دانشگاه گیلان
۱۳۵۳_1974

مشخصات و آزمایشات مخلوط آسفالتی

تألیف:
جی. کلیف نیکولز
ترجمه:
دکتر سید محمد میرعبدالعظیمی
استادیار دانشکده فنی دانشگاه گیلان
زینب علی پور مریم مجد رحیم آبادی امیر شعبانی

چاپ اول

مرکز نشر دانشگاه گیلان

مشخصات و آزمایشات مخلوط آسفالتی

جی. کلیف نیکولز ترجمه: دکتر سید محمد میرعبدالعظیمی، زینب علی پور، مریم مجد رحیم آبادی، امیر شعبانی

ASPHALT MIXTURE SPECIFICATION AND TESTING

By:
J. Cliff Nicholls

Translated by:
Seyyed Mohammad Mirabdolazimi, Ph. D
Zeinab Alipour, Maryam Majd Rahimabadi, Amir Shabani

University of Guilan Press

ISBN: 978-600-153-295-5

مشخصات و آزمایشات مخلوط آسفالتی

تألیف:

جی. کلیف نیکولز

ترجمه:

دکتر سید محمد میرعبدالعظیمی

استادیار دانشکده فنی دانشگاه گیلان

زینب علی‌پور، مریم مجد رحیم آبادی، امیر شعبانی

مرکز نشر دانشگاه گیلان

۱۴۰۱

دانشگاه گیلان
1974-۱۳۵۳

شابک:۵ـ۲۹۵ـ ۱۵۳ ـ ۶۰۰ ـ ۹۷۸

سرشناسه	:نیکلز، کلیف Nicholls, Cliff
عنوان و نام پدیدآور	:مشخصات و آزمایشات مخلوط آسفالتی/تالیف جی.کلیف نیکولز ؛ ترجمه محمد میرعبدالعظیمی...[و دیگران] ؛ ویراستار علمی غلامحسین حامدی ؛ ویراستار ادبی فرشته گلچین‌زاد.
مشخصات نشر	:رشت: دانشگاه گیلان، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری	:۱۷۵ص.
شابک	:978-600-153-295-5
وضعیت فهرست نویسی	:فیپا
یادداشت	:عنوان اصلی:.Asphalt specification and testing,2017
یادداشت	:ترجمه محمد میرعبدالعظیمی ، زینب علی‌پور ، مریم مجدرحیم‌آباد ، امیر شعبانی.
موضوع	:روسازی با آسفالت -- آزمایش Pavements, Asphalt -- Testing روسازی با آسفالت -- مشخصات Pavements, Asphalt -- Specifications
شناسه افزوده	:میرعبدالعظیمی، سیّدمحمّد، ۱۳۶۱-، مترجم
شناسه افزوده	:حامدی، غلامحسین، ویراستار
شناسه افزوده	:دانشگاه گیلان
رده بندی کنگره	:TE۲۷۰
رده بندی دیویی	:۶۲۵/۸۵۰۲۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۸۹۶۷۹۲۲
اطلاعات رکورد کتابشناسی	:فیپا

مرکز نشر دانشگاه گیلان

نام کتاب : مشخصات و آزمایشات مخلوط آسفالتی
مؤلف : جی. کلیف نیکولز
مترجمان : دکتر سید محمد میرعبدالعظیمی، زینب علی پور، مریم مجد رحیم آبادی، امیر شعبانی
ویراستار علمی : دکتر غلامحسین حامدی
ویراستار ادبی : فرشته گلچین راد
نوبت چاپ : اول، ۱۴۰۱
ناشر : مرکز نشردانشگاه گیلان
شمارگان : ۱۰۰۰ جلد

* هر گونه چاپ و تکثیر صرفاً در اختیار مرکز نشر دانشگاه گیلان است.*

این کتاب را به همسرم، کارول، تقدیم می‌کنم؛ نه برای حمایت و تشویق او برای نگارش این کتاب (تشویق او قطعاً دلگرم‌کننده بوده است) بلکه به دلیل تسکین او مبنی بر عدم پذیرش پیشنهادش یعنی «پنجاه طیف آسفالت»[1] به عنوان نام کتاب.

از جان پرایم بسیار متشکرم که سخاوتمندانه عکس‌هایی از تجهیزات آزمایش تهیه کرد و همچنین از پیپا برچ[2]، روبرت هانتر[3]، تانوس نیکولیدز[4] و یان والش[5] برای ویرایش نسخه‌های ابتدایی و پیشنهادات مفیدشان برای بهبود آن تشکر می‌نمایم. حقیقتاً که همگی آنان دوستانی واقعی به شمار می‌روند.

همچنین از همکارانم، چه در گذشته و چه در حال، در CEN TC 227/WG1/TG2 و کارگروه اروپایی مسئول بسیاری از بخش‌های EN 12697 برای تهیه پیش‌نویس این استانداردها تشکر می‌کنم. این سری آزمایش‌ها پیش‌زمینهٔ بخش بزرگی از این کتاب را تشکیل می‌دهند که همچنین توجیهی برای عنوان مدنظر همسرم نیز می‌باشند، چراکه در آن حدود پنجاه قسمت وجود دارد.

[1] Fifty shades of asphalt
[2] Pippa Birch
[3] Robert Hunter
[4] Thanos Nikolaides
[5] Ian Walsh

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پیشگفتار ..... ز
دربارۀ نویسنده ..... ش
فصل اول: مقدمه
۱-۱-هدف ۲
۱-۲- اصطلاحات و واحدها ۳
منابع ۵
فصل دوم: ضوابط آسفالت
۲-۱-توسعۀ ضوابط ۸
۲-۲- عدم قطعیت در نتایج آزمون ۱۱
۲-۳- ویژگی‌های مربوط به لایه‌ها ۱۲
۲-۴-سطوح ضوابط ۱۳
۲-۵- ضوابط بین‌المللی ۱۴
۲-۵-۱-استانداردهای هماهنگ اروپایی ۱۴
۲-۵-۲-ضوابط برنامۀ تحقیقات استراتژیک راه ایالات‌متحده ۱۸
۲-۶- دسته‌بندی‌های آسفالت ۲۱
۲-۶-۱- دید کلی ۲۱
۲-۶-۲- بتن آسفالتی ۲۳
۲-۶-۲-۱-کلیات ۲۳
۲-۶-۲-۲-ماکادام ۲۳
۲-۶-۲-۳-آسفالت مارشال ۲۴
۲-۶-۲-۴- آسفالت مدولار بالا ۲۵
۲-۶-۲-۵- بتن آسفالتی برای روسازی فرودگاه ۲۵
۲-۶-۳-آسفالت متخلخل ۲۶

۲-۶-۴-آسفالت ماستیک درشت‌دانه ۲۶
۲-۶-۵- بتن آسفالتی برای لایه‌های بسیار نازک ۲۷
۲-۶-۶-آسفالت برای لایه‌های فوق‌العاده نازک ۲۷
۲-۶-۷- ماستیک آسفالت ۲۷
۲-۶-۸-آسفالت هات رلد ۲۸
۲-۶-۹- آسفالت نرم ۲۸
۲-۶-۱۰-سیستم‌های رویه نازک ۲۹
منابع ۳۰

فصل سوم: ترکیب

۳-۱- طرح اختلاط و برآوری الزامات ۳۴
۳-۲- قیر ۳۴
۳-۲-۱-مقدار قیر ۳۴
۳-۲-۲- ویژگی‌های قیر ۳۶
۳-۳-سنگدانه ۳۹
۳-۳-۱-دانه‌بندی سنگدانه ۳۹
۳-۳-۲-شکل دانه‌ها ۴۰
۳-۴-مقادیر حجمی ۴۱
۳-۴-۱-مقدار حفره‌های هوا ۴۱
۳-۴-۲-حفره‌های پر شده با قیر ۴۴
۳-۴-۳- درصد چگالی عدم پذیرش ۴۴
۳-۵-دما ۴۴
منابع ۴۶

فصل چهارم: خصوصیات سطح

۴-۱-نیمرخ ۵۰
۴-۱-۱-تراز (اصلی) ۵۰

۴-۱-۲- نظم سطح (اصلی) ۵۰
۴-۲-مقاومت لغزشی ۵۱
۴-۲-۱-اصطکاک ۵۱
۴-۲-۲-عمق بافت ۵۲
۴-۲-۲-۱- رابطهٔ عمق بافت ۵۲
۴-۲-۲-۲- پچ تست (جایگزین) ۵۳
۴-۲-۲-۳-عمق بافت اندازه‌گیری شده با سنسور (جایگزین) ۵۴
۴-۲-۲-۴-میانگین عمق پروفیل (جایگزین) ۵۴
۴-۲-۲-۵- قابلیت زهکشی افقی سطح روسازی ۵۵
۴-۲-۳-بافت ریزنمود ۵۵
۴-۲-۳-۱-رابطهٔ بافت ریزنمود ۵۵
۴-۲-۳-۲- PSV و AAV (جایگزین جزء) ۵۶
۴-۲-۳-۳-اصطکاک پس از صیقلی شدن (شبیه‌سازی) ۵۷
۴-۲-۴-اندازه‌گیری‌های درجا ۶۲
۴-۲-۴-۱-تغییر مقاومت لغزشی درجا ۶۲
۴-۲-۴-۲-سنجش‌های آونگی (شبیه‌سازی) ۶۳
۴-۲-۴-۳-سنجش‌های نیروی جانبی (شبیه‌سازی) ۶۳
۴-۲-۴-۴-سنجش‌های لغزش ثابت (شبیه‌سازی) ۶۳
۴-۲-۴-۵-سنجش‌های چرخ قفل‌شده (شبیه‌سازی) ۶۴
۴-۲-۵-تعیین مقاومت لغزشی ۶۵
۴-۳-کاهش سروصدا و پاشیدگی آب ۶۶
۴-۳-۱-کاهش سروصدا ۶۶
۴-۳-۱-۱-بیان مسأله ۶۶
۴-۳-۱-۲-روش عبورآماری (اصلی) ۶۶
۴-۳-۱-۳-روش مجاورت نزدیک (اصلی) ۶۸

۴-۳-۱-۴-تعیین صدا ۶۸
۴-۳-۲- کاهش پاشیدگی آب (جایگزین) ۶۹
۴-۴-رنگ ۷۱
منابع ۷۳

فصل پنجم: خصوصیات لایهٔ رویه

۵-۱-کلیات ۷۸
۵-۲-مقاومت در برابر تغییرشکل ۷۸
۵-۲-۱- بیان مسأله ۷۸
۵-۲-۲- اقدامات معمول ۷۹
۵-۲-۳- استقامت مارشال (شبیه‌سازی) ۸۰
۵-۲-۴- اثر بار چرخ(شبیه‌سازی) ۸۱
۵-۲-۵-آزمایش فرورفتگی (شبیه‌سازی) ۸۶
۵-۲-۶-تراکم سیکلی (بنیادی) ۸۶
۵-۲-۷- تعیین مقاومت در برابر تغییرشکل ۸۸
۵-۳-مقاومت در برابر ترک‌خوردگی ۸۸
۵-۳-۱-بیان مسأله ۸۸
۵-۳-۲-اقدامات مرسوم ۹۰
۵-۳-۳-ترک‌خوردگی خستگی ۹۰
۵-۳-۴-مقاومت کششی (شبیه‌سازی) ۹۰
۵-۳-۵- ترک‌خوردگی دمای پایین (شبیه‌سازی) ۹۱
۵-۳-۶-مقاومت در برابر گسترش ترک (شبیه‌سازی) ۹۳
۵-۳-۷-تعیین مقاومت در برابر ترک‌خوردگی ۹۴
۵-۴-مقاومت در برابر جدا شدن سنگدانه ۹۴
۵-۴-۱-بیان مسأله ۹۴
۵-۴-۲-اقدامات معمول ۹۵

۵-۴-۳- مقاومت در برابر سایش (شبیه‌سازی) ۹۵
۵-۴-۴-جداشدن سنگدانه‌ها(شبیه‌سازی) ۹۷
۵-۴-۵- سایش ناشی از لاستیک‌های گل میخ دار(شبیه‌سازی) ۹۸
۵-۴-۶-تعیین جداشدگی سنگدانه ۹۹
منابع ۱۰۰
فصل ششم: ویژگی‌های سازه‌ای
۶-۱-سفتی ۱۰۴
۶-۱-۱-بیان مسأله ۱۰۴
۶-۱-۲-معیارهای قراردادی ۱۰۴
۶-۱-۳-مدول سفتی (اساسی) ۱۰۴
۶-۱-۴- تعیین سفتی ۱۰۶
۶-۲- مقاومت خستگی ۱۰۶
۶-۲-۱-بیان مسأله ۱۰۶
۶-۲-۲-معیارهای قراردادی ۱۰۹
۶-۲-۳- مقاومت خستگی (اصلی) ۱۰۹
۶-۲-۴-تعیین در برابر خستگی ۱۱۱
منابع ۱۱۲
فصل هفتم: ویژگی‌های خدمت‌دهی
۷-۱-قابلیت خدمت دهی ۱۱۴
۷-۲-خرابی رطوبتی ۱۱۴
۷-۲-۱-بیان مسأله ۱۱۴
۷-۲-۲- اقدامات متداول ۱۱۴
۷-۲-۳-چسبندگی سنگدانه/قیر (شبیه‌سازی) ۱۱۵
۷-۲-۳-۱-روش استاتیکی ۱۱۵
۷-۲-۳-۲- روش بطری غلتان ۱۱۵

۷-۲-۳-۳- روش عریان‌شدگی آب جوشان ۱۱۶
۷-۲-۴-حساسیت رطوبتی (شبیه‌سازی) ۱۱۶
۷-۲-۵-آماده‌سازی سفتی کششی پیرشدگی اشباع (شبیه‌سازی) ۱۱۷
۷-۲-۶- آزمایش تنش ناشی از رطوبت(شبیه‌سازی) ۱۱۸
۷-۲-۷-تعیین خرابی ناشی از رطوبت ۱۱۸
۷-۳- مقاومت در برابر مواد شیمیایی ۱۲۰
۷-۳-۱-بیان مسأله ۱۲۰
۷-۳-۲-مقاومت در برابر سوخت (شبیه‌سازی) ۱۲۰
۷-۳-۳- مقاومت در برابر مایعات ضدیخ (شبیه‌سازی) ۱۲۱
۷-۳-۴-تعیین مقاومت در برابر مواد شیمیایی ۱۲۱
۷-۴- نفوذناپذیری ۱۲۲
۷-۴-۱-بیان مسأله ۱۲۲
۷-۴-۲-اقدامات معمول ۱۲۲
۷-۴-۳-مقدار فضاهای خالی(جایگزین) ۱۲۳
۷-۴-۴-نفوذپذیری(شبیه‌سازی) ۱۲۳
۷-۴-۵- هدایت هیدرولیکی(شبیه‌سازی) ۱۲۴
۷-۴-۶- تعیین نفوذناپذیری یا نفوذپذیری ۱۲۴
۷-۵-پتانسیل پیرشدگی ۱۲۵
۷-۵-۱- بیان مسأله ۱۲۵
۷-۵-۲- پیرشدگی قیر(جایگزین/ شبیه‌سازی) ۱۲۵
۷-۵-۳-آماده‌سازی SATS (شبیه‌سازی) ۱۲۶
۷-۵-۴-پیرشدگی آسفالت (شبیه‌سازی) ۱۲۶
۷-۵-۵-تعیین پیرشدگی ۱۲۷
۷-۶-چسبندگی بین لایه‌ها ۱۲۷
۷-۶-۱-بیان مسأله ۱۲۷

۷-۶-۲- اقدامات مرسوم ۱۲۸
۷-۶-۳- چسبندگی پیچشی (شبیهسازی) ۱۲۸
۷-۶-۴- چسبندگی برشی (شبیهسازی) ۱۲۹
۷-۶-۵-چسبندگی کششی (شبیه‌سازی) ۱۳۰
۷-۶-۶-تعیین چسبندگی بین لایه‌ای ۱۳۰
منابع ۱۳۱
فصل هشتم: پایداری
۸-۱-دید کلی ۱۳۶
۸-۲-دوام ۱۳۶
۸-۳- بازیافت ۱۳۷
۸-۴-سنگدانه‌های ثانویه ۱۳۸
۸-۵-انتشارات کربن ۱۳۹
۸-۶- آسفالت دمای پایین‌تر ۱۴۰
منابع ۱۴۹
خلاصه ۱۵۱

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱: مغایرت در اصطلاحات ۴
جدول ۲-۱-روش‌های جایگزین آماده‌سازی نمونه ۱۲
جدول ۲-۲: خواص مورد نیاز توسط لایه‌های آسفالت ۱۳
جدول ۲-۳: سطوح ترافیک طراحی پیشنهادی ۲۱
جدول۳-۱: انواع اصلاح‌کننده قیر ۳۷
جدول۳-۲: دقت اندازه گیری چگالی و مقدار حفره هوا ۴۳
جدول ۴-۱: حداقل PSV سنگدانه‌های رویه درراه‌های پررفت‌وآمد انگلستان ۵۸
جدول ۴-۲: سطوح سروصدای راه/تایر ۶۷
جدول ۴-۳: سیستم‌های توصیف رنگ ۷۲
جدول ۴-۴: کد رنگ‌های متداول ۷۲
جدول ۵-۱: رده‌بندی اروپایی برای اثر بار چرخ در EN 13108 ..... ۸۵
جدول ۵-۲: دسته بندی مقاومت در برابر فرورفتگی ۸۷
جدول ۶-۱: روش‌های CEN برای تعیین مدول سفتی ۱۰۵
جدول ۶-۲: چهار سطح آزمایش ۱۰۸
جدول ۶-۳: روش‌های CEN برای تعیین مقاومت خستگی ۱۱۱
جدول۷-۱: نفوذپذیری نسبی مواد رویه ۱۲۳
جدول ۸-۱: خلاصه‌ای از سیستم‌های آسفالت دمای پایین‌تر ۱۴۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: دسته‌بندی آسفالت‌های کاهش دما یافته ۴
شکل ۲-۱: ساختار سیستم طراحی روسازی ممتاز ۲۰
شکل ۲-۲: همپوشانی پوش‌های دانه‌بندی سنگدانه ۲۲
شکل ۲-۳ یکپارچگی ضعیف HMB در حضور آب..... ۲۴
شکل ۳-۱: روش‌های جایگزین برای تعیین مقدار قیر..... ۳۵
شکل ۳-۲: میزان درجه نفوذ پیش‌بینی شده برای قیر بازیابی‌شده از آسفالت متخلخل. ۳۹
شکل ۳-۳: مثالی از ترسیم ترموگرافیک آسفالت هنگام روسازی) ۴۵
شکل ۴-۱: طرح شماتیک بافت درشت‌نمود و ریزنمود ۵۲
شکل ۴-۲: تأثیر شرایط مرطوب بر تصادفات در سه شبکهٔ راه ۵۳
شکل ۴-۳: رابطهٔ بین SMTP و MPD در نمونهٔ جاده‌های روستایی. ۵۵
شکل ۴-۴: دستگاه متداول اندازه‌گیری ضریب نیرو جانبی (John Prime) ۶۴
شکل ۴-۵: آزمایشگر گریپ (John Prime) ۶۴
شکل ۴-۶: سنجش‌گر اصطکاک روسازی (John Prime).....۶۵
شکل ۵-۱: مقطع عرضی از سطح تغییرشکل یافته ۷۹
شکل ۵-۲: قالب شکست آزمایش مارشال..... ۸۱
شکل ۵-۳: دستگاه بزرگ برای آزمایش اثر بار چرخ CEN ۸۲
شکل ۵-۴: دستگاه کوچک آزمایش اثر بار چرخ CEN ۸۳
شکل۵-۵: نمونه ای از ترک موزائیکی..... ۸۹
شکل ۵-۶: نمونه ای از ترک طولی..... ۸۹
شکل ۵-۷: اصول آزمایش‌های ترک دمای پایین اروپا..... ۹۲
شکل ۵-۸: دستگاه آزمایش شن‌زدگی آخن ۹۶
شکل ۵-۹: دستگاه سایش دارمشتات..... ۹۷
شکل۵-۱۰: دستگاه آزمایش سایش سطح دوار ۹۸

شکل۵-۱۱: دستگاه آزمایش مصالح زدگی ۹۸
شکل ۶-۱: هرم سطوح طراحی فرانسوی ۱۰۷
شکل۷-۱: آزماینده حساسیت ناشی از رطوبت ۱۱۹
شکل۷-۲: صفحات احتمالی شکست در آزمایش چسبندگی برشی.....۱۲۹
شکل ۸-۱: فرایندهایی که باید در ارزیابی انتشار کربن از ابتدا تا اجرا لحاظ شوند. ۱۴۰

پیشگفتار

آسفالت مادهٔ پیچیده‌ای است که دارای ویژگی‌های ساختاری و بهره‌برداری مفید زیادی برای استفاده در راه، فرودگاه و دیگر سطوح می‌باشد. آسفالت همچنین دارای پایداری مناسب همراه با قابلیت بازیافت به‌طور کامل یا ترکیب با مصالحه ثانویهٔ متنوع دیگر نیز است. با این‌حال برخی از این ویژگی‌ها مغایر با یکدیگرند و هر چه این مغایرت در ویژگی‌ها بیش‌تر باشند، تولید مخلوطی مناسب دشوارتر و درنتیجه هزینهٔ آن نیز افزایش می‌یابد. لایه‌های مختلف روسازی نیازمند ویژگی‌های متفاوت‌اند که این امر در مورد مکان‌های مختلف و دسته‌بندی‌های روسازی نیز صدق می‌کند. روش‌های مختلفی برای تعیین هر یک از این ویژگی‌ها وجود دارد.

این کتاب هر یک از این ویژگی‌ها را بر حسب راه‌هایی که آن‌ها را تعیین می‌کند بررسی می‌نماید. این راه‌ها دستورالعمل‌ها و فرایندهای موردنیاز برای شیوه‌های آزمایش آسفالت و یا اجزای آن است که می‌تواند به‌صورت جایگزین، شبیه‌سازی و یا مبانی باشد. شرح آزمایش‌های قابل استفاده شامل مزایا و همچنین محدودیت‌های آن جهت اندازه‌گیری ویژگی موردنظر و همچنین نشانگر سطوح قابل انجام و دقت موجود می‌باشد. این آزمایش‌ها عمدتاً بر اساس روش‌های آزمایش اروپایی شامل مجموعه آزمایش‌های آسفالت EN 12697 هستند.

هدف این کتاب ترغیب افراد در فرایند ساخت‌وساز است تا آنان را قادر سازد آنچه را که واقعاً نیاز به تعیین دارد، در نظر گرفته و آسفالت مناسب برای مقصود مورد نظر را تولید نمایند.

دربارهٔ نویسنده

دکتر جی. کلیف نیکلز[1] که با اسم کلیف شناخته می‌شود دانش آموختهٔ مدرسهٔ ورچستر کینگ[2] و دانشکدهٔ علوم و فناوری پادشاهی می‌باشد. کلیف در سال ۱۹۷۲ در رشتهٔ مهندسی عمران از دانشکدهٔ پادشاهی فارغ‌التحصیل شد و به رندل پالمر و تریتون[3] پیوست و پس‌ازآن در آژانس خدمات املاک (PSA)[4]، دپارتمان محیط‌زیست[5]، موسسه تحقیقاتی ساختمان (BRE)[6] و درنهایت آزمایشگاه تحقیقات راه و حمل و نقل (TRL[7] Limited) به فعالیت خود ادامه داد. از سال ۱۹۸۸ تحقیقات خود را بر روی مصالح روسازی به‌خصوص آسفالت و روش‌های آزمایش آن شروع کرد. کلیف از TRL در ماه اکتبر ۲۰۱۵ بازنشسته شد اما همچنان به‌صورت قراردادی با مؤسسه در ارتباط بود.

پیش از بازنشستگی،کلیف عضو ارشد آکادمیک در بخش زیربنایی TRL Limited بود. او اغلب به‌عنوان مدیر پروژه عمدتاً به تحقیق پیرامون مصالح رویهٔ آسفالت می‌پرداخت. این پروژه‌ها طیف وسیعی از مصالح ازجمله آسفالت هات رولد برای رویه، آسفالت متخلخل، رویه‌های با اصطکاک بالا، سیستم‌های رویهٔ نازک و آسفالت با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای و همچنین برخی از مصالح مرتبط مانند خط‌کشی راه را شامل می‌شد.

کلیف در مؤسسهٔ استانداردهای بریتانیا[8] و کمیته اروپایی استاندارد[9] برای آسفالت حضور داشت و به‌عنوان نمایندهٔ کارگروه شیوه‌های آزمایش CEN از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ فعالیت می‌کرد. وی همچنین عضو چندین هیئت‌مدیرهٔ گروه راهبردی BBA HAPAS[10] و شورای IAT[11] بود. کلیف بسیاری از گزارشات TRL و مقالات مختلف مرتبط را نیز تألیف نموده است. او کتاب " Asphalt Surfacings"، که توسط E & FN Spon در سال ۱۹۹۸ منتشر شد را ویرایش نمود و در تعداد دیگری کتاب نیز همکاری داشته است. وی همچنین در اوت سال ۱۹۹۹ به دلیل آثار منتشرشده خود از دانشگاه اولستر مدرک دکترا دریافت نمود.

---

[1] J. Cliff Nicholls
[2] King's School Worcester
[3] Rendel Palmer & Tritton
[4] Property Services Agency
[5] Department of the Environment
[6] Building Research Establishment
[7] Transport and Road Research Laboratory
[8] British Standards Institution
[9] Comité Européen de Normalisation committees
[10] British Board of Agrément Highway Authorities Products Approval Scheme
[11] Council of the Institute of Asphalt Technology

فصل اول

مقدمه

۱-۱-هدف

قیر یک فرآوردهٔ هیدروکربنی حاصل از پالایش نفت خام است. رفتار این مایع ترمو پلاستیک، ویسکو الاستیک که تحت بارگذاری کوتاه مدت در دماهای پایین همانند یک جسم شیشه‌ای و در دماهای بالا نظیر یک مایع ویسکوز است (هانتر، ۲۰۱۵) آن را به یکی از پیچیده‌ترین مصالح ساختمانی تبدیل می‌کند. وقتی این ماده به آسفالت که یک ماده پوششی متشکل از قیر، سنگدانه‌های معدنی، فیلر و احیاناً افزودنی‌های دیگر است ترکیب می‌شود که در آن مصالح سنگی می‌توانند شکل‌ها، دانه‌بندی‌ها و ترکیبات متنوعی داشته باشند، آسفالت به ماده پیچیده‌تری تبدیل می‌شود که در حال حاضر با موفقیت در راه‌ها، فرودگاه‌ها و دیگر نواحی دارای روسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال ویژگی‌های مدنظر روسازی‌های آسفالتی (که به نظر می رسد با گذشت زمان در حال افزایش است) هم برای لایه‌های مختلف روسازی و هم برای شرایط مختلف متفاوت است و درنتیجه نیاز به مخلوط‌های آسفالتی متفاوت دارد.

هدف این کتاب مرور روش‌های تبیین آسفالت با تاکید ویژه بر روی روش‌های آزمایش مورد استفاده جهت اندازه‌گیری عملکرد خصوصیات مختلف آن است. بنابراین آزمایش‌ها بر حسب مزایا و محدودیت‌هایشان تا آنجا که اندازه‌گیری خواص اصلی مورد نظراست، توصیف می‌شوند.

امید است که این رویکرد به مهندسین کمک نماید تا بتوانند الزامات مواد مورد نیاز برای وضعیت خاص خود را بدون در نظر گرفتن هرگونه ویژگی یا مقدار آن‌ها، که برای آن وضعیت ضروری نیستند، تعیین کنند.

به این ترتیب، خلاصه مشخصات و مزایا و معایب نسبی آنها در شرایط مختلف ارائه شده است. سپس خصوصیات مختلف بر حسب موارد زیر مورد بحث قرار گرفته است:

- مشخصات آن‌ها.
- روش‌های آزمایش قابل استفاده (در درجه اول EN12697 مجموعه‌ای از روش‌های اروپایی).
- میزان پیش‌بینی عملکرد نتایج.
- دسته بندی‌هایی که می‌توانند در هنگام ارزیابی انواع مختلف آسفالت برای آزمایش تنظیم شوند.
- دقتی که برای آزمایش‌های مختلف پیدا شده است.
- خصوصیات دیگری که بهبود عملکرد بر روی آن‌ها تاثیر معکوس داشته است.

در نهایت جنبه‌های مختلف در مورد پایداری با تأکید زیاد بر روی دوام مورد بحث قرار می گیرند. امید است که درک بهتر از نیازهای پایداری، مشوق اجرای روش‌های بهبودیافته و اقتصادی جهت تولید روسازی‌های آسفالتی بادوام و پایدار باشد.

۱-۲- اصطلاحات و واحدها

Oscar Wilde، بریتانیا و ایالات متحده را به‌عنوان «دو ملت با یک زبان مشترک» توصیف نموده و این گفته در تکنولوژی آسفالت بیش از هر جای دیگری صادق است. این دو کشور در موارد مختلف از اصطلاحات متفاوت برای یک چیز استفاده می‌کنند. این تفاوت‌ها با هماهنگی واژگان در سراسر اروپا افزایش یافته و نیازمند آن است که بریتانیا برخی اصطلاحات را که قبلا مشابه آن در ایالات متحده استفاده می شد تغییر دهد. بنابراین مشخص نمودن اصطلاحات مورد استفاده در هر نشریه ضروری است.

تفاوت‌های اصلی در رابطه با مواد و لایه‌هایی است که این مواد در آن استفاده می‌شوند. اصطلاح «آسفالت» در اروپا صرفا به معنی مخلوط حاوی سنگدانه استفاده می‌شود در حالی که در امریکا می‌توان آن را هم به معنی مخلوط، هنگامی که به صورت کلی "بتن آسفالتی" یا "مخلوط آسفالتی داغ " معرفی می‌شوند، هم به معنی قیر، هنگامی که به صورت کلی "سیمان آسفالتی" معرفی می‌شود، به کار برد. در اروپا، "بتن آسفالتی" یک نوع خاصی از مخلوط است (بخش ۲-۶-۲) که وقتی مشخص نباشد که به نوع خاصی از مخلوط اشاره دارد یا همهٔ آن‌ها می‌تواند باعث سردرگمی‌شود، درحالی که بیندر به عنوان قیر شناخته می‌شود.

بر طبق تعریف اروپایی در قبال لایه‌های روسازی "لایه رویه" در بالا قرار داشته و پس از آن " لایه آستر" و "اساس" (که ممکن است به اساس بالایی و اساس پایینی تقسیم شود) قرار دارند در حالی که طبق اصطلاحات امریکایی که قبلا در بریتانیا مورد استفاده قرار می‌گرفت روسازی شامل لایه پوششی، لایه اساس و بستر راه است. در صورتی که اصطلاح " لایه اساس" هم برای لایهٔ دوم با فضای حذف شده و هم برای لایهٔ زیرین که به اشتباه قشری به آن اضافه شده، استفاده شود احتمال سردرگرمی وجود دارد.

این اصطلاحات به منظور آشنایی در جدول (۱-۱) آورده شده است. در این کتاب به‌طور کلی از اصطلاحات اروپایی استفاده خواهد شد، مگر اینکه به صورت دیگری بیان شود.

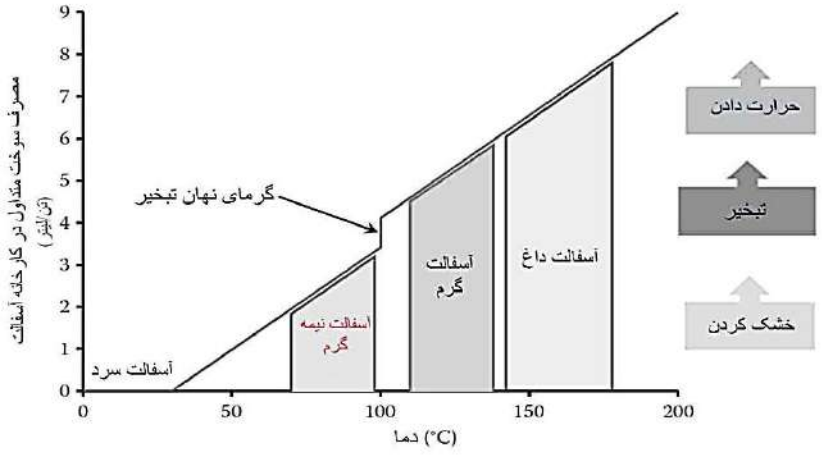
HMA اصطلاح دیگری است که هم در آمریکا و هم در اروپا برای مخلوط استفاده می‌شود. اگرچه، این اصطلاح با رشد اخیر مخلوط‌های آسفالتی که در دماهای پایین‌تر از قبل، مخلوط و پخش می‌شوند، خاص‌تر شده است. این مخلوط‌های کاهش دما یافته‌ی جدید همانطور که در شکل (۱-۱) نشان داده شده است، اگر همچنان در دمای بیش از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد مخلوط شوند

تحت عنوان مخلوط آسفالتی گرم، اگر زیر ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد مخلوط شوند تحت عنوان مخلوط آسفالتی نیمه گرم و چنانچه در دمای محیط مخلوط شوند تحت عنوان مخلوط آسفالتی سرد دسته‌بندی می‌شوند. با توجه به اینکه دمای اختلاط آسفالت بر خواص مورد نیاز آن‌ها در سرویس‌دهی تأثیر نمی‌گذارد، بنابراین این موارد در این کتاب مورد استفاده قرار نخواهند گرفت.

در نگارش این کتاب هر زمان که امکان ثابت نگه داشتن واحدها بوده است، تمام واحدها به واحدهای SI (که شامل سانتی‌متر نیست، با وجود اینکه گاهی اوقات به اشتباه در استانداردها استفاده می‌شود) تبدیل شده است. بنابراین، جایی که به آزمایش‌های آمریکایی اشاره می‌شود، به جای واحدهای بریتانیایی تبدیل متریک آورده شده است.

جدول ۱-۱: مغایرت در اصطلاحات

شرح	اروپایی	امریکایی
مخلوط	آسفالت	بتن آسفالتی
مخلوط بازیافتی	آسفالت بازیابی‌شده	روسازی آسفالتی بازیابی‌شده
چسباننده	قیر	سیمان آسفالتی
لایه بالایی	رویه: لایه رویه	لایه پوششی
لایه دوم	رویه: لایه آستر	لایه اساس
لایه پایین	اساس	اساس راه



شکل ۱-۱: دسته‌بندی آسفالت‌های کاهش دما یافته

منابع

Hunter, R N, A Self and J Read. 2015. *The Shell Bitumen Handbook*. 6th edition. London: ICE Publishing.

فصل دوم
ضوابط آسفالت

۲-۱-توسعهٔ ضوابط

ضوابط آسفالت برای انتخاب یک مخلوط آسفالتی که توانایی اجرا برای تمام مناطق مورد نیاز را داشته و همچنین در هر یک از مکانیسم‌های احتمالی شکست دچار گسیختگی نشود، طراحی شده‌اند. مبنای ضوابط اولیهٔ آسفالت تکرار آزمایش بر روی مخلوط‌هایی بود که در عمل کارایی خود را نشان داده‌اند. این رویکرد، عموماً دستورالعمل یا ضوابط دستورالعمل گونه خوانده می‌شود و همهٔ مسئولیت‌های عملکردی را بر عهده طراح/تعیین‌کنندهٔ مخلوط آسفالتی می‌گذارد که این امر پیمانکار را قادر می‌سازد تا بتواند این معیارها را به‌طور دقیق دنبال کند. از این ضوابط در کتاب موجود تحت عنوان «قرارداد» نام برده شده است زیرا به یک دستورالعمل برای آسفالت اشاره می‌کنند؛ جنبه‌ای از دستورالعمل و/یا شیوه‌ای برای تولید یا پخش آسفالت.

ضوابط قراردادی در مناطقی که مواد تشکیل‌دهندهٔ در دسترس -به‌خصوص سنگدانه ها- به اندازهٔ کافی مشابه‌اند که خواص آسفالت را تحت‌تأثیر قرار ندهند، به‌خوبی عمل می‌کنند. هنگامی‌که منطقه‌ای که معیارها برای آن در نظر گرفته شده‌اند ترکیبات مصالح مختلفی را شامل شود، برخی از الزامات مانند پوش دانه‌بندی باید برای حفظ خصوصیات نهایی آسفالت گسترده‌تر گردد. درهرحال، این ضوابط منجر به ایجاد توافقی میان میزان کافی گسترش معیارها جهت حصول اطمینان از اینکه تمام مخلوط‌های آسفالتی مناسب را شامل شود و محدود کردن معیارهایی که منجر به حذف تمام مخلوط‌های نامناسب شوند، می‌گردد.

به علاوه، ضوابط قراردادی برای یک جامعهٔ محافظه‌کار و بدون نوآوری که در آن شرایطی مانند بار ترافیکی یا آب‌وهوا تغییر نمی‌کنند، ایده‌آل می‌باشد. هنگامی‌که شرایط تغییر کرده و یا از تصمیم به استفاده از مصالح سازندهٔ دیگری باشد، اجرای چنین مصالحی حتی به صورت آزمایشی و منتظر ماندن برای کنترل عمر بهره‌برداری مورد نظر پیش از آنکه مصالح در قالب ضوابط قرار گیرند عملی نخواهد بود. به‌ویژه آنکه تا زمان رسیدن به عمر بهره‌برداری مورد نظر مجدداً شرایط و مصالح در دسترس دچار تغییر می‌شوند.

به‌منظور گسترش دامنهٔ کاربرد ضوابط و استفادهٔ حداکثری از مصالح محلی در دسترس، الزامات عملکردی نیز باید منظور گردد. این عملکرد عموماً به‌وسیلهٔ آزمایش‌های اساسی، شبیه‌سازی و یا جایگزین برای جنبه‌های مختلف عملکردی، سنجیده می‌شود که برخی از مسئولیت‌ها در خصوص عملکرد را بر عهده تأمین‌کننده می‌گذارد. تفاوت بین این نوع سنجش‌ها و همچنین الزامات قراردادی به شرح زیر است:

- **اساسی:** آزمایش‌هایی که مستقیماً ویژگی موردنظر را اندازه می‌گیرند (برای مثال مدول سفتی برای استفاده در طراحی آسفالت).
- **شبیه‌سازی:** آزمایش‌هایی که در یک وضعیت کنترل‌شده، مکانیسم شکست مربوط به ویژگی موردنظر را مشابه‌سازی می‌کند (برای مثال سرعت اثر بار چرخ برای ویژگی مقاومت در برابر تغییرشکل).
- **جایگزینی:** آزمایش‌هایی که ویژگی موردنظر را با یک ویژگی مرتبط دیگر که نسبت به آن راحت‌تر قابل اندازه‌گیری است، می‌سنجند (برای مثال تخلخل به‌عنوان معیاری برای دوام و دیگر ویژگی‌ها).
- **قراردادی:** الزامات ترکیبی و یا کاربردی که بدون هیچ‌گونه آزمایش مستقیم بر روی ویژگی‌های مخلوط آسفالتی منجر به تهیهٔ یک مخلوط تا حد ممکن شبیه به مخلوط آسفالتی مناسب قبلی می‌شود.

به‌هرحال، اضافه کردن الزامات عملکردی به مشخصات قراردادی می‌تواند مشکل مضاعفی را به همراه داشته باشد که در آن هم تأمین‌کننده باید دستورالعمل را دنبال کرده و هم دستورالعمل از پیش تعیین‌شده باید مطابق با الزامات عملکردی باشد؛ بنابراین زمانی که آزمایش‌های عملکردی استفاده می‌شوند، الزامات قراردادی باید کنار گذاشته شوند، اگرچه تشخیص این‌که کدام جنبه از این الزامات باید کنار گذاشته شود اغلب اوقات دشوار است چراکه الزامات عملکردی آن را پوشش می‌دهد. جنبه‌های مختلف این فهرست به‌طور خاص به جنبه‌های مختلف عملکرد آسفالت مربوط نمی‌شود.

جنبه دیگری این است که آیا ویژگی‌ها در آزمایشگاه اندازه‌گیری شوند تا از نیاز به حذف مصالح نامطلوب جلوگیری شود و یا در هنگام اجرای مصالح مورد سنجش قرار گیرند. حذف مصالح نامرغوب پس از اجرای آن هم گران و هم زمان‌بر است. سنجش ویژگی‌های مصالح اجرا شده، مهیا بودن الزامات موجود را تضمین می‌کند که مهارت کارگر در محل را نیز شامل می‌شود. همچنین قبل از اجرای کارهای اصلی مناطق آزمایشی نیمه‌کاره برای آزمایش نیز وجود دارند، هرچند ممکن است کنترل‌هایی نیز برای تضمین به کارگیری مهارتی مشابه با مهارت فراهم شده درکارهای اصلی، نیاز باشد. انتخاب نوع آزمایش ممکن است به‌دلیل امکان‌پذیر بودن انجام آزمایش مورد نیاز جهت تعیین ویژگی در محل تحمیل شود؛ اما بیشتر آزمایش‌های آزمایشگاهی می‌توانند بر روی موارد زیر استفاده شوند:

- آسفالت ساخته و متراکم‌شده در آزمایشگاه به‌عنوان نمونه‌های آزمایشی
- آسفالت ساخته‌شده در کارخانه و متراکم شده در آزمایشگاه به‌عنوان نمونه‌های آزمایشی

- آسفالت ساخته‌شده در کارخانه و متراکم شده در محل که نمونه‌ها از آن مغزه‌گیری یا برش داده‌شده‌اند
- آسفالت ساخته‌شده در کارخانه و متراکم شده در محل که مصالح از آن برداشت شده و دوباره در آزمایشگاه به عنوان نمونهٔ آزمایش متراکم می‌گردند.

از معایب الزامات عملکردی، دستیابی به نتایج آزمایش است که با دقت، عملکرد آسفالت در محل را با توجه به ویژگی موردنیاز، نشان می‌دهد. برای انجام این کار، آزمایش باید مستقیماً قابل‌اجرا و با توجه به دقت آزمایش، تبعیض‌آمیز باشد. به‌طورکلی، آزمایش‌های موجود به‌ندرت به این هدف دست می‌یابند.

ایده‌آل این است که الزامات آزمایش شبیه‌سازی و جایگزین باید با الزامات آزمایش اساسی که خواص ذاتی آن‌ها را اندازه‌گیری می‌کند جایگزین شوند. روشن است که این هدف، مطلوب می‌باشد اما به‌اندازه‌ای که به نظر می‌رسد ساده نیست چراکه ابتدا خواص اساسی باید مشخص شوند. میزان حفره‌های هوا و مقاومت در برابر خستگی دو نمونه‌ای هستند که این مشکلات را نشان می‌دهند. برای میزان حفره‌های هوا باید در مورد حفره‌هایی که در نظر گرفته می‌شوند و یا از آن‌ها صرف نظر می‌شود تصمیم‌گیری شود.

حفره‌های موجود بین ذرات سنگدانه‌ها، حفره‌های داخل ماستیک، حفره‌های متصل در داخل ماستیک و یا حفره‌های درون بافت سطحی. روش‌های مختلف اندازه‌گیری چگالی و به همین ترتیب میزان حفره‌های هوا ترکیب‌های مختلفی را شامل خواهند شد که همواره شامل حفره‌های متصل می‌شوند. برای مقاومت در برابر خستگی که اغلب هنگامی‌که ویژگی‌های اساسی مورد بحث هستند، مدنظر قرار می‌گیرند؛ رتبه‌بندی مخلوط‌ها، هم‌زمان به این‌که چه عملی بر آن اثر می‌کند (مثل خمش، پیچش و ...) و این‌که آزمایش به‌صورت کنترل تنش یا کنترل کرنش است بستگی دارد. در هر دوی این موارد، ویژگی اساسی نیاز به تعریفی بیشتر از موارد معمول دارد.

در اولین نسخهٔ منتشرشده از استاندارد اروپا برای بتن آسفالتی، EN 13108-1 (CEN, 2006) مشخصات مخلوط به گزینه‌های اساسی و تجربی تقسیم شد، با این هدف که مهندسان بتوانند مخلوط را یا تنها با روش‌های اساسی یا فقط با روش‌های شبیه‌سازی/جایگزین تعیین کنند. این رویکرد از آن جا که تعیین ویژگی‌های اساسی برای برخی از خصوصیات موردنیاز (برای مثال مقاومت در برابر سوخت) دشوار است، ضعیف می‌باشد و اعتبار آزمایش‌های اساسی برای بعضی از الزامات عملکردی بیشتر از سایرین پذیرفته‌شده است. استفاده از بهترین معیار موجود برای هر یک از الزامات (چه اساسی، چه شبیه‌سازی یا قراردادی)، بهتر از تلاش برای بهره بردن از تنها یک راهکار برای همه است. اولین بازنگری EN 13108-1 (CEN, 2016a) این تمایز را منحصراً بین گزینه‌های اصلی و تجربی حفظ نکرد.

حالت ایده‌آل اندازه‌گیری پتانسیل مخلوط آسفالتی برای انجام تمام ویژگی‌های موردنیاز و عدم شکست در هیچ یک از مکانیسم‌های شکست بالقوه، نیازمند دانستن تمام ویژگی‌های موردنیاز و مکانیسم‌های شکست بالقوهٔ آسفالت نه تنها پس از اجرای آسفالت بلکه حتی پس از پیرشدگی می‌باشد. اگر تمام این ویژگی‌ها و مکانیزم‌ها با اندازه‌گیری دقیق هر یک از آن‌ها شناخته‌شده باشد، نیازی به هیچ‌یک از اجزای قراردادی در ضوابط نیست و مشخصات حاصل به نوع مخلوط که توسط سطح عملکردی برای هر ویژگی تعیین می‌شود (بخش ۲-۲) مرتبط نخواهد بود (بخش ۲-۶).

زمانی‌که ضوابط مبتنی بر عملکرد، چه با استفاده از آزمایش‌های جایگزین، شبیه‌سازی یا اساسی، برای تعیین طراحی مخلوط استفاده می‌شوند، بررسی‌های انطباقی برای مخلوط که به محل تحویل داده‌شده‌اند عموماً الزامات قراردادی را بررسی می‌کنند زیرا این‌گونه آزمایش‌ها سریع‌تر و ارزان‌تر از تکرار آزمایش‌های عملکردی می‌باشند. بااین‌حال، این بررسی‌های انطباقی در مورد مخلوطی است که قبلاً برای عملکرد مورد آزمایش قرار گرفته است و مطابق بر یک دستورالعمل ایده‌آل از مشخصات نیست.

۲-۲- عدم قطعیت در نتایج آزمون

روش‌های متعددی برای تهیهٔ نمونه‌های آسفالتی برای آزمایش وجود دارد و روش مورد استفاده بر روی مقادیر حاصل‌شده در برخی از آزمایش‌های عملکردی تأثیرگذار است (گوردون و همکاران، ۱۹۹۹). جایگزین‌های اصلی برای تهیهٔ نمونه‌های متراکم شده در جدول (۲-۱) آمده است.

نمونه‌های متراکم نشده تنها به‌صورت مخلوط‌های کارخانه‌ای یا آزمایشگاهی است اما تحت‌تأثیر عواملی چون دمای اختلاط و مدت‌زمانی که مخلوط در آن دما قرار گرفته، ممکن است دستخوش تغییر شوند. تمام نمونه‌ها نیز می‌توانند تحت‌تأثیر مدت‌زمان بین ساخت و آزمایش قرار گیرند.

حتی اگر نمونه‌ها به‌صورت یکسان مخلوط و متراکم شوند، نتایج آزمایش بر روی نمونه‌های مشابه دیگر می‌تواند متفاوت باشد. بخشی از این تفاوت به این دلیل است که آسفالت مخلوطی غیر همگن از مواد تشکیل‌دهنده طبیعی غیر همگن است. خصوصاً، سنگدانه‌ها اندازه و شکل منظمی ندارند و احتمال این‌که سطح بالایی یک نمونه نیز صاف باشد بسیار کم است، بنابراین ابعاد نامشخص است. بخشی دیگر از این تفاوت به‌دلیل دقت روش آزمایش است. این دقت با توجه به تکرارپذیری و بازتولید در اکثر استانداردهای آزمایش به شرح زیر است:

- تکرارپذیری مقدار کمتر یا مساوی قدر مطلق اختلاف بین دو نتیجه آزمون حاصل شده است؛ که با همان روش بر روی نمونه‌های آزمون یکسان در همان آزمایشگاه توسط همان اپراتور با استفاده از تجهیزات مشابه در فواصل زمانی کوتاه انتظار می‌رود که با احتمال ۹۵٪ رخ دهد.

- قابلیت بازتولید مقدار کمتر یا مساوی قدر مطلق اختلاف بین دو نتیجه آزمون است که با روش مشابه بر روی نمونه‌های آزمایش یکسان در آزمایشگاه‌های متفاوت توسط اپراتورهای مختلف و با استفاده از تجهیزات متفاوت انتظار می‌رود که با احتمال ۹۵٪ رخ دهد.

