبق روشهای استاندارد، این مساله با محاسبه شاخص کناری آماری[1] انجام می‌شود که برای وسایل نقلیه متداول و ترکیبهای ترافیکی در اروپا توسعه یافته است.

در مجموع روشهای اندازه‌گیری صدای ترافیک کنار جاده‌ای برای ارزیابی عملکرد روسازی دارای سختیهای زیادی چه از لحاظ زمان، چه از لحاظ سختی انجام کار می‌باشند. همچنین محدودیت‌های انتخاب محل سایت اندازه‌گیری نیز نباید فراموش شود. همچنین این تجهیزات صدای حاصل از تماس چرخ و روسازی[2] را اندازه‌گیری نمی‌کنند، بلکه تاثیر روسازی بر روی صوت کلی تولید شده از وسیله نقلیه را لحاظ می‌کنند[4].

4-1-1-2- اندازه‌گیری منشأ (صدای حاصل از تماس چرخ و روسازی)

تجهیزات مورد نیاز برای روش‌های اندازه‌گیری صوت در مجاورت چرخ وسایل نقلیه عبارتند از:

1- میکروفن‌هایی که در نزدیکی چرخ وسیله نقلیه نصب می‌شوند.

2- تریلر صوت که برای اندازه‌گیری صوت حاصل از تماس چرخ و سطح راه برای انواع محدودی از چرخها با وزن یکسان بکار می‌روند (روش CPX).

omoorepeyman.ir

1- Statistical by-pass Index (SBPI)
2- Tire/pavement noise

3- محفظه آکوستیک صوت برای تمرکز بیشتر جهت اندازه‌گیری صوت حاصل از تماس چرخ و سطح راه (روش CPX).

4- مجموعه تعیین شدت صوت که در کنار چرخ وسیله نقلیه نصب می‌شود (روش CPI).

برای اندازه‌گیری مستقیم تاثیر روسازی بر روی تولید صدای حاصل از تماس چرخ و روسازی هر دو روش اندازه‌گیری کنار جاده‌ای و اندازه‌گیری منشأ[1] می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. لذا آزمایش کنار جاده‌ای روش عبوری وسیله نقلیه کنترل شده[2] است. اگرچه استاندارد مشخصی برای این آزمایش وجود ندارد اما این آزمایش از قواعد پایه‌ای روش عبوری آماری تبعیت می‌کند. در این آزمایش وسیله نقلیه تحت شرایط عملکردی و سرعت عملکردی خاصی عمل می‌کند. یک نمونه از این نوع آزمایش، مطالعه‌ای است که توسط دانشگاه مارکوات[3] برای اداره حمل و نقل ویسکنسین[4] صورت گرفت. در این مطالعه از یک خودروی فورد مدل 1996، استفاده شد که در 3 سرعت 96، 104 و 112 کیلومتر بر ساعت در خط سمت راست حرکت می‌کرد. با استقرار دو میکروفن در ارتفاع 1/2 متری از سطح روسازی و فاصله 7/5 متری از وسط مسیر عبور وسیله نقلیه کار شروع شد. فاصله بین دو میکروفن 60 متر بود. سه دفعه انجام آزمایش بمنظور جمع-آوری داده‌های کافی در هر سرعت انجام شد. روشهای مشابه اندازه‌گیری نیز در آریزونا که در آنها فاصله میکروفونها تا مرکز خط عبور وسایل نقلیه 7/5 و 15 متر بود نیز صورت گرفت[4].

بمنظور اندازه‌گیری صوت حاصله از تماس چرخ با روسازی بروش منشأ دو روش مختلف وجود دارند که هر دو در فاصله بسیار نزدیک به چرخ وسیله نقلیه عمل می‌کنند.

این دو روش عبارتند از :

1- روش CPX[5]

2- روش CPI [6]

1- Source Measurement
2-Controlled vehicle pass-by method
3- Marquette University
4- Wisconsin DOT
1- Close Proximity Method
2- Close Proximity Sound Intensity

omoorepeyman.ir

در این روشها میکروفن‌های اندازه‌گیری با چرخ حرکت می‌کنند. در نتیجه اندازه‌گیری بصورت پیوسته یا دارای وضعیت پایدار است و این برخلاف روشهای عبوری با وسیله نقلیه گذرا است. این روشها از استاندارد ISO 11819-2 تبعیت می‌کنند که شامل روشهای CPX یا روش شدت صوت[1] که اخیراً توسعه یافته است و توسط اداره حمل و نقل کالیفرنیا انجام می‌پذیرد، و CPI می‌باشند.

روش CPX:

روش CPX شامل اندازه‌گیری ترازهای صوت نزدیک سطح تماس چرخ و روسازی بر روی چرخ یک تریلر یدک یا وسیله نقلیه اصلاح شده است. استفاده از روش آزمایش CPX در اروپا بسیار گسترده است. شکل 4-6 نمونه‌ای از موارد استفاده از این روش را نشان می‌دهد. نیازمندی‌های لازم برای انجام آزمایش CPX و تریلر آن در استاندارد ISO 1189-2 آمده است. این روش شامل جایگذاری میکروفن‌ها در نزدیکی محل تماس چرخ و روسازی بمنظور اندازه‌گیری مستقیم صوت حاصله از تماس چرخ و روسازی می‌باشد. در سال 2002، موسسه NCAT دو تریلر CPX ساخت که یکی از آنها متعلق به اداره حمل و نقل آریزونا و دیگری برای استفاده خود موسسه NCAT بودند[4].

3- Sound intensity method

omoorepeyman.ir

شکل 4-6 تریلر صوت CPX [4]

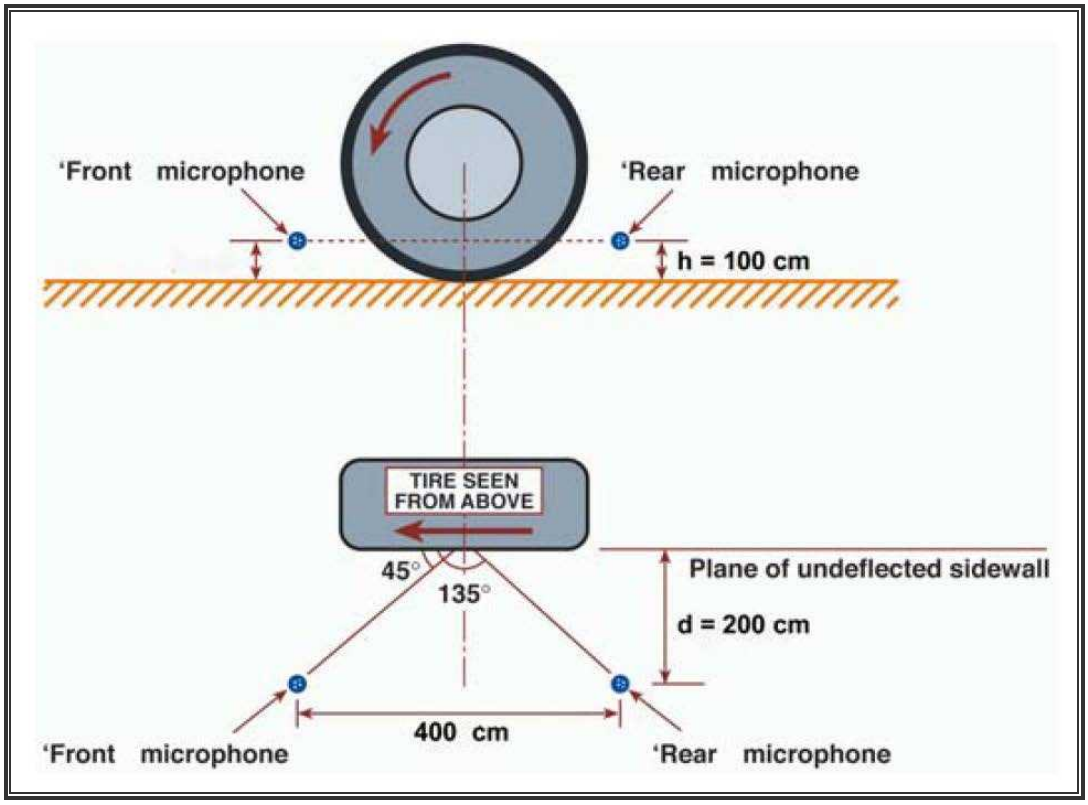
نمایی از تریلر NCAT در شکل4-7 قابل مشاهده است.

شکل4-7- تریلر صوت NCAT [4]

استاندارد ISO برای اندازه‌گیری فشار صوت[1] کاربرد دارند. میکروفن‌ها به فاصله 200 سانتی‌متر از وسط چرخ و 100 سانتی‌متر بالای سطح روسازی نصب می‌شوند (شکل4-8). میکروفن‌ها در محفظه‌ای آکوستیک بمنظور عایق کردن صدای عبور ترافیک قرار می‌گیرند. محفظه آکوستیک مورد نیاز است زیرا میکروفن‌های فشاری صوت، اصوات را از هر جهت اندازه‌گیری می‌کنند و بنابراین باید صدای تولید شده از دیگر عوامل ترافیکی ایزوله شوند و تنها واکنش‌های صوتی سطوح، مدنظر قرار گیرند.

1- Sound pressure

omoorepeyman.ir



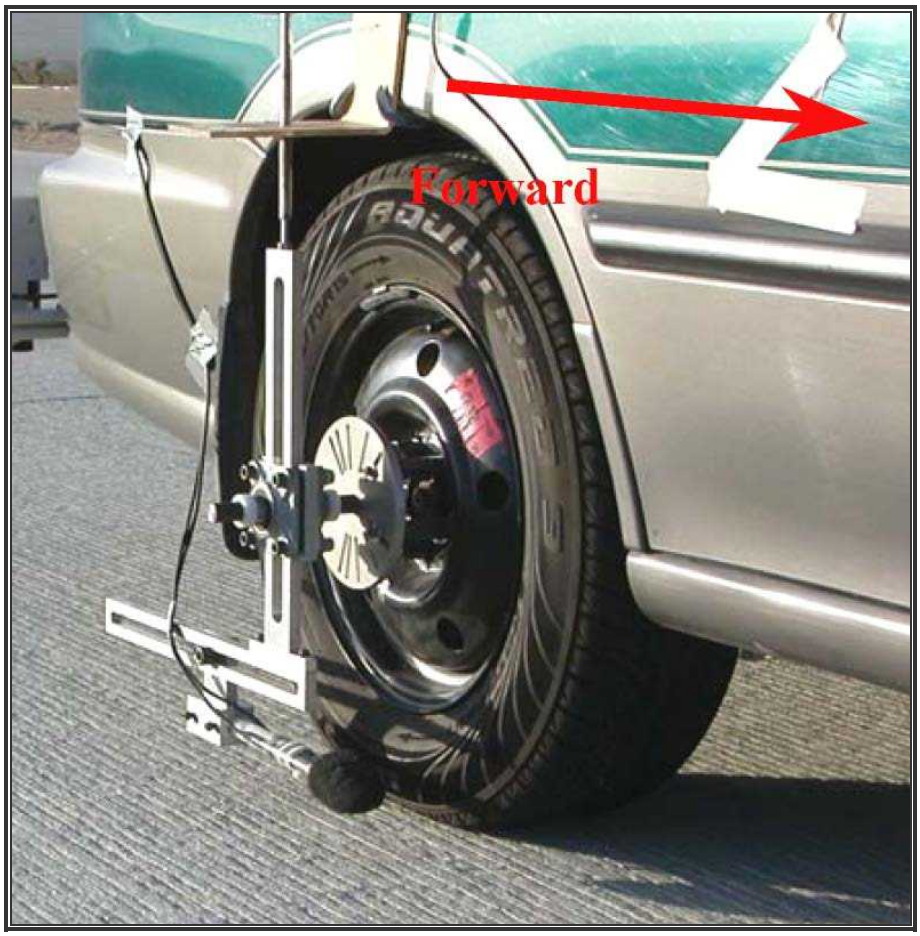
شکل 4-8- نمایش محل قرارگیری میکروفن بر روی تریلر CPX در موسسه NCAT [4]

روش CPI:

روش دوم اندازه‌گیری ترازهای صوت تولید شده از تماس چرخ و روسازی توسط شرکت ژنرال موتورز[1] توسعه یافت. این روش از دو میکروفن نزدیک بهم که در کنار چرخ معلق می‌باشند برای اندازه‌گیری شدت صوت استفاده می‌کند. شدت صوت محصول سرعت صوت و فشار صوت و وابسته به میزان جریان انرژی در واحد سطح می‌باشد. بنابراین شدت صوت یک کمیت برداری است. هنگامی که حالت تجمعی شدت صوت در یک سطح محاسبه شود، توان صوت[2] حاصل می‌شود. در این روش یک میله شدت‌سنج صوت بر روی یک خودروی استاندارد نصب می‌شود و بمنظور اندازه‌گیری ترازهای صوت حاصل از تماس چرخ و روسازی بکار می‌رود. شکل4-9 حالت نصب و مکان میکروفن‌ها را بر روی وسیله نقلیه جهت اندازه‌گیری شدت صوت نشان می‌دهد.

1- General Motors
2- Sound Power

omoorepeyman.ir



شکل4-9-جانمایی میکروفن‌های اندازه‌گیری شدت صوت بر روی وسیله نقلیه[4]

اگرچه اندازه‌گیری‌های نزدیک میدانی[1] نشان دادند که دارای همبستگی خوبی با روش وسیله نقلیه متحرک کنترل-شده می‌باشند اما باید مشخص شود که این دو روش تنها مولفه صوت حاصل از تماس چرخ با روسازی را از میان دیگر صداهای ترافیکی محاسبه می‌کنند. برای تشخیص اثر تغییرات روسازی بر روی صدای ترافیکی، روشهای کنار مسیر مورد نیازند که شامل هر دو بحث توان صوت و صدای ناشی از تماس چرخ و روسازی می‌شوند. اما برای ارزیابی صدای حاصل از تماس چرخ و روسازی به تنهایی، روش‌های نزدیک میدانی محاسن ذیل را به‌دنبال دارند:

1- توانایی تعیین خصوصیات صوتی سطح راه تقریباً در هر سایت دلخواهی.

2- قابلیت استفاده برای کنترل وضعیت نگهداری از جمله خرابی سطح و ...

3- قابلیت جابجایی و حمل نقل آسانتر و نیز قابلیت نصب راحت‌تر.

1- Near field measurements

omoorepeyman.ir

4- قابلیت انجام آزمایش در هر سرعت دلخواهی از 48 تا 112 کیلومتر بر ساعت.

دو نوع همبستگی بین اندازه‌گیری‌های نزدیک میدانی در آمریکا مورد بررسی قرار گرفتند. اولی مقایسه دو تریلر اندازه‌گیری صوت CPX می‌باشد که توسط موسسه NCAT ساخته شده بود. ارزیابی قابلیت تکرارپذیری دو دستگاه برای اینکه مشخص شود که آیا نتایج یکسان توسط دو تریلر بدست می‌آیند مدنظر بودند. مطالعه‌ای در ژانویه سال 2004 به اتمام رسید که در آن دو تریلر برای آزمایش 5 مقطع روسازی در منطقه فونیکس بکار گرفته شدند که در آن سه چرخ مورد استفاده قرار گرفتند. اختلاف متوسط بین تریلر NCAT و تریلر ADOT در حدود 1/3dB بود. از 12 مورد مقایسه، تریلر NCAT در 10 مورد دارای تراز صوت بالاتری بود. ضریب تصحیحی براساس تحقیقات صورت گرفته باید به نتایج اعمال شود که مقدار آن تقریباً 1dB می‌باشد.

دومین مقایسه شامل مقایسه CPX و اندازه‌گیری‌های شدت صوت بود که بر روی چرخ با طرح یکسان صورت گرفت. براساس نتایج حاصله، نتایج اندازه‌گیری‌های شدت صوت تقریباً 3dB بزرگتر از نتایج CPX بودند[4].

4-2- تعیین متغیرهای موثر بر میزان صوت در آسفالت متخلخل

4-2-1- معرفی

در جوامع امروزی اختلالات صوتی[1] به عنوان یک مسئله جدی مطرح می‌باشد. منظور از اختلالات صوتی، صداهای غیر عادی و آزاردهنده می باشد و هر صوتی را شامل نمی‌شود. اختلالات صوتی ناشی از ترافیک، به صداهایی گفته می-شود که بر کیفیت زندگی افراد در کنار جاده ها تاثیر گذار می‌باشد. بنابراین اختلالات صوتی ناشی از ترافیک به عنوان آلاینده های محیطی شناخته می‌شوند. تحقیقات در اروپا و آمریکا نشان می‌دهد که می‌توان روسازی راه ها را بگونه ای ساخت که سطح اختلالات صوتی کاهش یابد و به این ترتیب با کاهش تعداد و یا ارتفاع خاکریزها و موانع صوتی که در طول راه ها ساخته می‌شود میلیون ها دلار صرفه جویی نمود.

در سرتاسر جهان صدای ایجاد شده توسط سیستم‌های حمل و نقلی، بیشترین نقش را در آلودگیهای صوتی دارند که در این میان آلودگی صوتی بزرگراه‌ها نقش برجسته‌ای دارد. صدای موتور، اگزوز، آیرودینامیک ماشین‌ها و صدای بین تایر

1 - Noise

omoorepeyman.ir

و روسازی همگی در ایجاد آلودگی‌های صوتی ترافیک سهم دارند. تحقیقات نشان داده است که اصلاح نوع سطح روسازی و یا بافت آن می‌تواند نقش زیاد در کاهش صداهای ایجاد شده بین تایر و روسازی داشته باشد.

سازمانهای اداره کننده بزرگراه دریافته‌اند که با ایمنی کافی و هزینه معقول با یکی از روشهای زیر می‌توان روسازیهایی را ساخت که سبب کاهش اختلالات صوتی ناشی از ترافیک گردد[5].

1- یک سطح با بافت سطحی صاف با استفاده از ماکزیمم اندازه مصالح سنگی کوچک
2- رویه متخلخل مانند آسفالت متخلخل با حجم فضای خالی بالا
3- ایجاد یک سطح پوششی روسازی با سفتی چسبندگی پایین میان سطح روسازی و تایر.

در این بخش برای تعیین متغیرهای موثر بر میزان صوت در آسفالت متخلخل ابتدا به ماهیت صدای تولید شده بین وسیله نقلیه و سطح روسازی توجه شده و سپس به نحوه تغییرات میزان صوت با تغییر پارامترهای آسفالت متخلخل در دو حالت تک لایه‌ای و دو لایه‌ای پرداخته شده است

4-2-2- طبیعت صدای بین روسازی – تایر

اختلالات صوتی تحت عنوان " صدای ناخواسته[1] " تعبیر می‌گردد. مردم مختلف، ادراک و حس متفاوتی از صدای خوشایند و صدای ناخوشایند دارند. فریاد جمعیت هنگام تماشای فوتبال و یا صدای خنده بچه‌ها عمدتاً صدای خوشایند به حساب می‌آیند. در حالیکه برای مثال صدای یک ماشین چمن زنی یا یک کامیون حمل زباله صدای ناخوشایند محسوب می‌شوند. اختلالات صوتی مانند سایر صداها شکلی از انرژی اکوستیک محسوب می‌شوند. و فرق آن با صدای خوشایند فقط در آن است که مانند یک مهمان ناخواسته باعث پریشانی ما می‌شوند. لازمه فهم اختلالات صوتی آن است که ماهیت فیزیکی صدا شناخته شود و بدانیم که انسان ها چطور می‌شنوند.

صدا نوسان موجی شکل هوا می باشد. همراه با این حرکت فشار صدا یا اکوستیک وجود دارد که در واحد دسی بل اندازه گیری می گردد. دسی بل، بزرگی صدا را با نحوه شنیدن انسان ترکیب می کند. بخاطر اینکه قوه شنیداری انسان دامنه وسیعی از صداها را پوشش می دهد امکان استفاده از یک مقیاس خطی وجود ندارد. اگر از یک مقیاس خطی برای

1- Unwanted Sound

omoorepeyman.ir

اندازه گیری صداها استفاده شود (با فرض مقیاس 0 تا 1)، همه صداهایی که انسان روزانه آنها را می شنود بین صفر تا 0/01 قرار می گیرد. بنابراین با استفاده از مقیاس خطی، تفکیک و سطح بندی صداهایی که انسان می شنود بسیار دشوار است.

بجای استفاده از یک مقیاس خطی، از یک مقیاس لگاریتمی برای نمایش سطح صداها استفاده می‌شود که در واحد دسی بل (dB) بیان می‌شود. مقدار دسی بل (dB) برای یک صدا به مقدار وزنی آن صدا بر می‌گردد. چون گوش انسان قادر به شنیدن صدا در فرکانسهای مختلف می‌باشد لذا، منحنی که مقدار وزنی یک صدا را توصیف می کند براساس پاسخ دریافتی گوش انسان نسبت به آن صدا می‌باشد. گوش یک مکانیسم فیلترینگ صدای مخصوص به خودش را دارد برای مثال یک صدای 85 دسی بل حاصل از یک منبع به اندازه 82 دسی بل در گوش انسان شنیده می‌شود. در کل مقیاس مناسب برای دسته بندی صدا از صفر دسی بل می تواند شروع شود (پایین ترین حد شنوایی انسان) به 140 دسی بل ختم گردد.(میزان صدایی که به گوش انسان آسیب جدی می‌رساند). جدول (4-1) نمونه هایی از صداهای مختلف و مقدار متناسب آنها بر حسب دسی بل را نشان می‌دهد[6].

جدول4-1-حدود اندازه صدای فعالیتهای مختلف بر حسب دسی‌بل[6]

سطح صدا (دسی بل)	فعالیت
95	ماشین تراش شیشه
90	فریاد بلند
85	فاصله 15 متری از موتور سیکلت
85	فاصله 90 سانتیمتری از مخلوط کن
80	فاصله 15 متری از ماشین با سرعت 60 مایل بر ساعت
60	گفتگوی عادی
40	اتاق نشیمن بدون سر و صدا و راحت

بر حسب قاعده عمومی یک انسان قادر به تشخیص تغییرات صدایی در حدود 3 دسی بل می‌باشد. تغییرات سطح صدا از یک محیط کاملاً آرام تا محیط خیلی شلوغ حدود 70 تا 80 دسی بل می‌باشد. سطح صدایی در یک مزرعه آرام 30 دسی بل می شود در حالیکه سطح صدایی در امتداد یک بزرگراه حدود 70 تا 80 دسی بل می باشد.

omoorepeyman.ir

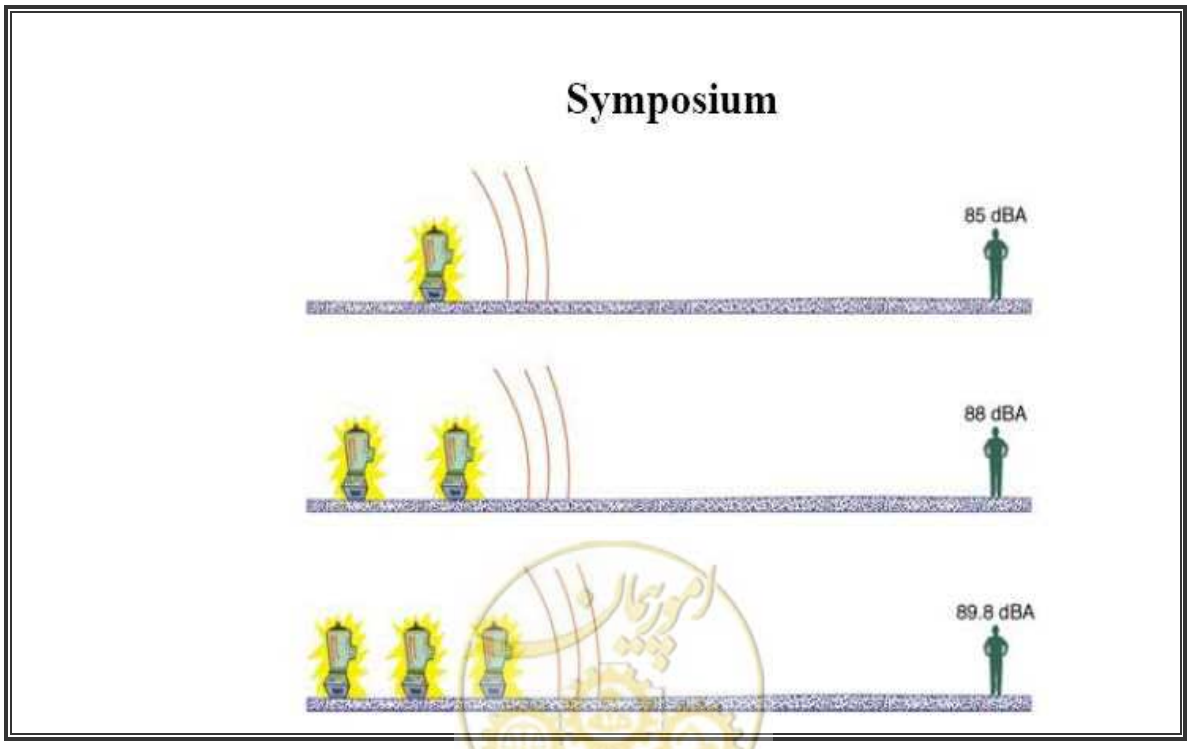
علاوه بر سطوح مختلف صدا، انسان قادر به شنیدن صداها در فرکانس های مختلف می‌باشند. یک شخص با سطح شنوایی مناسب قادر به شنیدن صداهایی بین 20 هرتز تا 20/000 هرتز می‌باشد. که البته برای یک فرد مسن تر تا 5000 هرتز نیز کاهش پیدا می کند و به همین دلیل است که انسانها صداهای یکسان را قدری متفاوت می شنوند.

لگاریتمی بودن مقیاس صدا باید در ترکیب صداهای مختلف مورد توجه قرار گیرد. فرمولی که از آن برای ترکیب صداهای چند منبع مختلف مورد استفاده قرار می گیرند عبارت است از:

$$dB\ (A)_t = 10 \times \log\left[10^{\frac{[dB(A)_1]}{10}} + 10^{\frac{[dB(A)_2]}{10}} + \ldots + 10^{\frac{[dB(A)_n]}{10}}\right]$$

که در آن: $dB\ (A)_t$، جمع کل صداهای مختلف و $dB\ (A)_n$ صدای nامین منبع می‌باشد.

شکل (4-10) اثر اضافه شدن تعداد منابع نقطه ای را بر سطح صدا نشان می دهد. اگر صدایی که از یک مخلوط کن در فاصله سه فوتی آن شنیده می شود 85 دسی بل باشد صدایی که از دو مخلوط کن شنیده می شود 88 دسی بل و صدایی که از سه مخلوط کن شنیده می شود 89/8 دسی بل خواهد بود. بنابراین با دو برابر کردن منبع نقطه ای صدا، گوش انسان تغییرات سه دسی بل را در سطح صدا می‌شنود. پس تغییرات سطح صدا با اضافه شدن منابع اضافی می تواند از فرمول بالا بدست آید[6].



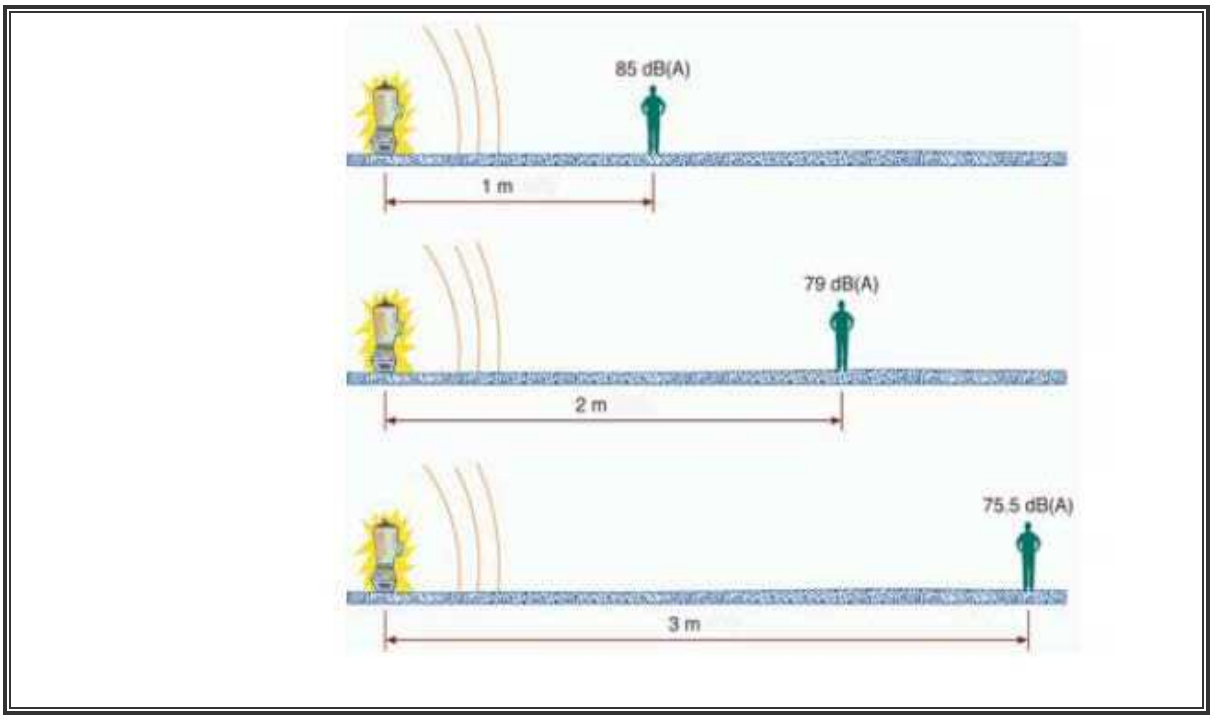
شکل4-10- اثر اضافه شدن منابع نقطه ای بر سطح صدا[6]

omoorepeyman.ir

در واقع مفاهیم بالا برای راه ها بدین معنی است که با دو برابر شدن تعداد وسایل نقلیه در جریان ترافیک سطح صدا 3 دسی بل افزایش پیدا می کند.

4-2-3-انتشار صدا از یک منبع

فاصله از یک منبع صوتی تاثیر بسیار مهمی در میزان سطح صدایی شنیداری از آن منبع دارد. وقتی فاصله از یک منبع افزایش پیدا می‌کند سطح صدا کاهش پیدا می‌نماید. بر اساس قانون عمومی اکوستیک سطح صدا با مربع فاصله از منبع نسبت عکس دارد. همانطور که در شکل (4-11) دیده می‌شود سطح صدا در فاصله 1 متری از مخلوط کن 85 دسی بل می‌باشد. اما در فاصله 2 متری سطح صدا 6 دسی بل کاهش پیدا کرده و به 79 دسی بل می رسد. وقتی فاصله به 3 متر افزایش پیدا می کند سطح صدا به 75/5 دسی بل کاهش پیدا می کند[4].



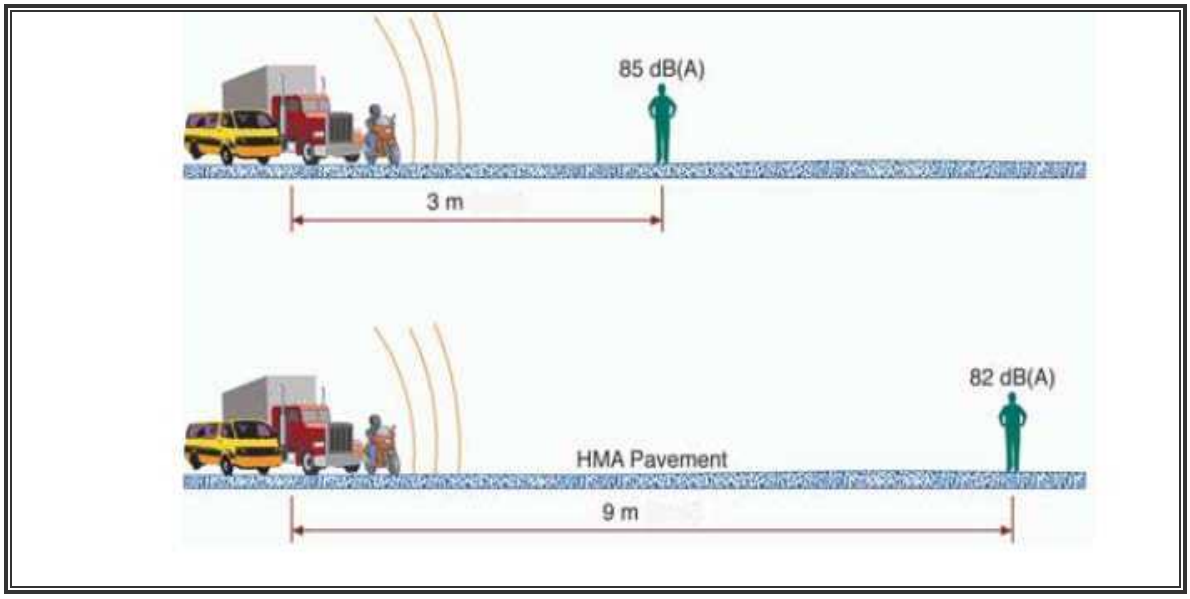
شکل4-11- اثر فاصله از منابع نقطه ای بر سطح صدا[6]

omoorepeyman.ir

4-2-3-1- انتشار صدای ترافیک

صدا از یک جریان ترافیکی رفتار متفاوتی دارد. در یک بزرگراه یا خیابان به علت تعداد ماشینهای زیادی که پشت سرهم حرکت می کنند در واقع با یک تعداد زیادی از منابع نقطه ای با فاصله کم مواجه هستیم که رفتار یک منبع خطی را دارا می باشند. در منابع خطی نیز با فاصله از منبع سطح صدا کاهش پیدا می‌کند. اما نسبت به منبع نقطه ای این کاهش صدا میزان کمتری دارد. که علت آن به ماهیت خطی بودن صوت بر می‌گردد.

معمولاً با دو برابر کردن فاصله از یک منبع خطی، کاهش صدا 3 دسی بل می‌شود. همانطور که در شکل4-12 نشان داده شده است وقتی برای مثال در فاصله 3 متری از یک منبع صوتی سطح صدا 85 دسی بل باشد در فاصله 9 متری سطح صدا، 3 دسی بل کاهش پیدا می‌کند و به 82 دسی بل می‌رسد[6].



شکل4-12- اثر فاصله از خط ترافیک بر سطح صدا[6]

سطح صدای شنیداری تنها به صدای تولید شده از ترافیک بستگی ندارد. بلکه به نوع زمین اطراف ترافیک نیز بستگی دارد. از مدل صدای ترافیکی که توسط اداره بزرگراه فدرال[1] ارائه شده است برای پیش بینی سطح صدای ترافیکی در اطراف جاده می توان استفاده نمود که در زیر آورده شده است:

1 - Federal Highway Administration

omoorepeyman.ir

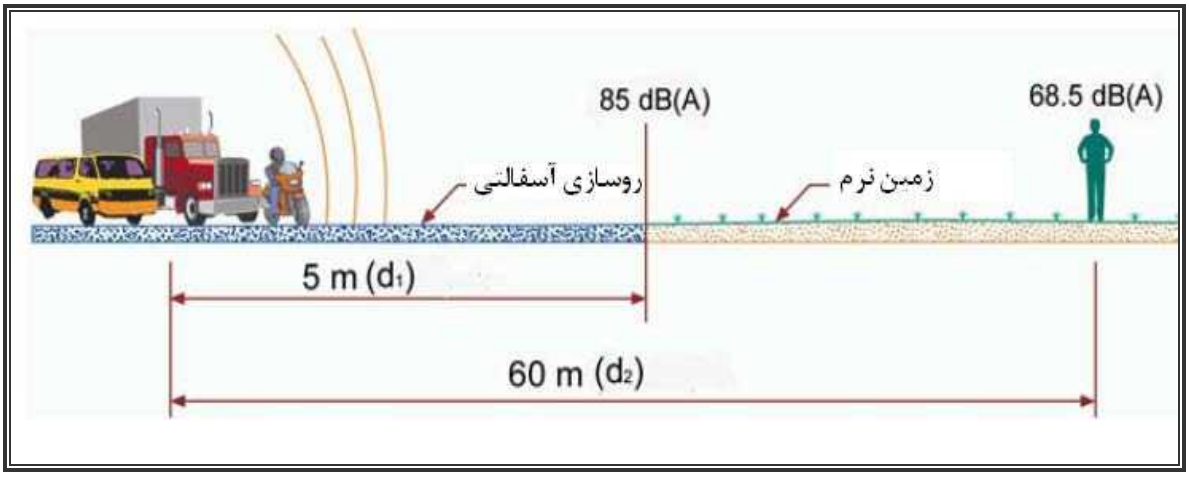
$$db(A) = 10 \times \log_{10}\left\{\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^{\alpha}\right\}$$

α ضریب میرانی است که برای زمین سخت یا روسازی صفر و برای زمین نرم 0/5 می باشد.

d_1 = فاصله اولین نقطه مورد نظر تا منبع صدا.

d_2 = فاصله دومین نقطه مورد نظر تا منبع صدا.

همانطور که در شکل (4-13) آورده شده است اگر در فاصله 5 متری از لبه مرکز مسیر که لبه روسازی می باشد، سطح صدا 85 دسی بل باشد. در فاصله 60 متری از مرکز مسیر که از لبه روسازی به لبه زمین نرم می باشد سطح صدا به 68/5 دسی بل کاهش پیدا می کند[6].



شکل4-13- اثر فاصله و زمین طبیعی بر سطح صدا[6]

4-2-4-اثر ترافیک و وسیله نقلیه روی صدای ترافیک

بطور کلی در بحث کلان آلودگی صوتی ناشی از ترافیک چهار پارامتر حجم ترافیک، نوع ترافیک، سرعت و الگوی رانندگی در تولید صدا نقش اساسی دارند. صدایی که بوسیله وسایل نقلیه تولید می‌شود به سه شکل قابل تقسیم بندی می‌باشد:

1- صدای ناشی از سیستم داخلی وسیله نقلیه (موتور، پروانه، اگزوز و غیره)

2- صدای ناشی از آیرودینامیک که به جریان آشفته هوای دور وسیله نقلیه مربوط می گردد.

3- صدای بین تایر و روسازی.

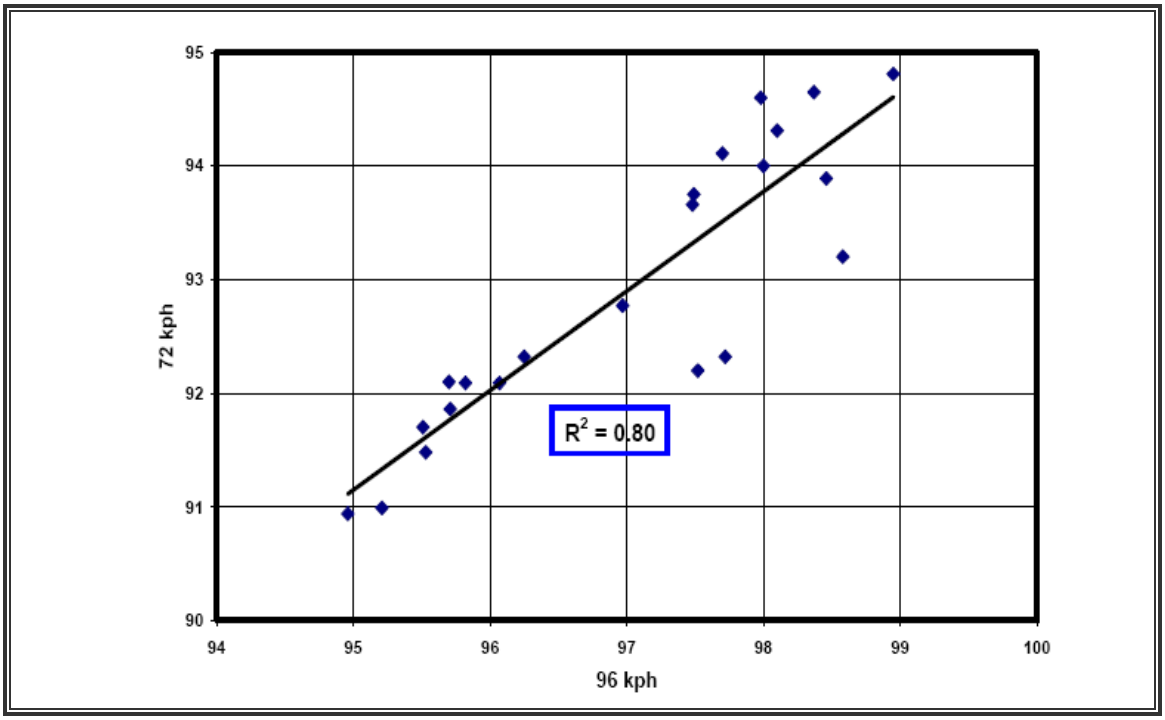
omoorepeyman.ir

صدای بین تایر و روسازی و صدای ناشی از سیستم داخلی وسیله نقلیه مهمترین منابع صدای تشکیل دهنده صدای ترافیک می‌باشند. در سرعت های پایین، صدای ناشی از سیستم داخلی موتور غالب است و در سرعت های بالا صدای بین تایر و روسازی غالب است.

سرعت

سرعت وسایل نقلیه نیز بر سطح صدا تاثیر گذار می باشد. وقتی سرعت وسایل نقلیه افزایش می‌یابد سطح صدا نیز افزایش پیدا می‌کند. شکل (4-14) مقایسه انجام شده از نتایج تست صوت را برای سرعت های 70 و 90 کیلومتر بر ساعت را نشان می دهد. این مطالعات توسط NCAT انجام شده است[6].

بر اساس آزمایشهای انجام شده در سالهای 1999 و 2000 بر روی بیشتر از 4000 وسیله نقلیه اثر کاهش سرعت در میزان کاهش صدای ایجاد شده در جدول4-2 ارایه شده است.



شکل4-14- اثر سرعت وسیله نقلیه بر سطح صدای ایجاد شده(مقایسه میان سرعت 70 و 90 کیلومتر بر ساعت)[4]

omoorepeyman.ir

حجم ترافیک

تغییر در حجم ترافیک بر سطح صدا تاثیرگذار می باشد. در صورت ثابت بودن سایر پارامترها، 50 درصد کاهش در حجم ترافیک منجر به کاهش 3 دسی بل در سطح صدا صرفنظر از تعداد وسایل نقلیه می گردد. بر روی راههای با حجم ترافیک کم در مناطق مسکونی با ایجاد محدویتهایی نسبت به کاهش حجم ترافیک اقدام نمود اما بر روی راههای اصلی و شریانی امکان کاهش حجم ترافیک بعنوان یک راه حل بندرت ممکن است. بدلیل اینکه در لگاریتم طبیعی در مقیاس دسی بل برای کاهش عمده در سطح صدا بایستی حجم خیلی زیادی از وسایل نقلیه از محور برداشته شود. کاهش 20 درصدی در حجم ترافیک با فرض ثابت بودن سایر عوامل موجب کاهش 1 دسی بل در سطح صدا می گردد. تاثیر تغییر حجم ترافیک در کاهش صدا در جدول 4-3 نشان داده شده است.

حدول4-2- اثر کاهش سرعت در میزان کاهش صدا

کاهش سرعت از (km/h)	کاهش صدا در وسایل نقلیه سبک(dB)	کاهش صدا در وسایل نقلیه سنگین(dB)
130 به 120	1	-
120 به 110	1/1	-
110 به 100	1/2	-
100 به 90	1/3	1
90 به 80	1/5	1/1
80 به 70	1/7	1/2
70 به 60	1/9	1/4
60 به 50	2/3	1/7
50 به 40	2/8	2/1
40 به 30	3/6	2/7

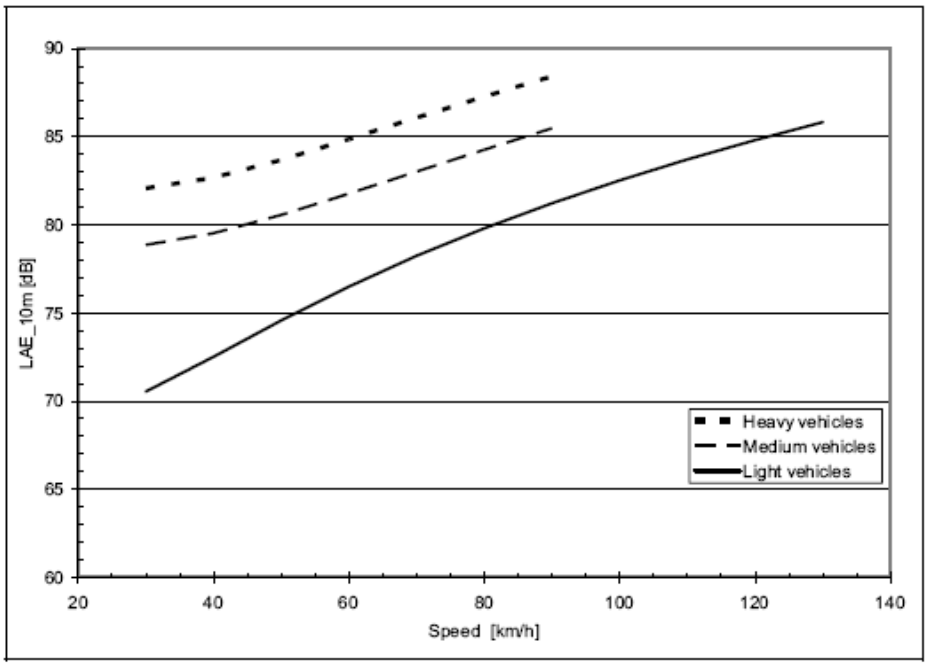
جدول4-3- تاثیر تغییر حجم ترافیک در کاهش صدا*[2]*

کاهش در حجم ترافیک(درصد)	کاهش صدا (دسی بل)
10	0/5
20	1
30	1/6
40	2/2
50	3
75	6

omoorepeyman.ir

نوع ترافیک

در شکل4-15 تاثیر انواع وسایل نقلیه سبک(کمتر از 3/5 تن)، متوسط (12-3/5 تن و دو محور 6 چرخ) و سنگین (بیشتر از 12 تن و 3 یا بیشتر از 3 محور) بر روی سطح صدا نشان داده شده است.



شکل4-15- تاثیر انواع وسایل نقلیه سبک، متوسط و سنگین بر روی سطح صدا با سرعت ثابت و به فاصله 10 متر

الگوی رانندگی

الگوی رانندگی بر روی آلودگی صوتی موثر است. الگوی رانندگی متاثر از دست اندازها، تغییر در طرح و آرایش مقاطع راه و تقاطع ها و مجموعه علایم کاهش سرعت می باشد، که همه این عوامل ممکن است در تغییر الگوی رانندگی مردم تاثیرگذار باشد. این تغییر در الگوی رانندگی می تواند موجب کاهش یا افزایش در تعداد و شدت شتاب و کاهش شتاب داشته باشد. جدول4-4 تفاوت در آلودگی صوتی بین وسایل نقلیه در حال شتاب گیری و وسایل نقلیه با سرعت های ثابت 30 و50 km/h را نشان می دهد. Pn نشان دهنده توان وسیله نقلیه است.

omoorepeyman.ir

جدول4-4- تفاوت در آلودگی صوتی بین وسایل نقلیه در حال شتاب گیری و وسایل نقلیه با سرعت های ثابت 30 و50 km/h

نوع وسیله نقلیه	30km/h	50km/h
اتومبیل	2	1/4
وسیله نقلیه سبک	3/5	2/3
وسیله نقلیه سنگین Pn < 75 kW	4/4	3/5
وسیله نقلیه سنگین 75 kW ≤ Pn < 150 kW	4/4	3/6
وسیله نقلیه سنگین 150 kW ≤ Pn <250 kW	3/5	3
وسیله نقلیه سنگین Pn≥ 250 kW	3/5	2/7

4-2-4- مقایسه سطح صدای آسفالت متخلخل با سایر سطوح

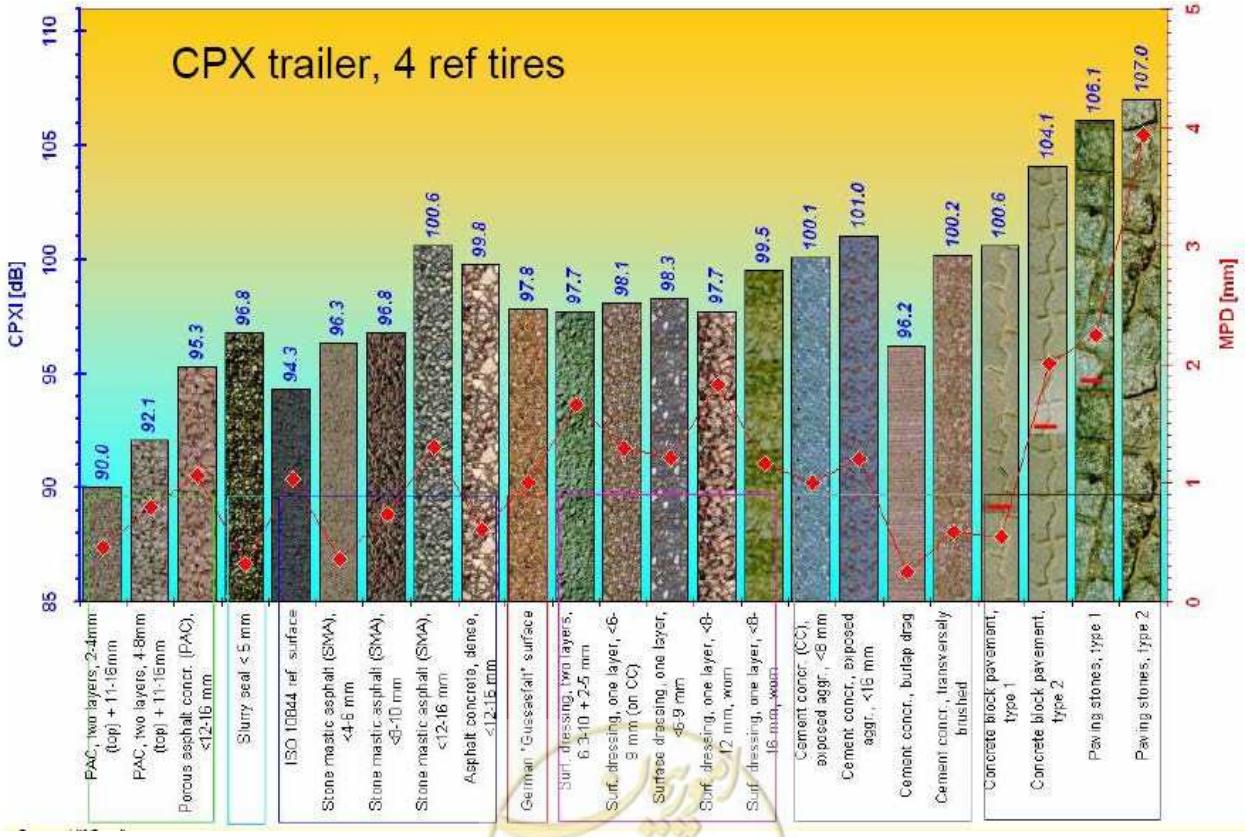
سطح نوع روسازی مسیر به عنوان یکی از عوامل اصلی موثر بر صداهای ناشی از ترافیک شناخته می‌شود. و در بیشتر تحقیقات، از آن بعنوان اصلی‌ترین فاکتور موثر بر سطح صدا حتی در وسایل نقلیه سنگین و در شرایط رانندگی شهری نام برده می‌شود. علت اصلی این مسئله به سهم تماس بین تایر و جاده در تولید صدا بر می‌گردد. بسته به نوع روسازی سطح صدا تا دامنه 15 دسی بل قابل تغییر می‌باشد. (شکل 4-16). اندازه‌گیری صدای غلتیدن چرخ بر روی روسازی با استفاده از یک ماشین در سرعت 80 کیلومتر بر ساعت انجام شده است که در هنگام رسیدن به میکروفن ثبت صدا، موتور آن خاموش شده است. عملکرد صدای ناشی از رویه های مختلف روسازی در شکل 4-17 نشان داده شده است.

پیش از آن محققان به صدای ناشی از تماس بین تایر و روسازی توجه نمایند بسته به نوع هموارى، سطح روسازی به سه دسته تقسیم‌بندی می‌گردید. 1- بافت ریز[1] 2- بافت درشت[2] 3- بافت ناهموار[3]. اما مطالعات از تماس تایر و روسازی منجر به آن شد که محققین دامنه جدیدی از ناهمواریها به نام بافت مگا[4] معرفی نمایند که بین بافت درشت و بافت ناهموار قرار دارد و بیشترین اثر را روی صدای تولید بین تایر و روسازی دارند[7].

1- Microtexture
2- Macrotexture
3- Uneveness
4- Megatexture

omoorepeyman.ir

شکل4-16- مقایسه میان سطح صدای انواع روسازیهای مختلف[7]



شکل4-17- عملکرد صدای ناشی از رویه های مختلف روسازی

omoorepeyman.ir

در سال 1987 پیارک پیشنهاد کرد که مشخصه های سطح روسازی را بر اساس عمق و طول موج به چهار دسته شامل بافت ریز، بافت درشت، بافت مگا و بافت ناهموار طبقه بندی شود. شکل 4-18 طبقه‌بندی بافتها بر حسب طول موج و تاثیر آن بر مشخصه های عملکردی رویه روسازی نشان می دهد.

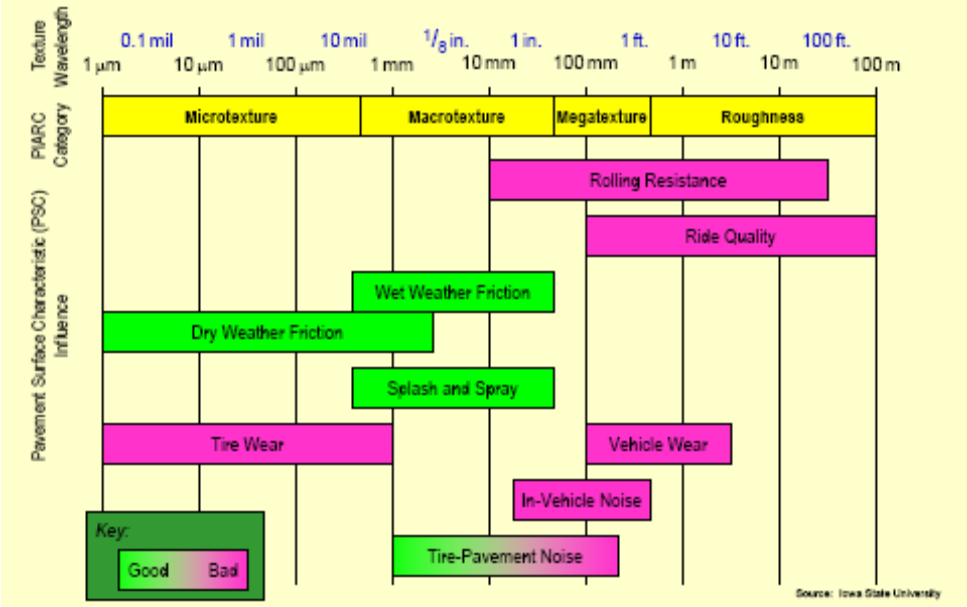
بافت ریز: بافت ریز بعنوان بافتی که دارای طول موجهای 1 µm تا 0/5 mm و عمق بافت کمتر از 0/2 mm تعریف می شود. برای تامین مناسب توقف وسایل نقلیه در سرعت های نزدیک به 80 km/h بر روی روسازی در شرایط خشک و مرطوب بافت ریز خوب لازم است. در سرعتهای بالاتر وجود بافت ریز و درشت در شرایط مرطوب سطح روسازی برای تامین توقف مناسب وسایل نقلیه لازم است. بطور کلی بافت ریز بعنوان عاملی در گسترش صدا یا شتک و پاشش بر روی روسازی مطرح نیست.

بافت درشت: بافت درشت بعنوان بافتی که دارای طول موجهای 0/5mm تا 50mm و عمق بافت از 0/1mm تا 20mm تعریف می شود. بافت درشت نقش مهمی در مشخصه های اصطکاکی رویه در شرایط مرطوب بویژه در سرعتهای بالا ایفا می کند. بنابراین روسازی هایی که اجرا می شوند برای تطبیق با سرعت سفر(80 km/h) یا بیشتر بایستی دارای بافت درشت خوبی برای جلوگیری از پدیده آب لغزی هستند. علاوه بر تامین اصطکاک بافت درشت نقش مهمی در ایجاد صدا ناشی از تماس تایر با روسازی، پاشش و شتک روسازی دارد.

بافت مگا: بافت مگا شامل بافت دارای طول موجهای 50mm تا 500mm و عمق بافت از 0/1mm تا 50mm می شود. این بافت معمولا نتیجه اجرای ضعیف، نشست موضعی، یا خرابی رویه می باشد. بافت مگا موجب ایجاد لرزش در تایر وسیله نقلیه و به تبع آن باعث ایجاد سر و صدا در وسیله نقلیه و برخی صداهای خارجی می شود. بافت مگا همچنین اثر معکوسی بر کیفیت سواری دارد.

بافت ناهموار: بافت ناهموار شامل نامنظمی ها رویه با طول موج بیشتر از محدوده بافت مگا (500 mm <) می شود. طول موجها در این دامنه بر روی دینامیک وسیله نقلیه، کیفیت سواری، و زهکشی رویه تاثیر گذار است. بافت ناهموار اثر عمده ای بر روی صدا ندارد.

omoorepeyman.ir



شکل4-18- رابطه بافت-نویز

تاثیر عوامل روسازی بر تولید صدا در جدول 4-5 ارایه شده است. همچنانکه از جدول مشاهده می‌شود، بافت درشت، بافت مگا و میزان تخلخل و ضخامت لایه تاثیر زیادی بر تولید صدا ناشی از تماس چرخ وسایل نقلیه با رویه روسازی دارد.

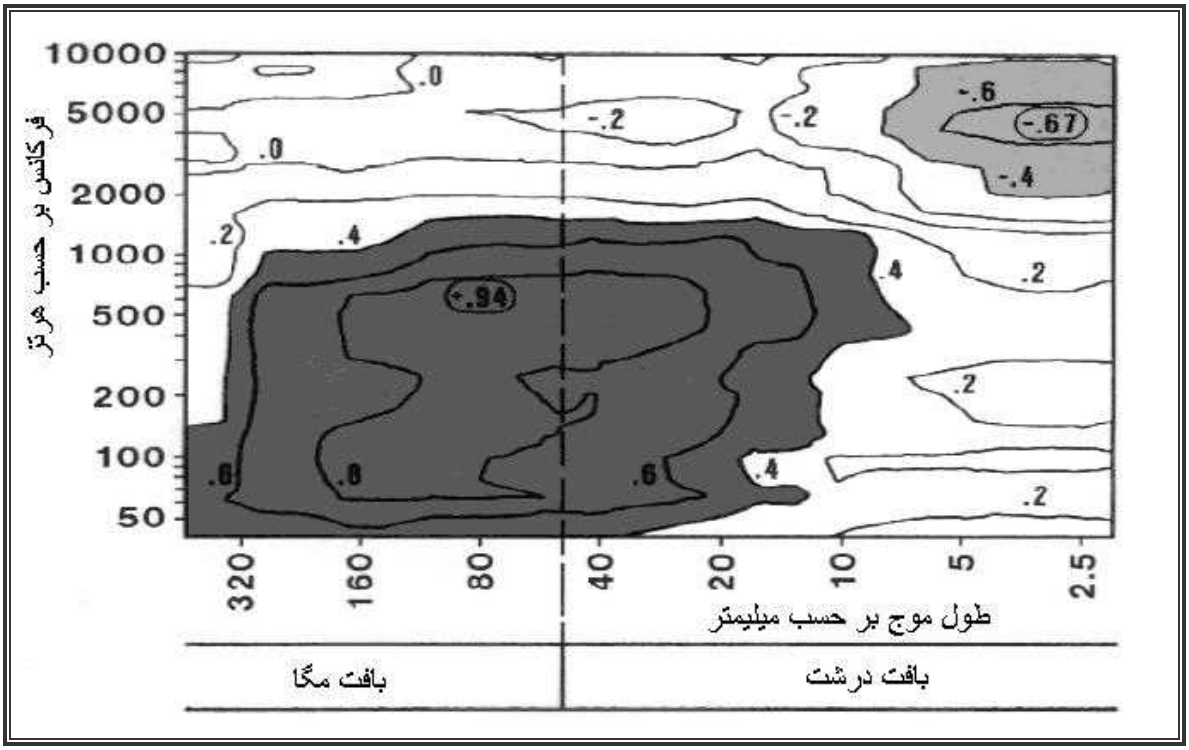
جدول 4- 5- تاثیر عوامل روسازی بر تولید صدا

ردیف	پارامتر	درجه تاثیر
1	بافت درشت	خیلی زیاد
2	بافت مگا	زیاد
3	بافت ریز	کم تا متوسط
4	ناهموار	جزیی
5	تخلخل	خیلی زیاد
6	ضخامت لایه	زیاد برای رویه متخلخل
7	اصطکاک	کم تا متوسط

شکل (4-19) ارتباط میان صدای ناشی از لاستیک و بافت روسازی را به صورت چندین ناحیه مشخص شده نشان می‌دهد. همانطور که در شکل پر رنگ شده است دو ارتباط قوی قابل شناسایی می‌باشد. صدایی با فرکانس پایین دارای ارتباط مثبتی با بافت با طول موج بلند می‌باشد. در حالیکه صدایی با فرکانس بالا دارای ارتباط منفی با بافت با طول موج کوتاه می‌باشد. این نتایج با مطالعات انجام شده در آمریکا و ژاپن در این زمینه تطابق دارد. این دو اثر متضاد نشان می-

omoorepeyman.ir

دهد که نمی توان صدای ناشی از تاثیر را تنها با اندازه‌گیری بافت بخشی از سطح روسازی مانند یک وصله تعیین نمود بلکه به بافت کل سطح روسازی مربوط می‌شود.



شکل4-19- منحنی‌های میزان ارتباط میان طول موج روسازی و فرکانس بر حسب هرتز[7]

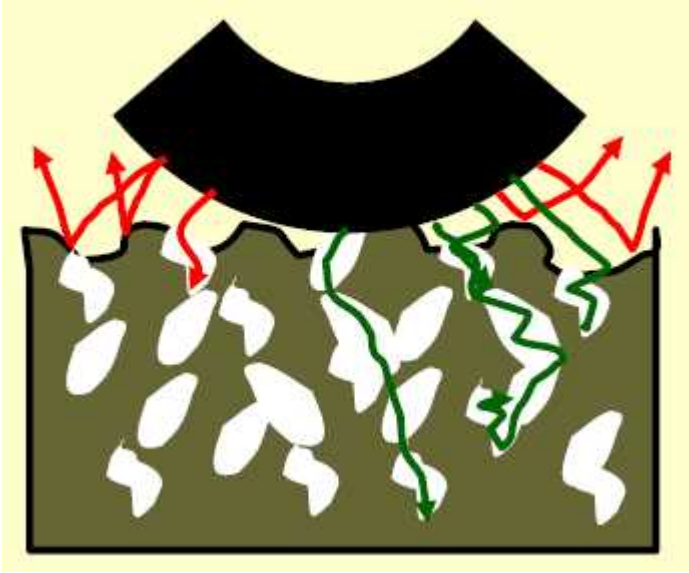
4-2-5- عوامل موثر بر جذب صدا در آسفالت متخلخل(درصد فضای خالی، ضخامت لایه و منحنی دانه-بندی)

وقتی یک موج صوتی به سطح روسازی برخورد و انعکاس پیدا می‌نماید به آن درصدی از انرژی که توسط مصالح روسازی جذب می‌گردد، ضریب جذب صدا[1] گفته می‌شود. ضریب جذب صدا علاوه بر بافت روسازی به فرکانس موج صوتی و زاویه برخورد آن نیز بستگی دارد. شکل 4-20 نحوه جذب و انعکاس صوت را در آسفالت متخلخل و شکل (4-21) نمودار ضریب جذب صدا (α) را در مقابل فرکانس صدا برای روسازیهای آسفالت متخلخل و بتن آسفالتی معمولی نشان می‌دهند. سه متغیر اصلی که بر روی ضریب جذب صدای آسفالت متخلخل موثر عبارتند از ضخامت لایه، درصد

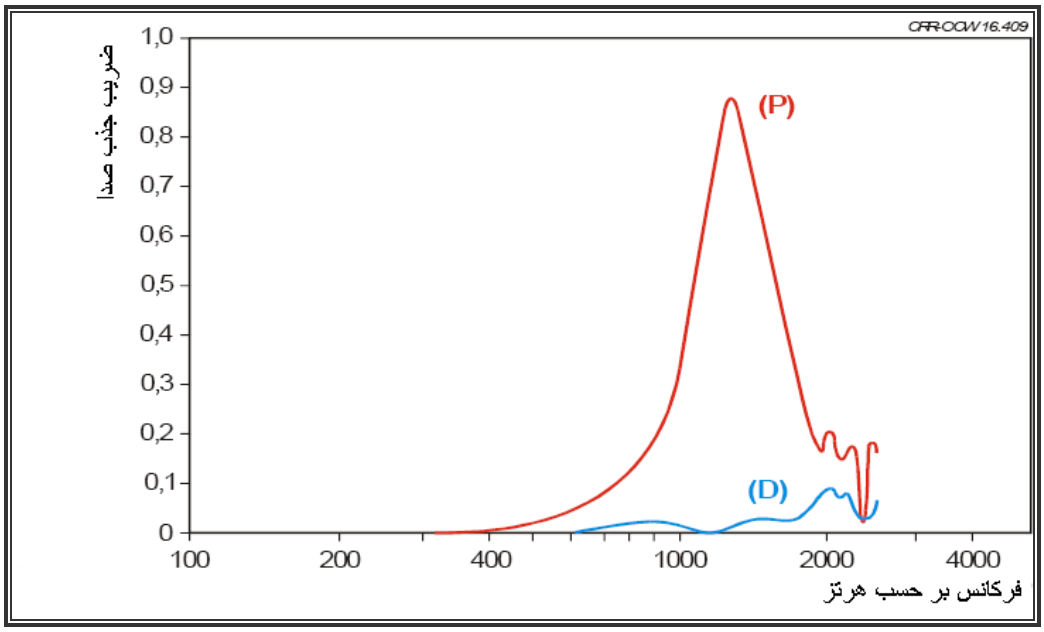
1- Sound absorption coefficient

omoorepeyman.ir

فضای خالی و منحنی دانه‌بندی. تحقیقات مختلف نشان داده است که با افـزایش حجـم فضـای خـالی و ضـخامت لایـه، صدای ناشی از تماس تایر و روسازی کاهش پیدا می‌نماید.



شکل 4-20- نحوه جذب و انعکاس صوت را در آسفالت متخلخل



شکل4-21- مقایسه ضریب جذب صدای رویه آسفالت متخلخل(P)و رویه بتن آسفالتی(d) در فرکانسهای مختلف[4].

آزمایشهای انجام شده در بلژیک نشان داده که کاهش حدود 6 دسی‌بل که در میزان صدای ناشی از تماس چرخ و جاده در آسفالت متخلخل دیده می‌شود به دو عامل ضخامت لایه(20mm <e<40mm) و فضای خالی (25%> فضای خالی >15٪)بستگی مستقیم دارد. با تغییر ضخامت روسازی از 20 میلیمتر به 40 میلیمتر و تغییر درصد فضای خالی از

omoorepeyman.ir

15 به 25 درصد تا 6 دسی بل از صدای ناشی از تماس تایر و روسازی کاسته شده است. معمولاً اثر ترکیبی ضخامت لایه روسازی و درصد فضای خالی بصورت تک پارامتری به عنوان ضخامت معادل درصد فضای خالی[1] بیان می‌گردد و کاهش صدا بر حسب ev بیان می‌گردد. که با استفاده از آن می توان میزان کاهش صدا(db) را بر حسب دسی بل بیان کرد:

db=0/005ev

که در آن:

db= کاهش صدا بر حسب دسی بل

e = ضخامت لایه بر حسب میلیمتر

v= درصد فضای خالی

این نتیجه‌گیری توسط اندازه‌گیری‌های مشابه در سوئد نیز تأیید گردیده است.

آزمایشهای دیگری که در نروژ انجام گرفت نشان‌دهنده این مطلب است که نوع قیر تأثیری در میزان کاهش صدا ندارد(آزمایش با قیر پلیمری،معمولی و لاستیکی انجام شد)[1].

4-2-6- مقایسه میزان سطح صدا در آسفالت متخلخل یک لایه و دو لایه با تغییرات در عوامل موثر بر سطح صدا

4-2-6-1- آسفالت متخلخل یک لایه

اولین آزمایشها در مورد آسفالت متخلخل در دانمارک در سال 1990 انجام گردید. این آزمایشها با هدف توسعه و ارزیابی آسفالت متخلخل یک لایه ای و تاثیر آن بر کاهش صدا انجام گردید. دو مقطع آزمایشی یک لایه ای، یک مورد در یک بزرگراه نزدیکی Viskinge با سرعت 80 کیلومتر بر ساعت و دیگری در یک راه شهری Copenhagen با سرعت 50 کیلومتر بر ساعت احداث گردیدند[4].

بزرگراه:

1- equivalent thickness of the volume of voide (ev).

omoorepeyman.ir

در ساختن تک لایه بر روی بزرگراه در نزدیکی Viskinge از 5 مقطع مختلف در سرعت 80 کیلومتر بر ساعت ساخته گردید.

- بتن آسفالتی چگال (AB12t) به عنوان سطح مرجع.
- آسفالت متخلخل با دانه‌بندی ریز (ماکزیمم مصالح سنگی 8 میلیمتر) با درصد فضای خالی بین 18 تا 22 درصد (DA8-18-22%)
- آسفالت متخلخل با دانه‌بندی ریز (ماکزیمم مصالح سنگی 8 میلیمتر) با درصد فضای خالی بیشتر از 22 درصد (DA8>22%)
- آسفالت متخلخل با دانه‌بندی نسبتاً درشت (ماکزیمم مصالح سنگی 12 میلیمتر) با درصد فضای خالی بیشتر از 22 درصد (DA12>22%)
- بتن آسفالت باز[1] با ماکزیمم مصالح سنگی 12 میلیمتر. (AB12aa)

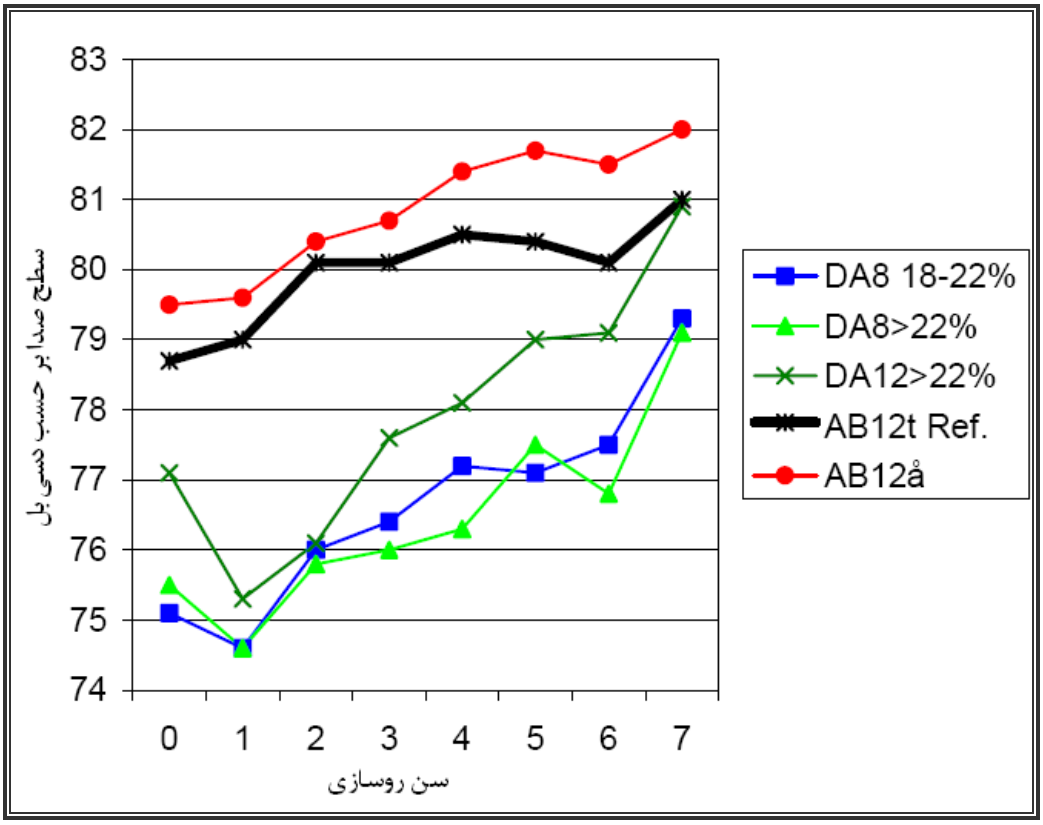
همه اندازه‌گیری صداها با روش SPB انجام گردیده است. صدا و سرعت برای هر یک از وسایل نقلیه عبوری اندازه-گیری شده است وسایل نقلیه به چهار دسته تقسیم‌بندی شده‌اند. 1- سواری 2- ون‌ها 3- کامیون‌های دو محوره 4- کامیون‌های با بیشتر از دو محور.

