

جمهوری اسلامی ایران

مشخصات فنی اجرائی بازیافت سرد آسفالت

نشریه شماره ۳۳۹

وزارت راه و ترابری
معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری اطلاعات
www.rahiran.ir

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
معاونت امور فنی
دفتر امور فنی، تدوین معیارها و
کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله
<http://tec.mporg.ir/>

۱۳۸۵



بسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
رییس سازمان

شماره:	۱۰۰/۲۰۰۱۱
تاریخ:	۱۳۸۵/۲/۱۱

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران

موضوع: مشخصات فنی اجرایی بازیافت سرد آسفالت

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه شماره ۳۳۹/ت/۲۴۵۲۵-هـ مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیات محترم وزیران) به پیوست نشریه شماره ۳۳۹ دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان، با عنوان «مشخصات فنی اجرایی بازیافت سرد آسفالت» از نوع گروه اول، ابلاغ می‌شود تا از تاریخ ۱۳۸۵/۶/۱ به اجرا درآید. رعایت کامل مفاد این نشریه از طرف دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر در طرح‌های عمرانی، الزامی است. ولی در یک دوره گذر دوساله تا ۱۳۸۷/۶/۱ استفاده از دیگر آیین‌نامه‌های معتبر نیز مجاز خواهد بود.

فرهاد رهبر

معاون رییس جمهوری و رییس سازمان

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی :

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با همکاری کارشناسان با تجربه وزارت راه و ترابری و استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید :

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید .
 - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید .
 - ۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید .
 - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید .
- کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود .

نشانی برای مکاتبه : تهران، خیابان شیخ‌بهائی، بالاتر از ملاصدرا، کوچه لادن، شماره ۲۴، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ، دفتر امور فنی ، کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله
سندوق پستی ۴۵۴۸۱-۱۹۹۱۷
<http://tec.mporg.ir/>

بسمه تعالی

پیشگفتار

بهره‌گیری از ضوابط، معیارها و استانداردهای ملی در تمامی مراحل طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرحهای عمرانی با رویکرد کاهش هزینه، زمان و ارتقاء کیفیت، از اهمیتی ویژه برخوردار بوده و در نظام جدید فنی و اجرایی طرحهای عمرانی کشور، مورد تأکید جدی قرار گرفته است.

براساس مفاد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، موظف به تهیه و ابلاغ ضوابط، مشخصات فنی، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مورد نیاز طرحهای عمرانی می‌باشد. با توجه به تنوع و گستردگی طرحهای عمرانی، طی سالهای اخیر سعی شده است در تهیه و تدوین اینگونه مدارک علمی، از توان فنی دستگاههای اجرایی ذیربط استفاده شود. در تهیه این نشریه موسسه قیر و آسفالت وزارت راه و ترابری عهده‌دار این مهم گردید و با تشکیل کمیته‌ای از متخصصین با تجربه کشور مجموعه حاضر را تدوین نمودند.

این مشخصات فنی به منظور ایجاد هماهنگی و یکنواختی در طرح و اجرای پروژههای احداث، تعمیر و نگهداری راههای کشور و همچنین رعایت اصول، روشها و فنون اجرایی متناسب با امکانات موجود و سازگار با شرایط و مقتضیات اقلیمی کشور، تهیه و تدوین شده است. در تدوین این نشریه سعی شده است تا علاوه بر تجربیات سالهای گذشته، از استانداردها و آیین‌نامه‌های جدید و معتبر خارجی و نتایج آخرین تحقیقات به عمل آمده استفاده شود.

در خاتمه از جناب آقای مهندس اصغر نادری رئیس محترم موسسه قیر و آسفالت ایران و کارشناسان زیر که در تهیه و تدوین این مجموعه ما را یاری داده‌اند تشکر و قدردانی می‌نماید.

آقای مهندس علیرضا خاوندی	آقای مهندس اسماعیل اسماعیل پور
آقای مهندس شهرام سندیانی	آقای مهندس علی محمد اسماعیلی
آقای مهندس میرمحمد ظفری	آقای مهندس منوچهر احتشامی
آقای دکتر محمود عامری	خانم مهندس بهناز پورسید
آقای مهندس طاهر فتح‌اللهی	آقای مهندس علی تبار
آقای مهندس اصغر نادری	آقای مهندس محمد توسلی
آقای مهندس سیدجواد میرمحمدصادقی	آقای مهندس حسین حاجی غفوری

امید است در آینده شاهد توفیق روزافزون این کارشناسان، در خدمت به جامعه فنی مهندسی کشور باشیم.

مهدی تفضلی

معاون امور فنی

بهار ۱۳۸۵

فهرست کلی مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول - کلیات
۱	۱-۱- تعریف
۱	۲-۱- امتیازات بازیافت سرد
۲	۳-۱- انواع بازیافت سرد
۲	۱-۳-۱- بازیافت درجا
۲	۲-۳-۱- بازیافت کارخانه‌ای
۲	۴-۱- معیارهای انتخاب بازیافت سرد
۳	۱-۴-۱- شرایط آب و هوایی
۴	۲-۴-۱- نوع و کیفیت مصالح روسازی
۴	۳-۴-۱- رطوبت لایه‌های روسازی و وضعیت زهشکی
۴	۴-۴-۱- تورم و انبساط لایه‌های روسازی
۴	۵-۴-۱- دوره طرح پروژه مورد بازیافت
۵	۶-۴-۱- ترافیک دوره عملیات بازیافت سرد
۵	۷-۴-۱- وضعیت هندسی محور موجود
۵	۸-۴-۱- سایر محدودیتها
۷	فصل دوم - بررسی وضعیت روسازی و ارزیابی مصالح بازیافت سرد
۷	۱-۲- کلیات
۷	۲-۲- بررسی وضعیت روسازی
۷	۱-۲-۲- تعیین شاخص وضعیت روسازی
۷	۲-۲-۲- نمونه‌گیری لایه‌های روسازی
۷	۳-۲-۲- آزمایش‌های آزمایشگاهی
۸	۴-۲-۲- سابقه طراحی و بهسازی
۸	۳-۲- بررسی مصالح موجود و مشخصات مواد مصرفی در عملیات بازیافت
۹	۱-۳-۲- مصالح خرده آسفالتی RAP

۹	۲-۳-۲- مصالح سنگی RAM
۹	۲-۳-۳- مصالح سنگی جدید
۱۰	۲-۳-۴- مخلوط مصالح سنگی بازیافت
۱۰	۲-۳-۵- کف قیر
۱۰	۲-۳-۶- امولسیون قیر
۱۱	۲-۳-۷- آب
۱۱	۲-۳-۸- سیمان
۱۱	۲-۳-۹- آهک مصرفی
۱۱	۲-۳-۱۰- خاکستر بادی
۱۳	فصل سوم - طرح اختلاط بازیافت سرد با امولسیون قیر
۱۳	۳-۱- کلیات
۱۳	۳-۲- مصالح سنگی
۱۳	۳-۳- امولسیون قیر
۱۶	۳-۴- طرح اختلاط
۱۶	۳-۴-۱- وسایل کار طرح اختلاط
۱۶	۳-۴-۲- تهیه نمونه آزمایشی
۱۷	۳-۴-۳- برآورد مقدار امولسیون قیر مخلوط مصالح سنگی
۱۸	۳-۴-۴- تهیه نمونه‌های مارشال
۲۰	۳-۴-۵- کویدن نمونه‌ها
۲۰	۳-۴-۶- اندازه‌گیری وزن مخصوص حقیقی نمونه‌ها طبق روش AASHTO-T166 (طریقه A) و یا ASTM-D2974
۲۰	۳-۴-۷- آزمایش مارشال
۲۱	۳-۵- گزارش طرح اختلاط
۲۱	۳-۵-۱- ترسیم نمودارهای مارشال بشرح زیر و نتیجه‌گیری از آنها
۲۱	۳-۵-۲- نتایج نهائی طرح
۲۲	۳-۶- تغییر مبانی طرح اختلاط
۲۳	فصل چهارم - طرح اختلاط بازیافت سرد با کف قیر
۲۳	۴-۱- کلیات
۲۳	۴-۲- مصالح سنگی

۲۳	..... ۴-۲-۱- دانه‌بندی
۲۶	..... ۴-۳- فیلر فعال و اصلاح دامنه خمیری
۲۷	..... ۴-۴- موارد ضد عریان شدن
۲۸	..... ۴-۵- کیفیت آب مصرفی برای تولید کف قیر
۲۸	..... ۴-۶- دمای مصالح سنگی
۲۸	..... ۴-۷- کف قیر
۲۸	..... ۴-۷-۱- کلیات
۲۹	..... ۴-۷-۲- فرآیند تولید کف قیر
۲۹	..... ۴-۷-۳- زوال کف قیر
۳۰	..... ۴-۷-۴- اختلاط مصالح و کف قیر
۳۰	..... ۴-۷-۵- مشخصات کف قیر
۳۳	..... ۴-۸- تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی برای طرح اختلاط
۳۳	..... ۴-۸-۱- مقدار مصالح سنگی
۳۳	..... ۴-۸-۲- درصد آب اختلاط مصالح
۳۴	..... ۴-۸-۳- افزودنی‌های فعال (سیمان، آهک و ...)
۳۴	..... ۴-۸-۴- مقدار کف قیر
۳۴	..... ۴-۸-۵- وزن مخلوط مصالح و افزودنی‌ها
۳۴	..... ۴-۸-۶- اختلاط مصالح با کف قیر
۳۵	..... ۴-۹- آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم
۳۷ (UCS)	..... ۴-۱۰- آزمایش مقاومت فشاری تک محوری
۳۷	..... ۴-۱۰-۱- کلیات
۳۷	..... ۴-۱۰-۲- وسایل لازم
۳۸	..... ۴-۱۰-۳- روش آزمایش
۳۸	..... ۴-۱۰-۴- عمل‌آوری
۳۸	..... ۴-۱۰-۵- اندازه‌گیری مقاومت فشاری
۳۸	..... ۴-۱۰-۶- محاسبات
۳۸	..... ۴-۱۰-۷- وزن مخصوص خشک نمونه
۳۹	..... ۴-۱۱- طبقه‌بندی مخلوط‌های کف قیر با استفاده از آزمایشات UCS و ITS

۴۰	۱۲-۴- تعیین درصد قیر بهینه
۴۰	۱۳-۴- گزارش نتایج طراحی
۴۳	فصل پنجم - ضخامت روکش بازیافت سرد
۴۳	۱-۵- کلیات
۴۳	۲-۵- روش آشتو
۴۴	۱-۲-۵- تعیین عدد ضخامت مؤثر روسازی موجود یا SN_{xeff}
۴۴	۱-۱-۲-۵- روش آزمایش‌های غیر مخرب یا NDT (روش مستقیم).....
۴۵	۲-۱-۲-۵- روش محاسبه ضخامت و ضرایب لایه‌های روسازی موجود (روش مستقیم).....
۴۶	۲-۲-۵- محاسبه عدد ضخامت مورد نیاز روسازی جدید (SN_y).....
۴۶	۳-۲-۵- تعیین ضخامت لایه روکش و بازیافت SNOL.....
۴۷	۴-۲-۵- مثال.....
۴۹	۳-۵- روش انستیتو آسفالت
۴۹	۱-۳-۵- متغیرهای طراحی.....
۴۹	۱-۱-۳-۵- ترافیک طرح.....
۴۹	۲-۱-۳-۵- مقاومت خاک بستر روسازی.....
۴۹	۳-۱-۳-۵- کیفیت مصالح بازیافت سرد و روش بازیافت.....
۵۰	۲-۳-۵- تعیین ضخامت روکش و بازیافت.....
۵۰	۳-۳-۵- مثال.....
۵۳	فصل ششم - اجرای عملیات و ماشین‌آلات بازیافت سرد درجا
۵۳	۱-۶- کلیات
۵۳	۲-۶- برنامه‌ریزی قبل از شروع عملیات اجرایی
۵۳	۱-۲-۶- مقررات ترافیکی.....
۵۳	۲-۲-۶- نقشه برداری.....
۵۳	۳-۲-۶- آسفالت تراشی اولیه.....
۵۳	۴-۲-۶- مشخصات روسازی متفاوت در مقاطع عرضی.....
۵۴	۵-۲-۶- افزودن مصالح سنگی جدید.....
۵۴	۶-۲-۶- برآورد عملکرد روزانه و مواد مورد نیاز.....
۵۴	۷-۲-۶- خرد کردن اولیه مصالح.....

۵۴	..... ۸-۲-۶- شیب راه
۵۵	..... ۹-۲-۶- تعیین عرض خطوط بازیافت
۵۵	۳-۶- ماشین آلات بازیافت
۵۵	..... ۱-۳-۶- دستگاه‌های یک بخشی
۵۶	..... ۲-۳-۶- دستگاه‌های دو بخشی
۵۷	..... ۳-۳-۶- دستگاه‌های چند بخشی
۵۷	۴-۶- پخش و کوبیدن
۵۹	۵-۶- سایر عوامل و کنترل‌های اجرایی
۵۹	..... ۱-۵-۶- تعیین مشخصات کلی بادبزن
۵۹	..... ۲-۵-۶- تعیین نقطه عملکرد بادبزن
۶۰	..... ۳-۵-۶- نحوه انتخاب بادبزن
۶۰	..... ۴-۵-۶- محاسبه توان لازم برای بادبزن
۶۰	..... ۵-۵-۶- استفاده از چندین بادبزن
۶۰	..... ۶-۵-۶- اندود سطحی قشر کوبیده شده بازیافت
۶۰	..... ۷-۵-۶- درصد مواد افزودنی
۶۱	..... ۸-۵-۶- محدودیت دمای محیط
۶۱	..... ۹-۵-۶- محدودیت زمانی برای پخش و کوبیدن مخلوط
۶۱	..... ۱۰-۵-۶- روکش آسفالتی
۶۲	..... ۱۱-۵-۶- ترافیک
۶۲	..... ۱۲-۵-۶- کنترل یکنواختی سطح تمام شده
۶۳	فصل هفتم اجرای عملیات و ماشین آلات بازیافت سرد کارخانه‌ای
۶۳	۱-۷- کلیات
۶۳	۲-۷- مصالح بازیابی شده
۶۴	۳-۷- کارخانه آسفالت
۶۴	۴-۷- تهیه مخلوط آسفالت سرد
۶۴	..... ۱-۴-۷- تولید آسفالت با امولسیون قیر
۶۵	..... ۲-۴-۷- تولید آسفالت با کف قیر
۶۶	..... ۵-۷- پخش و تراکم مخلوط‌های امولسیونی

۶۷	۶-۷- پخش و تراکم مخلوط‌های با کف قیر
۶۹	فصل هشتم - آزمایش‌های کنترل کیفیت و مشخصات بازیافت سرد
۶۹	۸-۱- کلیات
۶۹	۸-۲- روش‌های نمونه‌گیری و آزمایش
۶۹	۸-۳- نتایج آزمایش‌ها و مشخصات
۶۹	۸-۳-۱- دانه‌بندی مخلوط بازیافت
۷۰	۸-۳-۲- مواد قیری و افزودنی‌ها
۷۰	۸-۳-۳- مقدار آب اضافه شده به مخلوط بازیافت
۷۱	۸-۳-۴- آب باقیمانده در مخلوط کوبیده شده و بعد از عمل‌آوری
۷۱	۸-۳-۵- کیفیت مقاومتی مخلوط کف قیر
۷۱	۸-۳-۶- کنترل مقدار مواد قیری و افزودنی‌ها مصرفی
۷۱	۸-۳-۷- تراکم نسبی لایه بازیافت
۷۲	۸-۳-۸- تعیین فضای خالی مخلوط
۷۲	۸-۳-۹- عمق تراش و آسیاب شده روسازی
۷۲	۸-۳-۱۰- ضخامت لایه پخش شده با فینیشر در بازیافت کارخانه‌ای
۷۳	۸-۳-۱۱- کالیبراسیون وسایل و تجهیزات اختلاط دستگاه بازیافت
۷۳	۸-۳-۱۲- اندازه‌گیری دمای مصالح در جریان اختلاط
۷۳	۸-۳-۱۳- یکنواختی سطح آسفالت
۷۳	۸-۳-۱۴- اندازه‌گیری قیر موجود و قیر مخلوط بازیافت
۷۷	ضمائم

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۴- عوامل مؤثر بر قابلیت بازیافت سرد.....	۳
جدول ۳-۱- دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی با امولسیون قیر.....	۱۵
جدول ۳-۲- مشخصات فنی مخلوط مصالح سنگی برای بازیافت سرد با امولسیون قیر.....	۱۵
جدول ۳-۳- راهنمای انتخاب امولسیون قیر برای بازیافت سرد.....	۱۶
جدول ۴-۱- مشخصات مخلوط مصالح سنگی بازیافت.....	۲۵
جدول ۴-۲- دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی بازیافت سرد.....	۲۵
جدول ۴-۳- مقدار قیر اولیه برای طرح اختلاط مخلوط بازیافت.....	۲۷
جدول ۴-۴- راهنمای انتخاب درصد TSR براساس شرایط آب و هوایی پروژه.....	۳۷
جدول ۴-۵- طبقه‌بندی مخلوط‌های کف قیر با آزمایش‌های کشش غیرمستقیم و مقاومت فشاری.....	۳۹
جدول ۵-۱- انتخاب ضریب لایه روسازی موجود با وضعیت متفاوت.....	۴۶
جدول ۵-۲- ضخامت روکش روی لایه بازیافت.....	۵۰
جدول ۵-۳- ضریب تبدیل مصالح به بازیافت سرد.....	۵۱
جدول ۶-۱- انواع غلتک‌های مناسب جهت مراحل مختلف تراکم مخلوط‌های آسفالت بازیافت سرد.....	۵۹
جدول ۸-۱- نمونه‌گیری و آزمایش‌های کنترل کیفیت.....	۷۴
ادامه جدول ۸-۱- نمونه‌گیری و آزمایش‌های کنترل کیفیت.....	۷۵

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۹	شکل ۱-۳- محاسبه درصد قیر مخلوط بازیافت سرد.....
۲۲	شکل ۲-۳- تعیین درصد قیر بهینه.....
۲۲	شکل ۳-۳- تعیین درصد آب اختلاط بهینه در قیر بهینه.....
۲۴	شکل ۱-۴- نمودار طراحی مخلوط‌های بازیافت سرد با کف قیر.....
۳۱	شکل ۲-۴- فرآیند تولید کف قیر.....
۳۱	شکل ۳-۴- نمودار مشخصات کف قیر به ازاء تغییرات میزان آب مصرفی.....
۳۳	شکل ۴-۴- روند تغییر مشخصات کف قیر در دمای مختلف و درصد متفاوت آب مصرفی.....
۵۲	شکل ۱-۵- تعیین کل ضخامت لایه بازیافت سرد و روکش آن.....

فصل اول

کلیات

۱-۱- تعریف

بازیافت سرد آسفالت^۱ عملیات کندن، شخم زدن، تراشیدن و خرد کردن مصالح لایه آسفالتی با یا بدون قشرهای اساس و زیراساس موجود را شامل می‌شود که ضخامت قشر مورد بازیافت در نقشه‌های اجرائی نشان داده شده است. این مصالح بعد از فرآوری مجدد در محل پروژه و در سطح راه^۲ و یا در یک کارخانه آسفالت مرکزی^۳، و اختلاط با مواد قیری نظیر امولسیون قیر و یا کف قیر با یا بدون موادی مانند سیمان، آهک و یا خاکستریادی^۴ و در صورت لزوم مصالح سنگی جدید^۵، در دمای محیط و بدون استفاده از حرارت و نهایتاً تولید محصولی که عملکرد سازه‌ای دارد در سطح راه پخش و متراکم می‌شود. این قشر معمولاً به تناسب شرایط ترافیکی محور با بتن آسفالتی یا آسفالت سطحی روکش می‌شود.

۱-۲- امتیازات بازیافت سرد

بازیافت سرد می‌تواند بسیاری از انواع خرابی‌ها و آسیب‌دیدگی‌های سطحی و سازه‌ای روسازی را با استفاده از مصالح سنگی و قیری روسازی موجود و صرفه جوئی عمده در مصرف انرژی و حفظ منابع طبیعی، اصلاح و تقویت کند و نهایتاً موجب کاهش هزینه کلی بهسازی شود. از مزایای بازیافت سرد درجا و کارخانه‌ای موارد زیر را می‌توان نام برد:

- حفظ منابع طبیعی از طریق استفاده مجدد از مصالح موجود.
- کاهش و جلوگیری از آلودگی زیست‌محیطی.
- صرفه‌جوئی در مصرف انرژی (بنزین، گازوئیل، روغن، قیر، برق و...) و امکان استفاده از مصالح سنگی سرد و مرطوب.
- امکان استفاده و اصلاح مصالح سنگی لایه‌های غیرچسبنده روسازی با دامنه خمیری زیاد.
- افزایش کیفیت روسازی با حفظ رقوم پروژه و بدون افزایش ضخامت روسازی.
- تثبیت و تقویت مصالح دانه‌ای و غیر آسفالتی روسازی از طریق افزودن مواد قیری و یا هیدرولیکی و یا ترکیبی از این دو.
- حذف کلیه ترک‌های انعکاسی و حرارتی روسازی.
- افزایش مقاومت سیستم روسازی در مقابل یخبندان و رطوبت از طریق تبدیل مصالح غیر آسفالتی موجود به اساس تثبیت شده قیری و یا سیمانی.
- کاهش تردد کامیون‌های سنگین عملیات راهسازی از روی محور موجود و یا از روی محور بهسازی شده بویژه در فرآیند بازیافت درجا.
- عدم نیاز به احداث راه دسترسی و انحرافی از طریق باز نگهداشتن راه بر روی استفاده‌کنندگان.
- عدم نیاز به محل تخلیه و انبار کردن مواد زائد.

^۱ - Cold Mix Recycling

^۲ - Cold - in - Place Recycling

^۳ - Central Plant Cold Recycling

^۴ - Fly Ash

^۵ - New or Virgin Aggregate

- تأمین اهداف بهسازی.
- کاهش مخارج بهره برداری و نگهداری راه.
- سرعت اجرای طرح.

۱-۳-۱- انواع بازیافت سرد

بازیافت سرد بطور کلی با دو روش درجا و یا کارخانه‌ای انجام می‌شود:

۱-۳-۱-۱- بازیافت درجا

در این روش کلیه عملیات بازیابی بصورت درجا و در محل پروژه (مسیر راه موجود) انجام می‌گیرد و طی آن بخشی یا تمامی لایه آسفالتی و لایه‌های غیرچسبنده (سنگدانه‌ای) روسازی موجود، مطابق ضخامتی که در نقشه‌های اجرائی نشان داده شده است تراشیده و خرد می‌شود. سپس این مصالح دانه‌بندی شده و مواد قیری و هیدرولیکی به آن افزوده و محصول تولید شده در سطح راه پخش و متراکم می‌گردد. تمام این عملیات در محل و بطور مداوم به کمک یک سری ماشین‌آلات انجام می‌گیرد. با استفاده از این روش میتوان تا عمق ۳۰ سانتیمتر از روسازی موجود را مورد بهسازی قرار داد. شرح کامل این روش در فصل ششم ارائه شده است.

۱-۳-۱-۲- بازیافت کارخانه‌ای

در این روش مصالح برداشت شده از روسازی به یک کارخانه آسفالت مرکزی حمل و بعد از فرآوری و تغذیه مصالح به کارخانه و تولید محصول بدون استفاده از حرارت و در دمای محیط و حمل به محل مصرف، پخش و کوبیده می‌شود. کارخانه‌های آسفالت مرکزی جهت عملیات بازیافت سرد باید مجهز به ماشین‌آلات و وسایل مختلفی از جمله سنگ شکن، تسمه نقاله با سیلوهای تغذیه مصالح خرده آسفالتی، سیستم مکانیزه و دقیق جهت افزودن آب به مخلوط در شرایط مصرف کف قیر و یا امولسیون قیر و مواد مضاف هیدرولیکی و شیمیائی، سیلوی ذخیره آسفالت و سایر دستگاه‌های مورد نیاز باشد. از روش کارخانه‌ای در شرایطی استفاده می‌شود که حجم مصالح بازیافتی بسیار زیاد بوده و یا برای تهیه مخلوط، کنترل دقیقی در کلیه مراحل تولید آسفالت مورد نظر باشد. شرح کامل بازیافت کارخانه‌ای در فصل هفتم ارائه شده است.

۱-۴-۱- معیارهای انتخاب بازیافت سرد

انتخاب پروژه و ارزیابی آن برای اجرای موفقیت آمیز بازیافت سرد از اهمیت خاصی برخوردار است. این انتخاب با توجه به وضعیت روسازی و زیرسازی موجود، ضمن نمونه‌گیری و آزمایش قشرهای آسفالتی، غیرآسفالتی و بستر روسازی و با اطلاع از سوابق ساخت و نگهداری راه، آمار ترافیکی گذشته و حال و شرایط جوی - محیطی منطقه، سیستم‌های زهکشی سطحی و عمقی، راه‌های دسترسی در محدوده پروژه و نهایتاً با تأکید بر استفاده از شیوه‌های متداول مطالعات توجیه فنی و اقتصادی مبتنی بر هزینه‌های چرخه عمر روسازی باید توسط مشاور طرح صورت گیرد.

پروژه‌هایی که با مصالح و شرایط متفاوت و ناهمگون از طریق بازیافت سرد بهسازی می‌شوند، بسیار فراوانند اما مواردی هم وجود دارد که بدلیل مشکلات فنی، اقتصادی و یا اجرائی انتخاب روش بازیافت سرد برای بهسازی آنها مناسب و مطلوب نیست. در جدول شماره ۱-۴ برخی از مواردی که برای آنها استفاده از بازیافت سرد درجا می‌تواند توجیه فنی و اقتصادی داشته (مطلوب) و یا نداشته باشد (نامطلوب) مقایسه شده است، ضمن آنکه تعدادی از موارد نامطلوب هم که قابلیت استفاده از بازیافت سرد درجا را ندارند می‌توان با پیش‌بینی‌ها و فراهم کردن امکانات لازم جهت رفع مشکلات اجرائی و عملیاتی آنها را با بازیافت سرد بهسازی نمود.

علاوه بر متغیرهای اصلی مطلوب و نامطلوب که صرفاً بعنوان راهنما در جدول ۱-۴ خلاصه شده است عوامل مشروحه زیر نیز برای تصمیم‌گیری نهایی در خصوص ارزیابی و امکان سنجی میزان سودمندی استفاده از بازیافت سرد درجا در پروژه‌های بهسازی باید مورد توجه قرار گیرد.

۱-۴-۱- شرایط آب و هوایی

دمای محیط در حین اجرای بازیافت سرد با کف قیر و امولسیون قیر عامل مؤثری محسوب می‌شود. دمای محیط کمتر از ۱۰ درجه سانتیگراد پوشش قیری سنگدانه‌های با کف قیر را کاهش می‌دهد، ضمن آنکه مدت عمل‌آوری^۱ مخلوط‌های آسفالت سرد امولسیونی را نیز افزایش داده و شکستن امولسیون قیر را به تأخیر می‌اندازد. بطور کلی افزایش دمای سنگدانه‌ها از ۲۰ درجه سانتیگراد به ۶۵ درجه سانتیگراد در موارد استفاده از کف قیر موجب می‌شود تا ابعاد سنگدانه‌ای که پوشش قیری کامل می‌یابند از یک میلی‌متر به پنج میلی‌متر افزایش داده شود.

جدول ۱-۴ عوامل مؤثر بر قابلیت بازیافت سرد

نامطلوب	مطلوب	شرح
---	شاخص وضعیت روسازی کمتر از ۵۰ با روش ASTM-D6433	نوع و کیفیت مصالح روسازی و زیرسازی موجود
لایه‌های متنوع همراه مصالح ناهمگن با ضخامت‌های متغیر	لایه‌های متشکل از مصالح همگن در ضخامت‌های یکنواخت	
روسازی موجود از باربری سازه‌ای نامناسبی برخوردار است، مشکلات راه به لایه‌های خاکریز نیز مرتبط است.	روسازی موجود از باربری سازه‌ای مناسبی برخوردار است و مشکلات روسازی به لایه اساس و یا زیر اساس محدود می‌شود.	
میزان لکه‌گیری و شیار افتادگی‌های سطح روسازی بسیار زیاد است.	میزان لکه‌گیری و شیار افتادگی در سطح روسازی کم است	
ترک خوردگی‌های زیاد به شکل قطعات بلوکی با ابعاد کم و ضخامت آسفالت ۱۰-۵ سانتی‌متر وقتی که از ماشین‌آلات قدیمی بازیافت استفاده می‌شود.	شدت ترک‌های سطح روسازی خیلی زیاد نیست	
ضخامت لایه‌های آسفالتی روسازی موجود زیاد است (بیشتر از ۱۵۰ میلی‌متر)	ضخامت لایه‌های آسفالتی کم بوده و شامل مصالح دانه‌ای معمولی و یا تثبیت شده با سیمان است	
مصالح سنگدانه‌ای ماکادامی	---	
مقدار زیادی مصالح جدید برای تقویت و اصلاح لایه بازیافتی مورد نیاز است	مقدار کمی مصالح جدید برای تقویت و اصلاح لایه بازیافت مورد نیاز است	
درصد رطوبت مصالح لایه‌های خاکریزی متغیر است (شامل زمین‌های باتلاقی، مردابی و چشمه‌های آب)	درصد رطوبت مصالح لایه‌های خاکریزی یکنواخت است.	
تقاطع‌ها، دسترسی‌های راه و تعداد منهول‌ها و تأسیسات مدفون در روسازی بسیار زیاد است.	تقاطع‌ها، دسترسی‌های راه و تعداد منهول‌ها و تأسیسات مدفون در روسازی کم است.	
افتادگی و اعوجاجات لایه‌های روسازی متغیر است	افتادگی و اعوجاجات لایه‌های روسازی ثابت و مشخص است	وضعیت هندسی راه موجود
تعداد مقاطع خاکبرداری و خاکریزی در طول پروژه زیاد است و درصد رطوبت به دلیل تفاوت کیفیت مصالح متغیر است	تعداد مقاطع خاکبرداری و خاکریزی در طول پروژه کم است	

^۱ - Curing

۱-۴-۲- نوع و کیفیت مصالح روسازی

تنوع کیفیت مصالح روسازی و زیرسازی بشرح زیر باید مد نظر قرار گیرد:

الف - ضخامت روسازی کم و در نتیجه ظرفیت سازه‌ای ضعیف به ندرت برای بهسازی با روش بازیافت مورد استفاده قرار می‌گیرد.
ب - در شرایطی که CBR خاک بستر روسازی کمتر از ۳ درصد باشد استفاده از بازیافت سرد توصیه نمی‌شود زیرا مصالح تثبیت شده با ضخامت‌های معمول ۳۰-۲۵ سانتیمتر با روش بازیافت سرد بر روی زیرسازی ضعیف را نمی‌توان متراکم کرد.
ج - در شرایط ضخامت روسازی کافی وقتی مشکلات سازه‌ای راه به قشر اساس محدود شود، استفاده از بازیافت سرد گزینه مناسبی است.

د - روسازی‌های آسفالتی که بشدت آسیب دیده و با ترک‌های طولی و عرضی گسترده ناشی از پدیده خستگی وقتیکه با دستگاه‌های قدیمی بازیافت سرد بهسازی شوند با مشکل مواجه می‌گردند. چنانچه قطعات ترک خورده به یکدیگر نزدیک باشند یا ابعاد آنها از فاصله میان ناخن‌های دستگاه بازیافت کمتر باشد امکان اینکه بتوان آنها را به اندازه‌های مناسب و یکنواخت خرد کرد و در نتیجه دانه‌بندی حاصل از روند خرد کردن مصالح همگن باشد، وجود ندارد. چنین شرایطی بعنوان گزینه نامناسب برای انتخاب بازیافت محسوب می‌شود.

ه - وقتیکه مشخصات فنی لایه‌های تشکیل دهنده روسازی در طول محور متفاوت بوده و یا اینکه در دوره بهره‌برداری با روش‌های مختلف و متفاوت مورد بهسازی قرار گرفته و سابقه‌ای از آن هم در دسترس نباشد و یا سطح روسازی با لکه‌گیری‌های زیاد و گسترده و عمقی سراسری و یا موضعی تعمیر شده باشد، استفاده از روش بازیافت سرد باید با احتیاط تلقی شود، یا اینکه دقت‌های مطالعاتی و تحقیقاتی مضاعفی برای شناسایی وضعیت روسازی صورت گیرد.

۱-۴-۳- رطوبت لایه‌های روسازی و وضعیت زهکشی

برای روسازی‌هایی که خرابی آنها از مصالح غیرآسفالتی مرطوب و اشباع بوجود آمده که ناشی از عدم تخلیه آب و زهکشی نامناسب باشد، یا در شرایطی که مصالح ریزدانه بستر روسازی موجب کاهش کیفیت سازه‌ای و زهکشی مصالح روسازی شده است، برای بازیافت سرد درجا مناسب نیست، ولی از طریق بازیافت سرد کارخانه‌ای می‌توان این لایه‌ها را بعد از برداشت لایه‌های آسفالتی جمع‌آوری و با مصالح مرغوب جایگزین نمود.

۱-۴-۴- تورم و انبساط لایه‌های روسازی

خرابی و آسیب دیدگی‌های ناشی از تورم و انبساط و حساسیت مصالح لایه روسازی و زیرسازی در مقابل یخبندان برای بازیافت سرد گزینه مناسبی محسوب نمی‌شوند.

۱-۴-۵- دوره طرح پروژه مورد بازیافت

در مرحله انتخاب پروژه برای بازیافت سرد، قابلیت باربری و سازه‌ای لایه‌های روسازی موجود بعد از عملیات بازیافت باید با توجه به وضعیت ترافیک دوره طرح و سی بی آر خاک بستر روسازی ارزیابی شده و پیش‌بینی‌های لازم برای کنترل عمر واقعی طرح و نگهداری‌های دوره‌ای آن بررسی و مطالعه شود.

۱-۴-۶- ترافیک دوره عملیات بازیافت سرد

تأمین عبور و مرور ترافیک در محدوده عملیات اجرائی بازیافت در راه‌هایی که کل عرض سواره‌رو و شانه‌های آن محدودیت دارد و یا گزینه استفاده از راه‌های انحرافی و انشعابی از آن مشکلاتی ایجاد می‌کند از اهمیت خاصی برخوردار است که باید در انتخاب پروژه بازیافت سرد درجا مورد توجه قرار گیرد.

۱-۴-۷- وضعیت هندسی محور موجود

در برخی موارد عرض راه، ضخامت لایه‌های روسازی، رقوم خط پروژه و وجود مستحذات مختلف در اطراف محور موجود، محدودیت‌هایی به وجود می‌آورد که عملاً احداث راه جدید به معنای تخریب کامل راه موجود و ایجاد قشرهای جدید در محل راه قدیمی خواهد بود. در چنین شرایطی استفاده از روش بازیافت سرد درجا راه حل مناسبی برای فائق آمدن بر مشکلات فوق محسوب می‌شود.

۱-۴-۸- سایر محدودیت‌ها

عواملی که در انتخاب پروژه بازیافت محدودیت ایجاد می‌کند و باید قبلاً مورد توجه قرار گیرد عبارتند از:

الف - شیب‌های تند طولی، بیشتر از پنج درصد و در طول تقریباً ۷۵۰ متر و بیشتر سرعت عملیات را کاهش می‌دهد و باید برای ترافیک عبوری قبلاً چاره اندیشی شود. (به بند ۶-۲-۸ مراجعه شود)

ب - وقتی که راه در سایه قرار می‌گیرد و تابش آفتاب در محدوده عملیاتی کم و یا اصلاً وجود ندارد، افزایش مدت عمل‌آوری مخلوط باید مد نظر قرار گیرد.

ج - برای بازیافت سرد، طرح‌های با مساحت کم مقرون به صرفه نیست. این طرح‌ها باید از نظر امکان سنجی و ایجاب مطالعه شود.

د - تغییر عرض اجرای عملیات در حین بازیافت سرد درجا عملی نمی‌باشد ضمن آنکه توصیه هم نمی‌شود زیرا با وسایل و تجهیزاتی که نوعاً در این فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرد نمی‌توان تقاطع‌ها، ورودی‌ها و خروجی‌ها، فواصل و سطوح کم و بیش کوتاه و کم عرض موجود در مسیر را به سهولت با روش بازیافت سرد درجا بهسازی نمود.

فصل دوم

بررسی وضعیت روسازی و ارزیابی مصالح بازیافت سرد

۱-۲- کلیات

این فصل شامل بررسی وضعیت روسازی موجود، نمونه‌گیری و آزمایش مصالح لایه‌های بازیافتی و هم‌چنین مصالح و مواد جدید مصرفی در این عملیات با توجه به مشخصات تعیین شده در این دستورالعمل می‌باشد.