جدول ۲-۱-روش‌های جایگزین آماده‌سازی نمونه

اختلاط	تراکم	نمونه‌برداری
در کارخانه	تراکم با غلتک در محل	مغزه‌گیری یا برش دال
	تراکم ضربه‌ای	هیچ
در کارخانه یا در آزمایشگاه	تراکم دال	هیچ یا مغزه‌گیری
	تراکم ارتعاشی	هیچ

بازتولید می‌تواند نسبت قابل‌توجهی از مقدار نتیجه آزمون باشد.

با توجه به اینکه مقادیر ویژگی‌های مشخص‌شده مقادیر مشخصی نیستند بلکه یک توزیع متناوب آماری هستند، مقدار مشخص‌شده می‌تواند میانگین یا مقدار مشخص باشد (معمولاً مقدار مشخص ۹۵٪، زمانی که مقدار اندازه‌گیری شده بیش از یک‌بار در هر ۲۰ آزمایش از مقدار مشخص‌شده تجاوز ننماید). مقدار مشخصی که به لحاظ تئوری غیرقابل دسترسی است، مقدار حداکثری (یا حداقلی، بر حسب ویژگی مورد نظر) است که مقدار اندازه‌گیری شده هرگز از آن عبور نخواهد کرد (یا همیشه از آن بیش‌تر است).

۲-۳- ویژگی‌های مربوط به لایه‌ها

آسفالت یک ماده بسیار پیچیده است که می‌تواند با تعدادی از ویژگی‌های مختلف طراحی گردد. به همین ترتیب، ویژگی‌های زیادی وجود دارد که می‌تواند با ویژگی‌های مختلف مورد نیاز برای لایه‌های مختلف مشخص شود. ویژگی‌های اصلی در جدول (۲-۲) نشان داده‌شده است.

«بله» نشان‌دهندهٔ این است که مقداری عملکرد موردنیاز است، اگرچه ممکن است به‌صراحت برای سطوح پایین‌تر ویژگی‌ها مشخص نشده باشد.این خواص، همراه با بررسی‌های انطباقی برای اطمینان از اینکه مخلوط تحویل داده‌شده به محل، همان چیزی است که برای داشتن عملکرد موردنیاز طراحی شده است، به‌تفصیل در فصول بعدی مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲-۴-سطوح ضوابط

مشخصات عمومی، ملی و یا غیره، باید برای مشخصات عمل مورد نظر اصلاح شوند. در مشخصات عمومی، ممکن است گزینه‌های قراردادی یا رده‌های مختلف برای الزامات عملکردی که نیازمند گزینش است، وجود داشته باشد. تصریح‌کنندگان تمایل دارند بهترین‌ها را انتخاب کنند تا این اطمینان حاصل شود که به آن چه که موردنیاز است دست می‌یابند. درهرحال، تقاضای بهترین چیزها هزینه را افزایش داده و حتی ممکن است تامین آن را غیرممکن سازد زیرا برخی از ویژگی‌ها سازگار نیستند. بهبود مقاومت خستگی عموماً مدول سفتی و مقاومت در برابر تغییرشکل دائمی را کاهش می‌دهد، درحالی‌که برای کاهش سروصدا و پاشش آب معمولاً نیاز به مخلوط‌های بافت باز است که دارای مدول سفتی نسبتاً ضعیفی هستند. به هنگام گردآوری ضوابط یک کار نیازمندی‌های محل باید صراحتاً در نظر گرفته شوند تا آسفالت برای عمر بهره‌برداری پیش‌بینی‌شده در سطح مورد نیاز عمل نماید. هیچ دلیلی برای انتظار از آسفالت جهت مقاومت در برابر سایش ایجادشده توسط یک کامیون آکاردئونی در یک کوچه بن‌بست یک منطقهٔ مسکونی و یا بالاترین سطح کاهش سروصدا در یک مکان دورافتاده یا در مرکز یک منطقهٔ کاملاً صنعتی وجود ندارد.

جدول ۲-۲: خواص مورد نیاز توسط لایه‌های آسفالت

ویژگی	لایهٔ رویه	لایهٔ آستر	اساس
تراز	بله	بله	بله
زبری	بله	خیر	خیر
مقاومت در برابر لغزش	بله	موقتاً[1]	خیر
کاهش سروصدا	در صورت نیاز	خیر	خیر
کاهش پاشش آب	در صورت نیاز	خیر	خیر
رنگ	در صورت نیاز	خیر	خیر
مقاومت در برابر تغییرشکل	بله	بله	خیر[2]
مقاومت کششی	در صورت نیاز	در صورت نیاز	در صورت نیاز
مدول سفتی	بله[3]	بله	بله
مقاومت خستگی	در صورت نیاز	بله	بله
مقاومت در برابر ترک‌خوردگی در دمای پایین	بله	بله	بله
مقاومت در برابر گسترش	بله	بله	بله

ترک مقاومت در برابر ترک‌خوردگی انعکاسی	بله	بله	بله

ادامه جدول ۲-۲: خواص مورد نیاز توسط لایه‌های آسفالت

ویژگی	لایهٔ رویه	لایهٔ آستر	اساس
حساسیت در برابر رطوبت	بله	بله	بله
چسبندگی سنگدانه و قیر	بله	بله	بله
نفوذناپذیری	بله	بله	بله
مقاومت در برابر گرشدگی و جداشدن ذرات	بله	خیر	خیر
مقاومت در برابر سایش ایجادشده توسط لاستیک‌های گل‌میخ‌دار	بله[۴]	خیر	خیر
مقاومت در برابر سوخت و مایعات ضدیخ	بله	خیر	خیر
اتصال بین لایه‌ای (با لایه تحتانی)	بله	بله	خیر

۱. اگر لایهٔ آستر قبل از آن‌که لایهٔ رویه اجرا شود تحت آمدوشد قرار گیرد؛ در غیر این صورت "خیر".
۲. "خیر" برای مقاومت در برابر تغییرشکل سطح، اما سفتی کافی برای جلوگیری از تغییرشکل سازه‌ای مورد نیاز است.
۳. برای آسفالت‌های طراحی‌شده، سفتی لایهٔ رویه اغلب برای طراحی استحکام آسفالت نادیده گرفته می‌شود زیرا جایگزینی‌های آینده ممکن است متفاوت باشد.
۴. تنها در مناطقی که از تایرهای گل‌میخ‌دار استفاده می‌شود.

۲-۵- ضوابط بین‌المللی

۲-۵-۱-استانداردهای هماهنگ اروپایی

اولین ویرایش‌های ضوابط استاندارد اروپایی به‌عنوان سری EN 13108 در سال ۲۰۰۶ با تجدیدنظر در سال ۲۰۱۶ منتشر شد. ضوابط توسط یک سری از روش‌های آزمایش استاندارد در سری EN 12697 پشتیبانی شد که اولین بار در سال ۲۰۰۰ منتشر شده بود. پیش‌نویس هر دو سری به زبان

انگلیسی است و در هر مرحلهٔ تقاضا به زبان‌های فرانسه و آلمانی ترجمه‌شده‌اند و پس‌ازآن نیز این سه زبان منتشرشده به زبان‌های دیگر ترجمه شده‌اند. پیش‌ازاین استانداردها، هر کشوری استانداردهای خود را برای ضوابط و روش‌های آزمون داشت که ازلحاظ ساختار، جنبه‌های پوشش داده‌شده و محتوای فنی متفاوت بودند، درحالی‌که همه آن‌ها باید درصورتی‌که محتوایشان با استانداردهای جدید جایگزین می‌شد، کنار گذاشته می‌شدند. علی‌رغم اینکه مخلوط‌های آسفالتی، زمانی که هم تأمین‌کننده و هم محل اجرا در درون مرز ملی هستند، تنها از ضوابط ملی تبعیت می‌کنند، رفع موانع تجاری نیازمند هماهنگ‌سازی بود. بااین‌وجود، این واقعیت که ضوابط یکسان هستند (اگر به یک زبان دیگر ترجمه شده باشد) بدان معناست که تأمین‌کنندگان و پیمانکاران باید بتوانند در تمام کشورهای اروپایی که این استانداردها را پذیرفته‌اند، این الزامات را به راحتی متوجه شوند. بااین‌حال، استفاده از اسناد راهنمای مختلف برای استفاده از استانداردها در کشورهای خاص، این مزیت را به‌شدت نفی می‌کند. کشورهای اروپایی بیشتری که حتی جزء اتحادیهٔ اروپا نیستند نیز از استانداردهای CEN استفاده می‌کنند که لیست این کشورها تا زمان نگارش کتاب (پیش از تصمیم‌گیری دربارهٔ نتایج انتخابات ژوئن ۲۰۱۶ انگلستان برای جدایی از اتحادیه اروپا) بدین شرح است:

قبرس	پرتغال	مجارستان	اتریش
آلمان	سوئد	لیتوانی	دانمارک
ایتالیا	کرواسی	لهستان	یونان
هلند	فرانسه	اسپانیا	لتونی
اسلواکی	ایرلند	مقدونیه	نروژ
ترکیه	مالت	بلغارستان	اسلوونی
	رومانی	فنلاند	جمهوری چک
	سوئیس	ایسلند	بلژیک
	انگلستان	لوکزامبورگ	استونی

۱۱ قسمت از EN 13108 با عنوان کلی «مخلوط آسفالتی- مشخصات مصالح» وجود دارد. عناوین این قسمت‌ها عبارت‌اند از:

- EN 13108-1، بتن آسفالتی
- EN 13108-2، بتن آسفالتی برای لایه‌های بسیار نازک
- EN 13108-3، آسفالت نرم
- EN 13108-4، هات رلد آسفالت
- EN 13108-5، آسفالت با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای

- EN 13108-6، ماستیک آسفالت
- EN 13108-7، آسفالت متخلخل
- EN 13108-8، آسفالت بازیافتی
- EN 13108-9، آسفالت برای لایه‌های فوق‌العاده نازک
- EN 13108-20، آزمایش نوع
- EN 13108-21، کنترل تولید کارخانه

قسمت‌های ۱ تا ۷ و ۹ دربارهٔ مشخصات مربوط به انواع مختلف آسفالت می‌باشد. قسمت ۸ مربوط به مشخصات مصالح تشکیل‌دهنده و بخش‌های ۲۰ و ۲۱ نیز استانداردهای کنترل کیفیت هستند.

ازلحاظ نظری، هیچ‌یک از آسفالت‌ها (و یا سنگدانه‌ها و همین‌طور قیر) بدون اخذ علامت استاندارد CE و تطابق محصول با استانداردهای کنترل کیفیت به علاوهٔ یکی از ضوابط مصالح در بازار هیچ یک از کشورهای ذکرشده در بالا، نمی‌تواند مورد معامله قرار گیرد. این عدم تطابق یک مسألهٔ استانداردهای تجارت و همچنین یک معاهده با پتانسیل زندانی کردن مقامات ارشد شرکت به وجود آورده است.

اولین نسخه EN 13108 برای آسفالت داغ تهیه شد، هرچند که این فرض به‌جز در عنوان روش‌های آزمایش مرتبط در EN 12697 تحت عنوان "مخلوط آسفالتی- روش‌های آزمایش برای آسفالت داغ" به‌صراحت بیان نشده است. بااین‌حال، آسفالت‌های با دمای پایین‌تر (بخش ۱-۲) به‌طور گسترده‌ای مورداستفاده قرارگرفته‌اند که موجب سردرگمی در خصوص اینکه این مصالح توسط EN 13108 پوشش داده می‌شوند یا نه شده است. به‌منظور روشن کردن این موضوعات، تصمیم گرفته شد تا آن‌ها را به روش‌های زیر در نظر بگیرند:

- تدوین یک بخش جدید در EN 13108 برای بتن آسفالتی با امولسیون قیری
- مشخص نمودن محدودهٔ هر روش آزمایش در EN 12697 برای به‌کارگیری در کدام نوع آسفالت و سپس حذف "برای آسفالت داغ" از عنوان در بازبینی بعدی.

بخش‌های EN 12697 شامل آماده‌سازی نمونه و نیز روش‌های آزمایش واقعی است. قسمت‌های موجود عبارت‌اند از:

- بخش ۱: مقدار قیر محلول
- بخش ۲: تعیین توزیع اندازه ذرات
- بخش ۳: بازیابی قیر: تبخیرکننده دوار
- بخش ۴: بازیابی قیر: برج تقطیر
- بخش ۵: تعیین حداکثر تراکم

- بخش ۶: تعیین چگالی حقیقی نمونه‌های آسفالتی
- بخش ۷: تعیین چگالی حقیقی نمونه‌های آسفالتی به کمک اشعهٔ گاما
- بخش ۸: تعیین مشخصات حفره‌های نمونهٔ آسفالتی
- بخش ۱۰: تراکم‌پذیری
- بخش ۱۱: تعیین چسبندگی میان سنگدانه و قیر
- بخش ۱۲: تعیین حساسیت نمونه‌های آسفالتی نسبت به آب
- بخش ۱۳: اندازه‌گیری دما
- بخش ۱۴: درصد رطوبت
- بخش ۱۵: تعیین حساسیت نسبت به جداشدگی
- بخش ۱۶: سایش در اثر لاستیک‌های گل‌میخ‌دار
- بخش ۱۷: جداشدن دانه‌ها در نمونه‌های آسفالتی متخلخل
- بخش ۱۸: زهکشی قیر
- بخش ۱۹: نفوذپذیری نمونه
- بخش ۲۰: آزمایش فرورفتگی با استفاده از نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای
- بخش ۲۱: آزمایش فرورفتگی با استفاده از نمونه‌های صفحه‌ای
- بخش ۲۲: اثر بارگذاری چرخ
- بخش ۲۳: تعیین مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه‌های آسفالتی
- بخش ۲۴: مقاومت خستگی
- بخش ۲۵: تراکم سیکلی
- بخش ۲۶: سفتی
- بخش ۲۷: نمونه‌برداری
- بخش ۲۸: آماده‌سازی نمونه‌ها برای تعیین میزان قیر، آب و دانه‌بندی
- بخش ۲۹: تعیین ابعاد یک نمونهٔ آسفالتی
- بخش ۳۰: تهیه نمونه با استفاده از متراکم کنندهٔ ضربه‌ای
- بخش ۳۱: تهیه نمونه با استفاده از متراکم کنندهٔ دورانی
- بخش ۳۲: متراکم کردن مخلوط آسفالتی در آزمایشگاه با استفاده از متراکم کننده ارتعاشی
- بخش ۳۳: نمونهٔ تهیه‌شده توسط متراکم کنندهٔ غلتکی
- بخش ۳۴: آزمایش مارشال
- بخش ۳۵: اختلاط در آزمایشگاه

- بخش ۳۶: تعیین ضخامت یک روسازی آسفالتی
- بخش ۳۷: آزمایش ماسه گرم برای چسبندگی قیر به سنگدانه‌های پخش‌شده روی سطح برای آسفالت هات رلد
- بخش ۳۸: تجهیزات متداول و کالیبراسیون
- بخش ۳۹: تعیین مقدار قیر به وسیلهٔ احتراق
- بخش ۴۰: قابلیت زهکشی در محل
- بخش ۴۱: مقاومت در برابر مایعات ضدیخ
- بخش ۴۲: آنالیز مواد خارجی درشت‌دانه در آسفالت بازیافتی
- بخش ۴۳: مقاومت در برابر سوخت
- بخش ۴۴: گسترش ترک توسط آزمون خمش نیم‌دایره‌ای
- بخش ۴۵: آزمایش آماده‌سازی سفتی کششی پیرشدگی اشباع (SATS)
- بخش ۴۶: ترک‌خوردگی در دمای پایین و ویژگی‌های آن با آزمایش کشش تک‌محوری
- بخش ۴۷: تعیین میزان خاکستر آسفالت طبیعی
- بخش ۴۹: تعیین اصطکاک بعد از صیقلی‌شدن

لازم به ذکر است که از قسمت ۹ برای تراکم مرجع صرف نظر شده است زیرا این موضوع در EN 13108-20 مورد بحث قرار گرفت. بخش‌های دیگر که زمان نگارش این کتاب در حال توسعه‌اند بدین شرح‌اند:

- بخش ۴۸: مقاومت اتصال بین لایه‌ها
- بخش ۵۰: مقاومت در برابر خراشیدگی لایهٔ رویه
- بخش ۵۱: آزمایش مقاومت برشی رویه
- بخش ۵۲: آماده‌سازی برای نشان دادن پیری اکسیداتیو
- بخش ۵۳: افزایش پیوستگی با روش سنجش قابلیت پخش‌شدگی
- بخش ۵۴: فرآیند عمل‌آوری آزمایشگاهی برای مخلوط آسفالتی با امولسیون قیر

۲-۵-۲-ضوابط برنامهٔ تحقیقات استراتژیک راه ایالات‌متحده

تا پیش از اواخر قرن گذشته، ایالات‌متحده پیرامون وضعیت شبکه جاده‌های خود دچار نگرانی بود. در آن زمان، روش‌های طراحی مارشال و ویم به‌طور گسترده مورداستفاده قرار می‌گرفتند اما هیچ‌یک از این روش‌ها بر اساس عملکرد یا حتی مرتبط با عملکرد نبودند؛ بنابراین، یک تحقیق کلان ملی تحت‌عنوان برنامه تحقیقات استراتژیک راه (SHRP) انجام شد که منجر به دستیابی به روش طراحی مخلوط روسازی ممتاز و درجه‌بندی عملکردی قیر مرتبط با آن شد.

هدف سیستم طراحی مخلوط روسازی ممتاز (Cominski, 1994) معرفی مخلوطی اقتصادی از قیر و سنگدانه است که آسفالتی دارای: قیر کافی، فضای خالی کافی بین مصالح سنگی (VMA)، میزان حفره‌های هوای کافی، کارپذیری کافی و مشخصات عملکردی مطلوب در طول عمر بهره‌برداری روسازی تولید می‌کند.

مفهوم سیستم طراحی مخلوط روسازی ممتاز استفاده از مصالح موجود جهت طراحی یک مخلوط است که به یک سطح عملکرد متناسب با نیازهای ترافیکی و زیست‌محیطی روسازی، ساختار روسازی و قابلیت اطمینان (یعنی به حداقل رساندن خطر) مورد نیاز از طراحی دست پیدا کند. الگوریتم تهیهٔ طراحی مخلوط روسازی ممتاز در شکل (۲-۱) نشان داده شده است. در هر مرحله باید تصمیم‌گیری انجام‌شود تا الزامات عملکردی معین روسازی تا آنجا که امکان‌پذیر است محقق شود.

سه سطح طراحی در سیستم طراحی مخلوط روسازی ممتاز امکان انتخاب یک فرایند طراحی مناسب را برای بارهای وسایل نقلیه و حجم ترافیک که با کل بار منفرد هم‌ارز معادل ۸۰ کیلو نیوتن در طول عمر بهره‌برداری روسازی اندازه‌گیری شده است می‌دهد. توصیه‌هایی برای استفاده از سه سطح طراحی، که تنها به منزلهٔ راهنمای پیشنهادی هستند، در جدول (۲-۳) ارائه شده است.

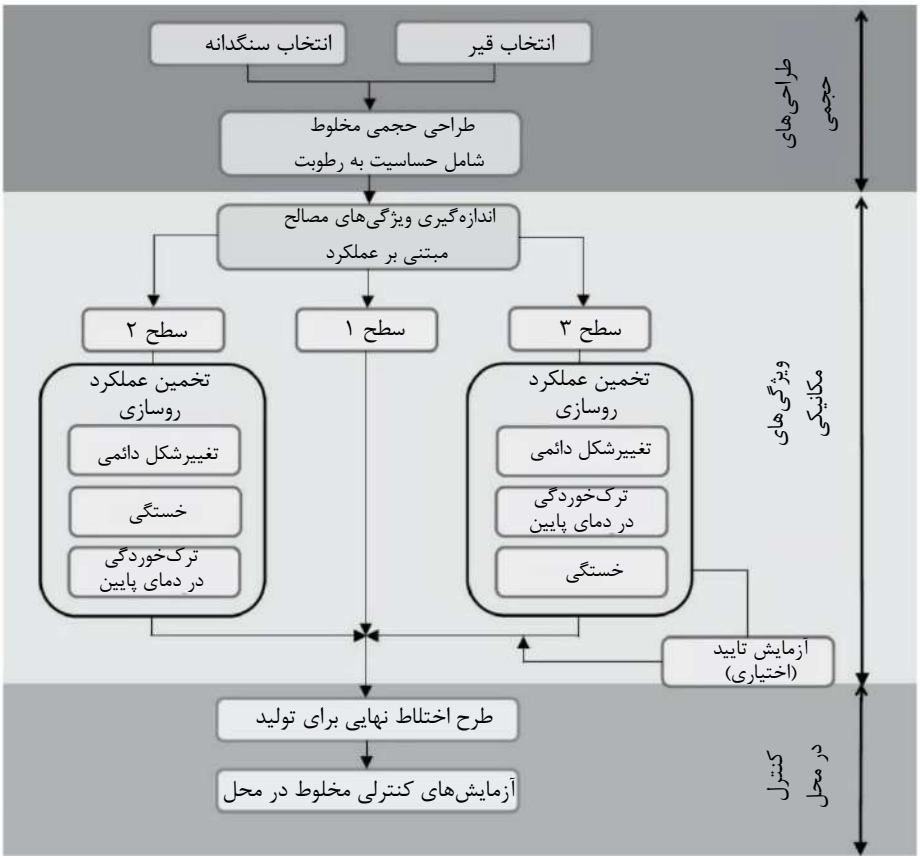
پیچیدگی فرایند طراحی به‌طور چشم‌گیری از سطح ۱ تا ۳ افزایش می‌یابد به‌طوری‌که در سطح ۳ نیازمند تعداد بیشتری آزمایش، نمونه و زمان برای تکمیل طراحی مخلوط می‌باشد. با این حال، قابلیت اطمینان طراحی با انجام آزمایش بیشتر، افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که احتمال این‌که آسفالت برای عمر بهره‌برداری روسازی تحت شرایط پیش‌بینی‌شده ترافیکی و آب‌وهوایی به‌طور مطلوب عمل کند، بیشتر می‌شود.

هر سه سطح طراحی به‌صراحت اثرات آب‌وهوا (محیط) را بر عملکرد روسازی با انتخاب درجهٔ عملکرد (PG) قیر در نظر می‌گیرد. درجهٔ عملکردی بازه شامل حداکثر و حداقل دمای طراحی روسازی در محل اجرا بر حسب درجهٔ سانتی‌گراد است. به‌عنوان یک راهنمایی کلی، اگر اختلاف این دو عدد کمتر از ۹۰ درجه سانتی‌گراد باشد، قیر اصلاح نشده و درصورتی‌که اختلاف بیش از این مقدار باشد، قیر یک قیر اصلاح‌شده با پلیمر (PmB) است.

لیست بررسی جزئیات طراحی برای استفاده از روسازی ممتاز به شرح زیر است (Brown et al., 2001):

- استفاده از یک قیر با درجه‌بندی عملکردی (PG) و یک مقدار طراحی N مناسب برای آب‌وهوا، سطح ترافیک و سرعت ترافیک برای پروژهٔ مدنظر. ترافیک سنگین و آهسته به یک قیر PG سفت‌تر از قیر مصرفی در گذشته نیاز خواهد داشت.

- بررسی این‌که یک طراحی مخلوط کامل مطابق با ضوابط انجام شده است و تمام الزامات ویژگی‌های کلی سنگدانه و معیارهای حجمی مشخص را در نظر گرفته است.



شکل ۲-۱: ساختار سیستم طراحی روسازی ممتاز. سطح ۳ بالاترین میزان تخمین قابل‌اعتماد از عملکرد روسازی را شامل می‌شود. (برداشته‌شده از.Cominski, R J ۱۹۹۴. کتاب راهنما طراحی روسازی ممتاز برای سازه‌های جدید و روکش. Washington, DC .SHRP-A-407: برنامه تحقیقاتی استراتژیک راه‌ها، شورای تحقیقات ملی، آکادمی ملی علوم، واشنگتن دی سی، ۱۹۹۴. بازنشر با مجوز هیئت تحقیق حمل‌ونقل.)

- بررسی این‌که طرح ارائه‌شده حاوی میزان معقولی از قیر برای مصالح مصرفی و سطح طراحی مشخص‌شده می‌باشد.
- به‌طورکلی، فیلر (مصالح عبوری از الک شماره ۲۰۰) بیشتری برای مخلوط‌های آسفالتی با سنگدانه‌های درشت نیاز است. مشخصات فیلر تعیین می‌کند که تا چه میزان فیلر

می‌تواند به مخلوط اضافه گردد. نمونه‌های آزمایشگاهی باید شامل مقدار مورد انتظار فیلر تولیدشده در کارخانه باشند.

- در مخلوط‌های درشت‌دانه، اگر VMA بیش از ۱/۵ ٪ از حداقل مشخص‌شده باشد بالاتر باشد، زهکشی قیر باید کنترل شود.
- زهکشی بیش‌ازحد قیر نشان‌دهندهٔ این است که مقدار قیر با توجه به درجهٔ قیر، نوع سنگدانه و یا دانه‌بندی مورداستفاده بسیار زیاد است.

جدول ۲-۳: سطوح ترافیک طراحی پیشنهادی

سطح طراحی	ترافیک طراحی (۸۰ کیلو نیوتن ESALs)
سطح ۱ (پایین)	$\leq 10^6$
سطح ۲ (متوسط)	$\leq 10^7$
سطح ۳ (بالا)	$< 10^7$

منبع: Cominski, R J. ۱۹۹۴: کتاب راهنما طراحی روسازی برای سازه‌های جدید و روکش‌ها. SHRP-A-407 Washington, DC: برنامه تحقیقاتی استراتژیک راه‌ها، شورای تحقیقات ملی، آکادمی ملی علوم، واشنگتن دی سی، ۱۹۹۴. بازنشر با مجوز هیئت تحقیق حمل‌ونقل.

- ارزیابی عملکرد مورد انتظار از مخلوط آسفالتی با استفاده از یک آزمایش شاخص عملکرد که به‌خوبی بر مبنای تجربیات محلی، عمل کرده است.
- بررسی ویژگی‌های مخلوط تولیدشده در کارخانه، برای کنترل ویژگی‌های حجمی. هرکدام از آزمایش‌های عملکردی که حین طراحی مخلوط بر روی مخلوط تهیه‌شده در کارخانه صورت گرفته بود باید دوباره تکرار شوند.

بااین‌حال، الزام VMA بحث‌برانگیز می‌باشد چراکه یک مقدار حداقل از VMA موردنیاز است که به لحاظ نظری، می‌تواند هر مقدار بالاتر از حداقل موردنیاز باشد. علاوه بر این، الزام تطبیقی برای مخلوط‌های درشت‌دانه وجود ندارد.

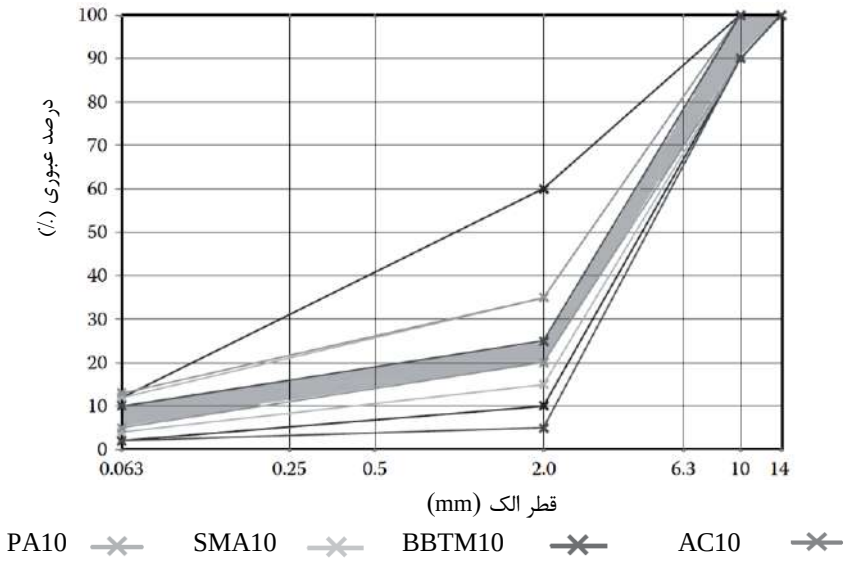
۲-۶- دسته‌بندی‌های آسفالت

۲-۶-۱- دید کلی

انواع مختلفی از آسفالت وجود دارد که به‌طورکلی به‌صورت زیر در نظر گرفته می‌شوند:

- براساس دانه‌بندی و درجه و مقدار قیر تعریف می‌شوند.
- ویژگی‌های خاصی دارند که از آن ترکیب حاصل شده است.

اگرچه، دانه‌بندی مشخص‌شده برای هر نوعی از آسفالت تا حد کافی منحصربه‌فرد نیست که اجازه دهد نوع مخلوط آسفالتی موردنظر به کمک آنالیز مخلوط تعیین گردد. این فقدان شفافیت را می‌توان با مقایسهٔ دانه‌بندی مورد نظر اروپایی، برای مخلوط‌هایی که دارای سنگدانه با حداکثر اندازهٔ اسمی ۱۰ میلی‌متر که در آن پوش دانه‌بندی می‌تواند به انواع بتن آسفالتی (AC10)، لایهٔ بسیار نازک از بتن آسفالتی (BBTM10)، آسفالت با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای (SMA10) و یا آسفالت متخلخل (PA10)، به‌طوری‌که در شکل (۲-۲) نشان داده شده است، تقسیم‌بندی شود، نشان داد.



شکل ۲-۲: همپوشانی پوش‌های دانه‌بندی سنگدانه

به همین ترتیب، مخلوط‌های مختلف ممکن است دارای ویژگی‌های خاص "خوب" یا "بد" باشند اما مقدار کمّی این ویژگی‌ها می‌توانند برای هر نوع مخلوطی، به‌طور بسیار گسترده‌ای، متفاوت باشند. فرض بر این است که یک مخلوط با دانه‌بندی ترکیبی AC10، BBTM10، SMA10 با دانه‌بندی باز و یا PA10 با دانه‌بندی متراکم اما با خواص نسبی ضعیف که معمولاً برای هر یک از این انواع مخلوط انتظار می‌رود، است.

رویکرد ایده‌آل برای برخی از مهندسین می‌تواند جایگزین نمودن تعیین نوع مخلوط آسفالتی با تعیین ویژگی‌های مورد نیاز باشد. بااین‌حال، بسیاری از مهندسان دیگر محافظه‌کارانه‌تر عمل می‌کنند، زیرا قابلیت تعیین نوع مخلوط اجازه می‌دهد که بقیه ضوابط برای کارهایی با حساسیت

کم‌تر با ترافیک پایین‌تر، نسبتاً محدود شوند. برای ترافیک‌های سنگین و/یا کارهای حساس‌تر همچنان ضوابط فولر مورد نیاز است.

۲-۶-۲- بتن آسفالتی

۲-۶-۲-۱-کلیات

بتن آسفالتی (Asphalt Concrete: AC) نوع ساده از مخلوط آسفالتی گرم می‌باشد که به‌طور گسترده‌ای در دهه‌های مختلف در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است امابه‌تازگی به صورت زیرگروه‌های دیگری توسعه یافته است. ضوابط استاندارد اروپایی برای بتن آسفالتی، EN 13108-1 (CEN, 2016a) می‌باشد درحالی‌که جزئیات برخی از زیرگروه‌ها ممکن است در اسناد راهنمای ملی یافت شوند، مانند PD 6691 (BSI, 2015) انگلستان. فرآورده‌هایی که در زیر توصیف شده‌اند زیرگروه‌های یادشده فوق می‌باشند درحالی‌که جزئیات بیشتر دربارهٔ رویهٔ بتن آسفالتی را می‌توان در Nicholls (۱۹۹۸) یافت.

۲-۶-۲-۲-ماکادام

ماکادام اسکلتی متراکم از سنگدانه می‌باشد که توسط مهندس اسکاتلندی John Loudon McAdam در سال ۱۸۲۰ توسعه داده شد. این مخلوط با یک پروفیل برآمده، تا پیش از توسعهٔ مصالح روسازی چسبنده، یک راه به نسبت نفوذناپذیر را به وجود می‌آورد. سطح نهایی نیز با استفاده از یک دانه‌بندی پیوسته که هر اندازه از دانه‌ها فضای خالی باقی‌مانده از اسکلت با سایز بزگ‌تر را پر می‌کرد، ایجاد می‌شد. در ادامه با استفاده از قطران، که بعدها سرطان‌زا شناخته شد، در ماکادام تارمادکام یا تارماک (که به‌طور عامیانه و بدون در نظر گرفتن دانه‌بندی و نوع قیر با نام مصالح روسازی "سیاه" شناخته می‌شود) و پس از آن نیز با استفاده از قیر، بیتماک (که پس از کاهش استفاده از قطران نام آن به اختصار به ماداکام تغییر یافت) حاصل شد که لایه‌های چسبنده را شکل می‌دادند.

ماداکام قیری، برای مدت طولانی مخلوط آسفالتی اصلی مورد استفاده در راه‌های کم‌تردد و به‌عنوان یک لایهٔ ساختاری برای راه‌های اصلی‌تر در انگلستان بود. مقاومت و تخلخل بسته به فضای خالی موجود در مخلوط متفاوت است که با توجه به PD 6691 (BSI, 2015) به انواع اصلی ماکادام قیری متراکم، مخلوط قیری متراکم (DBM)، ماداکام با دانه‌بندی توخالی، رویهٔ متراکم و رویهٔ با دانه‌بندی بسته تقسیم می‌شود. قیر مورداستفاده برای این مخلوط‌ها معمولاً از نوع ۴۰/۶۰ می‌باشد؛ اگرچه می‌توان از قیرهای با درجات نرم‌تر به‌خصوص در مناطق سرد نیز استفاده نمود. انواع مختلفی از مخلوط قیری متراکم برای ایجاد سختی بیشتر تولید شده‌اند که شامل ماداکام

مقاوم (HDM) با مقدار فیلر افزایش یافته و اساس با مدول بالا که مخلوط مقاوم (با قیر سفت‌تر) نیز نامیده می‌شود، است. اگرچه استفاده از مخلوط‌هایی با قیر خیلی سفت موجب دشوارتر شدن تراکم آن، تخریب بسیار زودرس، از دست دادن مدول سفتی که برای آن ساخته شده بود و یا حتی تجزیه کامل می‌شود (شکل ۲-۳).

۲-۶-۲-۳-آسفالت مارشال

بروس مارشال از دپارتمان راه‌های می‌سی‌سی‌پی روش طراحی مخلوطی را در سال ۱۹۳۹ ارائه داد که توسط ارتش ایالات‌متحده تصحیح شد. در حال حاضر، روش مارشال در حدود ۳۸ ایالت آمریکا استفاده می‌شود. اساس این روش بهینه‌سازی مقدار قیر با توجه به استقامت مارشال، روانی مارشال، چگالی ظاهری، حفرات موجود مخلوط و حفرات پرشده با قیر می‌باشد. دو ویژگی اول آزمایش‌هایی بودند که به‌طور خاص برای روش‌های طراحی ایجاد شده‌اند.

در گذشته روش مارشال محبوب‌ترین روش برای طراحی آسفالت با عملکرد بالا بوده است. درحالی‌که طراحی آسفالت برای راه‌ها در ایالات‌متحده به روش سوپرپیو و الزامات عملکرد خاص برای ویژگی‌های مختلف تغییریافته است، این روش هنوز هم به‌طور گسترده‌ای برای روسازی فرودگاه‌ها استفاده می‌شود. این بتن‌های آسفالتی طراحی‌شده به روش مارشال، مخلوط آسفالتی مارشال نامیده می‌شوند. آسفالت مارشال را می‌توان برای تمام لایه‌های روسازی استفاده کرد.

شکل ۲-۳ یکپارچگی ضعیف HMB در حضور آب (با کسب اجازه از Dr. Mike E Nunn)

آسفالت مارشال دارای دانه‌بندی پیوسته‌ای است که با مقدار بهینه‌ای از قیر بـه یکـدیگر متصـل شده‌اند تا یک مخلوط متراکم و نفوذناپذیر را پدید آورند.

به‌دلیل کنترل کیفیت بالاتر موردنیاز برای آسفالت مارشـال در مقایسـه بـا مخلوط‌هـای دیگـر، وزارت دفاع انگلیس (MoD, 2009) خواستار یک کارخانه اختلاط اختصاصی در سایت بـه‌جای یـک کارخانه تجاری که در هرروز کاری انواع مختلفی از آسفالت‌ها را تولید می‌کند، می‌باشد.

۲-۶-۲-۴- آسفالت مدولار بالا

آسفالت مدولار بالا یا EME نوعی از آسفالت است که قیر مورداستفاده در آن سخت و معمولاً از نوع ۱۰/۲۰ یا ۱۵/۲۵ می‌باشد که دارای مقدار کمی حفره هوا می‌باشد؛ بنابراین، این نوع آسـفالت یـک مخلوط بسیار سفت است که باید بر روی زیراساس سفت قرار گیرد و نباید در معرض اکسیداسیون باشد چراکه باعث شکننده‌تر شدن قیر می‌شود. علاوه بر این، به‌دلیل پتانسیل پیرشـدگی قیـر (اگـر برای رویه به‌کار رود) فقط برای اساس و آستر مناسب است.

این آسفالت در فرانسه حدود ۲۵ سال پیش به‌عنوان آسـتر یـا مصـالح اسـاس تولیـد شـد کـه مشخصات مکانیکی مناسب (توانایی پخش بار، مقاومت در برابر تغییرشکل و ترک‌خوردگی)، دوام و نفوذناپذیری را فراهم می‌آورد. (Widyatmoko et al, 2007).

اندازه سنگدانه این آسفالت ۰/۱۰، ۰/۱۴ و ۰/۲۰ میلی‌متر می‌باشد. EME بر دو نـوع مـی‌باشـد: نوع ۱ با میزان بسیار کم قیر و کاربرد کم برای روسازی‌های با عملکرد بالا و نـوع ۲ بـا مقـدار قیـر بیش‌تر و مناسب برای این نوع روسازی‌ها.

۲-۶-۲-۵- بتن آسفالتی برای روسازی فرودگاه

بتن آسفالتی برای روسازی فرودگاه یا BBM در فرانسه تولید شد. این مخلـوط، مخلـوط آسـفالتی استاندارد برای رویهٔ فرودگاه‌ها بوده که تقریباً در تمام روسازی فرودگاه‌ها در فرانسه مـورد اسـتفاده قرار گرفته است. در حال حاضر انگلستان نیز این آسفالت را در استانداردهای خود قرار داده اسـت. BBM حتی بدون ایجاد شیار نیز مقاومت لازم در برابر لغزندگی را فراهم کـرده و بـه محـض سـرد شدن مصالح تردد بر روی آن امکان‌پذیر است.

چهار نوع مصالح برای مخلوط آسفالتی BBM وجود دارد که می‌تواند بـرای لایـه‌های آسـتر یـا رویه در هنگام احداث روسازی جدید و یا در هنگام روکش کردن استفاده شود. (Widyatmoko et al, 2007). این چهار نوع مصالح عبارت‌اند از: سنگدانه‌های ۰/۱۰ میلـی‌متـر بـا دانه‌بنـدی متـراکم، سنگدانه‌های ۰/۱۰ میلی‌متر با دانه‌بندی باز، سنگدانه‌های ۰/۲۰ میلـی‌متـر بـا دانه‌بنـدی متـراکم و سنگدانه‌های ۰/۲۰ میلی‌متر با دانه‌بندی باز.

طبق ضوابط فرانسوی، BBM دارای سه نوع دیگر نیز می‌باشد (یعنی BBA1، BBA2 و BBA3) با مشخصات اجزای مخلوط، ویژگی‌های حجمی و سطح آزمایش‌های عملکردی موردنیاز که برای فرکانس‌ها و وزن‌های مختلف هواپیما و مناطق مختلف آب‌وهوایی تعریف شده‌اند.

۲-۶-۳-آسفالت متخلخل

آسفالت متخلخل یا PA که قبلاً با عنوان ماداکام نفوذپذیر شناخته می‌شد، یک مخلوط با فضای باز بسیار زیاد است که دارای حدود ۲۰ درصد حفره هوا می‌باشد که اغلب با استفاده از سنگدانه‌های یک اندازه ساخته می‌شود. بااین‌حال، برای ساخت یک ملات با قیر جهت چسباندن اجزای مخلوط به یکدیگر، باید از سنگدانه‌های ریز نیز استفاده شود. هرچه مقدار ملات، به ویژه مقدار قیر بیشتر باشد، مخلوط را بادوام‌تر ساخته اما می‌تواند تأثیر آن را بر روی برخی از ویژگی‌های خاصی که این آسفالت برای دستیابی به آن‌ها ساخته شده است کاهش دهد. میزان قیر موردنیاز با خارج شدن قیر اضافی و جابه‌جایی مابقی قیر توسط آن، قابل حفظ شدن بر روی سطح سنگدانه‌ها نیست. استفاده از PmB باعث افزایش قیر حفظ شده می‌گردد که می‌تواند به علت ویسکوزیته بالای خود نگه داشته شود زیرا می‌تواند شامل فیبرهای مختلف ازنظر سطح اضافی شود.

مهم‌ترین ویژگی که باعث محبوبیت PA شده، تولید سروصدای بسیار کم تایر، پاشیدگی بسیار کم در هنگام بارندگی و جلوگیری از تجمع آب روی سطح است که می‌تواند باعث لغزش روی آن شود. با این حال، این ویژگی‌ها با گذشت زمان به دلیل پر شدن حفره‌های هوا از مواد ریز تضعیف می‌شوند. این آسفالت می‌تواند تمیز شود، اما تمیز کردن به‌طور کامل ویژگی‌های اصلی را برنمی‌گرداند (Nicholls, 1997). بااین‌حال، حفره‌دار بودن ذاتی PA به آن ویژگی‌های سازه‌ای ضعیف می‌دهد و عمر مفید آن را در مقایسه با آسفالت‌های متراکم‌تر کاهش می‌دهد.

EN 13108-7 (CEN, 2016b) ضوابط استاندارد اروپایی برای PA می‌باشد.

۲-۶-۴-آسفالت ماستیک درشت‌دانه

آسفالت ماستیک درشت‌دانه یا SMA با به‌کار بردن ویژگی‌های بتن آسفالتی و ماستیک آسفالت به‌منظور غلبه بر مشکل تایرهای گل‌میخ‌دار بر راه‌ها در آلمان ساخته شد. این مشکل بعدها با ممنوعیت استفاده از این لاستیک‌ها حل گردید اما پس‌ازآن مخلوط به دلیل مقاومت خود بسیار سودمند شناخته شد. این آسفالت شامل یک اسکلت PA با حفره‌هایی است که از ملات قیری و فیلر پر شده است. به همین دلیل از الیاف برای حفظ مقدار نسبتاً بالای قیر در PA استفاده می‌شود.

اسکلت PA موجب درگیری و در هم قفل شدن بهتر سنگدانه‌ها گردیده که به‌نوبه خود باعث ایجاد مقاومت ساختاری و مقاومت در برابر تغییرشکل مناسب می‌شود؛ بنابراین، می‌توان آن را در تمام لایه‌های روسازی استفاده کرد، اگرچه به‌طورکلی به‌عنوان یک مخلوط اساس در انگلستان استفاده نمی‌شود.

معیارهای استاندارد اروپایی برای SMA، EN 13108-5 (CEN, 2016c) می‌باشد.

۲-۶-۵- بتن آسفالتی برای لایه‌های بسیار نازک

AC برای لایه‌های بسیار نازک (béton bitumineux très minces, BBTM) نوع دیگری از آسفالت است که در فرانسه ساخته شد. همان‌طور که از نام آن پیداست، BBTM به‌صورت نسبتاً نازک پخش شده و به همین دلیل تقریباً تنها برای لایهٔ رویه مورد استفاده قرار می‌گیرد. BBTM نسبتاً مشابه SMA می‌باشد، با این تفاوت که به جای الیاف از PmB برای حفظ مقدار بالای قیر که در واقع بیشتر از SMA است استفاده می‌شود. اگرچه، تمایز بین دو نوع مخلوط با استفاده از الیاف یا PmB با افزایش استفاده از هر دوی آن‌ها در سایت‌های دارای ترافیک سنگین بسیار سخت شده است.

معیارهای استاندارد اروپایی برای BBTM، EN 13108-2 (CEN, 2016d) می‌باشد.

۲-۶-۶-آسفالت برای لایه‌های فوق‌العاده نازک

آسفالت برای لایه‌های فوق‌العاده نازک یا AUTL یکی دیگر از انواع مخلوط آسفالتی است که در فرانسه طراحی‌شده و حتی در لایه‌های نازک‌تر از BBTM پخش گردیده و برای لایهٔ رویه استفاده می‌شود. این مخلوط دارای سنگدانه‌های هم‌اندازه است و به‌طور مستقیم بر روی یک پوشش پیوند که توسط یک spray-bar توزیع شده است، بر لایه فوقانی روسازی قرار گرفته است. آب آزادشده از امولسیون، در اثر شکست آن در حرارت بالای مخلوط، به دلیل نازکی و فضای باز مخلوط می‌تواند پس از پخش آسفالت به‌راحتی از آن خارج شود.

معیارهای استاندارد اروپایی برای AUTL، EN 13108-9 (CEN, 2016e) می‌باشد.

۲-۶-۷- ماستیک آسفالت

ماستیک آسفالت یا MA، یک مخلوط بسیار متراکم است که سنگدانه درشت در آن وجود ندارد بلکه فقط حاوی مقدار بسیار زیادی قیر نسبتاً سخت و سنگدانه‌های ریز می‌باشد. مقاومت این نوع مخلوط بیشتر وابسته به قیر مصرفی است تا قفل و بست میان سنگدانه‌های آن. این مخلوط علاوه بر روسازی‌ها به‌طور گسترده برای بام‌های تخت، عرشه پل‌ها و پیاده‌روها نیز مورد استفاده قرار

می‌گیرد. استفاده از قیر سخت نیازمند درجه حرارت بالا حین پخش آسفالت می‌باشد. ماستیک آسفالت شامل دو نوع است:

- ماستیک آسفالت بدون حفره و با مقدار ثابتی شفتهٔ طبیعی. این آسفالت به‌طور دستی پخش شده و عموماً بر روی عرشهٔ پل‌ها در انگلستان، فرانسه و حوزهٔ مدیترانه استفاده می‌شود.
- گاوس آسفالت که وابسته به ساختار دانه‌بندی ذرات ریزدانه است اما هنگامی‌که تحت تراکم قرار می‌گیرد به سمت محل موردنظر جریان می‌یابد. این آسفالت در آلمان، شمال اروپا و کشورهای اسکاندیناوی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با نشاندن سنگریزه بر روی سطح ماستیک آسفالت می‌توان قدرت گیرش آن را افزایش یابد.
معیارهای استاندارد اروپایی برای MA، EN 13108-6 (CEN, 2016f) می‌باشد.

۲-۶-۸-آسفالت هات رلد

آسفالت هات رلد یاHRA توسط Clifford Richardson در ایالات‌متحده تحت نام ملات آسفالتی تولید گردید (Richardson, 1905). این آسفالت با افزودن سنگدانه‌های درشت با عنوان "plumbs" به‌منظور افزایش حجم ماستیک قیر، فیلر، سنگدانه‌های ریز و قیر نه‌چندان سخت تشکیل می‌شود. HRA دارای دانه‌بندی ناقص و شامل مقدار محدودی از سنگدانه‌های ریز شکسته شده است. در بزرگراه‌ها اغلب از سنگریزی قبل از پوشش (PCC) برای بهبود مقاومت در برابر لغزش استفاده می‌شود. عدم استفاده از PPC موجب طولانی شدن زمان شکل‌گیری مخلوط می‌شود. هنگامی‌که PCC ها اضافه می‌شوند، نسبت سنگدانه‌های درشت به‌طورکلی ۳۰٪ یا ۳۵٪ است درحالی‌که بدون PCC ها، این نسبت عموماً ۸۰٪ یا ۸۵٪ می‌باشد.
معیارهای استاندارد اروپایی برای HRA، EN 13108-4 (CEN, 2016g) می‌باشد.

۲-۶-۹- آسفالت نرم

آسفالت نرم یا SA یک نوعی مخلوط است که در اسکاندیناوی با استفاده از قیر نسبتاً نرم به دلیل دمای پایین محیط در آن منطقه مورداستفاده قرار می‌گیرد. این آسفالت در درجه اول برای رویه استفاده می‌شد، اما از آن می‌توان برای دیگر لایه‌های روسازی در مناطق با درجه حرارت پایین نیز استفاده کرد.
معیارهای استاندارد اروپایی برای SA، EN 13108-3 (CEN, 2016h) می‌باشد.