سطح صدا در سطح مرجع (AB12t) در حدود 1 دسی‌بل در سال اول افزایش یافته است (شکل (4-22). در همه روسازیها، افزایش سطح صدا حدود 1 دسی‌بل در دو سال اول عمر روسازی ملاحظه گردید. فرض بر این بود که بتن آسفالتی باز اثر کاهشی بر روی سطح صدا داشته باشد که این فرض رد گردید. شاید علت این مسئله به بافت نسبتاً درشت بتن آسفالتی باز با ماکزیمم مصالح سنگی 12 میلیمتر بر می‌گردد. در طول سال اول تا سال هفتم سطح صدا در روسازی آسفالت متخلخل کمتر از سطح صدای آسفالت مرجع می‌باشد. در مورد دو سطح آسفالت متخلخل با دانه‌بندی ریز (DA8) سطح کاهش صدا بین 3 تا 4 دسی‌بل می‌باشد. در سال هفتم، کاهش سطح صدا هنوز تا 2 دسی‌بل می-باشد. بازرسی‌های چشمی نشان داده که این روسازیها دچار فرسودگی شده‌اند. این سطوح بعد از هفت سال بخاطر از دست دادن مصالح سنگی (کرمو شدن) خیلی زبر شده و نیاز به جایگزینی داشته‌اند. آسفالت متخلخل با ماکزیمم مصالح سنگی 12 میلیمتر (DA12) نسبت به سطح مرجع کاهش صدا حدود 1/5 دسی‌بل داشته‌اند. بنابراین نسبت به آسفالت

1- Open asphalt concrete.

omoorepeyman.ir

متخلخل با دانه‌بندی ریز، سطح صدای آن 2 دسی‌بل بالاتر است. برای هر سه نوع آسفالت متخلخل تغییرات در سطح صدا در سال اول و دوم یکسان بوده است. اما در سال ششم کاهش سطح صدای آسفالت متخلخل با دانه‌بندی نسبتاً درشت تنها 1 دسی‌بل بوده و در سال هفتم سطح صدای آن با سطح صدای سطح مرجع یکی شده است.



شکل4-22- مقایسه سطح صدا در مقاطع مختلف در سرعت 80 کیلومتر بر ساعت به فاصله 10 متر[6]

راه شهری:

در آزمایشهای انجام شده در یک راه شهری در Copenhagen با سرعت 50 کیلومتر بر ساعت از یک مقطع آسفالت متخلخل با درصد فضای خالی 24 درصد و بزرگترین اندازه مصالح سنگی 8 میلیمتر (DA8>22%) و یک مقطع آسفالتی چگال معمولی (AB12t) به عنوان سطح مرجع استفاده گردید. در آزمایشات مشاهده گردید که میزان کاهش صدا در آسفالت متخلخل تازه ساخت 3 دسی‌بل می‌باشد. این میزان در طول سال اول به یک دسی‌بل می‌رسد و در نهایت در سال دوم و سوم تغییر سطح صدایی مشاهده نمی‌شود. علت چنین امری در قیاس با راهی با سرعت 80 کیلومتر بر ساعت را می‌توان در سرعت ماشینها دانست. در راه‌هایی با سرعت بالا، آب با نیروی حاصل از تایر ماشینها و فشار بالا وارد سوراخ‌های سطح شده و آنها را پاکسازی می‌نماید. سرعت بالاتر موجب فشار بیشتر و اثر پاک‌کنندگی بهتر

omoorepeyman.ir

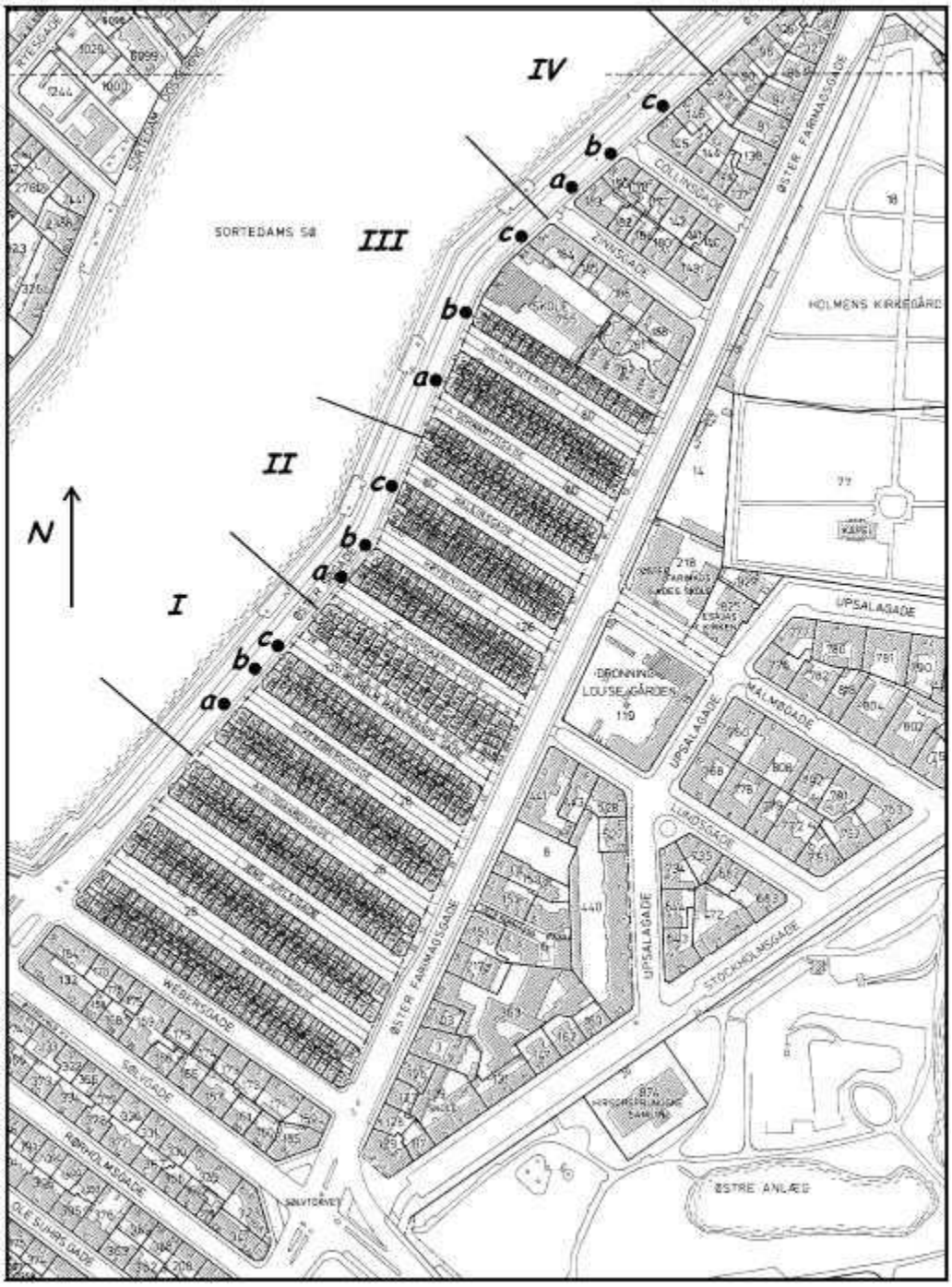
آب می‌گردد. در حالیکه در سرعت پایین‌تر به علت ناکافی بودن فشار آب، این اثر تمیزکنندگی وجود ندارد و در نتیجه منجر به آن می‌شود که سوراخ‌های سطح با آلاینده‌ها و ذرات موجود در سطح مسدود گردد و آسفالت متخلخل کارآیی خود را از دست بدهد[6].

4-2-6-2- آسفالت متخلخل دو لایه

سالهای زیادی است که استفاده از آسفالت متخلخل بجهت کاهش صدا در هلند متداول می‌باشد. اولین گروه این آسفالتها، آسفالتهای متخلخل تک لایه بودند. (مانند آنچه در دانمارک در سال 1990 تست گردید.) دومین گروه از این نوع آسفالتها، آسفالت متخلخل دو لایه‌ای بوده‌اند که در راه‌های شهری به منظور جلوگیری از پر شدگی سوراخ‌ها، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در پروژه‌ها در لایه بالایی از مصالح سنگی ریزدانه 4 میلیمتری استفاده شده است. به منظور بهینه‌سازی و اندازه عملکرد آسفالت متخلخل دو لایه در کاهش صدا در دراز مدت مجموعه آزمایشهای میدانی از سال 1998 در دانمارک آغاز گردید[6].

بدین منظور چهار مقطع آزمایشی در خیابانی در نزدیک مرکز شهر کپنهاگ دانمارک به طول 100 تا 200 متر به منظور ارزیابی میزان کاهش آلودگی صوتی و سایر پارامترهای عملکردی در تابستان 1999 اجرا شد. شکل 4-23 پلان مقاطع آزمایشی را نشان می دهد. سرعت عبور مجاز بر روی این خیابان 50 km/h و ترافیک روزانه در حدود 7000 وسیله نقلیه بود که 8 درصد آن شامل وسایل نقلیه سنگین می شد. سه قطعه آزمایشی با آسفالت متخلخل های متفاوت دو لایه ای اجرا شد. اولین قطعه دارای حداکثر اندازه مصالح سنگی 8 میلیمتر در لایه بالایی بوده و کل ضخامت آن 70 میلیمتر است. دومین قطعه دارای حداکثر اندازه مصالح سنگی 5 میلیمتر در لایه بالایی بوده و کل ضخامت آن 55 میلیمتر است. این قطعه با حداقل ضخامت اجرا شده است. سومین قطعه دارای حداکثر اندازه مصالح سنگی 5 میلیمتر در لایه بالایی بوده و کل ضخامت آن 90 میلیمتر است. و در نهایت قطعه چهارم آسفالت معمولی با حداکثر اندازه مصالح سنگی 8 میلیمتر بعنوان قطعه مرجع اجرا شد. اطلاعات کلی قطعات آزمایشی در جدول4-6 ارایه شده است.

omoorepeyman.ir



شکل4-23- پلان مقاطع مختلف مورد استفاده در تحقیق[6]

هر سه قطعه آسفالت متخلخل دارای تخلخل بالا با درصد فضای خالی بین 22 تا 27 درصد بوده‌اند. تخلخل بالا موجب بالا رفتن درصد جذب صدای موتور منعکس از سطح روسازی، توسط مصالح می‌گردد. همچنین صدای ایجاد شده ناشی از برهمکنش تایر و روسازی را نیز کاهش می‌دهد. به منظور بهبود جذب صدا، ساختار آسفالتی متخلخل نسبتاً

omoorepeyman.ir

ضخیم‌تر مورد استفاده قرار گرفت (55 تا 90 میلیمتر- جدول4-6). ساختار روسازی آسفالت متخلخل همچنین اثر صدای پمپ کردن هوا را کاهش می‌دهد[4].

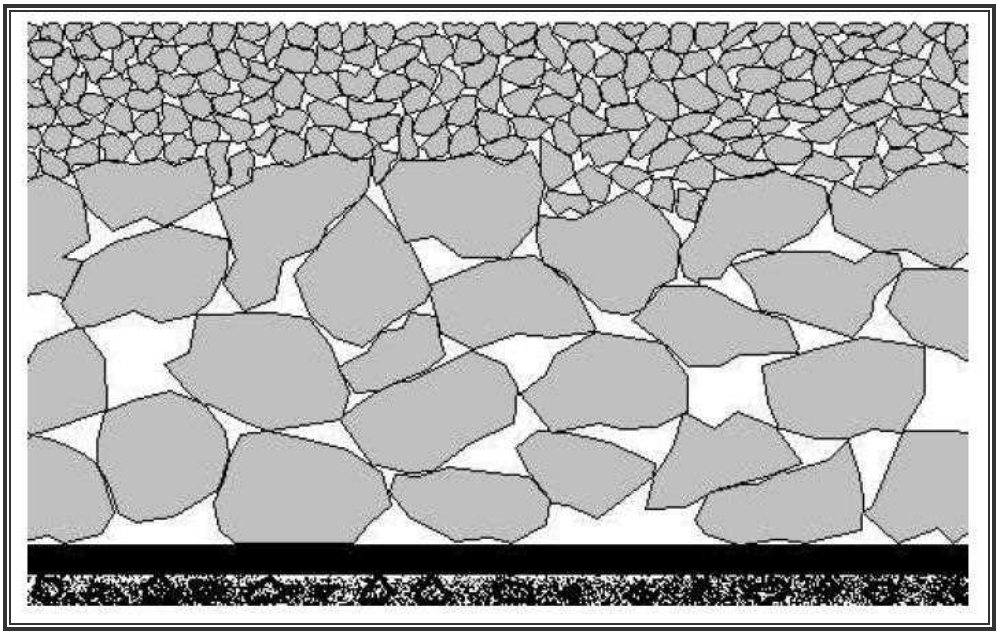
جدول4-6- مقاطع مختلف مورد استفاده در تحقیق[6]

قطعه آزمایشی	نوع قطعه	کل ضخامت (mm)	لایه بالایی		لایه زیرین	
			ضخامت (mm)	اندازه سنگدانه (mm)	ضخامت (mm)	اندازه سنگدانه (mm)
PA **8-70**	آسفالت متخلخل	70	25	5/8	45	11/16
PA **5-55**	آسفالت متخلخل	55	20	2/5	35	11/16
PA **5-90**	آسفالت متخلخل	90	25	2/5	65	16/22
AC**8**dense	آسفالت معمولی	30	30	0/8	-	-

به منظور حداقل کردن لرزش و صدا ناشی از تایرها از روسازیهایی با مصالح سنگی در لایه بالایی استفاده می‌شود (5 و 8 میلیمتری). استفاده از این مصالح سبب صافی بافت روسازی می‌گردد.

این مسئله حیاتی است که روسازیهای متخلخل را بگونه‌ای طراحی و نگهداری شود که از پرشدگی منافذ جلوگیری شده و خواص آن در طول دوره عمر خدمت حفظ گردد. اصول اساسی که اکنون بکار گرفته می‌شود استفاده از آسفالت متخلخل دو لایه‌ای به همراه تمیز کردن منافذ هر دو سال یکبار توسط آب با فشار بالا و یا مکش هوا می‌باشد لایه بالایی آسفالت متخلخل دارای مصالح سنگی ریزدانه و در نتیجه سوراخ‌های ریزی می‌باشد تا از ورود ذرات و مصالح سنگی درشت به سوراخها جلوگیری شود. در لایه پایینی مصالح سنگی درشت (16 تا 22 میلیمتری) بکار گرفته شده است که منجر به ایجاد فضاهای خالی بزرگ و در نتیجه امکان خروج ذرات و آلاینده‌های ورودی به داخل روسازی را فراهم می‌آورد. تا با این شرایط از پر شدگی منافذ جلوگیری گردد (شکل 4-24).

omoorepeyman.ir



شکل4-24- آسفالت ضخیم دو لایه‌ای با حفره‌ها و ذرات ریز در لایه بالایی و حفره‌ها و ذرات درشت در لایه پایینی[6]

اندازه‌گیری میزان کاهش صدا دو هفته پس از باز شدن ترافیک بر روی قطعات آزمایشی انجام گرفت. بر اساس نتایج آزمایش کاهش صدا در ضخیم ترین بخش آسفالت متخلخل(PA 5-90) بین 6 تا 7 دسی بل نسبت به قطعه مرجع بود. در سایر قطعات آزمایشی کاهش صدا در حدود 5 دسی بل بود. اندازه گیری ها هر سال و به مدت 7 سال تکرار شد. منافذ آسفالت متخلخل بتدریج بسته شده بودند و پس از 7 سال میزان کاهش صدا در قطعات اول و دوم 1 دسی بل و در قطعه سوم کاهشی مشاهده نشد. بر اساس ارزیابی های انجام شده میزان کاهش صدا در قطعات 2 و 3 که دارای حداکثر اندازه 2/5 میلیمتر در لایه بالایی هستند نسبت به قطعه اول که دارای حداکثر اندازه 5/8 میلیمتر در لایه بالایی است بیشتر بوده است. قطعات 2و 3 در پاییز سال 2005 آببندی شدند.

کاهش صدا بصورت تفاوت در متوسط سطح صدای اندازه‌گیری شده بر روی قطعات ساخته شده با آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی در سالهای مشابه بیان شده است. نتایج کاهش صدا نسبت به قطعه مرجع در جدول 4-7 ارایه شده است. همچنین سطح صدا و میزان کاهش صدا در شکلهای 4-25 و 4-26 نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir

جدول4-7- میزان کاهش صدا در قطعات مختلف آسفالت متخلخل نسبت به بتن آسفالت مرجع

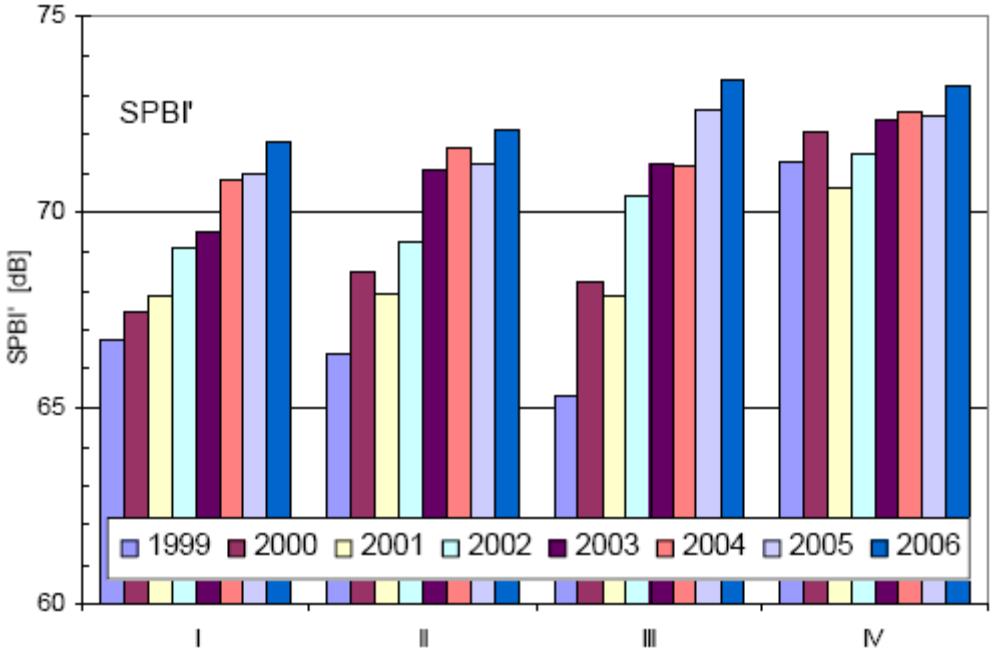
میزان کاهش صدا			
(PA 5-90) III	(PA 5-55) II	(PA 8-70) I	قطعه / سال
6	4/9	4/5	1999
3/8	3/6	4/6	2000
2/7	2/7	2/7	2001
1	2/2	2/4	2002
1/1	1/3	2/8	2003
1/4	0/9	1/7	2004
-0/2	1/2	1/4	2005
-0/2	1/1	1/4	2006

اندازه‌گیری سطح صدا پس از ساخت روسازیهای آسفالتی متخلخل و اجازه عبور ترافیک از آن و یک و دو سال بعد آن انجام شده است. نتایج از سال 1999 تا 2002 میانگین اندازه‌گیری در سه موقعیت در هر قطعه آزمایشی است. در حالیکه اندازه‌گیری‌های برداشت شده در سالهای 2003 تا 2006 در یک یا دو موقعیت در هر قطعه آزمایشی انجام شده است. نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده بشرح زیر می باشد:

- √ سطح صدا در قطعه مرجع افزایش صدایی به میزانی که انتظار می رفت نداشت. غالبا یک افزایش 2-1 دسی بل در مدت سه سال اول نشان می دهد. که دلیل آن ممکن است به مقدار قیر در بتن آسفالتی مرتبط باشد که موجب سطح هموارتر می گردد.
- √ در هر چهار مقطع، سطح صدای اندازه‌گیری شده از سال شروع تا سال اول افزایش یافته است. این افزایش روی روسازی مرجع و روسازی متخلخل PA8-70 در حدود 1 دسی‌بل می‌باشد. این مسئله در سایر تجربه‌های قبلی هم بدست آورده شده بود که معمولاً سطح صدا در سال اول حدود 1 دسی‌بل افزایش پیدا می‌کند. در سال 1999 و 2000 سطح صدا در قطعهI (PA 8-70) 5-4 دسی بل کمتر از قطعه مرجع بود. میزان کاهش صدا در سال 2001 تا 2003 بین 2 تا 3 دسی بل و در سال 2006-2004 بین 1 تا 2 دسی بل است.

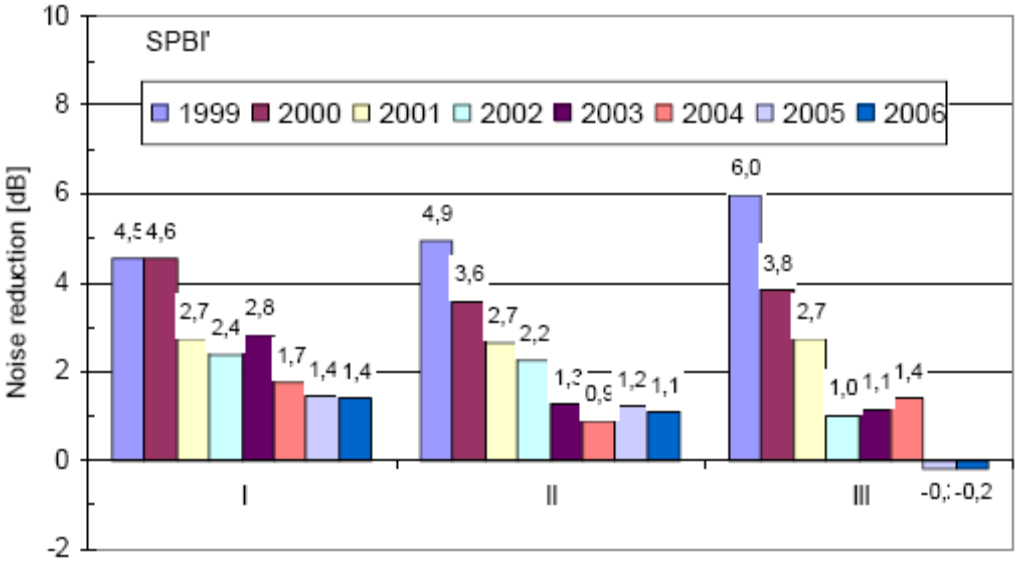
omoorepeyman.ir

- در قطعه II (PA 5-55) میزان کاهش صدا از 5 دسی بل در سال اول به 1 دسی بل در سالهای 2004 تا 2006 تقلیل یافته است.
- در قطعهIII (PA 5-90) میزان کاهش صدا از 6 دسی بل در سال اول به 3 دسی بل در سال 2001 و در سالهای 2002 تا 2004 به 1 دسی بل تقلیل یافته است. در سالهای 2005 تا 2006 هیچ گونه کاهش صدایی نداشته است. به 1 تا 2 دسی بل در سال 2006 تقلیل یافته است.
- در قطعه مرجع (IV) سطح صدا مشابه با سالهای 2003 تا 2005 بوده و تقریبا 1 دسی بل بیشتر از مقدار آن در سال 1999 است. در سال 2006 سطح صدا تقریبا 2 دسی بل بیشتر از مقدار اولیه آن بود.



شکل4-25- میزان سطح صدا در چهار قطعه در سالهای مختلف

omoorepeyman.ir



شکل4-26- میزان کاهش صدا در سه قطعه آسفالت متخلخل در سالهای مختلف نسبت به بتن آسفالتی مرجع

4-3- ارایه روش مناسب برای تعیین میزان صوت در آسفالت متخلخل

برای کنترل و اندازه‌گیری میزان صوت در آسفالت متخلخل روشهایی وجود دارند که بطور کلی به دو دسته اندازه‌گیری کنار جاده‌ای[1] و اندازه‌گیری منشأ[2] که در فاصله بسیار نزدیک به چرخ وسیله نقلیه است تقسیم می‌شوند. صدای تولیدشده از تماس چرخ و راه بخش مهمی از صدای تولیدشده خودروها در سرعتهای بیشتر از 50 کیلومتر بر ساعت برای وسایل نقلیه سبک و بیشتر از 70 کیلومتر بر ساعت برای کامیون‌ها می‌باشد. در سالهای اخیر با ورود خودروهای پیشرفته و مدرن به شبکه راه‌ها سرعت‌های ذکر شده کمتر شده‌اند. نتایج تحقیقات اخیر صورت‌گرفته حاکی از این مطلب است که صوت حاصل از تماس چرخ و سطح راه، در تمامی سرعت‌ها و دنده‌ها بجز وضعیت دنده 1، در حالت سرعت ثابت، از صوت حاصل از قوای محرکه خودرو بیشتر می‌باشد. این بدین معنی است که در سرعت ثابت رانندگی همواره صوت حاصل از تماس چرخ و سطح راه غالب خواهد بود. از مطالب عنوان‌شده می‌توان به اهمیت صوت تولیدشده از تماس چرخ و سطح راه پی برد[8].

بر اساس مطالب ذکرشده در مورد روش‌های تعیین میزان صوت در فصول گذشته، مختصری از انواع روش‌های اندازه-گیری میزان صوت و محاسن و معایب هریک در ذیل قابل برداشت می‌باشند:

1 - Wayside measurements
2 - Source measurements

omoorepeyman.ir

دو روش کلی برای اندازه‌گیری صوت بوجود آمده از ترافیک وجود دارد که عبارتند از :

1- اندازه‌گیری بروش کنار مسیر[1]

تأثیر انواع روسازی‌ها را بر مجموع اصوات ترافیکی اندازه‌گیری می‌کند، که دو طریق برای انجام این نوع مطالعه وجود دارد.

- روش اول که روش عبوری آماری[2] نام دارد.

- روش دوم که میانگین زمانی[1] نام دارد

هر دوی این روشها شامل جایگذاری میکروفن‌ها در یک فاصله مشخص از مسیر عبور وسایل نقلیه درکنار راه می‌باشند(شکل2-27).

شکل (4-27)- مجموعه متداول اندازه‌گیری صوت بروش کنار مسیر در دو فاصله 7/5 و 15 متری از خط وسط مسیر عبور

1- Wayside Measurement

2- Statistical by-pass method

omoorepeyman.ir

2- اندازه‌گیری بروش منشأ[2]

کارکرد اصلی این روش اندازه‌گیری تأثیر انواع روسازی‌ها بر صوت ناشی از تماس چرخ و سطح در همان محل تماس می-باشد.

بمنظور اندازه‌گیری صوت حاصله از تماس چرخ با روسازی بروش منشأ دو روش مختلف وجود دارند که هر دو در فاصله بسیار نزدیک به چرخ وسیله نقلیه عمل می‌کنند (شکل4-28).

این دو روش عبارتند از :

1- روش CPX[3]

2- روش CPI [4]

در این روشها میکروفن‌های اندازه‌گیری با چرخ حرکت می‌کنند. در نتیجه اندازه‌گیری بصورت پیوسته یا دارای وضعیت پایدار است و این برخلاف روشهای عبوری با وسیله نقلیه گذرا است.

شکل4-28- مجموعه متداول اندازه‌گیری صوت به‌دو روش CPI و CPX

- روش اندازه‌گیری کنار جاده‌ای

محاسن

1- نتایج برای ترکیبات مختلف ترافیک محاسبه می‌شوند.

1- Time – averaged method
2- Source Measurement
3 - Close Proximity Method
4 - Close Proximity Sound Intensity

omoorepeyman.ir

2- نتایج برای صوت تولید شده از همه منابع (چرخ/سطح راه و دستگاه انتقال قدرت) محاسبه می‌شوند.

3- جهت تعیین اثرات محیطی و تدابیر کاهش صوت مناسب می‌باشد.

معایب:

1- در مجموع، روشهای اندازه‌گیری صدای ترافیک کنار جاده‌ای برای ارزیابی عملکرد روسازی دارای سختیهای زیادی چه از لحاظ زمان آزمایش و چه از لحاظ سختی انجام کار می‌باشند.

2- محدودیت‌های انتخاب محل سایت اندازه‌گیری نیز نباید فراموش شود.

3- این تجهیزات صدای حاصل از تماس چرخ و روسازی[1] را بطور مجزا اندازه‌گیری نمی‌کنند، بلکه تاثیر روسازی بر روی صوت کلی تولید شده از وسیله نقلیه را لحاظ می‌کنند[8].

شکل 4-29- روش اندازه‌گیری کنارجاده‌ای[8]

با توجه به سهم قابل توجه صدای حاصل از تماس چرخ و سطح راه، برای ارزیابی این مجموعه صوت روش‌های نزدیک میدانی[2] محاسن و معایب ذیل را به‌دنبال دارند.

1- Tire/pavement noise

2 - Near Field Measurements

omoorepeyman.ir

- اندازه‌گیری بروش منشأ[1]

محاسن:

1- توانایی تعیین خصوصیات صوتی سطح راه تقریباً در هر سایت دلخواهی.

2- قابلیت استفاده برای کنترل وضعیت نگهداری از جمله خرابی سطح و ...

3- قابلیت جابجایی و حمل و نقل آسانتر و نیز قابلیت نصب راحت‌تر.

4- قابلیت انجام آزمایش در هر سرعت دلخواهی از 48 تا 112 کیلومتر بر ساعت.

5- مناسب برای مقایسه سطوح مختلف روسازی

6- ارزان بودن و پربازده بودن این روش

7- اندازه‌گیری خصوصیات راه در طول زیادی از مسیر

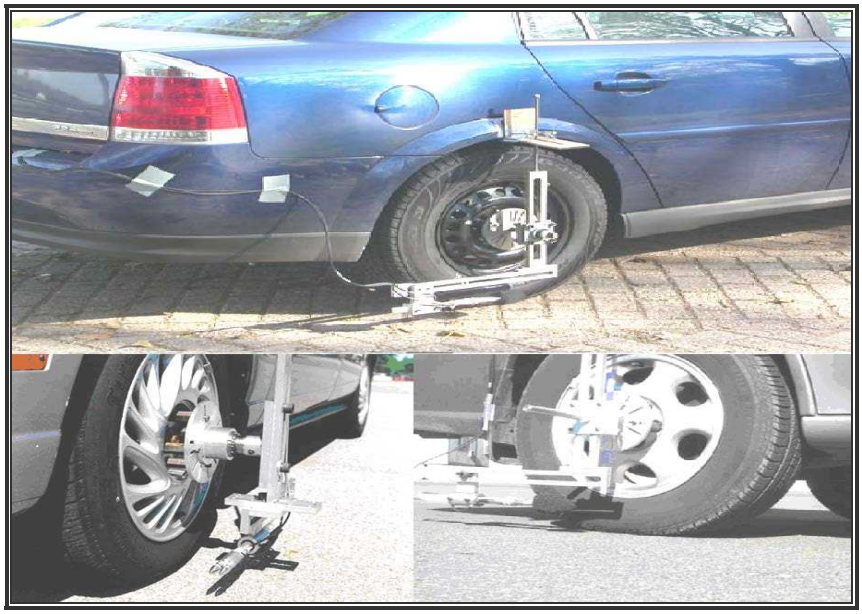
معایب:

1- در مقایسه با روش‌های کنار جاده‌ای قابلیت اندازه‌گیری مجموع اصوات ترافیکی را ندارد.

2- برای ارایه صوت مربوط به یک وسیله نقلیه منفرد کارایی دارد[8].

omoorepeyman.ir

1- Source Measurement



شکل4-30- روش اندازه‌گیری صدای حاصل از تماس چرخ و سطح راه[8]

نتیجه‌گیری

بخش مهمی از صدای تولیدشده خودروها در سرعتهای بیشتر از 50 کیلومتر بر ساعت برای وسایل نقلیه سبک و بیشتر از 70 کیلومتر بر ساعت برای کامیون‌ها، صدای تولیدشده از تماس چرخ و راه می‌باشد.

تحقیقات انجام شده روی مخلوط های آسفالتی گوناگون نشان داده اند که مخلوط های آسفالتی متخلخل بیشترین میزان کاهش صوت ناشی از تماس تایر و روسازی را بدست می دهند.

سه متغیر اصلی که بر روی ضریب جذب صدای آسفالت متخلخل موثر عبارتند از ضخامت لایه، درصد فضای خالی و منحنی دانه‌بندی.

تحقیقات نشان دادند که آسفالت متخلخل تک لایه ای در صورتی بیشترین میزان کاهش صوت اولیه و در طول سال های بهره برداری را می دهد که میزان فضای خالی آن بیش از 22 درصد باشد و حداکثر اندازه مصالح آن 8 میلیمتر باشد.

در راههای شهری دارای آسفالت متخلخل تک لایه ای با سرعت 50 کیلومتر بر ساعت در سال دوم و سوم تغییر سطح صدایی مشاهده نمی‌شود. در راه‌هایی با سرعت بالا، آب با نیروی حاصل از تایر ماشینها و فشار بالا وارد سوراخ‌های سطح شده و آنها را پاکسازی می‌نماید. در حالیکه در سرعت پایین‌تر به علت ناکافی بودن فشار آب، این اثر تمیزکنندگی وجود ندارد و در نتیجه منجر به آن می‌شود که منافذ رویه با آلاینده‌ها و ذرات موجود در سطح مسدود گردد و آسفالت متخلخل کارآیی خود را از دست بدهد.

omoorepeyman.ir

بنابراین آسفالت متخلخل دو لایه‌ای در راه‌های شهری به منظور جلوگیری از پر شدگی سوراخ‌ها، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در پروژه‌ها در لایه بالایی از مصالح سنگی ریزدانه 4 میلیمتری استفاده شده است.

کنترل و اندازه‌گیری میزان صوت در آسفالت متخلخل به دو روش اندازه‌گیری کنار جاده‌ای و روش اندازه‌گیری منشأ که در فاصله بسیار نزدیک به چرخ وسیله نقلیه است، انجام می شود.

با بررسی و مقایسه نتایج ذکر شده برای روش‌های اندازه‌گیری صوت، جهت پیشنهاد بهترین روش در مورد بررسی عملکرد آسفالت متخلخل، اینگونه استنباط می‌شود که روش اندازه‌گیری نزدیک میدانی روش مناسب‌تری از لحاظ کنترل کیفیت روسازی متخلخل در مقایسه با دیگر انواع روسازی‌ها در مقایسه هزینه و سرعت کار و سنجش تمام طول مسیر می باشد. ولی در صورتی که قصد احداث بزرگراه در شهرها و مکان های تفریحی وجود دارد، پیشنهاد می شود از روش کنار جاده ای استفاده شود، زیرا در این روش برآیند همه صداهای تولید شده در فواصل مختلف کنترل می‌شود.

مراجع

1. **بررسی و مقایسه مشخصات فنی آسفالت متخلخل با بتن آسفالتی، پایان نامه کارشناسی ارشد، کورش جایروند -1380**

2- M.S. Roovers, Dr. G.J. van Blokland Literature study on the Rolling Noise of Truck Tyres, January 14th 2002

3- Tyre/road noise – Myths and realities, Swedish National road and transport research institute, 2001 August.

4- Tire/Pavement Noise Characteristics of HMA Pavements, Douglas I. Hanson, Paul Donavon, Robert James, 2006

5- Guy Descornet.Senior Research Scientist, Belgian Road Research Centre, Brussels, Belgium.
"Low-Noise Road Surfaces: European State Of The Art" Association asphalt technology2002.

6- Hans Bendtsen and Bent Andersen.Senior Researcher, Road Directorate, Danish Road Institute, Traffi c noise at two-layer porous asphalt in Denmark "Association asphalt technology.2006.

7- Douglas I. Hanson, Paul Donavon, Robert James "Tire/Pavement Noise Characteristics of HMA Pavements" Association asphalt technology.2006.

8- Tire/Pavement Noise , National Center for Asphalt Technology(NCAT),

omoorepeyman.ir

فصل 5

ارایه روش مناسب برای تعیین مقاومت لغزندگی در آسفالت متخلخل و تعیین متغیرهای مؤثر

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

5- ارایه روش مناسب برای تعیین مقاومت لغزندگی در آسفالت متخلخل و تعیین متغیرهای مؤثر

5-1- مقدمه

معمولاً ارزیابی روسازی‌ها از نظر ایمنی شامل اصل سرخوردن روی رویه راه است که بر حسب مقاومت لغزشی بیان می‌شود و بعضی موسسات آن را اصطکاک می‌نامند.

چندین مؤلفه ارزیابی ایمنی به قرار زیر وجود دارند:

- مقاومت لغزشی
- شیارها (آنهایی که به تجمع آب و خطر هیدروپلانینگ یا یخزدگی مرتبط هستند).
- بازتاب نور رویه راه روسازی
- خط‌کشی خطوط عبوری
- وجود نخاله یا اشیاء خارجی (خصوصاً در روسازی فرودگاهها)

انحراف در نیمرخ عرضی و طولی رویه راه روسازی می‌تواند برای ترافیک عبوری ایجاد خطر نماید، بویژه اگر باعث جمع‌شدگی آب در رویه راه روسازی شود. همچنین ناهمواری می‌تواند راننده‌ها را خسته و باعث ایجاد مشکل ایمنی گردد.

هر یک از عوامل مذکور در بعضی موقعیت‌ها می‌تواند سانحه ایجاد نماید اما لغزندگی روسازی رایج‌ترین و مهمترین عامل است. بدلایل زیر مقاومت لغزشی یکی از پارامترهای مهم ارزیابی روسازی می‌باشد:

- مقاومت لغزشی ناکافی به برخورد شدیدتر تصادفات مرتبط با لغزش منجر می شود.
- بیشتر ادارات راه ملزم به تامین ایمنی در سطح معقولانه ای برای کاربران راه می‌باشند.
- اندازه گیرهای مقاومت لغزشی می‌تواند برای ارزیابی انواع مختلف مواد و روشهای اجرایی مورد استفاده قرار گیرد.

کنترل وسیلهٔ نقلیه و ایمنی فرود هواپیما تا حدود زیادی به خصوصیات سطح روسازی بستگی دارند. اگر روسازی خشک باشد اصطکاک موجود بین لاستیک و سطح روسازی معمولاً زیاد است. در آب و هوای سرد و طوفانی وجود آب (رطوبت) باعث افزایش پتانسیل هیدروپلانینگ یا لغزندگی و ایجاد وضعیت بحرانی می شود، بویژه زمانی که مقاومت سطح روسازی در برابر لغزندگی کم باشد. بر روی یک سطح روسازی مرطوب که فاقد مقاومت کافی در برابر لغزندگی و هیدروپلانینگ است، راننده قادر نخواهد بود کنترل مستقیم خود را بر وسیله نقلیه حفظ نماید.

omoorepeyman.ir

علت اساسی جمع آوری اطلاعات مربوط به مقاومت در برابر لغزندگی سطح روسازی، جلوگیری از وقوع سوانح یا تقلیل آنهاست. از این داده ها برای شناسایی قطعاتی از روسازی که دارای مقاومت کم یا به سرعت روبه کاهش در برابر لغزندگی می باشند استفاده می شود. در نتیجه این اطلاعات می توانند بعنوان ابزاری به منظور اولویت بندی و انتخاب گزینهٔ مناسب ترمیم و نگهداری در خدمت مدیریت قرار بگیرند.

مقاومت در برابر لغزندگی عبارت است از نیرویی که در برابر سرخوردن لاستیک‌ها بر روی سطح روسازی، هنگامی که از چرخیدن لاستیک‌ها ممانعت می شود عمل می‌کند. اگرچه مقاومت در برابر لغزندگی بعنوان یک ویژگی سطح روسازی قلمداد می‌شود لیکن شرایط مختلفی غیر از شرایط سطح روسازی بر نیروی عمل کننده بین لاستیک و روسازی تأثیرگذار هستند: از جمله فشار لاستیک، آج لاستیک، وجود آب، درجهٔ حرارت بارگذاری و سرعت وسیلهٔ نقلیه. پدیده آب‌لغزی زمانی بوقوع می‌پیوندد که سطح لاستیک و سطح روسازی بوسیله آب یا آلاینده‌ها از یکدیگر جدا شده باشند.[1]

2-5- ارزیابی مقاومت لغزشی

پدیده لغزش ارتباط پیچیده‌ای با عوامل روسازی، آلودگی رویه راه روسازی با روغن و آب، عوامل مربوط به وسیلهٔ نقلیه (سرعت ، فشار لاستیک، بارچرخ، و آج لاستیک) و عوامل مربوط به روسازی (خصوصیات سطح رویه و زهکشی) و عوامل انسانی دارد. با این حال به خاطر اهمیت مقاومت لغزشی در ایمنی ترافیک، تحقیقات در توسعه مفهوم این پدیده و روشهای اندازه‌گیری آن بسیار موفق بوده‌اند.

همانطور که در فصل 4 اشاره شد، مشخصه‌های سطح روسازی بر اساس عمق و طول موج به چهار دسته شامل بافت ریز، بافت درشت، بافت مگا و بافت ناهموار طبقه‌بندی می‌شوند. که در بین این چهار نوع بافت، بافت درشت و بافت ریز بر مقاومت لغزشی موثرند. در حقیقت بافت درشت در شرایط مرطوب و بافت ریز در شرایط خشک کنترل کننده مقاومت لغزشی هستند.

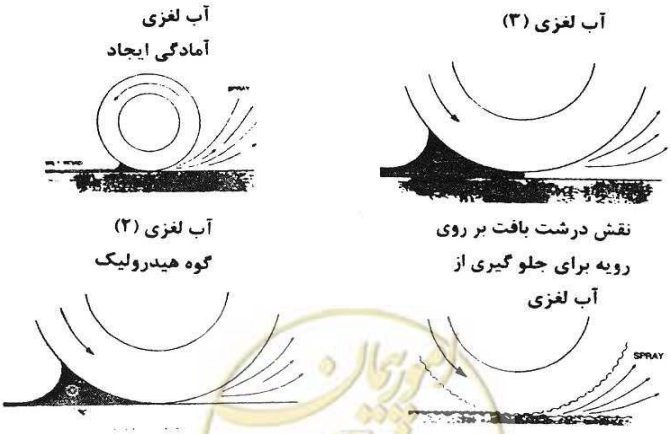
مقاومت لغزشی خوب نتیجه کنترل بافت ریز و بافت درشت سطح رویه می‌باشد. بافت ریز موجب می‌شود که یک دانه هنگامی که آن را با دست لمس می‌کنیم صاف یا ناهموار به نظر بیاید. بافت ریز مصالح بر اساس زبری اولیه و توانایی آنها در برابر صاف شدن انتخاب می‌شود، هنگامی که در معرض عمل صیقل شدن ناشی از عبور ترافیک قرار می‌گیرند.

omoorepeyman.ir

بافت ریز سطح رویه از آنجائی که موجب ایجاد چسبندگی با لاستیک می‌شود در ایجاد اصطکاک سهیم است. برای تامین مناسب توقف وسایل نقلیه در سرعت‌های نزدیک به **km/h** 80 بر روی روسازی در شرایط خشک و مرطوب بافت ریز خوب لازم است. در سرعتهای بالاتر وجود بافت ریز و درشت در شرایط مرطوب سطح روسازی برای تامین توقف مناسب وسایل نقلیه لازم است. [2]

بافت درشت به زبری در مقیاس بزرگتر که از ترتیب استقرار دانه‌ها ناشی می‌شود اشاره می‌کند. شکل، اندازه، دانه بندی مصالح سنگی درشت‌دانه و ترتیب استقرار دانه‌ها تعیین کننده این نوع بافت می‌باشند. خصوصیات مخلوط و عوامل محیطی همانند درجه حرارت بر چگونگی مقاومت بافت درشت در برابر ترافیک اثر گذار هستند. بافت درشت نقش مهمی در مشخصه‌های اصطکاکی رویه در شرایط مرطوب بویژه در سرعتهای بالا ایفا می‌کند. بنابراین روسازی هایی که اجرا می‌شوند برای تطبیق با سرعت سفر(80 km/h) یا بیشتر بایستی دارای بافت درشت خوبی برای جلوگیری از پدیده آب لغزی هستند. در شکل 5-1 فرایند ایجاد پدیده آب لغزی نشان داده شده است. [3]

تحقیقات انجام شده توسط TRL در سال‌های دهه 1950 و 1960 روابطی بین مقاومت لغزشی، سرعت و بافت درشت (بافت ماکروسکوپی) برقرار کرد (Roe Etal, 1988). سپس به تأثیر بافت ماکروسکوپی و میکروسکوپی بر روی تصادفات گسترش یافت. بر پایه این روابط، صاحبان امر در بزرگراه‌ها در کشورهای اروپایی حداقل مقادیر را برای بافت ماکروسکوپی به منظور کاهش دادن زیان مقاومت لغزشی به صورت افزایش سرعت برای کاهش دادن خطر تصادفات لغزشی و آب لغزی معین کردند. [2]



شکل 5-1- طرح شماتیک ایجاد آب‌لغزی [2]

omoorepeyman.ir

چندین روش مورد استفاده برای ایجاد بافت درشت بر روی رویه یک راه به شرح زیر می‌باشد[2]:

- رویه‌های بتنی به طور کلی به وسیله آرماتورهای سیمی کشیده شده که در عرض رویه بتنی واقع شده‌اند بافت‌دار شده‌اند. همچنان که در شکل (5-2) نشان داده شده است، این یک سری از آبریزهای دقیق و منظم از هم جا داده شده در جهت عرض جاده ایجاد می‌کند.
- آسفالت‌های مختلف به روش‌های گوناگونی بافت‌دار شده‌اند. در بریتانیا عمومی‌ترین روش، غلتک زدن مصالح سنگی چیپینگ به داخل رولد آسفالت جدید می‌باشد. Guss Asphlt با یک غلتک، الگویی از تو رفتگی مربع شکل را بر روی رویه سرد ایجاد می‌کند.
- به طور کلی آرایش رویه برای وارد کردن یک سطح دارای بافت بالا به عنوان یک راهکار علاج بخش برای رویه‌هایی که افت بافت درشت دارند، استفاده شده است.

رسیدن به بافت درشت مطلوب هم به وسیله استفاده از مصالح سنگی چیپینگ غلتک شده به داخل قیر و یا به وسیله آرایش رویه، یک الگوی تصادفی از برآمدگی‌های کوچک بصورتی که در شکل (5-3) تشریح شده، ایجاد می‌کنند.

این بافت ماکروسکوپی ضرر مقاومت لغزشی و تأخیرهای آغاز پدیده آب‌لغزی را به وسیله کاهش ضخامت فیلم‌های آب در تماس با تایر و به وسیله تهیه گپ‌هایی برای هدر دادن فشار در گوه هیدرولیکی کاهش می‌دهد. به هر حال، ایجاد بافت ماکروسکوپی با چنین راهکارهایی از یافته‌های روش‌های جلوگیری از پدیده آب‌لغزی در جاده‌ها بوده نه در فروردگاهها. این عدم توانایی به خاطر ترکیبی از موارد زیر نمایان می‌شود [2].

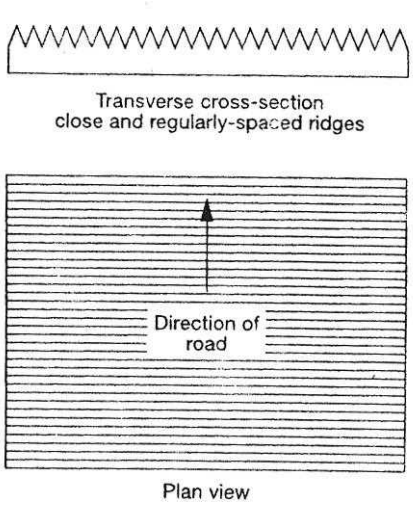
- سرعت خیلی زیاد هواپیما هنگام فرود در مقایسه با سرعت ترافیک جاده‌ای
- مشخصه زهکشی پائین باند پرواز

این عوامل می‌تواند به شرایط خیلی تر، یا حتی سیل منجر شود. جایگزینی رویه‌های مرسوم فرودگاه‌ها با آسفالت متخلخل بهبود بسیار زیادی را ایجاد نمود. این بهبود می‌تواند به موارد زیر نسبت داده شود:

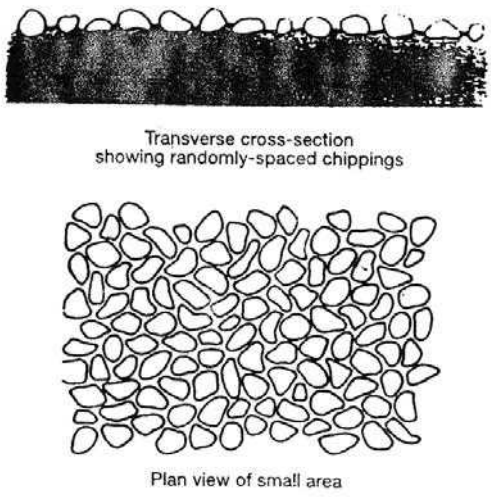
- آسفالت متخلخل کاهش خیلی زیادی در مقدار آب واقع بر روی لایه سواره‌رو دارد، حتی هنگامی که اشباع شده، آسفالت متخلخل به خاطر منافذش فشار هیدرولیکی را از بین می‌برد.

omoorepeyman.ir

معیار بریتانیا برای بافت ماکروسکوپی برای بزرگراه‌های با رویه مرسوم دارای بافت مثبت[1] همانند معیار مورد نظر برای PSV[2] مصالح سنگی توسعه داده شده بود. در مواردی که PSV یکسان وجود دارد، آسفالت متخلخل مقاومت لغزشی بهتری نسبت به رویه‌های آسفالتی مرسوم از خود نشان می‌دهد، اگرچه تحقیقات دیگر عملکرد یکسانی را نشان می‌دهد در نتیجه معیار بافت و PSV برای آسفالت‌های دارای بافت منفی[3] تحت بازنگری قرار گرفتند[2].



شکل 5-2- بافت سطحی بر روی بتن [2]



شکل 5-3- بافت سطحی بر روی رویه‌های آسفالت سنتی [2]

1- Positiv Texture
2- Polished Stone Value
3- Negative Texture

omoorepeyman.ir

زهکشی یکی دیگر از مشخصه‌های با اهمیت سطح روسازی است. در یک سیستم زهکشی مناسب، مجراهایی برای خروج آب پیش بینی شده است که این امر برقراری تماس بین لاستیک و سطح روسازی را امکان‌پذیر می‌سازد. میزان مؤثر بودن سیستم زهکشی را می‌توان بوسیله اندازه‌گیری نسبت اصطکاک بلافاصله پس از پاشیدن آب بر روی سطح روسازی و در فواصل زمانی معین پس از آن و تعیین میزان افزایش اصطکاک ارزیابی کرد. [1]

بیشتر اندازه‌گیری‌های استاندارد مقاومت لغزشی در سرعت‌ها و شرایط بی‌نهایت تر انجام نشده است که مربوط به موقعی هستند که ممکن است پدیده آب لغزی رخ دهد. تحت چنین شرایطی، آسفالت متخلخل به طور قابل ملاحظه‌ای بهتر از رویه‌های مرسوم می‌باشد. که این خود سئوالی است که چرا در ابتدا در باند فرودگاه‌ها استفاده شده است [2].

3-5- مفاهیم پایه مقاومت لغزشی و استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده

اصطکاک نیرویی است که همواره در خلاف جهت حرکت عمل می کند. ضریب اصطکاک بعنوان نسبت نیروی اصطکاکی که در صفحه مشترک اثر می کند و نیروی عمود (normal) بر این صفحه تعریف شده است. در فیزیک μ، (ضریب اصطکاک) از تقسیم مقاومت سایشی ناشی از حرکت در سطح مشترک،(F)، بر باری که به شکل قائم بر آن اثر می‌نمایند (L)، محاسبه می‌گردد. μ وابسته به سطح تماس است و به همین دلیل نشان‌دهنده مناسب اندرکنش بین چرخ و رویه روسازی نیست. به دلیل اینکه مقاومت لغزشی ارتباط بین مشخصه‌های روسازی با پارامترهای وسیله نقلیه و کاربر وسیله نقلیه را در برمی‌گیرد، در نتیجه مقاومت لغزشی مشخصه اصلی قطعه روسازی محسوب نمی‌گردد. در واقع مشخصه روسازی که بر مقاومت لغزشی اثر می‌نماید بافت درشت و ریز رویه راه روسازی است.

در هر حال مهندسین روسازی معمولا ترجیح می‌دهند اصطکاک را بصورت نسبت اصطکاک $f=F/L$ محاسبه نمایند، که در آن F نیروی اصطکاک و L نیروی عمودی است. [1]

به دلیل اینکه نسبت دادن ویژگی f به روسازی بدون تعیین پارامترهای مؤثر بر آن همانند چرخ، سرعت، دما، لایه نازک آب و ... درست نیست، استانداردهایی برای اندازه‌گیری مقاومت لغزشی ایجاد شده‌اند. مشهورترین استاندارد، لغزش تریلر با چرخهای قفل[1] شده است که در ASTM E274 تشریح شده است. پارامتر اندازه‌گیری شده بر حسب این استاندارد عدد لغزندگی (SN) نامیده و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

1- Locked Wheel

omoorepeyman.ir

$$SN = 100\ f$$

ارزیابی اصطکاک در رویه راه روسازی در عمل به وسیله مومتر (اصطکاک‌سنج) به طور مداوم انجام می‌گیرد. نیروی مورد نیاز جهت نگه‌داشتن چرخ در یک زاویه ثابت با مسیر حرکت اندازه‌گیری می‌شود.

تصادفات در اثر لغزش نه تنها در اثر سرخوردن مستقیم (در حین توقف اضطراری) ناشی از قفل شدن چرخها، بلکه در اثر سرخوردن در پیچها(جایی که فقط یکی یا یک جفت از چرخها قفل می‌شوند) نیز اتفاق می‌افتد. بیشتر تصادفات در شرایط خیس یا یخزدگی رویه راه اتفاق می‌افتد. بنابراین اندازه‌گیری‌های مقاومت لغزشی معمولا بر روی روسازی‌های خیس انجام می‌شوند. اندازه‌گیری‌ها انجام شده به وسیله استانداردهایی نظیر ASTM E274 ارزیابی قابل درکی را برای یک وسیله نقلیه خاص یا راننده فراهم نمی‌کند. زیرا عدد اندازه‌گیری شده به نوع لاستیک، مقدار عاج لاستیک و مانور وسیله نقلیه (افزایش سرعت، کاهش سرعت، تغییر خط و ...) و علاوه بر این به خصوصیات زهکشی و بافت رویه راه روسازی بستگی دارد. مقادیر SN به دست آمده از یک روش استاندارد نشان دهنده قابلیت یک روسازی جهت حفظ اصطکاک مورد نیاز وسایل نقلیه می‌باشد.

بسیاری از مطالعات انجام شده در زمینه مقاومت لغزشی تا سال 1972 در گزارش شماره 14 موسسه NCHRP جمع‌آوری و خلاصه شده است (HRB-72). این گزارش نه تنها روشهای مختلف اندازه‌گیری بلکه ملزومات مقاومت لغزشی و طرح‌های مختلف و اقدامات اصلاحی که ممکن است در نظر گرفته شود را شامل می‌شود. همچنین، در این گزارش قید شده است که داده‌های مقاومت لغزشی برای اهداف مدیریت روسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند:

1. شناسایی نواحی با خطر لغزندگی زیاد
2. برنامه‌ریزی نگهداری
3. ارزیابی انواع مختلف مصالح و عملیات جدید ساخت

omoorepeyman.ir

4-5- روشهای اندازه‌گیری مقاومت لغزشی

همه روشهای اندازه‌گیری مقاومت روسازی بر پایه تجربه استوارند. نتایج تولید شده به وسیله ابزار و روشهای مختلف هنگامی معنی‌دار هستند که ارزیابی‌های مرتبط با معیارهای تجربی اثبات شده در طول زمان با استفاده از روش استاندارد توسعه داده شود. بدین ترتیب تبعیت از روشهای استاندارد برای کالیبراسیون و استفاده از ابزار بسیار اهمیت دارد. در ادامه روشهای اندازه‌گیری مقاومت لغزشی بیان شده است. [4]

5-4-1- روش چرخ قفل شده

یکی از کاربردی‌ترین روشهای اندازه‌گیری مقاومت لغزشی در امریکای شمالی ASTM E274 است. این روش نیاز به استفاده از یک تریلی چرخ قفل شده دارد.(شکل 5-4) در این روش ابتدا تریلر (یدک) هایی که دارای یک یا دو چرخ می باشند با سرعت معین کشیده می شوند. سپس در حین حرکت تریلر، چرخ آزمایشی را قفل کرده و در مقابل آن آب می پاشند. بعد از اینکه چرخ آزمایش قفل می‌شود و مسافت مناسبی را در حالت سرخوردن طی می‌کند، و درجهٔ حرارت آن تثبیت شد، نیروی اصطکاک در مسیر تماس لاستیک برای دورهٔ معینی از زمان ثبت شده و عدد لغزندگی برای قطعه روسازی محاسبه می‌شود.نتیجه آزمایش بعنوان عدد لغزندگی (SN) گزارش می شود که بصورت زیر تعریف شده است :

$SN = 100\ f$

قسمت‌های اصلی این وسیله عبارتند از:

1. لاستیک، بر اساس استانداردهای ASTM
2. ترمز برای قفل کردن چرخ
3. یک تانک آب و آب‌پاش متصل به آن برای خیس کردن روسازی با یک لایه نازک و یکنواخت آب
4. یک مبدل نیرو برای اندازه‌گیری نیروی مورد نیاز جهت کشیدن تریلر چرخ قفل شده.

بیشتر ادارات در امریکای شمالی تریلر لغزش دارند. روشهای نصب تریلر روی اتومبیل برای اندازه‌گیری مقاومت لغزشی به نظر ایمن می‌رسند ولی اگر همه چرخها قفل شوند خطرناک هستند. اگر تنها از ترمز چرخهای جلو یا چرخهای قطری استفاده شود، ناپایداری مذکور تا حد زیادی کاهش می‌یابد (Horne 70). یکی از معایب اصلی روشهایی که از اتومبیل استفاده می‌کنند تغییرات نتایج آزمایش به واسطه اثرات وسیله نقلیه (نظیر اختلاف در سیستم‌های تعلیق، وزن،

omoorepeyman.ir

لاستیک‌ها، شرایط، توزیع بار، فشار چرخها و ...) است. همچنین طرق مختلف تهیه آب برای خیس کردن روسازی به طور عمده‌ای هزینه‌های چنین آزمایشاتی را افزایش می‌دهد. [4]

شکل5-4- تجهیزات اندازه‌گیری مقاومت لغزشی به روش چرخ قفل شده

5-4-2- روش پاندول انگلیسی[1]

یکی از رایج ترین وسایل آزمایشگاهی قابل حمل که شاید بهترین نمونه آن دستگاه پاندولی ساخته شده به وسیله آزمایشگاه تحقیقات راه و حمل و نقل انگلستان باشد (Biles 62) در ASTM E303 تشریح شده است. (شکل 5-5) . این دستگاه از یک کفشک لاستیکی تشکیل شده که به آونگی که بر روی نمونه ای از سطح مورد بررسی نوسان می کند، متصل می باشد.

نتیجهٔ این آزمایش بعنوان اعداد پاندول انگلیسی (BPN) گزارش می شود. از این دستگاه برای بررسی بافت ریز روسازی استفاده می‌شود.

omoorepeyman.ir

1- Pendulum Test

مزایای اصلی این وسیله عبارتند از: قابلیت استفاده در شرایط آزمایشگاهی و تقاطع‌ها، سادگی استفاده، هزینه کم و قابلیت حمل آن. اما استفاده از آن در شرایط میدانی نیاز به تغییر مسیر یا بستن ترافیک عبوری دارد. همچنین به دلیل اینکه کفشک لاستیکی تنها در سرعت کم با رویه راه روسازی تماس پیدا می‌کند بنابراین نتایج آن با نتایج آزمایش تریلر چرخ قفل شده که در سرعت 40 مایل در ساعت انجام می‌شود همبستگی خوبی ندارد.[1]

شکل5-5- دستگاه پاندول انگلیسی

5-4-3- روش لغزش ثابت

چندین دستگاه دیگر برای اندازه‌گیری مقاومت لغزشی در حالت سرش وجود دارد. کارکرد این دستگاهها بدینگونه است که وقتی یک چرخ به کمک ترمز به تدریج متوقف می‌شود، ضریب اصطکاک تا لحظه سرش بحرانی شروع به افزایش یافتن می‌کند و بعد از اینکه چرخ قفل می‌شود، ضریب اصطکاک افت می‌کند. در نقطه سرش بحرانی، ضریب اصطکاک بیشتر از وقتی است که چرخ قفل می‌شود. این پدیده در توسعه سیستم‌های کنترل اتوماتیک ترمز وسایل نقلیه نقش بسیار مهمی داشته است. در گزارش شماره NCHRP 14 نشان داده شده است که نسبت f_{max} (ضریب اصطکاک

omoorepeyman.ir

در سرش بحرانی) به f_{lock} (ضریب اصطکاک در شرایط قفل‌شدگی چرخ) با بافت رویه راه، نیروی اصطکاک و دما تغییر می‌کند (HRB 72).

لغزش یا سُرش (S) بصورت زیر تعریف می‌شود :

$$S = 100 \times \frac{W_0 - W}{W_0}$$

که در اینجا

W= سرعت زاویه ای چرخ در حالت غلتش آزاد

W = سرعت زاویه ای چرخ در زمان اندازه گیری

چنانچه چرخی را که در مسیر مستقیم در حال حرکت است ترمزگیری کنیم مقدار سُرش هنگامی که چرخ قفل می شود تا میزان 100 درصد افزایش می یابد. نسبت اصطکاک با افزایش مقدار سُرش، افزایش پیدا می کند تا اینکه به یک مقدار حداکثر در نقطه « سُرش بحرانی » برسد و آنگاه شروع به کاهش یافتن می کند تا اینکه چرخ ها قفل شوند.

سرش بحرانی و نسبت f_{max} / f_{lock} تابع بافت سطح رویه و درجهٔ حرارت آن است. بنابراین آنها را تنها با یک اندازه گیری مناسب می توان بدست آورد.

پدیدهٔ سُرش بحرانی از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است زیرا نشان می‌دهد که حداکثر اصطکاک نه هنگامی که چرخ‌ها قفل شده‌اند بلکه در محدودهٔ سرش 10 تا 15 درصدی بوقوع می‌پیوندد. این شناخت به توسعه سیستم‌های کنترل خودکار ترمز در اغلب هواپیماها منجر گردیده است.

دستگاه‌های اندازه‌گیری بر اساس این روش، جهت اندازه‌گیری خصوصیات اصطکاکی سطح روسازی برای خودروهای مجهز به سیستم ترمز ضد قفل می‌باشد. با توجه به اینکه در وسایل با لغزش ثابت، نسبت لغزش کمی انتخاب گردیده است، بنابراین آنها می‌توانند اندازه‌گیری مقاومت اصطکاکی را به طور پیوسته فراهم آورند. اندازه‌گیری اصطکاک در چرخ ویژه این تجهیزات معمولاً در سرعتی بین 10 تا 20 درصد سرعت ماشین اصلی آزمایش است. بنابراین، اگر وسیله آزمایش با سرعت 65 کیلومتر در ساعت حرکت نماید و نسبت لغزش این گونه دستگاه ها 20 درصد باشد، سرعت چرخ اندازه‌گیری وسیله برابر است با: 65*0/2=13km/hr

واضح است که این گونه وسایل، مقاومت لغزشی در سرعت پایین را می سنجند و بنابراین بیشتر بافت ریز سطح روسازی را منعکس می‌کنند.

omoorepeyman.ir

در روش سرش برای اندازه گیری مقاومت در برابر لغزندگی تجهیزات متنوعی در اختیار قرار دارند. از یک لاستیک استاندارد بر طبق استاندارد شمارهٔ ASTM-E274 استفاده می‌شود.

5-4-4- روش لغزش متغیر

وسایل لغزش متغیر برای اندازه‌گیری در هر سرعت لغزش دلخواه طراحی شده اند. به طور معمول آنها دارای ابزارهای سنجش خودکار برای طیف وسیعی از سرعتهای لغزش می‌باشند و قابل نوعی برنامه ریزی هستند تا که حداکثر اصطکاک قابل دستیابی را در طیف وسیعی از لغزشها جستجو و مشخص نمایند. تجهیزات ساخته شده با این ویژگی باید قادر به انجام آزمایش در هر دو حالت چرخ لغزش ثابت و متغیر باشند.

سرعت دورانی چرخ آزمایش قابل کنترل است و می‌توان آنرا همانند تجهیزات با لغزش ثابت در حد معینی ثابت نمود. البته دستگاه‌های با لغزش متغیر قادرند که بر اساس پیش فرضشان در محدوده وسیعی از سرعت های لغزشی آزمایش را انجام دهند. حسگرهایی در این دستگاه‌ها تعبیه شده‌اند، که بر اساس سرعت دورانی چرخها آزمایش شدت ترمز را تنظیم می‌کنند. سیستم ترمز باید به گونه‌ای باشد که سرعت دورانی چرخ آزمایش در محدوده 2%±7٪ هر کدام از نسبت‌های لغزش باشد.

هنگامی که تریلر آزمایش با سرعت مشخص، معمولا 65 کیلومتر بر ساعت، حرکت می‌کند و ترمزگیری بر روی لاستیک صورت نمی پذیرد، سرعت دورانی لاستیک برابر با سرعت آزمایش می‌باشد. هنگام ترمزگیری این سرعت شروع به کاهش می‌کند. در بحرانی ترین حالت، وقتی که سرعت دورانی چرخ آزمایش به صفر رسید، این چرخ در امتداد جاده شروع به لغزش می‌کند. در این حالت، شرایط کاملا همانند وضعیت چرخ قفل شده خواهد بود. در عمل، سرعت لغزش به اندازه‌ای بزرگتر از صفر به منظور جلوگیری از بوجود آمدن فرسودگی و سایش زیاد در لاستیک، کنترل می‌شود.

مزیت عمده دستگاه لغزش متغیر این است که ارتباط بین اصطکاک لغزشی و سرعت لغزش در طیف وسیعی از سرعت های لغزش قابل حصول است، در حالی که سایر انواع تجهیزات فقط در یک سرعت لغزش اندازه‌گیری می‌کنند. با توجه به پیش فرضهای موجود درون سیستم، هر نسبت لغزشی را می‌توان برای دستگاه تعریف نمود.

omoorepeyman.ir

5-4-5- روش انحراف از مسیر یا نیروی جانبی

همچنین چندین دستگاه وجود دارند که مقاومت لغزشی را در حالت انحراف اندازه‌گیری می‌کنند. در این دستگاه‌ها چرخ‌ها نسبت به جهت حرکت کمی منحرف و زاویه‌دار می‌شوند و نیروی جانبی در بعضی زوایای انحراف اندازه‌گیری می‌شوند.

اندازه‌گیری اصطکاک روسازی در این روش مشکلاتی شبیه به روش اندازه‌گیری حالت سرش دارد. زاویه انحراف بحرانی در معرض تغییراتی مشابه با سرش بحرانی است. حالت ایده‌آل آن است که آزمایش با زاویه انحرافی انجام شود که نسبت به تغییرات مشخصات رویه راه و شرایط عملیاتی غیرحساس باشد.

یک نمونه نسبتا ساده از اینگونه تجهیزات، دستگاه مومتر است که اخیراً به طور عمده در ارزیابی‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. این دستگاه که دارای دو چرخ منحرف با زاویه 7/5 درجه است، ابتدا در انگلستان ساخته و مورد استفاده قرار گرفت و به وسیله آن نیروی مورد نیاز جهت نگهداری زاویه انحراف لاستیک اندازه‌گیری می‌شود.

دستگاه دیگری که برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک جانبی به کار می‌رود اسکریم (SCRIM)[1] است که به وسیله آزمایشگاه تحقیقات راه و حمل و نقل انگلستان ساخته شد (شکل5-6). چرخ مورد آزمایش با انحراف 20 درجه از مسیر حرکت روی این وسیله نصب شده که در هنگام آزمایش با یک بار معین بر روی سطح رویه می لغزد. هنگامی که از آن استفاده نمی‌شود قابل بالا بردن بوده و دارای قابلیت چرخش آزادانه است. در جلوی چرخ آزمایش یک جریان آب قابل کنترل وجود دارد که در هنگام انجام آزمایش فورا سطح رویه را خیس می‌کند (شکل5-7) و چرخ آزمایش در جهت رو به جلو بر روی سطح خیس شده رویه می لغزد. نیروی تولید شده بوسیله این عمل مرتبط با مقاومت لغزشی رویه در شرایط خیس می‌باشد. ضرایب اصطکاک اندازه‌گیری شده به وسیله این دستگاه به نام ضریب نیروی جانبی (SFC[2]) گزارش می‌شوند به طوری که:

$$SFC = 100F$$

SFC از نظر عددی مشابه عدد لغزندگی SN است که از آزمایش تریلر چرخ قفل شده بدست می‌آید. دستگاه SCRIM قادر به ثبت مقادیر بطور پیوسته و کار در سرعت های زیاد(>65km/h) است.

omoorepeyman.ir

۱- Sideways-Force Coefficient Routine Investigation Machine
۲- Sideways Force Coefficient

مزایای اصلی دستگاهی نظیر اسکریم ثبت پیوسته مقاومت لغزشی و قابلیت کار در سرعت عملیات بالا (>65km/h) است و عیب اصلی آن، هزینه زیاد اولیه است.

شکل 5-6 نمایی از دستگاه SCRIM

شکل 5-7 نمایی از چرخ دستگاه SCRIM

omoorepeyman.ir

5-5- بافت روسازی

مقاومت لغزشی در سطح تماس روسازی با تایر خودرو به بافت درشت و ریز بستگی دارد. روشهای مختلفی برای تعیین بافت درشت روسازی وجود دارد. یک روش بی‌نظیر جهت تخمین غیرمستقیم مقاومت لغزشی به وسیله شونفلد ارایه شد. در این روش با استفاده از دستگاه عکس‌برداری سه بعدی رنگی عناصر بافت رویه راه روسازی بر حسب شماره کد بافت، تحلیل می‌شود (Schonfeld 70). این روش با آزمایش‌های لغزش همبستگی دارد. همبستگی زمانی معقول خواهد بود که انحراف استاندارد SN از حدود $3 \pm$ (برای 30 مایل در ساعت) تا $3/2 \pm$ (برای 60 مایل در ساعت) تغییر کند. [4]

اگرچه روش شونفلد در حالت دستی خیلی کند است اما همبستگی بین بافت و مقاومت لغزشی یک یافته مهم است. به دلیل وجود توانایی در اندازه‌گیری بافت درشت روسازی از یک وسیله نقلیه در حال حرکت در سرعت‌های طبیعی، تحقیق بیشتر به سوی توسعه یک روش اتوماتیک، شاید به کمک روشهای پردازش تصویر، جهت تحلیل عناصر بافت شونفلد می‌تواند مقرون به صرفه باشد.

دیگر روشهای تعیین بافت درشت روسازی شامل روش پخش ماسه مطابق با ASTM E965، روش پخش مایع، و روش استفاده از لیزر می‌شود. از معایب روشهای پخش ماسه و پخش مایع، وقت گیر بودن و ایجاد محدویت‌های ترافیکی برای وسایل نقلیه، هنگام انجام این آزمایشها می‌باشد. مزیت روش لیزری سرعت بالا و عدم محدودیت ترافیکی است.