۲-۲- بررسی وضعیت روسازی

قبل از عملیات بازیافت وضعیت روسازی موجود بشرح زیر بررسی می‌شود:

۱-۲-۲- تعیین شاخص وضعیت روسازی

شاخص وضعیت روسازی در پروژه براساس مشخصات *ASTM - D6433* و یا شاخص‌های نظیر بشرح نشریه *MS - 17* انستیتو آسفالت و یا مطابق روش‌های تعیین شده در مشخصات فنی خصوصی اندازه‌گیری می‌شود. از نتایج شاخص وضعیت روسازی بعنوان یکی از معیارهای انتخاب پروژه بازیافت سرد استفاده می‌شود (به جدول ۱-۴ فصل اول مراجعه شود).

۲-۲-۲- نمونه‌گیری لایه‌های روسازی

از لایه‌های آسفالتی و لایه‌های زیرین آن با توجه به وضعیت روسازی موجود بطریق مغزه‌ای یا بلوکی و یا حفر چاله آزمایشی، به ازای هر کیلومتر، حداقل یک گمانه در هر خط عبور نمونه‌گیری می‌شود. حفر چاله آزمایشی بویژه هنگامیکه عملیات بازیافت، لایه‌های اساس و یا زیراساس را شامل می‌شود مناسب‌تر است. تعداد گمانه‌ها در هر کیلومتر با توجه به شرایط پروژه باید در مشخصات خصوصی قید شود.

الف - اخذ نمونه از آسفالت و لایه‌های زیرین آن شامل اساس و زیر اساس (مصالح سنگدانه‌ای) و خاک بستر روسازی برای انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی و تشریح نمونه‌ها. نمونه‌گیری از آسفالت با روش *ASTM-D979* و از مصالح سنگدانه‌ای با روش *ASTM-D75* انجام می‌گیرد.

ب - تعیین ضخامت هر یک از لایه‌های روسازی در جریان نمونه‌گیری.

ج - تعیین وزن مخصوص آسفالت و لایه‌های غیر آسفالتی و خاک بستر روسازی در جریان نمونه‌گیری از مصالح آسفالتی و سنگدانه‌ای در مراحل فوق.

۳-۲-۲- آزمایش‌های آزمایشگاهی

آزمایش‌های آزمایشگاهی روی نمونه‌های اخذ شده بشرح فوق به ترتیب زیر انجام می‌شود:

الف - آسفالت

- تعیین درصد قیر و دانه‌بندی مصالح (آشتو T164)

- درصد شکستگی سنگدانه‌ها

ب - مصالح سنگدانه‌ای

آزمایش‌های زیر روی مصالح اساس و زیراساس (مصالح سنگدانه‌ای) انجام و نتایج آن با مشخصات فنی هر یک از این مصالح بشرح فصول مربوط در آئین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران مقایسه و در صورت لزوم ضریب لایه یا α_i آنها اصلاح می‌شود تا برای طرح روسازی روکش تقویتی روی لایه بازیافت مورد استفاده قرار گیرد.

- دانه‌بندی (آشتو T27)

- آزمایش سایش (لوس آنجلس) (آشتو T96)

- آزمایش ساندنس (آشتو T104)

- آزمایش حدروانی و حدخمیری و تعیین دامنه خمیری (آشتو T89,90)

- تعیین ارزش ماسه‌ای (آشتو T176)

- تعیین درصد شکستگی مصالح اساس

- سی بی آر مصالح زیراساس و اساس (آشتو T193 در تراکم T180 آشتو)، در رطوبت بهینه و حداکثر وزن مخصوص خشک مصالح

- درصد رطوبت طبیعی و درجا برای هر یک از این مصالح

ج - خاک بستر روسازی

- آزمایش رطوبت طبیعی

- سی بی آر خاک بستر بطریق سه نقطه‌ای آشتو T193 (در تراکم T180 آشتو)

۲-۴-۲- سابقه طراحی و بهسازی

جمع‌آوری اطلاعات مربوط به سابقه طراحی و اجرائی روسازی موجود و بهسازی و عملیات ترمیمی در دوره بهره‌برداری آن نیز علاوه بر نمونه‌گیری‌های فوق از اهمیت زیادی برخوردار است تا چنانچه این اطلاعات معرف تغییرات عمده‌ای برای مصالح تشکیل دهنده سیستم روسازی در مقایسه با طراحی اولیه باشد در فرآیند بازیافت و طرح اختلاط مخلوط بازیافت سرد و طراحی سازه‌ای مورد ملاحظه قرار گیرد. بدیهی است قسمت‌هایی از محور که ترکیب مصالح روسازی و کیفیت آنها تفاوت زیادی با طرح اولیه داشته باشد باید بعنوان واحدهای جداگانه ارزیابی و آزمایش شده و برای آنها طرح اختلاط مستقلاً تهیه شود.

۲-۳- بررسی مصالح موجود و مشخصات مواد مصرفی در عملیات بازیافت

قبل از تهیه طرح اختلاط مخلوط آسفالت بازیافت سرد بررسی وضعیت مصالح موجود و مصالح جدید مصرفی در تهیه مخلوط بازیافت سرد بشرح موارد و مراحل زیر باید انجام شود.

۲-۳-۱- مصالح خرده آسفالتی RAP^۱

آزمایش‌های زیر بازاء هر ۲۵۰ تا ۵۰۰ متر طول در هر خط عبور روی مصالح RAP باید انجام شود:

الف - تعیین درصد رطوبت با روش آشتو T110.

ب - تعیین درصد قیر مطابق آشتو T164 (درشرایطی که RAP حاوی قیرهای محلول یا امولسیون قیر باشد قبل از اکستراکشن باید سه ساعت در حرارت ۱۲۱ درجه سلسیوس نگهداری شود سپس قیر باقی مانده^۲ با روش آشتو T164 اندازه‌گیری شود).

ج - تعیین دانه‌بندی مصالح RAP مطابق آشتو T30 بعد از جدا کردن قیر از مصالح خرده آسفالتی

د - بازیابی قیر استخراج شده از مصالح RAP با روش آشتو T170 و انجام آزمایش‌های زیر براساس استانداردهای مربوطه روی این قیر:

- تعیین درجه نفوذ قیر، (آشتو T49)

- تعیین نقطه نرمی قیر، (آشتو T53)

- تعیین کندروانی قیر برحسب سانتی استکس در ۱۳۵ درجه سانتیگراد، (آشتو T201)

- تعیین کندروانی برحسب پواز در ۶۰ درجه سانتیگراد (ASTM-D2171)

ه- آزمایش‌های کیفیت مصالح سنگی RAP از نظر مصرف در عملیات بازیافت سرد با کف قیر یا امولسیون قیر و مقایسه نتایج بدست آمده با مشخصات مربوط بشرح فصل‌های سوم و چهارم.

۲-۳-۲- مصالح سنگی RAM^۲

مصالح RAM شامل قشرهای سنگدانه‌ای و غیرآسفالتی روسازی که در جریان بازیافت بدست می‌آید باید با توجه به مشخصات این مصالح مورد آزمایش‌های زیر قرار گیرد:

الف - دانه‌بندی - (آشتو T27)

ب - درصد رطوبت

ج - انجام کلیه آزمایش‌های نظیر در فصل سوم و چهارم برای ارزیابی این مصالح و مقایسه آن با مشخصات مربوطه.

چ - آزمایش چسبندگی با قیر، (آشتو T182).

۲-۳-۳- مصالح سنگی جدید

در صورت نیاز به مصرف مصالح سنگی جدید برای اصلاح دانه‌بندی و یا بهبود خواص مقاومتی ترکیب نهائی بازیافت سرد و یا برای افزایش ضخامت لایه بازیافت، این مصالح باید با آزمایش‌های نظیر در بند ۲-۳-۲ فوق مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج حاصله با مشخصات مربوطه در فصل سوم و چهارم برحسب اینکه مواد قیری مصرفی کف قیر یا امولسیون قیر باشد، مقایسه شود.

1 - Reclaimed Asphalt Pavement

2 - Residual Asphalt

3 - Reclaimed Aggregate Material , RAM

۲-۳-۴- مخلوط مصالح سنگی بازیافت

دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی بازیافت و نتایج آن برحسب اینکه از کف قیر یا امولسیون قیر استفاده شود و مقایسه آن با مشخصات مربوطه در فصل سوم و چهارم.

۲-۳-۵- کف قیر

برای تهیه کف قیر مصرفی در آسفالت بازیافت سرد، از قیر خالص با درجه نفوذ معین استفاده می‌شود که معمولاً باید در محدوده ۲۰۰ - ۴۰ باشد. مشخصات قیر خالص انتخاب شده باید با ضوابط مربوط به این قیرها، مندرج در فصل پنجم آئین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران مطابقت داشته باشد و مطابق روش‌های مشروحه در این آئین‌نامه مورد آزمایش‌های زیر قرار گیرد. نوع قیر خالص برای تهیه کف قیر، در هر پروژه باید در مشخصات فنی خصوصی قید شود.

الف - درجه نفوذ ($25^{\circ}C$)

ب - وزن مخصوص ($25^{\circ}C$)

ج - افت حرارتی TFO

د - کندروانی برحسب سانتی استکس در ۱۳۵ درجه سانتیگراد

ه - کندروانی برحسب پوآز در ۶۰ سانتیگراد.

و - نقطه نرمی

ز - تعیین درجه حرارت بهینه گرم کردن قیر برای تهیه کف قیر (مطابق دستورالعمل مربوطه در فصل چهارم)

ح - تعیین درصد بهینه مقدار آب برای تولید کف قیر با قیر خالص (مطابق دستورالعمل مربوطه در فصل چهارم)

ط - تعیین نسبت انبساط و زمان نیمه عمر کف قیر برحسب ثانیه و رسم نمودار مربوطه (مطابق دستورالعمل مربوطه در فصل چهارم)

ی - آزمایش مواد ضد کف در صورت لزوم

کف قیر حاصله باید دارای دو ویژگی مهم شامل نسبت انبساط^۱ و نیمه عمر^۲ (برحسب ثانیه)، باشد. نحوه تعیین این دو خاصیت و مشخصات آنها در فصل چهارم ارائه شده است. ارقام دقیق دو ویژگی فوق و یا محدوده قابل قبول آنها باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود.

۲-۳-۶- امولسیون قیر

در شرایط استفاده از امولسیون قیر در تهیه آسفالت بازیافت سرد باید مشخصات زیر در انتخاب امولسیون قیر مورد نظر در پروژه بر حسب اینکه آنیونیک یا کاتیونیک باشد، رعایت شود.

امولسیون‌های آنیونیک ASTM-D977

1 - Expansion Ratio

2 - Half Life

امولسیون‌های کاتیونیک ASTM-D2397

انتخاب قیر امولسیون آنیونیک یا کاتیونیک، با توجه به نوع مصالح سنگی و سازگاری قیر با آن که با آزمایش ASTM-D244 تعیین می‌شود انجام می‌گیرد. نمونه‌گیری این قیرها باید با روش آشتو T40 (ASTM-D140) مطابقت داشته باشد. راهنمایی کلی برای انتخاب قیر امولسیون کندشکن و دیر شکن با توجه به دانه‌بندی مصالح سنگی برحسب اینکه پیوسته یا باز باشد در فصل سوم ارائه شده است. امولسیون‌های زودشکن در عملیات بازیافت سرد مصرف نمی‌شود.

۲-۳-۷- آب

در عملیات اجرائی بازیافت سرد از آب برای تنظیم رطوبت مصالح سنگی و سهولت کوبیدن مخلوط آسفالت سرد حاوی کف قیر یا امولسیون استفاده می‌شود. نمونه آب مصرفی باید قبلاً مورد آزمایش قرار گیرد. بدیهی است چنانچه اثر زیان بخشی از مصرف آب مورد نظر بر عملکرد کف قیر و یا امولسیون قیر از جمله شکستن سریع و زود هنگام امولسیون ظاهر شود باید از مصرف آن خودداری و منبع دیگری برای تهیه آن انتخاب شود.

۲-۳-۸- سیمان

سیمان مورد استفاده در مخلوط‌های بازیافت بعنوان ماده افزودنی هیدرولیکی، یا فیلر فعال برای اصلاح درصد مواد رد شده از الک شماره ۲۰۰ مخلوط مصالح باید با مشخصات ASTM-C150، انواع یک، دو، پنج مطابقت داشته باشد.

۲-۳-۹- آهک مصرفی

آهک مصرفی در عملیات بازیافت باید با مشخصات آشتو M-216 مطابقت داشته و با روش‌های آشتو T218 و T219 مورد آزمایش قرار گیرد.

۲-۳-۱۰- خاکستر بادی

در صورت استفاده از خاکستر بادی که یکی از انواع پوزولان‌های مصنوعی و نیز فیلر فعال محسوب می‌شود، مشخصات ASTM-C618 باید مراعات شود.

فصل سوم

طرح اختلاط بازیافت سرد با امولسیون قیر

۱-۳- کلیات

برای طرح آسفالت بازیافت سرد با امولسیون قیر از روش اصلاح شده مارشال مطابق ASTM-D1559 یا آشتو T245 که با روش طراحی آسفالت گرم تفاوت دارد، استفاده می‌شود. دامنه کاربرد این دستورالعمل محدود به مخلوط‌هایی است که برای تهیه آنها امولسیون قیر و یا امولسیون‌های جوان‌کننده^۱ منطبق با مشخصات ASTM-D5505، مصالح RAP و در صورت لزوم مصالح سنگی جدید مصرف می‌شود. مقدار امولسیون مصرفی در این روش معمولاً از ۱ تا ۲ درصد و امولسیون‌های جوان‌کننده از ۰/۵ تا ۱/۲۵ درصد نسبت به وزن مخلوط قیری متغیر است. مقادیر بیشتر برای مخلوط‌هایی است که درصد مصالح سنگی شکسته آن زیاد و مقدار قیر موجود در RAP کمتر است و درصد‌های پائین برای مخلوط‌های با میزان زیاد ریزدانه و گرد گوشه مصرف می‌شود. وقتی که مصالح سنگی جدید به RAP اضافه شود از امولسیون‌های جوان‌کننده استفاده نمی‌شود ضمن اینکه درصد امولسیون قیر را نیز باید افزایش داد. در این طراحی برای برآورد درصد قیر امولسیون اولیه از روشی استفاده شده است که طی آن مقدار ثابتی از امولسیون قیر بعنوان درصد پایه انتخاب شده که برحسب وضعیت دانه‌بندی RAP، مقدار قیر آن، کندروانی و درجه نفوذ قیر بازیافتی از قیر سخت شده، اصلاح می‌شود.

۲-۳- مصالح سنگی

دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی مصرفی در بازیافت سرد برحسب اینکه از دانه‌بندی باز یا پیوسته استفاده شود باید با جدول شماره ۱-۳ و از نظر سایر ضوابط و معیارهای فنی با جدول شماره ۲-۳ مطابقت داشته باشد. دانه‌بندی مورد نظر در هر پروژه باید در مشخصات فنی خصوصی قید شود. مخلوط مصالح سنگی می‌تواند شامل ۱۰۰ درصد RAP و یا RAP با مصالح سنگی جدید باشد که در اینصورت نسبت مصالح جدید نباید از ۲۵ درصد وزن کل مصالح سنگی تجاوز نماید.

۳-۳- امولسیون قیر

راهنمای کلی انتخاب امولسیون‌های قیری مصرفی در عملیات بازیافت سرد برحسب اینکه از روش درجا یا کارخانه‌ای و یا دانه‌بندی‌های پیوسته، باز، مصالح ماسه‌ای و یا ماسه لای‌دار استفاده شود، در جدول ۳-۳ ارائه شده است. برای کاهش ترک‌های

^۱ – Rejuvenator

حرارتی، مقاومت بیشتر در مقابل شیار افتادگی و افزایش و بهبود مقاومت اولیه از امولسیون‌های قیری HF^۱ اصلاح شده با پلیمر نیز استفاده می‌شود. ضمن رعایت مفاد جدول ۳-۳ برای انتخاب امولسیون قیر مناسب، رعایت موارد زیر نیز الزامی است:

۳-۳-۱- برای مخلوط‌های سنگی با دانه‌بندی باز یا دانه‌بندی درشت، هنگامی که درجه نفوذ قیر بازیافت شده از قیر موجود در RAP کمتر از ۳۰ باشد از قیرهای کندشکن (MS) و برای مصالح سنگی با میزان زیاد ریزدانه وقتیکه درجه نفوذ قیر بازیافتی شده بیشتر از ۳۰ باشد از امولسیون‌های دیرشکن (SS) استفاده می‌شود.

۳-۳-۲- کارآئی قیرهای دیرشکن از قیرهای کندشکن بیشتر و کندروانی آنها نیز کمتر است، ضمن اینکه با افزایش آب می‌توان کندروانی را بیشتر کاهش داد که در نتیجه کارآئی قیر و مدت زمان اختلاط آنها با مصالح نیز افزایش می‌یابد.

۳-۳-۳- در شرایطی که اندود قیری ضخیم‌تری برای مصالح سنگی درشت دانه با تأمین پوششی بادوام در دمای زیاد مورد نظر باشد از قیرهای کندشکن HFMS استفاده می‌شود که پیشوند HF معرف ایجاد پوشش قیری با ضخامت بیشتر است.

۳-۳-۴- امولسیون‌های قیری انتخاب شده باید با مصالح RAP و مصالح سنگی جدید از نظر کانی‌های تشکیل دهنده سنگدانه‌ها سازگاری داشته باشند. سنگ‌های آهکی معمولاً بار سطحی مثبت دارند و لذا با امولسیون‌های آنیونیک و سنگ‌های سیلیسی بار سطحی منفی دارند و در نتیجه با امولسیون‌های کاتیونیک سازگار می‌باشند. بنابراین امولسیون‌های قیری باید بر اساس نوع بار سطحی سنگدانه‌ها انتخاب و دوام اندود قیری آنها با روش آشتو T59 مورد آزمایش قرارگیرد.

۳-۳-۵- یکی از موضوعاتی که در رابطه با امولسیون قیری و درصد رطوبت مصالح سنگی باید مورد توجه و ارزیابی قرار گیرد اندود و پوشش قیری سنگدانه‌ها است. اگر سنگدانه‌ها به اندازه کافی اندود نشده باشد ابتدا درصد رطوبت آن افزایش می‌یابد که آب اضافی ممکن است موجب قیرزدگی و یا تأخیر در عمل‌آوری و شکست امولسیون گردد، در حالیکه مخلوط‌های با آب کم، پدیده‌های جدایش دانه‌ها، شن‌زدگی^۲ و وزن مخصوص کم مخلوط را به دنبال دارد که با افزایش درجه نفوذ قیر خالص مورد استفاده در تهیه امولسیون ممکن است اندود بهبود یابد. مصرف مقادیر خیلی زیاد امولسیون قیری، مخلوطی ناپایدار را نتیجه می‌دهد در حالیکه مقادیر کم امولسیون قیری نیز موجب شن‌زدگی مخلوط می‌شود. گلوله شدن^۳ ریزدانه‌ها نیز پدیده ناشی از زیادی امولسیون قیری یا ریزدانه اضافی در مخلوط است که باید مورد توجه باشد.

1 - High Float
2- Ravelling
3 - Balling

جدول شماره ۳-۱ دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی
با امولسیون قیر

دانه‌بندی پیوسته				دانه‌بندی باز			الکها
۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
			۱۰۰			۱۰۰	۳۸ میلیمتر ($1\frac{1}{4}$ اینچ)
			۸۰-۱۰۰		۱۰۰	۹۵-۱۰۰	۲۵ میلیمتر (۱ اینچ)
					۹۰-۱۰۰		۱۹ میلیمتر ($\frac{3}{4}$ اینچ)
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰		۱۰۰		۲۵-۶۰	۱۲/۵ میلیمتر ($\frac{1}{2}$ اینچ)
				۸۵-۱۰۰	۲۰-۵۵		۹/۵ میلیمتر ($\frac{3}{8}$ اینچ)
۷۵-۱۰۰	۷۵-۱۰۰	۷۵-۱۰۰	۲۵-۸۵		۰-۱۰	۰-۱۰	۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)
					۰-۵	۰-۵	۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸)
				۰-۵			۱/۱۸ میلیمتر (شماره ۱۶)
	۱۵-۳۰						۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)
۱۵-۶۵	---						۰/۱۵ میلیمتر (شماره ۱۰۰)
۱۲-۲۰	۵-۱۲	۰-۱۲	۳-۱۵	۰-۲	۰-۲	۰-۲	۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)

جدول شماره ۳-۲ مشخصات فنی مخلوط مصالح سنگی
برای بازیافت سرد با امولسیون قیر

روش آزمایش		مشخصات - درصد	آزمایش
آشتو	ASTM		
T-۱۷۶	D۲۴۱۹	حداقل ۳۵	ارزش ماسه‌ای
T۹۶	C۱۳۱	حداکثر ۴۰	سایش با آزمایش لوس آنجلس در ۵۰۰ دور
---	---	حداقل ۵۰	شکستگی
T۸۴، ۸۵	C۱۲۷، ۱۲۸	حداکثر ۳	جذب آب
T۱۰۴	C۸	حداکثر ۱۲	افت وزنی با سولفات سدیم در ۵ سیکل
T۸۹، T۹۰	D۴۳۱۸	حداکثر ۶	نشانه خمیری

جدول شماره ۳-۳
راهنمای انتخاب امولسیون قیر برای بازیافت سرد

کاتیونیک AASHTO-M208 ASTM-D2397				آنیونیک AASHTO-M140 ASTM-D977					شماره دانه‌بندی مطابق جدول شماره ۱-۳	نوع بازیافت سرد
CSS-1h	CSS-1	CMS-2h	CMS-2	SS-1h	SS-1	HFMS-2S	MS-2h, HFMS-2h	MS-2, HFMS-2		
		×	×				×	×	کارخانه ای : دانه‌بندی باز ۳، ۲، ۱	
×	×			×	×	×			دانه‌بندی پیوسته ۴	
×	×			×	×	×			ماسه ۶، ۵	
		×	×				×	×	درجا (مخلوط در محل): دانه‌بندی باز ۳، ۲، ۱	
×	×			×	×	×			دانه‌بندی پیوسته ۴	
×	×			×	×	×			ماسه ۶، ۵	
×	×			×	×	×			ماسه با لای Silty Sand ۷	

توضیح :

- برای نمونه‌گیری از امولسیون قیر از روش ASTM-D140 (آشتو T40) استفاده شود.
- آزمایش امولسیون‌های قیری با روش ASTM-D244 (آشتو T59) انجام می‌گیرد.

۳-۴- طرح اختلاط

۳-۴-۱- وسایل کار طرح اختلاط

وسایل کار طرح اختلاط باید مطابق ASTM-D1559 و یا AASHTO-T245 باشد.

۳-۴-۲- تهیه نمونه آزمایشی

الف - تعداد نمونه

برای هر ترکیبی از مخلوط مصالح سنگی منطبق با دانه‌بندی مشخصات و درصد امولسیون قیر مصرفی باید سه نمونه مارشال تهیه شود. یک نمونه نکوبیده نیز برای تعیین حداکثر وزن مخصوص آماده گردد. علاوه بر آن نمونه‌هایی نیز برای تعیین فضای خالی مخلوط بازیافت در مقدار قیر بهینه و درصد آب بهینه که شرح آن در بند (د) ۳-۴-۷ داده خواهد شد باید ساخته شود.

ب - تهیه مصالح RAP

نمونه‌های RAP باید از مصالح خرد شده توسط ماشین بازیافت برداشته شود تا معرف واقعی مخلوط مصرفی در جریان بازیافت باشد. در صورتیکه نمونه‌گیری از طریق مغزه‌گیری از روسازی موجود انجام گیرد اصلاحات لازم برای انطباق آن با مصالح خرد شده توسط ماشین باید انجام شود. درصد رطوبت مصالح RAP باید مطابق آشتو T110 تعیین شود.

ج - افزودن سیمان

مصرف سیمان برای مخلوط جهت کسب مقاومت اولیه بسیار مؤثر است ولی مقدار آن نباید بیش از دو درصد وزنی مخلوط باشد که در جریان طراحی باید مقدار بهینه آن با توجه به بند ۳-۶ این فصل مشخص شود.

د - مصالح سنگی جدید

در صورت مصرف مصالح سنگی جدید دانه‌بندی آنرا تعیین و نسبت درصد وزنی آنرا برای اختلاط با RAP محاسبه می‌کنیم به نحوی که مخلوط حاصله از RAP و این مصالح با دانه‌بندی مورد نظر مشخصات انطباق داشته باشد.

ه - دمای اختلاط کوبیدن و آزمایش نمونه

دمای اختلاط مخلوط مصالح سنگی با امولسیون قیر و دمای کوبیدن آن در قالب مارشال و دمای آزمایش نمونه‌های مارشال بطور کلی ۲۵ درجه سانتیگراد است.

گزینه دیگر برای دمای کوبیدن نمونه، حداکثر دمای غالب محیط پروژه در دوره عملیات اجرائی است. استفاده از این گزینه امکان انتخاب دمای کوبیدن نمونه را با توجه به شرایط آب و هوایی حین اجرای عملیات و فصل کاری معین، فراهم می‌کند. دمای آزمایش نمونه‌ها برای تعیین مقاومت مارشال و روانی نیز باید بر اساس حداکثر دمای سطح راه در دوره عملیات بازیافت باشد. با استفاده از این دما تغییر شکل احتمالی مخلوط بازیافت مورد آزمایش را در دوره عملیات اجرائی و قبل از روکش می‌توان برآورد کرد.

۳-۴-۳- برآورد مقدار امولسیون قیر مخلوط مصالح سنگی

برای برآورد مقدار قیر امولسیون مورد نیاز جهت مخلوط بازیافت از فرمول زیر استفاده می‌کنیم :

$$E = 1.2 + A_G + A_{AC} + A_{PV}$$

که در آن :

$$E = \text{درصد قیر مورد نیاز}$$

$$1.2 = \text{درصد ثابت قیر}$$

$$A_G = \text{ضریب اصلاح برای دانه‌بندی برحسب درصد}$$

$$A_{AC} = \text{ضریب اصلاح برای درصد قیر موجود در مخلوط بازیافت شده برحسب درصد}$$

$$A_{PV} = \text{ضریب اصلاح برای درجه نفوذ و کندروروانی قیر}$$

ضرایب A_G ، A_{AC} و A_{PV} در شکل شماره ۳-۱ نشان داده شده است.

در مواردی که E برای یک نمونه مصالح بازیافت شده نتایج متفاوتی داشته باشد از نتیجه‌ای که در صد قیر E کمتر است استفاده می‌شود.

مثال :

درصد رد شده از الک $\frac{1}{4}$ اینچ ۵۸ درصد

عرض ماشین تراش ۱۶ اینچ (۴۰ سانتیمتر)

مقدار قیر بازیافتی از مخلوط: $\frac{6}{5}$ درصد

درجه نفوذ قیر برحسب $\frac{1}{10}$ میلیمتر: ۲۰

کندروانی برحسب پوآز: ۱۹۰۰۰

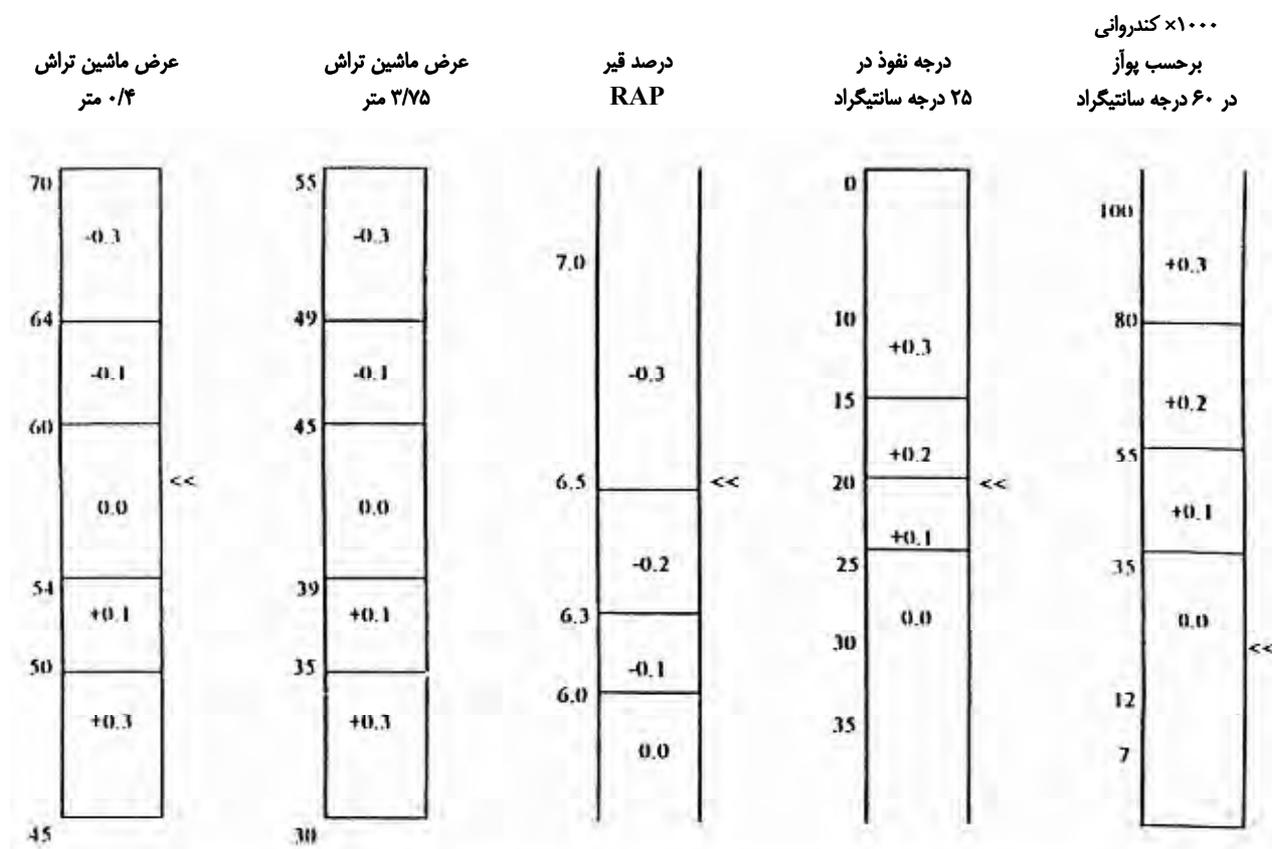
با مراجعه به شکل ۳-۱ درصد قیر برابر است با : $E = ۱/۲\% + ۰\% - ۰/۰۳\% + ۰\% = ۰/۹\%$

در مثال فوق A_{PV} مطابق شکل شماره ۳-۱ می‌تواند دو ضریب متفاوت داشته باشد. برای درجه نفوذ ۲۰ ضریب اصلاح برای A_{PV} مساوی $۰/۲$ و برای کندروانی ۱۹۰۰۰ پوآز این ضریب اصلاح صفر درصد است. برای آنکه نتیجه E یا درصد قیر کمتر شود از ضریب اصلاح صفر درصد استفاده می‌کنیم. استفاده از فرمول فوق برای تعیین درصد قیر محدود به شرایطی است که مصالح سنگی جدید مصرف نشود، در غیر اینصورت باید مقدار قیر محاسبه شده E افزایش یابد. با قیر محاسبه شده در مثال فوق یعنی $۰/۹$ درصد می‌توان برای چهار تا پنج درصد قیری متفاوت شامل $۰/۵$ ، ۱ ، $۱/۵$ ، ۲ ، $۲/۵$ درصد و برای هر درصد سه نمونه ساخته شود و برای هر درصد قیر آب محاسبه شده مورد نیاز نیز به شرح ردیف (ج) از بند ۳-۴-۴ به مخلوط اضافه شود.

۳-۴-۴- تهیه نمونه‌های مارشال

الف - مخلوط مصالح سنگی منطبق با دانه‌بندی مشخصات روی الک ۲۵ میلیمتر سرنده شود و مصالح مانده روی الک نیز شکسته و به گونه‌ای خرد شود که از الک ۲۵ میلیمتر بگذرد و مواد ریزدانه اضافی تولید نکند.

درصد عبوری از الک $\frac{1}{4}$ اینچ برحسب عرض ماشین تراش



شکل شماره ۳-۱ محاسبه درصد قیر مخلوط بازیافت سرد

ب - در ظرف‌های جداگانه حدود ۱۱۵۰ گرم از این مصالح برای ساختن هر نمونه مارشال تهیه می‌شود و حداقل یک ساعت در کوره الکتریکی و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد گرم می‌شود.

ج - مصالح گرم شده را داخل ظرف اختلاط می‌ریزیم و به آن به اندازه ای آب اضافه می‌کنیم که کل آب موجود در مخلوط به سه درصد وزن خشک مخلوط مصالح سنگی برسد. این مقدار آب از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$(\text{درصد رطوبت مخلوط مصالح سنگی} + \text{درصد آب امولسیون قیر}) - 3 = \text{آب اختلاطی که باید افزوده شود}$$

بعد از افزودن آب، نمونه را یک دقیقه به هم می‌زنیم.

معمولاً کلیه امولسیون‌های دیرشکن، و امولسیون‌های آنیونیک کندشکن نیاز به افزودن آب به مصالح برای توزیع و پراکندگی مطلوب‌تر قیر در مخلوط دارند معهدا برای اطمینان باید نسبت به آزمایش پوشش قیری سنگدانه‌ها بشرح مشخصات مربوطه برای قیرهای امولسیون انتخاب شده اقدام نمود تا در صورت نیاز به آب اضافی مقدار آن تعیین شود.

د - امولسیون قیر یا امولسیون جوان کننده را که تا ۶۰ درجه گرم شده است، برحسب نیاز طرح برای هر درصد قیری معین و با تفاوت ۰/۵ درصد (مطابق تهیه مخلوط آسفالت گرم با روش مارشال) به مخلوط اضافه می‌کنیم. امولسیون قیر مصرفی می‌تواند

آنیونیک یا کاتیونیک یا پلیمری و یا امولسیون‌های HF باشد. اگر از امولسیون‌های جوان کننده استفاده شود مقدار قیر باقیمانده^۱ در این امولسیون نباید از ۳۰ درصد وزنی مقدار قیر خالص سخت شده در RAP تجاوز نماید.

هـ - مخلوط حاصله تا موقعی که امولسیون قیر یا امولسیون جوان کننده بطور یکنواخت در مصالح توزیع شود کاملاً به هم زده می‌شود و مدت اختلاط نباید بیش از ۲ دقیقه باشد. اگر بعد از دو دقیقه پوشش قیری سنگدانه‌ها تأمین نشود، امولسیون دیگری که از پایداری بیشتری برخوردار باشد و بتواند به خوبی مصالح سنگی درشت و ریز را اندود نماید باید انتخاب شود. در این موارد ممکن است افزودن آب اضافی (بیش از ۳ درصد بشرح ردیف ج) در زیر بند ۳-۴-۴) به مخلوط کیفیت اندود شدن سنگدانه‌ها را بهبود بخشد.

۳-۴-۵- کوبیدن نمونه‌ها

- الف - قالب‌های خالی مارشال را به مدت یک ساعت در حرارت ۶۰ سانتیگراد گرم کنید.
- ب - برای هر مخلوط بازا مقادیر معین امولسیون قیر و یا جوان کننده سه قالب تهیه می‌کنیم و هر طرف قالب را با ۵۰ ضربه چکش مارشال متراکم نماییم.
- ج - قالب‌های نمونه را برای عمل آوری به مدت ۶ ساعت و در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد در کوره الکتریکی^۲ قرار دهید.
- د - بعد از عمل آوری کامل (یعنی بعد از ۶ ساعت) قالب‌ها را از کوره خارج کنید.
- ه - قبل از آنکه نمونه‌ها را از قالب بیرون آورید قالب‌ها یک شب در دمای محیط آزمایشگاه نگهداری شود.

۳-۴-۶- اندازه‌گیری وزن مخصوص حقیقی نمونه‌ها طبق روش AASHTO-T166 (طریقه A) و یا ASTM-D2726

- الف - بعد از سرد شدن نمونه‌ها در دمای محیط آزمایشگاه، نمونه‌ها را از قالب بیرون آورید و وزن کنید: A
- ب - نمونه‌ها را برای ۳ تا ۵ دقیقه در آب ۲۵ درجه قرار داده و سپس وزن کنید: C (وزن نمونه در آب)
- ج - نمونه‌ها را از آب بیرون آورده و سطح آنرا با پارچه خشک نمائید و سپس وزن کنید: B
- د - وزن مخصوص حقیقی نمونه را با رابطه زیر محاسبه کنید:

$$\text{وزن مخصوص حقیقی} = \frac{A}{B - C}$$

۳-۴-۷- آزمایش مارشال

- الف - نمونه‌ها را به مدت دوساعت در کوره الکتریکی و با حرارت دمای آزمایش ۲۵ درجه (ردیف ه از بند ۳-۴-۲- موضوع تهیه نمونه‌های آزمایشی) قرار دهید. از قرار دادن نمونه‌ها در حمام آب خودداری شود.
- ب - مقاومت مارشال نمونه‌ها را مطابق بندهای مربوطه در ASTM-D1559 و یا AASHTO-T245 اندازه‌گیری کنید.
- ج - برای هر یک از درصد‌های امولسیون قیر و یا امولسیون جوان کننده، حداکثر وزن مخصوص مخلوط بازیافت مورد طراحی را با روش AASHTO-T209 و یا ASTM-D2041 اندازه‌گیری و فضای خالی نمونه‌ها را محاسبه کنید.