۲-۶-۱۰-سیستم‌های رویه نازک

سیستم‌های رویه نازک یا TSCS که در انگلستان استفاده می‌شود، نوع دیگری از آسفالت و حتی لزوماً نازک نیستند. سیستم‌های رویه اختصاصی عنوانی دقیق‌تر می‌باشد چراکه این مخلوط‌ها تحت اصول و روش‌هایی برای تعیین ویژگی‌ها قرارگرفته‌اند که این ویژگی‌ها در سیستم‌های آسفالتی اختصاصی با استفاده از طرح صدور گواهینامه حاصل می‌شود.

تعریف TSCS برای این برنامه (BBA، 2013) آن است که این آسفالت:

- مراحل ۱ تا ۶ از این راهنما را به‌خوبی طی کرده است.
- می‌تواند تا عمق اسمی ۵۰ میلی‌متر اجرا شود. محدودهٔ عمق واقعی برای آسفالت با بهترین عملکرد بر اساس اندازه اسمی سنگدانه از نسخه فعلی BS 594987 تعیین می‌گردد. اگر عمق خارج از این محدوده مورد نظر باشد، از طریق ارزیابی تائید می‌شود.
- یک محصول مبتنی بر قیر گرم یا سرد است.

بنابراین، هرگونه مصالح گرم یا سرد که شامل قیر است و به صورت خیلی ضخیم پخش نمی‌شوند (مصالح سنتی رویه عموماً ۴۰، ۴۵ یا ۵۰ میلی‌متر ضخامت دارند) می‌توانند TSCS باشند، اگر به پرداخت هزینه برای تولید از طریق شش مرحلهٔ طرح مبادرت گردد.

اکثر TSCS ها BBTM، AUTL و یا SMA هستند.

منابع

British Board of Agrément. 2013. *Interim Guideline Document for the Assessment and Certification of Thin Surfacing Systems for Highways*. Watford: British Board of Agrément. www.bbacerts.co.uk/wp-content/uploads/2014/10/ Thin-Surface-Systems-Guideline.pdf.

British Standards Institution. 2015. Guidance on the use of BS EN 13108, Bituminous mixtures – Material specifications. *PD 6691:2015*. London: BSI.

Brown, R, L Michael, E Dukatz, G Huber, R Sines and J Scherocman. 2001. Superpave mixture design guide. *WesTrack Forensic Team Consensus Report FHWA-RD-01-052*. Washington, DC: Federal Highway Administration.

Cominski, R J. 1994. The Superpave mix design manual for new construction and overlays. *SHRP-A-407*. Washington, DC: Strategic Highway Research Program, National Research Council.

Comité Européen de Normalisation. 2006. Bituminous mixtures – Material specifications – Part 1: Asphalt concrete. *EN 13108-1:2006*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2016a. Bituminous mixtures – Material specifications – Part 1: Asphalt concrete. *EN 13108-1:2016*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2016b. Bituminous mixtures – Material specifications – Part 7: Porous asphalt. *EN 13108-7:2016*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2016c. Bituminous mixtures – Material specifications – Part 5: Stone mastic asphalt. *EN 13108-5:2016*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2016d. Bituminous mixtures – Material specifications – Part 2: Asphalt concrete for very thin layers (BBTM). *EN 13108-2:2016*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2016e. Bituminous mixtures – Material specifications – Part 9: Asphalt for ultra-thin layer (AUTL). *EN 13108-9:2016*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2016f. Bituminous mixtures – Material specifications – Part 6: Mastic asphalt. *EN 13108-6:2016*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2016g. Bituminous mixtures – Material specifications – Part 4: Hot rolled asphalt. *EN 13108-4:2016*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2016h. Bituminous mixtures – Material specifications – Part 3: Soft asphalt. *EN 13108-3:2016*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Gourdon, J L, J C Nicholls, A Pronk, T Kollanen, P Höbeda and R Leutner. 1999. Effect of compaction methods on mechanical properties of bituminous mixtures (SPECOMPACT). *Final Report, Contract No. SMT4-PL97-1439*. 5th EC Framework programme.

Ministry of Defence. 2009. *Marshall Asphalt for Airfields*. London: HMSO. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/33545/spec_132009.pdf.

Nicholls, J C. 1997. Review of UK porous asphalt trials. *TRL Report TRL264*. Wokingham: TRL Limited.

Nicholls, J C (editor). 1998. *Asphalt Surfacings*. London: E & FN Spon.

Richardson, C. 1905. *The Modern Asphalt Pavement*. New York: John Wiley & Sons. https://archive.org/details/modernasphaltpa00richgoog.

Widyatmoko, I, B Hakim, C Fergusson and J Richardson. 2007. The use of French asphalt materials in UK airfield pavements. In 23rd PIARC World Road Congress Paris, 17–21 September 2007. Paris: PIARC – World Road Association. www.researchgate.net/publication/288824215_The_Use_of_French_Airfield_Asphalt_Concrete_in_the_UK.

فصل سوم
ترکیب

۳-۱- طرح اختلاط و برآوری الزامات

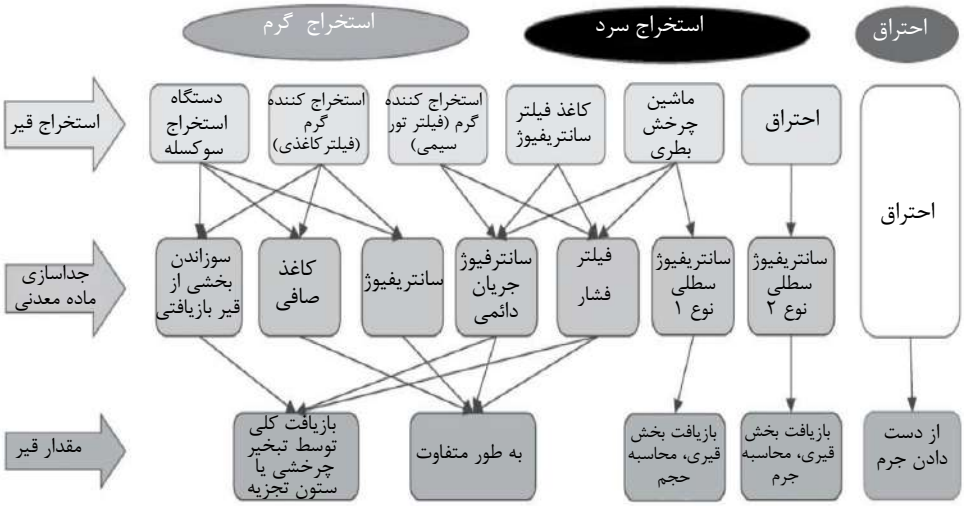
تعیین ترکیب یک مخلوط آسفالتی، الزامات اساسی برای ضوابط قراردادی یا الزامات دستورالعملی سایر ضوابط را شکل می‌دهد. اگرچه، آنها می‌توانند بخشی از یک فرایند طرح اختلاط، نظیر مقدار قیر و فضای خالی بین سنگدانه‌ها در طرح مارشال، یا به عنوان الزامات منطبق بر یک ویژگی عملکردی، به خصوص آنهایی که مبتنی بر آزمون‌های آزمایشگاهی هستند، باشند. اگر عملکرد برای یک مخلوط آسفالتی خاص با ترکیبات مشخص نشان داده شود، عموماً ارزیابی اینکه این عملکرد در مخلوط مشابه تأمین شده است در مقایسه با تکرار آزمون‌های عملکردی ساده‌تر و سریع‌تر است.

آسفالت مصالح ساختمانی خیلی ثابتی نیست، زیرا یک ترکیب ناهمگن از مواد تشکیل‌دهندهٔ طبیعی ناهمگن است. عملکرد واقعی آن می‌تواند به بسیاری از عوامل از جمله معدن اصلی (یا حتی محل داخل معدن) که سنگدانه‌ها از آن استخراج می‌شود، روش خرد کردن برای تولید سنگدانه‌ها و منشاء جغرافیایی نفت خامی که قیر از آن بدست می‌آید، بستگی دارد. به طور کلی با توجه به چنین مسائلی امکان تعیین ضوابط قراردادی وجود نداشته و لذا بررسی ترکیب با اجزای تشکیل‌دهندهٔ ثابت قابل قبول است.

۳-۲- قیر

۳-۲-۱-مقدار قیر

یکی از روش‌های ساده برای تعیین مقدار قیر در مخلوط آسفالتی، اندازه‌گیری اجزایی است که برای ساختن آسفالت به آن اضافه می‌شوند. هرچند، در اکثر کارخانه‌ها، بچینگ در مقادیر زیادی صورت می‌گیرد به‌طوری که ممکن است نیاز به بررسی این مسأله وجود داشته باشد که مؤلفه‌ها به طور مساوی توزیع شده‌اند تا اطمینان حاصل شود که هر بار مقدار قیر مورد نیاز را دارا می‌باشد. از مخلوط‌های آسفالتی، قیر باید استخراج شود، سنگدانه‌های معدنی باید جدا شده و سپس مقدار قیر محاسبه گردد. همانطور که در شکل (۳-۱) نشان داده شده است چندین روش برای انجام هر یک از این عملیات وجود دارد. از گذشته تا کنون این روش‌ها با توجه به روش آزمون اروپایی۱-EN ۱۲۶۹۷، (CEN, 2012a) بر پایه حلال است که در آن انتخاب حلال که در نتیجه اثر خواهد داشت، آزاد گذاشته شده است زیرا مشخص گردیده که هر یک از حلال‌ها در حداقل یک کشور عضو ممنوع بوده است. استفاده از حلال‌ها به طور کلی توصیه نمی‌شود اما این روش‌ها با احتیاط کافی می‌توانند به طور ایمن بکار گرفته شوند.



شکل ۳-۱: روش‌های جایگزین برای تعیین مقدار قیر (پس از استاندارد سازی کمیته اروپایی. ۲۰۱۲a. مخلوط‌های قیری – روش‌های آزمایش برای مخلوط آسفالتی داغ – بخش اول: مقدار قیر محلول. EN۱۲۶۹۷-۱ :۲۰۱۲. لندن: BSI؛ برلین: DIN؛ پاریس AFNOR؛ و دیگر موسسات استاندارد اروپا.)

آنالیز به‌وسیله احتراق قیر روش جایگزین ایجاد شده به جای استفاده از حلال هاست که استاندارد آن در EN۱۲۶۹۷-۳۹ برای اروپا آورده شده است. با این حال، یک تفاوت بالقوه ای بین قیر "محلول" و حلال "قابل اشتعال" که شامل موادی از جمله الیاف سلولی که غیر قابل حل و قابل اشتعال می‌باشند، وجود دارد، به عنوان بخشی از قیر به روش احتراق، نه با روش‌های حلال طبقه بندی شده‌اند.اند. بنابراین آزمایش برای یک مخلوط که زمانی که تغییری در ترکیب آن به خصوص در منبع سنگدانه ایجاد می‌شود نیاز به تکرار خواهد داشت، باید واسنجی شود. مشکلات دیگر این است که برخی از سنگدانه‌هایی که در آزمایش به دمای بالا رسیده‌اند می‌توانند واکنش نشان دهند و دیگر اینکه خواص قیر نمی‌تواند بعد از احتراق آنالیز شود، اگرچه حالت دوم نیز برای برخی از روش‌های احتراق مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مقدار قیر یک مسأله مهم در رابطه با عملکرد هر مخلوط آسفالتی است. اگرچه، یک قانون کلی وجود ندارد که کم‌تر یا بیش‌تر بودن این مقدار همیشه بهتر است. مقدار قیر بیشتر کارایی و دوام آسفالت را بهبود خواهد بخشید، اما همچنین بیشتر خواص مکانیکی (به جز مقاومت در برابر خستگی) را کاهش داده که عملاً باعث کاهش دوام می‌گردد.

دقت ارائه شده در استاندارد EN 12697-1 برای مقدار قیربدست آمده به روش‌های حلال از سه آزمایش مختلف، تکرارپذیری۰/۲۳٪، ۰/۲۳٪ و ۰/۳٪ و باز تولید ۰/۳۱٪، ۰/۳۴٪ و ۰/۵٪ به نسبت

جرم مخلوط با قیر راهسازی است در حالی که هیچ داده ای برای مخلوط‌های با قیر اصلاح شده با پلیمر ارایه نشده است. دقت ارائه شده در EN۱۲۶۹۷ -۳۹ برای مقدار قیر توسط احتراق، تکرارپذیری ۰/۳۱٪ و باز تولید ۰/۵۶٪ بدون اشاره به قیر می‌باشد. داده‌ها حاکی از آن است که دقت برای روش‌های حلال نسبت به روش احتراق اندکی بیشتر است. در بین روش‌های حلال، انتظار می‌رود روش‌هایی که از بازیابی کامل استفاده می‌کنند بهتر از روش‌هایی باشند که از مقادیر مختلف استفاده می‌کنند، اگرچه هیچ داده‌ای برای حمایت از این انتظار وجود ندارد.

برای استفاده در اروپا، دامنهٔ تغییرات مجاز توسط EN 13108-21 برای مقدار قیر در ماستیک آسفالت و مخلوط‌های دیگر جداشده از HRA با سنگدانه‌های کوچک ٪۰/۵± و برای HRA و مخلوط‌های دیگر با سنگدانه‌های بزرگ ٪۰/۶± می‌باشد. مقادیر دقت به اندازه کافی به دامنهٔ تغییرات نزدیک هستند تا نیاز به کنترل‌های چندباره داشته باشند تا از تطابق یا عدم تطابق اطمینان حاصل شود.

۳-۲-۲- ویژگی‌های قیر

به طور کلی در اروپا ویسکوزیتهٔ قیر در شرایط مختلف، درجهٔ نفوذ و نقطهٔ نرمی به عنوان خصوصیات اصلی قیر در نظر گرفته می‌شوند. به طور کلی نفوذ و نقطه نرمی در اروپا که تحت شرایط مختلف اندازه‌گیری می‌شود. با این حال، جنبه دیگر این است که آیا قیر اصلاح شده است و اگر چنین است، چه اصلاح‌کننده و با چه میزان غلظت مورد استفاده قرار گرفته است. طیف گسترده‌ای از اصلاح‌کننده‌ها وجود دارند که جهت اصلاح قیر مورد استفاده قرار گرفته و یا می‌گیرند که تعدادی از این نمونه‌ها در جدول (۳-۱) نشان داده شده است (نیکولاس،۱۹۹۴).
هر اصلاح‌کننده ویژگی‌های قیرپایه را به طور متفاوت اصلاح خواهد کرد.

روش‌های مورد استفاده برای بازیابی قیر یک مخلوط آسفالتی معمولا روش تبخیر کننده دوار که در استاندارد EN12697-3 (CEN, 2013a) و روش ستون تجزیه که در استاندارد EN12697-4 (CEN, 2015a) برای اروپا آورده شده می‌باشند. روش تبخیر کننده دوار مناسب برای بازیابی قیرهای راهسازی بوده، در حالی که روش ستون تجزیه برای بازیابی مواد فرار، از جمله قیر محلول مناسب است. برای قیرهای اصلاح شده پلیمری نیز از همین روش‌ها استفاده می‌گردد اما اغلب زمان لازم برای استخراج کامل این قیرها طولانی‌تر است که مدت آن به نوع پلیمر و غلظت آن بستگی دارد.

روش‌های آزمایش که معمولا برای اندازه‌گیری خواص قیر بازیابی شده استفاده می‌شوند شامل روش نفوذ سوزن مطابق استاندارد EN۱۴۲۶ (CEN, 2015b) و روش نقطه نرمی حلقه و گلوله مطابق استاندارد EN ۱۴۲۷ (CEN, 2015c) برای اروپا هستند. با این حال، این خواص اغلب با

استفاده از داده‌های رئومتر برش دینامیکی (DSR) تخمین زده می‌شود که نیاز به نمونه کوچکتری نسبت به روش‌های سنتی آزمایش دارد. روش‌های آزمایش استاندارد برای DSR شامل EN 14770 (CEN, 2012c) در اروپا و ASTM D7175 (ASTM, 2015a) در امریکا می‌باشد. دقت ارایه شده در EN۱۴۲۶ برای میزان نفوذ تحت شرایط استاندارد عبارتند از:

- با تکرارپذیری ۰/۱ ×۲میلی‌متر تا درجه نفوذ ۵۰ و ۴ ٪ بالای آن مقدار
- با قابلیت باز تولید ۰/۱× ۲ میلی‌متر تا درجه نفوذ ۵۰ و ۶ ٪ بالای آن مقدار

جدول۳-۱: انواع اصلاح‌کننده قیر

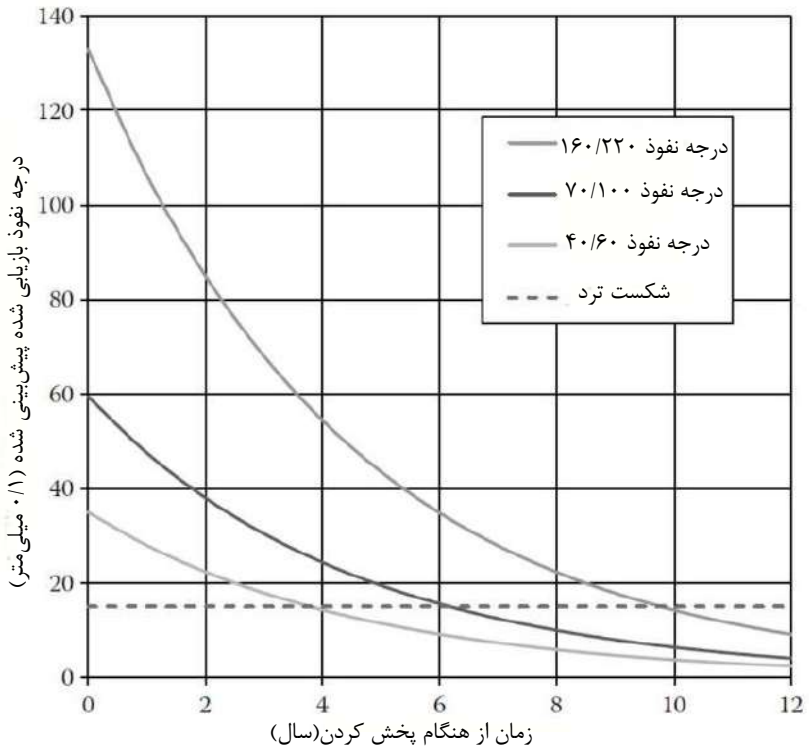
دسته بندی اصلاح‌کننده ها	مثال هایی از انواع کلی	
اصلاح‌کننده‌های پلیمری گرماسخت	رزین اپوکسی	رزین پلی اورتان
الاستومرهای پلیمری گرمانرم	رزین آکریلیک لاستیک طبیعی کوپلیمرهای بلوکی استایرن-بوتادین-استایرن (SBS) استایرن بوتادین رابر (SBR)	لاستیک ولکانیزه (تایر) اتیلن پروپیلن دیئن ترپلیمر (EPDM) ایزوبیوتن-ایزوپرن کوپلیمر (IIR)
اصلاح‌کننده‌های پلیمری گرمانرم آلی	اتیلن وینیل استات (EVA) اتیلن متیل اکریلات (EMA) اتیلن بوتیل اکریلات (EBA) پلی اتیلن (PE)	پلی پروپیلن (PP) پلی وینیل کلراید (PVC) پلی استایرن (PS)
اصلاح‌کننده‌ها و افزودنی‌های شیمیایی	گوگرد ترکیب منگنز ارگانیک -کبالت	لیگنین
الیاف	سلولز آلومینو منیزیم سیلیکات الیاف شیشه ای	آزبست (پنبه نسوز) پلی استر پلی پروپیلن
ضد عریان‌شدگی	آمین‌های ارگانیک	آمیدها
آنتی اکسیدان ها	آمین ها فنول ها	آنتی اکسیدان روی آنتی اکسیدان سرب
قیرهای طبیعی	(ترینیداد) دریاچه قیر	گیلسونایت (یواینتایت)
پرکننده‌ها (فیلر)	کربن سیاه خاکستر	اهک آهک هیدراته

منبع: نیکولاس، جی. سی. ۱۹۹۴. انواع کلی اصلاح‌کنندهٔ قیر. SCI مقاله کنفرانس شماره ۰/۰۰۳۵ لندن: انجمن صنعت شیمی

دقت ارائه شده در EN۱۴۲۷ برای نقطه نرمی عبارتند از:

- با تکرارپذیری ۱ درجه سانتی‌گراد و با قابلیت باز تولید ۲ درجه سانتی‌گراد برای قیر اصلاح نشده
- با تکرارپذیری ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و با قابلیت باز تولید ۳/۵ درجه سانتیگراد برای قیر اصلاح شده با پلیمر

هنگام استفاده از این ویژگی‌ها برای بررسی کیفیت قیر، تغییرات در خواص قیر باید از زمان تحویل به کارخانه مورد توجه قرار گیرد. خواص قیر در طول مخلوط کردن و پخش‌کردن آسفالت تغییر خواهد کرد، به طوری که خصوصیات بازیابی شده مشابه خصوصیات قیر تازه قبل به کارگیری آن‌ها نخواهد بود. به‌طور معمول، میزان نفوذ در حدود یک درجه کاهش یافته و نقطه نرمی آن نیز معادل با سخت‌شدن قیر افزایش می‌یابد. پیر شدگی در محل، خواص را بیشتر اما با سرعتی کم تر تغییر می‌دهد. برای آسفالت متخلخل که به دلیل دسترسی بیش‌تر به اکسیژن بیشتر دچار پیرشدگی می‌گردد، کاهش در درجه نفوذ اتفاق می‌افتد (نیکولاس، ۱۹۹۷) همانطور که در شکل (۳-۲) نشان داده شده است. شکست ترد اغلب زمانی رخ می‌دهد که نفوذ به زیر ۱۵ درجه برسد.



شکل ۳-۲: میزان درجه نفوذ پیش‌بینی شده برای قیر بازیابی‌شده از آسفالت متخلخل.(از نیکولاس، جی سی.۱۹۹۷. مرور آزمایش‌های آسفالت متخلخل بریتانیا. تی آر ال گزارش تی آر ال۲۶۴. ووکینگهام:تی آر ال محدود.)

دومین تأثیر بالقوه بر خواص قیر این است که هر حلالی که برای استخراج قیر مورد استفاده قرار می‌گیرد، در صورتی که پس از آن از بین نرود، قیر را نرم می‌کند. تقریباً تمام بخش‌های حلال باید در آزمایشگاه مجرب از بین برده شوند، اما ممکن است همچنان مقداری از آن‌ها بویژه در قیرهای اصلاح شده با پلیمر که خواص غیرعادی دارند یافت شود.

۳-۳-سنگدانه

۳-۳-۱-دانه‌بندی سنگدانه

دانه‌بندی ذرات سنگدانه پس از حذف قیر با استفاده از روش الک مطابق استانداردهایی نظیر EN ۲-۱۲۶۹۷ (CEN, 2015d) قابل اندازه‌گیری می‌باشد. لازم است که همه قیرها حذف شوند زیرا قیر باقی‌مانده ظاهر دانه‌بندی را زبر خواهد کرد. به‌عنوان یک نتیجه

- غشای قیر با شعاع ذره نسبت به ضخامت غشای قیر افزایش می یابد
- قیر ذرات، به خصوص ذرات ریزتر را به هم می چسباند.

تفاوت بین دانه‌بندی سنگدانه‌ها و دانه‌بندی مخلوط آسفالتی در زمانی که مقادیر زیادی از آسفالت بازیافتی در یک مخلوط مورد استفاده قرار می گیرد، حیاتی است. برای آنکه دانه‌بندی سنگدانه‌ها به درستی از دانه‌بندی آسفالت بازیافتی تخمین زده شود نیاز به یک کالیبراسیون است زیرا حجم زیادی از آسفالت بازیافتی را نمی‌توان از لحاظ اقتصادی برای اندازه گیری مکرر دانه‌بندی سنگدانه‌ها، از قیر جدا کرد.

همانند مقدار قیر، دانه‌بندی سنگدانه‌ها مسأله مهمی در طراحی مخلوط آسفالتی می‌باشد، اما هیچ مجموعه ایده آلی از نسبت‌های دانه‌بندی‌های مختلف وجود نداشته و یا اینکه نیازی به انواع مختلف آسفالت نمی‌باشد. با این وجود، این نسبت‌ها باید تا جایی که ممکن است به درستی طراحی شده باشد، کنترل شوند تا اطمینان حاصل شود که مشخصات طراحی به خطر نیفتاده است.

دقت ارائه شده در EN 12697-2، با تکرارپذیری ۱٪ و بازتولید ۱/۷٪ می‌باشد در حالی که دامنهٔ تغییرات مورد نیاز ارائه شده در اروپا توسط EN 13108-21 (CEN, 2016i)، بین ۲٪ ± برای فیلر و تا ۹٪ ± برای ذرات بزرگتر سنگدانه متفاوت است. هنگام استفاده از این مقادیر برای بررسی انطباق، لازم به ذکر است که مخلوط‌های برداشت شده از محل با دانه‌بندی طراحی نه با محدوده دانه‌بندی ترکیب نهایی مقایسه می‌شوند؛ اگر دانه‌بندی طرح در امتداد یک لبه محدودهٔ دانه‌بندی هدف باشد، یک نسبت برای یک اندازه الک در داخل محدوده هدف در نزدیکی لبه مخالف می‌تواند خارج از دامنهٔ تغییرات بوده و در نتیجه غیرسازگار باشد، در حالی که یک نسبت در طرف دیگر از دانه‌بندی طرح کمتر از دامنهٔ تغییرات و خارج از محدوده هدف قرار داشته ولی سازگار باشد.

۳-۳-۲-شکل دانه‌ها

دو ذره سنگدانه دارای شکل یکسان نیستند حتی زمانی‌که اندازه اسمی یکسانی داشته باشند. معمول‌ترین روش مورد استفاده اندازه‌گیری شکل، ضریب تورق است. که در (CEN, 2012d) ۳-EN۹۳۳ در اروپا استاندارد شده است. همچنین شاخص شکل نیز وجود دارد که در استاندارد EN ۹۳۳-۴ (CEN, 2008a) بیان شده است. در هنگام استفاده، هر دوی این آزمایش‌ها معمولا جداگانه بر روی هر بخش از سنگدانه شکسته انجام می‌شوند. دقت ارائه شده در EN ۹۳۳-۳ برای ضریب تورق به‌صورت زیرمی‌باشد:

- تکرارپذیری ۱/۹٪ و باز تولیدبازتولید ۲/۹٪ برای سطح ۱۰٪
- تکرارپذیری ۳/۸٪ و قابلیت بازتولید باز تولید۸/۲٪ برای سطح ۲۰٪
- قابلیت تکرارپذیری ۲/۲ ٪ و قابلیت بازتولید باز تولید۱۱/۶ ٪ برای سطح ۵۰٪

به‌طور کلی، ضریب تورق (و ضریب شکل) به منظور دستیابی به ذرات مکعبی و کروی که می توانند بدون حفره‌های زیاد به هم متصل شوند، پایین نگه داشته می‌شود. اگرچه ذرات پولکی را به شرطی که با ذرات مکعبی و کروی از همان ذرات اسمی مخلوط نشوند و جهت‌گیری در یک سطح مشابه داشته باشند، می‌توان با موفقیت به کار برد. با این حال، چنین مخلوط‌هایی ویژگی‌های متفاوتی در راستای محورهای مختلف دارند.

محدوده ضریب تورق تعیین شده در استاندارد EN۱۳۰۴۳ اروپا برای دسته‌بندی‌های کمتر از ۱۰٪ با افزایش ۵٪ تا دسته‌بندی کمتر از ۳۵٪ به علاوه یک دسته‌بندی برای کمتر از ۵۰٪، یکی برای بیش از ۵۰٪ و یک دسته‌بندی بدون الزام می‌باشد. محدوده‌ها برای شاخص شکل در اروپا مشابه است، به جز این که هیچ دسته‌بندی خاصی برای کمتر از ۱۰٪ وجود ندارد. دسته بندی‌هایی که برای مخلوط‌های مختلف تعیین می‌شود ممکن است در اسناد راهنمای ملی گنجانده شود. مطابق دستورالعمل PD۶۶۹۱ (BSI, 2015) انگلستان، یک گروه ضریب تورق کمتر از ۳۵٪ برای همه مخلوط‌های بتن آسفالتی بجز مخلوط‌های BBA که کمتر از ۲۵ ٪ است، و HRA و دسته‌بندی ضریب تورق کمتر از ۲۰٪ برای مخلوط‌های SMA و سنگدانه‌های ریز پیش ساخته برای HRA . PD 6691 راهنمایی برای شاخص شکل ارائه نمی‌دهد.

۳-۴-مقادیر حجمی

۳-۴-۱-مقدار حفره‌های هوا

تعیین مقدار حفره‌های هوا شامل محاسبات ساده زیر است، که در چندین روش آزمایش از جمله EN ۱۲۶۹۷-۸ (CEN, 2012e) استاندارد شده است.

$$\text{مقدار حفره هوا} = 100 \times \frac{\text{چگالی حداکثر} - \text{چگالی ظاهری}}{\text{چگالی حداکثر}} \quad \%\ \text{(برحسب حجم)}$$

گاهی اوقات به‌عنوان یک آزمون اساسی شناخته می‌شود اما مقدار حفره‌های هوای موجود به آنچه که خلا تلقی می‌شود بستگی دارد (ریچارد و نیکولاس، ۱۹۹۹). دلایل تفاوت‌های احتمالی شامل:

- ذرات سنگدانه‌ها در آسفالت می‌توانند حاوی حفره‌های خالی باشند که برخی از آن‌ها به خارج متصل هستند در حالی که برخی دیگر بسته هستند و ممکن است به عنوان حفره های موجود در آسفالت طبقه‌بندی شده یا نشده باشند.
- بافت سطحی و دیگر حفره‌های موجود در سطح ممکن است به عنوان حفره‌های آسفالت در نظر گرفته شده یا نشده باشند.
- تفاوت‌هایی بین حفره‌های هوا که معمولا همان چیزی هستند که اندازه گیری می‌شوند و حفره‌های آب، که اغلب به دلیل تفاوت در کشش سطحی و ویسکوزیته دو سیال به صورت یک معضل است وجود دارد.

آنچه که خلاء در نظر گرفته شده است توسط روش‌های مورد استفاده برای اندازه گیری چگالی حداکثر وظاهری پوشش داده شده است.

استاندارد اروپایی برای چگالی حداکثر EN۱۲۶۹۷-۵ (CEN, 2009a) می‌باشد، که دارای سه روش می‌باشد:

- روش حجمی شامل مقایسهٔ حجم نمونه بدون حفره‌ها و جرم خشک آن می‌شود. حجم نمونه به‌صورت جابجایی آب یا حلال توسط نمونه در یک پیکنومتر، پس از شکستن آن برای مشخص شدن حفره‌های هوا، بدون خرد کردن ذرات جامد، اندازه گیری می‌شود.
- روش هیدرو استاتیک مشابه روش قبل است اما حجم نمونه از جرم خشک و جرم در آب نمونه بعد از شکسته شدن محاسبه می‌شود.
- روش ریاضی که شامل محاسبهٔ سهم از مقدار و چگالی هر یک از مواد تشکیل‌دهنده است. روش ریاضی روش سنتی است که زمانی به‌عنوان چگالی تئوری حداکثر شناخته می‌شد.
- استاندارد اروپایی EN۱۲۶۹۷-۶ (CEN, 2012f)، برای چگالی ظاهری دارای چهار روش می‌باشد:
- روش خشک شامل مقایسه وزن در هوا به وزن در آب است و فرض می‌کند که تمام حفره‌های موجود حذف می‌شوند و به این ترتیب برای مخلوط‌هایی با حفره کم مناسب است.
- روش سطح خشک اشباع (SSD) مشابه روش قبل است اما وزن کردن آن در هوا پس از غرقاب نمودن و از بین بردن آب روی سطح آن توسط خشک کن، به طوری که تنها از حفره‌های داخلی که در آن آب باقی می‌ماند صرف نظر شود، انجام می‌گیرد. بنابراین این روش برای مخلوط‌های با فضای خالی کم از روش خشک مناسب‌تر است.

- روش نمونه موم اندود شده مجدداً وزن در هوا و وزن در آب را مقایسه می‌کند، اما نمونه قبل از هر دو عمل وزن کردن، موم اندود می‌شود. بنابراین، هرگونه حفرهٔ بسته شده در نتایج گنجانده می‌شود و برای مخلوط‌های با حفرات زیاد مناسب است. وزن مواد اندودکننده باید برای این محاسبه مجاز باشد.
- روش ابعادی وزن را در هوا با حجم اندازه‌گیری مقایسه می‌کند و برای مخلوط‌های با دانه‌بندی بسیار باز مثل آسفالت متخلخل مناسب است.

انتظار می‌رود که هر کدام از این روش‌های تعیین چگالی حداکثر به لحاظ عددی مقادیر مشابهی تولید کنند، اگر چه در عمل ممکن است کمی با یکدیگر تفاوت داشته باشند. هر روش برای چگالی حقیقی یک ویژگی کمی متفاوت را اندازه‌گیری می‌کند و بنابراین، احتمالا یک مقدار عددی متفاوت برای یک مخلوط مشابه تولید می‌کند که می‌تواند قابل توجه باشد.

یک جایگزین که برای این چهار روش آزمایشگاهی که هر کدام چگالی ظاهری کلی یک نمونه را اندازه گیری می‌کنند، وجود دارد که آن اسکن‌کردن هسته با اشعهٔ گاما برای به‌دست آوردن پروفیل چگالی ظاهری آن هسته است، که مقدار حفره‌های هوا را می‌توان با آن تعیین کرد. استاندارد اروپایی برای این روش EN 12697-7 می‌باشد (CEN, 2014a)، اما معمولاً برای بررسی‌ها استفاده می‌شود تا ضوابط.

چگالی به خودی خود مهم نیست، زیرا به شدت به چگالی سنگدانه بستگی دارد. با این حال، مقدار حفره‌های هوا عموماً به میزان حداقل نگه داشته می‌شود (مگر طراحی روسازی پیشین) به شرطی که مخلوط‌های ساخته شده در معرض تغییرشکل دائم با مقدار کم فضای خالی قرار نگیرند. دقت ارائه شده در استاندارد اروپایی برای چگالی و چگالی حفره‌های هوا در جدول (۳-۲) آمده است.

جدول۳-۲: دقت اندازه گیری چگالی و مقدار حفره هوا

معیار	روش	استاندارد	واحد	تکرارپذیری	قابلیت بازتولید
چگالی حقیقی	SSD	EN۶-۱۲۶۹۷	Mg/m3	۰/۰۰۰۳ + ۰/۰۱۷ A	+ ۰/۰۰۰۶ A۰/۰۲۲
	اشعه گاما	EN۷-۱۲۶۹۷	Mg/m3	۰/۰۰۷	۰/۰۳۲
چگالی حداکثر	استفاده از آب	EN۵-۱۲۶۹۷	Mg/m3	۰/۰۱۱	۰/۰۱۵
	استفاده از حلال		Mg/m3	۰/۰۱۹	۰/۰۴۲
مقدار حفره هوا		EN۸-۱۲۶۹۷	٪ (v/v)	۱/۱	۲/۲

درصد ذرات سنگدانه عبوری از الک ۱۱/۲ میلی‌متری=A

اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی برای چگالی ظاهری مانند اندازه‌گیری چگالی در محل، به علت نیاز به نمونه‌گیری مخرب است. گیج‌های اندازه‌گیری چگالی هسته‌ای برای بررسی‌های در محل ساخته شده‌اند اما بر خلاف روش آزمایشگاهی برای مخلوط یا مخلوط‌های خاص نیاز به کالیبراسیون دارند. منبع هسته‌ای نیاز به مراقبت دارد، بنابراین گیج‌های اندازه‌گیری چگالی غیرهسته‌ای متناوب نیز با استفاده از تکنیک‌های مختلف نظیر امواج الکترومغناطیسی توسعه یافته و گیج‌های اندازه‌گیری هسته‌ای به‌طور کلی حذف شده‌اند. گیج‌های اندازه‌گیری غیرهسته‌ای نیز بر خلاف روش آزمایشگاهی نیاز به کالیبراسیون دارند.

۳-۴-۲-حفره‌های پر شده با قیر

مقدار فضای خالی در سنگدانه‌های معدنی(VMA) یک مخلوط آسفالتی از مقدار حفره‌های هوا، مقدار قیر و چگالی ظاهری نمونه بعلاوه چگالی قیر قابل محاسبه است. حفره‌های پرشده از قیر[1] (VFB) (اصطلاح اروپایی) یا حفره‌های پرشده از قیر[2] (VFA) (اصطلاح امریکایی) در مخلوط آسفالتی می‌تواند از مقدار قیر، فضای خالی سنگدانه‌ها وچگالی ظاهری نمونه بعلاوه چگالی قیر محاسبه شود. هر دو فرمول آورده شده در استانداردها شامل EN 12697-8 (CEN, 2012e) با VMA و VFB (VFA) به عناون ویژگی‌های طراحی در روش‌های طراحی مخلوط نظیر روش مارشال استفاده می‌شوند.

۳-۴-۳-عدم پذیرش درصد چگالی

refusal (PRD) یک مقایسه بین چگالی ظاهری یک نمونه با چگالی ظاهری آن نمونه، پس از آن که مجدداً تا حد امکان گرم و فشرده شده است می‌باشد. این چگالی به اندازه چگالی حداکثر نیست، زیرا نمونه شکسته نشده و هنوز می‌تواند حاوی حفره باشد، نظیرآنچه که در مورد آسفالت متخلخل وجود دارد. این آزمایش به‌طور کلی برای بررسی تأثیر تراکم درجا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۵-دما

دمای مخلوط آسفالتی بخش واقعی ترکیب نیست، اما چون یک ویژگی است که باید به همان شکل بخصوص اکنون که مخلوط‌های گرم، نیمه گرم و سرد و همچنین مخلوط آسفالتی داغ وجود دارند، در نظر گرفته شود در اینجا موضوعیت پیدا می‌کند.

---

[1] Bitumen
[2] Asphalt

روش استاندارد برای اندازه‌گیری دمای آسفالت به طور سنتی قرار دادن یک دماسنج در درون مخلوط متراکم نشده است. مشکل این نوع اندازه گیری خطر قرار دادن دماسنج در مخلوط و اختلال ناشی از این اقدام در طی زمان مخلوط کردن، حمل و پخش کردن آسفالت است. باوجود این استاندارد اروپایی (CEN, 2003a) EN۱۲۶۹۷-۱۳ ، شامل روش‌هایی برای اندازه‌گیری دمای آسفالت در یک کامیون، مصالح پخش شده، و یک کپه از مصالح و نه در روسازی کوبیده شده می‌باشد. انواع مختلفی از دستگاه‌های اندازه گیری دما ازجمله ترموکوپل ها، مقاومت‌های گرمایی و دماسنج‌های دورانی دوفلزی را می‌توان مورد استفاده قرار داد. EN ۱۲۶۹۷-۱۳ داده دقیقی ارائه نمی‌دهد.

دما همچنین می‌تواند با تجهیزات از راه دور مانند تکنولوژی دوربین مادون قرمز اندازه‌گیری شود که می‌تواند برای تولید ترسیمات ترموگرافیک در طول اجرای آسفالت استفاده شود (شکل ۳,۳). این تصاویر می‌توانند برای بررسی پایداری دما و بررسی اینکه آیا دما در زمان تراکم در محدوده مناسبی قرار دارد بکار روند.

شکل ۳-۳: مثالی از ترسیم ترموگرافیک آسفالت هنگام روسازی (با کسب اجازه از پیتر دی ساندرز)

منابع

ASTM International. 2015a. Standard test method for determining the rheological properties of asphalt binder using a dynamic shear rheometer. *ASTM D7175 – 15*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

British Standards Institution. 2015. Guidance on the use of BS EN 13108, Bituminous mixtures – Material specifications. *PD 6691:2015*. London: BSI.

Comité Européen de Normalisation. 2002a. Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads, airfields and other trafficked areas. *EN 13043:2002*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2003a. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 13: Temperature measurement. *EN 12697-13:2003*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2008a. Tests for geometrical properties of aggregates – Part 4: Determination of particle shape – Shape index. *EN 933-4:2008*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2009a. Bituminous mixtures – Test methods – Part 5: Determination of the maximum density. *EN 12697-5:2009*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2012a. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 1: Soluble binder content. *EN 12697-1:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2012b. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 39: Binder content by ignition. *EN 12697-39:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2012c. Bitumen and bituminous binders – Determination of complex shear modulus and phase angle – Dynamic shear rheometer (DSR). *EN 14770:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2012d. Tests for geometrical properties of aggregates – Part 3: Determination of particle shape – Flakiness index. *EN 933-3:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2012e. Bituminous mixtures – Test methods – Part 8: Determination of voids characteristics of bituminous specimen. *EN 12697-8:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2012f. Bituminous mixtures – Test methods – Part 6: Determination of bulk density of bituminous specimens. *EN 12697-6:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2003b. Road and airfield surface characteristics – Test methods – Part 7: Irregularity measurement of pavement courses – The

straightedge test. *EN 13036-7:2003*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2014a. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 7: Determination of the bulk density of bituminous specimens by gamma rays. *EN 12697-49:2014*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2015a. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 4: Bitumen recovery – Fractionating column. *EN 12697-4:2015*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2015b. Bitumen and bituminous binders – Determination of needle penetration. *EN 1426:2015*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2015c. Bitumen and bituminous binders – Determination of softening point – Ring and Ball method. *EN 1427:2015*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2015d. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 2: Determination of particle size distribution. *EN 12697-2:2015*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2016i. Bituminous mixtures – Material specifications – Part 21: Factory production control. *EN 13108-21:2016*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Nicholls, J C. 1994. Generic types of binder modifier for bitumen. *SCI Lecture Paper No 0035*. London: Society of Chemical Industry.

Nicholls, J C. 1997. Review of UK porous asphalt trials. *TRL Report TRL264*. Wokingham: TRL Limited.

Richardson, J T G and J C Nicholls. 1999. Determination of air voids content of asphalt mixtures. In *3rd European Symposium on the Performance and Durability of Bituminous Materials*, University of Leeds. *TRL Paper PA 3418/98*. Zurich: Aedificatio.

فصل چهارم
خصوصیات سطح

۴-۱-نیمرخ

۴-۱-۱-تراز (اصلی)

تراز رویهٔ لایه‌های مختلف روسازی به منظور اطمینان از تعامل مناسب سازه نهایی با سازه‌های مختلف دیگر (نظیر ساختمان‌ها، پل‌های روگذر و زیرگذر، جدول پیاده‌روها و...) تعیین می‌گردد. به‌طورکلی دقت موردنیاز برای لایه‌های بالاتر روسازی بیش‌تر است چون اکثر برهم کنش‌ها بر روی سطح رخ می‌دهند؛ هرچند تفاوت میان ترازهای بالا و پایین هرلایه جهت حصول اطمینان از ضخامت کافی لایه برای انجام وظیفه‌ای که برای آن طراحی شده است می‌تواند مهم باشد.

تراز لایه بیش‌تر تحت‌تأثیر روش اجرای روسازی است تا مصالح به‌کاررفته در آن؛ اگرچه حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ها بر دقت این‌که لایه‌ها چقدر می‌توانند نازک‌تر اجرا شوند، تأثیرگذار است اما دقت به‌کاررفته با توجه به این‌که سطح تراز کاملاً مسطح و شامل پستی و بلندی‌های بین سنگدانه‌هاست، نمی‌تواند خیلی دقیق باشد.

تراز سطوح به‌طور سنتی با نقشه‌برداری به‌وسیلهٔ دوربین‌های ترازیابی تعیین می‌شدند؛ اما اکنون این کار با ترازیاب‌های اپتیکی/ لیزری و توتال استیشن‌ها که تئودولیت‌های الکتریکی یکپارچه با فاصلهٔاب الکترونیکی هستند نیز میسر می‌باشد. به دلیل این‌که تراز سطح جزء ویژگی‌های مصالح نیست در اینجا به جزئیات بیش‌تر پرداخته نمی‌شود.

۴-۱-۲- نظم سطح (اصلی)

کیفیت راندن در جاده‌ها توسط ویژگی به نام "نظم سطح" لایه‌ای که وسیله نقلیه بر روی آن حرکت می‌کند (معمولاً لایهٔ رویه) مشخص می‌شود. این کیفیت زمانی بیشتر است که مقدار نظم سطح کمتر باشد. برای حفظ کیفیت مطلوب روسازی برای رانندگی، مصالح روسازی باید به مقدار کافی در برابر تغییرشکل مقاوم باشند تا بار ترافیکی را تحمل کنند. در این حالت باید مقدار مجاز در افزایش مورد انتظار مقاومت در برابر تغییرشکلی که به هنگام پیرشدگی و سخت‌تر شدن مصالح بوجود می‌آید را در نظر گرفت (بخش ۵-۲). نظم سطح به شکل قابل‌توجهی وابسته به تراز رویهٔ اجراشده می‌باشد (بخش ۴-۱-۱) اما با اهمیتی متفاوت. همچنین این ویژگی بیشتر تابع فرایند پخش مصالح می‌باشد تا خود مصالح. تراز سطوح می‌تواند طبق استاندارد باشد اما هرگونه تغییرات سریع تراز در محدودهٔ تغییرات می‌تواند منجر به ضعف در نظم سطح گردد.

حالت ایده‌آل برای رانندگی با کیفیت، وجود یک سطح (رویه) کاملاً صاف و مسطح است اما موقعیت جغرافیایی بسیاری از مکان‌ها، (به‌غیراز مناطقی مانند East Anglia در شرق انگلستان)،

شامل تپه‌ها و دره‌ها است که نیاز به زهکشی به‌طورمعمول مستلزم ایجاد خیز و یا شیب عرضی در سطح، به‌ویژه در مناطق مسطح، می‌باشد. با این‌وجود، اگر دستگاه پخش آسفالت به امواج صوتی یا سایر امواج میانگین‌گیری مجهز شود، نظم سطح می‌تواند بهبود یابد.

نظم سطح عموماً به‌طور جداگانه برای نظم طولی و نظم عرضی اندازه‌گیری می‌شود. روش‌های اندازه‌گیری سنتی در راستای طولی بلندتر، تیر سه متری و گوه در جهت عرضی می‌باشد؛ اگرچه روش‌های دیگر اندازه‌گیری تکامل‌یافته‌تر نیز در دسترس هستند. باوجود این ، به‌دلیل این‌که نظم سطح اولیه یک ویژگی وابسته به مصالح نیست و حفظ این ویژگی توسط مقاومت در برابر تغییرشکل میسر می‌شود، جزئیات بیشتری در این جا ارائه نمی‌شود.

روش آزمایش اروپایی برای اندازه گیری ناهمواری، استاندارد EN 13036-7 (CEN, 2003b) می‌باشد که در آن از تیر سه متری بدون پایه استفاده می‌شود. به این صورت که هنگام قرار دادن تیر، گوه می‌تواند با فضای خالی زیر دو انتهای آن قرار گیرد. این حدود روشن می‌سازد که این روش برای تعیین پروفیل سراسری یا ناهمواری کلی قابل استفاده نبوده است بلکه برای اندازه‌گیری بی‌نظمی‌های منفرد که با توجه با ماهیتشان تصادفی می‌باشند، استفاده می‌شود.

شاخص‌های ناهمواری عرضی در استاندارد EN 13036-8 (CEN, 2008b) برای در نظر گرفتن شیب عرضی در پروفیل عرضی، ناهمواری‌ها یا نقایص مختلف در پروفیل عرضی (پله‌شدگی، برآمدگی/فرورفتگی و نشست لبه) و شیارهای طولی در مسیر چرخ ناشی ترافیک عبوری، تعیین شده‌اند.