5-6- همبستگی‌های میان اندازه‌گیری‌های لغزش

متأسفانه همبستگی بین ابزارهای مختلف اندازه‌گیری لغزش به دلیل اینکه هر کدام از این ابزار، جنبه‌های مختلفی از اندرکنش اصطکاکی بین وسیله نقلیه و روسازی را اندازه‌گیری می‌نمایند خوب نیست و نتایج آنها با همدیگر اختلاف زیادی دارند. اگر برخی از همبستگی‌ها نسبتاً خوب باشد – در برخی شرایط محدود – آنها را باید به عنوان استثنا تلقی نمود. ناتوانی در ایجاد همبستگی پایدار بین اندازه‌گیری‌های لغزش بر ماهیت تجربی آن تأکید می‌نماید و باعث توجه به توسعه معیار حداقل مقاومت لغزشی روسازی می‌نماید.

omoorepeyman.ir

7-5- تغییر مقاومت لغزشی با زمان، ترافیک و آب و هوا

ارزیابی مقاومت لغزشی، به ویژه جهت تأمین نیازهای ترمیم‌های آتی، بایستی تغییرات زمان و یا ترافیک و نیز شرایط آب و هوا را لحاظ نماید. دوره‌های زمانی کوتاه مدت یا بلندمدت را می‌توان بعداً دخالت داد (مثلاً بارندگی یا یخبندان کوتاه‌مدت را در مقایسه با تغییرات فصلی آب و هوا).

مقاومت لغزشی با زمان تغییر می‌کند. بطور نمونه در دو سال اول پس از اجرا افزایش می یابد و همچنانکه قیر بوسیله عبور ترافیک ساییده می شود. سپس در عمر باقیمانده روسازی مقدار آن کاهش می یابد بطوریکه سنگدانه ها صیقلی تر می شوند. مقاومت لغزشی همچنین در فصل پاییز و زمستان زیادتر بوده و در فصل بهار و تابستان کمتر است. این تغییرات فصلی کاملا مهم بوده و اگر بدرستی جبران نشود، می‌تواند موجب انحراف زیاد داده های مقاومت لغزشی گردد. (Jayawickrama and Thomas, 1998)

ملاحظه تغییرات زمان، ترافیک و آب و هوا در مقدار مقاومت لغزشی نیازمند اندازه‌گیری‌های دوره‌ای است. تغییرات متعدد در ماهیت رویه راه روسازی بایستی به عنوان عوامل سهیم در تغییر مقاومت لغزشی شناخته شوند. این تغییرات عبارتند از:

1. تخلخل
2. فرسایش (ناشی از چرخهای یخ‌شکن)
3. صیقلی‌شدن مصالح رویه راه
4. شیارافتادگی (در اثر تراکم، سایر خرابیها، فرسایش)
5. قیرزدگی
6. آلودگی (روغن، آب و ...)

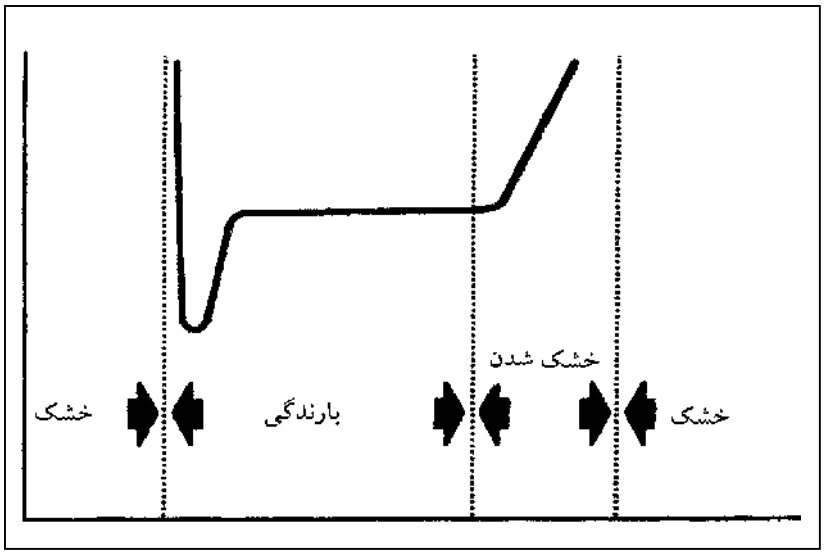
در کوتاه‌مدت، تغییر مقاومت لغزشی معمولاً در اثر بارندگی به سرعت رخ می‌دهد شکل(5-8). در بلندمدت بر مبنای فصول مقاومت لغزشی ممکن است نوسان داشته باشد شکل (5-9). در دوره‌های طولانی‌مدت – چند سال یا میلیون‌ها وسیله نقلیه عبوری – گفته می‌شود که مقاومت لغزشی به طور مداوم کاهش پیدا می‌کند شکل (5-10). [1]

پیش‌بینی تغییر مقاومت لغزشی با زمان یا ترافیک می‌تواند به دو روش انجام پذیرد:

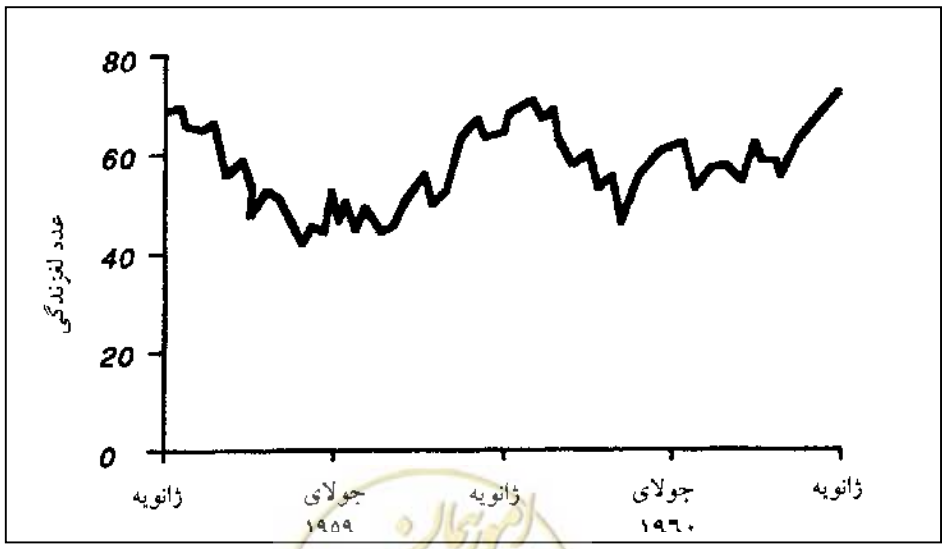
1. برونیابی از سری داده‌های موجود و تعیین داده‌های آتی

omoorepeyman.ir

2. انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی یا در مرحله طرح اولیه یا قبل از اندازه‌گیری پارامترهای گزینه های ترمیم طرح شده (آزمایش مشخصه صیقلی‌شدن مصالح، بافت، شکل، اندازه، آزمایش راه صحرایی یا آزمایش- مخلوط‌های مشابه و ...) این رویکرد ارتباط کمی با مقاومت لغزشی واقعی ایجاد می‌نماید.

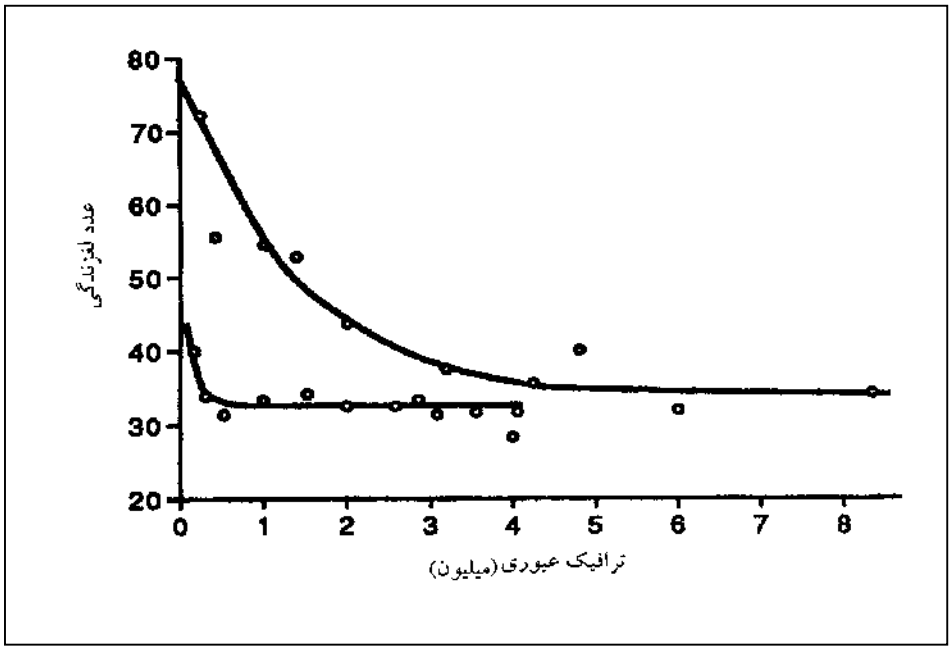


شکل 5-8- نمونه ای از تغییر مقاومت لغزشی به واسطه باران (HRB 72)



شکل 5-9- نمونه ای از تغییر فصلی در مقاومت لغزشی (HRB 72)

omoorepeyman.ir



شکل 5-10- نمونه ای از کاهش مقاومت لغزشی در اثر عبور ترافیک

5-8- جمع‌بندی و انتخاب روش اندازه‌گیری

بطور کلی در این بخش برای اندازه‌گیری مقاومت لغزشی سطح رویه روشهای مختلفی معرفی شد. استفاده از روشهای لغزش ثابت و انحراف مسیر به لحاظ عملکردشان در سرعت‌های پایین تقریبا نتایج مشابهی را منعکس می‌سازند. عامل اصلی به وجود آورنده مقاومت اصطکاکی در این دستگاه‌ها بافت ریز سنگدانه است. سایش لاستیک چرخ در این تجهیزات نسبتا کم بوده و برای اندازه‌گیری اصطکاک در مسافتهای طولانی و اندازه‌گیری پیوسته مناسب هستند. در سیستم چرخ قفل شده سرعت اندازه‌گیری 65 کیلومتر بر ساعت است. در این سیستم ها میزان استهلاک لاستیک بسیار بالا بوده و برای فواصل طولانی کاربرد مناسبی ندارند. مقاومت لغزشی بدست آمده در این روش با توجه به سرعت بالا انعکاس دهنده نقش بافت درشت سطح رویه می‌باشد.

دستگاه‌های با سرعت لغزش متغیر، قادر به اندازه‌گیری اصطکاک در هر سرعت لغزشی می‌باشند. اگر سرعت لغزش کم تنظیم شود، نتایج مشابه دستگاه‌های با لغزش ثابت و تجهیزات نیروی جانبی خواهد بود، که همگی بیانگر تاثیر بافت ریز بر مقاومت لغزشی هستند. در صورت تنظیم سرعت لغزش در حد زیاد، نتایج شبیه آزمایش چرخ قفل شده و بیانگر تاثیر بافت درشت سطح رویه بر مقاومت لغزشی خواهد بود.

omoorepeyman.ir

بنابراین برای انتخاب دستگاه مناسب باید هدف استفاده از آن کاملا روشن باشد، چرا که به دلیل نوع عملکرد متفاوت انواع دستگاه‌ها نتایج به دست آمده لزوما یکسان نخواهد بود.

با توجه به اینکه آسفالت متخلخل بیشتر در راههای با سرعت زیاد کاربرد دارد، روش چرخ قفل شده یا روش لغزش متغیر برای اندازه‌گیری مقاومت لغزشی توصیه می شود. مقاومت لغزشی بدست آمده در این روش با توجه به سرعت بالا انعکاس دهنده نقش بافت درشت سطح رویه می‌باشد.

با وجود این بدلیل موجود نبودن این دستگاه‌ها در ایران، از روش پاندول انگلیسی که تجهیزات آن در ایران موجود است، می‌توان برای اندازه‌گیری مقاومت لغزشی و بررسی بافت ریز رویه استفاده نمود.

برای اندازه‌گیری بافت درشت در ایران نیز از روش پخش ماسه مطابق با استاندارد ASTM E965 با توجه به سادگی انجام آن توصیه می‌گردد.

مراجع

۱. **Haas, R., W.R. Hudson, and J.P. Zaniewski, Modern Pavement Management, Krieger Press, Malamar, Florida, 1994.**

۲. **Surface ASPHALT edited NICHOLLS,1998.**

۳. **Dr. Mark Snyder, PhD, P.E.Mr. Larry Scofield, P.E, SURFACE CHARACTERISTICS American Concrete Paving Association,2007.**

٤. **Henry, J.J. Evaluation of Pavement Friction Characteristics. NCHRP Synthesis 291. Transportation Research Board. Washington DC, 2000.**

٥. **Friction Coefficient Measurement between Tire and Pavement Using a Variable Slip Technique, Standard Practice E-1859. Annual Book of ASTM Standards, Volume 04,03.American Society of Testing and Materials. Conshohocken, PA. 2005.**

٦. **Surface Texture for Asphalt and Concrete Pavements, TA5040,36 Federal Highway Administration. Washington D.C. 2005**

۷. **Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique, American Society for Testing and Materials, ASTM Designation E965, Volume 04,03 Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems, 2004.**

omoorepeyman.ir

فصل 6

تعیین نوع قیر، افزودنی‌های مناسب، حدود مشخصات مناسب مصالح سنگی، حدود رواداری دانه‌بندی‌های مناسب برای تولید آسفالت متخلخل و تهیه چک لیست‌های لازم

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

6- تعیین نوع قیر، افزودنی‌های مناسب، حدود مشخصات مناسب مصالح سنگی و رواداری دانه‌بندی مناسب برای تولید مخلوط آسفالتی متخلخل و تهیه چک لیست‌های لازم

6-1- بررسی قیرهای مورد استفاده در آسفالت متخلخل و تعیین نوع مناسب با توجه به شرایط محیطی، ترافیکی و نوع آسفالت متخلخل مورد استفاده

6-1-1- بررسی قیرهای مورد استفاده در آسفالت متخلخل در کشورهای مختلف

6-1-1-1- قیر خالص

بیشتر کشورهایی که از آسفالت متخلخل استفاده می‌کنند، کارهای اولیه خود را با استفاده از مصالح اندود شده با قیر خالص انجام داده‌اند. هر چند در برخی از کشورها از جمله هلند استفاده از قیر خالص همچنان ادامه دارد. در بلژیک قیر خالص80/100 فقط برای راه‌های با ترافیک کم مصرف می‌شود. در فرانسه از قیرهای 60/70 و80/100 استفاده می‌شود و در سوئیس استفاده از قیر 80/100 و قیرهای اصلاح شده پیشنهاد شده است. در ایتالیا قیرهای اصلاح شده کاربرد دارد[1].

در اسپانیا از قیرهای 60/70 و 80/100 استفاده می‌شود. اما بیشتر آسفالت رویه‌های متخلخل با قیرهای پلیمری اصلاح شده توسط SBS و EVA بکار می‌روند.80٪ از رویه‌های متخلخل اسپانیا با قیر پلیمری ساخته شده‌اند که علت آن چسبندگی بهتر اجزا به یکدیگر و عمر طولانی‌تر به دلیل ویسکوزیته بیشتر می‌باشد. ضمن آنکه استفاده از قیرهای پلیمری حساسیت رویه را در برابر درجه حرارت کاهش می‌دهند و باعث عملکرد بهتر رویه در دمای زیاد و انعطاف‌پذیری بیشتر در دمای کم می‌شوند [1].

در ایالات متحده امریکا از قیرهای خالص نظیر PG 76-22 ، PG 64-22، AR 2000، AC 20، AC 10 و قیرهای اصلاح شده با پلیمر و لاستیک به همراه الیاف استفاده می‌کنند. استفاده از قیرهای اصلاح شده در ایالات متحده امریکا بدلیل مزایای آن افزایش یافته است. [2]

در جدول 6-1 قیرهای مورد استفاده در آسفالت متخلخل در کشورهای مختلف ارایه شده است. همچنانکه از جدول 6-1 ملاحظه می‌شود بیشتر کشورها از قیرهای اصلاح شده به همراه الیاف استفاده می‌کنند.

omoorepeyman.ir

جدول 6-1- قیرهای مورد استفاده در آسفالت متخلخل در کشورهای مختلف[۱،۲،۳،۴،۵،۶، 7]

کشور	نوع مخلوط	نوع قیر	درصد قیر
استرالیا	OG10	قیر خالص و قیر اصلاح شده با پلیمر و0/5- 0/3 درصد الیاف و آهک هیدراته	خالص: 4/5-5/5 پلیمری: 5/5-6/5
	OG14		خالص: 5-4 پلیمری: 6-5
	OG20		خالص: 4/5-3/5 پلیمری: 5/5-4/5
افریقای جنوبی	-	قیر اصلاح شده با لاستیک	حداقل 4/5
NCAT		قیر اصلاح شده با پلیمر و 0/3 درصد الیاف سلولزی یا 0/4 درصد الیاف معدنی	-
ایالت جرجیا		قیر اصلاح شده با پلیمر و 0/3 درصد الیاف سلولزی یا 0/4 درصد الیاف معدنی	-
ایالت تگزاس	PFC-PG76	PG 76XX(PMB) اصلاح شده با پلیمر و الیاف سلولزی یا معدنی(0/5-0/2) و آهک هیدراته (2-1 درصد)	7-6
	PFC-A-R	نوع 1 و 2 قیر لاستیکی	10-8
ایالت اورگون	F mix	قیر اصلاح شده با پلیمر	
بریتانیا	PA6/20	160/220یا100/150 اصلاح شده باSBR ،الیاف و لاستیک خام	3/7 یا 4/5
	PA2/10		5/2
اسپانیا	PA12	SBS + 60/70 و EVA +60/70 SBS + 80/100 و EVA +80/100	حداقل 4/5، معمولا 4/5-5/5
دانمارک	PA0/5	قیر خالص 50/100 (75) اصلاح شده با پلیمر SBS و0/25 درصد الیاف سلولزی و آهک هیدراته (1/5 درصد)	6/3
	PA0/8		5/4
	PA0/16		3/9
هلند	PA0/11	فقط قیر خالص (در برخی موارد همراه با الیاف)	4/5
	PA0/16		
بلژیک		قیر خالص 50/70 و قیر اصلاح شده با پلیمر	5/3-4/3 قیر پلیمری
ایتالیا		SBS + 80/100	6-4
سوییس	PA 6	50/70, 70/100 pen, PMB[1] 50/70-65 E, PMB 70/100-60 E به همراه الیاف	> 3/5
	PA 11		> 3

omoorepeyman.ir

1. Polymer modified bitumen

ساختار باز آسفالت متخلخل و در نتیجه اکسیداسیون زودتر قیر موجب شکنندگی و خرابی می‌شود. ملاحظه شده است که قیرهای با درجه کمتر از 100(درجه نفوذ) نسبت به قیر های نرم تر زودتر به حالت بحرانی شکنندگی می‌رسند. آزمایشهای جاده ای در بریتانیا (Nicholls-1997) این مورد را تائید کرده است. از طرف دیگر، آسفالت متخلخل ساخته شده با قیرهای نرم تر از 200 (درجه نفوذ) مستعد چسبندگی غیر کافی و مقاومت در برابر تغییر شکل هستند.[8]

به منظور تاخیر در آغاز شکنندگی، در آسفالت متخلخل مقدار قیر بیشتری نسبت به یک آسفالت معمولی که دارای دانه‌بندی یکسان است، به کار می‌برند.

در هر حال، در حالت معمول یک مقدار حداکثری از قیر خالص وجود دارد که هر جز مصالح سنگی مخلوط را بدون زهکشی نگهداری خواهد کرد. این زهکشی به علت این واقعیت است که قیر اصلاح نشده یک حد جاری شدن دارد به طوری که تحت تاثیر وزن خود، جاری می‌شود و اندود از روی مصالح سنگی زهکشی می‌شود و پس مانده فقط یک فیلم نازک است که مصالح سنگی را بوسیله نیروهای فیزیکی شیمیایی نگهداری می‌کند. در نتیجه، افزایش مقدار قیر بیشتر از حداکثر مقدار معمول، یک تجربه مشترک است. با توجه به این مشکلات ناگزیر به استفاده از قیرهای اصلاح شده یا الیاف هستیم[8].

بطور کلی برای کاربرد قیرهای خالص، به‌دلیل وجود دانه‌بندی باز مخلوط آسفالت متخلخل، بایستی از افزودنی‌ها استفاده نمود.

6-1-1-2- قیر پلیمری

پلیمرها زنجیره‌های بلندی از مواد آلی هستند که از قسمت‌های کوچکتری به نام منومر تشکیل شده‌اند و دارای خصوصیات منحصر به فردی هستند و به سه دسته کلی زیر تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

- ترموپلاست
- الاستومر
- ترموپلاست الاستومر

omoorepeyman.ir

پلیمرهای ترموپلاست:

این دسته از پلیمرها در دماهای اختلاط و اجرا مشکلی نداشته و از گرانروی مناسبی برخوردار می‌باشند اما در اجرا، خواص بهینه لازم را برای بهبود خواص قیر دارا نیستند.

پلیمرهای الاستومر:

این‌گونه پلیمرها در دماهای بهره‌وری مناسب بوده و خواص لازم را برای قیر تأمین می‌نمایند ولی در دمای اختلاط و اجرا، گرانروی بسیار بالایی داشته و این دو عمل را با مشکل مواجه می‌کند.

پلیمرهای ترموپلاست الاستومر:

این پلیمرها که جهت اختلاط با قیر سنتز شده‌اند جدیدترین و مؤثرترین پلیمرها برای تغییر خواص قیر بویژه برای مصارف راهسازی می‌باشند. مشکلات و نارسایی‌هایی که در اختلاط لاستیک‌ها و پلاستیک‌ها با قیر، موجود بوده در این پلیمرها حل شده است. انواع پلیمرهای ترموپلاستیک الاستومر به شرح زیر می‌باشند:

- پلی یورتان‌ها
- کوپلیمر پلی اتر- پلی استر
- کوپلیمرهای الفینیک
- کوپلیمرهای بلوک استایرنی

انواع کوپلیمرهای بلوک استایرنی عبارتند از:

- (styrene butadiene) SB
- (styrene styrene butadiene) SBS
- (styrene butadiene rubber) SBR
- (styrene-isoprene-styrene) SIS

انواع کوپلیمرهای الفینیک عبارتند از:

- (Ethylene Vinyl Acetate) EVA

omoorepeyman.ir

- (ethylene methyl acetate) EMA
- (ethylene butyl acrylate) EBA

خواص آسفالت‌های پلیمری:

خواصی که پلیمرهای ترموپلاستیک الاستومر در بتن‌های آسفالتی ایجاد می‌نماید عبارتند از:

- خاصیت چسبندگی عالی
- عملکرد در هر دو محدوده دمای بالا و پایین
- ازدیاد طول و قابلیت الاستیسیته
- انعطاف‌پذیری بیشتر در دماهای پایین
- مقاومت بهتر در مقابل حرکت و تغییر شکل در دمای بالا
- کاهش حساسیت دمایی
- بهبود در استحکام کششی
- افزایش مدول سختی در دماهای بالا

شکل 6-1- افزایش خاصیت چسبندگی آسفالت با قیر پلیمری

بنابراین مهم‌ترین مزایای استفاده از قیر پلیمری در راهسازی عبارتند از:

- دوام آسفالت پلیمری در برابر آب
- مقاومت مخلوط آسفالتی پلیمری در مقابل تغییرشکل‌های شیاری (Rutting)

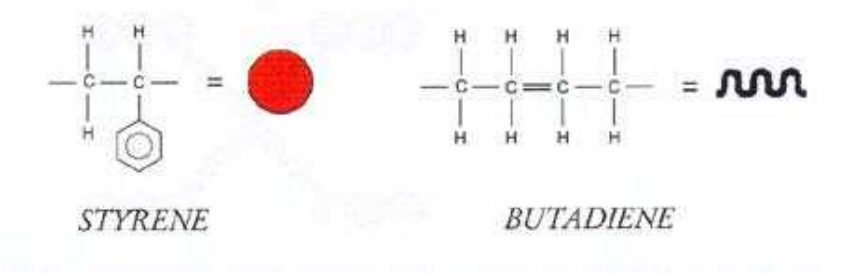
omoorepeyman.ir

- انعطاف‌پذیری در دمای پایین
- مقاومت نسبت به پیرشدگی با اکسیژن و اشعه UV

6-1-1-2-1- انواع اصلاح‌کننده های پرکاربرد در آسفالت متخلخل

الف) پلیمر SBS

پلیمر SBS (استایرن- بوتادین-استایرن)، پلیمری از خانواده ترموپلاستیک الاستومرها می‌باشد. به این مفهوم که ساختار مولکولی آن متشکل از واحدهایی با خواص ترموپلاستیکی (بلوکهای پلی استایرن) و واحدهایی با خواص لاستیکی (مولکولهای پلی بوتادین) بوده، به بیان دیگر SBS دو خاصیت لاستیکی و ترموپلاستیکی را به طور همزمان دارا می‌باشد.



شکل 6-2- فرمول مولکولی مواد تشکیل دهنده SBS

شکل 6-3- پلیمر SBS

مزیت عمده SBS نسبت به سایر پلیمرهای ترموپلاست در این است که پس از اختلاط کامل قیر و SBS، زنجیره-های SBS به صورت یک شبکه کامل لاستیکی درآمده و ذرات قیر را در درون خود به طور پراکنده نگهداری می‌نماید.

omoorepeyman.ir

به این فرآیند، تبدیل فاز یا Phase inversion گفته می‌شود. در حقیقت زمانی پلیمر کاملاً می‌تواند باعث بهبود خواص قیر گردد که پدیده تبدیل فاز در آن به وقوع پیوندد.[10]

برای تعیین مقدار بهینه SBS، قیر خالص با درصدهای مختلف SBS بوسیله دستگاه هموژنایزر با دور بالا تهیه شده و ساختار شبکه‌ای آن بوسیله یک میکروسکوپ فلورسنت مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتیجه اینکه در نمونه‌های حاوی مقادیر کم پلیمر حتی با افزایش دما و زمان اختلاط، تغییر فاز اتفاق نمی‌افتد در حالیکه در نمونه‌های با درصد پلیمر بیشتر، تغییر فاز کاملاً مشهود خواهد بود.

زمانی‌که قیر اصلاح شده SBS، در لایه آسفالتی به‌کار رود این قیر می‌تواند خصوصیات زیر را بهبود دهد:

- چسبندگی دانه‌ها.
- نگهداری دانه‌ها (اولیه و بلند مدت).
- مقاومت خستگی و انعطاف‌پذیری در دمای پایین.
- مقاومت در برابر تغییرشکل‌های ثابت.
- مقاومت در برابر قیرزدگی.

نتایج تحقیقات نشان دادند که استفاده از افزودنی SBS در مخلوط آسفالتی متخلخل، منجر به میزان کمتر از دست‌دادگی مصالح، نسبت به افزودنی‌های دیگر از جمله SBR، EVA و فیبر سلولز شده است. [11]

ب) پلیمر EVA[1]

کوپلیمرهای استات اتیلن و استات وینیل با قیر سازگار می‌باشند و از طریق جرم مولکولی یا شاخص جریان ذوب‌شدگی می‌توانند انواع مختلف قیر را اصلاح نمایند.

مقدار استات وینیل می‌تواند بین درصد کم تا بیش از 35 درصد متغیر باشد. مقدار زیاد استات وینیل، خصوصیات مقاومتی کم، سازگاری مناسب، مقاومت خمشی کم و کشش بالا را نتیجه می‌دهد و بالعکس.

در مقدار استات وینیل بالا، خصوصیات خمش اصلاح شده مشابه پلیمرهای الاستومریک می‌باشد. کوپلیمرهای EVA، به منظور ارتقای کارایی و مقاومت در برابر شیارشدگی مخلوط آسفالتی گرم، مورد توجه می‌باشد[12]

1- Ethylene Vinyl Acetate

omoorepeyman.ir

ج) پلیمر SBR [1]

پلیمر SBR، یک پلیمر الاستومریک می‌باشد که به شکل لاتکس به قیر و با برهم‌زدن افزوده می‌شود. در خدمت‌دهی با دمای بالا (50 تا 60 درجه سانتی‌گراد) رفتار قیر اصلاح شده با پلیمر SBR، بوسیله افزایش ویسکوزیته و نرخ برشی بهبود می‌یابد. همچنین با افزایش سختی عملکرد قیر تحت بارهای با زمان ماندگاری بیشتر (فرکانس کمتر) بهبود می‌یابد. این ارتقای عملکرد به منظور مقاومت نرمی مخلوط و جلوگیری از شیارشدگی با اهمیت می‌باشد.

در خدمت‌دهی راه در دماهای پایین (زیر 10 درجه سانتی‌گراد)، حضور الاستومر خصوصیات الاستیک قیر را بدون افزایش سختی بهبود می‌بخشد، در مقابل آنچه که برای قیر خالص با درجه نفوذ پایین اتفاق می‌افتد. اصلاح قیر با SBR، ممکن است منجر به ارتقای عمر خستگی مخلوط آسفالتی به‌دلیل کاهش ترک‌های ناشی از خستگی شود[11]. خواص قیر با افزودن پلیمر تغییر می‌کند در جدول 6-2 برخی از تغییرات فیزیکی قیر با افزودن برخی پلیمرها آمده است.

جدول 6-2- تغییر خصوصیات قیر با افزودن پلیمر [11]

خصوصیات	کنترل 80/100	کنترل خواص		
		%4 EVA	%4 SBR	%4 SBS
نفوذ (25 ˚C)	86	105	69	64
نقطه نرمی	45/2 ˚C	55/5 ˚C	61/0 ˚C	51/0 ˚C
بازگشت الاستیک(10˚C)	%11	%50	%63/5	%72/0
نقطه شکست فراس	-9/5 ˚C	-10/0 ˚C	-9/0 ˚C	-9/0 ˚C

6-1-1-2-2- بررسی تجربیات استفاده از قیر اصلاح شده در آسفالت متخلخل

در سال‌های اخیر در اروپا، روند و گرایش کلی به سمت استفاده از قیرهای اصلاح شده در آسفالت متخلخل بوده است. باورها بر این است که مواد بهبود دهنده مشخصات قیرها می‌تواند دوام و طول عمر آسفالت‌های متخلخل را هم تا حدود زیادی بالا ببرد، چون این نوع مواد موجب افزایش چسبندگی در مخلوط آسفالتی و افزایش ضخامت فیلم قیر می‌شود بدون آنکه خطر زهکش شدن قیر مطرح باشد. علاوه بر آن اروپایی‌ها بر این باور بودند که مقاومت در

2- Styrene Butadiene Rubber

omoorepeyman.ir

برابر شن‌زدگی را با زیادتر کردن ویسکوزیته در دماهای بالا و بیشتر کردن انعطاف‌پذیری در درجه حرارت‌های پایین تر می‌توان بهینه‌سازی کرد. پلیمرهایی که آنها مورد استفاده قرار می‌دهند، بسته به تجربیات پیمانکاران متفاوت است و می‌تواند SBS، EVA و پودر لاستیک باشد.

بنا به گفته جناب Ruiz، دلیل اصلی عدم استفاده از قیرهای اصلاح شده، ملاحظات هزینه‌ای است. کشورهای فرانسه و هلند به این نتیجه رسیدند که اطلاعات کافی در اختیار ندارند تا به آنها دوام بهتر آسفالت متخلخل را بواسطه استفاده از قیرهای اصلاح شده نشان دهد. محققین این کشورها بیان داشته‌اند که اصطکاک اولیه ناشی از ضخامت فیلم قیری زیاد برای یک دوره طولانی‌تر کم خواهد بود. [8]

آقای Voskuilen با انجام آزمایشهای مختلف میدانی برای تعیین دوام و طول عمر آسفالت متخلخل به این نتیجه رسید که PBM به خودی خود سرویس طولانی‌تری را فراهم نمی‌آورد و مزیت اصلی آن همان مرحله اولیه است که طی آن خرابی اولیه کاهش می‌یابد. ایشان پیشنهاد استفاده از درجه حرارت‌های بالاتر برای اختلاط و تراکم مخلوط‌های PBM برای افزایش مقاومت اولیه مطرح ساخت، تا خطر خرابی آن در ماه‌های نخست کاسته شود، چون مشخص شده است که یکی از عوامل اصلی کم شدن طول عمر آسفالت بروز خرابی در ماههای اولیه پس از اجرا است. ایشان دریافتند که PBM مقدار قیر را افزایش داده و در نتیجه مقاومت در برابر شن‌زدگی را افزایش می‌دهد؛ با وجود این، ایشان استفاده از بازدارنده‌های زهکش شدن قیر را بدلیل هزینه کمتر آنها توصیه می‌کند. ایشان دریافتند که PBM و فیلم ضخیم قیری تاثیر قابل توجهی بر روی پیر شدگی قیر ندارد. او مشاهده کرد که قطعات آزمایشی با PBM دارای هدرروی کمتری در آزمایش کانتابرو بودند اما در عمل، عملکرد ضعیف‌تری در مقایسه با آسفالت متخلخل با قیر خالص و الیاف داشتند [13].

آقای Nielsen و همکاران از مطالعات آزمایشگاهی که بر روی 18 مخلوط مختلف آسفالت متخلخل انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که با دوام‌ترین مخلوط آسفالتی با استفاده از قیر خالص پایه نرم اصلاح شده با پلیمر SBS و کاهش جزیی در درصد فضای خالی مخلوط بدست می‌آید. نتایج این آزمایشها بر اساس آزمایش کانتابرو بود، اما نتایج آزمایشهای انجام شده بر روی قطعات میدانی، نتایج آزمایشگاهی را تصدیق ننمود. [14]

خانم Wegan هم به کمک همکاران خویش تکنیکی را ارایه کرد (که در آن از میکروسکوپ فلوئورسنس ماوراء بنفش استفاده شده بود) تا به بررسی ساختار پلیمری قیر اصلاح شده در یک مخلوط آسفالتی بپردازد. او فرض خود را

omoorepeyman.ir

بر این استوار کرد که ساختار فاز پلیمری در مخلوط آسفالت می‌تواند مربوط به عملکرد مخلوط آسفالت باشد. ایشان مشاهده کردند که تغییرات در مواد معدنی فیلر و مصالح سنگی درشت‌دانه منجر به تفاوت زیادی در توزیع فاز پلیمری در مخلوط آسفالتی می‌شود. ایشان چنین نتیجه‌گیری نمود که باید به بررسی پارامترهای تأثیرگذار بر ساختار قیر اصلاح شده با پلیمر بپردازد تا عملکرد مخلوط آسفالت را ارتقا بخشد [15].

آقای Mouillet هم با همکاران خود یک تکنیک مکمل با میکروسکوپ فلوئورسنس ماوراء بنفش را عرضه کرد که همانا یک میکروسکوپ مادون قرمز (FTIR) بود. تصویر برداری با میکروسکوپ مادون قرمز می‌تواند برای سایر تکنیک های تصویربرداری معمولی نیز مورد استفاده قرار گیرد تا ریزساختارها (تصاویر مرئی) با ترکیب شیمیایی (ویژگی‌های اسپکتروسکوپی) مطابقت داده شوند. ایشان با انجام آزمایش‌هایی به این نتیجه رسید که دانستن پارامترهای مرتبط با دلیل تورم پلیمر یا پراکنده شدن آن و نیز ایجاد تغییرات در قیر همه می‌تواند راهبردهایی را برای بهینه‌سازی فرمولاسیون PMB با توجه به خصوصیات وظیفه‌ای آنها بدست دهد. این تکنیک می‌تواند برای مطالعه تغییرات ساختاری PMB ها در طی مدت پیرشدگی مورد استفاده قرار گیرد [16].

آقای Potgieter و همکارانش در آفریقای جنوبی گزارشی را در رابطه با عملکرد درازمدت قیرهای لاستیکی(B-R) ارایه کرده است. آسفالت متخلخل با قیر لاستیکی در سال 1985 در آفریقای جنوبی مورد استفاده قرار گرفت. ویسکوزیته بالای قیرهای لاستیکی به همراه چسبندگی بالای آنها و وجود کربن، آنتی اکسیدانت‌ها، آمین‌ها و روغن‌های آروماتیک که به عنوان بخشی از این قیرها محسوب می‌شود، باعث شده است تا این نوع قیرها گزینه‌ای بسیار مناسب برای مخلوطها آسفالت متخلخل باشند. با این نوع قیر، مخلوط‌های آسفالت متخلخل درشت‌تر با درصد فضای خالی زیاد (بیشتر از 22 درصد) و دارای دوام خوب و مقاوم در برابر فرسایش قابل طراحی می‌باشد. ایشان در پایان به این نتیجه رسید که آسفالت تولید شده با استفاده از قیرهای لاستیکی به مراتب بهتر از آسفالت‌های با قیر معمولی و سایر پلیمرهای اصلاح کننده نظیر SBS, SBR,EVA عمل می‌کند و از لحاظ اقتصادی نیز با صرفه‌تر است. [17]

آقای Punith و همکارانش گزارشی از مطالعات برای مقایسه عملکرد سازه‌ای مخلوط‌های آسفالت متخلخل حاوی الیاف سلولزی، قیر اصلاح شده با لاستیک خام یا قیر اصلاح شده با پلی اتیلن بازیابی شده در نشریه TRB شماره 1775 ارایه کرده‌اند. در این مطالعه اثر نوع و مقدار قیر بر روی پارامترهای عملکردی مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر

omoorepeyman.ir

اساس نتایج مطالعه افت هدرروی (نتایج آزمایش کانتابرو) مخلوط‌های آسفالت متخلخل منتج از پیرشدگی می‌تواند بطور عمده‌ای با افزودن اصلاح کننده‌ها یا افزودنیها کاهش یابد. استفاده از قیر پلیمری باعث افزایش ضخامت فیلم قیری می‌شود، که این امر موجب بهبود چسبندگی، مقاومت در برابر ترک‌خوردگی و افزایش دوام آسفالت متخلخل می‌گردد. این نتایج محدود به مطالعات آزمایشگاهی بوده و عملکرد میدانی را منعکس نمی‌کند.

آقای Motomatsu و همکارانش گزارشی از انواع جدیدی قیرهای اصلاح شده با درصد خیلی زیادی از پلیمر SBS(12-9 درصد) ارایه کرده‌اند و بیان داشته که ارزیابی خصوصیات این نوع قیر نیازمند روشهای جدید می‌باشد. این نوع قیر اصلاح شده با درصد خیلی زیاد پلیمر برای آسفالت متخلخل در شرایط ترافیک سنگین و دارای مناطق برفگیر که وسایل نقلیه مجبور به استفاده از زنجیر چرخ می‌شوند، استفاده می‌گردد. بر اساس این گزارش، برای ارزیابی خصوصیات قیر، آزمایش خمشی قیر مناسب است. بر اساس یافته‌های آن تاب خمشی و سختی قیر و آزمایش کانتابرو در درجه حرارت‌های پایین با عملکرد مخلوط آسفالت متخلخل مرتبط است. هموژناسیون پلیمر و قیر پایه از اهمیت زیادی برخوردار است، همگنی نسبتا ضعیف قیر اصلاح شده با مقدار زیاد پلیمر دارای عملکرد یکسان یا ضعیف تر از قیر اصلاح شده خوب همگن شده با مقدار کم پلیمر است. [18]

آقای Rayner گزارشی از پیرشدگی دراز مدت قیر اصلاح شده پلیمری در انواع مخلوط‌های آسفالتی در اتریش ارایه نموده است. بر اساس این یافته ها، بطور کلی همبستگی بین عمر و پیرشدگی وجود ندارد. برای هر نوع آسفالت (برای مثال آسفالت متخلخل) درجه نفوذ باقیمانده و عمر با هم مرتبط هستند اما اختلاف در نقطه نرمی مرتبط با عمر نیست. مشاهده شد که پس از 9 سال نقطه نرمی بدلیل هوازدگی اصلاح کننده SBS کاهش یافته است. [19]

آقای Hagos هم مقاله‌ای را به رشته طبع درآورده که در آن به بررسی اثرات پیر شدگی قیر بر روی شن‌زدگی آسفالت‌های متخلخل پرداخته است. به دلیل اندود بیشتر سنگدانه‌ها با فیلم نسبتا ضخیم قیری و به تبع آن حساسیت‌پذیری آن در مقابل پیرشدگی، استفاده از قیر اصلاح شده پلیمری را در آسفالت متخلخل توصیه کرده است. تغییرات رئولوژیکی قیر اصلاح شده ناشی از پیرشدگی بستگی به اثر ترکیبی اکسیداسیون قیر و هوازدگی پلیمر دارد، که نسبت به نوع قیر و پلیمر و درصد پلیمر تغییر می‌کند. [20]

omoorepeyman.ir

آقایان Valdes و Heiva به همراه همکارانشان پیشنهاد طی کردن فرآیندی را مطرح کرده‌اند که طی آن بتوان تغییرات ترکیب شیمیایی قیر اصلاح شده را ناشی از پیرشدگی در آزمایشگاه اندازه‌گیری نمود. ایشان چنین نتیجه-گیری می‌کند که اکسیداسیون قیر نسبت به تجزیه پلیمر SBS غالب است.

6-1-2- پارامترهای مؤثر در انتخاب قیر در آسفالت متخلخل

همانطور که ذکر شد، به علت بافت باز آسفالت متخلخل، لایه نازک قیر سریعتر دچار هوازدگی شده و در نتیجه اکسیداسیون زودتر قیر، موجب شکنندگی و خرابی می‌شود. به همین دلیل استفاده از قیرهای با ویسکوزیته زیاد ترجیح داده نمی‌شود. زیرا قیر سخت، سریع‌تر به نقطه بحرانی سختی می‌رسد.

در انتخاب نوع قیر عوامل دیگری نظیر آب و هوا و حجم ترافیک نیز باید مورد نظر قرار گیرد. قیرهای نرم در آب و هوای گرم تمایل به روزدن دارند و این پدیده منشأ ایجاد تغییرشکل‌های پلاستیک در سطح راه می‌شود. استفاده از قیرهای سخت در مناطق سردسیر باعث می‌شود قیر زودتر به نقطه شکنندگی برسد[1].

در ایالت اُنتاریو در انجام آسفالت متخلخل، قیرها براساس درجه عملکردی انتخاب می‌شوند و سه نوع قیر PG 58-28، PG 52-34، PG 58-34 استفاده می‌شوند. یک تحقیق در مورد آسفالت متخلخل نشان داد که کمبود سختی تأثیر قابل ملاحظه‌ای در عملکرد آن دارد. بنابراین توصیه می‌شود درجه قیر دو شماره بالاتر از آنچه به‌طور طبیعی مورد نیاز می‌باشد، انتخاب شود (NAPA, 2003) [21].

بنابراین در آنتاریو در مواردی بجای قیر PG 58-28 از قیر PG 70-28 استفاده می‌شود. مؤسسه فرانکلین توصیه نمود قیر مورد استفاده در مخلوط آسفالتی 5/5 درصد وزنی مخلوط آسفالتی انتخاب گردد (Thelen 1978). همچنین توصیه می‌شود قیر در مخلوط آسفالتی در محدوده 5/5 تا 6/5 درصد وزنی انتخاب گردد (NAPA 2003) [21].

NCAT در انتخاب نوع قیر برای مخلوط‌های با دانه‌بندی باز به معیار ترافیک توجه نمود و برای ترافیک متوسط و بالا توصیه می‌نماید که از قیر با سختی بالا (در مبنای درجه عملکردی، PG، دو درجه سفت‌تر از قیر مورد نیاز در شرایط معمول آب و هوایی، استفاده می‌شود) به همراه اضافه‌کننده‌هایی چون فیبر و یا پلیمر برای رسیدن به مطلوبیت لازم استفاده شود و برای ترافیک پایین تا متوسط قیر معمولی اصلاح شده با پلیمر یا فیبر را توصیه می-

omoorepeyman.ir

نماید. NCAT برای افزودنی فیبر سلولوزی و یا فیبر معدنی مقدار 0/3 و 0/4 درصد را نسبت به وزن کل توصیه می نماید. بطور معمول از 0/2 تا 0/5 درصد بسته به نتایج تست جاری شدن قیر[1] (ASTM D6390) استفاده می‌شود. [4]

بنابراین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در انتخاب قیر در آسفالت متخلخل عبارتند از:

- جاری شدن قیر
- دانه‌شدگی آسفالت
- عریان شدگی
- مقاومت فشاری، برشی و خمشی مخلوط آسفالتی
- هوازدگی
- ترافیک
- نوع آسفالت متخلخل

6-1-2-1- جاری شدن قیر[2]

یکی از مشکلات مخلوط آسفالتی متخلخل، جاری شدن قیر از دانه‌بندی بدلیل ویسکوزیته کم یا میزان قیر زیاد می‌باشد. این مشکل می‌تواند به صورت روان شدن قیر از عقب کامیون نیز مشاهده گردد. در این مشکل، علاوه بر قیر ممکن است ترکیبی از قیر، افزودنی ها و مصالح دانه‌ریز جریان یابد. روش متداول برای حل این مشکل افزودن فیبر سلولز یا پلیمر به منظور افزودن ویسکوزیته قیر می‌باشد.

معمولاً از آزمایش اشلنبرگر[3] برای تعیین میزان قیر مناسب جهت جلوگیری از روان شدن در هنگام حمل مخلوط آسفالتی و اجرای آن استفاده می‌شود. در جدول 6-3 میزان قیر و تأثیر آن در جاری شدن در یک نمونه مخلوط مورد آزمایش نشان داده شده است.

1- Draindown Test

2 - Drain down/ Drain off

3- Schellenberger

omoorepeyman.ir

برای تعیین خصوصیات جاری شدن قیر در آسفالت متخلخل از استاندارد شماره ASTM D6390-99 استفاده می‌شود، که روش انجام این آزمایش در بخش مربوط به طرح اختلاط به طور کامل آمده است.

جدول6-3- تأثیر میزان قیر در جاری شدن قیر در یک نمونه آسفالتی متخلخل [21]

جاری شدن قیر٪	میزان قیر ٪
0/02	4/5
0/03	5/0
0/08	5/5

توصیه شده است، میزان قیر جاری شده قابل قبول برای آسفالت متخلخل کمتر از 0/3 درصد باشد (NAPA 2003). این آزمایش روی مخلوط آسفالتی متخلخل با قیر عملکردی PG 64-28 و میزان قیر 5/5، 6 و 6/5 درصد انجام می‌شود. همچنین این آزمایش روی قیر اصلاح شده پلیمری PG 70-28 نیز انجام می‌شود. در جدول 6-4 مقدار جاری شدن با قیرهای مختلف و افزودنی‌های متفاوت ارائه شده است.

6-1-2-2- مقاومت سایشی (آزمایش کانتابرو)

میزان قیر در مقدار مصالح کنده شده در اثر سایش چرخ وسایل‌نقلیه مؤثر می‌باشد. مقاومت از دست‌دادگی مواد از طریق آزمایش سایشی کانتابرو انجام می‌شود که این آزمایش همانند آزمایش لس‌آنجلس انجام می‌شود. در جدول 6-5 میزان قیر و تأثیر آن در میزان از دست دادن مصالح در یک نمونه مخلوط آسفالتی متخلخل، نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir

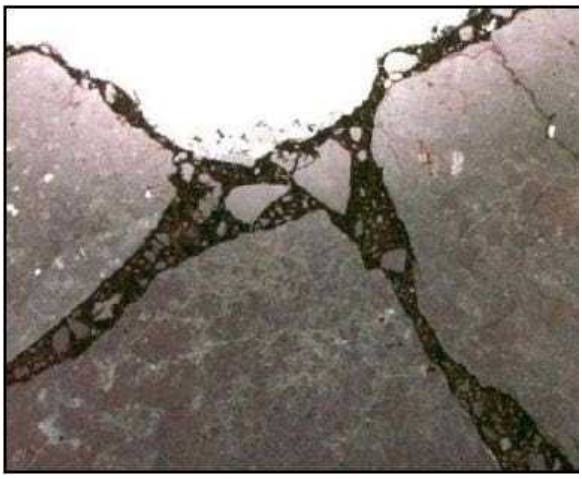
جدول6-4- تأثیر نوع و افزودنی‌های مختلف در جاری شدن قیر در آسفالت متخلخل [11]

نوع قیر	دما	مقدار قیر	میزان از دست دادن قیر
60/70	140 ˚C	%4	%1/1
		%4/5	%3/8
		%5	%8/7
		%5/5	%20/8
80/100+SBR	140 ˚C	%4	%0/4
		%4/5	%2/0
		%5	%3/3
		%5/5	%8/3
3% فیبر سلولز +**60/70**	160 ˚C	%4	%0/6
		%4/5	%0/3
		%5	%0/6
		%5/5	%0/4
80/100+EVA	160 ˚C	%4	%0/8
		%4/5	%0/9
		%5	%3/3
		%5/5	%7/2

جدول 6-5– تأثیر میزان قیر در از دست دادن مصالح در آزمایش سایشی کانتابرو [21]

از دست دادگی مصالح ٪	میزان قیر ٪
13	4/5
8	5/0
9	5/5

omoorepeyman.ir



شکل 6-4- اتصال بین سنگ‌دانه‌ها توسط قیر

6-1-2-3- عریان شدگی

مقایسه بررسی ساختمانی الکترونی مولکول آب با هیدروکربنها نشان می‌دهد که مولکول آب قطبیت بیشتری دارد. به‌طوری‌که آب اصولاً جزء ترکیبات قطبی و هیدروکربن‌ها جزء مواد غیرقطبی دسته‌بندی شده‌اند. بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که هنگامی‌که مولکول آب در سیستم دوتایی قیر- مصالح وارد شود، چون قطبیت مولکول آب نسبت به مولکول‌های قیر خیلی بیشتر است. به همین دلیل مولکول‌های آب بهتر و سریع‌تر نسبت به مولکول‌های قیر، بار منفی موجود در سطح مصالح را خنثی می‌نمایند. در نتیجه نیروی جاذبه اتصال سنگ و آب، نسبت به اتصال سنگ و قیر خیلی بیشتر است. بنابراین در اثر حضور آب، اتصال قیر- مصالح شکسته می‌شود و در نتیجه مصالح عریان می‌شوند.

به‌دلیل اینکه استفاده از آسفالت متخلخل در مناطق با بارندگی زیاد می‌باشد، انتخاب قیر مقاوم در مقابل آب مسئله مهمی می‌باشد به همین دلیل استفاده از آزمایش لاتمن اصلاح شده در جهت انتخاب قیر مناسب توصیه می شود.

آزمایش لاتمن اصلاح شده به منظور سنجش میزان خسارت ناشی از رطوبت و بر اساس آزمایش AASHTO T-283، انجام می‌شود. در این آزمایش میزان خسارت مخلوط آسفالتی متراکم تحت تأثیر اشباع بودن و شرایط وجود آب و تحت چرخه یخ زدگی و ذوب شدگی تعیین می‌شود.

omoorepeyman.ir

در این آزمایش که روش انجام آن در قسمت طرح اختلاط آمده است، مقاومت کششی مخلوط در دو حالت خشک و مرطوب و با چرخه ذوب‌شدگی و یخ زدگی به‌دست می‌آید و نسبت آنها (TSR) محاسبه می‌شود.

6-1-2-5- ترافیک

میزان تردد و مقادیر بار عبوری از مسیر در انتخاب نوع قیر مورد استفاده تأثیر دارد. در جدول 6-6 تأثیر ترافیک در طراحی آسفالت با دانه‌بندی باز و همچنین انتخاب نوع قیر و افزودنی‌های لازم با توجه به ترافیک، نشان داده شده است (NACT).

جدول 6-6- تأثیر ترافیک برانتخاب نوع قیر[5]

حجم ترافیک	نوع قیر توصیه شده
متوسط تا زیاد	قیر با سختی زیاد [a] ساخته شده با پلیمر، افزودن فیبر در سطح مطلوب
کم تا متوسط	قیرهای اصلاح شده با پلیمر یا افزودن فیبر

[a] قیر با دو درجه سختی بیشتر از شرایط معمول با توجه به وضعیت آب و هوایی استفاده می‌شود.

در طراحی مخلوط‌های آسفالتی دانه باز به روش استرالیا، دو نوع مخلوط با توجه به ترافیک مورد انتظار در آینده ارائه شده است. نوع II، برای راه‌های با حجم ترافیک بالا (بیشتر از 5×10^6 محور استاندارد معادل و یا بیشتر از 500 وسیله نقلیه معمول برای هر لاین در هر روز) پیشنهاد شده است.

در طرح اختلاط مخلوط آسفالتی متخلخل به روش اسپانیا و در راه‌های با ترافیک متوسط استفاده از قیر خالص بلامانع است اما در راه‌های با ترافیک سنگین تمایل به استفاده از قیرهای پلیمری اصلاح شده بیشتر است . جدول (6-7) قیرهای مورد استفاده در اسپانیا را نشان می‌دهد [1].

جدول 6-7- انتخاب قیر برای آسفالت متخلخل در اسپانیا

تعداد کامیون بر حسب **ADT** در هر خط طراحی	درجه حرارت تابستانی		
	گرم	متوسط	معتدل
بیشتر از 2000	60/70		
800-2000	60/70یا80/100		
50- 200			
کمتر از 50			

omoorepeyman.ir

6-1-2-6- دانه‌بندی آسفالت متخلخل

دانه‌بندی در نوع و مقدار و افزودنی‌های قابل استفاده در مخلوط آسفالتی متخلخل تأثیرگذار می‌باشد. در جدول 6-8، چهار دانه‌بندی برای آسفالت متخلخل و تأثیر مقادیر متفاوت قیر در دوام مخلوط آسفالتی ارائه شده است [11].

جدول6-8- دانه‌بندی مختلف آسفالت متخلخل [11]

اندازه الک (mm)	دانه‌بندی A		دانه‌بندی B	دانه‌بندی C	دانه‌بندی D
19	100		100	100	100
13/2	95		87	87	77
9/5	50		60/5	62	45
4/75	11		21/5	22	26
2/36	9		15	16	19
1/18	8		13/5	12	15
0/600	6/5		11/5	8	12
0/300	5/5		9	7	10
0/150	4/5		7	6	7/5
0/075	3/5		5	4	5
نوع سنگ‌دانه					
کوارتزیت[1]		*	*	*	*
دلوریت[2]	*				
درصد فضای خالی					
میزان قیر 4%	24/7	22/9	17	18/1	16/3
میزان قیر 4/5%	24	21/9	16/2	17	14/6

همان‌طور که در جدول 6-8، نشان داده شده است میزان قیر کاملا وابسته به دانه‌بندی و جنس مصالح سنگی می‌باشد.

1 - Quartzite

2 - Dolerite

omoorepeyman.ir

جدول6-9- تأثیر نوع دانه‌بندی و مقادیر قیر در دوام مخلوط آسفالتی متخلخل[11]

نوع دانه‌بندی	مقدار VMA	مقدار قیر			
		%4	%4/5	%5	%5/5
		مقدار از دست دادگی دانه‌ها (آزمایش کانتابرو)			
A	%27-%31	49/2	42/2	19/8	12/7
B	%24-%27	14/4	11/5	8/8	6
C	%25-%27	14	11/9	10/3	7/4
D	%22-%26	15	11	8/2	5

جدول 6-9، نشان می‌دهد که دانه‌بندی و جنس مصالح در میزان قیر و میزان فضای خالی و دوام مخلوط آسفالتی مؤثر می‌باشند.

6-1-3- آزمایش‌های عملکردی آسفالت متخلخل

مرحله دوم از آزمایش‌های مورد استفاده، آزمایش های عملکردی در مخلوط آسفالتی می‌باشند. آزمایش‌های عملکردی شامل مدول دینامیکی[1]، خستگی[2] و نفوذپذیری[3] می‌باشند [21].

نتایج برخی از آزمایش‌های فوق به صورت زیر می‌باشد:

جدول6-10- عمر خستگی مخلوط های آسفالتی متخلخل [11]

نوع قیر	80/100	%4 EVA +	%4 SBR +	%4 SBS +
دانه‌بندی A (23٪ فضای خالی)				
عمر خستگی	31500	29200	117600	111500
دانه‌بندی B (17٪ فضای خالی)				
عمر خستگی	58400	106600	132100	130800

همان‌طور که در جدول 6-10 نشان داده شده است در مخلوط‌های با دو نوع دانه‌بندی، با توجه به 6 درصد کاهش هوا، در مخلوط آسفالتی با قیر**80/100**، تعداد سیکل بارگذاری در آزمایش خستگی، 85 درصد افزایش یافت و در همان

1 - Dynamic modulus
2 - Fatigue
3 - Permeability

omoorepeyman.ir

قیر با چهار درصد EVA این افزایش برابر 265 درصد و با چهار درصد SBR برابر دوازده درصد و همچنین با چهار درصد SBS برابر هفده درصد گردیده است.

6-1-4- تعیین نوع مناسب قیر

نوع و مقدار قیر باید بگونه‌ای انتخاب گردد که تاثیر همه عوامل مؤثر در آسفالت متخلخل از جمله، زهکش شدن قیر، دانه‌شدگی آسفالت، عریان شدگی، مقاومت فشاری، برشی و خمشی مخلوط آسفالتی، هوازدگی، ترافیک و نوع آسفالت متخلخل در سطح مطلوب باشد. از قیر 60/70 می‌توان بدون استفاده از افزودنی استفاده نمود اما ممکن است میزان جاری شدن قیر زیاد شود که بایستی با آزمایش مربوطه کنترل گردد. در هر حال استفاده از قیرهای خالص بدون افزودنی، توصیه نمی شود.

از قیر 85/100 می‌توان با افزودن پلیمرهایی مانند SBR، EVA و الیاف استفاده نمود. به منظور جلوگیری از دست دادن مصالح (دانه شدگی) مقدار قیر نباید از حدی کمتر و یا بیشتر باشد. در ترافیک کم و متوسط از قیرهای معمولی با افزودن پلیمر یا الیاف می‌توان استفاده نمود، ولی در ترافیک زیاد بایستی از قیرهای با سختی زیاد و با پلیمر و الیاف در سطح مناسب استفاده نمود.

هرچه میزان قیر در مخلوط آسفالتی بیشتر باشد (بیشتر از 6 درصد)، باید از قیر 60/70 با افزودن الیاف سلولزی استفاده نمود، تا میزان از دست دادن مصالح در سطح مطلوبی قرار گیرد.

بطور کلی پیشنهاد می‌شود برای تهیه مخلوط‌های آسفالتی متخلخل در داخل کشور از قیر 60/70 با 0/4 تا 1/5 درصد فیبر سلولز برای ترافیک سنگین و از قیر 60/70 با 0/2 تا 0/3 درصد فیبر سلولز برای ترافیک متوسط استفاده شود.

افزودن آهک هیدراته نیز می‌تواند موجب کاهش جاری شدن قیر گردد که بایستی تأثیر آن توسط کلیه آزمایشها کنترل گردد و در صورت نتایج قابل قبول می‌توان از آن در مخلوط‌های آسفالتی متخلخل استفاده نمود.

omoorepeyman.ir

6-2- بررسی افزودنی‌های (الیاف) مورد استفاده و تأثیر آن بر عملکرد آسفالت متخلخل و تعیین نوع مناسب و مشخصات آن

6-2-1- افزودنی‌های الیافی

الیاف‌ها به مخلوط اضافه می‌شوند و اگر چه آنها اثری بر خصوصیات رئولوژیکی قیر ندارند، با وجود این آنها خصوصیات معینی از مخلوط را اصلاح می‌کنند. بنابراین، الیاف‌ها بعنوان افزودنی‌ها معرفی می‌شوند نه اصلاح کننده‌های قیری [1].

زهکش شدن قیر از مخلوط در مدت حمل‌ونقل و پخش بعنوان یک مشکل برای مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی میان تهی، همانند آسفالت متخلخل و SMA تشخیص داده شده است. همچنان‌که، نفوذ هوا و نور در داخل این مخلوط‌ها باعث بوجود آمدن مسأله پیرشدگی می‌گردد. یک راه منطقی برای رفع این مشکل، افزایش میزان ماده چسباننده به منظور ایجاد پوشش ضخیم دور مصالح است و واضح می‌باشد که این افزایش دارای یک محدودیت، بدلیل کم شدن درصد فضای خالی در مخلوط آسفالت متخلخل و خطر از دست رفتن پایداری آن می‌باشد، از طرف دیگر افزایش ماده قیری بیش از یک حد معین باعث ایجاد مشکلاتی در مورد یکنواختی لایه آسفالتی متخلخل می‌گردد. به این معنی که قیر روان گردیده و در موقع تولید، حمل و پخش، جدا شدگی دانه‌ها اتفاق می‌افتد. به منظور تثبیت ماده قیری از الیاف‌های معدنی و غیر معدنی (آلی) استفاده می‌شود [1].

بنابراین الیاف معدنی و آلی به منظور افزایش مقدار قیر آسفالت متخلخل (افزایش ضخامت فیلم قیری) بکار برده می‌شوند. هر دو نوع در آزمایش‌هایی در بریتانیا (Nicholls-1992) مورد آزمایش و ارزیابی قرار گرفتند و مشخص شد که هر دو نوع در افزایش مقدار قیر آسفالت متخلخل مؤثرند، هر چند که دوام آسفالت متخلخل ساخته شده با الیاف معدنی بهتر از آسفالت متخلخل ساخته شده با الیاف آلی بود.

آزمایش‌های جاده‌ای بریتانیا (Nicholls -1997) نشان داده که اثر افزایشی قیر توسط الیاف معدنی نسبت به الیاف آلی بیشتر است [9].

مورد دیگر قابل ملاحظه حجم اشغال شده توسط الیاف است، زیرا درصد فضای خالی آسفالت متخلخل در مقایسه با آسفالت ساخته شده با قیر اصلاح شده را کاهش خواهد داد. در مورد افزودنی‌ها، استفاده از 0/3 درصد وزن کل مخلوط،

omoorepeyman.ir

درصد فضای خالی را تقریبا 1٪ کاهش خواهد داد، در حالی‌که استفاده از افزودنی‌های آلی به میزان 0/9 درصد وزن کل قیر، فضای خالی را فقط 0/4٪ کاهش خواهد داد [22].

افزودنی‌های الیافی به صورت عام در مخلوط‌های آسفالت متخلخل مورد استفاده در هلند بکار برده می‌شوند. این مخلوط‌ها غالبا با مصالح سنگی 0-14 mm ساخته شده‌اند، اما اندازه‌های کوچکتر بویژه 0-10 mm نیز استفاده می‌شود. در هلند تاکنون، استفاده از الیاف نسبت به قیرهای اصلاح شده به علت تمایل به قابلیت بازیابی بعدی آن بیشتر بوده است.

مقدار مصرف الیاف از نتایج ناشی از آزمایش‌های مقاومت ماده چسباننده در مقابل روان شدن و با روشهای گوناگونی از جمله روش سبد زهکشی (M.E.Daines) ، روش اشلنبرگ، روش NCAT و روش آشتو T305 مشخص می‌شود. میزان مصرف سلولز 0/3تا 0/5 درصد وزن کل مصالح تعیین گردیده است [1].

آزبست بیشتر در فرانسه مورد استفاده قرار می‌گیرد و استفاده از آن در دیگر کشورها به دلیل مسائل زیست محیطی ممنوع است. در فرانسه نسبت افزودنی به وزن کل حدود 1تا 1/5 درصد است و در ایالات متحده امریکا مقدار مصرف 0/2تا 0/5 درصد وزن کل مخلوط تعیین شده است [1].

جدول (6-11) مشخصه‌های اصلی الیاف‌های رایج مورد استفاده را نشان می‌دهد [9].

جدول 6-11- مشخصات الیاف مختلف مورد استفاده در آسفالت [9]

مشخصات / نوع	قطر (میکرون)	طول (mm)	دانسیته (gr/ml)
chrysolite	0/1-1	0/5-1	2/7
Rock wool (پشم کوهی)	3/7	0/2-0/8	2/7
glass wool(پشم شیشه)	5-6	0/2-1	2/5
سلولز	20-40	0/9-1/5	0/9

omoorepeyman.ir

6-2-1-1- الیاف سلولزی[1]

امروزه الیاف سلولزی، به‌طور وسیعی در لایه‌های اصطکاکی آسفالت متخلخل در چندین کشور در شمال اروپا استفاده می‌شود. سلولز یکی از پرکاربردترین نوع الیاف در مخلوط‌های آسفالتی می‌باشد. افزودن این الیاف به قیر توسط روش‌های ارزان منجر به ارتقای خصوصیات مخلوط آسفالتی می‌شود. سیستم قیر مسلح با این فیبر، منجر به افزایش ویسکوزیته قیر می‌شود. بنابراین، مخلوط دارای پایداری و مقاومت بیشتر در برابر ترک‌های خستگی می‌باشد. همچنین استفاده از این فیبر می‌تواند منجر به کاهش زهکش شدن قیر در مراحل مختلف تولید، حمل و اجرای آسفالت متخلخل و دیگر مخلوط‌های با دانه‌بندی ناپیوسته شود. همچنین می‌تواند منجر به افزایش دوام مخلوط‌های آسفالتی دانه باز به‌دلیل استفاده از میزان قیر بیشتر و تشکیل فیلم ضخیم‌تر اطراف دانه‌ها می‌شود [22].

جدول 6-12نتایج آزمایش کانتابرو با مقادیر متفاوت قیر و فیبر سلولز را نشان می‌دهد. همان‌طور که جدول یاد شده نشان می‌دهد افزودن فیبر سلولز در میزان قیر کم، تأثیری در دوام مخلوط آسفالتی متخلخل و نتایج آزمایش کانتابرو ندارد و یا حتی دارای نتایج عکس می‌باشد و دوام آن کاسته می‌شود. اما در میزان قیر زیاد، فیبر سلولز دارای تأثیر قابل ملاحظه‌ای در دوام مخلوط آسفالتی متخلخل می‌باشد و در قیرهای بیش از 6 درصد تنها از قیرهای 60/70 با 0/4 تا 0/5 درصد فیبر سلولز می‌توان استفاده نمود.

جدول 6-12- نتایج آزمایش کانتابرو [11].

نوع قیر و میزان فیبر سلولز	مقدار قیر				
	%4	%5	%6	%7	%8
	افت وزنی در اثر سایش				
80/100	%14/1	%10/3	%6/5	-	-
0/3٪ فیبر سلولز+ 80/100	%17/7	%5/6	%5	-	-
0/4٪ فیبر سلولز+ 60/70	-	%8	%7/6	%3/7	-
0/5٪ فیبر سلولز+ 60/70	-	-	%4/2	%2/3	%1/8

omoorepeyman.ir

1 - Cellulose fiber

6-2-4-3- آهک

در روش طرح اختلاط استرالیا، هلند، ایالات متحده امریکا، بریتانیا و اسپانیا کاربرد آهک هیدراته توصیه شده است، افزودن آهک هیدراته به‌عنوان فیلر معدنی به مخلوط با دانه‌بندی باز باعث کاهش جاری شدن قیر، کاهش تمایل به عریان شدگی مخلوط می‌شود. شایان ذکر می‌باشد، که افزودن آهک هیدراته علاوه بر فیبر می‌باشد [5].

6-2-4- تعیین نوع مناسب افزودنی (الیاف) و مشخصات آن

مهم‌ترین دلیل استفاده از افزودنی‌ها (الیاف) در مخلوط آسفالتی متخلخل کاهش پدیده جاری شدن قیر در این مخلوط‌ها می‌باشد که با کمک آن می‌توان میزان ماده چسباننده مناسب به منظور ایجاد پوشش ضخیم دور مصالح ایجاد نمود، بدون آنکه مشکلات بعدی مشاهده گردد.

از هر دو نوع الیاف آلی و معدنی می‌توان در مخلوط‌های آسفالتی متخلخل استفاده نمود ولی بایستی توسط آزمایش‌های مرتبط خصوصیات مخلوط آسفالتی متخلخل را کنترل نمود.

میزان مصرف الیاف سلولزی بایستی 0/3 درصد و میزان مصرف الیاف معدنی 0/4 درصد وزن مخلوط آسفالتی باشد.

اثر تثبیتی افزودنی‌های الیافی نه فقط به طبیعت مواد بستگی دارد بلکه به شکل الیاف بر حسب طول و قطر نیز بستگی دارد. در جداول (6-13) و (6-14) مشخصات الیاف سلولزی و معدنی مورد استفاده ارایه شده است. آزمایشهای مندرج در جداول باید مطابق با آشتو MP8 انجام شود.

omoorepeyman.ir

جدول 6-13- مشخصات الیاف سلولزی [23]

آزمایش	مشخصات
1- طول الیاف	حداکثر 6 میلیمتر(0/25 اینچ)
2- دانه‌بندی: روش A : دانه‌بندی به روش Alpine - درصد عبوری از الک نمره 100 (0/15 میلیمتر) روش B : دانه‌بندی به روش الک (Ro-Tap Sieve) - درصد عبوری از الک نمره 20 (0/85 میلیمتر) - درصد عبوری از الک نمره 40 (0/425 میلیمتر) - درصد عبوری از الک نمره 100 (0/15 میلیمتر)	60-80 80-95 45-85 5-40
3- درصد خاکستر بدون مواد فرار (non volatiles)	18 ±5
4- PH	7/5 ±1
5- جذب روغن	1± 5 برابر وزن الیاف
6- درصد رطوبت	حداکثر 5 درصد وزنی

جدول 6-14- مشخصات الیاف معدنی [23]

آزمایش	مشخصات
1- طول الیاف 2- ضخامت	حداکثرمتوسط نتایج آزمایش 6 میلیمتر(0/25 اینچ) حداکثرمتوسط نتایج آزمایش 0/005 میلیمتر(0/0002 اینچ)
3- مواد غیر الیافی - درصد عبوری از الک نمره 60 (0/25 میلیمتر) - درصد عبوری از الک نمره 40 (0/063 میلیمتر)	 90-100 65-100

توضیح: الیاف معدنی مورد استفاده (ساخته شده از بازالت، دیاباز) بایستی به منظور پخش یکنواخت و چسبندگی بهتر با قیر با یک ماده کاتیونیک عمل آوری شوند.

omoorepeyman.ir

3-6- بررسی مشخصات مصالح سنگی مورد استفاده در آسفالت متخلخل و تعیین حدود مشخصات آن

مصالح سنگی آسفالت متخلخل مخلوطی از سنگدانه‌های درشت‌دانه، ریزدانه و فیلر است که دارای دانه‌بندی باز یا میان تهی بوده و مصالح سنگی درشت‌دانه(بالای الک 4#) درصد خیلی زیادی از ترکیب مصالح سنگی را تشکیل می‌دهند بطوریکه بیشتر از 70 درصد سنگدانه‌ها درشت‌دانه هستند.

مصالح سنگی درشت‌دانه اسکلت و استخوان‌بندی اصلی مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای را تشکیل می‌دهند و عامل اصلی پایداری مقاومت باربری زیاد و مقاومت در برابر شیارافتادگی این مخلوط‌ها است. به همین علت مصالح سنگی درشت‌دانه مورد مصرف در مخلوط‌های با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای بایستی از کیفیت خوبی بر خوردار باشند تا ویژگیهای مورد نظر را تامین نمایند. این مصالح سنگی باید از استحکام و سختی و دوام کافی برخوردار باشند تا در حالت تماس سنگدانه به سنگدانه در مقابل بار ناشی از آمد و شد مقاومت نمایند. لذا در تهیه اینگونه مخلوط‌های آسفالتی باید از مصرف سنگدانه‌های پهن و سوزنی و نیز مواد آلی و مضر اجتناب شود.

1-3-6- مشخصات مصالح سنگی در اسپانیا

میزان کاهش سنگدانه‌ها در آزمایش سایش لوس آنجلس نباید از 20٪ تجاوز کند و به همین دلیل شاخص تورق آن باید 25٪ باشد.