1 - Residual

2 - Forced Draft Oven

د - در درصد قیر بهینه بشرح بند ۳-۵-۱، چهارسری سه نمونه‌ای هر سری با مقدار کل آب ۲، ۲/۵، ۳/۵، ۴، درصد بشرح محاسبه نظیر در ردیف (ج) از زیر بند ۳-۴-۴ تهیه نموده و سپس میزان فضای خالی را بشرح ردیف (ج) بالا محاسبه نمائید و از این طریق درصد آب بهینه در درصد قیر بهینه را بدست آورید.

ه - آزمایش حساسیت مخلوط مورد طراحی را در مقابل رطوبت، در قیر بهینه و آب اختلاط بهینه، مطابق روش AASHTO-T283 انجام داده و نسبت مقاومت اشباع به مقاومت خشک را محاسبه کنید.

۳-۵- گزارش طرح اختلاط

این گزارش باید شامل موارد مشروحه زیر باشد.

۳-۵-۱- ترسیم نمودارهای مارشال بشرح زیر و نتیجه‌گیری از آنها

الف - تغییرات وزن مخصوص و فضای خالی برحسب درصدهای متفاوت قیر.

ب - درصد قیر نظیر در حداکثر وزن مخصوص از نمودار الف شکل ۳-۲ بعنوان قیر بهینه انتخاب و با نمودار ب همین شکل برای انطباق با معیار فضای خالی ۹-۱۴ درصد کنترل می‌شود.

ج - ترسیم نمودارهای تغییرات وزن مخصوص در قیر بهینه با آب اختلاط ۲، ۲/۵، ۳/۵، ۴ درصد، نمودار الف در شکل ۳-۳.

د - ترسیم نمودارهای تغییرات فضای خالی در قیر بهینه با آب اختلاط ۲، ۲/۵، ۳/۵، ۴ درصد، نمودار ب در شکل ۳-۳.

ه - انتخاب درصد آب اختلاط بهینه در مقدار قیر بهینه از نمودارهای الف و ب در شکل ۳-۳ و مشابه روش بند ب بالا انجام می‌گیرد.

۳-۵-۲- نتایج نهائی طرح

این نتایج باید شامل موارد زیر باشد.

الف - درصد قیر بهینه

ب - نوع قیر امولسیون مصرفی در طرح اختلاط برحسب اینکه آنیونیک یا کاتیونیک، کند شکن و یا دیرشکن بوده و نتایج آزمایش آن مطابق ASTM-D244 یا آشتو T-59

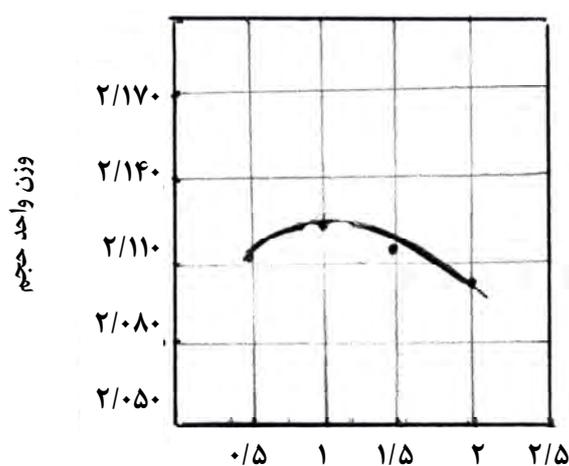
ج - درصد آب اختلاط بهینه

د - دانه‌بندی طرح اختلاط بازیافت سرد در مقایسه با مشخصات مربوطه و درصد وزنی RAP و مصالح سنگی جدید مصرفی

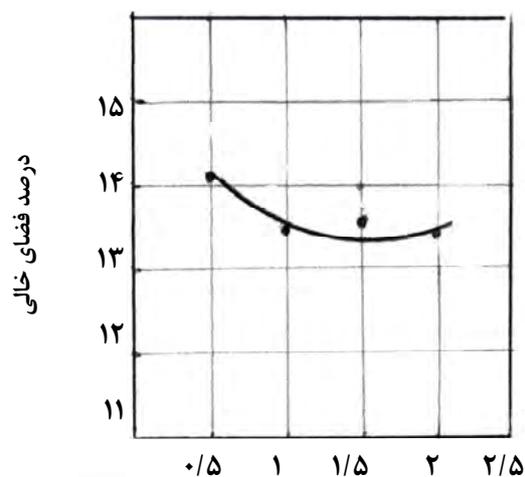
ه - درصد سیمان و یا آهک مصرفی چنانچه مصرف شده باشد

۳-۶- تغییر مبانی طرح اختلاط

در صورتیکه طرح اختلاط بازیافت سرد با امولسیون قیر با ضوابط و معیارهای دیگری، از جمله مقاومت مارشال، مقاومت کششی غیر مستقیم، یا مقاومت فشاری تک محوری و یا ضریب برجهندگی مورد نظر باشد، باید جزئیات مربوطه در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شده و برای تعیین درصد قیر بهینه، معیارهای فوق نیز رعایت شود.



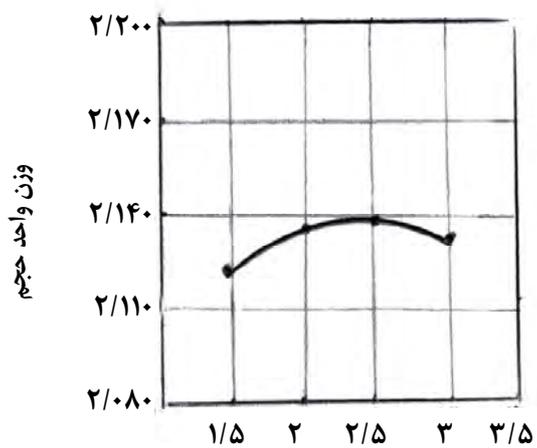
درصد قیر برحسب وزن مخلوط



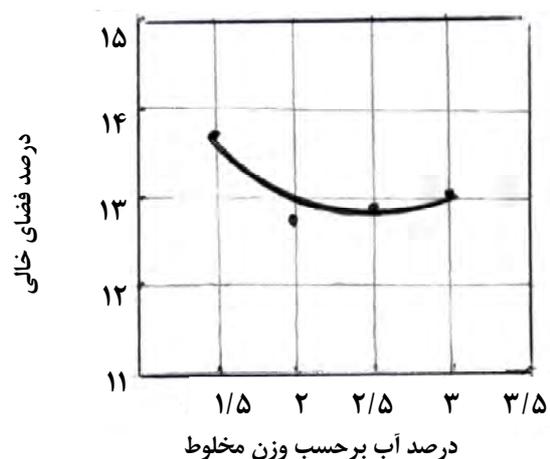
درصد قیر برحسب وزن مخلوط

درصد قیر بهینه = 1/2

شکل ۲-۳ تعیین درصد قیر بهینه



درصد آب برحسب وزن مخلوط



درصد آب برحسب وزن مخلوط

درصد آب بهینه = 2/3

شکل ۳-۳ تعیین درصد آب اختلاط بهینه در قیر بهینه

فصل چهارم

طرح اختلاط بازیافت سرد با کف قیر

۱-۴ کلیات

در شرایط حاضر برای تهیه طرح اختلاط بازیافت سرد با کف قیر روش استاندارد شده‌ای وجود ندارد. روش‌هایی که هم‌اینک در کشورهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد بر پایه ضوابط و معیارهای متفاوتی استوار است. در شمار عوامل مؤثری که در جریان تهیه طرح اختلاط باید مد نظر قرار گیرد، لزوماً نیازی به تعیین درصد قیر بهینه برای تأمین حداکثر مقاومت مخلوط وجود ندارد بلکه هدف طراحی باید دستیابی به حداقل مشخصات و معیارهایی باشد که با رفتار و دوام دراز مدت آن مربوط می‌شود. در این دستورالعمل مشخصات مخلوط مورد طراحی براساس آزمایش فشاری تک محوری^۱، مقاومت کششی غیرمستقیم^۲ و نسبت مقاومت کششی اشباع به مقاومت خشک^۳ تعیین شده است. مهندس مشاور می‌تواند آزمایشات دیگری را جایگزین آزمایش مقاومت فشاری نماید که در این صورت جزئیات آزمایش یا آزمایش‌های جدید و معیارهای مربوطه باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود.

در شکل شماره ۴-۱، ملاحظات عمده ای که باید در طرح اختلاط آزمایشگاهی مخلوط بازیافت سرد با کف قیر مدنظر قرار گیرد ارائه شده ضمن اینکه این فهرست راهنما نباید به معنی کفایت عملکرد کلیه متغیرها برای تحلیل و ارزیابی دقیق و جامع نتایج حاصل از طرح تلقی شود.

۲-۴- مصالح سنگی

مخلوط مصالح سنگی در بازیافت سرد شامل RAP و در صورت استفاده از مصالح سنگی جدید، باید با مشخصات مندرج در جدول شماره ۴-۱ مطابقت داشته و علاوه بر آن موارد زیر هم برای آن رعایت شود.

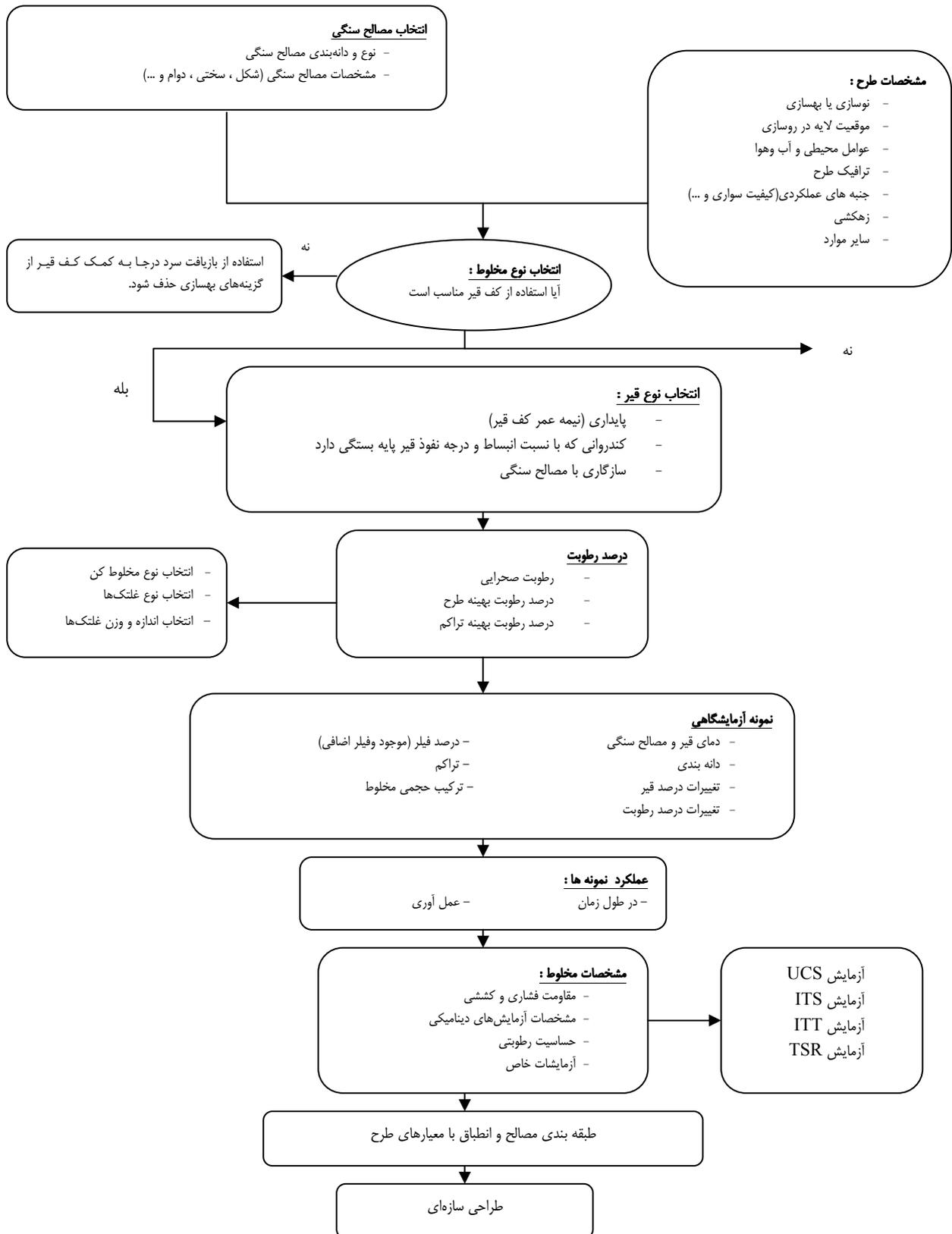
۱-۲-۴- دانه‌بندی

۱-۲-۴-۱- دانه‌بندی مخلوط مصالح بازیافت شامل RAP و مصالح سنگی جدید باید پیوسته بوده و با یکی از دانه‌بندی‌های جدول شماره ۴-۲ منطبق باشد. برای هر پروژه و با توجه به عمق بازیافت و نوع ماشین‌آلات، دانه‌بندی مصالح انتخابی باید در مشخصات فنی خصوصی قید شود.

¹ – Unconfined Compression Test , UCS

² – Indirect Tensile Strength , ITS

³ – Tensile Strength Ratio , TSR



شکل ۴-۱ نمودار طراحی مخلوط‌های بازیافت سرد با کف قیر

جدول شماره ۴-۱ مشخصات مخلوط مصالح سنگی بازیافت

روش‌های آزمایش		مشخصات	ویژگی‌ها
AASHTO	ASTM		
T96	C131	٪ ۴۰	افت وزنی در برابر سایش با آزمایش لوس آنجلس - حداکثر
T104	C88	٪ ۱۲	افت وزنی در برابر سولفات سدیم - حداکثر
T176	D2419	٪ ۳۵	ارزش ماسه‌ای - حداقل
T89.90	D4318	٪ ۶	نشانه خمیری - حداکثر
---	---	٪ ۵۰	شکستگی روی الک شماره ۴ - حداقل
T84,85	C127,128	٪ ۳	جذب آب - حداکثر
---	---	۱۰	ضریب یکنواختی - حداقل
T194 T267	---	٪ ۲	مواد آلی - حداکثر

۴-۱-۲-۲- اکثر مراجع حداکثر اندازه مصالح سنگی را به ۳۷/۵ میلیمتر (۱ ۱/۴ اینچ) محدود کرده‌اند. مصالح خیلی درشت موجب افزایش جداشدگی سنگدانه‌ها، افزایش درصد فضای خالی مخلوط بازیافت، افزایش نفوذپذیری و دشواری در پخش و متراکم کردن مخلوط بویژه در ضخامت‌های کم خواهد شد.

جدول شماره ۴-۲ دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی بازیافت سرد

درصد وزنی رده شده					اندازه الک‌ها (میلیمتر)
۵	۴	۳	۲	۱	
			۱۰۰	۱۰۰	۵۰ میلیمتر (۲ اینچ)
		۱۰۰	---	۸۸-۱۰۰	۳۷/۵ میلیمتر (۱ ۱/۴ اینچ)
۱۰۰	۱۰۰	۹۰-۱۰۰	۷۵-۹۵	---	۲۵ میلیمتر (۱ اینچ)
---	---	---	---	۶۵-۱۰۰	۱۹ میلیمتر (۳/۴ اینچ)
۶۰-۱۰۰	۵۰-۸۵	۵۵-۸۰	۴۰-۷۵	۴۸-۷۲	۹/۵ میلیمتر (۳/۸ اینچ)
۵۰-۸۵	۳۵-۶۵	۴۰-۶۰	۳۰-۶۰	۳۵-۵۷	۴/۷۵ میلیمتر (الک شماره ۴)
۴۲-۷۲	۲۷-۵۲		۲۲-۴۸	۲۵-۴۲	۲/۳۶ میلیمتر (الک شماره ۸)
۲۵-۴۵	۱۵-۳۰	۱۴-۲۸	۱۵-۳۰	۱۲-۲۳	۰/۴۲۵ میلیمتر (الک شماره ۴۰)
۵-۲۰	۵-۱۵	۵-۲۰	۵-۲۰	۵-۲۰	۰/۰۷۵ میلیمتر (الک شماره ۲۰۰)

۳-۱-۲-۴- در صورتیکه دانه‌بندی مطابق دانه‌بندی تعیین شده در مشخصات نباشد می‌توان با افزودن مصالح سنگی جدید و شکسته که مستقلاً مشخصات جدول ۱-۴ را داشته باشد برای تأمین دانه‌بندی مشخصات اقدام نمود. مصالح سنگی جدید نباید بیش از ۲۵ درصد وزنی کل مخلوط باشد.

۴-۱-۲-۴- ضریب یکنواختی^۱ دانه‌بندی مخلوط که مطابق با رابطه زیر محاسبه می‌شود و باید بیشتر از ۱۰ باشد که در آن:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

D_{60} = اندازه سنگ‌دانه‌هایی که در نمودار دانه‌بندی ۶۰ درصد عبوری داشته باشد.

D_{10} = اندازه سنگ‌دانه‌هایی که در نمودار دانه‌بندی ۱۰ درصد عبوری داشته باشد.

۴-۱-۲-۴-۵- با توجه به عملیات تراش و آسیاب کردن در جریان بازیافت، معمولاً میزان مصالح سنگی ریزدانه (رد شده از ۴/۷۵ میلیمتر) افزایش می‌یابد لذا مصالح ریزدانه بویژه ماسه طبیعی نباید برای اصلاح دانه‌بندی به مخلوط افزوده شود مگر آنکه تأثیر آن بر عملکرد مخلوط بازیافت کاملاً ارزیابی گردد. باید توجه داشت که مخلوط‌های با استخوان‌بندی ماسه‌ای و ریزدانه برای اختلاط با کف قیر بسیار مطلوب می‌باشند، زیرا در مخلوط‌های کف قیر فقط ریزدانه‌ها این فرصت را دارند که روکش قیری کاملی بر روی آنها ایجاد گردد و درحالی‌که این شرایط برای تمام مصالح و بویژه درشت دانه‌ها وجود ندارد.

۳-۴- فیلر فعال و اصلاح دامنه خمیری

جدول شماره ۲-۴، حداقل مقدار فیلر (رد شده از الک ۷۵ میکرون) مخلوط بازیافت سرد با کف قیر را ۵ درصد نشان می‌دهد و در صورتیکه درصد قیر مخلوط کاهش داده شود می‌توان آنرا تا حداقل ۴ درصد قابل قبول دانست. این مقادیر مربوط به فیلر موجود در مصالح است، ضمن اینکه فیلرهای فعال^۲ نظیر سیمان و آهک را نیز می‌توان برای بهبود مقاومت مخلوط در برابر رطوبت، افزایش مقاومت و سفتی و بهبود چسبندگی قیر به مصالح به مخلوط افزود، که نهایتاً موجب افزایش درصد فیلر مخلوط نیز می‌شود. در جدول شماره ۳-۴ رابطه بین مصالح رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر و درصد فیلر مخلوط و مقدار قیر اولیه برای طرح اختلاط، بعنوان راهنما نشان داده شده است:

^۱ - Coefficient of Uniformity, C_u
^۲ - Active Filler

جدول شماره ۳-۴ مقدار قیر اولیه برای طرح اختلاط مخلوط بازیافت

درصد قیر نسبت به وزن خشک مصالح سنگی	درصد فیلر	درصد مواد رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر
۲/۵	۳-۵	۵۰ <
۳	۵-۷/۵	
۳/۵	۷/۵-۱۰	
۴	> ۱۰	
۳	۳-۵	۵۰ >
۳/۵	۵-۷/۵	
۴	۷/۵-۱۰	
۴/۵	> ۱۰	

در مواردیکه فیلر فعال به مخلوط افزوده می‌شود، زمان میان افزودن فیلر به مصالح و اضافه کردن کف قیر باید هم در آزمایشگاه و هم در عملیات بازیافت به حداقل برسد. واکنش فیلر فعال بلافاصله بعد از تماس آن با سطح مصالح سنگی مرطوب شروع می‌شود و موجب چسبیدن مصالح ریزدانه به یکدیگر می‌گردد که نهایتاً موجب عدم توزیع کامل کف قیر در مخلوط و اندود قیری سنگدانه‌ها می‌شود.

بطور کلی وقتیکه دامنه خمیری مصالح بیش از ۶ درصد باشد، افزودن آهک یا سیمان برای کاهش آن الزامی است. در شرایطی که از آهک برای اصلاح دامنه خمیری استفاده می‌شود باید فرصت کافی جهت واکنش آهک و مصالح در نظر گرفته شود که برحسب نوع مصالح، این مدت ممکن است به چهار ساعت برسد.

۴-۴- مواد ضد عریان شدن^۱

در شرایطی که از مخلوط بازیافتی حاوی کف قیر در مناطق مرطوب و پر باران و یا نواحی با زهکشی ضعیف استفاده می‌شود باید از مواد شیمیائی ضد عریان شدن قیر برای مخلوط بازیافت مصرف نمود. چنانچه مخلوط مصالح سنگی از کیفیت مناسبی برخوردار باشد مصرف یک درصد فیلر فعال برای این منظور کفایت می‌کند. چنانچه بهر دلیل استفاده از سیمان به عنوان فیلر فعال امکان پذیر نباشد باید از مواد ضد عریان شدن با پایه آمینی^۲ به نسبت ۲-۰/۲ درصد وزنی نسبت به قیر استفاده کرد و آن را قبل از تشکیل کف قیر به قیر خالص اولیه افزود ضمن اینکه به آن فرصت کافی داده شود تا اختلاط کامل قیر با این ماده تأمین گردد. در موارد استفاده از این مواد باید مشخصات کف قیر کنترل شود زیرا ممکن است ویژگی‌های کف قیر با مصرف این ترکیبات تغییر نماید.

^۱ - Anti - Stripping Agents

^۲ - Amine Type

۴-۵- کیفیت آب مصرفی برای تولید کف قیر

آب مصرفی برای تولید کف قیر باید تمیز و عاری از اسید، قلیا، نمک، شکر و دیگر مواد آلی یا شیمیائی زیان بخش باشد. چنانچه آب مورد استفاده از منابع آب شرب عمومی تأمین نشود باید قبلاً مورد آزمایش قرار گیرد. جزئیات آزمایش‌های مورد نیاز و حدود مجاز مواد مضره در آب باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود.

۴-۶- دمای مصالح سنگی

دمای مصالح سنگی در زمان اختلاط با کف قیر در میزان پوشش قیرو خواص نهائی مخلوط بازیافت سرد حاوی کف قیر نقش بسزائی دارد. بعنوان مثال چنانچه دمای مصالح سنگی قبل از اختلاط از ۲۰ درجه سانتیگراد به ۶۵ درجه سانتیگراد افزایش داده شود ابعاد سنگدانه‌هایی که میزان پوشش کامل قیری پیدا می‌کند از ۱ میلیمتر به ۵ میلیمتر افزایش می‌یابد. لذا کنترل و تعیین دمای مصالح سنگی قبل از تهیه مخلوط بازیافت (چه در آزمایشگاه و چه در جریان عملیات) الزامی است. مخلوط‌های آزمایشگاهی باید در دمایی تهیه شوند که پیش‌بینی می‌شود در عمل با آن مواجه شود (با در نظر داشتن تغییرات دمای فصلی و روزانه). بطور کلی وقتیکه دمای مصالح سنگی کمتر از ۱۰ درجه سانتیگراد باشد باید از انجام بازیافت خودداری شود.

۴-۷- کف قیر

۴-۷-۱- کلیات

وقتی تحت شرایط کنترل شده و مشخص مقدار معینی آب سرد به قیر خالص داغ (با دمای ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه سانتیگراد) تزریق شود کف قیر تولید می‌شود (شکل ۴-۲). کف قیر حاصله دارای خواص زیر است:

کندروانی قیر شدیداً کاهش می‌یابد.

افزایش حجمی تا ۱۵ برابر نسبت به حجم قیر اولیه ایجاد می‌شود.

تنش سطحی قیر کاهش می‌یابد.

این خواص موجب می‌شود تا بتوان کف قیر را با مصالح سنگی سرد و مرطوب مخلوط نمود که مخلوط حاصله دارای خصوصیات

زیر می‌باشد:

- صرفه جوئی در مصرف انرژی در مقایسه با مخلوط‌های آسفالت گرم
- برای اختلاط با انواع متفاوت مصالح خرده آسفالتی و سنگی سرد مناسب است.
- انعطاف پذیر است و مقاومت در مقابل خستگی را افزایش می‌دهد.
- امکان پخش و کوبیدن مخلوط حاصله و تکمیل عملیات مربوطه بدون محدودیت‌های عمل‌آوری و تبخیر آب مخلوط.
- حساسیت کمتر در برابر رطوبت در مقایسه با مخلوط‌های امولسیون قیر.
- حفظ کارائی و تراکم‌پذیری مخلوط تا ۴۸ ساعت بعد از تولید برای انبار کردن، جابجائی و اختلاط مجدد آن.

برای تولید کف قیر از قیر خالص با درجه نفوذ ۲۰۰-۴۰ استفاده می‌شود. قیرهای با درجه نفوذ بالاتر تمایل بیشتری به کف کردن دارند و قیرهای با درجه نفوذ کمتر، مخلوط آسفالتی با سفتی بیشتر تولید می‌کنند. اگر چه استفاده از قیرهای نرم‌تر و یا سخت‌تر از محدوده فوق نیز نتایج رضایت بخشی داشته است اما توصیه می‌شود که از قیرهای با درجه نفوذ ۱۰۰ استفاده شود. در عمل برای جلوگیری از انسداد و گرفتگی نازل‌های پخش کف قیر دستگاه بازیافت سرد، قیرهای سفت مصرف نمی‌شود.

۴-۷-۲- فرآیند تولید کف قیر

همانطور که قبلاً اشاره شد هر قیر داغی که در تماس با آب سرد قرار گیرد به سرعت منبسط شده و بصورت کف در می‌آید. سیستم‌های جدید تولید کف قیر از یک محفظه انبساط تشکیل شده‌اند که در آن مقدار کمی آب (۲ تا ۳ درصد وزن قیر) تحت فشار بصورت پودر و شبیه مه به جریان باریکی از قیر داغ افزوده می‌شود. لحظه‌ای که ذرات آب سرد (با دمای محیط) با قیر داغ (دمای ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه سانتیگراد) تماس پیدا می‌کند، مراحل زیر به وقوع می‌پیوندد.

- الف - با تبادل انرژی بین قیر و آب، ضمن کاهش دمای قیر ذرات آب تا دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد گرم می‌شوند.
- ب - انرژی مبادله شده بیشتر از گرمای نهان آب برای تبدیل به بخار می‌باشد. از اینرو طی واکنشی سریع، آب بخار شده و تحت فشار موجود در محفظه انبساط به داخل ساختار پیوسته قیر نفوذ می‌کند.
- ج - به هنگام خروج قیر از نازل پخش، بخار محبوس در آن منبسط می‌شود و کشش سطحی جدار نازکی از قیر سرد حباب بخار را محافظت می‌کند.
- د - انبساط بخار روند نزولی دارد و فشار رو به کاهش ناشی از آن توسط کشش سطحی جدار نازک قیر خنثی می‌شود تا به مرحله تعادل برسد.
- ه - با توجه به پایین بودن قابلیت انتقال حرارتی قیر و آب، کاهش دمای بخار و انقباض آن نیازمند زمان است، لذا حباب تشکیل شده برای مدتی از زمان که بر حسب تائیه سنجیده می‌شود، پایدار می‌ماند.
- و - کثرت حباب‌های تولید شده در یک لحظه و انباشته شدن آنها بر روی یکدیگر منجر به تولید توده سریشمی سیاهی می‌گردد که همان کف قیر است. (شکل ۴-۲)

۴-۷-۳- زوال کف قیر^۱

زوال حباب‌های کف قیر با گذشت زمان، نشست یا شکست نامیده می‌شود. از جمله عواملی که بر اساس مشاهدات و تجارب آزمایشگاهی منجر به این پدیده می‌گردند، می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- الف - با کاهش دمای بخار محبوس در حباب‌های واقع در قسمت‌های مرزی توده سریشمی که در تماس با ظرف یا هوای محیط هستند، فشار بخار درون حباب کاهش یافته و کشش سطحی جدار نازک قیر بر آن غلبه می‌کند. این پدیده در مورد حباب‌های بزرگتر که از نظر تئوری دارای همان کشش سطحی هستند سریعتر اتفاق می‌افتد، چرا که این حباب‌ها سطح جانبی

بزرگتری دارند و سریعتر دچار کاهش دما می‌شوند. در نتیجه با غلبه تنش سطحی بر فشار بخار داخلی پوسته قیر، حباب‌ها اضمحلال می‌یابند و کف نشست می‌کند.

ب - ممکن است ذره آب در ابتدای شکل‌گیری حباب قیر به اندازه‌ای بزرگ باشد که فشار بخار درون حباب باعث نازک شدن بیش از حد جدار قیری و ترکیدن آن شود. در چنین مواردی بخار محبوس در حباب آزاد می‌شود و به دلیل سرد شدن قیر و فقدان انرژی لازم، مابقی ذره آب موجود هم، توانایی تولید بخار و تشکیل مجدد حباب را ندارد، لذا کف نشست می‌کند.

۴-۷-۴- اختلاط مصالح و کف قیر

بین مخلوط‌های تولید شده با کف قیر و مخلوط‌های آسفالت گرم و یا امولسیون قیری از نظر نحوه پخش و توزیع قیر و اندود شدن سنگدانه‌ها اختلاف اساسی وجود دارد.

در حالت استفاده از قیرهای خالص و امولسیون قیر تمام سطح سنگ‌دانه‌ها با قیر پوشش داده می‌شود، در حالیکه با کف قیر سنگ‌دانه‌های درشت به طور کامل اندود نمی‌شوند و قیر بیشتر سطح ریزدانه‌ها را می‌پوشاند که نهایتاً ملاتی تولید می‌شود که باعث چسبندگی مخلوط و سنگ‌دانه‌های درشت و ریز به یکدیگر خواهد شد. در توزیع کف قیر، فیلر موجود در مصالح سنگی و یا فیلر فعال افزوده شده به مصالح نقش اساسی ایفا می‌کنند.

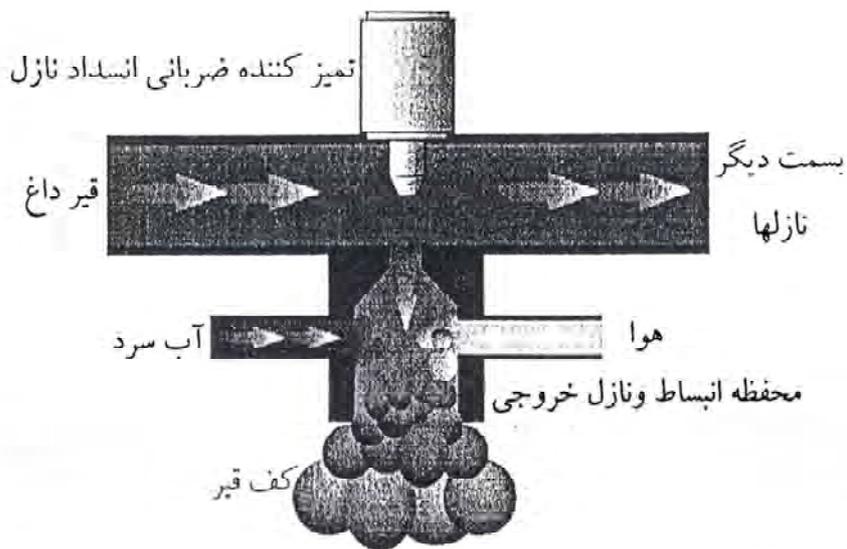
۴-۷-۵- مشخصات کف قیر

درجه نفوذ قیر خالص تنها مشخصه تعیین کننده جهت انتخاب قیر خالص برای تولید کف قیر نیست. دو خاصیت مهم کف قیر عبارتند از:

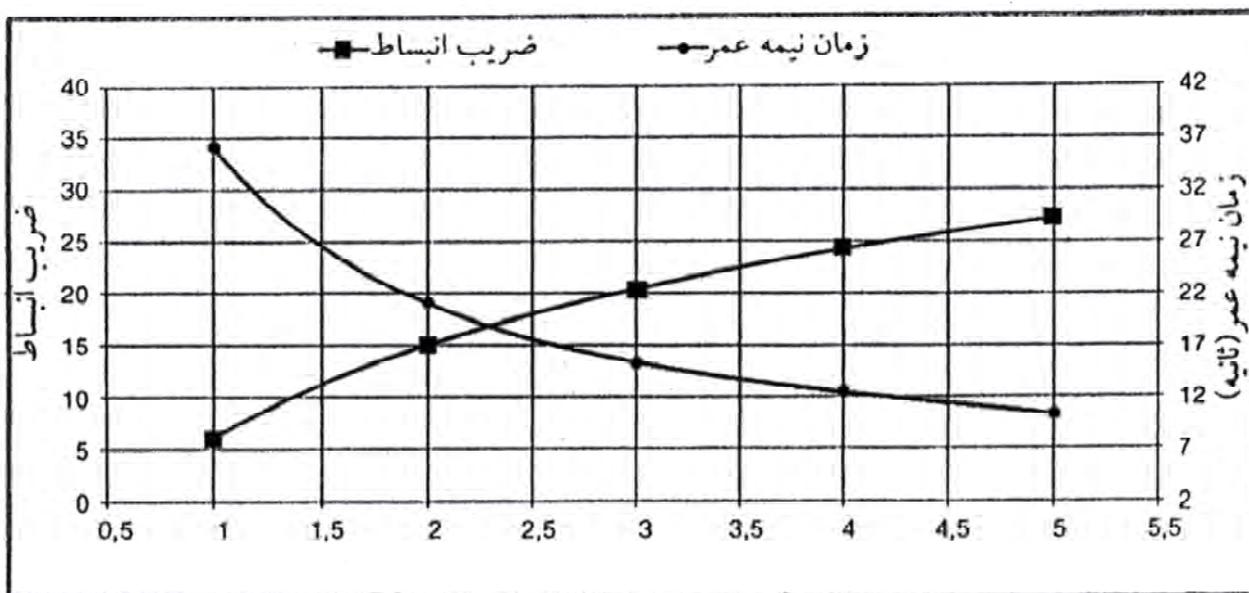
الف - نسبت انبساط که برحسب نسبت حداکثر حجم قیر در حالت کف به حجم قیر پس از محو شدن کف تعریف می‌شود و تعیین کننده چگونگی توزیع قیر در مخلوط است.

ب - نیمه عمر، مدت زمانی که حداکثر حجم کف نصف می‌شود (برحسب ثانیه) و معرف پایداری کف قیر و سرعت محو شدن آن در مدت اختلاط قیر و مصالح سنگی است.

دو مشخصه فوق به نوع و درجه نفوذ قیر انتخاب شده، مقدار آب تزریق شده به قیر داغ، و درجه حرارت قیر هنگام تولید کف بستگی دارد. هر چه نسبت انبساط افزایش یابد کندروانی قیر کمتر و اختلاط مصالح و کف قیر بهتر انجام می‌شود. همچنین هر چه زمان نیمه عمر زیادتر باشد فرصت بیشتری برای اختلاط کف قیر و مصالح وجود دارد، ضمن اینکه مطابق شکل شماره ۳-۴ رفتار این دو متغیر عکس یکدیگر است. بعبارت دیگر نسبت انبساط وقتی زیاد می‌شود که مقدار آب افزایش یابد درحالیکه هر قدر مقدار آب افزایش یابد نیمه عمر کوتاه‌تر خواهد شد.