۴-۲-مقاومت لغزشی

۴-۲-۱-اصطکاک

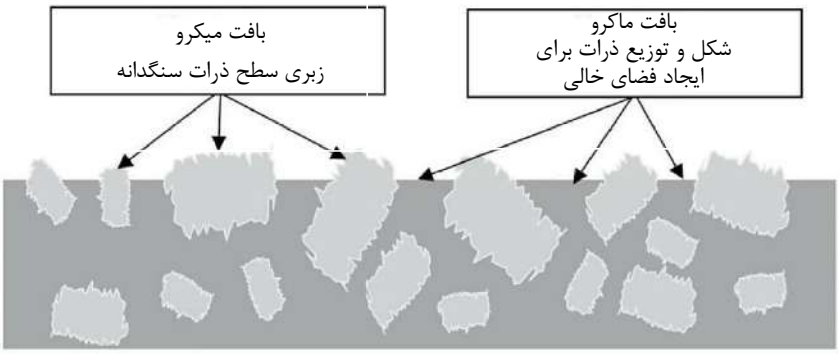
یکی از الزامات اصلی برای لایهٔ رویهٔ روسازی ایجاد اصطکاک برای ایجاد چسبندگی میان لاستیک وسیلهٔ نقلیه و راه به‌خصوص به هنگام ترمزگیری و نزدیکی قوس‌ها می‌باشد. در حالت ایده‌آل، چرخ‌ها به چرخش خود ادامه می‌دهند تا انرژی جنبشی وسیله نقلیه بتواند در سیستم ترمز به گرما تبدیل شود که این امر به ویژه در شرایط مرطوب بسیار مهم است. اگرچه تایرهای وسیله نقش مهمی را در این مسأله ایفا می‌کنند اما رویه نیز به‌طور چشم‌گیری به اصطکاک جاده کمک می‌کند. نکتهٔ قابل‌توجه این است که اصطکاک ویژگی ثابتی نیست اما به ماهیت سطح (رویه)، شرایط آب و هوایی، زمان سال و سرعت وسیلهٔ نقلیه بستگی دارد. هنگامی که جاده مرطوب است، مقاومت لغزشی نسبت به شرایط خشک بیش از ۵۰ درصد کاهش می‌یابد و هرچه سرعت وسیله نقلیه بیش‌تر شود، این مقاومت کم‌تر خواهد شد. مؤلفه‌های اصلی رویه که در این اصطکاک مشارکت

می‌کنند عبارتند از عمق بافت رویه (معروف به بافت درشت‌نمود) و بافت ریزنمود سنگدانه‌های درشت رویه.

۴-۲-۲-عمق بافت

۴-۲-۲-۱- رابطهٔ عمق بافت

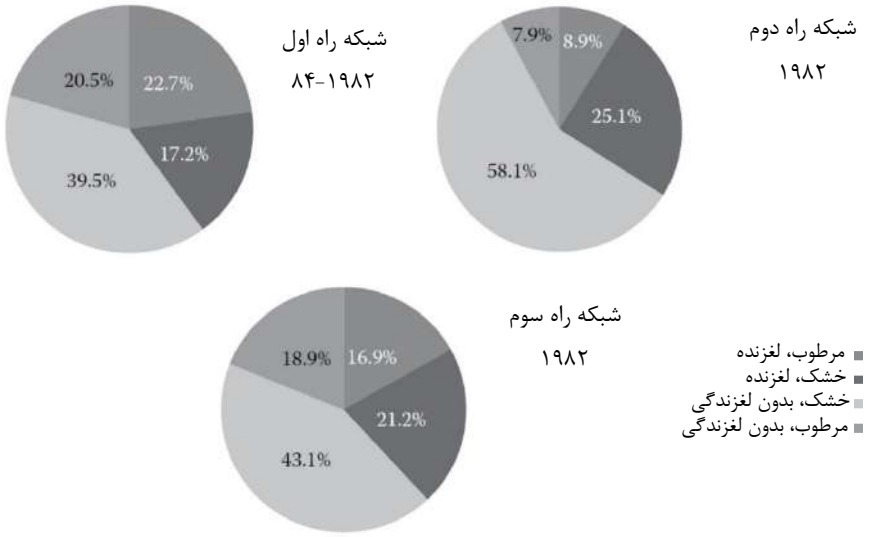
عمق بافت یا بافت درشت‌نمود حاصل فضاهای درشت‌تر میان ذرات یا شیارهای سطح روسازی است (شکل ۴-۱). عمق بافت به زهکشی آب کمک کرده که این امر برای ایجاد امکان تخلیه آب از سطح میان تایر خودرو و جاده و ایجاد چسبندگی بین تایر و بافت ریزنمود، به‌خصوص در هنگام حفظ مقاومت لغزشی در سرعت‌های بالا، بسیار مهم می‌باشد. تأثیر حذف آب در میزان تصادفات در شکل (۴-۲)(Roe et al. 1991) که بیانگر نسبت تصادفات در سه شبکهٔ جاده‌ای در انگلستان می‌باشد، نشان داده شده است. این بررسی‌ها در شرایط مرطوب و خشک و وجود یا عدم وجود لغزندگی گزارش‌شده‌اند. این نتایج بیان می‌دارد که ۵۰٪ تصادفات در شرایط مرطوب همراه با لغزندگی و ۳۰٪ آن در حالت خشک رخ داده است.



شکل ۴-۱: طرح شماتیک بافت درشت‌نمود و ریزنمود

مطالعات همچنین نشان داده است که خطر بروز تصادف با کاهش عمق بافت، حتی در شرایط خشک، افزایش یافته است (Roe et al., 1991) و عمق بافت تأثیر زیادی بر رابطه بین مقاومت لغزشی و سرعت، به‌ویژه در سرعت‌های پایین دارد (Roe et al., 1998).

روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری عمق بافت وجود دارد که در این میان می‌توان به دو روش اصلی اشاره کرد که هر یک تعریفی متفاوت با یکدیگر را از عمق بافت ارائه می‌دهند.



شکل ۴-۲: تأثیر شرایط مرطوب بر تصادفات در سه شبکهٔ راه (Roe, P G, D C Webster and G West. 1991. رابطه بین بافت سطح راه‌ها و تصادفات. TRL Research Report RR296. Wokingham: TRL Limited).

۴-۲-۲-۲- پچ تست (جایگزین)

پچ تست شامل پخش حجم ثابتی از مصالح ریزدانه در روسازی و استفاده از یک پخش‌کننده برای ایجاد یک ناحیهٔ تقریباً دایره‌ای با سطح صاف که در آن همهٔ حفره‌ها در سطح روسازی با ذرات کوچک پرشده‌اند، می‌باشد. با استفاده از قطر این دایره و حجم مصالح می‌توان متوسط عمق حفره‌ها را به‌عنوان عمق بافت محاسبه نمود. حجم مصالح را می‌توان برای سطوح صاف‌تر به‌منظور محدود کردن اندازهٔ ناحیه کاهش داد.

مصالح ریزدانه به‌طور سنتی یک دانه‌بندی ثابت از ماسه است (زمانی که این آزمایش به‌عنوان پچ تست ماسه شناخته می‌شد) که در آزمایش اروپایی EN 13036-1 (CEN, 2010a) و آزمایش امریکایی ASTM E965 (ASTM, 2015b) دانه‌های شیشه‌ای جایگزین ماسه شده است. نتایج حاصل چندان تحت تأثیر این تغییر قرار نمی‌گیرند (Nicholls et al. 2006a)؛ اما به دلیل قیمت گران و لغزندگی زیاد تمایلی به استفاده از شیشه به جای ماسه (دست کم برای مناطق کوچک و برای زمان کوتاه) در سطح روسازی وجود ندارد.

پچ تست یک آزمایش دستی است که باید توسط یک کارگر حاضر بر روسازی انجام گیرد و همچنین نیازمند مدیریت ترافیک است. به همین جهت سعی می‌شود از این آزمایش برای تعیین عمق بافت اولیه، قبل از بهره‌برداری از روسازی استفاده شود.

عمق بافت ویژگی‌ای است که برای ایجاد اصطکاک میان سطح روسازی و تایر وسایل نقلیه موردنیاز است اما عمق بافت بیش‌ازحد نشانگر مصالح باز بوده که احتمال می‌رود دوام ضعیفی داشته باشد. هیچ محدودیت اروپایی برای بافت ارائه نشده است، زیرا استانداردهای هماهنگ برای مخلوط آسفالتی برای زمان تحویل آن به محل اجرا در نظر گرفته شده است و عمق بافت تا زمانی‌که مصالح پخش و متراکم نگردد ایجاد نمی‌شود. اگرچه این استدلال می‌تواند برای در نظر نگرفتن اغلب خصوصیات مکانیکی استفاده شود، زیرا مقادیر به‌دست‌آمده به تراکم ایجاد شده بستگی دارند. باوجود این ، EN 13108 دسته‌بندی‌های مختلفی را با این فرض که تراکم مناسبی ایجاد شده باشد، ارائه می‌دهد. الزامات ملی بریتانیا برای بافت (HA et al., 2008a) که به دلیل اهمیت بریتانیا به مسأله ایمنی نسبتاً دسته بالا در نظر گرفته می‌شوند، حداقل ۰/۹ میلی‌متر یا ۱/۵ میلی‌متر با توجه به شرایط اما با هدف معرفی یک الزام حداکثری است. دقت ارائه‌شده در EN 13036-1 برای عمق بافت وصله، با تکرارپذیری ۰/۱۶۶ میلی‌متر و قابلیت بازتولید ۰/۳۲۱ میلی‌متر است.

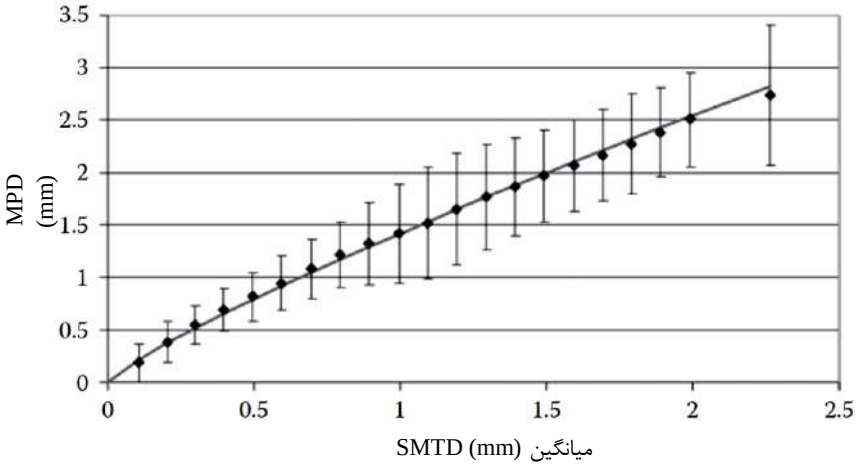
۴-۲-۲-۳-عمق بافت اندازه‌گیری شده با سنسور (جایگزین)

دستگاه‌های اندازه‌گیری عمق بافت با سنسور (SMTD) عمق بافت را به‌صورت ریشهٔ میانگین مربعات فاصلهٔ یک صفحهٔ دلخواه تا بافت سطح روسازی از یک ردیف تغییر مکان‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از لیزر تعریف می‌کنند. عمق بافت تعیین‌شده توسط SMTD، انحراف معیار عمق نسبت به میانگین روش پچ است. این دو مقدار دارای همبستگی‌اند (Austroads, 2011)، اما میزان قابلیت اطمینان هر همبستگی به نوع سطح و در نتیجه ضریب تغییرات بستگی دارد.

۴-۲-۲-۴-میانگین عمق پروفیل (جایگزین)

میانگین عمق پروفایل (MPD) یکی دیگر از معیارهای بافت درشت‌نمود است که آن را به صورت ارتفاع بالاترین قله از تراز متوسط تعریف می‌کند که این تعریف با تعاریف روش پچ (میانگین عمق بافت) و روش SMTD (ریشهٔ میانگین مربعات عمق) متفاوت است. بنابراین، مشابه نبودن نتایج حاصل از این اندازه‌گیری‌ها پدیدهٔ عجیبی نیست. رابطهٔ بین روش‌های SMTP و MPD با توجه به نمونه‌های بزرگی که از جاده‌های روستایی تهیه شده‌اند، در شکل (۴-۳) نشان داده شده که به صورت غیرخطی است. MPD از تفاضل میانگین دو تراز قله تراز و میانگین تراز پروفیل که با لیزر یا سایر دستگاه‌های الکترونوری و یا سنسور انتقال صدا اندازه‌گیری می‌شود، تعیین می‌گردد. این روش را می‌توان برای نمونه‌های آزمایشگاهی یا درجا استفاده کرد که در آن، برخلاف روش پچ،

نیازی به بستن جاده نمی‌باشد. MPD تحت استانداردهای بین‌المللی ISO 13473-1 (ISO, 2004) و امریکایی ASTM E1845-15 (ASTM, 2015c) استاندارد شده است.
داده‌های دقیقی برای آزمایش MPD در استاندارد ISO 13473-1 ارائه نشده است.



شکل ۴-۳: رابطهٔ بین SMTP و MPD در نمونهٔ جاده‌های روستایی. (Viner, H et al. 2006. سنجش بافت رویه در جاده‌های محلی. TRL گزارش منتشرشده پروژه PPR 148. Wokingham: TRL).

۴-۲-۲-۵- قابلیت زهکشی افقی سطح روسازی

قابلیت زهکشی افقی سطح روسازی یک روش برای تخمین بافت سطوح صاف و غیر متخلخل است (<۰/۴ mm MPD) که توسط قابلیت زهکشی افقی با استفاده از تراوش سنج به‌عنوان یک دستگاه ثابت تعیین می‌شود. این روش در اروپا تحت عنوان EN 13036-3 (CEN, 2002b) ارائه شده است.

۴-۲-۳-بافت ریزنمود

۴-۲-۳-۱-رابطهٔ بافت ریزنمود

بافت ریزنمود، بافت ریز ذرات سنگدانه‌ها در سطح روسازی است (شکل ۴-۱) که از طریق یک فیلم آب در شرایط مرطوب می‌شکند و ازاین‌رو امکان تولید نیروهای اصطکاک را فراهم می‌آورد. بافت ریزنمود جزء کلیدی اصطکاک سطح راه است که بدون آن در شرایط وجود رطوبت در جاده به‌سختی اصطکاک پدید می‌آید. بااین‌حال، بافت ریزنمود با عبور وسایل نقلیه، به‌ویژه ترافیک سنگین، صاف و صیقلی می‌شود، بنابراین سنگدانه باید هم دارای بافت ریزنمود و هم توانایی

مقاومت در برابر سایش را داشته باشد. تحقیقات (Roe and Hartshorne، 1998) منجر به تغییر در الزامات مقاومت در برابر صیقلی شدن سنگدانه‌ها در رویه‌های جدید شده است.

بافت ریزنمود به‌طور سنتی توسط ارزش صیقلی دانه‌ها (PSV) در سنگدانه با مقاومت در برابر سایش توسط ارزش سایش سنگدانه (AAV) اندازه‌گیری می‌شود؛ اما هم‌اکنون آزمایش اصطکاک پس از صیقلی شدن (FAP) به‌عنوان یک جایگزین برای آن معرفی شده است.

۴-۲-۳-۲- PSV و AAV (جایگزین جزء)

PSV یک معیار برای سنجش مقاومت سنگدانه‌های درشت در برابر صیقل ایجاد شده توسط تایر وسایل نقلیه تحت شرایطی مشابه با سطح جاده می‌باشد. سنگدانه‌های یک اندازه به قطر ۷/۲ یا ۱۰ میلی‌متر به یک صفحه منحنی شکل، پیش از صیقل‌دهی توسط دستگاه شتاب‌دهندهٔ صیقل با ماسه و آب که در مجاور صفحه قرار دارند، چسبانده می‌شوند. سپس با استفاده از دستگاه اصطکاک آونگی مقاومت لغزشی سنگدانه تعیین می‌شود.

AAV مقاومت لغزشی را نشان نمی‌دهد بلکه معیاری برای تعیین مدت‌زمان از بین رفتن این مقاومت می‌باشد. این آزمایش بر روی سنگدانه‌های ۱۰/۲ یا ۱۴ میلی‌متری که در درون رزین بر روی یک صفحه منحنی که حین تماس با یک چرخ افقی دوار به صورت ثابت نگهداشته شده است، انجام می‌شود. این چرخ همراه با سنگدانه‌های ریز ساینده (ماسه) می‌چرخد و به‌طور مداوم از طریق تماس با سطح نمونه و چرخ دوار برای چند دور معین تغذیه می‌شود. AAV از تفاوت جرم نمونه‌ها قبل و بعد از سایش تعیین می‌شود.

این دو آزمایش ازجملهٔ الزامات متداول می‌باشند چراکه آزمایش‌هایی هستند که به جای مخلوط آسفالتی بر روی مصالح انجام می‌شوند. در اروپا، آزمون استاندارد برای PSV در استاندارد EN 1097-8 (CEN, 2009b) آورده شده است که به همراه آن یک پیوست نیز برای AAV وجود دارد. استاندارد EN 13043 (CEN, 2002a) دسته‌بندی‌های PSV را که در اروپا قابل تعیین هستند به صورتی که مقادیر هیچ یک از آن‌ها کم‌تر از ۴۴، ۵۰، ۵۶، ۶۲ و ۶۸ واحد PSV نباشد. به علاوه، یک دسته‌بندی اعلام‌شده و یک دسته‌بندی فاقد الزام ارائه می‌دهد درحالی‌که دسته‌بندی‌های AAV بیش از ۱۰، ۱۵ و ۲۰ واحد AAV به همراه یک دسته‌بندی اعلام‌شده و یک دسته‌بندی بدون الزام می‌باشند.

مقدار بالای PSV نشان‌دهندهٔ مقاومت لغزشی مناسب میان تایر و روسازی است. حداقل مقادیر لازم به وضعیت جاده بستگی دارد که با توجه به الزامات تقاضای جاده‌های پررفت‌وآمد انگلستان (HD 36/06 (HA et al. 2006a)) در جدول (۴-۱) نشان داده شده است. حداکثر مقادیر مربوط به AAV بین ۱۰ تا ۱۶ بسته به جریان ترافیک و نوع مصالح متغیر می‌باشد.

دقت آزمایش PSV با قابلیت تکرارپذیری ۰/۰۴۲ برابر ارزش و بازتولید ۳/۳۰ بعلاوه ی ۰/۰۳۳ برابر ارزش است درحالی‌که دقت AAV به ترتیب برای مقادیر ۴ و ۱۶ AAV، با تکرارپـذیری ۰/۶ و ۲/۵ و بازتولید ۱/۵ و ۳/۵ در نظر گرفته می‌شود.

۴-۲-۳-۳-اصطکاک پس از صیقلی شدن (شبیه‌سازی)

FAP را می‌توان بر روی نمونه‌هایی از سنگدانه‌های مخلوط آسفالتی یا خود مخلوط آسفالتی، نظیـر نمونه‌های مغزه‌گیری شده در سایت تهیه نمود. نمونه‌ها با سه غلتک که می‌توانند روی سطح مـورد آزمایش قرار گیرند و تحت یک نیروی از پیش تعیین‌شده به همراه اضافه کـردن مخلـوطی از آب و پودر کوارتز حرکت کنند، صیقل داده می‌شوند. پس از صیقلی شدن، یک سنجهٔ دوار جداگانه با سه بلوک لاستیکی لغزنده روی سطح مورد آزمـایش، درحـالی‌کـه آب روی آن ریختـه مـی‌شـود، قـرار می‌گیرد. گشتاور ایجادشد میان لغزنده‌های لاسـتیکی و سـطح، پـس از رهاشـدن لغزنـده‌ها بـه‌طور الکتریکی، به صورت مداوم اندازه‌گیری شده و تا زمانی که سنجه توسط اصـطکاک تعریف‌شـده بـه صورت گشتاور اندازه‌گیری شده در سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت متوقف شود، ضبط می‌شود.

با توجه به عدم تشابه تجهیزات موردنیاز موجود برای آزمایش باوجود تولید تمامی آن‌ها توسط یک تولید کننده یعنی وهنر-شولتز، FAP برای رویـه آسـفالت‌ها تحـت اسـتاندارد EN 12697-49 (CEN, 2014b) معرفی شده است. در این حین، تحقیقات در مورد قابلیت‌هـای تجهیـزات FAP در اروپا ادامه دارد (Daskova and Kudrna, 2012; Dunford and Roe, 2012a,b; Friel et al. 2013).

اگرچه این آزمایش به‌تازگی به‌عنـوان یـک اسـتاندارد ارائه‌شـده اسـت، نسـخه‌های EN ۲۰۱۶ 13108 شـامل دسـته‌بندی‌هـایی بـرای نتـایج حاصـل از بـتن آسـفالتی، BBTM، SMA، آسـفالت متخلخل و AULT با دسته‌بندی‌هایی با حداقل مقدار FAP ۰/۳۰ که تا ۰/۵۰ با نرخ ۰/۰۲ افـزایش می‌یابد به‌علاوهٔ یک دسته‌بندی بدون الزام، می‌باشد. دقت ارائه‌شده برای آزمایش FAP، که بر روی نمونه BBTM اندازه‌گیری شده به شرح زیر است:

- تکرارپذیری ۰/۰۲۶ و بازتولید ۰/۰۵۲ قبل از صیقلی شدن
- تکرارپذیری ۰/۰۲۴ و بازتولید ۰/۰۷۴ پس از ۱۸۰۰۰۰ عبور

بااین‌حال، این نگرانی وجود دارد که تنها سازندهٔ تجهیزات کماکان اصلاحات جزئی را در طراحی اعمال می‌کند.

جدول ۴-۱: حداقل PSV سنگدانه‌های رویه درراه‌های پررفت‌وآمد انگلستان

دسته‌بندی محل	توضیحات محل	سطح بررسی	حداقل PSV موردنیاز ترافیک در عمر طراحی								
			۰- ۲۵۰	۲۵۱- ۵۰۰	۵۰۱- ۷۵۰	۷۵۱- ۱۰۰۰	۱۰۰۱- ۲۰۰۰	۲۰۰۱- ۳۰۰۰	۳۰۰۱- ۴۰۰۰	۴۰۰۱- ۵۰۰۰	۵۰۰۱- ۶۰۰۰	بیش از ۶۰۰۰
A1	بزرگراه‌هایی که تعدادی ترمزگیری به‌طور منظم در آن‌ها رخ می‌دهد (به‌عنوان‌مثال در ۳۰۰ متری یک راه خروجی)	۰/۳۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۵	۵۵	۶۰	۶۵	۶۵
		۰/۳۵	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۵	۶۵
A2	بزرگراه‌هایی که تعدادی ترمزگیری به‌طور منظم در آن‌ها رخ می‌دهد (به‌عنوان‌مثال در ۳۰۰ متری یک راه خروجی)	۰/۳۵	۵۰	۵۰	۵۰	۵۵	۵۵	۶۰	۶۰	۶۵	۶۵	۶۵

ادامه جدول ۴-۱: حداقل PSV سنگدانه‌های رویه درراه‌های پررفت‌وآمد انگلستان

دسته‌بندی محل	توضیحات محل	سطح بررسی	حداقل PSV موردنیاز ترافیک در عمر طراحی								
			۰- ۲۵۰	۲۵۱- ۵۰۰	۵۰۱- ۷۵۰	۷۵۱- ۱۰۰۰	۱۰۰۱- ۲۰۰۰	۲۰۰۱- ۳۰۰۰	۳۰۰۱- ۴۰۰۰	۴۰۰۱- ۵۰۰۰	۵۰۰۱- ۶۰۰۰	بیش از ۶۰۰۰
B1	راه دوخطه که تعدادی ترمزگیری به‌طور منظم در آن‌ها رخ می‌دهد (به‌عنوان‌مثال در ۳۰۰ متری یک راه خروجی)	۰/۳۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۵	۵۵	۶۰	۶۵	۶۵
		۰/۳۵	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۵	۶۵
		۰/۴۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵	+۶۸
B2	راه دوخطه که تعدادی ترمزگیری به‌طور منظم در آن‌ها رخ می‌دهد (به‌عنوان‌مثال در ۳۰۰ متری یک راه خروجی)	۰/۳۵	۵۰	۵۰	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵	+۶۸
		۰/۴۰	۵۵	۶۰	۶۰	۶۵	۶۵	+۶۸	+۶۸	+۶۸	+۶۸	+۶۸

ادامه جدول ۴-۱: حداقل PSV سنگدانه‌های رویه درراه‌های پررفت‌وآمد انگلستان

دسته‌بندی محل	توضیحات محل	سطح بررسی	حداقل PSV موردنیاز ترافیک در عمر طراحی								
			۰- ۲۵۰	۲۵۱- ۵۰۰	۵۰۱- ۷۵۰	۷۵۱- ۱۰۰۰	۱۰۰۱- ۲۰۰۰	۲۰۰۱- ۳۰۰۰	۳۰۰۱- ۴۰۰۰	۴۰۰۱- ۵۰۰۰	۵۰۰۱- ۶۰۰۰	بیش از ۶۰۰۰
C	راه تک خطه که در آن ترافیک عموماً به‌صورت روان در یک مسیر مستقیم جریان دارد	۰/۴۵	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۵	۶۰	۶۰	۶۵	۶۵	۶۵
		۰/۵۰	۵۵	۶۰	۶۰	۶۰	۶۵	+۶۸	+۶۸	+۶۸	+۶۸	+۶۸
		۰/۵۵	۶۰	۶۰	۶۵	۶۵	۶۵	+۶۸	+۶۸	+۶۸	+۶۸	+۶۸
G1/G2	شیب بیش از ۵% و با طول بیش از ۵۰ متر	۰/۴۵	۵۵	۶۰	۶۰	۶۵	۶۵	+۶۸	+۶۸	+۶۸	+۶۸	HFS
		۰/۵۰	۶۰	+۶۸	+۶۸	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS
		۰/۵۵	+۶۸	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS
K	در نزدیکی گذرگاه عابر پیاده و دیگر حالات پرخطر	۰/۵۰	۶۵	۶۵	۶۵	+۶۸	+۶۸	+۶۸	HFS	HFS	HFS	HFS
		۰/۵۵	+۶۸	+۶۸	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS
Q	در نزدیکی تقاطع‌های اصلی و فرعی در راه‌های دوخطه و تک خطه که در آن‌ها ترمزگیری به‌طور مکرر یا ناگهانی، اما عموماً در مسیرهای مستقیم، صورت می‌گیرد	۰/۴۵	۶۰	۶۵	۶۵	+۶۸	+۶۸	+۶۸	+۶۸	+۶۸	+۶۸	HFS
		۰/۵۰	۶۵	۶۵	۶۵	+۶۸	+۶۸	+۶۸	HFS	HFS	HFS	HFS
		۰/۵۵	+۶۸	+۶۸	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS

ادامه جدول ۴-۱: حداقل PSV سنگدانه‌های رویه درراه‌های پررفت‌وآمد انگلستان

دسته‌بندی محل	توضیحات محل	سطح بررسی	حداقل PSV موردنیاز ترافیک در عمر طراحی								
			۰- ۲۵۰	۲۵۱- ۵۰۰	۵۰۱- ۷۵۰	۷۵۱- ۱۰۰۰	۱۰۰۱- ۲۰۰۰	۲۰۰۱- ۳۰۰۰	۳۰۰۱- ۴۰۰۰	۴۰۰۱- ۵۰۰۰	۵۰۰۱- ۶۰۰۰	بیش از ۶۰۰۰
R	ناحیهٔ گردش در میدان	۰/۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۰	۶۵	۶۵	+۶۸	+۶۸	HFS	HFS
		۰/۵۰	+۶۸	+۶۸	+۶۸	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS
S1/S2	قوس‌ها (شعاع کمتر از ۵۰۰ متر) در تمامی انواع جاده‌ها ازجمله جاده‌های اتصالی بزرگراه؛ خطرات دیگر که نیازمند ترمز گیری و چرخش به‌طور هم‌زمان هستند	۰/۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۰	۶۵	۶۵	+۶۸	+۶۸	HFS	HFS
		۰/۵۰	+۶۸	+۶۸	+۶۸	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS
		۰/۵۵	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS	HFS

منبع: **The Highways Agency, Transport Scotland, Welsh Assembly Government and The Department for Regional Development, Northern Ireland. 2006a. مصالح رویه برای ساخت‌وساز جدید و نگهداری از آن‌ها. در راهنمای طراحی جاده‌ها و پل‌ها: جلد ۷، طراحی و نگهداری روسازی: بخش ۵، رویه و مصالح رویه: قسمت ۱، HD 36/06. لندن: اداره انتشارات پارلمانی و رسمی. www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/vol7/section5/hd3606.pdf**

توجه: دسته‌بندی‌های محل بر اساس ویژگی‌های عمومی و رفتار ترافیکی آن‌ها صورت می‌گیرد. سطوح بررسی (IL) برای دسته‌های خاصی از محل در جای دیگری تعیین می‌شوند. سطوح بررسی که در این جا استفاده شده است باید همانی باشد که به محل خاصی که مصالح در آن جا اجرا شده، اختصاص یافته است. بزرگراه‌ها یا راه‌های ورودی و خروجی دوخطه ممکن است در تعدادی از گروه‌ها بسته به طرح، جایی که مصالح "۶۸ +" در این جدول ذکر شده است در نظر گرفته شوند، هیچ‌یک از سه نتیجهٔ اخیر از آزمایش‌های متوالی PSV مربوط به سنگدانه‌های ارائه‌شده نباید کم‌تر از ۶۸ باشد. HFS به معنای لزوم استفاده از رویه‌های با اصطکاک بالا است که با سنگدانه بوکسیت کلسینه ترکیب می‌شوند. برای رده‌های محل G1 / G2، S1 / S2 و R هر PSV در محدوده داده‌شده برای هر سطح ترافیک می‌توان از هر IL استفاده کرد که باید بر اساس تجربیات محلی از کارایی مصالح انتخاب شود. در صورت عدم وجود این اطلاعات، مقادیر داده‌شده برای IL و سطح ترافیک متناسب باید استفاده شود. به هنگامی‌که طراحان دارای اطلاعات کافی باشند و یا دارای تجربیاتی دیگر پیرامون حالات خاص محل هستند، می‌توان مقداری جایگزین برای PSV تعیین نمود.

۴-۲-۴-اندازه‌گیری‌های درجا

۴-۲-۴-۱-تغییر مقاومت لغزشی درجا

مقاومت لغزشی جاده به هنگام اجرای روسازی عموماً در بالاترین سطح خود قرار دارد. پس‌ازآن ترافیک سطح جاده را صیقلی می‌کند، اگرچه مقاومت لغزشی آن پس از حدود ۲ سال به تراز «تعادل» می‌رسد که این تراز به نوع و سرعت ترافیک وابسته است. حتی پس از رسیدن به تعادل، مقاومت لغزشی در طول سال با تغییرات شرایط آب و هوایی، تغییر خواهد کرد. تحت شرایط آب و هوایی انگلستان، در فصل تابستان دارای کم‌ترین میزان خود است و معمولاً در زمستان، احتمالاً با شسته شدن ذرات ریز ماسه، که باعث فرسایش سنگدانه‌ها می‌شوند، توسط بارش اضافی، مقداری افزایش می‌یابد. این تغییرات باید در نظر گرفته شوند:

- نتایج برای چند سال اول ممکن است بیشتر از مقدار تعادل باشد.
- اندازه‌گیری‌ها باید برای زمان ساخت با میانگین‌گیری از چند مقدار و یا با استفاده از ضریب تصحیح، اصلاح شود.

مقاومت لغزشی در شرایط مرطوب کاهش می‌یابد، لذا مقدار رطوبت برای هر آزمایش باید کنترل شود. علاوه بر این، مقاومت لغزشی با توجه به سرعت وسیله نقلیه متغیر است و بنابراین برای نظارت بر شبکه این عامل نیز باید یکسان‌سازی شود.

۴-۲-۴-۲-سنجش‌های آونگی (شبیه‌سازی)

ساده‌ترین روش برای اندازه‌گیری مقاومت لغزشی استفاده از آونگ می‌باشد. آونگ بر روی سطح روسازی مرطوب خراش ایجاد کرده و مقدار اصطکاک با توجه به میزان بالا رفتن آونگ در طرف دیگر، محاسبه می‌شود. این آزمایش فقط برای سطوحی که حاوی سنگدانه‌های درشت‌دانه نیستند، مناسب می‌باشد. از آن جا که این روش تنها یک روش دستی برای محاسبه اصطکاک است برای نظارت بر شبکه مناسب نمی‌باشد؛ اما بااین‌حال، می‌توان از آن در سنجش‌های آزمایشگاهی و همچنین درجا، استفاده کرد. این روش مطابق استاندارد EN 13036-4 (CEN, 2011) با دقت تکرارپذیری ۶/۶۴۸ و بازتولید ۷/۲۰۲ در اروپا یکسان‌سازی شده است.

۴-۲-۴-۳-سنجش‌های نیروی جانبی (شبیه‌سازی)

یک چرخ دوار در وسیله نقلیه آزمایش با زاویه‌ای در جهت مسیر و میزان آب مشخص پخش‌شده در سطح جاده در مقابل چرخ، کار گذاشته می‌شود. نیرویی که در چرخ زاویه‌دار ایجاد می‌شود اندازه گرفته شده و از این طریق ضریب نیروی جانبی (SFC) تعیین می‌گردد. سرعت چرخش تایرهای آزمایشی کندتر از چرخ‌های وسیله نقلیه می‌باشد، به همین جهت این اندازه‌گیری‌ها برای سرعت‌های پایین‌تر صورت می‌پذیرد. بااین‌حال، سرعتی که در آن لاستیک در تماس با patch slides در جهت روبه‌جلو است همواره به طرز قابل‌توجهی کم‌تر از سرعت وسیله نقلیه آزمایش می‌باشد بنابراین چرخ‌ها به نسبت آرام‌تر ساییده می‌شوند. SCRIM که در شکل (۴-۴) نشان داده شده است، نمونه‌ای از تجهیزاتی است که طبق این روش به‌طور معمول در شبکه‌های جاده‌ای اصلی در بریتانیا استفاده می‌شود.

۴-۲-۴-۴-سنجش‌های لغزش ثابت (شبیه‌سازی)

تایری در مسیر معینی که آب بر روی سطح آن و تنها در مقابل تایر پخش‌شده در حال حرکت است و در این حین طوری تحت چرخش قرار می‌گیرد که سرعتش از سرعت مورد نیاز تجهیزاتی که در حال حرکت هستند، کم‌تر باشد و ازاین‌رو دائماً تحت لغزش قرار می‌گیرد. نیروی موردنیاز برای آهسته کردن این تایر، معیار لغزش ثابت مقاومت لغزشی می‌باشد؛ اما بازهم سرعت لغزش واقعی تایر نسبت به سرعت تجهیزات پایین‌تر است. نمونه‌ای از تجهیزات این روش آزمایشگر گریپ می‌باشد که می‌تواند هم به‌طور دستی همانند شیوهٔ نشان داده شده در شکل (۴-۵) مورداستفاده قرار گیرد (این عمل موجب کاهش سرعت اندازه‌گیری می‌شود) و یا توسط یک وسیله نقلیهٔ دیگر کشیده شود.

شکل ۴-۴: دستگاه متداول اندازه‌گیری ضریب نیرو جانبی (John Prime)

شکل ۴-۵: آزمایشگر گریپ (John Prime)

۴-۲-۴-۵-سنجش‌های چرخ قفل‌شده (شبیه‌سازی)

وسیلهٔ آزمایش به هنگام قفل بودن چرخ به‌طوری‌که دیگر نچرخیده اما در حال لغزش باشد، درحالی‌که مقدار معینی آب در سطح جاده در مقابل آن پخش شده است با سرعت معین حرکت می‌کند. نیروی ایجادشده برای تعیین مقاومت لغزشی چرخ قفل‌شده که در آن سرعت لغزش برابر

سرعت وسیله نقلیهٔ آزمایش است، اندازه‌گیری می‌شود. این روش چرخ قفل‌شده تنها روشی است که با آن می‌توان مستقیماً اصطکاک لغزشی را در محدوده وسیعی از سرعت‌ها اندازه‌گیری کرد اما برای اندازه‌گیری در سرعت‌های بالا، بدون کنترل ترافیک مناسب نمی‌باشد. Pavement Friction Tester (PFT) نمونه‌ای از تجهیزات چرخ قفل‌شده می‌باشد که در شکل (۴-۶) نشان داده شده است.

۴-۲-۵-تعیین مقاومت لغزشی

مطلوب‌ترین رویکرد، تعیین تعادل مقاومت لغزشی است اما ارزیابی درست از مقاومت لغزشی با استفاده از این روش مستلزم دو سال انتظار است. حتی اندازه‌گیری مقاومت لغزشی اولیه تا کامل شدن عملیات امکان‌پذیر نیست و هرگونه اظهارنظر درباره تعادل مقاومت لغزشی غیرقابل اطمینان است. هرگونه اقدام اصلاحی موردنیاز به دلیل مقاومت لغزشی ناکافی، پس‌ازآن زمان غیراقتصادی و مخرب می‌باشد؛ بنابراین جایگزینی عمق بافت حداقل و PSV همراه با حداکثر مقدار AAV برای ساخت‌وساز جدید تعیین می‌شود؛ اگرچه درصورتی‌که تجربه کافی برای آزمایش وجود داشته باشد می‌توان PSV را با FAP جایگزین کرد. بااین‌حال، در حال حاضر اقداماتی جهت ایجاد تغییر برای محدودهٔ قابل قبول عمق بافت، به‌منظور اطمینان از این‌که دانه‌بندی بافت برای دوام مناسب بیش‌ازحد باز نباشد، صورت گرفته است.

شکل ۴-۶: سنجشگر اصطکاک روسازی (John Prime)

قابلیت زهکشی افقی سطح روسازی تنها برای ارزیابی عمق بافت سطوح صاف مناسب است. بنابراین برای کشورهایی مانند بریتانیا که نیازمند سطح بالایی از ایمنی جاده هستند، مناسب نمی‌باشد. اندازه‌گیری عمق بافت در زمان ساخت معمولاً با روش پچ انجام می‌گیرد اما روش‌های مختلفی که بتواند در سرعت ترافیک انجام پذیرد (مانند SMPT و MPD)، برای بررسی تعمیر و نگهداری این بافت مناسب‌ترند.

هنگامی‌که روسازی به سطح تعادل خود رسیده است، کنترل مقاومت لغزشی درجا امری منطقی به نظر می‌رسد. از آنجاکه هرکدام از روش‌ها مقاومت لغزشی را در سرعت‌های مختلف و تحت سایر محدودیت‌ها اندازه می‌گیرند لذا هیچ‌کدام تصویر کلی از آن را ارائه نمی‌دهند. به‌طورکلی، روش موردنیاز بر اساس تجهیزات موجود برای اندازه‌گیری آن خواهد بود.

۴-۳-کاهش سروصدا و پاشیدگی آب

۴-۳-۱-کاهش سروصدا

۴-۳-۱-۱-بیان مسأله

سروصدای ترافیکی، چه در هنگام سفر و چه به هنگام سکونت در نزدیکی و مجاورت راه‌ها، از نظر مردم به‌عنوان یک معضل شناخته می‌شود. این درک با آهسته‌تر شدن صدای وسایل نقلیه و بیش‌تر شدن انتظارات افزایش یافته شده است. ویژگی‌های سطح روسازی از قبیل عمق بافت، مقاومت در برابر نفوذ جریان هوا و جذب آکوستیک، بر تولید و انتشار صدای حاصل از تایر و جاده اثرگذارند. منبع دیگر صدای جاده سروصدای موتور با سهم نسبی دو منبع متفاوت وابسته به ترکیب ترافیک/شرایط آب و هوایی و ویژگی‌های روسازی است.

۴-۳-۱-۲-روش عبورآماری (اصلی)

متداول‌ترین روش برای اندازه‌گیری سروصدای نسبی احساس‌شده به‌منظور کاهش آن برای جاده‌های مختلف، روش عبور آماری (SPB) است که تحت عنوان استاندارد ISO 11819-1:2001 (ISO, 2001) ارائه شده است. در روش SPB، حداکثر سطوح فشار صوت A-weighted و سرعت‌های وسایل نقلیه از تعداد آماری قابل‌توجه وسایل نقلیه منحصربه‌فرد، به هنگام عبور آن‌ها از یک مکان مشخص اندازه‌گیری می‌شود. وسایل نقلیه مورد نظر اتومبیل‌ها و وسایل‌نقلیهٔ سنگین دو محوره و چند محوره هستند. فشار صوت و لگاریتم سرعت برای هر دسته خودرو و دسته سرعت (۴۵-۶۴ کیلومتر در ساعت برای کم، ۶۵-۹۹ کیلومتر در ساعت برای متوسط و ۱۰۰ کیلومتر در ساعت و یا بیشتر برای زیاد) رسم و خطوط روند برازش داده می‌شوند و این‌چنین میزان صدای وسایل نقلیه برای رده‌های مختلف وسیله نقلیه و سرعت به‌عنوان میانگین حداکثر فشار صوت -A

weighted تعیین می‌شود. سطوح صدای انواع مختلف وسایل نقلیه بر اساس نسبت‌های مورد انتظار در جریان جهت ارائه شاخص عبور آماری (SPBI)، به توان مبنا اضافه می‌شود. داده‌های دقیقی برای این آزمایش ارائه نشده است.

این روش آزمایش اصولی است چراکه صدای تولیدشده در سایت را اندازه‌گیری می‌کند. مسئله اصلی این است که این روش را تنها زمانی می‌توان برای اندازه‌گیری صدا به کار برد که سایت مورد مطالعه جهت جلوگیری از آلودگی منابع دیگر صدا و یا انعکاس آن‌ها مناسب باشد.

در بریتانیا سطوح کاهش صدا مربوط به مصالح رویه سنتی با استفاده از SPB در جدول NG 9/30 از کتاب Notes for Guidance on the Specification for Highway Works (HA et al. 2008b) ارائه شده که در جدول (۴-۲) آورده شده است.

جدول ۴-۲: سطوح سروصدای راه/تایر

سطح	معادل با مصالح رویه سنتی	تأثیر سطح جاده (**RSI**)
۳	مصالح رویه بسیار آرام	-۳/۵ dB (A)
۲	آرام‌تر از مصالح رویه HRA	-۲/۵ dB (A)
۱	برابر با مصالح رویه HRA	-۰/۵ dB (A)
۰	بدون الزام	بدون الزام

منبع: The Highways Agency, Transport Scotland, Welsh Assembly Government and The Department for Regional Development, Northern Ireland. 2008b. Notes for guidance on the specification for highway works, series NG 900, road pavements – Bituminous bound materials. در کتابچه راهنمای Contract Documents for Highway Works جلد دوم، لندن: اداره انتشارات پارلمانی و رسمی.
www.standardsforhighways.co.uk/ha/standards/mchw/vol2/pdfs/series_ng_0900.pdf

نوعی از SPB، که در آن میکروفن بر روی صفحه قالب به‌جای قرارگیری در شرایط معمول میدان آزاد، نصب شده است با عنوان استاندارد ISO/PAS 11819-4 (ISO, 2013) ارائه شده است. با نصب غشای میکروفون در محلی بسیار نزدیک به صفحه قالب حین اندازه‌گیری، صدای پشت شامل بازتاب‌های نمای ساختمان یا موانع صوتی، حذف می‌شوند. صدای وارد آمده از جلو به کمک صفحهٔ محافظ به صورت کنترل‌شده بازتابیده می‌شود به‌طوری که با اعمال یک تصحیح در مقدار اندازه گرفته شده، می‌تواد به کار گرفته شود. به لحاظ تئوری، نتایج به دلیل دو برابر شدن فشار صوت با صفحی محافظ، به میزان ۶ دسی‌بل افزایش می‌یابد.

۴-۳-۱-۳-روش مجاورت نزدیک (اصلی)

ایراد روش SPB این است که اندازه‌گیری‌ها باید در فاصلهٔ ثابتی از وسایل نقلیه، درحالی‌که هیچ مانعی در اطراف که از بین برنده یا منعکس‌کننده صداست وجود ندارد، صورت پذیرد. این الزام به شکل قابل‌توجهی سایت‌هایی را که بتوان در آن‌ها این‌گونه اندازه‌گیری‌ها را انجام داد، محدود می‌کند.

برای غلبه بر معایب نیاز به سایت مناسب، اندازه‌گیری را می‌توان بر روی یک وسیله نقلیه که به‌صورت خودکار حرکت کرده یا توسط یک وسیله نقلیه دیگر کشیده می‌شود، انجام داد. بااین‌حال، طرح پیشنویس چنین روش مجاورت نزدیک (CPX) برای اندازه‌گیری صدای جاده، ISO DIS 11819-2، تا زمان نوشتن این کتاب به پایان نرسیده است.

روش CPX شامل اندازه‌گیری میانگین سطوح فشار صوت A-weighted است که توسط تایری خاص در سرعت ترافیک مشخص، در فاصله‌ای دلخواه از مسیر منتشر شده و با حداقل دو میکروفون قرار داده شده در مجاورت تایر انجام می‌شود. به‌منظور نشان دادن ویژگی‌های تایر/جاده، دو تایر مرجع منحصربه‌فرد متفاوت تعیین می‌شوند. بخش قابل‌توجهی از اثر انتشار توسط سطوح جاذب آکوستیکی باید در سیگنال میکروفون نمایان شود زیرا منبع صدای تایر/جاده در CPX سطح تماس بین این دو است. اندازه‌گیری‌ها در سرعت مرجع تعیین‌شدهٔ ۴۰، ۵۰، ۸۰ و یا ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت انجام می‌گیرد. این آزمایش نیز اصولی است به‌دلیل آن‌که صدای تولیدشده در سایت را اندازه‌گیری می‌کند.

۴-۳-۱-۴-تعیین صدا

از آن جا که هیچ روش استانداردی که بتواند در هر نوع سایتی استفاده شود وجود ندارد، تنها راه تعیین صدا، استفاده از سایت‌های مناسب به‌عنوان مرجع برای یک مخلوط خاص با استفاده از روش SPB با یا بدون صفحه قالب است. ایراد این رویکرد به وجود آمدن تغییراتی است که در تولید اتفاق می‌افتد و شاید مهم‌تر اینکه نحوهٔ اجرای مخلوط آسفالتی بر روی عملکرد واقعی روسازی تکمیل‌شده تأثیرگذار است. به‌علاوه صدای تایر/ روسازی با استفاده از روسازی افزایش می‌یابد، به‌خصوص در مواردی که سنگدانه‌های آن از بین رفته و جدا شوند. درحالی‌که این امر به‌دلیل این‌که روسازی جدید باید همیشه در مقایسه با روسازی‌های تعویض شده (اگر نوع مخلوط تغییر نکند)، دارای صدای کم‌تری باشد، دارای مزیت است و باعث می‌شود که حفظ عملکرد صوتی در طول زمان با مشکل مواجه شود.

۴-۳-۲- کاهش پاشیدگی آب (جایگزین)

پاشیدگی آب می‌تواند موجب بروز مشکلات زیادی در بزرگراه‌ها حین بارندگی شود چراکه باعث می‌شود میدان دید به دلیل برگشت قطرات ریز آب از سطح راه و یا پاشیده شدن آن‌ها از تایرهای در حال چرخش، کم شود. این مشکل در فرودگاه‌ها کم‌تر است چون خلبانان عموماً بالاتر از رانندگان اتومبیل‌ها و کامیون‌ها می‌نشینند.

آسفالت متخلخل عمدتاً به‌عنوان بهترین مصالح برای کاهش پاشیدگی در نظر گرفته می‌شود زیرا آب می‌تواند از حفره‌های متصل‌به‌هم موجود در آن عبور کند. بااین‌حال، تحقیقات در مورد سیستم‌های زهکشی (Nicholls and Carswell, 2001) نشان داده است که حتی با وجود بارش باران نسبتاً کم، یک لایهٔ نازک آب در سطح آسفالت متخلخل جدید نیز وجود داشته است. بااین‌وجود، اثربخشی این مسأله وابسته به نفوذ آب به داخل مصالح روسازی حین رد شدن تایر می‌باشد حتی اگر مجدداً در نزدیکی آن پدیدار شود.

زهکشی درجا (که با عنوان هدایت هیدرولیکی نیز شناخته شده است) در EN 12697-40 (CEN, 2012g) به‌عنوان یک راه حل جایگزین برای کاهش پاشیدگی آب خصوصاً برای رویهٔ آسفالت متخلخل استفاده شده است. این آزمایش از یک تراوایی‌سنج برای تعیین زمان خروج جریان مقدار ثابتی از آب جهت مستهلک شدن از طریق یک سطح حلقوی به سمت لایهٔ رویه با سطح انرژی مشخص، استفاده می‌کند. سپس مقدار متقابل با زمان خروج جریان برای محاسبه هدایت هیدرولیکی نسبی مصالح رویه مورد استفاده قرار می‌گیرد. آزمایش آمریکایی معادل این روش(ASTM, 2010) ASTM D5084 می‌باشد. این آزمایش‌ها آزمایش‌های درستی برای نفوذپذیری نیستند زیرا به‌جای خروج آب فقط از طریق لایهٔ روسازی، سرعت خروج آب را اندازه‌گیری می‌کنند - مقدار بسیار زیادی از آب اغلب دوباره در نزدیکی تراوایی‌سنج پدیدار می‌شود. یکی از ایرادات آسفالت متخلخل این است که مصالح رویه در طول زمان با مواد خرد و ریز پر شده و هدایت هیدرولیکی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای با گذشت زمان پس از اجرا، کاهش می‌یابد (Nicholls, 1997).