سنگدانه‌ها باید دارای سطح غیر صیقلی و دارای اصطکاک داخلی خوب و دارای ریز بافت با دوام باشد. بر این اساس باید شاخص صیقل شدن سنگدانه‌ها در آزمایش انگلیسی چرخ صیقلی بیشتر از 45٪ برای حجم ترافیک بیش از 800 کامیون در روز و بیشتر از 40% برای دیگر حجمهای ترافیکی باشد. چون مخلوط‌های آسفالت متخلخل در معرض مستقیم اثرات ترافیک قرار دارند. بنابراین برای اجتناب از تغییر شکلهای پلاستیک و مسدود شدن منافذ باید اصطکاک داخلی اجزای مخلوط در یک سطح مطلوب باشد. پس ضروری است برای ترافیک بیش از 800 کامیون در روز در هر خط ،100٪ سنگدانه دارای حداقل دو وجه شکسته باشند.

برای ترافیک200 تا800 کامیون در روز در هر خط این درصد به 90٪ و برای ترافیک کمتر از 50 کامیون در روز به 75٪ کاهش می یابد .جدول (6-13) مشخصات دانه های سنگی را می‌دهد. در پروژه هایی که تاکنون انجام شده از

omoorepeyman.ir

سنگدانه‌های حاصل از سنگهای آذرین، گرانیت و مرمره که مقاومت زیادی در برابر صیقلی شدن دارند، بعنوان درشت دانه استفاده شده است[25].

مشخصات مصالح سنگی ریزدانه و فیلر

به منظور اطمینان از وجود ذرات زیان آور ریز، هم ارز ماسه‌ای بایستی بیش از 50٪ باشد [7]

در اسپانیا از فیلرهای معدنی (سیمان، پودر سنگ آهک) استفاده می‌شود [7و4]

جدول 6-15- مشخصات سنگدانه‌ها در اسپانیا

مشخصه	حدود
حداکثر سایش بروش لوس آنجلس (٪)	20
حداکثر شاخص تورق (٪)	25
حداقل شاخص صیقل شدن (٪)	بیش از 0/4تا 0/45
درصد سنگدانه های با حداقل دو وجه شکسته (٪)	75 تا100
حداقل هم ارز ماسه‌ای (٪)	50

6-3-2- مشخصات مصالح سنگی در بریتانیا

PSV لازم برای مصالح درشت بستگی به طبیعت محل دارد. اما به علت اینکه آسفالت متخلخل در راههای با سرعت بکار می‌رود حداقل مقدار آن 55 تعیین شده است [26].

بر طبق مشخصات فنی بریتانیا حداقل مقدار 2٪ از کل مصالح سنگی آهک هیدراته لازم است.

جدول 6-16- مشخصات سنگدانه‌ها در بریتانیا

مشخصه	حدود
حداکثر سایش بروش لوس آنجلس (٪)	18
حداکثر شاخص تورق (٪)	25
حداقل شاخص صیقل شدن (٪)	55
درصد سنگدانه‌های با حداقل دو وجه شکسته (٪)	100
حداقل هم ارز ماسه‌ای (٪)	50

omoorepeyman.ir

6-3-3- مشخصات مصالح سنگی در ایتالیا

در ایتالیا مصالح سنگی بایستی کاملا شکسته شده باشند و استفاده از ماسه طبیعی مجاز نیست.

بر طبق مشخصات فنی ایتالیا 80٪ شکستگی در میزان ماسه را در نظر می‌گیرد[23]

جدول 6-17- مشخصات سنگدانه‌ها در ایتالیا

مشخصه	حدود
حداکثر سایش بروش لوس آنجلس (٪)	16
حداقل شاخص صیقل شدن (٪)	44
درصد سنگدانه‌های با حداقل دو وجه شکسته (٪)	100
حداقل هم ارز ماسه‌ای (٪)	50

6-3-4- مشخصات سنگدانه‌ها در افریقای جنوبی

جدول 6-18- مشخصات سنگدانه‌ها در افریقای جنوبی[23]

مشخصه	حدود
حداکثر سایش بروش لوس آنجلس (٪)	21
حداکثر شاخص تورق	25
درصد سنگدانه‌های با حداقل دو وجه شکسته (٪)	100
حداقل هم ارز ماسه‌ای (٪)	50

6-3-5- مشخصات سنگدانه‌ها در ایالت جرجیا

جدول 6-19- مشخصات سنگدانه‌ها در ایالت جرجیا[6]

مشخصه	حدود
حداکثر سایش بروش لوس آنجلس (%)	50
حداکثر افت وزنی با سولفات سدیم (٪)	15
تورق و تطویل، حداکثر وزنی (نسبت 5:1)	10
درصد سنگدانه‌های با حداقل دو وجه شکسته (٪)	100
حداقل هم ارز ماسه‌ای (٪)	50

omoorepeyman.ir

6-3-6- مشخصات سنگدانه‌ها در ایالت فلوریدا

جدول 6-20- مشخصات سنگدانه‌ها در ایالت فلوریدا[23]

مشخصه	حدود
حداکثر سایش بروش لوس آنجلس (٪)	45
حداکثر افت وزنی با سولفات سدیم (٪)	12
تورق و تطویل، حداکثر وزنی (نسبت 5:1)	10
درصد سنگدانه‌های با حداقل دو وجه شکسته (٪)	100

6-3-7- مشخصات سنگدانه‌ها در ایالت تگزاس

جدول 6-21- مشخصات سنگدانه‌ها در ایالت تگزاس[5]

مشخصه	حدود
حداکثر سایش بروش لوس آنجلس (٪)	30
تورق و تطویل، حداکثر وزنی (نسبت 5:1)	10
درصد سنگدانه‌های با حداقل دو وجه شکسته (٪)	95

6-3-8- مشخصات سنگدانه‌ها در NCAT

جدول 6-22- مشخصات سنگدانه‌ها در NCAT[4]

مشخصه	حدود
حداکثر سایش بروش لوس آنجلس (٪)	30
حداقل گوشه دار بودن (٪)	45
حداکثر وزنی تورق و تطویل	≤ 5 (نسبت 5:1) ≤ 20 (نسبت 3:1)
درصد سنگدانه‌های با حداقل دو وجه شکسته (٪)	90 درصد، 100٪ یک وجه

6-3-9- خصوصیات مصالح سنگی مورد استفاده در آسفالت متخلخل در کشور مالزی

به علت استفاده درصد زیاد و قابل توجه مصالح سنگی درشت‌دانه در این نوع مخلوط آسفالتی و اینکه عامل عمده و اصلی باربری، قفل و بست حاصله از تماس اسکلت سنگدانه‌ای می‌باشد، لزوم بکارگیری مصالح سنگی با کیفیت بالا،

omoorepeyman.ir

زبری سطح بالا، درصد شکستگی قابل توجه و استحکام سایش مناسب از خصوصیات ضروری مصالح سنگی بکـار رفتـه می‌باشند[27].

جدول 6-23- حدود رواداری مجاز برای خصوصیات فیزیکی مصالح سنگی[27].

خصوصیت	حد مورد لزوم
پارامتر آزمایش مقدار ضربه [1]	کمتر از 25%
مقدار شکستگی[2]	کمتر از 25%
شاخص تورق	کمتر از 25%
شاخص تطویل	کمتر از 30%
مقدار سایش لوس‌آنجلس	کمتر از 20% (500 دور)

6-3-10- خصوصیات مصالح سنگی مورد استفاده در آسفالت متخلخل در ایالت کالیفرنیای شمالی

- شکسته و شسته‌شده
- اندازه حداکثر مصالح سنگی 19 میلی‌متر
- 90٪ مصالح سنگی شکسته باید در دو وجه دارای شکستگی باشند (یک وجه شکسته بـه سـطحی زاویـه‌دار، زبر و شکسته اطلاق می‌شود. در ضمن این وجه در صورتی شکسته نامیده می‌شود که سطح مقطع آن حـداقل به اندازه 25٪ از بزرگترین وجه سنگدانه باشد)[28].

1 - Impact value
2 - Crushing value

omoorepeyman.ir

شکل6-5- سنگدانه‌ای با شرایط مناسب برای استفاده در دانه‌بندی مخلوط آسفالتی متخلخل[4].

6-3-11- مشخصات مصالح سنگی مورد استفاده در آسفالت متخلخل در FHWA [1]

مصالح مصرفی

بخش مصالح سنگی درشت‌دانه:

مصالح سنگی که بر روی الک نمره 8 باقی می‌مانند.

بخش مصالح سنگی ریزدانه:

آن قسمت از مصالح سنگی که از الک نمره 8 می‌گذرند.

بخش غالب و با اهمیت مصالح سنگی:

آن قسمت از مصالح سنگی که از الک 9/5 میلی‌متر می‌گذرند و بر روی الک نمره 4 (4/75 میلی‌متر) باقی می‌مانند.

خصوصیات مورد نیاز مصالح سنگی:

مصالح سنگی مصرفی باید یا کیفیت بالا، مقاوم در برابر ساییدگی و دارای ظرفیت مناسب برای فراهم‌آوردن خصوصیات اصطکاکی مناسب باشند. توصیه می‌شود که مصالح سنگی کربناتی خالص یا مصالح سنگی که مستعد صیقلی شدن هستند شامل بخش مصالح سنگی نشوند. بخش مصالح سنگی درشت‌دانه باید حداقل 75٪ وزنی کل

omoorepeyman.ir

1 - Federal Highway Administration

مصالح سنگی و حداقل 90٪ از آن دارای شکستگی در یک یا دو وجه باشد و افت وزنی ناشی از آزمایش سایش (AASHTO T96) در مورد آن باید کمتر از 40٪ باشد.

فیلر معدنی مورد استفاده:

فیلرهای معدنی مشخص‌شده در AASHTO M17 یا مشخص شده مورد قبول جهت استفاده در این نوع مخلوط می‌باشند[29].

6-3-12- خصوصیات مصالح سنگی مصرفی و حدود دانه‌بندی مجاز در مخلوط آسفالتی متخلخل بر اساس کتابچه راهنمای ساختار آسفالت متخلخل برای مدیریت روان‌آب[1]

جدول 6-24- حدود رواداری برای کنترل کیفیت مصالح سنگی مصرفی در مخلوط آسفالتی متخلخل[30].

خصوصیات مصالح سنگی	حدود رواداری
مصالح سنگی درشت‌دانه گوشه‌داری[2] (ASTM D5821) یک وجه ،٪	55
درصد جذب آب مصالح سنگی درشت‌دانه ٪ (ASHTOT85)	≤2
درصد فضای خالی مصالح درشت‌دانه ٪ (VCA_{drc}) (AASHTO T85)	$VCA_{mix} < VCA_{drc}$
تورق و تطویل، حداکثر وزنی (ASTM D4791)	≤5 (نسبت 5:1) ≤2 (نسبت 2:1)
مجموع ذرات خردشده در آزمایش شکستگی باقیمانده روی الک نمره 4	2/5
حداکثر ذرات خردشده در کل مخلوط مصالح سنگی	2/5
حداکثر درصد کلوخه در شکست ، باقیمانده روی الک نمره 4	0/5
افت وزنی مصالح سنگی در آزمایش سایش لوس‌آنجلس٪	≤ 35
خصوصیات انواع فیلر مصرفی حاصله از پودر سنگ آهک، خاکه سرباره و یا مصالح مشابه	عاری از ناخالصی‌های آلی شاخص پلاستیک کوچکتر از AASHTO T90 -4

1 - Guidance Specification for Porous or Dense-Graded Hot-Mix Asphalt Pavement Structures for Storm Water Management

2 - Angularity

omoorepeyman.ir

6-3-13- استاندارد UNHSC[1] برای تعیین خصوصیات مصالح سنگی مورد استفاده در آسفالت متخلخل: مخلوط آسفالتی متخلخل شامل قیر از نوع طبقه‌بندی با درجه عملکردی و اصلاح‌شده، مصالح سنگی درشت‌دانه و ریزدانه و افزودنی‌های اختیاری نظیر سیلیکون، الیاف‌ها، فیلرهای معدنی، آمین‌های چرب و آهک هیدراته می‌باشد. این مصالح باید شرایط لازم NAPA (انجمن روسازی آسفالتی ملی) در طراحی و ساخت و نگهداری را برآورده کنند[31].

6-3-13-1- مصالح سنگی درشت‌دانه[2]

مصالح سنگی درشت به بخشی از مصالح سنگی باقیمانده روی الک نمره 8 اطلاق می‌شوند که باید تمیز، سخت، محکم، بادوام، تمیز و با خصوصیات کیفی یکنواخت بوده و عاری از هر گونه ذرات رس و لای و شیستی و پوشش خاکی باشد.

مصالح سنگی درشت بهتر است که از سنگ شکسته یا شن شکسته باشند و درصد ساییدگی آن بر اساس استاندارد AASHTO T96 نباید بیشتر از 40٪ باشد. حداقل 70٪ مصالح سنگی درشت در کل مخلوط مصالح سنگی درشت که بزرگتر از 4/75 میلی‌متر (اندازه الک نمره 4) هستند، می‌بایست حداقل در دو وجه دارای شکستگی باشند و 90٪ از این مصالح باید در یک وجه یا بیشتر دارای شکستگی باشند (ASTM D5821). مصالح سنگی درشت باید عاری از ذرات رسی، مواد آلی، مواد زیان‌آور و کمتر از 8٪ شامل ذرات پولکی یا سوزنی بر اساس آنچه در ASTM D4791 در مورد ذرات و مصالح پولکی و سوزنی آمده است باشند[31].

6-3-13-2- مصالح سنگی ریزدانه[3]

به بخشی از مصالح سنگی که از الک نمره 8 عبور می‌کنند اطلاق می‌شود که می‌بایست دارای کیفیت مناسبی باشند. مصالح سنگی ریزدانه باید شامل ذرات بادوام و عاری از مواد خارجی مضر باشد. شاخص خمیری[4] آن بخشی از مصالح

1- University of New Hampshire Storm water Center
2 - Coarse Aggregate
3 - Fine aggregate
4 - Plasticity Index

omoorepeyman.ir

ریزدانه که از الک نمره 40 می‌گذرند بر اساس آنچه که در استاندارد AASHTO T90 آمده است، نباید بیش از 6 باشد[31].

6-3-14- مصالح سنگی مصرفی در طرح اختلاط آسفالت متخلخل در کانادا

مصالح سنگی مورد استفاده در مخلوط‌های آسفالتی متخلخل شامل مصالح سنگی درشت‌دانه آهکی و مصالح سنگی ریزدانه عبوری از سرند می‌باشند. درصد کوچکی از فیلر نیز در طرح این مخلوط بکار می‌رود. به‌دلیل اینکه سنگ آهک دارای کیفیت بالاتری نسبت به دیگر انواع سنگها در کانادا می‌باشد، از آن به‌عنوان مصالح سنگی درشت-دانه استفاده می‌گردد. شکل زیر نمونه‌ای از مصالح سنگی مورد مصرف را نمایش می‌دهد.

شکل6-6- مصالح سنگی درشت‌دانه و ریزدانه مصرفی در ساخت مخلوط‌های آسفالتی متخلخل[21].

خصوصیات مصالح سنگی مصرفی در جدول زیر آمده‌اند:

جدول6-25- خصوصیات مصالح سنگی مصرفی[21]

نوع مصالح سنگی	وزن مخصوص	درصد جذب آب مصالح سنگی(٪)	وجوه شکستگی	تورق و تطویل
مصالح سنگی درشت‌دانه شسسته‌شده	2/69	1/5	100	3
مصالح سنگی ریزدانه	2/77	0/79	--	--

omoorepeyman.ir

6-3-15- پیشنهاد انتخاب مصالح سنگی مصرفی برای ساخت آسفالت متخلخل

بر اساس مطالب ذکرشده، مصالح سنگی آسفالت متخلخل مخلوطی از سنگدانه‌های درشت‌دانه، ریزدانه و فیلر است که دارای دانه‌بندی باز یا میان تهی بوده و مصالح سنگی درشت‌دانه(بالای الک #4) درصد خیلی زیادی از ترکیب مصالح سنگی را تشکیل می‌دهند. بطوریکه بیشتر از 70 درصد سنگدانه‌ها درشت‌دانه هستند. مصالح سنگی درشت‌دانه اسکلت و استخوان‌بندی اصلی مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای را تشکیل می‌دهند و عامل اصلی پایداری مقاومت باربری زیاد و مقاومت در برابر شیارافتادگی این مخلوط‌ها است.

بررسی مشخصات مصالح سنگی در کشورهای مختلف نشان می دهد که مشخصات مصالح سنگی در کشورهای اروپایی نسبت به ایالات متحده امریکا بالاتر است و از مصالح سنگی با کیفیت بهتر استفاده می‌شود. به‌طوری‌که پارامتر سایش لوس آنجلس مصالح سنگی در کشورهای اروپایی غالبا کمتر از 20 درصد است در حالیکه در امریکا کمتر از 50 تعیین شده است. در بیشتر کشورهای اروپایی شاخص صیقل شدن مصالح سنگی(PSV) کاربرد دارد در حالیکه در امریکا کاربرد ندارد. علاوه بر آن در بیشتر کشورهای اروپایی توصیه به استفاده از ماسه شکسته شده در حالیکه در امریکا به این صراحت وجود ندارد.

برای انتخاب مصالح سنگی، بدلیل تماس مستقیم بین دانه های درشت، مصالح باید دارای مقاومت زیاد در برابر صیقلی شدن و سایش و دارای درصد شکستگی زیاد باشند. این مصالح سنگی باید از استحکام و سختی و دوام کافی برخوردار باشند تا در حالت تماس سنگدانه به سنگدانه در مقابل بار ناشی از آمد و شد مقاومت نمایند.

مصالح سنگی درشت باید از شکستن و خرد کردن مصالح کوهی یا مصالح سنگی خرد شده یا ترکیبی از این دو و یا دیگر مصالح که داری مشخصات مشابه هستند، تشکیل شده باشد. بطور کلی مصالح سنگی درشت و ریز مصرفی در آسفالت متخلخل باید سخت، محکم، بادوام، تمیز و مکعبی شکل و صدرصد شکسته و با خصوصیات کیفی یکنواخت بوده و عاری از هر گونه ذرات رس و لای و شیستی و پوشش خاکی باشد. این مصالح باید با مشخصات جدول 6-26 انطباق داشته باشد.

omoorepeyman.ir

جدول 6-26- مشخصات مصالح سنگی مصرفی در مخلوط‌های آسفالت متخلخل

	مشخصه یا آزمایش	مشخصات	روش آزمایش	
			آشتو	ASTM
الف) مصالح سنگی درشت-دانه	آزمایش سایش لوس آنجلس	حد اکثر 20%	T 96	C 131
	درصد افت وزنی با سولفات سدیم در پنج سیکل	حداکثر 15%	T 104	C 88
	درصد افت وزنی با سولفات منیزیم در پنج سیکل	حداکثر 25%	T 104	C 88
	حداکثر تطویل و تورق (سنگدانه‌های پهن و دراز)	(نسبت 5:1) 5≤ (نسبت 3:1) 20≤		D 4791
	PSV (BS812 : part 114)	حداقل 50		
	درصد جذب آب	حداکثر 2	T 85	C 127
	درصد شکستگی در یک جبهه در دو جبهه و بیشتر	 100 % حداقل 90%		D 5821
ب) مصالح سنگی ریزدانه*	درصد شکستگی حداکثر افت وزنی با سولفات منیزیم حداقل ارزش ماسه‌ای	100 % 15% 50%	T 104	C 88
ج) فیلر	فیلر معدنی آهک هیدراته	حداقل 1%	M17 M303	

* شاخص خمیری آن بخشی از مصالح ریزدانه که از الک نمره 40 می‌گذرند بر اساس آنچه که در استاندارد AASHTO T90 آمده است، نباید بیش از 6 باشد.

omoorepeyman.ir

6-4- بررسی انواع دانه‌بندی‌های مورد استفاده در آسفالت متخلخل در کشورهای مختلف و تعیین دانه‌بندی‌های مناسب و حدود رواداری آنها با توجه به عملکرد وظیفه‌ای مورد انتظار از آسفالت متخلخل

دانه‌بندی مخلوط‌های آسفالت متخلخل بر خلاف دانه‌بندی مخلوط‌های آسفالتی متداول باز (open graded) یا میان تهی (Gap Graded) است و مصالح درشت به مقدار نسبتا زیادی در مقایسه با مخلوط‌های آسفالتی با دانه-بندی پیوسته مصرف می‌گردد. دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی در این مخلوط‌های آسفالتی باید بگونه‌ای باشد که مصالح سنگی درشت‌دانه که اسکلت اصلی این مخلوط‌ها را تشکیل می‌دهند، امکان تماس سنگدانه را ایجاد نماید. مقدار ریزدانه مخلوط‌های آسفالت متخلخل باید به اندازه‌ای باشد که فضای بین مصالح سنگی درشت‌دانه را بگونه‌ای پر نماید که تاثیری در تماس سنگدانه نداشته باشد [4]

به طور کلی طبقه‌بندی مخلوط‌ها بر اساس دانه‌بندی و منافذ بصورت زیر به سه گروه تقسیم شده‌اند: [9]

- **دانه‌بندی توپر** : مقدار عبوری از الک 2 mm بیشتر از 25٪ و فضای خالی مورد انتظار کمتر از 5٪ است.
- **دانه‌بندی متوسط:** مقدار عبوری از الک 2 mm بین 15 تا 25 ٪ و فضای خالی مورد انتطار بین 5 تا 10% است.
- **دانه‌بندی باز**: مقدار عبوری از الک 2mm کمتر از 15٪ و فضای خالی مورد انتظار بیشتر از 10٪ است.

6-4-1- دانه‌بندی های مورد استفاده در آسفالت متخلخل در کشورهای اروپایی

دانه‌بندی های مورد استفاده در آسفالت متخلخل در کشورهای اروپایی در جداول 6-27 و 6-28 و در سایر کشورها و امریکا در جداول 6-29 و 6-30 ارایه شده است.

omoorepeyman.ir

جدول 6-27- دانه‌بندی‌های آسفالت متخلخل مورد استفاده در کشورهای اروپایی

دانه‌بندی (mm)	هلند[32]	بلژیک[23]	اسپانیا[24]	
	PA0/16	**0/14 Gap(2/10 یا 2/7)**	**P 12**	**PA 12**
20	100		100	100
16	95-100	100	-	-
14	-	83-100	-	-
12/5	-	-	75-100	70-100
11/2	62-93	-	-	-
10	-	-	60-90	50-80
8	28-57	-	-	-
5	8-37	-	32-50	15-30
2/5	11-19	12	10-18	10-22
0/63	-	-	6-12	6-13
0/075	0-1/5	5	3-6	3-6

در هلند از دانه‌بندی 16-0 استفاده می‌شود که حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی بر حسب میلیمتر 16 است و میزان مصالح سنگی عبوری از الک 5 میلیمتر 8 تا 37 درصد است و مصالح عبوری از الک 2/5 (الک 8#) در حد 11 تا 19 درصد است. که نشان دهنده درصد خیلی جزیی مصالح ریزدانه است. همچنین درصد فیلر برابر با 0 تا 1/5 درصد است. نمودار دانه‌بندی در شکل 6-6 نشان داده شده است.

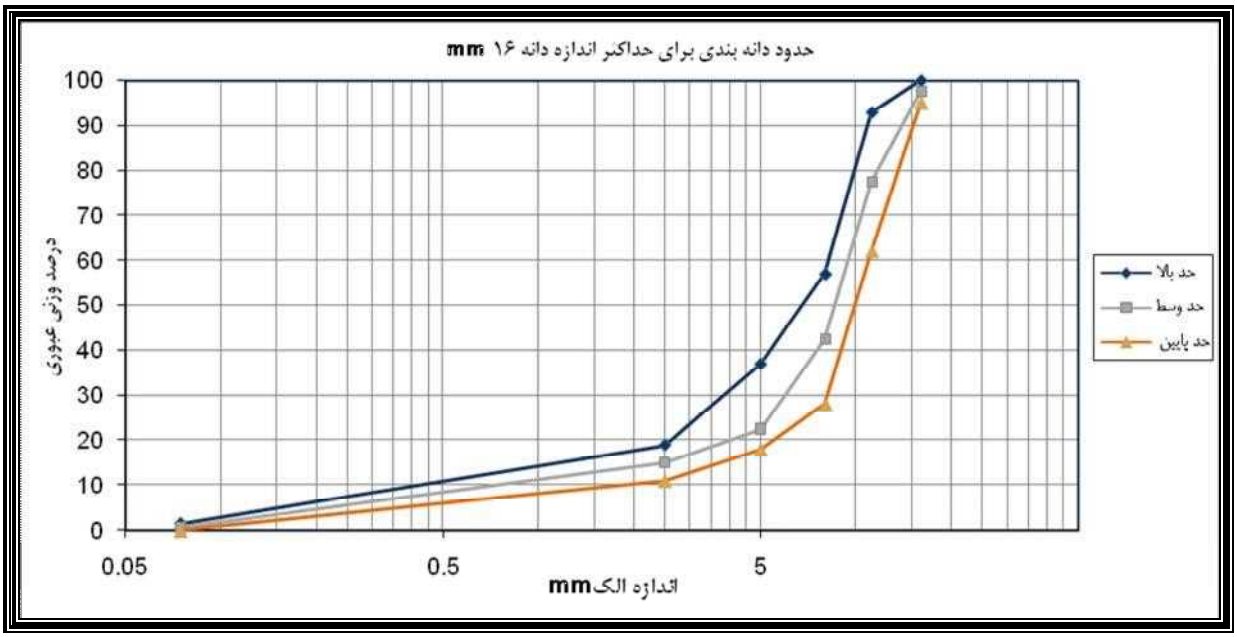
در بلژیک دانه‌بندی میان تهی 14-0 کاربرد دارد، که بخش 7-2 میلیمتر یا 10-2 میلیمتر آن حذف می‌گردد. بر اساس استاندارد بلژیک دانه‌بندی بایستی مشخصات زیر را داشته باشد:

1- درصد مصالح سنگی بزرگتر از 2 میلیمتر بایستی بین 81 تا 85 درصد باشد.

2- درصد مصالح سنگی از 063/. تا 2 میلیمتر بین 11 تا 13 درصد باشد.

3- درصد فیلر بین 4تا 6 درصد باشد.

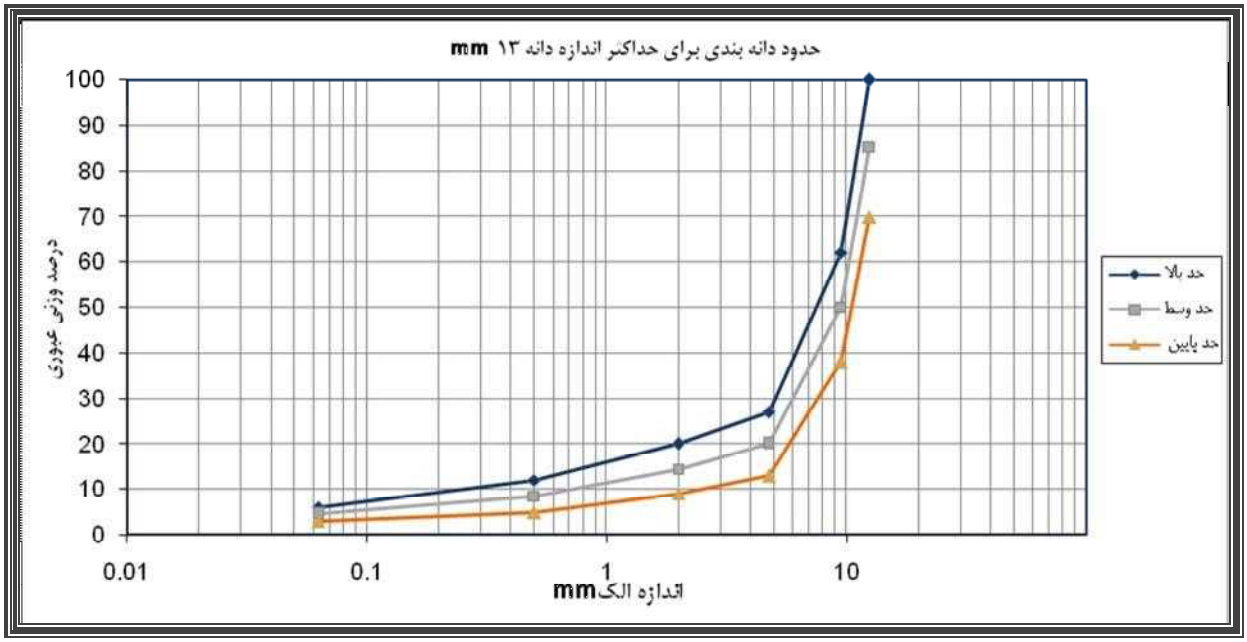
omoorepeyman.ir



شکل6-7- دانه‌بندی مورد استفاده در طرح اختلاط آسفالت متخلخل در هلند با حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی 16 میلیمتر

در اسپانیا از دو دانه‌بندی **P12 و PA 12** استفاده می‌شود که حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی بر حسب میلیمتر 12 است و میزان مصالح سنگی عبوری از الک 5 میلیمتر برای دو دانه‌بندی به ترتیب برابر با 50-32 و 30-15 درصد است که نشان دهنده درشت‌تر بودن دانه‌بندی **PA 12** نسبت به دانه‌بندی **P 12** می‌باشد. همچنین میزان مصالح عبوری از الک 2/5 میلیمتر برای دو دانه‌بندی به ترتیب برابر با 18-10 و 22-10 درصد است. همچنین درصد فیلر برابر با 3 تا 6 درصد است. با این دانه‌بندیها درصد فضای خالی بزرگتر از 20 درصد مورد انتظار است. نمودار دانه‌بندی P12 در شکل 6-7 نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir



شکل6-8- دانه‌بندی مورد استفاده در طرح اختلاط آسفالت متخلخل در اسپانیا با حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی 12 میلی‌متر

همچنانکه در جدول 6-28 نشان داده شده است، در دانمارک سه نوع دانه‌بندی برای مخلوط‌های آسفالت متخلخل وجود دارد که شامل PA0/5 ، PA0/8 و PA0/16 می‌شوند. حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی سه دانه‌بندی به ترتیب برابر با 5، 8 و 16 میلیمتر می‌باشند. در این سه دانه‌بندی، درصد مصالح سنگی درشت‌دانه بزرگتر از 4 میلیمتر در دانه‌بندی‌های PA0/5 ، PA0/8 و PA0/16 به ترتیب برابر با 35، 89 و 91 درصد است که نشان دهنده درصد خیلی زیاد مصالح سنگی درشت‌دانه به نسبت مصالح ریزدانه در دو دانه‌بندی PA0/8 و PA0/16 می‌باشد و مصالح عبوری از الک 2 میلیمتر در حد 8 تا 10 درصد است. که نشان دهنده درصد خیلی جزیی مصالح ریزدانه است. همچنین درصد فیلر برای سه دانه‌بندی به ترتیب برابر با 6 ، 5/5و 5 درصد است. علاوه بر آن دانه‌بندی‌هایPA0/5 و PA0/8 برای لایه آسفالت متخلخل رویه در سیستم دو لایه‌ای استفاده می‌شوند و دانه‌بندی PA0/16 برای لایه زیرین و یا در سیستم یک لایه‌ای استفاده می‌گردد. [18]

در ایتالیا از دانه‌بندی 16-0 استفاده می‌شود که حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی 16 میلیمتر است و میزان مصالح سنگی عبوری از الک 5 میلیمتر 5 تا 20 درصد است که نشان دهنده درصد خیلی زیاد مصالح سنگی درشت‌دانه به نسبت مصالح ریزدانه می‌باشد و مصالح عبوری از الک 2 میلیمتر در حد 0 تا 12 درصد است. که نشان دهنده درصد خیلی جزیی مصالح ریزدانه است. همچنین درصد فیلر برابر با 0 تا 7 درصد است. [23]

omoorepeyman.ir

جدول 6-28- دانه‌بندی‌های آسفالت متخلخل مورد استفاده در کشورهای اروپایی

سوییس[7]		ایتالیا[23]	دانمارک (حد وسط) [18]			بریتانیا[26]		اندازه الک
PA11	PA6		PA0/16	PA0/8	PA0/5	PA2/10	PA6/20	(mm)
							100	31/5
							-	22/4
		100	100				95-100	20
100			97				-	16
-		75-100	-			100	-	14
-		-	55			-	-	12/5
-100 90	100	-	30	100		-	-	11/2
-	-	15-40	-	-		90-100	-	10
-	-	-	12	94	100	-	-	8
-	-	-	-	-	-	40-55	20-30	6/3
15-40	-100 90	-	9	35	99	-	-	5/6
-	-	5-20	-	-	-	-	-	5
-	-	-	9	11	65	-	-	4
8-20	15-40	-	-	-	-	-	-	2/8
-	-	0-12	8	9	10	19-25	5-12	2
-	-	-	8	8	9	-	-	1
4-10	4-10	-	7	7	8	-	-	0/5
	-	-	7	6	7	-	-	0/25
3-5	3-5	0-7	5	5/5	6	-	-	0/075
						3-6	3/5-5/5	0/063

در بریتانیا دو نوع دانه‌بندی برای مخلوط‌های آسفالت متخلخل کاربرد دارد، که شامل PA6/20 و PA2/10 می‌شوند. حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی دو دانه‌بندی به ترتیب برابر با 20 و 10 میلیمتر می‌باشد. و مصالح عبوری

omoorepeyman.ir

از الک 2 میلیمتر به ترتیب برابر با 12-5 و 25-19 درصد است. و میزان فیلر در حد 6-3 درصد است. مخلوط PA6/20 برای بزرگراهها و مخلوط PA2/10 برای سایر کاربردها ارایه شده‌اند.

در سوییس دو نوع دانه‌بندی برای مخلوط‌های آسفالت متخلخل وجود دارد که شامل شامل PA6 و PA11 می‌شوند. حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی دو دانه‌بندی به ترتیب برابر با 6 و 11 میلیمتر می‌باشند. البته دانه‌بندی‌های با حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی بزرگتر نیز وجود دارد که برای روسازی های متخلخل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- در دانه‌بندی PA11 درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 4، برای دانه‌بندی حد بالا و حد پایین، 36٪ و 14٪ می‌باشد (64٪ و 86٪ درشت‌دانه).
- در دانه‌بندی PA6 درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 4، برای دانه‌بندی حد بالا و حد پایین، 87٪ و 70% می‌باشد (13٪ و 30٪ درشت‌دانه).
- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 200 (فیلر)، برای هر دو دانه‌بندی، 3 تا 5 درصد است.

6-4-2- دانه‌بندی‌های مورد استفاده در امریکا و سایر کشورها

در طرح اختلاط استرالیا بر اساس ماکزیمم اندازه اسمی مصالح سنگی[1] مخلوط‌های دانه‌بندی باز به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند: OG14, OG10 و OG20. که این اعداد نشان‌دهنده ماکزیمم اندازه اسمی مصالح سنگی بر حسب میلیمتر می‌باشند. در این سه دانه‌بندی، درصد مصالح سنگی درشت‌دانه (بزرگتر از 4/75 میلیمتر) در دانه‌بندی‌های OG14, OG10 و OG20 به ترتیب برابر با 80، 89 و 90 درصد است که نشان دهنده درصد خیلی زیاد مصالح سنگی درشت‌دانه به نسبت مصالح ریزدانه می‌باشد و مصالح عبوری از الک 2/36 (الک 8#) در حد 8 تا 12 درصد است. که نشان دهنده درصد خیلی جزیی مصالح ریزدانه است. همچنین درصد فیلر برای سه دانه‌بندی به ترتیب برابر با 3/5 ، 3/5 و 2 درصد است. [3]

در دانه‌بندی پیشنهادی افریقای جنوبی ماکزیمم اندازه اسمی مصالح سنگی بر حسب میلیمتر 13 می‌باشد. در این دانه‌بندی، درصد مصالح سنگی عبوری از الک 4/75 میلیمتر 10 تا 15درصد است که نشان دهنده درصد خیلی زیاد مصالح سنگی درشت‌دانه به نسبت مصالح ریزدانه می‌باشد و مصالح عبوری از الک 2/36 (الک 8#) در حد 8 تا 15

1 . Nominal Mix Size.

omoorepeyman.ir

درصد است. که نشان دهنده درصد خیلی جزیی مصالح ریزدانه است. همچنین درصد فیلر برابر با 2 تا 8 درصد است.[5]

در ایالت تگزاس دو دانه‌بندی برای تولید مخلوط‌های آسفالت متخلخل کاربرد دارد، که دانه‌بندی PFC-PG76 برای قیرهای PG یا PG اصلاح شده با پلیمر کاربرد دارد و دانه‌بندی PFC-A-R برای قیرهای اصلاح شده با لاستیک کاربرد دارد. در این دو دانه‌بندی درصد مصالح سنگی بزرگتر از 4/75 میلیمتر خیلی زیاد بوده بویژه در دانه‌بندی PFC-A-R که مقدار آن می‌تواند تا 100 درصد باشد. [5]

جدول 6-29- دانه‌بندی‌های مورد استفاده در استرالیا، افریقای جنوبی و امریکا

اندازه الک (mm)	استرالیا(حد وسط)				آفریقای جنوبی	NCAT	TXDOT	
	OG10	OG14	OG 20	رواداری			PFC-PG76	PFC-A-R
26/5			100					
19		100	95	±6	100	100	100	100
13/2	100	95	55	±6	90-100	-	-	-
12/5	-	-	-	-	-	80-100	80-100	95-100
9/5	90	50	30	±5	25-65	35-60	35-60	50-80
6/7	-	-	-	-	-	-	-	-
4/75	20	11	10	±5	10-15	10-25	1-20	0-8
2/36	12	9	8	±5	8-15	5-10	1-10	0-4
1/18	8	8	6	±5	-	-	-	-
0/6	6	6/5	4	±5	-	-	-	-
0/25	5	5/5	3	±3	-	-	-	-
0/15	4	4/5	3	±3	-	-	-	-
0/075	3/5	3/5	2	±1	2-8	2-4	1-4	0-4

omoorepeyman.ir

جدول 6-30- دانه‌بندی‌های مورد استفاده در ایالتهای امریکا[2]

ایالت	درصد عبوری اندازه الک (mm)								
	19	12/5	9/5	4/75	2/36	2	0/6	0/3	0/075
Albama		100	90 -100	30-50	5-7				3-6
	100	90-100	40-70	5-30	4-12				3-6
California		100	78-89	28-37	7-18				
Colorado		100	90-100	35-57	12-33			3-15	2-8
		100	90-100	40-60	20-47			4-18	2-9
Felorida		100	85-100	10-40	4-12				2-5
Georgia	100	85-100	55-75	15-25	5-10				2-4
Hawaii			100	30-50	5-15				2-5
Idaho	100	95-100	30-80	35-46			8-15		2-5
Illinois	100	90-100	30-50	10-18					2-5
Kentucky		100	90-100	25-50	5-15				2-5
Louisiana	100	90-100	30-50	10-30		5-20			2-6
			90-100	20-50	5-15				2-6
Maryland		100	90-100	20-40	5-15				0-5
Missouri		100	90-100	30-50	8-15				2-5
New jersey		100	80-100	30-50	5-15				2-5
Newmexico		100	90-100	25-55	0-12				0-4
North Carolina	100	85-100	55-75	15-25	5-10				2-4
Ohio		100	85-96	28-45	9-17				2-5
Pennsylvania			100	30-50	5-15				0-5
Utah		100	95-100	36-44	14-20				2-4
Vermont		100	97-100	30-50	5-15				2-5
Wisconsin		100	97-100	25-45	10-25				2-7

در ایالات متحده امریکا بیشتر ایالتها و موسسات از دانه‌بندی با حداکثر اندازه 12/5 میلیمتر استفاده می‌کنند و درصد مصالح درشت دانه (بزرگتر از 4/75 میلیمتر) به نسبت دانه‌بندی‌های کشورهای اروپایی کمتر بوده بطوریکه در برخی از ایالتها درصد مصالح کمتر از 4/75 میلیمتر بین 30 تا 50 درصد است. و مصالح زیر الک شماره 8 (2/36

omoorepeyman.ir

میلیمتر) غالبا بین 5 تا 15 درصد است و درصد فیلر بین 2 تا 5 درصد است. بیشتر ایالتهایی نظیرجرجیا، کارولینای شمالی و موسسه NCAT از دانه‌بندی پیشنهادی NAPA استفاده می‌کنند. بیشتر ایالتها کارهای اولیه خود را با دانه‌بندی پیشنهادی FHWA انجام داده اند اما برخی از ایالتها با بررسی مخلوط‌های آسفالت متخلخل در اروپا تمایل به سمت استفاده از دانه‌بندی‌های درشت دانه تر بدلیل نفوذپذیری بیشتر پیدا کرده اند. بطور کلی تفاوت عمده آسفالت متخلخل استفاده شده در ایالات متحده امریکا با آسفالت متخلخل مورد استفاده در اروپا در درصد فضای خالی آنها می‌باشد که در امریکا حداکثر 15٪ و در اروپا تا بیش از 20٪ می رسد.

6-4-3- دانه‌بندی آسفالت متخلخل بر اساس استاندارد NAPA، NCAT و UNHSC[1]

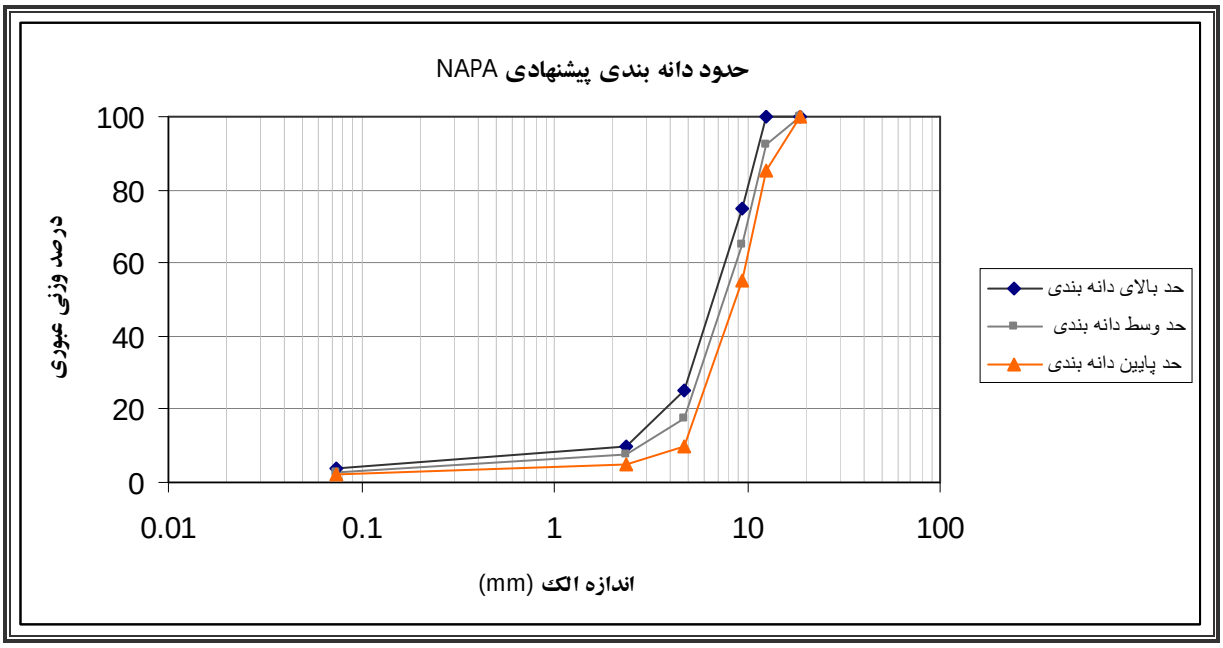
موسسات و ادارات مرتبط با آسفالت متخلخل در امریکا از دانه‌بندی توصیه‌شده توسط NAPA بعنوان مرجعی مطمئن استفاده می‌کنند. بطوریکه دانه‌بندی آسفالت متخلخل پیشنهادی در گزارش NCAT شماره 3-99 و دانه-بندی پیشنهادی UNHSC و برخی از ایالتهای امریکا با این دانه‌بندی یکسان است.

جدول6-31- حدود دانه‌بندی مورد استفاده در مخلوط آسفالتی متخلخل[۴،۳۱]

اندازه الک (mm)	درصد عبوری	حدود رواداری
19	100	
12/5	85-100	± 6
9/5	55-75	± 6
4/75 (# 4)	10-25	± 5
2/36 (# 8)	5-10	± 4
0/075 (# 200)	2-4	± 2

omoorepeyman.ir

1- University of New Hampshire Storm water Center



شکل6-9- نمودار حدود دانه‌بندی آسفالت متخلخل توصیه‌شده توسط NAPA [2].

- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 4، برای دانه‌بندی حد بالا و حد پایین، 25٪ و 10٪ می‌باشد (75٪ و 90٪ درشت‌دانه).
- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 200 (فیلر) ، برای دانه‌بندی حد بالا و حد پایین، 4٪ و 2٪ می‌باشد.
- حداکثر اندازه مصالح سنگی در این نوع دانه‌بندی 19 میلی‌متر می‌باشد.

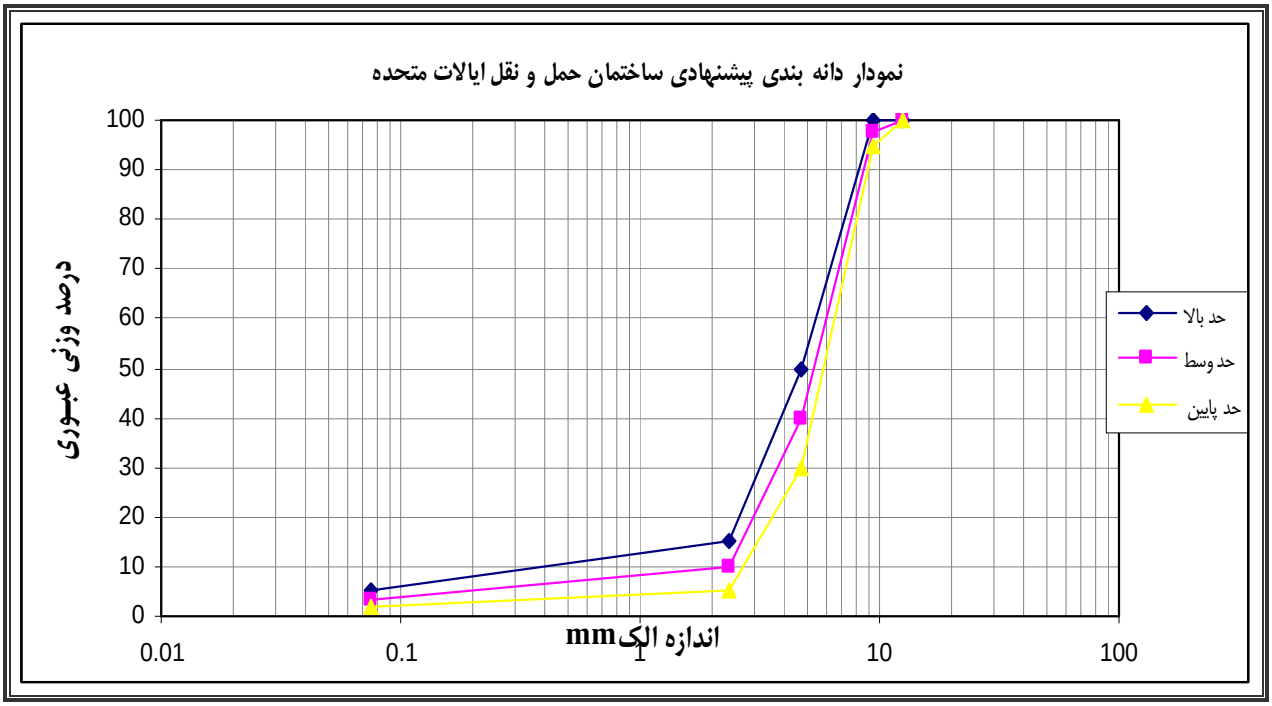
6-4-4- توصیه FHWA در مورد دانه‌بندی مورد استفاده در مخلوط‌های آسفالت متخلخل

دانه‌بندی پیشنهادی FHWA برای این نوع مخلوط به شرح جدول 6-32 است. بیشتر دپارتمانهای راه و ترابری ایالتهای امریکا کارهای اولیه خود را با این نوع دانه‌بندی تجربه کرده‌اند.

omoorepeyman.ir

جدول6-32- حدود دانه‌بندی پیشنهادی FHWA برای مخلوط‌های آسفالتی متخلخل[29]

اندازه الک ایالات متحده (mm)	درصد وزنی عبوری از هر الک
12/5	100
9/5	95-100
4/75	30-50
2/36	5-15
0/075	2-5



شکل6-10- نمودار دانه‌بندی پیشنهادی FHWA [29].

- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 4، برای دانه‌بندی حد بالا و حد پایین، 50٪ و 30٪ می‌باشد (50٪ و 70٪ درشت‌دانه).
- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 200 (فیلر) ، برای دانه‌بندی حد بالا و حد پایین، 5٪ و 2٪ می‌باشد.
- حداکثر اسمی اندازه مصالح سنگی در این نوع دانه‌بندی 9/5 میلی‌متر می‌باشد.

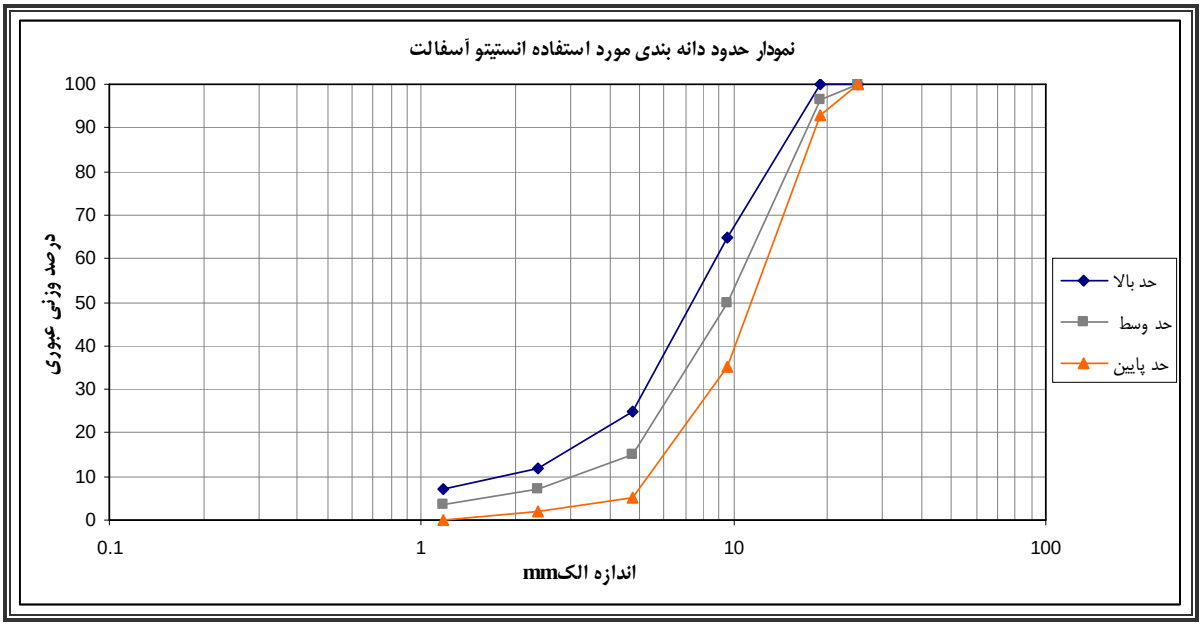
omoorepeyman.ir

6-4-5- توصیه انستیتو آسفالت برای دانه‌بندی آسفالت متخلخل (مرکز تحقیقات و دفتر اجرایی)[1]

دانه‌بندی آسفالت متخلخل توصیه‌شده توسط انستیتو آسفالت در جدول 6-33 و نمودار آن در شکل 6-10 نشان داده شده است.

جدول6-33- دانه‌بندی آسفالت متخلخل توصیه‌شده توسط انستیتو آسفالت[33].

اندازه الک(mm)	درصد عبوری
25	100
19	93-100
9/5	35-65
4/75	5-25
2/36	2-12
1/18	0-7



شکل6-11- نمودار دانه‌بندی پیشنهادی انستیتو آسفالت برای دانه‌بندی آسفالت متخلخل[33].

omoorepeyman.ir

1 - Asphalt Institute , Executive Offices and Research Center

- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 4، برای دانه‌بندی حد بالا و حد پایین، 25٪ و 5٪ می‌باشد (73٪ و 89% درشت‌دانه).
- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 200 (فیلر) ، برای دانه‌بندی حد بالا و حد پایین، 3٪ و 0٪ می‌باشد.
- حداکثر اسمی اندازه مصالح سنگی در این نوع دانه‌بندی 19 میلی‌متر می‌باشد.

6-4-6- حدود دانه‌بندی مجاز مخلوط آسفالتی متخلخل بر اساس کتابچه راهنمای ساختار آسفالت متخلخل برای مدیریت روان‌آب

جدول6-34- حدود دانه‌بندی مجاز جهت تهیه مخلوط آسفالتی متخلخل[30].

اندازه الک(mm)	درصد عبوری
19	100
12/5	85-100
9/5	55-75
4/75	10-25
2/36	5-10
0/075	2-4

omoorepeyman.ir

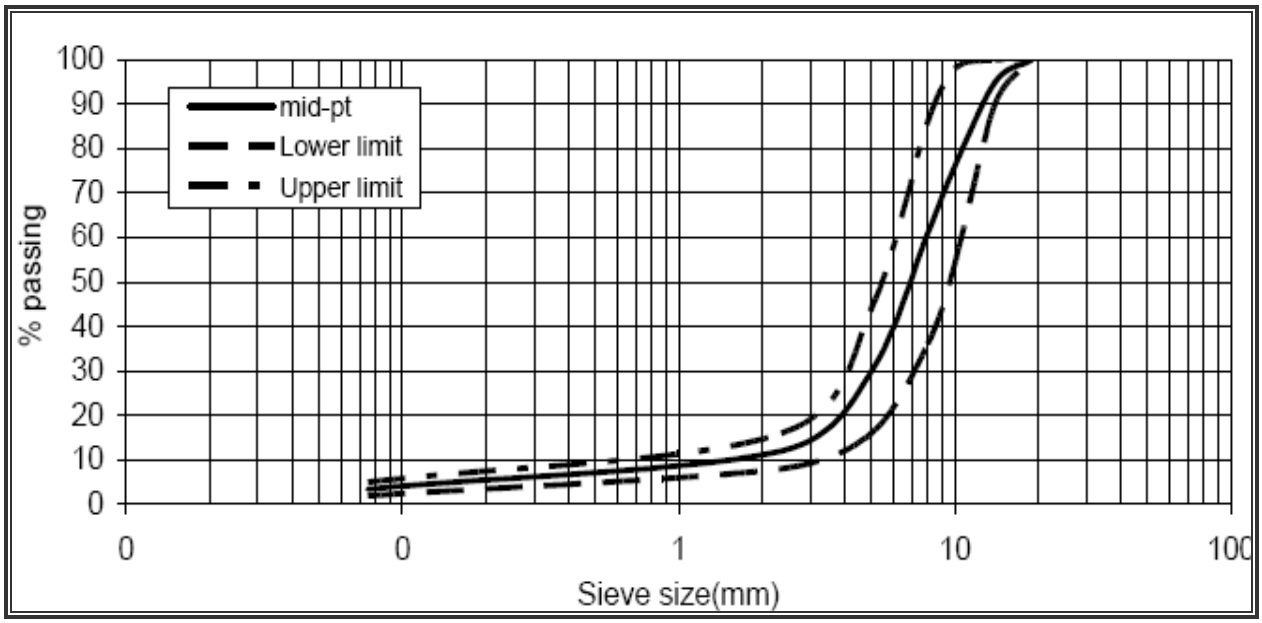
شکل6-12- نمودار حدود دانه‌بندی مجاز مخلوط آسفالتی متخلخل بر اساس کتابچه راهنمای ساختار آسفالت متخلخل برای مدیریت روان‌آب[30].

- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 4، برای دانه‌بندی حد بالا و حد پایین، 25٪ و 10٪ می‌باشد (75٪ و 90٪ درشت‌دانه).
- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 200 (فیلر) ، برای دانه‌بندی حد بالا و حد پایین، 4٪ و 2٪ می‌باشد.
- حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی در این نوع دانه‌بندی 19 میلی‌متر می‌باشد.
- ملاحظه می‌شود که دانه‌بندی مورد استفاده در بر اساس کتابچه راهنمای ساختار آسفالت متخلخل برای مدیریت روان‌آب مشابه دانه‌بندی توصیه‌شده از جانب NAPA می‌باشد.

omoorepeyman.ir

6-4-7- دانه‌بندی مورد استفاده برای طرح آسفالت متخلخل مورد استفاده در مالزی

آسفالت متخلخل مخلوطی با دانه‌بندی ناپیوسته یا گسسته[1] است که شامل مقدار زیادی از مصالح سنگی شکسته تک‌سایز[2]، درصد فضای خالی زیاد که معمولاً بیش از 20٪ است می‌باشد.



شکل 6-13- نمودار دانه‌بندی مورد تأیید برای آسفالت متخلخل در مالزی [27].

- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 4، برای دانه‌بندی حد بالا و حد پایین، 27٪ و 11٪ می‌باشد (73٪ و 89٪ درشت‌دانه).
- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 200 (فیلر) ، برای دانه‌بندی حد بالا و حد پایین، 7٪ و 3٪ می‌باشد.
- حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی در این نوع دانه‌بندی 19 میلی‌متر می‌باشد.
- ملاحظه می‌شود که دانه‌بندی مورد استفاده در مالزی مشابه دانه‌بندی توصیه‌شده از جانب NAPA می‌باشد.

omoorepeyman.ir

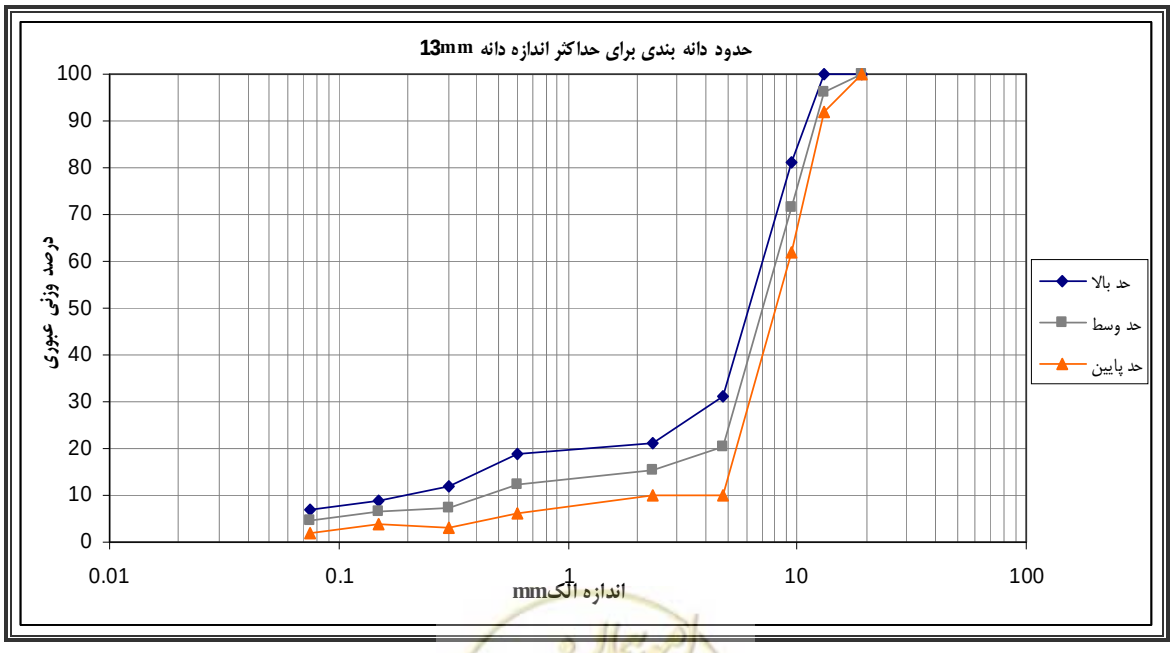
1 - Gap Graded

2 - Single Sized Crushed Stone

6-4-8- نظریه اتحادیه مهندسی بزرگراه ژاپن در مورد دانه‌بندی آسفالت متخلخل

جدول6-35- حدود دانه‌بندی پیشنهادی اتحادیه ا مهندسی بزرگراه ژاپن[34].

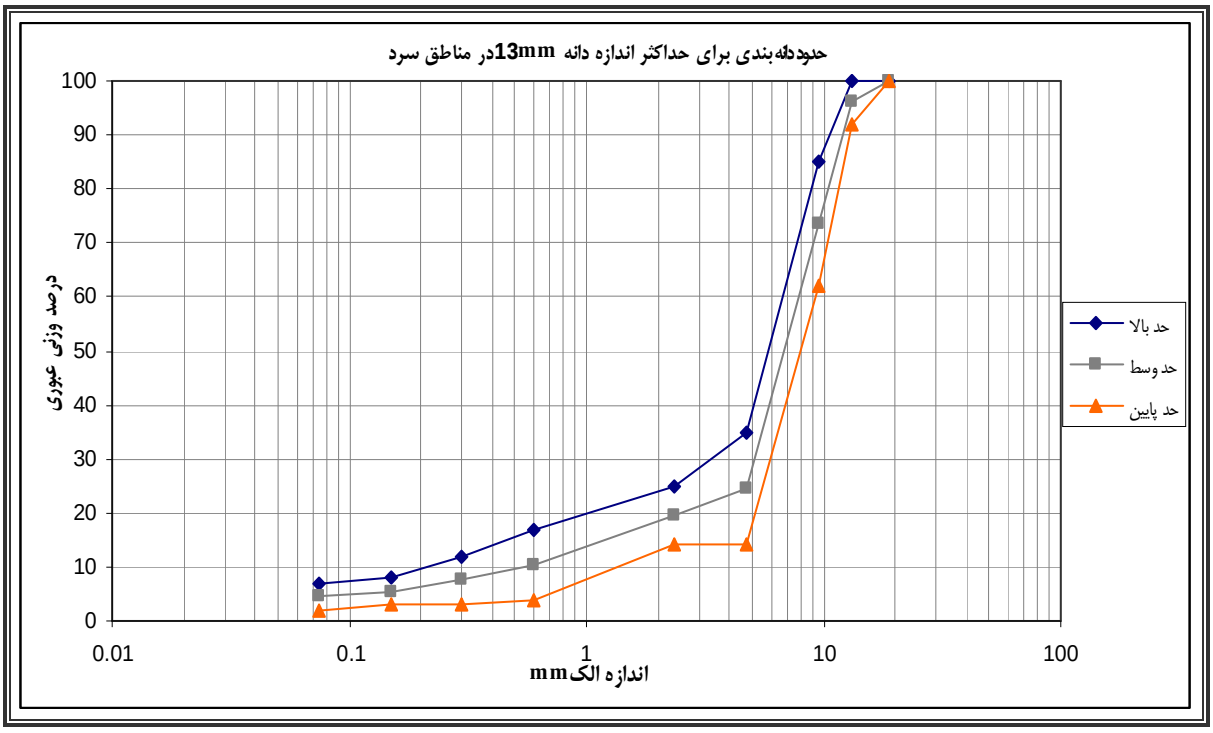
اندازه الک(mm)	درصد وزنی عبوری از هر الک		
	حداکثر اندازه مصالح سنگی، 13 mm		حداکثر اندازه مصالح سنگی، 20 mm
	برای مناطق معمولی	برای مناطق سرد	
26/5	--	--	100
19	100	100	95-100
13/2	92-100	92-100	53-78
9/5	62-81	62-85	35-62
4/75	10-31	14-35	10-31
2/36	10-21	14-25	10-21
0/6	6-19	4-17	4-17
0/3	3-12	3-12	3-12
0/15	4-9	3-8	3-8
0/075	2-7	2-7	2-7



شکل6- 14- نمودار حدود دانه‌بندی مجاز مخلوط آسفالتی متخلخل بر اساس نظریه اتحادیه مهندسی بزرگراه ژاپن برای حداکثر اندازه اسمی دانه 13 میلی‌متر و مناطق معتدل

omoorepeyman.ir

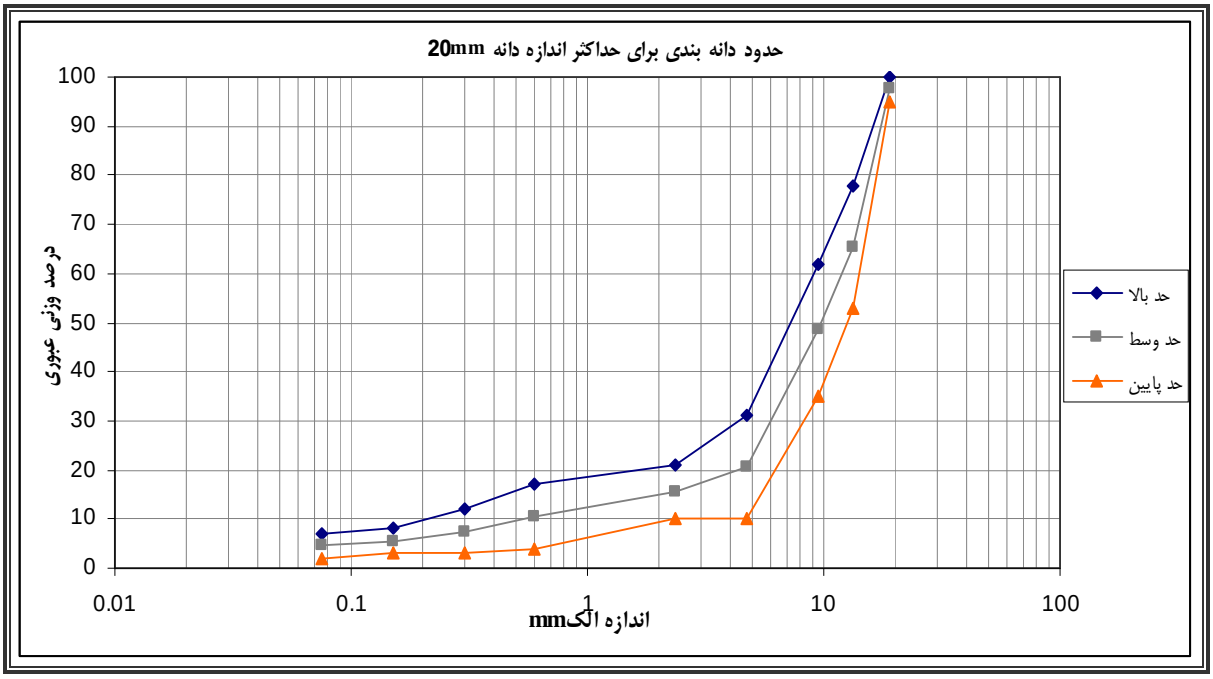
- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 4، برای دانه‌بندی حد بـالا و حـد پـایین، 31٪ و 10٪ مـی‌باشـد (69٪ و 90٪ درشت‌دانه).
- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 200 (فیلر) ، برای دانه‌بندی حد بالا و حد پایین، 7٪ و 2٪ می‌باشد.
- حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی در این نوع دانه‌بندی 13 میلی‌متر می‌باشد.



شکل6- 15- نمودار حدود دانه‌بندی مجاز مخلوط آسفالتی متخلخل بر اساس نظریه اتحادیه مهندسی بزرگراه ژاپن برای حداکثر اندازه دانه 13 میلی‌متر و مناطق سردسیر

- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 4، برای دانه‌بندی حد بـالا و حـد پـایین، 35٪ و 14٪ مـی‌باشـد (65٪ و 86٪ درشت‌دانه).
- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 200 (فیلر) ، برای دانه‌بندی حد بالا و حد پایین، 7٪ و 2٪ می‌باشد.
- حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی در این نوع دانه‌بندی 13 میلی‌متر می‌باشد.

omoorepeyman.ir



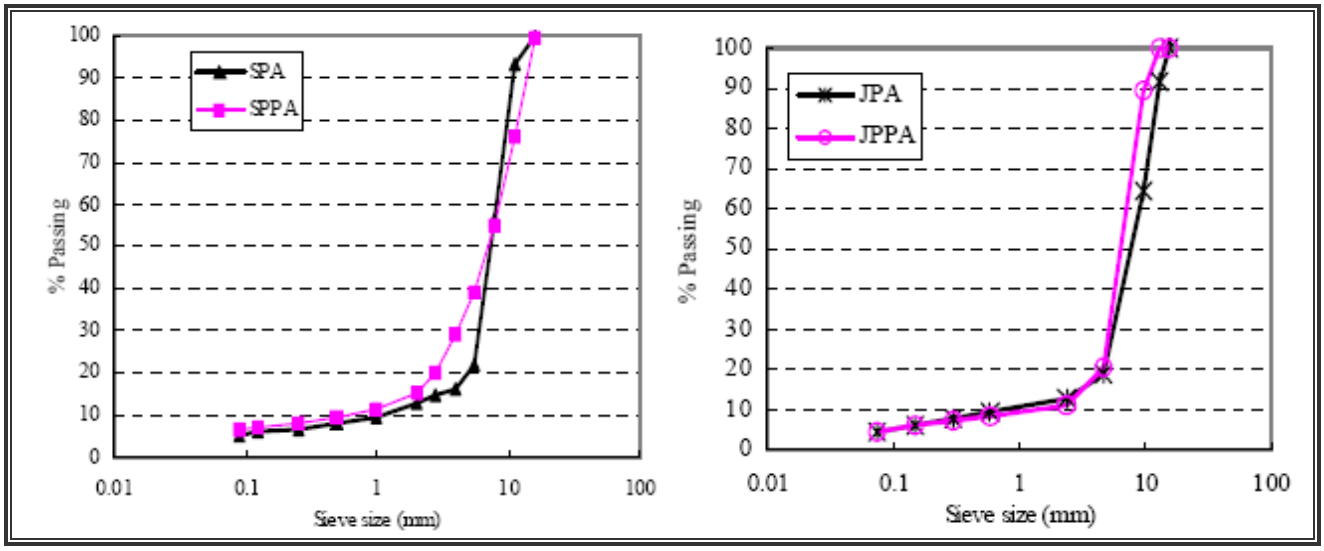
شکل6- 16- نمودار حدود دانه‌بندی مجاز مخلوط آسفالتی متخلخل بر اساس نظریه اتحادیه مهندسی بزرگراه ژاپن برای حداکثر اندازه اسمی دانه 19 میلی‌متر

- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 4، برای دانه‌بندی حد بالا و حد پایین، 31٪ و 10٪ می‌باشد (69٪ و 90٪ درشت‌دانه).
- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 200 (فیلر) ، برای دانه‌بندی حد بالا و حد پایین، 7٪ و 2٪ می‌باشد.
- حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی در این نوع دانه‌بندی 19 میلی‌متر می‌باشد.
- ملاحظه می‌شود که دانه‌بندی مورد استفاده در ژاپن برای حداکثر اندازه اسمی دانه 19 میلی‌متر نزدیک به دانه-بندی توصیه‌شده از جانب NAPA می‌باشد.

omoorepeyman.ir

6-4-9- معرفی دو نوع دانه‌بندی جدید آسفالت متخلخل مورد استفاده در سوئیس و ژاپن

مقایسه ای از دانه‌بندی‌های متداول مورد استفاده در هر دو کشور سوئیس و ژاپن در مقابل دانه‌بندی‌های جدید آنها انجام گرفته، که در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل6-17- نمودار مقایسه‌ای دو دانه‌بندی متداول و جدید آسفالت متخلخل (سمت راست ژاپن و سمت چپ سوئیس)[35].

- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 4، برای دانه‌بندی جدید ژاپن، 12٪ می‌باشد (88٪ درشت‌دانه).
- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 200 (فیلر) ، برای دانه‌بندی جدید ژاپن، 5٪ می‌باشد.
- حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی در این نوع دانه‌بندی 19 میلی‌متر می‌باشد.
- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 4، برای دانه‌بندی جدید سوئیس، 17٪ می‌باشد (83٪ درشت‌دانه).
- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 200 (فیلر) ، برای دانه‌بندی جدید ژاپن، 5٪ می‌باشد.
- حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی در این نوع دانه‌بندی 19 میلی‌متر می‌باشد.