شکل ۲-۴ فرآیند تولید کف قیر



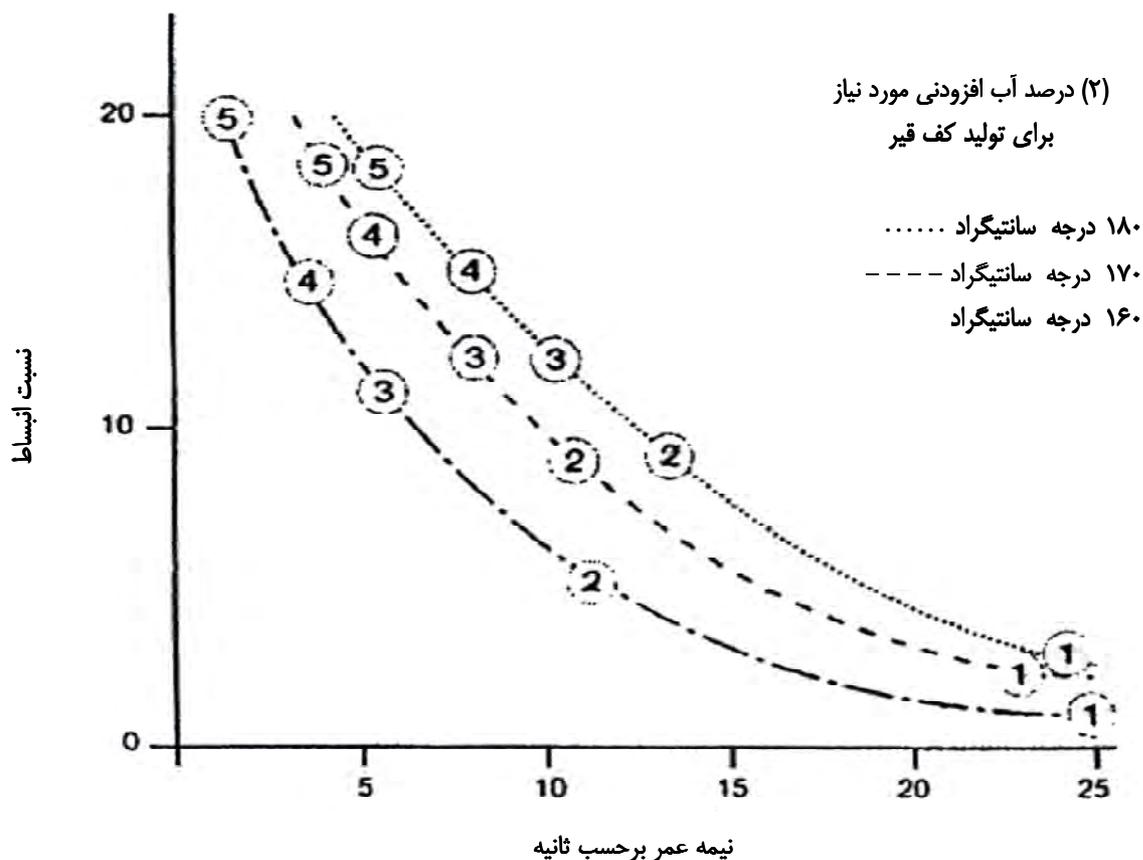
درصد وزنی آب افزوده شده نسبت به وزن قیر

شکل ۳-۴ نمودار مشخصات کف قیر به ازاء تغییرات میزان آب مصرفی

بطور کلی هر قدر نسبت انبساط و طول مدت نیمه عمر بیشتر باشد کف قیر از کیفیت بهتری برخوردار است.

شکل ۴-۴ تغییرات نسبت انبساط و نیمه عمر قیر را با درجه حرارت‌های مختلف قیر در هنگام تولید کف قیر و درصدهای مختلف آب نشان می‌دهد که برای ترسیم آن در آزمایشگاه بشرح زیر عمل می‌شود:

- قیر را در سه درجه حرارت ۱۶۰، ۱۷۰، ۱۸۰، درجه سانتیگراد در آزمایشگاه آماده می‌کنیم.
 - قبل از تولید کف قیر، قیر را در دمای معین فوق‌الذکر حداقل در ۱۰ دقیقه نگهداری می‌کنیم.
 - برای هر درجه حرارت، خواص کف قیر (نسبت انبساط و نیمه عمر) با تزریق آب به مقدار ۱ تا ۵ درصد وزن قیر اندازه‌گیری می‌شود. در واقع برای هر دمای قیر باید پنج آزمایش بازای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ درصد آب و مجموعاً برای سه دمای متفاوت ۱۵ آزمایش و اندازه‌گیری‌های مربوطه انجام شود.
 - برای هر آزمایش ۵۰۰ گرم کف قیر تولیدی را در یک ظرف فلزی استوانه‌ای تخلیه کنید.
 - حداکثر حجم کف قیر را در ظرف فلزی با یک علامت درجدار ظرف فلزی تعیین کنید.
 - با یک ثانیه شمار مدت زمان لازم را برحسب ثانیه وقتیکه حجم کف قیر به نصف حجم اندازه‌گیری شده اولیه می‌رسد تعیین کنید تا نیمه عمر کف قیر تعریف شود.
 - نسبت انبساط قیر با تقسیم حداکثر حجم قیر داخل ظرف فلزی به حجم قیری که کف آن کاملاً محو شده است (قیر بدون کف) حداقل بعد از سه دقیقه تعیین می‌شود.
- بشرح فوق تغییرات نسبت انبساط و نیمه عمر را برای هر یک از سه دمای ۱۶۰، ۱۷۰، ۱۸۰ درجه قیر رسم نموده و درصد آب بهینه را برای آنکه دو ویژگی فوق‌الذکر در محدوده تعیین شده در مشخصات قرار گیرند انتخاب نمائید.
- بعنوان مثال در شکل شماره ۴-۴، در دمای قیر ۱۷۰ درجه و حدود ۲/۵ درصد آب، نسبت انبساط کف قیر حاصله تقریباً ۱۱ (یعنی بین ۱۰-۱۵) و نیمه عمر آن ۹ ثانیه (یعنی بین ۱۰-۵) می‌باشد.
- در این دستورالعمل حداقل نسبت انبساط ۸ و حداقل نیمه عمر کف قیر ۱۰ ثانیه تعیین می‌شود.



شکل ۴-۴ روند تغییر مشخصات کف قیر در دمای مختلف و درصد متفاوت آب مصرفی

۴-۸- تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی برای طرح اختلاط

۴-۸-۱ مقدار مصالح سنگی

برای نمونه‌های طرح اختلاط، ۱۰ کیلو گرم مخلوط مصالح سنگی برای هر درصد قیر مورد نیاز است و چون در طراحی معمولاً از پنج نقطه قیری استفاده می‌شود لذا حداقل ۵ نمونه ۱۰ کیلوگرمی جداگانه آماده می‌شود.

۴-۸-۲ درصد آب اختلاط مصالح

درصد رطوبت مخلوط مصالح سنگی آماده شده در آزمایشگاه، قبل از افزودن کف قیر به آن از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا آب در مخلوط‌های کف قیر بعنوان حامل قیر و توزیع یکنواخت و بهینه آن عمل می‌کند. مقدار کم رطوبت مانع توزیع کافی و کامل قیر، کاهش کارائی مخلوط و در نتیجه کاهش تراکم‌پذیری آن و مقدار بیش از اندازه آن موجب افزایش دوره عمل‌آوری، کاهش وزن مخصوص و کاهش مقاومت مخلوط کوبیده شده می‌شود و لذا مقدار آن باید الزاماً بهینه باشد.

آب لازم جهت تهیه اختلاط مصالح (با کف قیر و سیمان) برحسب نوع دانه‌بندی و جنس مصالح حدود ۵۰ تا ۹۰ درصد رطوبت بهینه (OMC) ^۱ مخلوط با آزمایش تراکم به روش AASHTO-T180 طریقه D می‌باشد که رطوبت طبیعی مصالح از آن کم می‌شود. لذا مقدار آب اختلاط برای هر نمونه ۱۰ کیلوگرمی قبل از افزودن کف قیر به مصالح از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$A = (OMC \times B - W) \times 100$$

که در آن:

A = مقدار آب لازم بر حسب ml برای نمونه ۱۰ کیلوگرمی

OMC = رطوبت بهینه مخلوط مصالح با آشتو T180، طریقه D

B = حدود ۵۰-۹۰ درصد OMC (رطوبت بهینه)

W = درصد رطوبت موجود مخلوط مصالح

۴-۸-۳- افزودنی‌های فعال (سیمان، آهک ...)

چنانچه برای طراحی، درصدی از سیمان یا آهک مورد لزوم باشد (معمولاً ۰/۵ تا ۲ درصد) بدو محاسبات براساس ۱ درصد سیمان انجام شود.

مقدار سیمان برحسب گرم برای نمونه ۱۰ کیلوگرمی از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$C = 10000 \times \text{سیمان} \% \times \text{وزن نمونه (gr)}$$

۴-۸-۴- مقدار کف قیر

وزن قیر لازم برحسب گرم برای نمونه ۱۰ کیلوگرمی برحسب درصد قیر انتخاب شده که معمولاً (۱ تا ۵ درصد است) از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$F = 10000 \times \text{قیر} \% \times \text{وزن نمونه (gr)}$$

۴-۸-۵- وزن مخلوط مصالح و افزودنی‌ها

وزن مخلوط مصالح برحسب گرم برای تهیه هر نمونه ۱۰ کیلوگرمی از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$D = 10000 - (A+C+F)$$

۴-۸-۶- اختلاط مصالح با کف قیر

الف - مطابق بند ۴-۸-۵ نمونه مخلوط مصالح رد شده از الک $\frac{3}{4}$ اینچ را به مقدار تعیین شده توزین و در کاسه مخلوط کن بریزید. پس از مختصری هم زدن، مقدار آب لازم (بند ۴-۸-۲) را به نمونه اضافه کنید. در صورتیکه افزودن سیمان لازم باشد، مقدار سیمان لازم (C) را داخل یک کاسه جداگانه توزین و با آب تراکم مخلوط به مصالح اضافه کنید. سپس تمامی مواد را با یک بیلچه هم بزنید.

- ب - مقدار قیر پیش‌بینی شده (F) را بر روی دستگاه تولید کننده کف قیر مطابق با دستورالعمل مربوطه تنظیم کنید (به دستورالعمل دستگاه بازیافت مراجعه شود)
- ج - کاسه مخلوط کن محتوی نمونه را در محل خود مستقر و محتویات آنرا حدود یک دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد مخلوط کنید.
- د - خروجی دستگاه تولید کننده کف قیر آزمایشگاهی را به مخلوط کن متصل کنید.
- ه - در حین افزودن قیر لازم به صورت کف، مدت ۳۰ ثانیه پس از تخلیه قیر، مخلوط مصالح و قیر با همزن فلزی دستگاه مخلوط شوند. به علت چسبیدن قیر به وسائل مخلوط کن، میزان قیر بایستی از ۵ تا ۲۵ درصد (برحسب درصد قیر انتخاب شده به ترتیب از درصد کم تا زیاد) افزایش یابد.
- و - پس از اتمام عملیات اختلاط، مخلوط قیری را در کیسه پلاستیک یا ظرف در بسته مناسب تخلیه کرده و برای آنکه رطوبت آن تا موقع آزمایش تغییر نکند باید محافظت و نگهداری شود.
- ز - اختلاط مصالح با درصدهای مختلف قیر به شرح فوق برای سایر نمونه‌ها تکرار شود.
- ح - پس از آماده شدن کلیه نمونه‌های ۱۰ کیلوگرمی با درصدهای مختلف قیر بر حسب نوع آزمایش‌های مقاومتی تعیین شده برای طرح، نمونه‌ها مورد آزمایش مربوطه قرار می‌گیرند.

۹-۴-۹- آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم

- مراحل تهیه نمونه‌های آزمایش، نگهداری و بارگذاری آن با این روش و اندازه‌گیری مقاومت آنها بشرح زیر انجام می‌شود:
- ۹-۴-۱- برای هر درصد قیری سه نمونه آزمایش بشرح روش مارشال ASTM-D1559 با تعداد ۷۵ ضربه در هر طرف نمونه آماده می‌شود. از نمونه‌هایی که قبلاً در ردیف (و) زیربند ۴-۸-۶- آماده شده استفاده می‌شود.
- ۹-۴-۲- کوبیدن نمونه‌های مارشال با کف قیر در قالب‌های مارشال در حرارت ۲۵ سانتیگراد انجام می‌گیرد. حرارت قالب‌ها و چکش مارشال نیز باید ۲۵ درجه باشد.
- ۹-۴-۳- پس از کوبیدن نمونه در قالب مارشال و نگهداری به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه، نمونه توسط جک از قالب خارج و در حالیکه با کیسه پلاستیکی مناسب پوشانده شده‌اند به مدت سه روز (۷۲ ساعت) بمنظور عمل آوری سریع در گرم‌خانه در حرارت 1 ± 40 درجه سانتیگراد نگهداری می‌شوند.
- ۹-۴-۴- در این آزمایش، بارگذاری توسط دو تیغه یا نوار فلزی به عرض ۱۲/۷ میلی‌متر و طولی بیشتر از ضخامت نمونه یا ۷۰ میلی‌متر که سطح یک طرف از هر کدام از این تیغه‌های فلزی بصورت دایره با شعاع 1 ± 50 میلی‌متر (برای نمونه ۴ اینچی) می‌باشد مطابق با AASHTO-T283 انجام می‌شود.
- ۹-۴-۵- نمونه‌ها پس از خروج از گرم‌خانه بایستی تا رسیدن به درجه حرارت محیط ($25^{\circ}C$) سرد شوند. سپس حداقل مدت یک ساعت (حداکثر ۲ ساعت) در محفظه $25^{\circ}C$ قبل از آزمایش نگهداری شوند.
- ۹-۴-۶- آزمایش وزن مخصوص حقیقی طبق ASTM-D2726، یا AASHTO-T166 روش A انجام شود.

۴-۹-۷- در صورت عدم استفاده از روش فوق ارتفاع نمونه‌ها بوسیله کولیس در چند نقطه تعیین و حجم نمونه با توجه به ارتفاع میانگین و قطر نمونه محاسبه می‌شود. سپس نمونه مورد آزمایش توزین و نهایتاً وزن مخصوص نمونه بشرح زیر تعیین می‌شود:

$$DW = \frac{W}{(\pi \times r^2 \times h)}$$

که در آن:

W = وزن نمونه، برحسب گرم

r = شعاع نمونه، برحسب سانتیمتر

h = ارتفاع میانگین نمونه، برحسب سانتیمتر

DW = وزن مخصوص نمونه بعد از عمل آوری برحسب گرم برسانتیمترمکعب

تبصره:

۱- در صورت لزوم وزن مخصوص خشک نمونه را می‌توان از رابطه زیر تعیین نمود:

$$D = \frac{100}{(d + 100)} \times DW$$

که در آن:

D - وزن مخصوص خشک، برحسب گرم بر سانتیمترمکعب

d - درصد مجموعه روان کننده‌ها (درصد کف قیر + درصد رطوبت باقیمانده بعد از عمل آوری)

۲- اختلاف بین وزن مخصوص‌های ۳ قالب یک نمونه در هر درصد قیری نبایستی بیشتر از ۰/۰۳ گرم بر سانتیمترمکعب باشد.

۳- منحنی نمایش تغییرات وزن مخصوص برحسب درصد قیر رسم می‌شود.

۴-۹-۸- آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم (ITS) نمونه‌ها در شرایط خشک ($25^{\circ}C$) و اشباع با استفاده از AASHTO-T283 انجام می‌گردد.

تبصره:

۱- برای اشباع کردن نمونه‌ها از دسیکاتور مجهز به سیستم خلاء استفاده شود. برای این منظور نمونه‌ها را داخل دسیکاتور در آب $25^{\circ}C$ کاملاً مستغرق تحت ۵۰ میلیمتر جیوه خلاء مدت 1 ± 60 دقیقه اشباع کنید.

۲- اگر دسیکاتور مجهز به سیستم خلاء وجود نداشت نمونه‌ها را می‌توان مدت ۲۴ ساعت در آب $25^{\circ}C$ اشباع کرد.

۳- قبل از انجام آزمایش سطح نمونه را خشک کنید.

۴- مدت زمان اشباع نمونه با توجه به آب و هوای منطقه میزان بارندگی و رطوبت می‌تواند متغیر باشد.

۴-۹-۹- هنگام آزمایش، نمونه‌های خشک و اشباع در فک بارگذاری مربوطه قرار داده می‌شوند. بارگذاری با سرعت ثابت ۵۰/۸ میلیمتر (۲ اینچ در دقیقه) بصورت قطری اعمال و بارنهائی در موقع شکستن نمونه (دو نیمه شدن) اندازه‌گیری می‌شود.

مقاومت کششی غیر مستقیم از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$ITS = \frac{2 \times P}{\pi \times L \times D}$$

که در آن:

ITS - مقاومت کششی غیر مستقیم برحسب کیلوپاسکال

P - حداکثر بار برحسب کیلونیوتن

L - میانگین ارتفاع نمونه برحسب متر

D - قطر نمونه برحسب متر

۴-۹-۱۰- نتایج آزمایشات تغییرات ITS خشک و اشباع برحسب تغییرات درصد قیر در یک نمودار رسم می‌شود.

۴-۹-۱۱- نسبت مقاومت کششی یا TSR نمونه‌ها را برای هر درصد قیر از رابطه زیر تعیین کنید.

$$TSR = 100 \times \text{خشک ITS} \div \text{اشباع ITS}$$

۴-۹-۱۲- درصد قیر طرح با توجه به اینکه نسبت TSR باید بیشتر از ۵۰ باشد انتخاب می‌گردد. این نسبت باید با توجه به

شرایط آب و هوایی پروژه و بشرح جدول شماره ۴-۴ تعیین شود.

۴-۹-۱۳- حداقل مقاومت کششی غیرمستقیم اشباع برای ترافیک سنگین ۲۰۰ کیلوپاسکال و مقاومت کششی غیرمستقیم

خشک ۳۰۰ کیلوپاسکال تعیین می‌شود.

جدول شماره ۴-۴ راهنمای انتخاب درصد TSR براساس شرایط آب و هوایی پروژه

عوارض زمین طبیعی و وضعیت زهکشی	خشک	معتدل	مرطوب
تپه ماهور - زهکشی خوب	۵۰	۶۰	۷۰
دشت - زهکشی ضعیف	۶۰	۶۵	۷۵

۴-۱۰-۱۰- آزمایش مقاومت فشاری تک محوری (UCS)

۴-۱۰-۱۱- کلیات

مقاومت فشاری تک محوری مخلوط کف قیر میزان باری است برحسب کیلوپاسکال که برای شکستن نمونه استوانه‌ای به ابعاد

۱ ± ۱۵۲/۴ میلی‌متر قطر و ۱۲۷ میلی‌متر ارتفاع تحت سرعت بارگذاری ۱۴۰ کیلو پاسکال برثانیه بدست می‌آید. هدف از انجام این آزمایش قرار دادن نمونه تحت بارگذاری تدریجی تا شکست نمونه است.

۴-۱۰-۱۲- وسایل لازم

یک گرم کن ترموستاتیک با قابلیت تولید حرارت ۱ ± ۴۰ درجه سانتیگراد، کیسه‌های پلاستیکی مناسب برای قرار دادن نمونه‌ها،

دستگاه آزمایش با قابلیت اعمال بار با سرعت ۱۴۰ کیلو پاسکال بر ثانیه و قابلیت اندازه‌گیری بار به میزان ۲۰۰ کیلونیوتن با دقت

۰/۱ کیلو نیوتن.

۴-۱۰-۳- روش آزمایش

پس از جداسازی سنگدانه‌های بزرگتر از ۱۹ میلیمتر، نمونه‌های کف قیر بشرح بند ۴-۸ تهیه می‌شوند. این نمونه‌ها با استفاده از روش تراکم آستو اصلاح شده با تراکم ۱۰۰٪ کوبیده می‌شوند. ارتفاع نمونه باید ۱۲۷ میلیمتر با دقت یک میلیمتر باشد تا ارتفاع تأثیر نامطلوبی بر نتایج نداشته باشد. دو سر نمونه حتماً باید تخت باشد و برای کنترل ارتفاع حتماً باید از کولیس استفاده نمود.

۴-۱۰-۴- عمل آوری

نمونه‌ها باید در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد در یک گرمخانه مناسب در حالیکه با کیسه پلاستیکی مناسب پوشانده شده‌اند، به مدت سه روز، عمل‌آوری شوند. پس از سه روز کیسه پلاستیکی از روی نمونه‌ها برداشته شود (در این مرحله برای جلوگیری از خیس شدن نمونه‌ها توسط کیسه دقت کافی اعمال شود) و سریعاً کیسه جدید و خشک بر روی نمونه‌ها پوشانده شود. سپس نمونه‌ها در دمای محیط ۲۵ درجه به مدت ۴ ساعت سرد شوند. حداکثر مدتی که می‌توان نمونه را در این حالت نگهداشت، ۲۴ ساعت قبل از انجام آزمایش است اما این زمان تا حد امکان بهتر است کاهش داده شود.

۴-۱۰-۵- اندازه‌گیری مقاومت فشاری

نمونه‌ها تحت بارگذاری قرار داده می‌شود تا شکسته شوند. سرعت بارگذاری ۱۴۰ کیلوپاسکال بر ثانیه است (معادل با ۱۵۳ کیلونیوتن بر دقیقه برای نمونه ۱۵۲ میلیمتری). عدد خوانده شده باید به نزدیکترین ۱ کیلونیوتن، گرد شود.

۴-۱۰-۶- محاسبات

مقاومت فشاری از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$U = \frac{P}{\pi r^2} = \frac{P}{0.01824}$$

که در آن:

U = مقاومت فشاری تک محوری برحسب کیلوپاسکال

P = بار لازم برای شکستن نمونه برحسب کیلونیوتن

r = شعاع نمونه (۰/۰۷۶۲ متر)

عدد مقاومت فشاری یا UCS به نزدیکترین ۱۰ کیلو پاسکال گرد می‌شود.

۴-۱۰-۷- وزن مخصوص خشک نمونه

وزن مخصوص خشک هر نمونه باید کنترل شود. برای این کار روش غرقاب سازی نمونه که برای نمونه آسفالتی استفاده می‌شود، توصیه نمی‌گردد چرا که در این روش پدیده جذب آب توسط نمونه اتفاق می‌افتد. لذا حجم نمونه با استفاده از میانگین اندازه‌گیری سه ارتفاع در فواصل ۱۲۰ درجه با استفاده از کولیس و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$V = \pi^2 r h$$

وزن خشک نمونه‌ها با استفاده از روش زیر بدست می‌آید:

$$W_{dry} = W_{bulk} (1 + FC/100)$$

$$FC = FluidContent = MC + BC$$

که در آن:

$$W_{dry} = \text{وزن خشک}$$

$$W_{bulk} = \text{وزن مرطوب نمونه}$$

$$MC = \text{میزان رطوبت نمونه خشک شده در گرمکن پس از انجام آزمایش}$$

$$BC = \text{درصد قیر نمونه}$$

۴-۱۱- طبقه بندی مخلوط‌های کف قیر با استفاده از آزمایشات UCS , ITS

محدوده مشخصات فنی برای طبقه‌بندی مصالح تثبیت شده با کف قیر براساس آزمایش‌های مقاومت فشاری (UCS) و مقاومت کششی (ITS) در جدول شماره ۴-۵ نشان داده شده است. این طبقه‌بندی یک سیستم دوگانه براساس نتایج همین آزمایشات است که در واقع نشان دهنده اندرکنش پیچیده بین مقاومت برشی و خمشی مصالح تثبیت شده با کف قیر می‌باشد.

جدول شماره ۴-۵ طبقه بندی مقاومتی مخلوط‌های کف قیر با
آزمایش‌های کشش غیر مستقیم و مقاومت فشاری

ترافیک سنگین		ترافیک سبک		مقاومت فشاری در ۲۵ درجه سانتیگراد - کیلو پاسکال
حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	
۲۰۰۰	۱۴۰۰	۱۴۰۰	۷۰۰	
ترافیک سنگین		ترافیک سبک		مقاومت کششی غیر مستقیم خشک در ۲۵ درجه سانتیگراد - کیلو پاسکال
حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	
۵۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۰۰	

آزمایش ITS می‌تواند نتیجه‌های گوناگون و نامطلوبی برای انواع مخلوط‌های با خواص دانه‌ای و سیمانی شده بدهد. بطور کلی اگر ضریب پراکندگی نتایج در این موارد از ۱۵٪ بیشتر باشد تعداد آزمایشات ITS باید بیشتر شود تا به نتایج دیگری برسیم. در عمل بالا بردن میزان سیمان در مخلوط کف قیر ممکن است موجب افزایش مقاومت فشاری آن شود، اما این کار اصلاً توصیه نمی‌شود. اگر نتوان برای مصالح خاص به مشخصات مورد نظر رسید بهبود کیفیت سنگدانه‌ها براساس مشخصات مربوطه باید مورد بررسی قرارگیرد نه افزایش سیمان.

۱۲-۴- تعیین درصد قیر بهینه

برای تعیین درصد قیر بهینه براساس نتایج طرح اختلاط، رعایت ضوابط و معیارهای مشخصات زیر الزامی است.

۱-۱۲-۴- تأمین مقاومت‌های فشاری و کششی بر اساس مندرجات جدول شماره ۴-۵ و یا مطابق سایر معیارها و ضوابطی که در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شده است.

۲-۱۲-۴- رعایت درصد مقاومت کششی غیر مستقیم اشباع به مقاومت کششی غیر مستقیم خشک، یا TSR، مطابق جدول شماره ۴-۴، با توجه به اینکه این نسبت نباید هیچگاه کمتر از ۵۰ درصد باشد.

۳-۱۲-۴- با اینکه استفاده از سیمان در مخلوط کف قیر دارای مزایای زیر است:

الف - بهبود چسبندگی قیر به مصالح سنگی

ب - بهبود مقاومت نهائی لایه بازیافت

ج - تسریع در دستیابی به مقاومت لازم برای بازگشائی ترافیک

د - کاهش حساسیت لایه بازیافت در مقابل رطوبت

اما افزایش سیمان و مصرف بیش از اندازه آن سبب افزایش صلیبیت و کاهش انعطاف‌پذیری، کاهش تاب خستگی و افزایش گسترش ترک‌های انقباضی می‌شود. با اینکه آزمایش‌ها و تحقیقات انجام شده افزودن ۱ تا ۲ درصد سیمان را بعنوان افزودنی تکمیلی تأیید می‌کند، لذا حداکثر مقدار سیمان مصرفی باید به ۲ درصد محدود شده و این معیار در جریان طرح اختلاط و انتخاب قیر بهینه نیز رعایت شود.

۴-۱۲-۴- تعداد طرح اختلاط و در نتیجه تغییر احتمالی درصد قیر بهینه بازاء هر طرح اختلاط به وضعیت روسازی، نوع، کیفیت و یکنواختی مصالح بازیابی شده و نهایتاً تشخیص و دستورات دستگاه نظارت که باید مطابق آن عمل شود، بستگی دارد.

۱۳-۴- گزارش نتایج طراحی

نتایج طراحی با کف قیر بشرح هر یک از متغیرهای بشرح زیر باید تهیه شود:

۱-۱۳-۴- درجه حرارت بهینه قیر برای تولید کف قیر

۲-۱۳-۴- درصد آب لازم برای تولید کف قیر

۳-۱۳-۴- نسبت انبساط و نیمه عمر کف قیر و منحنی‌های مربوط

۴-۱۳-۴- نتایج آزمایشات مصالح

۴-۱۳-۵- نسبت اختلاط برحسب ضخامت (مصالح خرده آسفالتی و مصالح سنگدانه‌ای زیر آن و درصد مصالح سنگدانه‌ای جدید

(مصرفی)

۴-۱۳-۶- منحنی تغییرات ITS و مقاومت فشاری برحسب تغییرات درصد قیر و سیمان

۴-۱۳-۷- منحنی تغییرات وزن مخصوص برحسب تغییرات درصد قیر و سیمان

۴-۱۳-۸- تعیین نسبت مقاومت اشباع و خشک TSR در شرایط قیر بهینه

۴-۱۳-۹- درصد قیر بهینه

۴-۱۳-۱۰- درصد سیمان بهینه

۴-۱۳-۱۱- درصد رطوبت بهینه مصالح

۴-۱۳-۱۲- درصد رطوبت اختلاط و تراکم

۴-۱۳-۱۳- منحنی دانه‌بندی مخلوط مصالح

۴-۱۳-۱۴- ضخامت بازیافت

۴-۱۳-۱۵- محدوده سرعت ماشین

۴-۱۳-۱۶- درصد آهک (در صورت استفاده)

فصل پنجم

ضخامت روکش بازیافت سرد

۵-۱- کلیات

از مخلوط‌های بازیافت سرد عمدتاً بعنوان لایه میانی^۱ در بهسازی روسازی‌های آسفالتی و یا قشر اساس تثبیت شده با قیر در نوسازی‌ها استفاده می‌شود که در هر دو حالت، مقاومت سازه‌ای و یا ضریب لایه‌ای^۲، a_i و نهایتاً ضخامت روکش آسفالت تقویتی که روی لایه بازیافت اجرا می‌گردد، باید تعیین شود.

در شرایط فعلی ضابطه و معیار خاصی در آئین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران، نشریه شماره ۲۳۴ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور برای ضریب a_i لایه بازیافت سرد وجود ندارد، ولی می‌توان از طریق تهیه و آزمایش نمونه‌های آزمایشگاهی در جریان عملیات اجرائی بازیافت و اندازه‌گیری مدول مقاومتی آنها و یا انجام آزمایشات غیرمخرب^۳ از جمله FWD^۴ مطابق ASTM D4694، جهت محاسبات مربوط به تعیین ضخامت روکش اقدام نمود. در این دستورالعمل برای تعیین ضخامت روکش لایه‌های بازیافت سرد، از دو روش آشتو و انستیتو آسفالت (نشریه MS-2) استفاده شده است، که مهندس مشاور طرح می‌تواند برای هر پروژه، با بررسی ضخامت‌های محاسبه شده با هر یک از دو روش فوق، طرحی را که از نظر فنی و اقتصادی بهینه باشد، بعنوان طرح نهائی انتخاب و به مورد اجرا گذارد.

۵-۲- روش آشتو

در این روش، عدد ضخامت مجموعه لایه روکش و لایه بازیافت، از رابطه (۱) بدست می‌آید:

$$SN_{OL} = SN_y - SN_{xeff(New)} \quad (1)$$

که در آن:

SN_{OL} : عدد ضخامت لایه بازیافت سرد به اضافه لایه روکش آسفالت گرم.

SN_y : عدد ضخامت سیستم روسازی جدید، بعد از اجرای لایه بازیافت و لایه روکش آسفالت گرم با توجه به ترافیک دوره طرح

و ضریب برجهندگی خاک بستر روسازی.

$SN_{xeff(New)}$: عدد ضخامت مؤثر روسازی تراشیده شده یا روسازی باقیمانده بعد از تراشیدن در جریان اجرای عملیات بازیافت

که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

1 – Intermediate Layer

2 – Structural Coefficient

3 – Nondestructive Test

4 – Falling Weight Deflectometer

$$SN_{xeff(New)} = SN_{xeff} - \left(\frac{\sum_{i=1}^n a_i h_i}{2.54} \right) \quad (2)$$

نکته: تراشیدن روسازی به اندازه عمق شیار باعث کاهش عدد ضخامت مؤثر روسازی موجود نمی‌شود.
که در آن:

SN_{xeff} : عدد ضخامت مؤثر روسازی موجود.

a_i : ضریب لایه‌های تراشیده شده

h_i : ضخامت لایه‌های تراشیده شده (سانتیمتر)

n : تعداد لایه‌ها

برای محاسبه و تعیین هر یک از متغیرهای روابط ۲،۱ بترتیب زیر عمل می‌شود.

۵-۲-۱- تعیین عدد ضخامت مؤثر روسازی موجود یا SN_{xeff}

این متغیر عامل اصلی و تعیین کننده عدد ضخامت روکش و لایه بازیافت یا SN_{OL} محسوب می‌شود که برای محاسبه آن می‌توان یکی از دو روش زیر را مورد استفاده قرار داد:

۵-۲-۱-۱- روش آزمایش‌های غیر مخرب یا NDT (روش مستقیم)

در این روش عدد ضخامت مؤثر موجود (قبل از بازیافت)، بر اساس مدول الاستیسیته معادل لایه‌ها یا مدول الاستیسیته هر یک از لایه‌ها (مدول مؤثر) که از محاسبات معکوس در آزمایش‌های غیر مخرب بدست می‌آیند و نیز ضخامت اندازه‌گیری شده لایه‌ها، از روابط ۳ و ۴ محاسبه می‌گردد.

$$SN_{xeff} = 0.00436 D \sqrt[3]{(Ep)} \quad (3)$$

$$SN_{xeff} = 0.00436 \sum_{i=1}^n h_i (E_i)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

که در آن:

SN_{xeff} : عدد ضخامت مؤثر روسازی موجود.

Ep : مدول الاستیسیته مؤثر مجموع لایه‌های روسازی بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع

D : ضخامت کل لایه‌ها بر حسب سانتیمتر

n : تعداد لایه‌ها

h_i : ضخامت لایه i ام روسازی موجود بر حسب سانتیمتر

E_i : مدول الاستیسیته لایه i ام روسازی موجود بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع

۵-۲-۲-۲- روش محاسبه ضخامت و ضرایب لایه‌های روسازی موجود (روش غیرمستقیم)

در این روش با اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های روسازی و ضرایب لایه‌ها، می‌توان عدد ضخامت مؤثر را با استفاده از رابطه ۵ محاسبه نمود:

$$SN_{xeff} = \frac{1}{2.54} (a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3) \quad (5)$$

که در آن:

D_i : ضخامت لایه‌های روسازی موجود برحسب سانتیمتر

a_i : ضریب لایه‌های روسازی موجود

m_i : ضریب زهکشی مصالح اساس و زیر اساس موجود

چون ضرایب لایه‌های روسازی در طول عمر بهره‌برداری با توجه به تغییراتی که در مشخصات فنی اولیه مصالح آنها ایجاد می‌شود کاهش می‌یابد لذا برای بر آورد ضرایب جدید، به تناسب میزان و شدت آسیب دیدگی‌ها و تغییرات بوجود آمده در لایه‌ها می‌توان از جدول ۵-۱ و نتایج آزمایش‌هایی که روی مصالح انجام می‌شود با رعایت محدودیت‌های زیر استفاده نمود:

الف: حداکثر ضریب لایه برای قشرهای رویه و آستر آسفالتی ۰/۳۵ و برای لایه اساس قیری ۰/۲۵ انتخاب می‌شود.

ب: ضرایب لایه‌های اساس و زیر اساس به تناسب نتایج آزمایش سی بی آر، دانه‌بندی، درصد شکستگی، ارزش ماسه‌ای و دامنه

خمیری و مقایسه آنها با مشخصات اولیه مصالح انتخاب می‌شود.

پ: ضرایب زهکشی مصالح اساس و زیر اساس (m_3 , m_2) با توجه به نتایج دانه‌بندی و درصد مواد عبوری الک ۲۰۰ مصالح،

ارزش ماسه‌ای و دامنه خمیری و مقایسه آنها با مقادیر مشخصات و نیز شرایط اشباع، نیمه اشباع و یا رطوبت بهینه آنها در دوران

بهره دهی و ضرایب مندرج در بند ۷-۱۱ از فصل یازدهم آئین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران، نشریه ۲۳۴ سازمان مدیریت و

برنامه‌ریزی کشور، تعیین می‌شود.

جدول ۵-۱- انتخاب ضریب لایه روسازی موجود با وضعیت متفاوت

ضریب لایه	شرایط روسازی	لایه روسازی
۰/۴ - ۰/۳۵	فاقد ترک‌های موزاییکی و ترک‌های خیلی کم و یا فقط ترک‌های عرضی با شدت کم	آسفالت رویه و آستر
۰/۲۵ - ۰/۳۵	ترک‌های موزاییکی با شدت کم - کمتر از ۱۰ درصد و یا ترک‌های عرضی با شدت متوسط تا زیاد - کمتر از ۵ درصد	
۰/۲ - ۰/۳	ترک‌های موزاییکی با شدت کم - بیشتر از ۱۰ درصد و یا ترک‌های موزاییکی با شدت متوسط - کمتر از ۱۰ درصد و یا ترک‌های عرضی با شدت متوسط تا زیاد - کمتر از ۱۰-۵ درصد	
۰/۱۴ - ۰/۲۰	ترک‌های موزاییکی با شدت متوسط - بیشتر از ۱۰ درصد و یا ترک‌های موزاییکی با شدت زیاد - کمتر از ۱۰ درصد و یا ترک‌های عرضی با شدت متوسط تا زیاد - کمتر از ۱۰ درصد	
۰/۰۸ - ۰/۱۵	ترک‌های موزاییکی با شدت زیاد بیشتر از ۱۰ درصد و یا ترک‌های عرضی با شدت زیاد بیشتر از ۱۰ درصد	
۰/۲۵ - ۰/۳۵	ترک موزاییکی خیلی کم یا فاقد این ترک‌ها و یا فقط ترک عرضی با شدت کم		اساس قیری
۰/۱۵ - ۰/۲۴	ترک‌های موزاییکی با شدت کم - کمتر از ۱۰ درصد و یا ترک‌های موزاییکی با شدت متوسط یا زیاد - کمتر از ۵ درصد	
۰/۱۵ - ۰/۲۰	ترک‌های موزاییکی با شدت کم - بیشتر از ۱۰ درصد و یا ترک‌های موزاییکی با شدت متوسط - کمتر از ۱۰ درصد و یا ترک‌های عرضی با شدت متوسط یا زیاد - بیشتر از ۱۰-۵ درصد	
۰/۱ - ۰/۲۰	ترک‌های موزاییکی با شدت متوسط - بیشتر از ۱۰ درصد و یا ترک‌های موزاییکی با شدت زیاد - کمتر از ۱۰ درصد و یا ترک‌های عرضی با شدت متوسط یا زیاد - بیشتر از ۱۰ درصد	
	ترک‌های موزاییکی با شدت زیاد - بیشتر از ۱۰ درصد و یا ترک‌های عرضی با شدت زیاد - بیشتر از ۱۰ درصد	
۰/۱ - ۰/۱۳ ۰/۰ - ۰/۱	بدون تغییر و بدون نفوذ ریزدانه از بستر روسازی با حفظ سی بی آر اولیه تغییر حالت مصالح شامل نفوذ ریزدانه از بستر روسازی و کاهش سی بی آر و خصوصیات زهکشی	اساس یا زیر اساس

۵-۲-۲- محاسبه عدد ضخامت مورد نیاز روسازی جدید (SN_y)

عدد ضخامت روسازی جدید بر اساس مقاومت خاک بستر روسازی و ترافیک پیش‌بینی شده دوره بازافت بدون در نظر گرفتن ساختار روسازی فعلی بر اساس رابطه بند ۱۱-۸ و یا شکل ۱۱-۶ فصل یازدهم نشریه ۲۳۴ محاسبه می‌گردد. لازم بذکر است که

جهت تعیین سایر متغیرها باید از فصل یازدهم و دوازدهم آئین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران، نشریه ۳۳۴، استفاده شود. توصیه می‌شود مقدار S_0 یا انحراف استاندارد کلی^۱ معادل ۰/۴۹ در نظر گرفته شود.