تحقیقات نشان داده است که میزان پاشیدگی تحت‌تأثیر نوع آسفالت و خواص آن می‌باشد، اما این امر همچنین بستگی به میزان بارندگی فعلی و پیشین دارد (Nicholls and Daines, 1992). برخی از مصالح عمل پاشیدگی را در ابتدای رخ دادن باران‌های شدید کاهش می‌دهند، به دلیل آن‌که در آن‌ها حفره‌هایی وجود دارد که آب می‌تواند در آن‌ها جریان یابد یعنی پتانسیل هدایت شدن به سمت خط دید رانندگان را ندارد. بااین‌حال، پس از گذشت مدتی از طوفان، حفره‌ها از آب پرشده و مقدار پاشیدگی، هر آن چه که باشد، به‌جای کاهش، افزایش می‌یابد.

ویژگی‌های اصلی که بر روی پاشیدگی اثرگذارند، به‌غیراز مواردی که به روسازی مربوط می‌شوند، به‌طورکلی ضخامت لایهٔ نازک آب (که به هندسه سطح روسازی و همچنین بارندگی فعلی و پیشین بستگی دارد)، سرعت وسیلهٔ نقلیه، هندسه تایر، عمق خطوط تایر، خصوصیات آیرودینامیک وسیلهٔ نقلیه و هرگونه وسیلهٔ از بین برندهٔ پاشیدگی وسیلهٔ نقلیه همانند نوار دور حلقه، است (Sanders et al., 2012). این گسترهٔ ویژگی‌ها ارائه کردن این آزمایش را به عنوان یک استاندارد با توجه به معضلات زیر دشوار می‌سازد:

- استفاده از باران‌های طبیعی یا آبیاری مصنوعی
- زمان اندازه‌گیری خصوصیات حین طوفان
- چگونگی دستیابی به ضخامت ثابت لایهٔ نازک آب در اثر باران‌های طبیعی
- چگونگی اعمال آب کافی با نرخ ثابت برای آبیاری مصنوعی (مقادیر کم آب ممکن است درصورتی‌که خیلی زود قبل از اندازه‌گیری اضافه شود در سطوح با دانه‌بندی باز نفوذ کرده و خارج شود درحالی‌که ممکن است برای سطوح متراکم‌تر مناسب باشد).

تاکنون، هیچ آزمایش عملکردی و یا آزمایش درجا برای ارزیابی پتانسیل پاشیدگی آب به‌طوری که به صورت گسترده مورد قبول واقع شود، ایجاد نشده است. تکنیک‌هایی که معمولاً برای اندازه‌گیری پاشیدگی استفاده می‌شوند (Sanders et al., 2012) شامل موارد زیر است:

- جمع‌آوری، که در آن قسمتی از پاشیدگی ایجادشده، برای تهیهٔ نمونه‌ای که نشانگر آن باشد، در یک ظرف جمع‌آوری می‌شود.
- تغییرات شدید تیرگی ـ روشنی، که در آن تصاویر یک هدف استاندارد قبل و حین پاشیدگی، با به کار بردن تکنولوژی تحلیل تصویر و تفاوت‌های مورداستفاده برای تخمین مقدار پاشیدگی، تحلیل می‌شوند.
- تضعیف نور، که در آن یک منبع نور از میان یک ابر پاشیدگی در یک فتوسل در فاصله‌ای ثابت، به‌طوری‌که نور آن به هنگام عبور از این ابر پراکنده گردد، هدایت شده و مقدار نور جمع‌آوری‌شده توسط فتوسل نشان‌دهنده میزان پاشیدگی است.
- مشاهدات فردی، که در آن هم تصاویر و هم مشاهدات مستقیم پاشیدگی توسط افرادی، همراه با ثبت هر تصویر و اجرای آزمایش برای تهیهٔ مقدار subjective پاشیدگی، تعیین می‌شود.

تمامی این روش‌ها بیش‌تر برای آزمایش‌های درجا به کار می‌روند تا آزمون‌های آزمایشگاهی؛ بنابراین به کار بردن آن‌ها در طراحی آسفالت سخت‌تر می‌باشد.

۴-۴-رنگ

رنگ آسفالت بیش‌تر از منظر معماری مهم می‌باشد تا از نظر خصوصیات روسازی، اما از منظر زیبایی‌شناسی و یا مهم‌تر از آن تشخیص میان کاربران مختلف در بزرگراه‌ها می‌تواند مفید باشد. یکی از مشکلات تمایز خطوط اتوبوس، دوچرخه، عابر پیاده و یا گروه‌های دیگر ترافیکی این است که توافقی در مورد اینکه برای هرکدام از این گروه‌ها از چه رنگی باید استفاده شود وجود ندارد. ازاین‌رو، طرح رنگی که توسط یک سازمان راه استفاده می‌شود می‌تواند با طرح رنگ‌های مورد استفاده توسط سازمان راه‌های مناطق مجاورش کاملاً متفاوت باشد که رانندگان را در اطمینان به اینکه یک خط رنگی چه چیزی را نشان می‌دهند، دچار مشکل می‌کند. همچنین ادعا شده است که برخی از رنگ‌ها در بعضی مناطق شهرهایی که دو تیم فوتبال دارند چون مربوط به تیم مقابل هستند غیرقابل پذیرش‌اند!

آسفالت اساساً به‌دلیل وجود قیری که باید تمام سنگدانه‌های آن را بپوشاند، سیاه‌رنگ است. سایهٔ رنگ سیاه می‌تواند تحت‌تأثیر رنگ سنگدانه‌ها قرار گیرد اما طیف رنگ‌های موجود، محدود و به‌طورکلی نسبتاً کدر است. علاوه بر این، تعداد ناچیز سنگدانه‌های دارای رنگ طبیعی احتمالاً دارای خواص مکانیکی موردنیاز برای سنگدانه‌های لایهٔ رویه نمی‌باشند. این رنگ‌ها می‌توانند با استفاده از چسباننده‌های مصنوعی به‌جای قیر تقویت شوند، هرچند که این چسباننده‌ها عموماً گران‌تر از قیر هستند. بنابراین، معمولاً رنگ‌دانه‌هایی به مخلوط اضافه می‌شوند که می‌تواند رنگ موردنظر را به وجود آورده و جایگزین مقداری از فیلر شوند و یا در غیر این صورت عملیاتی بر روی سطح انجام می‌شود تا رنگ موردنظر ایجاد گردد.

مسأله دیگر تغییر رنگ سطح با گذشت زمان است، البته اگر تنها ناشی از مواد ریز باشد. رنگ‌دانه‌ها تمایل به محو شدن در نور خورشید دارند و چسبانندهٔ رنگی نیز می‌تواند از سطح سنگدانه‌ها خراشیده شود. به هنگام جایگزین کردن یک وصله در یک رویهٔ رنگی دستیابی به سازگاری منطقی بین آن‌ها چه در حین اجرا و چه پس از پیرشدگی وصله امری دشوار است.

اگر نیاز به استفاده از رنگ‌ها در سطح باشد، ابتدا باید تعریف گردند. یکی از روش‌های آسان، استفاده از نمودار رنگ برای مقایسه است. اما این روش می‌تواند شامل جزئیات زیادی باشد و مجموعه‌ای منتخب از درجهٔ رنگ‌ها، چه در ابتدا و چه در طول زمان، باید برای در نظر گرفتن پتانسیل تغییرات مجاز باشند؛ بنابراین، سیستم‌هایی برای تعیین رنگ با استفاده از مختصاتی با دامنهٔ تغییرات وجود دارد که برخی از متداول‌ترین آن‌ها در جدول (۴-۳) آورده شده است. نمونه‌هایی از رنگ‌های رایج در سه تا از این آیین‌نامه‌ها نیز در جدول(۴-۴) ارائه شده است. نمونه‌های ویژه‌ای از تجهیزات اندازه‌گیری این مختصات‌ها برای هر سیستم وجود دارد که شماری از آن‌ها نیز متداول می‌باشند.

اگر نیاز به تعیین رنگ باشد، باید یک روش شبیه‌ساز پیرشدگی برای تکرار ساییدگی و نمایش دوام سطح در عمر مفید خود، در نظر گرفت. هیچ روشی مناسبی که به‌طور عمومی مورد پذیرش واقع شده باشد وجود ندارد اما در انگلستان روشی برای بهسازی سطوح رنگی ارائه شده است (BBA, 2005).

جدول ۴-۳: سیستم‌های توصیف رنگ

سیستم	توضیح
کد رنگ Hex	سیستم سه‌گانه در مبنای شانزدهی که رنگ‌های قرمز، سبز و آبی را به‌صورت #RRGGBB نشان می‌دهد.
کد رنگ RGB	RGB به ترتیب به معنای قرمز، سبز و آبی می‌باشد.
کد رنگ NCS	این سیستم از سه ویژگی رنگمایه، سیاهی و روشنی استفاده می‌کند که دو مورد آخر سایه‌روشن خوانده می‌شوند.
کد رنگ HSL	سیستم استوانه‌ای با استفاده از رنگمایه، اشباع و روشنایی
کد رنگ HSV	سیستم استوانه‌ای با استفاده از رنگ، اشباع و مقدار یا درخشش

جدول ۴-۴: کد رنگ‌های متداول

رنگ	کد Hex	کد RGB	کد HSV
سفید	#FFFFFF	(255, 255, 255)	(−°, 0%, 100%)
سیاه	#000000	(0, 0, 0)	(−°, −%, 0%)
سبز	#009F6B	(0, 159, 107)	(160°, 100%, 63%)
قرمز	#C40233	(196, 2, 51)	(345°, 99%, 77%)
زرد	#FFD300	(255, 211, 0)	(50°, 100%, 100%)
آبی	#0087BD	(0, 135, 189)	(197°, 100%, 74%)

منابع

ASTM International. 2010. Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of saturated porous materials using a flexible wall permeameter. *ASTM D5084-10*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. 2015b. Standard test method for measuring pavement macrotexture depth using a volumetric technique. *ASTM E965-15*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. 2015c. Standard practice for calculating pavement macrotexture mean profile depth. *ASTM E1845-15*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

Austroads. 2011. Pavement surface texture measurement with a laser profilometer. *Test Method AG:AM/T013*. Sydney: Austroads. http://austroads. com.au. tmp. anchor. net.au/ images/ stories/AG_AM_T013__ Texture_ survey__2011.pdf

British Board of Agrément. 2005. *Guidelines Document for the Assessment and Certification of Coloured Surface Treatments for Highways*. Watford: British Board of Agrément. www.bbacerts.co.uk/wp-content/uploads/2014/10/ Coloured-Surface-Treatments-For-Highways-Guidelines.pdf.

Comité Européen de Normalisation. 2002a. Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads, airfields and other trafficked areas. *EN 13043:2002*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2002b. Road and airfield surface characteristics – Test methods – Part 3: Measurement of pavement surface horizontal drainability. *EN 13036-3:2002*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2003b. Road and airfield surface characteristics – Test methods – Part 7: Irregularity measurement of pavement courses – The straightedge test. *EN 13036-7:2003*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2008b. Road and airfield Surface characteristics – Test methods – Part 8: Determination of transverse unevenness indices. *EN 13036-8:2008*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2009b. Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 8: Determination of the polished stone value. *EN 1097-8:2009*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2010a. Road and airfield surface characteristics – Test methods – Part 1: Measurement of pavement macro-texture depth using a volumetric patch technique. *EN 13036-1:2010*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2011. Road and airfield surface characteristics – Test methods – Part 4: Method for measurement of slip/skid resistance of a surface – The pendulum test. *EN 13036-4:2011*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2012g. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 40: In situ drainability. *EN 12697-40:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2014b. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 49: Determination of friction after polishing. *EN 12697-49:2014*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Daskova, J and J Kudrna. 2012. The experience with Wehner/Schulze procedure in the Czech Republic. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. In SIIV – 5th International Congress – Sustainability of Road Infrastructures 2012, Volume 53, 3 October 2012, pp 1034–1043. http://www.sciencedirect.com/ science /article /pii/S1877042812044151.

Dunford, A and P G Roe. 2012a. *Use of the Wehner–Schulze machine to explore better use of aggregates with low polish resistance – 1: Capabilities of the Wehner–Schulze machine*. TRL Published Project Report PPR604. Wokingham: TRL Limited.

Dunford, A and P G Roe. 2012b. *Use of the Wehner–Schulze machine to explore better use of aggregates with low polish resistance – 2: Experiments using the Wehner–Schulze machine*. TRL Published Project Report PPR605. Wokingham: TRL Limited.

Friel, S, M Kane and D Woodward. 2013. Use of Wehner Schulze to predict skid resistance of Irish surfacing materials. In Airfield and Highway Pavement, June 2013, France, 12 p. https://hal.archives - ouvertes.fr/ hal- 00851551/ document.

International Organization for Standardization. 2001. Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical Pass-By method. *ISO 11819-1:2001*. International standards institutions.

International Organization for Standardization. 2004. Characterization of pavement texture by use of surface profiles – Part 1: Determination of mean profile depth. *ISO 13473-1:2004*. International standards institutions.

International Organization for Standardization. 2013. Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 4: SPB method using backing board. *ISO/PAS 11819-4:2013*. International standards institutions.

Nicholls, J C. 1997. *Review of UK porous asphalt trials*. TRL Report TRL264. Wokingham: TRL Limited.

Nicholls, J C and I G Carswell. 2001. *Effectiveness of edge drainage details for use with porous asphalt*. TRL Report TRL376. Wokingham: TRL Limited.

Nicholls, J C and M E Daines. 1992. Spray suppression by porous asphalt. In *The Second International Symposium on Road Surface Characteristics*, Berlin, 1992.

Nicholls, J C, C Roberts and P Samuel. 2006a. *Implications of implementing the European asphalt test methods*. TRL Report TRL656. Wokingham: TRL Limited.

Roe, P G and S A Hartshorne. 1998. *The polished stone value of aggregates and in-service skidding resistance*. TRL Report TRL322. Wokingham: TRL Limited.

Roe, P G, A R Parry and H E Viner. 1998. *High- and low-speed skidding resistance: The influence of texture depth*. TRL Report TRL367. Wokingham: TRL Limited.

Roe, P G, D C Webster and G West. 1991. *The relation between the surface texture of roads and accidents*. TRL Research Report RR296. Wokingham: TRL Limited.

Sanders, P D, A Dunford, H Viner, G W Flintsch and R M Larson. 2012. *Splash and spray assessment tool development program – First interim report: Revised synthesis report*. TRL Published Project Report PPR602. Wokingham: TRL Limited.

The Highways Agency, Transport Scotland, Welsh Assembly Government and The Department for Regional Development, Northern Ireland. 2006a. Surfacing materials for new and maintenance construction. In *Design Manual for Roads and Bridges: Volume 7, Pavement Design and Maintenance: Section 5, Surfacing and Surfacing Materials: Part 1, HD 36/06*. London: The Stationery Office. www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/vol7/section5/ hd3606.pdf.

The Highways Agency, Transport Scotland, Welsh Assembly Government and The Department for Regional Development, Northern Ireland. 2008a. Specification for Highway Works, Series 900, Road Pavements – Bituminous Bound Materials. In *Manual of Contract Documents for Highway Works, Volume 1*. London: The Stationery Office. www.standardsforhighways.co.uk/ha/ standards / mchw/vol1/pdfs/series_0900.pdf.

The Highways Agency, Transport Scotland, Welsh Assembly Government and The Department for Regional Development, Northern Ireland. 2008b. Notes for guidance on the specification for highway works, series NG 900, road pavements – Bituminous bound materials. In *Manual of Contract Documents for Highway Works, Volume 2*. London: The Stationery Office. www.standardsforhighways. co.uk/ ha/standards/mchw/vol2/ pdfs/series_ng_ 0900.pdf.

Viner, H, P Abbott, A Dunford, N Dhillon, L Parsley and C Read. 2006. *Surface texture measurement on local roads*. TRL Published Project Report PPR148. Wokingham: TRL.

فصل پنجم
خصوصیات لایهٔ رویه

۵-۱-کلیات

ویژگی‌های لایهٔ رویه مورد بحث در این فصل علاوه بر مشخصات بحث شده در فصل چهارم می‌باشند.

۵-۲-مقاومت در برابر تغییرشکل

۵-۲-۱- بیان مسأله

سطح ناهموار هنگام باران باعث مشکلاتی در زهکشی شده و جمع شدن آب در نواحی پست در شرایط آب‌وهوایی بارانی منجر به افزایش پاشش (منجر به کاهش دید راننده می‌شود) و کاهش چسبندگی لاستیک به سطح روسازی می‌شود. در موارد شدید، با از بین رفتن کامل چسبندگی سطح، ممکن است سر خوردگی رخ دهد.

تغییرشکل همچنین می‌تواند مشکلاتی را برای رانندگانی که مسیر مورد نظرشان را دنبال می‌کنند ایجاد نماید، به ویژه خروج از مسیر به‌دلیل شیارهای عمیقی که توسط وسایل نقلیه سنگین‌تر در آن قسمت روسازی ایجاد شده است، به سختی امکان‌پذیر است.

روسازی‌ها عموما با سطح صاف ساخته می‌شوند(بخش۴-۱-۲) اما بارهای اعمال شده از وسایل نقلیه می‌تواند سبب گسترش شیارها شود. مقدار تغییرشکل به عوامل زیادی بستگی دارد بخصوص:

- بار اعمال شده توسط چرخ‌های وسیلهٔ نقلیه، با یک رابطه تجربی از تغییرشکل متاثر از توان چهارم بار اعمال شده، به طوری که وسایل نقلیه سنگین با تعداد چرخ‌های کم مخرب‌تر از وسایل نقلیهٔ سبک و یا وسایل نقلیهٔ سنگین با چرخ‌های بیش‌تر هستند.
- فرکانس بارگذاری، که با افزایش جریان ترافیک و هدایت‌شدن بیشتر آن افزایش می‌یابد. اگر بار چرخ‌ها به‌طور مساوی در کل روسازی توزیع شود، تغییرشکل باید یکنواخت باشد و تنها در مورد سازه‌های مجاور، از جمله زهکش و موانع مهارکننده نگرانی وجود خواهد داشت.
- دمای محیط بسیار مهم است زیرا مقاومت در برابر تغییرشکل آسفالت به شدت به دما وابسته است. به طوری که بیشتر تغییرشکل‌ها در تعداد کمی از گرمترین روزهای سال رخ می‌دهد. بنابراین، در مکان‌هایی که در معرض نور خورشید قرار دارند، مانند شیب‌های رو به جنوب در نیمکره شمالی، نسبت به مناطقی که در سایه قرار دارند تغییرشکل بیش‌تری رخ می‌دهد.

- همچنین، سطوح آسفالت جدید نسبت به آنهایی که قدیمی‌تر هستند سیاه‌تر است و در نتیجه گرمای بیشتری جذب خواهند کرد. این تأثیر ناخوشایند است زیرا آسفالت جدید نسبت به تغییرشکل حساس‌تر بوده و پیرشدگی سبب سخت‌تر شدن آن می‌شود.
- مدت بارگذاری، که با سرعت پایین ترافیک همراه با میزان تغییرشکل افزایش می‌یابد.
- مقاومت روسازی در برابر تغییرشکل.

از آنجا که این تنها عاملی است که می‌تواند کنترل شود، باید مقاومت روسازی در برابر تغییرشکل به گونه‌ای انتخاب شود که قادر به تحمل بارهای ترافیکی، فرکانس بارگذاری و پروفیل دمای مورد انتظار سایت باشد.

مقاومت در برابر تغییرشکل آسفالت به طور کلی به تراکم ثانویهٔ لایه‌های رویه مربوط است، که مطابق شکل (۵-۱)، عمدتاً در لایه رویه، مقداری در لایهٔ بیندر و کمی در لایه اساس رخ می‌دهد. دلیل این اتفاق این است که بارها با پیشروی به سمت پایین روسازی پراکنده می‌شوند. همچنین تغییرشکل سازه‌ای نیز به دلیل طراحی نامناسب روسازی (به جای آسفالت) هنگامی که سختی لایه های چسبنده کافی نباشد، بوجود می‌آید (بخش ۶-۱). تغییرشکل سازه‌ای در سطوح پایین‌تر رخ داده و شدت بیش‌تری دارد چون شامل "خمش" در لایه‌های چسبندهٔ روسازی است و از این رو رخداد آن در فصل مشترک با لایه‌های غیرچسبنده در نظر گرفته می‌شود.

شکل ۵-۱: مقطع عرضی از سطح تغییرشکل یافته (با کسب اجازه از دکتر مایک ای نان)

۵-۲-۲- اقدامات معمول

بیشتر انواع مخلوط‌ها اگر مقدار خلل و فرجشان بیش از اندازه کم باشد، مستعد تغییرشکل خواهند بود. بنابراین اغلب محدودیت حداقل مقدار فضای خالی، برای میزان نسبتا کم تغییرشکل و همچنین حداکثر مقدار فضای خالی برای دوام لحاظ می‌شود. به‌طور مشابه، روسازی ممتاز ایالات

متحده دارای یک ناحیه محدودشده در منحنی پوش دانه‌بندی وابسته به حداکثر اندازه اسمی سنگدانه جهت محدود ساختن تغییرشکل می‌باشد که در اشتو MP2 ارائه شده است (اشتو،۲۰۰۴). پیشنهاد شده است که الزامات منطقه محدودشده اضافی می‌باشد (کندهال وکولی، ۲۰۰۱)، اما برخی دیگر متوجه شده‌اند که منطقه محدود شده کاربرد دارد.

سایر اقدامات معمول که می‌توان برای تقویت مخلوط مقاوم در برابر تغییرشکل استفاده کرد، استفاده از قیر با درجه سختی بیشتر و یا استفاده از دانه‌بندی سنگدانه که استحکام مخلوط به جای ملات قیری که به درجه حرارت بسیار حساس است ناشی از قفل و بست بین آن‌ها باشد، است. حساسیت ملات قیری نسبت به درجه حرارت با نتایج آزمایش‌های اثر بار چرخ نشان داده شده است که میزان آن با افزایش دما به طور قابل توجهی برای آسفالت هات رولد (که مخلوط بر پایه ملات است) نسبت به آسفالت با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای یا بتن آسفالتی (مخلوط با سنگدانه های قفل شده) سریع‌تر افزایش می‌یابد. از بین این دو گزینه، درجهٔ قیر اقدام مورد قبول‌تری است زیرا انتخاب دانه‌بندی سنگدانه تحت تاثیر ملاحظات دیگری است.

۵-۲-۳- استقامت مارشال (شبیه‌سازی)

آزمون‌های مارشال برای استقامت و روانی، همراه با مقادیر حجمی به عنوان یک روش طرح مخلوط های آسفالتی، به ویژه مقدار قیر بهینه برای یک دانه‌بندی خاص، توسعه داده شد. با این حال، خصوصیت استقامتی به‌عنوان معیاری برای مقاومت در برابر تغییرشکل استفاده شده و هنوز هم می‌شود. نمونه ای از کاربرد آن، انجام آزمایش مطابق EN۱۲۶۹۷-۳۴ که ویژگی مورد استفاده در فرودگاه‌ها در استانداردهای اروپایی است در حالی که نسخه آمریکایی آزمونASTM D۶۹۲۷ می‌باشد.

نمونه‌های آزمایش، استوانه‌هایی هستند که با یک متراکم‌ساز ضربه‌ای با تعدادی ضربهٔ مشخص در دمای معین متراکم شده‌اند. تعداد ضربه‌ها معمولا ۵۰ ضربه در هر سمت است، اما، برای مثال، ممکن است ۳۵ ضربه برای ترافیک سبک یا ۷۵ ضربه برای روسازی‌های در معرض ترافیک سنگین استفاده شود. نمونه‌های متراکم‌شده از قالب خارج شده و قبل از قرار گرفتن در حمام آب با دمای آزمایش که معمولاً ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد است به آن‌ها اجازهٔ خنک شدن در هوا داده می‌شود. سپس نمونه‌های آزمایش درون فک شکست دستگاه قرار گرفته (شکل ۵-۲) و فک‌های بالا و پایین با نرخ ثابت تغییرشکل نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند. حداکثر بار اعمالی، استقامت می‌باشد.

فرض بر این است که مقاومت در برابر تغییرشکل با افزایش مقادیر استقامت مارشال افزایش می یابد. دسته‌بندی پیشنهادی استقامت مارشال در۱- EN۱۳۱۰۸ برای بتن آسفالتی در فرودگاه ها در اروپا حداقل ۲/۵ کیلونیوتن تا ۱۲/۵ کیلونیوتن با نمو ۲/۵ کیلونیوتن به علاوه یک دسته‌بندی

فاقد الزام است. دقت ارائه شده، قابلیت تکرارپذیری ۱/۷ کیلونیوتن و بازتولید ۲/۲ کیلو نیوتن برای استقامت مارشال و تکرارپذیری ۰/۷ میلی‌متر و بازتولید ۰/۸ میلی‌متر برای روانی می‌باشد.

شکل ۵-۲: قالب شکست آزمایش مارشال(با کسب اجازه از جان پرایم)

۵-۲-۴- اثر بار چرخ(شبیه‌سازی)

آزمون اثر بار چرخ، واضح‌ترین آزمون شبیه‌سازی برای مقاومت در برابر تغییرشکل با حرکت دادن تکراری یک چرخ به طور مرتب بر روی یک دال مخلوط آسفالتی است. با این حال، بخش‌هایی که باید یکسان‌سازی شوند شامل موارد زیر هستند:

- قطر و عرض چرخ
- نوع تایر (پنوماتیک، لاستیک توپر یا فولادی)
- بار روی چرخ
- فرکانس بارگذاری
- تعداد کل بارهای وارده
- دمای آزمایش
- نتیجهٔ آزمون (عمق شیار، عمق شیار به نسبت عمق دال یا نرخ اثرگذاری تا پایان آزمایش)

به‌علاوه، زمانی که هدف صرفاً سنجش مقدار مقاومت در برابر تغییرشکل باشد آزمایش می‌تواند در هوا انجام شده و در صورتی‌که علاوه بر مقاومت در برابر تغییرشکل، اندازه‌گیری حساسیت رطوبتی نیز مدنظر باشد آزمایش می‌تواند درون آب انجام شود. دمای آزمایش در آب را می‌توان دقیق‌تر از هوا کنترل کرد اگرچه عموماً کنترل کافی می‌تواند با هوا به دست آید.

در این آزمایش، نمونه‌های آزمایش اثر بار چرخ، اغلب دال فشرده می باشند، اگرچه برخی روش‌ها را می‌توان بر روی نمونه‌های بازیابی شده از محل انجام داد. در این آزمایش، یا چرخ بر روی دال یا دال در زیر چرخ، در یک دما و فرکانس کنترل شده برای تعداد دفعات معینی به عقب و جلو جابجا می‌شود.

شکل ۵-۳: دستگاه بزرگ برای آزمایش اثر بار چرخ CEN (با کسب اجازه از جان پرایم)

در آزمون اروپایی EN ۱۲۶۹۷-۲۲ گزینه‌ها قادر به هماهنگ شدن با سه دستگاه مختلف (دستگاه خیلی بزرگ با لاستیک پنوماتیک، دستگاه بزرگ با لاستیک پنوماتیک مانند شکل (۵-۳) و دستگاه کوچک با تایرهای لاستیکی توپر مانند شکل (۵-۴)) نبودند، اگر چه تنها دستگاه‌های بزرگ و کوچک برای نشان استاندارد CE پذیرفته شده‌اند. علاوه بر این، دو روش کار با دستگاه کوچک وجود دارد و یکی از آنها امکان تصفیه آب و همچنین تهویه هوا را فراهم می‌کند که این روش با دو دستگاه دیگر مشترک است.

در آمریکا، آزمایش اثر چرخ هامبورگ برای AASHTO T-324 (AASHTO, 2014) مورد استفاده قرار می گیرد. این آزمایش با چرخ فولادی در آب انجام می‌شود و عمدتاً به جای مقاومت در برابر تغییرشکل برای ارزیابی حساسیت رطوبتی استفاده می‌شود.

شکل ۵-۴: دستگاه کوچک آزمایش اثر بار چرخ CEN (با کسب اجازه از جان پرایم)

به‌دلیل تعدد گزینه‌ها، چندین آزمایش اثر بار چرخ با تفاوت‌های قابل توجهی توسعه یافته‌اند. نتایج حاصل از روش‌های مختلف آزمون همبستگی مناسبی با یکدیگر ندارند (Bonnot, 1997; Nicholls et al., 2006a)، که نشان می‌دهد این انتخاب‌ها مهم هستند. درحالی‌که مخلوط‌هایی که به راحتی تغییر شکل می‌دهند عموماً بد عمل کرده و مخلوط‌های سفت‌تر عملکرد بهتری دارند، طبقه‌بندی دقیق مخلوط‌های مختلف بسته به گزینه‌های انتخاب‌شده متفاوت خواهد بود.

برخی از دلایل نتایج متفاوت، استفاده از اقدامات مختلف برای تعیین تغییرشکل، به‌ویژه نرخ اثرگذاری بار چرخ در بخش آخر آزمون، عمق کلی شیار و عمق شیار نسبت به ضخامت نمونه است. در هنگام استفاده از روش عمق شیار فرض می‌شود که نمونه به قدر کفایت ضخیم است که بار چرخ به اندازه کافی در پایین نمونه توزیع شود به گونه‌ای که هیچ تغییرشکل دیگری در آنجا رخ ندهد، در حالی که هنگام استفاده از روش عمق شیار نسبی، فرض می‌شود که کل عمق نمونه به‌طور یکسان تغییرشکل می‌دهد. در عمل، حقیقت جایی بین این دو فرضیه است اما با توجه به اینکه نمونه‌ها عمق تقریباً مشابهی دارند، تاثیر این عامل کم خواهد بود.

فقدان یک آزمایش تکامل‌یافتهٔ اثر بار چرخ نیز توسط روشی برای پیش بینی تغییرشکل دایمی HRA که در سال ۱۹۹۸ توسعه داده شد، نشان داده شده است(Szatkowski and Jacobs, 1977). بهترین معادلهٔ یافت‌شده برای پیش‌بینی رشد تغییرشکل دایمی در لایهٔ رویه HRA با نرخ اثرگذاری بار چرخ و عوامل دیگر، دارای ضریب همبستگی، R_{adj}^2، تنها ۰/۷۲ است. با این حال، در هنگام برونیابی داده‌ها برای شرایط بالقوهٔ دیگر نظیر وقتی که درجه حرارت محیط به عنوان یک ویژگی به روش منطقی تلفیق می‌شود ناسازگاری وجود دارد. متأسفانه هرگز روش دومی منتشر نشد.

مقاومت در برابر تغییرشکل با افزایش عمق شیار و کاهش سرعت شیارشدگی افزایش می یابـد. دسته‌بندی‌هایی که EN 13108 برای تعیین مقاومت تغییرشکل توسط آزمایش اثر بـار چـرخ بـرای اروپا ارائه می‌دهد، در جدول(۵-۱) آورده شده است.

محدودهٔ دسته‌بندی مقادیر حداقل برای آزمایش‌های مختلف نشان می‌دهد که مقدار هر معیار با یک روش آزمایش خاص مرتبط است و در صورتی که هر جنبه از این آزمایش بـه منظـور حفـظ سطح عملکرد مشابه بر حسب شیارشدگی مورد انتظار در محل تغییر یابد، یک مقدار متفاوت بایـد مورد استفاده قرار گیرد. مقدار تنظیم معیار به میزان تأثیر آن جنبـه بـر نتیجـه بسـتگی دارد. ایـن تغییر برای محدودیت‌های قرار داده‌شده برای تمام خصوصیات دیگر نیز اعمال می‌شود.

دقت ارائه شده در EN 12697-22 برای عمق شیار نسبی با دستگاه بزرگ برابر است با

- تکرارپذیری ۰/۷۶٪ و بازتولید ۰/۹۷٪ پس از ۱۰۰ بار عبور؛ تا
- تکرارپذیری ۱/۱۲٪ و بازتولید ۱/۱۶٪ پس از ۳۰،۰۰۰ بار عبور.

جدول ۵-۱: رده‌بندی اروپایی برای اثر بار چرخ در EN 13108

دستگاه	اندازه بزرگ	اندازه کوچک				
		روش A			روش B	
ویژگی مورد سنجش	عمق شیار نسبی (٪)	سرعت (μm/دور)	عمق شیار (mm)	سرعت (μm/دور)	عمق شیار نسبی (٪)	عمق شیار (mm)
رده‌بندی ها	۵/۰>	۵/۰>	۳/۰>	[۱] ۰/۰۲>	[۲] ۱/۰>	۱/۰>
				۰/۰۳>	[۲] ۱/۵>	۱/۵>
		۷/۵>	۵/۰>	۰/۰۴>	[۲] ۲/۰>	۲/۰>
	۷/۵>			۰/۰۵>	[۲] ۲/۵>	۲/۵>
		۱۰/۰>	۷/۰>	۰/۰۶>	۳/۰>	۳/۰>
				۰/۰۷>	۴/۰>	۳/۵>
	۱۰/۰>	۱۲/۵>	۹/۰>	[۳] ۰/۰۸>	۵/۰>	۴/۰>
				[۳] ۰/۰۹>	۶/۰>	۴/۵>
		۱۵/۰>	۱۱/۰>	۰/۱۰>	۷/۰>	۵/۰>
	۱۵/۰>			۰/۱۵>	۸/۰>	۶/۰>
		۱۷/۵>	۱۳/۰>	۰/۳۰>	۹/۰>	۶/۵>
				۰/۴۰>	۱۱/۰>	۷/۰>
	۲۰/۰>	۲۰/۰>	۱۶/۰>	۰/۵۰>	۱۳/۰>	۸/۰>
				۰/۶۰>	۱۶/۰>	[۴] ۹/۰>
		_	_	۰/۸۰>	[۲] ۱۹/۰>	[۴] ۱۰/۰>
	_	_	_	۱/۰۰>	[۴] ۲۰/۰>	_
	_	_	_	_	[۴] ۲۵/۰>	_
نوع آسفالت	AC, BBTM, SMA, PA	HRA	بدون الزام HRA	AC, SMA, PA	AC,SMA, PA	AC, SMA, PA

۱: فقط PA

۲: فقط SMA

۳: بجز PA

۴: فقط AC

دقت برای نرخ اثرگذاری بار چرخ به روش A با دستگاه کوچک به صورت زیر است:

- تکرارپذیری ۰/۵ ریزنمودمتر بر دور و ۱/۰ ریزنمودمتر بر دور برای نمونه‌های آماده شدهٔ آزمایشگاهی در سطح ۲/۱ ریزنمودمتر بر دور.

- تکرارپذیری ۰/۶ ریزنمودمتر بر دور و ۱/۱ ریزنمودمتر بر دور برای نمونه‌های آماده شدهٔ آزمایشگاهی در سطح ۱/۷ ریزنمودمتر بر دور.
- تکرارپذیری ۲/۵ ریزنمودمتر بر دور و ۴/۷ ریزنمودمتر بر دور برای نمونه‌های آماده شدهٔ آزمایشگاهی در سطح ۶/۴ ریزنمودمتر بر دور.
- تکرارپذیری ۳/۲ ریزنمودمتر بر دور و ۴/۵ ریزنمودمتر بر دور برای نمونه‌های آماده شدهٔ آزمایشگاهی در سطح ۱۰/۷ ریزنمودمتر بر دور.

۵-۲-۵-آزمایش فرورفتگی (شبیه‌سازی)

ماستیک آسفالت یک مخلوط مبتنی بر ملات است که دارای حداکثر اندازهٔ اسمی سنگدانه تقریباً کوچکی می‌باشد که به فرورفتگی ناشی از بار استاتیکی بسیار بیشتر از شیار افتادگی ناشی از عبور تایر، حساس است. بنابراین، آزمایش‌های تخصصی برای فرورفتگی ماستیک آسفالت وجود دارد. در اروپا دو آزمایش EN 12697-20، با استفاده از نمونه‌های مکعبی یا استوانه‌ای و EN 12697-21 با استفاده از نمونه‌های صفحه‌ای (دال) وجود دارد. هر دو آزمایش محدود به سنگدانه‌هایی با اندازه های کوچک‌تر از ۱۶ میلی‌متر هستند، اما می‌توانند برای چنین مخلوط‌هایی غیر از ماستیک آسفالت نیز استفاده شوند.

آزمایش‌ها، عمق فرورفتگی در آسفالت را وقتی که یک نیرو از طریق یک پین استوانه‌ای با یک پایهٔ دایره‌ای با انتهای تخت در مدت زمان ثابت تحت دمای استاندارد اعمال می‌شود، تعیین می‌کنند. نتیجه، میانگین حسابی چندین تعیین جداگانه است و در EN 12697-21 عدد سختی نامیده می‌شود.

هرچه میزان فرورفتگی یا عدد سختی کمتر باشد، مقاومت در برابر فرورفتگی بیشتر است. EN 13108-6، مجموعه ای از دسته‌بندی‌ها برای فرورفتگی را ارائه می‌دهد که در جدول ۵-۲ آورده شده است. برای هریک از خصوصیات دسته‌بندی فاقد الزام نیز وجود دارد.

دقت EN 12697-20 تکرارپذیری ۲۸٪ و بازتولید ۵۵٪ است در حالی‌که این دقت در EN 12697-21 تکرارپذیری ۴۲٪ و ۲۸٪ و بازتولید ۶۹٪ و ۵۶٪ به ترتیب برای عدد سختی کمتر یا بیشتر از ۰/۱×۴۰ میلی‌متر می‌باشد.

۵-۲-۶-تراکم سیکلی (بنیادی)

آزمون تراکم سیکلی عموماً آزمون بنیادی برای مقاومت در برابر تغییرشکل در نظر گرفته می‌شود، اگر چه در حقیقت تنها یک آزمایش شبیه‌ساز پیشرفته‌تر می‌باشد.

در اصل، این آزمایش زمانی که یک آزمایش شبیه‌سازی بود، بر روی نمونه‌های محدود نشده انجام می شد، اما انواع پیشرفتهٔ دیگری شامل آزمون‌های تراکم تک محوری و سه محوری توسعه یافته‌اند که نوع سه محوری به‌طور اسمی یک آزمایش بنیادی محسوب می‌شود. آزمون اروپایی ۲۵-EN۱۲۶۹۷ شامل هر دو مورد می‌باشد.

جدول ۵-۲: دسته بندی مقاومت در برابر فرورفتگی

ویژگی	حداکثر	حداقل
حداقل فرورفتگی (میلی‌متر)	۱	**۳**
حداکثر فرورفتگی (میلی‌متر)	۲/۵	**۱۵**
حداکثر افزایش فرورفتگی پس از ۳۰ دقیقه (میلی‌متر)	۰/۳	**۰/۸**
حداکثر تغییرشکل تجمعی بعد از ۲۵۰۰ سیکل بارگذاری (میلی‌متر)	۱	**۴/۵**
حداکثر تغییرشکل تجمعی بعد از ۵۰۰۰ سیکل بارگذاری (میلی‌متر)	۱	**۴/۵**

نوع تک محوری می‌تواند بر روی نمونه‌های آزمایشی استوانه‌ای تهیه شده در آزمایشگاه یا مغزه هایی که از روسازی گرفته شده‌اند، انجام شود. نمونه در شرایط دمایی بالا نگهداری شده و بین دو ورق بارگذاری موازی که قطر ورق بالایی آن به طور قابل توجهی کمتر از نمونه است، قرار می‌گیرد. نمونه تحت فشار محوری سیکلی بلاک-پالس قرار می‌گیرد که فاقد فشار محدودکنندهٔ جانبی اضافی است. تغییر ارتفاع نمونه در تعداد مشخصی از بارهای اعمالی اندازه‌گیری شده و کرنش محوری تجمعی جهت تشکیل منحنی خزش که خصوصیات خزش می‌تواند از آن شناسایی شود، تعیین می‌گردد.

نوع سه محوری نیز می‌تواند بر روی نمونه‌های استوانه‌ای تهیه‌شده در آزمایشگاه یا مغزه گیری‌شده از روسازی انجام شود. نمونه در شرایط دمایی بالا بین دو ورق بارگذاری موازی که قطر آن‌ها با نمونه برابر است، قرار می‌گیرد. نمونه تحت فشار همه جانبهٔ استاتیکی یا دینامیکی و فشار محوری سیکلی مازاد به صورت نیمه‌سینوسی همراه با دورهٔ استراحت یا به صورت بلاک-پالس قرار می‌گیرد. در هر دو حالت ممکن است یک بار مرده محوری کوچک اعمال شود. مجدداً تغییر در ارتفاع نمونه در تعداد معینی از بارهای اعمالی اندازه‌گیری شده و کرنش محوری تجمعی جهت تشکیل منحنی خزش که خصوصیات خزش می‌تواند از آن شناسایی شود، تعیین می‌گردد.

فرض بر این است که مقاومت در برابر تغییرشکل با کاهش میزان خزش افزایش می یابد. EN۱۳۱۰۸ علاوه بر یک دسته‌بندی فاقد الزام دسته‌بندی‌هایی از نرخ خزش سه‌محوری ارائه می‌دهد که می‌تواند در اروپا برای بتن آسفالتی، آسفالت با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای و آسفالت

متخلخل با حداکثر $\mu m/m/n$ ۰/۲ تا $\mu m/m/n$ ۱/۶ با نرخ افزایش $\mu m/m/n$ ۰/۲ و $\mu m/m/n$ ۲ تا $\mu m/m/n$ ۱۶ با نرخ افزایش $\mu m/m/n$ ۲ به‌کار رود. دقت ارائه شده در EN 12697-25 به این صورت است:

- تکرارپذیری ۱۷/۳٪ و باز تولید ۲۱/۵٪ برای آزمون تک محوری.
- تکرارپذیری ۰/۸٪ و بازتولید ۱/۶٪ برای آزمون سه محوری با AC.
- تکرارپذیری ۰/۴۱٪ و بازتولید ۰/۷۳٪ برای آزمون سه محوری با HRA.
- تکرارپذیری ۰/۱۷٪ و بازتولید ۰/۱۷٪ برای آزمون سه محوری با SMA.

۵-۲-۷- تعیین مقاومت در برابر تغییرشکل

میزان مقاومتی که در برابر تغییرشکل باید تعیین گردد، به بارهای ترافیکی که انتظار می‌رود به روسازی اعمال شود، و اهمیت اجتناب از شیارشدگی روی آن بستگی دارد. در جاده‌هایی با ترافیک محدود و فاقد اهمیت زیاد، هیچ دلیلی مبنی بر عدم اتکا به اقدامات معمول برای کنترل این ویژگی وجود ندارد. با این حال، روش‌های بنیادی و شبیه‌سازی در سطوح طبقه‌بندی تقلیل یافته برای سطوح ترافیک بیشتر مورد نیاز هستند.

آزمون تراکم سیکلی اساسی اگر وضعیت اساسی آن پذیرفته شود بایستی گزینه ارجح تری باشد، اما آزمایش‌های اثر بار چرخ به شکل واقعی‌تری عمل می‌کنند. از بین گزینه‌های موجود در آزمون تراکم سیکلی، داده‌های دقیق از روش سه محوری که در EN ۱۳۱۰۸ نشان شده است، پشتیبانی می‌کند. آزمایش فرورفتگی برای ماستیک آسفالت و آسفالت‌های دیگر با سنگدانه‌های کوچک، هنگامی که میزان فرورفتگی از بارهای نقطه‌ای پیش‌بینی شود، مناسب می‌باشد. استفاده از استقامت مارشال توصیه نمی‌شود، زیرا به طور اختصاصی برای تغییرشکل طراحی نشده است اما درصورتی که انجام آزمایش مورد نیاز باشد، می‌تواند به‌صورت آزمایشی که برای تغییرشکل طراحی شده مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، بسیاری از صاحبان فرودگاه‌ها هنوز نیاز به استفاده از الزامات استقامت مارشال دارند.

۵-۳-مقاومت در برابر ترک‌خوردگی

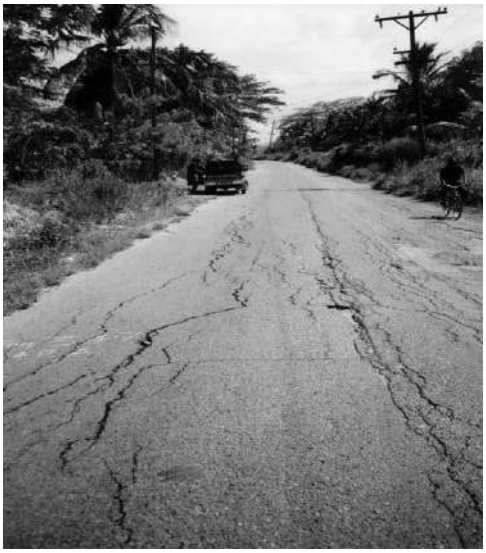
۵-۳-۱-بیان مسأله

علل و انواع مختلفی از ترک‌خوردگی وجود دارد که در روسازی آسفالتی می‌تواند رخ دهد که حداقل در ابتدا ممکن است به روسازی آسیب نرساند. با این حال، وجود ترک‌ها می‌تواند منجر به نفوذ راحت‌تر آب به داخل روسازی شده و یا گسترش ترک‌ها سبب جداشدن ذرات سنگدانه شود، که هر دوی این عوامل منجر به تضعیف عملکرد شده و ممکن است باعث خرابی سازه‌ای روسازی

شود. آب موجود در یک روسازی می‌تواند عریان‌شدگی را به همـراه داشـته باشـد (بخـش ۷-۲) در حالی که جداشدن سنگدانه‌ها می‌تواند منجر به شن‌زدگی و یا چاله شود (بخش ۵-۴-۳).

انواع ترک‌ها در روسازی آسفالتی شامل پوست سوسماری، موزائیکی (شکل ۵-۵)، طولی (شکل ۵-۶) و ترک‌های انعکاسی هستند و عوامل آن شامل خسـتگی (بخـش۶-۲-۳)، نوسـانات دمـایی و جابه‌جایی نسبی در لایه‌های پایینی می‌باشند. اتصالات در شبکهٔ مش‌بنـدی، کـه گـاهی بـه دلایـل اجرایی ضروری است، اغلب می‌تواند باعث ایجاد و یا تشدید مشکلات ترک‌خوردگی شود.

شکل۵-۵: نمونه ای از ترک موزائیکی.



شکل ۵-۶: نمونه ای از ترک طولی (با کسب اجازه از نیگل هویت)

به دلیل تنوع در نوع و علت، هیچ ساز و کار اساسی شناسایی نشده و در نتیجه هیچ آزمون بنیادی‌ای ایجاد نگردیده است.

۵-۳-۲-اقدامات مرسوم

به‌طور کلی اقدامات مرسوم به صراحت برای مقاومت در برابر ترک بکار گرفته نشده است، اما انتظار می‌رود حضور ملات کافی (که حاوی مقدار زیادی قیر، فیلر و سنگدانه است) به‌علاوه استفاده از قیرهایی با خاصیت انعطاف‌پذیری خوب که توسط اصلاح‌کنندهٔ پلیمری ارتقا یافته‌اند، باعث بهبود این ویژگی گردد. علاوه بر این، همانند بسیاری دیگر از خصوصیات مورد نیاز آسفالت، تراکم کافی در محل نیز برای اطمینان از عملکرد خوب لازم است.

۵-۳-۳-ترک‌خوردگی خستگی

ترک‌خوردگی خستگی ناشی از خرابی خستگی لایه‌های سازه‌ای به‌دلیل عدم تقویت کافی آن‌هاست که باعث ایجاد ترک در تمام لایه‌های بالایی می‌شود. آزمایش‌های مقاومت در برابر خستگی در بخش (۶-۲) پوشش داده می‌شوند.

۵-۳-۴-مقاومت کششی (شبیه‌سازی)

در اغلب روش‌های طراحی روسازی آسفالتی هیچ کدام از خصوصیات مقاومت فشاری و مقاومت کششی مورد استفاده قرار نگرفته بلکه از مدول سفتی به جای آن‌ها استفاده می‌شود. علاوه بر این، آسفالت در فشار، قوی‌تر از کشش است. با این حال مقاومت کششی اغلب به عنوان جایگزینی برای مقاومت در برابر ترک مورد نیاز است زیرا این مقاومت کششی است که در برابر ایجاد و انتشار ترک‌ها مقاومت می‌کند.

آزمایش سفتی کششی یک آزمایش مخرب است که در آن یک نمونهٔ استوانه‌ای در دمای آزمایش خاص در یک دستگاه آزمایش تراکم بین دو قسمت باریک بارگذاری قرار داده شده و در جهت محور استوانه با نرخ تغییرشکل ثابت به‌صورت قطری بارگذاری می‌شود تا زمانی که نمونه بشکند. مقاومت کششی غیر مستقیم، حداکثر تنش کششی اعمال شده در بار حداکثر در هنگام شکست نمونه است. روش آزمایش اروپایی (EN 12697-23(CEN, 2003d، و نسخهٔ آمریکایی آن ASTM D6931(ASTM, 2012a) می‌باشد.