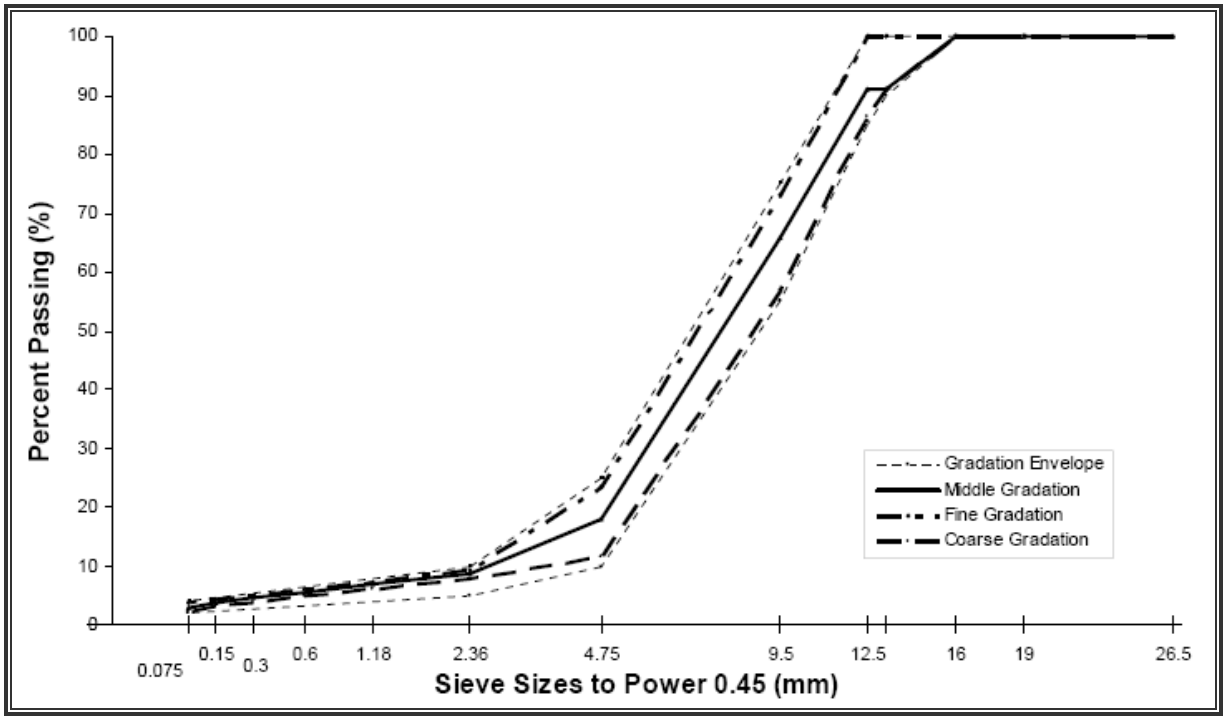
هر دوی این دو نوع دانه‌بندی جدید بکارگرفته شده مقاومت بهتری در مقابل عمل بیش‌تراکم[1](تراکم بیش از اندازه مخلوط‌های آسفالتی متخلخل بدلیل ساختار باز دانه‌بندی آنها منجر به شکستن و خردشدگی سنگدانه‌ها می‌شود) در مقایسه با دانه‌بندی‌های متداول مورد استفاده در این دو کشور نشان دادند[35].

omoorepeyman.ir

1 - Over Compaction

6-4-10- دانه‌بندی مورد استفاده در طرح اختلاط آسفالت متخلخل در کانادا

دانه‌بندی مورد استفاده بر اساس دانه‌بندی توصیه‌شده توسط NAPA در سه طبقه‌بندی متوسط، ریز و درشت می‌باشند، که در شکل زیر حدود هر یک از این دانه‌بندی‌ها نشان داده شده‌اند[21].



شکل6-18- دانه‌بندی آسفالت متخلخل مورد استفاده در طرح اختلاط آسفالت متخلخل در کانادا

- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 4، برای دانه‌بندی حد بالا و حد پایین، 21٪ و 12٪ می‌باشد (79٪ و 88٪ درشت‌دانه).
- درصد مصالح سنگی عبوری از الک نمره 200 (فیلر) ، برای دانه‌بندی حد بالا و حد پایین، 5٪ و 3٪ می‌باشد.
- حداکثر اسمی اندازه مصالح سنگی در این نوع دانه‌بندی 19 میلی‌متر می‌باشد.
- ملاحظه می‌شود که حدود دانه‌بندی مورد استفاده در کانادا نزدیک به دانه‌بندی توصیه‌شده از جانب NAPA می‌باشد.

omoorepeyman.ir

6-4-11- مقایسه دانه‌بندی‌های کشورهای مختلف

استاندارد NCAT،UNHSC و NAPA

برای حداکثر اندازه مصالح 19 میلی‌متر درصد عبوری از الک نمره 4، بین 10٪ تا 25٪ است و درصد عبوری از الک نمره 200، 2٪ تا 4٪ می‌باشد.

مالزی

برای حداکثر اندازه مصالح 19میلی‌متر درصد عبوری از الک نمره 4، بین 12٪ تا 27٪ است و درصد عبوری از الک نمره 200، 3٪ تا 8٪ می‌باشد

استاندارد سوئیس

برای حداکثر اندازه مصالح 11میلی‌متر درصد عبوری از الک نمره 4، بین 14٪ تا 36٪ است و درصد عبوری از الک نمره 200، 3٪ تا 5٪ می‌باشد.

برای حداکثر اندازه مصالح 6 میلی‌متر درصد عبوری از الک نمره 4، بین 76٪ تا 87٪ است و درصد عبوری از الک نمره 200، 3٪ تا 5% می‌باشد.

اداره فدرال بزرگراه، ساختمان حمل و نقل ایالات متحده

برای حداکثر اندازه مصالح 9/5 میلی‌متر درصد عبوری از الک نمره 4، بین 30٪ تا 50٪ است و درصد عبوری از الک نمره 200، 2٪ تا 5٪ می‌باشد.

انستیتو آسفالت

برای حداکثر اندازه مصالح 19میلی‌متر درصد عبوری از الک نمره 4، بین 5٪ تا 25٪ است و درصد عبوری از الک نمره 200، 0٪ می‌باشد.

omoorepeyman.ir

اتحادیه مهندسی بزرگراه ژاپن

درصد عبوری از الک نمره 4، بین 10٪ تا 31٪ برای مناطق معتدل با حداکثر اندازه دانه 13 میلی‌متر، 14٪ تا 35% برای مناطق سرد با حداکثر اندازه دانه 13 میلی‌متر، 10٪ تا 31٪ برای حداکثر اندازه دانه 20 میلی‌متر و درصد عبوری از الک نمره 200، 2٪ تا 7٪ می‌باشد.

اسپانیا

برای حداکثر اندازه مصالح 12میلی‌متر درصد عبوری از الک نمره 4، بین 13٪ تا 27٪ است و درصد عبوری از الک نمره 200، 3٪ تا 6٪ می‌باشد.

در ایالات متحده امریکا بیشتر ایالتها و موسسات از دانه‌بندی با حداکثر اندازه 12/5 میلیمتر استفاده می‌کنند و درصد مصالح درشت‌دانه (بزرگتر از 4/75 میلیمتر) به نسبت دانه‌بندی‌های کشورهای اروپایی کمتر بوده بطوریکه در برخی از ایالتها درصد مصالح کمتر از 4/75 میلیمتر بین 30 تا 50 درصد است. و مصالح زیر الک شماره 8 (2/36 میلیمتر) غالبا بین 5 تا 15 درصد است و درصد فیلر بین 2 تا 5 درصد است.

بطور کلی تفاوت عمده آسفالت متخلخل استفاده شده در ایالات متحده امریکا با آسفالت متخلخل مورد استفاده در اروپا در درصد فضای خالی و ضخامت اجرایی آنها می‌باشد که در امریکا درصد فضای خالی طراحی غالبا 15 درصد و در اروپا بیشتر از 20٪ بوده و ضخامت لایه در کشورهای اروپایی 2 تا 5 سانتمیتر در یک لایه است در حالیکه در امریکا 2 تا 3 سانتیمتر می باشد. و اصولا عملکرد وظیفه ای آسفالت متخلخل در امریکا تا اواخر دهه 90 میلادی ایجاد لایه اصطکاکی برای بهبود ایمنی بوده است در حالیکه در اروپا ایجاد لایه با زهکشی مناسب برای بهبود ایمنی و کاهش آلودگی صوتی می باشد.

با این وجود با تحقیقات جدید انجام در امریکا با بررسی مخلوط‌های آسفالت متخلخل در اروپا تمایل به سمت استفاده از دانه‌بندی‌های درشت‌دانه‌تر بدلیل نفوذپذیری بیشتر پیدا کرده اند. و در حال حاضر برخی از ایالتها از جمله جرجیا، تگزاس و اورگون از درصد فضای خالی طراحی بیشتر از 20 درصد دارند و لایه آسفالت متخلخل در ضخامت های 3 تا 5 سانتیمتر اجرا می گردد.

omoorepeyman.ir

6-4-12- پیشنهاد انتخاب دانه‌بندی مناسب برای ساخت آسفالت متخلخل

آسفالت متخلخل مخلوطی با دانه‌بندی باز و یا گسسته[1] است که شامل مقدار زیادی از مصالح سنگی شکسته تک-سایز[2]، درصد فضای خالی زیاد (معمولاً بیش از 20٪) می‌باشد. انتخاب دانه بندی طرح بایستی بر اساس عملکرد وظیفه‌ای مورد انتظار از آسفالت متخلخل باشد. عملکرد وظیفه‌ای آسفالت متخلخل شامل بهبود ایمنی، کاهش آلودگی صوتی است. اگر کاهش آلودگی صوتی عامل اصلی در انتخاب آسفالت متخلخل باشد بایستی از دانه‌بندی ریز (0/6 یا 0/8 میلیمتر) با ضخامت لایه کم استفاده شود. با این دانه‌بندی‌ها ایمنی بهبود می‌یابد. با این وجود با انتخاب دانه-بندی‌های درشت‌تر با ساختار مخزنی (ضخامت لایه 5/5 -4 سانتیمتر) با زهکشی سریع آب باران پارامترهای ایمنی بهبود بیشتری می‌یابند.

بیشتر موسسات و مراکز معتبر که در زمینه آسفالت متخلخل کار می‌کنند، دانه‌بندی مورد استفاده بر اساس دانه-بندی توصیه‌شده توسط انجمن روسازی آسفالتی ملی NAPA را بعنوان مرجع برای انجام پروژه‌های اجرایی و تحقیقاتی مورد استفاده قرار می‌دهند. بعبارت دیگر راهنمای طرح و استفاده از آسفالت متخلخل برای کشورها و استفاده‌کنندگان از این نوع روسازی معادل معیارها و توصیه‌های ارایه‌شده برای مخلوط‌های با دانه‌بندی باز[3] می‌باشد که عموما شامل معیارهای توصیه‌شده توسط انجمن روسازی آسفالتی ملی می‌شود. علاوه بر آن دانه‌بندی مورد استفاده در اسپانیا با توجه به سازگاری اندازه الکها آن با استاندارد الکها در ایران توصیه می‌شود.

1 - Gap Graded
2 - Single Sized Crushed Stone
3 - open-graded friction (surface) course

omoorepeyman.ir

جدول6-36- حدود دانه‌بندی آسفالت متخلخل

درصد وزنی عبوری از هر الک			
3	2	1	شماره دانه‌بندی / اندازه الک(mm)
100	100	100	19
75-100	70-100	85-100	12/5
60-90	38-62	55-75	9/5
32-50	13-27	10-25	4/75 (# 4)
10-18	9-20	5-10	2/36 (# 8)
3-6	3-6	2-4	0/075 (# 200)

مراجع

1- کورش جایروند، بررسی و مقایسه مشخصات فنی آسفالت متخلخل با بتن آسفالتی، پایان نامه کارشناسی ارشد، 1380-

2- Huber, G. Performance Survey on Open-Graded Friction Course Mixes. Synthesis of Highway Practice 284. Transportation Research Board, National Research Council,Washington, D.C., 2000.

3- Austroads, Australian Asphalt Pavement Association (AAPA), ARRB Transport Research Ltd. *Selection & Design of Asphalt Mixes: Australian Provisional Guide*. Australian Provisional Guide (APRG) Report No 18. Austroads Technical Report AP-T20/02, Austroads, Vermont South, Australia, 2002.

4- Kandhal,P. *Design, Construction, and Maintenance of Open-Graded Asphalt Friction Courses*. Information series 115. National Asphalt Pavement Association, Lanham, MD,2002.

5- Allex E. Alvarez at all "Synthesis of Current Practice on the Design, Construction, and Maintenance of Porous Friction Courses", Texas Department of Transportation, Federal Highway Administration. May 2006.

6- Manual, guidelines for the productin and construction, of a new generation *Open-Graded Friction Courses*.Georgia Department of Transportation.

7- Lily. D. Poulikakos, Empa,Michel Pittet, Laurent Arnaud, at all A, "Mechanical Properties of Porous Asphalt,Recommendations for Standardization", Swiss Federal Laboratory for Materials Testing and Resarch, Empa, December 2006.

8- Ruiz A.: Mixture design porous asphalt in spain,1997.

9- Surface Asphalt Edited Nicholls , 1998.

10- F. Bonemazzi, V. Braga, R. Corrieri, C. Giavarini, F. Sartori, Characteristics of Polymers and Polymer-Modified Binders,Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,Volume 1535 / 1996.

omoorepeyman.ir

11- B.MJ.A.Verhaeghe, at all, Properties of polymer and fiber modified porous asphalt mix, 6th conference of asphalt pavement for southern Africa.

12- Carsten Bredahl Nielsen, Porous pavement with PMB, DRI, 2006.

13- Voskuilen J.L.M., Tolman F., Rutten E.: Do modified porous asphalt mixtures have a longer service life?3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress,Vienna,2004.

14- Nielsen C.B., Nielsen E.,Andersen J.B., Raaberg J.: Development of durable porous asphalt mixes from laboratory experiments 3rd Eurasphalt &Eurobitume Congress, Vienna, 2004.

15- Wegan V., Brûlé B.: Effect of design parameters on the microstructure of eva modified bitumen in special hot mixtures 2nd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Barcelona , 2000.

16- Mouillet V., Kister J., Saury C., Martin D., Planche J.-P.: Towards a better understanding of polymer modified bitumens microstructure: Use of FTIR microscopy 2nd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Barcelona, 2000.

17- Potgieter C.J., Sadler D.E., de Villiers E.M.: Bitumen Rubber Asphalt:Report on the long term performance in South Africa ISAP 9th International conference on Asphalt Pavements,2002.

18- Carsten Bredahl Nielsen, Durability of porous asphalt- Danish Road Institute, November 2006.

19- Rayner C., Rowe G.M.: Properties of mastics using different fillers with both unmodified and EVA-modified binders 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Vienna,2004.

20- Hagos, E.T. : The effects of Ageing of Bituminous Mortar on the Ravelling of Porous Asphalt Surface Layers, a Literature Review,2004.

21- Lari Kathryn Schaus, Porous asphalt pavement design: Proactive design for cold climate use, waterloo university, Ontario, 2007.

22- Brown, E. Ray, L. Allen Cooley, Jr., and Donald E. Watson. *Evaluation of OGFC Mixtures Containing Cellulose Fibers.* NCAT Report No. 2000-05, December 2000.

23- Bjorn Birgisson,and Reynaldo Roque, Ph.D., P.E., of the University of Florida,EVALUATION OF THICK OPEN-GRADED AND BONDED FRICTION COURSES FOR FLORIDA, Department of transportation Florida, October 2006.

24- Rebecca S. McDaniel, FIELD EVALUATION OF POROUS ASPHALT PAVEMENT, North Central Superpave Center, Purdue University,2004.

25- Porous Asphalt mixtures in spain , By: A.Ruiz , R.Alberola , F. Perez and B.Sanchez , TRR , no. ۱۲۶۵،۱۹۹۰.

omoorepeyman.ir

26- British Standards Institute (BSI). Coated Macadam (Asphalt Concrete) for Roads and Other Paved Areas–Part 1: Specification for Constituent Materials and for Mixtures. BS 4987-1:2005. 2005.

27- PERFORMANCE-RELATED EVALUATION OF POROUS ASPHALT MIX DESIGN, Dr. Low Boon Hwee, 2004.

28- Porous Asphalt Porous Asphalt Pavements / Stone Recharge Beds, Brandon Milar Executive Director Northern California Asphalt Pavement, 2004

29- Federal Highway Administration. Open-Graded Friction Courses FHWA Mix Design Method. Technical Advisory T 5040,31. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., 1990.

30- Guidance Specification for Porous or Dense-Graded Hot-Mix Asphalt Pavement Structures for Storm Water Management, November 29, 2006.

31- UNHSC Design Specifications for Porous Asphalt Pavement and Infiltration Beds, University of New Hampshire Stormwater Center, July 2007.

32- Van der Zwan, J., T. Goeman, H. Gruis, J. Swart, and R. Oldenburger, "Porous Asphalt Wearing Courses in the Netherlands: State of the Art Review," Transportation Research Record 1265,

33- Asphalt Institute, Executive Offices and Research Center, Asphalt Institute , Executive Offices and Research Center, 1995.

34- ACTIVITIES OF POROUS ASPHALT ON EXPRESSWAYS, Masato Asahi, Kazumasa Kawamura, Japan highway public Corporation.

35- A Comparison of Swiss and Japanese Porous Asphalt Through Various Mechanical Tests, Lily D. Poulikakos, EMPA Shigeki Takahashi, Japan Highway Public Corporation, JHRI Manfred N. Partl, EMPA, 2004.

36- Optimizing the Design of Permeable Friction Courses (PFC) Texas Department of Transportation and the Federal Highway Administration, February 2008.

omoorepeyman.ir

فصل 7

تعیین روند مناسب طرح اختلاط آسفالت متخلخل

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

7- تعیین روند مناسب طراحی اختلاط آسفالت متخلخل و ارائه چک لیست های لازم

7-1- بررسی روش‌های طرح اختلاط آسفالت متخلخل در چند کشور دارای تجربه در این زمینه

در طرح اختلاط آسفالت متخلخل همواره سعی بر این است تا تعادل بین حداقل و حداکثر مقدار قیر در مخلوط‌های با دانه‌بندی باز حفظ شود. اگر مقدار مصالح درشت‌دانه که برای این نوع آسفالت استفاده می‌شود، زیاد باشد و مقدار مصالح ریزدانه کم باشد، خطر هدر رفت قیر بالا می‌رود. اما اگر تنها مقاومت در برابر شن‌زدگی در نظر گرفته شود، باید سعی کرد میزانی قیر را تا حدی افزایش یابد که از زهکش شدن آن در حین تولید، حمل و پخش اجتناب شود. این کار موجب افزایش ضخامت فیلم قیری و در نتیجه مقاومت در برابر پیرشدگی قیر و مقاومت کافی در برابر خرابی های ناشی از آب می‌شود. در این رابطه، مهم این است که این تضمین بوجود آید تا چسبندگی کافی بین قیر و مصالح سنگی ایجاد شود که این کار با استفاده از عامل‌های چسبنده دیگر نیز صورت می‌گیرد که از جمله آنها می‌توان به آمین‌ها، آهک و موارد دیگر اشاره کرد. استفاده از قیرهای اصلاح شده و الیاف باعث پایداری قیر شده و این امکان را بوجود می‌آورد تا میزان قیر افزایش یابد. کیفیت بالای فیلر باعث بیشتر شدن میزان چسبندگی و مقاومت آسفالت در برابر پیرشدگی می‌گردد.

تحقیقات میدانی و آزمایشگاهی زیادی درباره طرح اختلاط آسفالت متخلخل و آزمایشهای عملکردی آن در کشورهای مختلف بویژه کشورهای اروپایی صورت گرفته که در ادامه به آنها اشاره می‌شود. و سپس به روش‌های طرح اختلاط در امریکا و چند کشور اروپایی و استرالیا پرداخته می‌شود.

در سال 1981 سه محقق اسپانیائی یک گزارش اولیه ولی بسیار جالب در سمپوزیوم اروپائی قیر در کن ارائه دادند. این گزارش نشان داده است که آزمایش مارشال ناکافی است، زیرا نتایج آن نسبت به تغییرات مقدار ماده چسباننده حساس نیست. از آن زمان یک تمایل گسترده برای قبول این نتیجه‌گیری که بوسیله دیگر نویسندگان نیز تائید شده بود، بوجود آمد. ولی اتواستراده ایتالیایی بر این باور نیست، زیرا حداقل متغیرهای از استحکام مارشال با سه دانه‌بندی مختلف ارایه داده است. باید توجه داشت که این مشخصات مربوط به نمونه‌های مصالح آغشته گرفته از کارخانه مخلوط کن یا در پای فینیشر است. سه محقق مذکور اسپانیائی همچنان محاسبه کردند که آزمایش کششی غیر مستقیم در واقع چیزی نیست که مورد نیاز باشد. البته این نتیجه‌گیری توسط اتواستراده تایید نگردیده زیرا بر طبق مشخصات آن زمان حق انجام چنین آزمایش‌هایی برای کنترل تولید را محفوظ می‌دارد [1].

omoorepeyman.ir

در نتیجه سه محقق اسپانیائی همراه دیگران یک نوع تست سایش ارایه کردند. از آن زمان تاکنون تست cantabro cantabrk نامیده شده است. که در بسیاری از کشورها پذیرفته شده است و از آن برای تعیین حداقل میزان ماده چسباننده استفاده می‌کنند.

براساس گزارش آقای Ruiz که به طور خلاصه به مخلوط‌های آسفالت متخلخل استفاده شده در اروپا می‌پردازد. از ابتدای دهه هشتاد میلادی، فرآیندهای مختلفی برای طراحی آسفالت توصیف شده و از آزمایش‌های مکانیکی نیز به این منظور استفاده گردید. البته در اروپا هیچ گاه توافقی بر سر یک فرآیند خاص حاصل نشد. اساسا از بیشترین میزان قیر برای تعیین درصد فضای خالی مورد نظر استفاده می‌کنند. برخی از کشورها آزمایش‌های تکمیلی دیگری از جمله آزمایش زهکش شدن قیر، آزمایش حساسیت در برابر آب و آزمایش هدر روی مصالح را بر روی نمونه‌های مخلوط آسفالتی انجام می‌دهند. نمونه‌های آزمایشگاهی معمولا با چکش مارشال کوبیده می‌شوند. اما در فرانسه از دستگاه متراکم کننده چرخشی(Gyratory) استفاده می‌شود [2].

رایج‌ترین آزمایش مکانیکی مورد استفاده، آزمایش کانتابرو (Cantabro) است که با نمونه‌های مارشال قرار داده شده در دستگاه لوس آنجلس و بدون استفاده از گلوله‌های فولادی انجام می‌شود. بر طبق این آزمایش، بعد از 300 بار گردش، افت وزنی نمونه‌ها بخاطر هدر روی ذرات اندازه‌گیری می‌شود. نتایج این نوع تست به درجه حرارت محیط بسیار حساس هستند لذا آزمایش در درجه حرارتهای مشخصی انجام می‌گیرد. نتایج این آزمایش با نتایج آزمایش سختی قیر که توسط Nielson و همکاران انجام شد، همبستگی خوبی دارد و اساسا این آزمایش مخلوط را در برابر ضربه اندازه‌گیری می‌نماید. آزمایش کانتابرو همچنین برای ارزیابی مخلوط آسفالتی را در برابر آب با غوطه‌ور نمودن نمونه‌ها در آب و مقایسه آنها با نمونه‌های خشک استفاد می‌شود[3].

چندین کشور هم آزمایش کانتابرو را بخاطر فقدان همبستگی خوب با ایجاد پدیده شن‌زدگی بر روی جاده‌ها مورد انتقاد قرار داده‌اند. این انتقادها بویژه از زمانی که قیرهای اصلاح شده مورد استفاده قرار گرفت، شدت بیشتری پیدا کرد، چون در این کشورها، نتایج آزمایشها با نتایج میدانی فاصله فراوانی دارد. آقای Tolman و همکاران گزینه‌ای را برای آزمایش کانتابرو برگزیدند که آزمایش CTT (Cyclic Tensile Test) نام دارد و ارتباط تنگاتنگی با مدل آزمایش خرابی مکانیکی آسفالت متخلخل دارد. ایشان در حین آزمایشهای خود به این نتیجه رسید که آزمایش CTT تفاوت قابل توجهی با سایر آزمایش‌ها دارد، هر چند در این آزمایش نیز خبری از وضعیت واقعی جاده‌ها نیست. آقای Tolman

omoorepeyman.ir

به این مدل گسترش بیشتری بخشید، اما آزمایش نتوانست صلاحیت لازم برای ثبت در کتب و مقالات را کسب کند. آقای Voskuilen و همکارانش در هلند نیز در آزمایشها خود متوجه شدند که هیچ رابطه‌ای بین نتایج آزمایش کشش غیر مستقیم، آزمایش کانتابرو و آزمایش کشش مستقیم با رفتار میدانی آسفالت متخلخل در 26 مقطع آزمایشی که برای مقایسه در نظر گرفته شده بود، وجود ندارد[4].

Molenaar و همکارانش تحقیقاتی در زمینه مقاومت در برابر شن‌زدگی با استفاده از آزمایش چرخ سایش (WFT)[1] و آزمایش سایش کالیفرنیا (CAT)[2] انجام دادند. ایشان بیان داشتند که یک گزینه قطعی برای تعریف مقاومت مکانیکی آسفالت متخلخل مرتبط با شن‌زدگی، تاکنون ایجاد نشده است. ایشان چنین نتیجه‌گیری می‌کند که افت فراوان در WFT و CAT مربوط به نفوذ قیر در درجه حرارت آزمایش است[5].

آزمایش جدیدی در شرکت Nynas توسعه و معرفی شده است، که طی آن چرخ‌های یک خودرو بر روی سطح آسفالت خیس حرکت داده می‌شدند و نیروهای اصطکاک وارده بر چرخ در زاویه شش درجه اندازه‌گیری می‌گردید. نتایج این آزمایش همخوانی خوبی با تجربیات بدست آمده از شن‌زدگی جاده‌ها داشتند. آقای Bochove پیشنهاد یک شیوه آزمایش جدید بنام آزمایش سایش چرخشی سطحی (RSAT)[3] را مطرح کرد تا به بررسی پایداری مکانیکی آسفالت متخلخل پرداخته شود. در حین آزمایش افت مصالح سنگی آسفالت مشاهده گردید و به عنوان نشانی از دوام مخلوط قلمداد شد[6]. آقای Hagos پیشنهاد اعمال تنش‌های برشی متناوب را به این آسفالت‌ها به منظور شبیه‌سازی تأثیر دراز مدت ترافیک بر آسفالت و مقاومت در برابر شن‌زدگی نموده است[7].

1 - Wheel Fretting Test
2 - California Abrasion Test
3 - Rotating Surface Abrasion Test

omoorepeyman.ir

7-1-1- مروری بر روش‌های طرح اختلاط در ایالتهای آمریکا

مطالعاتی که توسط هابر[1] در سال 2000 انجام شد، نشان می‌دهد که ایالتهای مختلف از یک روش یکسان برای طرح اختلاط مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز استفاده نمی‌کنند. روشهای طرح مخلوط گوناگونی وجود دارد، که معیارهای متفاوتی را در تعیین درصد قیر بهینه برای مخلوط‌هایی با دانه‌بندی باز بکار می‌برند[8].

برای مثال ایالتهای فلوریدا[2] و وایومینگ[3] از روش توصیه‌ای FHWA[4] (T5040,31) استفاده می‌نمایند، در حالیکه در نیومکزیکو[4] روش خاصی برای طرح اختلاط وجود ندارد و برای تعیین درصد قیر بهینه از ارزیابی چشمی آزمایش زهکش شدن[5] قیر و میزان اندود شده مصالح سنگی استفاده می‌نمایند. معیارهایی که در ایالت جورجیا[6] برای طرح اختلاط مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی باز استفاده می‌شود، عبارت است از: میزان اندودشدگی مصالح بعد از جوشاندن، مقاومت در مقابل زهکش شدن قیر و حجم قیر. حجم قیر بهینه با ارزیابی حداقل درصد فضای خالی در مصالح سنگی معین می‌شود. آزمایش زهکش شدن قیر در درصد قیر بهینه انجام می‌شود و با این مقدار از حجم قیر، مقدار الیاف مورد نیاز برای آنکه آزمایش نزول جواب مناسب بدهد، مشخص می‌گردد.

ایالت اورگون[7] در سال 2000 بیان می‌دارد، که مقدار درصد فضای خالی، معیار طرح اختلاط می‌باشد. درصد فضای خالی مورد نیاز مخلوط و درصد فضای خالی مورد نیاز پر شده با قیر به ترتیب بین 13/5 تا 16 درصد و 40 تا 80 درصد قرار دارد. علاوه بر آن آزمایش زهکش شدن قیر نیز انجام می‌شود.

7-1-1- 1- روش FWHA (1990):

در دسامبر 1990، اداره فدرال بزرگراه‌های آمریکا راهنمای کاملی برای طرح اختلاط رویه‌های با دانه‌بندی باز ارایه نمود. (T5040,31) [9]. این متدولوژی براساس ظرفیت سطحی مصالح سنگی غالب بر اساس روش آشتو T270 می-

1 . Huber
2- Florida
3- Wyoming
4- New Mexico
5- Draindown
6- Georgia
7- Oregon

omoorepeyman.ir

باشد. (بوسیله غرقاب کردن و زهکشی کردن با روغن S.A.E.No.10). مصالح سنگی غالب عبارتند از مصالح عبوری از الک ($\frac{3}{8}$) و مانده روی الک 4.

حجم قیر با استفاده از فرمول تجربی بدست می‌آید که شامل متغیرهای مقدار ثابت سطحی (k_c) و وزن مخصوص ظاهری مصالح سنگی غالب (SG_a) می‌باشد. درصد فضای خالی 15 درصد در نظر گرفته شده است و درصد مصالح سنگی ریزدانه نسبت به کل مصالح سنگی محاسبه می‌شود.

بعلاوه، برای تعیین درجه حرارت اختلاط بهینه (با در نظر گرفتن زهکش شدن قیر) و اثر آب آزمایش غرقاب (T165) و آزمایش مقاومت فشاری (T167) در نظر گرفته می‌شود. در پیوست 1 این فصل به طور مفصل به شرح این روش پرداخته می‌شود.

7-1-1- 2- روش طرح اختلاط NCAT

بر اساس تجربیات ایالتهای مختلف در آمریکا و برخی از کشورهای اروپایی، NCAT در سال 2000 روشی را برای طرح اختلاط مخلوطهای با دانه‌بندی باز ارائه نمود که تجربیات سالهای اخیر نیز در آن به‌کار گرفته شده است[10].

روند طرح اختلاط شامل مراحل زیر می‌باشد:

1- انتخاب مصالح سنگی

2- انتخاب دانه‌بندی

3- انتخاب حجم قیر بهینه

4- ارزیابی خاصیت مصالح در مقابل رطوبت

ملاحظات این روش در انتخاب مصالح منطبق بر انتخاب مصالح سنگی SMA[1] می‌باشد که بر این اساس مصالح سنگی باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:

- درصد سایش لوس‌آنجلس زیر 30 درصد باشد.

- صددرصد مصالح سنگی باید حداقل دارای یک وجه شکسته و نود درصد آن حداقل دارای دو وجه شکسته باشد.

omoorepeyman.ir

- درصد مصالح ورقه‌ای و یا طویل با نسبت حداکثر طول به حداقل 5 به 1 باید کمتر از 5 درصد و با نسبت 3 به 1 کمتر از 20 درصد باشند.

- درصد شکستگی مصالح ریزدانه (FAA[1]) باید بیشتر از 45 درصد باشد.

NCAT در انتخاب نوع قیر برای مخلوط‌های با دانه‌بندی باز به معیار ترافیک توجه نموده است. برای ترافیک متوسط و بالا توصیه می‌نماید که از قیر با سختی بالا (در مبنای درجه عملکرد و یا همان PG، دو درجه سفت تر از قیری می‌باشد که در شرایط معمول آب و هوایی استفاده می‌شود) به همراه اضافه کننده‌هایی چون فیبر و یا پلیمر برای رسیدن به مطلوبیت لازم استفاده شود و برای ترافیک پایین تا متوسط قیر معمولی اصلاح شده با پلیمر یا فیبر را توصیه می‌نماید. NCAT برای اضافه کننده فیبر سلولوزی و یا فیبر معدنی مقدار 0/3 و 0/4 درصد را نسبت به وزن کل توصیه می‌نماید. بطور معمول از 0/2 تا 0/5 درصد بسته به نتایج تست زهکشی قیر[2] (ASTM D6390) استفاده می‌شود.

مرحله دوم طرح اختلاط انتخاب دانه‌بندی مناسب می‌باشد بگونه‌ای که درصد فضای خالی کل مخلوط تامین گردد و همچنین تماس سنگ روی سنگ[3] برای مصالح سنگی درشت‌دانه وجود داشته باشد. مصالح سنگی درشت به مصالح مانده روی الک 4 گفته می‌شود.

وقتی درصد فضای خالی مصالح درشت‌دانه مخلوط متراکم شده (VCA_{mix}) (که با هوا، قیر و مصالح ریزدانه پر می‌شود) کمتر از حجم فضای خالی مصالح سنگی درشت‌دانه محاسبه شده از آزمایش وزن واحد میله خشک[4] (VCA_{DRC}) گردد، یعنی $VCA_{mix}<VCA_{DRC}$ باشد مخلوط دارای ساختار تماس سنگی روی سنگ می‌باشد. دانه‌بندی مورد توصیه برای آسفالت با دانه‌بندی باز در جدول 7-1 ارایه شده است.

ابتدا با توجه به جدول 7-1، سه ترکیب آزمایشی از مصالح سنگی از حد وسط، بالا و پایین تهیه نمایید. سپس با استفاده از بخش درشت مصالح سنگی مقدار VCA_{DRC} را براساس AASHTO T19 (چگالی حجمی و درصد فضای خالی، در مصالح سنگی) محاسبه نمایید. سپس VCA_{max} را برای نمونه متراکم شده با حجم قیر 6 تا 6/5 درصد و با هر یک از دانه‌بندی‌ها محاسبه نمایید. (نمونه‌ها با 50 چرخش در متراکم کننده دورانی سوپرپیو کوبیده شوند). اگر در نمونه‌های واقعی خواسته شود از فیبر استفاده گردد به این نمونه‌ها نیز فیبر اضافه نمایید. دانه‌بندی مورد قبول است که

۱- Fine aggregate angularity
۲- Draindown Test
۳- Stone – on Stone contact
٤ -dry rodded unit weight

omoorepeyman.ir

ساختار سنگ روی سنگ ($VCA_{mix}<VCA_{DRC}$) در آن وجود داشته باشد و بالاترین درصد فضای خالی تامین گردد. درصد فضای خالی مصالح با دانه‌بندی باز با وزن حجمی نمونه‌های متراکم شده و وزن مخصوص ماکزیمم تئوری مخلوطهای غیر متراکم بدست می‌آمد. در مرحله سوم طرح درصد قیر بهینه براساس یک سری از آزمایشات بر روی نمونه متراکم شده و یا غیر متراکم با مقادیر مختلف قیر بدست می‌آید. جدول 7-2 مجموعه این آزمایشها و ویژگیهای مورد نیاز نشان داده شده است. نمونه‌های متراکم با 50 دوران متراکم‌کننده دورانی سوپرپیو ساخته شده‌اند.

اندازه نفوذپذیری بزرگتر از 100 متر بر روز مطلوب می‌باشد با این وجود معین نمودن نفوذپذیری نمونه‌های متراکم شده (ASTM PS129) اختیاری می‌باشد.

آخرین گام طرح اختلاط ارزیابی حد رطوبتی با استفاده از آزمایش لوتمن اصلاح شده[1] (AASHTO T283) می‌باشد. بعد از 5 سیکل یخ – ذوب، مقاومت کششی نمونه‌های متراکم شده با 50 دوران در تراکم کننده سوپرپیو نباید کمتر از 80 درصد مقاومت اولیه نمونه‌ها باشد.

جدول 7-1- دانه‌بندی مورد توصیه NCAT

درصد عبوری	اندازه الک (میلیمتر)
100	19
80-100	12/5
35-60	9/5
10-25	4/75
5-10	2/36
2-4	0/075

1 - modified lottman method.

omoorepeyman.ir

جدول7-2- آزمایشهای تعیین حجم قیر بهینه

آزمایش	محدودیتها
آزمایش زهکش شدن قیر	کمتر از 0/3درصد وزنی مخلوط
درصد فضای خالی	بیشتر از 18 درصد
آزمایش سایش کانتابرو (نمونه‌های پیر نشده[1])	سایش کمتر از 20 درصد
آزمایش سایش کانتابرو (نمونه‌های پیر شده2)	سایش کمتر از 30 درصد

1- مقدار حداقل 18 درصد است. با این حال نمونه‌های با درصد فضای خالی بیشتر نفوذپذیری بالاتری فراهم می‌کنند.

بیشتر تحقیقات جدید NCAT بر روی دو مسئله متمرکز شده است:

1- بررسی بکارگیری 50 دوران به عنوان تعداد دوران طرح برای متراکم نمونه‌ها در متراکم کننده دورانی سوپرپیو

2- بررسی نمونه‌ها در طی آزمایش کانتابرو.

بیشتر تحقیقات نشان می‌دهد که مصالح سنگی بعد از 30 تا 60 دوران به تراکم معادل بعد از غلتک‌زنی اولیه می‌رسند. در واقع نمونه‌ها بعد از 20 دوران به بیشترین تراکم می‌رسند با این وجود برای اینکه ساختار سنگ روی سنگ بدست آید ($VCA_{mix}<VCA_{DRC}$) نیاز به تراکم 45 تا 60 دوران می‌باشد. علاوه بر این میان نیروی تراکمی حاصل از 50 دوران متراکم‌کننده دورانی سوپرپیو و 50 ضربه مارشال سازگاری مناسبی وجود دارد.

آزمایش کانتابرو عموما بر روی نمونه‌ها پیر شده صورت می‌پذیرد. این مراحل پیرشدگی به منظور ارزیابی مقاومت سایشی نمونه‌ها بعد از سفت‌شدگی قیر (اکسیداسیون قیر) توصیه می‌شود. برای پیرشدگی، 5 نمونه براساس AASHTO PP2-01 به مدت 120 ساعت در دمای 85 درجه در گرمخانه تحت فشار قرار می‌گیرند و سپس اجازه داده می‌شود تا نمونه‌ها تا دمای 25 درجه سانتیگراد خنک شده و سپس بعد از 4 ساعت آزمایش کانتابرو بر روی آنها صورت می‌گیرد. نتایج اخیر نشان می‌دهد که نتایج آزمایش کانتابرو برای نمونه‌های پیر شده و پیر نشده چندان تفاوتی وجود ندارد لذا تنها انجام آزمایش کانتابرو بر روی نمونه‌های پیر نشده کفایت می‌کند بگونه‌ای که درصد سایش از 20 درصد تجاوز نکند.

1- Contabro test(unaged compacted samples).

2- Contabro test(aged compacted samples).

omoorepeyman.ir

7-1-2- روش طرح اختلاط هانسون[1] (طرح اختلاط آسفالت متخلخل)

روش طرح اختلاط هانسون ترکیبی از روش‌های طرح اختلاط تجربی و عملکردی می‌باشد. طرح اختلاط اولیه روش هانسون براساس روش طرح اختلاط مارشال می‌باشد که در سری دوم دستورالعملهای انستیتو آسفالت آورده شده است. (Asphalt Institute, 1997). روش مارشال بخاطر روش تهیه نمونه‌ها یک روش تجربی می‌باشد. این روش شامل تحلیل های حجمی و آزمایشهای مکانیکی (آزمایش مقاومت مارشال) می‌باشد که حجم بهینه قیر از آنها حاصل می‌شود. [12]

در روش هانسون براساس درصد قیر بهینه‌ای که از طرح اختلاط مارشال بدست می‌آید نمونه‌های مختلفی ساخته می‌شود که با آزمایش‌هایی چون مقاومت شیارشدگی، مقاومت کششی، سفتی، خزش، مقاومت در مقابل رطوبت، نفوذپذیری و مشخصات اصطکاکی و عملکردی این نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

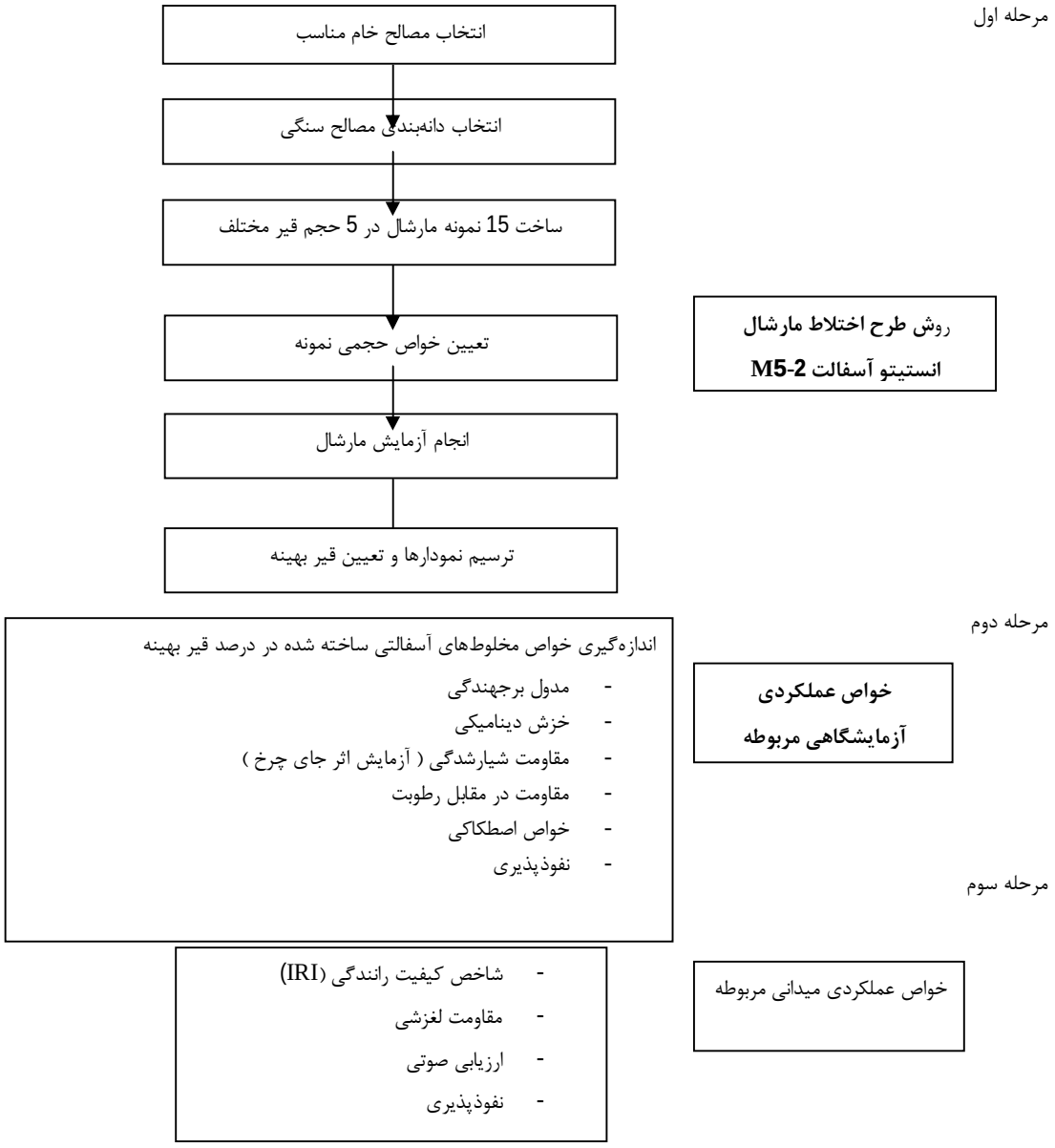
حجم قیر نهایی از طریق ارزیابی خصوصیات عملکردی نمونه‌ها تعیین می‌گردد. شکل7-1 جمع‌بندی از روش طرح اختلاط هانسون می‌باشد.

مزیت اصلی این روش آن است که تنها بر روی تعیین حجم قیر بهینه تمرکز نمی‌کند، بلکه در طی آن اطلاعات مناسبی در ارتباط با مشخصات عملکردی مخلوط فراهم می‌شود. این اطلاعات برای مهندس طراح روسازی زمینه مناسبی را جهت بهره‌گیری از مخلوط مناسب در رسیدن به عملکرد مورد نظرش فراهم می‌کند. همچنین این روش برای طرح اختلاط مخلوط‌های جدید که از قیر اصلاح شده و یا اضافه کننده‌ها استفاده می‌کنند، بسیار مفید است.

اساس روش طرح اختلاط بر روش مارشال استوار می‌باشد که یک روش فراگیر و رایج در سایر کشورها می‌باشد اما در این روش طرح اختلاط تعیین درصد قیر بهینه باید با آزمایشهای عملکردی تکمیل گردد که ممکن است بسته به نوع آسفالت، شرایط منطقه‌ای و انتظارات مورد نظر، این آزمایشها عملکردی متفاوت باشند و چه بسا رایج در کشور مورد استفاده نباشند.

1- Hanson Mix Design

omoorepeyman.ir



شکل 7-1- روش طرح اختلاط هانسون

7-1-3- روش طرح اختلاط آسفالت متخلخل در اسپانیا

در روش طرح اختلاط اسپانیا، ماکزیمم حجم قیر بگونه‌ای تعیین می‌شود که از نظر جاری شدن قیر و نفوذپذیری مشکلی ایجاد نگردد. همچنین حداقل مقدار قیر مقداری است که مانع از جداشدگی مصالح سنگی در ترافیک گردد و ضخامت حداقل لازم برای قیر روی مصالح سنگی تامین گردد. دراین روش برای تعیین حداقل حجم قیر از آزمایش کانتابرو بر روی نمونه‌های متراکم شده با چکش مارشال (50 ضربه به هر طرف) استفاده می‌شود. بعد از تعریف حداقل

omoorepeyman.ir

درصد فضای خالی (معمولاً 20 درصد مد نظر است) ماکزیمم درصد قیر برای رسیدن به این درصد فضای خالی تعیین می‌گردد. [13]

انجام محاسبات لازم بوسیله نمونه‌های مارشال مورد استفاده در آزمایش کانتابرو انجام می‌گردد. حجم قیر معمول مورد استفاده، 4/5 درصد می‌باشد.

فرسایش بصورت جرم از دست رفته در مقابل درصد ماده چسباننده بصورت نمودار ترسیم می گردد. میزان فرسایش با افزایش ماده چسباننده کم می‌شود. منحنی بطرف پایین قوس بر داشته و در حدود درصد معینی از قیر به صورت تخت در می آید، به نظر می رسد این میزان حداقل برای اطمینان از چسبندگی لازم باشد. در این آزمایش طبق استانداردهای طراحی اسپانیا نمونه ها باید شرایط زیر را داشته باشد.

1- درصد فضای خالی نمونه ها باید بیش از 20 درصد باشد.

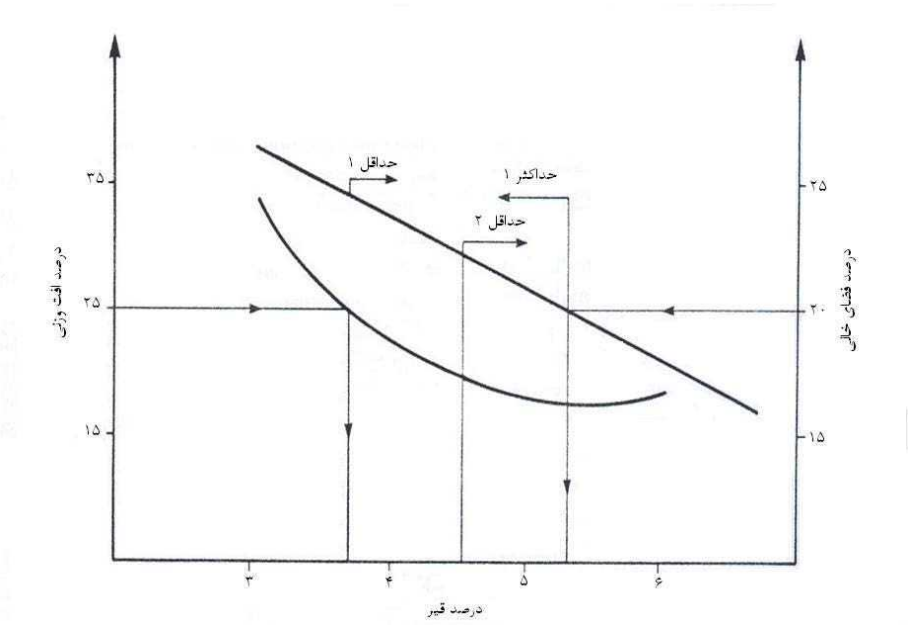
2- افت وزنی نمونه در دمای 25 درجه سانتیگراد بستگی سطح ترافیک باید کمتر از 20 یا 25 درصد باشد.

3- نمونه های مارشال باید با 50 ضربه به هر طرف نمونه ساخته شده باشد.

از طرف دیگر حداکثر میزان قیر باید با توجه به دو شرط تعیین گردد. یکی حداقل میزان فضای خالی لازم و دیگری جاری شدن قیر است.ترکیب آزمایش کانتابرو و آزمایش درصد فضای به صورت یک گراف مفید مانند شکل (7-2) منتج می گردد.

ماکزیمم مقدار قیر باتوجه به اینکه فضای خالی20٪ باشد، تعیین می‌شود. و حداقل(1) مقدار قیر با توجه به اینکه درصد افت کمتر یا مساوی 20٪ باشد و حداقل(2)، حداقل مقدار قیری است که برای تولید آسفالت متخلخل بادوام، حداقل 4/5 درصد قیر لازم است.

omoorepeyman.ir



شکل7-2- نمودار تعیین درصد قیر بهینه

همانطور که خلید[1] و پرز[2] عنوان نموده‌اند برخی از آزمایشهای کششی غیر مستقیم، اثر جای چرخ[3] و نفوذپذیری در طرح اختلاط آسفالت متخلخل برای بررسی خواص عملکردی مخلوط استفاده می‌گردد.

از سال 2001، در اسپانیا آزمایش کانتابرو بر روی نمونه‌های خشک و نمونه‌های غرقاب شده در داخل آب 60 درجه سانتیگراد به مدت یک روز انجام می‌پذیرد. علت اعمال چنین شرایطی برای انجام آزمایش کانتابرو، شناسایی فیلر با کیفیت پایین و چسبندگی نامناسب میان قیر و مصالح سنگی در شرایط رطوبتی می‌باشد. محدودیت‌های قبلی (1989) و محدودیتهای جدید اسپانیا در جدول7-3 ارایه شده است. [14]

1- Khalid

2- Perez

3- Wheel tracking

امور پیمان
omoorepeyman.ir

جدول7-3- محدودیت‌های آزمایش کانتابرو برای اسپانیا

محدودیت‌های 2001	محدودیت‌های 1989	
>20	>20	درصد فضای خالی
*(T0-T1) 20> در دمای 25 درجه (T2-T3) 25> در دمای 25 درجه	25> در دمای 25 درجه	درصد سایش کانتابرو درحالت خشک
(T0-T1) 35> در دمای 25 درجه (T2-T3)40>در دمای 25 درجه	25> در دمای 25 درجه	درصد سایش کانتابرو در شرایط مرطوب

*T3,T2,T1,T0 اشاره به طبقه بندی ترافیک از سبک تا خیلی سنگین دارد.

7-1-4- روش طرح اختلاط آسفالت متخلخل در هلند

در هلند از دانه‌بندی PA 0/16 و PA 0/11 استفاده می‌شود که ماکزیمم اندازه اسمی مصالح سنگی آنها به ترتیب 16 و 11 میلیمتر می‌باشد و مصالح سنگی مورد استفاده باید شکسته شده باشند. مصالح سنگی زیر 063/. میلیمتر به عنوان فیلر شناخته می‌شود که تا 25 درصد شامل آهک هیدراته می‌شود. از مصالح خرده آسفالتی برای آسفالت متخلخل استفاده نمی‌گردد. قیر مورد استفاده با درجه نفوذ 80/100 می‌باشد، که 4/5 درصد وزن مصالح سنگی به عنوان وزن قیر توصیه شده است. طرح اختلاط در هلند با متراکم نمودن چهار نمونه مارشال انجام می‌شود(50 ضربه چکش مارشال به هر طرف). در این طرح اختلاط حداقل درصد فضای خالی مورد نیاز 20 درصد تعیین شده است که مصالح و دانه‌بندی باید بگونه‌ای انتخاب شوند که این درصد فضای خالی بدست آید. خواص عملکردی که باید مورد توجه قرار بگیرند عبارتند از : کاهش صدا، نفوذ پذیری، کاهش پاشیدگی آب، مقاومت لغزشی و پایداری. [14]

omoorepeyman.ir

7-1-5- روش طرح اختلاط استرالیا

در طرح اختلاط استرالیا بر اساس ماکزیمم اندازه اسمی مصالح سنگی[1] مخلوط‌های دانه‌بندی باز به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند OG10 ,OG14 و OG20. که این اعداد نشان‌دهنده ماکزیمم اندازه اسمی مصالح سنگی بر حسب میلیمتر می‌باشند. همچنین بر اساس ترافیک مخلوط‌ها به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند type I و type II. مخلوط نوع دوم برای حجم ترافیک بالا در نظر گرفته شده است.(ترافیک 6 میلیون معادل محور استاندارد). برای این نوع مخلوط استفاده از فیبر(3/. تا 5/. درصد وزنی) توصیه می‌شود تا از جاری شدن قیر در حین حمل و اجرا جلوگیری شود. همچنین استفاده از قیر اصلاح شده توصیه می‌شود تا عملکرد بهتری فراهم شود. در مخلوط نوع اول درصد قیر نسبت به وزن کل مخلوط از 4/5 تا 5/5 درصد تغییر می‌نماید که این درصد برای مخلوط نوع دوم 4/5 تا 6/5 درصد می‌باشد. همچنین استفاده از آهک هیدراته برای اضافه شدن به فیلر معدنی توصیه می‌شود تا با جلوگیری از جاری شدن قیر خطر عریان شدگی به حداقل برسد. [15]

میزان قیر بهینه با اضافه نمودن مقدار جاری شدن قیر به درصد قیر طرح بدست می‌آید. درصد قیر طرح حداقل باید به اندازه‌ای باشد که مقاومت سایشی و دوام مخلوط را تامین نماید(آزمایش کانتابرو) و حداکثر آن باید مقداری باشد که درصد فضای خالی کافی را تامین نماید. نمونه‌ها در سه درصد قیر مختلف با 80 چرخش AGC[2] ساخته می‌شوند.

جدول7-4- محدودیت‌های آزمایش کانتابرو برای استرالیا

آزمایش	Typ I	Typ II
درصد سایش کانتابرو در شرایط خشک[1]	< 25	< 20
درصد سایش کانتابرو در شرایط مرطوب	< 35	< 35
درصد فضای خالی	> 20	20-25
درصد جاری شدن قیر	< /.3	< /.3

- اگر هر یک از نتایج بزرگتر از 50 درصد باشد نمونه مردود می‌باشد.

1- Nominal Mix Size.

2- Australian Gyratory Compaction.

omoorepeyman.ir

7-1-6- روش طرح اختلاط در بریتانیا

طرح اختلاط رایج در بریتانیا بر اساس یک رویکرد دستورالعملی انجام می‌شود. استاندارد BS-4987-1:2005 دو نوع دانه‌بندی و دو نوع قیر را معرفی کرده است. مخلوط 20-6 میلیمتر برای بزرگراهها و مخلوط 10-2 برای سایر کاربردها ارائه شده‌اند. برای دانه‌بندی 20-6 میلیمتر قیر 100/150 و 160/220 با درصد قیر 3/7 تا 4/5 درصد وزن کل مخلوط برای سنگ آهک توصیه شده است. برای دانه‌بندی 10-2 میلیمتر با همان نوع قیر 5/2 درصد قیر برای سنگ آهک توصیه شده است. در هر دو مورد استفاده از قیر اصلاح شده برای تامین دوام مخلوط توصیه شده است. اصلاح‌کننده های فیبر آلی یا غیر آلی، لاستیک طبیعی و لاستیک بوتادین استایرن در این استاندارد آمده است. استفاده از دو درصد وزن کل مخلوط آهک هیدراته برای مقابله با عریان شدگی و افزایش سفتی قیر توصیه شده است. در این استاندارد فرض می‌شود 4/5 درصد وزن قیر هم دوام مخلوط و هم قابلیت هدایت هیدرولیکی آن را تامین می‌نماید. بر اساس هندبوک بزرگراههای انگلستان، ماکزیمم مقدار قیر با آزمایش زهکشی بدست می‌آید و همچنین قابلیت هیدرولیکی مناسب بین $^{-1}$ 12s/. تا $^{-1}$ 40s/. قرار دارد. [16]

7-1-7- روش طرح اختلاط بلژیک

در این طرح اختلاط ابتدا باید دانه‌بندی مخلوط با استفاده از نرم افزار PradoWin[1] که توسط مرکز تحقیقاتی راه بلژیک توسعه داده شده است، بدست آید. دانه‌بندی بدست آمده باید دارای شرایط زیر باشد: [14]

1- درصد مصالح سنگی بزرگتر از 2 میلیمتر بین 81 تا 85 درصد باشد.

2- درصد مصالح سنگی از 063/. تا 2 میلیمتر بین 11 تا 13 درصد باشد.

3- درصد فیلر بین 4تا 6 درصد باشد.

با توجه به خواص مصالح (مصالح سنگی درشت، ماسه، فیلر و قیر) برنامه ترکیب مصالح را برای رسیدن به درصد فضای خالی هدف تعیین می‌نماید.

1- Program for Road Asphalt Design Optimization.

omoorepeyman.ir

برای رسیدن به درصد قیر بهینه نمونه‌های مارشالی با درصد قیرهای مختلف ساخته می‌شوند. خواص حجمی مخلوط بدست می‌آیند و تست کانتابرو برای رسیدن به حد بالا و پایین درصد حجم قیر تعیین می‌گردد. درصد سایش قیر در آزمایش کانتابرو باید کمتر از 20 درصد باشد و درصد فضای خالی بیشتر از 21 درصد باشد.

7-1-8- مشخصات آسفالت متخلخل در استاندارد اروپا

مشخصات آسفالت متخلخل در استاندارد اروپا (European Standard) در EN13108-7 تدوین و مشخص شده است. بر اساس این استاندارد از نمونه‌های مارشال که با 50 ضربه چکش مارشال به هر طرف آن متراکم شده‌اند، استفاده می‌شود. در این طرح اختلاط حداقل درصد فضای خالی مورد نیاز 20 درصد تعیین شده است که مصالح و دانه‌بندی باید بگونه‌ای انتخاب شوند که این درصد فضای خالی بدست آید. مشخصات فیزیکی و مقاومتی مخلوط در جدول 7-5 ارایه شده است. [18]

جدول 7-5- مشخصات فیزیکی و مقاومتی مخلوط آسفالت متخلخل

مشخصه	حدود مجاز
درصد فضای خالی	≥ 20
نفوذپذیری قایم(m/s)	≥ 1
نفوذپذیری افقی (m/s)	≥ 1
درصد سایش کانتابرو در شرایط خشک در دمای 25 درجه سانتیگراد	≤ 20
حساسیت به رطوبت (کشش غیر مستقیم)	≥ 70

7-1-9- تشریح آزمایش‌های عملکردی

در مورد آزمایش‌های اندازه‌گیری نفوذپذیری و اندازه‌گیری میزان صوت به تفصیل در فصل‌های سوم و چهارم پرداخته شده است. در این فصل آزمایش‌های عملکردی، مورد بررسی قرار می‌گیرند.

omoorepeyman.ir

7-1-9-1- آزمایش اصلاح شده لوتمن[1](AASHTO T-283)

آزمایش اصلاح شده لوتمن یا آشتو T-283 به منظور ارزیابی مقاومت در مقابل رطوبت مخلوطهای متراکم شده آسفالتی در شرایط اشباع و یا سیکلهای ذوب و یخ آب انجام می‌شود(AASHTO 2004d). آشتو روش انجام این آزمایش را به شرح زیر بیان می‌کند:

هر نوع از نمونه‌ها به دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند : گروه اول نمونه‌هایی هستند که مقاومت کششی غیر مستقیم آنها در شرایط خشک بدست می‌آید. اما نمونه‌های گروه دوم ابتدا در شرایط اشباع قرار می‌گیرند و پس از طی کردن سیکل یخ زدگی و ذوب شدگی (با غوطه‌وری در آب گرم) مقاومت کششی غیر مستقیم آنها بدست می‌آید. پس از انجام آزمایش بر روی هر دو گروه از نمونه‌ها و بدست آمدن مقاومت کششی غیر مستقیم، نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم(TSR^2) معین می‌گردد.

نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم با معادله زیر محاسبه می‌گردد :

$$TSR = S_2 / S_1$$

که در آن :

TSR = نسبت مقاومت کششی

S_1= متوسط مقاومت کششی نمونه‌های گروه اول بر حسب کیلوپاسکال

S_2 = متوسط مقاومت کششی نمونه‌های گروه دوم بر حسب کیلوپاسکال

مقاومت کششی هر یک از گروه‌ها با معادله زیر بدست می‌آید : (AASHTO 2004d)

$$S_t = 2000\ P / \pi\ t\ D$$

که در آن :

S_t = مقاومت کششی غیر مستقیم بر حسب کیلوپاسکال

P = بار ماکزیمم بر حسب نیوتن

1 - Modified Lottman Test.

2 - the tensile strength ratio.

omoorepeyman.ir

ضخامت نمونه بر حسب میلیمتر = T

قطر نمونه بر حسب میلیمتر= D

یکی از مهمترین کاربردهای آسفالت متخلخل زهکشی آب سطح روسازی می‌باشد لذا اجازه عبور آب از ساختار خود را می‌دهد لذا بسیار مهم می‌باشد که اثر آب یا رطوبت بر نمونه‌های آسفالتی متخلخل بررسی گردد. NCAT[1] توصیه می‌کند که با توجه به بالا بودن درصد فضای خالی آسفالت متخلخل نمونه‌های گروه دوم در پنج سیکل یخ زدگی و ذوب شدگی قرار بگیرند.

7-1-9-2- آزمایش کانتابرو[2]

برای سنجش میزان اضمحلال نمونه آسفالتی متخلخل (یکی از مشکلات آسفالت متخلخل جدا شدگی سریع ذرات تشکیل‌دهنده[3] آن است) از آزمایش کانتابرو استفاده می‌شود. همچنین نتیجه حاصل از انجام این آزمایش می‌تواند برای بررسی چسبندگی مخلوط مورد استفاده قرار گیرد. آزمایش کانتابرو در دو وضعیت نمونه‌های خشک و نمونه‌های غرقاب شده در آب انجام می‌شود. این آزمایش تقریبا در بیشتر کشورها برای طرح اختلاط آسفالت متخلخل کاربرد دارد و در برخی کشورها نظیر هلند برای اهداف تحقیقاتی مورد استفاده انجام می‌شود.

در این آزمایش نمونه‌های مارشال را در درون درام دستگاه آزمایش لس‌آنجلس (بدون گوی فلزی) قرار داده و درصد وزن مضمحل شده از نمونه اولیه را پس از 300 بار چرخش درام دستگاه با سرعت 30 دور در دقیقه بدست می‌آورند. این آزمایش طبق استانداردهای اسپانیا انجام می‌شود. آزمایش کانتابرو معمولا در درجه حرارت‌های 18 ، 20 و 25 درجه سانتیگراد انجام می‌گیرد و بستگی به درجه حرارت انجام آزمایش نتایج افت وزنی، مورد انتظار متفاوت است.

جزییات انجام آزمایش به‌این صورت است که ابتدا نمونه‌های مارشال با دقت 0/1 گرم وزن شده (P_1) و سپس نمونه در دستگاه سایش لس‌آنجلس و بدون گلوله، قرار داده می‌شود. دمای محیط باید 25 سانتیگراد بوده و نمونه به مدت 4 ساعت در این دما باقی بماند. دستگاه بر روی 300 دور و 33-30 دور در هر دقیقه تنظیم می‌شود. پس از انجام آزمایش نمونه، دوباره با دقت 0/1 گرم (P_2) وزن می‌شود. درصد فرسایش (P) از رابطه زیر قابل محاسبه است:

1 - the National Center for Asphalt Technology

2 - Cantabro Test

3 - Rapid Loss of Particles

omoorepeyman.ir

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

پس از انجام آزمایش نمونه‌ها دوباره با دقت 0/1 گرم وزن و درصد سایش را برای تک‌تک نمونه‌ها محاسبه و از آنجا مقدار متوسط آنها، محاسبه می‌شود. مقدار متوسط سایش برای پنج نمونه نباید از مقدار مشخص شده در استاندارد که در دمای 25 درجه سانتیگراد غالبا 20 درصد است، تجاوز نماید و برای هیچ نمونه‌ای از 50 درصد.

بر اساس نتایج حاصل از تحقیقات صورت‌گرفته لزوم استفاده از افزودنی‌ها در مخلوط‌های آسفالتی متخلخل، محرز می‌باشد. مشاهده شده که مخلوط با قیر 22-64 PG بیشترین سایش و مخلوط PG76-22 با الیاف معدنی کمترین درصد سایش را دارند و سایر نمونه‌ها در بین این دو مقدار واقع شده‌اند. بنابراین برای داشتن بیشترین پایداری در مخلوط آسفالت متخلخل استفاده هم‌زمان از قیرهای پلیمری و الیاف بسیار مناسب است.

7-1-9-3- تعیین خصوصیات جاری شدن قیر - (Draindown) [11].

تعریف :

هدف از انجام این آزمایش، سنجش میزان مصالح که خودش از نمونه مخلوط جدا می‌شود، می‌باشد. این مصالح خارج از سبد سیمی اندازه گیری می‌شوند. مصالح خارج شده از سبد سیمی می‌تواند قیر و یا ترکیبی از قیر، افزودنی‌ها و مصالح ریزدانه باشد. این آزمایش برای مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز مانند SMA و آسفالت متخلخل کاربرد دارد.

تجهیزات:

آون که قادر به نگهداری دما در محدوده 120 تا 175 درجه سانتی گراد باشد (آون بایستی دما را در محدوده 2 ± درجه سانتی‌گراد نگه دارد).

سینی یا نگهدارنده مناسب بطوری که قادر به تحمل دمای آون باشد.

سبد استاندارد سیمی

ترازو با دقت 0/1gr .

تهیه نمونه

تعداد نمونه: برای هر مخلوط، آزمایش باید در دو دما انجام شود و برای هر دما دو نمونه آزمایش شود، بنابراین برای یک مخلوط آسفالتی، حداقل چهار نمونه بایستی امتحان شود.

omoorepeyman.ir

دمای تولید مخلوط آسفالتی در کارخانه بایستی با توجه به نوع قیر و نوع مخلوط آسفالتی، پیش‌بینی شود. دمای آزمایش 10 درجه سانتیگراد بیشتر از درجه حرارت تولید است.

روش انجام:

جرم خالی سبد سیمی محاسبه شود (A).

تعیین جرم سبد سیمی بعلاوه نمونه با خطای 0/1 گرم (B).

جرم ورق یا نگهدارنده تعیین و ثبت می‌گردد سپس نمونه به همراه سبد و سینی در یک آون از پیش گرم شده به مدت یک ساعت که دمای آن 10 درجه سانتیگراد از درجه حرارت تولید بیشتر است، قرار داده می‌شود، با توجه به دمای مورد نیاز، مخلوط در زمان یک ساعت 5± دقیقه تهیه می‌شود.

بعد از مدت یک ساعت، مجموعه از آون خارج می‌شود و اجازه داده می‌شود تا سرد شود. سپس جرم ورق بعلاوه میزان مصالح خارج شده با خطای 0/1 gr اندازه‌گیری می‌شود (D).

در نهایت با فرمول زیر میزان جاری شدن قیر محاسبه می‌شود:

درصد جاری شدن = (D-C)/(B-A) x100

که در آن:

A : جرم سبد خالی

B : جرم سبد و نمونه

C : جرم ورق یا نگهدارنده

D : جرم ورق بعلاوه مصالح خارج شده

omoorepeyman.ir

7-2- تعیین روند مناسب طراحی اختلاط آسفالت متخلخل و نحوه انجام آزمایشها و ارایه چک لیستهای لازم

گام اول در تعیین یک طرح اختلاط مناسب آسفالت متخلخل برای داخل کشور بررسی تجربیات سایر کشورها در این زمینه می‌باشد تا یک طرح اختلاط اولیه پیشنهاد گردد. در گامهای بعدی این طرح اختلاط اولیه باید بصورت آزمایشگاهی و میدانی مورد بررسی قرار گیرد، تا اصلاحات لازمه صورت پذیرد. این بخش هدف پیشنهاد یک طرح اختلاط اولیه با توجه به تجربیات سایر کشورها است. روشن است این طرح اختلاط نیازمند به بررسیهای دقیقتر و گسترده تر آزمایشگاهی و میدانی است.

بر این اساس با بررسی تجربیات کشورهای مختلف، مهمترین خصوصیات مورد نیاز مصالح سنگی که برای آسفالت متخلخل استفاده می‌شوند، شناسایی شده و جمع‌بندی آنها به عنوان خصوصیات پیشنهادی ارائه شده است. بکارگیری الیاف معدنی و سلولزی به عنوان افزودنی‌های قیر مورد استفاده در آسفالت متخلخل در بسیاری از طرح اختلاط‌ها پیشنهاد شده است بر این اساس و با توجه به پارامترهای موثر در انتخاب قیر از جمله مقدار ترافیک و با در نظر گرفتن قیر معمول مورد استفاده در ایران، قیر 60/70 که متناسب با نوع ترافیک به آن اصلاح‌کننده هم اضافه می‌گردد، به عنوان قیر پیشنهادی آورده شده است. دانه‌بندی پیشنهادی، دانه‌بندی‌های مندرج در جدول 6-36 است. برای تعیین درصد قیر بهینه با توجه به روش رایج در کشور روشهای برخی از کشورهای اروپایی در این زمینه که از دستگاه مارشال استفاده می‌نمایند، توصیه شده است که البته انجام آزمایشهای عملکردی را برای بررسی انتظارات خواسته شده پیشنهاد شده است، که در این میان آزمایش جاری شدن برای تعیین میزان ریزش قیر، آزمایش لوتمن برای مقاومت در مقابل رطوبت و آزمایش کانتابرو برای تعیین مقاومت سایشی پیشنهاد شده است.

7-2-1- روند کلی طرح اختلاط

در آسفالت متخلخل مقدار فضای خالی زیاد با توجه به درصد زیاد مصالح سنگی درشت معمولا بیش از 80٪ حاصل می‌شود. همین امر ما را به سمت فراهم نمودن چسبندگی خوب بین مصالح سنگی سوق می‌دهد. مصالح سنگی ریز که معمولا پایداری را برای جز مصالح سنگی درشت فراهم می‌کنند مقدارشان به منظور افزایش فضای خالی، کم است و چسبندگی خوب بین مصالح سنگی بوسیله یک مقدار بیشتر قیر که فیلم ضخیمی فراهم می‌کند، حاصل می‌شود.

omoorepeyman.ir

بنابراین استراتژی ما در استفاده از آسفالت متخلخل باید براساس تاثیر نوع و مقدار قیر برای فراهم نمودن بهترین ضخامت فیلم قیری باشد، که منجر به ایجاد یک مخلوط با دوام گردد.

به طور کلی معیار آسفالت متخلخل بایستی بر بهینه ترین نوع و مقدار قیر برای تهیه طولانی‌ترین عمر خدمت دهی مخلوط استوار باشد. در طرح مخلوطهای آسفالت متخلخل باید نوعی سازگاری بین تخلخل و مقاومت در برابر اضمحلال برقرار باشد و ضمن بالا بودن درصد فضای خالی نمونه، مقاومت در برابر اضمحلال نیز باید در حدی باشد که در برابر تنشهای مماسی چرخ و مکش ایجاد شده در اثر ترافیک مقاومت کافی وجود داشته باشد. این مشکل از آن جا ناشی می-شود که این دو مشخصه با یکدیگر رابطه معکوس دارند و با تقویت یکی معمولاً از مقدار دیگری کاسته می‌شود به‌گونه‌ای که بعضی مواقع با مصالح معمولی نمی‌توان به تولید آسفالتی با نفوذپذیری بالا و مقاومت کافی در برابر تنشهای سایشی دست زد. بنابراین در طرح مخلوطهای آسفالت متخلخل، بایستی تعادلی بین حداقل و حداکثر مقدار قیر برای تامین الزامات زیر برقرار باشد. از شرط حداقل مقدار قیر برای تامین اهداف زیر استفاده می‌شود:

- ★ مقاومت کافی در برابر از هم پاشیدگی
- ★ فیلم ضخیم قیری برای جلوگیری از پیرشدگی
- ★ مقاومت کافی در برابر حرکت آب تضمین شوند

و از شرط حداکثر مقدار قیر به منظور تامین اهداف زیر:

- ★ حداقل میزان تخلخل برای زهکشی آب و کاهش آلودگی صوتی تضمین شود.
- ★ از زهکشی قیر در حین اختلاط، حمل و پخش آن جلوگیری بعمل آید.