۵-۲-۳- تعیین ضخامت لایه روکش و بازیافت SN_{OL}

پیش از تعیین عدد ضخامت لایه‌های روکش و بازیافت از رابطه ۱، ضخامت لایه روکش آسفالتی از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$SN_{OL} = \frac{1}{2.54} (a_{AC} D_{AC} + a_{RC} D_{RC}) \quad (6)$$

که در آن:

a_{AC} : ضریب لایه روکش آسفالتی

D_{AC} : ضخامت لایه روکش آسفالتی - سانتیمتر

a_{RC} : ضریب لایه بازیافت سرد

D_{RC} : ضخامت لایه بازیافت سرد - سانتیمتر

در رابطه (۶) ضریب لایه روکش آسفالت گرم (a_{AC}) شامل بیندر یا توپکا بر اساس آئین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران ۰/۴۲ منظور می‌شود، ولی ضریب لایه بازیافت سرد یا a_{RC} را می‌توان با اندازه‌گیری مدول برجهندگی این لایه که با آزمایش ASTM D4123 بدست می‌آید، از رابطه (۷) بدست آورد.

$$a_{RC} = 0.011(E_{RC})^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

که در آن E_{RC} مدول برجهندگی لایه بازیافت برحسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع می‌باشد.

بطور کلی مطالعات و بررسی‌های انجام شده نشان داده است که ضریب لایه بازیافت سرد با کف قیر بین ۰/۲ تا ۰/۳۵ و با امولسیون قیر بین ۰/۱۷ تا ۰/۳ می‌باشد.

در شرایطی که انجام آزمایش‌های کنترل کیفیت در حین اجرای بازیافت سرد و یا مغزه‌گیری از این لایه برای اندازه‌گیری مدول برجهندگی و نهایتاً تعیین ضریب لایه بازیافت a_{RC} مطابق رابطه (۷) امکان پذیر نباشد، توصیه می‌گردد که ضریب ۰/۲۵ برای بازیافت سرد با کف قیر و ۰/۲ برای بازیافت سرد با امولسیون قیر منظور شود.

۵-۲-۴- مثال

مطلوب است تعیین ضخامت لایه‌های بازیافت سرد با کف قیر و روکش یک روسازی آسفالتی با فرض‌های زیر:

- ضریب برجهندگی خاک بستر روسازی: ۳۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع (معادل ۳/۵ سی بی آر)
- ترافیک طرح برحسب مجموع محورهای ساده ۸/۲ تنی هم ارز برابر 1×10^6
- ضخامت لایه آسفالتی موجود (D_1) برابر ۱۲ سانتیمتر
- ضخامت اساس شکسته موجود (D_2) برابر ۱۵ سانتیمتر
- ضخامت زیراساس موجود (D_3) برابر ۳۰ سانتیمتر

بررسی وضعیت روسازی و آزمایش‌های انجام شده روی مصالح اساس و زیراساس نشان می‌دهد که:

رویه آسفالتی دارای آسیب دیدگی‌های با شدت متوسط شامل ترک‌های موزاییکی در بیشتر از ۴۵ درصد سطح راه همراه با ترک‌های عرضی و طولی است. نتایج سی بی آر مصالح اساس و زیراساس تغییر حالتی را نشان نمی‌دهد به غیر از اینکه نفوذ مصالح ریزدانه از بستر روسازی به قشرهای فوقانی و افزایش مواد عبوری از الک ۲۰۰ موجب کاهش خاصیت زهکشی این مصالح گردیده است.

حل:

الف - تعیین عدد ضخامت مؤثر روسازی موجود یا SN_{xeff}

برابر نتایج حاصل از بررسی وضعیت روسازی و آزمایش‌های آزمایشگاهی و مراجعه به جدول ۵-۱ ضرایب هر یک از لایه‌های روسازی به شرح زیر بر آورد شده است:

- ضریب لایه آسفالتی $a_1 = 0/2$

- ضریب لایه اساس $a_2 = 0/12$

- ضریب لایه زیر اساس $a_3 = 0/1$

ضرایب زهکشی اساس و زیراساس $m_2 = m_3 = 0/8$

لذا عدد ضخامت مؤثر روسازی موجود مطابق رابطه ۵ برابر است با:

$$SN_{xeff} = \frac{1}{2/54} (a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3)$$

$$SN_{xeff} = 2/5$$

ب - تعیین عدد ضخامت روسازی موجود بعد از تراشیدن یا $SN_{xeff(New)}$

در این مثال با فرض اینکه ضرایب اولیه لایه‌ها به ترتیب $a_1 = 0/44$ ، $a_2 = 0/14$ ، $a_3 = 0/11$ و ضخامت‌ها $D_1 = 12$ ، $D_2 = 15$ ، $D_3 = 30$ و $m_2 = m_3 = 1$ باشد، مقدار SN_0 با استفاده از رابطه ۵، برابر با $4/2$ بدست می‌آید.

چنانچه فرض بر تراشیدن و بازیافت ۱۵ سانتیمتر از روسازی موجود شامل ۱۲ سانتیمتر لایه آسفالت + ۳ سانتیمتر لایه اساس باشد مطابق رابطه (۲) خواهیم داشت:

$$SN_{xeff(New)} = SN_{xeff} - \left(\frac{\sum a_i h_i}{2/54} \right)$$

با توجه به اینکه ضرایب لایه آسفالتی و لایه اساس تراشیده شده بشرح ردیف (الف) بالا، بترتیب $0/2$ و $0/12$ انتخاب شده است، لذا:

$$SN_{xeff(New)} = 2/5 - \left(\frac{12 \times 0/2 + 3 \times 0/12}{2/54} \right)$$

$$SN_{\text{xeff}}(\text{New}) = 2/5 - \frac{2/4 + 0/36}{2/54}$$

$$SN_{\text{xeff}}(\text{New}) = 1/41$$

ج- تعیین عدد ضخامت روسازی جدید SN_y

عدد ضخامت روسازی جدید بر اساس مقاومت خاک بستر معادل ۳۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، ترافیک طرح 1×10^6 ، ضریب اطمینان $R=0/95$ و $S_0=0/49$ و $P_t=2/5$ از رابطه اشتو یا شکل ۱۱-۶ فصل یازدهم آئین نامه روسازی راه معادل $4/3$ بدست می آید.

د- تعیین عدد ضخامت لایه بازیافت و لایه روکش

براساس رابطه (۱) عدد ضخامت لایه بازیافت و لایه روکش محاسبه می گردد:

$$SN_{OL} = SN_y - SN_{\text{xeff}}(\text{New})$$

$$SN_{OL} = 4/3 - 1/41$$

$$SN_{OL} = 2/89$$

با فرض اینکه:

$$a_{RC} = 0/25 \quad \text{- ضریب لایه بازیافت سرد با کف قیر}$$

$$a_{AC} = a_1 = 0/42 \quad \text{- ضریب لایه رویه بتن آسفالتی}$$

- و ضخامت لایه تراشیده شده بازیافت D_{RC} معادل ۱۵ سانتیمتر (۱۲ سانتیمتر آسفالت + ۳ سانتیمتر اساس) است مطابق رابطه ۶ خواهیم داشت:

$$SN_{OL} = \frac{1}{2/54} \left(a_{AC} D_{AC} + a_{RC} D_{RC} \right)$$

$$2/45 = \frac{1}{2/54} \left(0/42 \times D_{AC} + 0/25 \times 15 \right)$$

$$D_{AC} = 8/5 = 9 \text{ cm}$$

ضخامت لایه روکش آسفالتی

۵-۳- روش انستیتو آسفالت

این روش طراحی ضخامت روکش برای بازیافت سرد با امولسیون قیر را، شامل می شود.

۵-۳-۱- متغیرهای طراحی

متغیرها در این روش عبارتند از:

۵-۳-۱-۱- ترافیک طرح

ترافیک طرح بر حسب با رهم ارز $8/2$ تن براساس ضوابط مندرج در فصل دهم آئین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران (نشریه

شماره ۲۳۴) محاسبه می شود.

۵-۳-۱-۲- مقاومت خاک بستر روسازی

مقاومت خاک بستر روسازی برحسب سی بی آر یا ضریب برجهندگی تعریف می‌شود. تبدیل سی بی آر به ضریب برجهندگی مطابق جدول ۳-۱۱ فصل یازدهم آئین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران انجام می‌شود.

۵-۳-۱-۳- کیفیت مصالح بازیافت سرد و روش بازیافت

کیفیت مصالح مصرفی در بازیافت برحسب اینکه از امولسیون قیر و یا کف قیر استفاده شود باید با مشخصات فصل سوم (بازیافت با امولسیون قیر) و فصل چهارم (بازیافت با کف قیر) مطابقت داشته باشد و روش بازیافت نیز باید کارخانه‌ای و یا درجا باشد، که مشخصات آنها در فصل‌های ششم و هفتم شرح داده شده است. از این روش برای طراحی ضخامت روکش در شرایط اجرای بازیافت درجا با گریدر یا مخلوط‌کننده‌های چرخشی نمی‌توان استفاده کرد.

۵-۳-۲- تعیین ضخامت روکش و بازیافت

نمودار شکل ۱-۵ کل ضخامت بازیافت و روکش را نشان می‌دهد. حداقل ضخامت روکش آسفالتی نیز برحسب میزان ترافیک در جدول شماره ۲-۵ ارائه شده است.

۵-۳-۳- مثال

۵-۳-۳-۱- مطلوب است تعیین ضخامت لایه‌های بازیافت سرد با امولسیون قیر و روکش آسفالتی آن با داده‌های زیر:

ضریب برجهندگی خاک بستر روسازی (Mr) برابر ۳۰ مگاپاسکال

$$EAL = 1 \times 10^5$$

ترافیک طرح

با مراجعه به شکل شماره ۱-۵، ضخامت کل لایه بازیافت و روکش ۱۹ سانتیمتر بدست می‌آید، که حداقل ضخامت روکش آن نیز مطابق جدول ۲-۵ معادل ۵ سانتیمتر است.

تفاوت ضخامت کل و ضخامت روکش یعنی $19 - 5 = 14$ سانتیمتر ضخامت لایه بازیافت را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۵ ضخامت روکش روی لایه بازیافت

ترافیک طرح برحسب EAL	حداقل ضخامت روکش سانتیمتر
$< 10^4$	آسفالت سطحی یک یا دو لایه ای ^(۱)
10^4	۵ ^(۲)
10^5	۵ ^(۲)
10^6	۷ ^(۲)
10^7	۹ ^(۲)
$> 10^7$	۱۰ ^(۲)

توضیح جدول:

(۱) آسفالت سطحی مطابق مشخصات نشریه ۱۰۱ و آئین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران.

(۲) بتن آسفالتی طبق مشخصات نشریه ۱۰۱ و آئین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران.

۵-۳-۲- ضخامت لایه‌های باقیمانده از سیستم روسازی بعد از تراشیدن لایه بازیافت در محاسبات مربوط نیز تأثیر می‌گذارد که مثال زیر نمونه آنرا نشان می‌دهد.

مطلوب است تعیین ضخامت لایه بازیافت سرد و روکش آسفالتی آن با داده های زیر:

ضریب برجهندگی خاک بستر روسازی (Mr) برابر ۳۵ مگاپاسکال

ترافیک طرح $EAL = 1 \times 10^6$

ضخامت آسفالت موجود - سانتیمتر $D_1 = 12$

ضخامت اساس موجود - سانتیمتر $D_2 = 15$

ضخامت زیر اساس موجود - سانتیمتر $D_3 = 30$

ضخامت لایه بازیافت شامل ۱۲ سانتیمتر آسفالت و ۳ سانتیمتر اساس یا $D_{RC} = 15$

با مراجعه به شکل ۵-۱ با داده های Mr خاک بستر و ترافیک طرح خواهیم داشت:

ضخامت روکش و بازیافت ۲۹ سانتیمتر

حداقل ضخامت روکش طبق جدول ۵-۲ ۷ سانتیمتر

ضخامت تئوریک لایه بازیافت $29 - 7 = 22$ سانتیمتر

مطابق جدول شماره ۵-۳ ضخامت لایه‌های باقیمانده روسازی را می‌توان به لایه بازیافت سرد تبدیل کرد.

جدول ۵-۳ ضریب تبدیل مصالح به بازیافت سرد

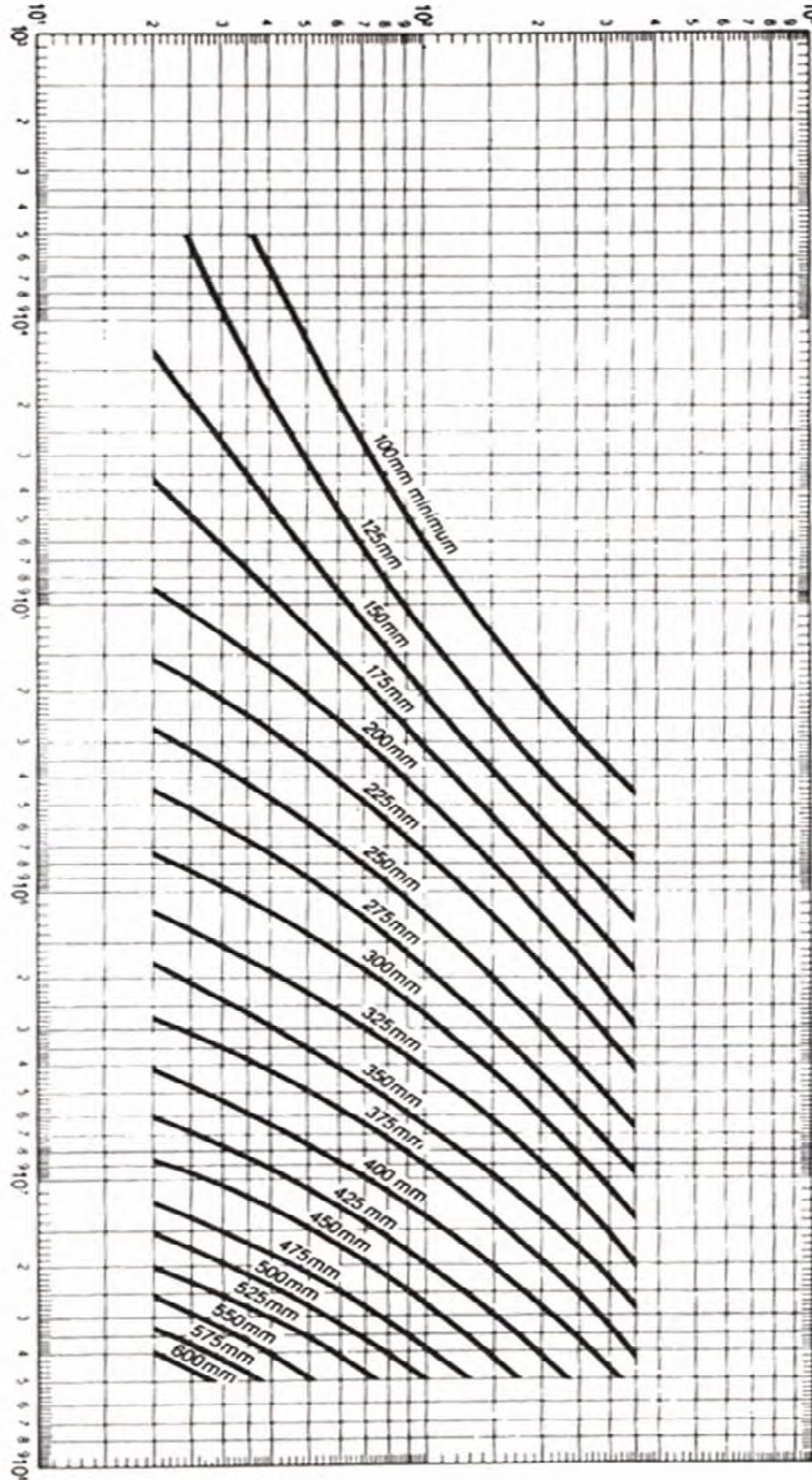
ضریب تبدیل	نوع مصالح	طبقه بندی مصالح
۰	خاک بستر روسازی با کیفیت موجود و اصلاح نشده (خاک طبیعی)	A
۰	خاک بستر روسازی اصلاح شده با دامنه خمیری ۱۰ یا کمتر و هر مصالحی با کیفیت بین خاک طبیعی و اصلاح نشده و مصالح روسازی	B
۰/۱ - ۰/۲	مصالح زیر اساس و اساس با سی بی آر بیشتر از ۲۰ درصد. چنانچه PI کمتر از ۶ باشد از ضریب بالاتر و اگر بیشتر از ۶ باشد از ضریب کوچکتر استفاده می‌شود	C

با توجه به اینکه ضخامت روسازی باقیمانده شامل ۱۲ سانتیمتر اساس و ۳۰ سانتیمتر زیراساس است، لذا کل ضخامت $30 + 12 = 42$ سانتیمتر که سی بی آر آنها بیشتر از ۲۰ و دامنه خمیری آنها کمتر از ۶ می‌باشد با ضریب ۰/۲ از جدول ۵-۳ به ضخامت معادل بازیافت تبدیل می‌شود.

$$42 \times 0.2 = 8.4 \# 8.5 \text{ سانتیمتر}$$

ضخامت تئوریک لایه بازیافت قبلاً ۲۲ سانتیمتر محاسبه شده است که با اعمال ضخامت معادل بازیافت لایه‌های باقیمانده از روسازی ضخامت مورد نیاز لایه بازیافتی $22 - 8.5 = 13.5$ کاهش خواهد یافت لذا بازیافت لایه‌های آسفالتی و اساس بمیزان ۱۵ سانتیمتر همراه با ضخامت لایه روکش آسفالتی برابر ۷ سانتیمتر جوابگو خواهد بود.

Mr یا ضریب برجهندگی بستر روسازی



شکل ۱-۵ تعیین کل ضخامت لایه بازیافت سرد و روکش آن EAL یا پار محوری منفرد هم ارز برحسب 80 KN

فصل ششم

اجرای عملیات و ماشین آلات بازیافت سرد درجا

۱-۶- کلیات

این فصل شرح عملیات اجرائی بازیافت سرد درجا در مراحل تراشیدن، دانه‌بندی کردن، اختلاط با مواد قیری و سایر افزودنی‌ها، پخش و تراکم و نوع ماشین‌آلات مربوطه را شامل می‌شود.

۲-۶- برنامه‌ریزی قبل از شروع عملیات اجرائی

به دلیل سرعت و توان بالای اجرایی روش‌های بازیافت سرد درجا، برنامه‌ریزی عملیات باید قبل از شروع کار تهیه شود.

۱-۲-۶- مقررات ترافیکی

عموماً عملیات بازیافت در نیمی از عرض راه انجام می‌شود و یا اینکه برای اجرای آن تنها بخشی از راه موجود مسدود می‌گردد. علائم هشدار دهنده ترافیکی، چراغ‌های چشمک زن و سایر کنترل‌های ترافیکی لازم براساس آئین‌نامه‌های جاری وزارت راه و ترابری برای تأمین ایمنی در عملیات اجرایی باید قبل از شروع عملیات بازیافت، برای پروژه مورد نظر مدل‌سازی و اجرا شود.

۲-۲-۶- نقشه برداری

در پروژه‌های بهسازی رقوم سطح راه موجود حداقل تا فاصله ۲۰ متر از دو طرف شانه‌های راه برداشت می‌شود و پروفیل‌های طولی و عرضی راه موجود ترسیم شده و خط پروژه مطلوب نهایی برای عملیات بهسازی مورد نظر تعیین می‌گردد.

۳-۲-۶- آسفالت تراشی اولیه

اغلب قبل از شروع عملیات بازیافت نیاز به برداشتن و آسفالت تراشی بخشی از لایه‌های روسازی موجود وجود دارد. این کار به این دلیل انجام می‌شود که رقوم نهایی عملیات بازیافت با نقاط اجباری موجود در مسیر از قبیل جوی‌های آب، پیاده روها، شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی، تقاطع‌ها و پل‌های موجود در مسیر مطابقت نماید و در عین حال امکان انجام عملیات بازیافت طبق ضخامت‌های تعیین شده در طرح فراهم باشد.

۴-۲-۶- مشخصات روسازی متفاوت در مقاطع عرضی

در بسیاری از موارد مشخصات روسازی موجود به جهت برخی ملاحظات در طراحی مرحله اولیه ساخت راه و یا اعمال روش‌های مختلف بهسازی در طول بهره‌برداری از محور در مقاطع عرضی با یکدیگر تفاوت دارد. در این موارد قبل از شروع عملیات اجرایی برنامه کاری مناسبی برای این تغییرات باید تدوین شود.

۶-۲-۵- افزودن مصالح سنگی جدید

در برخی موارد به دلیل ملاحظات اعمال شده در طرح اختلاط نیاز به افزودن مصالح سنگی جدید جهت ارتقاء کیفیت قشر بازیافتی وجود دارد که اینکار باید قبل از شروع عملیات بازیافت طبق طرح اختلاط و رقوم پروژه انجام گردد.

۶-۲-۶- بر آورد عملکرد روزانه و مواد مورد نیاز

برای اطمینان از سرعت مناسب عملیات اجرایی و جلوگیری از تأخیرات در روند اجرا ضروری است که ضمن تأمین سیلوها و مخازن متناسب با حجم مصالح مصرفی روزانه برنامه مدونی نیز جهت تهیه، حمل و ذخیره افزودنی‌های مورد نیاز فراهم گردد.

۶-۲-۷- خرد کردن اولیه مصالح

بهنگام عملیات اجرائی روش بازیافت سرد درجا، خرد کردن اولیه مصالح تنها زمانی مورد نیاز است که راه موجود حائز یکی از شرایط زیر باشد:

- الف - ناهمگنی مصالح در عمق لایه‌های روسازی موجود که قرار است مورد بازیافت قرار گیرد زیاد باشد.
- ب - عمق لایه‌های آسفالتی بخشی از روسازی که قرار است بازیافت شود بقدری ضخیم است که انرژی زیادی برای خرد کردن یکباره این حجم مورد نیاز می‌باشد. در چنین حالتی سرعت پیشروی دستگاه بازیافت سرد درجا آنقدر کم می‌شود که فشار لازم برای تزریق کف قیر از حداقل‌های مورد نیاز کمتر می‌شود. این حالت عموماً زمانی اتفاق می‌افتد که ضخامت لایه‌های آسفالتی موجود بسیار زیاد باشد و یا اینکه لایه‌های آسفالتی موجود قبلاً باتثبیت کننده‌هایی نظیر سیمان تثبیت شده باشند.
- ج - زمانی که نیاز باشد به منظور تأمین نسبت‌های مندرج در طرح اختلاط، مصالح جدیدی در سطح روسازی موجود پخش شود. چنین حالتی عموماً زمانی اتفاق می‌افتد که مقاطع عرضی و طولی روسازی موجود از همگنی مناسب برخوردار نبوده و نتواند نیازهای طراحی را تأمین نماید و یا به دلیل ناهمگنی زیاد امکان تهیه یک برنامه واحد موجود نباشد.
- د - زمانیکه بخشی از مصالح آسفالتی موجود به کمک دستگاه آسفالت تراش، جهت تأمین شرایط فوق الذکر برای خرد کنندگی اولیه استفاده می‌شود باید به عمق آسفالت تراشی دقت خاصی مبذول شود تا عمق مصالح آسفالتی باقیمانده برای عبور دستگاه بازیافت به اندازه کافی باشد (حداقل ۵۰ میلیمتر).

۶-۲-۸- شیب راه

علاوه بر خرد کردن مصالح روسازی موجود قسمت مولد دستگاه‌های بازیافت وظیفه کشیدن (یا راندن) دو تانکر (یک تانکر قیر و یک تانکر آب) را نیز برعهده دارد. اغلب دستگاه‌های بازیافت چرخ لاستیکی‌اند که در آنها نیروی محرکه هر چرخ به کمک یک موتور هیدرولیکی تأمین می‌شود که همواره چرخ‌های محور عقب دستگاه بر روی مصالح بازیافتی متراکم نشده حرکت می‌کنند. وقتیکه شیب طولی راه زیاد باشد و جهت حرکت دستگاه بازیافت رو به بالای شیب قرار داشته باشد نیروی کششی زیاد بین چرخ‌های لاستیکی و سطح قشر بازیافتی ایجاد می‌شود این امر باعث می‌شود تا هنگامیکه چرخ‌های جلو دستگاه بازیافت بر روی مصالح متراکم نشده می‌لغزد، درصد قیر و آب تزریق شده به مخلوط بازیافتی بیشتر از مقادیر لازم باشد. در چنین مناطقی باید عمل بازیافت در جهت سرازیری و رو به پایین شیب انجام شود و عمل تزریق قیر و آب از تانکرهای مربوطه به کمک پمپ‌های مناسب انجام شود.

۶-۲-۹- تعیین عرض خطوط بازیافت

با توجه به مسیر حرکت ترافیک بر روی خطوط عبور مختلف و محل قرار گرفتن چرخ وسایل نقلیه عبوری از روی محور و نیز محل استقرار نازل‌های پخش کف قیر و سیمان، یکی از مهمترین مسائلی که در روش بازیافت سرد درجا به کمک کف قیر اهمیت دارد، محل قرار گرفتن چرخ‌های بیرونی دستگاه بازیافت و در نتیجه دوبندی‌های طولی موجود بین خطوط عبور است. روش استاندارد جهت کاستن از نقطه ضعف دوبندی‌های طولی انتخاب صحیح عرض‌های بازیافت و میزان همپوشانی دو خط مجاور یکدیگر و نیز بستن نازل‌هایی است که در دو خط کنار هم باعث می‌شود تا به یک محدوده دوبار قیر و آب تزریق شود. لذا حداقل عرض همپوشانی باید ۱۵ سانتیمتر باشد و تنها در یکبار عبور دستگاه در خط مجاور، نازل‌های مربوط به این منطقه باز باشد و برای بار دوم باید کلیه این نازل‌ها بسته شوند و در مرحله دوم عبور دستگاه صرفاً عمل تطابق با وضعیت موجود انجام می‌پذیرد. از این رو توصیه می‌شود که حتماً قبل از شروع عملیات اجرایی عرض خط عبورهای مختلفی که باید بازیافت شوند کاملاً مشخص باشد و محل استقرار نازل‌های دستگاه در این خطوط نیز تعیین گردد تا بتوان اثرات نازل‌های مختلف را ارزیابی کرد.

۶-۳- ماشین‌آلات بازیافت

ماشین‌آلات بازیافت سرد درجا و غلتک‌هایی که جهت متراکم کردن لایه‌های ضخیم بازیافت سرد درجا (۳۰ - ۲۵ سانتیمتر) بکار گرفته می‌شوند معمولاً در کارگاه‌های معمولی راهسازی وجود ندارد و علاوه بر آن، تجهیزاتی نیز که برای پخش مقادیر و درصد‌های کم سیمان و سایر افزودنی‌ها بکار می‌روند در شمار وسایل معمول در پروژه‌های راهسازی قرار نمی‌گیرند. بطور کلی دستگاه‌ها و ماشین‌آلات بازیافت سرد درجا به سه نوع عمده تقسیم می‌شوند برای هر پروژه نوع دستگاه‌ها و ماشین‌آلات بازیافت سرد باید در مشخصات فنی خصوصی قید شود.

۶-۳-۱- دستگاه‌های یک بخشی^۱

در این نوع دستگاه‌های بازیافت، محل خرد کردن مصالح سنگی، اختلاط مصالح و اضافه کردن افزودنی‌های مورد نیاز به مصالح بازیافت معمولاً در یک دستگاه قرار دارد که ضمن قابلیت‌هایی که دارند، ولی کاربری‌های آنها نیز محدود است. به منظور شناخت کامل و در نتیجه انتخاب دستگاه‌های مناسب با توجه به حجم پروژه و ویژگی‌های آن مزایا و معایب دستگاه‌های یک بخشی را می‌توان بشرح زیر خلاصه نمود:

الف - مزایا:

- سرعت مناسب عملیات بازیافت
- عدم نیاز به حمل مضاعف (از محل تا کارخانه)
- حجم پایین ماشین‌آلات مورد نیاز و در نتیجه سرمایه گذاری اولیه کمتر

ب - معایب:

- زمان اختلاط به سرعت دستگاه بستگی دارد و قابل کنترل نمی‌باشد.

^۱ - Single Unit

- درصد مواد مضاف بصورت حجمی اندازه‌گیری می‌شود.
- امکان دانه‌بندی دقیق دستگاه وجود ندارد.
- سطح زیرین دستگاه قابل دسترسی نبوده و امکان جارو کردن و اجرای اندود سطحی وجود ندارد.
- کنترل اجرایی برای جلوگیری از مصرف مصالح نامرغوب وجود ندارد.

۶-۳-۲- دستگاه‌های دو بخشی^۱

در این دستگاه‌ها زمان اختلاط مصالح قابل کنترل است و حتی می‌توان مواد مضاف را به مقدار دقیقتری به مصالح اضافه کرد. در دستگاه‌های تک بخشی بعلت اینکه سرعت دستگاه باید بطریقی تنظیم گردد که سنگدانه‌ها خرد نشود و زیاد درشت هم نباشد زمان اختلاط غیر قابل تنظیم است زیرا قسمتی که کار اختلاط را انجام می‌دهد استوانه دستگاه است که کار خرد کردن را نیز باید انجام دهد در حالیکه در وسایل اختلاط مصالح سنگی سعی بر این است که قسمت اختلاط دستگاه حداقل توانایی خرد کردن و تنظیم دانه‌بندی را داشته باشد.

بعلاوه این نوع دستگاه مانند دستگاه‌های چند بخشی دارای طول زیاد نیستند که برای ترافیک و در قوس‌های کم ایجاد مشکل نمایند. در این نوع بازیافت در فاصله بین دو دستگاه لایه زیرین بازیافت سرد و نواقص احتمالی آن قابل مشاهده می‌باشد ولی بعلت طول کم دستگاه اجازه انجام بعضی از فعالیت‌ها وجود ندارد. از دستگاه‌های دو بخشی در شیار افتادگی‌های عمیق و گودافتادگی‌ها می‌توان استفاده کرد ولی در نقاطی که آسفالت دچار ترک‌های پوست سوسماری شدید شده است استفاده از این روش بدلیل مصالح درشت ایجاد شده پس از تراشیدن توصیه نمی‌شود. این نوع دستگاه‌ها نیز دارای معایب و مزایای خاصی هستند که بشرح زیر می‌باشد:

مزایا :

- سادگی روند عملیات اجرایی و کارایی بالا
- عدم نیاز به حمل مصالح
- حجم محدود ماشین‌آلات مورد نیاز
- زمان اختلاط کنترل شده و دقیق است و می‌توان به تناسب شرایط مختلف آن را تغییر داد.
- مواد افزودنی با کنترل و بطریق وزنی به مصالح اضافه می‌شوند.

معایب :

- بعلت عدم وجود سنگ شکن و سرنده، اندازه اصلی و یا اسمی دانه‌ها قابل کنترل نیست.
 - کنترل اجرایی بدقت دستگاه‌های چند بخشی در این حالت وجود ندارد.
- این روش برای بازیافت راه‌های درجه دو بین شهری و عمدتاً بازیافت سرد عمیق مناسب است و می‌توان آن را در جاده‌هایی که دارای شعاع قوس‌های نسبتاً کوچک هستند مورد استفاده قرار داد.

۳-۳-۶- دستگاه‌های چندبخشی

دستگاه‌های چند بخشی دارای قطعات و تجهیزات بیشتری نسبت به انواع قبلی است. هدف اصلی استفاده از این دستگاه افزایش دقت‌های اجرایی در موارد کنترل دقیق دانه‌بندی و اندازه مصالح خرده آسفالتی و میزان مواد افزودنی، اطمینان از همگن بودن مخلوط خرده آسفالتی و بازیابی شده و پخش مناسب و یکنواخت مخلوط نهایی در سطح راه است. این دستگاه‌ها مجهز به واحدهای کامل خرد کننده، مخلوط کننده‌های مناسب، تسمه نقاله‌ها و سایر ادوات مورد نیاز می‌باشند. همچنین در این دستگاه‌ها ممکن است یک ترن کامل که خود نیروی کششی اجزاء را تأمین می‌کند بصورت مجزا از قسمت خرد کننده و آسفالت تراش عمل نماید. در چنین ترنی غالباً بخش‌های سرند کردن و مخلوط کردن مصالح کنده شده از سطح راه وجود دارد. بزرگترین و مجهزترین انواع دستگاه‌های چند بخشی شامل سه بخش مختلف است :

- یک ماشین آسفالت تراش
- یک دستگاه کشنده که بخش‌های سنگ شکن (خرد کننده) و سرندها را شامل می‌شود.
- یک دستگاه کشنده که بخش‌های اختلاط مصالح را شامل می‌شود.

حداکثر اندازه مصالح خرده آسفالتی در قسمت خرده کننده و سرندها کنترل می‌شود و بخش مخلوط کن که آخرین قطعه دستگاه مرکب است کار کنترل میزان افزودنی‌های مایع از جمله آب را به کمک نرم افزارها و سخت افزارهای کامپیوتری مناسب برعهده دارد. همچنین در این نوع دستگاه‌ها امکان بازدید سطح زیرین دستگاه‌ها و جارو کردن و اجرای اندود سطحی آن وجود دارد. از سوی دیگری با افزودن امکانات جانبی قابلیت تعیین درصد رطوبت و درصد قیر مصالح ورودی نیز امکان پذیر است. یکی از معایب این دستگاه، طول زیاد ماشین‌آلات آن است که باید بصورت زنجیره‌ای کار کند که موجب اختلال در امر ترافیک و عدم استفاده از آنها در قوس‌های با شعاع کم می‌گردد.