مقادیر سفتی کششی بالاتر باید مقاومت بیشتری نسبت به ترک، در بین سایر خصوصیات از خود نشان دهند. با این حال، هیچ دسته‌بندی خاصی برای ضوابط سفتی کششی در EN۱۳۱۰۸

ارایه نشده است درحالی‌که EN 12697-23 بیان می‌کند که هنوز مقادیر دقت برای آزمایش در دمای ۵ درجهٔ سانتی‌گراد و روی نمونه‌های استوانه‌ای یافت نشده است.

۵-۳-۵- ترک‌خوردگی دمای پایین (شبیه‌سازی)

تنش‌های کششی در یک روسازی به دلیل کاهش درجه حرارت ایجاد می‌شوند و از آنجاکه آسفالت کم و بیش مهار شده است، اگر آن تنش‌ها به یک سطح بحرانی برسند، ترک‌ها تشکیل خواهند شد. چنین ترک‌های دمایی می‌توانند با یک دمای نسبتاً کم و یا با چندین سیکل گرم-سرد شدن ایجاد شده و در ادامه در اثر خستگی ناشی از بارهای ترافیک تشدید شوند. ترک‌خوردگی دمای پایین رایج‌ترین مشکل موجود در روسازی‌های آسفالتی احداث‌شده در مناطق با شرایط آب‌وهوایی سرد است.

روش آزمایش اروپایی، EN ۱۲۶۹۷ -۴۶، دارای پنج روش آزمایش مختلف برای عملکرد دمای پایین نمونه‌های آسفالت می‌باشد. این روش‌ها شامل موارد زیر است:

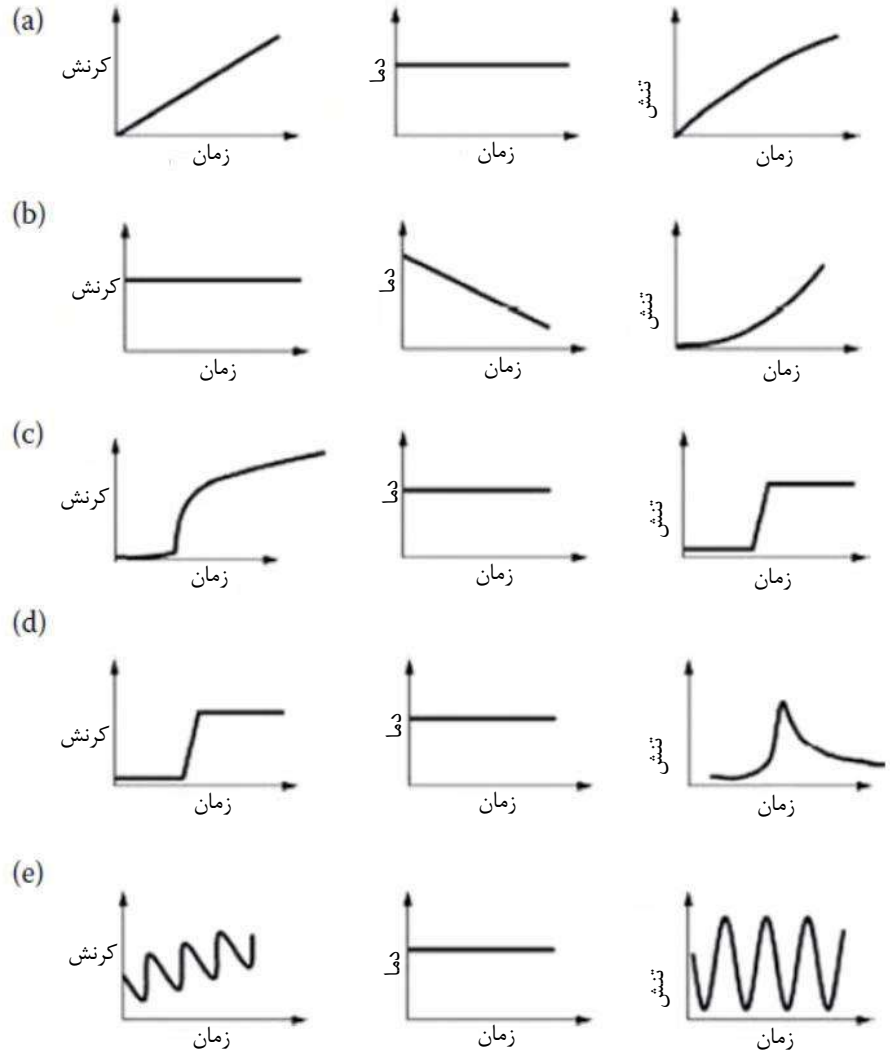
آزمایش تنش کششی تک محوری (UTST) که در آن برای تعیین تنش حداکثر و کرنش گسیختگی کششی متناظر، نمونه با کرنش ثابت در دمای ثابت تا زمانی که شکست اتفاق بیفتد کشیده می‌شود (شکل a ۵-۷).

آزمایش تنش حرارتی نمونهٔ مهارشده (TSRST) که در آن برای تعیین تنش و دمای گسیختگی، در حالی که دما به‌طور یکنواخت کاهش می یابد، طول نمونه ثابت نگه داشته می‌شود که این امر منجر به ایجاد تنش برودتی در نمونه می‌گردد(شکل b ۵-۷).

آزمایش خزش کششی (TCT) که در آن به منظور تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی که خصوصیات الاستیک و ویسکوز آسفالت را توصیف می‌کند، نمونه برای مدتی کوتاه پیش از برداشته‌شدن تنش، تحت تنش کششی ثابت در دمای ثابت قرار گرفته و میزان کرنش کنترل می‌شود. (شکلc ۵-۷).

آزمایش رهایش تنش (RT) که در آن نمونه تحت کرنش آنی ثابت نگه داشته شده با تنش کششی، که با گذشت زمان در اثر رهایش کاهش می‌یابد، برای تعیین زمان رهایش تنش و تنش کششی باقی مانده در انتهای آزمایش کنترل می‌شود (شکل ۵d-۷).

آزمایش تنش کششی سیکلی تک محوری (UCTST) که در آن نمونه در معرض یک تنش کششی سینوسی سیکلی جهت شبیه‌سازی بار ترافیکی، همراه با تنش ثابت جهت شبیه‌سازی تنش برودتی قرار می‌گیرد. تنش و کرنش تا زمان رخداد شکست خستگی به منظور تعیین تعداد سیکل‌های بار منجر به شکست به اضافهٔ تعداد سیکل‌های بار تا زمان رسیدن به معیار خستگی قراردادی، کنترل می‌شوند (شکل e ۵-۷).



شکل ۵-۷: اصول آزمایش‌های ترک دمای پایین اروپا. (a) آزمایش تنش کششی تک محوری. (b) آزمایش تنش حرارتی نمونهٔ مهار شده. (c) آزمایش خزش کششی. (d) آزمایش رهایش تنش. (e) آزمایش تنش کششی سیکلی تک محوری. (برگرفته از اسپیگل، ام. ۲۰۰۷. رفتار مصالح ساختمانی قیری در دمای پایین، ارزیابی در مقیاس آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی عملکرد دمای پایین. پایان نامه دکترا. دانشگاه فنی وین).

تنوع این آزمایش‌ها نشان‌دهندهٔ جنبه‌های مختلف قابل اندازه‌گیری و نبود توافق مبنی بر اینکه کدام یک از این جنبه‌ها به منظور به حداقل رساندن ترک‌خوردگی دمای پایین باید کنترل شوند، است. با این حال، این حداکثر دمای گسیختگی و دمای شروع متناظر و نرخ دمای مربوط به TSRST است که جهت استفاده برای کسب نشان استاندارد CE در نظر گرفته شده است.

دماهای شکست پایین در روش TSRST نشان می‌دهد که ترک‌خوردگی دمای پایین باید کاهش یابد. دسته‌بندی ارائه‌شده در EN۱۳۱۰۸ برای همه نوع مخلوط به جز آسفالت نرم، دمای شکست ۱۵- درجهٔ سانتی‌گراد تا ۳۰- درجهٔ سانتی‌گراد با افزایش ۲/۵ درجهٔ سانتی‌گرادی (و تنها ۱۲/۵- درجهٔ سانتی‌گراد برای ماستیک آسفالت) به‌علاوهٔ یک گروه فاقد هرگونه الزام می‌باشد. نادیده گرفتن آسفالت نرم جالب است، زیرا آسفالت نرم عمدتاً در اسکاندیناوی که دماهای پایین معمول است استفاده می‌شود. EN ۱۲۶۹۷-۴۶ بیان می‌کند که هیچ اطلاعاتی در خصوص میزان دقت در دسترس نیست.

مشخصات روسازی ممتاز آمریکایی، با مشکل ترک‌خوردگی دمای پایین به‌وسیلهٔ مشخص کردن خصوصیات قیر با استفاده از ASTM D6816 برخورد می‌کند (ASTM, 2011). آزمایش قیر یک معیار قراردادی است زیرا این آزمایش به‌جای آنکه بر روی مخلوط آسفالتی انجام شود بر روی یکی از اجزای سازندهٔ آن انجام می‌شود. اگرچه، مشخص شده است که خود مخلوط آسفالتی قبل از اینکه خواص ترک‌خوردگی دمای پایین بتواند به درستی پیش‌بینی شود نیازمند آزمایش است (Minnesota Department of Transportation, 2016).

۵-۳-۶-مقاومت در برابر گسترش ترک (شبیه‌سازی)

روش آزمایش خمش نیم دایره (SCB) مقاومت کششی یا دوام گسیختگی یک مخلوط آسفالتی را که به‌عنوان جایگزینی برای پتانسیل انتشار ترک در نظر گرفته می‌شود تعیین می‌کند. انتشار ترک دومین مرحله از رشد ترک بعد از شروع آن است و مخلوط‌های مختلف لزوما برای هر دو جنبه به صورت مشابه عمل نمی‌کنند. آغاز ترک به طور اساسی با ترک خستگی پوشش داده شده است (بخش۵-۳-۳).

در آزمون اروپایی،EN ۱۲۶۹۷-۴۴، یک استوانهٔ آسفالتی، که اغلب یک مغزه است، در امتداد قطر نمونه برش داده شده و در راستای امتداد دیگر آن نیز یک ترک مرکزی باریک ایجاد می‌شود. این نمونه به صورت خمش سه نقطه‌ای بارگذاری می‌شود به طوری که نقطهٔ وسط نمونه تحت تنش کششی قرار می‌گیرد. تغییرشکل حاصل با نرخ ثابت تا مقدار حداکثر که مستقیماً با دوام گسیختگی که به صورت مقاومت در برابر گسیختگی ناشی از شکست نمونهٔ آزمایش تعریف می‌شود مرتبط است، افزایش می‌یابد. نتایج برای محاسبهٔ حداکثر باری که مادهٔ دارای شکاف (ترک) می

تواند قبل خرابی تحمل نماید و زمانی‌که وجود یک شکاف به طور قابل توجهی بر روی حداکثر بار دست‌یافته تأثیر می‌گذارد، استفاده می‌شود.

انتظار می‌رود که دوام گسیختگی بالا منجر به کاهش انتشار ترک شود. دسته‌بندی‌هایی که برای مشخص کردن دوام گسیختگی در EN ۱۳۱۰۸ برای بتن آسفالتی و SMA پیشنهاد می‌شوند، دارای حداقل دوام گسیختگی $N/mm^{1.5}$ ۱۰ تا $N/mm^{1.5}$ ۵۵ با افزایش ۵ $N/mm^{1.5}$ است. دقت آزمون SCB در EN ۱۲۶۹۷-۴۴ تکرارپذیری $N/mm^{1.5}$ ۲/۴۴ و بازتولید $N/mm^{1.5}$ ۲/۴۹ می‌باشد. ASTM E647(ASTM, 2015e) معادل آمریکایی این آزمون است.

۵-۳-۷-تعیین مقاومت در برابر ترک‌خوردگی

مشکل تعیین مقاومت در برابر ترک‌خوردگی وجود انواع مختلف ترک می‌باشد. با این حال، تمام این اقدامات نشانه‌هایی از مقاومت در برابر ترک‌خوردگی ارائه می‌دهند، حتی زمانی که این آزمایش برای اندازه‌گیری شکل دیگری از ترک‌خوردگی در نظر گرفته شود. به طور کلی، اقدامات مرسوم باید برای جلوگیری از ترک‌خوردگی در یک روسازی انعطاف‌پذیر با طراحی خوب مناسب باشد. هنگامی وجود هر یک از عوامل بالقوهٔ ترک‌خوردگی نظیر ترک‌های انعکاسی و یا ترک‌های دمای پایین، مخلوط باید با آزمون مربوطه تطبیق داده شود.

۵-۴-مقاومت در برابر جدا شدن سنگدانه

۵-۴-۱-بیان مسأله

جدا شدن سنگدانه یکی از متداول‌ترین نوع خرابی در روسازی‌های آسفالتی می‌باشد. این یک پدیدهٔ تدریجی است که با جداشدن ذرات ریزدانه و سپس سنگدانه‌های درشت از سطح جاده در اثر عبور ترافیک و هوازدگی همراه می‌شود. با جداشدن برخی از سنگدانه‌ها، سرعت خرابی با گذشت زمان به تدریج افزایش یافته و مراحل مختلف آن معمولاً به صورت خفیف (جداشدن ذرات ریزدانهٔ سطح)، متوسط (جداشدن ذرات ریز و برخی از سنگدانه‌های درشت) و شدید (جداشدن سنگدانه‌های ریز و درشت) توصیف می‌شوند.

جدا شدن سنگدانه‌ها زمانی اتفاق می‌افتد که پیوند ریزنمودمکانیکی بین قیر و سنگدانه به نقطهٔ بحرانی برسد. گسیختگی چسبندگی قیر هنگامی رخ می‌دهد که تنش کششی قیر (که در اثر جابه‌جایی در قیر ایجاد می‌شود) از تنش شکست آن بیش‌تر شده و این گسیختگی منجر به جدا شدن ذرات سنگدانه از سطح روسازی خواهد شد. بنابراین جداشدن سنگدانه‌ها در دماهای پایین و تحت بارگذاری کوتاه مدت که سفتی قیر زیاد است محتمل‌تر است (هانتر، ۲۰۱۵).

جداشدن سنگدانه‌ها باعث می‌شود که سطح روسازی ظاهری غیرپارچه متشکل از سنگدانه‌های سست پیدا نموده و سنگدانه‌های باقی‌مانده به راحتی از سطح روسازی جدا شوند. با ادامه یافتن جداشدن سنگدانه‌ها، سطح روسازی ناهموار و آبله‌گون (گود) شده و در صورت عدم رسیدگی تبدیل به چاله می‌شوند (Thom, 2014; Nikolaides, 2015). جداشدن سنگدانه‌ها همچنین منجر به زبری و ناهمواری سطح، جمع شدن آب در نواحی پست، کاهش مقاومت در برابر لغزش، آسایش کمتر برای رانندگان و سروصدای بیشتر می‌شود.

جداشدن سنگدانه‌ها از سطح روسازی آسفالتی نام‌های متفاوتی دارد. خوردگی که به جداشدن ملات قیری و دانه‌های ریز که باعث حذف تکیه‌گاه ذرات درشت‌تر و در نتیجه جداشدن آن‌ها می‌شود اطلاق می‌گردد. شن‌زدگی کنده‌شدن سنگدانه‌های درشت است که ملات قیری را در معرض سایش لاستیک وسایل نقلیهٔ عبوری قرار می‌دهد. شرایط و حالات ممکن است متفاوت باشد، اما نتیجه نهایی همان است. سایش اصطلاح دیگری است که به‌عنوان علامت اختصاری برای شن‌زدگی یا خوردگی استفاده می‌شود، اما این اصطلاح می‌تواند با سایشی که لاستیک تایر بر روی آسفالت به جا گذاشته و ظاهر آن را ناخوشایند می‌سازد، اشتباه گرفته شود. سایش ناشی از تایر بر روی یکپارچگی و دوام سطح روسازی اثر نمی‌گذارد درحالی‌که شن‌زدگی بر روی عملکرد و دوام تاثیر منفی دارد.

۵-۴-۲-اقدامات معمول

اقدامات معمول عموماً به صورت جز به جز به کار گرفته نشده، اما خصوصیات مشابهی مانند مقاومت در برابر ترک (بخش ۵-۳-۲) ملات کافی، استفاده از قیرهایی با خاصیت الاستیسیتهٔ خوب و تراکم مناسب در محل، به طور ضمنی استفاده شده است.

۵-۴-۳- مقاومت در برابر سایش (شبیه‌سازی)

اهمیت مکانیسم گسیختگی، با ایجاد یک آزمایش جهت اندازه‌گیری پتانسیل مقاومت در برابر آن مطابقت نداشته است. با این حال، یک روش آزمایش در هنگام نگارش این کتاب در حال توسعه است که باید به عنوان مشخصات فنی اروپایی CEN/TS 12697-50 در زمان مقتضی منتشر شود. هدف از این روش که هنوز نهایی نشده تعیین مقاومت در برابر سایش مخلوط‌های آسفالتی است که در لایه‌های رویه استفاده شده و تحت بارگذاری با تنش‌های برشی زیاد در روسازی راه یا فرودگاه قرار می‌گیرند.

این آزمایش از نمونه‌های آسفالتی متراکم‌شدهٔ آزمایشگاهی یا نمونه‌های برداشته شده از روسازی استفاده می‌کند. نمونه در دستگاه آزمایش ثابت نگه داشته شده و به صورت همزمان با هر

دو تنش قائم و برشی بارگذاری می‌شود. در اثر اعمال این تنش‌ها، جدا شدن مواد از سطح دال رخ خواهد داد. این جداشدن مواد به مقاومت در برابر سایش مخلوط آسفالتی مورد آزمایش بستگی دارد: هرچه مقاومت بیش‌تر باشد، مواد کمتری از سطح کنده خواهند شد.

طرح فعلی دارای چهار نوع مختلف از دستگاه‌های بارگذاری برای انجام آزمایش است:

دستگاه آزمایش شن‌زدگی آخن (ARTe، شکل ۵-۸)

دستگاه سایش دارمشتات (DSD، شکل ۵-۹)

آزمایش سایش سطح دوار (RSAT، شکل۵-۱۰)

The Triboroute (شکل ۵-۱۱)

به منظور تلاش برای توجیه مستدل این چهار دستگاه، کنفرانس‌های مدیران اروپایی راه‌ها (CEDR) یک پروژه پژوهشی را جهت دستیابی به نتایج مقایسه‌ای به‌کارگرفته‌اند و این پروژه در زمان نوشتن این کتاب در حال انجام است.

شکل ۵-۸: دستگاه آزمایش شن‌زدگی آخن(.BAM Infra Asfalt)

شکل ۵-۹: دستگاه سایش دارمشتات (با کسب اجازه از مرکز تحقیقات جاده‌ها)

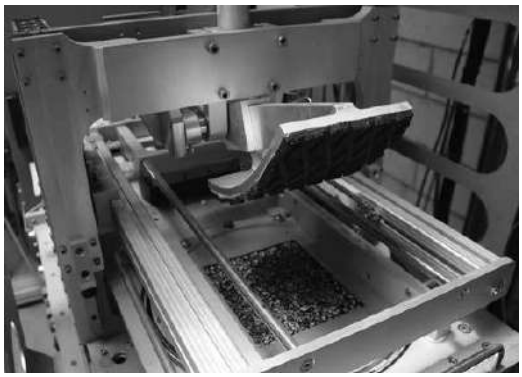
۵-۴-۴-جداشدن سنگدانه‌ها(شبیه‌سازی)

آسفالت متخلخل یا مخلوط‌های با دانه‌بندی باز که در لایه‌های آسفالتی در معرض اصطکاک به‌کار می‌روند بیش‌تر در معرض جداشدن سنگدانه‌ها قرار دارند، بنابراین یک آزمایش مخصوص برای اینگونه مخلوط‌ها توسعه داده شده که روش اروپایی آن مطابق (CEN, 2004) EN 12697-17 و روش امریکایی آن مطابق ضمیمهٔ ASTM D7064/D7064M (ASTM, 2013a) X2 می‌باشد. این آزمایش عموماً تحت عنوان آزمایش کانتابرو که نام دانشگاهی است که برای اولین بار این آزمایش در آن توسعه داده شد شناخته می‌شود.

جدا شدن سنگدانه به کمک کاهش جرم نمونه‌های استوانه‌ای آزمایشگاهی آسفالت متخلخل پس از چرخش در دستگاه لس آنجلس به منظور تخمین میزان سایش آسفالت متخلخل ارزیابی می‌شود. تعداد کمی از روسازی‌ها تحت تنش‌هایی با این شدت قرار می گیرند. این آزمایش تأثیر سایش لاستیک‌های گل میخدار را ارزیابی نمی نماید.

در این روش فرض می‌شود هرچه میزان جداشدن سنگدانه‌ها کم‌تر باشد، مقاومت آسفالت بیش‌تر خواهد بود.EN 13108-7 (CEN, 2016b) برای استفاده از آسفالت متخلخل در اروپا با حداکثر میزان جداشدگی سنگدانه ۱۰٪ ، ۲۰٪ ، ۳۰٪ ، ۴۰٪ و ۵۰٪ بعلاوه یک گروه فاقد هرگونه الزام طبقه‌بندی ارائه می‌دهد. دقت ارائه شده در EN 12697-17 برای جداشدگی سنگدانه به ترتیب با قابلیت تکرارپذیری ۲٪ و ۵٪ و بازتولید ۴٪ و ۸٪ برای سطوح ۴۰٪ و بالاتر از آن می‌باشد.

شکل۵-۱۰: دستگاه آزمایش سایش سطح دوار (با کسب اجازه از Heijmans Infrastructuuren Milieu)



شکل۵-۱۱: دستگاه آزمایش مصالح زدگی (با کسب اجازه از موسسه علوم و فن آوری حمل و نقل، برنامه‌ریزی و شبکه فرانسه)

۵-۴-۵- سایش ناشی از لاستیک‌های گل میخ دار(شبیه‌سازی)

در اغلب کشورها لاستیک گل میخ دار مورد استفاده قرار نمی گیرد، یا حتی مجاز نمی‌باشد، اما در مناطقی که در آن لاستیک گل میخ دار برای مقابله با شرایط یخبندان مورد استفاده قرار می گیرد، مانند اکثر کشورهای اسکاندیناوی، سایش زیاد ناشی از این لاستیک‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. استاندارد اروپایی EN 12697-16 (CEN, 2016k) شامل دو روش برای تعیین حساسیت در برابر سایش ایجادشده توسط لاستیک‌های گل میخ دار با استفاده از نمونه‌های استوانه‌ای از مخلوط می‌باشد. نمونه‌ها می‌توانند در آزمایشگاه تولید شوند یا مغزه‌های حفاری شده از یک دال یا روسازی باشند و سایز بزرگترین الک سنگدانه‌های آن‌ها از ۲۲ میلی‌متر تجاوز نمی‌کند.

یک روش مبتنی بر روش پرال است که با کار تحقیقاتی جامع Nordic بهبود یافته است. نمونه‌ها در دمای ۵ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه توسط ۴۰ گلوله فولادی تحت عمل سایش

قرار می‌گیرند. میزان سایش مقدار کاهش حجم بر حسب میلی‌متر است. نتایج، وقتی که از قیر راهسازی در ساخت روسازی استفاده می‌شود همبستگی خوبی با سایش در محل دارد اما در صورت استفاده از قیر اصلاح‌شده با پلیمر یا لاستیک همبستگی مناسبی بین نتایج آزمایشگاهی و سایش در محل مشاهده نمی‌شود.

روش دیگر، برگرفته از آزمایش‌های فنلاندی است که برای قیرهای اصلاح شده با پلیمر نیز مناسب است اما همچنان برای قیرهای اصلاح شده با لاستیک قابل استفاده نیستند. نمونه به دمای ۵ درجه سانتی‌گراد رسانده می‌شود و سپس در حضور آب توسط ۳ لاستیک گل میخدار به مدت ۲ ساعت ساییده می‌شود. مجدداً مقدار سایش برابر میزان کاهش حجم به میلی‌متر می‌باشد.

۵-۴-۶-تعیین جداشدگی سنگدانه

سایش توسط لاستیک‌های گل میخدار و جداشدن سنگدانه از آسفالت متخلخل برای شرایط‌های خاص است و برای استفاده عمومی لزومی به در نظر گرفتن آن نیست. با این حال، تا زمانی‌که یک روش کاملا استاندارد برای ارزیابی پتانسیل سایش ایجاد شود، ممکن است برای موقعیت‌های دیگر که معیارهای مرسوم ناکافی تلقی می‌شوند نیاز به استفاده از این دو آزمایش باشد.

منابع

American Association of State Highway and Transportation Officials. 2004. Superpave volumetric mix design. *AASHTO MP2*. Washington, DC: AASHTO.

American Association of State Highway and Transportation Officials. 2014. Standard method of test for Hamburg wheel-track testing of compacted hot mix (HMA). *AASHTO T-324*. Washington, DC: AASHTO.

ASTM International. 2011. Standard practice for determining low-temperature performance grade (PG) of asphalt binders. *ASTM D6816-11*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. 2012a. Standard test method for effect of heat and air on a moving film of asphalt (rolling thin-film oven test). *ASTM D2872-12e1*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. 2013a. Standard practice for open-graded friction course (OGFC) mix design. *ASTM D7064/D7064M-08*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. 2015d. Standard test method for Marshall stability and flow of asphalt mixtures. *ASTM D6927-15*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. 2015e. Standard test method for measurement of fatigue crack growth rates. *ASTM E647-15*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

Bonnot, J. 1997. Prenormative research on wheel tracking test. CEN TC227/WG1 Paper N633. Unpublished.

Comité Européen de Normalisation. 2003d. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 23: Determination of the indirect tensile strength of bituminous specimens. *EN 12697-23:2003*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2004. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 17: Particle loss of porous asphalt specimen. *EN 12697-17:2004*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2010b. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 44: Crack propagation by semi-circular bending test. *EN 12697-44:2010*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2012h. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 34: Marshall test. *EN 12697-34:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation (CEN). 2012i. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 20: Indentation using cube or cylindrical specimens (CY). *BS EN 12697-20:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation (CEN). 2012j. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 21: Indentation using plate specimens. *BS EN 12697-21:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2012k. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 46: Low temperature cracking and properties by uniaxial tension tests. *EN 12697-46:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2016a. Bituminous mixtures – Material specifications – Part 1: Asphalt concrete. *EN 13108-1:2016*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2016b. Bituminous mixtures – Material specifications – Part 7: Porous asphalt. *EN 13108-7:2016*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2016f. Bituminous mixtures – Material specifications – Part 6: Mastic asphalt. *EN 13108-6:2016*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2016j. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 25: Cyclic compression test. *EN 12697-25:2016*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2016k. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 16: Abrasion by studded tyres. *EN 12697-16:2016*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Hunter, R N, A Self and J Read. 2015. *The Shell Bitumen Handbook*. 6th edition. London: ICE Publishing.

Kandhal, P S and L A Cooley. 2001. The restricted zone in the Superpave aggregate gradation specification. *NCHRP Report 464*. Washington, DC: National Academy Press. http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_ 464-a.pdf.

Minnesota Department of Transportation. 2016. Low temperature cracking in asphalt pavements. www.dot.state.mn.us/mnroad/projects/Low_Temp_Cracking/

Nicholls, J C, C Roberts and P Samuel. 2006a. Implications of implementing the European asphalt test methods. *TRL Report TRL656*. Wokingham: TRL Limited.

Nikolaides, A. 2015. *Highway Engineering – Pavements, Materials and Control of Quality*. London: CRC Press.

Szatkowski, W S and F A Jacobs. 1977. Dense wearing courses in Britain with high resistance to deformation. In *Colloquium 77, Plastic Deformability of Bituminous Mixes*, pp. 65–67. Zurich.

Thom, N. 2014. *Principles of Pavement Engineering*. 2nd edition. London: ICE Publishing.

فصل ششم
ویژگی‌های سازه‌ای

۶-۱-سفتی

۶-۱-۱-بیان مسأله

سفتی به‌عنوان یک ویژگی اساسی در طراحی روسازی‌ها با توانایی توزیع بار اعمالی به نسبت سفتی و عمق استفاده می‌شود، در نتیجه با افزایش سفتی ضخامت می‌تواند کاهش یابد. این رابطه منجر به یک رقابت در بریتانیا گشت که در آن همهٔ افراد تلاش‌ها می‌کردند تا با حداکثرسازی سفتی، در هزینه‌ها صرفه‌جویی نمایند. با این‌حال، این رویکرد در طراحی روسازی، درصورتی‌که سفتی به میزان موردنیاز برای طراحی در زمان ساخت نرسد و یا به هر دلیلی مقاومت آن از دست رود، خطر گسیختگی زودهنگام روسازی را به همراه دارد. به‌طورکلی، انتظار می‌رود که سفتی در طول زمان با سخت‌تر شدن قیر افزایش یابد، اما این سفتی می‌تواند به شکل قابل‌توجهی تحت اثرات بد حساسیت رطوبتی زیاد و یا دیگر تأثیرات هوازدگی قرار گیرد.

۶-۱-۲-معیارهای قراردادی

در بریتانیا، سفتی مخلوط در استاندارد HD 26/06 (Highways Agency و همکاران، ۲۰۰۶b) با توجه به نوع مخلوط برای استفاده در نموگراف‌ها تعریف شده است، که در آن:

اساس DBM125 مصالحی است با حداقل سفتی که باید با حداکثر ضخامت ساخته شود. سفتی مصالح آسفالت به ترتیب از HRA50، تا DBM50 / HDM50 و EME2 افزایش می‌یابد.

نوع مخلوط و درجه قیر (فرض می‌شود که تمام مخلوط‌های ذکرشده که دارای قیر با درجه نفوذ سخت‌تر یا پایین‌تر هستند، سفتی بیش‌تری دارند.) برای فراهم نمودن الزامات قراردادی، جهت اجتناب از بیش‌تر در نظر گرفتن سفتی که به‌طورمعمول انجام می‌شود، استفاده می‌شوند.

۶-۱-۳-مدول سفتی (اساسی)

روش‌های مختلفی برای اعمال تنش روی نمونه‌ها جهت ارزیابی مدول سفتی مخلوط آسفالتی وجود دارد. این روش‌های مختلف نتایج یکسانی را ارائه نمی‌دهند اما به اندازهٔ کافی که بتوان آن‌ها را جزء آزمایش‌های اساسی در نظر گرفت مشابه هستند؛ اگرچه تفاوت‌های میان این روش‌ها حاکی از آن است که این آزمایش‌ها در حقیقت نمی‌توانند اساسی باشند. استاندارد اروپایی، EN 12697-26 (CEN, 2012l)، شامل شش روش برای تعیین مدول سفتی مخلوط‌های آسفالتی ازجمله آزمون‌های خمشی و آزمون‌های کشش مستقیم و غیرمستقیم می‌باشد. این روش‌ها در جدول (۶-۱) شرح داده شده‌اند. مدول سفتی به دمای آزمایش و فرکانس بار وابسته است.

نتایج حاصل از روش‌های مختلف برای نمونه‌های برداشته‌شده از مخلوط یکسان، مشابه نیست؛ اما می‌توان آن‌ها را با توجه به شباهت کافی طبق EN 13108 معادل یکدیگر در نظر گرفت.

روسازی‌هایی که دارای آسفالت با مدول سفتی بالاتری هستند می‌توانند ضخامت کم‌تری داشته باشند و از عملکرد مطمئن‌تری برخوردار باشند. انواع دسته‌بندی سفتی که در EN 13108 برای استفاده در اروپا ارائه شده است شامل حداقل مدول سفتی بین ۱۵۰۰ تا ۲۱۰۰۰ مگاپاسکال برای بتن آسفالتی و آسفالت با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای و بین ۵۰۰ تا ۲۱۰۰۰ مگاپاسکال برای آسفالت هات رلد به‌علاوهٔ رده‌های فاقد الزام می‌باشد. همچنین به‌منظور کنترل عملکرد آسفالت جدید در در مقایسه با آسفالت موجود، برای حداکثر مدول سفتی نیز دسته‌بندی ارائه شده که بین ۷۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ مگاپاسکال برای بتن آسفالتی و آسفالت با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای و بین ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰۰ مگاپاسکال برای آسفالت هات رلد (به‌علاوهٔ دسته‌بندی‌های فاقد الزام) می‌باشد.

جدول ۶-۱: روش‌های CEN برای تعیین مدول سفتی

عنوان	نماد	شرح
آزمایش خمش دو نقطه‌ای بر روی نمونه‌های ذوزنقه‌ای	2PB-TR	نمونه در یک انتها مقید شده و به‌صورت طره در انتهای آزاد خود، تحت نیرو یا تغییرشکل سینوسی بارگذاری می‌شود.
آزمایش خمش دو نقطه‌ای بر روی نمونه‌های منشوری	2PB-PR	
آزمایش خمش سه نقطه‌ای بر روی نمونه‌های منشوری	3PB-PR	نمونهٔ منشوری در سه یا چهار نقطه تحت خمش سینوسی به‌طوری‌که در تمام نقاط بارگذاری و واکنش، آزاد است، قرار می‌گیرد.
آزمایش خمش چهار نقطه‌ای بر روی نمونه‌های منشوری	4PB-PR	
آزمایش کششی غیرمستقیم بر روی نمونه‌های استوانه‌ای	IT-CY	یک نیروی کششی غیرمستقیم جهت تعیین مدول سفتی الاستیک به نمونهٔ استوانه‌ای آسفالت اعمال می‌گردد.
آزمایش فشاری مستقیم بر روی نمونه‌های استوانه‌ای	DTC-CY	کرنش سینوسی به نمونهٔ استوانه‌ای که به دو ورق فولادی (این ورق‌ها به تجهیزات بارگذاری متصل‌اند) چسبانده شده است، اعمال می‌شود.
آزمایش تنش مستقیم بر روی نمونه‌های استوانه‌ای	DT-CY	نیروی کششی تک‌محوری به نمونه در دما و مدت زمان معین وارد می‌شود.
آزمایش تنش مستقیم بر روی نمونه‌های منشوری	DT-PR	
آزمایش تنش غیرمستقیم سیکلی بر	CIT-CY	نیروی کششی غیرمستقیم سیکلی به نمونهٔ

روی نمونه‌های استوانه‌ای	آسفالت اعمال می‌شود.

دقت ارائه‌شده در EN 12697-26، برای آزمایش خمشی دو نقطه‌ای در نمونه‌های ذوزنقه‌ای، قابلیت تکرارپذیری ۳۳۵ مگاپاسکال و بازتولید ۲۷۴۰ مگاپاسکال می‌باشد. اطلاعاتی در مورد دقت دیگر گزینه‌ها ارائه نشده است.

۶-۱-۴- تعیین سفتی

سختی یک ویژگی مورد نیاز در طراحی روسازی است؛ ازاین‌رو برای آسفالت روسازی‌های طراحی نشده نیازی به تعیین این ویژگی نمی‌باشد. برای روسازی‌های طراحی‌شده، درصورتی‌که روش طراحی روسازی مبتنی بر معیارهای قراردادی باشد تنها همین معیارها کفایت خواهد کرد؛ درحالی‌که برای روش‌های طراحی پیچیده‌تر روسازی، چه به منظور تعیین ویژگی‌های ورودی و یا تائید این‌که سفتی مناسب فراهم شده است یا نه، تعیین سختی واقعی الزامی می‌باشد. در حالت کلی انتخاب روش تعیین سفتی چندان دارای اهمیت نیست اما استفاده از روش بکار گرفته‌شده برای تولید مدل طراحی روسازی احتمالاً دارای ارجحیت است.

۶-۲- مقاومت خستگی

۶-۲-۱-بیان مسأله

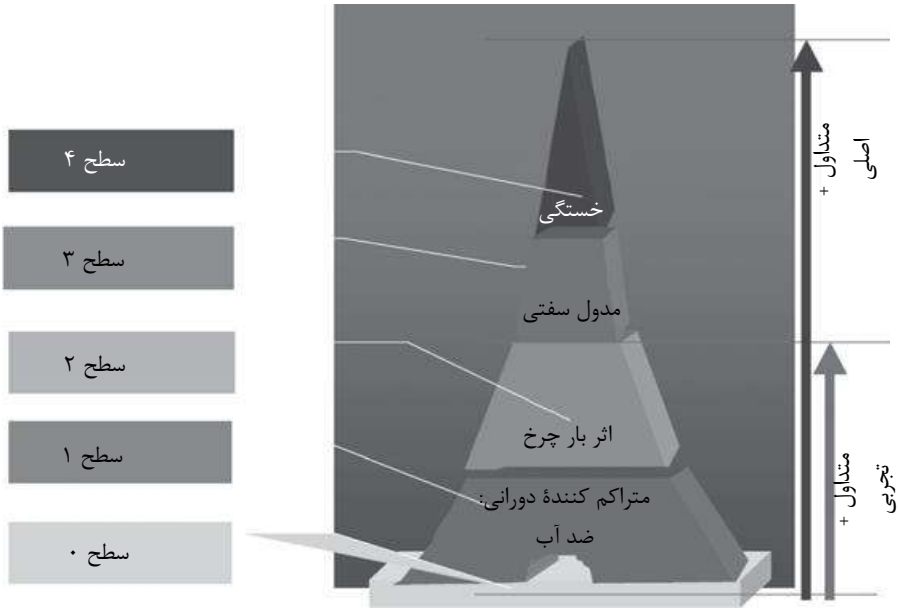
خستگی زمانی رخ می‌دهد که آسفالت مقاومت خود را در برابر تکرار بارگذاری از دست دهد. این پدیده عموماً منجر به بروز ترک و حتی متلاشی شدن لایهٔ تحت بارگذاری و یا هر لایهٔ بالاتر دیگر می‌شود. مقاومت در برابر خستگی عموماً با افزایش انعطاف‌پذیری مصالح به‌طوری‌که بتواند تغییرشکل‌های مکرر بیش‌تری را تحمل کند، حاصل می‌شود؛ اما مصالح سفت‌تر تحت همان بارگذاری دچار تغییرشکل کم‌تری شده و ازاین‌رو به میزان کم‌تری آسیب می‌بینند. متأسفانه، امکان دستیابی همزمان موثر این دو جنبه با مقاومت خستگی که عموماً به‌عنوان توانایی جذب تغییرشکل‌های تکراری به‌جای به حداقل رساندن مقدار آن در نظر گرفته می‌شود، وجود ندارد.

مقاومت در برابر خستگی، به همراه مدول سختی، از دیرباز در طراحی مخلوط از اهمیت زیادی برخوردار بوده‌اند. در روش فرانسوی طراحی مخلوط‌های آسفالتی (Delorme et al. 2007) همان‌طور که در شکل (۶-۱) و جدول (۶-۲) نشان داده شده است چهار سطح خستگی در بالا وجود دارد (Widyatmoko et al. 2007).

سطوح مورد استفاده برای طراحی مخلوط به بارگذاری، شرایط محیطی و الزامات عملکردی موردنیاز برای طراحی روسازی بستگی دارد. آزمایش‌های سطح ۱ برای همهٔ طراح‌های مخلوط اجباری‌اند؛ الزامات سطح ۲ برای لایه‌های روسازی که در معرض ترافیک بالا قرار دارند، اضافی‌اند؛

الزامات سطح ۳ هنگامی‌که تعیین مدول سختی مخلوط برای اهداف طراحی روسازی موردنیاز باشد برای اساس و لایه آستر به کار می‌رود و الزامات سطح ۴ بـرای همـهٔ روسـازی‌هـای تحـت ترافیـک سنگین، برای مخلوط مورداستفاده در لایه‌های اساس روسازی تازه اجراشده یا روکش‌هاست.

بااین‌حال، مقاومت در برابر خستگی برای روسازی‌های با ضخامت بالا که به‌عنوان روسازی‌های با عمر بالا طراحی می‌شـوند، ضـروری مـی‌باشـد (Nunn et al., 1997). ایـن روسـازی‌هـا در امریکـا، به‌صورت خوشبینانه‌تر روسازی‌های دائمی خوانده می‌شوند.



شکل ۶-۱: هرم سطوح طراحی فرانسوی (برگرفته از Delorme, J-L, C de la Roche and L Wendling. 2007. Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés [LPC Bituminous Mixtures Design Guide]. Paris: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.)

جدول ۶-۲: چهار سطح آزمایش

شرح عملکرد آزمایش	الزامات	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	سطح ۴
متراکم‌کنندهٔ دورانی برشی	کارایی				
Duriez در ۱۰ درجه سانتی‌گراد	دوام				
آزمایش شیار شدگی	تغییرشکل				
آزمایش‌های خصوصیات مکانیکی مدول سفتی/مدول پیچیده یا کشش مستقیم	ظرفیت باربری				
آزمایش خستگی	ترک‌خوردگی خستگی				

منبع: Widyatmoko et al. 2007. The use of French asphalt materials in UK airfield pavements در 23rd PIARC World Road Congress Paris, 17–21 September 2007. Paris: PIARC – World Road Association
www.researchgate.net/publication/288824215_The_Use_of_French_Airfield_Asphalt_Concrete_in_the_UK

یافته‌ها حاکی از آن است که اغلب روسازی‌های ضخیم بر خلاف تصورات قبلی مبنی بر تضعیف تدریجی در اثر بارگذاری ترافیکی، مقاومت خود را حفظ می‌کنند و یا در طول زمان مقاوم‌تر می‌شوند. خرابی‌های پدید آمده نیز عموماً در سطح روسازی رخ می‌دهد تا لایه‌های سازه‌ای آن. علاوه بر آن، ترک‌خوردگی، (شامل خستگی و انعکاسی) نیز به جای آنکه از پایین شروع شوند و به سمت سطح بیایند، از سطح شروع شده و به سمت پایین می‌روند؛ حتی اگر عامل پدیدآورندهٔ ترک کاهش یابد؛ به منظور تقویت مجدد روسازی بدون نیاز به جایگزینی تمام عمق آن، رویه باید قبل از هرگونه نفوذ ترک در لایه‌های سازه‌ای تعویض شود.

ازاین‌رو با استفاده از روسازی‌های با طول عمر بالا ازلحاظ تئوری نیازی به در نظر گرفتن مقاومت خستگی نیست اما بااین‌حال انجام محاسباتی برای مدول سختی مورد نیاز می‌باشد چون در غیر این صورت طراحی مخلوط موجب ساخت مخلوط بسیار خشن و فاقد دوام کافی خواهد شد (فصل هفتم).

تعیین مقاومت خستگی می‌تواند در هر دو حالت تنش کنترل‌شده و کرنش کنترل‌شده صورت پذیرد. تنش کنترل‌شده حالتی ایست که در آن بار اعمال‌شده ثابت است و با ضعیف شدن مخلوط در اثر خستگی، تغییرشکل افزایش می‌یابد درحالی‌که در کرنش کنترل‌شده تغییرشکل ایجادشده ثابت مانده به‌گونه‌ای که نیروی اعمالی باید با ضعیف شدن مخلوط در اثر خستگی کاهش یابد. به‌طورکلی فرض می‌شود که روسازی‌های ضخیم به دلیل محدود بودن هرگونه تغییرشکل در آن‌ها

از حالت کرنش کنترل‌شده پیروی نموده در حالی که روسازی‌های نازک‌تر از حالت تنش کنترل‌شده پیروی می‌نمایند. در عمل یک روسازی در ترکیبی از هر دو حالت دچار خستگی می‌گردد.

علاوه بر این دو حالت، نیروهایی که می‌توانند تکرار شوند متعدد و شامل نیروهای خمشی، برشی و پیچشی می‌باشند. مقاومت خستگی در حالات و در برابر انواع بارهای مختلف به‌طور قابل‌توجهی متفاوت است که این مسأله تعریف معیاری واحد برای آن را با مشکل روبه‌رو می‌کند. به‌ویژه، رتبه‌بندی مخلوط‌های مختلف به هنگام تغییر حالت از تنش کنترل‌شده به کرنش کنترل‌شده و یا بالعکس، تغییر می‌کند.

۶-۲-۲-معیارهای قراردادی

ساده‌ترین معیار برای به‌دست آوردن مقاومت مناسب در برابر خستگی، نیاز به مقدار قیر زیاد است. یک رویکرد نسبتاً پیچیده‌تر، نیاز به حداقل ضخامت لایهٔ قیر است؛ که این کار وقتی‌که آزمایش خستگی حذف می‌شود، از طریق مکانیسم نیاز به حداقل مدول غنای قیر در طرح مخلوط‌های EME انجام می‌گیرد. مدول غنای قیر به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$K = \frac{B_{PPC} \times \rho_{mc}}{2650 \times \sqrt[5]{(0.25G + 2.3S + 12s + 135f)}}$$

که در آن:

K: مدول غنای قیر

B_{PPC}: درصد جرم قیر محلول نسبت به جرم خشک کل سنگدانه ها، شامل فیلر (٪)

ρ_{mc}: وزن مخصوص تئوری سنگدانه‌ها (Mg/m^3)

G: نسبت جرمی سنگدانه‌های بزرگ‌تر از ۶/۳ میلی‌متر (کسر اعشاری)

S: نسبت جرمی سنگدانه‌های بین ۰/۳۱۵ تا ۶/۳ میلی‌متر (کسر اعشاری)

s: نسبت جرمی سنگدانه‌های بین ۰/۰۸ تا ۰/۳۱۵ میلی‌متر (کسر اعشاری)

f: نسبت جرمی سنگدانه‌های کوچک‌تر از ۰/۰۸ میلی‌متر (کسر اعشاری)

۶-۲-۳- مقاومت خستگی (اصلی)

همانند مدول سفتی، چندین روش مختلف از خستگی نمونه‌ها برای ارزیابی مقاومت خستگی مخلوط آسفالتی وجود دارد. این روش‌های مختلف نتایج یکسان و یا حتی رتبه‌بندی مخلوط‌های آسفالتی با ترتیب مشابه هم ارائه نمی‌دهند اما باوجود این بازهم اغلب به‌عنوان آزمایش‌های اصلی در نظر گرفته می‌شوند. آزمایش استاندارد اروپایی EN 12697-24 (CEN, 2012m)، شامل پنج

روش برای توصیف مقاومت خستگی مخلوط آسفالتی است که شامل آزمایش‌های خمشی و آزمایش‌های کشش مستقیم و غیرمستقیم می‌باشد. این آزمایش‌ها در جدول (۶-۳) شرح داده شده‌اند.

به‌وسیلهٔ تمامی این آزمایش‌ها معیاری برای تعیین زمان گسیختگی نمونه در اثر خستگی موردنیاز است. معیار قراردادی در گسیختگی خستگی تعداد دفعات اعمال بار موردنیاز برای رسیدن مدول سفتی آسفالت به نصف مقدار اولیهٔ خود است، اگرچه معیارهای دیگر نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

به‌دلیل نتایج مختلف، تنها دو گزینهٔ آزمون خمش دو نقطه‌ای بر روی نمونه‌های ذوزنقه‌ای و آزمون خمش چهار نقطه‌ای بر روی نمونه‌های منشوری برای اخذ نشان استاندارد CE محصولات آسفالتی در EN 13108-20 (CEN, 2016l) پذیرفته شده است، که انتخاب این آزمایش‌ها ظاهراً وابسته به روند طراحی مورد استفاده می‌باشد. بروز کرنش‌های پایین‌تر بعد از $۱۰^۶$ سیکل و کاهش شیب خط خستگی نشان‌دهندهٔ مقاومت بیشتر نسبت به خستگی هستند. EN 13108 برای کرنش مخلوط آسفالتی و آسفالت با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای، پس از $۱۰^۶$ سیکل با حداقل ۵۰ تا ۳۱۰ ریزنمودارستین دسته‌بندی‌هایی ارائه داده است. علاوه بر این برای بتن آسفالتی، دسته‌بندی‌هایی برای تعداد سیکل‌های بار جهت تشکیل ترک‌های درشت‌نمود با حداقل مقدار ۳۰۰۰ تا ۴۵۰۰۰ و ۳۰۰۰۰ تا ۸۰۰۰۰۰ به ترتیب برای شاخص‌های کیفیت ۰/۱٪ و ۰/۰۵٪ به همراه دسته‌بندی‌های فاقد الزام وجود دارد.

دقت ارائه‌شده در EN 12697-24 برای آزمون خمش دو نقطه‌ای بر روی نمونه‌های ذوزنقه‌ای به شرح زیر است:

- تکرارپذیری ۴/۲ ریزنمودارستین و بازتولید ۸/۳ ریزنمودارستین برای کرنش پس از $۱۰^۶$ سیکل
- تکرارپذیری ۰/۰۶۰۶۲ ریزنمودارستین و بازتولید ۰/۰۶۴۲ ریزنمودارستین برای شیب خط خستگی

اطلاعاتی در مورد دقت دیگر گزینه‌ها غیر از فاصله اطمینان کرنش برای کشش غیرمستقیم روی نمونه‌های استوانه‌ای شکل ارائه نشده است.