بنابراین دو پارامتر زهکش شدن قیر و چسبندگی در طراحی مخلوطهای آسفالت متخلخل نقش مهمی را ایفا می‌کنند. این دو پارامتر از این نظر مهم هستند که با استفاده از آنها حداقل و حداکثر مقدار قیر مشخص می‌شود.

روند طرح اختلاط براساس اهداف مورد نظر از انجام طراحی مخلوط به گامهای کلی زیر تقسیم‌بندی می‌گردد :

1- انتخاب مصالح مناسب
2- انتخاب دانه‌بندی طرح
3- تعیین درصد قیر و ارزیابی عملکردی مخلوط

omoorepeyman.ir

در ادامه ضمن تشریح گامهای ذکر شده، موارد پیشنهادی حاصل از بررسی تجربیات سایر کشورها در هر گام برای آسفالت متخلخل ارائه می‌گردد. روشن است این پیشنهادها جنبه ابتدایی داشته و اصلاح، تکمیل و قطعیت بخشیدن به این موارد منوط به مطالعات آزمایشگاهی و میدانی با در نظر گرفتن شرایط مصالح، امکانات اجرایی و سایر موارد موثر موجود در داخل کشور می‌باشد.

7-2-2- انتخاب مصالح (برگرفته شده از بند 6-3)

اولین گام در طرح اختلاط، انتخاب مصالح مناسب برای مخلوطهای آسفالتی متخلخل می‌باشد. مصالح سنگی، قیر و اصلاح کننده‌هایی مانند پلیمر و افزودنی‌هایی مانند الیاف معدنی و سلولز و آهک هیدراته، مصالح و مواد مورد نیازی می‌باشند که در آسفالت متخلخل بکارگرفته می‌شوند.

بر اساس مطالب ذکر شده راجع به خصوصیات مصالح سنگی مصرفی برای ساخت آسفالت متخلخل در بخش‌های قبلی، طبق دستاوردهای گروه‌های مختلف مهندسین، انتخاب مصالح مناسب شامل گزیده‌ای از معیارهای بیان شده زیر می‌باشد.

7-2-2-1- انتخاب مصالح سنگی

مصالح سنگی درشت باید از شکستن و خرد کردن مصالح کوهی یا مصالح سنگی خرد شده یا ترکیبی از این دو که داری مشخصات مشابه هستند، تشکیل شده باشد. مصالح سنگی درشت و ریز مصرفی در آسفالت متخلخل باید سخت، محکم، بادوام، تمیز و مکعبی شکل و صدرصد شکسته و با خصوصیات کیفی یکنواخت بوده و عاری از هر گونه ذرات رس و لای و شیستی و پوشش خاکی باشد. این مصالح باید با مشخصات جدول7-6 انطباق داشته باشد.

omoorepeyman.ir

جدول 7-6- مشخصات مصالح سنگی مصرفی در مخلوط‌های آسفالت متخلخل

	مشخصه یا آزمایش	مشخصات	روش آزمایش	
			آشتو	ASTM
الف) مصالح سنگی درشت‌دانه	آزمایش سایش لوس آنجلس	حد اکثر 20%	T 96	C 131
	درصد افت وزنی با سولفات سدیم در پنج سیکل	حداکثر 15%	T 104	C 88
	درصد افت وزنی با سولفات منیزیم در پنج سیکل	حداکثر 25%	T 104	C 88
	حداکثر تطویل و تورق (سنگدانه‌های پهن و دراز)	≤5 (نسبت 5:1) ≤20 (نسبت 3:1)		D 4791
	PSV (BS812 : part 114)	حداقل 50		
	درصد جذب آب	حداکثر 2	T 85	C 127
	درصد شکستگی در یک جبهه در دو جبهه و بیشتر	 100 % حداقل 90%		D 5821
ب) مصالح سنگی ریزدانه*	درصد شکستگی حداکثر افت وزنی با سولفات منیزیم حداقل ارزش ماسه‌ای	100 % 15% 50%	T 104	C 88
ج) فیلر	فیلر معدنی آهک هیدراته	حداقل 1%	M17 M303	

* شاخص خمیری آن بخشی از مصالح ریزدانه که از الک نمره 40 می‌گذرند بر اساس آنچه که در استاندارد AASHTO T90 آمده است، نباید بیش از 6 باشد.

7-2-2-1- انتخاب قیر

مهمترین عوامل موثر در انتخاب نوع قیر عبارتند از: (برگرفته شده از بند 6-1 و 6-2)

- جاری شدن قیر (Draindown)
- دانه شدگی آسفالت
- عریان شدگی
- مقاومت فشاری و خمشی مخلوط آسفالتی
- هوازدگی

omoorepeyman.ir

- ترافیک

- نوع آسفالت متخلخل

نوع و مقدار قیر باید بگونه ای انتخاب گردد که تاثیر همه عوامل فوق در سطح مطلوب باشد. از قیر 60/70 می‌توان بدون استفاده از افزودنی استفاده نمود اما در میزان فرو نشست قیر زیاد می‌شود و دمای تولید آسفالت نیز بایستی کمتر از مقدار متعارف باشد. برای دمای 160 درجه سانتیگراد بایستی حدود 3 درصد الیاف سلولزی یا 0/4 درصد الیاف معدنی به قیر اضافه نمود(برگرفته شده از بند 6- 1 و 6-2).

از قیر 85/100 می‌توان با افزودن پلیمرهایی مانند SBR، EVA و الیاف استفاده نمود. به منظور جلوگیری از دست دادن مصالح (دانه شدگی) مقدار قیر نباید از حدی کمتر و یا بیشتر باشد. حد معمول آن حدود 5 درصد می‌باشد(برگرفته شده از بند 6- 1 و 6-2).

در ترافیک کم و متوسط از قیرهای معمولی با افزودن پلیمر یا الیاف می‌توان استفاده نمود، ولی در ترافیک سنگین بایستی از قیرهای با سختی زیاد با پلیمر و الیاف در سطح مناسب استفاده نمود.

هرچه میزان قیر در مخلوط آسفالتی بیشتر باشد (بیشتر از 6 درصد) تنها از قیر 60/70 با افزودن الیاف سلولزی به مقدار 0/4 تا 0/5 درصد می‌توان استفاده نمود و میزان از دست دادن مصالح را در سطح مطلوبی قرار داد. افزودن آهک هیدراته نیز می‌تواند موجب کاهش جاری شدن قیر گردد(برگرفته شده از بند 6-1 و 6-2).

بطور کلی پیشنهاد می‌شود برای تهیه مخلوطهای آسفالتی متخلخل در داخل کشور از قیر 60/70، از الیاف سلولزی به میزان 0/4 تا 0/5 درصد برای ترافیک سنگین و از قیر 60/70 با 0/2 تا 0/3 درصد الیاف سلولزی برای ترافیک متوسط و از قیر 60/70 به تنهایی برای ترافیک سبک استفاده شود.

3-2-7- انتخاب دانه‌بندی طرح

پس از انتخاب دانه‌بندی از دانه‌بندی‌های مندرج در جدول 6-36 ، سه دانه‌بندی آزمایشی در محدوده‌های ریز و درشت از محدوده دانه‌بندی طرح همراه با یک دانه‌بندی حد وسط انتخاب می‌شود. برای هر دانه‌بندی آزمایشی، فضای خالی با استفاده از آزمایش میله خشک در جز مصالح سنگی درشت VCADrc تعیین می‌گردد. مصالح سنگی درشت، مصالح سنگی باقیمانده روی الک شماره 4 تعریف شده‌اند. برای هر دانه‌بندی آزمایشی نمونه‌ها با درصدهای مختلف قیر با استفاده از 50 ضربه چکش مارشال به هر طرف نمونه یا با 50 دوران متراکم کننده چرخشی (ژیراتوری) متراکم می-

omoorepeyman.ir

شوند. اگر الیاف بعنوان یک ماده اصلاحی نیز مورد استفاده قرار گیرد، باید در این سه مخلوط آزمایشی ترکیب شوند و آزمایش انجام گردد. فضای خالی در مصالح سنگی درشت در آزمایش میله VCA برای هر مخلوط کوبیده شده تعیین می‌شود. اگر VCA مخلوط کوبیده شده مساوی یا کمتر از VCAdrc باشد تماس سنگدانه با سنگدانه وجود دارد.

تقریبا یک دانه‌بندی با حداکثر 20٪ عبوری از الک شماره 4 لازم است تا به تماس سنگدانه با سنگدانه نایل شویم و نفوذ پذیری مناسبی را فراهم کند.

7-2-4- تعیین درصد قیر و ارزیابی عملکردی مخلوط

پس از تعیین مصالح و انتخاب دانه‌بندی ادامه طرح اختلاط طی مراحل زیر پیشنهاد می‌شود:

- ساخت نمونه های اولیه
- تعیین درصد فضای خالی مخلوط
- انجام آزمایشهای عملکردی

- **ساخت نمونه های اولیه**

در گام اولیه پنج سری نمونه با دانه‌بندی ذکر شده و با نوع قیر، پلیمر و افزودنی‌های مورد نظر(که در بخشهای قبلی به آن پرداخته شد.) ساخته شود. از درصد قیر 4 درصد و با افزایش 0/5 درصدی استفاده نمایید.(درصدی از وزن مصالح سنگی). چنانچه در نهایت خواسته شود از افزودنی‌ها استفاده گردد، از افزودنی‌ها به عنوان درصدی از وزن کل مخلوط استفاده نمایید. مقدار وزن مصالح سنگی مورد نظر مانند یک نمونه مارشالی 1100 گرم انتخاب گردد. نمونه با جک مارشال به صورت 50 ضربه به هر طرف نمونه ساخته شود.(چنانچه از متراکم کننده چرخشی استفاده گردد تعداد دوران طرح 50 را انتخاب کنید).

omoorepeyman.ir

- **تعیین درصد فضای خالی**

درصد فضای خالی مخلوط‌های اولیه تعیین گردد. توصیه می‌شود که درصد فضای خالی برای مخلوط‌های آسفالت متخلخل کمتر از20 درصد نگردد. بدلیل اینکه تعیین وزن مخصوص واقعی[1] بروش AASHTO T166 شامل مخلوط-های با درصد فضای خالی کمتر از 10٪ می‌شود و برای نمونه‌های با دانه‌بندی باز[2] صادق نیست، وزن مخصوص واقعی از روش AASHTO T275 (موم پارافین) و یا ASTM D6752 تعیین می‌شود(پیوست 2). چنانچه درصد فضای خالی مورد نظر تامین نگردد، دانه‌بندی در دامنه داده شده و یا درصد قیر اصلاح گردد.

- **انجام آزمایشهای عملکردی**

مهمترین آزمایشهای عملکردی مورد نیاز برای درصد قیر بهینه عبارتند از :

الف) آزمایش زهکش شدن قیر (ریزش قیر)(Draindown)

ب)آزمایش کانتابرو

ج)آزمایش اصلاح شده لوتمن

د) آزمایش نفوذپذیری

ه) آزمایش تعیین میزان صوت

پیشنهاد می‌شود سه آزمایش عملکردی نخست همواره در طرح اختلاط ها مورد استفاده قرار گیرد و از دو آزمایش بعدی متناسب با عملکرد مورد نیاز استفاده شود. مخلوط‌های آسفالتی پس از آزمایش‌های عملکردی باید خصوصیات مورد نیاز را فراهم سازند در غیر این صورت اصلاح مقدار قیر در درجه اول و یا سایر خصوصیات باید انجام پذیرد.

- درصد زهکش شدن قیر را از آزمایش ریزش(Draindown) بدست آورید و کنترل نمایید میزان درصد زهکش شدن قیر کمتر از 0/3 درصد باشد.

1 - Bulk Specific Gravity

2 - Open Graded Mixtures

omoorepeyman.ir

- درصد افت وزنی حاصل از آزمایش کانتابرو را بدست آورید. درصد افت وزنی نمونه پس از انجام آزمایش در دمای محیط (25 درجه سانتیگراد) کمتر از 20٪ وزن اولیه نمونه باشد و اگر آزمایش در دمای 18 درجه سانتیگراد انجام گیرد این مقدار کمتر از 30٪ باشد.

- مقاومت کششی باقیمانده پس از انجام آزمایش لوتمن اصلاح شده نسبت به مقاومت اولیه نباید کمتر از 80 درصد گردد.

- مخلوط‌های آسفالتی باید بتوانند ملاحظات مورد نیاز نفوذپذیری و یا کاهش صوت مد نظر در هر پروژه را تامین نمایند.

- **مشخصات فیزیکی و مقاومتی مخلوط آسفالت متخلخل**

مشخصات فیزیکی و مقاومتی مخلوط آسفالت متخلخل بایستی با مشخصات مندرج در جدول 7-7 انطباق داشته باشد.

جدول 7-7- مشخصات فیزیکی و مقاومتی مخلوط آسفالت متخلخل

شرح	مشخصات
تعداد ضربه نمونه مارشال یا نمونه ژیراتوری	50
درصد فضای خالی	حداقل 20
درصد زهکش شدن قیر	حداکثر 0/3
درصد افت وزنی نمونه در دمای 25 درجه سانتیگراد (آزمایش کانتابرو)	حداکثر 25
نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم (آشتو T283)	حداقل 80

omoorepeyman.ir

فصل 8

بررسی روش‌های مختلف اجرا و نگهداری

آسفالت متخلخل

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

8- بررسی روش‌های مختلف اجرا و نگهداری آسفالت متخلخل

8-1- بررسی روش اجرا و تأثیر آن بر عملکرد آسفالت متخلخل

اگرچه در حالت کلی ساخت مخلوط‌های با دانه‌بندی باز (متخلخل) از همان تکنیک‌های متداول برای ساخت مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی متراکم و با همان تجهیزات بهره می‌برد، اما برخی ملاحظات در مراحل انجام کار باید درنظر گرفته شوند که در ذیل به مهم‌ترین آنها اشاره شده است:

8-1-1- کلیات اجرای مخلوط آسفالتی متخلخل[1]

برای رسیدن به یک سطح صاف، فینیشر باید بصورت پیوسته و با حداقل زمان توقف، حرکت کند. در بخش انتقال مصالح نیز شخصی باید بر نحوه کارکرد دستگاه انتقال مصالح، نظارت داشته باشد. فرآیند انتقال مخلوط آسفالتی از کامیون به فینیشر نباید با افت حرارت همراه باشد زیرا اصلاح ناهمواری بوجودآمده در آسفالت با دانه‌بندی باز به مراتب مشکل‌تر از آسفالت با دانه‌بندی باز در آسفالت با دانه‌بندی پیوسته است و افت حرارت در مخلوط آسفالتی متخلخل باعث سختی کار بیشتر می‌شود. بعلاوه هنگامی که از فینیشرهای با شمشه‌های بازشونده2 استفاده می‌شود، بکارگیری ابزار و ادواتی که مانع توزیع نامنظم آسفالت بین مرکز و لبه فینیشر شوند، توصیه می‌شود. بکارگیری شمشه‌های گرم در فینیشر به‌منظور اجتناب از انجام اقدامات اصلاحی هموارسازی و کاهش عملیات خراشیدن سطح در این راستا که منجر به کاهش درصد فضای خالی سطح می‌شود، توصیه می‌گردد. بعلاوه عمل خراشیدن منجر به تولید سطح با بافت ناخوشایند می‌شود که با متراکم کردن نیز بخوبی کوبیده نمی‌شود.

با توجه به اینکه، معمولاً ساخت مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز با قیرهای اصلاح‌شده است و معمولاً اجرای آن در ضخامت‌های کمتر از، ضخامت مورد استفاده برای آسفالت‌های با دانه‌بندی متراکم، اجرا می‌شود لذا باید توجه خاصی به عملیات اجرا و دمای تراکم این نوع مخلوط شود. لایه‌های با ضخامت کمتر، سریعتر سرد می‌شوند و زمان کمتری برای عملیات تراکم در اختیار می‌گذارند. وقتی ضخامت اجرایی افزایش پیدا می‌کند پتانسیل نفوذپذیری کاهش پیدا می‌نماید. دو دلیل متفاوت برای این عملکرد روسازیهای ضخیم وجود دارد. اول آنکه معمولا لایه‌های ضخیم‌تر در محل راحت‌تر

1 - Mixture Placement

2 - Extendible Screeds

omoorepeyman.ir

متراکم می‌شوند، زیرا یک لایه ضخیم گرما را بهتر نگه می‌دارد و مجال بیشتری را ایجاد می‌کند تا مصالح سنگی بطور مناسبی جایگیری نمایند از این رو دانسیته روسازیها افزایش پیدا می‌کند. و اما دلیل دوم، نفوذپذیری نتیجه‌ای از اتصال داخلی فضاها می‌یابد. در یک مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی توپر همه فضاهای خالی به هم متصل نمی‌باشند. وقتی ضخامت لایه افزایش پیدا می‌نماید، شانس تشکیل مسیری از فضاها برای عبور آب کاهش می‌یابد. این دلیل روسازیهای نازک پتانسیل بیشتری برای نفوذپذیری دارند..

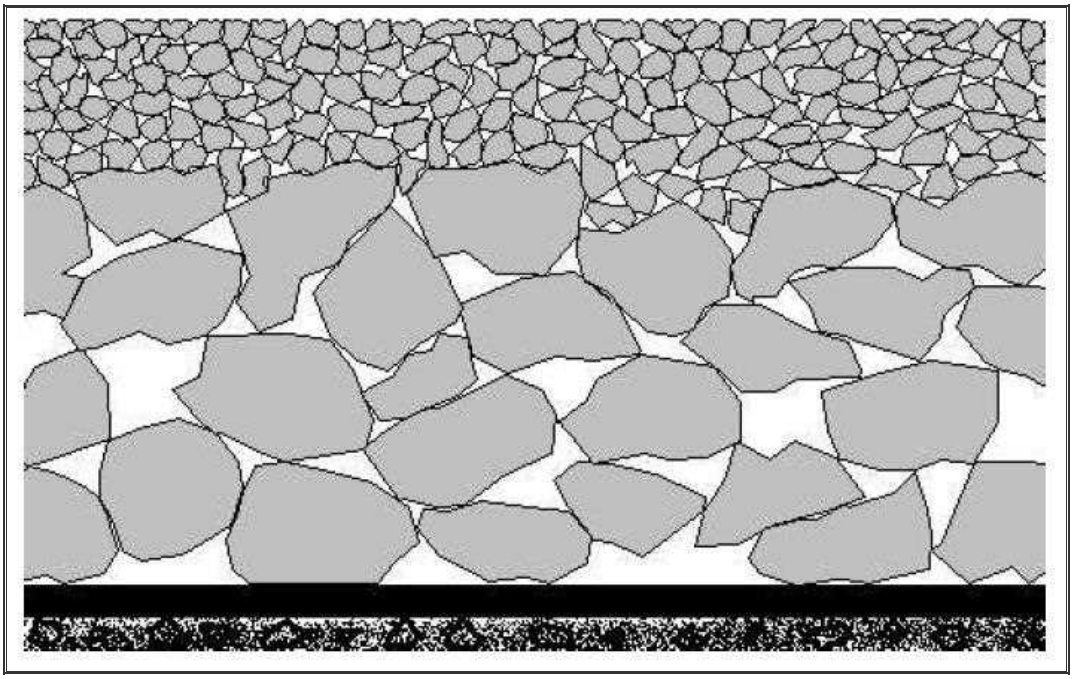
درآیین‌نامه بلژیک ضخامت 4 سانتیمتر برای آسفالت متخلخل توصیه شده است. این ضخامت برای هلند 5 سانتیمتر می‌باشد. متداولترین نوع آسفالت متخلخل در اسپانیا یک لایه 4 سانتیمتری است. در فرانسه ضخامت لایه آسفالت متخلخل بصورت یک روکش 2 تا 4 سانتیمتری توصیه می‌شود.

در انگلستان ضخامت اسمی 50 میلی‌متر به‌منظور تأمین حداکثر مقدار در تقلیل صوت، کاهش میزان آب‌پاشیدگی، ذخیره روان‌آب و افزایش زمان تراکم برای آسفالت متخلخل تعیین شده است. حداقل دمای هنگام تخلیه آسفالت از فینیشر به ویسکوزیته قیر وابسته می‌باشد.

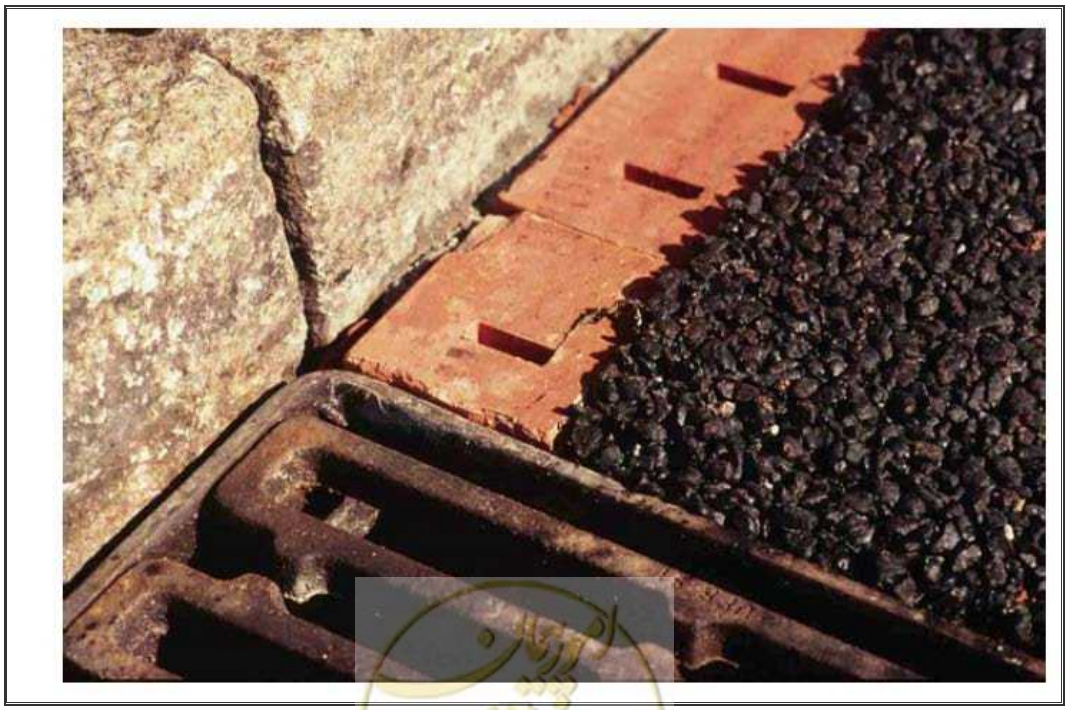
در ایالات متحده مخلوط‌های آسفالتی متخلخل در لایه‌های به ضخامت 20 تا 25 میلی‌متری اجرا می‌شوند. اخیراً ژاپن و برخی کشورهای اروپایی در حال بررسی اجرای ضخیم‌تر و دو لایه‌ای این نوع آسفالت بمنظور فراهم‌آوردن هر دو عامل کاهش صوت و ایمنی می‌باشند. استفاده از آسفالت متخلخل دو لایه‌ای به همراه تمیز کردن سوراخ‌ها هر دو سال یکبار توسط آب با فشار بالا و یا مکش هوا می‌باشد لایه بالایی آسفالت متخلخل دارای مصالح سنگی ریزدانه و در نتیجه سوراخ‌های ریزی می‌باشد تا از ورود ذرات و مصالح سنگی درشت به سوراخها جلوگیری شود. در این مورد لایه اول در حدود 25 تا 30 میلی‌متر و لایه زیرین تقریباً 40 تا 50 میلی‌متر ضخامت دارد. در لایه پایینی مصالح سنگی درشت (16 تا 22 میلیمتری) بکارگرفته شده است که منجر به ایجاد فضاهای خالی بزرگ و در نتیجه امکان خروج ذرات و آلاینده-های ورودی به داخل روسازی را فراهم می‌آورد. تا با این شرایط از پر شدگی سوراخها جلوگیری گردد(شکل 8-1). آسفالت متخلخل دو لایه‌ای برای اولین بار در سال 1990 بصورت آزمایشی در هلند اجرا شد. و در سال 1995 قطعات آزمایشی دیگری اجرا شد. آسفالت متخلخل دو لایه‌ای در سال 1996 در ایتالیا و در سال 1999 در دانمارک ودر سال 2004 در بزرگراههای آلمان اجرا شده است. برای هدایت آب باران از ته ساختار روسازی آسفالت متخلخل به کناره‌ها و سیستم زهکشی عمومی از بلوک‌های ویژه زهکشی استفاده می‌شود که در شکل (8-2) نشان داده شده است[1].

omoorepeyman.ir

در شکل 8-3، آسفالت متخلخل دولایه‌ای نشان داده شده است. ژاپنی‌ها فینیشر جدیدی که قادر است در یک زمان هر دو لایه آسفالت متخلخل دولایه‌ای را اجرا نماید کند، تولید کردند.



شکل8-1- آسفالت ضخیم دو لایه‌ای با حفره‌ها و ذرات ریز در لایه بالایی و حفره‌ها و ذرات درشت در لایه پایین



شکل8-2- سیستم زهکشی در آسفالت متخلخل

omoorepeyman.ir

شکل 8-3- آسفالت متخلخل دو لایه‌ای

شرایط اقلیمی قابل‌قبول به‌منظور اجرای آسفالت متخلخل در ایالات متحده با حداقل دمای هوا تا مرز 15 درجه سانتیگراد تعریف می‌شود و این در حالی است که این محدودیت توسط اکثر آژانس‌ها نیز به‌کار گرفته می‌شود. راهنمای کار انگلیسی اسناد قرارداد برای امور بزرگراه‌ها، حداکثر سرعت باد را بعنوان بخشی از شرایط انجام و اجرای کار تعریف می‌کند.

شروع به کار برای اجرای روسازی آسفالتی متخلخل از طرف پایین (کم‌ارتفاع) سطح روسازی توصیه می‌شود تا از جمع‌شدگی آب (از غلتک‌ها و روان‌آب) در محل‌هایی که قرار است روسازی در آن اجرا شود جلوگیری گردد. همچنین با شروع از لبه پایین منجر به اتصال بهتر و مناسب در محل درز طولی اجرای روسازی می‌گردد و دلیل آن اینگونه است که مصالح مخلوط آسفالتی در اثر وزن خود باعث اتصال مناسب در محل درزهای طولی می‌شوند. تا جایی که ممکن است از انجام امور بصورت دستی خودداری گردد اما اگر نیاز به انجام امور دستی ایجاب گردید، از ابزارهای چوبی مناسب بجای فلزی استفاده گردد.

omoorepeyman.ir

8-1-2- تراکم مصالح

غلتک‌های چرخ‌فلزی استاتیکی متداول‌ترین ابزار برای تراکم مخلوط‌های آسفالتی متخلخل یا مخلوط‌های با دانه‌بندی باز می‌باشند. بطور معمول 2 تا 4 مرتبه عبور غلتک (در بازه مناسب دمایی) و وزن 8 تا 9 تن در غلتک‌های دوتایی[1] برای فرآیند تراکم بر روی لایه‌های نازک (20 میلی‌متری) مناسب است. اداره بزرگراه‌های فدرال (FHWA) یک یا دو مرتبه عبور غلتک چرخ‌فلزی استاتیکی 8 تا 10 تنی برای تراکم مخلوط‌های متخلخل را توصیه می‌کند. اما راهنمای طرح راه‌ها و پل‌های انگلستان اعمال حداقل 5 مرتبه عبور غلتک را توصیه می‌کند و البته این در حالی است که آنها بطور معمول با ضخامت اجرایی بیش از 25 میلی‌متر مواجه می‌باشند. باید از استفاده از غلتک‌های سنگین‌تر برای تراکم مخلوط‌های آسفالتی متخلخل (با دانه‌بندی باز) اجتناب شود و دلیل این امر این است که انجام آن منجر به شکستگی بیش از حد مصالح می‌شود. همچنین می‌بایست استفاده از غلتک‌های چرخ لاستیکی پنوماتیکی به‌دلیل اینکه با خاصیت ورزدهی باعث بسته‌شدن منافذ سطحی می‌شوند و از قابلیت زه‌کشی مخلوط می‌کاهند، اجتناب شود.

به‌دلیل خصوصیت مربوط به سردشدگی سریع مخلوط آسفالتی متخلخل، محققان بر آن شدند تا حداکثر فاصله بین غلتک و فینیشر را 15 متر در نظر بگیرند.

8-2- عوامل مؤثر بر کاهش دوام و عملکرد وظیفه‌ای آسفالت متخلخل و بررسی تأثیر نگهداری بر افزایش عملکرد وظیفه‌ای مورد انتظار

عملکرد مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز شامل دو بخش دوام و وظیفه‌ای می‌باشد. دوام این مخلوط‌ها به‌طور مستقیم وابسته به میزان مصالح جداشده می‌باشد و جداشدن مصالح نیز تحت تأثیر قیر مخلوط می‌باشد بنابراین دوام مخلوط به حساسیت نسبت به رطوبت و پتانسیل پیرشدگی مرتبط می‌باشد. عملکرد وظیفه‌ای مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز نیز شامل نفوذپذیری و کاهش صوت می‌باشد. در این بخش به هرکدام از عوامل فوق پرداخته می شود.

omoorepeyman.ir

1 - Tandem roller

8-2-1- دوام

مهم‌ترین عامل در کاهش دوام مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز، شن‌زدگی یا از دست دادن دانه‌ها می‌باشد. بنا به نتایج تحقیقات انجام شده توسط 17 آژانس حمل‌ونقل در ایالات متحده، 14 آژانس، شن‌زدگی را مهم‌ترین عمل خرابی مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز دانستند. تنها دو آژانس، ترک و چاله را بعنوان عامل اصلی خرابی معرفی نمودند. مهم‌ترین عوامل رخ دادن شن‌زدگی، سن‌زدگی قیر (اکسید شدن و سخت شدن قیر) و نرم شدگی قیر (در اثر ریختن نفت و سوخت وسایل‌نقلیه روی سطح آسفالت) و تراکم نامناسب یا ناکافی می‌باشد.

8-2-1-1- عمر خدمت‌دهی مخلوط

عمر خدمت‌دهی مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز بسیار متغیر می باشد و همان‌طور که در جدول 8-1، نشان داده شده است، می‌تواند بین 7 تا 10 سال باشد.

جدول 8-1- عمر خدمت‌دهی متداول مخلوط

	نوع مخلوط	کشور	عمر خدمت‌دهی متداول مخلوط، سال	مرجع
1	مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز	ایالات متحده	بیش از 8	NCAT, 2000
2	مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز با قیر اصلاح شده	ایالات متحده	13	NCHRP, 2000
3	مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز	ایالات متحده	15	NCHRP, 2000
4	مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز	ایالات متحده	6 تا 8	TxDOT
5	آسفالت متخلخل	بریتانیا	7 تا 10	TRL, 2001
6	آسفالت متخلخل	دانمارک	7	DRI, 2005
7	آسفالت متخلخل	فرانسه	8 تا 12	پرز[1] و همکاران، 2005

omoorepeyman.ir

1- Perez

عمر خدمت‌دهی ارائه شده توسط TRL1، بر اساس ترافیک بیش از 4000 وسیله‌نقلیه تجاری برای هر لاین و در هر روز ارائه شده است. هابر2، گزارش نموده است که عمر خدمت‌دهی مخلوط آسفالتی در انگلستان وابسته به درجه نفوذ قیر می‌باشد. عمر طولانی (بیش از 10 سال) برای قیرهای نرمتر (درجه نفوذ 200) رخ داده است و در حالی‌که، برای مخلوط‌های با قیرهای با درجه نفوذ برابر 100، عمر خدمت‌دهی 7 سال گردیده است [4].

بنا به گزارش دپارتمان حمل ونقل تگزاس، TxDOT و با توجه به جدول 8-2، نتایج 26 درصد از تحقیقات از آژانس‌های مختلف حمل‌ونقل دارای عمر کمتر از 6 سال برای مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز بوده است. ولی مابقی آژانس‌های حمل‌ونقل عمر خدمت‌دهی بین 6 تا 8 سال را بیان کردند و تنها نتایج تحقیقات 11 درصد از آژانس‌ها دارای عمر خدمت‌دهی بیش از 12 سال می‌باشد [2].

یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در دوام مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز، نوع قیر مورد استفاده می‌باشد. در واقع اکثر آژانس‌های حمل‌ونقل نتایج موفقیت‌آمیزی با بکار بردن قیر اصلاح شده بدست آوردند. حتی بعنوان یک قاعده توسط برخی ایالت‌ها مانند آریزونا و جرجیا مطرح شد که استفاده از قیر اصلاح نشده، منجر به خرابی زودرس مانند شن‌زدگی می‌شود. افزودنی‌هایی مانند خرده لاستیک، SBS و SBR معمولاً در این مخلوط‌ها به‌منظور جلوگیری از شن‌زدگی استفاده شدند.

8-2-1-2- عمر قیر

یکی از مهم‌ترین وجه در مخلوط آسفالتی روسازی، اکسید شدن قیر می‌باشد و منجر به شکنندگی و تغییرشکل‌ناپذیری مخلوط آسفالتی می‌شود. بنابراین، خرابی‌های ناشی از عمر زیاد به‌دلیل سخت‌شدگی در اثر اکسید شدن به صورت شن‌زدگی یا ترک‌خوردگی ظاهر می‌شود.

سخت‌شدگی قیر به عوامل نرخ برشی در محدوده ویسکوز پایین و تابع روانی الاستیک و خصوصیات ویسکوز قیر، مرتبط می‌باشد.

امورپیمان
omoorepeyman.ir

2- Transportation Research Laboratory
3- Huber

اخیراً مطالعات بر روی تأثیر و سهم سن قیر بر خستگی مخلوط آسفالتی متمرکز شده‌اند. محققین در تلاش می‌باشند تا دلایل بهبود دوام مخلوط آسفالتی و میزان تأثیر هر راهکار، نظیر ضخامت فیلم قیر و اصلاح‌کننده‌های پلیمری قیر را دریابند. ولی برخی مطالعات در مورد اثرات اکسیدشدگی قیر بر عملکرد مخلوط‌های با دانه‌بندی باز (OGFC) انجام شده است و نشان داده است که اکسیدشدگی قیر تأثیر قابل توجهی بر دوام مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز یا مخلوط‌های آسفالتی متخلخل دارد [2].

8-2-2- خصوصیات وظیفه‌ای

میزان درصد فضای خالی زیاد در مخلوط‌های آسفالتی متخلخل، مناسب با خصوصیات وظیفه‌ای اصلی و فوائد اصلی این مخلوط‌ها می‌باشد. این مسئله حیاتی است که آسفالت متخلخل را بگونه‌ای طراحی و نگهداری شود که از پرشدگی سوراخ جلوگیری شده و خواص آن در طول دوره عمر خدمت حفظ گردد. همان‌طور که قبلاً نیر بیان شد یکی از مهم‌ترین وظایف مخلوط‌های آسفالتی با متخلخل، کاهش صوت می‌باشد. در جدول 8-2، انواع مختلف روسازی و تأثیر آن در کاهش صوت که بیانگر فوائد زیست محیطی آنها می‌باشد، بیان شده است.

جدول 8-2- نوع لایه روسازی و تأثیر آن در تولید صوت[2]

	نوع لایه روسازی	سطح صوت وابسته db
1	مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز	-4
2	SMA	-2
3	مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی متراکم	0
4	روسازی بتنی	+3

بر طبق تحقیقات مؤسسه تحقیقات راه دانمارک،DRI[1] ، میزان کاهش صوت برابر 4 دسی‌بل قابل مقایسه و کاملاً قابل احساس می‌باشد. همچنین نفوذپذیری مخلوط مرتبط با کاهش لغزندگی، ترشح و پاشیدن آب می‌باشد. تحقیقات انجام

1- Danish Road Institute

omoorepeyman.ir

شده در بریتانیا نشان می‌دهد که در مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز، کاهش 90 تا 95 درصدی نسبت به مخلوط‌های با دانه‌بندی متراکم در پاشیدن آب حدود 3 متر پشت کامیون اتفاق می‌افتد [5].

متأسفانه، میزان تخلخل در طی بهره‌برداری کاهش می‌یابد، بنابراین در اثر فقدان عمل تمیزکردن، کاهش نفوذپذیری اولیه و کاهش ظرفیت کاستن صوت مورد انتظار می‌باشد و در انتهای عمر وظیفه‌ای، مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز نظیر مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی متراکم عمل می‌نمایند.

حتی زمانی‌که کاهش نفوذپذیری به‌طور قابل ملاحظه‌ای رخ نداده است، تغییرات قابل سنجش در ظرفیت کاهش صوت می‌تواند اتفاق بیفتد. DRI، تحلیل روی مقطعی از آسفالت متخلخل انجام داد و تحقیقات را به سمت سنجش صوت هدایت نمود تا بر اساس سنجش تغییرات صوت، میزان تغییرات نفوذپذیری را تشخیص دهد. نتایج تحقیقات نشان داد که سنجش نفوذپذیری بر اساس سنجش میزان کاهش صوت، تنها بعد از پرشدگی شدید ممکن می‌باشد. [6].

جدول 8-3، عمر وظیفه‌ای متداول مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز و مخلوط‌های آسفالتی متخلخل را در کشورهای مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود که این مدت در کشورهای مختلف کاملاً متفاوت می‌باشد. ولی در حالت کلی عمر وظیفه‌ای برابر 5 تا 8 سال برای مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز و مخلوط‌های آسفالتی متخلخل، مورد انتظار می‌باشد [5].

جدول 8-3- عمر وظیفه‌ای متداول [5].

	نوع مخلوط	کشور	پارامترهای بررسی شده	عمر وظیفه‌ای متداول مخلوط، سال	مرجع
1	مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز	استرالیا	پاشیدن آب و کاهش صوت	3 تا 6	Yeo, Favaloro and mousley, 2001.
2	آسفالت متخلخل	دانمارک	کاهش صوت	7	DRI, 2001.
3	آسفالت متخلخل	اسپانیا	ظرفیت زه‌کشی	9	Khalid and Perez, 1996.
4	آسفالت متخلخل	بریتانیا	کاهش پاشیدن آب	5 تا 8	Huber, 2000.

omoorepeyman.ir

بهرجهت عوامل مختلفی نظیر میزان درصد فضای خالی اولیه، دانه‌بندی، میزان حجم و سرعت ترافیک و شرایط محیطی می‌تواند عمرهای وظیفه‌ای متفاوتی را نتیجه دهد.

8-2-2-1- نفوذپذیری و ظرفیت کاهش صوت

کاهش نفوذپذیری در اثر پرشدگی تنها بر ظرفیت زه‌کشی مخلوط (شامل تأثیر بر لغزندگی، ترشح و پاشیدن آب) تأثیر ندارد، بلکه نفوذپذیری بر توانایی کاهش صوت در مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز نیز مؤثر می‌باشد. بنابراین هر تلاش برای کاهش یا کنترل پرشدگی بر بهبود عملکرد وظیفه‌ای این مخلوط‌ها مؤثر می‌باشد در نتیجه، طراحی مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز و آسفالت متخلخل در ایالات متحده و اروپا در طی سال‌های اخیر تغییر نموده است [2].

کشورهای مختلف از مخلوط‌های با میزان تخلخل بالا استفاده نموده‌اند و نتایج مناسبی نیز کسب نموده‌اند. برای مثال، اسپانیا در طی سال‌های قبل از 1980، از مخلوط‌های با میزان هوای 15 تا 18 درصد می‌نموده است. بعد از سال 1986 مخلوط‌های با میزان هوای بیشتر از 20 درصد استفاده شد و عملکرد این مخلوط‌ها ارتقاء یافت.

توصیه شده است که کاربرد مخلوط‌های با حداقل هوای 20 درصد، حداکثر زه‌کشی اولیه و عمر بهره‌دهی وظیفه‌ای را به‌دست می‌دهد. همچنین در فرانسه و اسپانیا مخلوط‌های با میزان هوای در حدود 25 تا 27 درصد با موفقیت بکار گرفته شدند.

زمانی‌که نیروی مکش بوسیله چرخ‌های غلطک در اثر حرکت با سرعت بالا ایجاد شود و بطور مؤثر مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز را تمیز نماید، پرشدگی نیز به تأخیر می‌افتد [7].

تاپینر[1] مشخص نمود که سرعت حرکت وسایل‌نقلیه بایستی بیش از 70 کیلومتر در ساعت باشد تا پرشدگی در این مخلوط‌ها حداقل گردد [2].

همچنین تحقیق دیگری نشان داد که این سرعت در مخلوط‌های آسفالتی متخلخل در اروپا برابر 50 کیلومتر در ساعت (31 مایل در ساعت) باید باشد [7].

omoorepeyman.ir

1- Tappeiner

راهنمای طراحی برای راه‌ها استفاده از آسفالت متخلخل با سرعت 30مایل در سعت را غیرمجاز می‌داند و استفاده از آسفالت متخلخل در این سرعت هیچ فایده‌ای برای کاهش صوت و پاشیدن آب ندارد. در بریتانیا از مخلوط آسفالتی متخلخل بعنوان لایه سطحی استفاده نمی‌گردد و بجای آن از SMA یا لایه‌های نازک سطحی دیگر استفاده می‌شود. تأثیر نوع راه در کاهش صوت در جدول 8-5، نشان داده شده است.

جدول 8-4- نوع راه و دوره مؤثر کاهش صوت در آن در مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز

	نوع راه	دوره مؤثر کاهش صوت، سال
1	خیابان	2
2	راه شهری	3 تا 5
3	راه ملی با ترافیک بالا	3 تا 7
4	راه‌های حومه‌شهری	5 تا 8

براساس تحقیقات انجام شده توسط DRI، روی راه‌های شهری با حد پایین سرعت 50 کیلومتر در ساعت انجام شد نتیجه به‌صورت زیر گزارش گردید که پرشدگی و درنتیجه حذف فوائد کاهش صوت بعد از 2 سال خدمت‌دهی اتفاق می‌افتد. اخیراً DRI مقاطع روسازی جدید در راه‌های شهری و با سرعت 50 کیلومتر در ساعت را مورد ارزیابی قرار داد و نتیجه آن کاهش صوت برابر 3 dB بعد از چهار سال خدمت‌دهی گزارش شده است. تمیز کردن بصورت سالی دوبار با استفاده از فشار بالای آب و ماشین مکش قوی انجام می‌شود.

در اروپا و ژاپن به منظور افزایش ظرفیت کاهش صوت روسازی، طراحی و احداث دو لایه آسفالت متخلخل با تمیز نمودن متناوب و با تجهیزات خاص را در دستور کار خود قرار داده‌اند. علاوه بر این، کشورهای اروپایی احداث آسفالت متخلخل را تنها برای راه‌های با سرعت بالا محدود نموده‌اند [8].

مهندسان در آژانس‌های مختلف حمل‌ونقل در سراسر جهان به تکنیک‌های تمیز کردن متفاوتی تمایل دارند و روش عمومی تمیز کردن برای این منظور وجود ندارد..

omoorepeyman.ir

8-2-2-3- نفوذپذیری مخلوط‌های آسفالتی متخلخل در آزمایش‌های میدانی و آزمایشگاهی

سنجش نفوذپذیری مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز و آسفالت متخلخل در آزمایشگاه و آزمایش‌های صحرایی، ضمن اینکه برای تضمین زه‌کشی اولیه مفید می‌باشد، بلکه برای سنجش عملکرد مخلوط بوسیله مقایسه مقدار این پارامتر در طی عمر وظیفه‌ای آن نیز مفید می‌باشد. حداقل میزان هوا در مخلوط آسفالتی متخلخل بوسیله بسیاری از آژانس‌های حمل‌ونقل در ایالات متحده هنوز مشخص نشده است.

NCAT، مقدار حداقل نفوذپذیری را برای مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز تازه احداث شده را درصورتی‌که هدف اصلی احداث آن، حذف آب از سطح راه باشد، برابر 100 m/day پیشنهاد نموده است و در صورتی که هدف از احداث را با مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز، کاهش صوت باشد، میزان حداقل نفوذپذیری برابر 60 m/day پیشنهاد نموده است [9].

8-2-2-4- ظرفیت سازه‌ای

بر اساس تشخیص عملکرد آسفالت متخلخل اسپانیا و بریتانیا، مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی متراکم و آسفالت متخلخل در بخش پاسخ مکانیکی با هم مقایسه شدند. در اسپانیا، مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی متراکم و آسفالت متخلخل دارای ظرفیت سازه‌ای مشابهی بودند. این نتیجه از تحلیل ظرفیت تسلیح و کاهش تغییرشکل در لایه‌های آسفالت متخلخل که شبیه لایه‌های مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی متراکم تولید شدند، بدست آمد.

نتایج مشابهی برای مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز توسط دپارتمان حمل‌ونقل اُرگون1 براساس سنجش تغییرمکان بدست آمد. بعنوان یک نتیجه، دپارتمان حمل‌ونقل اُرگون، ضریب سازه‌ای مشابهی برای مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز و مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی متراکم بکار برد [2].

بر طبق نظر تاپینر، کاربرد مدول برجهندگی به منظور یافتن ضرایب سازه‌ای لایه‌ها، پاسخ سازه‌ای دست پایین برای مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز می‌دهد.

omoorepeyman.ir

1- ODOT

آزمایشات آزمایشگاهی در آرژانتین مدول برجهندگی حدود 2200 mPa (در دمای 25 درجه سانتی‌گراد) برای مخلوط آسفالتی متخلخل به دست دادند. این بزرگی متناسب با حدود 60 درصد از مدول سنجش شده برای مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی متراکم می‌باشد.

اِمسی دانیل و همکاران، نتایج تحقیقات خود در مورد بزرگی مدول برشی مرکب برای لایه آسفالتی متخلخل را به صورت جدول 8-5، بدست آوردند [2].

جدول 8-5- نتایج آزمایش sweep متناوب روی مخلوط آسفالت متخلخل در دمای 40 درجه سانتی‌گراد.

	فرکانس	مدول برشی مرکب، (G^*)، psi
1	10	26934
2	1	10700
3	0/1	5412
4	0/01	3615

مدول‌های گزارش شده توسط خالید1 و والش2 برای مخلوط‌های ساخته شده توسط قیرهای مختلف دلالت دارند بر اینکه مخلوط‌های آسفالتی متخلخل مدول پایین‌تری نسبت به مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی متراکم بدست می‌دهند [2].

یکپارچگی الیاف تولید شده نتایج مناسبی برای جلوگیری از زهکش شدن قیر در مخلوط‌های آسفالتی متخلخل و مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز بدست می‌دهد. ولی از نقطه‌نظر پاسخ مکانیکی، افزودن الیاف نمی‌تواند منجر به ارتقاء پاسخ مکانیکی شود.

کاهش در میزان نفوذپذیری مرتبط با افزودن فیبر می‌باشد، اگرچه مقدار نفوذ مخلوط هیچ تغییری نکرده است. این دلالت بر این دارد که زمانی‌که فیبر افزوده می‌شود و تعدیل مناسب در طراحی مخلوط صورت می‌گیرد، میزان هوای نهایی مشابه می‌باشد ولی اندازه خلل و فرج کوچک‌تر می‌شوند

2- Khalid

۳- Walsh

omoorepeyman.ir

8-3- بررسی روش‌های نگهداری زمستانی و کلی آسفالت متخلخل و تعیین روش مناسب نگهداری

با توجه به ساختار مخلوط آسفالتی متخلخل، نگهداری آن در افزایش عمر خدمت‌دهی آن بسیار مؤثر می‌باشد. نگهداری در روسازی‌های آسفالت متخلخل شامل نگهداری‌های دوره‌ای، فصلی، پیشگیرانه، اصلاحی و نوسازی می‌باشند.

8-3-1- نگهداری دوره‌ای

پرشدگی، یکی از مهم‌ترین عیب‌های مخلوط‌های آسفالتی متخلخل می باشد که منجر به کاهش انجام وظایف عملکردی آسفالت متخلخل می‌گردد. در صورتی‌که این روسازی‌ها با مواد زائد پر شوند وظایف مربوط به آسفالت متخلخل را نمی‌توانند انجام دهند. به‌همین جهت بایستی با تمیز کردن این روسازی‌ها عمر وظیفه‌ای این روسازی‌ها را افزایش داد. دو روش برای حل مشکل پر شدن منافذ آسفالت متخلخل وجود دارد:

- اجتناب از پرشدگی؛
- برداشتن (پاک کردن) مواد پرکننده.

برای بازنگهداشتن منافذ می توان با دستگاههای مخصوص مکش و جاروکشی همراه بافشار آب اقدام به شستشوی سطح آسفالت متخلخل نمود. پاک سازی دوره ای تا زمانی که نفوذپذیری در حد قابل قبولی است می تواند اثرات مثبتی در دوام نفوذپذیری در آسفالت متخلخل داشته باشد.

پر شدن سوراخها را نیز می‌توان به طرق زیر کاهش داد:

- حفظ قابلیت هدایت هیدرولیکی در بالاترین حد آن، تا هر زمان که ممکن باشد، با استفاده از حداقل 20% فضای خالی و مصالح سنگی که اندازه بزرگترین دانه آن بیش از 11 میلیمتر باشد.
- اجتناب از استفاده از مصالح سنگی با اشکال غیر متعارف. در هنگام استفاده از الیاف در قیر اصلاح شده با پلیمر، میزان آن باید محدوده به 3٪ در وزن قیر باشد. الیاف معدنی ارجحیت دارند.
- آب بندی سطح خطوط عبوری که تحت ترافیک قرار نگرفته‌اند، مانند شانه‌های صلب، با دوغاب آب‌بندی این کار در مسیر A1 در فرانسه با موفقیت انجام شده است، ولی در هلند با عدم موفقیت مواجه گردیده است.
- عدم استفاده از آسفالت متخلخل در تقاطع‌های راههای بدون رویه یا هر کجا که سرعت ترافیک پایین است.

omoorepeyman.ir

- تمیز کردن سوراخها. معلوم گردیده است که شانه‌های سخت، خطوط عبوری مخصوص ماشینهای چرخ زنجیری و سایر خطوط عبوری که به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید سالی یکبار با استفاده از دستگاه‌های پیشرفته مخصوص تمیز شوند. این ماشینها در اتریش، فرانسه، هلند، اسپانیا و سایر کشورها به کار می‌روند. این ماشینها خیلی کارآ نیستند و هنوز نیاز به پیشرفت دارند. مواد جامدی که در اثر عملیات تمیز کردن بدست می‌آیند، آلوده به فلزات سنگین می‌باشند و باید در محل‌های مناسبی تخلیه گردند.

هنگامی که ظرفیت زهکشی در حد غیر قابل قبولی پایین باشد، سطح روسازی را می‌توان با یک آسفالت متخلخل، با و یا بدون برداشتن لایه قدیمی، مجدداً روکش کرد، یا همانطور که در اتریش انجام شده است، روسازی را به صورت بازیافت گرم تجدید نمود.

تعداد تمیز کردن در آژانس‌های مختلف حمل‌ونقل متفاوت می‌باشد و تحقیقات در این زمینه ادامه دارد و هنوز روش واحد و جامعی برای این منظور وجود ندارد [10].

- کشورهای اروپا، از روش بازیابی وظیفه‌ای[1] استفاده می‌کنند در این روش، تمیزکردن به صورت تعداد کمی در سال انجام می‌گردد و ماشین تمیزکننده با سرعت کم حرکت می‌کند و از فشار بالای هوا و آب استفاده می‌نماید [11].

بلژیک[11] :

پر شدن سوراخها محدود به سطح آسفالت می‌باشد. دستورالعمل کلی برای اجتناب از پر شدن سوراخها و یا تمیز کردن سطح وجود ندارد. ولی، برخی ادارات، شروع به پاک کردن پر شدگی‌ها کرده‌اند.

فرانسه[11]:

آسفالت متخلخل 6-0 میلیمتر در برابر پرشدگی بسیار حساس می‌باشد. آسفالت متخلخلی با فضای خالی اولیه 30% تولید شده و پس از مشاهدات سه ساله، ملاحظه گردید که نفوذپذیری آن در حد بالایی باقی مانده است. این مخلوط‌ها نباید برای روسازیهایی که در معرض تنش‌های افقی بالا قرار دارند استفاده شوند.

ماشینهای تمیز کننده با فشار آب بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند، آب آلوده جمع‌آوری و بازیافت می‌گردد. در سال 1993، 0/6کیلومتر مربع از شانه‌های آزادراه‌های برون شهری و روسازی‌های آزادراه‌های شهری تمیز شده‌اند. تمیز کردن

1- Function recovery

omoorepeyman.ir

باید بطور منظم انجام شود تا از وقوع مجدد پرشدگی جلوگیری شود. به این ترتیب، قابلیت هدایت هیدرولیکی می‌تواند 10 تا 20 درصد افزایش یابد. در سطوح پر شده (قابلیت هدایت هیدرولیکی کوچکتر از 0/3cm/s) تمیز کردن دیگر موثر نیست. در آزادراه پاریس، این کار تقریباً سه بار در سال انجام می‌شود.

آلمان[11]:

قابلیت هدایت هیدرولیکی بوسیله دستگاه مور[1] اندازه‌گیری می‌شود. بررسی‌ها نشان داده است که در اثر پرشدگی سوراخها، کاهش قابل ملاحظه‌ای در قابلیت هدایت هیدرولیکی رخ می‌دهد.

هلند[11]:

قابلیت هدایت هیدرولیکی با استفاده از نمونه اولیه دستگاه بکر[2] که به جای آب از هوا استفاده می‌کند، اندازه‌گیری می شود، ولی به علت استفاده از هوا به جای آب، مقادیر بدست آمده با این دستگاه قابل مقایسه با سایر اندازه‌گیریها نیست. در هلند راهنمایی وجود دارد که توصیه می‌کند آسفالت متخلخل در شانه‌های صلب باید دوبار در سال تمیز شود. ادارات راه برای تصمیم‌گیری در این خصوص که آیا این توصیه را اجرا کنند یا خیر، مختار هستند. پیمانکاران یک « ماشین تمیز کننده[3] » ساخته‌اند که در هنگام حرکت در راه با سرعت 1km/h، قادر به پخش 360 لیتر آب در دقیقه با فشار 130 بار است. آب به همراه گرد و خاک بازیافت می‌شود.

نروژ[11] :

سوراخ‌های سطح به دلیل ساییدگی ناشی از چرخ‌های گل‌دار با گرد و خاک پر می‌شود. این مسأله بطور نامطلوبی خصوصیات مربوط به کاهش صدا را تحت تاثیر قرار می‌دهد، به‌طوری که پس از گذشت یک زمستان، کاهش صدا و تا حدود زیادی ظرفیت زهکشی از بین می‌رود. تمیز کردن سطوح پر شده با استفاده از تکنولوژیهای موجود ممکن نمی-باشد. سوراخهای سطح تا حدی باز می‌شوند که فضای خالی بیشتری را ایجاد می‌کنند ولی خصوصیات صوتی به حالت اول باز نمی‌گردند.

1- Moore apparatus
2- Becker s apparatus
3- Declogging machine

omoorepeyman.ir

خروج سریع آب از آسفالت متخلخل باید تضمین گردد. کاستی در این خصوص، منجر به کاهش قابل ملاحظه عمر بهره-برداری می‌شود. نمونه‌هایی از اقداماتی که برای تسهیل خروج می‌تواند انجام شود، فراهم کردن شیب عرضی کافی، حفظ جریان آزاد در لبه‌های راه و ساخت تسهیلات زهکشی خاص در صورت ناکافی بودن شیب می‌باشند.

ایالات متحده آمریکا :

فضای خالی آسفالت متخلخل متراکم، معمولاً در حدود 15٪ می‌باشد که بطور قابل توجهی کمتر از 20٪ فضای خالی است که در سایر کشورها استفاده می‌شود.

انتخاب اندازه مصالح سنگی، قابلیت هدایت هیدرولیکی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بزرگی اندازه اسمی مصالح سنگی مفید است. آسفالت نیاز به حداقل 20٪ فضای خالی برای حفظ خاصیت نفوذپذیری آب دارد. ترافیک زیاد، سریع و سنگین به نفوذپذیری (تخلخل) کمک می‌کند. ترافیک و شرایط محیطی نباید در پر شدن تاثیر بگذارند. در بعضی از کشورها دستگاه‌های خاصی برای تمیز کردن سوراخ‌ها ساخته شده است.

شکل 8-4- یکی از ماشین‌های تمیزکننده در کشورهای اروپایی [11].

omoorepeyman.ir

در کشور ژاپن، از روش نگهداری وظیفه‌ای[1] استفاده می‌کنند. در این روش تمیز کردن دوره‌ای به‌صورت چند مرتبه در ماه انجام می‌شود و سیستم این نوع تمیزکننده دارای فشار هوا و آب کمتری می‌باشد [10].

در جدول 8-6، مقایسه بین روش های فوق ارائه شده است [2].

جدول 8-6- مقایسه روش‌های تمیز کردن مخلوط‌های آسفالتی متخلخل [2].

	سرعت حرکت متناسب، فشار آب زیاد و خروج هوا		سرعت حرکت بالا، فشار هوای زیاد
میزان مواد زائد جمع‌آوری شده g/m^2	100	10	6
تعداد تمیزکردن در سال	3	30	50
تعداد تمیز کردن در ماه	0,25	2,5	4
هزینه تمیز کردن برحسب یورو بر مترمربع	6/9	0/22	0/8
هزینه تمیز کردن برحسب یورو بر مترمربع در سال	18	6/5	4

1- Function maintenance

omoorepeyman.ir

شکل 8-5- ماشین تمیزکننده در کشور ژاپن [10].

8-3-2- نگهداری زمستانی

نگهداری مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز با توجه به ساختار آن در فصل زمستان از حساسیت زیادی برخوردار می‌باشد و در مابقی فصول سال حساسیت بسیار کمتری وجود دارد. بنابراین در این قسمت، نگهداری زمستانی به عنوان نگهداری فصلی این روسازی‌ها مورد توجه قرار گرفته است.

تکنیک‌های ضدیخ، به کلیه عملیات لازم برای جلوگیری از شکل‌گیری و توسعه یخ و برف روی روسازی گفته می‌شود که معمولاً با پخش عوامل شیمیایی از چسبیدن یخ و یا برف بر روی سطح جاده جلوگیری می‌شود[13].

یک برنامه نگهداری زمستانی در صورتی موفق است که خواص مسیر و ترافیک مورد انتظار را لحاظ نماید و یک برنامه ضدیخ صحیح ، شامل تصمیم‌های سریع و مناسبی است که سبب نگهداشتن شرایط روسازی در سطح قابل قبول می‌گردد. اعمال نگهداری باید قبل یا زمان شروع باریدن برف آغاز گردند. بنابراین باید این توانایی وجود داشته باشد که

omoorepeyman.ir

زمان باریدن برف و مدت آن پیش‌بینی گردد. در حال حاضر عمل نگهداری شامل پخش مواد شیمیایی بر روی سطح جاده می‌باشد که معمولاً به غلظت مناسب در محلولهای آب نمک وجود دارند[13].

نگهداری زمستانی به عنوان یکی از مشکلات روسازیهای آسفالت متخلخل نسبت به روسازیهای معمول قلمداد می‌گردد. بخاطر اینکه این‌گونه روسازیها سریع‌تر سرد می‌شوند و تمایل بیشتری به یخزدگی از خود نشان می‌دهند نیاز به توجه بیشتری در عملیات نگهداری زمستانی دارند که طی آن باید از تعداد دفعات بیشتر با زمان بالاتر از مایع‌های ضدیخ استفاده گردد[14].

8-3-2-1- ملاحظات عملیات نگهداری زمستانی برای آسفالت متخلخل

اکثر گزارشات و مقالات مختلف نشان می‌دهند که نگهداری زمستانی آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت معمولی متفاوت می‌باشد. این مسئله به خاطر رفتار حرارتی متفاوت آسفالت متخلخل می‌باشد. همچنین در این نوع آسفالت نگهداشتن نمک لازم میان سطح روسازی و تایر کار دشواری است. در آسفالت متخلخل یخزدگی زودتر از آسفالت معمولی اتفاق می‌افتد. تحقیقات در هلند و فرانسه نشان می‌دهد که این دما برای آسفالت متخلخل 1 تا 2 درجه پایین‌تر است. این مسئله بدین معنی است که لایه روسازی آسفالت متخلخل زودتر و در مدت زمان طولانی‌تری در شرایط حرارتی بحرانی قرار می‌گیرد. تحقیقات در استرالیا نشان داده است که رفتار آسفالت متخلخل در درجه حرارت 0 تا 5- درجه سانتیگراد با آسفالت معمولی متفاوت است و در درجه حرارت پایین‌تر رفتار در قیاس با آسفالت معمولی تفاوتی ندارد (PIARC1993: p109). تعدادی از محققین در سوئد و بلژیک عنوان نموده‌اند که با وجود آنکه آسفالت متخلخل دارای رفتار متفاوتی می‌باشد اما وضعیت غیر منطقی در این زمینه وجود ندارد. گوستافسون[1] در طی تحقیقی که در موسسه حمل و نقل و جاده‌ای سوئیس[2] انجام شد بیان می‌کند در طی زمستان آسفالتهای متخلخل دارای مقاومت لغزشی کمتری می‌باشند و نیازمند به عملیات ضدیخ بیشتری می‌باشند[13].

بخاطر اینکه آسفالتهای متخلخل دارای درصد فضای خالی بالایی می‌باشند لذا نرخ جریان‌گرما در این نوع مصالح کاهش می‌یابد. لذا درجه هدایت گرمایی و ظرفیت گرمایی آن پایین‌تر از آسفالتهای معمولی می‌باشد. نتیجه آنکه سطح

1- Gustafson.

2- the Swedish Road and Transport Research Institute

omoorepeyman.ir

روسازیهای آسفالت متخلخل دارای درجه حرارت 1 تا 2 پایین‌تر نسبت به آسفالتهای معمولی از خود نشان می‌دهند که سبب شکل‌گیری یخزدگی در زمانی زودتر و در تعداد دفعات بیشتری می‌گردد و بنابراین می‌توان دوره عملیات نگهداری بیشتری را انتظار داشت.

انجام عملیات ضدیخ برای روسازیهای آسفالت متخلخل ظریف‌تر و پرهزینه تر است. روسازی آسفالت متخلخل باعث می‌شود که آب حاصل از برف و یخ ذوب شده سزیع‌تر زهکشی شود اما همزمان سبب می‌شود که محلول نمک همراه آب زهکش شود لذا عملیات یخزدایی باید سریع‌تر و در تعداد دفعات بیشتری انجام شود و بنابراین سبب بالاتر رفتن هزینه عملیات نگهداری می‌شود[2].

علاوه بر ملاحظات اقتصادی استفاده بیش از حد از محلول نمک برای این روسازیها سبب ایجاد یکسری مشکلات محیطی می‌گردد. همچنین چنانچه روسازی آسفالت متخلخل در ترکیب با یک روسازی بتن مسلح بکار گرفته شود سبب آسیب‌رسانی به روسازی بتن مسلح می‌گردد. یکی دیگر از مشکلات جدی که در اثر استفاده از محلول‌های ضدیخ برای روسازیهای آسفالت متخلخل پیش می‌آید آن است که یخ تازه سبب پرشدن سوراخهای روسازی می‌شود که در اثر عبور ترافیک متراکم شده و شبیه یک لایه یخی در درون روسازی عمل می‌کند که برداشتن آنها حتی در شرایطی که هوا ملایم می‌شود بسیار سخت می‌باشد[13].

8-3-2-2- راهکاری ویژه برای عملیات نگهداری زمستانی آسفالت متخلخل

وجود چنین عوارضی در آسفالت متخلخل هم در آمریکا و هم در اروپا مورد توجه قرار گرفته است. با نکات ذکر شده، لازم است عملیات نگهداری زمستانی ویژه‌ای در ارتباط با روسازیهایی با آسفالت متخلخل صورت گیرد برای مثال علاوه بر نگهداری معمول برای نگهداری زمستانی، می‌توان از سنسورهای تعیین شرایط روسازی، تجهیزات هواشناسی، سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای پیمایش استفاده نمود. همچنین باید برای فرآیندهای تصمیم‌گیری در عملیات نگهداری زمستانی(اینکه چه وقت و چگونه عمل شود) نظارت ویژه‌ای نمود.

میزان نمک(یا سایر عامل‌های ضدیخ) بیشتری با تعداد دفعات بالاتری برای عملیات نگهداری زمستانی آسفالت متخلخل لازم است. در تگزاس عامل‌های ضدیخ در عملیات نگهداری زمستانی نسبت به مایع‌های ضدیخ و ماسه مورد توجه بیشتری قرار می‌گیرد. با این وجود FWHA توصیه می‌کند که برای کنترل یخزدگی از مایع‌های ضدیخ و ماشین-

omoorepeyman.ir

های برف‌روب استفاده شود. پخش ماسه برای بالابردن اصطکاک منجر به پرشدگی فضای خالی آسفالت متخلخل می‌گردد و در نتیجه سبب کاهش زهکشی و خاصیت کاهش صدا (دو خاصیت کاربردی آسفالت متخلخل) می‌گردد. به خاطر اینکه عامل‌های ضدیخ مایع به جای ماندن بر روی سطح در داخل آسفالت متخلخل جاری می‌شوند توصیه می‌شود از مایع‌های ضدیخ آلی با گرانروی بالاتر و تکنولوژی باردارکردن الکترواستاتیک (شبیه به آسفالت امولوسیون) برای بهبود چسبندگی ضدیخ‌های مایع روی سطح استفاده گردد. در هلند گزارش شده است که برای نگهداری زمستانی از آسفالت متخلخل 25 درصد محلول آب نمک بیشتری در تعداد دفعات بیشتر استفاده شده است. استفاده بیشتر از محلولهای کلرید مایع نسبت به نمکهای جامد در ایتالیا، استرالیا و سوئیس گزارش شده است. بر خلاف این کشورها، مطالعات انجام شده در ژاپن نشان داده است هیچ اصلاح اساسی‌ای برای نگهداری زمستانی آسفالت متخلخل مورد نیاز نمی‌باشد زیرا تفاوت عمده‌ای میان این مخلوطها و مخلوط‌های معمولی در این مورد ملاحظه نشده است. نگهداری پیشگیرانه در انگلستان برای روسازی‌های آسفالت متخلخل با استفاده از نمک‌زنی قبل از بارش برف و با تعداد بیشتری نسبت به آسفالت معمولی انجام می‌شود. آنها توصیه می‌کنند در آن دسته از قسمتهایی از آسفالت معمولی که در مجاورت آسفالت متخلخل قرار دارند از میزان نمک بیشتری استفاده شود که علت آن عدم انتقال نمک از روسازی با آسفالت می‌باشد[15].

بطور معمول میزان محلول نمک لازم برای روسازیهای مستعد زهکشی، 30 درصد بالاتر از روسازیهای معمولی می‌باشد. اگرچه انتخاب ترکیب محلولهای نمک و دی‌کلریدکلسیم سبب بهبود عملکرد یخزدایی در این‌گونه روسازی‌ها می‌گردد[13].

کشورهای هلند و فرانسه از سال 1990 به استفاده از سیستم‌های الکترونیکی هشداردهنده1 برای آسفالت متخلخل تمایل نشان داده‌اند[13].

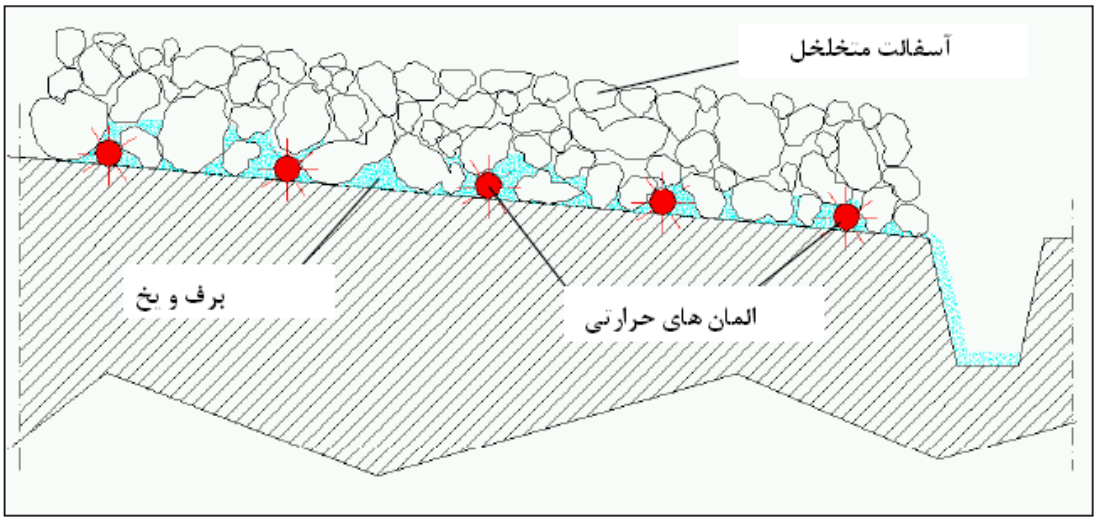
یکی از روشهایی که اخیراً در سطح آزمایشگاهی مورد توجه قرار گرفته است نصب یک سیستم حرارتی در سازه راه در حین عملیات ساخت مسیر می‌باشد. بدین ترتیب که با نصب یک المان حرارتی بر اساس قانون ژول الکترسیته به گرما تبدیل گردد. بکارگیری این روش موجب خواهد شد تا حرارت سطح روسازی آسفالت متخلخل بالاتر نگه داشته

1- electronic warning systems.

omoorepeyman.ir

شود. نکات مهمی که در بهره گیری از این تکنولوژی باید مورد توجه قرار گیرد بهره‌گیری از بهترین مصالح مقاوم و نصب ایمن سیستم مدار در سازه راه می‌باشد[13].

البته بهره‌گیری از این سیستم در عمل نیازمند تحقیقات آزمایشگاهی بیشتر و انجام آزمایش‌های تکمیلی میدانی با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و اجرایی می‌باشد.



شکل 8-6- عملکرد سیستم حرارتی در آسفالت متخلخل [13].

8-3-3- نگهداری پیشگیرانه

با توجه به ساختار روسازی آسفالت متخلخل، راه‌کارهای نگهداری و تعمیر آن، کاملاً شبیه روسازی آسفالتی با دانه‌بندی متراکم نمی‌باشد. مهم‌ترین روش‌های نگهداری پیشگیرانه در مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز، fog seal و درزگیری می‌باشند.

براساس بررسی انجام شده توسط NCHRP که در گزارش شماره 248 آن آمده است در ایالت‌های مختلف برنامه فراگیری برای نگهداری مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز گزارش نشده است. از 17 ایالت که مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز استفاده می‌کنند، تنها 4 ایالت از fog seal برای نگهداری پیشگیرانه استفاده می‌کنند. اگرچه آمار کمی در مورد تأثیرگذاری استفاده از این روش بر مخلوط آسفالتی متخلخل وجود دارد، اما انتظار می‌رود استفاده از این روش با توجه به تشکیل فیلم نازکی از قیر پیرنشده، عمر این روسازی ها را افزایش دهد. FHWA در مورد استفاده از fog seal، استفاده از 0/05 gal/yd2 برای هر بار عبور و به‌صورت دوبار عبور و استفاده از 50درصد رقیق‌کننده قیر

omoorepeyman.ir

امولسیونی بدون استفاده از جوانساز را توصیه می‌کند. تحقیقات انجام شده در ایالت اُرگون در مورد نتایج استفاده از fog seal، نشان می‌دهد که روسازی آسفالت متخلخل بافت زبر و خاصیت نفوذپذیری خود را برای کاهش لغزندگی حفظ می‌کند. پس از بکار بردن fog seal کاهش اولیه در اصطکاک روسازی مشاهده می‌شود که پس از تردد یک ماهه وسایل‌نقلیه از روی آن، اصطکاک روسازی به حالت اولیه بر می‌گردد [16].