۴-۶- پخش و کوبیدن

عموماً وسایل و دستگاه‌هایی که جهت پخش و کوبیدن آسفالت بازیافت سرد درجا و آسفالت بازیافت سرد کارخانه‌ای بکار می‌رود مشابه دستگاه‌های مورد استفاده جهت آسفالت گرم است. در برخی راه‌های کم ترافیک نظیر راه‌های فرعی و روستایی می‌توان عمل پخش مصالح بازیافتی را با گریدر انجام داد و برای متراکم کردن آن نیز از غلتک‌های سبک استفاده کرد و برای حصول نتیجه مطلوب عمل پخش و تراکم را در چند لایه با ضخامت‌های کمتر اجرا نمود. از سوی دیگر در راه‌های با اهمیت بالا و در مواقعی که ضخامت لایه‌های بازیافتی در محل زیاد باشد (عموماً بیش از ۲۰ سانتیمتر) استفاده از غلتک‌های سنگین مخصوص فلزی (صاف یا پاچه فیلی) مورد نیاز می‌باشد. به هر حال در عملیات آسفالت بازیافت سرد درجا اصولاً مرحله پخش اولیه مخلوط نیز توسط دستگاه بازیافت صورت می‌گیرد. در دستگاه‌های یک بخشی که عملیات پخش از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد اینکار ممکن است پس از اتمام کار بازیافت به کمک دستگاه‌های مناسب نظیر گریدرهای پیشرفته انجام گیرد تا رقوم نهایی زمین باتراز پروفیل‌های طولی و عرضی منطبق گردد. در راه‌های با اهمیت نظیر بزرگراه‌ها و راه‌های شریانی اجرای آسفالت بازیافت سرد و عمل تسطیح آن بطریقه کاملاً ماشینی و اتوماتیک انجام می‌شود. مراحل کاری بدین صورت است که گریدرهایی که کار تسطیح نهایی مخلوط را بر عهده دارند مجهز به ترازب‌های لیزری هستند که به کلیه ادوات گریدر از جمله تیغه آن متصل است. این ترازب‌ها بطور پیوسته سطح

مورد نیاز برای هر نقطه را با ارسال پالس‌هایی به منشورهای مستقر در کنار راه که از قبل براساس رقوم خط پروژه و پروفیل‌های طولی و عرضی مسیر استقرار یافته‌اند، کنترل می‌نمایند. با بهره‌گیری از چنین روشی امکان بروز خطاهای انسانی تا حد زیادی کاهش یافته و سطح نهایی عملیات بازیافت از کیفیت مناسب برخوردار خواهد بود. معمولاً برای راه‌های با اهمیت باید از دستگاه‌های چند بخشی استفاده شده و جهت تأمین یکنواختی مطلوب از فینیش‌های تمام خودکار بهره‌گیری شود. در خصوص تراکم مخلوط بازیافتی اولین موردی که باید مورد توجه قرار گیرد زمان شروع این کار است. فاصله زمانی پخش مخلوط و شروع غلتک زنی به نوع قیر و افزودنی‌ها و سرعت تبخیر آب و شرایط آب و هوایی محیط بستگی دارد. چنانچه عمل غلتک زنی، پیش از زمان مناسب آغاز شود از تبخیر آب سطح مخلوط جلوگیری می‌کند و اجازه انجام فعل و انفعالات مناسب میان مخلوط و محیط را نمی‌دهد و نهایتاً موجب آسیب‌پذیری مخلوط می‌گردد. غلتک زنی باعث افزایش تراکم و کاهش فضای خالی مخلوط می‌شود. در مورد مخلوط‌های بازیافت سرد حاوی امولسیون قیر معمولاً غلتک زنی موقعی باید شروع شود که رنگ امولسیون از قهوه‌ای به سیاه تغییر یابد که معرف مراحل آغازین شکستن امولسیون است. این زمان عموماً بین ۰/۵ تا ۲ ساعت متغیر است که به عواملی نظیر نوع امولسیون، ضخامت لایه، سرعت باد، دما و رطوبت نسبی محیط بستگی دارد. وقتیکه در مخلوط‌های بازیافت سرد از سیمان و خاکستر بادی بعنوان افزودنی استفاده شود، غلتک‌زنی باید بلافاصله بعد از پخش و قبل از آنکه مخلوط گیرش پیدا کند، آغاز شود. در موارد مصرف خاکستر بادی نوع C معمولاً باید از افزودنی‌های شیمیایی دیرگیر برای تأخیر در گیرش مخلوط استفاده کرد تا زمان کافی بین مرحله پخش و شروع غلتک‌زنی فراهم شود.

درخصوص مخلوط‌های بازیافت سرد درجا که در آنها از کف قیر استفاده می‌شود غلتک‌زنی سطح باید حداکثر تا ۲/۵ ساعت پس از اجرای مخلوط صورت پذیرد ضمن اینکه متغیرهایی مانند نوع قیر خالص بکار رفته جهت کف قیر، درصد آب کف قیر، سیمان مصرفی و رطوبت مخلوط در مرحله تراکم، سرعت باد، دما و رطوبت نسبی محیط در تغییر زمان شروع تراکم مؤثر است.

برای کوبیدن مخلوط آسفالت بازیافت سرد از غلتک‌های چرخ لاستیکی به وزن حداقل ۲۵ تن یا بیشتر و غلتک‌های فلزی ارتعاشی از نوع پاچه فیلی به وزن ۱۲ تن یا بیشتر استفاده می‌شود. غلتک‌های چرخ لاستیکی که برای این منظور استفاده می‌شود باید خود کششی بوده و در ردیف جلو تعداد چرخ‌های فرد و در ردیف عقب تعداد چرخ‌های زوج داشته باشد. غلتک‌های چرخ لاستیکی مورد استفاده در اینکار باید دارای چرخ‌هایی کاملاً صاف و صیقلی باشد.

عرض غلتک‌های ارتعاشی که برای عملیات تراکم مخلوط‌های بازیافت سرد بکار میرود باید اصولاً بین ۱/۲ تا ۲/۴ متر و قطر آنها بین ۰/۹ تا ۱/۵ متر باشد. زمانیکه عمق عملیات بازیافت زیاد باشد (عموماً بیش از ۲۰ سانتیمتر) باید در عملیات تراکم از غلتک‌های ارتعاشی که از ترکیب وزن استاتیک و نیروی دینامیکی بهره می‌گیرند، استفاده شود.

در مورد مخلوط‌های بازیافت سرد با امولسیون از آنجا که زمان شروع غلتک زنی با شکستن امولسیون موجود در مخلوط همزمان است کاهش آب ناشی از شکستن امولسیون جهت مرطوب کردن سطح سنگدانه‌ها کافی بوده و نیازی به آب اضافی جهت تراکم مخلوط نمی‌باشد.

از آنجا که وزن دستگاه‌های بازیافت مورد استفاده در روش بازیافت سرد درجا و گریدهای مربوطه تقریباً زیاد است، عبور چرخ‌های لاستیکی این دستگاه‌ها باعث تراکم اولیه نسبتاً بالای مخلوط می‌گردد از این رو باید در زمان شروع غلتک زنی و نیز

اعمال نیروی مناسب تراکمی در فواصل بین چرخ‌های دستگاه بازیافت و گریدرها دقت شود تا از ظهور پدیده شیار افتادگی^۱ در مسیر عبور این چرخ‌ها جلوگیری شود. تقدم و تأخر استفاده از انواع غلتک‌های چرخ لاستیکی، استاتیکی، ارتعاشی، چرخ فلزی و پاچه فیلی به عوامل متعددی نظیر عمق و ضخامت لایه بازیافتی، دانه‌بندی مصالح و نوع مواد افزودنی بستگی دارد که باید در هر پروژه مورد توجه قرار گرفته ضمن اینکه از جدول شماره ۶-۱ نیز به عنوان راهنما می‌توان استفاده کرد.

در خصوص مخلوط‌های بازیافت سرد درجا حاوی امولسیون قیر به جهت وجود آب فراوان در امولسیون حداکثر ضخامت‌های پخش و تراکم مخلوط محدود می‌گردد. برای مخلوط‌های امولسیونی معمولی حداکثر ضخامت ۱۰ سانتیمتر و برای مخلوط‌های حاوی افزودنی خاکستر بادی ۱۵ سانتیمتر می‌باشد.

در صورتیکه مخلوط آسفالت بازیافت سرد دارای سفتی^۲ بالا باشد و در ضخامت ۷۵ میلیمتر یا بیشتر پخش گردد تجربه ثابت کرده است که غلتک لاستیکی بزرگ برای مرحله اول تراکم بسیار مؤثر خواهد بود در حالیکه برای مخلوط‌های بازیافتی دارای افزودنی سیمان یا خاکستر بادی استفاده از غلتک فلزی ارتعاشی مناسبتر است.

جدول ۶-۱ انواع غلتک‌های مناسب جهت مراحل مختلف تراکم مخلوط‌های آسفالت بازیافت سرد

مراحل تراکم			نوع مصالح بازیافت سرد
تراکم نهایی	تراکم میانی	تراکم اولیه	
غلتک‌های فلزی	غلتک‌های فلزی غلتک چرخ لاستیکی غلتک ارتعاشی	غلتک‌های فلزی غلتک چرخ لاستیکی غلتک ارتعاشی غلتک پاچه بزی	مخلوط‌های با دانه‌بندی توپر
غلتک فلزی	غلتک‌های فلزی غلتک‌های چرخ لاستیکی غلتک ارتعاشی	غلتک‌های فلزی	مخلوط‌های با دانه‌بندی باز

۶-۵- سایر عوامل و کنترل‌های اجرایی

۶-۵-۱- عوامل اجرایی

کلیه عوامل اجرایی روش بازیافت باید آموزش دیده باشند و شناخت کافی از مراحل مختلف روش اجرا و کارکردن با دستگاه را داشته باشند. علاوه بر مسائل فنی رعایت نکات ایمنی از دیگر فاکتورهای مهم در زمان کارکردن با قیر داغ و کف قیر است.

۶-۵-۲- دو بندگی‌های طولی

سطح اتصال دو بندگی‌های طولی باید کاملاً عمود بر یکدیگر باشد پیوستگی قشر بازیافت در محل دو بندگی‌ها از نکات مهم اجرایی است که اتخاذ تدابیر خاص را می‌طلبد. به منظور اطمینان از تداوم تزریق قیر در محل دو بندگی‌ها پارامترهای مربوط به تولید کف قیر (نظیر فشار، حرارت و...) باید کنترل شود.

1 – Rutting
2 – Stiffness

۶-۵-۳- کنترل ضخامت

اگرچه ضخامت بازیافت توسط دستگاه کنترل اجرا می‌شود معهداً باید حداقل در هر ۵۰ متر طول، ضخامت لایه اجرایی در هر دو طرف دستگاه بطور دستی نیز کنترل شود.

۶-۵-۴- سرعت دستگاه

اگر چه هر قدر سرعت دستگاه بیشتر باشد پیشرفت فیزیکی بهتری حاصل می‌آید اما به دلیل ارتباط مستقیم میان سرعت دستگاه و میزان کف قیر تزریقی سرعت دستگاه باید در محدوده بهینه‌ای قرار داشته باشد تا ضمن حصول پیشرفت فیزیکی مناسب، کیفیت کار نیز قابل قبول باشد. عموماً سرعت بین ۶ تا ۸ متر در دقیقه، با توجه به نوع مصالح موجود در عمق بازیافت، محدوده بهینه می‌باشد.

۶-۵-۵- درصد رطوبت

درصد رطوبت یکی از مهمترین عوامل در تعیین کیفیت مخلوط بازیافتی است. میزان انرژی مورد نیاز جهت رسیدن به تراکم مطلوب، نحوه پخش کف قیر و امولسیون قیر در مخلوط و پتانسیل ترک خوردن سطح مخلوط بعد از پخش با درصد رطوبت و همگنی مخلوط ارتباط مستقیم دارند. درصد رطوبت بهینه اختلاط و درصد رطوبت بهینه تراکم که در جریان طرح اختلاط آزمایشگاهی تعیین شده است، باید توسط دستگاه تأمین و مستمراً کنترل و آزمایش شود.

۶-۵-۶- اندود سطحی قشر کوبیده شده بازیافت

اگرچه مخلوط بازیافت بلافاصله پس از اجرا دارای پایداری مناسب بوده و قابلیت عبور ترافیک را دارد اما عبور ترافیک موجب جدا شدن ریزدانه‌ها از روی سطح و باقی ماندن مصالح درشت‌دانه و شن‌زدگی سطح خواهد شد. برای جلوگیری از جدا شدن سنگدانه‌ها و نیز جلوگیری از نفوذ آب‌های سطحی به داخل قشر بازیافتی توصیه می‌شود تا در زمان مناسب نسبت به اندود کردن سطح به کمک اندود سطحی با قیر امولسیون SS-۱ که به نسبت ۵۰/۵۰ با آب رقیق شده باشد و به مقدار ۰/۴ تا ۰/۶ لیتر در متر مربع اقدام شود. اندود کردن سطح باید زمانی انجام شود که رطوبت بهینه مصالح سنگی در ۱۰۰ میلیمتر رویه قشر ۵۰ درصد تقلیل یافته باشد. مدت زمان مورد نیاز برای اینکار به شرایط آب و هوایی بستگی دارد اما عموماً باید حداقل یک هفته به سطح مخلوط کوبیده شده فرصت داد تا قبل از اجرای اندود قیری فرصت دفع رطوبت اضافی را داشته باشد.

۶-۵-۷- درصد مواد افزودنی

درصدهای کف قیر یا سیمان به کمک طرح اختلاط مشخص می‌شود اما رواداری مواد قیری نباید بیش از $\pm 0/5$ درصد باشد. سیستمی که عمل تزریق قیر و سایر افزودنی‌ها را به مصالح خرده آسفالتی بر عهده دارد مهمترین بخش از فرآیند بازیافت جهت دستیابی به کیفیت مطلوب و مشخصه مخلوط بازیافتی را تشکیل می‌دهد. از این رو سیستم افزودن کف قیر یا امولسیون قیر باید مورد بازبینی و کنترل دائم و دقیق قرار گیرد تا از گرفتگی و انسداد سیستم جلوگیری شود. باید از بکار بردن وسایل غیر استاندارد در

تهیه کف قیر پرهیز شود و دستگاه کف قیر مجهز به سیستمی باشد که در مورد انسداد هر یک از نازل‌ها و یا سیستم مربوطه به اپراتور مربوطه هشدار دهد.

۶-۵-۸- محدودیت دمای محیط

عملیات بازیافت سرد نباید در شرایط مرطوب و یا بارانی اجرا شود و چنانچه احتمال داده شود که قبل از تکمیل عملیات این وضعیت ادامه دارد می باید از شروع کار خودداری شود. از سوی دیگر چنانچه دمای محیط برای مخلوط‌های حاوی کف قیر کمتر از ۱۰ درجه سانتیگراد و برای مخلوط‌های حاوی امولسیون قیر کمتر از ۵ درجه سانتیگراد باشد نباید عملیات اجرایی آغاز گردد. باید به این موضوع توجه داشت که عامل دما می‌تواند در مراحل تشکیل کف قیر مؤثر باشد. چنانچه دمای مصالح زیاد پائین باشد، کف قیر بطور کامل درمیان مخلوط توزیع نمی‌شود. از این رو باید از اجرای روش بازیافت سرد درجا به کمک کف قیر در دماهای پائین (بخصوص دماهای پائین تر از ده درجه سانتیگراد) اجتناب شود. همچنین اگر در طول اجرا، دمای محیط برای مخلوط‌های حاوی کف قیر و امولسیونی به ترتیب به کمتر از ۱۲ و ۷ درجه سانتیگراد رسید جز رگلاژو تراکم، سایر فعالیت‌های اجرایی باید متوقف گردد. وقتیکه سرعت باد بیش از ۳۰ کیلومتر در ساعت باشد پخش مواد افزودنی در سطح راه مجاز نمی‌باشد.

۶-۵-۹- محدودیت زمانی برای پخش و کوبیدن مخلوط

محدودیت فاصله زمانی بین پخش و کوبیدن مخلوط بازیافت سرد به نوع افزودنی‌های مصرفی بستگی دارد. در شرایط مصرف دو یا چند افزودنی متفاوت در مخلوط بازیافت محدودیت‌های زیر باید رعایت شود:

سیمان : سه ساعت

آهک : ۲۴ ساعت در صورتیکه سطح راه مرطوب نگهداشته شود

امولسیون قیر : قبل از شکستن امولسیون

کف قیر : ۷ روز در صورتیکه سطح راه مرطوب نگهداشته شود

۶-۵-۱۰- روکش آسفالتی

قبل از اجرای روکش آسفالتی روی لایه بازیافت سرد، نواقص موجود باید اصلاح و اندود سطحی به مورد اجرا گذاشته شود. در مواردیکه از کف قیر و امولسیون قیر در لایه بازیافت استفاده می‌شود، میزان آب موجود باید به مقدار تعیین شده که در مشخصات خصوصی تعیین می‌شود، تقلیل یافته باشد. مدت لازم معمولاً برای عمل‌آوری یک تا دو هفته به طول می‌انجامد که عمدتاً به موقعیت جغرافیایی منطقه، شرایط آب و هوایی، دانه‌بندی مخلوط برحسب اینکه پیوسته یا باز باشد، فصل اجرای عملیات بازیافت، ضخامت لایه کوبیده شده بستگی دارد.

۶-۵-۱۱- ترافیک

پیمانکار مسئول تأمین عبور و مرور و تسهیلات مربوط به ترافیک عمومی در طول محور و محدوده اجرای عملیات می‌باشد و باید موجبات ایمنی و روانی ترافیک را فراهم نماید. عبور ترافیک از روی مخلوط بازیافت سرد کوبیده شده حداقل تا دو ساعت بعد از اتمام عملیات کوبیدن مجاز نمی‌باشد.

۶-۵-۱۲- کنترل یکنواختی سطح تمام شده

سطح نهائی بازیافت سرد درجا از نظر انطباق با رقوم مندرج در نقشه‌های اجرائی نباید بیش از ± ۱۲ میلیمتر و یکنواختی آن وقتیکه با شمشه‌های ۳ متری در امتدادهای طولی و عرضی اندازه‌گیری می‌شود بیش از ± ۷ میلیمتر باشد. هرگونه ناهمواری و اندازه‌گیری‌های خارج از محدوده فوق باید طبق نظر دستگاه نظارت اصلاح شود.

فصل هفتم

اجرای عملیات و ماشین‌آلات بازیافت سرد کارخانه‌ای

۱-۷- کلیات

بازیافت سرد کارخانه‌ای یکی از گزینه‌هایی است که نمی‌توان آنرا در فرآیند کلی بازیافت نادیده گرفت بویژه در شرایطی که تولید بیشتر، کنترل و ارزیابی دقیقتر مصالح خرده آسفالتی و کیفیت مخلوط آسفالت سرد نهائی و یا استفاده از این مخلوط‌ها در نوسازی‌ها و یا بهسازی‌هایی که افزایش ضخامت روسازی و یا تقویت آن از طریق اجرای لایه‌های جدید تثبیت شده آسفالتی، مورد نظر باشد. استفاده از این روش در مقایسه با بازیافت سرد درجا موجب هزینه‌های اضافی ناشی از حمل مصالح بازیابی شده به کارگاه مرکزی و سپس حمل مجدد به محل مصرف می‌گردد.

آسفالت سرد کارخانه‌ای تولید شده با کف قیر را تحت شرایط معینی می‌توان در کارگاه انبار کرد و برحسب نیاز از آن استفاده نمود، اما در مورد آسفالت سرد کارخانه‌ای تهیه شده با امولسیون قیر ذخیره سازی امکان پذیر نیست.

۲-۷- مصالح بازیابی شده

مصالح بازیابی شده شامل خرده آسفالت و مصالح سنگدانه‌ای از روسازی که معمولاً در جریان بازیابی خرد و شکسته شده‌اند، به کارگاه مرکزی حمل و در صورت لزوم مجدداً توسط سنگ شکن به اندازه‌های قابل قبول شکسته و سرند می‌شوند، ضمن آنکه دستگاه‌های تخصصی و پیشرفته جدید بازیافت سرد نیز می‌توانند مصالح روسازی را در ضخامت‌های کنترل شده بازیافت و به اندازه‌های از پیش تعیین شده که غالباً از ۵۰ میلیمتر تجاوز نمی‌کند تبدیل نموده و سپس به کارخانه آسفالت و یا کارگاه مرکزی حمل نمایند.

این مصالح برحسب اینکه شامل خرده آسفالتی و یا سنگدانه‌ای باشند باید جداگانه انبار شده و ارتفاع آنها از سه متر تجاوز نکند تا از چسبندگی سنگدانه‌های خرده آسفالتی به یکدیگر، ناشی از بار مرده و یا تأثیر دمای محیط، جلوگیری شود، مضافاً آنکه ماشین‌آلات راهسازی نیز نبایستی روی مصالح انبارشده تردد نمایند.

برای به حداقل رسانیدن چسبیدن سنگدانه‌های خرده آسفالتی به یکدیگر و نیز کاهش نفوذ آب‌های سطحی به حجم مصالح و در نهایت تقلیل درصد رطوبت آنها، هماهنگ کردن بین عملیات شکستن و فراوری این مصالح و تغذیه مستقیم و بدون تأخیر آنها به کارخانه آسفالت برای تولید آسفالت سرد مؤثر می‌باشد تا بدین ترتیب از انباشت بیش از اندازه مواد خرده آسفالتی و ذخیره سازی آنها در کارگاه جلوگیری شود.

۳-۷- کارخانه آسفالت

کارخانه‌های آسفالت مرکزی در عملیات بازیافت سرد می‌تواند از نوع مرحله‌ای^۱، استوانه‌ای^۲، و یا پیوسته^۳، باشد. کارخانه‌های ثابت باید شامل یک مخلوط‌کن و تجهیزات اضافی برای تغذیه قیر (امولسیون قیر و یا کف قیر)، آب، مصالح خرده آسفالتی و سنگدانه‌ای، و سایر افزودنی‌ها نظیر آهک و سیمان به واحد مخلوط کننده^۴ باشد. بدیهی است که پمپ‌های قیر و آب باید کاملاً با جریان تغذیه مصالح به مخلوط کن مرتبط باشند تا مخلوط یکنواخت و همگنی تولید شود.

۴-۷- تهیه مخلوط آسفالت سرد

در شرایط استفاده از کارخانه‌های مرحله‌ای و یا استوانه‌ای، مصالح خرده آسفالت RAP، مصالح سنگدانه‌ای RAM، و مصالح سنگی جدید در صورت لزوم، قیر (کف قیر یا امولسیون قیر)، آب و مواد مضاف نظیر سیمان و یا آهک با درصدهای وزنی تعیین شده براساس طرح اختلاط آزمایشگاهی، قبل از تغذیه به واحد مخلوط کننده، توزین می‌شوند و پس از اختلاط کامل و قبل از آنکه پیمانہ دیگری تولید شود به کامیون‌های حمل کننده آسفالت و یا سیلوهای ذخیره تخلیه می‌گردد. در کارخانه‌های آسفالت پیوسته، دستگاه‌های تغذیه کننده به طور خودکار نسبت‌های از پیش تعیین شده را برای هر یک از اجزاء مصالح خرده آسفالت و سنگدانه‌ای، قیر، آب و مواد مضاف، بطریق حجمی اندازه‌گیری می‌کنند که در نهایت به تولید مخلوطی می‌انجامد که طی یک جریان پیوسته و مداوم به کامیون حمل آسفالت یا به سیلوی ذخیره، تخلیه می‌شود. در این کارخانه‌ها چون تغذیه قیر به مخلوط از طریق حجمی انجام می‌گیرد، اصلاحات مربوط به اختلاف حجم قیر، ناشی از تغییرات حرارت در صورت لزوم باید اعمال شود. برحسب اینکه قیر مصرفی در آسفالت سرد از نوع امولسیون یا کف قیر باشد باید برای کارخانه‌های آسفالت مورد نظر شرایطی فراهم شود تا تولید نهائی از کیفیت مشخصاتی لازم برخوردار باشد.

۱-۴-۷- تولید آسفالت با امولسیون قیر

در جریان استفاده از امولسیون قیر، مدت زمان اختلاط قیر و مصالح از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که باید مورد توجه قرار گیرد. مخلوط‌های آسفالتی امولسیونی معمولاً به زمان اختلاط کمتری در مقایسه با آسفالت گرم نیاز دارند زیرا اختلاط بیش از اندازه (بیش از ۴۰ ثانیه با توجه به نوع امولسیون) موجب عریان شدن پوشش قیری سنگدانه‌ها و یا شکستن زود هنگام امولسیون قیر می‌شود که نهایتاً آنرا غیر قابل مصرف می‌سازد. در عین حال زمان اختلاط کمتر از اندازه نیز پوشش قیری ناقص و غیرکافی برای سنگدانه‌ها ایجاد می‌کند. لذا برای تنظیم مدت زمان اختلاط باید در واحد مخلوط کننده کارخانه آسفالت اصلاحاتی انجام گیرد، تا امولسیون قیری بطور یکنواخت در مخلوط پراکنده شود.

1 – Batching Plant
2 – Drum Mixer
3 – Continuous Plant
4 – Mixer

در کارخانه‌های آسفالت پیوسته، با تغییر نحوه قرار گیری بازوهای^۱ واحد مخلوط کننده، تغییر محل لوله پخش قیر به داخل این واحد، و یا تغییر ارتفاع دریچه انتهائی مخلوط کن و بهمین ترتیب در کارخانه آسفالت استوانه‌ای با تغییر شیب استوانه^۲ و یا جابجائی محل ورودی قیر داخل استوانه، می‌توان مدت زمان اختلاط را تنظیم و کنترل کرد.

علاوه بر مدت زمان اختلاط، مقدار آب در مخلوط نیز باید مناسب و بهینه باشد تا امولسیون قیر بطور یکنواخت در این مخلوط پراکنده و توزیع شود، و کارائی مناسب را تأمین نماید، ضمن آنکه مصرف بیش از اندازه آب نیز موجب تأخیر در شروع عملیات تراکم و عمل آوری می‌گردد. مقدار آب بهینه مخلوط در جریان طرح اختلاط تعیین می‌شود.

قابل یادآوری است که در مخلوط‌های امولسیونی بدون توجه به روش اختلاط و مدت زمان آن، اندود شدن کامل سنگدانه بویژه درشت دانه‌ها، امکان پذیر نبوده ضمن آنکه از نظر فنی و مقاومتی نیز پوشش قیری صددرصد الزامی نیست. در این مخلوط‌ها اندود قیری کامل سنگدانه در جریان پخش و غلتک‌زدن تأمین می‌شود. در مواردی نیز اندود شدن مصالح سنگی با قیر امولسیون به کیفیت کانی‌های سنگ یعنی قلیائی^۳ و یا اسیدی^۴ بودن و برحسب اینکه درصد SiO_2 یا سیلیس آن چه اندازه می‌باشد مربوط می‌شود که باید این ارزیابی‌ها و مطالعات در مرحله طرح اختلاط انجام گیرد.

۷-۴-۲- تولید آسفالت با کف قیر

برای تولید مخلوط‌های بازیافت سرد کارخانه‌ای با کف قیر با انجام تغییراتی در کارخانه آسفالت، از طریق ساخت و نصب محفظه تولید کف قیر می‌توان آنرا مورد استفاده قرار داد. در این نوع محفظه‌ها یک نازل^۵ ساده اما با کارائی مناسب برای تنظیم دقیق میزان انبساط و نیمه عمر کف قیر طراحی شده است. کف قیر تولیدی را همانند هوا می‌توان تحت فشار قرار داد که این امر موجب می‌شود تا یک محفظه فولادی استوانه‌ای با حجم حدود ۹۰ لیتر در داخل مخلوط کن کارخانه آسفالت نصب شود. چنین نازلی قابلیت تولید کف قیر با حجم تقریبی ۹۰۰ لیتر و نسبت انبساط ۱۵ را دارا می‌باشد.

محفظه انبساط به کمک یک حلقه در سر جای خود نصب می‌شود که در آن فشار قیر در حد چهار اتمسفر^۶ ثابت نگاهداشته شده و آنرا به شکل پودر از طریق نازل با جریانی از پیش تعیین شده به داخل سیلندر اصلی تزریق می‌کند. یک پمپ آب با قابلیت تأمین فشار ۲ اتمسفر برای پخش آب به داخل قیر و به کمک یک نازل مخروطی که در بالای کلاهک آن نصب می‌شود، بکار می‌رود. کف قیر به کمک لوله ای که در بخش مخروطی محفظه قرار دارد به سنگدانه‌ها تزریق می‌شود. چنین محفظه‌ای بعنوان یک بخش مجزا می‌تواند بر سر راه خط انتقال قیر کارخانه که در کارخانه‌های معمولی برای ساخت مخلوط‌های آسفالتی متداول وجود دارد، نصب شود.

در جریان تشکیل کف قیر و فاز انبساط، تمامی نازل تحت فشاری قرار دارد که به تزریق مناسب کف قیر به مخلوط مصالح کمک می‌کند.

برای آنکه مخلوط بازیافتی تولیدی با کف قیر کیفیت مناسبی داشته باشد، موارد زیر در کارخانه آسفالت باید رعایت شود:

- 1 – Paddles
- 2 – Drum
- 3 – Basic Rock
- 4 – Acidic Rock
- 5 – Nozzle
- 6 – Bar

- الف - نوع قیر (در درجه بندی نفوذی) و دمای آن از اهمیت بالایی برخوردار است، (قیر با درجه نفوذ ۱۵۰/۲۰۰ و دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد بهترین نتیجه را می‌دهد).
- ب - برای سهولت در اختلاط با سنگدانه‌ها استفاده از پودر آهک مدنظر قرار گیرد.
- ج - یک پمپ آب با امکان کنترل جریان خروجی برای دستیابی به مقدار آب لازم و مناسب افزوده شده به مخلوط در خط تولید قرار داده شود.
- د - زمان تزریق کف قیر به داخل مخلوط کن باید به اندازه کافی طولانی باشد تا از کفایت اختلاط، اطمینان حاصل شود.
- ه - برای اطمینان از بکارگیری فشار لازم در جریان تولید مخلوط، ضروری است تا یک فشار سنج در مسیر خط تزریق، نصب شود.
- و - تزریق قیر باید تحت کنترل باشد.
- ز - درصد رطوبت مصالح نیز کنترل شده و تقریباً حدود یک درصد بیشتر از رطوبت بهینه تنظیم شود. این امر به دلیل جبران افت رطوبت در جریان دپو مصالح صورت می‌پذیرد. اصولاً اختلاط و تشکیل کف قیر در دمای مشخصی انجام می‌شود.
- ح - علاوه بر موارد فوق الذکر اعمال تغییرات دیگر در تجهیزات کارخانه مورد نیاز نیست.

۷-۵- پخش و تراکم مخلوط‌های امولسیون

پخش مخلوط‌های آسفالت سرد امولسیون کارخانه‌ای مشابه مخلوط‌های آسفالتی گرم با فینیشر انجام می‌شود، ضمن اینکه آسفالت مصرفی اساس قیری را می‌توان با استفاده از ماشین‌های مخصوص پخش آسفالت، نیز پخش نمود. مخلوط‌های آسفالت سرد به ویژه مخلوط‌های با دانه‌بندی باز در مقایسه با مخلوط‌های آسفالتی گرم کارایی کمتری دارند. در صورتیکه چسبیدن مخلوط آسفالتی به اتوی ماشین پخش آسفالت، یا پاره شدگی در سطح اتفاق بیفتد، می‌توان آنها را در کارخانه با تنظیم زمان مخلوط کردن و مقدار آب اختلاط برطرف نمود. معمولاً گرم کردن اتوی ماشین پخش آسفالت، این نواقص را اصلاح نمی‌کند، اما ممکن است روغنکاری آن با گازوئیل آنرا کاهش دهد.

این مخلوط‌ها را می‌توان در لایه‌هایی به ضخامت ۷۵ میلیمتر یا بیشتر با توجه به حداکثر درستی سنگدانه‌ها اجرا نمود، اما متراکم نمودن و عمل آمدن قشرهای به ضخامت ۵۰ تا ۷۵ میلیمتر خیلی سریعتر صورت می‌گیرد. گاهی اوقات برای عمل آوری مخلوط‌های آسفالت سرد امولسیون با ضخامت زیاد، مخلوط‌های آسفالتی هوا داده می‌شود. بنابراین ممکن است اجرای لایه‌های ضخیم به غیر یکنواختی مخلوط اجرا شده منجر گردد. شکست امولسیون قیری مخلوط‌های آسفالتی سرد با دانه‌بندی باز معمولاً هنگامی که مخلوط آسفالتی پخش می‌شود، انجام می‌گیرد. برای مخلوط‌های آسفالتی سرد با دانه‌بندی پیوسته برخلاف مخلوط‌های با دانه‌بندی باز، شکست امولسیون قیری مدت زمانی پس از پخش مخلوط اتفاق می‌افتد. همچنین به علت اینکه مقدار آب زیادی برای مخلوط کردن در مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته به کار می‌رود، عملیات غلتک زنی تا کسب پایداری کافی مخلوط آسفالتی به تأخیر می‌افتد. هر چه آب سریعتر از مخلوط جدا شود، می‌توان مخلوط را زودتر متراکم نمود. بنابراین استفاده از مقدار کمی سیمان پرتلند در مخلوط، باعث افزایش سرعت عمل آمدن آن خواهد شد. برای غلتک زنی اولیه مخلوط‌های آسفالتی سرد با دانه‌بندی باز، از غلتک‌های چرخ فولادی و برای مخلوط‌های آسفالتی سرد با دانه‌بندی پیوسته، غلتک‌های ارتعاشی یا چرخ لاستیکی استفاده می‌شود.

باید به این نکته توجه نمود که غلتک زنی زیاد با غلتک‌های ارتعاشی در مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته موجب جابجایی قیر و آب در مخلوط می‌گردد. برای غلتک زنی مرحله دوم می‌توان از غلتک‌های چرخ لاستیکی یا چرخ فولادی استفاده نمود. معمولاً از غلتک‌های چرخ فولادی برای غلتک زنی مرحله پایانی استفاده می‌شود.

قبل از غلتک زنی اولیه مخلوط‌های بازیافت با دانه‌بندی باز، مقدار کمی مصالح سنگی پرکننده در حدود ۳ تا ۵ کیلوگرم در متر مربع روی سطح آسفالت به طور یکنواخت پخش می‌گردد. این مصالح سنگی ممکن است ماسه درشت خشک یا مصالح رد شده از الک شماره ۱۰ باشد. مصالح سنگی پرکننده مانع از کنده شدن مخلوط آسفالتی در اثر آمد و شد و یا غلتک‌زنی بعدی خواهد گردید. اجرای روکش مخلوط‌های سرد امولسیون تا موقعیکه آب موجود در امولسیون کاملاً تبخیر نشده باشد باید به تأخیر بیفتد. مدت زمان تأخیر به شرایط آب و هوایی و فصل کاری دوره اجرای عملیات بستگی دارد که حداقل یک هفته و حداکثر دو هفته می‌باشد.

۶-۷- پخش و تراکم مخلوط‌های با کف قیر

این مخلوط‌ها را می‌توان برای مدتی در کارگاه انبار کرد و یا اینکه بلافاصله پس از تولید پخش و متراکم نمود. مدت انبار کردن به میزان رطوبت و مقدار فیلر فعال آن از جمله سیمان بستگی دارد. مخلوط‌هاییکه بیش از یک درصد سیمان دارند باید هر چه زودتر پخش و متراکم شوند. برای کمتر از یک درصد سیمان می‌توان آنرا مدت زیادی در انبار نگهداری کرد مشروط بر آنکه :

- مصالح انبار شده کوبیده نشده باقی مانده و ماشین‌آلات راهسازی و دیگر وسایل سنگین روی آن تردد نمایند.
 - ارتفاع انبار کردن مصالح فقط به اندازه ای باشد که برای بارگیری با لودر محدودیت ایجاد نکند.
 - مقدار آب مخلوط در رطوبت بهینه باقی بماند که می‌توان آنرا با پخش آب اضافی روی انبار مصالح تأمین کرد یا اینکه آنرا با پوشش‌های پلاستیکی غیر قابل نفوذ بگونه‌ای محافظت نمود تا تحت تأثیر مستقیم دمای محیط و در نتیجه افت بیش از اندازه رطوبت بهینه قرار نگیرند.
 - حداقل ضخامت لایه کوبیده شده این مخلوط ۱۰ سانتیمتر و حداکثر آن ۳۰ سانتیمتر است و برای ضخامت‌های بیشتر مخلوط باید در دو لایه اجرا و کوبیده شود.
- پخش و کوبیدن مخلوط‌های بازیافت سرد کارخانه‌ای با کف قیر و درصد اختلاط و تراکم آن مشابه اجرای عملیات برای مخلوط‌های بازیافت درجا و رعایت مواردی است که در فصل ششم توضیح داده شده است.

فصل هشتم

آزمایش‌های کنترل کیفیت و مشخصات بازیافت سرد

۱-۸- کلیات

آزمایش‌های کنترل کیفیت با روش‌های استاندارد شده برای دستیابی به نتایجی که معرف کیفیت مصالح مصرفی و عملیات اجرایی درجا یا کارخانه‌ای در فرآیند بازیافت سرد باشد و مقایسه این نتایج با مشخصات فنی بشرح جزئیات ارائه شده در این فصل و سایر فصول انجام می‌شود.

برای نمونه‌گیری مصالح مصرفی و انجام آزمایش‌ها تهیه یک برنامه کاری بمنظور ارزیابی مراحل ساخت و اجرا و تشخیص اعمال تغییرات و اصلاحات احتمالی و یا ضروری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در تهیه این برنامه، نوع عملیات باید مورد توجه قرار گیرد تا روش نمونه‌گیری و نوع آزمایش انتخابی برای ارزیابی کیفیت مورد نظر مناسب بوده و اطمینان حاصل شود که نتایج حاصله می‌تواند موجب دستیابی به کیفیت واقعی محصول و عملیات اجرایی و در نهایت مقایسه آنها با ضوابط و معیارهای مشخصات فنی پروژه گردد.

افزون بر کنترل‌های فوق، فرآیند بازیافت سرد نیاز به حضور عوامل و نیروی انسانی با تجربه و کارآمد دارد که پیمانکار باید الزاماً آنرا رعایت کند.

۲-۸- روش‌های نمونه‌گیری و آزمایش

طی جدول شماره ۱-۸، نوع آزمایش‌ها، هدف آنها، تناوب نمونه‌گیری، محل و موقعیت اخذ نمونه در جریان تولید مخلوط بازیافت سرد و اجرای آن، خلاصه شده است.