جدول ۶-۳: روش‌های CEN برای تعیین مقاومت خستگی

عنوان	شرح
آزمایش خمش دو نقطه‌ای بر روی نمونه‌های ذوزنقه‌ای	تکرار بارگذاری در حالت کنترل کرنش بر روی نمونه‌ای به‌صورت طره در انتهای آزاد آن
آزمایش خمش دو نقطه‌ای بر روی نمونه‌های منشوری	تکرار بارگذاری خمشی در حالت کنترل کرنش روی نمونه‌ای به‌صورت طره در انتهای آزاد آن
آزمایش خمش سه نقطه‌ای بر روی نمونه‌های منشوری	تکرار بارگذاری خمشی در حالت کنترل کرنش بر روی نمونه
آزمایش خمش چهار نقطه‌ای بر روی نمونه‌های منشوری	تکرار بارگذاری خمشی در حالت کنترل کرنش بر روی نمونه
آزمایش تنش غیرمستقیم بر روی نمونه‌های استوانه‌ای شکل	تکرار بارگذاری در حالت کنترل تنش بر روی نمونه

۶-۲-۴-تعیین در برابر خستگی

با توجه به مفهوم روسازی با عمر بالا، مقاومت در برابر خستگی می‌تواند به‌عنوان ویژگی اضافی تلقی گردد زیرا این مقاومت برای این‌گونه روسازی‌ها غیرضروری و برای روسازی‌های کم اهمیت‌تر نیز بسیار هزینه‌بر است. بااین‌حال برخی از روسازی‌هایی که عمر بالایی ندارند طوری طراحی می‌شوند که باید مقاومت خستگی در آن‌ها منظور شود اما درهرصورت نیاز به ایجاد تعادلی در برابر طراحی مخلوط تنها جهت مقاومت مکانیکی و در نتیجه مستعد ساختن مخلوط نسبت به مشکلات بهره‌برداری وجود دارد.

برای اکثر روسازی‌ها، معیارهای قراردادی باید این تعادل را فراهم کنند. هنگامی‌که اندازه‌گیری مقاومت خستگی به‌عنوان بخشی از روش طراحی روسازی موردنیاز است، روش آزمون باید روشی باشد که در برابر شیوهٔ طراحی واسنجی شده باشد. تفاوت عمدهٔ به وجود آمده در این روش‌ها به این معنی است که، برخلاف سفتی، ممکن است روش جایگزین قابل استفاده نباشد.

منابع

Comité Européen de Normalisation. 2012l. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 26: Stiffness. *EN 12697-26:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2012m. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 24: Resistance to fatigue. *EN 12697-24:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2013a. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 3: Bitumen recovery – Rotary evaporator. *EN 12697-3:2013*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2016l. Bituminous mixtures – Material specifications – Part 20: Type testing. *EN 13108-20:2016*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Delorme, J-L, C de la Roche and L Wendling. 2007. *Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés [LPC Bituminous Mixtures Design Guide]*. Paris: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

Nunn, M E, A Brown, D Weston and J C Nicholls. 1997. Design of long-life flexible pavements for heavy traffic. *TRL Report 250*. Wokingham: TRL Limited.

Spiegl, M. 2007. Tieftemperaturverhalten von bitumiösen baustoffen – Labortechnische ansprache und numerische simulation des gebrauchsverhaltens (Low temperature behaviour of bituminous construction materials – Assessment on laboratory scale and numerical simulation of the low temperature performance). Doctoral thesis. Techische Universtität Wien.

The Highways Agency, Transport Scotland, Welsh Assembly Government and The Department for Regional Development, Northern Ireland. 2006b. Pavement design. In *Design Manual for Roads and Bridges: Volume 7, Pavement Design and Maintenance: Section 2, Pavement Design and Construction: Part 3, HD 26/06*. London: The Stationery Office. www.standardsforhighways.co.uk /dmrb/ vol7/section5/hd3606.pdf.

Widyatmoko, I, B Hakim, C Fergusson and J Richardson. 2007. The use of French asphalt materials in UK airfield pavements. In *23rd PIARC World Road Congress Paris*, 17–21 September 2007. Paris: PIARC – World Road Association.
www.researchgate.net/publication/288824215_The_Use_of_French_Airfield_Asphalt_Concrete_in_the_UK.

فصل هفتم
ویژگی‌های خدمت دهی

۷-۱-قابلیت خدمت دهی

کاهش قابلیت خدمت دهی ناشی از تأثیرات پیرشدگی، رطوبت، مواد شیمیایی یا سایر عوامل بیرونی منجر به کاهش سایر ویژگی‌های ساختاری می‌شود که باعث گسیختگی روسازی خواهد شد.

۷-۲-خرابی رطوبتی

۷-۲-۱-بیان مسأله

اکثر سنگدانه‌ها به عنوان هیدروفیلیک یا آبدوست و اولئوفوبیک یا روغن‌گریز دسته‌بندی می‌شوند (هانتر، ۲۰۱۵). به این ترتیب، قیر هنگامی‌که رطوبت موجود می‌تواند جایگزین آن در سطح ذرات سنگدانه شود، تمایل به جداشدگی از آن‌ها خواهد داشت. شدت رخداد این پدیده نیز به نوع سنگدانه بستگی دارد. پوشش‌دهی سنگدانه‌های اسیدی نظیر کوارتز و گرانیت با قیر در مقایسه با سنگدانه‌های بازی نظیر بازالت و سنگ‌آهک بسیار سخت‌تر بوده و احتمال رخداد عریان‌شدگی در آن‌ها بیشتر است (هانتر، ۲۰۱۵).

تمایل به عریان‌شدگی به رطوبت موجود، مدت زمان حضور رطوبت در آن و مقدار قیر موجود روی ذرات سنگدانه برای جلوگیری از نفوذ آب به سطح آن‌ها بستگی دارد. بنابراین مقداری از حساسیت رطوبتی که باید مورد توجه قرار گیرد، به محل پخش آسفالت همراه با محل وصله‌هایی که آب می‌تواند پس از بارندگی به مدت طولانی‌تری در آنجا باقی بماند، بستگی دارد.

عریان‌شدگی فقط منجر به جداشدن ذرات سنگدانه نمی‌شود بلکه باعث کاهش چندین ویژگی دیگر آسفالت به‌ویژه آن‌هایی که به استقامت مربوط هستند نیز می‌شود. کاهش استقامت می‌تواند بدون نشانه‌های قابل مشاهده از ذرات سنگدانه که به طور کامل اندود نشده‌اند، ایجاد شود. در موارد شدید، حضور آب می‌تواند به طور کامل پیوستگی مخلوط آسفالتی را از بین ببرد (شکل ۳-۲).

روش‌های معمول برای ارزیابی پتانسیل خرابی رطوبتی آزمایش هرکدام از موارد زیر است:

- چسبندگی بین اجزای تشکیل دهندهٔ آسفالت
- تغییر در ویژگی فیزیکی مخلوط آسفالت پس از یک دوره غوطه‌وری

زمانی که نگرانی‌های خاصی در مورد خرابی رطوبتی وجود دارد، هر دو نوع آزمایش انجام می‌شوند.

۷-۲-۲- اقدامات متداول

اقدامات متداول اصلی برای جلوگیری از خرابی رطوبتی، حداقل ضخامت لایه قیر یا مقدار قیر جایگزین آن، و انتخاب نوع سنگدانه است. اضافه کردن افزودنی چسباننده زمانی‌که نوع سنگدانه

ایده‌آل نیست می‌تواند کمک کننده باشد، و اگر محل پخش آسفالت در معرض خرابی رطوبتی قرار داشته باشد گاهی صرف نظر از نوع سنگدانه به عنوان یک الزام تلقی می‌شود.

۷-۲-۳-چسبندگی سنگدانه/قیر (شبیه‌سازی)

۷-۲-۳-۱-روش استاتیکی

تعدادی سنگدانهٔ قیر اندود شده با اندازه یکسان درحالی‌که برای مدت زمان مشخصی در آب مقطر غوطه‌ور شده‌اند در یک سینی قرار داده می‌شوند. سپس ذرات به طور چشمی برای تعیین نسبت ذراتی که کاملا اندود نشده‌اند بررسی می‌شوند. ویژگی‌های مورد نیاز برای انجام این آزمایش شبیه سازی، اندازهٔ سنگدانه، مقدار قیر مورد استفاده برای اندود کردن سنگدانه، حداقل تعداد مشاهدات، دمای آب و مدت زمان غوطه‌وری است. این آزمایش ساده بوده و برای سنگدانه‌های با سطح بسیار ناصاف نیز قابل استفاده است. اما از آنجاکه این ارزیابی ذهنی است لذا دقت آن محدود است. روش غوطه‌وری استاتیکی برای چسبندگی سنگدانه/قیر در اروپا در بند ۶ EN 12697-11 (CEN, 2012n) و در امریکا در AASHTO T-182 (AASHTO, 1984)، استاندارد شده است.

تعداد کمتر از ذرات سنگدانهٔ ناقص اندود شده نشان می‌دهد که چسبندگی سنگدانه/ قیر بهبود یافته است. با این حال، هیچ دسته‌بندی خاصی در EN 13108 برای مشخص کردن چسبندگی سنگدانه/قیر وجود ندارد. EN 12697-11 هیچ داده‌ای در مورد دقت این آزمایش ارائه نمی‌دهد.

۷-۲-۳-۲- روش بطری غلتان

روش بطری غلتان مشابه روش غوطه‌ورغوطه‌وری استاتیکی است، با این تفاوت که ذرات اندود شدهٔ غوطه‌ورغوطه‌ور در آب به‌جای جای اینکه ساکن باشند در یک بطری غلتانده می‌شوند. همچنین، ارزیابی چشمی با دقت و جزئیات بیش‌تری برای برآورد نسبت‌هایی از ذرات که همچنان اندود شده هستند به کار می‌رود. این آزمایش نیز نسبتا ساده اما ذهنی است لذا دقیق نمی‌باشد. با این حال، تعداد ذرات سنگدانهٔ هم‌اندازه که با قیر اندود و غلتانده شده‌اند، باعث می‌شود که آزمایش برای سنگدانه‌های با سطح بسیار ناصاف مناسب نباشد زیرا ذرات باعث سایش یکدیگر می‌شوند. روش بطری غلتان برای چسبندگی سنگدانه/قیر در اروپا تحت بند ۵ استاندارد EN 12697-11 (CEN, 2012n) استاندارد شده است.

تعداد کمتر ذرات سنگدانهٔ ناقص اندود شده نشان دهندهٔ بهبود چسبندگی سنگدانه/ قیر است. با این حال، هیچ دسته‌بندی خاصی در EN 13108 برای مشخص کردن پیوستگی سنگدانه/قیر

وجود ندارد. استاندارد EN 12697-11 دقت تکرارپذیری ۲۰٪ و بازتولید ۳۰٪ را برای آزمایش بطری غلتان ارائه داده است.

۷-۲-۳-۳- روش عریان‌شدگی آب جوشان

در روش عریان‌شدگی آب جوشان، آب در یک جام به نقطه جوش رسانده می‌شود و سپس ذرات سنگدانه با اندازه‌های یکسان که با قیر اندود شده‌اند اضافه می‌شوند و قیری که در سطح شناور می‌گردد پیش از جوش آمدن آب، در یک زمان محدود جمع آوری می‌شود. تمام قیرهای شناور روی سطح جمع آوری شده، سنگ دانه‌ها الک گردیده و به آن‌ها فرصت خنک شدن داده می‌شود. ذرات سنگدانه در تماس با هیدروکلریک اسید (سنگدانه‌های آهکی) و یا هیدروفلوئوریک اسید (سنگدانه‌های سیلیسی یا سیلیسی-آهکی) قرار داده می‌شوند و سپس از اسید پاک می‌گردند. حجم اسید مصرفی در این فرایند با تکرار تیتراسیون با سدیم هیدروکسید (سنگ دانه‌های آهکی) یا پتاسیم هیدروکسید (سنگ دانه‌های آهکی) در حضور فنول‌فتالئین تعیین می‌شود. این آزمایش علمی و دارای دقت بالا است و می‌تواند برای هر ترکیب قیر/سنگدانه که سنگ‌دانه‌های معدنی آن از نوع آهکی، سیلیسی-آهکی و یا سیلیسی هستند، مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، استفاده از اسیدهای خطرناک باعث افزایش قابل توجه مشکلات سلامتی و ایمنی می‌شود که انجام آن را به عنوان یک آزمایش مرسوم غیرعملی می‌کند. روش آب جوشان برای چسبندگی سنگدانه/ قیر در اروپا در بند ۷ EN 12697-11 (CEN, 2012n)و در آمریکا تحت ASTM D3625 (ASTM, 2012b) استاندارد شده است.

تعداد کمتر ذرات سنگدانه‌ها که به طور ناقص اندود شده‌اند نشان می‌دهد که چسبندگی سنگدانه/قیر بهبود یافته است. با این حال هیچ دسته‌بندی خاصی در EN 13108 برای تعیین چسبندگی سنگدانه/قیر وجود ندارد. EN 12697-11 برای دقت، فقط ضریب تکرارپذیری تغییرات ۱۵٪ را برای سطح ۲٪ ارائه نموده و قابلیت بازتولیدی ارائه نمی‌دهد.

۷-۲-۴-حساسیت رطوبتی (شبیه‌سازی)

حساسیت رطوبتی شامل مقایسهٔ نتایج یک آزمایش فیزیکی بر روی نمونه‌های قرارگرفته تحت فاز آماده‌سازی و بدون آن است. آماده‌سازی معمولا شامل غوطه‌وری در آب در مدت زمان مشخص و تحت دمای مشخص است. اگر آزمایش فیزیکی مخرب باشد، نمونه‌های مختلف برای اندازه گیری های تحت شرایط آماده‌سازی قرار داده شده و بدون آن نیاز است که تغییرات بالقوه را به نتایج اضافه می‌کند.

آزمایش اروپایی مطابق استاندارد EN 12697-12 دارای روش‌های استفاده از دو آزمایش مخرب فیزیکی، مقاومت کششی غیر مستقیم (ITS) و مقاومت فشاری است در حالی‌که گـواهی جاده‌هـا و پل‌ها در استاندارد ملی انگلستان (HAPAS) برای سیستم‌هایی با رویهٔ سطح نازک، از آزمایش غیـر مخرب سفتی کششی غیر مستقیم بر روی نمونه‌های استوانه ای استفاده مـی‌کنـد. EN 12697-12 شامل یک روش جداگانه برای مخلوط آسفالتی نرم با استفاده از پیوند بین قیر و سنگدانه می‌باشد. مقادیر بیشتر از ویژگی حفظ شده نشان می‌دهد که آب اثر مخرب کمتری بر آن ویژگی دارد. EN 13108 برای هرکدام از نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم (ITSR) یا نسبت مقاومت فشاری بـرای استفاده در اروپا دسته‌بندی‌هایی با حداقل مقادیر زیر ارائه می‌دهد.

- ۶۰٪ تا ۹۰٪ با افزایش ۵٪ به علاوه یک دسته‌بندی بدون الزام برای بتن آسفالتی و SMA
- ۶۵٪ تا ۹۰٪ با افزایش ۵٪ به علاوه یک دسته بندی بدون الزام برای BBTM
- ۶۰ ٪ تا ۹۰ ٪ با افزایش ۱۰ ٪ بعلاوه یک دسته بدون الزام برای آسفالت نرم
- ۶۰ ٪ تا ۸۰ ٪ با افزایش ۵ ٪ بعلاوه یک دسته بندی بدون الزام برای آسفالت هات رولد
- ۵۰ ٪ تا ۹۵ ٪ با افزایش ۵ ٪ بعلاوه یک دسته بدون الزام برای آسفالت متخلخل
- ۷۵ ٪ تا ۹۵ ٪ با افزایش ۵ ٪ بعلاوه یک دسته بدون الزام برای AUTL

اطلاعات دقیقی در استاندارد EN 1267-12 ارائه نشده است.

۷-۲-۵-آماده‌سازی سفتی کششی پیرشدگی اشباع (شبیه‌سازی)

سفتی کششی پیرشدگی اشباع (SATS) برای ارزیـابی دوام چسـبندگی در مخلـوط‌هـای آسـفالت اساس و رویه به دنبـال برخـی از خرابـی‌هـای مهـم در محـل، توسـعه یافتـه اسـت. مخلـوط‌هـای گسیخته‌شده و به همین ترتیب آزمایش‌ها، برای بتن آسفالتی با مقدار قیر بین ۳/۵ ٪ تـا ۵/۵ ٪ از قیرهای سفت با درجه نفوذ ۱۰/۲۰ و فضای خالی بین ۶٪ تا ۱۰٪، تعیین گردید. استاندارد اروپایی برای این آزمایش EN 12697-45 (CEN, 2012o) است، اگرچه شرایط جایگزین برای مخلوط‌هایی با قیرهایی با درجـه سـختی غیـر از ۱۰/۲۰ یـا سـایر حالت‌هـا، در حـال توسـعه اسـت (گرنفـل و همکاران،۲۰۱۱؛ نیکولاس و همکاران،۲۰۱۱).

نمونه‌های استوانه‌ای به وسیله یک سیستم خلا قبل از انتقال به مجرای تحت فشار تقریباً پـر از آب که نمونه‌ها در آن در مدت زمان مشخص تحت یک فرایند آماده‌سازی در دما و فشـار بالـاتر از حالت عادی نگه داشته می‌شوند، در معرض اشباع رطوبتی قرار می گیرند. نسـبت متوسـط سـختی کششی غیرمستقیم قبل و بعد از قرارگیری تحت فشار افزایش مـی‌یابـد و درجـه حـرارت بالـاتر از حالت عادی بر روی نمونه‌های روی آب، حساسیت ماده به پیرشدگی و رطوبت را تعیین می‌کند.

مقادیر بیشتر باقی‌مانده از سختی کششی غیرمستقیم نشان می‌دهد که شبیه‌سازی پیرشدگی، اثرات تخریبی کمتری بر سفتی دارد. EN 13108-1 (CEN, 2016a) برای حداقل سفتی باقی‌مانده دسته‌بندی‌هایی از ۶۰ تا ٪ ۱۰۰با افزایش ۱۰٪ برای AC به‌علاوهٔ دسته‌بندی‌های بدون الزام، ارائه می‌دهد. EN 12697-45 اطلاعات دقیقی ارائه نمی‌دهد.

۷-۲-۶- آزمایش تنش ناشی از رطوبت(شبیه‌سازی)

پروتکل‌های آماده‌سازی رطوبتی اغلب هم قادر به ثبت چارچوب زمانی که در آن نفوذ رطوبت روی می‌دهد نیستند و هم فرایندهای رطوبتی کوتاه مدت مربوط به عملیات پمپاژ را نادیده می‌گیرند (Kringos et al., 2009). به علاوه، مشاهدات میدانی نشان داده است که عریان‌شدگی مخلوط آسفالت با دانه‌بندی باز یک پدیده محلی در محل‌های پر رفت و آمد یک روسازی است که با آب اشباع شده‌اند (Kandhal et al., 1989). عمل پمپاژ می‌تواند یک مکانیزم خرابی مهم باشد که همزمان با فرایندهای خرابی بلند مدت عمل می‌کند و به شکست زودرس روسازی‌های آسفالتی کمک می‌کند.

آزمایش تنش ناشی از رطوبت (MIST) یک پروتکل آماده‌سازی رطوبت است که برای تشخیص سهم هر یک از خرابی‌های رطوبتی کوتاه مدت و بلند مدت در فرایند اضمحلال مخلوط، طراحی شده است (Varveri et al., 2014). ارزیابی حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی بر اساس ITS و ITSR آنها انجام می‌شود.

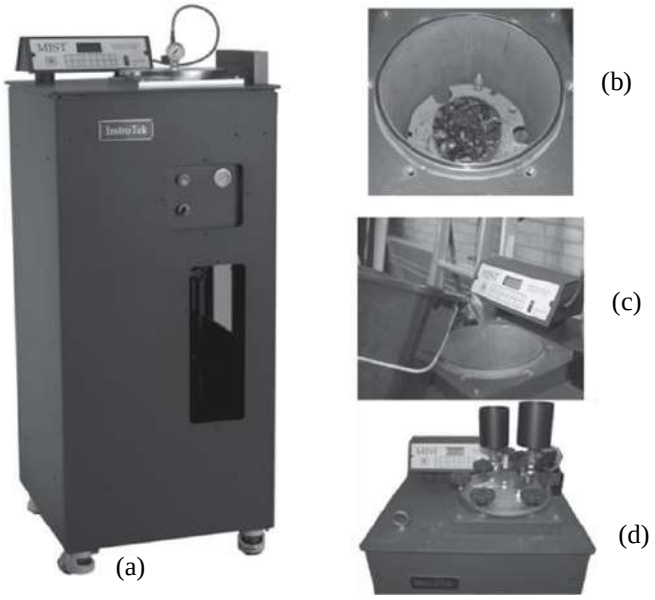
تجهیزات MIST (شکل ۷-۱) یک واحد مستقل است که شامل یک پمپ هیدرولیکی و یک مکانیزم پیستونی است که برای ایجاد فشار به صورت سیکلی در داخل یک محفظه نمونه طراحی شده است. آماده‌سازی رطوبتی با قرار دادن یک نمونهٔ آسفالتی متراکم در محفظه و پر کردن آن با آب انجام می‌شود. سپس، آب با فشار به داخل نمونه وارد شده و از آن خارج می‌شود، که چرخه‌های فشاری بین صفر و فشار ویژه را ایجاد می‌نماید. ویژگی‌هایی که می‌توانند انتخاب شوند فشار، دما و تعداد سیکل‌های آماده‌سازی برای تکرار ترکیبات مختلف شرایط ترافیکی و محیطی هستند.

۷-۲-۷-تعیین خرابی ناشی از رطوبت

اقدامات معمول برای اکثر موارد کافی است. با این حال، ضوابط برای به حداقل رساندن پتانسیل خرابی ناشی از رطوبت زمانی که محل بیشتر از زمان معمول در معرض آن است (به خصوص اگر روسازی در معرض سیل و یا غوطه‌وری منظم باشد، و یا منابع سنگدانه مورد استفاده در محل پیوستگی محدودی با قیر داشته باشد) مهم است. ضوابط اروپایی از حساسیت رطوبتی استفاده می‌کنند و استفاده از آزمایش چسبندگی سنگدانه/قیر را به اختیار تامینکننده می‌گذارد، با وجود

این که آزمایش دوام (چسبندگی قیر به سنگدانه) ویژگی را تعیین می‌کند در حالی که اولی به نتیجهٔ ویژگی می‌پردازد (از دست رفتن عملکرد سایر ویژگی‌ها).

هنگامی که هدف این ضوابط محدود کردن پتانسیل خرابی رطوبتی است، این آزمایش حساسیت رطوبتی است که معمولا با نسبت مقاومت کششی به جای نسبت مقاومت فشاری مورد استفاده قرار می گیرد. آزمایش بطری غلتان و گزینه‌های استاتیکی آزمایش حساسیت سنگدانه/قیر برای مشخص کردن خرابی ناشی از رطوبت مناسب است و گزینهٔ استاتیکی به طور معمول برای روسازی‌های فرودگاه استفاده می‌شود. آزمایش عریان‌شدگی آب جوشان، سومین آزمایش حساسیت سنگدانه/قیر، برای ضوابط معمول مناسب نیست، زیرا شامل استفاده از اسیدهای خطرناک می‌باشد. اگرچه به عنوان یک روش مرجع مناسب است. آزمایش SATS برای نوع خاصی از مواد طراحی شده است و برای شرایط دیگر مناسب نیست، در حالی که آزمایش MIST علی‌رغم دارا بودن پتانسیل بالا، به طور کامل استاندارد نشده است.



شکل ۷-۱: آزماینده حساسیت ناشی از رطوبت. (a) دستگاه MIST؛ (b) محفظه با نمونه؛ (c) محفظه مهر و موم از بالا؛ (d)تجهیزات خشک مرکز. (برگرفته از varveri et al., 2014). مطالعات آزمایشگاهی روی خصوصیات حساسیت رطوبتی و پیرشدگی مخلوط‌های RA و WMA . EARN D7 قابل تحویل.
/www.trl.co.uk/solutions/road-rail-infrastructure/sustainable-infrastructure/earn

۷-۳- مقاومت در برابر مواد شیمیایی

۷-۳-۱-بیان مسأله

در حالی که رطوبت می‌تواند باعث خرابی آسفالت شود، هیدروکربن‌های مبتنی بر نفت و مواد شیمیایی مضر می‌تواند باعث آسیب بیشتری شود. هیدروکربن‌هایی که شامل انواع مختلفی از سوخت‌ها و روان‌کننده‌های موتور هستند، مخربند زیرا با قیری که از همان منبع نفت خام تشکیل شده است ترکیب می‌شوند و آن‌را نرم‌تر می‌کند، از این رو از سفتی و مقاومت در برابر تغییرشکل مخلوط آسفالتی می‌کاهد. مواد شیمیایی مضر، شامل اسیدها و مایعات ضدیخ می‌باشد که دومی بیشتر در پیرامون روسازی فرودگاه و راه‌ها یافت می‌شود.

نیاز به حصول اطمینان از این که آسفالت نسبت به هیدروکربن‌ها مقاوم است، در مناطقی که وسایل نقلیه در آن سوخت‌گیری و یا نگهداری می‌شوند، بیش‌تر است. این یک خرابی بالقوه برای محوطهٔ اکثر پمپ بنزین‌های با روسازی بتنی یا بلوکی است. با این حال، ناحیه‌ای از فرودگاه که هواپیما در آن سوخت‌گیری می‌کند، محدودیت کمتری دارند و هنگامی که روسازی از نوع انعطاف پذیر باشد آسفالت باید در برابر سوخت مقاوم باشد. به طور مشابه، در شرایط برفی، مایعات ضدیخ به جای نمک یا شن، بیشتر از روسازی راه‌ها در فرودگاه‌ها استفاده می‌شود. بنابراین، الزامات مقاومت در برابر سوخت و یا مایعات ضدیخ غالباً برای فرودگاه‌ها بیشتر از راه‌ها معمول است.

به لحاظ منطقی، آزمایش‌های مشابه خرابی رطوبتی می‌تواند برای مقاومت در برابر سوخت و یا مایعات ضدیخ اما با جایگزینی آب با مایعات مخرب استفاده شود. با این وجود ممکن است برای برخی از مایعات نیاز به در نظر گرفتن جنبه‌های احتیاطی بیش‌تری باشد. اگرچه، آزمایش‌هایی که برای هرکدام از این مایعات استفاده می‌شود با یکدیگر و نیز با آزمایش‌هایی که برای خرابی رطوبتی به کار می‌روند متفاوت است. در مورد روش‌های آزمایش اروپایی، آزمایش‌های مربوط به سوخت و مایعات ضدیخ توسط گروه هوایی CEN ارائه شده و کاملا متفاوت است، و این باعث می‌شود که تجهیز آزمایشگاه‌ها برای هر دوی این آزمایش‌ها بی‌فایده و پرهزینه باشد.

۷-۳-۲-مقاومت در برابر سوخت (شبیه‌سازی)

استاندارد اروپایی برای مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر سوخت EN 12697-43 است (CEN, 2005). یک نمونهٔ آماده شده در آزمایشگاه یا مغزه‌گیری شده از روسازی، پیش از اینکه با برس فلزی نصب شده در مخلوط کن در مدت مشخصی برس زده شود، ابتدا برای یک مدت زمان مشخص، که برای مخلوط‌های اصلاح‌شده با پلیمر طولانی‌تر از مخلوط حاوی قیر پایه است، در سوخت مربوطه غوطه‌ور می‌گردد. مواد جدا شده از نمونه در طول هر فاز برای ارزیابی مقاومت در

برابر آن سوخت برای آن مخلوط آسفالتی استفاده می‌شود. آزمایش معمولاً با استفاده از سوخت جت برای استفاده در فرودگاه انجام می‌شود.

نسبت‌های کم‌تر مواد جداشده نشان می‌دهد که سوخت اثر مخرب کمتری بر روی آسفالت دارد. استاندارد EN 13108 برای مقاومت در برابر سوخت جهت استفاده در فرودگاه‌های اروپایی دسته‌بندی‌هایی با حداکثر جداشدگی از ۶٪ تا ۱۵٪ با افزایش ۱٪ برای AC، BBTM و SMA و ۱٪ تا ۸٪ با افزایش ۱٪ برای HRA، MA، PA و AULT به همراه یک دسته‌بندی فاقد الزام برای همهٔ آن‌ها ارائه می‌دهد. EN 12697-43 اطلاعات دقیقی برای آزمایش ارائه نمی‌دهد.

۷-۳-۳- مقاومت در برابر مایعات ضدیخ (شبیه‌سازی)

مقاومت در برابر مایعات ضدیخ عمدتاً مسأله‌ای برای روسازی‌های فرودگاه است زیرا در راه‌ها به جای مایعات ضدیخ از نمک یا آب نمک استفاده می‌شود. استاندارد اروپایی برای مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر مایعات ضدیخ از جمله محلول‌های استات و فرمات، EN 12697-41 است (CEN, 2013b). بر روی نمونه‌های استوانه‌ای با سطح آزمایش مناسب قبل از آنکه نیمی از آنها در مایع ضدیخ مربوطه برای یک مدت مشخص نگهداری شوند و نصف دیگر آن‌ها بدون آماده‌سازی رها شوند ایجاد می‌شود. سپس یک صفحه فلزی به سطح آزمایش هر نمونه متصل می‌شود و با نیروی کششی اعمال شده عمودی با نرخ ثابت کشیده می‌شود. نسبت میانگین نیروهای کششی تحت آماده‌سازی و بدون آماده‌سازی در بار گسیختگی برای ارزیابی مقاومت آن مخلوط آسفالتی در برابر مایعات ضدیخ مورد آزمایش استفاده می‌شود.

مقادیر بیشتر نیروی کششی باقی‌مانده نشان می‌دهد که مایعات ضدیخ اثرات زیان آورکم‌تری بر آسفالت دارد.

EN 13108 دسته بندی‌هایی با حداقل مقاومت باقی‌مانده از ۵۵٪ تا ۱۰۰٪ با افزایش ۱۵ ٪ به علاوه یک دسته‌بندی فاقد الزام برای همه نوع مخلوط آسفالتی غیر از آسفالت نرم ارائه می‌دهد. EN 12697-41 داده‌های دقیقی برای آزمایش با قابلیت تکرارپذیری ۳۶۰ نیوتن و بازتولید ۶۲۰ نیوتن ارائه می‌دهد.

۷-۳-۴-تعیین مقاومت در برابر مواد شیمیایی

در اغلب شرایط به آسفالت برای تعیین مقاومت آن در برابر مواد شیمیایی نیاز نیست. جایی‌که وسایل نقلیه به طور منظم سوختگیری می‌کنند، از جمله محوطهٔ پمپ بنزین‌ها و یا جایی که احتمال ریختن سوخت وجود دارد، از جمله محوطهٔ پارک هواپیما مکان‌هایی هستند که مقاومت در

برابر سوخت در آن‌ها مهم است. پایداری در برابر مایعات ضدیخ در مکان‌هایی کـه روسـازی در هـر زمستان به طور منظم با چنین مایعاتی یخ زدائی می‌شوند مورد نیاز است.

با این حال، مواد دیگری غیر از آسفالت که ذاتاً مقاوم‌تر هستند، به طور عمده برای لایهٔ رویهٔ آن مکان‌ها استفاده می‌شوند، مانند بتن برای محوطهٔ پمپ بنزین‌ها.

۷-۴- نفوذناپذیری

۷-۴-۱-بیان مسأله

از قدیم الزامات برای نفوذپذیری به منظور حفظ روسازی از رطوبت، به‌دلیل آسیب‌هایی که می‌تواند به آسفالت وارد نماید حتی‌المقدور به مقدار حـداکثر در نظـر گرفتـه مـی‌شـود (بخـش ۷-۲). یـک مشکل این روش این است که، اگر ماده نفوذناپذیر باشد، هر رطوبتی که به روسازی وارد مـی‌شـود، چه از طریق نفوذپذیری محدود و چه از طریق اتصالات و یا خرابی، به‌طور مؤثر در آنجا گیر می‌کند. در مدت اخیر، مفهوم سیستم‌های زهکشی پایدار شهری (SUDS) به آسفالت با نفوذپـذیری کـافی برای عبور هرگونه آب از روسازی نیاز دارد. اگرچه SUDS هنوز برای روسازی راه‌هـا یـا فرودگاه‌هـا عملی نیست، اما در پارکینگ‌ها و جاده‌های فرعی استفاده شـده اسـت تـا بتوانـد بـدون نگرانـی از کاهش شدید سطح آب زیرزمینی و یا نیاز به زهکشی مقدار زیادی از آب‌هـای سـطحی در شـرایط آب و هوایی مرطوب، توسعه یابد. همچنین یـک وضـعیت میـانی وجـود دارد کـه فقـط لایـهٔ رویـه نفوذپذیر است، اما باید یک سیستم زهکشی در محل برای خروج آب از بین رویهٔ نفوذپذیر و بینـدر نفوذناپذیر وجود داشته باشد (نیکولاس و کارسول،۲۰۰۱). با این وجود، لازم است آسـفالت تـا حـد امکان نفوذناپذیر و یا تا حد امکان نفوذپذیر باشد!

یک مشکل این است که نفوذ ناپذیری و نفوذپذیری هر دو به طور چشمگیری نسبت بـه سـایر خواص با گذشت زمان تغییر می‌کنند. هر گونه آسیب به آسـفالت، بـه خصـوص تـرک‌خـوردگی یـا سایش، نفوذپذیری را کاهش خواهد داد، در حالی که مخلوط‌های با دانه‌بندی باز، به ویژه آسـفالت متخلخل، بسیار سریع با ذرات ریز مسدود می‌شوند به طوری که حتی با تمیز کـردن آن نیـز نفـوذ ذیری اولیه نمی‌تواند به طورکامل بازیابی شود (نیکولاس،۱۹۹۷).

۷-۴-۲-اقدامات معمول

ساده ترین راه افزایش نفوذپذیری یا نفوذناپذیری آسفالت به انتخاب نوع آسـفالت از میـان مقـادیر نفوذپذیری که از برخی انواع مخلوط معمول انتظار می‌رود بستگی دارد که در جـدول (۷-۱) ارائـه شده است (Daines, 1995). به طور کلی، نفوذپذیری را می‌توان با افزایش مقدار قیر و یـا فیلـر بـه

منظور پر کردن مؤثر حفره‌ها کاهش داد، اما چنین اقداماتی به ندرت برای این منظور انجام می شوند. همچنین، برای رسیدن به نفوذپذیری مناسب عمل تراکم نیز باید به‌صورت کامل انجام شود، اما نفوذپذیری که از طریق محدود کردن تراکم به‌دست می‌آید، به‌دلیل تأثیر نامطلوب بر دوام مخلوط‌های متراکم شده، کوتاه مدت خواهد بود.

۷-۴-۳-مقدار فضاهای خالی(جایگزین)

آزمایش معمول برای نفوذ ناپذیری، بر خلاف نفوذپذیری، مقدار فضاهای خالی است. با این حال، مقدار فضاهای خالی تنها جایگزینی برای نفوذپذیری است، زیرا میزان فضاهای خالی که به هم متصل‌اند و همچنین مقدار آن‌ها بر نفوذپذیری تأثیر خواهد گذاشت. علاوه بر این، اگرچه مقدار فضای خالی است که اندازه‌گیری می‌شود اما نفوذناپذیری نسبت به آب است که مشخصه اصلی آن به‌شمار می‌رود. اندازه حفره‌ها و فاصلهٔ اتصال بین آن‌ها، مایعاتی را که می‌توانند از بین آن‌ها عبور کنند تحت‌تأثیر قرار می‌دهند و ویسکوزیته و کشش سطحی برخی از این فضاهای خالی را در برابر آب غیر قابل نفوذ می‌نمایند.

اندازه‌گیری مقدار فضاهای خالی در بخش (۳-۴-۱) توضیح داده شده است.

جدول۷-۱: نفوذپذیری نسبی مواد رویه

مصالح	مقدار فضاهای خالی معمول(٪)	نفوذپذیری تقریبی(m/s)
ماستیک آسفالت	<1	$< 10^{-11}$
آسفالت هات رولد(۳۰٪ سنگ)	2-8	$10^{-11} - 10^{-10}$
آسفالت هات رولد(۵۵٪ سنگ)	2-6	$10^{-11} - 10^{-10}$
بتن آسفالتی	3-5	$10^{-10} - 10^{-8}$
آسفالت ماکادام با دانه‌بندی بسته	4-7	$10^{-8} - 10^{-5}$
آسفالت ماکادام با دانه‌بندی باز	12-20	$10^{-8} - 10^{-3}$
آسفالت متخلخل	15-25	$10^{-4} - 10^{-2}$

منبع: برگرفته از Daines, M E. 1995. آزمایش‌های حفره و تراکم در رویه آسفالت رولد.
گزارش TRL پروژه PR78. ووکینگام: TRLمحدود

۷-۴-۴-نفوذپذیری(شبیه‌سازی)

نفوذپذیری یک مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی باز را می‌توان در آزمایشگاه روی نمونه‌های آماده شدهٔ آزمایشگاهی یا مغزه‌های گرفته شده از محل اندازه‌گیری کرد. یک ستون آب با ارتفاع ثابت به یک نمونه استوانه‌ای اعمال شده و اجازهٔ نفوذ به درون نمونه برای یک زمان کنترل شده داده می‌شود.

جهت جریان اندازه‌گیری شده می‌تواند عمودی یا افقی باشد. استاندارد اروپایی برای نفوذپذیری EN 12697-19 است (CEN, 2012p).

هرچه نفوذپذیری بیشتر باشد، عبور آب از شبکهٔ توری، در هنگام نیاز برای روسازی نفوذپذیر، آسان‌تر است. EN 13108-7 (CEN, 2016b) دسته‌بندی‌هایی برای تعیین نفوذپذیری افقی با حداقل مقدار از $0/1 \times 10^{-3}$ و $0/5 \times 10^{-3} m/s$ تا $4/0 \times 10^{-3} m/s$ با افزایش $0/5 \times 10^{-3} m/s$، به‌علاوهٔ دسته‌بندی‌های بدون الزام ارائه می‌دهد. EN 12697-19 هیچ داده دقیقی برای آزمایش ارائه نمی‌دهد.

۷-۴-۵- هدایت هیدرولیکی(شبیه‌سازی)

قابلیت زهکشی درجا در مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی باز می‌تواند به صورت مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک حجم ثابتی از آب از درون یک نفوذسنج به درون یک محیط حلقوی از لایهٔ رویهٔ روسازی تحت شرایط افت مشخص زهکشی شود، ارزیابی گردد. هدایت هیدرولیکی نسبی، عکس زمان تخلیه است. نتیجه نسبی است، نه مطلق، زیرا زمان صرف شده به ابعاد نفوذسنج بستگی دارد. این آزمایش، توانایی زهکشی آب (قابلیت زهکشی) از لایهٔ رویه را اندازه‌گیری می‌کند و می‌تواند به عنوان یک بررسی قابل قبول جهت حصول اطمینان از اینکه لایهٔ رویهٔ نفوذپذیر در هنگام پخش و سپس جهت ایجاد تغییر در قابلیت زهکشی نسبت به زمان، دارای خواص مورد نیاز است مورد استفاده قرار گیرد. هدایت هیدرولیکی نسبی با نفوذپذیری یکسان نیست، زیرا آب می‌تواند بسته به تعدادی از عوامل بلافاصله از اطراف نفوذسنج یا دورتر از آن، از روسازی خارج شود. آزمایش اروپایی برای قابلیت زهکشی EN 12697-40 است (CEN, 2012g).

به‌دلیل اینکه هدایت هیدرولیکی، یک آزمایش درجا است و سری EN 13108 فقط برای آسفالت متراکم‌نشده در هنگام انتقال است، EN 13108-7 (CEN, 2016b) هیچ دسته‌بندی خاصی برای تعیین هدایت هیدرولیکی ندارد. EN 12697-40 هیچ داده دقیقی برای آزمایش ارائه نمی‌دهد.

۷-۴-۶- تعیین نفوذناپذیری یا نفوذپذیری

الزام نفوذ ناپذیری معمولا با استفاده از اقدامات معمول به‌دست می‌آید و در صورت لزوم با تعیین مقدار فضای خالی تایید می‌شود. در اکثر موارد، مشخصات صریح نفوذ ناپذیری ضروری نیست و این مشخصات برای شرایط بحرانی به کار می‌رود. هنگام تعیین نفوذ پذیری، که در صورت لزوم باید صراحتاً مشخص شود، نفوذپذیری افقی و یا عمودی می‌تواند برای نفوذپذیری بالقوه در آزمایشگاه استفاده شود، در حالی که هدایت هیدرولیکی/ قابلیت زهکشی می‌تواند برای تأیید دستیابی به نفوذپذیری مورد نظر در محل استفاده شود.

۷-۵-پتانسیل پیرشدگی

۷-۵-۱- بیان مسأله

چندین ویژگی مرتبط با دوام که مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل آزمایش مخلوط با خواصی که هنگام ساخته‌شدن دارد، است. با این حال، قیر موجود در آسفالت، خواص آن را با گذشت زمان و قرار گرفتن در معرض اکسیژن، نور فرابنفش، مواد شیمیایی و اثرات دیگر تغییر می‌دهد. بنابراین، ویژگی‌های آسفالت هم تغییر خواهد کرد، مثلاً با سخت‌تر شدن آسفالت، مقاومت در برابر تغییرشکل بهبود یافته و مقاومت در برابر خستگی کاهش می یابد. در حالت ایده‌آل، این تغییر باید در ارزیابی مخلوط، همانطور که در دستورالعمل M 124 برای CEN / CENELEC در مورد استانداردسازی استانداردهای هماهنگ در محصولات ساخت‌وساز جاده مورد نیاز است، گنجانده شود.

این دستورالعمل شامل نیاز به مشخص نمودن دوام درمقابل پیرشدگی، هوازدگی، اکسیداسیون، سایش، مواد شیمیایی، سایش ناشی از لاستیک‌های گل میخدار، عریان‌شدگی و سایر خرابی‌های مربوط برای تمام ویژگی‌های آسفالت جهت ساخت جاده است. متأسفانه اگرچه روش‌های پیرشدگی که به خوبی آسفالت را پیر می‌کنند توسعه یافته‌اند اما به عنوان شاخص پذیرفته نشده‌اند. علاوه بر این، باید یک روش برای ارزیابی خرابی مورد انتظار از هر ویژگی از حالات اولیه و پیرشدۀ آن وجود داشته باشد.

۷-۵-۲- پیرشدگی قیر(جایگزین/ شبیه‌سازی)

پیرشدگی کوتاه مدت قیر که معمولاً در طی مخلوط کردن، حمل، پخش و متراکم کردن آسفالت رخ می‌دهد، با استفاده از آزمایش قشر نازک قیر به روش چرخشی (RTFOT) تعیین می‌گردد. RTFOT که در اروپا مطابق EN 12607-1 (CEN, 2014c) و در آمریکا مطابق ASTM D2872 (ASTM, 2012a) استاندارد شده است، شامل یک قشرنازک قیر است که درون بطری‌هایی که در یک کوره در دمای بالا برای یک مدت مشخص و تحت فشار هوای ثابت می‌چرخند، قرار می گیرد. آزمایش قشرنازک قیر (TFOT) طبق EN 12607-2 (CEN, 2014d) و آزمایش فلاسک چرخان (RFT) طبق EN 12607-3 (CEN, 2014e) جایگزین‌هایی برای RTFOT هستند.

پیرشدگی بلند مدت قیر که عموماً در طول عمر مفید آسفالت ساخته شده با این قیر در نظر گرفته می‌شود، با استفاده از آزمایش تسریع پیرشدگی(PAV) ارزیابی می‌شود. PAV که در EN 14769 برای اروپا (CEN, 2012q) و در ASTM D6521 برای امریکا (ASTM, 2013b) استاندارد شده است شامل سینی‌های قیر پیرشده در دماهای بالا و تحت فشار در یک محفظۀ PAV می‌باشد.

اثرات هر دو نوع پیرشدگی از لحاظ تغییر نسبی در جرم و یا تغییر در نفوذ قیر طبق EN 1426 (CEN, 2015c)،نقطه نرمی طبق EN 1427 (CEN, 2015d) یا ویسکوزیتهٔ دینامیکی، تعیین می‌شود.

۷-۵-۳-آماده‌سازی SATS (شبیه‌سازی)

آزمون SATS آسفالت، که در بخش(۷-۲-۵) شرح داده شده است، مشابه آزمون PAV برای قیر است و می‌تواند به عنوان یک روش پیرشدگی شناخته شود. با این حال، نسخهٔ پیشنویس این آزمایش محدود به نوع خاصی از مخلوط است.

۷-۵-۴-پیرشدگی آسفالت (شبیه‌سازی)

یک پیش‌نویس از روش‌ها توسط CEN برای آماده‌سازی جهت نشان دادن پیرشدگی اکسایشی در حال توسعه است، که در صورت انتشار، قسمت ۵۲ از سری EN 12697 را تشکیل می‌دهد، اگر چه احتمالاً به عنوان مشخصات فنی (طرحی برای توسعه) به جای یک استاندارد آزمایش کامل خواهد بود. این طرح شامل روش‌هایی برای آماده‌سازی مخلوط متراکم‌نشده یا مخلوط متراکم‌شده می‌باشد. آماده‌سازی مخلوط متراکم‌نشده اجازه می‌دهد تا آماده‌سازی در تمام نمونه یکنواخت‌تر باشد، اما نمونه‌گیری از مخلوط‌های غیرمتراکم پیرشده سخت‌تر می‌شود، درحالی‌که آماده‌سازی نمونه‌های متراکم‌شده بدان معنی است که نمونه‌های متراکم‌شده‌ای وجود دارد که می‌تواند مورد آزمایش قرار گیرد، اما ممکن است قسمت بیرونی بیشتر از قسمت میانی و به میزان بیشتری از آنچه که در عمل رخ می‌دهد، پیر شود.

برای آماده‌سازی آسفالت غیرمتراکم، مخلوط در یک تشتک قرار داده می‌شود و در یک اتاقک گرمایشی با تهویه هوای ناگهانی برای مدت مشخص و در دمای بالا به منظور تسریع فرایند پیرشدگی ناشی از اکسیداسیون جهت نشان دادن پتانسیل پیرشدگی کوتاه مدت آماده‌سازی می‌شود. علاوه بر این، می‌توان برای تسریع بیشتر آماده‌سازی جهت نشان دادن پتانسیل پیرشدگی بلندمدت، فشار نیز به سیستم اعمال کرد.

برای آماده‌سازی نمونهٔ متراکم شده، هر دو نمونه در یک تشتک قرار داده می‌شوند و در یک اتاقک گرمایشی با تهویه هوای ناگهانی برای مدت مشخص و در دمای مشخص آماده‌سازی می‌شوند یا نمونه‌ها در یک سلول سه محوری قرار داده می‌شوند و جریان ناگهانی هوای فشردهٔ حاوی اوزون از میان نمونه برای آماده‌سازی نمونه در یک مدت و دمای مشخص مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۷-۵-۵-تعیین پیرشدگی

هیچ راهی برای تعیین مقاومت آسفالت در برابر تمام اشکال پیرشدگی وجود ندارد که قابل اعتماد بودن آن پذیرفته شده باشد. پیرشدگی کوتاه مدت و بلند مدت قیر توسط آزمایش‌های RTFOT و PAV پذیرفته شده است و راهنمای مفیدی برای پیرشدگی این جزء از آسفالت است اما به طور کلی مقدار پیرشدگی آن‌ها متغیری نیست که نیازمند تعیین باشد. امید است که آزمایش پیرشدگی آسفالت نیز پس از انتشار به اندازهٔ آزمایش‌های RTFOT و PAV قابل اعتماد باشد و مورد پذیرش قرار گیرد.

۷-۶-چسبندگی بین لایه‌ها

۷-۶-۱-بیان مسأله

فقدان چسبندگی بین لایه‌ای می‌تواند خدمت‌دهی روسازی آسفالتی را مختل نماید، زیرا در این صورت لایه‌ها به جای آنکه به صورت یک واحد یکپارچه عمل نمایند، هرکدام به‌طور جداگانه عمل خواهند کرد (Nicholls et al., 2008). علاوه بر این، هرگونه رطوبت محبوس بین لایه‌ها در صورت وجود حساسیت رطوبتی قادر به از بین بردن چسبندگی قیر/سنگدانه خواهد بود. الزام مبنی بر حصول اطمینان از توجه کافی به روسازی‌های آسفالتی، توجه زیادی را به خود جلب می‌کند. اما تجربیات گذشته بدون هرگونه کمکی جهت چسبندگی نشان داده است که با به‌کارگیری مهارت مناسب، چسبندگی کافی را می‌توان تنها با تمیزی مناسب به دست آورد. چسبندگی مناسب لازم است، اما چسبندگی می‌تواند بدون اندود سطحی یا اندود چسبندگی به دست آید.