8-3-4- نگهداری اصلاحی

مهم‌ترین عیبب که در سازه مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز اتفاق می‌افتد جدا شدن دانه‌ها می‌باشد. در اثر جدا شدن دانه‌ها و ضعف در اجرای یک قسمت و سایر عوامل ممکن است در بخش‌های از روسازی با این مخلوط‌ها، چاله‌هایی ایجاد گردد. به منظور تعمیر این چاله‌ها با عملیات لکه‌گیری مرمت می‌شوند. بایستی توجه نمود که از مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز در تعمیر و لکه‌گیری روسازی‌های با مخلوط‌های آسفالتی دانه‌بندی باز استفاده گردد. در صورتی‌که سطح کمی آسیب دیده باشد می‌توان از مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی متراکم در لکه‌گیری این روسازی‌ها استفاده نمود.

استفاده از درزگیری به منظور جلوگیری از افزایش ترک‌ها، در نفوذپذیری مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز اختلال ایجاد می‌نماید و بایستی تا حد امکان از درزگیری در این روسازی‌ها استفاده نگردد [۲،۱۶].

8-3-5- ترمیم

توصیه کلی در ترمیم مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز، جایگزینی مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز جدید به جای مخلوط قدیمی می‌باشد. همچنین توصیه می‌شود از مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی متراکم برای استفاده در قسمت‌های آسیب دیده استفاده نگردد زیرا این عمل منجر به کاهش عمر مخلوط آسفالتی متخلخل به دلیل عدم حذف آبهای سطحی و جمع شدن آنها می‌گردد.

نتایج تحقیقات انجام شده در هلند نشان می‌دهد بازیافت مخلوط آسفالتی متخلخل، منجر به ایجاد نفوذپذیری ، دوام و نتایج مطلوب مانند مخلوط اولیه می‌گردد [2].

omoorepeyman.ir

مراجع :

1. Carsten Bredahl Nielsen Construction of Two-Layer Porous Asphalt, Danish Road Institute,2005.
2. Allex E. Alvarez at all "Synthesis of Current Practice on the Design, Construction, and Maintenance of Porous Friction Courses", Texas Department of Transportation, Federal Highway Administration. May 2006.
3. Danish Road Institute. Clogging of Porous Bituminous Surfacings–an Investigation in Copenhagen. Report 120. DRI, Road Directorate, Ministry of Transport–Denmark, 2002.
4. Huber, G. Performance Survey on Open-Graded Friction Course Mixes. Synthesis of Highway Practice ٢٨٤. Transportation Research Board, National Research Council,Washington, D.C., ٢٠٠٠.
5. Yeo, R. E., J. Favaloro, and P. Mousley. *An Australian Perspective on the Functional Durability of Open Graded Asphalt Surfacing*. VicRoads–RMIT University, 2001.
6. Texas Department of Transportation. 200-F, Bituminous Test Procedures Manual. Chapter 6 — Tex-204-F, Design of Bituminous Mixtures. Section 7 — Part V, Mix Design for Permeable Friction Course (OGFC) Mixtures Using the Superpave Gyratory Compactor (SGC). Austin, TX, 2005.
7. Newcomb, D., and L. Scofield. Quiet Pavements Raise the Roof in Europe. *Hot Mix Asphalt Technology*, September-October, 2004, pp. 22-28.
8. Newcomb, D., and L. Scofield. Quiet Pavements Raise the Roof in Europe. *Hot Mix Asphalt Technology*, September-October, 2004, pp. 22-28.
9. Mallick, R., P. Kandhal, A. Cooley, and D. Watson. *Design, Construction and Performance of New Generation Open-Graded Friction Courses*. National Center for Asphalt Technology Report ٠٠-٠١. NCAT, Auburn, AL, ٢٠٠٠.
10. VTI, Japanese machines for laying and cleaning double-layer porous asphalt - Observations from a study tour, 2005.
11. DRI, International Experiences with Clogging of Porous Pavements, December, 2005.
12. Danish Road Institute ,Ravelling of porous pavements,٢٠٠٧.
13. Felic Giuliani, Winter maintenance of porous asphalt pavements, university of parma.
١٤. Gerardo W. Flintsch, Ph.D., P.E. ASSESSMENT OF THE PERFORMANCE OF SEVERAL ROADWAY MIXES UNDER RAIN, SNOW, AND WINTER MAINTENANCE ACTIVITIES, Virginia Transportation Research Council, February ٢٠٠٤.
١٥. Ketcham, S. A., Minsk, L.D., Blackburn, R.R., and Fleege, E.J. (١٩٩٦). *Manual of Practice for an Effective Anti-icing Program: A Guide for Highway Winter Maintenance Personnel*.Report FHWA-RD-٩٥-٢٠٢. ١٠/١٧/٢٠٠٣.
16. Rogge, D. *Development of Maintenance Practices for Oregon F-mix*. Publication FHWAOR- RD-٠٢-٠٩.Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., ٢٠٠٢.
17. Al-Qadi, I.L., Loulizi, A., Flintsch, G.W., Roosevelt, D. S., Decker, R., Wambold, J. C., and Nixon, W. A. (٢٠٠٢). *Feasibility of Using Friction Indicators to Improve Winter Maintenance and Mobility*. Web Document ٥٣. National Cooperative Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C.,٢٠٠٣.

omoorepeyman.ir

فصل 9

عملیات آزمایشگاهی و اجرای فاز میدانی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

9- انجام عملیات آزمایشگاهی و اجرای فاز میدانی

9-1- بازدید از محورهای شمالی و بررسی امکانات موجود (کارخانه آسفالت و تجهیزات پخش) برای انتخاب محور و بررسی وضعیت روسازی محور منتخب

با توجه به مهمترین کاربرد آسفالت متخلخل (زهکشی آب‌های سطحی)، استانهای گیلان و مازندران به دلیل شرایط آب و هوایی و بارش زیاد به عنوان استانهای نمونه جهت اجرای آسفالت متخلخل انتخاب شدند. در ذیل به تفکیک استانها، اقدامات انجام شده آورده شده است.

9-1-1- استان گیلان

جهت انجام پروژه مذکور،، مذاکراتی با مسئولین اداره کل راه و ترابری استان گیلان صورت گرفت و محورهایی که قابلیت انجام آسفالت متخلخل را داشته و همچنین در سال جاری روکش می‌گردند، به شرح زیر معرفی شدند:

- محور رشت- فومن (بزرگراه و راه اصلی)
- محور رشت- امام زاده هاشم (راه اصلی و بزرگراه)
- محور رشت – لاهیجان (بزرگراه)

محورهای رشت- لاهیجان و رشت- فومن دارای شرایط مناسب‌تری برای اجرای فاز میدانی پروژه مورد نظر بودند و به همین جهت مذاکراتی با مسئولین اداره کل راه و ترابری استان گیلان انجام شد. اما بدلیل همکاری مسئولین اداره کل، استان گیلان عملا از برنامه اجرای آزمایشی آسفالت متخلخل حذف گردید.

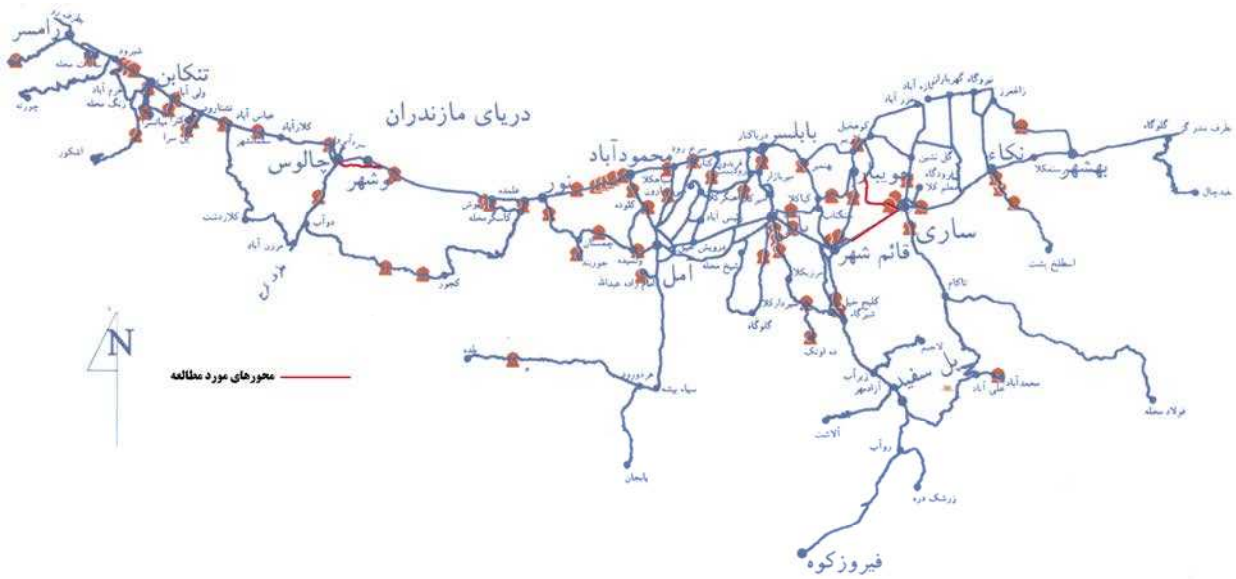
9-1-2- استان مازندران

با توجه به مذاکرات انجام شده با مسئولین اداره کل راه و ترابری استان مازندران و تشریح اهداف موضوع، محورهای ذیل را به دلیل وجود پیمانکار جهت انجام عملیات روکش آسفالت به این مهندسین مشاور معرفی نمودند.

- ساری- جویبار،
- کمربندی نوشهر- چالوس
- ساری- قائم‌شهر

omoorepeyman.ir

در شکل 9-1 موقعیت محورهای پیشنهادی در استان مازندران نشان داده شده است.



شکل 9-1 موقعیت محورهای پیشنهادی در استان مازندران

9-1-2-1- معرفی محورهای پیشنهادی در استان مازندران

الف- ساری- جویبار

این محور در شمال شهر ساری به طرف خزر شهر به طول تقریبی 10 کیلومتر واقع شده است. این راه چهار خطه(در قسمتهایی جدا شده) با ترافیک عبوری سبک با حجم متوسط و با عملکرد تفریحی می‌باشد. در زمان بازدید از این محور، عملیات روکش در حال انجام بود. معدن مورد استفاده از نوع رودخانه‌ای بود. کارخانه آسفالت (شکل 9-2) مورد استفاده برای تامین روکش آسفالت در بندر امیر آباد قرار داشت.

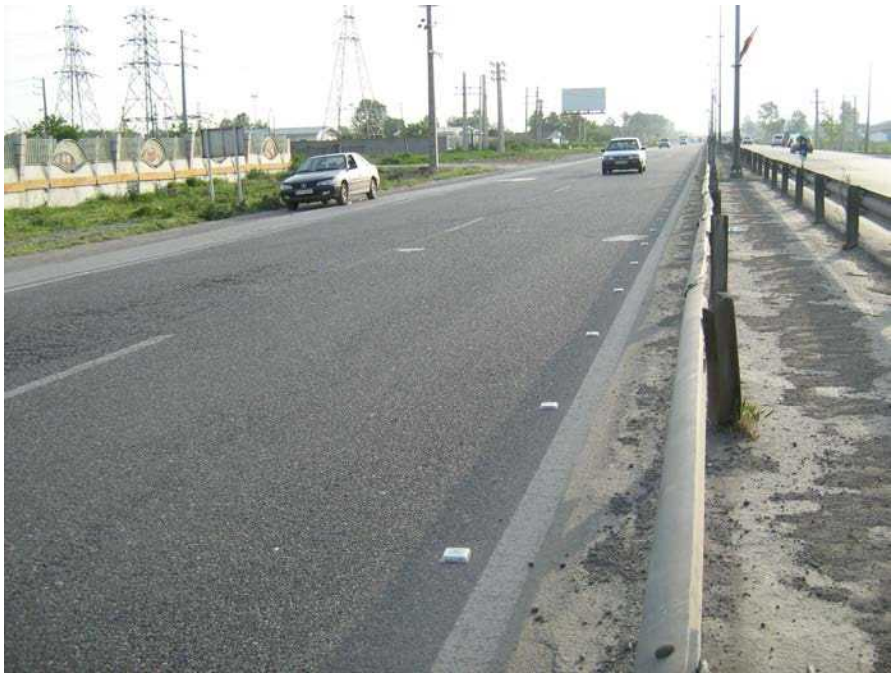
omoorepeyman.ir

شکل 9-2- کارخانه اسفالت

ب- کمربندی نوشهر - چالوس

کمربندی نوشهر به طول تقریبی 7 کیلومتر در جنوب شهر نوشهر واقع شده است. این راه، چهارخطه (البته در زمان بازدید دو خط در حال بهره برداری بود و دو خط آماده اجرای لایه های آسفالتی بود و قرار بر اجرای لایه آسفالت متخلخل در دو خط موجود بود) با ترافیک عبوری سنگین با حجم زیاد می باشد. در بازدید میدانی از این محور مشخص شد که دارای خرابی شن زدگی در وسعت زیاد بود و بر اساس توافقات اولیه مقرر شد که در صورت اجرای لایه آسفالت متخلخل، ابتدا عملیات لکه گیری انجام شود. کارخانه آسفالت این پروژه یاد شده در حاشیه کمربندی واقع شده است. نوع معدن مورد استفاده از نوع رودخانه‌ای است. نمایی از کمربندی نوشهر - چالوس در شکل9-3 و کارخانه آسفالت واقع در نزدیکی محور یاد شده در شکل 9-4 نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir



شکل9-3-کمربندی نوشهر - چالوس

شکل9-4- کارخانه آسفالت محور کمربندی نوشهر

امور پیمان
omoorepeyman.ir

ج- ساری - قائم شهر

این راه به طول تقریبی 20 کیلومتر در غرب شهر ساری واقع شده است. این راه چهار خطه جدا شده (بزرگراه) با ترافیک عبوری سنگین با حجم زیاد است. در زمان بازدید از این محور، ترکهای مویی و لکه‌گیری‌های موضعی در سطح روسازی مشاهده شد. کارخانه آسفالت مورد نظر برای این محور در رودخانه تجن واقع در شمال شرقی شهر ساری قرار داشت. نوع معدن مورد استفاده برای تولید آسفالت، رودخانه‌ای است. موقعیت محور ساری- قائم شهر بر روی نقشه در شکل9-5 و نمایی از محور یاد شده در شکل 9-6 ارایه شده است. همچنین نمایی از کارخانه آسفالت پیمانکار اجرای آسفالت متخلخل در محور قائم شهر-ساری که در کمربندی شرقی ساری واقع شده، در شکل 9-7 نشان داده شده است.

شکل9-5- موقعیت محور ساری - قائم شهر

omoorepeyman.ir

شکل9-6- محور ساری - قائم شهر

شکل9-7- کارخانه آسفالت محور ساری -قائم شهر

omoorepeyman.ir

9-1-2-2- جمع بندی

با توجه به موارد ذکر شده، استان مازندران و محورهای معرفی شده در این استان برای انجام گام‌های بعدی و طرح‌های اختلاط انتخاب شدند.

9-2- انجام طرح اختلاط

برای انجام طرح اختلاط مراحل ذیل انجام شد.

9-2-1- انتخاب دانه‌بندی

با توجه به شرح خدمات پروژه، دو دانه بندی که در جدول 9-1 آورده شده اند، انتخاب و به پیمانکاران ابلاغ شد.

جدول9-1- حدود دانه‌بندی آسفالت متخلخل

درصد وزنی عبوری از هر الک		
2	1	شماره دانه‌بندی / اندازه الک(mm)
100	100	19
70-100	85-100	12/5
38-62	55-75	9/5
13-27	10-25	4/75 (# 4)
9-20	5-10	2/36 (# 8)
3-6	2-4	0/075 (# 200)

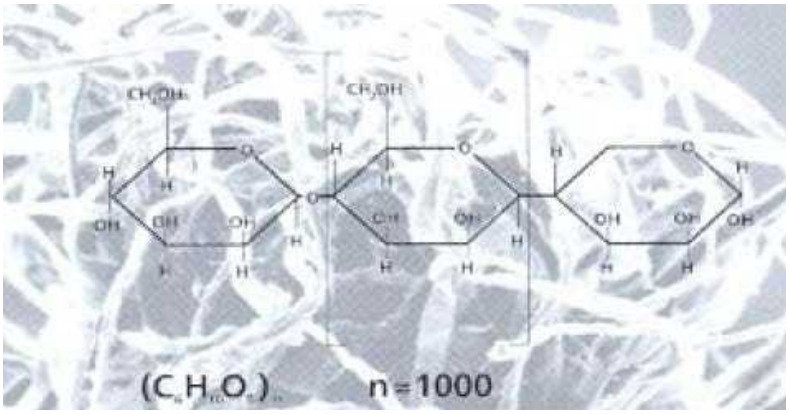
9-2-2- انتخاب الیاف سلولوزی

همانگونه که در گزارشهای مرحله قبلی نیز آورده شده است، استفاده از الیاف بویژه برای ترافیک سنگین بسیار ضروری است. با توجه به بررسی‌های انجام شده و پیگیری‌های این مهندسین مشاور از فروشندگان الیافهای سلولزی، الیاف سلولزی TOPCEL برای استفاده در این پروژه انتخاب شد. مشخصات و مزایای این الیاف بر طبق کاتالوگ محصول، عبارت است از :

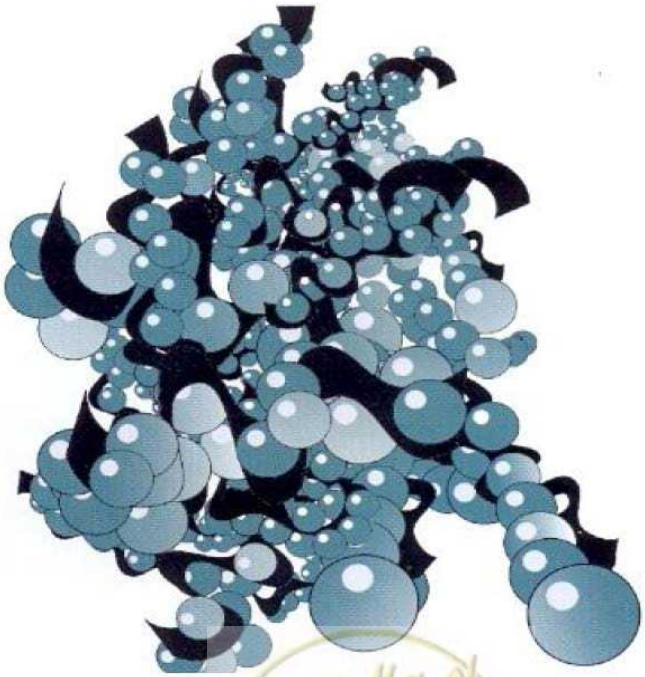
- ✓ ساختمان سه بعدی
- ✓ مقاومت در مقابل دمای تا 250 درجه سانتیگراد

omoorepeyman.ir

- ✓ دوستار محیط زیست
- ✓ از نظر فیزولوژیکی و شیمیایی مطمئن و ایمن
- ✓ انتخاب آزاد نوع قیر و همچنین استفاده در دوزهای پایین
- ✓ پخش شدگی بسیار سریع و کامل در داخل مخلوط
- ✓ خصوصیات بهینه جاری شدن در سیستم های اتوماتیک مخلوط کردن
- ✓ نگهداری مطمئن و ایمن در سیلوها



شکل 9-8- ساختار شیمیایی الیاف سلولزی



شکل9-9- جذب سطحی قیر روی الیاف

omoorepeyman.ir

9-2-3- انتخاب قیر

در ترافیک کم و متوسط از قیرهای معمولی با افزودن پلیمر یا الیاف می‌توان استفاده نمود، ولی در ترافیک سنگین بایستی از قیرهای با سختی زیاد با پلیمر و الیاف در سطح مناسب استفاده نمود. در این پروژه از قیر اصلاح شده با طبقه عملکردی، PG64-22 بر اساس شرایط آب و هوایی منطقه و ترافیک محور استفاده شد. نتایج آزمایش برروی قیر در جدول 9-2 آورده شده است:

جدول9-2- نتایج آزمایش بر روی قیر منتخب (خالص)

آزمایش	روش استاندارد	نتیجه
درجه نفوذ در 4 درجه سانتی‌گراد (200 گرم- 60 ثانیه) بر روی قیر حاصل از فرآیند TFOT برحسب 0/1 میلیمتر	ASTM D 5	22
درجه نفوذ در 25 درجه سانتی‌گراد (100 گرم- 5 ثانیه) بر روی قیر حاصل از فرآیند TFOT برحسب 0/1 میلیمتر	ASTM D 5	74
بازگشت الاستیک در دمای 25 درجه سانتی‌گراد بر روی قیر حاصل از فرآیند TFOT برحسب درصد	ASTM D 113	88
درجه نفوذ در 25 درجه سانتی‌گراد	ASTM D 5	69
مقدار کشش در 25 درجه سانتیگراد بر حسب سانتیمتر	ASTM D 113	100 <
مواد نامحلول قیر در تری کلرواتیلن (حلالیت) بر حسب درصد	ASTM D 2042	99/9
درجه اشتعال (روباز- کلولند) بر حسب درجه سانتیگراد	ASTM D 92	302
جداشدگی برحسب درجه سانتیگراد	ASTM D 5	7
کندروانی کینماتیک در دمای 135 درجه سانتیگراد بر حسب سانتی استوکس	ASTM D 2170	1117
آزمایش اون لایه نازک متحرک قیر ()، تغییر در جرم اولیه بر حسب درصد	ASTM D 5	-0/04

جدول9-3- نتایج آزمایش بر روی قیر پلیمری

آزمایش	روش استاندارد	نتیجه
درجه نفوذ در 4 درجه سانتیگراد (200گرم 60ثانیه) بر حسب 0/1 میلیمتر بر روی قیر حاصل از RTFOT	D5976	13
درجه نفوذ در 25 درجه سانتیگراد (100گرم 5ثانیه) بر حسب 0/1 میلیمتر	D5	62
درصد بازگشت الاستیک در دمای 25 درجه سانتیگراد برروی قیر حاصل از RTFOT	D113	8/2
مواد نامحلول قیر در تری کلرواتیلن (حلالیت) بر حسب درصد	D5976	99/9
آزمایش درجه اشتعال بر حسب درجه سانتیگراد	D92	290
کندروانی کینماتیک در دمای 135 درجه سانتیگراد بر حسب سانتی استوکس	D2170	1207
مشاهده وضعیت ظاهری قیر در دمای 175 درجه سانتی گراد	D5976	در نمونه کف مشاهده نشد

omoorepeyman.ir

9-2-4- انجام آزمایش‌های طرح اختلاط

9-2-4-1- آزمایش‌های مربوط به محور ساری - جویبار

الف-آزمایش‌های مصالح

در جداول9- 4 و 9-5، نتایج آزمایش‌های مصالح آورده شده است.

جدول 9-4- مشخصات مصالح سنگی مصرفی محور ساری - جویبار در مخلوط آسفالت متخلخل

	مشخصه یا آزمایش	مشخصات	حدود	روش آزمایش
الف) مصالح سنگی درشت‌دانه	آزمایش سایش لوس آنجلس	25	20	T 96 آشتو
	درصد افت وزنی با سولفات سدیم	%0/1	15	T ۱۰٤ آشتو
	تطویل	%16		D ٤٧٩١
	تورق	%15		D ٤٧٩١
	درصد جذب آب مصالح روی الک شماره 8	%1/83	2	-
	درصد شکستگی در یک جبهه در دو جبهه و بیشتر	 % 94 % 92	 % 100 % 90	ASTM D ٥٨٢١
ب) مصالح سنگی ریزدانه	حداکثر افت وزنی با سولفات سدیم	%0/1	15	T ۱۰٤
	ارزش ماسه‌ای	%57	50	T ۱۷٦ آشتو
	درصد جذب آب مصالح روی الک شماره 200	% 1/63		-

جدول9-5- وزن مخصوص مصالح سنگی محور ساری - جویبار

مشخصه	وزن مخصوص	
	ظاهری	حقیقی
مصالح سنگی مانده روی الک شماره 8	2/734	2/645
مصالح سنگی رد شده از الک شماره 8 و مانده روی الک شماره 200	2/564	2/513
مصالح سنگی رد شده از الک شماره 200	2/613	
وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی، Gsb	2/614	

omoorepeyman.ir

ب-آزمایشهای قیر

قیر مورد استفاده برای طرح اختلاط، قیر خالص 70-60 و قیر پلیمری PG64-22 بود که نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی آن در جداول 9-2 و 9-3، آورده شده است.

ج- آزمایش‌های مخلوط آسفالتی

نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های آسفالت متخلخل در جداول 9-6، تا 9-10 آورده شده است. برای طرح اختلاط از دانه‌بندی شماره 2 استفاده شد. نمونه‌ها با جک مارشال با 50 ضربه به هر طرف نمونه ساخته شد. آزمایش‌های مورد نیاز برای تعیین درصد قیر بهینه بشرح زیر انجام شد:

الف) آزمایش کانتابرو در دمای 25 درجه سانتیگراد

ب) تعیین درصد فضای خالی به روش T275

ج) آزمایش ریزش قیر (فرونشست قیر)[1] مطابق باASTM D6390

د) آزمایش اصلاح شده لوتمن مطابق با آشتو T-283

جدول 9-6- تعیین وزن مخصوص نمونه‌های آسفالتی متخلخل قیر خالص برای دانه‌بندی شماره 2 (محور ساری- جویبار)

درصد قیر خالص	شماره نمونه	وزن نمونه (گرم)	قطر (سانتیمتر)	ارتفاع (سانتیمتر)	حجم	وزن مخصوص (gr/cm^3)	میانگین (gr/cm^3)
%4	1	1136/7	10	6/8	534/1	2/13	2/12
	2	1135/7	10	6/8	534/1	2/13	
	3	1130/6	10	6/9	541/9	2/09	
%4/5	1	1135/2	10	6/8	534/1	2/13	2/12
	2	1136/9	10	6/9	541/9	2/1	
	3	1139/7	10	6/8	534/1	2/13	
%5	1	1129/0	10	6/9	541/9	2/08	2/1
	2	1141/6	10	6/9	541/9	2/11	
	3	1146/3	10	6/9	541/9	2/115	
%6	1	1158/9	10	7/5	589	1/97	2/02
	2	1164/5	10	7/2	565/5	2/06	
	3	1167/7	10	7/3	573/3	2/04	

1 - Drain down

omoorepeyman.ir

جدول 9-7- تعیین وزن مخصوص نمونه‌های آسفالتی متخلخل با قیر پلیمری برای دانه‌بندی شماره 2 (محور ساری - جویبار)

درصد قیر	شماره نمونه	وزن نمونه	قطر	ارتفاع	حجم	وزن مخصوص (gr/cm^3)	میانگین (gr/cm^3)
%4/5	1	1135	10	6/9	541/9	2/09	2/08
	2	1127/6	10	6/8	534/1	2/11	
	3	1133/8	10	7/1	557/6	2/03	
	4	1143/1	10	7	549/8	2/08	
	5	1140	10	7	549/8	2/07	
%5	1	1143/3	10	6/8	534	2/14	2/09
	2	1146/2	10	7/1	557/6	2/06	
	3	1142/6	10	7	549/8	2/08	
	4	1141/8	10	6/9	541/9	2/11	
	5	1147/2	10	7/0	549/8	2/09	
%5/5	1	1145/2	10	7	549/8	2/083	2/12
	2	1147/2	10	6/8	534	2/148	
	3	1149/8	10	6/9	541/9	2/12	
	4	1146/8	10	6/8	534	2/14	
	5	1148/8	10	6/9	541/9	2/12	
%6	1	1150/1	10	6/9	541/9	2/122	2/12
	2	1150/9	10	6/9	541/9	2/124	

جدول 9-8- نتایج آزمون کانتابرو برای نمونه‌های آسفالتی متخلخل با دانه‌بندی شماره 2 (محور ساری - جویبار)

درصد قیر	شماره نمونه	وزن اولیه نمونه	وزن نمونه پس از 300 دور چرخش	درصد افت وزنی (٪)	میانگین (٪)	حد مجاز
4/5		1132	784	%31	32	25
		1111/1	753	%32		
		1137/9	755	%33		
5	4	1148/2	1067/3	%7	7/6	
	5	1146/2	5/1043	%8/9		
	6	1145/5	5/1066	%6/8		
5/5	4	1138/3	1053/5	% 7/1		
	5	1149/1	1131/2	% 1/5		
	6	1143/6	876/8	% 23		
6	1	1151/3	1128/5	% 1/9		
	2	1153/2	1129/7	% 2		

omoorepeyman.ir

جدول 9-9- نتایج آزمون ریزش قیر برای نمونه‌های آسفالتی متخلخل با دانه‌بندی شماره 2 (محور ساری - جویبار)

شماره	شماره	وزن نمونه قبل از آزمایش (A)	وزن ظرف قبل از آزمایش (B)	وزن ظرف بعد از آزمایش(C)	مقداری که ریزش‌کرده (B-C=D)	درصد ریزش	حد مجاز
1	1	1142/4	359/3	362/5	3/2	% 0/28	% 0/3
2	2	1146/3	359/7	363/4	3/7	% 0/32	

جدول9- 10- نتایج آزمون حساسیت رطوبتی برای نمونه‌های با دانه‌بندی شماره 2 (محور ساری - جویبار)

درصد قیر	شماره نمونه	مدت زمان	عدد استحکام مارشال	نسبت دو عدد استحکام (٪)	حد مجاز
4/5	1	پس از 30 دقیقه	255	%56	70
4/5	2	پس از 24 ساعت	455		
5	1	پس از 30 دقیقه	327	%67	
5	2	پس از 24 ساعت	491		
5/5	1	پس از 30 دقیقه	364	%72	
5/5	2	پس از 24 ساعت	509		

9-2-4-2- آزمایش‌های مربوط به کمربندی نوشهر– چالوس

الف- آزمایش‌های مصالح

در جداول 9-11 و 9-12 نتایج مربوط به آزمایش‌های انجام شده بر روی مصالح سنگی آورده شده است.

omoorepeyman.ir

جدول 9-11- مشخصات مصالح سنگی مصرفی کمربندی نوشهر-چالوس در مخلوط‌های آسفالت متخلخل

	مشخصه یا آزمایش	مشخصات	روش آزمایش
الف) مصالح سنگی درشت‌دانه	آزمایش سایش لوس آنجلس	27	T 96 آشتو
	درصد افت وزنی با سولفات سدیم	%0/1	T 104 آشتو
	تطویل	%18	BS 812
	تورق	%13	BS 812
	درصد جذب آب مصالح روی الک شماره 8	% 1/42	-
	درصد شکستگی در یک جبهه در دو جبهه و بیشتر	 % 96 % 95	ASTM D 5821
ب) مصالح سنگی ریزدانه	حداکثر افت وزنی با سولفات سدیم	%0/1	T 104
	ارزش ماسه‌ای	%52	T 176 آشتو
	درصد جذب آب مصالح روی الک شماره 200	% 1/51	-

جدول 9-12 وزن مخصوص مصالح سنگی کمربندی نوشهر-چالوس

مشخصه	وزن مخصوص	
	ظاهری	حقیقی
مصالح سنگی مانده روی الک شماره 8	2/726	2/631
مصالح سنگی رد شده از الک شماره 8 و مانده روی الک شماره 200	2/678	2/601
مصالح سنگی رد شده از الک شماره 200	2/658	
وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی، Gsb	2/623	

ب-آزمایش‌های قیر

قیر مورد استفاده برای طرح اختلاط، قیر PG64-22 بود که نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی آن در جدول 9-3، آورده شده است.

omoorepeyman.ir

ج- آزمایش‌های مخلوط آسفالتی

نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی مخلوط‌های آسفالتی متخلخل برای مصالح کمربندی نوشهر-چالوس در جداول 9-13 و 9-14 آورده شده است. برای طرح اختلاط از دانه‌بندی شماره 1 استفاده گردید.

جدول9-13- تعیین وزن مخصوص نمونه‌های آسفالتی متخلخل با دانه‌بندی شماره 1 (کمربندی نوشهر-چالوس)

درصد قیر	شماره نمونه	وزن نمونه	قطر	ارتفاع	حجم	وزن مخصوص (gr/cm^3)	میانگین (gr/cm^3)	میانگین با حذف داده پرت
%4/5	1	1132/3	9/9	7/5	577/3	1/97		
	2	1138/6	10	7/3	573/3	2/06		
	3	1151/7	10	7/4	581/2	2/04		
	4	1138/9	10	7/3	573/3	2		
	5	1148/1	9/9	7/3	561/9	2/02		
%5	1	1153/5	9/9	7/5	561/9	1/97		
	2	1158	10	7/3	573/3	2/06		
	3	1153/5	10	7	549/8	2/04		
	4	1153	10	7/1	577/6	2		
	5	1112/2	10	7/2	565/5	2/02		
%5/5	1	1156/1	10	7/5	589	1/96		
	2	1161/2	10	7/2	565/5	2/05		
	3	1155/8	10	7/2	565/5	2/04		
	4	1126/5	10	7/2	565/5	1/99		
	5	1140/1	10	7/2	565/5	2/02		
%6	1	1158/9	10	7/5	589	1/97		
	2	1164/5	10	7/2	565/5	2/06		
	3	1167/7	10	7/3	573/3	2/04		
	4	1151/7	10	7/3	573/3	2		
	5	1153/7	10	7/3	573/3	2/02		

omoorepeyman.ir

جدول9-14- نتایج آزمون کانتابرو برای نمونه‌های آسفالتی متخلخل با دانه‌بندی شماره 1 (کمربندی نوشهر-چالوس)

درصد قیر	شماره نمونه	وزن اولیه نمونه	وزن نمونه پس از 300 دور چرخش	درصد افت وزنی (٪)	میانگین (٪)	میانگین با حذف داده پرت	حد مجاز
%4/5	1	1132/5	741	%34	17/3		25
	2	1138/6	1045	%8/3			
	3	1152/6	1042/1	%9/5			
%5	1	5/1153	1047/9	%9	5/5		
	2	1158	1110/9	%4			
	3	5/1153	1110/4	%3/7			
%5/5	1	1156/1	997/4	%9	5/5		
	2	1161/2	1137/7	%4			
	3	1157/2	1097	%3/7			
%6	1	1158/8	845	%27	11/1		
	2	1164/6	1134/3	%2/6			
	3	1167/9	1127/1	%3/7			

9-2-4-3- آزمایش‌های مربوط به محور ساری- قائم شهر

الف-آزمایش‌های مصالح

نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی مشخصات مصالح مصرفی برای محور ساری- قائم شهر در جداول 9-15 و 9-16و دانه‌بندی در نمودارهای 9-10 الی 9-15 آورده شده است. برای طرح اختلاط از دانه بندی شماره 2 استفاده شد. البته لازم بذکر است پس از ارسال مقدار کافی مصالح توسط پیمانکار مشخص شد، فیلر بدست آمده از مصالح ارسالی بسیار کم می‌باشد، بنابراین از فیلر پودر سنگ، بطور جداگانه استفاده گردید.

omoorepeyman.ir

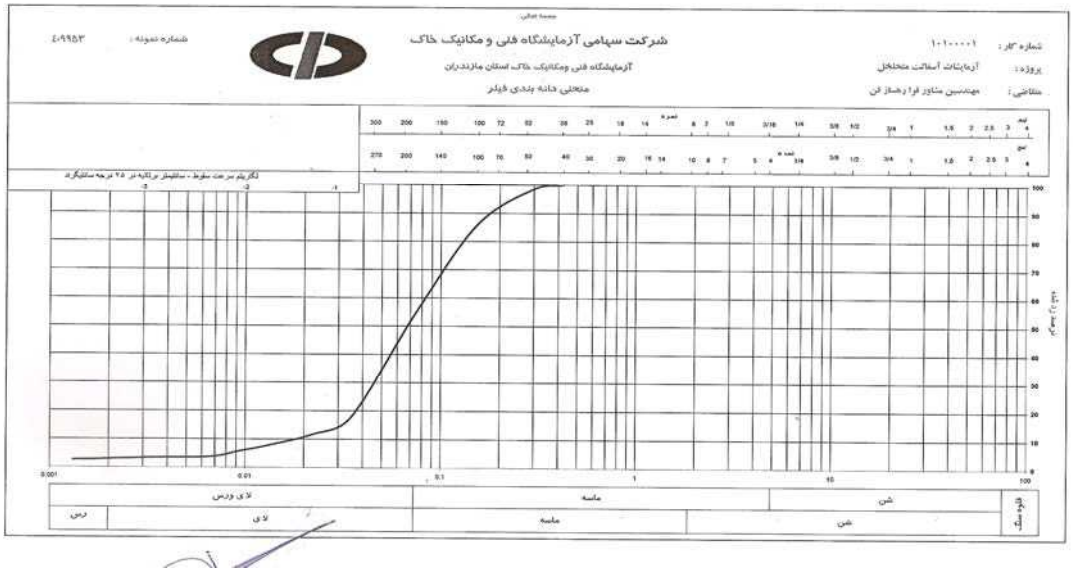
جدول 9-15- مشخصات مصالح سنگی مصرفی محور ساری - قائم شهر در مخلوط‌های آسفالت متخلخل

	مشخصه یا آزمایش	مشخصات	روش آزمایش
الف) مصالح سنگی درشت‌دانه	آزمایش سایش لوس آنجلس	23	T 96 آشتو
	درصد افت وزنی با سولفات سدیم	%0/1	T 104 آشتو
	تطویل	%14	BS 812
	تورق	%12	BS 812
	درصد جذب آب مصالح روی الک شماره 8	% 1/27	-
	درصد شکستگی در یک جبهه در دو جبهه و بیشتر	 % 97 % 96	ASTM D 5821
ب) مصالح سنگی ریزدانه	حداکثر افت وزنی با سولفات سدیم	%0/1	T 104
	ارزش ماسه‌ای	%61	T 176 آشتو
	درصد جذب آب مصالح روی الک شماره 200	% 1/43	-

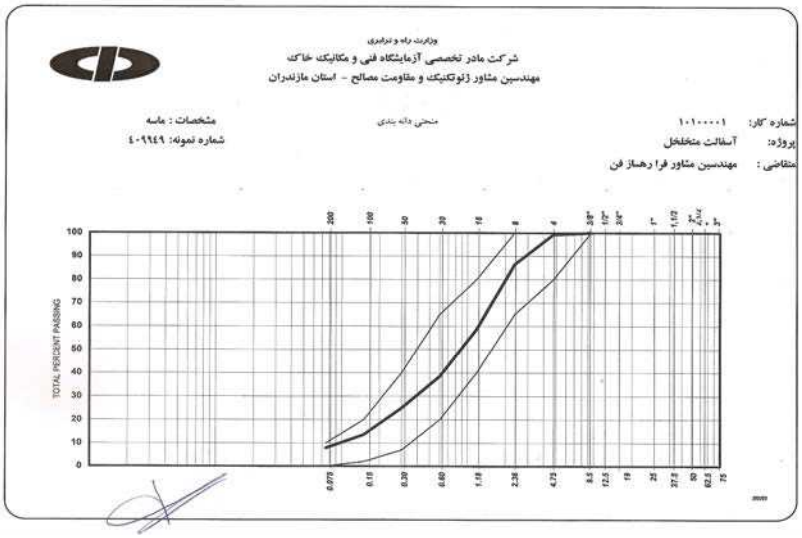
جدول9- 16- وزن مخصوص روی مصالح سنگی مصرفی محور ساری - قائم شهر

مشخصه	وزن مخصوص	
	ظاهری	حقیقی
مصالح سنگی مانده روی الک شماره 8	2/712	2/622
مصالح سنگی رد شده از الک شماره 8 و مانده روی الک شماره 200	2/688	2/588
مصالح سنگی رد شده از الک شماره 200	2/677	
وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی، Gsb	2/619	

omoorepeyman.ir

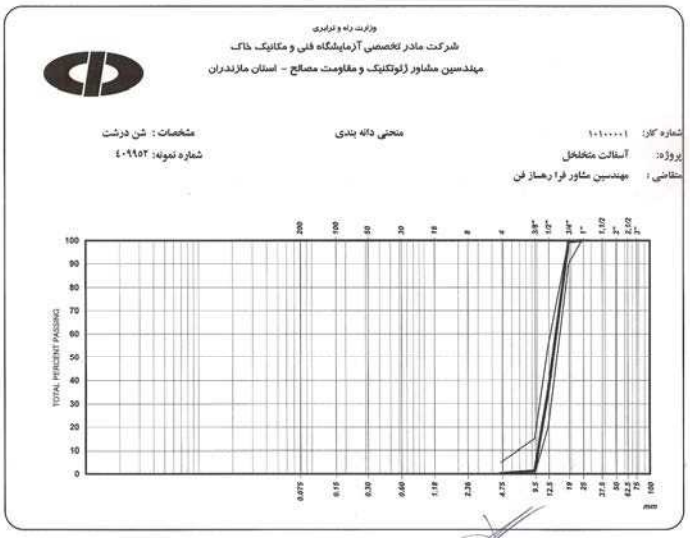


شکل 9-10- نمودار دانه بندی فیلر

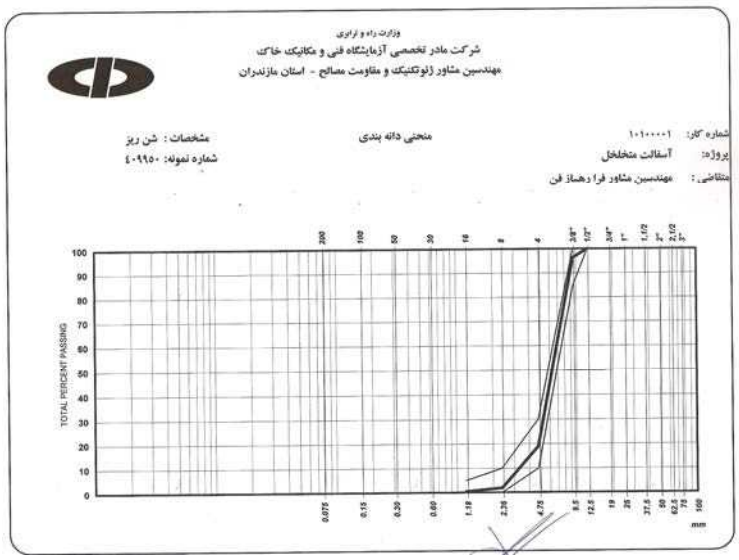


شکل9- 11- نمودار دانه بندی ماسه

omoorepeyman.ir

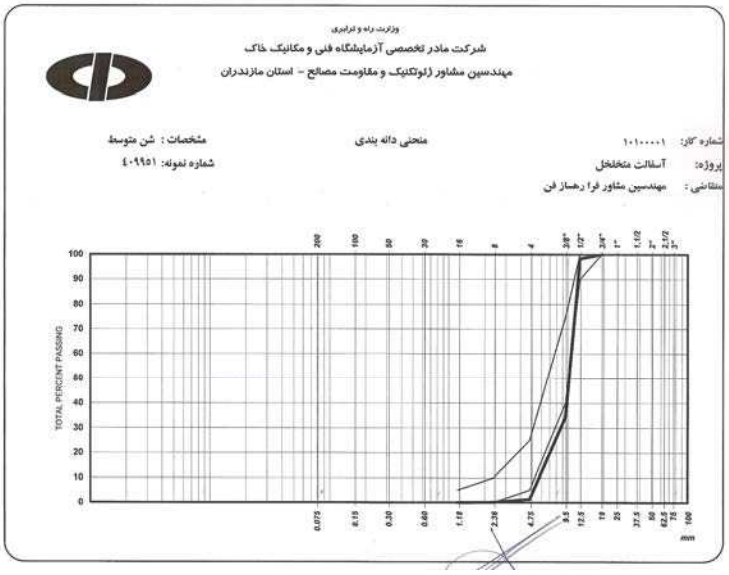


شکل9- 12- نمودار دانه بندی شن درشت

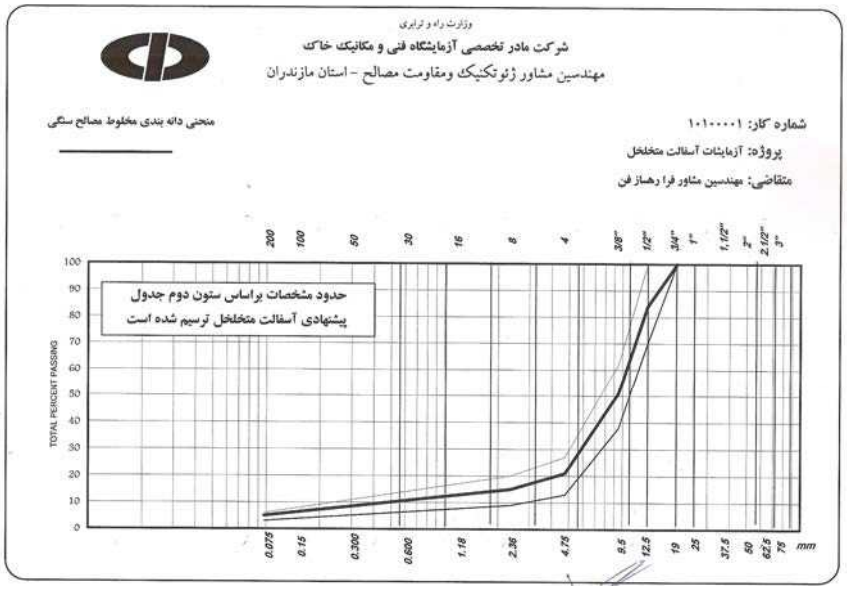


شکل9-13- نمودار دانه بندی شن ریز

omoorepeyman.ir



شکل9-14- نمودار دانه بندی شن متوسط



شکل 9-15- نمودار دانه بندی مخلوط مصالح سنگی

ب-آزمایش‌های قیر

قیر مورد استفاده برای طرح اختلاط، قیر PG64-22 بود که نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی آن در جدول9-3، آورده شده است.

omoorepeyman.ir

ج- آزمایش‌های مخلوط آسفالتی

نتایج آزمایش بر روی مخلوط‌های آسفالتی متخلخل در ادامه ارایه شده است.

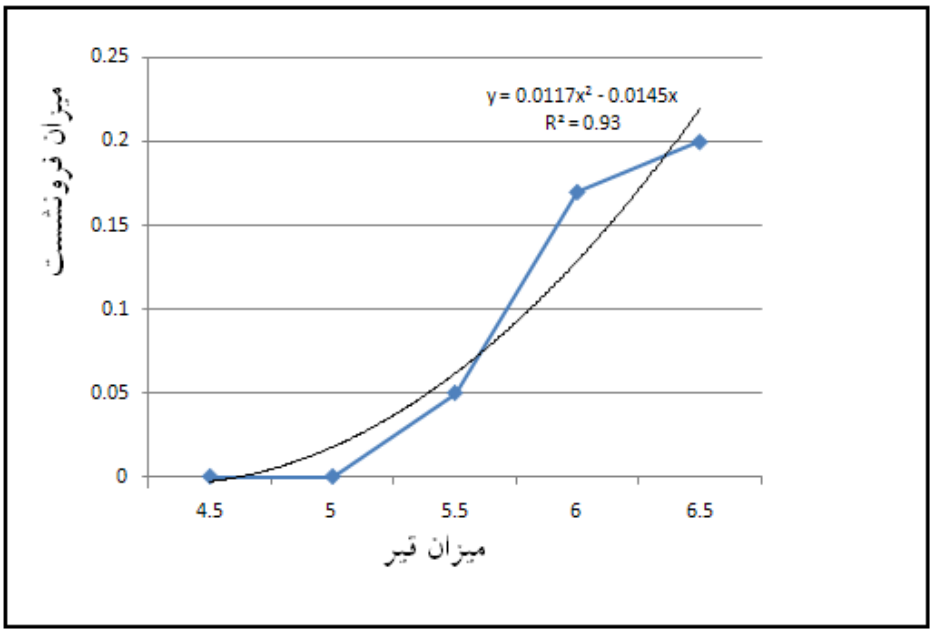
آزمایش ریزش قیر (فرونشست)

آزمایش ریزش قیر روی نمونه‌های مخلوط آسفالتی متخلخل با درصدهای مختلف قیر و 0/3درصد الیاف انجام شد و نتایج مطابق جدول 9-17 بدست آمد. نتایج آزمایش‌های ریزش قیر انجام شده بر روی نمونه‌ها نشان می‌دهد با افـزایش میـزان قیر به حدود 5 درصد هیچگونه جاری شدن قیر اتفاق نمی‌افتد و با افزایش میزان قیر به بـیش از 5 درصـد میـزان جـاری شدن قیر بیشتر می گردد (شکل9- 17).

جدول9-17- نتایج آزمایش ریزش قیر به ازای درصدهای مختلف قیر و 0/3 درصد الیاف

درصد قیر	درصد افت وزنی نمونه	حد مجاز
4/5	0	%0/3
5	0	
5/5	0/17	
6	0/17	
6/5	0/20	

omoorepeyman.ir



شکل 9-16- نمودار میزان فرونشست قیر به ازای درصدهای مختلف قیر

شکل 9-17 سبد انجام آزمایش ریزش قیر

آزمایش کانتابرو

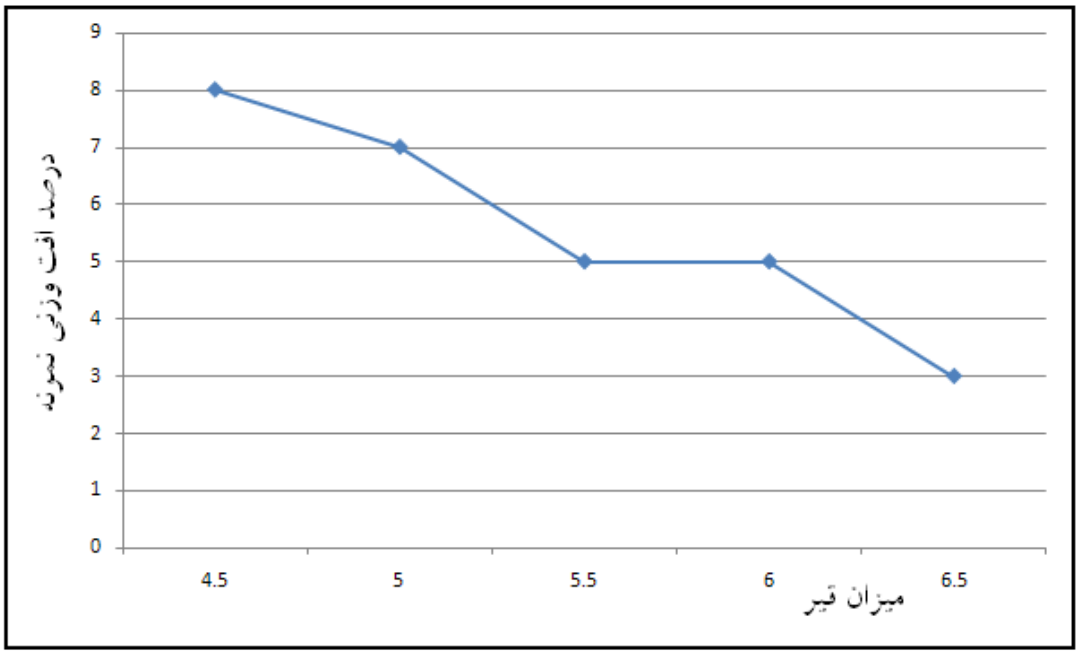
آزمایش کانتابرو بر روی نمونه‌های مخلوط آسفالت متخلخل با درصدهای مختلف قیر و 0/3درصد الیاف انجـام شـد و نتایج مطابق جدول9-18 بدست آمد. نتایج جدول9-18 و شکل 9- 18 نشان می‌دهند با افزایش درصد وزنی قیر میـزان

omoorepeyman.ir

افت وزنی نمونه‌ها در آزمایش کانتابرو کاهش یافته است و درصد افت وزنی در تمام نمونه‌ها در محـدوده مناسـب و کمتـر از 25 درصد است.

جدول9-18- نتایج آزمایش کانتابرو به ازای درصدهای مختلف قیر و 0/3 درصد الیاف

درصد قیر	درصد افت وزنی نمونه	حد مجاز
4/5	8	%25
5	8	
5/5	5	
6	5	
6/5	3	



شکل 9-18- نمودار افت وزنی نمونه(کانتابرو) به ازای درصدهای مختلف قیر

آزمایش لوتمن

آزمایش اصلاح شده لوتمن به منظور ارزیابی مقاومت در مقابل رطوبت مخلوط‌های متراکم شده آسفالتی در شرایط اشباع و یا سیکل‌های ذوب و یخ آب انجام می‌شود.

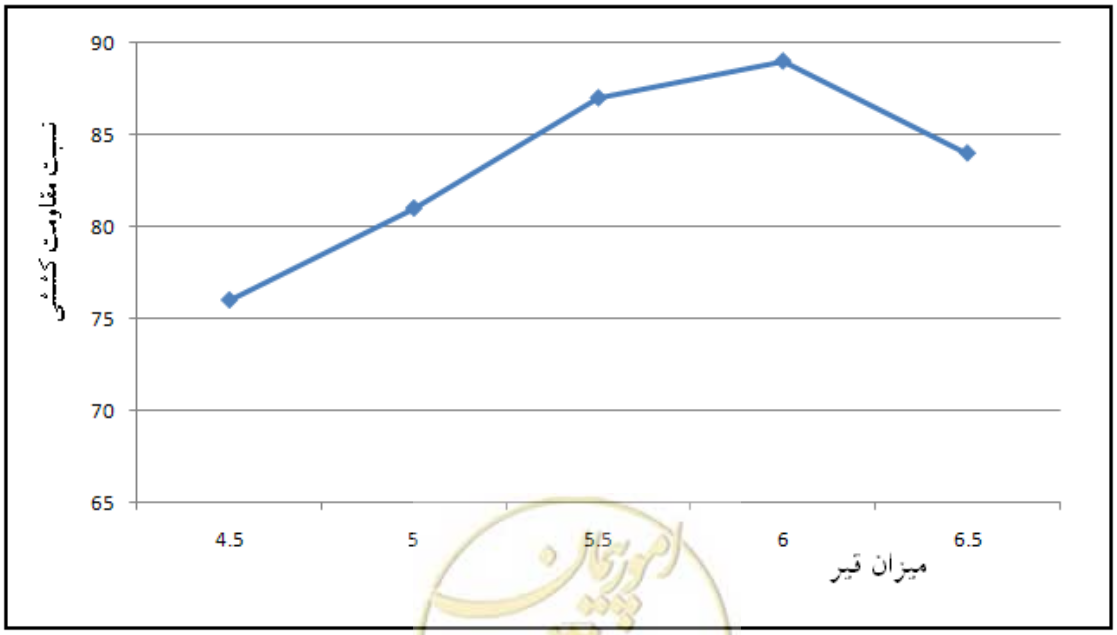
omoorepeyman.ir

در این آزمایش هر یک از نمونه‌ها به دو گروه تقسیم‌بندی شدند. مقاومت کششی غیر مستقیم گروه اول در شرایط خشک بدست آمد، ولی مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌های گروه دوم پس از قرار گرفتن در شرایط اشباع و سپس طی کردن سیکل یخزدگی و ذوب‌شدگی (با غوطه‌وری در آب گرم) بدست آمد. پس از انجام آزمایش بر روی هر دو گروه از نمونه‌ها و بدست آمدن مقاومت کششی غیر مستقیم، نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم تعیین گردید و نتایج مطابق جدول 9-19 ارایه شده است.

نتایج آزمایش‌های لوتمن انجام شده روی نمونه‌ها نشان می‌دهد با افزایش میزان قیر تا حدود 6 درصد نسبت مقاومت کششی افزایش یافته و با افزایش بیشتر میزان قیر کاهش در نسبت مقاومت کششی اتفاق می‌افتد.

جدول 9-19- نتایج آزمایش لوتمن به ازای درصدهای مختلف قیر و 0/3 درصد الیاف

درصد قیر	نسبت مقاومت کششی	حد مجاز
4/5	78	80
5	83	
5/5	87	
6	89	
6/5	84	



شکل9-19- نمودار میزان نسبت مقاومت کششی به ازای درصدهای مختلف قیر

omoorepeyman.ir

شکل9-20- الیاف سلولزی مورد استفاده در طرح اختلاط

شکل 9-21- تراکم نمونه ها با چکش مارشال

omoorepeyman.ir

شکل 9-22 نمونه های تهیه شده برای انجام آزمایش

امورپیمان
omoorepeyman.ir

9-2-4-4- نتیجه‌گیری

بر اساس طرح اختلاط‌های انجام شده که در بند 9-3-4-3، نتایج آزمایشها آورده شده بود، ابتدا مقرر بود پس از مقایسه نتایج با یکدیگر اقدام به قطعه آزمایشی شود لیکن پس از انجام آزمایش‌های فوق، بدلیل وجود مشکلات قراردادی امکان ادامه بررسیها بر روی محورهای ساری- جویبار و کمربندی نوشهر وجود نداشت، بنابراین این مهندسین مشاور فقط بر روی نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی مصالح مورد نظر برای محور ساری- قائم شهر متمرکز شد.

بر اساس نتایج آمایش‌های فوق، درصد الیاف 0/3 درصد و درصد قیر اصلاح شده، 6 درصد برای اجرا پیشنهاد شد.

9-3- اجرا

9-3-1- اقدامات اولیه

برای تسریع در اجرا و نیز رفع مشکلات اقدامات مختلفی انجام شد. در ادامه به بخشی از این اقدامات اشاره می‌شود:

- انجام هماهنگی‌های لازم با اداره کل راه و ترابری استان مازندران و پیمانکار
- هماهنگی با پیمانکاران برای آماده سازی کارخانه و محور جهت اجرا.
- هماهنگی با پیمانکاران جهت خرید قیر پلیمری و الیاف

9-3-2- انتخاب موقعیت اجرای لایه آسفالت متخلخل

با بررسی مجدد محور، محل انجام پروژه در کیلومتر 10 از قائم شهر به ساری به طول 1500 متر و عرض 11 متر انتخاب شد.

9-3-3- آماده سازی سطح روسازی موجود

برای آماده سازی سطح روسازی، قسمت‌های دارای خرابی، به صورت موضعی لکه‌گیری شد.

9-3-4- اجرای لایه اندود سطحی

برای اندود سطحی از قیر محلول MC استفاده شد.

omoorepeyman.ir

9-3-5- تولید مخلوط آسفالت متخلخل

برای تولید مخلوط آسفالتی، مهمترین مساله دمای قیر پلیمیری بود که باید بیشتر از دمای قیر خالص باشد. دمای قیر تقریبا برابر با 160 درجه و دمای مصالح 170 درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده بود. الیاف و فیلر به صورت دستی به مخلوط کن اضافه شد.

9-3-6- پخش و تراکم

برای پخش مخلوط آسفالت متخلخل همانند سایر مخلوط‌های آسفالتی از فینیشر استفاده شد. اجرا در سه ردیف طولی به ضخامت 4 سانتیمتر انجام شد. از غلتک‌های چرخ فلزی استاتیکی برای تراکم مخلوط آسفالتی متخلخل استفاده شد. با 3 مرتبه عبور تراکم مورد نیاز تأمین گردید.

سعی شد به منظور جلوگیری از سردشدگی سریع مخلوط آسفالت متخلخل، حداکثر فاصله بین غلتک و فینیشر 15 متر باشد.

شکل 9-23 دپوی مصالح سنگی

omoorepeyman.ir

شکل 9-24 مخازن قیر کارخانه آسفالت

شکل 9-25 فیلر پودر سنگ آهک

امور پیمان
omoorepeyman.ir

شکل9-26 کارخانه آسفالت

شکل9-27 اضافه کردن الیاف و فیلر بصورت دستی

امور پیمان
omoorepeyman.ir

شکل9-28 اضافه کردن الیاف و فیلر بصورت دستی

شکل 9-29 کارخانه آسفالت در حین تولید و بارگیری آسفالت متخلخل

امور پیمان
omoorepeyman.ir

شکل 9-30 کارخانه آسفالت در حین تولید و بارگیری آسفالت متخلخل

شکل 9-31 اجرای آسفالت متخلخل

امور پیمان
omoorepeyman.ir

شکل 9-32 هدایت ترافیک

شکل 9-33 ترافیک ایجاد شده در زمان اجرای آسفالت متخلخل

omoorepeyman.ir

شکل 9-33 ترافیک ایجاد شده در زمان اجرای آسفالت متخلخل

شکل 9-34 اجرای آسفالت متخلخل

omoorepeyman.ir

شکل 9-35 استفاده از از غلتکهای چرخ فلزی استاتیکی برای تراکم مخلوط آسفالت متخلخل

شکل 9-36 عبور ترافیک عبوری از لاین های اجرا شده

omoorepeyman.ir

شکل 9-37 عبور ترافیک عبوری از لاین های اجرا شده

شکل 9-38 هدایت ترافیک و عبور ترافیک عبوری از لاین های اجرا شده

امور پیمان
omoorepeyman.ir

شکل 9-39 سطح آسفالت متخلخل پس از اجرا

9-4- نظارت بر اجرای قطعات آزمایشی متخلخل و انجام آزمایش‌های کنترل کیفیت

به منظور کنترل کیفیت هنگام اجرای آسفالت متخلخل باید آزمایش‌های تعیین درصد فضای خالی، جاری شدگی قیر، آزمایش کانتابرو و آزمایش‌های مصالح سنگی به ازای هر 350 تن مخلوط آسفالتی و حداقل یک مرتبه در هر روز انجام گیرد و همچنین بعد از اجرای آسفالت متخلخل باید آزمایش‌های نفوذپذیری یا سنجش صوت برحسب وظیفه مورد انتظار بعد از اجرای آسفالت متخلخل انجام شود.

علاوه بر قطعه آزمایشی آسفالت متخلخل یک قطعه آسفالت معمولی نیز بعنوان قطعه شاهد اجرا شد.

omoorepeyman.ir

9-5- انجام آزمایش‌های میدانی موضوع بندهای 4 ، 5 و 6 در فواصل زمانی مناسب بعد از اجرای قطعات آزمایشی و تحلیل نتایج

9-5-1- آزمایش نفوذپذیری

آزمایش ارزیابی نفوذپذیری آسفالت متخلخل با استفاده از نفوذ پذیرسنجی که مطابق با نفوذسنج IVT سوئیس ساخته شده بود، انجام گرفت. میزان نفوذپذیری عبارت است از مدت زمان لازم بر حسب ثانیه تا آب از خط صفر نفوذپذیر سنج به عدد 8 برسد. اگر مدت زمان لازم برای رسیدن به عدد 4 نفوذپذیر سنج بیش از 300 ثانیه باشد، نفوذپذیری غیرکافی است. مدت زمان اندازه‌گیری شده نفوذپذیری بین 10 ثانیه (برای مخلوطهای آسفالتی با نفوذ پذیری بالا) تا بی نهایت (برای مخلوطهای بسیار متراکم معمولی یا آسفالت متخلخلی که منافذ آن پرشده است) متغیر می‌باشد.

نفوذپذیری اولیه برای آسفالت متخلخل در حالت نو 23 تا 105 ثانیه و مقدار متوسط برای نفوذپذیری اولیه برای بیشتر آسفالتهای متخلخل 40 ثانیه (3/4 لیتر در ثانیه) است. انحراف معیار هم بین 30 تا 50 درصد مقدار متوسط تغییر می کند. و در صورتی که مقدار انحراف معیار در حد 30 درصد مقدار میانگین باشد، آسفالت متخلخل را می‌توان همگن فرض کرد.

برای بالا رفتن میزان دقت نفوذپذیری، اندازه‌گیری در یک محل چند بار تکرار می‌شود. میزان کاهش نفوذپذیری با زمان بستگی به نوع محیط، حجم ترافیک، نوع مخلوط آسفالتی، روش اجرایی و سرعت خودروها دارد.

پس از اجرا چندین اندازه‌گیری در نقاط مختلف از خطوط سبقت و کناری با دستگاه صورت گرفت، که نشان دهنده میزان نفوذپذیری در حدود 11 ثانیه بود (جدول9-20). این به مفهوم نفوذپذیری مناسب آن است.

omoorepeyman.ir

جدول 9-20 نتایج آزمایش نفوذپذیری آسفالت متخلخل

ردیف	موقعیت	زمان زهکشی (ثانیه)
1	لاین سبقت	13
2	لاین وسط	10
3	لاین وسط	8
4	لاین کناری	16
5	لاین کناری	12
6	لاین سبقت	13
7	لاین سبقت	11
8	لاین کناری	8

شکل 9-40 آب‌بندی اطراف دستگاه نفوذپذیرسنج برای انجام آزمایش

omoorepeyman.ir

شکل 9-41 زهکش شدن آب از درون آسفالت متخلخل و جاری شدن آن بر روی لایه بیندر

9-5-2- آزمایش صوت

به منظور سنجش صوت ناشی از خودرو در حال حرکت در پروژه پیشنهادی از شیوه PASS- by استفاده گردید. در این آزمایش صوت، در شرایط حرکت اندازه‌گیری می‌شود. برای اندازه‌گیری صوت، خودرو با سرعت 50 کیلومتر در ساعت و در دور ثابت عبور کرده و هنگام عبور در محدوده مورد نظر، سنسورها بطور خودکار در نقطه شروع و پایان محدوده مورد نظرصوت را اندازه‌گیری می‌نمایند.

آزمایش مورد نظر در تاریخ 1390/5/3 روی آسفالت متخلخل و همچنین روی آسفالت معمولی انجام گردید و با هماهنگی‌های متعدد انجام شده با پلیس راه هر دو جهت بزرگراه ساری- قائم‌شهر به مدت 10 دقیقه بسته شد. آزمایش توسط خودرو پژو GLX405 انجام شد و صوت توسط دستگاه B&K 2236 نوع 1 با فاصله 7/5 متری از خودرو و ارتفاع 1/2 متر از تراز حداکثر سطح جاده اندازه‌گیری گردید.

به دلیل ترافیک زیاد محور و محدودیت زمانی بایستی آزمایش‌ها به سرعت و بدون خطا انجام می‌شدند.

خودرو تحت آزمایش بایستی با سرعت 50 کیلومتر در ساعت وارد محوطه آزمایش شده و سپس پدال گاز تا انتها فشار داده شده تا مسیر 300 متری آزمایش سپری گردد.

omoorepeyman.ir

آزمایش در دو محدوده دارای آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی انجام شد و نتایج به صورت جدول‌های 9-21 و 9-22 به دست آمد.

جدول 9-21 میزان تراز حداکثر صدا روی آسفالت متخلخل

	تست یک (dBA)	تست دو (dBA)	
دستگاه یک	70/9	73/9	
دستگاه دو	71/1	71/9	
میانگین	71	72/8	71/9

جدول 9-22 میزان تراز حداکثر صدا روی آسفالت معمولی

	تست یک (dBA)	تست دو (dBA)	
دستگاه یک	74/5	75/2	
دستگاه دو	74/1	75/9	
میانگین	74/3	75/6	74/9

همان‌طور که در جدول‌های فوق نشان داده شده است میزان صوت در رویه با آسفالت متخلخل به میزان 3 دسی بل کمتر از آسفالت معمولی می‌باشد.

omoorepeyman.ir

شکل 9-42 انجام آزمایش صوت

شکل 9-43 انجام آزمایش صوت و میکروفون در کنار راه

امور پیمان
omoorepeyman.ir

شکل 9-44 انجام آزمایش صوت و میکروفون در کنار راه

شکل 9-45 عبور ترافیک پس از انجام آزمایش صوت

omoorepeyman.ir

9-5-3- آزمایش مقاومت لغزشی

مقاومت در برابر لغزندگی عبارت است از نیرویی که در برابر سرخوردن لاستیک ها بر روی سطح روسازی، هنگـامی که از چرخیدن لاستیک ها ممانعت می شود، عمل می‌کند.

مشخصه‌های سطح روسازی شامل بافت درشت و بافت ریز بر مقاومت لغزشی موثرند. در حقیقت بافت درشت در شرایط مرطوب و بافت ریز در شرایط خشک کنترل کننده مقاومت لغزشی هستند.

برای ارزیابی مقاومت لغزشی آسفالت متخلخل از آزمایش پاندول انگلیسی مطابق با اسـتاندارد ASTM E 303-74 در شرایط مرطوب بر روی نقاط مختلف آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی انجام شد. از این دستگاه برای بررسی بافت ریـز روسازی استفاده می‌شود. این دستگاه از یک کفشک لاستیکی تشکیل شده، که به آونگی کـه بـر روی نمونـه‌ای از سـطح مورد بررسی نوسان می‌کند، متصل می باشد. نتیجه این آزمایش بعنوان اعداد پاندول انگلیسی (BPN) گزارش می‌شود.

آزمایش پاندول انگلیسی در تاریخ 89/12/15 و 89/12/16 تقریبا سه ماه پس از اجرا، بر روی آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی انجام شد. نتایج در جداول 9-23 و 9-24 ارایه شده است.

جدول 9-23 نتایج آزمایش پاندول انگلیسی بر روی آسفالت متخلخل

محل آزمایش (کیلومتر)	شماره خط	عدد اصطکاک سطحی
ابتدای مسیر	3	69
ابتدای مسیر	2	64
ابتدای مسیر	1	63
میانه مسیر	3	65
میانه مسیر	2	66
میانه مسیر	1	66
انتهای مسیر	3	67
انتهای مسیر	2	63
انتهای مسیر	1	61

omoorepeyman.ir

جدول 9-24 نتایج آزمایش پاندول انگلیسی بر روی آسفالت معمولی

محل آزمایش (کیلومتر)	شماره خط	عدد اصطکاک سطحی
ابتدای مسیر0+300	خط یک مسیر رفت	62
0+350	خط یک مسیر رفت	63
ابتدای مسیر	خط یک مسیر برگشت	64
0+050	خط یک مسیر برگشت	61

بر اساس نتایج آزمایشها، مقدار متوسط BPN برای آسفالت متخلخل برابر با 65 و مقدار متوسط BPN برای آسفالت معمولی برابر با 63 بود. نتایج نشان دهنده کمتر بودن عدد پاندول آسفالت معمولی نسبت به آسفالت متخلخل است.

از این دستگاه برای بررسی بافت ریز روسازی استفاده می شود. مزایای اصلی این وسیله عبارتند از: قابلیت استفاده در شرایط آزمایشگاهی و تقاطع‌ها، سادگی استفاده، هزینه کم و قابلیت حمل آن. اما استفاده از آن در شرایط میدانی نیاز به تغییر مسیر یا بستن ترافیک عبوری دارد.

شکل 9-46 انجام آزمایش پاندول انگلیسی بر روی آسفالت متخلخل

omoorepeyman.ir

شکل 9-47 انجام آزمایش پاندول انگلیسی بر روی آسفالت متخلخل

شکل 9-48 انجام آزمایش پاندول انگلیسی بر روی آسفالت معمولی

omoorepeyman.ir

اندازه‌گیری بافت درشت

برای اندازه‌گیری بافت درشت از روش پخش ماسه مطابق با استاندارد ASTM E965 انجام گردید. در این روش حجم معینی از ماسه بر روی سطح بصورت دایره‌ای شکل پخش شده و سپس قطر آن را در چهار نقطه اندازه‌گیری نموده و میانگین آن در محاسبات وارد می‌شود. سپس از رابطه زیر متوسط عمق بافت بر حسب میلیمتر محاسبه می‌گردد.

$$MTD = \frac{4.V}{\pi.d^2}$$

که در آن:

MTD = متوسط عمق بافت بر حسب میلیمتر

V = حجم ماسه بر حسب میلیمتر مکعب

d = متوسط قطر سطح دایره‌ای پوشش داده شده با ماسه بر حسب میلیمتر

نتایج اندازه‌گیری بافت درشت با روش پخش ماسه در جدول 9-25 آمده است. بر اساس نتایج مندرج در این جدول عمق بافت رویه آسفالت متخلخل در حدود 8/686 و آسفالت معمولی 0/744 میلیمتر است، که نشان دهنده بزرگتر بودن خیلی زیاد عمق بافت رویه آسفالت متخلخل نسبت و آسفالت معمولی است. که این به معنای بهتر بودن مقاومت لغزشی آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت معمولی و در نتیجه بهبود ایمنی تردد است.