روش‌های نمونه‌گیری و انجام آزمایش روی نمونه‌ها باید با آئین‌نامه‌های آستو یا ASTM که در فصل‌های دوم تا چهارم این دستورالعمل تصریح شده است، مطابقت داشته باشد.

۳-۸- نتایج آزمایش‌ها و مشخصات

نتایج هر یک از انواع آزمایش‌های کنترل مندرج در جدول ۱-۸ باید با ضوابط و معیارهای فنی مربوطه بشرح زیر و مشخصات فنی خصوصی پروژه مطابقت داشته باشد.

۱-۳-۸- دانه‌بندی مخلوط بازیافت

الف - روش نمونه‌گیری از مخلوط‌های تثبیت شده با قیر با روش ASTM-D979 (یا آستو T168) و دانه‌بندی آنها بعد از آزمایش جداسازی قیر (آستو T164) با روش آستو T130 انجام می‌گیرد.

ب - دانه‌بندی مخلوط تثبیت شده برحسب اینکه با امولسیون قیر یا کف قیر تهیه شده باشد باید به ترتیب با یکی از دانه‌بندی های ارائه شده در فصل سوم و یا چهارم برابری داشته و در مورد مخلوط‌های کف قیری، حداقل رد شده از الک شماره ۲۰۰ آن حداقل ۵ درصد باشد.

ج - اندازه بزرگترین سنگدانه مخلوط باید با دانه‌بندی تعیین شده در فصل‌های سوم و یا چهارم و یا دانه‌بندی قید شده در مشخصات فنی خصوصی برابری داشته باشد، زیرا وجود سنگ‌دانه‌های بزرگتر از اندازه تصریح شده در مشخصات موجب افزایش پدیده جدایش سنگ‌دانه‌ها، کشیده شدن مخلوط در سطح راه در موقع پخش و ایجاد بافت گسسته با فضای خالی زیاد می‌شود.

۸-۳-۲- مواد قیری و افزودنی‌ها

روش نمونه‌گیری، روش آزمایش و مشخصات هر یک از مواد چسبنده قیری و افزودنی‌ها شامل امولسیون قیر، کف قیر، سیمان، آهک و خاکستر بادی به تفکیک در فصل‌های دوم، سوم و چهارم ارائه شده است. لذا نتایج حاصل از نمونه‌گیری‌ها و آزمایش‌های کنترل کیفیت برای مواد فوق‌الذکر باید ضمن مقایسه با مشخصات و نهایتاً انطباق و یا عدم انطباق آنها با ضوابط فنی مربوطه تعیین شود.

۸-۳-۳- مقدار آب اضافه شده به مخلوط بازیافت

الف - کنترل مقدار آب لازم اضافه شده به مخلوط قیری در جریان اختلاط مصالح سنگی و قیر، و نیز در مرحله کوبیدن مخلوط از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مقدار آب لازم برای مخلوط‌های امولسیون قیر در مرحله تهیه طرح اختلاط، بشرح فصل سوم تعیین می‌شود.

ب - در مورد مخلوط‌های کف قیر آب لازم در مرحله اختلاط مصالح سنگی قبل از افزودن قیر به مخلوط برحسب مقدار قیر مصرفی متفاوت است. در شرایطی که درصد قیر طرح اختلاط کمتر از ۲ درصد باشد مقدار آب مورد نیاز حدود ۹۰-۶۰ درصد رطوبت بهینه و برای بیشتر از آن ۸۰-۵۰ درصد و بطور کلی ۱۰۰-۷۰ درصد منظور می‌گردد. درصد رطوبت بهینه در آزمایشگاه با روش آشتو T180 تعیین می‌شود.

درصد رطوبت مخلوط کف قیری برای کوبیدن، در صورتیکه از غلتک‌های سنگین و ارتعاشی استفاده شود کمتر از رطوبت بهینه و در محدوده ۷۵-۶۰ درصد آن قرار دارد.

بهرحال مقادیر آب مورد نیاز مخلوط کف قیری در مرحله اختلاط مصالح سنگی و قبل از افزودن قیر و در مرحله عملیات تراکم باید در جریان تهیه طرح اختلاط آزمایشگاهی تعیین شود و این مقادیر مبنای مقایسه با نتایج آزمایش‌های کنترل کیفیت قرار گیرد.

ج - برای کنترل مقدار آب مخلوط قیری و اندازه‌گیری آن و مقایسه نتایج حاصله با رطوبت تعیین شده در جریان تهیه طرح اختلاط، باید از آزمایش‌های زیر استفاده شود.

ASTM-D1461 یا آشتو T110

ASTM-D2216 یا آشتو T265

ASTM-D4643 با روش میکروویو^۱

۸-۳-۴- آب باقیمانده در مخلوط کوبیده شده و بعد از عمل آوری

مقدار آب باقیمانده در لایه بازیافت سرد کوبیده شده و بعد از عمل آوری بمنظور تعیین زمان اجرای روکش مورد نیاز می‌باشد. در مورد مخلوط‌های کف قیری این مقدار آب در ۱۰ سانتیمتر بخش فوقانی لایه باید کمتر از ۵۰ درصد رطوبت بهینه باشد که با روش T180 آشتو در آزمایشگاه محاسبه می‌شود. برای مخلوط‌های امولسیون قیری مدت عمل آوری می‌تواند حداقل یک‌هفته و حداکثر دو هفته باشد که در واقع به شرایط آب و هوایی فصل کاری و ضخامت لایه بستگی دارد. به‌رحال برای اندازه‌گیری آب باقیمانده باید از روش‌های استاندارد تصریح شده در زیر بند ۸-۳-۳- استفاده شود. مقدار آب مجاز باقیمانده در مخلوط برای اجرای روکش آسفالتی جدید باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود.

۸-۳-۵- کیفیت مقاومتی مخلوط کف قیر

کیفیت مقاومتی مخلوط‌های تثبیت شده با کف قیر در این دستورالعمل براساس مقاومت کششی غیرمستقیم و مقاومت فشاری تک محوری و حساسیت آن در مقابل رطوبت بر مبنای نسبت مقاومت اشباع کششی غیرمستقیم به مقاومت خشک کششی غیرمستقیم تعیین شده است که حداقل ضوابط فنی مربوطه و چگونگی روش‌های آزمایش برای هر یک از آنها با جزئیات مربوطه شامل نحوه ساخت نمونه و شرایط عمل آوری در فصل چهارم ارائه شده است.

۸-۳-۶- کنترل مقدار مواد قیری و افزودنی‌ها مصرفی

مواد قیری و افزودنی‌های مصرفی در بازیافت سرد درجا، یا بازیافت کارخانه‌ای باید به اندازه‌ای باشد تا مخلوط تثبیت شده به مشخصات فنی لازم و طراحی شده برسد، زیرا مصرف بیش از اندازه این مواد بعد از عبور ترافیک موجب ظهور و بروز تغییر شکل‌های طولی و عرضی بستر تثبیت شده و کمتر از مقدار مشخصه موجب جدایش سنگ‌دانه‌ها از بستر می‌گردد. در مورد مخلوط‌های تثبیت شده با قیر حاوی سیمان و خاکستر بادی، مصرف بیشتر یا کمتر از مقدار مشخص شده در طرح اختلاط به ترتیب موجب سفتی مخلوط و گرایش آن به شکنندگی و ترک خوردگی از سوئی و کاهش مقاومت ناشی از نرمی مخلوط می‌گردد. لذا برای تعیین مقادیر واقعی مصرف مواد قیری و افزودنی‌ها باید کلیه سیستم‌های توزین و اندازه‌گیری دستگاه بازیافت درجا یا کارخانه آسفالت و نیز مخلوط‌های تثبیت شده مورد کنترل قرار گرفته و نتایج حاصله با مقادیر طرح اختلاط مقایسه شود. رواداری مقدار قیر اضافه شده برای این مخلوط‌ها نسبت به قیر بهینه طرح اختلاط $\pm 0/4$ درصد و برای سایر افزودنی‌های تکمیلی شامل سیمان و آهک $\pm 0/3$ درصد است. برای هر پروژه رواداری‌های مربوطه باید در مشخصات فنی خصوصی قید شود.

۸-۳-۷- تراکم نسبی لایه بازیافت

تراکم نسبی لایه بازیافت کوبیده شده در سطح راه برای هر یک از دو نوع مخلوط تثبیت شده قیری باید بشرح زیر کنترل و محاسبه شده و تراکم نسبی مشخصه نیز برای هر پروژه در مشخصات فنی خصوصی مربوطه قید شود.

الف - مخلوط امولسیون قیری

تراکم نسبی این مخلوطها برحسب درصدی از حداکثر وزن مخصوص نظری^۱ نمونه آزمایشگاهی که با روش آشتو T209 یا ASTM-D2041 تعیین می‌شود و یا درصدی از وزن مخصوص حقیقی نمونه که با روش T166 آشتو طریق A و یا ASTM-D2726 اندازه‌گیری می‌شود، محاسبه می‌گردد. حداقل تراکم نسبی برحسب حداکثر وزن مخصوص نظری ۹۰ درصد و برحسب وزن مخصوص حقیقی ۹۵ درصد مشخص شده است.

ب - مخلوط کف قیر

حداقل تراکم نسبی مشخصه این مخلوط، برای لایه‌های تا ضخامت ۱۷۵ میلیمتر باید ۹۸ درصد حداکثر وزن مخصوص خشک اندازه‌گیری شده با روش T180 آشتو باشد. در شرایطی که ضخامت لایه بیش از ۱۷۵ میلیمتر باشد، تراکم نسبی مشخصه برای هر یک از دو نیمه لایه فوقانی و تحتانی باید جداگانه اندازه‌گیری و محاسبه شود. حداقل تراکم نسبی مشخصه برای نیمه لایه فوقانی ۹۸ درصد و برای نیمه لایه تحتانی که از میانگین تراکم نسبی دو لایه بدست می‌آید نباید کمتر از ۹۷ درصد باشد. حداکثر وزن مخصوص خشک فوق، روی مصالح نمونه‌گیری شده از گمانه آزمایش تراکم و در رطوبت درجای این مصالح (تک نقطه‌ای) با روش T180 تعیین می‌شود.

۸-۳-۸- تعیین فضای خالی مخلوط

درصد فضای خالی مخلوط بازیافت با امولسیون قیر، با استفاده از روش‌های T209 و T166 آشتو و مطابق رابطه ارائه شده در T269 آشتو بشرح زیر محاسبه می‌شود.

$$[(\text{وزن مخصوص حقیقی T166}) \div (\text{حداکثر وزن مخصوص تئوریک T269}) - 1] \times 100 = \text{درصد فضای خالی}$$

در این دستورالعمل محدوده قابل قبول فضای خالی مخلوط‌های امولسیونی، ۱۴-۹ درصد تعیین شده است. محدوده مشخصه فضای خالی برای هر پروژه باید در مشخصات فنی خصوصی مربوطه قید شود.

۸-۳-۹- عمق تراش و آسیاب شده روسازی

عمق و ضخامت تراش و آسیاب شده روسازی به ازای هر ۲۰۰ متر طول در هر خط عبور یا کمتر و نهایتاً به تشخیص دستگاه نظارت باید کنترل و با نقشه‌های اجرائی مقایسه شود. این ضخامت در هر پروژه باید در مشخصات فنی خصوصی مربوطه قید شده و رواداری آن نیز معین شود.

۸-۳-۱۰- ضخامت لایه پخش شده با فینیشر در بازیافت کارخانه‌ای

اندازه‌گیری ضخامت لایه بازیافت کارخانه‌ای پخش شده با فینیشر در تمام عرض آسفالت، بین اتصال طولی با خط مجاور و کنار خارجی آسفالت با هدف کنترل ضخامت طراحی شده از نظر کفایت توان سازه‌ای سیستم روسازی در هر ۲۰۰ متر طول یا کمتر در

^۱ - Theoretical Max . Specific Gravity

هر خط عبور و یا مطابق دستورات دستگاه نظارت و همچنین شیب عرضی آن با شمشه فلزی بلافاصله بعد از پخش و قبل از کوبیدن باید اندازه‌گیری شود و در صورت لزوم بر مبنای نقشه‌های اجرایی اصلاح گردد.

۸-۳-۱۱- کالیبراسیون وسایل و تجهیزات اختلاط دستگاه بازیافت

وسایل و واحدهای مختلف بازیافت سرد درجا و یا ماشین‌آلات نظیر در روش بازیافت کارخانه‌ای به منظور حصول اطمینان از مصرف مقادیر لازم افزودنی‌های قیری و هیدرولیکی و نیز آب در جریان اختلاط مصالح سنگی با این مواد باید منظم‌اً کنترل و در صورت لزوم کالیبره شوند.

در طول اجرای عملیات بازیافت سیستم‌های اندازه‌گیری و توزین مکانیکی و یا خودکار و هوشمند باید مورد آزمایش قرار گرفته و در صورت لزوم اصلاح و تنظیم شوند.

۸-۳-۱۲- اندازه‌گیری دمای مصالح در جریان اختلاط

بمنظور ارزیابی تأثیر دمای مصالح مصرفی و مخلوط نهائی بازیافت بر عملیات اختلاط و کوبیدن مخلوط‌های تثبیت شده، حداقل روزی چهاردفعه دو بار صبح و دوبار بعدازظهر، دمای مصالح در جریان اختلاط و بعد از پخش و قبل از کوبیدن باید اندازه‌گیری شود. این دما باید بیشتر از حداقل تعیین شده در مشخصات فنی خصوصی پروژه باشد. در شرایط استفاده از قیر ۸۵/۱۰۰ برای تهیه کف قیر درجه حرارت مصالح در زمان اختلاط باید بیشتر از ۱۰ درجه سانتیگراد باشد.

۸-۳-۱۳- یکنواختی سطح آسفالت

رقوم روی آسفالت بعد از کوبیدن و یکنواختی سطح تمام شده آن باید با دوربین نقشه‌برداری و شمشه فلزی سه متری اندازه‌گیری و کنترل شده و با ضوابط تعیین شده در این دستورالعمل و مشخصات فنی خصوصی بازیافت سرد درجا و یا کارخانه‌ای مقایسه شود. ناهمواری‌های بیش از اندازه تعیین شده در مشخصات باید اصلاح شود.

۸-۳-۱۴- اندازه‌گیری قیر موجود و قیر مخلوط بازیافت

درصد قیر موجود مصالح بازیافت و درصد کل قیر در مخلوط نهائی بازیافت اندازه‌گیری می‌شود تا اختلاف آنها که باید معادل درصد قیر طرح اختلاط بوده و مقدار قیری باشد که به مخلوط افزوده می‌شود تعیین گردد. رواداری قیر طرح اختلاط در این دستورالعمل $\pm 0/4$ درصد مشخص شده است. حدود رواداری قیر در هر پروژه باید در مشخصات فنی خصوصی مربوطه قید شود.

جدول ۸-۱ نمونه گیری و آزمایش های کنترل کیفیت

ردیف	نوع آزمایش	هدف آزمایش	تعداد نمونه	موقعیت نمونه گیری و مقدار آن
۱	دانه بندی مخلوط بازیافت سرد	انطباق با دانه بندی مشخصات بشرح فصل های سوم و چهارم بویژه از نظر حداکثر ابعاد سنگدانه ها و درصد رده شده از الک شماره ۲۰۰	بازای هر یک کیلومتر در هر خط عبور - یا حداقل یک نمونه روزانه	از تسمه نقاله، ریسه یا مخلوط نهائی پخش شده در جریان بازیافت درجا و یا از کارخانه آسفالت، حداقل ۱۰ کیلوگرم
۲	کیفیت مواد چسبنده قیری شامل امولسیون قیر، کف قیر، و مواد هیدرولیکی شامل سیمان، آهک، خاکستر بادی	مقایسه با مشخصات مربوطه برای هر یک بشرح فصل های دوم تا چهارم	از هر محموله روزانه یک آزمایش یا با تناوب بیشتر، مطابق دستورات دستگاه نظارت	از قسمت های مربوطه در دستگاه بازیافت درجا و یا از کارخانه مرکزی
۳	مقدار آب اضافه شده به مخلوط بازیافت سرد	تنظیم مقدار آب مخلوط برای اختلاط کامل قیر و سنگدانه ها و کوبیدن مخلوط و مقایسه با مقدار آب تعیین شده در طرح اختلاط بشرح فصل های سوم و چهارم	بازای هر یک کیلومتر در هر خط عبور	از مخلوط پخش شده در سطح راه قبل از کوبیدن و یا از کارخانه آسفالت حداقل ۱۰ کیلوگرم
۴	مقدار آب باقیمانده در مخلوط کوبیده شده بعد از عمل آوری	برای تعیین زمان اجرای روکش و مقایسه با مشخصات مربوطه برحسب نوع قیر مصرفی	به ازای هر ۲ کیلومتر در هر خط عبور	از مخلوط کوبیده شده و در تمام ضخامت آن
۵	کیفیت مقاومتی مخلوط های کف قیری شامل ITS، UCS، TSR و سایر آزمایش ها	مقایسه با مشخصات تعیین شده برای هر یک بشرح فصل چهارم و مشخصات فنی خصوصی	به ازای هر یک کیلومتر در هر خط عبور	برحسب نوع آزمایش بعد از پخش و یا بعد از کوبیدن و کربندی به مقدار و یا اندازه های لازم
۶	مقادیر مواد چسبنده قیری و هیدرولیکی	اندازه گیری قیر و موادهیدرولیکی مصرفی در جریان بازیافت و مقایسه آن با مقادیر تعیین شده در طرح اختلاط بشرح فصل های سوم و چهارم و کنترل دقت سیستم های توزین	حداقل روزی یکبار	کنترل سیستم های توزین، وزن خرده آسفالت مصرفی توسط تسمه نقاله وزنی، مخازن ذخیره مواد قیری و هیدرولیکی دستگاه بازیافت یا کارخانه آسفالت
۷	تعیین تراکم نسبی مخلوط کوبیده شده برحسب درصدی از وزن مخصوص نمونه آزمایشگاهی، برای مخلوط تهیه شده با کف قیر و یا امولسیون قیر	مقایسه با تراکم نسبی مشخصه بشرح فصل هشتم و مشخصات فنی خصوصی پروژه	بازای هر ۵۰۰ متر در هر خط عبور و یا کمتر طبق دستورات دستگاه نظارت	به ازای هر ۵۰۰ متر در هر خط عبور بعد از تکمیل عملیات تراکم و قبل از عبور ترافیک

ادامه جدول ۸-۱ نمونه گیری و آزمایش های کنترل کیفیت

ردیف	نوع آزمایش	هدف آزمایش	تعداد نمونه	موقعیت نمونه گیری و مقدار آن
۸	محاسبه فضای خالی مخلوط نهائی بازیافت با امولسیون قیر	مقایسه با مشخصات، بشرح فصل هشتم و مشخصات فنی خصوصی پروژه	بازای هر یک کیلومتر د رهر خط عبور	بعد از پخش و قبل از کوبیدن مخلوط حداقل ۱۰ کیلوگرم
۹	عمق کنده شده و آسیاب شده روسازی موجود	انطباق با ضخامت تعیین شده در نقشه های اجرایی	اندازه گیری ضخامت درجا هر ۲۰۰ متر طول یا کمتر	اندازه گیری در محل اتصال طولی و در کنار خط
۱۰	ضخامت پخش آسفالت در روش بازیافت کارخانه ای با فینیشر	تعیین ضخامت لایه پخش شده در عرض آسفالت و مقایسه آن با مشخصات و نقشه های اجرایی از نظر کنترل کفایت توان سازهای سیستم روسازی	به ازای هر ۲۰۰ متر یا کمتر یا طبق دستورات دستگاه نظارت	اندازه گیری ضخامت لایه در جریان پخش آسفالت یا فینیشر در جفاصل اتصال اتصال طولی با خط مجاور و کنار خارجی آسفالت
۱۱	کالیبراسیون وسایل و ابزار اختلاط دستگاه بازیافت سرد درجا یا کارخانه آسفالت مرکزی	برای اطمینان از مصرف مقادیر لازم قیر و افزودنی های هیدرولیکی و آب و کنترل دقت و صحت آنها	قبل از شروع کار و در جریان اجرای عملیات و به تشخیص دستگاه نظارت هر موقع که لازم باشد	کلیه سیستم های توزین مکانیکی و یا سیستم های خودکار دستگاه بازیافت درجا و یا کارخانه آسفالت
۱۲	تعیین درجه حرارت مصالح بازیافت	برای ارزیابی تأثیر دما بر عملیات اختلاط و کوبیدن	حداقل چهار بار روزانه دوبار صبح و دوبار بعدازظهر	از مواد و مصالح متشکله بازیافت موقع مخلوط کردن و مخلوط پخش شده قبل از کوبیدن
۱۳	رقوم سطح روسازی موجود قبل از عملیات بازیافت و رقوم سطح نهائی بعد از پخش و کوبیدن مخلوط بازیافت	مقایسه با مشخصات و رقوم نقشه های اجرایی و اصلاح نواقص موجود	اندازه گیری رقوم روی آسفالت موجود قبل از بازیابی و بعد از کوبیدن مخلوط بازیافت در طبق دستورات دستگاه نظارت	با دوربین نقشه برداری یا وسایل مشابه نظیر Profilograph
۱۴	درصد قیر مصالح بازیابی شده و مخلوط نهائی بازیافت	تعیین مقدار قیری که باید به مخلوط اضافه شود و درصد کل قیر مخلوط نهائی بازیافت	هر ۱ کیلومتر در هر خط عبور یا حداقل یک نمونه در روز	از مصالح بازیابی شده روسازی یا از دپو این مصالح قبل از شروع عملیات بازیافت و از مخلوط نهائی بازیافت، حداقل ۱۰ کیلوگرم

ABRASION: the wearing away of a surface material of a pavement structure by tire friction or snowplow scraping.

ABSOLUTE VISCOSITY: a method of measuring viscosity using the poise (Pascal•second) as the basic measurement unit utilizing a partial vacuum to induce flow in the viscometer. Test temperature of 140°F (60°C) is typical for an asphalt binder.

AGE-HARDENED: decrease in the penetration and/or increase in viscosity of asphalt binder caused by loss of volatiles and oxidization of the asphalt binder during manufacture (predominately during mixing) and subsequent exposure to weather.

AGGREGATE: a hard, inert, granular material of mineral compositions such as sand, gravel, shell, slag or crushed stone.

ALLIGATOR CRACKING: cracks which occur in asphalt pavements in areas subjected to repeated traffic loading which develop into a series of interconnected cracks, with many-sided, sharp-angled pieces, characteristically with an alligator pattern.

ASPHALT: a dark brown to black cementitious material in which the predominating constituents are bitumens that occur in nature or are obtained by petroleum processing.

ASPHALT BINDER (CEMENT): a dark brown to black cementitious material, in which the predominant constituents (+99%) are bitumens which occur in nature or are obtained as residue in petroleum manufacturing, and are used as binder in asphalt-aggregate mixes.

ASPHALT CONCRETE: a high quality mixture of asphalt binder and carefully graded coarse and fine aggregates.

ASPHALT EMULSION: an emulsion of asphalt binder and water that contains a small amount of an emulsifying agent. A heterogeneous system containing two normally immiscible phases (asphalt and water) in which the water forms the continuous phase of the emulsion, and minute globules of asphalt form the discontinuous phase. Asphalt emulsion may be either anionic i.e., electro-negatively charged asphalt globules or cationic, i.e., electro-positively charged asphalt globule types, depending upon the emulsifying agent.

ASPHALT LEVELING COURSE: a layer of asphalt concrete, of variable thickness, used to eliminate irregularities in the contour of an existing pavement surface prior to a superimposed treatment or construction.

ASPHALT PAVEMENT: pavement consisting of asphalt concrete layer(s) on supporting courses such as concrete base (composite pavement), asphalt treated base, cement treated base, granular base, and/or granular subbase placed over the subgrade.

ASPHALT REJUVENATOR: a liquid petroleum product, usually containing maltenes, added to asphalt paving material to restore proper viscosity, plasticity, and flexibility to the asphalt.

ASPHALT-RUBBER: a blend of asphalt binder, reclaimed tire rubber, and certain additives in which the rubber component is at least 15% by weight of the total blend and has reacted in the hot asphalt binder sufficiently to cause swelling of the rubber particles.

ASPHALTENES: the high molecular weight hydrocarbon fraction precipitated from asphalt by a designated paraffinic naphtha solvent at a specified solvent-asphalt ratio.

ATTERBERG LIMITS: soil moisture values used to define liquid and plastic conditions and thus to identify silty, clayey, and organic soils in the Unified Soil Classification System.

AVERAGE ANNUAL DAILY TRAFFIC (AADT): the average daily amount of vehicles in all lanes and both directions in a one year period.

BASE COURSE: a layer of specified or selected material of planned thickness constructed on the subgrade or subbase for the purpose of serving one or more functions such as distributing load, providing drainage, minimizing frost action, etc.. It may be composed of crushed stone, crushed slag, crushed or uncrushed gravel and sand, reclaimed asphalt pavement or combinations of these materials.

BATCH PLANT: a manufacturing facility for producing asphalt concrete that proportions the aggregate constituents into the mix by weighted batches and adds asphalt binder by either weight or volume.

BENKELMAN BEAM: a device for measuring the rebound deflection of a pavement surface, under a standard load, to assess/evaluate its structural adequacy.

BINDER: an adhesive composition of asphalt binder modifies asphalt binder, etc. which is primarily responsible for binding aggregate particles together.

BITUMEN: a class of black or dark-colored (solid, semisolid or viscous) cementitious substances, natural or manufactured, composed principally of high molecular weight hydrocarbons, of which asphalts, tars, and pitches are typical.

BITUMINOUS: containing or treated with bitumen.

BLEEDING (FLUSHING): presence of excess asphalt material on the pavement surface caused by too much asphalt binder in the mix, too heavy of an application of an asphalt sealant, excessive crack or joint sealant, and/or low mix air void content. Traffic action and warm temperatures can contribute to the occurrence of bleeding.

CAPE SEAL: a surface treatment where a chip seal is followed by the application of either a slurry seal or micro-surfacing.

CATIONIC EMULSIONS: emulsions where the asphalt binder globules in solution having a positive charge.

CHIP: particles of crushed coarse aggregate that can be one size or uniformly graded.

CHIP SEALING: a surface treatment using one or more layers of chips and asphalt emulsion binder.

CLAY: a cohesive soil composed of very fine particles which is defined by the Atterberg Limits in the Unified Soil Classification System.

COARSE AGGREGATE: that portion of aggregate retained on the No. 4 (4.75 mm) sieve.

COLD IN-PLACE RECYCLING (CIR): a rehabilitation treatment involving cold milling of the pavement surface and remixing with the addition of asphalt emulsion, Portland cement or other modifiers to improve the properties, followed by screeding and compaction of the reprocessed material in one continuous operation.

COLD PLANING (CP): a process which uses equipment where a rotating drum with helical placed teeth grinds up the pavement into pieces to the desired depth.

CONSISTENCY: describes the degree of fluidity or plasticity of asphalt binder at any particular temperature. The consistency of asphalt binder varies with temperature so it is necessary to use a common or standard temperature when comparing the consistency of one asphalt binder with another.

COMPACTION: the densification or compressing of a given volume of material into a smaller volume of a soil or pavement layer by means of mechanical manipulation such as rolling or tamping, with or without vibration.

COMPACTION CURVE: the curve showing the relationship between the dry unit weight (density) and the moisture content of a soil for a given compaction effort.

COST EFFECTIVENESS: an economic measure defined as the effectiveness of an action or treatment divided by the present worth of life-cycled costs.

CRACK FILLER: a material, usually bituminous or silicon-based, used to fill and seal cracks in existing pavements.

CRACK REPAIR: maintenance in which badly deteriorated cracks are repaired through patching operations.

CRACK SEALING: a maintenance treatment in which a crack is filled with a sealant. This may or may not include prior routing and/or drying with hot compressed air.

CROSS SECTION: a profile cut or illustration taken at right angle to the centerline of the longitudinal axis of a roadway.

CRACK TREATMENT: maintenance in which cracks are directly treated through sealing or filling operations.

CRUSHED GRAVEL: aggregate produced from the crushing of gravel, with most particles having at least one crushed face.

CRUSHER: equipment that is used to reduce larger stone and gravel to smaller, usable sizes.

CRUSHED BASE EQUIVALENCY: a measure expressing the contribution of each pavement component in terms of an equivalent thickness of crushed granular base.

CRUSHED STONE: aggregate produced from the crushing of quarried rock, with all faces fractured.

CUPPING: a depression in the pavement profile along crack edges caused by damaged or weakened sub-layers.

CUTBACK ASPHALT: asphalt binder that has been blended with distillates.

DEEP PATCHING: a maintenance treatment where the asphalt concrete and granular layers are removed and replaced with asphalt concrete with or without granular material below.

DEEP STRENGTH PAVEMENT: a flexible pavement with at least 7 inches (175 mm) of asphalt concrete on 6 inches (150 mm) or more of granular base.

DENSE-GRADED AGGREGATE: an aggregate that has a particle size distribution such that when it is compacted, the resulting voids between the aggregate particles, expressed as a percentage of the total space occupied by the material, are relatively small.

DENSIFICATION: act of increasing the density of a mixture during the compaction process.

DENSITY: the degree of solidity that can be achieved in a given mixture that will be limited only by the total elimination of voids between particles of mass. The mass of material divided by the volume, expressed as pounds per cubic foot (kilograms per cubic meter).

DISTRESS MANIFESTATION INDEX (DMI): a numerical value representing the cumulative amount of various types and severity of pavement surface distress.

DRAINAGE LAYER: an open graded base, stabilized or unstabilized, for pavements, usually 4 to 6 inches (100 to 150 mm) in thickness, and connected to a positive drainage system.

DRYER: an apparatus that will dry aggregates and heat them to specified temperatures.

DRY MIXING PERIOD: the interval of time between the beginning of the charge of dry aggregates into the pugmill and the beginning of the application of bituminous material.

DRUM MIX PLANT: a manufacturing facility for producing asphalt concrete that continuously proportions aggregates, heats and dries them in a rotating drum, and simultaneously mixes them with a controlled amount of asphalt binder. The same plant may produce cold-mixed bituminous paving mixtures without heating and drying the aggregates.

DUCTILITY: the ability of a substance to be drawn out or stretched thin. Ductility is considered an important characteristic of asphalt binders. In many applications, the presence or absence of ductility is usually considered more significant than the actual degree of ductility.

DYNAFLECT: a device to measure the surface deflection of a pavement under a sinusoidal varying load in order to evaluate its structural adequacy.

EDGE DETERIORATION: secondary cracks and spalls that occur within a few mils (mm) of the edges of a primary crack.

END RESULT SPECIFICATION: the specification of an end result to be achieved in construction, as compared to a method type of specification.

EMBANKMENT: a raised fill structure whose surface is higher than the natural adjoining surface.

EMULSION: an abbreviated term for asphalt emulsion binder which is produced in a high shear mixing device using asphalt binder, water, admixture, and in some cases, distillates.

EQUIVALENT SINGLE AXLE LOAD (ESAL): a concept which equates the damage to a pavement structure caused by the passage of a non-standard axle load to a standard 18,000 pound (80 kiloNewton) axle load, in terms of calculated or measured stress, strain or deflection at some point in the pavement structure or in terms of equal conditions of distress or loss of serviceability.

EROSION: wear caused by the force of wind or moving water.

FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER (FWD): a device to measure the surface deflection of a pavement under a dynamic load in order to evaluate its structural adequacy.

FATIGUE: decrease of strength due to repetitive loading.

FAULTING: a difference in elevation between opposing sides of a crack caused by weak or moisture-sensitive foundation material.

FILLER: general term for a fine material that is inert under the conditions of use and serves to occupy space and may improve physical properties.

FINE AGGREGATE: aggregate passing the No. 4 (4.75 mm) sieve and predominantly retained on the No. 200 (0.075 mm) sieve.

FINES: proportion of a soil or clay and silt particles in an aggregate, finer than No. 200 (0.075 mm) sieve size.

FLEXIBLE PAVEMENT: a pavement structure usually composed of one or more asphalt concrete layers over an unbound aggregate or stabilized base and prepared subgrade soil.

FLUSHING: see bleeding.

FRACTURED FACES: an angular, rough or broken surface of an aggregate particle created by crushing, by other artificial means or by nature.

FRICTION: resistance to the relative movement of one body (tire) sliding, rolling or flowing over another body (pavement surface) with which it is in contact.

FRICTION COURSE: open graded mix or surface treatment to improve road surface friction.

FRICTION NUMBER: the ability of an asphalt paving surface, particularly when wet, to offer resistance to slipping or skidding. Aggregates containing non-polishing minerals with different wear or abrasion characteristics provide continuous renewal of the pavement's texture maintaining a high friction number surface.

FROST HEAVE: the rise in a pavement surface caused by the freezing of pore water and/or the creation of ice lenses in the underlying layers.

FULL DEPTH PAVEMENT: a flexible pavement structure which has asphalt concrete layer(s), usually greater than 6 inches (150 mm) in total thickness, placed directly in contact with the subgrade.

GEOSYNTHETIC: woven or non-woven man-made materials designed for such applications as drainage, filtration, separation, and strengthening. They can be subdivided into various groups: geotextiles, geowebs, geocomposites, geogrids or geodrains.

GRADATION: the proportions by the mass of soil, rock, granular or other materials distributed in specified particle size ranges.

GRADE: the elevation of a surface or the slope of the surface.

GRADIENT: the amount of slope along a specific line or route, such as road surface, channel or pipe.

GRANULAR BASE EQUIVALENCY (GBE): a measure expressing the contribution of each pavement component in terms of an equivalent thickness of granular base.

GRAVEL: granular material predominantly retained on the No. 4 (4.75 mm) sieve and resulting from natural disintegration and abrasion of rock or processing of weakly bound conglomerate.

HEAT-PLANER: a device that heats the pavement surface and uses a stationary or vibrating flat steel blade or plate to shear off up to 1 inch (25 mm) of the heated surface.

HEAT-SCARIFIER: a device that heats the pavement surface and uses stationary steel tines/teeth or rotating milling drum to loosen or remove up to 1 inch (25 mm) of the heated surface.

HIGH FLOAT EMULSION: an emulsion with petroleum distillates that have a gel quality imparted by the addition of various chemicals.

HOT MILLER: a device that heats the pavement surface and uses a rotating milling drum that has cutting tools mounted over the cylindrical surface to mill off up to 2 inches (50 mm) of the heated surface.

HOT IN-PLACE RECYCLING (HIR): a rehabilitation treatment used to correct asphalt pavement surface distress involving heating, removal of old asphalt concrete, processing, mixing with new aggregates, new asphalt binder and/or recycling agents, relaying, and compacting to meet specifications for conventional asphalt concrete.

HVEEM METHOD: method to design hot mix asphalt concrete.

INFRARED HEATING: involves heating a pavement using invisible heat rays having wavelengths longer than those of red light, thus direct contact of flame on pavement surface is avoided. Sometimes referred to as radiant or indirect heating.

IMPERMEABILITY: the resistance to passage of air and water into or through a pavement.

IMPERVIOUS: resistant to movement of water or air.

INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX (IRI): a summary statistic which characterizes road surface longitudinal roughness, based on the simulation of a standard quarter car model moving over the longitudinal profile of the road.

KINEMATIC VISCOSITY: a method of measuring viscosity of an asphalt binder using the millimeters squared per second (stoke) as the basic measurement and is related to the absolute viscosity by the specific gravity of the asphalt binder. Test temperature of 275°F (135° C) is typical for an asphalt binder.

LIFE-CYCLE COST ANALYSIS: an investigation of the present and future costs of each repair alternative, taking into account the effects of both inflation and interest rates on expenses over the life of the project.

LIPPING: an upheaval in the pavement profile along crack edges. Lipping may be the result of bulging in underlying Portland cement concrete base or the infiltration and buildup of material in the crack.

LOAD EQUIVALENCY FACTOR: a ratio of relative pavement damage to the number of Equivalent Single Axes Loads (ESAL's) a particular loading on a vehicle axle assembly represents.

LONGITUDINAL: parallel to the centerline of the pavement or laydown direction.

LONGITUDINAL CRACK: a distress manifestation where the crack or crack pattern in the pavement is parallel to the direction of travel.

MAINTENANCE: well timed and executed activities to ensure or extend pavement life until deterioration of the pavement layer materials and subgrades is such that a minimum acceptable level of serviceability is reached, and/or it is more cost-effective to rehabilitate the pavement.

MAINTENANCE MIX: a mixture of bituminous material and mineral aggregate applied at ambient temperature for use in patching holes, depressions, and distress areas in existing pavements using appropriate hand or mechanical methods in placing and compacting the mix. These mixes may be designed for immediate use or for use out of a stockpile at a later time without further processing.

MARSHALL METHOD: a method to design hot mix asphalt concrete.