چسبندگی بین لایه‌ای ویژگی یک مخلوط نیست زیرا نه تنها به مخلوط پخش شده، بلکه به ماده‌ای که روی آن پخش شده است (که ممکن است لزوماً آسفالت دیگری نباشد)، هرگونه اندود سطحی یا اندود چسبندگی مصرفی در بین لایه‌ها و مهارت در پخش کردن و تراکم هر لایه، بستگی خواهد داشت. به این ترتیب، چسبندگی بین لایه‌ای یک خصیصه نیست که یک مخلوط آسفالتی بتواند استاندارد CE در سیستم اروپایی را کسب کند.

مسئلهٔ دیگر در رابطه با چسبندگی بین لایه‌ای این است که هر اندازه‌گیری به نوع نیروی مورد استفاده جهت از بین بردن اتصال بستگی دارد. در حالت شدید، دو سطح بسیار زبر که بر روی یکدیگر قرار دارند در صورتی که سطح رویی هل داده شود یا نسبت به دیگری بچرخد، چسبندگی قابل توجهی را نشان می‌دهند، اما مقاومتی غیر از مقاومت در برابر بلندشدن ناشی از وزن خود ندارند. از طرف دیگر،کشیدن دو تشتک شیشه‌ای با آب بین آنها بسیار دشوار خواهد بود اما قادر خواهند بود به آسانی نسبت به یکدیگر تحت فشار یا چرخش قرار گیرند.

بنابراین، هنگام اندازه‌گیری چسبندگی بین لایه‌ای، قبل از هر قضاوتی، بستر، اندود سطحی و چسبندگی و نوع نیرو باید تعیین شود. با این حال، CEN در حال آماده‌سازی استانداردی برای چسبندگی پیچشی و آزمایش چسبندگی برشی و چسبندگی کششی است که هنگام انتشار بخش ۴۸م از EN 12697 خواهد بود. این روش برای استحکام چسبندگی بین یک لایهٔ آسفالتی و دیگر لایه‌های سازه‌ای جدید التأسیس و یا بستر موجود در جاده‌ها یا روسازی‌های فرودگاه است.

۷-۶-۲- اقدامات مرسوم

موضوعاتی که اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند، نیاز به کاربرد یک اندود سطحی یا اندود چسبنده قبل از روکش کردن و تمیز کردن بستر از ذرات ریز قبل از اعمال اندود سطحی/چسبنده و مجدداً قبل از روکش است. الزام مشخصات فنی بریتانیا برای ساخت بزرگراه (HA et al., 2008a) این است که سطح تمام مواد قیری باید تمیز و عاری از آلودگی باشد و قبل از پخش ماده قیری بر روی بستر پیوستهٔ جدید یا موجود، یک اندود سطحی یا چسبنده باید اعمال شود. اندودهای سطحی و چسبنده ذاتاً مشابه هستند، اما اندودهای‌سطحی معمولا حاوی قیر اصلاح‌نشده هستند، در حالی که اندود چسبنده حاوی قیر اصلاح شده با پلیمر است. نیاز به اندودهای سطحی یا چسبنده اغلب به شرایط و عمر بستر بستگی داشته و اغلب درصورتی که بستر آسفالت تازه پخش شده باشد از اجرای آن‌ها چشم‌پوشی می‌شود.

۷-۶-۳- چسبندگی پیچشی (شبیه‌سازی)

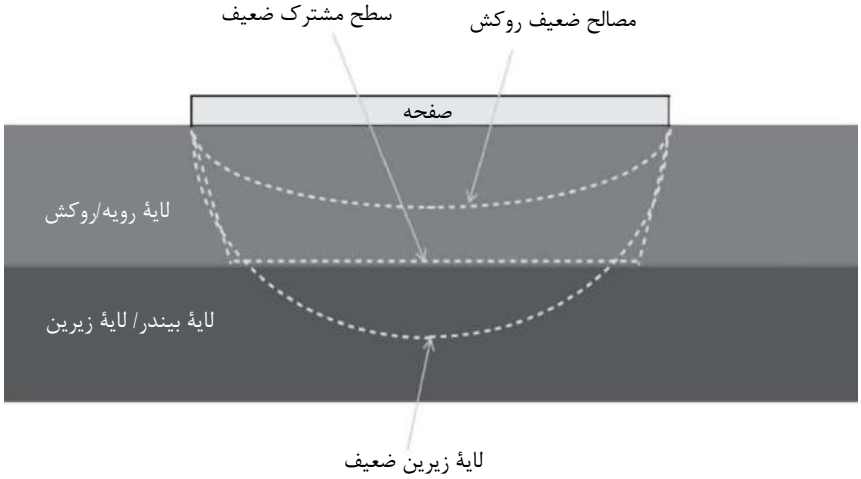
آزمایش چسبندگی پیچشی می‌تواند در محل یا بر روی مغزه‌ها در آزمایشگاه انجام شود تا دما قابل کنترل باشد. یک صفحهٔ فولادی به سطح آسفالت چسبیده و با گشتاور پیچشی که اندازه گیری می‌شود، چرخانده می‌شود. برای لایه‌های ضخیم، یک شیار استوانه‌ای می‌تواند از لایهٔ بالایی تا پایین بستر ایجاد شود تا گشتاور مورد نیاز را کاهش دهد. آزمایش می‌تواند بلافاصله بعد از قرار دادن لایهٔ بالایی انجام شود.

گسیختگی می‌تواند در مصالح لایهٔ رویه، مصالح بستر یا در چسبندگی، هر کدام که ضعیف‌تر است، رخ دهد همانطور که در شکل (۷-۲) نشان داده شده است. صفحهٔ گسیختگی لزوما همان سطح مشترک اعمالی برای دیگر آزمایش‌های چسبندگی نمی‌باشد.

مقدار گشتاور بیشتر به اتصال قوی‌تری دلالت دارد. به‌دلیل آنکه چسبندگی یک ویژگی آسفالت نیست، هیچ دسته‌بندی خاصی برای آن در EN 13108 وجود ندارد. علاوه بر این، طرح پیشنویس پیش از انتشار نهایی آزمایش اروپایی هیچ دادهٔ دقیقی ارائه نکرده است.

۷-۶-۴- چسبندگی برشی (شبیه‌سازی)

آزمایش چسبندگی برشی یک آزمون آزمایشگاهی است که در آن نمونه‌های استوانه‌ای با نرخ برش ثابت و در دمای ثابت تحت نیروی برشی مستقیم قرار می‌گیرند. پیشرفت تغییرشکل و نیروی برشی با حداکثر تنش برشی ثبت شده که به عنوان مقاومت برشی در فصل مشترک بین لایه‌ها تعریف شده است، ثبت می‌شوند. برای لایه‌های نازک‌تر، امتداد صفحه فلزی شیاردار می‌تواند به نمونه متصل شود تا برآمدگی لایهٔ بالایی به حداقل برسد.



شکل۷-۲: صفحات احتمالی شکست در آزمایش چسبندگی برشی

مقدار تنش‌برشی بیشتر، به اتصال قوی‌تری دلالت دارد. از آنجاکه چسبندگی ویژگی آسفالت نیست، هیچ دسته‌بندی خاصی برای آن در EN 13108 وجود ندارد. تنها داده‌های دقیق ارایه شده در طرح اولیهٔ آزمون اروپایی عبارتند از:

- انحراف استاندارد با تکرارپذیری ۰/۰۷۴ به اضافه۰/۰۴۴ برابر سطح برای مقاومت اتصال - برشی
- انحراف استاندارد با تکرارپذیری ۰/۰۳۷ به اضافه۰/۱۱ برابر سطح برای مقاومت اتصال برشی
- انحراف استاندارد با تکرارپذیری ۰/۰۳۸ میلی‌متر برای تغییرمکان در بیشترین تنش برشی
- انحراف استاندارد با تکرارپذیری ۰/۰۷۶ میلی‌متر برای تغییرمکان در بیشترین تنش برشی

۷-۶-۵-چسبندگی کششی (شبیه‌سازی)

آزمایش چسبندگی کششی که چسبندگی بین لایهٔ رویه و بستر عمود بر سطح نمونه را تعیین می‌کند، شامل چسباندن یک پیستون به سطح لایهٔ بالایی و بیرون کشیدن آن با کرنش ثابت در دمای ثابت است. مقاومت تنش کششی به صورت حداکثر نیرویی که به وسیلهٔ ناحیهٔ کششی تقسیم می‌شود، تعریف می‌گردد.

مقدار تنش کششی بیشتر، به اتصال قوی‌تری اشاره دارد. به دلیل آنکه چسبندگی یک ویژگی آسفالت نیست، هیچ دسته‌بندی خاصی برای آن در EN 13108 وجود ندارد. علاوه بر این، طرح پیشنویس پیش از انتشار نهایی آزمایش اروپایی هیچ دادهٔ دقیقی ارائه نکرده است.

۷-۶-۶-تعیین چسبندگی بین لایه‌ای

تعیین ضوابط چسبندگی بین لایه‌ای دشوار است زیرا اندازه‌گیری پتانسیل در آزمایشگاه به‌دلیل نیاز به ترکیبی از بستر، محیط چسبنده (در صورت وجود) و روکش جدید که احتمالاً برای هر محل منحصر به فرد است، هزینه زیادی دارد و اندازه‌گیری چسبندگی در محل نیز مخرب است. به طور کلی، اقدامات مرسوم تنها موارد مورد نیاز است. هنگامی که نیاز به تعیین یا بررسی چسبندگی باشد، اگر شکست در امتداد فصل مشترک نباشد هر مقدار چسبندگی کافی است، زیرا در این صورت در بین سطوح شکست احتمالی، چسبندگی اتصال ضعیف نخواهد بود.

با افزایش ضخامت لایهٔ آسفالت پخش‌شده چسبندگی کششی اهمیت کمتری پیدا می‌کند، زیرا جرم آن مصالح حتی بدون چسبندگی کششی خود دارای وزن زیادی است و باعث سنگینی آن می‌شود. بنابراین آزمون چسبندگی کششی بیشتر برای لایه‌های نازک رویه قابل استفاده است.

هر دو آزمایش چسبندگی پیچشی و چسبندگی برشی جنبهٔ یکسانی از چسبندگی را اندازه‌گیری می‌کنند و می‌توانند برای ارزیابی چسبندگی مورد نیاز لایه‌های ضخیم‌تر و نیز لایه‌های نازک‌تر مورد استفاده قرار گیرند. با این حال، آزمایش چسبندگی پیچشی دارای این مزیت است که می‌تواند به صورت یک آزمایش درجا استفاده گردد.

منابع

American Association of State Highway and Transportation Officials. 1984. Standard method of test for coating and stripping of bitumen-aggregate mixtures. *AASHTO T-182*. Washington, DC: AASHTO.

ASTM International. 2012a. Standard test method for effect of heat and air on a moving film of asphalt (rolling thin-film oven test). *ASTM D2872-12e1*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. 2012b. Standard practice for effect of water on bituminous-coated aggregate using boiling water. *D3625/D3625M-12*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. 2013b. Standard practice for accelerated aging of asphalt binder using a pressurized aging vessel (PAV). *ASTM D6521-13*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

Comité Européen de Normalisation. 2005. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 43: Resistance to fuel. *EN 12697-43:2005*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2008c. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 12: Determination of water sensitivity of bituminous specimens. *EN 12697-12:2008*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2012g. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 40: In situ drainability. *EN 12697-40:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2012n. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 11: Determination of the affinity between aggregate and bitumen. *EN 12697-11:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2012o. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 45: Saturation Ageing Tensile Stiffness (SATS) conditioning test. *EN 12697-45:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2012p. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 19: Permeability of specimen. *EN 12697-19:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2012q. Bitumen and bituminous binders – Accelerated long-term ageing conditioning by a pressure ageing vessel (PAV). *EN 14769:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2013b. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 41: Resistance to de-icing fluids. *EN 12697-41:2013*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2014c. Bitumen and bituminous binders – Determination of the resistance to hardening under the influence of heat and air – Part 1: RTFOT method. *EN 12607-1:2014*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2014d. Bitumen and bituminous binders – Determination of the resistance to hardening under the influence of heat and air – Part 2: TFOT method. *EN 12607-2:2014*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2014e. Bitumen and bituminous binders – Determination of the resistance to hardening under the influence of heat and air – Part 3: RFT method. *EN 12607-3:2014*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2015c. Bitumen and bituminous binders – Determination of softening point – Ring and Ball method. *EN 1427:2015*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2015d. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 2: Determination of particle size distribution. *EN 12697-2:2015*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2016a. Bituminous mixtures – Material specifications – Part 1: Asphalt concrete. *EN 13108-1:2016*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Comité Européen de Normalisation. 2016b. Bituminous mixtures – Material specifications – Part 7: Porous asphalt. *EN 13108-7:2016*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Daines, M E. 1995. Tests for voids and compaction in rolled asphalt surfacings. *TRL Project Report PR78*. Wokingham: TRL Limited.

Grenfell, J R A, G D Airey, A C Collop, R C Elliott and J C Nicholls. 2011. Assessment of asphalt durability tests; Part 1: Widening the applicability of the SATS test. *TRL Published Project Report PPR535*. Wokingham: TRL Limited.

Hunter, R N, A Self and J Read. 2015. *The Shell Bitumen Handbook*. 6th edition. London: ICE Publishing.

Kandhal, P S, C W Lubold and F L Roberts. 1989. Water damage to asphalt overlays: Case histories. In *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 58, 1989, pp. 40–67. St Paul, MN: AAPT.

Kringos, N, H Azari and A Scarpas. 2009. Identification of parameters related to moisture conditioning that cause variability in modified Lottman test. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2127*, pp.1–11. Washington DC: TRB.

Nicholls, J C. 1997. Review of UK porous asphalt trials. *TRL Report TRL264*. Wokingham: TRL Limited.

Nicholls, J C and I G Carswell. 2001. Effectiveness of edge drainage details for use with porous asphalt. *TRL Report TRL376*. Wokingham: TRL Limited.

Nicholls, J C, J Harper, K Green and R C Elliott. 2011. Assessment of asphalt durability tests; Part 3, Review of SATS test to evaluate existing base layers. *TRL Published Project Report PPR537*. Wokingham: TRL Limited.

Nicholls, J C, M J McHale and R D Griffiths. 2008. Best practice guide for durability of asphalt pavements. *TRL Road Note RN42*. Wokingham: TRL Limited.

The Highways Agency, Transport Scotland, Welsh Assembly Government and The Department for Regional Development, Northern Ireland. 2008a. Specification for Highway Works, Series 900, Road Pavements – Bituminous Bound Materials. Manual of Contract Documents for Highway Works, Volume 1. London: The Stationery Office. www.standardsforhighways.co.uk/ ha/ standards/mchw/vol1/pdfs/series_0900.pdf

Varveri, A, S Avgerinopoulos, T Scarpas, C Nicholls, K Mollenhauer, C McNally, A Gibney and A Tabaković. 2014. Laboratory study on moisture and ageing susceptibility characteristics of RA and WMA mixtures. *EARN deliverable D7*. www.trl.co.uk/solutions/road-rail-infrastructure/sustainable-infrastructure/earn/

فصل هشتم
پایداری

۸-۱-دید کلی

واژه "پایداری" می‌تواند در معانی مختلف به‌کار رود و موضوعات متنوعی شامل کاهش تولید کربن دی‌اکسید و استفاده از منابع دست‌نخورده را پوشش دهد. اگرچه عموماً در ضوابط به صراحت به این موضوعات پرداخته نمی‌شود و زمانی هم که این موضوعات بیان می‌شوند، الزامات به‌جای اندازه‌گیری ویژگی‌ها شامل محدودیت‌های دستورالعمل گونه می‌شود. بااین‌وجود در جهانی که آگاهی‌ها نسبت به محدودیت‌های بخش عمدهٔ منابع و خساراتی که بشر به محیط‌زیست وارد کرده است در حال افزایش است، نیاز به در نظر گرفتن این موضوعات در ضوابط احساس می‌شود. ازاین‌رو مواردی که باید در نظر گرفته شوند، به‌طور خلاصه در این جا موردبحث قرار می‌گیرند.

آسفالت یک مادهٔ جالب توجه است که می‌تواند دوام بالایی داشته، ۱۰۰٪ بازیافتی باشد و همراه با مصالح ثانویه به کار رود. اگرچه می‌توان آن را طوری طراحی کرد که دارای دوام بیش‌تر باشد، قسمت بیش‌تری از آن قابل بازیافت باشد و از مواد ثانویهٔ مناسب‌تری در آن استفاده شود. این امر سبب می‌شود با کاهش اثرات کربن و افزایش مزایای چرخهٔ عمر، پایداری آن بهبود یابد (Nicholls et al., 2010). با این حال، تحقق کامل این مزایا نیازمند مراقبت و توجه در فرایند طراحی، ساخت‌وساز و نگهداری مصالح است.

۸-۲-دوام

دوام واژه‌ای است که هرکس تصور می‌کند معنی آن را می‌داند اما این واژه برای هرشخصی دارای تعاریف متفاوتی است. تعاریفی که میان دوام آسفالت و دوام روسازی آسفالتی تفاوت قائل می‌شود در TRL Road Note 42 (Nicholls et al., 2008) به‌صورت زیر ارائه شده است:

دوام آسفالت

حفظ یکپارچگی ساختاری مصالح متراکم شده در طول عمر مفید مورد انتظار به هنگام مواجهه با اثرات محیطی (آب، اکسیژن و نور خورشید) و بار ترافیکی

دوام روسازی

حفظ سطح عملکردی قابل‌قبول در طول عمر مفید مورد انتظار سازه بدون تعمیر و نگهداری عمده تمام ویژگی‌هایی که برای شرایط خاص یک جاده علاوه بر دوام آسفالت مورد نیاز است.

دوام روسازی مهم‌ترین جنبه برای به حداقل رساندن اثرات محیطی و اختلال در جریان ترافیک ناشی از تعمیر و نگهداری بعدی است. این موضوع ارتباط نزدیکی با ویژگی‌های سرویس‌دهی که در فصل هفتم توضیح داده شده است، دارد اما به آن‌ها محدود نمی‌شود. استفاده از یک مخلوط

آسفالتی بادوام باید نیاز به تعمیر و نگهداری و یا حتی جایگزینی را به تأخیر انداخته و ازاین‌رو منجر به کاهش انتشارات و نیاز به مواد دست‌نخورده در طول عمر روسازی شود به‌طوری‌که تأثیر آن برابر یا بیش‌تر از اقدامات مستقیم برای کاهش این مشکلات به هنگام اختلاط و پخش مخلوط آسفالتی باشد.

از راه‌های اصلی دستیابی به دوام مناسب به‌کارگیری خصوصیات مناسب که در فصول قبل به آن‌ها اشاره شد با ملاحضات مقتضی برای هرگونه پیرشدگی و یا تغییرات شرایط احتمالی است. علاوه بر ویژگی‌های استاندارد جنبه‌های دیگری هم که باید برای دستیابی به دوام کافی در نظر گرفته شوند عبارت‌اند از (Nicholls et al., 2010):

پی مناسب روسازی یا ساخت آن با حداقل کردن هزینه‌های زیست‌محیطی با استفاده از روش‌هایی مانندک

- ایجاد ترک و نشست بر روی روسازی بتنی موجود
- قابلیت زهکشی جهت دور کردن رطوبت از آسفالت تا جایی که امکان‌پذیر باشد
- آسفالتی که به‌طور کامل متراکم شده باشد

دوام مورد انتظار از روسازی، به‌ویژه لایهٔ رویه به‌عنوان نمایان‌ترین بخش آن، نسبتاً محدود است اما می‌تواند به آسانی با اقدامات ساده‌ای بهبود یابد. این اقدامات عبارت‌اند از استفادهٔ گسترده‌تر از پوشش‌های چسبنده و حصول اطمینان از وجود ضخامت کافی قشر چسبانندهٔ قیری. اگرچه قیر باید تقریباً ۸ میلی‌متر ضخامت داشته تا بتواند یک لایه ضد آب را ایجاد کند اما این ضخامت به دلیل ایجاد مشکلات دیگر عملی نیست. استفاده از اصلاح‌کننده‌های قیر عموماً برای بهبود بخشیدن به ویژگی‌های فیزیکی خاص طراحی شده است اما تاثیر آن‌ها بر روی دوام مخلوط آسفالتی حاصل و هزینه‌های زیست‌محیطی تولید آن‌ها نیازمند ارزیابی است. اگرچه هر یک از روش‌های افزایش دوام به دلیل الزامات متناقض با عملکرد سایر ویژگی‌های موردنیاز، ممکن است تعدیل شوند.

۸-۳- بازیافت

بازیافت می‌بایست ساده‌ترین راهکار برای بهبود پایداری باشد (Nicholls et al., 2010). اگرچه تمام قسمت‌های آسفالت بازیافتی (RA) می‌تواند بازیافت شود اما در حال حاضر مخلوطی با ۱۰۰٪ RA تولید نمی‌شود (باید توجه داشت که برای داشتن دانه‌بندی سنگدانه، مقدار و درجهٔ قیر موردنیاز لازم است مصالح به‌درستی انتخاب شوند). بااین‌وجود نسبت بهره‌گیری از آن‌ها، حتی در سطح رویه به‌طور پیوسته افزایش می‌یابد. استفادهٔ حلقهٔ باز از RA از لایه‌های پایین‌تر روسازی در مقایسه با لایه‌ای که RA از آن برگرفته‌شده متداول شده است اما استفاده از سطوح بالاتر در همان لایه که

به‌عنوان "استفاده مجدد حلقهٔ بسته" شناخته می‌شود، نیازمند توسعهٔ بیش‌تری است. یکی از مزایای بازیافت کاهش حمل مصالح به محل مورد نیاز است.

دستورالعمل‌های بازیافت (حتی برای مخلوط‌های لایهٔ رویه) تدوین شده است (Carswell et al. 2010). تفاوت عمده این است که امکان دارد آزمایش‌های بیش‌تری برای اطمینان از سازگاری RA موردنیاز باشد. اگر RA از منبع واحدی که مخلوطی سازگاری دارد و یا از منابع مختلفی که به‌خوبی با یکدیگر مخلوط شده‌اند برداشته شود، بیش‌تر سازگار خواهد بود. در صورتی‌که استفاده از حالت دوم در رویه مد نظر باشد، باید تنها به منابع مصالح لایهٔ رویه محدود گردد.

RA مورد استفاده باید فاقد هرگونه قطران (مگر در آسفالت سرد) و الیاف آزبستی، که پیش از این‌که سرطان‌زا شناخته شوند در روسازی استفاده می‌شدند، باشد. RA همچنین نیاز به یک حداقل میزان از مواد خارجی دارد که در استاندارد اروپایی EN 12697-42 (CEN, 2012r) ذکر شده است؛ این مواد به هر چیزی که معمولاً در ساخت آسفالت استفاده نمی‌شود، اطلاق می‌گردد. قیرهای اصلاح‌شده با پلیمر به‌عنوان ماده خارجی در نظر گرفته نمی‌شوند چون معمولاً در آسفالت مورد استفاده قرار می‌گیرند و می‌توان اصلاح‌کننده‌های مختلف را به‌عنوان یک اصلاح‌کنندهٔ متفاوت در مخلوطی جدید در RA با یکدیگر ترکیب کرد (Carswell et al., 2005).

علاوه بر توجه به این‌که چه بازیافتی مجاز است و یا برای مخلوط آسفالتی موجود موردنیاز است، باید مناسب بودن مخلوط برای بازیافت در آینده نیز مد نظر قرار داده شود. عموماً آسفالت اجرا شده برای کارهای عمده قابل‌قبول است اما اغلب تعمیرات و بازسازی‌ها وقتی که در آن‌ها از مصالحی متفاوت با مصالح اولیه استفاده می‌شود، قابلیت بازیافت روسازی را دچار مشکل می‌کنند. مخلوط‌های سیمانی و رزینی که برای تعمیرات چاله‌ها به بازار عرضه شده و استفاده می‌شوند، بدترین عوامل هستند.

۸-۴-سنگدانه‌های ثانویه

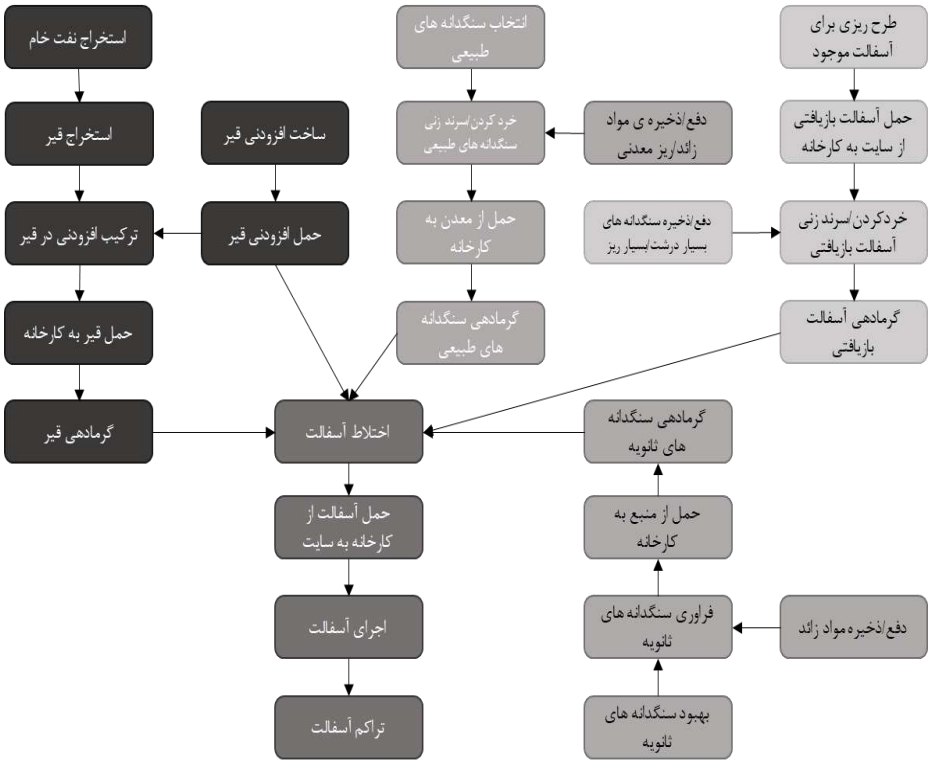
استفاده از سنگدانه‌های ثانویه به‌جای RA یکی از روش‌های جلوگیری از کنده‌شدن سنگدانه‌های اولیه است. استفاده از مصالح ثانویه در فیلر نتیجه عکس داده و منجر به تولید اضافی مواد ریزدانه معدنی مناسب ناشی از خردکردن سنگدانه‌ها برای تولید مصالح درشت‌دانه با ابعاد موردنیاز می‌شود (Nicholls et al., 2010). با این وجود استفاده از بعضی مصالح بسیار ریزدانه مانند خاکستر کورهٔ سیمان ممکن است مزایای زیست‌محیطی دیگری داشته باشند (Nicholls et al., 2006b). استفاده از مصالح ثانویه برای بخش‌های درشت‌تر پتانسیل بیشتری دارد، نظیر انواع سرباره که چندین سال به شکل موفقیت‌آمیزی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و موادی مانند شیشه که اخیراً بیش‌تر مورد استفاده قرار بوده‌اند (Nicholls and Lay, 2002).

یک جنبهٔ استفاده از مصالح ثانویه که باید برای پایداری واقعی مورد توجه قرار گیرد قابلیت بازیافت آن‌ها، از جمله اصلاح‌کننده‌های قیر، است. آسفالت یکی از محصولات نادر است که ۱۰۰٪ قابل بازیافت و هرگونه نقص در آن شرایط، ازنظر زیست‌محیطی زیان‌بار است. ضوابط می‌توانند می‌توان استفاده از تمام یا مقدار مشخصی از مصالح ثانویه را محدود، مجاز، الزام کنند.

۸-۵-انتشارات کربن

توجه به مسألهٔ نظارت و کاهش انتشارات کربن در روسازی‌ها همانند دیگر جنبه‌های زندگی مدرن در حال افزایش است. مدل‌های زیادی برای این منظور توسعه داده شده‌اند. از این بین میتوان به Asphalt Pavement Embodied Carbon Tool (PECT) اشاره کرد که از طریق تارنمای www.sustainabilityofhighways.org.uk به صورت رایگان قابل بارگیری می‌باشد. به هنگام مقایسهٔ گزینه‌های مختلف، نیاز به استفاده از مدل و فرضیات یکسان می‌باشد، به خصوص هر یک از گزینه‌های آغاز تا محل اجرا، آغاز تا پایان یا هرکدام دیگر. فرایند آغاز تا محل اجرا همانگونه که در شکل (۸-۱) نشان داده شده است به دستیابی، عمل‌آوری، حمل، اختلاط و اجرای مصالح دلالت دارند (Schiavi et al., 2007)، درحالی‌که فرایند آغاز تا پایان شامل تعمیر و نگهداری آینده، دفع و یا استفادهٔ مجدد از آسفالت پس از پیرشدگی روسازی نیز می‌شود.

لزوماً تمام موارد ذکرشده در شکل (۸-۱) برای یک طرح خاص استفاده نمی‌شود چون قیرهای پلیمری، RA و مصالح ثانویه همیشه به کار برده نمی‌شوند.



شکل ۸-۱. فرایندهایی که باید در ارزیابی انتشار کربن از ابتدا تا اجرا لحاظ شوند.
(After Schiavi, I, I Carswell and M Wayman. 2007. Recycled asphalt in surfacing materials: A case study of carbon dioxide emission savings. TRL Published Project Report PPR304. Wokingham: TRL.)

حداکثر محدودیت اعمالی در انتشارات گاز کربن را می‌توان در مشخصات و یا یک رتبه‌بندی از این انتشارات که برای مقایسهٔ گزینه‌های مختلف به کار رفته‌اند، استفاده کرد.

۸-۶- آسفالت دمای پایین‌تر

تا چندی پیش استفاده از آسفالت گرم با اعمال شرایط دمای پایین‌تر معمول بود اما به دلیل نیاز حس شده به اختلاط دمای بالا به منظور دستیابی به پوشش کامل سنگدانه‌ها در فرایند اختلاط و تراکم کافی در سایت، این کار نامناسب شمرده شد. با پیشرفت‌های جدید این موضوعات مورد بررسی قرار گرفته و تعداد زیادی سیستم‌های مختلف وجود دارد که به خوبی قادر به تولید آسفالت در دماهای پایین‌تر است. برخی از سیستم‌های متعارف که در اروپا و یا امریکا موجود و عموماً اختصاصی هستند، در جدول (۸-۱) ذکر شده‌اند (Nicholls et al., 2014). بااین‌حال هنوز بسیاری

از مهندسین متصورند که این سیستم‌ها تمام ویژگی‌های آسفالت گرم سنتی را دارا نمی‌باشند که برای ویژگی‌های مختلف در برخی از سیستم‌ها صحیح می‌باشد.

دستورالعمل‌ها می‌توانند کاربرد تمام یا برخی از این‌گونه سیستم‌های آسفالت دمای پایین را ممنوع، مجاز و یا بیش‌تر کنند. با توجه به گوناگونی این سیستم‌ها ارائهٔ دستورالعمل کلی که بتواند تمام جنبه‌های این سیستم‌ها را پوشش دهد دشوار خواهد بود، اگرچه تعدادی ایجاد شده است (Nicholls et al., 2013). به‌طورکلی، باید دقت بیشتری برای اطمینان از آغشته شدن کامل سنگدانه با قیر، دستیابی به تراکم کافی و عدم تأثیرگذاری آب اضافه‌شده به سیستم بر روی دوام آسفالت صورت گیرد.

جدول ۸-۱: خلاصه‌ای از سیستم‌های آسفالت دمای پایین‌تر

محصول	شرکت تولیدکننده	شرح	مقدار مصرف افزودنی	کشور استفاده‌کننده	درجه حرارت تولید یا محدوده کاهش	وب‌سایت
افزودنی‌های زئولیتی						
Advera	PQ Corporation	آب حاوی زئولیت	۰/۲۵ ٪ جرم مخلوط	ایالات‌متحده امریکا	(۳۰-۱۰) °C	www.pqcorp.com/products/AdveraWMA.asp
Aspha-Min	Eurovia and MHI	آب حاوی زئولیت	۰/۳ ٪ جرم مخلوط	سرتاسر جهان از قبیل فرانسه، آلمان و ایالات‌متحده امریکا	(۳۰-۲۰) °C	www.eurovia.fr/en/produit/135.aspx?print=y
افزودنی‌های ارگانیک (واکس)						
Asphaltan A Romonta N	Romonta GmbH	واکس مونتان برای ماستیک آسفالت	(۲ – ۱/۵) ٪ جرم قیر	آلمان	۲۰ °C	www.romonta.de/ie4/english/romonta/i_wachse.htm
Asphaltan B		واکس مونتان تصفیه‌شده با اسید آمید چرب برای رلد آسفالت	(۲-۴) ٪ جرم قیر	آلمان	(۳۰-۲۰) °C	

ادامه جدول ۸-۱: خلاصه‌ای از سیستم‌های آسفالت دمای پایین‌تر

محصول	شرکت تولیدکننده	شرح	مقدار مصرف افزودنی	کشور استفاده‌کننده	درجه حرارت تولید یا محدوده کاهش	وب‌سایت
Sasobit	Sasol	واکس فیشر تروپس	(۳ – ۲/۵) ٪ جرم قیر در آلمان (۱/۵ - ۱) ٪ جرم قیر در ایالات‌متحده امریکا	سرتاسر جهان از قبیل اتحادیه اروپا، جمهوری آفریقای جنوبی و ایالات‌متحده امریکا	(۳۰-۲۰) °C	www.sasolwax.us.com/sasobit.html
Sasolwax Flex		واکس فیشر تروپش به همراه پلیمر (برحسب نوع)	نامشخص		حداقل ۲۸°C	www.sasolwax.com/More_about_Sasolwax_Flex.html
افزودنی‌های مشتقات اسید چرب						
Hypertherm	Coco Asphalt Engineering	مشتقات اسید چرب	نامشخص	کانادا	نامشخص	www.cocoasphaltengineering.com/warm_mix.aspx
Licomont BS 100	Clariant	واکس اسید آمید چرب	۳ ٪ جرم قیر	آلمان	(۳۰-۲۰) °C	http://www.clariant.com/en/Solutions/Products/2014/03/18/16/33/Licomont-BS-

ادامه جدول ۸-۱: خلاصه‌ای از سیستم‌های آسفالت دمای پایین‌تر

محصول	شرکت تولیدکننده	شرح	مقدار مصرف افزودنی	کشور استفاده‌کننده	درجه حرارت تولید یا محدوده کاهش	وب‌سایت
افزودنی‌های شیمیایی						
Cecabase RT	CECA Arkema group	مواد شیمیایی	(۰/۴ – ۰/۲) ٪ جرم مخلوط	فرانسه و ایالات‌متحده امریکا	۱۲۰ °C	http://www.cecachemicals.com/en/products/ceca-product-finder/range-page/Cecabase-RT/
Ecoflex or 3ELT	Colas	نامشخص	نامشخص	فرانسه	(۴۰-۳۰) °C	
Evotherm DAT	MeadWestvaco	مواد شیمیایی به همراه آب	۳۰ ٪ جرم قیر	سرتاسر جهان از قبیل فرانسه و ایالات‌متحده امریکا	(۱۱۵-۸۵) °C	www.meadwestvaco.com/Products/MWV002106
Evotherm 3G or REVIX		مواد شیمیایی بدون آب	نامشخص	ایالات‌متحده امریکا	(۲۷-۱۵) °C	
Qualitherm	QPR ShopWorx	نامشخص	نامشخص	کانادا و ایالات‌متحده امریکا	نامشخص	
Rediset WMX	Akzo Nobel	سورفکتانت‌های کاتیونی و افزودنی‌های ارگانیک	(۲ – ۱/۵) ٪ جرم قیر	نروژ و ایالات‌متحده امریکا	≥ ۳۰°C ۱۲۶ °C	www.surfactants.akzonobel.com/asphalt/pdf/Rediset%20Brochure_0907.PDF

ادامه جدول ۸-۱: خلاصه‌ای از سیستم‌های آسفالت دمای پایین‌تر

محصول	شرکت تولیدکننده	شرح	مقدار مصرف افزودنی	کشور استفاده‌کننده	درجه حرارت تولید یا محدوده کاهش	وب‌سایت
Sübit VR	GKG Mineraloel Handel	نامشخص	نامشخص	آلمان	نامشخص	www.gkg-oel.de/fileadmin/gkg-oel/Dokumente/Produktbeschreibung.pdf
افزودنی‌های معین دیگر						
Thipoave	Shell	گوگرد به صورت فشرده	(۳۰-۵۰) ٪ جرم قیر	سرتاسر جهان	۲۰ °C	
TLA-X	دریاچهٔ قیر ترینیداد و توباگو	قیر دریاچهٔ ترینیداد به همراه اصلاح‌کننده	نامشخص	سرتاسر جهان	نامشخص	www.trinidadlakeasphalt.com/home/products/tla-x-warm-mix-technology.html
افزودنی‌های امولسیونی						
ECOMAC	SCREG	مخلوط سردی که قبل از اجرا گرم شده	نوع و مقدار نامشخص	فرانسه	حدود ۴۵ °C	

ادامه جدول ۸-۱: خلاصه‌ای از سیستم‌های آسفالت دمای پایین‌تر

محصول	شرکت تولیدکننده	شرح	مقدار مصرف افزودنی	کشور استفاده‌کننده	درجه حرارت تولید یا محدوده کاهش	وب‌سایت
Evotherm ET	Mead-Westvaco	امولسیون شیمیایی قیر	تحویل به صورت امولسیون قیر	سرتاسر جهان از قبیل فرانسه و ایالات متحده امریکا	(۱۱۵-۸۵) °C	www.meadwestvaco.com/Products/MWV002106
تکنولوژی کف‌سازی						
Accu-Shear Dual Warm Mix Additive System	Stansteel	فرایند کف‌سازی بر پایهٔ آب	غیرضروری	ایالات متحده امریکا	نامشخص	www.stansteel.com/sip.html
Adesco/Madsen Static Inline Vortex Mixer	Adesco/Madsen	فرایند کف‌سازی بر پایهٔ آب	غیرضروری	ایالات متحده امریکا	نامشخص	
Aquablack WMA	MAXAM equipment	فرایند کف‌سازی بر پایهٔ آب	غیرضروری	ایالات متحده امریکا	نامشخص	http://maxamequipment.com/AQUABlackWMA.htm
AquaFoam	Reliable Asphalt Products	فرایند کف‌سازی بر پایهٔ آب	غیرضروری	ایالات متحده امریکا	نامشخص	www.reliableasphalt.com/Default.asp
Double Barrel Green	Astec	فرایند کف‌سازی بر پایهٔ آب	افزودنی ضد عریان‌شدگی اختیاری	ایالات متحده امریکا	(۱۳۵-۱۱۶) °C	www.astecinc.com/index.php?option=com_content&view=article&id=117&Itemid=188

ادامه جدول ۸-۱: خلاصه‌ای از سیستم‌های آسفالت دمای پایین‌تر

محصول	شرکت تولیدکننده	شرح	مقدار مصرف افزودنی	کشور استفاده‌کننده	درجه حرارت تولید یا محدوده کاهش	وب‌سایت
ECO-Foam II	Aesco/Madsen	فرایند کف‌سازی بر پایهٔ آب	غیرضروری	ایالات متحده امریکا	نامشخص	
NA Foamtec	Foamtec International	فرایند کف‌سازی بر پایهٔ آب	(۳ – ۱/۵) ٪ جرم قیر	ایالات‌متحده امریکا و جمهوری آفریقای جنوبی	نامشخص	
HGrant Warm Mix System	Herman Grant Company	فرایند کف‌سازی بر پایهٔ آب	غیرضروری	ایالات متحده امریکا	نامشخص	www.hermangrant.com/warm-mix.htm
LEA (Low Energy Asphalt)	LEACO and McConnaughay	مخلوط سنگدانهٔ درشت گرم بر پایه آب با ماسه مرطوب	۰/±۵ ٪ جرم قیر به همراه افزودنی چسبنده	فرانسه، ایتالیا، اسپانیا و ایالات‌متحده امریکا	≥ ۱۰۰ °C	
LEAB	BAM Wegen bv	مخلوط سنگدانه بر پایهٔ آب زیر نقطه‌جوش آب	۰/۱ ٪ جرم قیر به همراه افزودنی چسبنده	هلند	۹۰ °C	www.bamwegen.nl/sites/www.bamwegen.nl/files/site_images/LEAB%20-%20Asphalt%20English.pdf
LT Asphalt	Nynas	کف‌سازی قیر بر پایهٔ آب به همراه فیلر آبدوست	فیلر هیگروسکوپیک در (۰/۵-۱) ٪ جرم مخلوط	سرتاسر جهان از قبیل ایتالیا و هلند	۹۰ °C	http://nyport.nynas.com/Apps/1112.nsf/wpis/GB_EN_LT-Asphalt/$File/LT-Asphalt_GB_EN_PIS.pdf

ادامه جدول ۸-۱: خلاصه‌ای از سیستم‌های آسفالت دمای پایین‌تر

محصول	شرکت تولیدکننده	شرح	مقدار مصرف افزودنی	کشور استفاده‌کننده	درجه حرارت تولید یا محدوده کاهش	وب‌سایت
Meeker Warm Mix Asphalt System	Meeker Equipment	فرایند کف‌سازی بر پایهٔ آب	غیرضروری	اسپانیا	نامشخص	www.meekerequipment.com/new_warmmixad1.html
Ultrafoam GX	Gencor Industries	فرایند کف‌سازی بر پایهٔ آب	غیرضروری	ایالات متحده امریکا	نامشخص	http://gencorgreenmachine.com
Warm Mix Asphalt System	Terex Roadbuilding	فرایند کف‌سازی بر پایهٔ آب	غیرضروری	ایالات متحده امریکا	۳۲ °C >	www.terexrb.com/default.aspx?pgID=308
دیگر فرایندها						
Low Emission Asphalt	McConnaughay Technologies	ترکیبی از تکنولوژی کف‌سازی بر پایهٔ آب و شیمیایی	۰/۴ ٪ جرم قیر	ایالات متحده امریکا	۹۰ °C	
WAM-Foam	Shell, Kolo Veidekke	فرایند کف‌سازی با استفاده از دو قیر با درجه‌های متفاوت	عامل ضد عریان‌شدگی می‌تواند جهت نرم کردن قیر اضافه شود	نروژ، فرانسه، کانادا، ایتالیا، لوکزامبورگ، هلند، سوئد، سوئیس، انگلستان و ایالات‌متحده امریکا	۱۱۰-۱۲۰) °C)	

منبع: Nicholls, J C, S Cassidy, C McNally, K Mollenhauer, R Shahmohammadi, A Tabaković, R Taylor, A Varveri and M Wayman. 2014. Final report on effects of using reclaimed asphalt and/or lower temperature asphalt on the road network. EARN Project for CEDR, Deliverable No. D9. www.trl.co.uk/solutions/road-rail-infrastructure/sustainable-infrastructure/earn/

منابع

Carswell, I, J C Nicholls, R C Elliott, J Harris and D Strickland. 2005. Feasibility of recycling thin surfacing back into thin surfacing systems. *TRL Report TRL645*. Wokingham: TRL Limited.

Carswell, I, J C Nicholls, I Widyatmoko, J Harris and R Taylor. 2010. Best practice guide for recycling into surface course. *TRL Road Note RN43*. Wokingham: TRL Limited.

Comité Européen de Normalisation. 2012r. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 42: Amount of foreign matter in reclaimed asphalt. *EN 12697-42:2012*. London: BSI; Berlin: DIN; Paris: AFNOR; and other European standards institutions.

Hunter, R N, A Self and J Read. 2015. *The Shell Bitumen Handbook*. 6th edition. London: ICE Publishing.

Nicholls, J C, H K Bailey, N Ghazireh and D H Day. 2013. Specification for low temperature asphalt mixtures. *TRL Published Project Report PPR666*. Wokingham: TRL Limited.

Nicholls, J C, I Carswell, M Wayman and J M Reid. 2010. Increasing the environmental sustainability of asphalt. *TRL Insight Report INS007*. Wokingham: TRL Limited.

Nicholls, J C, S Cassidy, C McNally, K Mollenhauer, R Shahmohammadi, A Tabaković, R Taylor, A Varveri and M Wayman. 2014. Final report on effects of using reclaimed asphalt and/or lower temperature asphalt on the road network. *EARN Project for CEDR, Deliverable No. D9*. www.trl.co.uk/solutions/road-rail-infrastructure/sustainable-infrastructure/earn/

Nicholls, J C and J Lay. 2002. Crushed glass in asphalt for binder course and roadbase layers. In *3rd International Conference Bituminous Mixtures and Pavements*. Thessaloniki, Greece: Aristotle University of Thessaloniki.

Nicholls, J C, M J McHale and R D Griffiths. 2008. Best practice guide for durability of asphalt pavements. *TRL Road Note RN42*. Wokingham: TRL Limited.

Nicholls, J C, J M Reid, C D Whiteoak and M Wayman. 2006b. Cement kiln dust (CKD) as filler in asphalt. *TRL Report TRL659*. Wokingham: TRL Limited.

Schiavi, I, I Carswell and M Wayman. 2007. Recycled asphalt in surfacing materials: A case study of carbon dioxide emission savings. *TRL Published Project Report PPR304*. Wokingham: TRL.

خلاصه

آسفالت یک مادهٔ حیاتی و مفید برای ساخت راه‌ها، فرودگاه و روسازی‌های دیگر است. ویژگی‌های بیشماری که می‌تواند ارائه شود، گسترهٔ وسیعی دارد که مقادیر آن به موقعیت و هندسهٔ محل، ترافیک مورد انتظار روسازی، لایه‌های روسازی و مفهوم طراحی برای روسازی بستگی دارد. فرایند طراحی خاص مربوط به آن نیز بر اساس اینکه آیا برای روسازی‌های متراکم متعارف و یا برای یک روسازی نفوذپذیر در یک سیستم زه کشی پایدار مناسب است یا خیر (SUDS)، در نظر گرفته می‌شود.

به طور کلی، این بررسی خواص آسفالت نشان می‌دهد که به دست آوردن تقریباً هر ویژگی مطلوب در یک مخلوط خاص امکان‌پذیر است. با این حال، خواص مورد نیاز آسفالت همیشه با خواصی که می‌توان اندازه‌گیری کرد، یکسان نیست. هنگام مشخص کردن یا توصیف خواصی مثل دوام یا کارایی، این ویژگی‌های مفهومی باید به ویژگی‌های جایگزین متمایز و قابل اندازه‌گیری تبدیل شوند. ویژگی‌هایی که می‌توانند برای تعریف خواص یک آسفالت به کار روند، گاهی می‌توانند اساسی باشند اما اغلب باید به صورت شبیه‌سازی‌شده، جایگزین یا حتی قراردادی باشند.

هنگام تصمیم گیری در مورد مشخصات یک آسفالت، سه سئوال ساده وجود دارد که باید پرسیده شود:

۱. چه ویژگی‌هایی برای وضعیتی (ترافیک، هندسه، لایه، عمر بهره‌برداری و ...) که آسفالت برای آن در نظر گرفته شده مورد نیاز است؟
۲. برای هر ویژگی، چه میزان عملکرد (در صورت وجود) قابل توجیه است؟
۳. نحوهٔ دستیابی به هر کدام از ویژگی‌های مشخص شده، چگونه باید بررسی شود؟

در نهایت، هیچ چیز نباید غیرضروری نامیده شود و یا چیزی وجود نداشته باشد برای آن هیچ کنترلی ارائه نشده باشد.

با وجود این، هیچ آسفالتی نمی‌تواند بالاترین سطح را برای هر ویژگی بالقوه داشته باشد، برخی از خواص به طور موثری منحصر به فرد هستند. علاوه بر این، هر عملکرد مورد نیاز، اختیارات تولید کننده را کاهش داده و هزینهٔ مواد را افزایش می‌دهد. بنابراین، باید هدف مهندسان تعیین یا تأمین آسفالت برای تعیین یا تعریف تمام ویژگی‌های ضروری در سطح مورد نیاز باشد نه تعیین خواص غیر ضروری یا خواص در سطوح غیر ضروری تنها جهت حصول اطمینان.

اگر یک مهندس کسی است که می‌تواند کاری که هر نادانی با یک پوند انجام می‌دهد را با ۱۰ پنس انجام دهد، پس یک مهندس راه کسی است که تمام ویژگی‌های مورد نیاز در سطح مناسب را بدون ارائه خصوصیات و سطوح غیر ضروری فراهم می‌کند.

University of Guilan Press

Asphalt Mixture Specification and Testing

By:

J. Cliff Nicholls

Translated by:

Seyyed Mohammad Mirabdolazimi, Ph. D
Zeinab Alipour
Maryam Majd Rahimabadi
Amir Shabani

2022