جدول 9-25 مقایسه عمق بافت رویه آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی

شماره آزمایش	آسفالت متخلخل	آسفالت معمولی
	عمق بافت (mm)	عمق بافت (mm)
1	6/627	0/729
2	7/538	0/816
3	10/819	0/683
4	9/759	0/746
میانگین	8/686	0/744

omoorepeyman.ir

6-9 جمع بندی

- با توجه به مشکلات زیاد در هماهنگی و همکاری اداره کل راه و ترابری استان و پیمانکاران، تخصیص بودجه از طرف سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای برای کارهای تحقیقات میدانی و وجود یک متولی خاص ضروری بنظر می‌رسد.
- در بازدید میدانی بررسی قطعه مورد نظر پس از گذشت یکسال سال از عمر آن، دارای ظاهر سالمی بوده و خرابی در حال حاضر در آن مشاهده نمی‌شود.
- بر اساس نتایج آزمایش‌های انجام شده، مشخصات عملکردی مورد انتظار شامل میزان کاهش صدا، نفوذپذیری و مقاومت لغزشی در مقایسه با آسفالت معمولی دارای عملکرد و نتایج رضایت بخش می‌باشد.
- آزمایش‌های عملکردی فقط یک بار اجرا شدند و لزوم مانیتورینگ قطعه در طول دوره‌های زمانی یک و سه و پنج سال پس از اجرا ضروری است.
- با توجه به امکان اجرای آسفالت متخلخل با ماشین آلات و تجهیزات موجود در کشور و مزیت کاربرد آن در مناطق شمالی کشور لزوم اجرای قطعات در مقیاس بزرگتر برای اخذ نتایج بیشتر ضروری است.

omoorepeyman.ir

فصل 10

مقایسه فنی و اقتصادی
آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

10- مقایسه فنی و اقتصادی آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی

10-1- مقایسه فنی آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی

آسفالت متخلخل دارای برخی مشخصات فنی متفاوت در مقایسه با آسفالت‌های معمولی می‌باشد. این تفاوت ناشی از کاربردهای خاص مد نظر از این نوع آسفالت مانند زهکشی و کاهش صوت می‌باشد. در این بند مشخصات فنی آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی از جمله اجزای تشکیل دهنده مخلوط، دانه‌بندی و مشخصات عملکردی مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

10-1-1- مصالح سنگی

در مخلوط‌های آسفالت متخلخل بیش از 70 درصد از حجم مصالح سنگدانه‌ها درشت‌دانه می‌باشد. و همچنین دارای دانه‌بندی باز یا میان تهی می‌باشند. بنابراین در مقایسه با آسفالت‌های معمولی مصالح سنگی در آسفالت متخلخل، مصالح درشت‌دانه بوده و استخوان‌بندی اصلی مخلوط‌های آسفالتی را استخوان‌بندی سنگدانه‌ای تشکیل می‌دهد. بنابراین مصالح سنگی به دلیل تماس مستقیم بین دانه‌های درشت، باید دارای مقاومت زیاد در برابر صیقلی شدن و سایش و دارای درصد شکستگی زیاد باشند. به همین خاطر حداکثر افت وزنی در آزمایش سایش لوس آنجلس به 20 درصد محدود شده است. در جدول(10-1) مشخصات مصالح سنگی آسفالت متخلخل در قیاس با مشخصات رویه منطبق بر نشریه 234 آورده شده است.

10-1-2- دانه‌بندی مصالح سنگی

در آسفالت‌های معمولی برای حداقل نمودن نفوذ آب به داخل لایه آسفالتی از دانه‌بندی پیوسته استفاده می‌گردد اما آسفالت متخلخل، مخلوطی با دانه‌بندی باز و یا گسسته[1] است که شامل مقدار زیادی از مصالح سنگی شکسته با اندازه یکسان[2] و همچنین دارای مقدار زیاد فضای خالی (معمولاً بیش از 20٪) می‌باشد. در واقع این دانه‌بندی بر اساس عملکرد وظیفه‌ای مورد انتظار از آسفالت متخلخل که شامل بهبود ایمنی (بدلیل حذف سریع آب) و همچنین کاهش آلودگی صوتی می‌باشد، انتخاب می‌گردد.

---

1 - Gap Graded

2 - Single Sized Crushed Stone

omoorepeyman.ir

جدول 10-1- مشخصات مصالح سنگی در مخلوط‌های آسفالت متخلخل در قیاس با آسفالت معمولی[۱،۲،۳]

	مشخصه یا آزمایش	آسفالت متخلخل	آسفالت معمولی (رویه-نشریه 234)	روش آزمایش	
				آشتو	ASTM
الف) مصالح سنگی درشت‌دانه	آزمایش سایش لوس آنجلس	حداکثر 20%	حداکثر30%	T 96	C 131
	درصد افت وزنی با سولفات سدیم در پنج سیکل	حداکثر 8%	حداکثر 8%	T 104	C 88
	حداکثر تطویل و تورق (سنگدانه‌های پهن و دراز)	≤5 (نسبت 5:1) ≤20 (نسبت 3:1)	(BS812) 25		D 4791
	شاخص صیقل شدن مصالح سنگی، PSV (BS812 : part 114)	حداقل 50	---------		
	درصد جذب آب	حداکثر 2	2/5	T 85	C 127
	درصد شکستگی در یک جبهه در دو جبهه و بیشتر	100 % حداقل 90%	100 % حداقل 90%		D 5821
ب) مصالح سنگی ریزدانه	حداکثر افت وزنی با سولفات منیزیم	%12	%12	T 104	C 88
	حداقل ارزش ماسه‌ای	%50	%50	T 176	C 2419

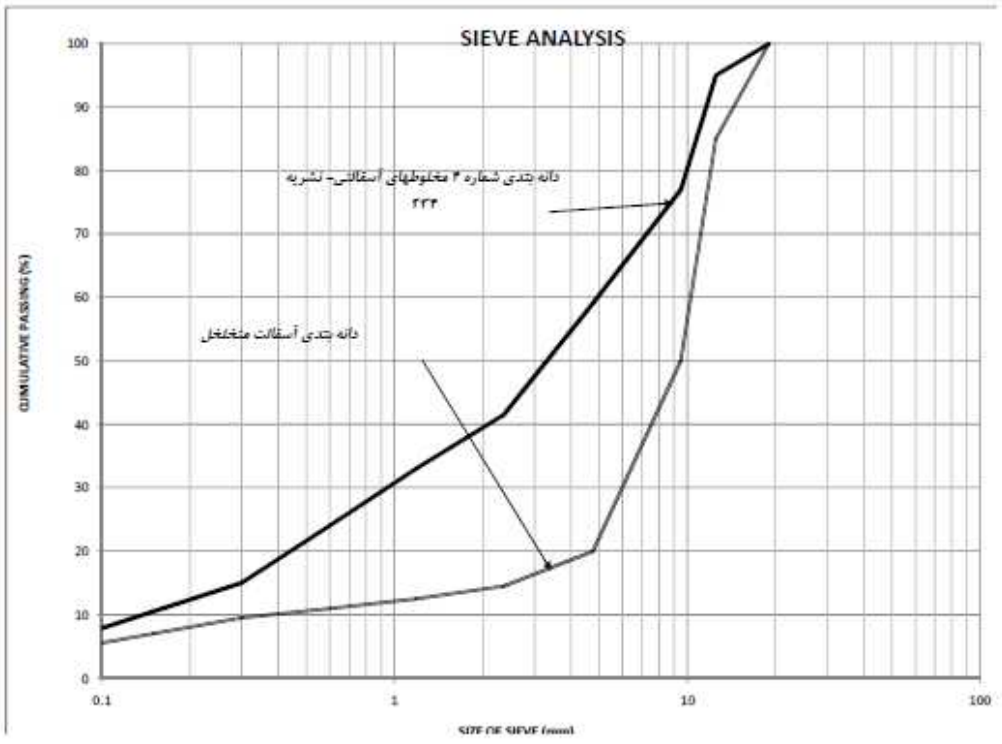
همانطور که عنوان گردید در مخلوط‌های آسفالتی متخلخل تماس سنگدانه با سنگدانه برقرار است. به‌منظور بررسی این موضوع از آزمایش میله VCA استفاده می‌گردد. اگر VCA مخلوط کوبیده شده مساوی یا کمتر از VCA_{drc} باشد تماس سنگدانه با سنگدانه وجود دارد.

دانه‌بندی‌های آسفالت متخلخل در مقایسه با آسفالت معمولی در جدول(10-2) و شکل(10-1) ارایه شده آورده شده است.

omoorepeyman.ir

جدول 10- 2- مقایسه حدود دانه‌بندی آسفالت متخلخل با آسفالت معمولی[1]

	درصد وزنی عبوری از هر الک		
شماره دانه‌بندی اندازه الک(mm)	آسفالت متخلخل (1)	آسفالت متخلخل (2)	آسفالت معمولی (شماره 4 نشریه 234)
19	100	100	100
12/5	85-100	70-100	90-100
9/5	55-75	38-62	---
4/75 (# 4)	10-25	13-27	44-74
2/36 (# 8)	5-10	9-20	25-58
/3 (# 50)	---	---	5-21
0/075 (# 200)	2-4	3-6	2-10



شکل10-1- مقایسه حدود دانه‌بندی آسفالت متخلخل یا آسفالت معمولی[1]

omoorepeyman.ir

10-1-3- مشخصات قیرها

در داخل کشور برای مخلوطهای آسفالتی گرم معمولا از قیرهای 70-60 و 100-85 استفاده می‌گردد. اما در آسفالت متخلخل به دلیل وجود ساختار باز اکسیداسیون قیر زودتر صورت می‌گیرد و از طرف دیگر تماس سنگدانه روی سنگدانه آن ایجاب می‌کند، که قیر دارای چسبندگی مناسبی باشد. این موارد سبب گردیده است که در آسفالت متخلخل از قیرهای 70-60 و 100-85 فقط برای راه‌های با ترافیک کم استفاده نمود و برای راه‌های با ترافیک متوسط تا سنگین از قیرهای اصلاح شده با پلیمر به همراه الیاف در مخلوط آسفالت متخلخل استفاده نمود. قیرهای با درجه نفوذ کمتر از 100، نسبت به قیرهای نرم‌تر زودتر به حالت بحرانی شکنندگی می‌رسند. از طرف دیگر، آسفالت متخلخل ساخته شده با قیرهای با درجه نفوذ بیش از 200 (قیرهای نرم‌تر) توانایی چسبندگی کافی نداشته و مقاومت کمی در برابر تغییر شکل دارند.

بنابراین برای کاربرد قیرهای خالص، به‌دلیل وجود دانه‌بندی باز مخلوط آسفالت متخلخل، می‌توان از افزودنی‌ها و برای داشتن بیشترین پایداری در مخلوط آسفالت متخلخل می‌توان به طور هم‌زمان از قیرهای پلیمری و الیاف استفاده نمود.

علاوه بر این، در حالت معمول مقدار حداکثری از قیر خالص وجود دارد، که هر جز مصالح سنگی مخلوط را بدون جاری شدن قیر نگهداری خواهد نمود. جاری شدن قیر به علت این واقعیت است، که قیر اصلاح نشده یک حد جاری شدن دارد، به طوری که تحت تاثیر وزن خود، جریان می‌یابد و اندود از روی مصالح سنگی جریان یافته و تنها یک فیلم نازک قیر روی مصالح سنگی بوسیله نیروهای فیزیکی شیمیایی نگهداری می‌گردد. در نتیجه، افزایش مقدار قیر بیشتر از حداکثر مقدار معمول، منجر به ریزش قیر می‌گردد، در این صورت با استفاده از قیرهای اصلاح شده یا الیاف می توان این مشکل را برطرف نمود.

omoorepeyman.ir

10-1-4- طرح اختلاط

طرح اختلاط‌های مخلوط‌های آسفالتی گرم معمولی بر اساس روش مارشال می‌باشد، که طی آن به معیارهای درصد فضای خالی مخلوط، درصد فضای خالی مصالح سنگی، در فضای پر شده با قیر، وزن مخصوص، مقاومت مارشال و روانی جهت تعیین قیر بهینه توجه می‌شود.

به طور کلی طرح آسفالت متخلخل بایستی بر بهینه ترین نوع و مقدار قیر برای تهیه طولانی‌ترین عمر خدمت دهی مخلوط استوار باشد. در طرح مخلوط‌های آسفالت متخلخل باید نوعی سازگاری بین تخلخل و مقاومت در برابر اضمحلال برقرار باشد و ضمن بالا بودن درصد فضای خالی نمونه، مقاومت در برابر اضمحلال نیز باید در حدی باشد که در برابر تنشهای مماسی چرخ و مکش ایجاد شده در اثر ترافیک مقاومت کافی وجود داشته باشد.

بنابراین در طرح مخلوط‌های آسفالت متخلخل، بایستی تعادلی بین حداقل و حداکثر مقدار قیر برای تأمین الزاماتی مانند مقاومت کافی در برابر از هم پاشیدگی، مقاومت کافی در برابر حرکت آب، حداکثر میزان تخلخل برای زهکشی آب و کاهش آلودگی صوتی و عدم جاری شدن قیر در حین اختلاط، حمل و پخش برقرار باشد.

مهمترین آزمایش‌های مورد نیاز برای تعیین درصد قیر بهینه در آسفالت متخلخل عبارتند از[۱،۲،۳] :

الف) آزمایش زهکش شدن قیر (فرونشست قیر)(Draindown)

ب)آزمایش کانتابرو

ج)آزمایش اصلاح شده لوتمن

د) درصد فضای خالی

10-2- مقایسه اقتصادی آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی

ارزیابی اقتصادی در واقع، فرآیند تحلیل و مقایسه هزینه و فایده یک طرح به منظور تصمیم‌گیری درباره اجرا کردن و یا نکردن آن است. هدف از ارزیابی اقتصادی طرح، یاری رساندن به متولین امر برای اخذ تصمیم آگاهانه و منطقی درباره طرح است. در ارزیابی اقتصادی، تأثیر طرح مورد ملاحظه قرار می‌گیرد و هدف آن است که سود آوری طرح بر پایه قیمت‌های اقتصادی (محاسباتی، اجتماعی و غیره) تعیین گردد. اولین قدم در انجام تحلیل اقتصادی یک طرح، شناسایی هزینه‌ها و فایده‌های آن طرح می‌باشد. این موارد در قالب هزینه‌های ساخت آسفالت متخلخل و افزایش هزینه‌های تعمیر

omoorepeyman.ir

و نگهداری دوره‌ای روسازی با آسفالت متخلخل و منافع ناشی از افزایش ایمنی و کاهش تصادفات و کاهش انتشار صوت در محیط مورد بررسی قرار می‌گیرد.

برای ارزیابی اقتصادی آسفالت متخلخل تنها مقایسه هزینه های 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 مخلوط به دست آمده 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.

10-2-1- هزینه‌های ساخت

ارایه تصویر کلی از تفاوت هزینه‌های ساخت بین آسفالت متخلخل و آسفالت گرم متداول کار مشکلی است. به طور کلی ساخت آسفالت متخلخل دارای هزینه بیشتر از آسفالت گرم متداول است. هزینه‌های مصالح مورد استفاده در آسفالت متخلخل با توجه به کاربرد مرسوم یا حتی اجباری قیر اصلاح شده در بسیاری از کشورها، 10 تا 40 درصد بیشتر از هزینه مصالح به کار رفته در مخلوط‌های متداول است[4]. همچنین زمان اختلاط در کارخانه آسفالت حدود 5 تا 15 ثانیه افزایش می‌یابد[4]. ویژگی مهمی که در ساخت آسفالت متخلخل باید در نظر گرفته شود نیاز به مصالح سنگدانه‌ای که مقاومت بیشتری در برابر فرسایش و ضربه دارند و در نتیجه نیاز به مصالح سنگی با کیفیت بالاتر و هزینه بیشتر می‌باشد. همچنین در ساخت آسفالت متخلخل، باید پردازش دقیق‌تری در مورد دمای مخلوط و درجه حرارت و رطوبت هوا صورت بگیرد. با این حال، به موازات آنکه کارفرمایان، طراحان و پیمانکاران تجارب بیشتری در کاربرد آسفالت متخلخل به دست می‌آورند، هزینه اضافی مرتبط با تولید و اجرا نیز کاهش خواهد یافت.

عامل دیگری که بر هزینه‌های ساخت آسفالت متخلخل تأثیر می‌گذارد، ضرورت رعایت مشخصات خط کشی راه است. از آنجایی که بخشی از ماده مورد استفاده در خط کشی 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 خط کشی راه به سرعت از بین برود، خط کشی های مذکور عمر مفید طولانی‌تری خواهند داشت.

omoorepeyman.ir

هزینه استفاده از رنگ معمولی برای خط کشی راههای دارای رویه با آسفالت متخلخل تقریباً معادل استفاده از خط کشی های ترموپلاستیک در راههای با آسفالت متداول است[4].

از عوامل دیگری که باید در هزینه‌های ساخت آسفالت متخلخل در نظر گرفته شود، نیاز به داشتن لایه آب‌بندی شده در زیر لایه فوقانی آسفالت متخلخل است. در برخی موارد، این نیاز باعث افزایش هزینه‌های ساخت می شود.

در نهایت آسفالت متخلخل اغلب انعطاف بیشتر و سختی کمتری نسبت به بسیاری از سایر مخلوط‌های رویه راه دارد. مدول سختی آن، 75 درصد مدول سختی آسفالت متداول می‌باشد. در بعضی از کشورها لایه 4 سانتیمتری آسفالت متخلخل با لایه 3 سانتیمتری آسفالت متداول یکسان در نظر گرفته می‌شود. در برخورد محافظه کارانه برخی کشورهای دیگر، مدول سختی آسفالت متخلخل را معادل 50 درصد مدول سختی آسفالت متداول در نظر می‌گیرند. 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 دارد[4]. بنابراین تصور ضخامت یکنواخت بین آسفالت متخلخل و آسفالت‌های متداول کار آسانی نبوده و در نتیجه وارد کردن این عامل در ارزیابی‌های هزینه - فایده آسان نخواهد بود. در جمع بندی مطالب بیان شده، به نظر می‌رسد ساخت آسفالت متخلخل در مجموع دارای هزینه بیشتر از ساخت آسفالت متداول باشد. با این حال، میزان تفاوت بین آسفالت متداول و آسفالت متخلخل و نیز دایمی یا موقتی بودن این تفاوت، هنوز کاملا مشخص نیست.

10-2-2- هزینه‌های تعمیر و نگهداری

از عوامل دیگر برای مقایسه اقتصادی هزینه آسفالت متخلخل و مخلوط‌های معمولی، هزینه‌های نگهداری آسفالت متخلخل است. غالبا هزینه تعمیر آسفالت متخلخل بیشتر است، زیرا در تعمیر رویه‌ای با این نوع آسفالت لازم است، مخلوط قسمت تعمیر شده با مخلوط رویه اصلی (مخلوط اصلی) انطباق بیشتری داشته باشد تا از ویژگی‌های زهکشی آن کاسته نشود. به علاوه وصله‌ها و تکه‌های تعمیری روی آسفالت متخلخل واضح تر 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).

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.

omoorepeyman.ir

هزینه نگهداری زمستانی آسفالت متخلخل حدود 50 درصد بیش از هزینه نگهداری آسفالت متداول می‌باشد. هزینه پاکسازی آسفالت متخلخل توسط مکش هوا حدود 1000 ریال در هر متر مربع در سال 2003 بوده است. در راه‌های شهری حداقل دو مرتبه در سال و در راه‌های برون شهری حداقل یک مرتبه در سال پاکسازی آسفالت متخلخل مورد نیاز است[5].

10-2-3- منافع کاربرد آسفالت متخلخل در زمینه ایمنی راه‌ها

این مزایا 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، نتیجه معکوس این مزیت که ناشی از افزایش سرعت و در نتیجه دید بهتر است، نیز باید مورد بررسی قرار گیرد. هنگام بارندگی سطح راه در آسفالت متداول به صورت آینه عمل نموده و باعث کاهش دید راننده می‌گردد. در صورت استفاده از آسفالت متخلخل، آب موجود در سطح راه سریع زهکشی شده و انعکاس نور و کاهش دید اتفاق نمی‌افتد.

لایه آسفالت متخلخل دارای بافت زبرتر نسبت به لایه آسفالت معمولی می‌باشد، همچنین در صورت استفاده از آسفالت متخلخل، آب موجود در سطح راه به سرعت زهکشی می‌گردد. بنابراین هنگامی که از آسفالت متخلخل استفاده می‌گردد، مقاومت لغزشی افزایش می‌یابد.

در راه‌های با آسفالت معمولی و در شرایط جوی بارندگی، هنگام حرکت وسایل نقلیه جلویی، رطوبت موجود در سطح راه به همراه خاک و گل موجود در سطح راه به عقب پخش شده و منجر به کاهش شدید دید وسایل نقلیه پشت‌سر می‌گردند. در صورت استفاده از لایه آسفالت متخلخل، رطوبت موجود در سطح راه به سرعت زه‌کش شده و مشکل پاشش در سطح راه و کاهش دید تا حد قابل قبولی مرتفع می‌گردد و ایمنی افزایش می‌یابد.

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 می‌دهد که تصادفات صورت گرفته از توزیع پواسون تبعیت می‌کنند. علاوه بر این، مطالعاتی که در حال حاضر بر روی تصادفات انجام می‌شوند، به اندازه کافی در برگیرنده تعداد تصادفاتی نیستند که روی جاده‌هایی با سطح آسفالت متخلخل رخ می‌دهند و لذا امکان مقایسه دقیق این نوع تصادفات با تعداد تصادفاتی که در راههایی با آسفالت سنتی صورت می‌گیرند، وجود ندارد. با این حال، با فرض این که آسفالت متخلخل مرطوب به اندازه آسفالت سنتی خشک " ایمن " است، می‌توان احتمالات مقدماتی را ارائه داد.

omoorepeyman.ir

تعداد کل تصادفات ثبت شده در تمام راههای هلند (با سرعت مجاز 100 کیلومتر یا بیشتر) طی سالهای 1983 تا 1989 حدود 11300 مورد بوده است. از این تعداد، 1729 مورد معادل 15/3 درصد در هوای بارانی رخ داده است. با این وجود، تواتر بارندگی در این دوره زمانی به طور متوسط تقریباً 5 درصد است. بنابراین خطر وقوع تصادفات در شرایط بارندگی سه برابر می‌باشد. 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 1100 مورد تصادف، یعنی حدود 10 درصد تصادفات جلوگیری خواهد نمود که این از نظر سیاسی، اقتصادی و اجتماعی عامل مهم و تاثیرگذاری در استفاده از آن می-باشد[۴،۱].

10-2-4- منافع کاربرد آسفالت متخلخل در زمینه زیست محیطی

در سالهای اخیر بسیاری از کشورها بدون توجه به هدف اولیه کاربرد آسفالت متخلخل، یعنی زهکشی سریع و مناسب آب موجود در سطح راه، برای کاهش آلودگی صوتی ناشی از ترافیک (بویژه صدای ناشی از حرکت چرخ خودرو) تصمیم به استفاده از آسفالت متخلخل گرفته‌اند. کاهش سرو صدا عامل مهمی از خصوصیات زیست محیطی بوده که به همین خاطر در سال‌های اخیر، آسفالت متخلخل در مقیاس بزرگی از راه‌های هلند و بلژیک به کار گرفته شده است. در اثر حرکت وسایل نقلیه روی آسفالت متداول، معمولاً صداهای زیادی ایجاد می‌گردد که منجر به آزار و اذیت در مناطق مسکونی و یا نزدیک بیمارستان‌ها می‌گردد.

در راه‌های با سرعت تردد برابر 70 کیلومتر در ساعت، استفاده از یک لایه آسفالت متخلخل با ضخامت 20 میلی‌متر به میزان 3 دسی‌بل در مقایسه با آسفالت متداول از صداها می‌کاهد. این در حالی است که در تحقیق دیگری در راه‌های شهری با سرعت تردد برابر 50 کیلومتر در ساعت، استفاده از دو لایه آسفالت متخلخل با ضخامت‌های 25 و 45 میلی‌متر به میزان 4 دسی‌بل از صداها کاسته است. البته بایستی توجه نمود میزان کاهش صوت مربوط به آسفالت متخلخل با عمر بهره‌برداری حدود دو سال می‌باشد و در صورتی که لایه آسفالت متخلخل دو مرتبه در سال تمیز گردد میزان تخلخل و کاهش صوت در سطح قابل قبولی حفظ می‌گردد[۴،۵،۶].

omoorepeyman.ir

به منظور کاهش صوت در راه‌ها می‌توان از روش‌های کاربرد آسفالت متخلخل، عایق‌نمودن ساختمان و احداث دیوار حایل صوتی استفاده نمود. نتایج برخی از تحقیقات نشان داده است، که به منظور کاهش صداها، استفاده از آسفالت متخلخل نسبت به روش‌های عایق‌بندی ساختمان‌ها و احداث دیوار حایل صوتی مؤثرتر و اقتصادی‌تر می‌باشد[۵،۶].

10-2-5- مقایسه اقتصادی اجرای سیستم‌های عایق صوتی و آسفالت متخلخل

10-2-5-1- هزینه احداث سیستم عایق صوت در ساختمان

اجرای سیستم عایق صوت در ساختمان شامل عایق صوت نمودن دیوارهای بیرونی و پنجره‌ها می‌باشد. به منظور کاهش صوت به میزان 3 دسی بل باید ضخامت دیوار را حدود 30 درصد افزایش یابد. باید توجه نمود با افزایش ضخامت دیوار، ضمن افزایش هزینه احداث ساختمان، هزینه ناشی از کاهش فضای ساختمان نیز لحاظ گردد.

با توجه به افزایش ضخامت برابر 30 درصد برای دیوارهای بیرونی ساختمان، هزینه ناشی از کاهش فضای ساختمان مطابق جدول 10-3 می‌باشد:

جدول10-3 – هزینه ناشی از کاهش فضای داخلی ساختمان به دلیل اجرای دیوار ضخیم‌تر در هر کیلومتر

طول دیوار (m)	افزایش عرض (m)	تعداد طبقات فرضی	هزینه واحد (ریال)	هزینه سیستم عایق صوتی در هر ساختمان(ریال)	با فرض 100 ساختمان در دو طرف(ریال)
30	0/07	4	10,000,000	84,000,000	8,400,000,000

به منظور احداث دیوار دیوار عایق صوت (کاهش صوت به 3 دسی بل) باید ضخامت دیوار حدود 30 درصد افزایش یابد. به همین جهت هزینه احداث دیوار دیوار عایق صوت و تأثیرات سازه‌ای آن به شرح جدول 10-4 محاسبه می‌گردد:

جدول10-4- هزینه ناشی از اجرای دیوار ضخیم‌تر در هر کیلومتر

نوع ساختمان	طول دیوار(m)	ارتفاع دیوار(m)	عرض دیوار(m)	تعداد طبقات فرضی	افزایش تقزیبی هزینه سازه‌ای	هزینه واحد (ریال)	هزینه سیستم عایق صوتی در هر ساختمان (ریال)	با فرض 100 ساختمان در دو طرف(ریال)
ساختمان عایق صوتی	30	3	0/27	4	1/2	۶۴۷،۵۰۰	۷۵،۵۲۴،۴۰۰	
ساختمان غیرعایق صوتی	30	3	0/20	4	1	۶۵۵،۵۰۰	۴۷،۱۹۶،۰۰۰	
تفاوت هزینه ساختمان در حالت دیوار بدون عایق و دیوار عایق صوتی با لحاظ نمودن ضرایب بالاسری، ... و پیشنهادی پیمانکار							۵۷،۳۸۳،۷۰۷	5,738,370,700

omoorepeyman.ir

به منظور تکمیل سیستم عایق ساختمان باید از پنجره دو جداره استفاده نمود. تفاوت هزینه ناشی از استفاده از پنجره دو جداره نسبت به پنجره تک جداره برای هر متر مربع حدود 300000 ریال می‌باشد و با فرض 200 ساختمان در هر کیلومتر محدوده شهری به شرح جدول 10-5 خواهد بود:

جدول10-5- هزینه ناشی از استفاده از پنجره دو جداره

عرض پنجره(m)	طول پنجره(m)	تعداد در هر طبقه	تعداد طبقات	هزینه واحد(ریال)	تعداد ساختمان در هر کیلومتر	جمع کل هزینه ناشی از استفاده از پنجره دو جداره (ریال)
2	2	2	4	300000	100	960,000,000

جمع کل هزینه‌های ناشی از احداث سیستم عایق صوتی در ساختمان به صورت زیر می‌باشد:

5/74+0/96+8/4=15/1 میلیارد ریال

10-2-5-2- هزینه ناشی از احداث سیستم دیوار حائل صوتی

هزینه ناشی از احداث سیستم دیوار حائل صوتی شامل هزینه ساخت و نگهداری آن می‌باشد که هزینه ساخت آن برای هر کیلومتر و در دو طرف مسیر برابر 3/600/000/000 ریال و همچنین هزینه نگهداری آن برای هر کیلومتر برابر 500/000/000 ریال می‌باشد.

بنابراین مجموع هزینه‌های ناشی از احداث سیستم دیوار حائل صوتی برابر 4/100/000/000 ریال می‌باشد.

10-2-5-3- هزینه ناشی از اجرای آسفالت متخلخل

هزینه اجرای آسفالت متخلخل شامل هزینه‌های ناشی از ساخت و نگهداری آن می‌باشد که هزینه ساخت آن به صورت زیر می‌باشد:

- **هزینه تهیه و حمل مصالح**

با توجه به اینکه مصالح مورد نیاز در آسفالت متخلخل باید دارای مشخصات مناسبی باشند، هزینه تهیه این مصالح نیز نسبت به مصالح آسفالت متداول بیشتر خواهد بود و هزینه آن با توجه به تجارب صورت گرفته در کشور حدود 25 درصد بیش از تهیه مصالح متداول می‌باشد. با فرض هزینه تقریبی 350000 ریال به منظور تهیه مصالح سنگی برای یک تن آسفالت معمولی، هزینه تهیه مصالح سنگی مورد نیاز برای تهیه آسفالت متخلخل برابر 437500 ریال خواهد شد.

omoorepeyman.ir

در یک کیلومتر از مسیر با عرض 7/3 متر و ضخامت 3 سانتی‌متر حدود 500 تن آسفالت مورد نیاز خواهد بود. بنابراین اضافه هزینه تهیه مصالح مناسب به منظور تهیه آسفالت متخلخل برابر 220/000/000 ریال می‌باشد.

در برخی از مناطق مانند شمال کشور، فقر مصالح وجود داشته و معمولاً به طور متوسط فاصله حمل برابر 20 کیلومتر به منظور حمل مصالح آسفالتی متداول لحاظ می‌گردد. با توجه به اهمیت وجود مصالح مناسب در تولید آسفالت متخلخل، اضافه حمل مصالح برابر 20 کیلومتر نسبت به آسفالت معمولی به منظور تهیه مصالح در نظر گرفته شده است. بنابراین فاصله حمل برابر 40 کیلومتر به منظور محاسبه هزینه حمل مصالح آسفالت متخلخل در محاسبات لحاظ شده است.

برای هر کیلومتر از مسیر با مشخصات مذکور حدود 220 مترمکعب مصالح مورد نیاز می‌باشد و با توجه به آیتم‌های 30901. الی 30904 از فهرست بهاء راه و باند سال 1388 هزینه حمل آن برابر 14/000/000 ریال می‌گردد.

بنابراین مجموع هزینه تولید و حمل آسفالت متخلخل برای هر کیلومتر مسیر برابر 234/000/000 ریال می‌گردد.

- **هزینه اصلاح قیر**

هزینه اصلاح قیر در آسفالت متخلخل حدود 15 درصد بیش از هزینه تهیه قیر در آسفالت معمولی می‌باشد. با فرض هزینه تقریبی 250000 ریال به منظور تهیه قیر برای یک تن آسفالت معمولی، هزینه اصلاح قیر مورد نیاز برای تهیه آسفالت متخلخل برابر 37500 ریال خواهد شد.

در یک کیلومتر از مسیر با عرض 7/3 متر و ضخامت 3 سانتی‌متر حدود 500 تن آسفالت مورد نیاز خواهد بود. بنابراین اضافه هزینه اصلاح قیر به منظور تهیه آسفالت متخلخل در هر کیلومتر برابر 19/000/000 ریال می‌باشد.

- **هزینه نگهداری آسفالت متخلخل**

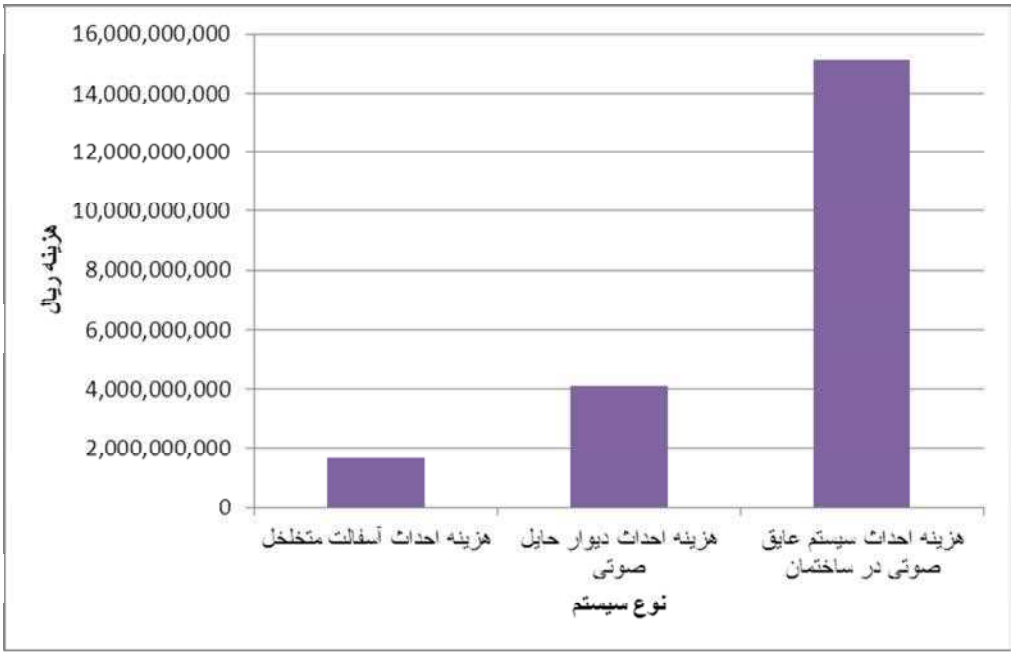
با فرض انجام دو مرتبه نگهداری دوره‌ای و یک مرتبه نگهداری فصلی در هر سال و همچنین هزینه برابر 1200 ریال برای هر متر مربع، میزان هزینه نگهداری راه دارای آسفالت متخلخل به ازای هر کیلومتر برابر 27/000/000 ریال می‌گردد.

بنابراین مجموع هزینه‌های استفاده از آسفالت متخلخل در راه‌های شامل احداث و نگهداری آن به صورت زیر می‌باشد:

234/000/000+19/000/000 +27/000/000= 280/000/000

omoorepeyman.ir

با فرض عمر برابر 30 سال برای سیستم عایق صوتی ساختمان و دیوار حایل صوتی و همچنین عمر برابر 5 سال برای آسفالت متخلخل، هزینه نهایی احداث و نگهداری آسفالت متخلخل برابر 1/680/000/000 ریال می‌گردد.



شکل10-2- مقایسه هزینه‌های اجرای آسفالت متخلخل، عایق نمودن ساختمان و دیوار حایل صوتی در هر کیلومتر از مسیر.

10-2-6- تحلیل هزینه - فایده

در این قسمت ارزیابی اقتصادی استفاده از مخلوط‌های آسفالتی متخلخل مدنظر می‌باشد. روش‌های مختلفی برای ارزیابی اقتصادی طرح‌ها وجود دارد. از جمله این روش‌ها عبارتند از: روش ارزش حال[1] (ارزش خالص کنونی)، روش نرخ بازده اقتصادی[2]، روش هزینه سالانه معادل یکنواخت[3]، روش نسبت سود به هزینه[4]، روش کارایی-هزینه[5] و روش دوره بازگشت سرمایه گذاری[6].

1 - Net Present Worth Method
2 - Rate of Return Method
3 - Equivalent Uniform Annual Cost Method
4- Benefit Cost Ratio Method
5- Cost Effectiveness Method
6- Internal Period Return Method

omoorepeyman.ir

با توجه به عمرهای متفاوت آسفالت متخلخل و آسفالت سنتی، بهتر است از روش معادل سالانه جهت مقایسه اقتصادی استفاده شود. برای استفاده از این روش باید نرخ بهره مشخص گردد. بطور خلاصه در این روش محاسبه ارزش سالیانه برای کلیه عوامل درآمد و هزینه محاسبه می‌گردد و مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

10-2-6-1- دوره بررسی

برای تحلیل اقتصادی طرح و تعیین ارزش خالص کنونی آنها، باید یک دورهٔ بررسی به عنوان عمر طرح مورد نظر انتخاب شود. یکی از ملاحظات اساسی برای گزینش دورهٔ بررسی، امکان پیش‌بینی هزینه و فایده طرح برای این دوره است. هرچه دورهٔ انتخاب شده طولانی‌تر باشد، به همان نسبت برآورد هزینه و فایدهٔ مربوط به طرح دشوارتر و غیرقابل اتکا خواهد بود. ویژگی دیگری که موجب افزایش هزینه ساخت آسفالت متخلخل می‌شود، عمر مفید کوتاه‌تر آسفالت متخلخل در مقایسه با آسفالت متداول است.

در کشور هلند، اغلب این نکته که آسفالت متخلخل باید بعد از حدود 9 سال نوسازی شود، یک قاعده کلی محسوب می‌گردد، در حالی که آسفالتی گرم متداول، طول عمری در حدود 12 سال دارد[4]. روشن است که مسأله طول عمر موردی قطعی نیست و اغلب نمی‌تواند تعمیم داده شود، زیرا در بیشتر موارد، این مقادیر از کشوری به کشور دیگر کاملاً متفاوت است. به طوریکه عمر مفید آسفالت معمولی در ایران حدود 5 سال است. باید توجه نمود که طول عمر موارد عملکرد آسفالت متخلخل تا حدود زیادی به نحوه نگهداری وابسته می‌باشد.

10-2-6-2- فاکتورهای سود و هزینه

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 خصوصیاتی که تعریف شده هستند، معمولا تنها می‌توانند در داخل چارچوب تعریفی که از سوی یک اداره راه و یا حداکثر در محدوده یک کشور ارایه شده‌اند، به صورت کمی مطرح شوند. لذا برای استفاده از آسفالت متخلخل برای هر پروژه‌ای متناسب با شرایط محلی و میزان تصادفات باید تحلیل اقتصادی بر مبنای معیارهای این فصل صورت گیرد.

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 C_D و برای آسفالت سنتی با C_T و طول عمر آسفالت متخلخل و آسفالت سنتی به ترتیب با N_D و N_T نشان داده شده است. بنابراین هزینه احداث به ازای هر سال برای هر کیلومتر از راه به ترتیب C_D/N_D و

omoorepeyman.ir

C_T/N_T خواهد بود. هزینه‌های سالیانه 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 رابطه(10-1) خواهد بود:

$$+M_D\text{-}M_T \left(\frac{C_D}{N_D}\right) - \left(\frac{C_T}{N_T}\right)$$ رابطه(10-1)

استفاده از آسفالت متخلخل، ممکن است باعث کاهش درصد احتمال تصادفات به میزان p درصد 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 رابطه(10-2) خواهد بود:

$$P * A * V$$ رابطه(10-2)

تجزیه و تحلیل کامل هزینه- فایده به ازای هر کیلومتر از راه و به ازای هر سال توسط رابطه (10-3) خواهد بود:

$$K = \frac{\text{منافع}}{\text{هزینه}}$$ رابطه(10-3)

کلیه هزینه‌ها و منافع برای هر پروژه خاص کنترل می‌گردد و در صورتی که K بزرگتر یا برابر با یک باشد، آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت متداول مقرون به صرفه خواهد بود.

10-2-7- مقایسه بتن آسفالتی با آسفالت متخلخل

در جدول 10-6 و 10-7، هزینه ساخت بتن آسفالتی متداول (توپکا) و آسفالت متخلخل بر اساس فهرست بها راه 1388 آورده شده است. مقایسه برآوردها نشان می‌دهد که هزینه ساخت آسفالت متخلخل 47 درصد بیشتر از بتن آسفالتی است.

omoorepeyman.ir

جدول 10-6 آنالیز قیمت بتن اسفالتی (توپکا) بر اساس فهرست بهای رشته راه، باند فرودگاه و زیرسازی راه آهن 1388

تهیه و اجرای بتن آسفالتی با سنگ شکسته از مصالح رودخانه ای، برای قشر رویه (توپکا)، هرگاه دانه بندی	واحد	مترمربع

نیروی انسانی	واحد	مقدار	بهای واحد	ضریب	بهای کل
متصدی کارخانه	نفر ساعت	۰,۰۰۰۵۶۰۰	۱۶،۵۴۵,۲۸	۱,۰۰	۹
متصدی برق	نفر ساعت	۰,۰۰۰۴۵۰۰	۱۳،۲۱۶,۶۳	۱,۰۰	۶
کمک	نفر ساعت	۰,۰۰۰۵۶۰۰	۹،۵۸۴,۵۲	۱,۰۰	۵
اپراتور ماشین	نفر ساعت	۰,۰۰۰۵۶۰۰	۲۳،۴۱۶,۴۰	۱,۰۰	۱۳
کارگر ساده	نفر ساعت	۰,۰۰۱۶۹۰۰	۷،۴۱۴,۰۴	۱,۰۰	۱۳
کارگر ماهر	نفر ساعت	۰,۰۰۰۵۶۰۰	۷،۹۸۳,۳۶	۱,۰۰	۴
مباشر آسفالت	نفر ساعت	۰,۰۰۰۵۶۰۰	۲۱،۸۱۷,۴۹	۱,۰۰	۱۲
ماله کش آسفالت	نفر ساعت	۰,۰۰۰۵۶۰۰	۱۱،۰۳۴,۸۰	۱,۰۰	۶
کارگر آسفالت	نفر ساعت	۰,۰۰۱۶۹۰۰	۹،۲۵۷,۵۶	۱,۰۰	۱۶
قیرگرم کن	نفر ساعت	۰,۰۰۰۴۵۰۰	۹،۲۵۷,۵۶	۱,۰۰	۴
		جمع نیروی انسانی			89

مصالح	واحد	مقدار	بهای واحد	ضریب	بهای کل
مصالح سنگی قشر رویه (توپکا) با 90 درصد شکستگی تهیه شده از مصالح رودخانه‌ای با دانه بندی صفر تا 19 میلیمتری تولید کارگاه	متر مکعب	۰,۰۱۲۵۰۰۰	۴۱،۷۰۴,۳۵	۱,۱۵	۶۰۰
قیر70 - 60	کیلوگرم	۱,۲۶۰۰۰۰۰	۲،۹۲۹,۰۰	۱,۰۰	۳،۶۹۱
گازوییل	لیتر	۰,۳۵۰۰۰۰۰	۱۶۵,۰۰	۱,۰۰	۵۸
		جمع مصالح			۴،۳۴۸

ماشین	واحد	مقدار	بهای واحد	ضریب	بهای کل
کارخانه اسفالت باظرفیت حدود 120 تن	دستگاه ساعت	۰,۰۰۰۵۶۰۰	۶۹۹،۷۷۲,۱	۱,۰۰	۳۹۲
ماشین اسفالت پخش کنی فینیشر لاستیکی بارانده	دستگاه ساعت	۰,۰۰۱۱۳۰۰	۱۷۱،۰۵۶,۲	۱,۰۰	۱۹۳
کامیون کمپرسی به ظرفیت حدود10 تن بارانده	دستگاه ساعت	۰,۰۰۱۵۰۰۰	۶۶،۲۹۲,۱۳	۱,۰۰	۹۹
لودرچرخ لاستیکی به قدرت حدود150 اسب بخار بارانده	دستگاه ساعت	۰,۰۰۰۵۰۰۰	۷۱،۵۱۱,۷۵	۱,۰۰	۳۶
غلطک استاتیک چرخ اهنی حدود 10 تا12 تن بارانده	دستگاه ساعت	۰,۰۰۱۱۳۰۰	۳۸،۱۳۹,۶۳	۱,۰۰	۴۳
غلطک چرخ لاستکی اسفالت حدود 16 تا20 تن بارانده	دستگاه ساعت	۰,۰۰۰۵۶۰۰	۶۵،۵۵۳,۰۰	۱,۰۰	۳۷
		جمع ماشین آلات			800

حمل		مقدار	بهای واحد	ضریب	بهای کل
حمل قیر به وسیله	کیلوگرم	۱,۲۶۰۰۰۰۰	۲۰,۶۳	۱,۰۰	۲۶
حمل موادسوختی گازوییل نفت و بنزین	لیتر	۰,۳۵۰۰۰۰۰	۲۰,۶۳	۱,۰۰	۷
		جمع حمل			۳۳

بهای	۵،۲۷۰

omoorepeyman.ir

جدول10-7 آنالیز قیمت آسفالت متخلخل بر اساس فهرست بهای رشته راه، باند فرودگاه و زیرسازی راه آهن 1388

تهیه و اجرای بتن آسفالتی متخلخل با سنگ شکسته از مصالح رودخانه ای، برای قشر	واحد	مترمربع

نیروی انسانی	واحد	مقدار	بهای واحد	ضریب	بهای کل
متصدی کارخانه	نفر ساعت	۰,۰۰۰۵۶۰۰	۱۶،۵۴۵,۲۸	۱,۰۰	۹
کارخانه متصدی برق اسفالت و سنگ شکن	نفر ساعت	۰,۰۰۰۴۵۰۰	۱۳،۲۱۶,۶۳	۱,۰۰	۶
کمک اپراتورماشین	نفر ساعت	۰,۰۰۰۵۶۰۰	۹،۵۸۴,۵۲	۱,۰۰	۵
اپراتور ماشین	نفر ساعت	۰,۰۰۰۵۶۰۰	۲۳،۴۱۶,۴۰	۱,۰۰	۱۳
کارگر ساده	نفر ساعت	۰,۰۰۱۶۹۰۰	۷،۴۱۴,۰۴	۱,۰۰	۱۳
ساده برای کارگر	نفر ساعت	۰,۰۰۸۰۰۰۰	۷،۴۱۴,۰۴	۱,۰۰	۵۹
کارگر ماهر	نفر ساعت	۰,۰۰۰۵۶۰۰	۷،۹۸۳,۳۶	۱,۰۰	۴
مباشر آسفالت	نفر ساعت	۰,۰۰۰۵۶۰۰	۲۱،۸۱۷,۴۹	۱,۰۰	۱۲
ماله کش آسفالت	نفر ساعت	۰,۰۰۰۵۶۰۰	۱۱،۰۳۴,۸۰	۱,۰۰	۶
کارگر آسفالت	نفر ساعت	۰,۰۰۱۶۹۰۰	۹،۲۵۷,۵۶	۱,۰۰	۱۶
قیرگرم کن	نفر ساعت	۰,۰۰۰۴۵۰۰	۹،۲۵۷,۵۶	۱,۰۰	۴
			جمع نیروی انسانی		148

مصالح	واحد	مقدار	بهای واحد	ضریب	بهای کل
مصالح سنگی قشر رویه (توپکا) با شکستگی 90 درصد تهیه شده از مصالح	متر مکعب	۰,۰۱۲۵۰۰۰	۴۱،۷۰۴,۳۵	۱,۱۵	۶۰۰
پودر سنگ معمولی	تن	۰,۰۰۰۳۲۷۶	۱۰۷،۶۵۴,۶۰	۱,۰۲	۳۶
الیاف	کیلوگرم	۰,۰۶۰۰۰۰۰	۲۰،۰۰۰,۰۰	۱,۰۵	۱،۲۶۰
قیر پلیمری	کیلوگرم	۱,۳۸۶۰۰۰۰	۳،۵۱۴,۸۰	۱,۰۰	۴،۸۷۲
گازوییل	لیتر	۰,۳۵۰۰۰۰۰	۱۶۵,۰۰	۱,۰۰	۵۸
			جمع مصالح		۶،۸۲۵

ماشین	واحد	مقدار	بهای واحد	ضریب	بهای کل
کارخانه اسفالت	دستگاه ساعت	۰,۰۰۰۵۶۰۰	۶۹۹،۷۷۲,۱۳	۱,۰۰	۳۹۲
ماشین اسفالت پخش	دستگاه ساعت	۰,۰۰۱۱۳۰۰	۱۷۱،۰۵۶,۲۵	۱,۰۰	۱۹۳
کامیون کمپرسی به	دستگاه ساعت	۰,۰۰۱۵۰۰۰	۶۶،۲۹۲,۱۳	۱,۰۰	۹۹
به لودرچرخ لاستیکی	دستگاه ساعت	۰,۰۰۰۵۰۰۰	۷۱،۵۱۱,۷۵	۱,۰۰	۳۶
غلطک استاتیک چرخ	دستگاه ساعت	۰,۰۰۱۱۳۰۰	۳۸،۱۳۹,۶۳	۱,۰۰	۴۳
			جمع ماشین آلات		763

حمل		مقدار	بهای واحد	ضریب	بهای کل
حمل خاک سنگ	تن	۰,۰۰۰۶۶۱۵	۳،۳۷۷،۲۸۸,۰۰	۱,۰۰	۲۶
حمل قیر به وسیله تانکر	کیلوگرم	۱,۲۶۰۰۰۰۰	۲۰,۶۳	۱,۰۰	۲۶
موادسوختی حمل		۰,۳۵۰۰۰۰۰	۲۰,۶۳	۱,۰۰	۷
			جمع حمل		۵۹
			بهای		۷،۷۹۶

omoorepeyman.ir

10-2-8- نتیجه گیری

جمع‌بندی بررسی‌های اقتصادی نشان می‌دهد که به لحاظ سیاسی، اقتصادی و اجتماعی مرتبط با تصادفات، استفاده از آسفالت متخلخل در مناطق دارای بارندگی زیاد بدلیل افزایش ایمنی تردد اقتصادی می‌باشد، اما به منظور کاهش سروصدا بایستی هزینه‌های ناشی از احداث دیوار حائل صوت و هزینه‌های ناشی از اجرای لایه آسفالتی متخلخل کنترل و تحلیل گردند تا تصمیم درست انتخاب گردد.

مراجع:

1- Porous Asphalt mixtures in spain , By: A.Ruiz , R.Alberola , F. Perez and B.Sanchez , TRR , no. ۱۲۶۵،۱۹۹۰.

2- Bjorn Birgisson,and Reynaldo Roque, Ph.D., P.E., of the University of Florida,EVALUATION OF THICK OPEN-GRADED AND BONDED FRICTION COURSES FOR FLORIDA, Department of transportation Florida, October 2006.

3- Porous Asphalt Porous Asphalt Pavements / Stone Recharge Beds, Brandon Milar Executive Director Northern California Asphalt Pavement, 2004

4-porous Asphalt WORLD ROAD ASSOCIATION – PIARC 2006.

5-M.Sc. Lars Ellebjerg Larsen & Senior Researcher M.Sc. Hans Bendtsen,2003 " Noise reduction with porous asphalt - costs and perceived effect"

6-Bendtsen, H & Larsen, LE, 2001-2, Perception of noise reduction by noise barriers, CD-Rom Proceedings, euro•noise 2001.

omoorepeyman.ir

پیوست 1

روش طرح اختلاط FHWA برای طراحی رویه‌های با دانه‌بندی باز

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

1- مشخصات مصالح

1-1- توصیه می‌شود که مصالح سنگی درشت‌دانه مجزا شده و بطور خاص مورد شناسایی قرار گیرد. (مصالح مانده روی الک شماره 8). حداقل مصالح سنگی درشت‌دانه که هر دو وجه آن باید شکسته باشد 75 درصد می‌باشد. همچنین حداقل 90 درصد مصالح سنگی باید دارای حداقل یک وجه شکسته باشد. افت سایشی (AASHTO T96). مصالح نباید از 40 درصد تجاوز نماید.

1-2- دانه‌بندی مورد توصیه به شرح زیر می‌باشد:

اندازه الک (mm)	درصد عبوری
12/5	100
9/5	95-100
4/75	30-50
2/36	5-15
0/075	2-5

1-3- AC-10، AC-20 یا AR-40 (AASHTO M226) درجه قیرهای مورد توصیه می‌باشند. AC-10 و AC-20 باید یا مشخصات جدول 2- M226 مطابقت نمایند. AR-40 باید با مشخصات جدول 3، M226 مطابقت نمایند.

2- داده‌های اولیه

2-1- مصالح سنگی تهیه شده را آزمایش نمایید. اگر فیلر معدنی بصورت جدا تهیه شده باشد. مطلوبیت آن را مورد بررسی قرار دهید. با انجام آنالیز نسبت هر یک مصالح سنگی را برای رسیدن به دانه‌بندی مورد نظر در بند 2-1 را معین نمایید تا این نسبت‌های اختلاط کارگاهی[1] برای استفاده پیمانکار معین گردد.

2-2- با توجه به نسبت‌های بدست آمده در بند 2-1، وزن مخصوص حجمی[1] و وزن مخصوص ظاهری[2] مصالح سنگی ریزدانه و درشت‌دانه را بدست آورد. (عبوری و مانده روی الک شماره 8).

1- the job-mix formula

omoorepeyman.ir

3-2- قیر مورد نظر را ارزیابی کنید تا خواص مورد نظر AASHTO M22 را دارا باشد. ویسکوزیته قیر و وزن مخصوص آن را در دمای 25 درجه سانتیگراد بدست آورند.

3- حجم قیر

3-2- ظرفیت سطح[3] مصالح سنگی مانده بر روی الک شماره 4 را براساس روش زیر معین نمایید:

نکته:

a) برای مصالح سنگی با درصد جذب بالا، از روش ارائه شده در بند 3-3- استفاده نمایید.

b) K_c (ثابت سطح)، از درصد مانده روغن SAE No.10 بدست می‌آید که نشانگر مساحت سطحی، خواص جذب‌کنندگی و زبری مصالح سنگی می‌باشد.

3-1-1- به روش چارک 105 گرم از مصالح سنگی را به عنوان نمادی از کل مصالح عبوری از الک شماره $\frac{3}{8}$اینچی و مانده روی الک 4 جدا نمایید.

3-1-2- مصالح را در داخل گرمخانه در دمای 1±110 درجه سانتیگراد گرم نمایید تا وزن آن ثابت شود و سپس اجازه دهید تا سرد شود.

3-1-3- 100 گرم از مصالح را جدا نمایید و داخل قیف فلزی بریزید. (قیف فلزی با قطر 8/9 سانتیمتر در بالا، ارتفاع 11/4 سانتیمتر و سوراخ پایینی $\frac{1}{2}$ اینچ که یک تک توری از الک شماره 10 در پایین آن لحیم شده است).

3-1-4- نمونه را در داخل روغن SAE No.10 به مدت 5 دقیقه غرقاب کنید.

3-1-5- اجازه دهید 2 دقیقه زهکشی صورت گیرد.

3-1-6- قیف را به مدت 15 دقیقه در داخل گرمخانه در درجه حرارت 60 درجه سانتیگراد قرار دهید تا زهکشی ادامه یابد.

3-1-7- نمونه را از قیف روی صفحه بریزید و اجازه دهید سرد شود و نمونه را دوباره با دقت 1/. گرم وزن نمایید و این مقدار را از وزن نمونه اولیه کم کنید و تفاوت بدست آمده را به عنوان درصد روغن مانده ثبت نمایید.

3-1-8- از شکل (1) برای معین نمودن k_c استفاده نمایید.

1- bulk specific gravity

2- apparent specific gravity

3- the surface capacity

omoorepeyman.ir

نکته: اگر وزن مخصوص مصالح سنگی بزرگتر از 2/7 و یا کمتر از 2/6 باشد، با استفاده از فرمولی کـه در پـایین شـکل (1) آمده است مقدار روغن مانده را اصلاح نمایید.

نکته 2: با استفاده از درصد روغن اصلاح شده از خط افقی پایین نمودار(1)، خط عمودی ترسیم نمایید تا خط قطـری را قطع نماید. از نقطه تقاطع خط افقی به سمت چپ ترسیم نمایید. نقطه قطع شده با خط عمودی نشانگر ثابت سطح یـا همان k_c می‌باشد.

3-2- حجم قیر مورد نیاز براساس وزن مصالح سنگی از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{درصد قیر} = 2 \times k_c \times 4 \times \frac{2/65}{(SG)_{ca}}$$

که در آن k_c ثابت سطح، و $(SG)_{ca}$ وزن مخصوص ظاهری مصالح سنگی درشت‌دانه می‌باشـد. (عبـوری از $\frac{3}{8}$ ایـنچ و مانده روی الک نمره 4).

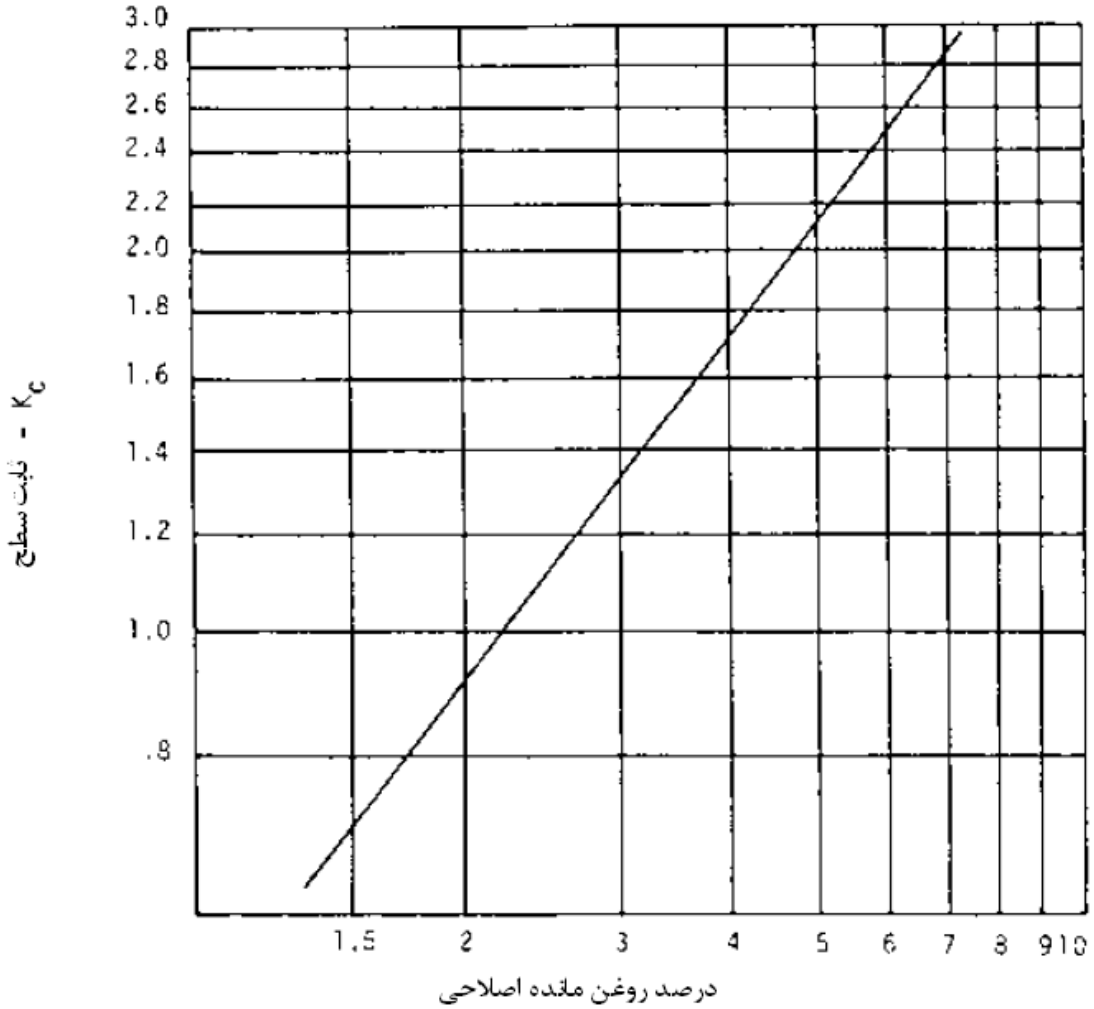
3-3- برای مصالح سنگی با درصد جذب بالا، از مراحل زیر برای معین نمودن k_c و حجم قیر استفاده نمایید.

3-3-1- از روش طرح توصیه شده در گامهای 3-1 تا 3-1-3 استفاده نمایید.

3-3-2- مانند بند 3-1-4 عمل نمایید بجز آنکه میزان غرقاب شدن به مدت 30 دقیقه انجام شود.

3-3-3- از روش توصیه شده در گامهای 3-1-5 تا 3-1-7 پیروی نمایید.

omoorepeyman.ir



از مصالح سنگی عبوری از الک ۳/۸ اینچ و مانده روی الک ۴ استفاده شود

همچنین نوع روغن مصرفی **oil-SAE No. 10** می باشد.

درصد روغن اصلاحی برابر است با درصد روغن بدست آمده در نسبت وزن مخصوص مصالح سنگی درشت دانه به ۲/۶۵

شکل پ 1-1- نمودار تعیین ثابت سطح مصالح

4-3-3- نمونه‌ها در داخل یک پارچه تمیز خشک و جذب کننده قرار دهید تا سطح اشباع خشکی برای نمونه‌ها فراهم شود. نمونه را در داخل صفحه قرار دهید و دوباره وزن نمایید و از وزن اصلی نمونه کم کنید و تفاوت را به عنوان درصد روغن جذب شده ثبت نمایید.

omoorepeyman.ir

3-3-5- درصد مقدار روغن جذب شده (3-3-4 را ببینید) را از درصد روغن مانده (3-3-3) کم نمایید تا درصد روغن مانده واقعی بدست آید. این روش اجازه می‌دهد تا بتوان خواص شکل و سطح مصالح سنگی بدون تاثیر مقدار زیاد روغن جذب شده مورد ارزیابی قرار داد.

3-3-6- از روش توصیه شده در گامهای 3-1-8 تا 3-2 استفاده نمایید. بجز اینکه از مقدار روغن باقی مانده بدست آمده در گام 3-3-5، برای بدست آوردن k_c ، استفاده نمایید.

3-3-7- از روش توصیه شده که در قسمتهای 4 و 5 نشان داده شده است استفاده نمایید.

3-3-8- نمونه‌های آزمایشی را با استفاده از حجم قیر برابر یا مقداری بیشتر (تلاش کنید تا مقدار قیر جذب شده را تخمین بزنید) از حجم قیر موثر بدست آمده از بند 3-3-6- و همچنین با استفاده از دانه‌بندی معین شده در 3-3-7، بسازید. با استفاده از یک روش مناسب مانند تعیین وزن مخصوص ماکزیمم (AASHTO T909) مقدار واقعی قیر جذب شده را معین نمایید.

3-3-9- مقدار حجم کل نمونه با اضافه کردن حجم قیر موثر از گام 3-3-6 به حجم قیر جذب شده از گام 3-3-8 بدست می‌آید.

3-3-10- از روش توصیه شده که در بخش‌های 6 و 7 نشان داده شده است، پیروی کنید. از حجم قیر کل بدست آمده در گام 3-3-9 برای نمونه و محاسبات بعدی استفاده نمایید.

4- ظرفیت حجمی مصالح سنگی درشت‌دانه[1]

از روش زیر برای معین نمودن لرزش واحد وزن[2] و ظرفیت حجمی مصالح سنگی درشت‌دانه (مانده روی الک 8) دانه‌بندی ارائه شده با فرمول کارگاهی استفاده نمایید.

1- Void Capacity Coorse Aggregate

2- the vibrated weight

omoorepeyman.ir

4-1-1- دستگاه‌ها

چکش- چکش لرزش الکترومغناطیسی قابل حمل که توانایی اعمال 3600 فرکانس بر دقیقه را با استفاده از یک جریان 115 ولتی مستقیم دارا می‌باشد. چکش باید یک استوانه ای محیطی[1] در دور خود داشته باشد.

قالب- یک سیلندر جدار فلزی با یک صفحه فلزی قابل تفکیک در پایین آن و یک جعبه راهنمای قابل تفکیک.

پایه چوبی- یک دیسک چوبی با 38 سانتیمتر قطر و 2/54 ضخامت با یک بالشتک لاستیکی که در زیر آن قرار دارد. دیسک باید بگونه‌ای ساخته شود که کاملاً به صفحه فلزی زیر قالب تراکم چسبیده باشد.

تایمر- یک زمان سنج با دقت 1 ثانیه که بتوان شروع و اتمام کار چکش را کنترل نمود.

شاخص ارتفاع – یک شاخص با دقت 0/2 میلیمتر تا بتواند تغییرات ارتفاعی نمونه را ثبت کند.

4-1-2- 2/27 کیلوگرم از مصالح سنگی درشت‌دانه را با استفاده از دانه‌بندی بدست آمده از گام 1-2 انتخاب کنید.

4-1-3- روش

(a) نمونه انتخاب شده را در قالب تراکم بریزید و استوانه محیطی را روی آن قرار دهید.

(b) جعبه راهنما را روی استوانه محیطی قرار دهید و جعبه را با پیچ روی قالب سفت کنید.

(c) چکش را داخل استوانه محیطی قرار دهید تا برای 15 ثانیه ویبره نماید.

(d) چکش ویبره را از داخل استوانه استوانه محیطی خارج نمایید و روی استوانه محیطی را برس بزنید تا مصالح ریزدانه روی آن برداشته شود. اندازه ضخامت (t) مصالح متراکم شده را با دقت 0/2 میلیمتر بدست آورید.

4-1-4- محاسبات

وزن واحد لرزش (X) را به صورت زیر محاسبه نمایید.

$$X = \frac{6912(w)}{d^2 t}(kg/cm^3)$$

omoorepeyman.ir

1- tamper foot

که در آن w وزن مصالح سنگی درشت‌دانه (برحسب کیلوگرم) و d قطر قالب برحسب سانتیمتر می‌باشد. که اگـر w=2/27kg و d= 15/24 باشد:

$$X = \frac{305.58}{t}(kg/cm^3)$$

که در آن t بر حسب سانتیمتر می‌باشد.

ظرفیت فضای خالی (VMA) به روش زیر معین می‌گردد:

$$VMA = 100(1 - \frac{X}{Uc})$$

که در آن U_c وزن حجمی مصالح سنگی درشت‌دانه بر حسب $\frac{lb}{ft^3}$ می‌باشد. U_c از گام 2-2 محاسبه می‌شود که بایـد در 62/4 ضرب گردد.

5- حجم بهینه مصالح ریزدانه

5-1- حجم بهینه مصالح سنگی ریزدانه از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Y = \frac{[\%VMA \times V] \times [(\%AC)(X)/ua]}{[(\%VMA \times V)/100] \times [(X)/Uf]}$$

که در آن:

درصد وزنی عبور از الک شماره 8 = Y

وزن واحد لرزش مصالح سنگی درشت‌دانه = X

چگالی حجمی تئوری مصالح سنگی ریزدانه خشک = Uf

وزن واحد حجم قیر = Ua

مقدار قیر به صورت درصدی از وزن کل مصالح سنگی = $\%A_c$

درصد فضای خالی طرح (15 درصد)= V

omoorepeyman.ir

درصد فضای خالی مصالح سنگی درشت‌دانه[1] که برابر است با $\%VMA = 100-100\left(\frac{X}{Uc}\right)$

چگالی حجمی تئوری مصالح سنگی درشت‌دانه خشک = U_c

X، U_a، U_c و U_f بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشند.

در روابط بالا فرض بر آن است که قیر جذبی توسط مصالح سنگی ناچیز می‌باشد زیرا ملاحظات جذب قیر در تعیین k_c لحاظ شده است. (گام 3-1)

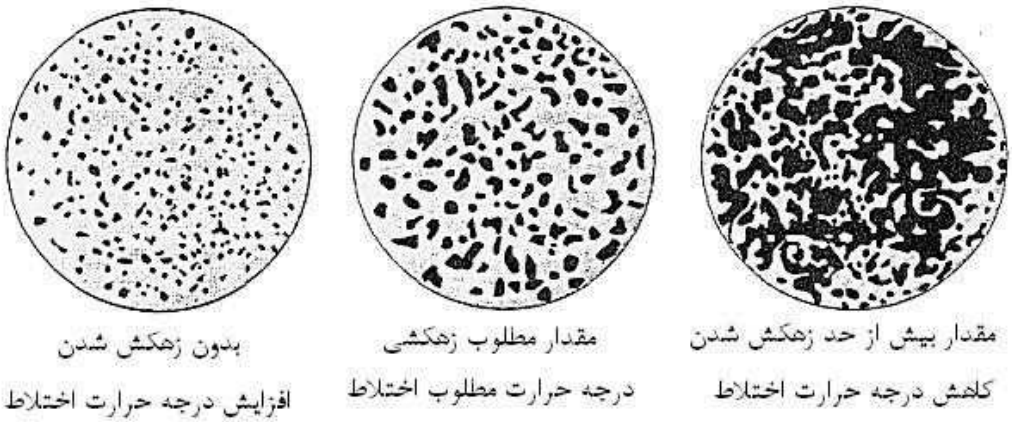
5-2- مقدار مصالح سنگی بهینه ریزدانه بدست آمده از گام 5-1 را با مقدار مصالح ریزدانه (عبوری از الک 8) فرمول کارگاهی مقایسه کنید. اگر این مقادیر بیشتر از یک درصد با هم تفاوت داشته باشند فرمول کارگاهی را اصلاح نمایید و سهم مصالح سنگی درشت‌دانه و ریزدانه را دوباره محاسبه نمایید.

6- درجه حرارت بهینه اختلاط

6-1- مقدار 1000 گرم نمونه مصالح سنگی را با توجه به نسبت‌های معین شده در بخش پنجم بدست آورید. مصالح سنگی را با درصد قیر بدست آمده از گام 3-2 و با درجه حرارت منطبق بر ویسکوزیته 800 سانتی استوکس در گام 3-2 مخلوط کنید. وقتی اختلاط کاملا انجام گرفت نمونه را داخل یک صفحه شیشه‌ای پیرکس (قطر 20 تا 23 سانتیمتر) بدون کمترین دست‌خوردگی پخش نمایید. نمونه را در داخل گرمخانه با درجه حرارت اختلاط قرار دهید. ته صفحه شیشه‌ای را بعد از 15 و 60 دقیقه نگاه کنید. اگر چاله ریز کوچکی در نقطه تماس میان مصالح سنگی و صفحه شیشه‌ای وجود دارد درجه اختلاط مخلوط مناسب است. در غیر اینصورت آزمایش را در درجه حرارت بالاتر و یا پایین‌تر تکرار نمایید. (شکل 2)

1- Percent voids mincral agregate of the coarse aggregate

omoorepeyman.ir



شکل پ-1-2- تعیین درجه حرارت بهینه اختلاط

7- مقاومت در مقابل اثر آب

7-1- آزمایش فشاری – غوطه‌وری (AASHTO T165 , T167) را روی مخلوط طرح شده انجام دهید. نمونه را درجه حرارت اختلاط معین شده از گام 6-1 آماده نمایید. از یک فشار قالب‌گذاری با مقدار 1000psi بیشتر از مقدار مشخصه 3000psi استفاده نمایید. بعد از 4 روز غرقاب شدن در آب 49 درجه سانتیگراد، مقاومت باقیمانده نباید بیشتر از 50 درصد افت کند.

نکته: ممکن است لازم باشد تا از افزودنی‌هایی برای بهبود چسبندگی و در نتیجه بالا بردن مقاومت باقیمانده مخلوط استفاده شود.

omoorepeyman.ir

Islamic Republic of Iran
management and planning organization

Guideline of Design, Construction and Maintenance of Porous Asphalt (Technical report)

No. 384-2

Office of Deputy for Technical and Infrastructure Development Affairs
Department of Technical and Executive Affairs

Nezamfanni.ir

The Ministry of Road & Urban Development

Road, Housing & Urban Development Research Center
bhrc.ac.ir

2015

omoorepeyman.ir