MARSHALL STABILITY AND FLOW: design properties (resistance and deformation) of asphalt concrete determined from specific laboratory tests on a test specimen.

MAXIMUM SIZE (OF AGGREGATE): in specifications for or descriptions of aggregate, the smallest sieve opening through which the entire amount of aggregate is required to pass.

METHOD BASED SPECIFICATION: a specification involving the methodology or technique to be applied to a construction item, such as number of passes of a certain weight of roller.

MICROWAVE: short electromagnetic waves sometimes used to heat asphalt paving mixtures for recycling.

MILLING: removing the surface of a pavement with a self-propelled machine equipped with a transverse rotating cutter drum.

MINERAL FILLER: a finely divided mineral product at least 70 percent of which will pass a No. 200 (0.075 mm) sieve. Pulverized limestone is the most commonly manufactured filler, although other stone dust, hydrated lime, Portland cement, and certain natural deposits of finely divided mineral matter are also used.

NOMINAL MAXIMUM SIZE (OF AGGREGATE): in specifications for or descriptions of aggregate, the smallest sieve opening through which the entire amount of the aggregate is permitted to pass.

OPEN-GRADED AGGREGATE: an aggregate that has a particle size distribution such that when it is compacted, the voids between the aggregate particles, expressed as a percentage of the total space occupied by the material, remain relatively large.

OVERLAY: a new lift(s) of asphalt concrete placed on an existing pavement to restore the ride or surface friction or strengthen the structure.

PASS: a single passage of a reclaimer, motor grader or roller.

PATCHING: a maintenance treatment to repair failures or replace surface material.

PAVING GRADE: a classification system used to define asphalt binder types used for the production of hot mix asphalt for road, street, highway and other applications.

PAVEMENT: the layers above the subgrade.

PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI): a composite measure of surface distress types, severity, and frequency.

PAVEMENT STRUCTURE: the subbase, base, and wearing surface layers.

PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEM (PMS): a wide spectrum of activities including the planning or programming of investments, design, construction, maintenance, and the periodic evaluation or performance used to provide an effective and efficient road network.

PENETRATION: consistency of an asphalt binder expressed as the vertical distance that a standard needle penetrates a sample of the material under standard conditions of loading, time, and temperature.

PERFORMANCE BASED SPECIFICATION: a specification involving minimum or maximum levels of performance items at certain ages, such as roughness, surface distress, surface friction or structural adequacy.

PERMEABILITY: a property of a material measured in terms of the rate with which it allows passage of water or air.

PETROGRAPHIC ANALYSIS: a procedure to assess the durable qualities of aggregate through its petrology and structural fabric.

PLASTICITY INDEX (PI): the numerical difference between the liquid limit and the plastic limit of a soil.

PLASTIC LIMIT (PL): the lowest moisture content at which a soil remains plastic.

PLATE LOAD TEST: a method to determine the load bearing capacity of a subgrade, subbase or base, by measuring the deflection of a plate under a static load.

POISE: a centimeter-gram-second unit of absolute viscosity, equal to the viscosity of a fluid in which a stress of one dyne per square centimeter is required to maintain a difference of velocity of one centimeter per second between two parallel planes in the fluid that lie in the direction of flow and are separated by a distance of one centimeter.

POLISHING: the phenomena caused by the abrasive action of vehicle tires on aggregate particles that reduces the frictional properties of the surface.

PORTLAND CEMENT: a hydraulic cement comprised of very fine grains produced by pulverizing clinkers consisting essentially of hydraulic calcium silicates and calcium sulphate.

PORTLAND CEMENT CONCRETE (PCC): the product of mixing Portland cement, mineral aggregates, water, and in some cases additives such as an air entering agent which result in a hardened structural material after hydration.

POTHOLE: localized distress in an asphalt-surfaced pavement resulting from the breakup of the asphalt surface and possibly the asphalt base course. Pieces of asphalt pavement created by the action of climate and traffic on the weakened pavement are then removed under the action of traffic, leaving a hole.

POTHOLE PATCHING: the repair of severe, localized distress in asphalt-surfaced pavements. This maintenance activity is generally performed by the agency responsible for the roadway and is intended to be a temporary repair at best. Pothole patching is not intended to be a permanent repair. Full-depth reconstruction of the distressed areas is necessary for a permanent repair in most instances.

PREVENTIVE MAINTENANCE: major maintenance treatments to retard deterioration of a pavement, such as chip seal, rout and crack seal, etc.

PRIME COAT: the application of low-viscosity liquid asphalt or asphalt emulsion to penetrate and bind a granular base prior to the placement of asphalt concrete.

PROFILE: (longitudinal) a chart line indication of elevations, grades, and distances and usually indicating the depth the cut and height of fill of the grading work commonly taken along the centerline of the proposed road alignment.

PROFILE: (transverse) a cross-sectional plot of surface elevations across a road.

PUGMILL: a device for mixing hot or cold aggregates and reclaimed asphalt pavement with an asphalt binder, recycling agent or stabilizing additive(s) to produce a homogeneous mixture.

QUALITY ASSURANCE (QA): a system of activities whose purpose is to provide assurance that the overall quality control job is in fact being done effectively. It involves a continuing evaluation of the effectiveness of the overall control program with a view to having corrective measures initiated where necessary. For a specific product or service, this involves verifications, audits, and the evaluation of the quality factors that affect the specification, production, inspection, and use of the product or service.

QUALITY CONTROL (QC): the overall system of activities whose purpose is to provide a quality of product or service that meets the needs of users. The aim of quality control is to provide quality that is satisfactory, adequate, dependable, and economic.

RAVELING: the wearing away of a pavement surface through the dislodging of aggregate particles and/or matrix of asphalt binder and fine particles.

RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP): asphalt pavement or paving mixture removed from its original location for use in recycled hot mix asphalt, Cold Recycled mixes or for Full Depth Reclamation.

RECYCLING AGENT: a blend of hydrocarbons with or without minor amounts of other materials that is used to alter or improve the properties of the aged asphalt in a recycled asphalt paving mixture.

RECYCLED HOT MIX ASPHALT (RHM): a mixture of reclaimed asphalt pavement with the inclusion, if required, of asphalt binder, asphalt emulsion, cut-back asphalt, recycling agent, mineral aggregate, and mineral filler.

REHABILITATION: a term in pavement management involving the restoration of pavement serviceability through such actions as overlays.

REJUVENATOR: an additive used in the recycling of reclaimed asphalt pavement.

RIDING COMFORT INDEX (RCI): a measure to characterize the ride quality of a pavement on a scale of 0 to 10.

ROAD FRICTION: a general term related to the frictional or friction number properties of a road surface.

ROUT: a groove cut along a crack in asphalt pavements to act as a reservoir for crack sealant.

RUTTING: a distortion occurring in the wheelpaths of an asphalt concrete pavement.

SAND: granular material passing the No. 4 (4.75 mm) sieve and predominantly retained on the No. 200 (0.075 mm) sieve, either naturally occurring or the product of processing, i.e., manufactured sand.

SAND ASPHALT: a mixture of sand and asphalt binder, cutback or asphalt emulsion. It may be prepared with or without special control of aggregate grading and may or may not contain mineral filler. Either mixed-in-place or plant mix construction may be employed. Sand asphalt is used in construction of both base and surface courses.

SATURATES: a mixture of paraffinic and naphthenic hydrocarbons that on percolation in a paraffinic solvent are not absorbed on the absorbing medium. Other compounds such as naphthenic and polar aromatics are absorbed thus permitting the separation of the saturate fraction.

SCARIFICATION: ripping (usually with grader teeth), reshaping, and recompacting a pavement surface and/or base and/or subbase layer.

SCARIFICATION: removal of the top 1 to 2 inches (25 to 50 mm) of an asphalt pavement using a bank of tines/teeth or a rotating milling drum.

SCREEN: in laboratory work an apparatus, in which the apertures are circular, for separating sizes of material.

SECONDARY CRACK: a crack extending parallel to a primary crack.

SEGREGATION: a deficiency in pavement components where the coarse particles are separated from the fine matrix.

SERVICEABILITY: the ability, at time of observation, of a pavement to serve traffic that uses the facility.

SHALLOW PATCHING: a maintenance treatment where the surface layers(s) of asphalt concrete is removed and replaced with well compacted asphalt concrete.

SHOULDER: the non-travel portion of a road on each side of the pavement.

SHOVING: permanent, longitudinal displacement of a localized area of the pavement surface caused by the traffic-induced shear forces.

SIEVE: in a laboratory work an apparatus, in which the apparatus are square, for separating sizes of material.

SKID NUMBER (SN): a standard test measure of the friction between a tire and a wetted road surface.

SLAB: a load bearing layer of Portland cement concrete, with or without reinforcement, sized to control and minimize shrinkage cracking.

SLURRY SEAL: a surface treatment of asphalt emulsion, sand, Portland cement, and water, placed as a slurry. Single or multiple applications may be used.

SOIL: sediments or other unconsolidated accumulations of solid particles which are produced by the physical and chemical disintegration of rock and which may or may not contain organic matter.

SPRAY INJECTION: repair technique for potholes in asphalt-surfaced pavements and spalls in PCC-surfaced pavements that uses a spray-injection device. Spray-injection devices are capable of spraying heated asphalt emulsion, virgin aggregate or both into a distress location.

STABILITY: the ability of asphalt paving mixture to resist deformation from imposed loads. Stability is dependent upon both internal friction and cohesion.

STABILIZATION: a mechanical, chemical or bituminous treatment designed to increase or maintain the stability of a material or otherwise to improve its engineering properties.

STABILIZING ADDITIVE: a mechanical, chemical or bituminous additive or material used to increase or maintain the strength, durability or moisture susceptibility of a material or to improve its engineering properties.

STANDARD PROCTOR: a test method where 12,375 foot-pounds per cubic foot (593 Kj/(cubic meter) of compactive effort is used to determine the optimum moisture content and maximum dry density of a soil aggregate.

STOKE: a unit of kinematic viscosity, equal to the viscosity of a fluid in poises divided by the density of the fluid in grams per cubic centimeter.

STRIPPING: a phenomenon in asphalt mixtures, where the asphalt binder film debonds or strips from the aggregate particles in the presence of water.

STRUCTURAL ADEQUACY INDEX (SAI): a measure that uses deflections and Equivalent Single Axle Loads to characterize the structural adequacy of a pavement on a scale of 0 to 10.

STRUCTURAL CAPACITY: the load-carrying capacity of a pavement that can be determined by evaluating the materials and/or layer thickness of the pavement structure or the surface deflections.

STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM (SHRP): a comprehensive, multimillion dollar research program in the USA and other countries involving research in Long Term Pavement Performance, Asphalt, Concrete, Structures and Highway Operation.

SUBBASE: the layer of select compacted granular material placed on the subgrade and which is overlain by the base of a flexible pavement structure or the Portland cement concrete slab of a rigid pavement structure.

SUBGRADE: the soil prepared and compacted to support a pavement structure.

SUPERPAVE: a general term encompassing the methodology developed in the Strategic Highway Research Program for selecting asphalt binders, for designing hot mix asphalt concrete and for estimating the fatigue, rutting, low-temperature cracking and moisture damage performance of the asphalt concrete.

SURFACE RECYCLING: a general term that describes the Hot In-Place Recycling of the upper portion of an asphalt pavement.

SURFACE TREATMENT: a maintenance or rehabilitation treatment used to seal a road surface, improve its ride or surface friction. Multiple applications of bituminous material and mineral aggregate may be used.

TACK COAT: an application of liquid asphalt or asphalt emulsion to an existing asphalt concrete surface prior to the placement of an asphalt concrete lift or overlay.

TEXTURIZATION: grooving, milling or otherwise abrading the top of a pavement surface.

THERMOPLASTIC (MATERIAL): a material that becomes soft when heated and hard when cooled.

THROW-AND-GO: repair technique for cold-mix patching materials in which material is shoveled into pothole, with no prior preparation of the pothole, until it is filled: compaction of the patch is left to passing traffic, while the maintenance crew moves on to the next distress location.

Throw-and-roll: repair technique for cold-mix patching materials in which material is shoveled into pothole, with no prior preparation of the pothole, until it is filled: the material truck tires are used to compact the patch before the crew moves on to the next distress location.

TRANSVERSE: perpendicular to the pavement centerline or direction of laydown.

TRANSVERSE CRACK: a distress manifestation where the crack is perpendicular to the direction of travel.

TRAFFIC GROWTH FACTOR: a factor used to estimate the percentage annual increase in traffic volume.

TRUCK FACTOR: the number of Equivalent Single Axle Loads (ESAL's) represented by the passage of a truck.

VIRGIN AGGREGATE: new aggregate added to recycled asphalt pavement in the production of recycled hot mix asphalt concrete, Cold Recycled mixtures and for mechanical stabilization using Full Depth Reclamation.

VIRGIN ASPHALT BINDER: new asphalt binder added during recycling to improve the properties of the recycled asphalt concrete.

VOIDS: empty spaces in a compacted mix surrounded by asphalt coated particles.

WARRANTY: guaranteed performance of a work or physical item; e.g. contractor guarantee that pavement rutting on a project will not exceed "x" mils (mm) at "y" years.

WORKABILITY: the ease with which mixtures may be placed and compacted.

BIBLIOGRAPHY

American Association of State Highway and Transportation Officials *Guide Specifications for Highway Construction*. Seventh edition, Washington, DC.

American Society for Testing and Materials *Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.03 Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems*. West Conshohocken, Pennsylvania.

Asphalt Institute *Principles of Construction of Hot-Mix Asphalt Pavements*. Manual Series No. 22 (MS-22) Second Edition, Lexington, Kentucky, 1998.

Asphalt Institute *A Basic Asphalt Emulsion Manual*. Manual Series No. 19 (MS-19), Third Edition, Lexington, Kentucky.

Asphalt Recycling and Reclaiming Association *An Overview of Recycling and Reclamation Methods for Asphalt Pavement Rehabilitation*. Brochure, Annapolis, Maryland, 1992.

Asphalt Recycling and Reclaiming Association *Technical Disciplines, Cold Planing, Hot Recycling, Hot In-Place Recycling, Cold In-Place Recycling, Full Depth Reclamation*. Brochure, Annapolis, Maryland, 1990.

Emery J. "Implementing End Result Specifications QC/QA/ERS/TQM". *Proceedings*, Canadian Technical Asphalt Association, 1993.

Emery J. "Asphalt Concrete Recycling in Canada". *Transportation Research Record 1427*, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1993

Hicks, G.R. et al. "5 PM Treatments for Flexible Pavements". *Better Roads*, January, 2000.

Huffman, J.E. "Update on Asphalt Recycling, Reclamation". *Better Roads*, October, 1999.

Kandhal, P.S. and R.B. Mallick *Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments*. Publication No. FHWA-SA-98-042, FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, 1997.

Mack, J. "State DOTs Update Life-Cycle Cost Analysis". *Better Roads*, July, 1998.

Palsat, D. and C. McMillan "End Product Specifications – 8 Years of Experience by Alberta Transportation & Utilities". *Proceedings*, Canadian Technical Asphalt Association, 1993.

Raza, H. *An Overview of Surface Rehabilitation Techniques for Asphalt Pavements, Instructors Guide*. Publication No. FHWA-SA-94-074, FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, 1994.

Roberts, F.L. et al. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*. Second Edition, NAPA Education Foundation, Lanham, Maryland, 1996.

Strategic Highway Research Program, National Research Council *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Studies*. Publication No. SHRP-LTPP/FR-90-001, Washington, DC, 1990.

Sullivan, J. *Pavement Recycling Executive Summary and Report*. Publication No. FHWA-SA-95-060, U.S. Department of Transportation, FHWA, Washington, DC, 1996.

Transportation Association of Canada *Pavement Design and Management Guide*. Ottawa, Ontario, 1997.

US Army Corps of Engineers *Hot-Mix Asphalt Paving Handbook*. Publication No. UN-13 (CEMP-ET), 1991.

U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration *Pavement Recycling Guidelines for Local Governments - Reference Manual*. Report No. FHWA-SA-90-042, Washington, DC, 1997.

U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration *Pavement Maintenance Effectiveness / Innovative Materials Workshop, Participants Handbook*, Report No. FHWA-SA-96-007, Washington, DC, 1985.

Zaniewski, J.P. and M.S. Mamlouk *Preventive Maintenance Effectiveness – Preventive Maintenance Treatments, Participants Handbook*. Publication No. FHWA-SA-96-027, FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, 1996.

COLD PLANING

Asphalt Recycling and Reclaiming Association *Guide Specifications for Cold Planing*. Annapolis, Maryland, 1999.

Cameron, A. Personal communication, January, 2000.

Hansen, B. Personal communication, January, 2000.

Kandhal, P.S. and R.B. Mallick *Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments*. Publication No. FHWA-SA-98-042, FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, 1997.

Murray, S.W. Personal communication, December, 1999.

Roberts, F.L. et al. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*. Second Edition, NAPA Education Foundation, Lanham, Maryland, 1996.

Vuillaume, B.C. Personal communication, January, 2000.

Wirtgen GmbH *The various uses of small milling machines up to 40" (1m) working width*. brochure, Germany, 1995.

Wirtgen GmbH *Cold milling machines series 1300-2000 DC*. brochure, Germany, 1997.

Wirtgen GmbH *Cutter bits, Holder systems, Milling drums*. brochure, Germany, 1999.

HOT RECYCLING

Asphalt Institute *Principles of Construction of Hot-Mix Asphalt Pavements*. Manual Series No. 22 (MS-22 Second Edition, Lexington, Kentucky, 1998.

Asphalt Recycling and Reclaiming Association *Proven Guidelines for Hot-Mix Recycling*. Annapolis, Maryland, 1992.

Decker, D.S. and Young, T.J. "Handling RAP in a HMS Facility". *Proceedings*, Canadian Technical Asphalt Association, 1996.

Decker, D.S. "Producing and Placing HMA". *Journal*, Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 68A, Chicago, Illinois, 1999.

Emery J. "Asphalt Concrete Recycling in Canada". *Transportation Research Record 1427*, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1993.

Kandhal, P.S. and R.B. Mallick *Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments*. Publication No. FHWA-SA-98-042, FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, 1997.

Kennedy, T.W. et al. "Optimizing Use of Reclaimed Asphalt Pavement with the Superpave System". *Journal*, Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 67, Boston, Massachusetts, 1998.

Paul, H. "Evaluation of Recycled Projects for Performance". *Journal*, Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 65, Baltimore, Maryland, 1996.

Roberts, F.L. et al. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*. Second Edition, NAPA Education Foundation, Lanham, Maryland, 1996.

Sullivan, J. *Pavement Recycling Executive Summary and Report*. Publication No. FHWA-SA-95-060, U.S. Department of Transportation, FHWA, Washington, DC, 1996.

U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration *Pavement Recycling Guidelines for Local Governments – Reference Manual*. Report No. FHWA-SA-90-042, Washington, DC, 1998.

U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration *User Guidelines for Waste and By-Product Materials in Pavement Construction*. Report No. FHWA-RD-97-148, Washington, DC, 1998.

HOT IN-PLACE RECYCLING

Asphalt Recycling and Reclaiming Association *Hot In-Place Recycling, First in the Line of Pavement Maintenance*. Brochure, Annapolis, Maryland.

Bradbury, A.L. et al. "Performance of In-Situ Hot Mix Recycling as a Maintenance Technique in Canada". XIIIth International Road Federation World meeting, Toronto, Ontario, 1997

Bauer, C. et al. *An Environmental Review of Hot In-Place Recycling in British Columbia*. unpublished report, Royal Roads University, British Columbia, August, 1998.

British Columbia Ministry of Transportation and Highways H.I.P. '91. conference proceedings, Vancouver, British Columbia, 1991.

Button, J.W. et al. "Hot In-Place Recycling of Asphalt Concrete, A Synthesis of Highway Practice". *NCHRP Synthesis 193 TRB*, National Research Council, Washington D.C. 1994.

Dunn, L. "Hot In-Place Recycling and Asphalt Hardening – Myth or Reality?". unpublished presentation at the Asphalt Recycling and Reclaiming Association annual meeting, Florida, 1996.

- Dunn, L. "A Study to Develop Guidelines for the Design of Hot In-Place Recycling (HIPR) Mixes Based on the Performance of HIPR Roadways in Alberta". unpublished presentation at the Asphalt Recycling and Reclaiming Association semi-annual meeting, Minnesota, 1996.
- Dunn, L. "End Result Specifications for Hot In-Place Recycling (HIR)". unpublished presentation at the Asphalt Recycling and Reclaiming Association annual meeting, Texas, 1997.
- Dunn, L. et al. "Guidelines for the Design of Hot In-Place Recycled Asphalt Concrete Mixtures". *Proceedings*, Canadian Technical Asphalt Association, 1997.
- Emery J. et al. "Asphalt Technology for In-Place Surface Recycling using the Heat Reforming Process". *Proceedings*, Canadian Technical Asphalt Association, 1989.
- Fyvie, K. and J. Van Valkenburg "Hot In-Place Recycling of Runway 15-33 Prince George Airport, B.C. – A Case Study". *Proceedings*, Canadian Technical Asphalt Association, 1999.
- Gavin, J. and C. McMillan "Alberta Transportation & Utilities Experience with Hot In-Place Recycling". *Proceedings*, Canadian Technical Asphalt Association, 1993.
- Heavy Construction News "Hot new machine helps smooth out problems". Volume 41, No. 9, September, 1997.
- Kandhal, P.S. and R.B. Mallick *Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments*. Publication No. FHWA-SA-98-042, FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, 1997.
- Kandhal, P.S. and K. Y. Foo "Designing Recycled Hot Mix Asphalt Mixtures Using Superpave Technology". NCAT Report No. 96-5, National Center for Asphalt Technology, Auburn University, Alabama, 1997.
- Kandhal, P.S. et al. "Evaluation of Recycled Hot Mix Asphalt Mixtures". NCAT Report No. 95-1, National Center for Asphalt Technology, Auburn University, Alabama, 1995.
- Kazmierowski, T.J. et al. "Seven Years Experience with Hot In-Place Recycling in Ontario". *Proceedings*, Canadian Technical Asphalt Association, 1994.
- Kennedy, T.W. et al. "Optimizing Use of Reclaimed Asphalt Pavement with the Superpave System". *Journal*, Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 67, Boston, Massachusetts, 1998.
- Lee, S.Q.S. et al. "New Developments in Hot In-Place Recycling Technology and Specifications". *Proceedings*, Canadian Technical Asphalt Association, 1998.
- Maag, R.G. "Surface Recycling for Kansas DOT". *Proceedings*, Asphalt Recycling and Reclamation Association, 1995.
- Martec Recycling Corporation *Principles of Hot In-Place Recycling of Asphalt Pavements*. Draft No. 1, Vancouver, British Columbia, 1996.
- Nevada Transportation Technology Transfer Center *Western States Round Table, Hot In-Place Asphalt Recycling*. conference proceedings, University of Nevada Reno, Reno, Nevada, 1994.
- Pyrotech Asphalt Equipment Mfg. Co. Ltd. *Hot In-Place Asphalt Pavement Recycling, A Technical Training Seminar & Workshop*. Kamloops, British Columbia, 1994.

Rogge, D.F. et al. *Exploratory Study of Hot In-Place Recycling of Asphalt Pavements*. Transportation Research Report 94-23, Transportation Research Institute, Oregon State University, Corvallis, Oregon, November, 1994.

Taisei Rotec, Inc. *Hot In-Place Recycling Heat Reforming Process*. brochure, Japan, 1989.

Taverner, G. et al. "Hot In-Place Recycling of Airfield Pavements at Canadian Forces Base Edmonton, Alberta". *Proceedings*, Canadian Technical Asphalt Association, 1990.

Terrel, R. et al. "Hot In-Place Recycling: State-of-the-Practice". *Journal, Association of Asphalt Paving Technologists*, Volume 66, Salt Lake City, Utah, 1997.

FULL DEPTH RECLAMATION

Asphalt Recycling and Reclaiming Association *Full Depth Reclamation Guide*. brochure, Draft 2, Annapolis, Maryland, 1999.

Asphalt Recycling and Reclaiming Association *Guideline Specifications for Full Depth Reclamation*. Annapolis, Maryland.

Asphalt Recycling and Reclaiming Association *Full Depth Reclamation Around the World*. brochure, Annapolis, Maryland.

Asphalt Institute *A Basic Asphalt Emulsion Manual*. Manual Series No. 19 (MS-19), Third Edition, Lexington, Kentucky, 1998.

Asphalt Institute *Asphalt Cold-Mix Recycling*. Manual Series No. 21 (MS-21), Second Edition, Lexington, Kentucky, 1986.

Better Roads "Pre-project evaluation aids reclamation". July, 1998.

Bomag, A United Dominion Company *Cold In-Place Recycling*. Kewanee, Illinois, 1987.

Bomag, A United Dominion Company *Soil Stabilization with Asphalt*. Kewanee, Illinois, 1987.

Caterpillar Paving Products Inc. *Full Depth Reclamation Manual*. Minneapolis, Minnesota, 1996.

Caterpillar Paving Products Inc. *Full Depth Reclamation, The Versatile Alternative*. Minneapolis, Minnesota, 1996.

CMI Corporation *A Practical Guide to Soil Stabilization & Road Reclamation Techniques*. Oklahoma City, Oklahoma, 1994.

Favretti, P. "Resistance to Freeze-Thaw Cycles of some Asphalt Cold Mixtures". *Proceedings*, Canadian Technical Asphalt Association, 1994.

Favretti, P. et al. "Deep Cold In-Place Recycling with Cement/Emulsion". *Proceedings*, Canadian Technical Asphalt Association, 1997.

Huffman, J.E. "Full Depth Pavement Reclamation: State-of-the-Practice". *Journal, Association of Asphalt Paving Technologists*, Volume 66, Salt Lake City, Utah, 1997.

Huffman, J.E. "Restoring distressed roads FDR can be a valuable rehab technique for cracked pavements". *Asphalt Contractor*, December, 1997.

- Kandhal, P.S. and R.B. Mallick *Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments*. Publication No. FHWA-SA-98-042, FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, 1997.
- Kearney, E. and J. Huffman "Full-Depth Reclamation Process". *Transportation Research Record 1684* TRB, National Research Council, Washington, DC, 1999.
- Loudon A.A. & Partners "Comparison of Stabilizing Agents Using the Deep Cold In-Place Recycling Process". Kloof, South Africa, undated.
- Loudon A.A. & Partners *Cold Deep In Place Recycling, Technical Recommendations and Application Specifications*. Kloof, South Africa, 1995
- Theriault, Y. "Some Laboratory and Field Investigations on Combining Lime or Cement with Foamed Asphalt". *Proceedings*, Canadian Technical Asphalt Association, 1998. Subsequent discussions *Proceedings*, Canadian Technical Asphalt Association, 1999.
- Wirtgen GmbH *Cold-Mix Recycling and Soil Stabilization*, brochure, Germany, 1990.
- Wirtgen GmbH *Cold In-Place Recycling Including Base Rehabilitation, An Economic and Environmentally Friendly Construction Process*. brochure, Germany, 1992.
- Wirtgen GmbH *Wirtgen Cold Recycling, The method, the equipment and its application*. brochure, Germany, 1994.
- Wirtgen GmbH *Wirtgen Cold Recycling Manual*. Germany, 1998.
- Wirtgen GmbH *Laboratory-scale foamed bitumen plant WLB 10*. brochure, Germany, 1998.
- Wise, P.W. "In Place Full Depth Cold Flexible Pavement Reclamation". Conexpo/Con-Agg, Las Vegas, Nevada, 1996.

COLD RECYCLING

- American Association of State Highway and Transportation Officials *Guide Specifications for Highway Construction*. Seventh edition, Washington, D.C.
- AASHTO-AGC-ARTBA Joint Committee Task Force 38 *Report on Cold Recycling of Asphalt Pavements*, AASHTO, Washington, DC, March 1998.
- American Coal Ash Association *Soil and Pavement Base Stabilization with Self-Cementing Coal Fly Ash*. Washington, DC, 1999.
- Asphalt Emulsion Manufacturers Association *Recommended Performance Guidelines*. Second Edition, Annapolis, Maryland.
- Asphalt Institute *A Basic Asphalt Emulsion Manual*. Manual Series No. 19 (MS-19), Third Edition, Lexington, Kentucky.
- Asphalt Institute *Asphalt Cold-Mix Recycling*. Manual Series No. 21 (MS-21), Second Edition, Lexington, Kentucky, 1986.
- Badaruddin S.R. and R.S. McDaniel "Cold In-Place Recycling for Rehabilitation and Widening of Low-Volume Flexible Pavements in Indiana". *Transportation Research Record 1342*, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1992.

- Cross, S.A. "Experimental Cold In-Place Recycling with Hydrated Lime". *Transportation Research Record No. 1684*, TRB, National Research Council, Washington DC, 1992.
- Cross, S.A. "Evaluation of Cold In-Place Recycling". K-TRAN: KU-93-1, Kansas Department of Transportation, Topeka, Kansas, 1995.
- Cross, S.A. and G.A. Fager "Fly Ash in Cold Recycled Bituminous Pavements". *Transportation Research Record 1486*, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1995.
- Cross, S.A. and D. Young "Evaluation of Type C Fly Ash in Cold In-Place Recycling". *Transportation Research Record 1583*, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1997.
- Cross, S.A. "Experimental Cold In-Place Recycling with Hydrated Lime". *Transportation Research Record 1684*, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1999.
- Croteau, J.M. and Stephen Lee "Cold In-Place Recycling: Performance and Practices". XIIIth International Road Federation World meeting, Toronto, Ontario, 1997.
- Epps, J.A. *Cold-Recycled Bituminous Concrete Using Bituminous Materials*. NCHRP Synthesis of Highway Practice 160, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1990.
- Jahren, T.J. et al. *Review of Cold In-Place Recycled Asphalt Concrete Projects*. Iowa DOT Project HR-392, Iowa Department of Transportation, Ames, Iowa, February 1998.
- Kandhal, P.S. and R.B. Mallick *Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments*, Publication No. FHWA-SA-98-042, FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, 1997.
- Kearney, E. "Cold Mix Recycling: State-of-the-Practice". Journal, Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 66, Salt Lake City, Utah, 1997.
- Kearney, E. "Cold Mix Recycling: State-of-the-Practice". 5th Materials Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, Cincinnati, Ohio, 1999.
- Lauter, K.A. and M.C. Corbett "Developing Gyrotory Compactor Guidelines for use with Cold In-Place Recycled Material". *Proceedings*, Canadian Technical Asphalt Association, 1998.
- Lee, S.Q.S. et al. "Low Temperature Cracking Performance of Superpave and Cold In-Place Recycled Pavements in Ottawa-Carlton". *Proceedings*, Canadian Technical Asphalt Association, 1997.
- McKeen, R.G. et al. "New Mexico's Experience with Cold Insitu Recycling". TRB, National Research Council, Washington, DC, 1997.
- Murphy, D. and J. Emery "Evaluation of Modified Cold In-Place Asphalt Recycling". *Transportation Research Record 1545*, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1996.
- Murphy, D. and J. Emery "Evaluation of Modified Cold In-Place Asphalt Recycling". *Proceedings*, Canadian Technical Asphalt Association, 1997.
- O'Leary, M.D. and R.D. Williams "In Situ Cold Recycling of Bituminous Pavements with Polymer-Modified High Float Emulsions". *Transportation Research Record 1342*, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1992.
- Roberts, F.L. et al. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*. Second Edition, NAPA Education Foundation, Lanham, Maryland, 1996.

Rogge, D.F. et al. "Use of Asphalt Emulsions for In-Place Recycling: Oregon Experience". *Transportation Research Record* 1342, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1992.

Rogge, D.F. et al. "Case Histories of Cold In-Place Recycled Asphalt Pavements in Central Oregon". *Transportation Research Record* 1337 TRB, National Research Council, Washington, DC, 1992.

U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration *Pavement Recycling Guidelines for Local Governments - Reference Manual*. Report No. FHWA-TS-87-230, Washington, DC, 1987.

Zhou, H. and S.E. Nodes "Study of Lime vs. No Lime in Cold In-Place Recycled Asphalt Concrete Pavements". Publication No. OR-RD-92-02, Oregon Department of Transportation, Oregon, 1991.

- پروژه تحقیقاتی روشهای بازیافت سرد و گرم ، آسفالت و امکان سنجی اقتصادی آن در ایران
از گروه مهندسين مشاور هراز راه
- بازیافت سرد روسازی آسفالتی .. گزارش طرح بهسازی بزرگراه بهشت زهرا
از گروه مهندسين مشاور گذر راه

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AGC	Association of General Contractors of America
ARRA	Asphalt Recycling and Reclaiming Association
ARTBA	American Road and Transportation Builders Association
ASTM	American Society for Testing and Materials
BARM	Basic Asphalt Recycling Manual
BBR	Bending Beam Rheometer
C	Centigrade
CaO	Calcium Oxide
CBR	California Bearing Ration
CCPR	Cold Central Plant Recycling
CIR	Cold In-Place Recycling
CKD	Cement Kiln Dust
CP	Cold Planing
CR	Cold Recycling
DBC	Design Bitumen Content
DCP	Dynamic Cone Penetrometer
DMI	Distress Manifestation Index
DSR	Dynamic Shear Rheometer
DTT	Direct Tension Tester
ESAL	Equivalent Single Axel Load
F	Fahrenheit
FDR	Full Depth Reclamation
FHWA	Federal Highway Administration

FWD	Falling Weight Deflectometer
GBE	Granular Base Equivalency
GPR	Ground Penetrating Radar
HFMS	High Float Medium-setting asphalt emulsion
HIR	Hot In-Place Recycling
HMA	Hot Mix Asphalt
IRI	International Roughness Index
IRRM	Index of Retained Resilient Modulus
ITS	Indirect Tensile Strength
JMF	Job Mix Formula
LKD	Lime Kiln Dust
LTPP	Long Term Pavement Performance
m	Slope value from Bending Beam Rheometer test
MDD	Maximum Dry Density
mm	Millimeter
MTD	Maximum Theoretical Density
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
OFC	Optimum Fluid Content
OGFC	Open Graded Friction Course
OMC	Optimum Moisture Content
ORAC	Optimum Recycling Additive Content
PAV	Pressure Aging Vessel
PCC	Portland cement Concrete
PCI	Present Condition Index
PG	Performance Grade (asphalt binder)

PMS	Pavement Management System
PrI	California Profilograph Index
PSI	Present Serviceability Index
QA	Quality Assurance
QC	Quality Control
RA	Recycling Agent
RAP	Reclaimed Asphalt Pavement
RCI	Riding Comfort Index
RCR	Riding Comfort Rating
RTFOT	Rolling Thin Film Oven Test
S	Creep Stiffness Value from Bending Beam Rheometer Test
SDI	Surface Distress Index
SGC	Superpave Gyratory Compactor
SHRP	Strategic Highway Research Program
SMA	Stone Matrix (Mastic) Asphalt
SN	Structural Number
SQA	Statistical Quality Assurance
SS	Slow-setting Asphalt Emulsion
SSD	Saturated Surface Dry
TFOT	Thin Film Oven Test
TSR	Tensile Strength Ratio
Va	Air Voids
VFA	Voids Filled with Asphalt
VMA	Voids in the Mineral Aggregate
VTM	Voids in Total Mix

خواننده گرامی

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تألیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه پیوست در راستای موارد یاد شده تهیه شده تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. به این لحاظ برای آشنایی بیشتر، فهرست عناوین نشریاتی که طی دو سال اخیر به چاپ رسیده است، به اطلاع استفاده‌کنندگان و دانش‌پژوهان محترم رسانده می‌شود.

لطفاً برای اطلاعات بیشتر به سایت اینترنتی <http://tec.mporg.ir> مراجعه نمایید.

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
معاونت امور فنی

فهرست نشریات
منتشر شده ۲ سال اخیر
دفتر امور فنی، تدوین معیارها و
کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

Islamic Republic of Iran

**Cold Mix Recycling
General Technical Specifications**

No : 339

**Management and Planning Organization
Office of Deputy for Technical Affairs
Technical , Criteria Codification and
Earthquake Risk Reduction Affairs Bureau**

**Ministry of Roads and Transportation
Deputy of Education, Research
and Technology**

2006

این نشریه

با عنوان "مشخصات فنی اجرایی بازیافت سرد آسفالت" به منظور یکنواخت کردن دستورالعمل کارهای مربوط به بازیافت سرد آسفالت و براساس تجربیات داخلی و مدارک معتبر بین‌المللی، تدوین شده است.

این نشریه مشتمل بر هشت فصل می‌باشد و در آن مسائل مربوط به بررسی و ارزیابی وضعیت روسازی راه برای انجام بازیافت سرد آسفالت، طرح اختلاط با امولسیون قیر و کف قیر، تعیین ضخامت روکش بازیافت، اجرای عملیات و ماشین‌آلات بازیافت سرد درجا و کارخانه‌ای و همچنین آزمایشات کنترل کیفیت ارائه شده است.

رعایت کامل مفاد این نشریه توسط دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر در اجرای طرح‌های عمرانی کشور الزامی است.